

COMPAÑÍA ASESORA EN CONSTRUCCIÓN E INGENIERÍA S.A.

ESTUDIO GEOTÉCNICO Y DE MECÁNICA DE SUELOS

INFORME GEO-076-2017

PROYECTO: ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO Y DISEÑO DE LA
SOLUCIÓN DEFINITIVA PARA LAS OBRAS DE ESTABILIZACIÓN EN EL
HUNDIMIENTO SOBRE LA RUTA NACIONAL No. 224, SECTOR
PUENTE NEGRO, PARAÍSO, CARTAGO

CLIENTE: Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI)

DIRECCIÓN DE GEOTECNIA



03 julio, 2017
GEO 076-2017

Señores:

Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI)

Presente

PROYECTO: HUNDIMIENTO SOBRE RUTA NACIONAL 224, SECTOR PUENTE NEGRO

Estimados señores:

La Compañía Asesora en Construcción e Ingeniería S.A. tiene el agrado de presentarle los resultados del estudio geotécnico donde se desarrollará el proyecto: ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN DEFINITIVA PARA LAS OBRAS DE ESTABILIZACIÓN EN EL HUNDIMIENTO SOBRE LA RUTA NACIONAL No. 224, SECTOR PUENTE NEGRO, PARAÍSO, CARTAGO.

Con el presente reporte se cumplen las siguientes actividades contratadas para este sitio: ejecución de sondeos por el método SPT y rotación con punta de diamante, ensayos de laboratorio, preparación del perfil de suelos, análisis geotécnico del suelo, estudios geofísicos, estabilidad de taludes, conclusiones y recomendaciones.

El estudio de suelos ha sido realizado por el Ingeniero Domingo E. Delgado Martínez, quien se encuentra inscrito en el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos bajo el número IC-24706.

Quedo a su disposición para aclarar cualquier consulta relacionada con este informe.

Sin otro particular, se despide atentamente.

Ing. Domingo E. Delgado Martínez, Ph.D.
GERENTE GEOTECNIA

cc.: Archivo

Realizado por: MVQ

DOCUMENTO NO VÁLIDO SIN SELLO BLANCO

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	4
CAPÍTULO 1. TOPOGRAFÍA	5
1.1 GENERALIDADES	6
1.2 METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL ESTUDIO TOPOGRÁFICO	6
1.2.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO UTILIZADO	6
1.2.2 ACTIVIDADES DEL ESTUDIO GEODÉSICO Y TOPOGRÁFICO	6
1.2.3 ESTABLECIMIENTO DE VÉRTICES DE CONTROL	7
1.2.4 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	7
1.2.5 PLANOS TOPOGRÁFICOS	8
CAPÍTULO 2. GEOTECNIA Y GEOFÍSICA	9
2.1 GENERALIDADES	10
2.2 TRABAJOS REALIZADOS	10
2.2.1 EXPLORACIÓN Y PERFORACIÓN	10
2.2.2 TOMA DE MUESTRAS Y ENSAYOS DE LABORATORIO	12
2.2.3 EXPLORACIÓN GEOFÍSICA	13
2.2.4 ESTABILIDAD DE TALUDES.....	15
2.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS.....	15
2.3.1 GEOLOGÍA	15
2.3.1.1 GEOLOGÍA LOCAL.....	16
2.3.1.2 DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL DESLIZAMIENTO	17
2.3.2 GEOTECNIA.....	18
2.3.2.1 DESCRIPCIÓN DE CAPAS GEOTÉCNICAS	18
2.3.2.2 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA	20
2.3.2.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS	20
2.3.3 GEOFÍSICA	24
2.3.3.1 SISMICIDAD.....	25
2.4 EVALUACIÓN GEOTÉCNICA	26
2.4.1 CAPACIDAD DE SOPORTE	26
2.4.2 CIMENTACIONES	26
2.4.3 MURO TIPO GAVIÓN-TERRAMESH.....	27
2.4.4 ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES.....	32
2.4.5 ANÁLISIS DE LICUEFACCIÓN.....	35
2.4.6 ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS.....	36

<u>CAPÍTULO 3. DISEÑO ESTRUCTURAL</u>	36
3.1 GENERALIDADES	38
3.2 METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL	38
3.2.1 REVISIÓN GEOTÉCNICA.....	39
3.2.1.1CAPACIDAD DE CARGA AXIAL DEL PILOTE EN COMPRESIÓN.....	40
3.2.1.2CAPACIDAD DE CARGA AXIAL DEL PILOTE EN TENSIÓN (EXTRACCIÓN)	41
3.2.2 REVISIÓN ESTRUCTURAL.....	41
3.2.2.1DISEÑO A FLEXO-COMPRESIÓN	41
3.2.2.2REVISIÓN A CORTANTE	42
3.3 ESTIMACIÓN DE CANTIDADES	43
<u>DISCUSIÓN SOBRE GRADOS DE INCERTIDUMBRE Y ALCANCE DEL ESTUDIO</u>	44
<u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	45
<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	46
<u>ANEXOS</u>	

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el contrato firmado entre CACISA y el Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) se procedió a realizar un ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN DEFINITIVA PARA LAS OBRAS DE ESTABILIZACIÓN EN EL HUNDIMIENTO SOBRE LA RUTA NACIONAL No. 224, SECTOR PUENTE NEGRO, PARAÍSO, CARTAGO. Con el objetivo de evaluar las características geotécnicas del terreno en estudio, se realizaron ensayos de campo y laboratorio durante el estudio geotécnico según los lineamientos solicitados en el Código de Cimentaciones de Costa Rica. De igual forma se realizaron los trabajos de campo y gabinete correspondientes con los trabajos geofísicos y topográficos. Finalmente, con la información de los estudios anteriormente mencionados, se llevó a cabo el diseño formal de las obras de retención y estabilización propuestas para la solución definitiva del hundimiento recurrente en el sitio de estudio.

La ubicación político-administrativa del sitio es provincia de Cartago, cantón Paraíso, distrito Paraíso. La ubicación geográfica del sitio según sus coordenadas es entre 199 000 y 200 000 Norte y entre 550 000 y 552 000 Oeste, según la Hoja cartográfica Tapantí 1:10 000. En el Anexo 1 se incluye la ubicación geográfica de la propiedad.

El objetivo de la investigación ejecutada fue determinar las características y parámetros topográficos, geotécnicos, geofísicos y de taludes, para el diseño definitivo de las obras de estabilización del hundimiento en Ruta Nacional No. 224, sector Puente Negro.

El presente estudio se realizó cumpliendo con las normas establecidas de acuerdo al Código de Cimentaciones de Costa Rica, Código Sísmico de Costa Rica, y Código geotécnico de taludes y laderas; así como las normativas vigentes de acuerdo a las técnicas empleadas, tanto de campo como en laboratorio. Los ensayos de laboratorio se ejecutaron en el Laboratorio de Materiales de CACISA, el cual posee acreditación por la norma ISO-17025.

CAPÍTULO 1: TOPOGRAFÍA

1.1 GENERALIDADES

Conforme a lo ofertado en el documento COT-GEO-017-2017, se realizó un levantamiento topográfico en el sitio de hundimientos recurrentes sobre la Ruta No. 224: Paraíso-Orosi, sector Puente Negro, provincia de Cartago, cantón Paraíso, distrito Paraíso.

El objetivo del levantamiento fue contar con información topográfica suficiente para la realización de un análisis de estabilidad de taludes del sitio; así como para el posterior diseño de las obras de estabilización en el sitio de estudio.

El presente capítulo describe todos los trabajos y actividades realizadas para cumplir con lo solicitado en cuanto al levantamiento topográfico.

1.2 METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL ESTUDIO TOPOGRÁFICO

A continuación se mencionan los principales equipos y procedimientos necesarios para la elaboración del estudio topográfico.

1.2.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO UTILIZADO

Para el desarrollo del presente estudio de Geodesia y Topografía se contó una cuadrilla de topografía debidamente calificadas y equipadas con personal profesional y técnico; así como con los instrumentos e insumos necesarios para realizar una adecuada labor de precisión y detalle acordes a los requerimientos.

Los equipos topográficos utilizados en cada etapa fueron los siguientes:

- a- Etapa de establecimiento de puntos de control horizontal
 - 1 Estación Total Topcon GTS 105N con exactitud angular de 5" y lineal de 2mm+2ppm
- b- Etapa de levantamiento de detalles
 - 1 Estación Total Topcon GTS 105N con exactitud angular de 5" y lineal de 2mm+2ppm
 - Dron tipo hexacóptero DJI S900 con cámara de 24mp

Los datos de calibración de los instrumentos antes mencionados se incluyen en el Anexo 1-1.

1.2.2 ACTIVIDADES DEL ESTUDIO GEODÉSICO Y TOPOGRÁFICO

El desarrollo del estudio geodésico y topográfico, comprendió las siguientes etapas:

- Establecimiento y medición de cinco puntos de control horizontal y vertical, con estación total.
- Levantamiento de secciones transversales y detalles incluyendo el tramo de la Ruta Nacional 224.
- Vuelo de la zona con el dron para tomar las fotografías.
- Procesamiento de información de campo y elaboración del modelo digital del proyecto, y confección de planos topográficos (impresos y digitales) Elaboración del reporte topográfico.
- Elaboración de Ortofoto.

