



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Ciencias en Ingeniería Geotécnica

**ESTUDIO PARA DETERMINAR CONDICIONES DE LICUEFACCIÓN Y CONSIDERACIONES
EN EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL PUENTE VEHICULAR EN EL ZANJÓN EL
CHILE, ALDEA ATITÁN, MUNICIPIO DE IZTAPA, ESCUINTLA**

Ing. Juan Carlos Alexander Tacam Menchú

Asesorado por el Ing. MSc. Max Fernando Schwartz Guzmán

Guatemala, mayo de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO PARA DETERMINAR CONDICIONES DE LICUEFACCIÓN Y CONSIDERACIONES
EN EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL PUENTE VEHICULAR EN EL ZANJÓN EL
CHILE, ALDEA ATITÁN, MUNICIPIO DE IZTAPA, ESCUINTLA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. JUAN CARLOS ALEXANDER TACAM MENCHÚ
ASESORADO POR EL MSC. ING. MAX FERNANDO SCHWARTZ GUZMÁN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MÁSTER EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA

GUATEMALA, MAYO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aguilar Tumax
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ESTUDIO PARA DETERMINAR CONDICIONES DE LICUEFACCIÓN Y CONSIDERACIONES
EN EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL PUENTE VEHICULAR EN EL ZANJÓN EL
CHILE, ALDEA ATITÁN, MUNICIPIO DE IZTAPA, ESCUINTLA**

Tema que me fuera aprobado por la dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 9 de octubre de 2019.

Ing. Juan Carlos Alexander Tacam Menchú

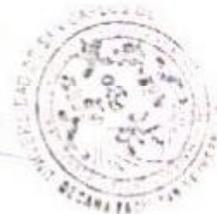
DTG. 134.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **ESTUDIO PARA DETERMINAR CONDICIONES DE LICUEFACCIÓN Y CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL PUENTE VEHICULAR EN EL ZANJÓN EL CHILE, ALDEA ATITÁN, MUNICIPIO DE IZTAPA, ESCUINTLA**, presentado por el **Ingeniero Juan Carlos Alexander Tacam Menchú**, estudiante de la **Maestría en Ciencias en Ingeniería Geotécnica** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, **autoriza la impresión del mismo.**

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, junio de 2020.

AACE/asga

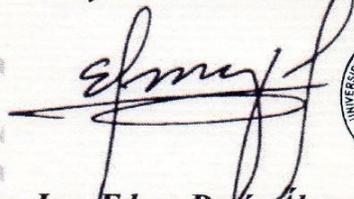
Guatemala, Junio de 2020

EEPFI-618-2020

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y verificar la aprobación del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado: **“ESTUDIO PARA DETERMINAR CONDICIONES DE LICUEFACCIÓN Y CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL PUENTE VEHÍCULAR EN EL ZANJÓN EL CHILE, ALDEA ATITÁN, MUNICIPIO DE IZTAPA, ESCUINTLA”** presentado por el Ingeniero **Juan Carlos Alexander Tacam Menchú** quien se identifica con Carné **200130064**, correspondiente al programa de **Maestría en Ciencias en Geotécnica**; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

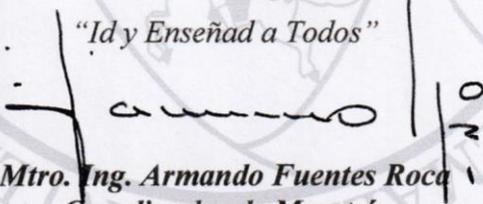
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Guatemala, Junio de 2020

EEPFI-614-2020

Como Coordinador de la Maestría en Ciencias en Geotécnica doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado:
“ESTUDIO PARA DETERMINAR CONDICIONES DE LICUEFACCIÓN Y CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL PUENTE VEHÍCULAR EN EL ZANJÓN EL CHILE, ALDEA ATITÁN, MUNICIPIO DE IZTAPA, ESCUINTLA”
presentado por el **Ingeniero Juan Carlos Alexander Tacam Menchú** quien se identifica con Carné **200130064**.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Mtro. Ing. Armando Fuentes Roca
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Guatemala, junio de 2020

En mi calidad como Asesor del Ingeniero **Juan Carlos Alexander Tacam Menchú** quien se identifica con Carné 200130064 procedo a dar el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“ESTUDIO PARA DETERMINAR CONDICIONES DE LICUEFACCIÓN Y CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL PUENTE VEHÍCULAR EN EL ZANJÓN EL CHILE, ALDEA ATITÁN, MUNICIPIO DE IZTAPA, ESCUINTLA”** quien se encuentra en el programa de **Maestría en Ciencias en Geotécnica** en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Max Fernando Schwartz Guzmán
Colegiado No. 4,116
Ingeniero Civil
Maestría en Ingeniería Geotécnica

Ing. Msc. Max Fernando Schwartz Guzmán
Asesor

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Que por su misericordia y amor provee las gracias y dones que dan luz a mis proyectos.
Mis padres	Su amor y paciencia son un ejemplo de vida.
Mi familia	Con su confianza fortalecen mi decisión de continuar en el camino de la superación personal.
Colegas y compañeros de trabajo	Su esfuerzo, apoyo y colaboración han contribuido a la culminación de esta importante etapa.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Fuente importante de conocimientos y precursor del futuro de toda una nación.
Facultad de Ingeniería	Por aportar satisfacciones a mi carrera profesional y brindar la oportunidad de desarrollo y preparación.
Mis amigos de la Facultad	Compañeros de retos y alegrías en el desarrollo de nuestra carrera profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
HIPÓTESIS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. TEORÍA DE LOS ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO.....	1
1.1 Extracción de muestras y métodos utilizados	1
1.1.1. Ensayos de Penetración Estándar (SPT)	1
1.1.2. Procedimiento de ensayo (SPT).....	3
1.1.3. Correcciones	4
1.1.4. Correlaciones	5
1.2 Sondeo Eléctrico Vertical (SEV).....	7
1.2.1. Resistividad del suelo.....	7
1.2.2. Resistividad de la tierra	7
1.2.3. Equipo utilizado y procedimiento en campo	8
1.3 Metodología	8
1.4 Ensayos de laboratorio	9
1.4.1. Clasificación de los suelos.....	9
1.4.2. Límites de consistencia	10
1.4.3. Ensayo de Casagrande para determinar la plasticidad.	10
1.4.4. Granulometría.....	12
1.5 Licuefacción	12
1.5.1. Condiciones que propician la licuefacción.....	12

1.6	Determinación de la cimentación.....	14
1.6.1.	Consideraciones y características de los cimientos	14
1.6.2.	Columnas de grava.....	15
1.6.3.	Pilotes de cimentación.....	16
1.6.4.	Factor de seguridad en pilotes excavados	18
1.6.5.	Método de determinación de pila de cimentación.....	20
2.	ÁREA DE INVESTIGACIÓN, ZANJÓN EL CHILE	23
2.1	Descripción del área de investigación	23
2.1.1.	Localización	23
2.2	Geología local.....	27
2.2.1.	Características geológicas	27
2.2.2.	Zona sísmica.....	28
2.3	Origen de los suelos	31
2.3.1.	Geología de la zona del Pacífico de Guatemala.....	31
2.3.2.	Planicie aluvial costera ríos Madre Vieja y María Linda	31
2.3.3.	Tipos de suelos en el área de investigación.....	33
2.4	Hidrología de Iztapa.....	33
2.4.1.	Clima y factores meteorológicos	33
2.5	Características meteorológicas.....	36
2.5.1.	Precipitación pluvial.....	36
2.6	Hidrogeología	39
2.6.1.	La cuenca del río María Linda.....	39
2.6.2.	La microcuenca del Zanjón El Chile	40
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	43
3.1	Normativo para el análisis de los resultados.....	43
3.2	Sismicidad y nivel de protección de la zona de estudio.....	44
3.3	Espectros de diseño AGIES 2010, zona de Iztapa, Escuintla.....	47

3.4	Resultados de los ensayos mediante el método SPT.	55
3.5	Correlaciones realizadas.....	64
3.5.1.	Sondeo SPT 1	64
3.5.2.	Módulo de Young's:	65
3.5.3.	Ángulo de fricción interna	66
3.5.4.	Velocidad de ondas sísmicas	67
3.5.5.	Cimentaciones en áreas de suelos licuables.....	70
3.5.6.	Método de Youd e Idriss.....	70
3.5.7.	Correlaciones realizadas SPT 2	73
3.6	Características y clasificación de los suelos.	77
3.6.1.	Clasificación de suelos	77
3.7	Equipo utilizado y procedimiento en campo	84
3.8	Resultados del estudio hidrogeológico mediante método SEV.	86
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DETERMINACIÓN DEL CIMIENTO.	95
4.1	Análisis de resultados según los SPT desarrollados.....	95
4.2	Análisis del estudio hidrogeológico mediante método SEV.	104
4.3	Uso de columnas de grava.....	105
4.4	Determinación de carga admisible	105
4.4.1.	Condiciones de campo:	105
4.4.2.	Análisis de pila de cimentación.....	106
	CONCLUSIONES	109
	RECOMENDACIONES.....	111
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
	APÉNDICES	117

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Adaptado de la descripción de los resultados de acuerdo con el número N de golpes recibidos en el saca-muestras	2
2.	Gráfica de relación granulométrica y método de estabilización	16
3.	Método de cajones para pila de cimentación en zonas licuables	18
4.	Grupo de pilotes	19
5.	Gráfica variación de ω con \emptyset y L/Db	22
6.	Mapa de localización del municipio de Iztapa	24
7.	Mapa de la carretera que une el casco urbano de Iztapa con el parcelamiento el Wiscoyol	24
8.	Mapa de área de estudio en la unión de los tramos	25
9.	Vista del zanjón El Chile desde el área sur de la carretera nueva	25
10.	Carretera asfaltada y terracería que unirá el puente nuevo	26
11.	Carretera de terracería que unirá el puente nuevo	26
12.	Mapa de geología zona de Iztapa	27
13.	Mapa de geología zona de Iztapa	29
14.	Mapa cercanía de la zona de falla de Jalpatagua	30
15.	Ortofoto del tramo de Iztapa a Conacaste	32
16.	Clasificación del clima zona del Pacífico de Centroamérica	35
17.	Climograma correspondiente a la estación La Giralda	37
18.	Comparación del año 2017 respecto al promedio 2015 al 2016	37
19.	Comparación correspondiente al acumulado de lluvia del año 2017 respecto al promedio 2015 al 2016	38
20.	Área de la microcuenca del Zanjón el Chile	40
21.	Isoyetas cuenca del río María Linda	41

22.	Zonificación sísmica para la República de Guatemala	46
23.	Gráficas de espectro de respuesta	55
24.	Ensayo SPT en punto de muestreo 1	56
25.	Ensayo SPT en punto de muestreo 2	56
26.	Ensayo SPT en punto de muestreo 3	57
27.	Gráficas de profundidad y resistencia en Ton/m ² SPT 1	64
28.	Gráficas de Módulo de Young's SPT 1	65
29.	Ángulo de Fricción Interna Terzaghi, Peck y Mesri SPT 1	66
30.	Gráficas de velocidad de onda cortante, SPT 1	67
31.	Gráficas de relación CRR-Vs1	69
32.	Gráfica para determinación de la susceptibilidad a la licuefacción en función del SPT (N1)60 para un sismo de magnitud de 7,5 basado en casos históricos	71
33.	Gráfica de valores de Licuefacción CRR, mediante el valor N1(60) SPT 1	72
34.	Gráficas de profundidad y resistencia en Ton/m ² SPT 2	73
35.	Gráficas de módulo de Young's SPT 2	74
36.	Ángulo de fricción interna Terzaghi, Peck y Mesri SPT 2	75
37.	Gráficas de velocidad de onda cortante, SPT 2	76
38.	Gráfica de valores de licuefacción, capacidad del suelo para resistir la licuación CRR, SPT 2	77
39.	Gráfica de granulometría material 650 – 700 cm de profundidad, sondeo 1	79
40.	Gráfica de granulometría material 650 – 700 cm de profundidad, sondeo 2	82
41.	Sondeo eléctrico vertical –SEV- en el punto de muestreo 1	84
42.	Sondeo eléctrico vertical –SEV- en el punto de muestreo 2	85
43.	Sondeo eléctrico vertical –SEV- en el punto de muestreo 3	85

44.	Gráfica de resistividades aparentes de acuerdo con la profundidad, Sondeo 1	88
45.	Gráfica de resistividades aparentes de acuerdo con la profundidad, Sondeo 2.....	91
46.	Perfil estratigráfico de la zona de cimentación	93

TABLAS

I.	Correlación en suelos no cohesivos entre D_r , compacidad y N	5
II.	Propiedades comunes de los suelos no cohesivos	6
III.	Resumen de datos correspondientes a la estación La Giralda	23
IV.	Cuadro de clasificación Köppen-Geiger	34
V.	Resumen de datos correspondientes a la estación La Giralda	36
VI.	Nivel mínimo de protección sísmica y probabilidad en el diseño según AGIES, NSE 2, Capítulo 4	45
VII.	Zonificación sísmica para la República de Guatemala.....	46
VIII.	Índice de sismicidad	48
IX.	Tipo de fuente sísmica	49
X.	Factor N_a para períodos cortos de vibración	50
XI.	Factor N_v para períodos largos de vibración.....	50
XII.	Factores de escala	52
XIII.	Construcción de espectro de respuesta	54
XIV.	Compacidad relativa por estratos, sondeo 1	58
XV.	Clasificación de suelos por estratos, sondeo 1	59
XVI.	Propiedades mecánicas por estratos, sondeo 1	60
XVII.	Compacidad relativa por estratos, sondeo 2	61
XVIII.	Clasificación de suelos por estratos, sondeo 2	62
XIX.	Propiedades mecánicas por estratos, sondeo 2	63
XX.	Cuadro de velocidad de ondas sísmicas.....	68

XXI.	Análisis granulométrico e índices de plasticidad, sondeo 1	78
XXII.	Peso unitario y gravedad específica, sondeo 1	80
XXIII.	Análisis granulométrico e índices de plasticidad, sondeo 2	81
XXIV.	Peso unitario y gravedad específica, sondeo 2	83
XXV.	Resistencia obtenida de acuerdo con el perfil, sondeo 1	87
XXVI.	Perfil hidrogeológico según la resistividad aparente, sondeo 1	87
XXVII.	Resultados obtenidos de acuerdo con el perfil siguiente sondeo 2	89
XXVIII.	Perfil hidrogeológico sondeo 2.....	90
XXIX.	Tablas de valores típicos de resistividad de los suelos.....	92
XXX.	Capacidad de carga de pilas de fundaciones profundas	107

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<i>g</i>	Aceleración de la gravedad
μ	Coefficiente de Poisson
FC	Contenido de finos de las muestras tomadas
<i>ρ_n</i>	Densidad natural
<i>ρ_{sat}</i>	Densidad saturada
Es	Energía de un sismo
<i>σ_v</i>	Esfuerzos totales en el suelo
MSF	Factor de escala de magnitud
n	Factor de magnitud
CS	Factor de tipo de muestreo
ω_d	Frecuencia angular de la vibración amortiguada
ω_n	Frecuencia natural circular en rad/seg
F	Fuerza de inercia
Mw	Magnitud de momento sísmico
mb	Magnitud de ondas internas
Ms	Magnitud de ondas superficiales
M	Magnitud del sismo
ML	Magnitud local
m	Masa
G	Módulo de corte
E	Módulo de Young
M0	Momento sísmico
(N1)60	Número de golpes del SPT corregido

N	Número de golpes en campo
Pa	Presión atmosférica
CRR	Relación de resistencia cíclica
CRRcor	Relación de resistencia cíclica corregida
CSR	Relación del esfuerzo cíclico
α	Relación entre el esfuerzo cortante y el esfuerzo efectivo vertical
SPT	Standard Penetration Test
N60	Valor corregido de N obtenido en campo
q_{neta}(adm)	Valor soporte admisible

GLOSARIO

Acuífero	Formación de roca permeable o subsuelo a través del cual se mueve el agua subterránea libremente. Estrato de formación geológica que permite el almacenamiento y circulación del agua por sus poros o grietas.
Aguas subterráneas	Agua infiltrada a través de las rocas o formaciones permeables y que ocupa los espacios vacíos del subsuelo en diferentes formaciones geológicas.
Aguas superficiales	Aguas situadas sobre la superficie terrestre, como por ejemplo lagos, ríos entre otros.
Asentamiento	Deformación vertical de una superficie por la aplicación de cargas.
Aluviales	Son suelos de origen fluvial, poco evolucionados, aunque profundos. Aparecen en las vegas de los principales ríos.
Caliza	Roca calcárea formada fundamentalmente por carbonato cálcico, es de origen sedimentario.

Capacidad de infiltración	La cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones y determinada área.
infiltración	La cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones y determinada área.
Coalescente	Que forma una sola pieza, aunque esté compuesto por piezas de orígenes distintos.
Cohesivos	Acción y efecto de reunirse o adherirse las cosas entre sí, o la materia de que están formadas.
Estrato	Masa mineral en forma de capa de espesor más o menos uniforme, que constituye los terrenos sedimentarios.
Hidrogeología	Estudia la relación que existe entre la geología y el sistema hídrico del lugar, por medio de pruebas de campo e interpretación de datos para obtener la caracterización de los acuíferos subterráneos.
Ingeniería geotécnica	La ingeniería geotécnica es la rama de la ingeniería civil que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la Tierra.

Licuefacción	Es el comportamiento de suelos que, estando sujetos a la acción de una fuerza externa, en ciertas circunstancias pasan de un estado sólido a un estado líquido, o adquieren la consistencia de un líquido pesado.
Morfología	Estudia las formas del relieve terrestre, su origen y evolución.
Parcelamiento	División simultánea o sucesiva de terrenos en dos o más áreas independientes, o cuotas indivisas de los mismos.
Percolación	Movimiento de desplazamiento del agua lluvia desde la superficie del suelo hasta la capa freática. Su consecuencia es la materialización del suelo y el arrastre de iones solubles.
Precipitación	Agua procedente de la atmósfera y que en forma sólida o líquida cae sobre la superficie de la tierra.
Subducida	Es un proceso de hundimiento de una placa litosférica bajo otra en un límite convergente, según la teoría de tectónica de placas.
Terreno detrítico	Terreno compuesto por detritos (restos, residuos, sedimentos).

Vadoso

Lugar poco profundo, con fondo firme por donde se puede atravesar fácilmente un curso de agua o un cuerpo hídrico.

RESUMEN

Este trabajo de investigación contiene las consideraciones geotécnicas para el diseño de las pilas de cimentación del puente vehicular que atravesará el zanjón El Chile, en el municipio de Iztapa, Escuintla. Para tal efecto, se analizaron las condiciones históricas y geotécnicas de la zona. Esta se ubica en la zona de subducción de la costa del Pacífico de Guatemala, esta condición determina la inminente ocurrencia de eventos sísmicos. Se encontró a 36 km de distancia la falla geotécnica de Jalpatagua, por lo que se analizaron las condiciones del suelo bajo los efectos de un evento sísmico.

La condición hidrogeológica determinó la existencia de saturación, debido a la poca pendiente y a la cercanía del canal de Chiquimulilla, por lo que, mediante la exploración geofísica a través de Sondeos Eléctrico Verticales, se determinó que existe saturación hasta una altura de 6.00 metros desde los 2.00 metros de profundidad, por lo que es constante la presencia de agua en la zona donde se debe construir la cimentación de la estructura.

Se desarrollaron ensayos de penetración estándar para conocer las características mecánicas del suelo. De dichos ensayos se determinó que, a 7.00 metros de profundidad, existe rechazo, que garantiza la estabilidad del estrato para la inclusión de un sistema de cimentación a esa profundidad. Mediante los ensayos de laboratorio de acuerdo con las normas ASTM, se encontró que el material previo a los 7.00 metros de profundidad es un SP-SM: arena mal graduada o mezclas de grava con muy poca o casi nada de finos.

Arenas limosas, mezcla de arena y limo, de acuerdo con la clasificación y se encontró que el índice de plasticidad es de 0.00. De aquí parten las consideraciones para iniciar el análisis de los posibles sistemas de cimentación.

Después de considerar las condiciones de saturación, características mecánicas del suelo, profundidad, condiciones sísmicas y acceso, se consideraron dos métodos, uno consistía en la estabilización de suelo mediante columnas de grava para alcanzar una densidad y una estructura más estable. Debido a las condiciones y el tipo de equipo necesario, no es factible desarrollar el sistema de estabilización. Al analizar la profundidad del estrato se consideró la fabricación de pilas de cimentación las cuales alcanzan hasta el estrato estable, se fabrican *in situ* y no se requiere de equipo sofisticado para su construcción.

OBJETIVOS

General

Conocer las condiciones geotécnicas de la zona, y la existencia de material susceptible a la licuefacción ante la acción de las fuerzas sísmicas, mediante el análisis de los resultados obtenidos al utilizar Ensayos de Penetración Estándar (SPT) y el método geofísico de Sondeos Eléctrico Verticales (SEV), para determinar el sistema de cimentación más efectivo para el puente.

Específicos

1. Determinar las características del suelo y establecer las condiciones de saturación que afecte la estabilidad de la zona de cimentación mediante el método de ensayo SPT y el método SEV.
2. Determinar la estratigrafía y propiedades del suelo en el área de estudio y la incidencia de las fuerzas sísmicas, para establecer las consideraciones apropiadas para el óptimo diseño las cimentaciones del puente.
3. Proponer los sistemas de cimentación que puede utilizarse y determinar el más adecuado de acuerdo con las condiciones geotécnicas que se encuentre en la zona.

HIPÓTESIS

En el Zanjón El Chile, ubicado en el municipio de Iztapa del departamento de Escuintla, las condiciones de saturación por la hidrología de la zona, la alta posibilidad de que exista material arenoso altamente friccionante, de baja cohesión y la condición geológica propensa a sismos como consecuencia de su ubicación en la zona de subducción del Pacífico de Guatemala, dada las condiciones geotécnicas, se cree que existe la posibilidad de que se dé el fenómeno de licuefacción por lo que debe considerarse en el diseño de los cimientos del puente que se desea construir, para mitigar los efectos de las condiciones existentes en la zona.

INTRODUCCIÓN

Las comunidades que se desarrollan en el municipio de Iztapa han propiciado la evolución de las vías de comunicación. Como consecuencia, los puentes, que son parte de ese avance social, deben construirse con las premisas técnicas y consideraciones apropiadas para preservar la inversión. Las comunidades El Wiscoyol y Atitán necesitan que se construya un puente sobre el Zanjón El Chile para unir ambas comunidades. Este debe desarrollarse en una zona sumamente saturada por la proximidad del canal de Chiquimulilla.

El municipio de Iztapa se encuentra en la zona de subducción del Pacífico, en él se encuentra el límite convergente entre las placas de Cocos y del Caribe. Por ello es una zona altamente sísmica, su relieve va de plano a ondulado, el drenaje superficial corresponde al típico de las planicies aluviales o sea el tipo trezado y meándrico. En estos abanicos aluviales hay materiales laháricos y fluviales, además de arenas finas compuestas de andesita y basalto del cuaternario, por lo que se puede considerar la condición de materiales sumamente friccionantes que generen condiciones de licuefacción ante eventos sísmicos

El conocimiento de las condiciones geotécnicas del área determina la correcta elección del sistema de cimentación del puente y, de acuerdo con las consideraciones de la información obtenida mediante métodos geofísicos Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) y de extracción de núcleos a través del ensayo de penetración estándar o SPT (del inglés Standard Penetration Test), se obtienen resultados que se correlacionan mediante métodos cualitativos/cuantitativos, se consideró el uso de los normativos y las condiciones

de sismicidad, se determinó el sistema de cimentación para el diseño final del puente, se consideró la existencia de licuefacción y la profundidad a la cual se alcanzó la zona estable.

1. TEORÍA DE LOS ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO

1.1 Extracción de muestras y métodos utilizados

Para estudiar las características litológicas y propiedades del subsuelo, se realizó una investigación por medio de la aplicación del método de Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y de prospección geofísica denominado Ensayo Eléctrico Vertical (SEV). Se obtuvieron de datos en campo para conocer las condiciones de los suelos. Se realizaron estudios complementarios tanto en el campo como en el laboratorio para obtener un mejor diagnóstico del área.

Los métodos utilizados en campo para la determinación de las condiciones de cimentación fueron los siguientes.

1.1.1. Ensayos de Penetración Estándar (SPT)

El SPT (Standard Penetration Test) es uno de los ensayos más normalizados mundialmente, consiste en la hincada de un aparato cilíndrico para la toma de muestras.

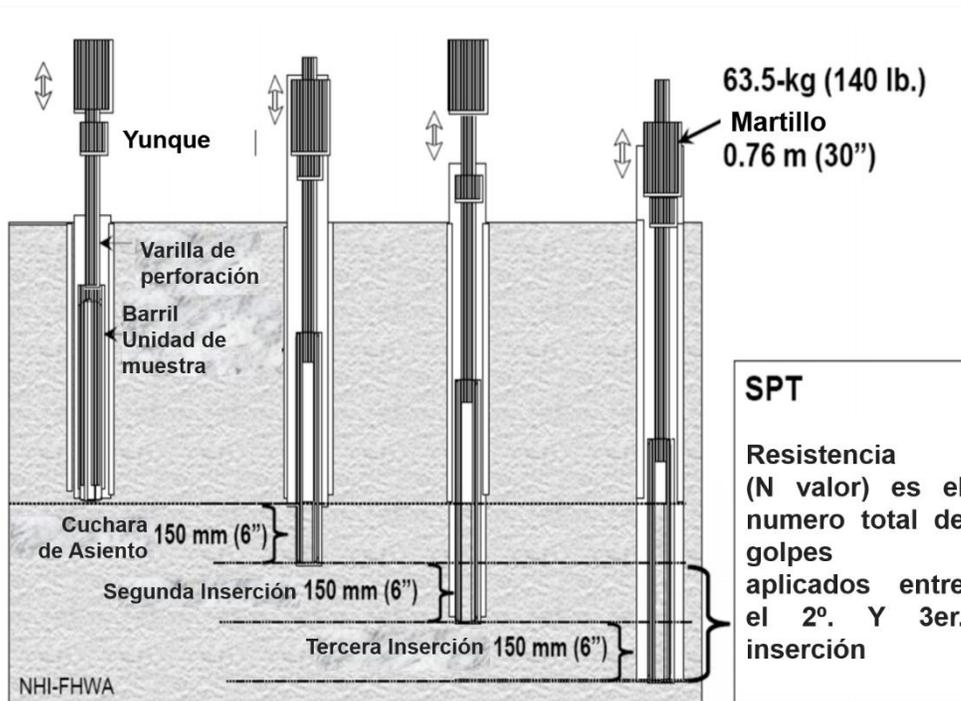
El ensayo proporciona, fundamentalmente, el número de golpes, identificado como "N", necesario para conseguir hincar en determinadas cotas de profundidad, un tubo con toma muestras acoplado en la punta, a un total de profundidad de 30 cm, (1 pie). La maza que golpea pesa 63.5 kg. (140 lb.) el cual se cae a una altura normada de 76 cm. (30 pulgadas) (González, 2001).

- Existen dos posibles resultados

NSPT. No es más que un número entero adimensional equivalente a la cantidad de golpes necesarios para que el saca-muestras penetre en el suelo 30 centímetros.

Rechazo: al golpearse más de 50 veces para penetrar 15 cm, más de 100 golpes o 10 golpes sin ningún avance, se asume como NN/pp, donde pp es la penetración total en centímetros para NN golpes.

Figura 1. Adaptado de la descripción de los resultados de acuerdo con el número N de golpes recibidos en el saca-muestras



Fuente: Davis (2001). *Geotechnical Investigations*.

1.1.2. Procedimiento de ensayo SPT

El procedimiento desarrollado en el muestreo mediante SPT fue el siguiente.

El muestreador se enrosca al extremo de la tubería de perforación para descenderlo por el tubo hasta el estrato de arena sobre el cual se realizará la prueba. El fondo del pozo debe limpiarse cuidadosamente para evitar que se altere el material.

Se alinea el martillo por la tubería de perforación, elevándolo con un cable de acción manual o mecánica, el cual se encuentra suspendido de un trípode con polea.

Debe marcarse en tres partes el extremo superior de la tubería de perforación. Cada parte marcada debe medir 15 cm para el control del avance del muestreador bajo el impacto del martillo.

El martillo golpea la parte superior de la tubería de perforación y se registra el número de golpes aplicado para cada uno de los segmentos de 15 cm. No se deben tomar en cuenta los golpes para el primer segmento puesto que es el de penetración inicial al terreno. Deben sumarse los golpes aplicados para que penetre el tubo en el segundo y tercer segmento. Así se obtiene el valor de "N".

Se sustrae el mostrador y se abre para verificar su contenido; debe registrarse la longitud de la muestra sustraída, su peso y anotar las características, color, uniformidad, entre otros (Collazos, González, Ante, Bravo, y Concha , 2006).

1.1.3. Correcciones

Muchas veces, los ensayos tienen variantes por lo que de acuerdo con los materiales que se muestrean y el tipo de equipo, deben aplicarse correcciones. Para el caso particular de este estudio, las arenas son muy finas y se encuentran situadas bajo el nivel freático, por lo que el valor de "N" es importante la corrección ya que no debe ser mayor que el de una arena seca, la baja permeabilidad impide que el agua emigre a través de los vacíos al producirse el impacto. El valor de N puede corregirse cuando la penetración sea mayor de 15 golpes en arenas finas y saturadas según la expresión:

$$N' = 15 + 1/2 (N - 15) \quad (1)$$

N': valor corregido del índice de penetración.

N: valor obtenido en el ensayo.

Según (Collazos, González, Ante, Bravo, y Concha, Ensayo de Penetración Standard SPT, 2006), las condiciones físicas del material analizado conducen a la aplicación de la teoría de Corrección por Confinamiento (Cn). Este factor ha sido identificado desde hace tiempo de acuerdo con Gibbs y Holtz, 1957, y se hace por medio del factor Cn de tal forma que:

$$N_{corr} = N_1 = C_n \times N \quad (2)$$

De acuerdo con Skempton,

$$C_n = 2/(1+R_s) \quad (3)$$

1.1.4. Correlaciones

La profundidad a la que se hace la prueba SPT influye en el resultado, debido al confinamiento a que se encuentra el suelo. De acuerdo con las condiciones de saturación en la zona, se debe corregir el valor de N, mediante la siguiente expresión.

$$N' = N * CN \quad (4)$$

$$CN = 0.77 * \log_{10} (20) / \sigma_o$$

Donde:

N' = Número de golpes corregido

N = Número de golpes registrado en el campo

CN = Factor de corrección

σ_o = presión vertical efectiva a la profundidad de la prueba

Esta ecuación es válida para

$$\sigma_o > 2.5 \text{ T/m}^2$$

Para obtener la compacidad relativa y el ángulo de fricción interna se usan las siguientes tablas.

Tabla I. **Correlación en suelos no cohesivos entre D_r , compacidad y N**

Compacidad	Densidad Relativa (D_r)	N (SPT)
Muy Suelto	< 0.15	< 4
Suelto	0.13 – 0.35	4 – 10
Medianamente duro	0.35 – 0.65	10 – 30
Denso (compacto)	0.65 – 0.85	30 – 50
Muy Denso	0.85 – 1.00	> 50

Fuente: Collazos, González, Ante, Bravo, y Concha (2006). *Ensayo de Penetración Standard. SPT.*

Tabla II. Propiedades comunes de los suelos no cohesivos

Material	Compacidad	Dr (%)	N(1)	Densidad Seca	Índice de Poros (e)	Ángulo de Fricción Interna
GW	Densa	75	90	2.21	0.22	40
	Medianamente densa	50	55	2.08	0.28	36
	suelta	25	<28	1.97	0.36	32
GP	Densa	75	70	2.04	0.33	38
	Medianamente densa	50	50	1.92	0.39	35
	suelta	25	<20	1.83	0.47	32
SW	Densa	75	65	1.89	0.43	37
	Medianamente densa	50	35	1.79	0.49	34
	suelta	25	<15	1.70	0.57	30
SP	Densa	75	50	1.76	0.52	36
	Medianamente densa	50	30	1.67	0.60	33
	suelta	25	<10	1.59	0.65	29
SM	Densa	75	45	1.65	0.62	35
	Medianamente densa	50	25	1.55	0.74	32
	suelta	25	<8	1.49	0.80	29
ML	Densa	75	35	1.49	0.80	33
	Medianamente densa	50	20	1.41	0.90	31
	suelta	25	<4	1.35	1.0000	27

Fuente: Collazos, González, Ante, Bravo, y Concha (2006), *Ensayo de Penetración Standard SPT*.

