

PROYECTO:
ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS
“TORRE DE TELECOMUNICACIÓN 179092 LA AMISTAD”

UBICACIÓN:
CALLE TRATADO DE CD JUAREZ, COL 5 DE FEBRERO,
CULIACAN, SINALOA.



EMPRESA
SISTEMA DE PROYECTOS Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Querétaro, Qro 18 de enero de 2021

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVO.....	1
3. ANTECEDENTES.....	1
3.1 NORMATIVIDAD Y REGLAMENTO APLICABLE	1
3.2 UBICACIÓN DEL ESTUDIO	1
4. GEOGRAFIA.	2
4.1 CLIMA Y VEGETACIÓN.....	2
4.2 FISIOGRAFIA E HIDROGRAFIA.....	3
5. GEOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA	4
6. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA	5
6.1 DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS DE EXPLORACIÓN	5
6.2 UBICACIÓN DE SONDEOS	6
7. ENSAYES DE LABORATORIO	6
8. MODELO GEOMECAÁNICO.....	7
8.1 SISMICIDAD	7
8.2 ESTRATIGRAFIA.....	9
8.3 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA, EN BASE A LAS PRUEBAS REALIZADAS EN CAMPO	10
9.1 ANALISIS DE CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE DEL TERRENO	11
9.1 ANALISIS DE ASENTAMIENTOS ELASTICOS.....	13
10. CONCLUSIONES.....	13
11. REFERENCIAS	16
ANEXO A. ENSAYES DE LABORATORIO	17
ANEXO B. MEMORIA DE CALCULO ANALISIS DE CAPACIDAD DE CARGA.....	22
ANEXO C. MEMORIA DE CALCULO ANALISIS DE ASENTAMIENTOS ELÁSTICOS .	24
ANEXO D. REPORTE FOTOGRAFICO	26

1. INTRODUCCIÓN

La empresa GERENCIA DE PROYECTOS Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS solicitó a INGEODEP la ejecución del Estudio de Mecánica de Suelos como parte del proyecto “TORRE DE TELECOMUNICACIÓN 179092 LA AMISTAD”; el sitio en estudio se encuentra calle Tratado de Cd. Juárez, Col. 5 de Febrero, Culiacán, Sinaloa.

2. OBJETIVO

El estudio se realizó con el objetivo de determinar la estratigrafía del subsuelo en el sitio de interés, sus propiedades índices y mecánicas mediante la exploración de campo y ensayos de laboratorio para determinar la capacidad de carga en el terreno de cimentación.

3. ANTECEDENTES

3.1 NORMATIVIDAD Y REGLAMENTO APLICABLE

Para la ejecución del presente estudio, se empleará la siguiente normatividad:

1. Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad. Cimentaciones en Suelos.
2. Reglamento de Construcción para el Distrito Federal (RCDF), y sus Normas Técnicas Complementarias (NTC) en su versión 2017.
3. NMX-C-431-ONNCCE-2002 Industria de la Construcción–Geotecnia–Cimentaciones–Toma de Muestra Alterada e Inalterada–Método de Prueba.
4. NMX-C-416-ONNCCE-2003 Muestreo de Estructuras Téreas y Métodos de Prueba.
5. Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad, en su versión 2015.
6. Normatividad para la infraestructura del Transporte SCT.

3.2 UBICACIÓN DEL ESTUDIO

El sitio de estudio se encuentra al Oriente la Ciudad de Culiacán, la topografía muestra un pendiente sensiblemente plana, con vegetación típica de la región y actualmente se encuentra delimitada por construcciones.

Las coordenadas aproximadas del predio en estudio son:



Figura 3.2.1 Ubicación del sitio

Las coordenadas aproximadas del predio en estudio son:

UBICACIÓN DEL SITIO	COORDENADAS APROXIMADAS			
	UTM GEOGRÁFICAS			
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Torre 909117 La Amistad	24°47'25.49"N	107°21'1.30"O	24.790414°	-107.350362°

Tabla 3.2 Localización del sitio de estudio.

4. GEOGRAFIA.

4.1 CLIMA Y VEGETACIÓN

Existe una gran variedad en el clima del área debido a factores tales como altitud, circulación atmosférica, la cercanía del Océano Pacífico y la presencia de una barrera que es la Sierra Madre Occidental, propiciando variaciones en la precipitación pluvial, temperaturas y evaporación. En la región existen varios grupos de clima: seco muy cálido que se encuentra a lo largo de la llanura costera al oeste del área, con temperatura media anual de 24° - 26°C y precipitación media anual de 400 – 500 mm; semiseco-muy cálido

que se localiza en las partes bajas de la sierra; entre las zonas de valles y límite con la sierra madre occidental, con temperatura media de 22°- 24°C y con precipitación media de 500 – 800 mm. El clima cálido-subhúmedo constituye una franja que abarca los municipios de Tamazula, Durango, Cósala y San Ignacio, Sinaloa, su temperatura media fluctúa de 24° a más de 26 °C y la precipitación oscila de 700 a 1200 mm y finalmente el clima semicálido-subhúmedo en la porción noroeste del área, en las partes de mayor altura con precipitación media anual de 800 – 51500 mm y temperatura media que oscilan entre 14° y 22°C.

Con las características descritas anteriormente se tiene 3 asociaciones de vegetación en la región; la primera se ubica en la zona costera, en las partes bajas y valles donde se desarrollan áreas de cultivo de hortalizas, legumbres, frutales, granos y pastizales, en la región árida se desarrollan manglares y matorrales; la segunda se ubica en la zona montañosa predominando la selva baja caducifolia, cuyo clima subhúmedo permite el crecimiento de árboles de 15 m de altura, perdiendo su follaje durante las sequías; y la última localizada en la zona más alta, en las montañas de bosques de pinos y encinos que se desarrollan desde 300 y 1000 m hasta 4200 m.s.n.m.

4.2 FISIOGRAFIA E HIDROGRAFIA

Fisiográficamente el área queda ubicada dentro de las provincias Sierra Madre Occidental y Llanura costera del Pacífico.