1.2.3 ESTABLECIMIENTO DE VÉRTICES DE CONTROL

La primera actividad que se realizó fue el establecimiento de los puntos de control que servirían para el levantamiento del sitio y como control para la ortofoto del sitio.

La Figura 1-1, muestra un ejemplo de la materialización de los puntos de control y tabla 1-1 contiene las coordenadas del sitio.



Figura 1-1. Punto de control

Tabla 1-1. Coordenadas de puntos de control

NOMBRE	NORTE	ESTE	ALTURA (msnm)
EST1	1 084 888,00	514 776,00	1 085,00
EST2	1 084 945,47	514 791,17	1 087,88
EST3	1 084 922,03	514 810,26	1 077,29
EST4	1 084 887,43	514 824,89	1 066,06
EST5	1 084 919,60	514 834,41	1 071,61

1.2.4 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Se levantaron secciones transversales cada 10 m perpendiculares a la RN 224, en un tramo de 70 m, incluyendo parte del terreno que se encuentra al noroeste de la calle.

Se levantaron todos los puntos, donde las condiciones topográficas e hidrológicas del terreno lo requirieron, con el propósito de obtener curvas de nivel que generen una representación lo más precisa posible de la forma del terreno. Toda la información fue levantada con estación total electrónica y complementada con la información recopilada con el vuelo del dron.

También se registraron los sondeos efectuados en el sitio, los cuales aparecen identificados en planos lo mismo que las líneas de geofísica.

1.2.5 PLANOS TOPOGRÁFICOS

Con la información de campo obtenida, se confeccionó un plano topográfico en planta a escala 1:250 con curvas de nivel con intervalo de 1 m; un perfil a lo largo de cada línea de geofísica y dos perfiles transversales del sitio de estudio.

Con la finalidad de uniformizar todos los elementos que aparecen en los planos, se definió una simbología, la cual se indica en el juego de planos elaborado. Todos los detalles del plano topográfico están indicados de acuerdo con dicha simbología.

En las láminas de planta, además de mostrar la topografía del terreno (curvas de nivel y detalles), se ubican todos los puntos establecidos para el control horizontal y vertical, indicando para cada uno su identificación y las coordenadas X, Y, Z; lo mismo para los sondeos realizados.

Como complemento a lo anterior, se incorpora en los planos una ortofoto con resolución de 5 cm/pixel para una mejor claridad del sitio de estudio.

Los planos y secciones topográficas generadas aparecen en las láminas de diseño como parte del anexo 4.

CAPÍTULO 2: GEOTECNIA Y GEOFÍSICA

2.1 GENERALIDADES

Los estudios consistieron en la realización de trece sondeos, diez de ellos con la técnica de SPT hasta profundidades entre 3,00 m y 9,00 m; y tres sondeos combinando las técnicas de SPT y rotación hasta profundidades de 27,00 m en el caso del sondeo S-11, 15,60 m para el sondeo S-12 y 13,70 m para el sondeo S-3. Además se elaboraron dos perfiles geofísicos con la técnica de refracción sísmica de 80,0 m y 120,0 m de longitud.

El estudio de suelos permitió caracterizar desde el punto de vista geotécnico dos capas; ambas subdividas en dos subcapas de acuerdo con sus características físico-mecánicas. Las mismas están representadas por materiales deluviales-coluviales con una matriz arcillosa y contenido variable de arena, y un conglomerado brechoso con grado de alteración variable. Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)* la matriz arcillosa arenosa de las capas deluviales-coluviales clasifica como: CL.

Se detectó el nivel freático en los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, S-5 y S-6, a profundidades desde la superficie hasta del orden de los 2,50 m; así mismo en los sondeos S-11, S-12 y S-13 a profundidades de los 6,20 m y hasta los 13,60 m donde aparece el macizo rocoso fracturado. Es importante anotar que el nivel freático detectado tiene carácter local, y está asociado a un acuífero colgado; este nivel puede tener características estacionales, y por lo tanto variar en las distintas épocas del año.

Desde el punto de vista de las obras de retención propuestas, las capacidades de carga admisible del sitio son malas para las capas 1-A y 1-B (coluvios-deluvios envueltos en matriz de suelo arcillo-arenosa; regulares para la capa 2-A (conglomerado brechoso muy alterado), y excelentes para la capa 2-B (conglomerado brechoso sano, duro y compacto). Por tanto, solo de seguir las recomendaciones dadas en el presente informe se logra que el terreno sea apropiado para el proyecto.

2.2 TRABAJOS REALIZADOS

2.2.1 EXPLORACIÓN Y PERFORACIÓN

La investigación del suelo se efectuó mediante la exploración geotécnica del sitio y la ejecución de tres sondeos, combinando el método de Ensayo de Penetración Estándar (SPT)*, y el método de perforación a rotación con diámetro NQ y HQ.

Las perforaciones se iniciaron con el método de ensayo SPT (según norma ASTM D 1586) hasta una profundidad variable entre 3,00 m y 9,00 m, donde se obtuvo rebote del muestreador.

La ubicación de los sondeos se indica en plano del Anexo 2-2 y las coordenadas de los sondeos en el sitio se muestran en la siguiente Tabla 2-1.

Tabla 2-1: Coordenadas cartográficas de las perforaciones

PRUEBA	PROF.	MÉTODO	LONGITUD	LATITUD
SONDEO 1	3,85 m	SPT	514 783,57	1 084 947,12
SONDEO 2	3,50 m	SPT	514 780,74	1 084 933,04
SONDEO 3	3,00 m	SPT	514 767,30	1 084 910,67
SONDEO 4	6,00 m	SPT	514 794,63	1 084 934,89

SONDEO 5	3,00 m	SPT	514 789,83	1 084 918,56
SONDEO 6	4,00 m	SPT	514 787,40	1 084 908,07
SONDEO 7	6,50 m	SPT	514 810,16	1 084 930,46
SONDEO 8	6,00 m	SPT	514 815,59	1 084 919,09
SONDEO 9	6,00 m	SPT	514 801,70	1 084 896,17
SONDEO 10	9,00 m	SPT	514 806,42	1 084 905,06
SONDEO 11	27,00 m	SPT + ROTACIÓN (NQ)	514 795,33	1 084 923,54
SONDEO 12	15,60 m	SPT + ROTACIÓN (NQ-HQ)	514 791,52	1 084 911,50
SONDEO 13	13,70 m	ROTACIÓN (NQ)	514 796,48	1 084 926,70

El método SPT* consiste en hincar una tubería con tomamuestras (diámetro exterior de 51 mm e interior de 35 mm) 60 cm y 50 cm en el terreno, contando el número de golpes necesarios para hincar tramos de 15 cm. La hincia se realiza mediante una maza de 63,5 kg que cae una altura de 760 mm sobre una cabeza de golpeo, cayendo una altura de 760 mm. El esquema de ensayo se muestra en la figura N°1. En total se registran 3 tramos; de los cuales, las lecturas del primero no son tomadas en cuenta, por posible alteración del suelo y derrumbes. Los valores de golpeo de los tramos II y III, sumados conducen al parámetro N_{SPT} .

Cuando el suelo es muy resistente se detiene la prueba al alcanzar un determinado número de golpes, en los cuales al llegar al conocido Rebote del Mazo (RM). La prueba se puede dar por finalizada cuando:

- Se haya aplicado un total de 50 golpes en cualquiera de los tres incrementos de 15 cm.
- Se haya aplicado un total de 100 golpes.
- No se observe avance del muestreador mediante la aplicación de 10 golpes sucesivos del martillo.
- El muestreador avance 45 cm completos, sin alcanzar las cuentas límites de golpes, descritos en los incisos a), b) y c) anteriores.

El esquema del muestreador se presenta en la Figura 2.

Los trabajos de perforación a rotación consistieron en la utilización de maquinaria de rotación con broca de diamante en diámetro NQ. El equipo consiste en una máquina de tipo hidráulico marca Fraste, modelo Mito 20, con sistema de perforación *wireline* que se muestran en la Fotografía 2-1.

Para lograr la máxima recuperación de muestras se utilizó una o varias de las técnicas que se describen a continuación:

- Disminución de agua inyectada
- Disminución de la velocidad
- Disminución de la longitud del tramo de avance

Todas las muestras extraídas en los sondeos exploratorios fueron colocadas y almacenadas en cajas porta-testigos.

Los sondeos fueron realizados por una cuadrilla constituida por 3 técnicos, de la cual Marvin Montoya fue el encargado.



Fotografía 2-1. Máquina de rotación

2.2.2 TOMA DE MUESTRAS Y ENSAYOS DE LABORATORIO

Los suelos recuperados en la perforación fueron descritos y muestreados por capas, de forma representativa para su caracterización y clasificación. A las muestras se le realizaron ensayos de:

- ✓ Granulometría* según norma ASTM C 136 y los de plasticidad según la ASTM D 424 y ASTM D 423.
- ✓ Humedad natural* según norma ASTM D2216.
- ✓ Peso específico relativo según norma ASTM D 854-58.

La tabla 2 resume los volúmenes de ensayos realizados. La determinación de estos parámetros permite el cálculo de la capacidad de soporte del suelo.