1.2 Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)

El Sondeo Eléctrico Vertical es una herramienta de estudios geofísicos ampliamente utilizada por su sencillez y la economía del equipo necesario para desarrollarlo. Su objetivo es la delimitación de las capas del subsuelo que se encuentran en el área donde se construirá la cimentación del puente, determinando espesores y resistividades, identificando el tipo de material que compone cada capa de acuerdo con su resistividad, para establecer el método de cimentación y su profundidad.

1.2.1 Resistividad del suelo

Es la resistencia específica del terreno, no es más que la capacidad de conducir electricidad.

La resistividad del terreno se mide, fundamentalmente para determinar la profundidad y espesor de las rocas en estudios geofísicos, en este caso, nos ayudara a determinar las características del material y las dimensiones del sistema de cimentación (Orellana y Mooney, 1996).

1.2.2 Resistividad de la tierra

La resistividad de la tierra en su conjunto puede variar entre $20W \times m$. hasta $20,000 W \times m$. dependiendo de las características propias del terreno. Debido a esto, las mediciones de la resistividad del terreno se realizan mediante la utilización del telurómetro, un instrumento diseñado especialmente para tal efecto. Este instrumento fue desarrollado, en el año 1,915 por el doctor alemán, Frank Wenner (Orellana y Mooney, 1996).

1.2.3 Equipo utilizado y procedimiento en campo

El equipo está integrado por una fuente de poder, voltímetro, un amperímetro, cuatro electrodos y cables conductores.

1.3 Metodología

El procedimiento utilizado es el de SEV con la disposición del tipo Schlumberger. Consiste en la introducción de corriente eléctrica continua en el terreno. Esta deriva de una fuente artificial, a través de un par de electrodos de hierro (AB), el circuito se completa con un miliamperímetro que mide el valor de la corriente, mediante otro par de electrodos de cobre o impolarizables (MN) paralelos con AB. Se mide la diferencia de potencial eléctrico entre ambos, la distancia de separación de los electrodos MN, debe ser mínima respecto a la separación de los electrodos de corriente (AB), de tal forma que la relación voltaje/separación de los electrodos se pueda aproximar a un gradiente del potencial en el punto medio del arreglo de electrodos (Auge, 2008).

El perfil eléctrico PE, se fundamenta en hacer circular una corriente eléctrica en el suelo que se analizará. Esta corriente se inyecta por medio de dos electrodos (A y B) y el potencial causado por ella se mide usando otros dos electrodos (M y N), a una distancia de los primeros. Con estos dos parámetros, se calcula la resistividad del material, en función de la separación de los electrodos de corriente y los de medición de potencial, en el caso particular de la zona estudiada. Se utilizaron varios perfiles sobrepuestos para dar mayor riqueza a los datos de campo, uno con la abertura de electrodos de corriente $AB/2 = 10$ metros para cubrir la capa superficial y otro $AB/2 = 200$ metros para analizar la capa geológica más profunda.

A partir de los valores obtenidos de corriente, de potencial eléctrico y del factor geométrico para cada colocación de electrodos se obtuvo la respuesta de resistividad aparente, que varía al aumentar la distancia entre electrodos (AB) y va aumentando la profundidad de exploración. Por ello, en cada sitio de sondeo se obtiene una curva de resistividad aparente, según la distancia media entre electrodo de corriente (AB/2).

La interpretación de las curvas se desarrolló a través de la inversión de los valores experimentales de resistividad aparente, encontrando modelos de resistividad eléctrica unidimensionales o sea unidades horizontalmente estratificadas (Auge, 2008).

Las mediciones de voltaje se registran con un telurómetro tipo industrial con data-logger. De esta forma se monitorean, constantemente los registros, estudiar el error y hacer una evaluación cuidadosa del mismo, en las aberturas más grandes donde las mediciones son aún más críticas (Orellana y Mooney, 1996).

1.4 Ensayos de laboratorio

Se describen los distintos ensayos de laboratorio según las normas que rigen cada uno de ellos.

1.4.1 Clasificación de los suelos

Pueden clasificarse siguiendo diversidad de sistemas, según se examinen, pero debe *considerarse* desde el punto de vista geológico. (Graux, 1975). En el caso particular, se tiene la presencia de suelos sueltos, los cuales requieren de los ensayos de laboratorio siguientes:

1.4.2 Límites de consistencia

Para conocer la plasticidad de un suelo se hace uso de los límites de Atterberg, los cuales separa en tres los estados de consistencia de los suelos coherentes.

Los límites en que se dividen son: Límite Líquido (L.L.), Límite Plástico (L.P.) y Límite de Contracción (L.C.) y mediante ellos se puede dar una idea del tipo de suelo en estudio. Los límites de consistencia se determinan utilizando suelo que atraviese la malla No. 40. La diferencia entre los valores del límite líquido (L.L.) y del límite plástico (L.P.) define el Índice Plástico (I.P.) del suelo, pero el índice plástico depende generalmente de la cantidad de arcilla (Crezpo, 2004).

Cuando no puede determinarse el límite plástico, se dice que es No Plástico (N.P.), y en este caso el índice plástico se dice que es igual cero. Cuando el suelo tiene un Índice Plástico igual a cero el suelo es no plástico; cuando el índice plástico es menor de 7, el suelo tiende a tener baja plasticidad, cuando el índice plástico está en el intervalo de 7 y 17 el suelo es medianamente plástico y cuando el suelo tiene un índice plástico mayor de 17 es altamente plástico (Universidad Bicentennial, 2019).

1.4.3 Ensayo de Casagrande para determinar la plasticidad

El ensayo tiene como finalidad la determinación de la plasticidad de un suelo, se rige por las normas ASTM D-4318, la realización del ensayo permite la clasificación del suelo desde el punto de vista de su plasticidad, es decir, su comportamiento debido a la cantidad de arcilla que contiene.

La muestra sustraída de material para proceder al ensayo es de 2,5 kg (5.5 lb.), se tomó en cuenta que la muestra, en la que se ha hecho el ensayo, contiene variaciones entre suelos tanto en el color y la tipología del material, se tendrá que proceder a una nueva determinación del límite líquido de cada uno.

La fórmula general desarrollada como resultado del estudio fue:

$$W_L = \omega_h * (N/25)^{\tan\beta} \quad (5)$$

(Crezpo Villalaz, 2004)

Donde:

W_L = Límite del suelo.

$\tan \beta$ = pendiente de la curva de flujo en escala doble logarítmica.

ω_h = humedad correspondiente al número de golpes N obtenido en la determinación de un punto mediante la cuchara de Casagrande.

Esta curva de flujo se transforma en una recta (Crezpo, 2004).

Puede usarse si el número de golpes N utilizado en la fórmula estaba comprendido entre 15 y 40 golpes.

De tal forma que se utiliza para el desarrollo del límite líquido en el material estudiado y sustraído de la zona del zanjón el Chile, con la siguiente formula:

$$\text{LÍMITE LÍQUIDO} = W_{(20-30)} (N/25)^{0.121} \quad (6)$$

Los resultados de las muestras sustraídas se encuentran desarrolladas en el siguiente capítulo y se determina el límite líquido de acuerdo con la ecuación 6 (Universidad Bicentenario, 2019).

1.4.4 Granulometría

Es la medición y graduación que se desarrolla en los granos que conforman un suelo, con fines de análisis, su origen, sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la cantidad de los granos correspondientes a cada uno de los tamaños ordenados por una escala granulométrica, de forma cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas del suelo (Crezpo, 2004).

Se representa gráficamente, en un papel denominado "log-normal" o semilogarítmico por tener en la horizontal una escala logarítmica, y en la vertical una escala natural, esto de acuerdo con las normas ASTM D-2216.

1.5 Licuefacción

Se describe las condiciones que deben cumplirse para considerar la zona propensa a sufrir licuefacción.

1.5.1 Condiciones que propician la licuefacción

Existen condiciones especiales que propician licuefacción. En el caso del diseño de sistemas de cimentación, se analiza la existencia de las siguientes propiedades mecánicas de los suelos que determinara dichas condiciones.

Tipos de suelos. Los suelos formados por la precipitación de partículas en zonas planas inundadas por ríos, origina suelos licuables, los limos arenosos o arenas limosas.

Granulometría. La presencia de arenas o limos mal graduados y con caras redondeadas. Estas características reducen fricción y las partículas de igual

tamaño permiten la formación de vacíos que reducen la densidad y resistencia del suelo.

Densidad y profundidad. Los suelos con baja o nula cohesión muy sueltos (Densidad relativa $D_r < 35 \%$) suelen contraerse cuando son sometidos a vibraciones esto permite que se desarrolle dispersión y licuefacción, los suelos con alta densidad ($D_r > 65 \%$) no son licuables pues se dilatan al vibrar, los suelos sin confinamiento son fáciles de licuar y como la presión de confinamiento se incrementa con la profundidad por lo tanto los suelos superficiales son más fáciles de licuar que los profundos.

Baja plasticidad: (Bray y Sancio, 2006) se determinó que los suelos sueltos saturados de baja plasticidad (Índice de Plasticidad $IP < 12 \%$) son susceptibles de licuefacción y que los suelos con $IP > 18 \%$ no lo son, aunque tengan esfuerzos de confinamiento muy bajos.

Esto indica que las arenas (SP, SP-SM o SM) y limos (ML) pueden ser potencialmente licuables de acuerdo con su grado de plasticidad y humedad.

Los suelos geológicamente susceptibles a licuefacción son los depósitos de suelos que se vuelven susceptibles a licuefacción y son los conformados por materiales uniformes granulares sueltos tales como depósitos fluviales, coluviales y eólicos saturados.

La licuefacción se ha detectado en abanicos aluviales, playas y otros depósitos de semigravedad. La susceptibilidad a la licuefacción de depósitos antiguos es por lo general menor que la manifestada en los depósitos nuevos. Suelos del holoceno son más susceptibles que los suelos del Pleistoceno.

Según las condiciones hidrológicas, la altura del nivel freático genera presión de poros entre los vacíos existentes en las partículas del material, se incrementa por efecto de la vibración producida por un sismo. De tal manera, la ubicación del nivel freático cuando se manifieste un evento sísmico en un depósito arenoso será de mucha importancia porque definirá la condición de saturación, por lo tanto, influirá también en el esfuerzo efectivo.

1.6 Determinación de la cimentación

Se desarrollan las consideraciones para determinar el tipo de cimentación de acuerdo a las condiciones geotécnicas.

1.6.1 Consideraciones y características de los cimientos

Las consideraciones estructurales de los cimientos en suelos susceptibles a licuefacción se basan en la respuesta sísmica, la cual, al incrementar la presión del agua y en los efectos en la reducción de la rigidez y resistencia del suelo, según los resultados obtenidos de los análisis de los ensayos de campo mediante SPT y prospección geofísica en este caso el SEV.

Para la consideración del tipo de cimentación se debe tomar en cuenta lo siguiente:

Velocidad de las ondas sísmicas.

Condiciones de Licuefacción.

Resultados de Estudios geofísicos locales.

Columnas de grava.

Pilotes de cimentación.

1.6.2 Columnas de grava

Se utilizan en casos de cargas repartidas o cargas puntuales de escasa cantidad, construida sobre estratos de suelo blando de espesor medio, estas permiten:

- Aumento de la capacidad portante
- Reducción de asentamientos, totales y diferenciales
- Aceleración de la consolidación en suelos cohesivos

Reducción del potencial de licuefacción sobre todo en suelos granulares (Alonso, 2014).

La mayor capacidad portante provoca que las columnas de grava soporten una parte importante de la carga aplicada y que el proceso de consolidación sea distinto. El tipo de suelo por analizar, de acuerdo con el evidente es del tipo D, en suelos arenosos o pantanosos.

Figura 2. **Gráfica de relación granulométrica y método de estabilización**



Fuente: Collazos, González, Ante, Bravo, y Concha (2006). *Ensayo de Penetración Standard SPT*

El uso de las columnas de grava consiste en la perforación de un pozo sin revestimiento en el cual una vez alcanzada la cota de perforación máxima, se vierte grava en capas, compactándola con un martillo hidráulico y yunque. Este sistema alcanza altos valores de consolidación de la grava, pero requiere de la perforación estable sin encamisado, lo que no es posible en terrenos licuables (arenas y limos bajo el nivel freático) (Guzmán G y Fernández, 2018).

1.6.3 Pilotes de cimentación

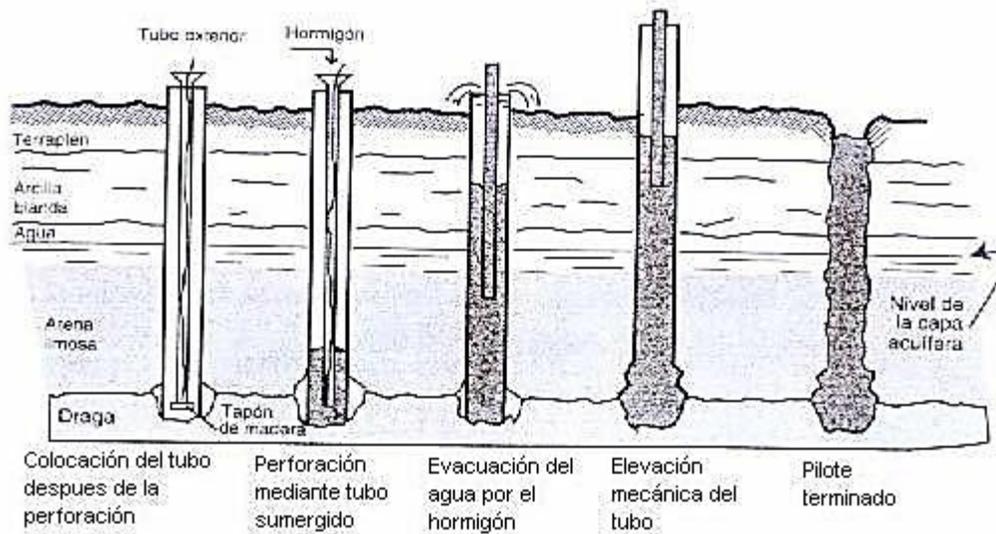
Un pilote es un miembro estructural subterráneo que cumple la función de una zapata, es decir, transmitir la carga a un estrato capaz de soportarlo, sin peligro de que falle o que sufra un asentamiento excesivo, regularmente, se utilizan para apoyo de la superestructura de los puentes.

Los métodos para construir el pilote se dividen en dos grupos.

Excavación: en él se excava el agujero hasta el nivel del desplante de la cimentación y se construye el pilote dentro del mismo, a este tipo de excavación se le denomina ademes o entibadas. Estos se desarrollan con forros metálicos cilíndricos o tableros de tablestaca, en algunas ocasiones, se estabilizan las paredes del agujero por medio de algún líquido espeso como la bentonita en lugar de ademe, en este caso particular.

En el otro método se pueden utilizar cajones que se hincan hasta su posición y constituyen la parte exterior de la pila de cimentación, en el borde inferior del cajón se provee una cuchilla. El material que se encuentra dentro del cajón se extrae por dragado a través del extremo superior, en el extremo inferior mediante aire comprimido se expulsa el material y, posteriormente, sustraerse con bomba de achique. Este método es el más apropiado cuando en las condiciones inestables de los estratos existe presencia de agua y nula plasticidad.

Figura 3. **Método de cajones para pila de cimentación en zonas licuables**

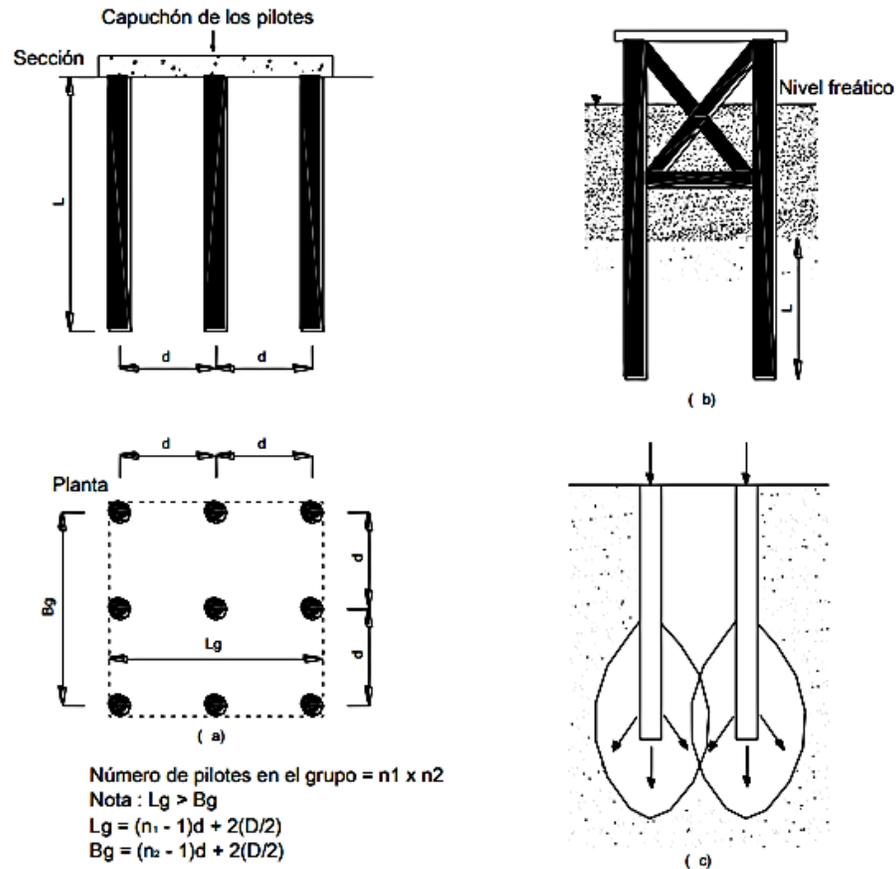


Fuente: Peck, Hanson, y Thornburn (1995). *Ingeniería de Cimentaciones*.

1.6.4 Factor de seguridad en pilotes excavados

De acuerdo con la confiabilidad con la que se determine la capacidad última del suelo y el adecuado control que se tenga durante la construcción de la pila. Se puede estimar un valor comprendido entre 2 y 3, si la confiabilidad debe ser alta y un factor comprendido entre 3 y 5 si la confiabilidad debe ser baja.

Figura 4. Grupo de pilotes



Fuente: Das (2010). *Ingeniería de Cimentaciones*.

En oportunidades los pilotes se colocan uno cerca de otro y se espera que los esfuerzos transmitidos por los pilotes al suelo se traslapen, como se observa en la ilustración 4 (c), reduciendo la capacidad de carga de los pilotes. Estos deben espaciarse de tal forma que la capacidad de carga del conjunto sea igual o mayor que la suma de la capacidad de carga de los pilotes individuales. El espaciamiento, d , mínimo a ejes es de 2.5 veces el diámetro del pilote (D) y bajo condiciones regulares puede ser de 3 a 3.5 D .

1.6.5 Método de determinación de pila de cimentación

La condición de licuefacción, según la profundidad, determina el método de diseño. En este caso, se busca la capacidad última de carga de la pila de cimentación considerando la poca fricción en el fuste de este.

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (7)$$

Q_u = carga última

Q_p = Capacidad última de carga de la base

Q_s = resistencia por fricción (superficial) (Das, 2010).

Para pilas en materiales licuables, arena en este caso con nula plasticidad, con lo cual puede obtenerse Q_p de la siguiente expresión:

$$Q_{p(\text{neto})} = A_p (q'(N_q - 1) * F_{qs} * F_{qd} * F_{qc}) \quad (8)$$

Q_p = Capacidad última de carga en la base

$$A_p = \text{área de la base} = (\pi/4) * D_b^2 \quad (9)$$

q' = Esfuerzo vertical efectivo en la base de la pila

N_q = Factor de capacidad de carga

F_{qs} , F_{qd} , F_{qc} = Factores de forma

Los términos E_s , μ_s y Δ se estiman con la relación (Chen y Kulhawy, 1994)

$$m = \frac{E_s}{P_a} \quad (10)$$

P_a = presión atmosférica (100 kN/m² o 2,000 lb/pie²)

$$m = \begin{cases} 100 \text{ a } 200 \text{ (suelo suelto)} \\ 200 \text{ a } 500 \text{ (suelo medio denso)} \\ 500 \text{ a } 1,000 \text{ (suelo denso)} \end{cases}$$

$$\mu_s = 0.1 * 0.3 \frac{(\phi' - 25)}{20}, \text{ para } 25^\circ \leq \phi' \leq 45^\circ \quad (11)$$

Y la fórmula

$$\Delta = 0.005 \frac{(1 - \phi' - 0.25)}{20} \frac{(q')}{Pa} \quad (12)$$

$$Q_p(\text{neta}) = A_p q' (\omega Nq^* - 1) \quad (13)$$

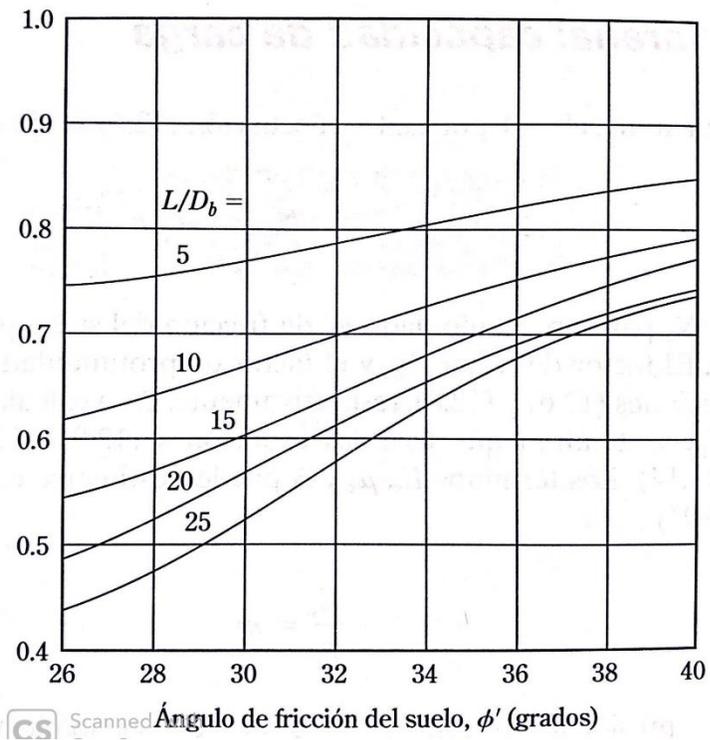
$$Nq^* = \text{Factor de capacidad de carga} = 0.21e^{0.17 \phi'} \quad (14)$$

$$\omega = \text{factor de corrección} = f(L/D_b)$$

La resistencia a la fricción bajo la carga última, Q_s , desarrollada en una pila puede calcularse con la relación:

$$Q_{adm} = \frac{Q_p(\text{neta}) + Q_s}{FS} \quad (15)$$

Figura 5. Gráfica variación de ω con ϕ y L/D_b



Fuente: Das (2010). *Ingeniería de Cimentaciones*.

2. ÁREA DE INVESTIGACIÓN, ZANJÓN EL CHILE

2.1 Descripción del área de investigación

La zona de investigación ayuda a conocer condiciones generales para conducir de forma más objetiva la investigación.

2.1.1 Localización

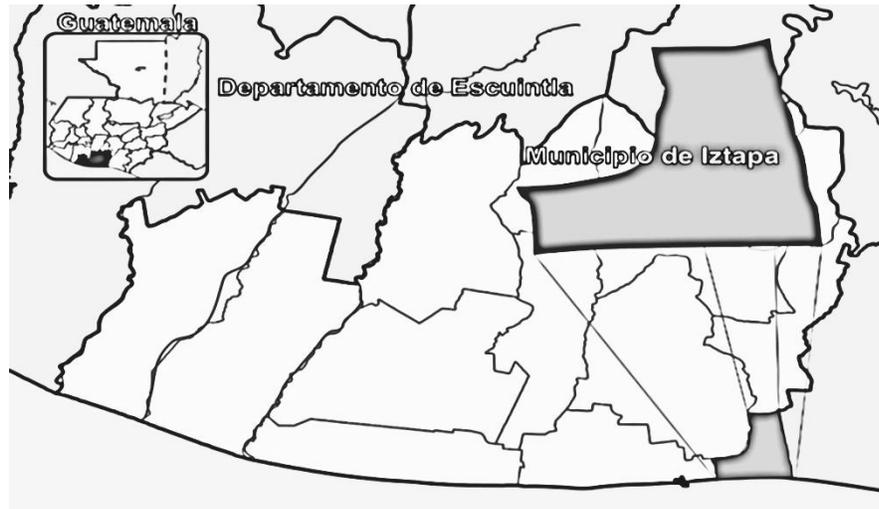
La investigación se desarrolla en el municipio de Iztapa, Escuintla, consecuencia de la necesidad de habilitar la carretera principal que atraviesa dicho municipio, allí debe realizarse estudios geotécnicos para la planificación del puente.

Tabla III. **Resumen de datos correspondientes a la estación La Giralda**

Las coordenadas de la ubicación del área del estudio son las siguiente			
Coordenadas geográficas	Grados	Minutos	Segundos
Latitud N	13°	56'	37.64"
Longitud W	90°	41'	15.12"
coordenadas UTM			
Latitud	1542725 N		
Longitud	0749846 E		

Fuente: Rivera (2018). *Resumen Meteorológico 2017*.

Figura 6. **Mapa de localización del municipio de Iztapa**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 7. **Mapa de la carretera que une el casco urbano de Iztapa con el parcelamiento el Wiscoyol**



Fuente: elaboración propia, empleando Map.

Figura 8. **Mapa de área de estudio en la unión de los tramos**



Fuente: elaboración propia, empleando Map.

Figura 9. **Vista del zanjón El Chile desde el área sur de la carretera nueva**



Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Carretera asfaltada y terracería que unirá el puente nuevo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Carretera de terracería que unirá el puente nuevo**



Fuente: elaboración propia.

2.2 Geología local

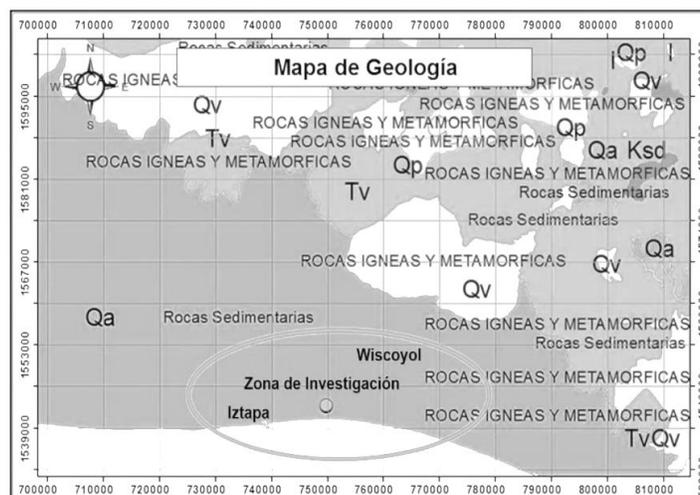
Es indispensable el conocimiento de la geología, de acá derivan las condiciones para el análisis sísmico y condiciones para el diseño.

2.2.1 Características geológicas

La zona se encuentra en un terreno con las características de los aluviones cuaternarios (Qa).

Aluviones cuaternarios, la mayor concentración de estos se encuentran en la parte sur del país; a lo largo de toda la franja costera del Pacífico, en los departamentos de San Marcos, Retalhuleu, Mazatenango, Escuintla, Santa Rosa y Jutiapa. Se desarrolló el estudio en el Departamento de Escuintla, en el municipio de Iztapa en la zona que corresponde al Zanjón El Chile, que comunica a las aldeas Atitán y el Wiscoyol.

Figura 12. Mapa de geología zona de Iztapa



Fuente: PROVIDA (2018). *Geotechnical Engineering*.

2.2.2 Zona sísmica

Al sur de Guatemala, en el Océano Pacífico, se encuentra el límite convergente entre las placas de Cocos y del Caribe. La primera está en subducción bajo la segunda a lo largo de la fosa Mesoamericana y cuya evidencia es el arco volcánico del país y una actividad sísmica profunda (> 30 km). (Geofísicos, 2016).

Desde el 21 de mayo del 2015, frente a las costas de Guatemala, hasta el 27 de octubre del 2019 se ha tenido un registro de 501 sismos sensibles que oscilan en el rango de los 3.4 a 6.8 grados en la escala de Richter. Los sismos han sido sensibles y documentados de acuerdo con la IRIS (del inglés Incorporated Research Institutions for Seismology). (Seismology, 2019).

Dentro del marco tectónico local, se han identificado en el territorio de Guatemala, estructuras geológicas que indican fractura en la corteza, llamadas fallas locales. Estas fallas poseen una menor extensión de área comparado con las grandes zonas de los límites entre placas tectónicas, que se mencionaron anteriormente. Algunas fallas locales identificadas en Guatemala son: la de Jalpatagua, la de Santa Catarina Pinula y la de Mixco; también están los graben de Ipala y de Guatemala. (Geofísicos, 2016).

El área se encuentra en la zona de subducción del pacífico (figura 13), en ella se localizan fallas y la más cercana se ubica en el lado este a 36.10 kilómetros de distancia. La falla de Jalpatagua, atraviesa la falla del Motagua que causó el terremoto en el año de 1,976. Esta falla se encuentra activa y ocasionó el terremoto ocurrido en El Salvador en enero del año 2,002, muy cerca la zona de estudio como se muestra en la figura 14.

Debido a las condiciones geológicas y sísmicas de la zona, se entiende que la zona de investigación, el Zanjón El Chile en el municipio de Iztapa del departamento de Escuintla, se encuentra bajo vulnerabilidad sísmica debido a la zona de subducción y a la proximidad a la falla de Jalpatagua.

Figura 13. **Mapa de geología zona de Iztapa**



Fuente: Geofísicos (2016). *Propuesta de zonificación sismogenética para la zona de subducción y el arco volcánico de Guatemala.*

Figura 14. Mapa cercanía de la zona de falla de Jalpatagua



Fuente: Prensa Libre. (2016). *Sismos en la zona del pacifico.*

2.3 Origen de los suelos

El origen debe determinarse para establecer la composición estratigráfica y las posibilidades de elección del equipo apropiado de sustracción de muestras.

2.3.1 Geología de la zona del Pacífico de Guatemala

El perfil geotécnico de la zona costera del Pacífico de Guatemala es identificado como una zona de cuenca antearco. La fuente de sedimentos de la planicie costera es la cadena volcánica y los afloramientos que cortan los ríos en el paso hacia el mar. En el mayor o menor aporte de sedimentos de los ríos influye la actividad volcánica y la alternancia entre la época seca y lluviosa.

Los ríos de la vertiente del pacífico arrastran material y fragmentos de roca volcánica, principalmente, lavas andesíticas, hasta la zona litoral y generando deltas y barras de arena (Chupina, 2015).