La Sierra Madre Occidental se subdivide en las subprovincias Pie de la Sierra en la parte central del área, la de Mesetas y Cañadas del Sur en el suroeste y la de Gran Meseta y Cañones Duranguenses en el noroeste. Las sierras localizadas al este-noroeste alcanzan las elevaciones de casi 3000 m con pronunciados escarpes y profundos cañones.

La Llanura Costera del Pacífico se subdivide en las subprovincias Llanuras Costeras y Deltas de Sonora y Sinaloa en la porción noreste y la Llanura Costera de Mazatlán en el suroeste del área, limitando con el Océano Pacífico y asociadas a playas, lagunas, bahías y barras. Hacia el oeste las prominencias topográficas disminuyen gradualmente a pequeñas sierras y lomas separadas por valles, las cuales marcan la zona de transición con la Provincia Llanura Costera del Pacífico.

HIDROGRAFIA.

Las corrientes fluviales que cruzan el área nacen en el Estado de Durango y drenan hacia el Océano Pacífico, siendo su orientación NE-SW. Ninguna es navegable, ya que sus caudales disminuyen considerablemente en épocas de estiaje.

Los ríos que drenan el área son. El Humaya, Culiacán, Tamazula, San Lorenzo, Los Remedios, Elota, Piaxtla, Rio Verde y El Quelite, los cuales forman un drenaje de tipo subparalelo principalmente hacia la costa, al fluir paralelamente a corrientes que se aproximan al mar en una topografía suave. Considerando el conjunto de corrientes fluviales se logran delimitar 18 cuencas hidrológicas.

5. GEOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN ESTRATIGRÁFICA

Según información de la carta geológica, de la Dirección General de Geografía, editada por el INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática), se puede encontrar formaciones clasificadas como (Qc) que corresponden al período cuaternario, constituidas por formación de arcillas, limos y gravas, producto residual de rocas. En la figura 4.1 se presenta el plano geológico local del sitio.

La edad de las rocas que afloran dentro de la superficie de la carta varía desde el Paleozoico Superior, hasta el Holoceno predominando las rocas graníticas del Batolito de Sinaloa (Henry, 1975), las volcánicas félsicas oligocénicas y los sedimentos clásticos continentales del Terciario Superior y Cuaternario.



Figura 4.1 Geología local en el área de estudio.

ESTRATIGRAFÍA

Paleozoico Superior Jurásico.- La unidad más antigua dentro de la carta es una secuencia de metasedimentos constituida por areniscas, lutitas y areniscas calcáreas con metamorfismo de bajo grado que las ha transformado en filitas y pizarras negras, esquistos de sericita y cuarcitas con algunos horizontes conglomeráticos y de rocas metavolcánicas de composición intermedia.

Sistema Cretácico.- Está representado por una secuencia volcanosedimentaria constituida por sedimentos clásticos calcáreos, derrames y tobas andesíticas con metamorfismo de bajo grado que afloran en la parte central, al nororiente de Cosalá, Sin. y al oriente de la Presa El Comedero.

Sistema Terciario.- Está representado por rocas volcánicas félsicas a máficas, intrusiones plutónicas y subvolcánicas graníticas y sedimentos clásticos continentales siendo las de mayor distribución las rocas volcánicas félsicas oligocénicas.

Sistema Cuaternario.- En el margen poniente de la Sierra, donde se inicia la Planicie Costera, afloran extensos derrames de basaltos cuaternarios (?) emitidos a través de aparatos volcánicos, controlados por fallas NW-SE que representan la última actividad magmática de la región.

6. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

6.1 DESCRIPCION DE LOS TRABAJOS DE EXPLORACIÓN

Como parte de la campaña de exploración geotécnica, se llevó a cabo un programa de exploración de campo mediante un sondeos directos, el cual consistió en la realización de un sondeo aplicando la técnica o prueba de penetración estándar (SPT-01) la cual se realizaron utilizando una máquina perforadora Acker, hasta 7.00 m de profundidad máxima.

El penetrómetro estándar se emplea para rescatar muestras alteradas a cada 0.45 m, con las cuales, en campo, se identifica el tipo de suelo de cada estrato y se define la estratigrafía del sitio, en el laboratorio las muestras se utilizan para determinar las propiedades índices de los suelos, mediante el número de golpes N necesario para hincarlo, se estima la resistencia al corte, mediante correlaciones empíricas. Por su utilidad Terzaghi lo denominó en 1974 como “la prueba de penetración estándar” (SPT por sus siglas en ingles). El penetrometro estándar es un tubo de acero en cuyo extremo se monta una zapata afilada y tiene un corte longitudinal para facilitar la observación y recuperación de la muestra. Se debe hincar con los impactos del martinete de 63.5 kg de peso y 76 cm de caída. El equipo necesario para aplicar el procedimiento consta de un muestreador especial (penetrómetro) de dimensiones establecidas en la Figura 5.1.1.

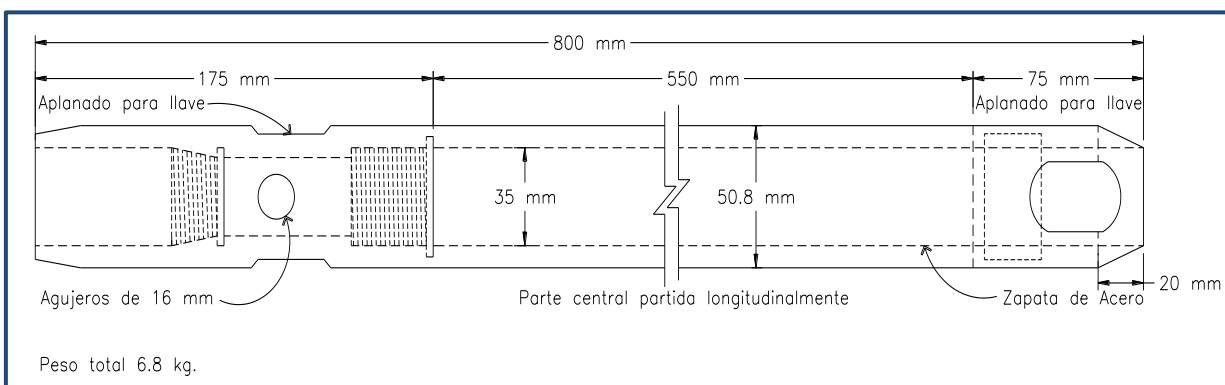


Figura 6.1.1 Penetrómetro Estándar

La prueba de penetración estándar consiste en hincar el penetrómetro, durante el hincado se cuentan los números de golpes que corresponden a cada etapa de 15 cm, 15 cm y 15

cm. La resistencia a la penetración estándar se define como el número de golpes N para penetrar los 30 cm intermedios; los golpes en los primeros 15 cm se desprecian, porque se consideran no representativos por la alteración inducida por la perforación. En caso de que el número de golpes llegue a 50 y ya no penetre el muestreador se suspenderá la prueba. En la operación del martinete debe vigilarse que su altura de caída sea constante.