Tabla 2-2: Volúmenes de ensayos realizados

SONDEOS	ENSAYOS			
	granulometría	plasticidad	humedad	Gs
S-1	2	2	8	2
S-2	2	2	7	2
S-3	2	2	6	2
S-4	2	2	12	2
S-5	2	2	6	2
S-6	2	2	8	2
S-7	2	2	13	2
S-8	2	2	12	2
S-9	2	2	12	2
S-10	2	2	18	2
S-11	2	2	9	2
S-12	2	2	9	2
S-13	-	-	-	-
Total	24	24	-	24

Los resultados de estos ensayos se presentan en sus registros respectivos y el N° de golpes obtenidos del ensayo SPT, así como la clasificación y descripción de los materiales caracterizados por capa.

2.2.3 EXPLORACIÓN GEOFÍSICA

El procedimiento de trabajo realizado incluyó la visita de campo. En el sitio se ejecutaron dos perfiles de tomografía eléctrica de 80 m y 120 m. Uno de los perfiles longitudinal y el otro transversal al eje de la Ruta Nacional No.224.

La técnica de la tomografía eléctrica emplea los valores de resistividad aparente medidos con los dispositivos geoelectrónicos sobre la superficie del terreno, para generar imágenes del subsuelo donde se representan los valores de la resistividad verdadera de las diferentes zonas del subsuelo.

La relación entre la resistividad aparente y la resistividad verdadera, es una relación compleja. Para determinar la resistividad verdadera del subsuelo a partir de los valores de la resistividad aparente, se aplica la técnica de la “inversión” (Loke, 2004).

El objetivo de la inversión geofísica eléctrica es, como se acaba de indicar, encontrar un modelo de distribución de resistividades verdaderas en el subsuelo, que genere una respuesta similar a los valores de resistividad aparente medidos. Las relaciones matemáticas entre los valores de resistividad aparente medidos y la resistividad verdadera del subsuelo se obtienen a partir de métodos de elementos finitos o diferencias finitas.

El procedimiento de generación de una tomografía eléctrica mediante inversión, parte de los datos de resistividad aparente medidos, representados en forma de pseudoperfil. A continuación se genera un modelo hipotético de resistividades verdaderas del subsuelo, y resolviendo lo que se define como “cálculo del problema directo”, se llega al modelo de resistividades aparentes que se derivaría del mismo. Estas resistividades aparentes se comparan con las realmente medidas, y se calcula el error cometido. A través de este error se modifica el modelo hipotético real de resistividades verdaderas, y se repite el proceso anterior. De este modo, tras una serie de

iteraciones, se consigue un modelo de resistividades verdaderas del subsuelo que da explicación a las resistividades aparentes medidas.

En el esquema de pseudosecciones que se incluye en la Figura 2-1 se detalla el procedimiento de inversión seguido para la obtención de una Tomografía Eléctrica. El dispositivo Wenner Schlumberger es uno de los arreglos que produce 276 mediciones. Al igual conserva la estructura del 1-D con la movilidad lateral.

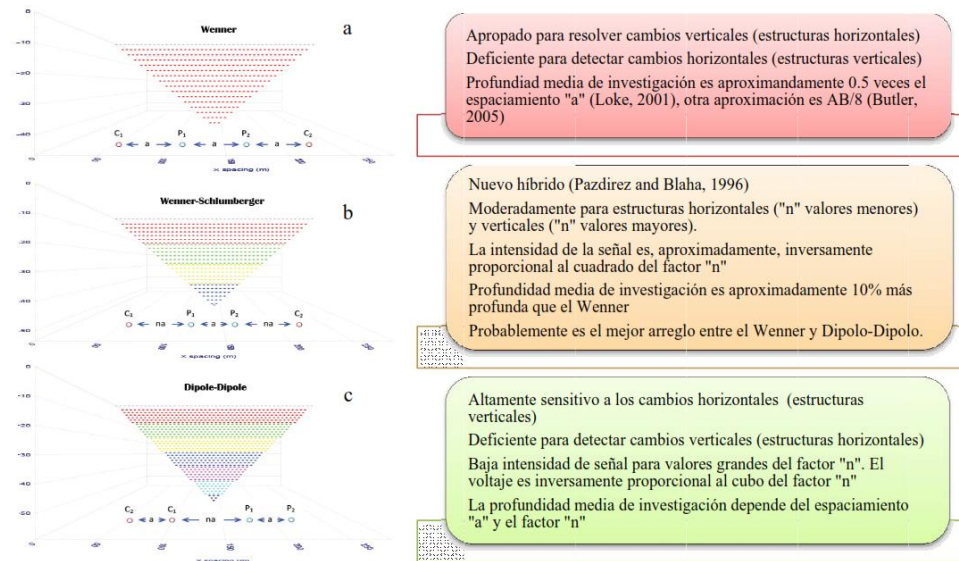


Figura 2-1. Esquema de operación de tomografía eléctrica con dispositivo Wenner - Schlumberger, para 21 electrodos con el factor de "n" entre 1 y 6.

En el esquema de pseudosecciones que se incluye en la Figura 2-2 se detalla el procedimiento de inversión seguido para la obtención de una Tomografía Eléctrica.

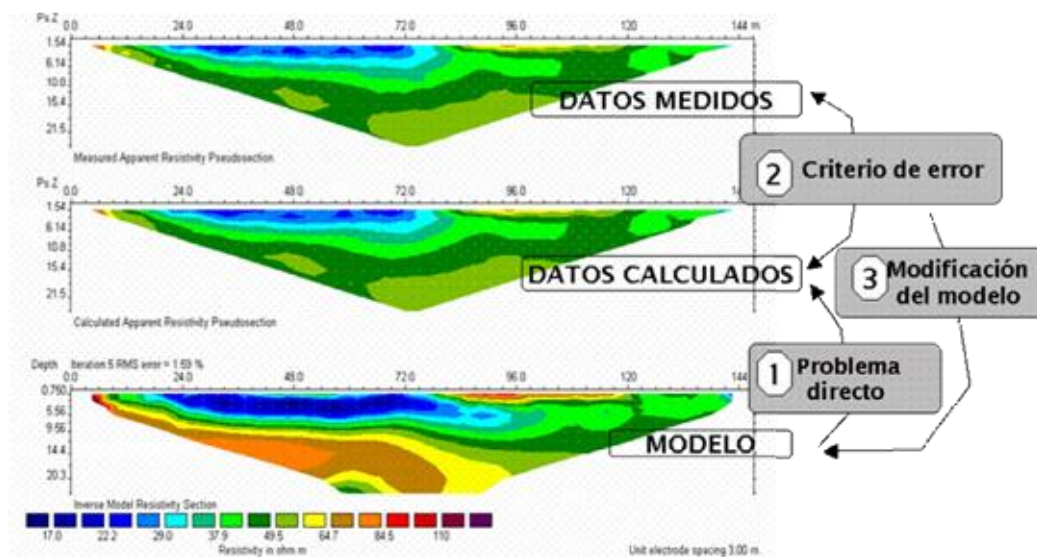


Figura 2-2. Ejemplo de tomografía eléctrica con etapas en el proceso de inversión eléctrica

La resistividad eléctrica de las rocas puede variar en un margen muy amplio, está en función de diversos factores como la porosidad, la permeabilidad, temperatura, saturación de fluidos, la química de los fluidos, además del grado de fracturamiento y los minerales que componen estas rocas.

2.2.4 ESTABILIDAD DE TALUDES

Para el análisis de estabilidad de taludes se estableció la sección crítica en el sentido de la máxima pendiente del talud. Esta sección fue modelada en el programa SLOPE/W para establecer la estabilidad global.

La metodología de análisis empleada es de equilibrio límite y la misma se basa en el equilibrio de fuerzas y/o momentos que actúan en una masa de suelo, que puede considerarse como una masa general de suelo definida por un talud infinito, o segmentada en dovelas. Un factor de seguridad determina la estabilidad del talud.

El análisis fue realizado utilizando el programa de estabilidad de taludes SLOPE de GeoStudio en su versión noviembre 2012. La modelación se basó en varios métodos clásicos, los cuales satisfacen las condiciones de equilibrio facilitando los cálculos matemáticos y permiten la definición de superficies de falla circulares.

2.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

En este apartado se presentan los principales resultados geológicos, geotécnicos y geofísicos obtenidos.

2.3.1 GEOLOGÍA

El cantón de Paraíso está constituido geológicamente por materiales de los períodos Terciario y Cuaternario.

En la zona de estudio del período Terciario se encuentran rocas sedimentarias compuestas por materiales de la formación Pacacua. La formación consiste en una secuencia de materiales, constituida por interestratificaciones de conglomerados brechosos y areniscas conglomeráticas, areniscas, limolitas y lutitas, todas tobáceas, en algunas partes con coloraciones moráceas.

Del período Cuaternario, en la zona, se localizan rocas de origen sedimentario de la época Holoceno. Las rocas sedimentarias, corresponden a depósitos fluviales y coluviales, localizados en las márgenes del curso medio e inferior del río Grande de Orosí y en el curso inferior del de Aguacaliente.

Desde el punto de vista geomorfológico la zona de estudio pertenece a la zona de transición entre las unidades geomórficas: forma de origen tectónico y erosivo, y de sedimentación aluvial.