2.3.2 Planicie aluvial costera ríos Madre Vieja y María Linda

Cubren la zona de los departamentos de Escuintla y Santa Rosa, su relieve va de plano a ondulado y posee alturas desde el nivel del mar hasta los 500 m. El drenaje superficial corresponde a las planicies aluviales que son del tipo meándrico y trenzado. En estos abanicos aluviales existen bloques de lava, materiales laháricos y fluviales, también arenas finas compuestas de andesita y basalto del período cuaternario. (Alvarado Cabrera y Herrera Ibáñez, 2001)

La figura 15, evidencia el comportamiento de la fisiografía paralela a la línea de costa, las cuales principian con un sistema de playa, luego, una cresta dunar, a continuación, la primera terraza paleodunar que da lugar a una primera

depresión y después el lecho del canal de Chiquimulilla. A continuación, se encuentra la segunda terraza paleodunar que da paso a la planicie costera.

Figura 15. **Ortofoto del tramo de Iztapa a Conacaste**



Fuente: CEMA (2007). *Valoración económica y ordenamiento natural del modelado del complejo humedales marino-costero comprendidos entre el municipio de Iztapa, Escuintla y la aldea la Candelaria, Taxisco, Santa Rosa con fines de aprovechamiento sustentable.*

2.3.3 Tipos de suelos en el área de investigación

Se ha obtenido, mediante estudios anteriores, información de los materiales que conforman los depósitos, en el proyecto de perforación profunda de mar desarrollada en las costas del municipio de San José, que son las zonas más cercanas con investigación, el pozo costa afuera Numero 496, perforado a 22 km de la costa muestra, esencialmente, dos tipos de sedimentos: lodo arenoso, guijarroso, lodolita y lodo diatomáceo (Chupina, 2015).

2.4 Hidrología de Iztapa

Las condiciones hidrológicas de son especiales dada su ubicación, se debe conocer las condiciones particulares para establecer el aporte del mismo en las posibles condiciones de licuefacción en la zona de investigación.

2.4.1 Clima y factores meteorológicos

- **Clima**

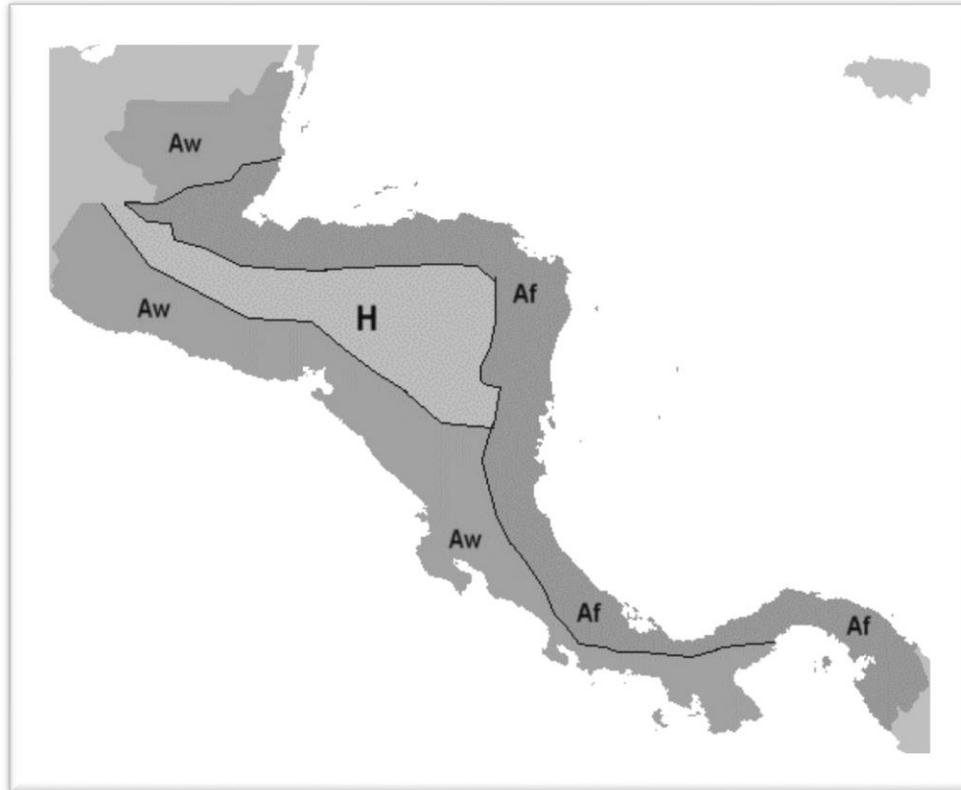
Iztapa tiene un clima tropical, los veranos son mucho más lluviosos que los inviernos. La clasificación del clima de Köppen-Geiger es Aw, tropical de sabana o clima tropical húmedo-seco. La temperatura media anual es 27.3 °C en Iztapa.

Tabla IV. **Cuadro de clasificación Köppen-Geiger**

Köppen-Geiger cuadro de clasificación	
Fórmula de Köppen	Definición
Af	Ecuatorial:
	Se da en las zonas de calmas ecuatoriales, entre 5° S y 10° N. La temperatura todos los meses está entre 20 y 27°C. La amplitud térmica anual es inferior a los 3°. La humedad relativa es muy alta. Más de 2000 mm anuales, con un máximo en los equinoccios y un mínimo en los solsticios.
Aw	Tropical:
	Se da entre la zona ecuatorial y los desiertos cálidos (entre 10 y 25° de latitud Norte y Sur). Estación seca invernal que aumenta a medida que nos alejamos del Ecuador. Precipitación mínima superior a 100 mm.
Am	Monzónico.
	Se da en el sudeste asiático. Clima más húmedo del planeta, aunque tiene estación seca invernal. Contraste estacional muy fuerte. Verano cálido y húmedo e invierno seco. Precipitación mínima entre 60 y 100 mm.
BSh	Estepas Cálidas (semiárido)
	En los límites de los grandes desiertos cálidos. Sus precipitaciones son escasas e irregulares, en forma de chaparrones. Las temperaturas son elevadas durante todo el año. Gran amplitud térmica diaria.
BSk	Estepas frías (semiáridos)
	En el interior de los continentes más grandes. Sus precipitaciones son muy escasas e irregulares, en forma de chaparrones. Las temperaturas similares a las continentales. Inviernos fríos y fuerte amplitud térmica anual.
BWh	Desiertos cálidos (árido)
	Desiertos sobre áreas interiores entre los 15° y los 35° de latitud. Aridez extrema. Precipitaciones escasas e irregulares, sequedad extrema del aire. Humedad relativa muy baja. Excepto en Europa, se presentan en todos los continentes.

Fuente: Petterssen (1976). *Introducción a la Meteorología*.

Figura 16. **Clasificación del clima zona del Pacífico de Centroamérica**



Fuente: Petterssen (1976). *Introducción a la Meteorología*.

La zona de vida predominante es el bosque húmedo subtropical con una precipitación de 1,300 a 1,400 mm. anuales y una humedad relativa del 75 %, la velocidad del viento es de 15 km/h este-sur (Geofísicos, 2016).

2.5 Características meteorológicas

La precipitación pluvial en el área del proyecto se muestra en tablas e ilustraciones donde puede analizarse el comportamiento meteorológico.

2.5.1 Precipitación pluvial

La medida promedio es de 1373.8 mm. anuales, de acuerdo con la estación meteorológica más cercana a la zona de investigación, a 15 km del puerto de Iztapa, la cual se ubica en el puerto de San José, Escuintla. (INSIVUMEH, 2016)

Estación: La Giralda

Código: SAA-LGR

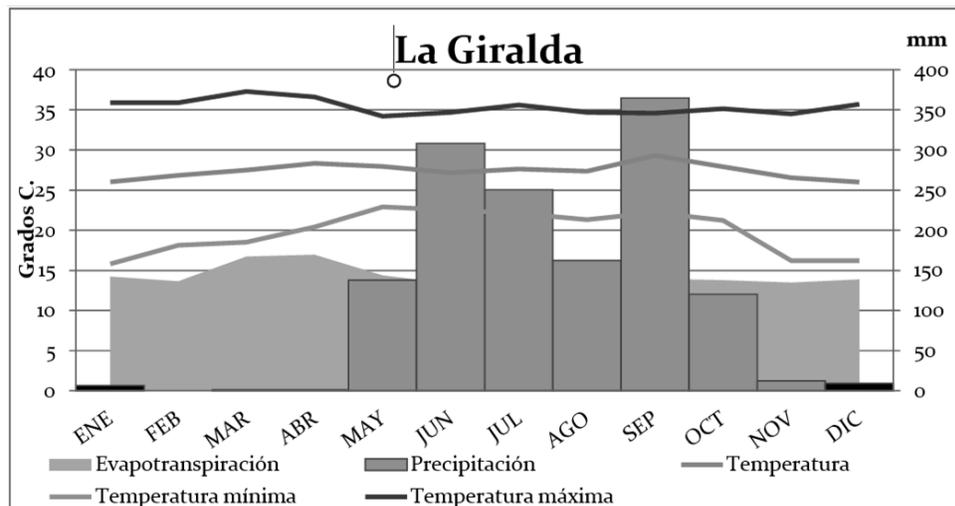
Ubicación: Puerto San José, Escuintla

Tabla V. **Resumen de datos correspondientes a la estación La Giralda**

Mes	Temperatura °C	Temperatura mínima °C	Temperatura máxima °C	Precipitación mm	Evapotranspiración mm
Enero	26.0	15.8	35.9	6.8	142.2
Febrero	26.9	18.1	35.9	0.0	136.5
Marzo	27.5	18.5	37.3	0.8	167.2
Abril	28.3	20.4	36.6	1.0	169.6
Mayo	28.0	22.9	34.2	137.8	143.7
Junio	27.2	22.5	34.7	308.0	133.5
Julio	27.6	22.1	35.6	250.4	157.8
Agosto	27.4	21.3	34.7	162.4	155.6
Septiembre	29.3	22.2	34.6	364.8	139.6
Octubre	27.9	21.2	35.2	120.2	137.7
Noviembre	26.6	16.2	34.5	12.4	134.7
Diciembre	26.0	16.2	35.7	9.2	138.7
Anual	27.4	19.8	35.4	1373.8	1756.8

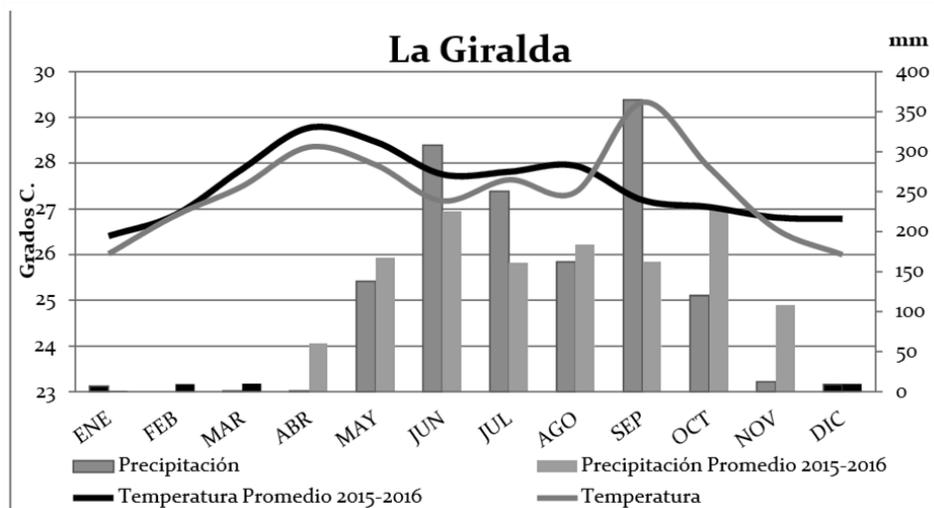
Fuente: Rivera (2018). *Resumen Meteorológico 2017*.

Figura 17. **Climograma correspondiente a la estación La Giralda**



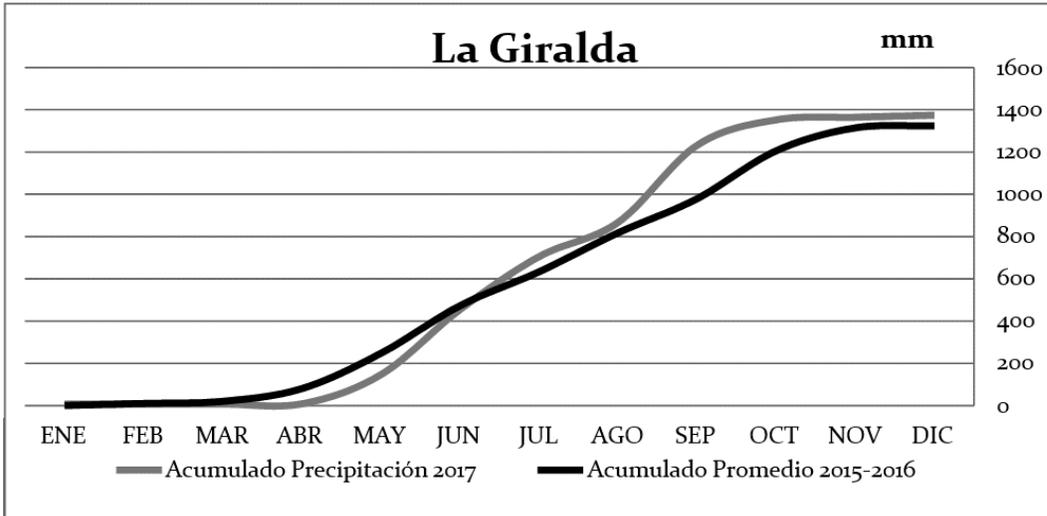
Fuente: Rivera (2018). *Resumen Meteorológico 2017.*

Figura 18. **Comparación del año 2017 respecto al promedio 2015 al 2016**



Fuente: Rivera (2018). *Resumen Meteorológico 2017.*

Figura 19. Comparación correspondiente al acumulado de lluvia del año 2017 respecto al promedio 2015 al 2016



Fuente: Rivera (2018). *Resumen Meteorológico 2017*.

2.6 Hidrogeología

El aporte de las corrientes superficiales explica las condiciones hidráulicas que inciden en la zona, además de la condición estratigráfica debido a los materiales sedimentarios que componen las zonas por donde transitan.

2.6.1 La cuenca del río María Linda

Se ubica en los departamentos de Sacatepéquez, Guatemala, Santa Rosa y Escuintla. En ella se encuentran las ciudades de Guatemala y Escuintla, los centros industriales y urbanos más importantes del país.

El perfil longitudinal del cauce determina, en gran medida, la velocidad de evacuación de caudal, así como el arrastre y la deposición de sedimentos. La cabecera de la cuenca del río María Linda se divide de manera natural en dos grandes subcuencas, que dan lugar al Michatoya y al Aguacapa.

El Michatoya presenta inclinaciones elevadas en el tramo inicial que se van suavizando hasta los 40 kilómetros, donde se encuentra el lago de Amatitlán. Aguas abajo del lago, el cauce presenta un gran desnivel hasta alcanzar la planicie del Pacífico. El Aguapaca presenta una inclinación constante hasta alcanzar también la llanura costera, donde se une al Michatoya (Gil, 2017).

Los dos afluentes principales de la cuenca del río María Linda son los ríos Michatoya y Aguacapa, al unirse llegan a formar este río en la planicie costera. Su topografía es montañosa en el norte, hasta el límite sur de Guatemala el cual está localizado en Palín y se convierte en una planicie costera al sur.

2.6.2 La microcuenca del Zanjón El Chile

El Zanjón El Chile ubicado en el municipio de Iztapa, Escuintla, se origina entre las aldeas El Magarín y Cabañas, de la unión del zanjón El Jagüey, contra corriente, corre de norte a sur, en un terreno sujeto a inundación el cual descarga en el canal El Magarín, poco antes de su afluencia en el canal de Chiquimulilla y al norte del caserío El Conacaste, su ubicación geográfica es: lat. 13°56'00", long. 90°42'20", long. Ubicado a 6 km del casco urbano de Iztapa (CEMA , 2007)

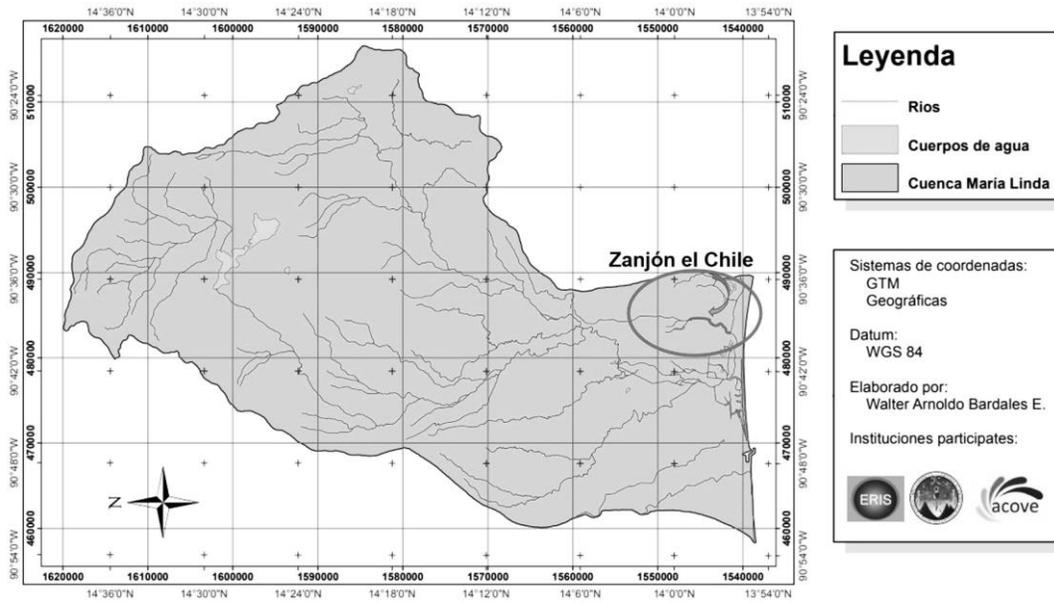
Área de la microcuenca: la microcuenca tiene un área de 17.7 km² =1,774 ha y su perímetro es de 16.9 kilómetros.

Figura 20. Área de la microcuenca del Zanjón el Chile



Fuente: PROVIDA (2018). *Geotechnical Engineering*.

Figura 21. Isoyetas cuenca del río María Linda



Fuente: PROVIDA (2018). *Geotechnical Engineering*.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1 Normativo para el análisis de los resultados

Los resultados de los estudios desarrollados se rigen por normativos que determinan las condiciones y especificaciones bajo las cuales se practicó cada uno de los ensayos y cálculo de resultados. (American Society for Testing and Materials, 2018).

- Normas AGIES NSE 2, capítulo 4 Aspectos Sísmicos. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica; Demandas estructurales y condiciones de sitio.
- Normas ASTM C 117–95. Método de ensayo normalizado para determinar la cantidad de material más fino que el tamiz de 75 μm (Nº 200) de los áridos minerales por el método de lavado.
- Normas ASTM D 854-02. Métodos de prueba estándar para Gravedad específica de sólidos del suelo por picnómetro y agua.
- Normas ASTM D 1586. Esta norma establece un método de ensayo para determinar indirectamente el grado de resistencia del suelo in situ.
- Normas ASTM D 4318-05. Métodos de ensayo para la determinación del límite líquido, límite plástico, y el índice de plasticidad de los suelos.

- Normas ASTM D 6066. Determinación de la resistencia a la penetración normada de arenas para evaluar el potencial de licuefacción. Se puede emplear para analizar arenas sueltas por debajo del nivel del agua freática para estudios de licuefacción, esta práctica provee información sobre métodos de perforación, aspectos variables entre equipos, correcciones de energía y normalización del conteo de los golpes.
- Normas ASTM D 6431-18. Guía estándar para usar el método de resistividad de corriente continua para la caracterización del sitio subsuperficial.

3.2 Sismicidad y nivel de protección de la zona de estudio

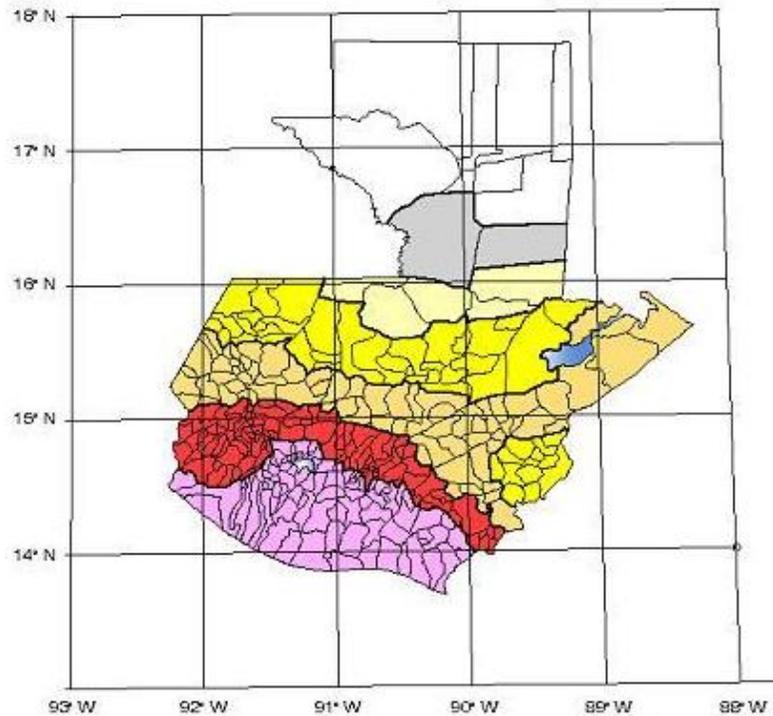
- Índice de sismicidad. El índice de sismicidad (I_0) es la medida relativa de la severidad esperada de un sismo en una zona incide en el nivel de protección sísmica que se utiliza para diseñar una edificación e incide en la selección del espectro sísmico de diseño (AGIES, 2010).
- Espectro sísmico de diseño. El espectro de diseño debe consistir en un grupo de curvas suavizadas o una serie de curvas rectas con una para cada nivel de amortiguamiento y debe ser representativo de movimientos del suelo registrados en el sitio durante sismos pasados, si no existen registros del lugar, entonces a sismos registrados en otros sitios bajo condiciones similares. Los factores que influyen en esta selección son: la magnitud del sismo, la distancia del sitio a la falla sísmica, el mecanismo de falla, la geología presente en la trayectoria del viaje de las ondas sísmicas y las condiciones locales del suelo en el sitio (Goytia Torrez y Villanueva Inca, 2001).

Tabla VI. Nivel mínimo de protección sísmica y probabilidad en el diseño según AGIES, NSE 2, Capítulo 4

Índice de sismicidad	Clase de obra			
	Esencial	Importante	Ordinaria	Utilitaria
lo = 5	E	E	D	C
lo = 4	E	D	D	C
lo = 3	D	C	C	B
lo = 2	C	B	B	A
Probabilidad de exceder un sismo de diseño	5 % en 50 años	5 % en 50 años	10 % en 50 años	No aplica
a) ver clasificación de obra en capítulo 3, norma NSE 1				
b) ver índice de sismicidad en Sección 4.2.1				
c) ver sección 4.3.4 para selección de espectro sísmico de diseño según probabilidad de excederlo.				
d) para ciertas obras que hayan sido clasificadas como "críticas" el ente estatal correspondiente puede considerar probabilidad de excedencia en 2 % en 50 años ($k_d=1.00$ en sección 4.3.4).				
e) "esencial" e "importante" tienen la misma probabilidad de excedencia se diferencia en el nivel de protección y en las deformaciones laterales permitidas.				

Fuente: AGIES (2010). *Demandas estructurales y condiciones de sitio.*

Figura 22. **Zonificación sísmica para la República de Guatemala**



Fuente: AGIES (2010). *Demandas estructurales y condiciones de sitio.*

Tabla VII. **Zonificación sísmica para la República de Guatemala**

	<i>Io</i>	<i>Scr</i>	<i>S1r</i>
ZONIFICACIÓN SÍSMICA REPÚBLICA DE GUATEMALA	2a	0.50 g.	0.20 g.
	2b	0.70 g.	0.27 g.
	3a	0.90 g.	0.35 g.
ÍNDICE DE SÍSMICIDAD (<i>Io</i>) Y PARÁMETROS DEL SÍSMO EXTREMO CON $P_e=2\%$ EN 50 AÑOS	3b	1.10 g.	0.43 g.
	4	1.30 g.	0.50 g.
	4	1.50 g.	0.55 g.
Scr y S1r EN EL BASAMENTO ROCOSO	4	1.65 g.	0.60 g.

Fuente: AGIES (2010). *Demandas estructurales y condiciones de sitio.*

3.3 Espectros de diseño AGIES 2010, zona de Iztapa, Escuintla

Ordenada espectral de período corto	$S_{cr} = 1.65 \text{ g}$
Ordenada espectral con período de 1 segundo	$S_{1r} = 0.60 \text{ g}$
Índice de sismicidad	$I_o = 4$
Clase de sitio	$C_s = E$
Tipo de fuente sísmica	FUENTE = C
Distancia horizontal cercana a la fuente sísmica	DIST = 10 Km
Tipo de sismo	SÍSMO = SEVERO
Factor de escala	$K_d = 0.8$
Factor genérico de reducción de respuesta sísmica	$R = 2$
Altura del edificio	$H_h = 1.4$
Sistema estructural, sistema voladizo	SE= E-5.1
Condición de rigidez de sistema estructural	
Sistemas estructurales E2, E3, E4 Y E5	“A”
Coeficiente de amplificación de deformación lateral	$C_d = 1.5$

Estos valores están determinados de acuerdo con las condiciones del área plasmadas en las tablas de diseño de AGIES NS2 (AGIES, 2010).

Ajuste por clase de sitio

Coeficiente de sitio: $F_a = 0.90$

Coeficiente de sitio: $F_v = 2.40$

Entonces:

$$S_{cs} = S_{cr} * F_a = 1.49 \text{ g} \quad (16)$$

$$S_{1s} = S_{1r} * F_v = 1.44 \text{ g} \quad (17)$$

Estos valores están determinados de acuerdo con las condiciones del área plasmadas en las tablas de diseño de AGIES NS2. (AGIES, 2010).

Tabla VIII. **Índice de sismicidad**

CLASE DE SITIO	ÍNDICE DE SISMICIDAD					COEFICIENTE DE SITIO F_a
	2a	2b	3a	3b	4	
A	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	COEFICIENTE DE SITIO F_a
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
C	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	
D	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0	
E	1.7	1.2	1.0	0.9	0.9	
F	Se requiere evaluación específica - Ver sección 4.4.1					

Fuente: AGIES (2010). *Demandas estructurales y condiciones de sitio.*

Tabla IX. Tipo de fuente sísmica

TIPO DE FUENTE	DESCRIPCIÓN	MÁXIMA MAGNITUD-MOMENTO	TASA DE CORRIMIENTO (mm por año)	TIPO DE FUENTE SÍSMICA
A	FALLAS GEOLÓGICAS CAPACES DE GENERAR EVENTOS DE GRAN MAGNITUD Y CON ALTA TASA DE SISMICIDAD (nota 1)	Mo \geq 7.0	TC \geq 5	
B	FALLAS GEOLÓGICAS QUE NO SON A o C	Mo \geq 7.0 Mo $<$ 7.0 Mo \geq 6.5	TC $<$ 5 TC $>$ 2 TC $<$ 2	
C	FALLAS GEOLÓGICAS INCAPACES DE GENERAR EVENTOS DE GRAN MAGNITUD Y QUE TIENEN BAJA TASA DE SISMICIDAD	Mo $<$ 6.5	TC $<$ 2	
NOTA 1: La zona de subducción de Guatemala no se considera por la distancia a la fuente				
NOTA 2: La magnitud Mo y el TC deben concurrir simultáneamente cuando se califique el tipo de fuente sísmica				

Fuente: AGIES (2010). *Demandas estructurales y condiciones de sitio.*

Tabla X. Factor Na para períodos cortos de vibración

TIPO DE FUENTE	DISTANCIA HORIZONTAL MÁS CERCANA A FUENTE SÍSMICA (nota 1)			FACTOR Na PARA PERÍODOS CORTOS DE VIBRACIÓN
	≤ 2 Km	5 Km	≥ 10 Km	
A	1.25	1.12	1.00	
B	1.12	1.00	1.00	
C	1.00	1.00	1.00	
NOTA 1: Tomar la distancia horizontal de la fuente sísmica sobre la superficie; no considerar las porciones del plano de falla cuya profundidad exceda 10 Km.				
NOTA 2: Utilizar el factor Na que mayor haya salido al cotejar todas las fuentes relevantes.				

Fuente: AGIES (2010). *Demandas estructurales y condiciones de sitio.*

Tabla XI. Factor Nv para períodos largos de vibración

TIPO DE FUENTE	DISTANCIA HORIZONTAL MÁS CERCANA A FUENTE SÍSMICA (nota 1)				FACTOR Nv PARA PERÍODOS LARGOS DE VIBRACION
	≤ 2 Km	5 Km	10 Km	≥ 15 Km	
A	1.40	1.20	1.10	1.00	
B	1.20	1.10	1.00	1.00	
C	1.00	1.00	1.00	1.00	
NOTA 1: Tomar la distancia horizontal de la fuente sísmica sobre la superficie; no considerar las porciones del plano de falla cuya profundidad exceda 10 Km.					
NOTA 2: Utilizar el factor Nv que mayor haya salido al cotejar todas las fuentes relevantes.					

Fuente: AGIES (2010). *Demandas estructurales y condiciones de sitio.*

Ajuste por intensidades sísmicas especiales

Coeficiente de sitio: $N_a = 1.00$

Coeficiente de sitio: $N_v = 1.00$

Entonces:

$$S_{cs} = S_{cr} * F_a * N_a = 1.49g \quad (18)$$

$$S_{1s} = S_{1r} * F_v * N_v = 1.44g \quad (19)$$

Estos valores están determinados de acuerdo con las condiciones del área plasmadas en las tablas de diseño de AGIES NS2 (AGIES, 2010).

Tabla XII. Factores de escala

FACTORES DE ESCALA			FACTORES DE ESCALA
TIPO DE SISMO	PROBABILIDAD	FACTOR Kd	
ORDINARIO	10 % DE SER EXCEDIDO EN 50 AÑOS	0.66	
SEVERO	05 % DE SER EXCEDIDO EN 50 AÑOS	0.80	
EXTREMO	02 % DE SER EXCEDIDO EN 50 AÑOS	1.00	
MÍNIMO	CONDICIÓN DE EXCEPCIÓN	0.55	

Fuente: AGIES (2010). *Demandas estructurales y condiciones de sitio.*

Espectro calibrado al nivel de diseño requerido:

$$Scd = Kd * Scs = 1.188 \text{ g} \quad (20)$$

$$S1d = Kd * S1s = 1.152 \text{ g} \quad (21)$$

Período de transición

$$Ts = S1d / Scd = 0.9697\text{s} \quad (22)$$

Aceleración máxima del suelo

$$AMSd = 0.40 * Scd = 0.4752 \text{ g} \quad (23)$$

Componente vertical del sismo de diseño

$$Svd = 0.15 * Scd = 0.1782 \text{ g} \quad (24)$$

Período empírico

$$T_a = K T * H_{hX} = 0.0631 \text{ s} \quad (25)$$

Período empírico máximo permitido

$$T_{a \text{ max}} = T_a * 1.40 = 0.0883 \text{ s} \quad (26)$$

$$T_{\text{Programa}} = 0.1490$$

$$K = 1.0000$$

Estos valores están determinados de acuerdo con las condiciones del área plasmadas en las tablas de diseño de AGIES NS2, Capítulo 4 (AGIES, 2010).

De acuerdo con las condiciones del área donde se desarrollará la construcción del puente, se ha categorizado la zona, según los valores establecidos por la AGIES. Las condiciones geotécnicas están directamente relacionadas con el comportamiento de la estructura por lo cual es necesario determinar el espectro de diseño, para establecer las condiciones del sistema de cimentación del puente.