6.2 UBICACIÓN DE SONDEOS



Figura 5.2.1 Ubicaciones aproximadas de los sondeos, dentro del sitio de interés.

Tabla 5.2.1 Coordenadas aproximadas de las ubicaciones de los sondeos.

Ubicación de los Sondeos	COORDENADAS APROXIMADAS			
	GEOGRÁFICAS			
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
SPT-01	24°47'25.49"N	107°21'1.30"O	24.790414°	-107.350362°

7. ENSAYES DE LABORATORIO

Las muestras obtenidas del sondeo se enviaron a laboratorio para su análisis correspondiente.

En la elaboración del programa de laboratorio se consideró el número de pruebas necesario para conocer las propiedades índice y mecánicas del material encontrado durante la exploración geotécnica. Todo esto con el propósito de obtener datos necesarios que permitan caracterizar el material del sitio en estudio.

Los ensayos de tipo índice se practicaron con el fin de realizar una correcta clasificación de los materiales del subsuelo, las pruebas realizadas fueron las siguientes:

- Clasificación visual y al tacto en estado húmedo y seco con base en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.).
- Determinación del contenido natural de agua.
- Determinación de finos por lavado.
- Granulometría y porcentaje de finos.

8. MODELO GEOMECÁNICO

8.1 SISMICIDAD

La República Mexicana se encuentra dividida en cuatro zonas sísmicas. Estas zonas son un reflejo de que tan frecuentes son los sismos en las diversas regiones y la máxima aceleración del suelo a esperar.

La zona A es una zona donde no se tienen registros históricos de sismos, no se han reportado sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores.

La zona D es una zona donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad.

Las otras dos zonas (B y C) son zonas intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo.

De acuerdo a la zonificación por riesgo sísmico de la República Mexicana preparada por la Comisión Federal de Electricidad, la zona de estudio se encuentra en la **zona B**.



Figura 7.1.1. Zonificación Sísmica del Sitio de Interés, Prodisis CFE 2015



Figura 7.1.2 Zonificación Sísmica, Prodisis CFE 2015

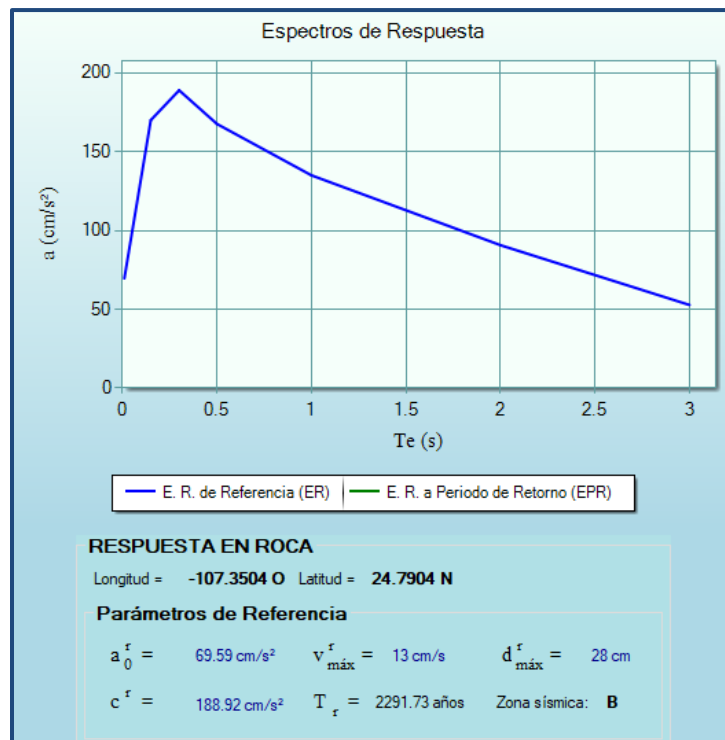


Figura 7.1.3 Espectros de diseño sísmico obtenido con el programa Prodisis CFE 2015








8.2 ESTRATIGRAFIA

La estratigrafía del sitio ha quedado descrita a una profundidad máxima de 7.00 m, estos resultados se obtuvieron mediante 1 Sondeos, aplicando la técnica o prueba de penetración estándar SPT, los cuales se realizaron con la ayuda de una máquina perforadora tipo Acker.

En el Sondeo de penetración estándar STP-01 se encontró en la superficie un relleno antropogénico de arena limosa de 0.10 m de espesor. Subyace un estrato de arena con gravas, color café claro y escombro hasta 0.50 m. Sigue un estrato de arcilla de alta plasticidad (CH), poco arenosa, con gravas, color café consistencia floja hasta 1.45 m de profundidad. Subyace un estrato de limo de alta plasticidad (MH), con arena y gravas, color café tonalidad amarillenta, consistencia muy compacta hasta 2.45 m de profundidad. Sigue un estrato de arena con limo de alta plasticidad (SM), con vetas blanquizas, densa a muy densa hasta 4.45 m de profundidad. Subyace un estrato de arena con limo de alta plasticidad (SM), color café, tonalidad verdosa y blanquiza, muy densa hasta 6.00 m de profundidad. Sigue un estrato de boleos de roca empacados en matriz de arena (GP) y gravas muy densa hasta 7.00 m que fue la profundidad máxima de exploración.