La unidad de origen tectónico y erosivo, se caracteriza por tener valles profundos con laderas de fuerte pendiente. Las divisorias son angostas. Esta unidad comprende rocas viejas de varias formaciones geológicas, además presenta intrusiones ácidas y básicas, así como rocas volcánicas. Su forma es compleja al estar influenciada por fallas y pliegues lo mismo que por la diversidad de rocas. Su origen se debió a una sedimentación marina que ocurrió hasta el Mioceno Medio, luego se inició un ascenso y plegamiento durante el Mioceno Medio al Superior. Posteriormente un Plutonismo con magmas ácidos y básicos, originando las intrusiones, el cual es muy posible que llegara hasta el Plioceno.

La unidad de sedimentación aluvial, presenta una superficie plana, interrumpida por la presencia de terrazas y antiguos cauces del río Reventazón o del Grande de Orosí. La diferencia de nivel de las terrazas varía de un metro a cinco metros. El tipo de roca en ambos valles presenta grandes bloques, pero la mayor parte del área contiene fracciones finas del tipo de arena con algo de arcilla y limo. Dentro de los fragmentos hay una dominancia de rocas ígneas de tipo intrusivo y lávicas. Su origen se debe a los aportes aluviales efectuados por los ríos Grande de Orosí y algunos de sus afluentes.

2.3.1.1 GEOLOGÍA LOCAL

Según la compilación presentada sobre el levantamiento geológico de la hoja Tapantí 1: 50 000 de Rojas H., V. 2010; la zona corresponde con materiales de la formación Pacacua (T_{m-p}), y Depósitos de aluviales y coluviales (Q_{al}), ver figura 2-3. En el plano la zona de estudio es enmarcada en un círculo azul.

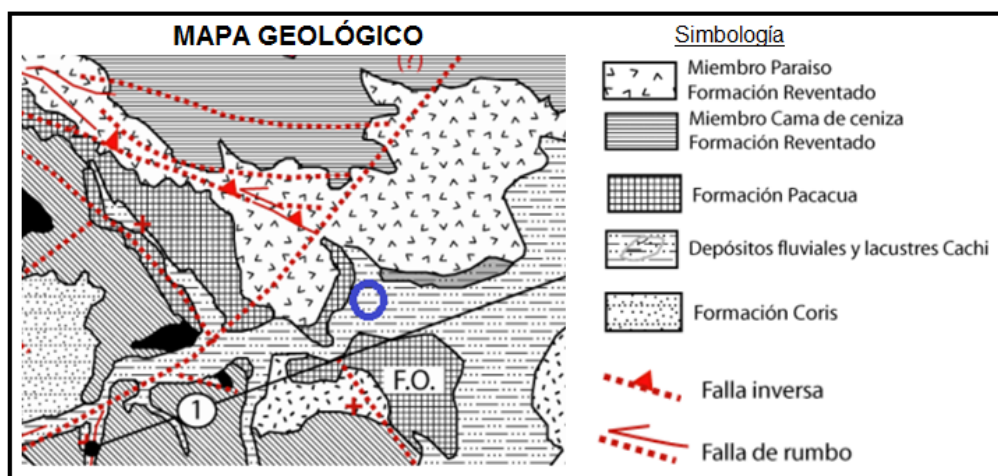


Figura 2-3. Mapa geológico 1: 50 000

Fm. Pacacua (T_{m-p}). Constituida por volcanoclastitas de granulometría diversa. Se caracteriza por interestratificaciones decimétricas hasta métricas de conglomerados brechosos y areniscas conglomeráticas, areniscas, limolitas y lutitas todas tobáceas. Su espesor alcanza 1200 m y 2000 m y su forma es tabular. Su espesor estimado en el sector de agua caliente es de 150 m. En la hoja Tapantí, Berrangé y Whittaker (1977) describen la formación como brechas y conglomerados volcanoclásticos, areniscas conglomeráticas, areniscas, y en menor porcentaje lutitas. Se formó en un ambiente marino somero con influencia de vulcanismo continental, la subsidencia y el aporte de sedimentos fue constante y rápido. Edad Mioceno inferior. Las rocas de esta formación subyacen el área de estudio, constituyendo su basamento.

Depósitos fluviales y coluviales (Q_{al}). Están representados por abanicos coluviales y aluviales. Se asocian a la sedimentación fluvial y a fenómenos de deslizamiento represamiento causando avalanchas. Espesor variable. Edad Holoceno. Estas rocas afloran en el área de estudio, y asociado a ellas está la zona de inestabilidad.

Desde el punto de vista tectónico la zona es atravesada por fallas regionales y locales. El agrietamiento y fracturación de la roca es evidente en los testigos recuperados en los sondeos.

2.3.1.2 DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL DESLIZAMIENTO

El sitio de estudio consiste en una zona de hundimientos recurrentes sobre la Ruta Nacional No. 224 que comunica los cantones de Paraíso y Orosi; en los alrededores del sector conocido como Puente Negro, en la provincia de Cartago. En el sitio se observa un deslizamiento muy marcado con la aparición de grietas longitudinales en la carretera y grietas transversales que se extienden en buena parte del talud. Así mismo es posible observar hundimientos del terreno, árboles inclinados, y daños evidentes en estructuras como: carretera, acceso en losa de concreto a una vivienda, cunetas, cercas, aceras, y muros de viviendas colindantes.

La condición actual de inestabilidad en la zona parece estar asociada entre otros, a los siguientes factores: saturación del medio poroso, baja capacidad de soporte en suelos superficiales. El medio poroso superficial que sirve de soporte a la estructura de pavimento de la carretera se encuentra saturado debido a la presencia de agua de escorrentía en el sitio y un nivel freático colgado. Esta situación propicia la reducción de la resistencia del suelo y el incremento del peso propio del material, ambas condiciones son características de los sitios de deslizamiento. Por otra parte, la presencia de cargas vehiculares, la topografía propia del terreno y la baja capacidad de soporte del estrato de suelo superficial, hacen necesario el diseño y construcción de una solución integral de estabilización; de no ejecutarse la misma se mantendrían la condición de hundimientos recurrentes en la zona, los que van en incremento y pueden llegar a interrumpir el paso por la vía.

A continuación en la Fotografía 2-2 se ilustran algunas evidencias de la existencia de una zona de falla en el sitio de estudio.





Fotografía 2-2. Evidencias de la existencia de una zona de falla en el sitio de estudio

2.3.2 GEOTECNIA

En esta sección se incluyen los principales resultados acerca de las características y propiedades físico-mecánicas de capas geotécnicas del perfil geotécnico típico encontrado en el sitio.

2.3.2.1 DESCRIPCIÓN DE CAPAS GEOTÉCNICAS

Desde el punto de vista geotécnico en el sitio de estudio se encontraron 2 capas, ambas subdivididas a su vez en dos subcapas. A continuación se incluye la descripción de las mismas:

Capa 1-A: Arcilla arenosa de baja plasticidad. Color café-rojizo. Consistencia: Blanda a muy firme. Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)* clasifica como: CL. Material deluvial-coluvial constituido por bloques dispersos y fragmentos de materiales lávicos (lavas andesíticas e ignimbritas muy bien soldadas) generalmente de diámetros centimétricos a métricos, flotando en una matriz arcillosa.

En la Tabla 2-3 se muestran las profundidades a las que se detectó la capa 1-A.

Tabla 2-3: Intervalos de capa 1-A

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	
S1	0,00	2,00
S2	0,00	2,50
S3	0,00	1,50
S4	0,00	4,50
S5	0,00	1,50
S6	0,00	1,50
S7	0,00	2,00
S8	0,00	3,00
S9	0,00	2,00
S10	0,00	2,00
S11	0,00	2,00
S12	0,00	1,50

Capa 1-B: Arcilla con arena, de baja plasticidad. Color café rojizo. Consistencia: firme a dura. Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)* clasifica como: CL. Material coluvial constituido por bloques frecuentes y fragmentos de materiales lávicos (lavas andesíticas e ignimbrita muy bien soldada) generalmente de diámetros centimétricos a métricos, flotando en una matriz arcillosa.

En la Tabla 2-4 se muestran las profundidades a las que se detectó la capa 1-B.

Tabla 2-4: Intervalos de capa 1-B

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	
S1	2,00	3,50
S2	2,50	3,50
S3	1,50	3,00
S4	4,50	6,00
S5	1,50	3,00
S6	1,50	4,00
S7	2,00	6,50
S8	3,00	6,00
S9	2,00	6,00
S10	2,00	9,00
S11	2,00	12,35
S12	1,50	9,60

Capa 2-A: Conglomerado brechoso y tobaceo, muy alterado o meteorizado con evidencias de estratificación y orientación de la deposición. Predominan los colores rojizos y café producto de los procesos de intemperismo. Los fragmentos recuperados generalmente son menores a los 0,10 m; con resistencia a la compresión baja, inferior a 2 MPa.

En la Tabla 2-5 se muestran las profundidades a las que se detectó la capa 2-A.