El suelo se clasifica como clase E. Pueden incluirse en esta clasificación los sedimentos aluviales holocénicos no consolidados como las gravas, arenas, limos y arcillas, erosionados de los depósitos piroclásticos, los cuales forman lentes elongados de espesores hasta de 25 metros. (AGIES, 2010).

Tabla XIII. **Construcción de espectro de respuesta**

	CONSTRUCCIÓN DE ESPECTRO DE RESPUESTA		
	T (s)	S (T)	Cs
0	0	1.1880	0.5940
0.10	0.10	1.1880	0.5940
0.15	0.15	1.1880	0.5940
0.20	0.20	1.1880	0.5940
0.30	0.30	1.1880	0.5940
0.40	0.40	1.1880	0.5940
0.50	0.50	1.1880	0.5940
0.09	0.60	1.1880	0.5940
0.70	0.70	1.1880	0.5940
0.80	0.80	1.1880	0.5940
0.90	0.90	1.1880	0.5940
1.00	1.00	1.1520	0.5760
1.10	1.10	1.0473	0.5236
1.20	1.20	0.9600	0.4800
1.30	1.30	0.8862	0.4431
1.40	1.40	0.8229	0.4114
1.50	1.50	0.7680	0.3840
2.00	2.00	0.5760	0.2880
3.00	3.00	0.3840	0.1920
4.00	4.00	0.2880	0.1440

Fuente: AGIES (2010). *Demandas estructurales y condiciones de sitio.*

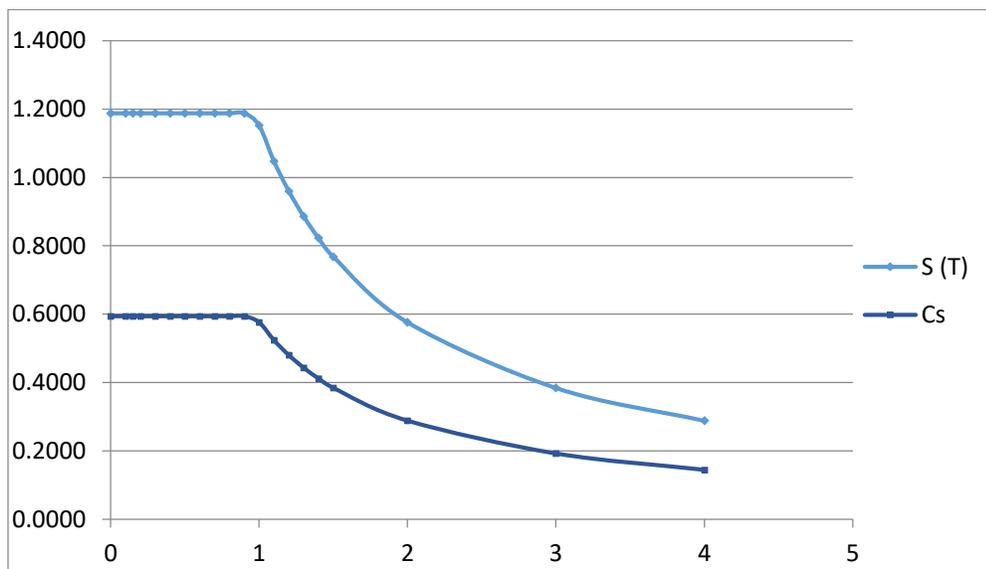
Donde:

$T(s)$ = Período de vibración en segundos

$S(T)$ = Aceleración espectral

C_s = Coeficiente sísmico

Figura 23. Gráficas de espectro de respuesta



Fuente: AGIES (2010). Demandas estructurales y condiciones de sitio.

3.4 Resultados de los ensayos mediante el método SPT

Se desarrolló en cada uno de los lugares en los cuales se construirán los aproches de acceso al puente, en la zona donde se desarrollará la cimentación de este, los ensayos de penetración estándar, para determinar mediante el rechazo los primeros indicios de las características del suelo existente, a continuación, se presenta el resultado de cada uno de los ensayos desarrollados.

Figura 24. **Ensayo SPT en punto de muestreo 1**



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Ensayo SPT en punto de muestreo 2**



Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Ensayo SPT en punto de muestreo 3**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Compacidad relativa por estratos, sondeo 1**

PENETRACION ESTÁNDAR ASTM 1586										
SONDEO No 1				COORDENADAS UTM: 15 P 0749846 m E, 1542725 m N, 2.50 MSNM						
PROF.	20	15	15		COMPACIDAD	w	RESISTENCIA	RESISTENCIA		Coefficiente de Poisson
mt.	cm.	cm.	cm.	N	RELATIVA	%	Kg/cm ²	TON/m ²	Kpa	
0										
0.5	4	3	5	8	Suelto	6.6	0.73	7.28	784.53	0.35
1	10	5	6	11	Medio Denso	9.4	1	10.01	1078.73	0.3
1.5	4	3	3	6	Suelto	19.7	0.55	5.46	588.4	0.3
2	5	4	2	6	Suelto	18.3	0.55	5.46	588.4	0.35
2.5	1	1	1	2	Muy Suelto	35.9	0.18	1.82	196.13	0.4
3	1	3	4	7	Suelto	35.8	0.64	6.37	686.47	0.3
3.5	8	8	9	17	Medio Denso	24.3	1.55	15.47	1667.13	0.28
4	16	15	16	31	Denso	25.6	2.82	28.21	3040.06	0.28
4.5	11	10	10	20	Medio Denso	20.5	1.82	18.2	1961.33	0.28
5	7	8	11	19	Medio Denso	21.4	1.73	17.29	1863.26	0.28
5.5	17	14	13	27	Medio Denso	17.5	2.46	24.57	2647.8	0.28
6	12	14	16	30	Medio Denso	17.8	2.73	27.3	2942	0.28
6.5	20	29	39	68	Muy Denso	16.5	6.19	61.88	6668.52	0.28
7	69	66	63	129	Muy Denso	18.6	11.74	117.39	12650.58	0.28
7.5	90	45	45	90	Muy Denso	20	8.19	81.9	8825.99	0.28

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. Clasificación de suelos por estratos, sondeo 1

PENETRACIÓN ESTÁNDAR ASTM 1586				
SONDEO No 1		COORDENADAS UTM: 15 P 0749846 m E, 1542725 m N, 2.50 MSNM		
Prof. Metros	Unidad de masa [kN/m ³]	Ángulo de reposo el material ° talud	Ángulo de fricción interna °	clasificación
0				
0.5	18.5	58.82	27.64911	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
1	18	59.92	29.8324	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
1.5	18	57.98	25.95445	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
2	18.5	57.98	25.95445	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
2.5	20	55.66	21.32456	ML: Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.
3	18	58.42	26.83216	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
3.5	18.5	61.72	33.43909	SP-SM: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
4	18.5	64.95	39.8998	SP-SM: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas limosas,
4.5	18.5	62.5	35	SP-SC: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas
5	18.5	62.25	34.49359	SP-SM: Arenas mal graduadas, mezclas de
5.5	18.5	64.12	38.2379	SP-SC: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas
6	18.5	64.75	39.4949	SP-SC: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos.
6.5	18.5	70.94	51.87818	SP-SC: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos.
7	18.5	77.9	65.7937	SP-SC: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos.
7.5	18.5	73.71	57.42641	SP-SM: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Propiedades mecánicas por estratos, sondeo 1**

PENETRACIÓN ESTÁNDAR ASTM 1586						
SONDEO No 1		COORDENADAS UTM: 15 P 0749846 m E, 1542725 m N, 2.50 MSNM				
Prof. Metros	COHESIÓN Kg/cm ²	ÍNDICE DE PLASTICIDAD IP	PESO VOLUMÉTRICO HÚMEDO Kg/M3	PESO VOLUMÉTRICO SECO EN Kg/M3	ks1= coeficiente de balasto Ksl (kg/cm3)	% CBR
0						
0.5	0.183	0	1,117.54	1,048.15	2.01	5.35
1	0.211	0	1,439.82	1,316.11	2.78	6.98
1.5	0.1577	5	1,506.79	1,259.33	1.5	4.26
2	0.1577	11	1,344.15	1,136.32	1.5	4.26
2.5	0.061	13	1,346.22	990.67	0.5	1.92
3	0.1712	3	1,386.19	1,020.91	1.75	4.8
3.5	0.2493	0	1,535.95	1,235.58	4.44	10.33
4	0.3022	0	1,630.05	1,297.6	10.27	18.96
4.5	0.2636	0	1,610.56	1,337.01	5.38	12.08
5	0.2591	0	1,603.35	1,320.72	5.06	11.49
5.5	0.29	0	1,716.07	1,459.99	8.14	16.37
6	0.2993	0	1,672.05	1,419.64	9.69	18.3
6.5	0.3713	0	1,691.39	1,451.34	90.9	47.49
7	0.4277	0	1,699.18	1,432.22	1192.08	109.95
7.5	0.396	0	1,728.48	1,440.04	269.16	68.02

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Compacidad relativa por estratos, sondeo 2**

PENETRACION ESTANDAR ASTM 1586										
SONDEO No 2				COORDENADAS UTM: 15 P 0749837 m E, 1542843 m N, 2 MSNM						
PROF.	20	15	15		COMPACIDAD	w	RESISTENCIA	RESISTENCIA		Coefficiente de Poisson
mt.	cm.	cm.	cm.	N	RELATIVA	%	Kg/cm ²	TON/m ²	Kpa	
0										
0.5	1	1	1	2	Muy Suelto	18.2	0.18	1.82	196.13	0.3
1	3	2	2	4	Muy Suelto	24.3	0.36	3.64	392.27	0.3
1.5	2	2	1	3	Muy Suelto	46	0.27	2.73	294.2	0.3
2	1	1	1	2	Muy Suelto	33.7	0.18	1.82	196.13	0.35
2.5	2	5	10	15	Medio Denso	30.2	1.37	13.65	1471	0.35
3	20	19	31	50	Denso	16.8	4.55	45.5	4903.33	0.28
3.5	24	23	28	51	Muy Denso	15	4.64	46.41	5001.39	0.28
4	32	21	18	39	Denso	15.6	3.55	35.49	3824.59	0.35
4.5	17	14	16	30	Medio Denso	13.9	2.73	27.3	2942	0.28
5	29	27	30	57	Muy Denso	13.1	5.19	51.87	5589.79	0.35
5.5	34	35	47	82	Muy Denso	14.6	7.46	74.62	8041.45	0.28
6	64	60	42	102	Muy Denso	14.3	9.28	92.82	10002.78	0.28
6.5	49	44	54	98	Muy Denso	15.3	8.92	89.18	9610.52	0.28
7	72	54	52	106	Muy Denso	23.5	9.65	96.46	10395.05	0.28

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. Clasificación de suelos por estratos, sondeo 2

PENETRACIÓN ESTÁNDAR ASTM 1586				
SONDEO No 2		COORDENADAS UTM: 15 P 0749837 m E, 1542843 m N, 2 MSNM		
Pof. Metros	Unidad de masa [kN/m ³]	ANGULO DE REPOSO DEL MATERIAL ° talud	ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA °	CLASIFICACIÓN
0				
0.5	18	55.66	21.32456	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
1	18	56.97	23.94427	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
1.5	18	56.37	22.74597	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
2	18.5	55.66	21.32456	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
2.5	18.5	61.16	32.32051	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
3	18.5	68.31	46.62278	SP-SC: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
3.5	18.5	68.47	46.93744	SP-SC: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
4	18.5	66.46	42.92848	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
4.5	18.5	64.75	39.4949	SP-SC: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
5	18.5	69.38	48.76389	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
5.5	18.5	72.75	55.49691	SP-SC: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
6	18.5	75.08	60.16636	SP-SC: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
6.5	18.5	74.64	59.27189	SP-SC: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.
7	18.5	75.52	61.04346	SP-SM: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas limosas, mezclas de arena y limo.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Propiedades mecánicas por estratos, sondeo 2**

PENETRACIÓN ESTÁNDAR ASTM 1586						
SONDEO No 2		COORDENADAS UTM: 15 P 0749837 m E, 1542843 m N, 2 MSNM				
Prof. Metros	COHESIÓN Kg/cm ²	ÍNDICE DE PLASTICIDAD IP	PESO VOLUMÉTRICO HÚMEDO Kg/M3	PESO VOLUMÉTRICO SECO EN Kg/M3	ks1 = coeficiente de balasto Ksl (kg/cm3)	% CBR
0						
0.5	0.061	12	1,992.31	1685.83	0.5	1.92
1	0.122	12	1,136.07	913.98	1	3.13
1.5	0.0967	12	1,551.16	1062.36	0.75	2.55
2	0.061	11	1,048.32	784.02	0.5	1.92
2.5	0.2383	17	1,023.30	785.88	3.86	9.2
3	0.3443	0	1,584.59	1356.67	32.2	32.61
3.5	0.346	0	1,785.92	1553.38	34.2	33.39
4	0.3224	0	1,753.81	1517.01	16.52	24.44
4.5	0.2993	0	1,871.08	1642.59	9.69	18.3
5	0.3558	0	1,790.84	1584.11	48.85	38.18
5.5	0.3878	0	1,829.80	1596.96	185.79	60.27
6	0.407	0	3,593.03	3143.24	448.01	80.2
6.5	0.4035	0	1,822.01	1580.92	380.24	76.07
7	0.4104	0	1,820.35	1474.09	525.01	84.41

Fuente: elaboración propia.

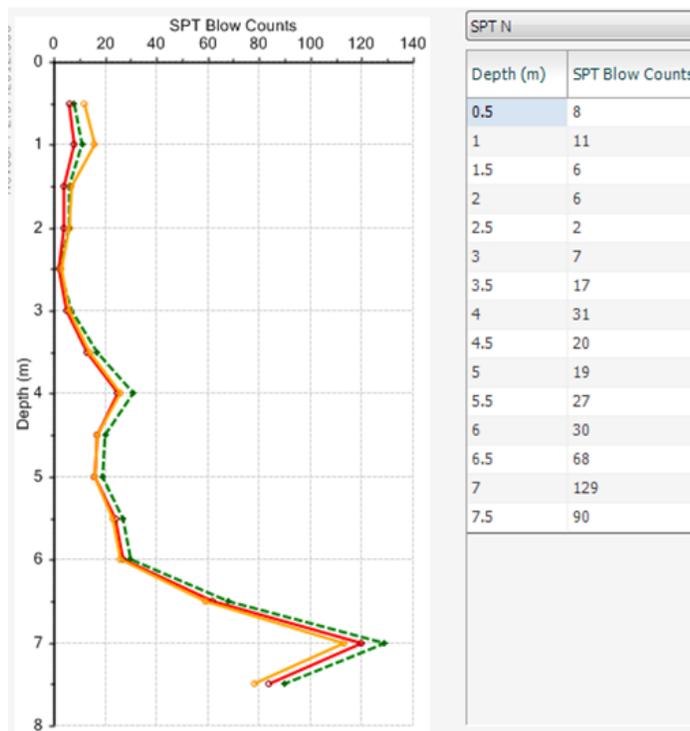
3.5 Correlaciones realizadas

Se debe correlacionar la información de campo de las pruebas desarrolladas.

3.5.1 Sondeo SPT 1

Resultados de correlaciones con los resultados anteriores presentados, en la gráfica se muestra los puntos de mayor resistencia mecánica del suelo.

Figura 27. Gráficas de profundidad y resistencia en Ton/m² SPT 1



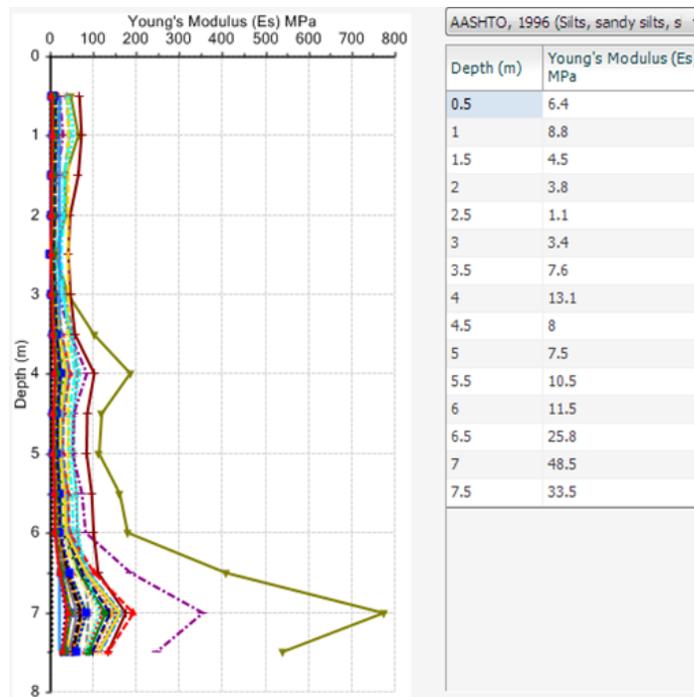
Fuente: Bautista (2018). *Esayos Geotecnicos en Zanjon el Chile, Iztapa, Escuintla.*

3.5.2 Módulo de Young's

En la gráfica siguiente se muestra el resultado de E (MPa) en condiciones no drenadas, la zona más estable se halla entre los 5.00 y 7.50 metros de profundidad, en los anteriores estratos el suelo tiende a deformar es menor el contenido de humedad y se traduce en un aumento de la succión y la rigidez del suelo.

El tiempo de aplicación de la carga se traduce en una disminución de la relación de vacíos y aumento de tensiones efectivas. La cementación aumenta el módulo y provoca una degradación discontinua con las deformaciones.

Figura 28. Gráficas de Módulo de Young's SPT 1

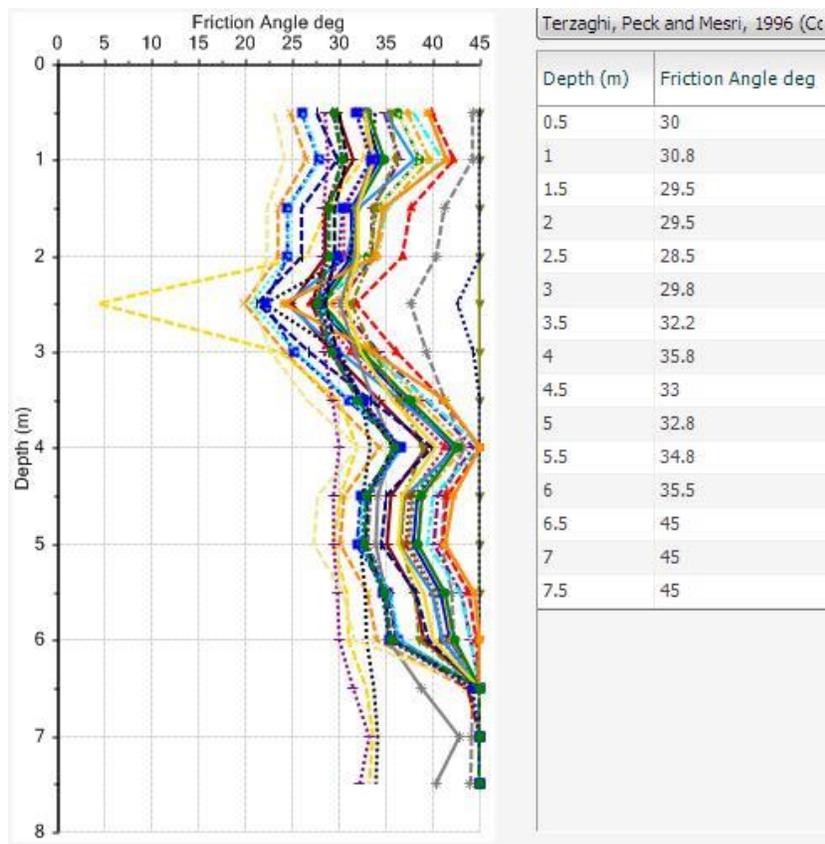


Fuente: Bautista (2018). *Esayos Geotecnicos en Zanjon el Chile, Iztapa, Escuintla.*

3.5.3 Ángulo de fricción interna

En la siguiente gráfica se muestra el ángulo de fricción interna del suelo a diferentes profundidades y tipos de suelo.

Figura 29. Ángulo de Fricción Interna Terzaghi, Peck y Mesri SPT 1

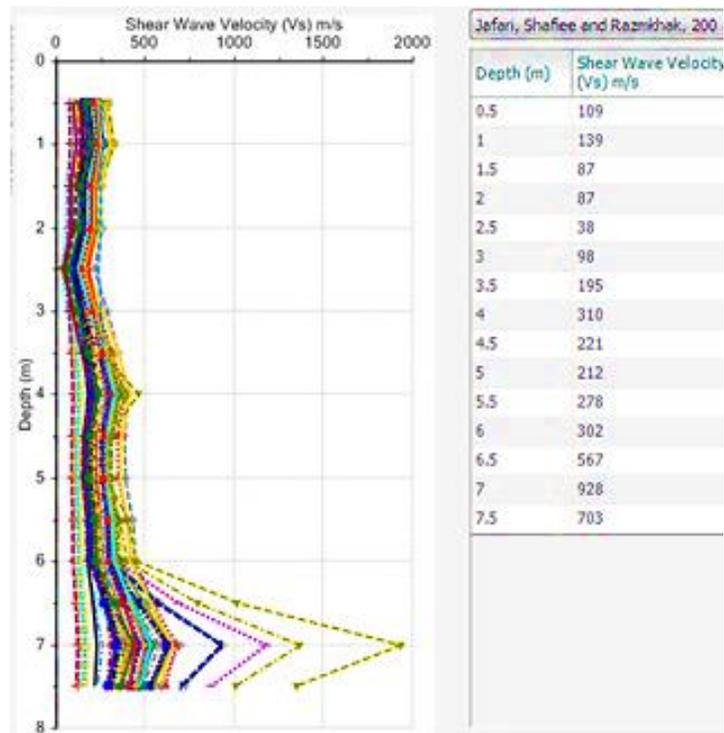


Fuente: Bautista (2018). *Esayos Geotecnicos en Zanjon el Chile, Iztapa, Escuintla.*

3.5.4 Velocidad de ondas sísmicas

El suelo está catalogado como tipo de material F y E, de acuerdo con la tabla 20, al presentar Velocidades de ondas sísmicas (V_s) inferiores a 180 m/s, el material presenta licuefacción y es licuable en presencia de un terremoto de las profundidades de 0 a 3.50 metros. De la profundidad de 3.50 metros a mayor de 7.50 metros el suelo no se licua, de acuerdo con la ilustración 29. La filosofía del diseño sismo-resistente se basa en evitar pérdidas de vidas humanas, la defensa de estructuras y propiedades, así como el mantenimiento de la estabilidad social tras un terremoto.

Figura 30. Gráficas de velocidad de onda cortante, SPT 1



Fuente: Bautista (2018). *Ensayos Geotecnicos en Zanjon el Chile, Iztapa, Escuintla.*

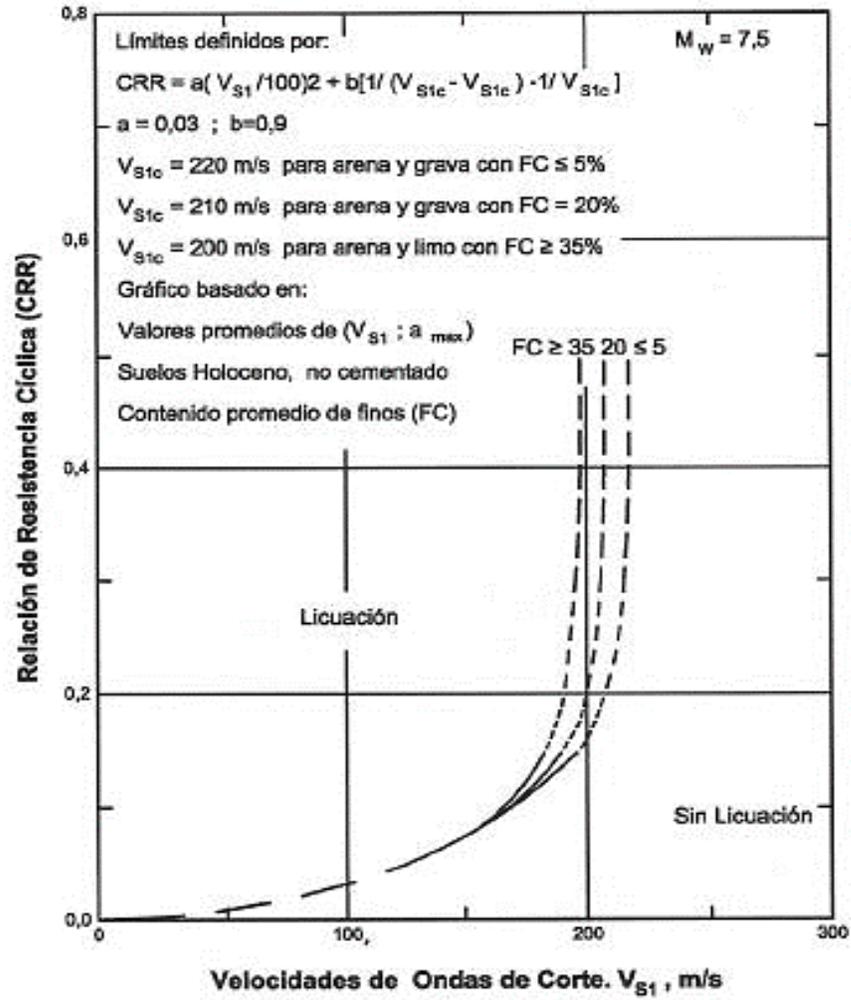
Pero la determinación del valor de la fuerza sísmica de diseño presenta dificultades debido a varias incertidumbres, como la probabilidad de ocurrencia de un terremoto en el área de estudio, las características sismológicas del mecanismo fuente, la propagación de las ondas desde la fuente a la zona concreta y la respuesta del suelo y de la estructura a la sacudida.

Tabla XX. **Cuadro de velocidad de ondas sísmicas**

Tipología de material	Descripción	Vs en los 30 m superiores (m/s)
A	Roca compacta	> 1500
B	Roca	760 < Vs ≤ 1500
C	Suelo muy denso y roca blanda	360 < Vs ≤ 760
D	Suelo rígido $15 \leq N_{spt} \leq 50$ o $50 \text{ kPa} \leq C_u \leq 100 \text{ Kpa}$	180 < Vs ≤ 730
E	Perfil con más de 3 m. de arcilla blanda con $IP > 20$ $\omega \geq 40\%$ Y $C_u < 25$ kPa	< 180
F	1. Suelos susceptibles de rotura o colapso bajo carga sísmica tales como suelos licuefactibles, arcillas sensitivas o suelos débilmente cementados.	
	2. Turba / arcillas orgánicas de potencia mayor a 3 m.	
	3. Arcillas de plasticidad muy alta con una potencia mayor a 3 m. y un $IP \geq 75$	
	4. Arcillas de rigidez blanda a media de potencia > 36 m.	

Fuente: AGIES (2010). *Demandas estructurales y condiciones de sitio.*

Figura 31. Gráficas de relación CRR-Vs1



Fuente: Bautista (2018). *Ensayos Geotecnicos en Zanjon el Chile, Iztapa, Escuintla.*

3.5.5 Cimentaciones en áreas de suelos licuables

Las cimentaciones construidas sobre suelos que licuan ($PL > 10\%$) están sometidas a grandes asentamientos, desplazamiento lateral y falla de la cimentación y de la estructura. Por lo tanto, no está permitido cimentar directamente sobre suelos licuables.

La cimentación y los pisos deben apoyarse sobre suelos no licuables o con licuación baja. Los pisos no deben apoyarse directamente sobre suelos licuables. Se debe proponer el tipo de cimentación para apoyar la estructura sobre un suelo no licuable o los procedimientos constructivos para mejorar las condiciones del suelo y lograr que la Probabilidad de Licuación (PL) sea „T 10 %.

3.5.6 Método de Youd e Idriss

Determinar la susceptibilidad a la licuefacción de suelos requiere del valor de CSR, esfuerzo cortante cíclico de un suelo, ejercido por un sismo y el valor de CRR que es la capacidad del suelo de resistir dicho esfuerzo (Bautista, 2018).

El valor de CSR se obtiene considerando que el valor de r_d se calcula como:

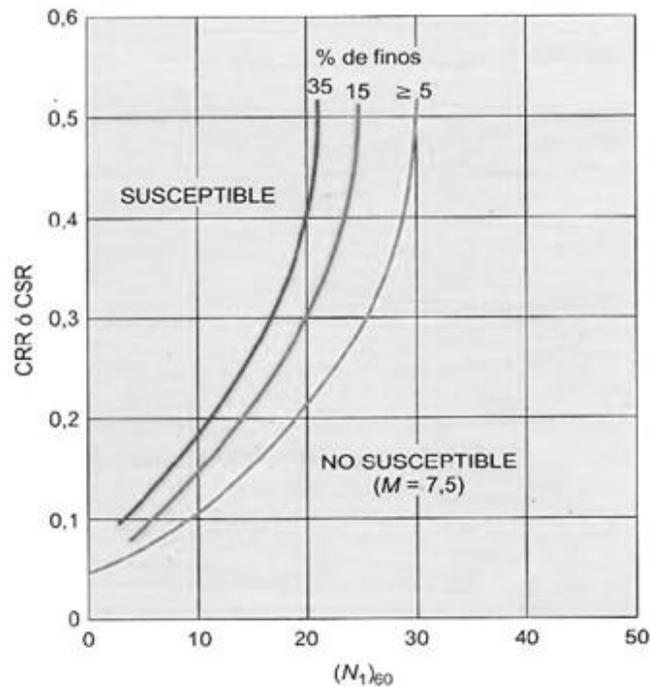
$$r_d = 1,0 - 0,00765z \text{ para } z \leq 9,15 \text{ m.} \quad (27)$$

$$r_d = 1,174 - 0,00765z \text{ para } z \geq 9,15 \text{ m.} \quad (28)$$

En cuanto al valor de CRR puede ser obtenido a partir del piezocono CPT, del SPT o de la velocidad de las ondas V_s .

Con el valor del CSR y CRR puede conocerse cuando un suelo es susceptible a la licuefacción con distintos contenidos en finos y valor de $(N_1)_{60}$ obtenido en las pruebas de campo del SPT y para un terremoto de magnitud 7,5 según la figura 32.