No se detectó el nivel de aguas freáticas durante los trabajos de exploración.

PERFIL ESTRATIGRÁFICO SPT-1

Prof. m	Descripción	Simbol.	SUCS	G %	A %	F %	No. de golpes						Humedades %				
							10	20	30	40	50	N	w	LL	LP	IP	CL
0.00	Relleno antropogénico de arena limosa.		---	---	---	---											
0.20																	
0.40	Arena con Gravas, color café claro,																
0.60	contamiado con escombros.																
0.80			CH	30	16	54											
1.00	Arcilla de alta plasticidad, poco arenosa,																
1.20	con gravas, color café y consistencia floja.											10	30	54	17	37	17.4
1.45																	
1.65			MH	12	37	51											
1.85	Limo de alta plasticidad con arena y gravas,																
2.05	color café tonalidad amarillenta y vetas											18	39	55	33	22	10.3
2.25	blanquizas, muy compacta.																
2.45			SM	7	55	38											
2.65																	
2.85																	
3.05																	
3.25	Arena con limo de alta plasticidad, vetas											39					
3.45	blanquizas, densa a muy densa.																
3.65																	
3.85																	
4.05																	
4.25																	
4.45												46	36				
4.65			SM	0	45	55											
4.85																	
5.05	Arena con limo de alta plasticidad, tonalidad																
5.25	verdosa y blanquiza, muy densa.											50					
5.45																	
5.65																	
5.85			SM	10	75	15											
6.00																	
6.20																	
6.45	Boleos de roca empacados en matriz arena											50					
6.65	y gravas, muy densa.		GP	---	---	---											
6.85																	
7.05																	
7.25																	
7.45	P.M.E																
7.65																	

SIMBOLOGÍA

N.A.F. Nivel de Aguas freáticas.	G: Grava.	w: Humedad natural del suelo.
Ss: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.	A: Arena.	LL: Límite Líquido.
SUCS Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.	F: Finos.	LP: Límite Plástico.
P.M.E. Profundidad máxima de exploración.	CL: Contracción	IP: Índice Plástico.

Tabla 8.2.1 Propiedades índice y perfil estratigráfico SPT-01
8.3 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA, EN BASE A LAS PRUEBAS REALIZADAS EN CAMPO

De acuerdo al número de golpes reportado por el estudio realizado por la empresa ROGCO S.A. DE C.V., en las prueba de penetración estándar, se puede estimar la resistencia del suelo de desplante, para lo cual se utilizó las correlaciones elaboradas por Crespo Villalaz, 2014.

Tabla 7.1.1 Parámetro de resistencia en base a las pruebas STP-01

Prof.	Estrato	N _{prom} golpes	Descripción	Compacidad Relativa	ϕ	E
(m)	Descripción			%	(°)	(kg/cm ²)
1.00 a 1.45	Arcilla de alta plasticidad, color café	10	Floja	---	18	100
2.00 a 2.45	Limo de alta plasticidad, con arena y gravas, color café, tonalidad amarillenta.	18	Muy Compacta	---	22	250
3.00 a 3.45	Arena con limo de alta plasticidad, con vetas blanquizas	39	Densa	68	30	400
4.00 a 4.45	Arena con limo de alta plasticidad.	46	Densa	70	35	400
5.00 a 5.45	Arena con limo de alta plasticidad, tonalidad verdosa y blanquizca,	50	Muy Densa	85	35	450
6.00 a 6.07	Boleos de roca empacados en matriz de arena y gravas.	50	Muy Densa.	85	37	450
7.00 a 7.01	Boleos de roca empacados en matriz de arena y gravas.	50	Muy Densa.	85	37	450

9. ANÁLISIS GEOTÉCNICO DE LA CIMENTACIÓN Y DE LA ESTABILIDAD DEL TERRENO

9.1 ANALISIS DE CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE DEL TERRENO

Se determinó la capacidad de carga del suelo de acuerdo a lo indicado en las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones del R.C.D.F., las cuales indican que de manera conservadora se considerará que los suelos son puramente cohesivos o puramente friccionantes.

$$Q_a = \left[\bar{p}_v (N_q - 1) + \frac{\gamma B N_\gamma}{2} \right] F_R + p_v$$

De donde:

- Qa = Capacidad de Carga
 Pv = Presión vertical total a la profundidad de desplante
 \bar{P}_v = Presión vertical efectiva a la profundidad de desplante
 γ = Peso Volumétrico del suelo de desplante
 B = Ancho de la zapata
 Nq = Coeficiente de capacidad de Carga
 N γ = Coeficiente de capacidad de Carga
 Fr = Factor de resistencia

El coeficiente de carga está dado por:

Nq = Coeficiente de capacidad de carga dado por:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 (45^\circ + \phi / 2)$$

El coeficiente Nq se multiplicará por: 1 + (B/L) tan ϕ para cimientos rectangulares y por 1+tan ϕ para cimientos circulares o cuadrados.

N γ = Coeficiente de capacidad de carga dado por

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$$

El coeficiente N γ se multiplicará por 1 - 0.4 (B/L) para cimientos rectangulares y por 0.6 para cimientos circulares o cuadrados.

$$\phi = \text{Ang} \tan(\alpha \tan \phi^*)$$

$$\alpha = 0.67 + D_r - 0.75 D_r^2$$

- ϕ^* = Ángulo de fricción aparente obtenido mediante la prueba Triaxial tipo UU
 D_r = Compacidad relativa

La capacidad de carga calculada a diferentes profundidades y distintos anchos "B" de cimentación, se muestra en las siguientes tablas.

Profundidad m	Capacidad de carga (t/m2)								
	B= 3.00 m	B= 3.50 m	B= 4.00 m	B= 4.50 m	B= 5.00 m	B= 5.50 m	B= 6.00 m	B= 6.50 m	B= 7.00 m
1.00	6.90	7.20	7.60	7.90	8.30	8.60	8.90	9.30	9.60
1.50	9.30	9.70	10.00	10.40	10.70	11.00	11.40	11.70	12.00
2.00	18.20	18.80	19.40	20.00	20.60	21.20	21.80	22.50	23.00
2.50	21.80	22.40	23.00	23.70	24.30	24.90	25.50	26.10	26.70
3.00	64.00	65.90	67.80	69.70	71.60	73.50	75.40	77.30	79.20

En el Anexo B se puede consultar la memoria de cálculo.