Tabla 2-5: Intervalos de capa 2-A

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	
S11	12,35	13,65
S12	9,60	14,10
S13	9,80	11,10

Capa 2-B: Conglomerado brechoso y tobaceo, menos alterado y más compacto y duro que la subcapa anterior. En la parte superior del corte aparece una posible ignimbrita soldada o material lávico con numerosos fragmentos de rocas lávicas más antiguas. Se observan dos sistemas de grietas de 70° a 90°, y de 50° a 60°, en estas fracturas se presenta mineralización secundaria de calcita, muchas de las grietas hacia el inferior de la subcapa están rellenas con arcilla color café. Estas arcillas pueden ser depositadas en las grietas inferiores producto del flujo descendente de agua de infiltración. La roca presenta valores de resistencia a la compresión de entre 4 MPa y 7 MPa.

En la Tabla 2-6 se muestran las profundidades a las que se detectó la capa 2-B.

Tabla 2-6: Intervalos de capa 2-B

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	
S11	13,65	27,00
S12	14,10	15,60
S13	11,10	13,40

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión de los testigos de roca se muestran con detalle en el Anexo 2-5 de este documento.

2.3.2.2 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

En este apartado se describen las principales características geotécnicas del suelo:

2.3.2.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS

GRANULOMETRÍA Y PLASTICIDAD:

Los ensayos de granulometría se realizaron según norma ASTM C 136. Los porcentajes de grava, arena y finos de las curvas granulométricas y la plasticidad de la fracción fina de las muestras extraídas con el método SPT en los sondeos realizados aparecen en la Tabla 2-7.

Tabla 2-7: Granulometría y plasticidad*

CAPA		SONDEO	GRAVA (%)	ARENA (%)	FINOS (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
1-A	CL	S-1	0,00	30,10	69,90	44,00	24,00	20,00
1-A	SC	S-2	24,00	33,00	43,00	48,00	26,00	22,00
1-A	CH	S-3	0,00	21,10	78,90	63,00	30,00	33,00
1-A	CL	S-4	11,00	23,10	65,90	38,00	22,00	16,00
1-A	CL	S-5	2,00	38,40	59,60	45,00	25,00	20,00
1-A	CL	S-6	1,00	33,80	65,20	48,00	27,00	21,00
1-A	CL	S-7	0,00	39,00	61,00	46,00	24,00	22,00
1-A	CH	S-8	1,00	21,10	77,90	56,00	28,00	28,00
1-A	SC	S-9	3,00	48,00	49,00	53,00	26,00	33,00
1-A	CH	S-10	5,00	20,50	74,50	54,00	26,00	28,00
1-A	CL	S-11	29,00	27,80	43,20	46,00	24,00	22,00
1-A	CH	S-12	1,00	28,80	70,20	50,00	24,00	26,00
1-B	CH	S-1	20,00	20,40	59,60	54,00	22,00	32,00
1-B	CL	S-2	12,00	24,40	63,60	46,00	22,00	24,00
1-B	CL	S-3	12,00	24,40	63,60	46,00	22,00	24,00
1-B	CH	S-4	6,00	34,70	59,30	55,00	25,00	30,00
1-B	CL	S-5	1,00	24,70	74,30	38,00	24,00	14,00
1-B	CL	S-6	1,00	20,20	77,80	49,00	25,00	24,00

1-B	CL	S-7	0,00	30,90	69,10	49,00	26,00	23,00
1-B	CL	S-8	4,00	29,40	66,60	46,00	23,00	23,00
1-B	CL	S-9	1,00	30,00	69,00	47,00	24,00	23,00
1-B	CL	S-10	1,00	22,80	76,20	45,00	25,00	20,00
1-B	CH	S-11	7,00	28,00	65,00	50,00	25,00	25,00
1-B	CH	S-12	3,00	26,00	71,00	57,00	25,00	32,00

HUMEDAD NATURAL:

Los porcentajes de humedad natural obtenidos en las muestras ensayadas oscilan entre los valores que aparecen en la Tabla 2-8.

Tabla 2-8: Humedad natural

CAPA		HUMEDAD (m)
1-A	CL	15,60 - 58,30
1-B	CL	11,40 - 43,30

CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS:

La Tabla 2-9 resume a modo de caracterización geotécnica las propiedades físicas. El Anexo 2-4 presenta los resultados de los ensayos realizados por capa geotécnica y sus valores medios.

Tabla 2-9: Caracterización de las propiedades físicas

Capa	SUCS	Grava (%)	Arena (%)	T-200 (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ_d (kN/m ³)	w (%)	Gs
1-A	CL	6,42	30,39	63,19	49,25	25,50	24,25	13,50	33,70	2,660
1-B	CL	5,67	26,33	67,93	48,50	24,00	24,50	14,70	29,00	2,683
2-A	Roca	-	-	-	-	-	-	19,00	-	-
2-B	Roca	-	-	-	-	-	-	23,00	-	-

Nota: Las características indicadas para las capas 1-A y 1-B, son relativas solamente para la matriz arcillosa con arena en la que generalmente flotan las gravas y fragmentos lávicos que no son recuperados con el muestreador partido.

PERFIL GEOTÉCNICO:

Los resultados de la investigación de campo y los ensayos de laboratorio realizados permiten establecer dos capas geotécnicas, ambas subdivididas en dos subcapas; tal y como se indica en la Figura 2-4. En el sitio se detectó un espesor de capa vegetal de aproximadamente 20 cm. Esta capa no aparece en los sondeos S-11, S-12 y S-13; ya que en la zona se llevó a cabo un movimiento de tierras para el acceso de la máquina de rotación.

Se detectó el nivel freático un nivel freático colgado en los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, S-5 y S-6, a profundidades desde la superficie hasta del orden de los 2,50 m; así mismo en los sondeos S-11, GEO-076-2017

S-12 y S-13 a profundidades de los 6,20 m y hasta los 13,60 m donde aparece la capa rocosa o el macizo rocoso representado por un conglomerado brechoso de características tobáceas. Es importante aclarar que el nivel freático detectado consiste es de tipo colgado; por tanto puede aparecer o desaparecer en determinadas épocas del año.

Profundidad (m)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13
0,00 - 0,50													
0,50 - 1,00	1A		1A		1A	1A	1A		1A	1A	1A	1A	1A
1,00 - 1,50		1A						1A					
1,50 - 2,00			1B	1A	1B								
2,00 - 2,50	1B	1B				1B							
2,50 - 3,00							1B						
3,00 - 3,50								1B					
3,50 - 4,00									1B				
4,00 - 4,50													
4,50 - 5,00				1B						1B		1B	1B
5,00 - 5,50													
5,50 - 6,00													
6,00 - 6,50													
6,50 - 7,00													
7,00 - 7,50											1B		
7,50 - 8,00													
8,00 - 8,50													
8,50 - 9,00													
9,00 - 9,50													
9,50 - 10,00													
10,00 - 10,50													2A
10,50 - 11,00													
11,00 - 11,50												2A	
11,50 - 12,00													2B
12,00 - 12,50													
12,50 - 13,00											2A		
13,00 - 13,50													
13,50 - 14,00												2B	
14,00 - 14,50													
14,50 - 15,00													
15,00 - 15,50													
15,50 - 16,00													
16,00 - 16,50													
16,50 - 17,00													
17,00 - 17,50													
17,50 - 18,00													
18,00 - 18,50													
18,50 - 19,00													
19,00 - 19,50													
19,50 - 20,00													
20,00 - 20,50											2B		
20,50 - 21,00													
21,00 - 21,50													
21,50 - 22,00													
22,00 - 22,50													
22,50 - 23,00													
23,00 - 23,50													
23,50 - 24,00													
24,00 - 24,50													
24,50 - 25,00													
25,00 - 25,50													
25,50 - 26,00													
26,00 - 26,50													
26,50 - 27,00													

Figura 2-4. Esquema de capas geotécnicas por sondeo

PROPIEDADES MECÁNICAS:

De acuerdo con los valores del N_{SPT} obtenidos, corregidos y correlacionados se obtuvieron los valores de capacidad de soporte de suelos mostrados en la siguiente Tabla 2-10 considerando un factor de seguridad (FS) de 3:

$$c_u = \frac{q_u}{2}; q_{ult} = c_u \cdot N_c; q_{adm} = \frac{q_{ult}}{FS}$$

Tabla 2-10: Resumen de valores de capacidad de soporte admisible con factor de seguridad igual a 3

Prof. (m)	$q_{adm} \text{ (t/m}^2\text{)}$											
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
0,00 - 0,50	3,0	2,0	2,0	2,0	1,0	2,0	1,0	3,0	2,0	2,0	5,0	3,0
0,50 - 1,00	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	10,0	2,0	5,0	1,0	1,0	5,0	3,0
1,00 - 1,50	11,0	4,0	9,0	1,0	2,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0
1,50 - 2,00	10,0	7,0	26,0	11,0	14,0	5,0	5,0	3,0	5,0	4,0	4,0	7,0
2,00 - 2,50	23,0	9,0	29,0	3,0	29,0	9,0	17,0	5,0	12,0	15,0	7,0	9,0
2,50 - 3,00	11,0	20,0	29,0	3,0	29,0	6,0	9,0	6,0	14,0	18,0	12,0	15,0
3,00 - 3,50	20,0	29,0		3,0		11,0	13,0	11,0	19,0	21,0	14,0	19,0
3,50 - 4,00	29,0			5,0		29,0	11,0	14,0	14,0	15,0	18,0	29,0
4,00 - 4,50				7,0			19,0	23,0	18,0	15,0	29,0	29,0
4,50 - 5,00				14,0			19,0	18,0	26,0	18,0		
5,00 - 5,50				29,0			23,0	19,0	29,0	15,0		
5,50 - 6,00				29,0			23,0	29,0	29,0	15,0		
6,00 - 6,50							29,0			23,0		
6,50 - 7,00										15,0		
7,00 - 7,50										18,0		
7,50 - 8,00										19,0		
8,00 - 8,50										29,0		
8,50 - 9,00										29,0		

Nota: Los valores altos de capacidad soportante mostrados en la tabla se deben a la influencia de los fragmentos rocosos de material coluvial flotante en una matriz de suelo arcillo-arenoso; sin embargo, la resistencia del suelo y su capacidad de soporte es regida o controlada por la matriz de suelo arcillo-arenosa.