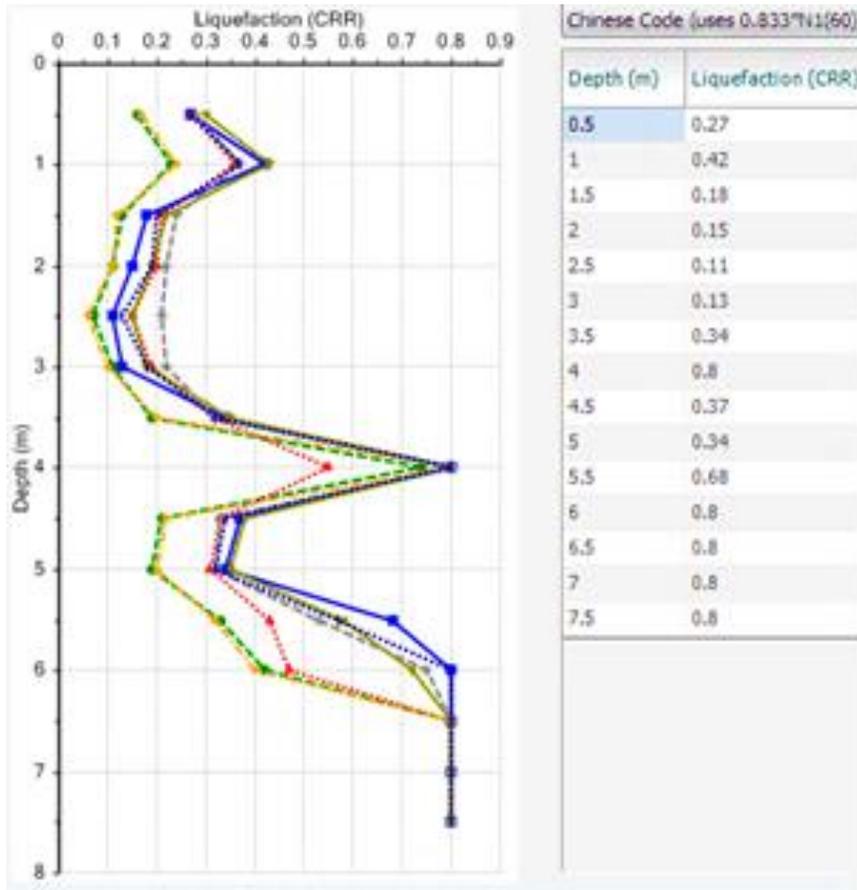
Figura 32. **Gráfica para determinación de la susceptibilidad a la licuefacción en función del SPT $(N_1)_{60}$ para un sismo de magnitud de 7,5 basado en casos históricos**



Fuente: Bautista (2018). *Ensayos Geotecnicos en Zanjon el Chile, Iztapa, Escuintla.*

La resistencia a la licuación de suelos está en función de dos variables: en primer lugar, la demanda sísmica de la capa de suelo, expresada en términos de la relación de tensiones cíclicas (CSR) y, en segundo lugar, la capacidad del suelo para resistir la licuación, expresada en términos de la relación de resistencia cíclica (CRR).

Figura 33. **Gráfica de valores de Licuefacción CRR, mediante el valor N1(60) SPT 1**



Fuente: Bautista (2018). *Esayos Geotecnicos en Zanjon el Chile, Iztapa, Escuintla.*

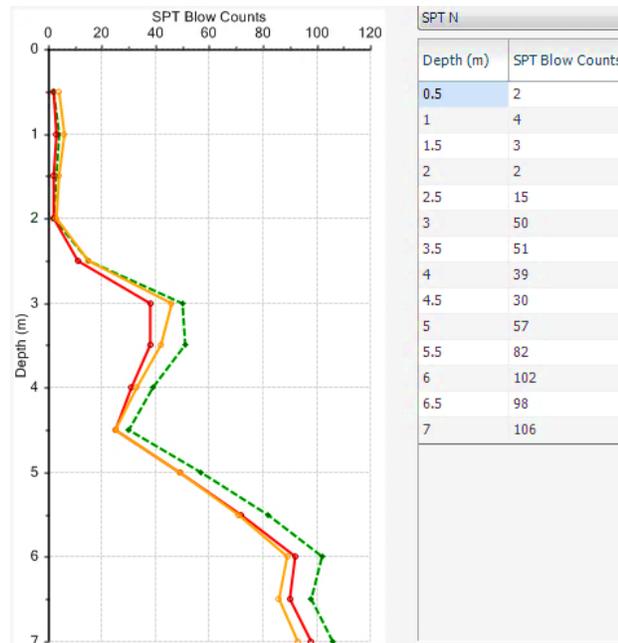
3.5.7 Correlaciones realizadas SPT 2

Resultados de correlaciones con los resultados anteriores presentados:
SONDEO SPT 2

Los valores y los gráficos del sondeo SPT 2 arrojan valores muy parecidos por lo que su análisis se enfocara en la observación de alguna discontinuidad respecto al sondeo No. 1, se presentan a continuación las gráficas de los sondeos.

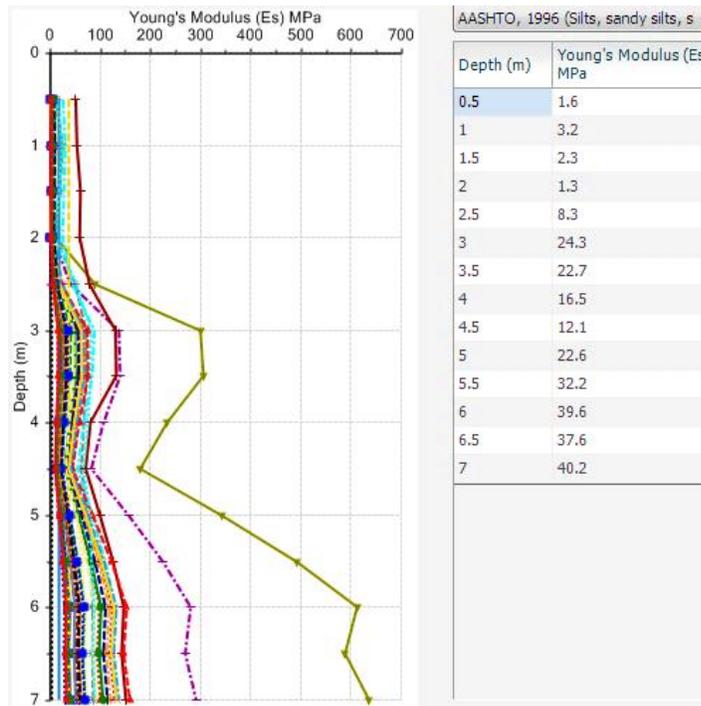
En la gráfica la resistencia máxima a 7.00 m de profundidad.

Figura 34. Gráficas de profundidad y resistencia en Ton/m2 SPT 2



Fuente: Bautista (2018). *Esayos Geotecnicos en Zanjon el Chile, Iztapa, Escuintla.*

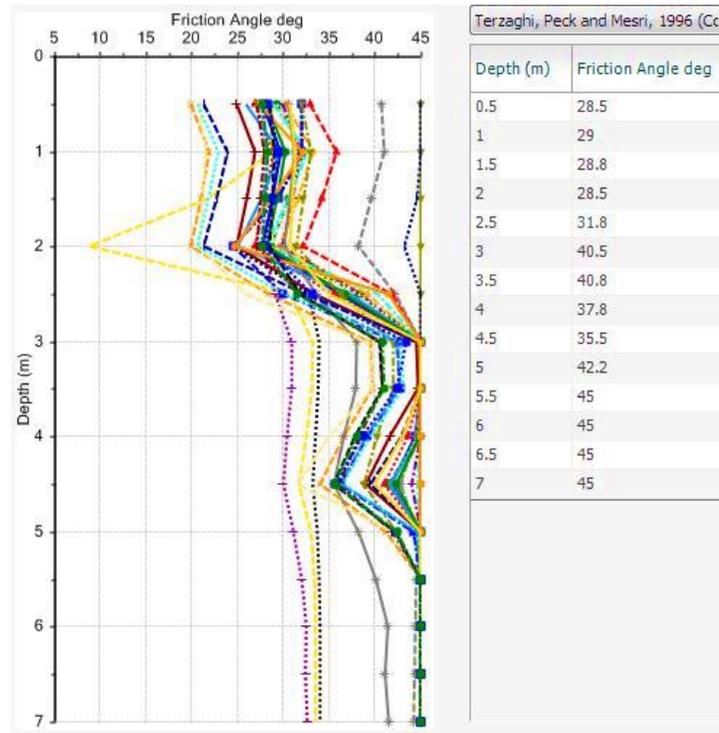
Figura 35. Gráficas de módulo de Young's SPT 2



Fuente: Bautista (2018). *Esayos Geotecnicos en Zanjon el Chile, Iztapa, Escuintla.*

El módulo de Young's a una profundidad de 7.00 m. es de 40.2 MPa, el valor más alto.

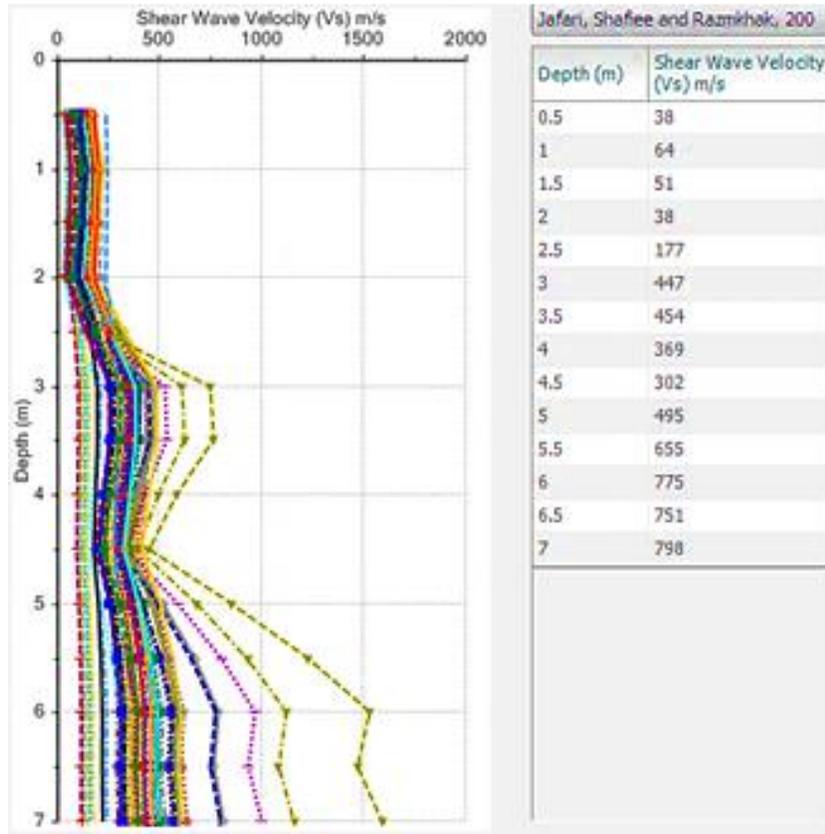
Figura 36. **Ángulo de fricción interna Terzaghi, Peck y Mesri SPT 2**



Fuente: Bautista (2018). *Esayos Geotecnicos en Zanjon el Chile, Iztapa, Escuintla.*

De la misma forma, a una profundidad comprendida entre los 5.50 y 6.00 metros, se obtienen valores aceptables y continuos que determinan estabilidad y no licuefacción.

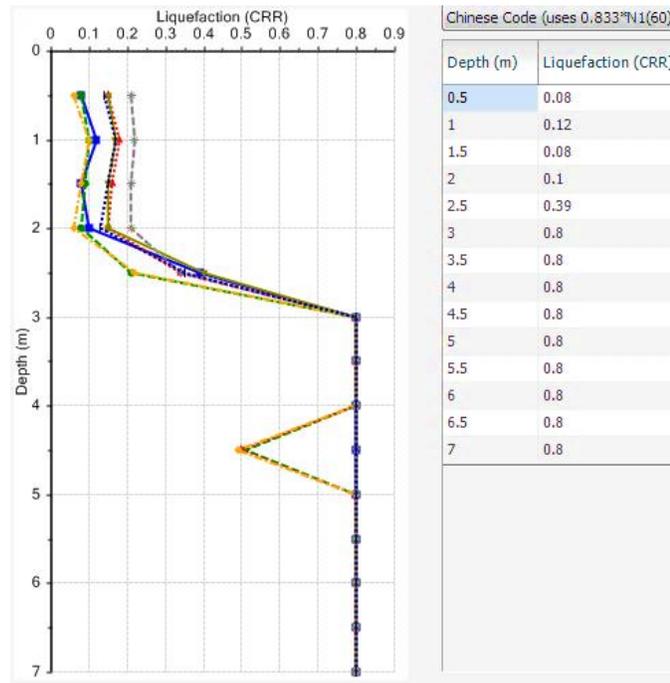
Figura 37. Gráficas de velocidad de onda cortante, SPT 2



Fuente: Bautista (2018). *Esayos Geotecnicos en Zanjon el Chile, Iztapa, Escuintla.*

El suelo está catalogado como tipo de material F, E al presentar Vs inferior a 180 m/s, el material presenta licuefacción y es licuable en presencia de un terremoto de las profundidades de 0 a 3.50 metros. Y de la profundidad de 3.50 metros a mayor de 7.50 metros el suelo no se licua, similar a la zona del SPT 1.

Figura 38. **Gráfica de valores de licuefacción, capacidad del suelo para resistir la licuación CRR, SPT 2**



Fuente: Bautista (2018). *Esayos Geotecnicos en Zanjon el Chile, Iztapa, Escuintla.*

3.6 Características y clasificación de los suelos

En los gráficos del análisis y caracterización de los suelos, se analizan según las normas ASTM C 117-95, ASTM D 854-02, ASTM D 1586, ASTM D 4318-05.

3.6.1 Clasificación de suelos

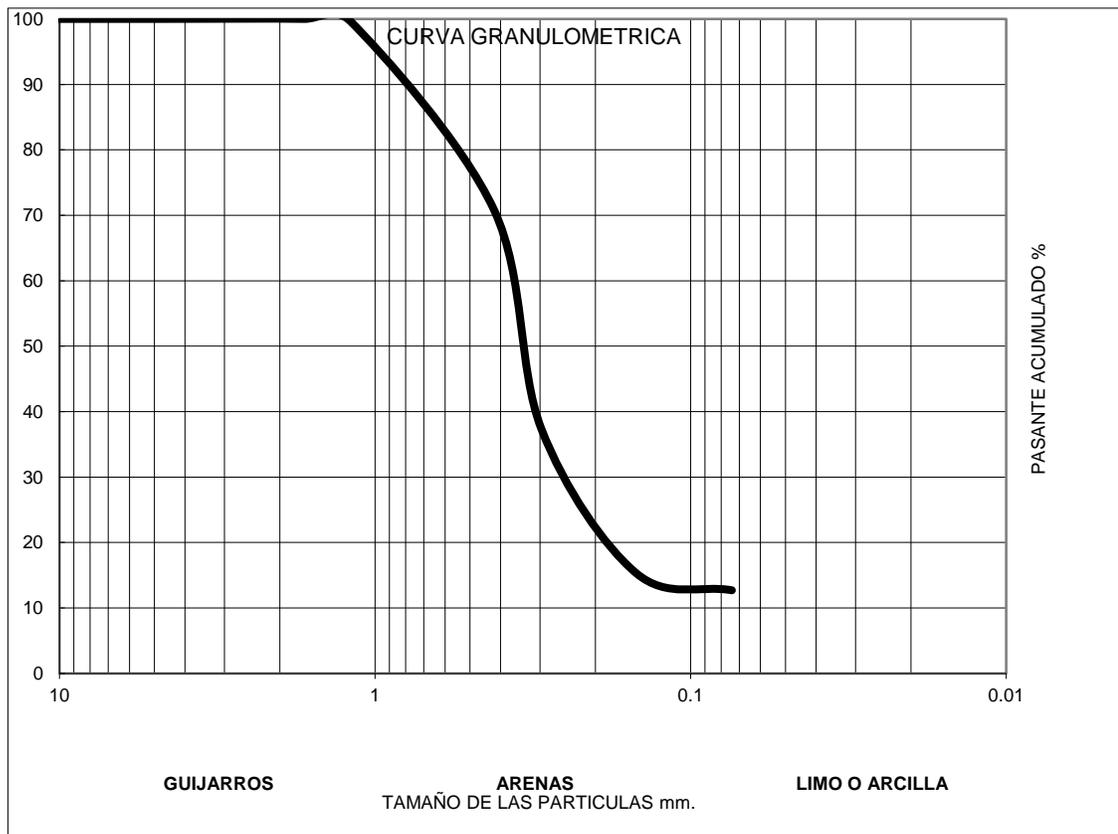
Se determina la granulometría y plasticidad de los suelos, se analiza el estrato a una profundidad de 7.00 m. dados los resultados del SPT 1 Y SPT 2.

Tabla XXI. Análisis granulométrico e índices de plasticidad, sondeo 1

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
PROFUNDIDAD	650-700	cm				
LÍMITES DE CONSISTENCIA						
LÍMITE LIQUIDO = $W(20-30)/(N/25)0.121$			LÍMITE PLASTICO			
No golpes	18	22	31			
húm + tara	42.4	43.6	41.8			
seco + tara	39.1	40.4	39.2	No Tiene		
Tara	22.30%	22.00%	22.50%			
Humedad	19.60%	17.40%	15.60%			
LIM LIQ =	19.00%	17.00%	16.00%	IP =	0	
pesos Iniciales (gr.)			humedad natural			
inicial húmedo	103		Peso tara =	16.4	Peso crisol=	0
inicial seco =	86.8		hum + tara =	77.5	Seco +crisol=	0
lavado seco =	75.9		seco + tara =	67.9	Calcinado crisol=	0
ANÁLISIS GRANULOMETRICO			humedad=	18.64%	% orgánico =	0.00 %
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		0	0.00%	0.00%	100	No , 10
1.19	361.9	0.4	0.46%	0.46%	99.54	16
0.42		24.9	28.68%	29.14%	70.86	40
0.297		29.1	33.52%	62.66%	37.34	50
0.149		19.1	22.00%	84.66%	15.34	100
0.074		2.3	2.65%	87.31%	12.69	No , 200
fondo		0	12.57%	99.88%	0.12	
	finos	10.92				
	finos totales	10.92				
Sumas	361.9	86.7				
	% gruesos:	0	% arena:	87	% finos:	13

Fuente: elaboración propia.

Figura 39. **Gráfica de granulometría material 650 – 700 cm de profundidad, sondeo 1**



Fuente: elaboración propia.

Las características del suelo sustraído a la altura, que mostro mayor rechazo, indica que se encuentra un material clasificado como SP-SC, que son arenas mal graduadas, arena con grava con poco o nada de finos y arenas arcillosas, con muy baja plasticidad, de acuerdo con los límites de consistencia su Índice de plasticidad es cero.

Tabla XXII. **Peso unitario y gravedad específica, sondeo 1**

PESO UNITARIO Y GRAVEDAD ESPECÍFICA PARA FINES DE INGENIERÍA					
PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla				
SOLICITANTE			LADO	Derecho	
DIRECCIÓN	Aldea Atitán, Iztapa, Escuintla		UBICACIÓN	Sondeo 1	
FECHA DE RECEPCIÓN	Septiembre, 2,018		FECHA DE INICIO	Septiembre, 2,018	
PROFUNDIDAD	650-700	cm			
Profundidad:	150-200				
Peso Recipiente Grande (WRG)	27.8				
Peso Muestra (Wm)	26.4				
Peso muestra + Cera (Wm+C)	28.8				
Peso Cera (WC)	2.4				
Humedad Peso tara	12.9				
Hum+tara	22.6				
Seco+tara	21.1				
Humedad	18.29 %				
Pesos recipientes (WR+WP)	128.8				
Pesos recipientes + H2O	355.4				
Pesos recipientes + H2O+ m	384				
Peso recipiente Pequeño (Wr)	101				
Peso agua derramada + Recipiente (WH2Od+WRG)	38.9				
WH2Oderramada (WH2Od)	8.7				
Densidad del H2O	1				
Volumen agua derramada	8.7				
Ym PESOS UNITARIOS g/cm 3	3.03				
Clasificación del suelo	SC				
Peso Húmedo= grs	9.7				
Peso Seco= grs	8.2				
Volumen total (Vtot)= CM 3	8.7				
Profundidad:	150-200				
Peso muestra en grs. (Ws):	8.4				
Peso Picnómetro (Wp):	157.7				
Peso Picnómetro + agua (Wp+H2O):	699.6				
Temperatura del agua:	18				
Densidad del H2O:	998.68				
Densidad Real del Agua.	0.99868				
Peso Picnómetro + H2O + Muestra+ Aire	689.1				
Gravedad Específica Gs =	0.44				

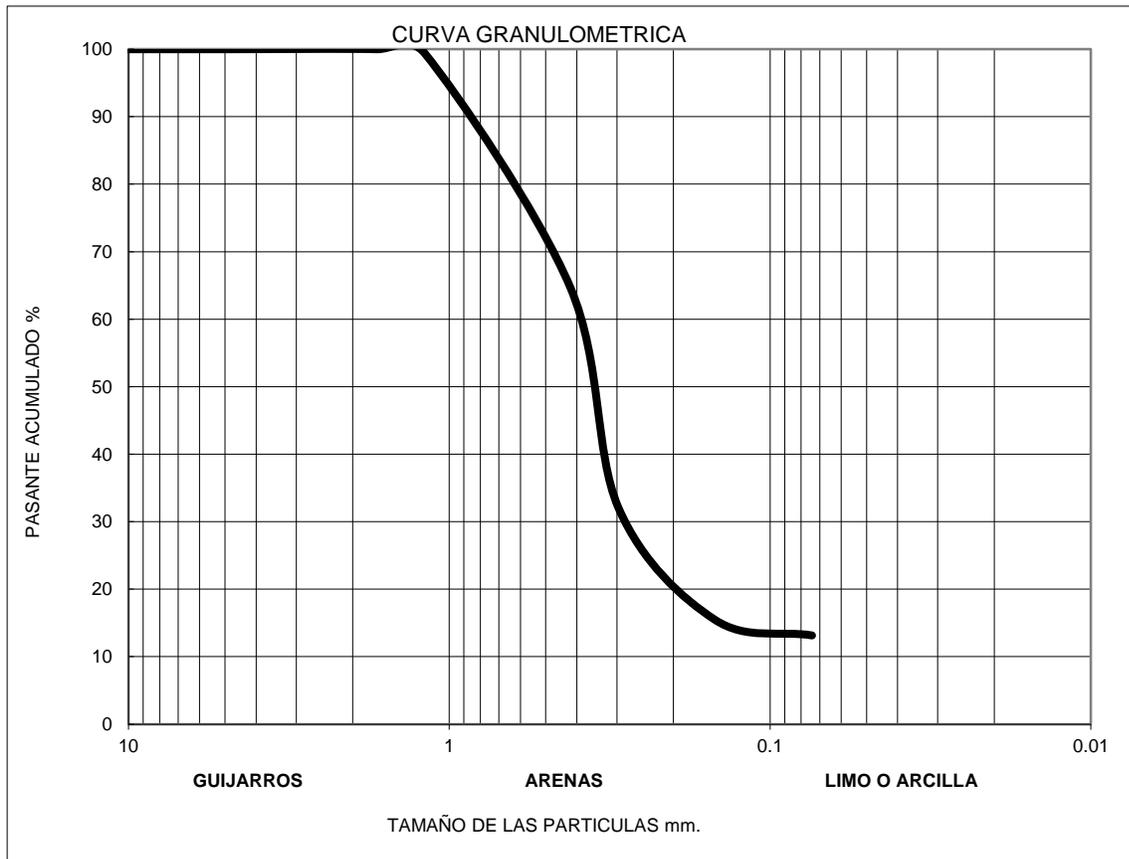
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. Análisis granulométrico e índices de plasticidad, sondeo 2

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla.					
PROFUNDIDAD	650-700	cm	SONDEO 2			
LÍMITES DE CONSISTENCIA						
LÍMITE LIQUIDO = $W(20-30)(N/25)0.121$			LÍMITE PLÁSTICO			
No golpes	17	22	32			
húm + tara	38.3	34.5	36.5			
seco + tara	35.5	32.3	34.1	No Tiene		
Tara	21.90 %	22.00 %	22.00 %			
Humedad	20.60 %	21.40 %	19.80 %			
LIM LIQ =	20	21	20	IP =	0	
pesos Iniciales (gr.)			humedad natural		% orgánico	
inicial humedo	94		Peso tara=	12.7	Peso crisol=	0
inicial seco =	76.1		hum + tara=	74.2	Seco + crisol=	0
lavado seco=	66.4		seco + tara=	62.5	Calcinado + crisol=	0
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			humedad=	23.49 %	%orgánico =	0.00 %
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00 %	0.00 %	100	3"
63.5			0.00 %	0.00 %	100	2 1/2"
50.8			0.00 %	0.00 %	100	2"
38.7			0.00 %	0.00 %	100	1 1/2"
25.4			0.00 %	0.00 %	100	1"
19.1		0	0.00 %	0.00 %	100	3/4"
12.7		0	0.00 %	0.00 %	100	1/2"
9.52		0	0.00 %	0.00 %	100	3/8"
4.76		0	0.00 %	0.00 %	100	No 4
1.68		0	0.00 %	0.00 %	100	No 10
1.19	361.9	0.5	0.66 %	0.66 %	99.34	16
0.42		26.3	34.55 %	35.21 %	64.79	40
0.297		24.9	32.71 %	67.92 %	32.08	50
0.149		12.6	16.55 %	84.48 %	15.52	100
0.074		1.8	2.36 %	86.84 %	13.16	No 200
fondo		0	12.77 %	99.61 %	0.39	
	finos lavados	9.72				
	finos totales	9.72				
Sumas	361.9	75.8				
	% gruesos:	0	% arena:	87	% finos:	13

Fuente: elaboración propia.

Figura 40. **Gráfica de granulometría material 650 – 700 cm de profundidad, sondeo 2**



Fuente: elaboración propia.

Las características del suelo sustraído a la altura, que mostro mayor rechazo, indica que se encuentra un material clasificado como SP-SM, que son arenas mal graduadas, arena con grava con poco o nada de finos y arenas limosas, con muy baja plasticidad, de acuerdo con los límites de consistencia su índice de plasticidad es cero.

Tabla XXIV. **Peso unitario y gravedad específica, sondeo 2**

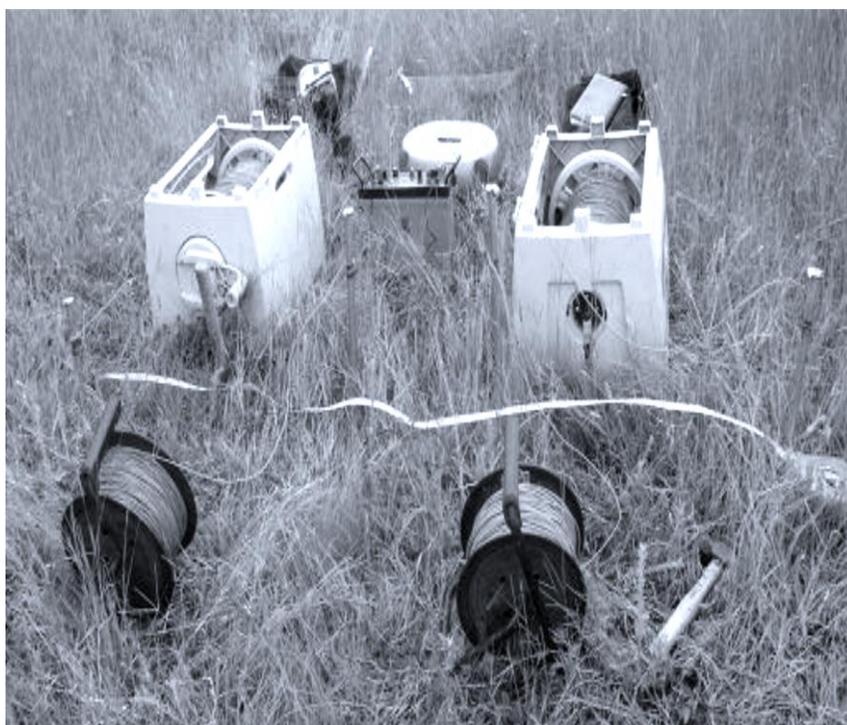
PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla				
SOLICITANTE			LADO	Izquierdo	
DIRECCIÓN	Aldea Atitán, Iztapa, Escuintla		UBICACIÓN	Sondeo 2	
FECHA DE RECEPCIÓN	Septiembre, 2,018		FECHA DE INICIO	Septiembre, 2,018	
PROFUNDIDAD	650-700	cm			
Profundidad:	650-700				
Peso Recipiente Grande (WRG)	27.8				
Peso Muestra (Wm)	59				
Peso muestra + Cera (Wm+C)	61.7				
Peso Cera (WC)	2.7				
Humedad Peso tara	12.8				
Hum+tara	35.9				
Seco+tara	29.6				
Humedad	37.50 %				
Pesos recipientes (WR+WP)	128.8				
Pesos recipientes + H2O (WR+WP+H2O)	354.2				
Pesos recipientes + H2O+ m (WR+WP+H2O+m)	415.7				
Peso recipiente Pequeño (Wr)	101				
Peso agua derramada + Recipiente Grande (WH20d+WRG)	40.1				
WH20derramada (WH2Od)	9.6				
Densidad del H2O	1				
Volumen agua derrada (VH2Od)	9.6				
Ym PESOS UNITARÍOS g/cm 3	6.15				
Clasificación del suelo	SM				
Peso Húmedo= grs	23.1				
Peso Seco= grs	16.8				
Volumen Total (Vtot)= CM 3	9.6				
Profundidad:	650-700				
Peso muestra en grs. (Ws):	4.5				
Peso Picnómetro (Wp):	157.7				
Peso Picnómetro + agua (Wp+H2O):	699.6				
Temperatura del agua:	18				
Densidad del H2O:	998.68				
Densidad Real del Agua.	0.99868				
Peso Picnómetro + H2O + Muestra+ Aire	686.6				
Gravedad Específica Gs =	0.26				

Fuente: elaboración propia.

3.7 Equipo utilizado y procedimiento en campo

El equipo está integrado por una fuente de poder, Voltímetro, un Amperímetro, cuatro electrodos y cables conductores.

Figura 41. **Sondeo eléctrico vertical –SEV- en el punto de muestreo 1**



Fuente: elaboración propia.

Figura 42. **Sondeo eléctrico vertical –SEV- en el punto de muestreo 2**



Fuente: elaboración propia.

Figura 43. **Sondeo eléctrico vertical –SEV- en el punto de muestreo 3**



Fuente: elaboración propia.

3.8 Resultados del estudio hidrogeológico mediante método SEV

La determinación de la resistividad aparente de los estratos se efectuó por el método anteriormente descrito en el capítulo I, se obtuvo en cada punto de observación la variación de la resistividad para diferentes profundidades, cambiando la separación de los electrodos. Esto se pudo hacer porque la profundidad de penetración de la corriente depende de qué tan separados estén los electrodos, sin olvidar que la corriente penetra en la tierra en forma de semiesfera. Se desplegó SEV en la zona estudiada. Los datos de campo son de excelente calidad, definen las capas geológicas o geoeléctricas con curvas típicas y que muestra una penetración en profundidad de hasta 20 metros de cateo.

En las fichas de interpretación litológica de los SEV se reflejan las particularidades de cada sondeo eléctrico vertical realizado, además, se ha ampliado con los comentarios de interpretación litológica correspondiente, la cantidad de detalles obtenido de las interpretaciones que se presenta, se debe entender, que es el producto, de la aplicación de métodos geofísicos y la exploración geológica de superficie, esto facilitó, la interpretación horizontal de las capas investigadas.