9.1 ANALISIS DE ASENTAMIENTOS ELASTICOS

Los asentamientos instantáneos (asentamiento elástico basado en la teoría de la elasticidad) se calcularon con la siguiente ecuación:

$$S_e = \frac{Bq_0}{E_s}(1 - \mu_s^2)\alpha$$

de donde:

- Se = Asentamiento elástico
- B = Ancho de la cimentación
- Es = Módulo de elasticidad del suelo
- μ_s = Relación de Poisson del suelo
- q0 = Fuerza neta por área unitaria
- α = Factor de influencia

Las deformaciones verticales causadas por la sobrecarga de la estructura son de:

Deformaciones bajo la cimentación	Δ Elásticos Esquina	Δ Elásticos Centro
	(cm)	(cm)
	0.20	2.46

En el Anexo C se puede consultar la memoria de cálculo.

10. CONCLUSIONES

- De acuerdo con la exploración realizada, la estratigrafía del predio del predio puede describirse de la siguiente manera:

En el Sondeo de penetración estándar STP-01 se encontró en la superficie un relleno antropogénico de arena limosa de 0.10 m de espesor. Subyace un estrato de arena con gravas, color café claro y escombro hasta 0.50 m. Sigue un estrato de arcilla de alta plasticidad (CH), poco arenosa, con gravas, color café consistencia floja hasta 1.45 m de profundidad. Subyace un estrato de limo de alta plasticidad (MH), con arena y gravas, color café tonalidad amarillenta, consistencia muy compacta hasta 2.45 m de profundidad. Sigue un estrato de arena con limo de alta plasticidad (SM), con vetas blanquizas, densa a muy densa hasta 4.45 m de profundidad. Subyace un estrato de arena con limo de alta plasticidad (SM), color café, tonalidad verdosa y blanquiza, muy densa hasta 6.00 m de

profundidad. Sigue un estrato de boleas de roca empacados en matriz de arena (GP) y gravas muy densa hasta 7.00 m que fue la profundidad máxima de exploración.

2. Hasta la profundidad explorada de 7.00 m no se detectó la presencia de aguas freáticas, ni se tiene referencia de su presencia a una profundidad que pueda influir en la relación suelos – estructura.
3. La capacidad de carga calculada a diferentes profundidades se muestra en la siguiente tabla:

Profundidad m	Capacidad de carga (t/m ²)								
	B= 3.00 m	B= 3.50 m	B= 4.00 m	B= 4.50 m	B= 5.00 m	B= 5.50 m	B= 6.00 m	B= 6.50 m	B= 7.00 m
1.00	6.90	7.20	7.60	7.90	8.30	8.60	8.90	9.30	9.60
1.50	9.30	9.70	10.00	10.40	10.70	11.00	11.40	11.70	12.00
2.00	18.20	18.80	19.40	20.00	20.60	21.20	21.80	22.50	23.00
2.50	21.80	22.40	23.00	23.70	24.30	24.90	25.50	26.10	26.70
3.00	64.00	65.90	67.80	69.70	71.60	73.50	75.40	77.30	79.20

4. Para fines de excavación el material encontrado se clasifica como tipo I desde la superficie y hasta 1.50 m. A partir de esta profundidad y hasta 4.50 es tipo II. A partir de esta profundidad es tipo III.
5. Se revisaron los estados límite de servicio, obteniéndose asentamientos máximos de 2.46 cm al centro de la zapata.
6. Se propone cimentación tipo superficie: zapatas o losa de cimentación, verificando no rebasar la capacidad de carga propuesta en este documento.
7. La profundidad de desplante quedará definida por las necesidades de anclaje o proyecto arquitectónico y deberá ser revisado por un estructurista, en función de las solicitudes de esfuerzos de proyecto; pero se recomienda desplantar la cimentación al menos hasta 2.00 m de profundidad, para que ésta tenga suficiente anclaje.
8. Para la cimentación deberá excavarse hasta -2.55 m de profundidad, posteriormente se compactará el fondo de la excavación al 90% de su masa volumétrica seca máxima conforme a lo indicado en el método de ensaye ASSHTO estándar (M-MMP-1-09/06). Una vez realizado lo anterior, se recomienda colocar una capa de transición de arena limosa “tepetate” con calidad de terraplén, compacto en dos capas de 0.25 m al 95% de su masa volumétrica seca máxima conforme a lo indicado en el método de ensaye ASSHTO estándar (M-MMP-1-09/06), una vez realizado lo anterior se colocara la platilla de desplante de 0.05 m de espesor y $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

9. Los rellenos se realizarán con material con calidad de Terraplén, con base a en las especificaciones de la normativa vigente de la Secretaria de Comunicaciones y Transporte (SCT), compacto en capas no mayores que 0.25 m de espesor, al 95% de su masa volumétrica seca máxima conforme a lo indicado en el método de ensaye ASSHTO estándar (M-MMP-1-09/06).
10. Se recomienda canalizar el agua proveniente de escurrimientos superficiales para evitar la acumulación en áreas cercanas a la estructura, evitando la infiltración que puede alterar las condiciones del subsuelo

Atentamente

Ing. Miguel Ángel Cuautle Zacamitzin

11. REFERENCIAS

- Manuel de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad. Cimentaciones en Rocas.
- Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad. Cimentaciones en Suelos.
- NMX-C-416-ONNCCE-2003 Muestreo de Estructuras Téreas y Métodos de Prueba.
- CFE (2015), Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por sismo, Comisión Federal de Electricidad.
- Crespo Villalaz C. (2004), Mecánica de suelos y cimentaciones, 5a edición, Limusa.
- Servicio Geológico Mexicano.
- Ingeniería Geológica. González de Vallejo
- La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres. Volumen 1
- La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres. Volumen 2

ANEXO A. ENSAYES DE LABORATORIO

CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS)