En la Tabla 2-11 se presenta la caracterización de las propiedades mecánicas fundamentales por capa geotécnica, evaluando además la capacidad de soporte admisible.

Tabla 2-11: Caracterización de las propiedades mecánicas

CAPA	CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS						
	N_{SPT}		Rotación		Correlaciones condición drenada		
	q_u (kPa)	c_u (kPa)	RQD (%)	σ_c (MPa)	c (kPa)	ϕ (°)	E_o (kPa)
1-A	3 - 135	7 - 68	-	-	15	15	3 200 - 14 000
1-B	54 - 337	27 - 169	-	-	15	20	6 800 - 32 000
2-A	-	-	0	Máx 2	-	34	80 000 - 150 000
2-B	-	-	24 - 96	4 - 7	60	42	> 150 000

Los coeficientes de empuje activo y pasivo para los valores medios del ángulo de fricción interna del suelo se muestran en la Tabla 2-12.

Tabla 2-12: Coeficientes de empuje activo y pasivo

Capa	ϕ (°)	K_a	K_p
1-A	15	0,59	1,70
1-B	20	0,49	2,04
2-A	34	0,28	3,54
2-B	42	0,20	5,04

2.3.3 GEOFÍSICA

Como parte de la exploración geofísica se realizaron dos perfiles geofísicos a partir de la técnica de refracción sísmica; un perfil tiene una longitud de 80 m en el sentido longitudinal a la Ruta No. 224 (Línea de geofísica 1), y el otro 120 m en sentido transversal a la vía (Línea de geofísica 2). Ambos se ubican tal y como se muestra en la Figura 2-5.

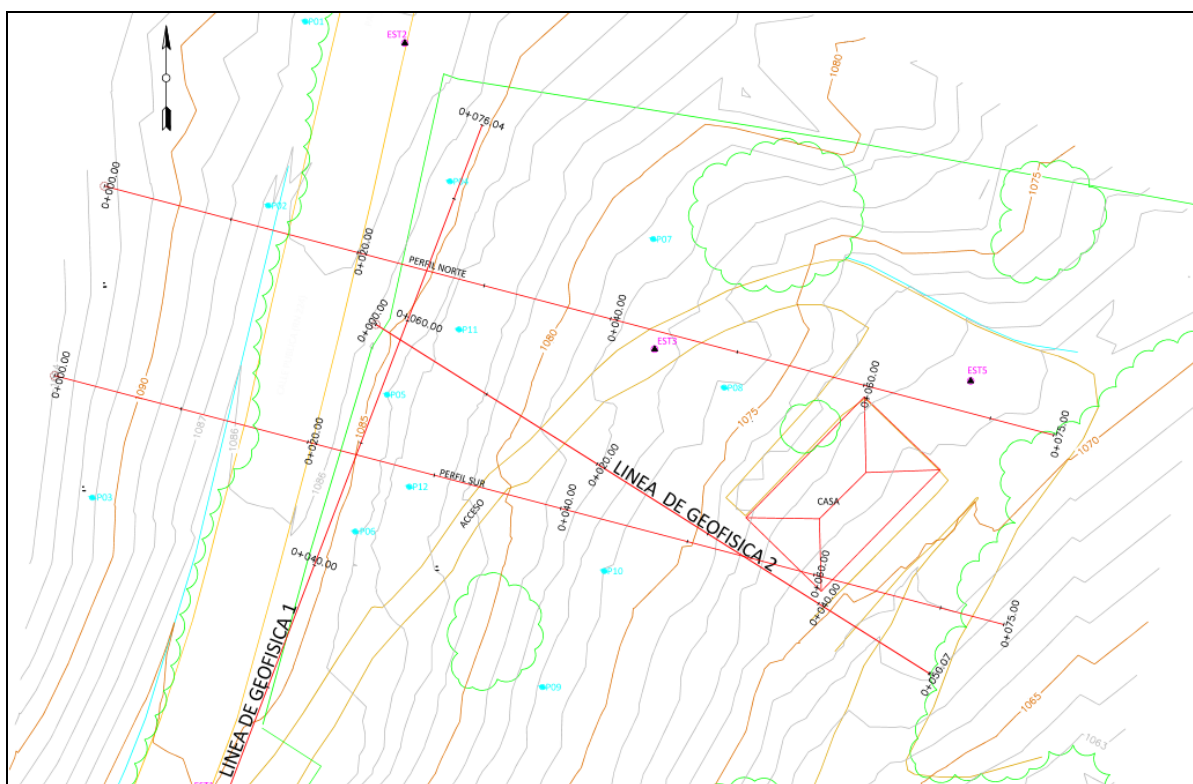


Figura 2-5. Localización de perfiles geofísicos en el sitio de estudio

A partir de los perfiles de tomografía eléctrica y su correlación con la resistividad eléctrica se pudo determinar la existencia de una posible zona de falla que coincide con la zona actual del hundimiento y de los daños en el terreno. El contacto entre las dos capas geofísicas detectadas y la profundidad máxima de la zona de falla se presentan en los perfiles de resistividad de las figuras 2-6 y 2-7. Así mismo, en el anexo 2-6 se presentan los datos de las tomografías eléctricas y su modelo de multicapas eléctricas, que asemejan el medio litológico de esta área.

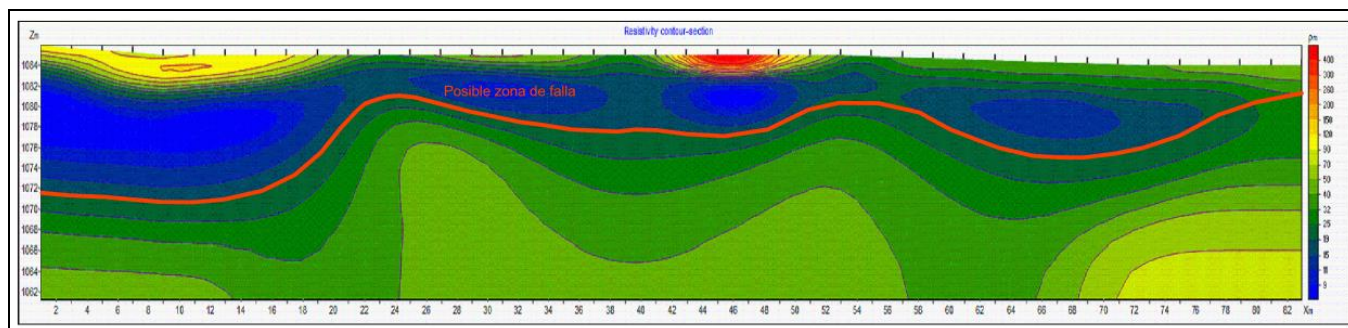


Figura 2-6. Perfil de Tomografía eléctrica 1. Línea de geofísica longitudinal (paralela al eje de la Ruta Nacional No. 224)

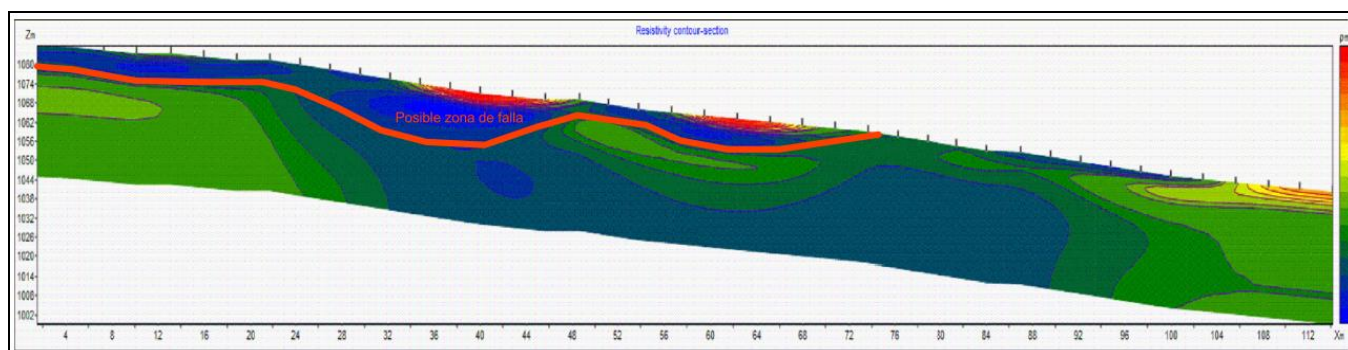


Figura 2-7. Perfil de Tomografía eléctrica 2. Línea de geofísica transversal (perpendicular al eje de la Ruta Nacional No. 224)

Como parte de los resultados obtenidos se tiene la estimación de la resistividad eléctrica por capa, así como el espesor y su respectiva correlación geológica. En la Tabla 2-13 se presentan los valores obtenidos para los parámetros mencionados anteriormente.