Tabla XXV. Resistencia obtenida de acuerdo con el perfil, sondeo 1

SONDEO 1							
Ensayo de SEV Método de Schlumberger					Gráfica		
No.	Distancia	MN/2	Ω	Ksch	Pa Cal	Y	X
1	3	1	5.09	12.566	63.96 Ω m	63.96	3
2	4	1	1.98	23.562	46.65 Ω m	46.65	4
3	5	1	0.8	37.699	30.16 Ω m	30.16	5
4	7	1	0.3	75.398	22.62 Ω m	22.62	7
5	8.5	1	13.05	111.919	1,460.55 Ω m	1460.55	8.5
6	9	1	0.46	125.664	57.81 Ω m	57.81	9
7	10	1	0.26	155.509	40.43 Ω m	40.43	10
8	12	3	0.21	70.686	14.84 Ω m	14.84	12
9	14	3	0.1	97.913	9.79 Ω m	9.79	14
10	16	3	0.02	129.329	2.59 Ω m	2.59	16
11	17	3	0.04	146.608	5.86 Ω m	5.86	17
12	18	3	0.03	164.934	4.95 Ω m	4.95	18
13	19	3	0.03	184.307	5.53 Ω m	5.53	19
14	20	3	0.09	204.727	18.43 Ω m	18.43	20

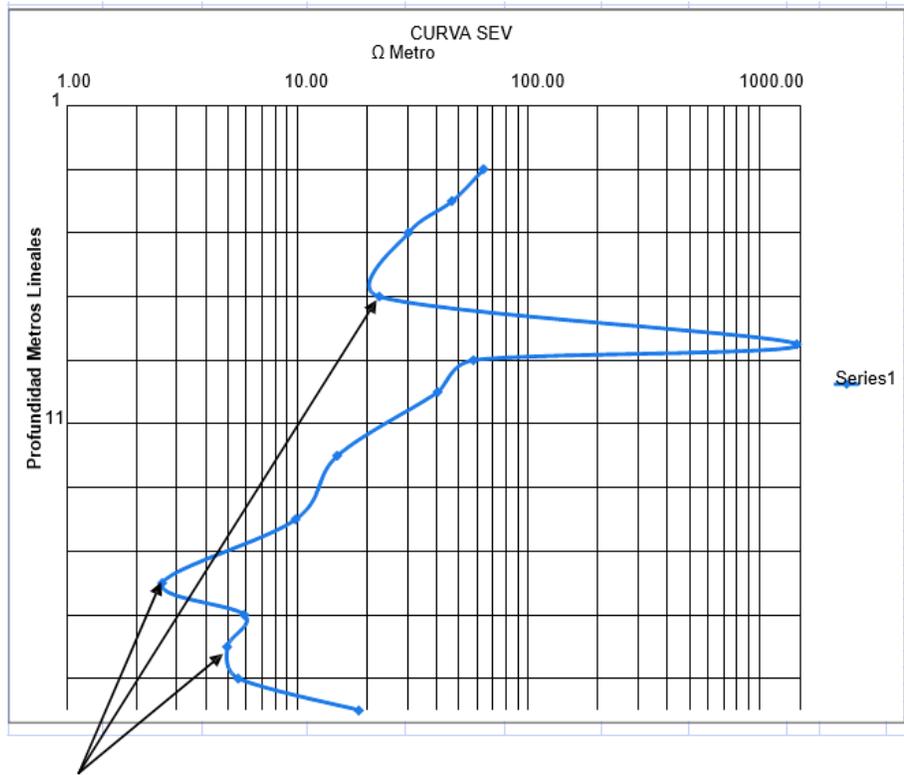
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. Perfil hidrogeológico según la resistividad aparente, sondeo 1

Profundidad Mts	Profundidad Pies	Resistividad Aparente	Características	Ω
3	9.84	63.96	LIMOS Y ARENISCAS	5.09
4	13.12	46.65		1.98
5	16.4	30.16		0.8
7	22.96	22.62		0.3
8.5	27.88	1460.55	ARENA Y CONGLOMERADOS	13.05
9	29.52	57.81	LIMOS ARCILLOSOS Y ARENISCAS	0.46
10	32.8	40.43		0.26
12	39.36	14.84		0.21
14	45.92	9.79		0.1
16	52.48	2.59		0.02
17	55.76	5.86		0.04
18	59.04	4.95		0.03
19	62.32	5.53		0.03
20	65.6	18.43		0.09

Fuente: elaboración propia.

Figura 44. **Gráfica de resistividades aparentes de acuerdo con la profundidad, Sondeo 1**



Fuente: Bautista (2018). *Esayos Geotecnicos en Zanjon el Chile, Iztapa, Escuintla.*

Tabla XXVII. **Resultados obtenidos de acuerdo con el perfil siguiente sondeo 2**

SONDEO 2							
Ensayo de SEV Metodo de Schlumberger					Pa Cal	Gráfica	
No.	Distancia	MN/2	Ω	Ksch	Pa Cal	Y	X
1	3	1	0.34	12.566	4.27 Ω m	4.27	3
2	4	1	0.39	23.562	9.19 Ω m	9.19	4
3	5	1	0.51	37.699	19.23 Ω m	19.23	5
4	7	1	0.28	75.398	21.11 Ω m	21.11	7
5	8.5	1	0.19	111.919	21.26 Ω m	21.26	8.5
6	9	1	0.06	125.664	7.54 Ω m	7.54	9
7	10	1	0.55	155.509	85.53 Ω m	85.53	10
8	12	3	0.38	70.686	26.86 Ω m	26.86	12
9	14	3	0.36	97.913	35.25 Ω m	35.25	14
10	16	3	0.14	129.329	18.11 Ω m	18.11	16
11	17	3	0.3	146.608	43.98 Ω m	43.98	17
12	18	3	0.21	164.934	34.64 Ω m	34.64	18
13	19	3	0.2	184.307	36.86 Ω m	36.86	19
14	20	3	0.16	204.727	32.76 Ω m	32.76	20
15	30	6	0.04	226.195	9.05 Ω m	9.05	30
16	40	6	0.04	409.454	16.38 Ω m	16.38	40

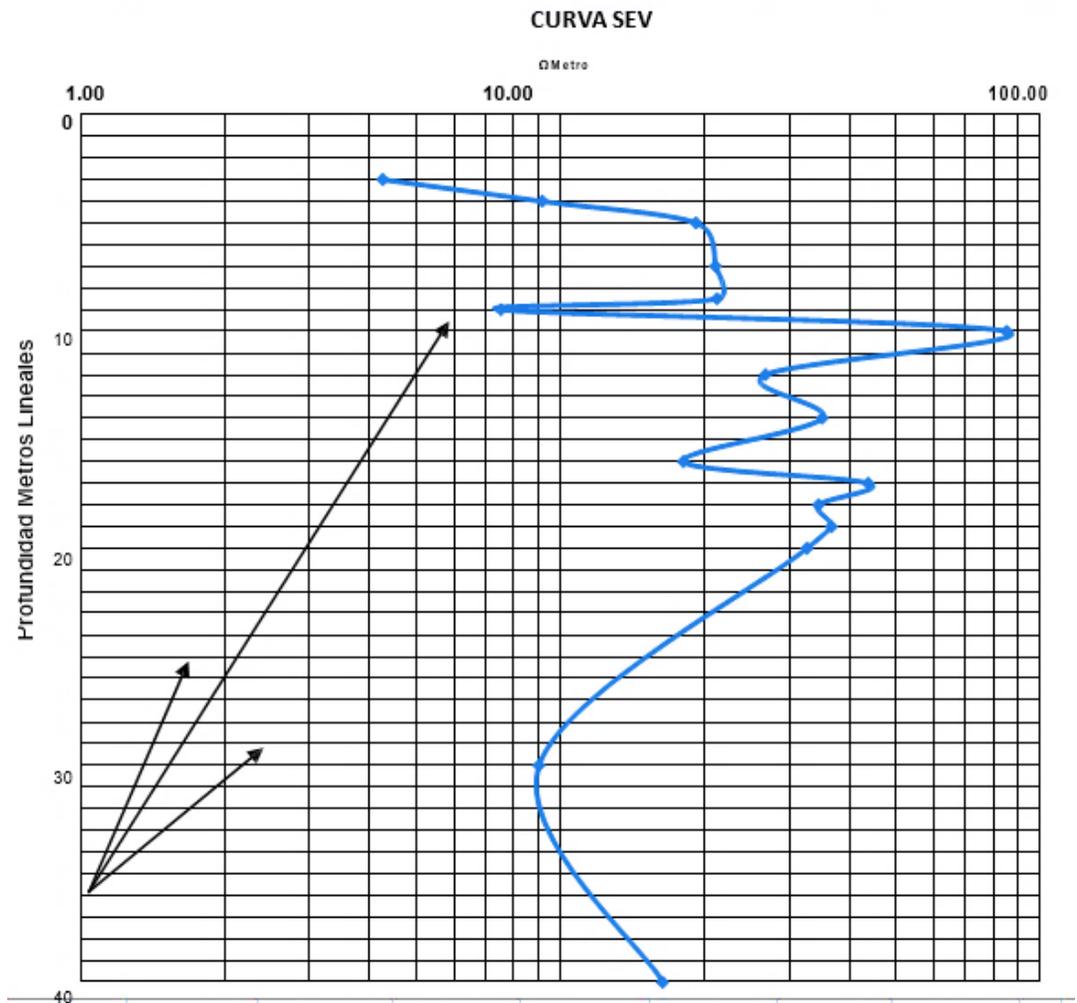
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. Perfil hidrogeológico sondeo 2

Profundidad Mts	Profundidad Pies	Resistividad Aparente	Características	Ω
3	9.84	4.27	LIMOS Y ARENA	0.34
4	13.12	9.19		0.39
5	16.4	19.23		0.51
7	22.96	21.11		0.28
8.5	27.88	21.26	ARENA Y CONGLOMERADOS	0.19
9	29.52	7.54		0.06
10	32.8	85.53		0.55
12	39.36	26.86	LIMOS Y ARENA	0.38
14	45.92	35.25		0.36
16	52.48	18.11		0.14
17	55.76	43.98		0.3
18	59.04	34.64		0.21
19	62.32	36.86		0.2
20	65.6	32.76		0.16
30	98.4	9.05		0.04
40	131.2	16.38		0.04

Fuente: elaboración propia.

Figura 45. Gráfica de resistividades aparentes de acuerdo con la profundidad, Sondeo 2



Fuente: Bautista (2018). *Ensayos Geotécnicos en Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla.*

Tabla XXIX. **Tablas de valores típicos de resistividad de los suelos**

Material	Resistividad (Ωm)
Basamento, Roca sana don diaclasas espaciadas	> 10000
Basamento, Roca fracturada	1500 - 5000
Basamento, Roca fracturada saturada con agua	100 - 2000
Basamento, Roca fracturada saturada con agua salada	1 - 100
Gruss no saturado	500 - 1000
Gruss saturado	40 - 60
Saprolito no saturado	200 - 500
Saprolito saturado	40 - 1000
Gravas no saturadas	500 - 2000
Gravas saturadas	300 - 500
Arenas no saturadas	400 - 700
Arenas saturadas	100 - 200
Limos no saturados	100 - 200
Limos saturados	20 - 100
Limos saturados con agua salada	05 - 15.
Arcillas no saturadas	20 - 40
Arcillas saturadas	05 - 20.
Arcillas saturadas con agua salada	1 - 10.
Andoseles secos	1000 - 2500
Andoseles no saturados	300 - 1000
Andoseles saturados	30 - 50

Fuente: Bautista (2018). *Ensayos Geotécnicos en Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla.*

Figura 46. Perfil estratigráfico de la zona de cimentación

Profundidad en metros	CLASIFICACION	SIMBOLOGIA		
0				
0.5	GP-GC: Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos. Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla.			GP-SC
1	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.			SC
1.5	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.			SM
2	SM: Arenas limosas, mezclas de arena y limo.			SP-SM
2.5	SP-SM: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas limosas, mezclas de arena y limo.			SP-SC
3	SP-SC: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.			
3.5	SP-SC: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.			
4	SC: Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.			
4.5	SP-SC: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.			
5	SP-SC: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.			
5.5	SP-SC: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.			
6	SP-SC: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.			
6.5	SP-SC: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.			
7	SP-SC: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.			
7.5	SP-SC: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.			

Fuente: Bautista (2018). *Ensayos Geotécnicos en Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla.*

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DETERMINACIÓN DEL CIMIENTO

4.1 Análisis de resultados según los SPT desarrollados

Sondeo No. 1

- De 0.00 a 0.50 metros de profundidad

La compacidad relativa es de un suelo suelto con porcentaje de humedad de 6.6 por ciento, y una resistencia de 0.73 kg/cm² que equivale a 7.28 Ton/mts² presentando una capacidad soporte del suelo baja. El ángulo de fricción interna es de: 27.64° y el ángulo de reposo natural del material es de 58.82°. El tipo de suelo que presenta es SC: arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla. El índice de plasticidad es 0.00, el índice de plasticidad se encuentra sumamente bajo. El peso volumétrico húmedo es de 1,117.54 Kg/m³ y su peso volumétrico seco es de 1,048.15 Kg/m³. Coeficiente de balasto es de: 2.01 Kg/cm³. El porcentaje de CBR es de 5.35 %.

- De 0.50 a 1.00 metros de profundidad

La compacidad relativa es un suelo medio denso con porcentaje de humedad de 9.4 por ciento, y una resistencia de 1.00 kg/cm². que equivale a 10.01 Ton/mts². presentando una capacidad soporte del suelo media. El ángulo de fricción interna es de: 29.83° y el ángulo de reposo natural del material es de 59.92°. El tipo de suelo que presenta es SM: arenas limosas, mezclas de arena y limo. El índice de plasticidad es 0.00, el índice de plasticidad se encuentra muy

bajo. El peso volumétrico húmedo Kg/m³ es de 1,439.82 Kg/m³ y su peso volumétrico seco es de 1316.11 Kg/m³. Coeficiente de balasto es de: 2.78 Kg/cm³. El porcentaje de CBR es de 6.98 %.

- De 1.00 a 2.00 metros de profundidad

La compacidad relativa es un suelo suelto con porcentajes de humedad de 19.7 y 18.3 por ciento respectivamente, y una resistencia de 0.55 kg/cm². Que equivale a 5.46 Ton/mts² presentando una capacidad soporte del suelo baja. El ángulo de fricción interna es de 25.95°, y el ángulo natural de reposo, del material, es de 57.98°. El tipo de suelo que presenta es SM: arenas limosas, mezclas de arena y limo, y SC: arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla respectivamente. El índice de plasticidad es de 5.0 en 1.50 m de profundidad y 11.00 en 2.00 m de profundidad. El índice de plasticidad se encuentra bajo para el estrato 1.50 y medianamente plástico para el estrato 2.00, el peso volumétrico húmedo es de 1,506.79 Kg/m³ a 1.50 de profundidad y de 1,344.15 Kg/m³ a 2.00 m de profundidad, su peso volumétrico seco es de 1,259.33 Kg/m³ y 1,136.32 Kg/m³ respectivamente. El coeficiente de balasto es de 1.50 Kg/cm³ para ambos estratos y el porcentaje de CBR es de 4.26 % para ambos estratos.

- De 2.00 a 2.50 metros de profundidad

La compacidad relativa es de un suelo muy suelto con porcentaje de humedad de 35.9 por ciento, y una resistencia de 0.18 kg/cm², que equivale a 1.82 Ton/mts², presentando una capacidad de soporte del suelo muy baja, el ángulo de fricción interna es de: 21.32° y el ángulo de reposo natural del material es de 55.66°, el tipo de suelo que presenta es SM: arenas limosas, mezclas de arena y limo. El índice de plasticidad es de 3.0, el índice de plasticidad se encuentra bajo. El peso volumétrico húmedo es de 1,386.19 Kg/m³ y su peso

volumétrico seco es de 1020.91 Kg/m³. El coeficiente de balasto es de 1.75 Kg/cm³. El porcentaje de CBR es de 4.80 %.

- De 2.50 a 3.00 metros de profundidad

La compacidad relativa es de un suelo suelto con porcentaje de humedad de 35.8 por ciento y una resistencia de 0.64 kg/cm², que equivale a 6.37 Ton/mts² presentando una capacidad de soporte del suelo baja, el ángulo de fricción interna es de: 26.83° y el ángulo natural de reposo es de 58.42°. El tipo de suelo que presenta es SM: arenas limosas, mezclas de arena y limo. El índice de plasticidad es de 3.0, el índice de plasticidad se encuentra bajo. El peso volumétrico húmedo es de 1,386.19 Kg/m³ y su peso volumétrico seco es de 1,020.91 Kg/m³. El coeficiente de balasto es de: 1.75 Kg/cm³. El porcentaje de CBR es de 4.80 %.

- De 3.00 a 3.50 metros de profundidad

La compacidad relativa es de un suelo medio denso con porcentaje de humedad de 24.3 %, y una resistencia de 1.55 kg/cm², que equivale a 15.47 Ton/mts², presentando una capacidad de soporte del suelo media, el ángulo de fricción interna es de 33.43° y su ángulo de reposo natural de 61.72°. El tipo de suelo que presenta es SP-SM: arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos, arenas limosas, mezclas de arena y limo. El índice de plasticidad es 0.00, el índice de plasticidad se encuentra muy bajo. El peso volumétrico húmedo es de 1,535.95 Kg/m³ y su peso volumétrico seco es de 1,235.58 Kg/m³. El coeficiente de balasto es de 4.44 Kg/cm³. El porcentaje de CBR es de 10.33 %.

- De 3.50 a 4.00 metros de profundidad

La compacidad relativa es de un suelo denso con porcentaje de humedad de 25.6 % y una resistencia de 2.82 kg/cm², que equivale a 28.21 Ton/mts², presentando una capacidad de soporte del suelo alta. El ángulo de fricción interna es de 39.89° y el ángulo de natural de reposo del material es de 64.95°. El tipo de suelo que presenta es SP-SM: arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos, arenas limosas, mezclas de arena y limo. El índice de plasticidad es de 0.00, lo cual indica un índice de plasticidad que se encuentra muy bajo. El peso volumétrico húmedo es de 1,630.05 Kg/m³ y su peso volumétrico seco es de 1,297.60 Kg/m³. El coeficiente de balasto es de 10.27 Kg/cm³. El porcentaje de CBR es de 18.96 %.

- De 4.00 a 6.00 metros de profundidad

La continuidad de los estratos a profundidades desde los 4.00 a los 6.00 metros hacen que se considere continuo el estrato por lo que se resumen los análisis de estos.

La compacidad relativa es de un suelo medio denso con porcentajes de humedad de 20.5 %, 21.4 %, 17.5 %, 17.8 % respectivamente, y una resistencia de 1.82, 1.73, 2.46 y 2.73 kg/cm², que equivale a 18.20, 17.29, 24.57 y 27.30 Ton/mts², presentando una capacidad de soporte del suelo media, el ángulo de fricción interna es de: 35.00°, 34.49°, 38.23° y 39.49° respectivamente y el ángulo de reposo natural del material oscila en 62.50°, 62.25°, 64.12° y 64.75°. El tipo de suelo que presenta es SP-SC: arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla. Y SP-SM: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas limosas, mezclas de arena y limo. El índice de plasticidad es de 0.0, el índice de

plasticidad se encuentra bajo, el peso volumétrico húmedo en Kg/m³ es de 1,610.56, 1,603.35, 1,716.07 y 1.672.05, respectivamente y su peso volumétrico seco en Kg/m³ es de 1,337.01, 1,320.72, 1,459.99 y 1,419.64, respectivamente. El coeficiente de balasto es de 5.38, 5.06, 8.14 y 9.69 Kg/cm³ respectivamente y el porcentaje de CBR es de 12.08 %, 11.49 %, 16.37 % y 18.30 % para los estratos comprendidos entre los 4.00 a los 6.00 metros de profundidad.

- De 6.00 a 7.50 metros de profundidad

La continuidad de los estratos a profundidades desde los 6.00 a los 7.50 metros hacen que se considere continuo el estrato por lo que se resumen los análisis de estos.

La compacidad relativa es de un suelo MUY DENSO con porcentajes de humedad de 16.5 %, 18.6 % y 20.00 %, y una resistencia de 6.19, 11.74 y 8.19 kg/cm² respectivamente, que equivale a 61.88, 117.39, 81.90 Ton/mts² presentando una capacidad de soporte del suelo muy alta, PRESENTANDO RECHAZO, el ángulo de fricción interna es de: 51.87°, 65.79°, 57.42° y el ángulo natural de reposo del material oscila en: 70.94°, 77.90° y 73.71°. El tipo de suelo que presenta es SP-SC: arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos, arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla. Y SP-SM: arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos. Arenas limosas, mezclas de arena y limo. El índice de plasticidad es de 0.00 el índice de plasticidad se encuentra aún muy bajo. El peso volumétrico húmedo en Kg/m³ es de 1,691.39, 1,699.18 y 1,728.48 respectivamente para los estratos 6.50, 7.00 y 7.50 metros de profundidad respectivamente y el peso volumétrico seco en Kg/m³ es de 1,451.34, 1,432.22 y 1,440.04 respectivamente. El coeficiente de balasto es de: 90.90 Kg/cm³, 1192.08 Kg/cm³ y 269.16 Kg/cm³. El porcentaje de CBR es de 47.49 %, 109.95 % y 68.02 % respectivamente.

Sondeo No. 2

- De 0.00 a 1.50 metros de profundidad

La compacidad relativa es de un suelo suelto con porcentajes de humedad de 5.0 %, 27.6 %, 24.6 %, con una resistencia de 0.91, 0.91, 0.73 kg/cm². que equivale a 9.10, 9.10, 7.28 Ton/mts² respectivamente, presentando una capacidad soporte baja, el ángulo de fricción interna es de: 29.14°, 29.14°, 27.64° y el ángulo de reposo del material oscila en: 59.57°, 59.57°, 58.82°. El tipo de suelo que presenta es GP-GC: gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos. Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla. Y SC: arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla. El índice de plasticidad es de 0.0 y 9.0 para los estratos de 0.50 m. a 1.00 m. y medianamente plástico, para el estrato 1.50 m. el peso volumétrico húmedo en Kg/m³ es de 1.378.44, 1.216.32, 1.455.28 y su peso volumétrico seco en Kg/m³ es de 1313.05, 953.00, 1167.77 con un coeficiente de balasto es de 2.52 Kg/cm³, 2.52 Kg/cm³, 2.01 Kg/cm³ respectivamente, el porcentaje de CBR es de 6.43 %, 6.43 %, 5.35 %.

- De 1.50 a 2.00 metros de profundidad

La compacidad relativa es un suelo muy suelto con porcentaje de humedad de 27.7 por ciento, Y una resistencia de 0.36 kg/cm² que equivale a 3.64 Ton/mts² presentando una capacidad soporte del suelo muy baja, el ángulo de fricción interna es de: 23.94° y el ángulo de reposo del material es de 56.97°. El tipo de suelo que presenta es SM: arenas limosas, mezclas de arena y limo. El índice de plasticidad es de 11.00, el peso volumétrico húmedo en Kg/m³ es de 1,212.76 y su peso volumétrico seco en Kg/m³ es de 949.62, el coeficiente de balasto es de 1.00 Kg/cm³ y el porcentaje de CBR es de 3.13 %.

- De 2.00 a 2.50 metros de profundidad

La compactación relativa es de un suelo de baja densidad con porcentaje de humedad de 24.8 %, y una resistencia de 1.00 kg/cm² que equivale a 10.00 Ton/mts² presentando una capacidad soporte del suelo media, el ángulo de fricción interna es de: 29.83° y el ángulo de reposo del material oscila en: 59.92°, el tipo de suelo que presenta es SP-SM: arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos, arenas limosas, mezclas de arena y limo. El índice de plasticidad es de 0.00, el índice de plasticidad se encuentra bajo, el peso volumétrico húmedo en Kg/m³ es de 1,376.61 y su peso volumétrico seco en Kg/m³ es de 1,102.87, el coeficiente de balasto es de: 2.78 Kg/cm³, y el porcentaje de CBR es de 6.98 %.

- De 2.50 a 3.00 metros de profundidad

La compactación relativa es un suelo denso con porcentaje de humedad de 16.8 %, y una resistencia de 2.82 kg/cm². que equivale a 28.21 Ton/mts² presentando una capacidad soporte del suelo alta, el ángulo de fricción interna es de: 39.89° y el ángulo de reposo del material es de 64.95° el tipo de suelo que presenta es SP-SC: arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos, arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla, el índice de plasticidad es de 0.00, el índice de plasticidad se encuentra bajo, el peso volumétrico húmedo en Kg/m³ es de 1,727.33 y su peso volumétrico seco en Kg/m³ es de 1,479.38 y el coeficiente de balasto es de: 10.27 Kg/cm³, el porcentaje de CBR es de 18.96 %.

- De 3.00 a 6.50 metros de profundidad

La compacidad relativa es un suelo altamente denso con porcentajes de humedad de 16.7 %, 14.9 %, 19.7 %, 13.5 %, 15.3 %, 12.1 %, 14.5 % respectivamente, una resistencia de 4.91, 11.92, 8.01, 4.82, 4.73, 5.19, 5.01 kg/cm² para cada estrato que equivale a 49.14, 119.21, 80.08, 48.23, 47.32, 51.87, 50.05 Ton/mts² y presentan una capacidad soporte del suelo muy alta, el ángulo de fricción interna es de: 47.86°, 66.18°, 56.95°, 47.55°, 47.24°, 48.76°, 48.16° y el ángulo de reposo del material es de: 68.93°, 78.09°, 73.48°, 68.78°, 68.62°, 69.38°, 69.08° el tipo de suelo que presenta es SP-SC: arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos y arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla además SC: arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla, el índice de plasticidad es de 0.00, el índice de plasticidad se encuentra bajo, el peso volumétrico húmedo es de 1,820.13 Kg/m³, 1,848.85 Kg/m³, 1,766.94 Kg/m³, 1,820.64 Kg/m³, 2,000.97 Kg/m³, 2,046.58 Kg/m³, 1,873.39 Kg/m³ y su peso volumétrico seco es de 1,559.53 Kg/m³, 1,609.10 Kg/m³, 1,475.65 Kg/m³, 1,604.23 Kg/m³, 1,735.00 Kg/m³, 1,826.16 Kg/m³, 1,636.58 Kg/m³ y los coeficientes de balasto son de: 40.93, 1,271.90, 245.94, 38.56, 36.32, 48.85, 43.43 Kg/cm³ respectivamente y los porcentajes de CBR son de 35.76 %, 112.27 %, 66.05 %, 34.97 %, 34.17 %, 38.18 %, 36.56 %.

- De 6.50 a 7.00 metros de profundidad

La compacidad relativa es de un suelo denso con porcentaje de humedad de 13.8 % y una resistencia de 2.91 kg/cm², que equivale a 29.12 Ton/mts² presentando una capacidad de soporte del suelo alta, el ángulo de fricción interna es de 40.29° y el ángulo de reposo del material es de 65.15° el tipo de suelo que presenta es SP-SC: Arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos, arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.

El índice de plasticidad es de 0.00, el índice de plasticidad se encuentra bajo, el peso volumétrico húmedo en Kg/m³ es de 1,884.79 y su peso volumétrico seco en Kg/m³ es de 1,656.81 el coeficiente de balasto es de 10.89 Kg/cm³ y el porcentaje de CBR es de 19.62 %.

- De 7.00 a 7.50 metros de profundidad

La compacidad relativa es de un suelo altamente denso con porcentaje de humedad de 15.9 % y una resistencia de 4.73 kg/cm² que equivale a 47.32 Ton/mts² presentando una capacidad de soporte del suelo muy alta, el ángulo de fricción interna es de: 47.24° y el ángulo de reposo es de 68.62°, el tipo de suelo que presenta es SP-SC: arenas mal graduadas, mezclas de grava, con poca o nada de finos y arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla, el índice de plasticidad es de 0.00, el índice de plasticidad se encuentra bajo. El peso volumétrico húmedo en Kg/m³ es de 1,923.18 y su peso volumétrico seco en Kg/m³ es de 1,659.06 con un coeficiente de balasto es de: 36.32 Kg/cm³ y el porcentaje de CBR es de 34.17 por ciento.

4.2 Análisis del estudio hidrogeológico mediante método SEV

- Análisis de SEV en Sondeo No. 1

Los resultados de los sondeos eléctrico verticales, en el sondeo 1, como se observa en la ilustración 44 y en la tabla 26, los primeros estratos están compuestos por arenas, limos y areniscas, hasta llegar a los 8.50 metros de profundidad, posteriormente se componen por arenas, gravas y conglomerados que le da una resistencia aceptable al estrato, a los 12 metros de profundidad se encuentra un estrato compuesto por limos y areniscas, y de los 14 a 19 metros se encuentra un estrato limos arcillosos. A los 20 metros de profundidad el estrato cambia con más presencia de arenas y conglomerados. La zona húmeda es constante en todos los estratos desde la profundidad de 2.00 metros en promedio, en algunos casos en menor profundidad.

- Análisis de SEV en Sondeo No. 2

Los resultados de los sondeos eléctrico verticales, en el sondeo 2, como se observa en la ilustración 45 y en la tabla 27, los primeros estratos están compuestos por arenas, limos y areniscas, hasta llegar a los 8.50 metros de profundidad compuesto por arenas y gravas y conglomerados que le da una resistencia al estrato, a los 10 metros de profundidad se encuentra un estrato compuesto por limos y areniscas presenta una buena resistencia mecánica, al aumentar la resistividad aparente, de los 14.00 a 40.00 metros se encuentra un estrato limos y arenas. La zona húmeda es constante en todos los estratos desde la profundidad de 2.00 metros en promedio, en algunos casos en menor profundidad.

4.3 Uso de columnas de grava

De acuerdo con la teoría en el numeral 1.5.2, puede entenderse que no es posible el uso de columnas de grava en terrenos licuables (arenas y limos bajo el nivel freático) (Guzmán y Fernandez, 2018), por lo que debe utilizarse otro método debido a las condiciones geológicas e hidráulicas anteriormente descritas.

4.4 Determinación de carga admisible

La determinación de las cargas admisibles en cada una de las zonas de cimentación, indica hasta donde debe estar el alcance para desarrollar las consideraciones y proponer el sistema óptimo de cimentación.

4.4.1 Condiciones de campo

En la zona donde se desarrollarán los cimientos se analizan las condiciones y las consideraciones para la cimentación de las bases del puente que atravesará el Zanjón El Chile en el municipio de Iztapa, la superficie estable se encuentra bajo del agua y debe desarrollarse una estructura denominada ataguía, bajo la cual se desarrolla las excavaciones hasta el nivel equivalente a los 7.00 metros de profundidad teniéndose las siguientes condiciones.

Profundidad de estrato estable $L = 7.00 \text{ m}$

Peso específico zona suelta $= 1,386.19 \text{ Kg/m}^3 = 13.59 \text{ kN/m}^3$

Peso específico zona densa $= 1,699.18 \text{ Kg/m}^3 = 16.66 \text{ kN/m}^3$

Ángulo de fricción interno zona $= 39.89^\circ$

Factor de seguridad $= 4$

$P_a = 100 \text{ kN/m}^2$

$$m = 600$$

Se considera una pila de 1.20 de diámetro $D_s = 1.20$

Y una campana de $D_b = 1.75$

4.4.2 Análisis de pila de cimentación

$$q' = (5) * (13.59) + (2) * (16.66) = 101.27 \text{ kN/m}^2$$

Utilizando la ecuación 13, tenemos:

$$N^*q = 0.21 e^{(0.17)(39.89^\circ)} = 185.054$$

$$L/D_b = 7/1.75 = 4.00$$

Dado $\phi = 39.89^\circ$ y $L/D_b = 4.00$ en la figura No. 48, obtenemos el valor aproximado de $\omega = 0.85$

Por lo cual se deduce de la ecuación 13.

$$Q_{p(\text{neta})} = \left[\left(\frac{\pi}{4} \right) * (1.75)^2 \right] * (101.27) * \left[(0.85)(185.054) - 1 \right] = 50,976.38 \text{ Kn}$$

$$Q_{p(\text{perm})} = \frac{50,976.38 \text{ Kn}}{4} = 12,744.09 \text{ kN}$$

FS

4

Por lo tanto, la carga admisible de la pila es de 12,744.09 kN, = 1, 299.54
Ton/m²

Este resultado debe corroborarse con la capacidad de carga del estrato para determinar si tal consideración es consecuente con la capacidad de carga de la altura de fundación de la pila, se observó en cada sondeo en la tabla XXIX.