1. DATOS DEL PROYECTO

PROYECTO 179092 LA AMISTAD

SONDEO: SPT-1

CALCULÓ: ING. MIGUEL CUAUTLE

UBICACIÓN COL 5 DE FEBRERO, CUIACAN, SINALOA

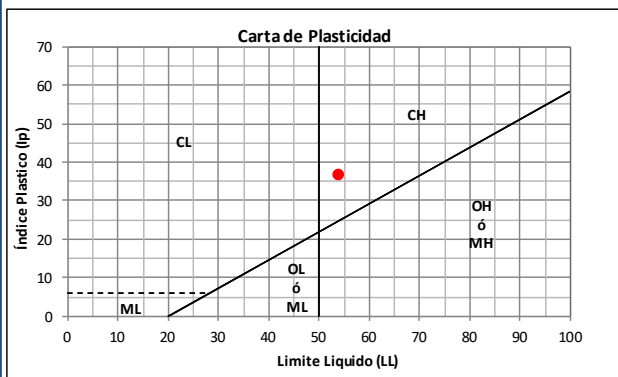
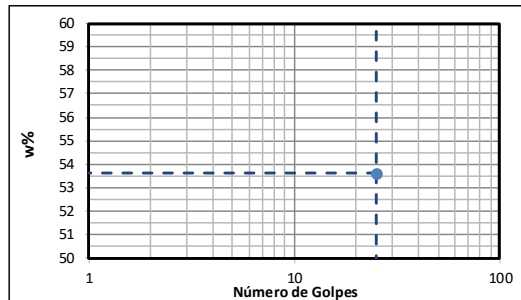
PROF: 1.00-1.45

FECHA: 18-ene-21

3. LIMITES DE CONSISTENCIA

3.1 LIMITE LIQUIDO (LL)

Tara No.	No. De Golpes	Wm+Tara	Wd+Tara	Tara	Ww	Ws	w
		gr	gr	gr	gr	gr	%
	25	19.2	15.50	8.6	3.70	6.90	54



3.2 LIMITE PLASTICO (LP)

Tara No.	Wm+Tar	Wd+Tara	Tara	Ww	Ws	W
	gr	gr	gr	gr	gr	%
	10.1	9.8	8	2.10	1.80	17

4. CLASIFICACIÓN SUCS

4.1 PROPIEDADES GRANULOMÉTRICAS

 $D_{10} = 0.00 \text{ mm}$
 $D_{30} = 0.00 \text{ mm}$
 $D_{60} = 0.00 \text{ mm}$

 GRAVA = 30 %
 ARENA = 16 %
 FINOS = 54 %

4.2 LIMITES DE ATTERBERG

 $LL = 54 \%$
 $LP = 17 \%$
 $IP = 37 \%$

4.3 CLASIFICACIÓN

De acuerdo al SUCS, con los datos obtenidos de laboratorio la muestra de suelo se puede clasificar como:

ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD
CH

CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS)

1. DATOS DEL PROYECTO

PROYECTO 179092 LA AMISTAD

SONDEO: SPT-1

CALCULÓ: ING. MIGUEL CUAUTLE

UBICACIÓN COL 5 DE FEBRERO, CUIACAN, SINALOA

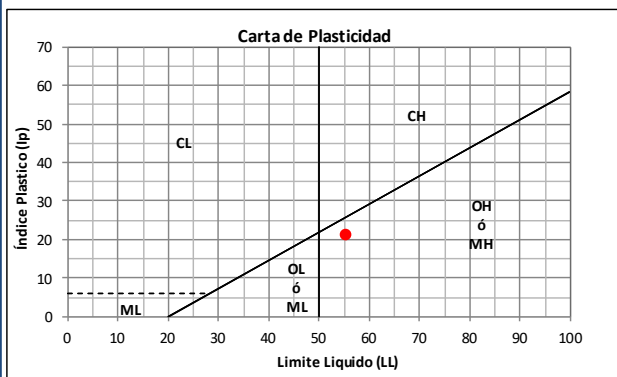
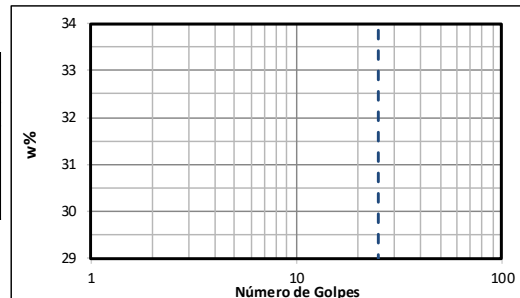
PROF: 2.00-2.45

FECHA: 18-ene-21

3. LIMITES DE CONSISTENCIA

3.1 LIMITE LIQUIDO (LL)

Tara No.	No. De Golpes	Wm+Tara	Wd+Tara	Tara	Ww	Ws	w
		gr	gr	gr	gr	gr	%
	25	20.8	16.4	8.4	4.40	8.00	55



3.2 LIMITE PLASTICO (LP)

Tara No.	Wm+Tar	Wd+Tara	Tara	Ww	Ws	W
	gr	gr	gr	gr	gr	%
	11	10.4	8.6	2.40	1.80	33

4. CLASIFICACIÓN SUCS

4.1 PROPIEDADES GRANULOMÉTRICAS

 $D_{10} = 0.00 \text{ mm}$
 $D_{30} = 0.00 \text{ mm}$
 $D_{60} = 0.00 \text{ mm}$

 GRAVA = 12 %
 ARENA = 37 %
 FINOS = 51 %

4.2 LIMITES DE ATTERBERG

 $LL = 55 \%$
 $LP = 33 \%$
 $IP = 22 \%$

4.3 CLASIFICACIÓN

De acuerdo al SUCS, con los datos obtenidos de laboratorio la muestra de suelo se puede clasificar como:

LIMO DE ALTA PLASTICIDAD
MH

CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS)