Tabla 2-13. Resultados obtenidos en los perfiles geofísicos

Capas geotécnicas	Resistividad eléctrica, R (Ω)	Espesor (m)	Correlación geológica
1-A y 1-B	0 - 32	9 - 12	Material coluvial constituido por bloques y fragmentos flotando en una matriz arcillo-arenosa.
2-A y 2-B	25 - 90	25 - 33	Conglomerados brechosos y tobáceos con diferente grado de fracturación e intemperismo.

Se puede anotar que la baja resistividad eléctrica de las capas 1-A y 1-B, está asociada a la matriz arcillosa del coluvio y a la descompresión del material superficial debido al desarrollo de la zona de falla.

2.3.3.1 SISMICIDAD

Según la Tabla 2.2 del capítulo 2 del Código Sísmico de Costa Rica 2010; clasifican el terreno en un sitio de cimentación tipo S_2 en zona III, lo que aplica una aceleración pico efectiva de diseño a_{ef} de 0,33 en la componente horizontal y se estima un 50% de ésta en la componente vertical.

Para el diseño de las obras de estabilización se trabajó con una aceleración del 20% de la aceleración de la gravedad, se justifica utilizar dicho valor desde el punto de vista geotécnico porque los períodos de vibración en que pueden ocurrir los deslizamientos son grandes; puesto que para períodos cortos de vibración, donde se producen picos importantes de aceleración, no hay tiempo suficiente para que pueda producirse un daño por deslizamiento; para que se produzca un deslizamiento se requiere un rango de tiempo de entre 30 a 60 s, intervalo en el que es imposible que se produzca de forma mantenida un pico de aceleración mayor que 0,15 g ó 0,20 g. Por lo tanto, según la literatura es norma considerar, en regiones epicentrales sísmicamente activas, un valor máximo de aceleración de 0,20 g para el análisis y diseño geotécnico de obras de retención de taludes.

2.4 EVALUACIÓN GEOTÉCNICA

Basado en la información de la exploración de campo, los ensayos de laboratorio y las correlaciones de datos realizadas, se presentan las recomendaciones y conclusiones sobre los aspectos geotécnicos del proyecto.

2.4.1 CAPACIDAD DE SOPORTE

Los valores heterogéneos y en muchas zonas altos de capacidad soportante obtenidos a partir del método del SPT no son confiables. Estos valores relativamente altos, y heterogéneos se deben a la influencia de los fragmentos rocosos del material coluvial, flotante en una matriz de suelo arcillo-arenoso. Sin embargo, la resistencia del suelo y su capacidad de soporte es regida o controlada por la matriz de suelo arcillo-arenosa y mayormente saturada. Prueba de ello, es el desarrollo de múltiples planos de falla a través de estos materiales (ver foto 2.2), que han generado el hundimiento repetitivo de una parte la sección de la carretera. Los materiales potencialmente inestables, y sus superficies de falla potencial fueron mapeadas con la tomografía eléctrica.

Una solución viable para garantizar la estabilidad de la sección de la carretera es la construcción de un muro con una camada de gavión en la base (que favorece el drenaje de los niveles de agua colgados) y terramesh en la parte superior, con una altura máxima de 6 m. Una solución como esta podría funcionar con capacidades de carga admisible en su base iguales o mayores a 15,0 t/m². Sin embargo, los planos de falla que se han desarrollado pasarían por debajo de la base del elemento de contención, a no ser que se desplantara a gran profundidad entre los 13,0 m y los 14,0 m; con respecto a las cotas en que se realizaron los sondeos a rotación. La longitud total de la intervención propuesta es de 40 m.

Al considerar que las capacidades de carga obtenidas no son confiables, y que esta o cualquier otra solución análoga no logra garantizar por si sola la seguridad ante la falla global (falla tipo talud); se propone un elemento de contención tipo muro gavión-terramesh, cimentado sobre un cabezal que transmita las cargas a través de pilotes, y estos pilotes garanticen la estabilidad ante la falla global.

Los suelos del área no son propensos al desarrollo de otros fenómenos geotécnicos especiales como pueden ser la licuefacción, la expansión, o el colapso.

2.4.2 CIMENTACIONES

Tal y como se justificó con anterioridad como solución de estabilización de la sección de la carretera se propone un elemento de contención tipo muro gavión-terramesh cimentado sobre pilotes. La longitud total del muro es de 40 m.

La solución de estabilización-contención propuesta es presentada en forma esquemática en la figura 2-8.

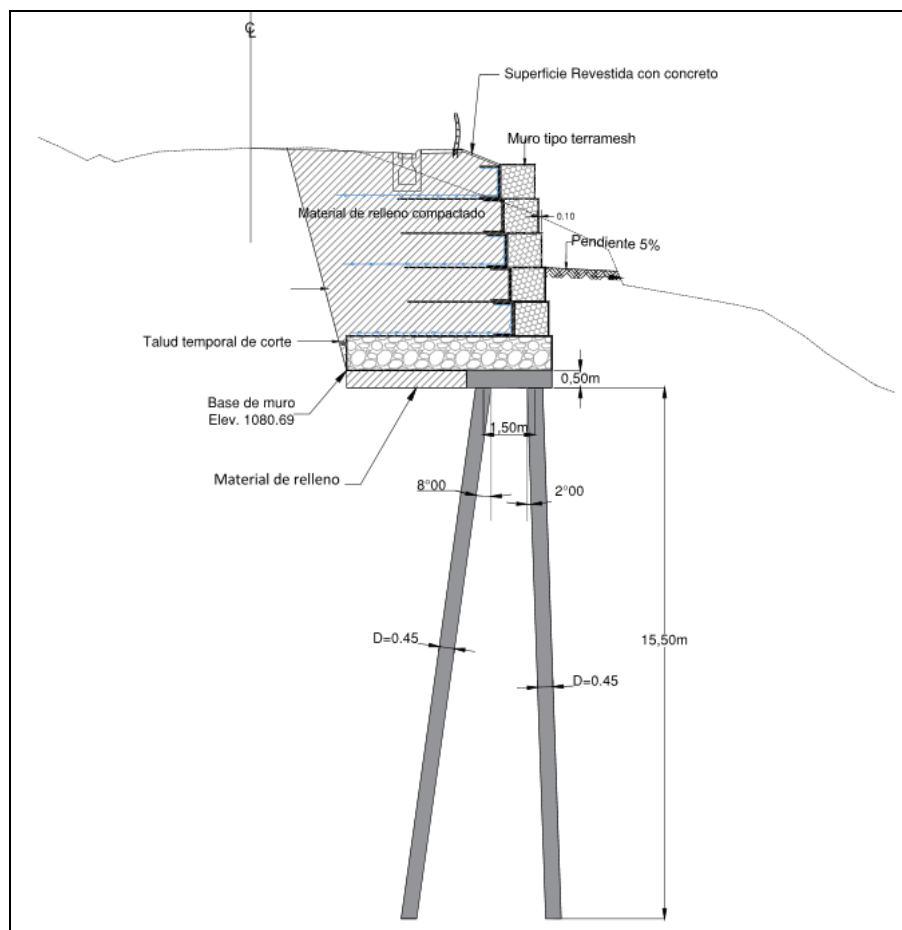


Figura 2-8. Esquema de la solución de estabilización-contención

La camada inferior de gaviones, del elemento de contención, quedaría apoyada sobre un grupo de pilotes vinculados en una viga de amarre-cabzal que garantizaría en su conjunto el buen funcionamiento de la estructura.

Los pilotes quedarían empotrados en el material rocoso, caracterizado como capa 2-B; que aparece en el eje de cimentación a profundidades entre 13,0 m y 14,0 m.

Los detalles específicos de las obras de retención se incluyen en las láminas de diseño aportadas en el Anexo 4.

2.4.3 MURO TIPO GAVIÓN-TERRAMESH

Una alternativa económica y constructivamente viable es la propuesta de un muro tipo gavión-terramesh de altura máxima de 6,0 m. Este tipo de elemento permite disminuir la longitud de los pilotes como solución de estabilización, y al ser una estructura flexible, posee la ventaja de tener capacidad para soportar deformaciones y desplazamientos sin que sufra su estructura,

acomodándose ésta a los cambios que tenga el terreno. Otro aspecto importante es que por su alta permeabilidad no existen esfuerzos de empuje causados por las aguas de infiltración.

A continuación se expone brevemente la metodología empleada en el diseño, la cual incluye los siguientes aspectos:

- Cálculo y verificación de la capacidad de soporte
- Cálculo y verificación de la seguridad al deslizamiento
- Cálculo y verificación de la seguridad al volcamiento
- Cálculo y verificación de la seguridad a la falla global

Los factores de seguridad a emplear en el diseño son los recomendados por el código de cimentaciones de Costa Rica y se muestran en la tabla 2-14 para el caso de carga estática y la combinación de carga estática más pseudoestática.