Tabla XXX. **Capacidad de carga de pilas de fundaciones profundas**

Capacidad de carga de pilas de fundaciones profundas		Resistencia a la Penetración Estática [Ton/m ²]	
Sondeo 1			
7.00 metro	48,912.5 Kpa	4,989.08	ton/m ²
Sondeo 2			
7.00 metro	40,191.65 Kpa	4,099.55	ton/m ²

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo con los resultados de los ensayos SPT, se determinó que, a una profundidad de 7.00 metros se tuvo rechazo, y se encontró material que se clasifica como SP-SC (arena mal graduada con arcilla) y SP-SM (arena mal graduada con limo), además el SEV indica proximidad del agua y las características de los materiales presentes, se encontraron estratos compuestos por arenas, limos, areniscas, gravas y conglomerados donde la zona húmeda es constante, por lo que son zonas altamente saturadas, según las condiciones geotécnicas de la zona, se genera la acumulación de materiales de baja plasticidad los cuales son sumamente propensos a licuefacción bajo las condiciones de humedad existente y la acción de eventos sísmicos.
2. De acuerdo con el análisis de la velocidad de las ondas sísmicas del suelo y la relación de resistencia cíclica (CRR) considerando velocidades de onda sísmica superiores a los 180 m/s con presencia del material del tipo C, a partir de los 7 metros de profundidad no hay licuefacción, pero de los 0 a 7 metros hay estratos que puede presentar licuefacción con alta a baja probabilidad durante un sismo 7.5 de magnitud en el epicentro.
3. El sistema de cimentación apropiado se consideró de acuerdo con las condiciones geotécnicas existentes y deben utilizar pilotes de cimentación debido a su capacidad de transmitir carga hasta estratos inferiores que la soporta sin riesgo de falla o asentamiento excesivo, esto se debe a las condiciones de licuefacción antes de los 7.00 metros de profundidad y considerando la poca fricción en el fuste de este.

RECOMENDACIONES

1. La condición de suelos friccionantes es constante en la zona de estudio, se debe realizar análisis puntuales en obras de infraestructura futuras, para conocer las condiciones particulares de los estratos, es oportuno el uso de SPT y ante la presencia de saturación en los suelos, mediante SEV puede conocerse tales condiciones y establecer las consideraciones oportunas para el correcto diseño de los sistemas de cimentación.
2. Desarrollar los análisis de las condiciones sísmicas, de acuerdo con lo establecido por la AGIES, que afecten la zona de estudio, sobre todo en el área de los municipios de la costa del pacifico, por la cercanía a la zona de subducción, donde la actividad sísmica es permanente y no puede ignorarse la incidencia de dicha actividad.
3. En el caso de los métodos de cimentación, es importante conocer las bondades de los distintos métodos y su aplicabilidad a cada caso particular, se deberá realizar el análisis y la factibilidad de cada método para la correcta aplicación de las consideraciones de los estudios desarrollados para las obras de infraestructura en las zonas propensas a licuefacción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alonso, J. A. (2014). *Diseño basado en técnicas de fiabilidad del tratamiento de mejora del terreno mediante columnas de grava*. (tesis de licenciatura). Universidad Politécnica de Madrid, España.
2. Alvarado, G, y Herrera, I. (2001). *Mapa Fisiográfico- Geomorfológico de la República de Guatemala*. Guatemala: MAGA.
3. A.S.T.M. (2018). *American Society for Testing and Materials*. E.E.U.U.: ASTM.
4. AGIES. (2010). *Demandas estructurales y condiciones de sitio*. Guatemala: AGIES.
5. Auge, M. (2008). *Métodos Geoeléctricos para la Prospección de Agua Subterránea*. (tesis de licenciatura). Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
6. Bautista, D. (2018). *Ensayos Geotécnicos en Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla*. Quetzaltenango, Guatemala: PROVIDA.
7. Bray y Sacio. (2006). *Perspectives on European Earthquake Engineering and Seismology*. California, USA: Atilla Ansal.
8. Centro de Estudios del Mar y Acuicultura - CEMA. (2007). *Valoración económica y ordenamiento natural del modelado del complejo de humedales marino –costeros comprendidos entre el municipio de Iztapa, Escuintla y la aldea la Candelaria, Taxisco, Santa Rosa con fines de aprovechamiento sustentable*. Guatemala: CEMA.

9. Chupina, A. M. (2015). *Susceptibilidad a la licuefacción en la planicie costera del pacífico de Guatemala*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Guatemala.
10. Collazos, C., González, O., Ante, C., Bravo, D., y Concha, A. (2006). *Ensayo de Penetración Standard SPT*. Bogotá, Colombia: Universidad del Cauca.
11. Consejo Municipal de Desarrollo Escuintla, M. (2010). *Plan de Desarrollo de Iztapa, Escuintla, Guatemala*. Guatemala: Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia.
12. Crezpo, C. (2004). *Mecánica de suelos y Cimentaciones*. Monterrey, México: Limusa.
13. Das, B. M. (2010). *Ingeniería de Cimentaciones*. México: CENGAGE.
14. Das, B. (2014). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México: CENGAGE Learning.
15. Davis, R. (2001). *Geotechnical Investigations*. E.E.U.U.: EM
16. Fournier, L. (2003). *Recursos Naturales*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
17. Geofísicos, I. U. (2016). *Propuesta de zonificación sismogenética para la zona de subducción y el arco volcánico de Guatemala*. Guatemala: INSIVUMEH.
18. Gil, S. (2017). *Estudio Hidrológico de la cuenca del río María Linda*. Guatemala, Guatemala: Digitalhouse.
19. González, M. (2001). *El Terreno*. Barcelona, España: Ediciones, UPC.

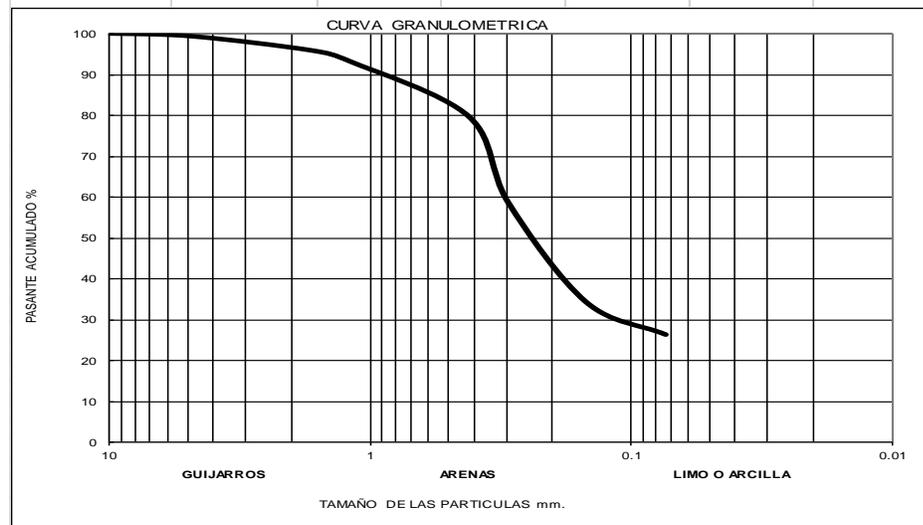
20. Goytia Torrez, I. R., y Villanueva Inca, R. (2001). *Modernización de la Enseñanza Aprendizaje en la Asignatura de Ingeniería Antisísmica*. México D.F.: Ciencias y Tecnología.
21. Graux, D. (1975). *Fundamentos de mecánica del suelo, proyecto de muros y cimentaciones*. Barcelona, España: editores técnicos asociados.
22. Guzmán, A. D., y Fernández, J. M. (2018). *Estado del arte diseño de columnas de grava para mitigación de licuación*. Cd. México: Pilotes terratest.
23. Hodgson, J. M. (1987). *Muestreos y Descripción de Suelos*. Barcelona, España: Reverté, S.A.
24. INSIVUMEH. (febrero, 2016). Sismología en Guatemala. *Sismología en Guatemala*, volumen (1), 17.
25. Lavell, A. (1996). *Estado, Sociedad y Gestión de los desastres en America Latina*. Perú: Allan Lavell y Eduardo Franco.
26. McCormac, J. (2010). *Análisis de estructuras, Métodos Clásicos y Matricial*. México: Alfaomega Grupo Editor.
27. Obando, T. (2009). *Estado actual del Conocimiento del proceso cíclico de licuefacción en suelos sujetos a solicitaciones sísmicas*. Andalucía, España: UNÍA (Huelva, España).
28. Orellana, E, y Mooney, H. (1996). *Tablas y curvas patrón para Sondeos Eléctrico Verticales sobre terrenos estratificados*. Madrid, España: Interciencia.
29. Paris, R. (2018). *Resumen Meteorológico 2017*. Guatemala: Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático.

30. Peck, R. B, Hanson, W. E, y Thornburn, T. H. (1995). *Ingeniería de Cimentaciones*. México: GRUPO NORIEGA EDITORES -LIMUSA-.
31. Petterssen, S. (1976). *Introducción a la Meteorología*. Madrid, España: Espasa-Calpe S.A.
32. Pinto, J., Simmons, C., y Tarano , J. (1959). *Reconocimiento de suelos de la República de Guatemala*. Guatemala: Instituto Agropecuario Nacional.
33. Seismology, I. R. (2019). *Últimos sismos en México hasta Panamá*. Washington, E.E.U.U.: I.R.I.S. Recuperado de http://www.iris.washington.edu/latin_am/evlist.phtml?region=mexican
34. Sistema Nacional de Protección Civil. (2006). *Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos*. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
35. Stay C, y Herbozo, A. (2017). *Cimentación en suelos potencialmente licuables mediante un bloque de suelo reforzado utilizando micropilotes con inyecciones cementicias*. Espirales revista multidisciplinaria de investigación, volumen (1) pp. 34-35.
36. Universidad Bicentenaria, A. (2019). *Límites de suelos en un campo determinado, Apuntes de Mecánica de suelos*. Venezuela: Turmero.

APÉNDICES

Apéndice 1. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 1

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
PROFUNDIDAD	0-50	cm				
LIMITES DE CONSISTENCIA		SONDEO 1				
LIMITE LIQUIDO = $W(20-30)/(N25)0.121$		LIMITE PLASTICO				
No golpes	16	23	33			
húm + tara	30.9	33	30.8			
seco + tara	29.4	31.3	29.4	No Tiene		
Tara	22.4	22.7	22.1			
Humedad	21.40%	19.80%	19.20%			
LIM LIQ =	20	20	20	IP =	0	
pesos Iniciales (gr.)		humedad natural			% orgánico	
inicial humedo =	31		Peso tara =	12.8	Peso criso = 0	
inicial seco =	29.1		hum + tara =	45	Seco + criso = 0	
lavado seco =	21.6		seco + tara =	43	alcinado + criso = 0	
ANALISIS GRANULOMETRICO		humedad =			6.62%	% orgánico = 0.00%
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0.2	0.69%	0.69%	99.31	No 4
1.68		1	3.44%	4.13%	95.87	No , 10
1.19	361.9	0.8	2.75%	6.88%	93.12	16
0.42		3.9	13.41%	20.29%	79.71	40
0.297		6.1	20.98%	41.27%	58.73	50
0.149		7.1	24.42%	65.69%	34.31	100
0.074		2.3	7.91%	73.60%	26.4	No , 200
fondo		0	25.71%	99.31%	0.69	
	finos lavados	7.47				
	finos totales	7.47				
Sumas	361.9	28.9				
	%gruesos:	1	%arena:	73	%finos:	26



Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 2. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 1

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
PROFUNDIDAD	50-100	cm				
CONSISTENCIA						
LIMITE LIQUIDO = $W(20-30)(N/25)0.121$		PLASTICO				
No go lpes	18	24	32			
húm + tara	32.4	30.7	30.9			
seco + tara	30.5	29.1	29.4	No Tiene		
Tara	22.3	22.3	22.6			
Humedad	23.20%	23.50%	22.10%			
LIM LIQ =	22	23	23	IP =	0	
peso s Iniciales (gr.)			humedad natural		% o rganico	
Inicial Humedo	52.3		Peso t ara =	12.6	Peso crisol = 0	
Inicial Seco	47.8		hum + t ara =	45.2	Seco +crisol = 0	
Lavado Seco	35.9		seco + t ara =	42.4	calcinado +crisol = 0	
ANALISIS GRANULOMETRICO			humedad=	9.40 %	%organico = 0.00 %	
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		3.7	7.74%	7.74%	92.26	3/8"
4.76		3.5	7.32%	15.06%	84.94	No 4
1.68		4.4	9.20%	24.26%	75.74	No , 10
1.19	361.9	2.2	4.60%	28.87%	71.13	16
0.42		5.7	11.92%	40.79%	59.21	40
0.297		5.1	10.67%	51.46%	48.54	50
0.149		8.6	17.99%	69.44%	30.56	100
0.074		2.7	5.65%	75.09%	24.91	No , 200
fondo		0	24.91%	100.00%	0	
	finos lavados	11.91				
	finos totales	11.91				
Sumas	361.9	47.8				
	%gruesos:	15	%arena:	60	%finos:	25

CURVA GRANULOMETRICA

PASANTE ACUMULADO %

TAMAÑO DE LAS PARTICULAS mm.

GUIJARROS ARENAS LIMO O ARCILLA

Clasificación AASHTO:	A1-b	(0)
Clasificación SUCS:	SM	
A renas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.		

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 3. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 1

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
SOLICITANTE		LADO	Derecho			
DIRECCIÓN	Aldea Atitán, Iztapa, Escuintla	UBICACIÓN	Sondeo 1			
FECHA DE RECEPCIÓN	Septiembre, 2,018	FECHA DE INICIO	Septiembre, 2,018			
PROFUNDIDAD	100-150	cm				
CONSISTENCIA						
LÍMITE LÍQUIDO = $W(20-30)/(N/25)0.121$		PLÁSTICO				
No go lpes	17	23	34			
húm + tara	26.8	30.1	30.1	23.6	23.2	
seco + tara	25.8	28.2	28.2	23.4	22.9	
Tara	22.4	21.9	21.7	22.3	21.9	
Humedad	29.40%	30.20%	29.20%	18.20%	30.00%	
LIM LIQ =	28	30	30	IP =	5	
pesos Iniciales (gr.)		humedad natural		% orgánico		
inicial humedo	24.6	Peso + tara =	12.7	Peso criso l =	0	
inicia secp	20.6	hum + tara =	33.4	Seco + criso l =	0	
la vado seco =	11.9	seco + tara =	30	calcinado + criso	0	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		humedad =		19.65 %	% orgánico = 0.00 %	
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0.7	3.40%	3.40%	96.6	No 4
1.68		0.5	2.43%	5.84%	94.16	No . 10
1.19	361.9	0.3	1.46%	7.30%	92.7	16
0.42		2.3	11.19%	18.48%	81.52	40
0.297		3	14.59%	33.07%	66.93	50
0.149		3.9	18.97%	52.04%	47.96	100
0.074		1.1	5.35%	57.39%	42.61	No . 200
fo ndo		0	42.12%	99.51%	0.49	
	finos lavados	8.66				
	finos totales	8.66				
Sumas	361.9	20.5				
	%gruesos:	3	%arena:	54	%finos:	43

CURVA GRANULOMÉTRICA

El gráfico muestra la curva granulométrica con el eje Y etiquetado como 'PASANTE ACUMULADO %' y el eje X como 'TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS mm.'. El eje X tiene marcas en 10, 1, 0.1 y 0.01 mm. El eje Y tiene marcas de 0 a 100 en incrementos de 10. La curva comienza en 100% para tamaños de 10 mm y se mantiene constante hasta aproximadamente 0.85 mm, luego desciende gradualmente hasta 43% en 0.075 mm.

Clasificación AASHTO:	A1-b	(0)
Clasificación SUCS:	SM	
A renas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.		

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 4. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 1

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
SOLICITANTE			LADO	Derecho		
DIRECCIÓN	Aldea Atitán, Iztapa, Escuintla		UBICACIÓN	Sondeo 1		
FECHA DE RECEPCIÓN	Septiembre, 2,018		FECHA DE INICIO	Septiembre, 2,018		
PROFUNDIDAD	150-200	cm				
CONSISTENCIA	0.121 PLASTICO					
LIMITE LIQUIDO = W(20-30)(N/25)						
No go lpes	19	23	35			
húm + tara	25.3	24.4	26.4	24	24.3	
seco + tara	24.5	23.8	25.2	23.6	24	
Tara	2190.00%	2200.00%	2200.00%	2200.00%	2260.00%	
Humedad	30.80%	33.30%	37.50%	25.00%	21.40%	
LIM LIQ =	30	33	39	IP =	11	
pesos Iniciales (gr.)			humedad natural	% orgánico		
inicial humedo	34.8		Peso tara =	12.9	Peso criso l = 0	
inicial seco =	29.4		hum + tara =	22.6	Seco +criso l = 0	
lavado seco =	17.4		seco + tara =	21.1	calcinado +criso l = 0	
ANALISIS GRANULOMETRICO						
			humedad=	18.29%	%o rgánico = 0.00%	
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		0.3	1.02%	1.02%	98.98	No . 10
1.19	361.9	0.3	1.02%	2.04%	97.96	16
0.42		3.7	12.58%	14.62%	85.38	40
0.297		4.5	15.30%	29.91%	70.09	50
0.149		6.4	21.75%	51.67%	48.33	100
0.074		1.9	6.46%	58.13%	41.87	No , 200
fondo		0	40.85%	98.98%	1.02	
	finos lavados	12.02				
	finos totales	12.02				
Sumas	361.9	29.1				
	%gruesos:	3	%arena:	54	%finos:	43

CURVA GRANULOMETRICA

TAMAÑO DE LAS PARTICULAS mm.

Clasificación AASHTO:	A6	(2)
Clasificación SUCS:	SC	
Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla		

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 5. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 1

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
SOLICITANTE			LADO	Derecho		
DIRECCIÓN	Aldea Atitán, Iztapa, Escuintla		UBICACIÓN	Sondeo 1		
FECHA DE RECEPCIÓN	Septiembre, 2,018		FECHA DE INICIO	Septiembre, 2,018		
PROFUNDIDAD	200-250 cm					
CONSISTENCIA						
CONSISTENCIA						
LIMITE LIQUIDO = $W(20-30)(N/25)^{0.121}$			PLASTICO			
No go lpes	18	25	31			
húm + tara	28.7	28.1	29.9	23.6	23.8	
seco + tara	26.7	26.4	27.4	23.2	23.4	
Tara	2230.00%	2240.00%	2190.00%	2200.00%	2200.00%	
Humedad	45.50%	42.50%	45.50%	33.30%	28.60%	
LIM LIQ =	44	43	47	IP =	13	
Peso s Iniciales (gr.)	humedad natural			% o rganico		
inicial humedo	47.2		Peso s tara =	12.9	Peso criso l = 0	
inicial seco =	34.7		hum + tara =	41.3	Seco +criso l = 0	
la va do s e co =	16.4		s e co + tara =	33.8	calcinado +criso l = 0	
ANALISIS GRANULOMETRICO			humedad=	35.89 %	%o rganico = 0.00 %	
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		0.2	0.58%	0.58%	99.42	No. 10
1.19	361.9	0.3	0.86%	1.44%	98.56	16
0.42		3.9	11.23%	12.67%	87.33	40
0.297		4.9	14.11%	26.77%	73.23	50
0.149		5.4	15.55%	42.32%	57.68	100
0.074		1.6	4.61%	46.93%	53.07	No. 200
fo ndo		0	52.79%	99.71%	0.29	
	fino s lavado s	18.34				
	fino s to tales	18.34				
Sumas	361.9	34.6				
	%gruesos:	0	%arena:	47	%finos:	53

CURVA GRANULOMETRICA

PASANTE ACUMULADO %

TAMANO DE LAS PARTICULAS mm.

GUIJARROS ARENAS LIMO O ARCILLA

Clas ificacion AASHTO:	A7-5	(5)
Clas ificacion SUCS:	ML	
Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plasticos.		

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 6. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 1

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
SOLICITANTE			LADO	Derecho		
DIRECCIÓN	Aldea Atitán, Iztapa, Escuintla		UBICACIÓN	Sondeo 1		
FECHA DE RECEPCIÓN	Septiembre, 2,018		FECHA DE INICIO	Septiembre, 2,018		
PROFUNDIDAD	250-300	cm				
CONSISTENCIA						
LIMITES DE CONSISTENCIA						
LÍMITE LÍQUIDO = $W(20-30)/(N/25)0.121$			PLÁSTICO			
No go lpes	15	23	31			
húm + tara	33.4	35.3	41.3	23.4	23.2	
seco + tara	30.6	32.2	36.9	23.1	22.9	
Tara	2190.00%	2210.00%	2260.00%	2190.00%	2190.00%	
Humedad	32.20%	30.70%	30.80%	25.00%	30.00%	
LIM LIQ =	30	30	32	IP =	3	
pesos Iniciales (gr.)			humedad natural		% o rgánico	
inicial humedo	94.3		Peso t ara =	12.8	Peso criso l = 0	
inicial seco =	69.4		hum + t ara =	68.2	Seco +criso l = 0	
la vado seco =	55.3		seco +t ara =	53.6	calcinado +criso l = 0	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			humedad=	35.78%	%o rgánico = 0.00%	
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		0	0.00%	0.00%	100	No . 10
1.19	361.9	0.4	0.58%	0.58%	99.42	16
0.42		25.2	36.29%	36.86%	63.14	40
0.297		17.9	25.77%	62.64%	37.36	50
0.149		9.7	13.97%	76.60%	23.4	100
0.074		1.6	2.30%	78.91%	21.09	No . 200
fo ndo		0	20.37%	99.28%	0.72	
	finos lavados	14.15				
	finos totales	14.15				
Sumas	361.9	68.9				
	%gruesos:	0	%arena:	79	%finos:	21
CURVA GRANULOMÉTRICA						
Clasificación AASHTO:	A1-b ()					
Clasificación SUCS:	SM					
A renas limo sas, mezclas de arena y limo .						

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 7. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 1

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
SOLICITANTE			LADO	Derecho		
DIRECCIÓN	Adea Atitán, Iztapa, Escuintla		UBICACIÓN	Sondeo 1		
FECHA DE RECEPCIÓN	Septiembre, 2,018		FECHA DE INICIO	Septiembre, 2,018		
PROFUNDIDAD	300-350	cm				
CONSISTENCIA						
LIMITE LIQUIDO = $W(20-30)(N/25)0.121$			PLASTICO			
No go lpes	18	25	31			
húm + tara	36.7	37.5	36.2			
seco + tara	34	34.8	33.6	No Tiene		
Tara	22	22.2	21.8			
Humedad	0.225	0.214	0.22			
LIM LIQ =	22	21	23	IP =	0.00%	
LIM LIQ =	20	20	21	IP =	0	
pesos Iniciales (gr.)			humedad natural		% orgánico	
inicial humedo	79.3		Peso a tara =	12.7	Peso criso =	0
inicial seco =	63.8		hum + tara =	71.5	Seco + criso =	0
lavado seco =	58.6		seco + tara =	60	calcinado + criso =	0
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			humedad=	24.31%	% orgánico =	0.00%
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		0	0.00%	0.00%	100	No. 10
1.19	361.9	0.3	0.47%	0.47%	99.53	16
0.42		22.7	35.59%	36.06%	63.94	40
0.297		18.9	29.63%	65.68%	34.32	50
0.149		13.1	20.54%	86.22%	13.78	100
0.074		2.8	4.39%	90.61%	9.39	No. 200
fondo		0	8.14%	98.75%	1.25	
	finos lavados	5.19				
	finos totales	5.19				
Sumas	361.9	63				
	%gruesos:	0	%arena:	91	%finos:	9

CURVA GRANULOMÉTRICA

TAMAÑO DE LAS PARTICULAS mm.

Clasificación AASHTO:	A1-b ()
Clasificación SUCS:	SP-SM
Arenas mal graduadas, arena con grava con poco o nada de fino s. Arenas limosas, mezclas de arena y limo .	

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 8. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 1

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
SOLICITANTE			LADO	Derecho		
DIRECCIÓN	Aldea Atitán, Iztapa, Escuintla		UBICACIÓN	Sondeo 1		
FECHA DE RECEPCIÓN	Septiembre, 2,018		FECHA DE INICIO	Septiembre, 2,018		
PROFUNDIDAD	350-400	cm				
CONSISTENCIA						
LÍMITE LÍQUIDO = $W(20-30)(N/25)0.121$						
PLASTICO						
No go lpes	18	25	31			
húm + tara	36.7	37.5	36.2			
seco + tara	34	34.8	33.6	No Tiene		
Tara	2200.00%	2220.00%	2180.00%			
Humedad	22.50%	21.40%	22.00%			
LIM LIQ =	22	21	23	IP =	0	
Peso s Iniciales (gr.)						
			humedad natural	% o rganico		
inicial humedo	89.8		Peso t ara =	12.9	Peso criso l = 0	
inicial seco =	71.5		hum + t ara =	83.5	Seco +criso l = 0	
la vado seco =	64.2		seco + t ara =	69.1	calcinado +criso l = 0	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
			humedad=	25.62%	%o rganico = 0.00%	
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		0.1	0.14%	0.14%	99.86	No , 10
1.19	361.9	0.8	1.12%	1.26%	98.74	16
0.42		29.8	41.69%	42.95%	57.05	40
0.297		15	20.98%	63.93%	36.07	50
0.149		13.7	19.17%	83.10%	16.9	100
0.074		4.5	6.30%	89.39%	10.61	No , 200
fo ndo		0	10.19%	99.58%	0.42	
	fino s lavado s	7.28				
	fino s to tales	7.28				
Sumas	361.9	71.2				
	%gruesos:	0	%arena:	89	%finos:	11

CURVA GRANULOMETRICA

PASANTE ACUMULADO %

TAMAÑO DE LAS PARTICULAS mm.

10 1 0.1 0.01

GUIJARROS ARENAS LIMO O ARCILLA

Clas ificación AASHTO:	A1-b (0)
Clasificación SUCS:	SP-SM
Arenas mal graduadas, arena con grava con poco o nada de fino s. Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 9. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 1

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
SOLICITANTE			LADO	Derecho		
DIRECCIÓN	Aldea Atitán, Iztapa, Escuintla		UBICACIÓN	Sondeo 1		
FECHA DE RECEPCIÓN	Septiembre, 2,018		FECHA DE INICIO	Septiembre, 2,018		
PROFUNDIDAD	400-450	cm				
CONSISTENCIA						
LIMITE LIQUIDO = $W(20-30)/(N/25)0.121$			PLASTICO			
No go lpes	15	21	31			
húm + tara	34	36.7	31.9			
seco + tara	32.3	34.5	30.4	No Tiene		
Tara	2230.00%	2230.00%	2250.00%			
Humedad	17.00%	18.00%	19.00%			
LIM LIQ =	16	18	19	IP =	0	
pesos Iniciales (gr.)						
inicial humedo	93.9		humedad natural		% o rganico	
inicial seco =	78		Peso t ara =	12.7	Peso criso l = 0	
lavado seco =	73.3		hum + tara =	75.7	Seco +criso l = 0	
			seco + tara =	65	alcinado +criso l = 0	
ANALISIS GRANULOMETRICO						
			humedad=	20.46%	%organico = 0.00%	
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		0	0.00%	0.00%	100	No , 10
1.19	361.9	0.7	0.90%	0.90%	99.1	16
0.42		17.8	22.83%	23.73%	76.27	40
0.297		24.2	31.04%	54.78%	45.22	50
0.149		0.7	0.90%	55.68%	44.32	100
0.074		34	43.62%	99.29%	0.71	No , 200
fondo		0	5.97%	105.26%	-5.26	
	finos lavados	4.65				
	finos totales	4.65				
Sumas	361.9	82.1				
	%gruesos:	0	%arena:	99	%finos:	1
<p>CURVA GRANULOMETRICA</p> <p>PASANTE ACUMULADO %</p> <p>TAMANO DE LAS PARTICULAS mm.</p> <p>GUIJARROS ARENAS LIMO O ARCILLA</p>						
Clasificación AASHTO:			A1-b ()			
Clasificación SUCS:			SP-SC			
Arenas mal graduadas, arena con grava con poco o nada de finos. arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.						

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 10. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 1

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
SOLICITANTE	Aldea Atitán, Iztapa, Escuintla		LADO	Derecho		
DIRECCIÓN	Septiembre, 2,018		UBICACIÓN	Sondeo 1		
FECHA DE RECEPCIÓN	450-500		FECHA DE INICIO	Septiembre, 2,018		
PROFUNDIDAD	cm					
CONSISTENCIA						
CONSISTENCIA						
LIMITE LIQUIDO = $W(20-30)(N/25)0.121$			PLASTICO			
No go lpes	18	22	34			
húm + tara	51.7	43.7	46			
seco + tara	46.1	39.8	41.9	No Tiene		
Tara	2240.00%	2190.00%	2180.00%			
Humedad	23.60%	21.80%	20.40%			
LIM LIQ =	23	21	21	IP =	0	
pesos Iniciales (gr.)	humedad natural			% o rganico		
inicial humedo	85.2		Peso + tara =	12.6	Peso criso l = 0	
inicial seco =	70.2		hum + tara =	81.8	Seco +criso l = 0	
lavado seco =	67.6		seco + tara =	69.6	calcinado +criso l = 0	
ANALISIS GRANULOMETRICO	humedad=		21.40 %	%o rganico = 0.00 %		
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		0	0.00%	0.00%	100	No , 10
1.19	361.9	0.9	1.28%	1.28%	98.72	16
0.42		32.3	46.03%	47.31%	52.69	40
0.297		22.6	32.20%	79.51%	20.49	50
0.149		10.2	14.53%	94.04%	5.96	100
0.074		1.3	1.85%	95.90%	4.1	No , 200
fondo		0	3.68%	99.57%	0.43	
	finos lavados	2.58				
	finos totales	2.58				
Sumas	361.9	69.9				
	%gruesos:	0	%arena:	96	%finos:	4

CURVA GRANULOMETRICA

PASANTE ACUMULADO %

TAMAÑO DE LAS PARTICULAS mm.

GUIJARROS ARENAS LIMO O ARCILLA

Clasificación AASHTO:	A1-b ()
Clasificación SUCS:	SP-SM
A arenas mal graduadas, arena con grava con poco o nada de finos. Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 11. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 1

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
SOLICITANTE		LADO	Derecho			
DIRECCIÓN	Aldea Atitán, Iztapa, Escuintla	UBICACIÓN	Sondeo 1			
FECHA DE RECEPCIÓN	Septiembre, 2,018	FECHA DE INICIO	Septiembre, 2,018			
PROFUNDIDAD	500-550	cm				
CONSISTENCIA						
CONSISTENCIA						
LIMITE LIQUIDO = $W(20-30)/(N/25)0.121$			PLASTICO			
No golpes	26	24	33			
húm + tara	48.3	47.7	41.6			
seco + tara	46.1	39.8	41.9	No Tiene		
Tara	21.80%	21.60%	21.70%			
Humedad	20.50%	18.10%	17.10%			
LIM LIQ =	19	19	18	IP =	0	
pesos Iniciales (gr.)						
			humedad natural		% orgánico	
inicial humedo	107.8		Peso tara =	12.7	Peso criso l =	0
inicial seco =	91.7		hum + tara =	79.7	Seco + criso l =	0
lavado seco =	83.1		seco + tara =	69.7	calcinado + criso l =	0
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			humedad =	17.54%	% orgánico =	0.00%
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		0.2	22.00%	22.00%	99.78	No , 10
1.19	361.9	0.6	0.65%	0.87%	99.13	16
0.42		44.4	48.41%	49.29%	50.71	40
0.297		24.5	26.71%	76.00%	24	50
0.149		11.7	12.76%	88.76%	11.24	100
0.074		1.8	1.96%	90.72%	9.28	No , 200
fin do		0	9.39%	100.00%	0	
	finos lavados	8.61				
	finos totales	8.61				
Sumas	361.9					
	%gruesos:	0	%arena:	91	%finos:	9

Clasificación AASHTO:	A1-b ()
Clasificación SUCS:	SP-SC
Arenas mal graduadas, arena con grava con poco o nada de finos. arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 12. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 1

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
SOLICITANTE			LADO	Derecho		
DIRECCIÓN	Aldea Atitán, Iztapa, Escuintla		UBICACIÓN	Sondeo 1		
FECHA DE RECEPCIÓN	Septiembre, 2,018		FECHA DE INICIO	Septiembre, 2,018		
PROFUNDIDAD	600-650	cm				
CONSISTENCIA						
CONSISTENCIA						
LIMITE LIQUIDO = $W(20-30)(N/25)0.121$			PLASTICO			
No go lpes	18	21	31			
húm + tara	36.7	35.6	34.5			
seco + tara	34.1	33.8	33	No Tiene		
Tara	21.90%	22.10%	22.20%			
Humedad	21.30%	15.40%	13.90%			
LIM LIQ =	20	15	14	IP =	0	
pesos Iniciales (gr.)						
			humedad natural	% o rganico		
inicial humedo	96.5		Peso t ara =	16.5	Peso criso l = 0	
inicial seco =	80.7		hum + t ara =	88.7	Seco +criso l = 0	
la vado seco =	71.8		seco + t ara =	76.9	alcinado +criso l = 0	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
			humedad=	19.54%	%o rganico = 0.00%	
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		0	0.00%	0.00%	100	No , 10
1.19	361.9	0.5	0.62%	0.62%	99.38	16
0.42		24.9	30.84%	31.46%	68.54	40
0.297		25.9	32.08%	63.54%	36.45	50
0.149		17.4	21.55%	85.09%	14.9	100
0.074		2.9	3.59%	88.68%	11.31	No , 200
fin do		0	11.06%	99.74%	0.25	
	finos lavados	8.93				
	finos totales	8.93				
Sumas	361.9	80.5				
	%gruesos:	0	%arena:	89	%finos:	11

CURVA GRANULOMÉTRICA

TAMAÑO DE LAS PARTICULAS mm.