1. DATOS DEL PROYECTO

PROYECTO 179092 LA AMISTAD

SONDEO: SPT-1

CALCULÓ: ING. MIGUEL CUAUTLE

UBICACIÓN COL 5 DE FEBRERO, CUIJACAN, SINALOA

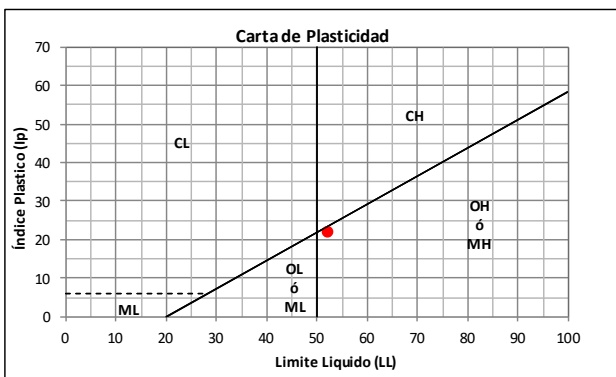
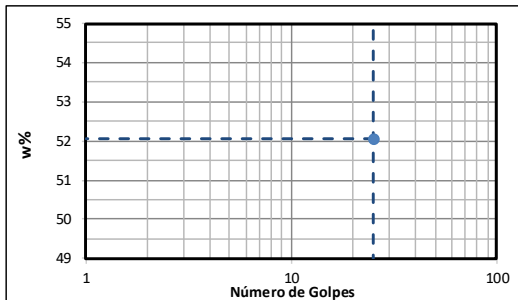
PROF: 3.00-3.45

FECHA: 18-ene-21

3. LIMITES DE CONSISTENCIA

3.1 LIMITE LIQUIDO (LL)

Tara No.	No. De Golpes	Wm+Tara	Wd+Tara	Tara	Ww	Ws	w
		gr	gr	gr	gr	gr	%
	25	29.60	25.80	18.5	11.10	7.30	52



3.2 LIMITE PLASTICO (LP)

3.2 LIMITE	Wm+Tar	Wd+Tara	Tara	Ww	Ws	W
	gr	gr	gr	gr	gr	%
	19.5	19.2	18.2	1.30	1.00	30

4. CLASIFICACIÓN SUCS

4.1 PROPIEDADES GRANULOMÉTRICAS

 $D_{10} = 0.00 \text{ mm}$
 $D_{30} = 0.00 \text{ mm}$
 $D_{60} = 0.00 \text{ mm}$

 GRAVA = 7 %
 ARENA = 55 %
 FINOS = 38 %

4.2 LIMITES DE ATTERBERG

 $LL = 52 \%$
 $LP = 30 \%$
 $IP = 22 \%$

4.3 CLASIFICACIÓN

De acuerdo al SUCS, con los datos obtenidos de laboratorio la muestra de suelo se puede clasificar como:

ARENA LIMOSA
SM

CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS)

1. DATOS DEL PROYECTO

PROYECTO 179092 LA AMISTAD

SONDEO: SPT-1

CALCULÓ: ING. MIGUEL CUAUTLE

UBICACIÓN COL 5 DE FEBRERO, CUIJACAN, SINALOA

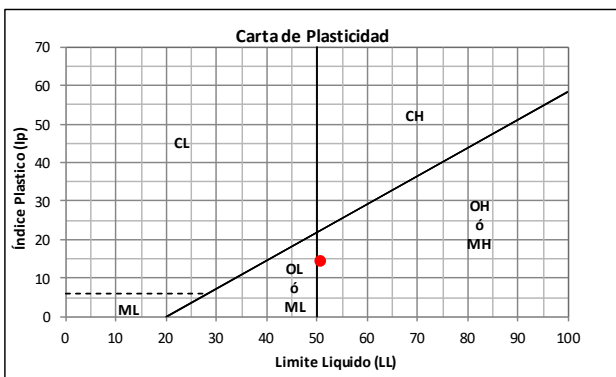
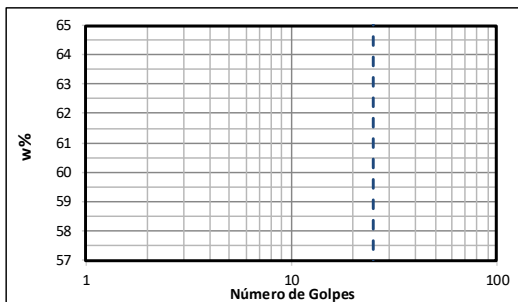
PROF: 4.00-5.45

FECHA: 18-ene-21

3. LIMITES DE CONSISTENCIA

3.1 LIMITE LIQUIDO (LL)

Tara No.	No. De Golpes	Wm+Tara	Wd+Tara	Tara	Ww	Ws	w
		gr	gr	gr	gr	gr	%
	25	31.80	26.50	16	15.80	10.50	50



3.2 LIMITE PLASTICO (LP)

Tara No.	Wm+Tar	Wd+Tara	Tara	Ww	Ws	W
	gr	gr	gr	gr	gr	%
	20.4	19.9	18.5	1.90	1.40	36

4. CLASIFICACIÓN SUCS

4.1 PROPIEDADES GRANULOMÉTRICAS

 $D_{10} = 0.00 \text{ mm}$
 $D_{30} = 0.00 \text{ mm}$
 $D_{60} = 0.00 \text{ mm}$

 GRAVA = 7 %
 ARENA = 55 %
 FINOS = 38 %

4.2 LIMITES DE ATTERBERG

 $LL = 50 \%$
 $LP = 36 \%$
 $IP = 15 \%$

4.3 CLASIFICACIÓN

De acuerdo al SUCS, con los datos obtenidos de laboratorio la muestra de suelo se puede clasificar como:

ARENA LIMOSA
SM

ANEXO B. MEMORIA DE CALCULO ANALISIS DE CAPACIDAD DE CARGA

ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE CARGA

$$Q_u = \left[\bar{p}_v (N_q - 1) + \frac{\gamma B N_\gamma}{2} \right] F_s + \bar{p}_v$$