Clasificación AASHTO:	A1-b (0)
Clasificación SUCS:	SP-SC
Arenas mal graduadas, arena con grava con poco o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 13. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 1

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
SOLICITANTE			LADO	Derecho		
DIRECCIÓN	Aldea Atitán, Iztapa, Escuintla		UBICACIÓN	Sondeo 1		
FECHA DE RECEPCIÓN	Septiembre, 2018		FECHA DE INICIO	Septiembre, 2018		
PROFUNDIDAD	550-600	cm				
CONSISTENCIA						
LIMITE LIQUIDO = $W(20-30)(N/25)0.121$						
No go lpes	22	21	PLASTICO			
húm + tara	40.5	39.5	31			
seco + tara	37.6	37.2	38.8			
Tara	2190.00%	2240.00%	36.5	No Tiene		
Humedad	18.50%	15.50%	2170.00%			
LIM LIQ =	18	15	16	IP =	0	
pesos Iniciales (gr.)						
inicial humedo	96.7	humedad natural		% o rganico		
inicial seco =	82.1	Peso t a r a =		16.1	Peso criso l = 0	
l a v a d o s e c o =	72.5	hum + t a r a =		72.4	Seco +criso l = 0	
		s e c o + t a r a =		63.9	calcinado +criso = 0	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
		humedad=		17.78%	%o rganico = 0.00%	
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		2.1	2.56%	2.56%	97.44	No 4
1.68		0.1	0.12%	2.68%	97.32	No , 10
1.19	361.9	0.2	0.24%	2.92%	97.08	16
0.42		0.5	0.61%	3.53%	96.47	40
0.297		26.9	32.76%	36.30%	63.7	50
0.149		27.1	33.01%	69.31%	30.69	100
0.074		15.7	19.12%	88.43%	11.57	No , 200
fo ndo		0	0.00%	88.43%	11.57	
	fino s lavado s	0				
	fino s to tales	0				
Sumas	361.9	72.6				
	%gruesos:	2	%arena:	86	%finos:	12

CURVA GRANULOMETRICA

Y-axis: PASANTE ACUMULADO % (0 to 100)

X-axis: TAMAÑO DE LAS PARTICULAS mm. (10 to 0.01)

Regions: GUIJARROS (10-2.0 mm), ARENAS (2.0-0.075 mm), LIMO O ARCILLA (<0.075 mm)

Clasificación AASHTO:	A2-4 ()
Clasificación SUCS:	SP-SC

Arenas mal graduadas, arena con grava con poco o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 14. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 1

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
PROFUNDIDAD	650-700	cm				
LIMITES DE CONSISTENCIA						
LIMITE LIQUIDO = $W(20-30)/(N/25)0.121$			PLASTICO			
No go lpes	18	22	31			
húm + tara	42.4	43.6	41.8			
seco + tara	39.1	40.4	39.2	No Tiene		
Tara	2230.00%	2200.00%	2250.00%			
Humedad	19.60%	17.40%	15.60%			
LIM LIQ =	19	17	16	IP =	0	
peso s Iniciales (gr.)			humedad natural	% o rganico		
inicial humedo	103		Peso t a r a =	16.4	Peso criso l =	0
inicial seco =	86.8		hum + t a r a =	77.5	Seco +criso l =	0
l a v a d o s e c o =	75.9		s e c o + t a r a =	67.9	calcinado +criso l =	0
ANALISIS GRANULOMETRICO						
			humedad=	18.64 %	%o rganico =	0.00 %
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		0	0.00%	0.00%	100	No , 10
1.19	361.9	0.4	0.46%	0.46%	99.54	16
0.42		24.9	28.68%	29.14%	70.86	40
0.297		29.1	33.52%	62.66%	37.34	50
0.149		19.1	22.00%	84.66%	15.34	100
0.074		2.3	2.65%	87.31%	12.69	No , 200
fo ndo		0	12.57%	99.88%	0.12	
	finos lavados	10.92				
	finos totales	10.92				
Sumas	361.9	86.7				
	%gruesos:	0	%arena:	87	%finos:	13

CURVA GRANULOMETRICA	
Clasificación AASHTO:	A1-b ()
Clasificación SUCS:	SP-SC
Arenas mal graduadas, arena con grava con poco o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 15. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 1

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
SOLICITANTE		LADO	Derecho			
DIRECCIÓN	Aldea Atitán, Iztapa, Escuintla	UBICACIÓN	Sondeo 1			
FECHA DE RECEPCIÓN	Septiembre, 2,018	FECHA DE INICIO	Septiembre, 2,018			
PROFUNDIDAD	700-750	cm				
CONSISTENCIA						
CONSISTENCIA						
LIMITE LIQUIDO = $W(20-30)(N/25)^{0.121}$			PLASTICO			
No go lpes	15	24	32			
húm + tara	41	41.6	43.1			
seco + tara	37.3	38.5	40	No Tiene		
Tara	22.10%	22.50%	22.50%			
Humedad	24.30%	19.40%	17.70%			
LIM LIQ =	23	19	18	IP =	0	
peso s Iniciales (gr.)		humedad natural		% o rganico		
inicial humedo	106.3	Peso t ara =	16.4	Peso criso l =	0	
inicial seco =	88.6	hum + t ara =	94.3	Seco +criso l =	0	
lavado seco =	77.7	seco + t ara =	81.3	alcinado +criso l =	0	
ANALISIS GRANULOMETRICO		humedad=	30.03%	%o rganico =	0.00%	
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		2.6	2.94%	2.94%	97.06	No. 10
1.19	361.9	0.9	1.02%	3.96%	96.05	16
0.42		33.4	37.71%	41.67%	58.33	40
0.297		25.2	28.46%	70.13%	29.88	50
0.149		13.3	15.02%	85.15%	14.86	100
0.074		19	2.15%	87.30%	12.72	No. 200
fo ndo		0	12.26%	99.56%	0.45	
	finos lavados	10.86				
	finos totales	10.86				
Sumas	361.9	88.2				
	%gruesos:	0	%arena:	87	%finos:	13

CURVA GRANULOMETRICA

Clasificación AASHTO:	A1-b (0)
Clasificación SUCS:	SP-SM
Arenas mal graduadas, arena con grava con poco o nada de finos. Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 16. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 2

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
PROFUNDIDAD	50-100 cm					
LIMITES DE CONSISTENCIA	SONDEO 2					
LIMITE LIQUIDO = $W(20-30)(N/25)0.121$			LIMITE PLASTICO			
No golpes	19	25	35			
húm + tara	32.1	34.5	32	17.3	17.4	
seco + tara	28.9	30.8	28.9	17.1	17.1	
Tara	20.5	20.7	20.2	16.1	16.1	
Humedad	38.10%	36.60%	35.60%	20.00%	30.00%	
LIM LIQ =	37	37	37	IP =	12	
pesos Iniciales (gr.)			humedad natural	% organico		
inicial humedo =	40.2		Peso tara =	12.6	Peso criso l = 0	
inicial seco =	32.3		hum + tara =	25.9	Seco + criso l = 0	
lavado seco =	25.1		seco + tara =	23.3	alcinado + criso = 0	
ANALISIS GRANULOMETRICO			humedad =	24.30%	% organico = 0.00%	
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		0.4	1.24%	1.24%	98.76	No , 10
1.19	361.9	0.2	0.62%	1.86%	98.14	16
0.42		7.2	22.26%	24.12%	75.88	40
0.297		8.9	27.52%	51.64%	48.36	50
0.149		7.2	22.26%	73.90%	26.1	100
0.074		1.1	3.40%	77.30%	22.7	No , 200
fondo		0	22.39%	99.69%	0.31	
	finos lavados	7.24				
	finos totales	7.24				
Sumas	361.9	32.2				
	%gruesos:	0	%arena:	77	%finos:	23

CURVA GRANULOMETRICA

TAMAÑO DE LAS PARTICULAS mm.

Clasificación AASHTO:	A2-6	()
Clasificación SUCS:	SM	
Arenas limosas, mezclas de arena y limo .		

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 17. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 2

PROYECTO		Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla				
PROFUNDIDAD	100-150	cm				
LIMITE DE CONSISTENCIA		SONDEO 2				
LIMITE LIQUIDO = $W(20-30)(N/25)0.121$		LIMITE PLASTICO				
No go lpes	19	25	35			
húm + tara	32.1	34.5	32	17.3	17.4	
seco + tara	28.9	30.8	28.9	17.1	17.1	
Tara	20.5	20.7	20.2	16.1	16.1	
Humedad	38.10%	36.60%	35.60%	20.00%	30.00%	
LIM LIQ =	37	37	37	IP =	12	
peso s Iniciales (gr.)		humedad natural		% organico		
inicial humedo =	64.3	Peso + tara =		12.7	0	
inicial seco =	44	hum + tara =		58.4	0	
lavado seco =	35.8	seco + tara =		44	0	
ANALISIS GRANULOMETRICO		humedad=		46.01%	%organico = 0.00%	
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		0.2	0.45%	0.45%	99.55	No , 10
1.19	361.9	0	0.00%	0.45%	99.55	16
0.42		11.8	26.79%	27.25%	72.75	40
0.297		13.9	31.56%	58.81%	41.19	50
0.149		8.7	19.76%	78.57%	21.43	100
0.074		1.2	2.72%	81.29%	18.71	No , 200
fondo		0	18.71%	100.00%	0	
	finos lavados	8.24				
	finos totales	8.24				
Sumas	361.9	44				
	%gruesos:	0	%arena:	81	%finos:	19

CURVA GRANULOMETRICA

TAMAÑO DE LAS PARTICULAS mm.

Clasificación AASHTO:	A2-6	(0)
Clasificación SUCS:	SM	
Arenas limosas, mezclas de arena y limo .		

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 18. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 2

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
PROFUNDIDAD	150-200	cm				
LIMITE DE CONSISTENCIA			SONDEO 2			
LIMITE LIQUIDO = $W(20-30)(N/25)0.121$			LIMITE PLASTICO			
No golpes	15	23	32			
húm + tara	24.5	25.8	27.9	17.6	17.2	
seco + tara	23.4	24.4	26.2	17.3	17	
Tara	20.1	20.3	20.7	16	16	
Humedad	33.30%	34.10%	30.90%	23.10%	20.00%	
LIM LIQ =	31	34	32	IP =	11	
pesos Iniciales (gr.)		humedad natural		% organico		
inicial humedo =	39.4	Peso tara =		Peso crisol=	0	
inicial seco =	29.5	hum + tara =		Seco + crisol=	0	
lavado seco =	23.3	seco + tara =		calcinado + crisol=	0	
ANALISIS GRANULOMETRICO			humedad=	33.71%	%organico = 0.00%	
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		0.5	1.70%	1.70%	99.55	No , 10
1.19	361.9	0.1	0.34%	2.04%	99.55	16
0.42		7.2	24.43%	26.47%	72.75	40
0.297		7.9	26.81%	53.28%	41.19	50
0.149		6.5	22.06%	75.34%	21.43	100
0.074		0.9	3.05%	78.39%	18.71	No , 200
fondo		0	20.93%	99.32%	0	
	finos lavados	6.17				
	finos totales	6.17				
Sumas	361.9	29.3				
	%gruesos:	0	%arena:	78	%finos:	22

CURVA GRANULOMETRICA

PASANTE ACUMULADO %

TAMAÑO DE LAS PARTICULAS mm.

GUIJARROS ARENAS LIMO O ARCILLA

Clasificación AASHTO:	A2-6	(0)
Clasificación SUCS:	SC	
Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.		

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 19. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 2

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
PROFUNDIDAD	200-250	cm				
LIMITE DE CONSISTENCIA		SONDEO 2				
LIMITE LIQUIDO = $W(20-30)(N/25)^{0.121}$			LIMITE PLASTICO			
No golpes	18	25	33			
hum + tara	30.7	33.1	33.3	17.8	17.8	
seco + tara	28.1	30	30.3	17.6	17.5	
Tara	20.6	20.9	21	16	16	
Humedad	34.70%	34.10%	32.30%	12.50%	20.00%	
LIM LIQ =	33	34	33	IP =	17	
pesos Iniciales (gr.)			humedad natural	% organico		
inicial humedo =	97.5		Peso tara =	12.7	Peso crisol = 0	
inicial seco =	74.9		hum + tara =	43.3	Seco + crisol = 0	
lavado seco =	62.9		seco + tara =	36.2	calcinado + crisol = 0	
ANALISIS GRANULOMETRICO			humedad =	30.21%	% organico = 0.00%	
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		0.5	0.67%	0.67%	99.33	No , 10
1.19	361.9	0.2	0.27%	0.93%	99.07	16
0.42		21.3	28.45%	29.38%	70.62	40
0.297		24.7	32.99%	62.37%	37.63	50
0.149		14.4	19.23%	81.60%	18.4	100
0.074		1.5	2.00%	83.60%	16.4	No , 200
fin do		0	16.00%	99.60%	0.4	
	finos lavados	11.98				
	finos totales	11.98				
Sumas	361.9	74.6				
	%gruesos:	0	%arena:	84	%finos:	16

CURVA GRANULOMETRICA	
Clasificación AASHTO:	A2-6 ()
Clasificación SUCS:	SC
Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 20. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 2

PROYECTO		Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla				
PROFUNDIDAD		250-300 cm				
LIMITE DE CONSISTENCIA		SONDEO 2				
LIMITE LIQUIDO = $W(20-30)(N/25)^{0.121}$				LIMITE PLASTICO		
No golpes	16	21	31	0	0	
húm + tara	29	34.4	35.3	0	0	
seco + tara	27.8	32.5	33.2	0	0	
Tara	20.2	21	20.5	0	0	
Humedad	15.80%	16.50%	16.50%	0.00%	0.00%	
LIM LIQ =	15	16	17	IP =	0	
pesos Iniciales (gr.)			humedad natural	% organico		
inicial humedo =	93.1		Peso + tara =	12.5	Peso crisol =	0
inicial seco =	79.7		hum + tara =	70.9	Seco + crisol =	0
lavado seco =	70.5		seco + tara =	62.5	calcinado + crisol =	0
ANALISIS GRANULOMETRICO			humedad =	16.8	%organico =	0.00 %
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		0.3	0.38%	0.38%	99.62	No , 10
1.19	361.9	1.3	1.62%	2.00%	97.99	16
0.42		23.4	29.36%	31.36%	68.64	40
0.297		22	27.60%	58.96%	41.04	50
0.149		18.8	23.59%	82.55%	17.45	100
0.074		4.4	5.52%	88.07%	11.93	No , 200
fondo		0.3	11.93%	100.00%	0	
	finos lavados	9.21				
	finos totales	9.51				
Sumas	361.9	79.7				
	%gruesos:	0	%arena:	88	%finos:	12

CURVA GRANULOMETRICA

TAMAÑO DE LAS PARTICULAS mm.

Clasificación AASHTO:	A2-6	(0)
Clasificación SUCS:	SP-SC	
Arenas mal graduadas, arena con grava con poco o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.		

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 21. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 2

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
PROFUNDIDAD	300-350		cm			
LIMITE DE CONSISTENCIA			SONDEO 2			
LIMITE LIQUIDO = $W(20-30)(N/25)0.121$			LIMITE PLASTICO			
No golpes	17	24	32			
húm + tara	37.8	36.5	40.8			
seco + tara	35.6	34.4	38	No Tiene		
Tara	22.1	22.5	22.4			
Humedad	16.30%	17.60%	17.90%			
LIM LIQ =	16	18	18	IP =	0	
peso s. Iniciales (gr.)			humedad natural	% organico		
inicial humedo =	80.8		Peso tara =	12.9	Peso crisol=	0
inicial seco =	70.3		hum + tara =	53.6	Seco +crisol=	0
lavado seco =	64		seco + tara =	48.3	calcinado +crisol=	0
ANALISIS GRANULOMETRICO			humedad=	14.97%	%organico =	0.00%
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		0.3	0.43%	0.43%	99.57	No. 10
1.19	361.9	1.3	1.85%	2.28%	97.72	16
0.42		29.2	41.55%	43.83%	56.17	40
0.297		19.1	27.18%	71.00%	29	50
0.149		11.9	16.93%	87.94%	12.06	100
0.074		2.2	3.13%	91.07%	8.93	No. 200
fondo		0	8.93%	100.00%	0	
	finos lavados	6.28				
	finos totales	6.28				
Sumas	361.9	70.3				
	%gruesos:	0	%arena:	91	%finos:	9

CURVA GRANULOMETRICA

Clasificación AASHTO:	A1-b	(0)
Clasificación SUCS:	SP-SC	
Arenas mal graduadas, arena con grava con poco o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.		

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 22. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 2

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
PROFUNDIDAD	350-400	cm				
LIMITES DE CONSISTENCIA			SONDEO 2			
LIMITE LIQUIDO = $W(20-30)/(N/25)0.121$			LIMITE PLASTICO			
No golpes	19	22	31			
húm + tara	38.7	40.4	37.9			
seco + tara	36.5	38	35.7	No Tiene		
Tara	22.1	22.3	22.5			
Humedad	15.30%	15.30%	16.70%			
LIM LIQ =	15	15	17	IP =	0	
pesos Iniciales (gr.)			humedad natural	% organico		
inicial humedo =	103.7		Peso tara =	12.8	Peso crisol =	0
inicial seco =	89.7		hum + tara =	72.8	Seco + crisol =	0
lavado seco =	76.4		seco + tara =	64.7	calcinado + crisol =	0
ANALISIS GRANULOMETRICO			humedad =	15.61%	% organico =	0.00%
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		0	0.00%	0.00%	100	No , 10
1.19	361.9	0.5	0.56%	0.56%	99.44	16
0.42		28.6	31.88%	32.44%	67.56	40
0.297		27.2	30.32%	62.76%	37.24	50
0.149		17.2	19.17%	81.94%	18.06	100
0.074		2.6	2.90%	84.84%	15.16	No , 200
fondo		0	14.83%	99.67%	0.33	
	finos lavados	13.3				
	finos totales	13.3				
Sumas	361.9	89.4				
	%gruesos:	0	%arena:	85	%finos:	15

CURVA GRANULOMETRICA

PASANTE ACUMULADO %

TAMAÑO DE LAS PARTICULAS mm.

GUIJARROS ARENAS LIMO O ARCILLA

Clasificación AASHTO:	A1-b	(0)
Clasificación SUCS:	SC	
Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.		

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 23. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 2

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
PROFUNDIDAD	400-450	cm				
LIMITE DE CONSISTENCIA		SONDEO 2				
LIMITE LIQUIDO = $W(20-30)/(N/25)^{0.121}$		LIMITE PLASTICO				
No golpes	16	24	32			
húm + tara	40	40.7	39.8			
seco + tara	37.4	38	37.4	No Tiene		
Tara	22.2	22	21.9			
Humedad	17.10%	16.90%	15.50%			
LIM LIQ =	16	17	16	IP =	0	
pesos iniciales (gr.)		humedad natural		% organico		
inicial humedo =	101	Peso tara =		12.7	Peso crisol = 0	
inicial seco =	88.7	hum + tara =		56.1	Seco + crisol = 0	
lavado seco =	76.5	seco + tara =		50.8	calcinado + crisol = 0	
ANALISIS GRANULOMETRICO		humedad =		13.91%	% organico = 0.00%	
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		0.1	0.11%	0.11%	99.89	No , 10
1.19	361.9	0.7	0.79%	0.90%	99.1	16
0.42		30.1	33.95%	34.85%	65.15	40
0.297		26.9	30.34%	65.19%	34.81	50
0.149		15.8	17.82%	83.01%	16.99	100
0.074		2.6	2.93%	85.94%	14.06	No , 200
fin do		0	13.72%	99.66%	0.34	
	finos lavados	12.17				
	finos totales	12.17				
Sumas	361.9	88.4				
	%gruesos:	0	%arena:	86	%finos:	14

CURVA GRANULOMETRICA

TAMAÑO DE LAS PARTICULAS mm.

Clasificación AASHTO:	A1-b	()
Clasificación SUCS:	SP-SC	
Arenas mal graduadas, arena con grava con poco o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.		

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 24. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 2

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
PROFUNDIDAD	450-500	cm				
LÍMITES DE CONSISTENCIA		SONDEO 2				
LÍMITE LÍQUIDO = $W(20-30)(N/25)0.121$			LÍMITE PLÁSTICO			
No golpes	18	22	32			
húm + tara	36.6	39.9	37.2			
seco + tara	34.5	37.5	35.3	No Tiene		
Tara	22.1	22.3	22.3			
Humedad	16.90%	15.80%	14.60%			
LIM LIQ =	16	16	15	IP =	0	
pesos Iniciales (gr.)		humedad natural		% organico		
inicial humedo =	92.1	Peso tara =	12.9	Peso crisol=	0	
inicial seco =	81.5	hum + tara =	58.8	Seco +crisol=	0	
lavado seco =	69.4	seco + tara =	53.5	alcinado +criso	0	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		humedad=	13.05 %	%organico =	0.00 %	
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		0.3	0.37%	0.37%	99.63	No , 10
1.19	361.9	0.5	0.61%	0.98%	99.02	16
0.42		25.1	30.81%	31.79%	68.21	40
0.297		25.3	31.06%	62.85%	37.15	50
0.149		15.9	19.52%	82.37%	17.63	100
0.074		2.1	2.58%	84.94%	15.06	No , 200
fondo		0	14.81%	99.75%	0.25	
	finos lavados	12.07				
	finos totales	12.07				
Sumas	361.9	81.3				
	%gruesos:	0	%arena:	85	%finos:	15

CURVA GRANULOMÉTRICA

PASANTE ACUMULADO %

TAMAÑO DE LAS PARTICULAS mm.

GUIJARROS ARENAS LIMO O ARCILLA

Clasificación AASHTO:	A1-b	(0)
Clasificación SUCS:	SC	
Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.		

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 25. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 2

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
PROFUNDIDAD	500-550	cm				
LIMITES DE CONSISTENCIA			SONDEO 2			
LIMITE LIQUIDO = $W(20-30)/(N/25)0.121$			LIMITE PLASTICO			
No go lpes	19	23	32			
húm + tara	37	34.1	32.4			
seco + tara	35	32.4	31	No Tiene		
Tara	22.6	22	22.2			
Humedad	16.10%	16.30%	15.90%			
LIM LIQ =	16	16	16	IP =	0	
peso s Iniciales (gr.)			humedad natural		% organico	
inicial humedo =	88.7		Peso t ara =	12.7	Peso crisol=	0
inicial seco =	77.4		hum + t ara =	73.2	Seco +crisol=	0
la v a d o s e c o =	70.5		s e c o + t a r a =	65.5	calcinado +criso	0
ANALISIS GRANULOMETRICO			humedad=	14.58 %	%organico =	0.00 %
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		0	0.00%	0.00%	100	No , 10
1.19	361.9	0.6	0.78%	0.78%	99.22	16
0.42		31.3	40.43%	41.21%	58.79	40
0.297		24.9	32.17%	73.37%	26.63	50
0.149		12.1	15.63%	89.01%	10.99	100
0.074		1.6	2.07%	91.07%	8.93	No , 200
fo ndo		0	8.93%	100.00%	0	
	finos lavados	6.91				
	finos totales	6.91				
Sumas	361.9	77.4				
	%gruesos:	0	%arena:	91	%finos:	9

CURVA GRANULOMETRICA		
100	1	0.1
90		
80		
70		
60		
50		
40		
30		
20		
10		
0		
10	1	0.1
GUIJARROS	ARENAS	LIMO O ARCILLA
TAMAÑO DE LAS PARTICULAS mm.		
Clasificación AASHTO:	A1-b	(0)
Clasificación SUCS:	SP-SC	
Arenas mal graduadas, arena con grava con poco o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.		

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 26. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 2

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
PROFUNDIDAD	550-650	cm				
LIMITE DE CONSISTENCIA		SONDEO 2				
LIMITE LIQUIDO = $W(20-30)/(N/25)0.121$			LIMITE PLASTICO			
No go lpes	19	23	31			
húm + tara	35.9	33	39.7			
seco + tara	33.9	31.5	37.3	No Tiene		
Tara	21.9	21.7	22.4			
Humedad	16.70%	15.30%	16.10%			
LIM LIQ =	16	15	17	IP =	0	
peso s Iniciales (gr.)			humedad natural	% organico		
inicial humedo =	92.3	Peso + tara =		12.6	Peso crisol=	0
inicial seco =	80.1	hum + tara =		77.6	Seco +crisol=	0
lavado seco =	68.3	seco + tara =		69	alcinado +crisol=	0
ANALISIS GRANULOMETRICO			humedad=	15.25 %	%organico =	0.00 %
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		0.3	0.37%	0.37%	99.63	No , 10
1.19	361.9	1.5	1.87%	2.25%	97.75	16
0.42		26.9	33.59%	35.84%	64.16	40
0.297		23.2	28.97%	64.80%	35.2	50
0.149		14.6	18.23%	83.03%	16.97	100
0.074		1.6	2.00%	85.03%	14.97	No , 200
fondo		0	14.72%	99.75%	0.25	
	finos lavados	11.79				
	finos totales	11.79				
Sumas	361.9	79.9				
	%gruesos:	0	%arena:	85	%finos:	15

CURVA GRANULOMETRICA	
Clasificación AASHTO:	A1-b
Clasificación SUCS:	SP-SC
Arenas mal graduadas, arena con grava con poco o nada de finos. Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo

Apéndice 27. Tablas de granulometría por estrato, sondeos 2

PROYECTO	Diseño de cimentación, puente vehicular Zanjón el Chile, Iztapa, Escuintla					
PROFUNDIDAD	650-700	cm	SONDEO 2			
LIMITES DE CONSISTENCIA						
LIMITE LIQUIDO = $W(20-30)/(N/25)0.121$			PLASTICO			
No golpes	17	22	32			
húm + tara	38.3	34.5	36.5			
seco + tara	35.5	32.3	34.1	No Tiene		
Tara	2190.00%	2200.00%	2200.00%			
Humedad	20.60%	21.40%	19.80%			
LIM LIQ =	20	21	20	IP =	0	
pesos Iniciales (gr.)			humedad natural			
inicial humedo	94	Peso tara =		12.7	% organico	
inicial seco =	76.1	hum + tara =		74.2	Peso crisol =	
lavado seco =	66.4	seco + tara =		62.5	calcinado + crisol =	
ANALISIS GRANULOMETRICO			humedad=		23.49%	% organico = 0.00%
Malla (mm)	muestra nat.	muestra lav	% Ret-Parc	% Ret-Acum	% Que Pasa	Malla (pul)
101.6			0.00%	0.00%	100	3"
63.5			0.00%	0.00%	100	2 1/2"
50.8			0.00%	0.00%	100	2"
38.7			0.00%	0.00%	100	1 1/2"
25.4			0.00%	0.00%	100	1"
19.1		0	0.00%	0.00%	100	3/4"
12.7		0	0.00%	0.00%	100	1/2"
9.52		0	0.00%	0.00%	100	3/8"
4.76		0	0.00%	0.00%	100	No 4
1.68		0	0.00%	0.00%	100	No , 10
1.19	361.9	0.5	0.66%	0.66%	99.34	16
0.42		26.3	34.55%	35.21%	64.79	40
0.297		24.9	32.71%	67.92%	32.08	50
0.149		12.6	16.55%	84.48%	15.52	100
0.074		1.8	2.36%	86.84%	13.16	No , 200
fondo		0	12.77%	99.61%	0.39	
	finos lavados	9.72				
	finos totales	9.72				
Sumas	361.9	75.8				
	%gruesos:	0	%arena:	87	%finos:	13

CURVA GRANULOMETRICA

PASANTE ACUMULADO %

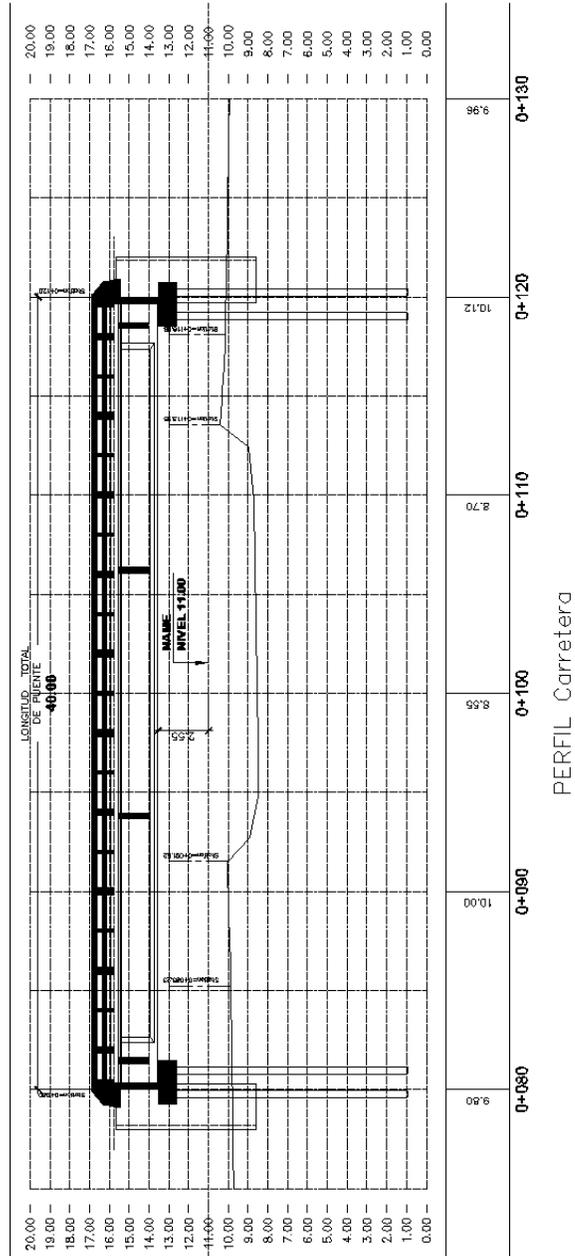
TAMAÑO DE LAS PARTICULAS mm.

GUIJARROS ARENAS LIMO O ARCILLA

Clasificación AASHTO:	A1-b (0)
Clasificación SUCS:	SP-SM
Arenas mal graduadas, arena con grava con poco o nada de finos. Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	

Fuente: elaboración propia según sondeos de campo.

Apéndice 28. Estratigrafía y ubicación de las pilas de cimentación



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