$\bar{p}_v = \frac{3.240}{\text{t/m}^2}$	Presión vertical total a la profundidad de desplante	$\gamma_{m1} = \frac{1.620}{\text{t/m}^3}$	Peso volumetrico del suelo
$\bar{p}_v = \frac{3.240}{\text{t/m}^2}$	Presión vertical efectiva a la profundidad de desplant	Df = $\frac{2.00}{\text{m}}$	Profundidad de desplante de la cimentación
$\gamma = \frac{1.620}{\text{t/m}^3}$	Peso volúmetrico del suelo de desplante	B = $\frac{3.00}{\text{m}}$	Ancho de la cimentación

$\phi^* = 22.00^\circ$ Ángulo de fricción

N_q Coeficiente de capacidad de carga dado por:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 (45^\circ + \phi / 2)$$

$$N_q = \frac{7.82}{\text{para cimientos cuadrados o circulares se multiplicará por } 1 + \tan \phi}$$

$$1 + \tan \phi = \frac{1.404}{N_q = \frac{10.98}$$

N_γ Coeficiente de capacidad de carga dado por:

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$$

$$N_\gamma = \frac{7.13}{\text{para cimientos cuadrados o circulares se multiplicará por } 0.6}$$

$$N_\gamma = \frac{0.60}{4.28}$$

$$F_R = \frac{0.35}{\text{Factor de resistencia}}$$

La capacidad de carga es igual a: **18.2** t/m²

ANEXO C. MEMORIA DE CALCULO ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS ELÁSTICOS

Asentamientos instantaneos (asentamiento elástico basado en la teoría de la elasticidad)

Para cargas distribuidas sobre una superficie rectangular flexible, Streibner resolvió el problema de cálculo de hundimientos bajo una esquina del rectángulo cargado. El hundimiento elástico entre la superficie y la profundidad z queda dada por:

$$S_e = \frac{q B'}{E} (1 - \nu^2) \left[F_1 + \left(\frac{1 - 2\nu}{1 - \nu} \right) F_2 \right]$$

$$F_1 = \frac{1}{\pi} \left[m \ln \frac{(1 + \sqrt{m^2 + 1}) \sqrt{m^2 + n^2}}{m (1 + \sqrt{m^2 + n^2 + 1})} + \ln \frac{(1 + \sqrt{m^2 + 1}) \sqrt{n^2 + 1}}{m + \sqrt{m^2 + n^2 + 1}} \right]$$

$$F_2 = \frac{n}{2 E} \tan^{-1} \left(\frac{m}{n (1 + \sqrt{m^2 + n^2 + 1})} \right)$$

donde:

- S_e = Asentamiento elástico
 B' = Ancho del área donde se calcula S_e
 q_b = Fuerza neta por área unitaria
 E = Modulo de elasticidad del suelo
 μ = Relación de Poisson del suelo
 n = Factor de influencia

$$m = \frac{L}{B}$$

$$n = \frac{H}{B'}$$

Para la esquina

Estrato 1

- $Df = 1.00$ m Profundidad de desplante de la cimentación
 $B = 3.00$ m Ancho de la excavación
 $L = 3.00$ m Longitud de la cimentación

En este caso se tiene una losa de cimentación de 3 m de base por 3 m de longitud, desplantada a 1 m del NTN

TABLA PARA EL CÁLCULO DE HUNDIMIENTOS ELÁSTICOS

Estrato		B (m)	L (m)	H (m)	B' (m)	m	n	F ₁	F ₂	I _s	E (t/m ²)	ν	q (t/m ²)	S (m)	
1	1	E ₁ v ₁	3.00	3.00	1.00	3.00	1.00	0.33	0.0234	0.0594	0.0630	1000.00	0.25	7.11	0.00126
2	2+1	E ₂ v ₂	3.00	3.00	1.50	3.00	1.00	0.50	0.0488	0.0738	0.0980	2500.00	0.25	7.11	0.00078
	1	E ₂ v ₂	3.00	3.00	1.00	3.00	1.00	0.33	0.0234	0.0594	0.0630	2500.00	0.25	7.11	0.00050
		E ₂ v ₂													0.00028
3	3+2+1	E ₃ v ₃	3.00	3.00	3.00	3.00	1.00	1.00	0.1419	0.0833	0.1804	4000.00	0.35	7.11	0.00084
	2+1	E ₃ v ₃	3.00	3.00	1.50	3.00	1.00	0.50	0.0488	0.0738	0.0829	4000.00	0.35	7.11	0.00039
	3	E ₃ v ₃													0.00046
TOTAL														0.00200	

Para la centro

Estrato 1

- $Df = 1.00$ m Profundidad de desplante de la cimentación
 $B = 1.50$ m Ancho de la excavación
 $L = 1.50$ m Longitud de la cimentación

En este caso se tiene una losa de cimentación de 3 m de base por 3 m de longitud, desplantada a 1 m del NTN

TABLA PARA EL CÁLCULO DE HUNDIMIENTOS ELÁSTICOS

TABLA PARA EL CÁLCULO DE BENEFICIOS DE LOS TUBOS															
Estrato			B	L	H	B'	m	n	F ₁	F ₂	L _s	E	ν	q	S
			(m)	(m)	(m)	(m)						(t/m ³)		(t/m ²)	(m)
1	1	E ₁ v ₁	1.50	1.50	1.00	0.75	1.00	1.33	0.1990	0.0781	0.2511	1000.00	0.25	7.11	0.00502
2	2+1	E ₂ v ₂	1.50	1.50	1.50	0.75	1.00	2.00	0.2851	0.0641	0.3278	2500.00	0.25	7.11	0.00262
	1	E ₂ v ₂	1.50	1.50	1.00	0.75	1.00	1.33	0.1990	0.0781	0.2511	2500.00	0.25	7.11	0.00201
	2	E ₂ v ₂													0.00061
3	3+2+1	E ₃ v ₃	1.50	1.50	3.00	0.75	1.00	4.00	0.4082	0.0375	0.4255	4000.00	0.35	7.11	0.00199
	2	E ₃ v ₃	1.50	1.50	1.50	0.75	1.00	2.00	0.2851	0.0641	0.3147	4000.00	0.35	7.11	0.00147
	3	E ₃ v ₃													0.00052
														TOTAL	0.00615

ANEXO D. REPORTE FOTOGRAFICO

Ilustración 1 Trabajos de campo, realización de SPT-01