Tabla 2-14. Factores de seguridad recomendados

Verificaciones	FS carga estática	FS carga estática + pseudoestática
Capacidad de soporte	3	2
Deslizamiento	1,5	1,15
Volcamiento	1,5	1,15
Estabilidad global	1,5	1,3

Nota: Para cargas excéntricas el código de cimentaciones de Costa Rica recomienda los factores de seguridad para capacidad de soporte según su cuadro 3.3.

Además, se debe de chequear la estabilidad interna de sus componentes estructurales, como es el caso del rompimiento de la malla de gaviones. El criterio de diseño adoptado asume un comportamiento del muro como rígido ofreciendo un margen de seguridad mayor al utilizar sistemas de gaviones.

Con el fin de diseñar muros de suelos reforzados la firma Maccaferri recomienda el programa MacSTARS. El mismo permite calcular la estabilidad interna y externa de estructuras complejas con el reporte de los cálculos, secciones y factores de seguridad que se obtienen. En el programa están incluidos los parámetros característicos de los distintos elementos de refuerzo de Maccaferri, así como la interacción de estos elementos entre si y entre los distintos tipos de suelo.

Por motivos de pendiente del terreno y disminuir la longitud de los pilotes la profundidad de desplante o empotramiento de estas canastas es del orden de 2,00 m. La pared exterior de las canastas se desfasa hacia el relleno 0,10 m por metro o canasta para favorecer su estabilidad, quedando cimentado el muro sobre una base horizontal.

En el diseño del muro se consideró que los suelos de la base poseen una capacidad de carga de 15 t/m²; aunque en la práctica sería mucho mayor al estar apoyado sobre el sistema de cabezal pilotes.

En el diseño se considera la acción de las cargas sísmicas de acuerdo al código vigente en Costa Rica. En este caso suelo tipo S₂ en zona III, con un coeficiente sísmico horizontal de 0,20. El coeficiente sísmico vertical se desprecia. De igual forma en el diseño se considera la carga del tránsito, u otra carga uniformemente distribuida equivalente a 20 kPa.

En la tabla 2-15 se aportan las características del relleno propuesto y sus especificaciones. El material de relleno debe consistir en un material granular con características análogas al material de préstamo selecto descrito en el renglón 704.07 del Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2010).

Tabla 2-15. Especificaciones para el material a utilizar como relleno de sustitución

CARACTERÍSTICA	ESPECIFICACIÓN	
Límite Líquido (%)	30% máximo	
Índice de Plasticidad (%)	Menor que 4 %	
Cohesión (kPa)	Menor que 5 kPa	
Ángulo de fricción interna (°)	Mayor o igual a 30°	
Densidad de compactación	95% de la densidad máxima del ensayo Proctor Modificado	
Espesor de capas	Máximo 30 cm	
Granulometría	Tamaño de malla	Porcentaje Pasando (%)
	75,000 mm	100
	25,000 mm	70 - 100
	4,750 mm	30 - 70
	0,075 mm	0 - 5

Como resultado del diseño se obtienen las geometrías que son presentadas en los planos de diseño; así como otros detalles referidos al muro de terramesh.

A continuación se muestran algunas de las salidas del programa para la sección crítica; en el caso de carga pseudoestática.

En la figura 2-9 se muestran los resultados del análisis de estabilidad global.

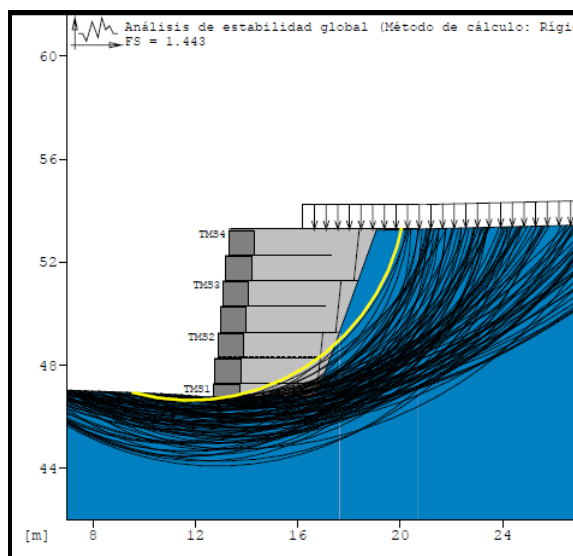


Figura 2-9. Análisis de estabilidad global

La figura 2-10 muestra cómo se cumple con los chequeos de capacidad de carga, vuelco y deslizamiento para esta sección.

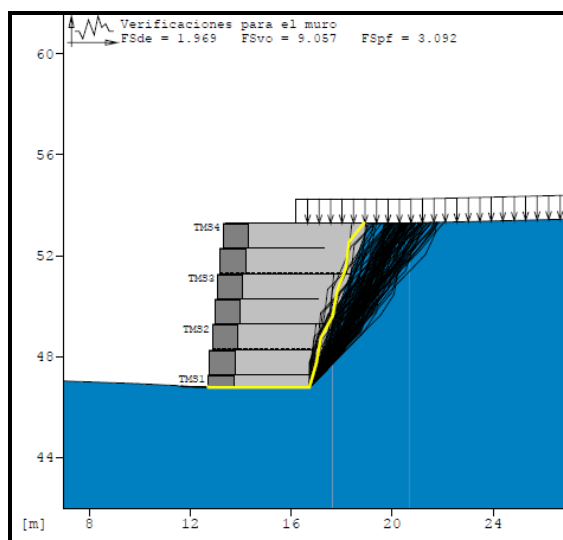


Figura 2-10. Chequeos de capacidad de carga, vuelco y deslizamiento

En el programa al realizar el análisis de capacidad de carga y falla global con una capacidad de carga admisible de 15 t/m^2 se logra cumplir con los factores de seguridad mínimos exigidos. Aunque estos resultados no se consideran reales, no es de preocuparse pues ambos cumplen al contener pilotes en la base como solución de estabilización.

En el diseño el muro cumple con la estabilidad interna. Las figuras 2-11, 2-12, 2-13, y 2-14 ilustran los resultados para TMS1, TMS2, TMS3, y TMS4.

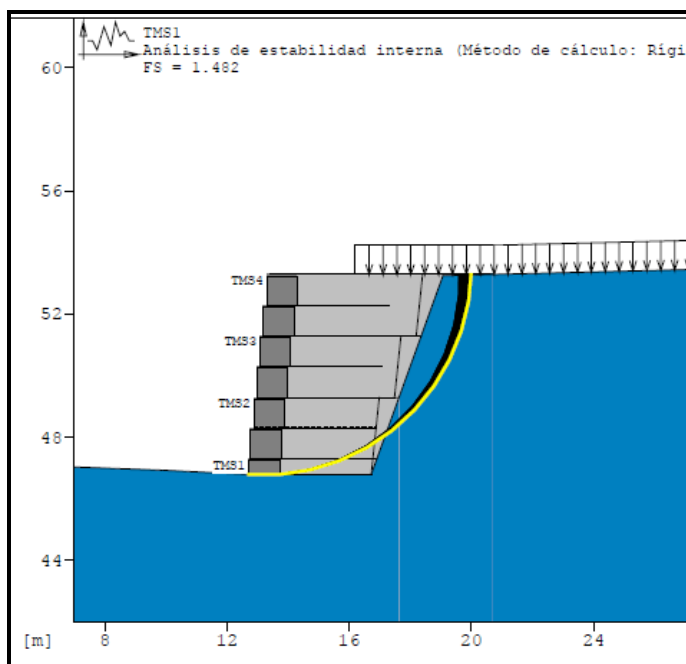


Figura 2-11. Chequeo de la estabilidad interna del muro, TSM1

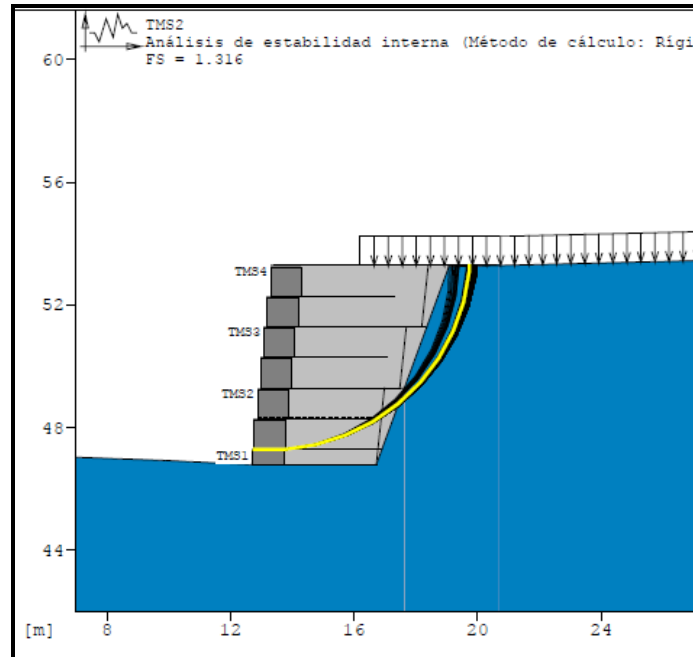


Figura 2-12. Chequeo de la estabilidad interna del muro, TSM2

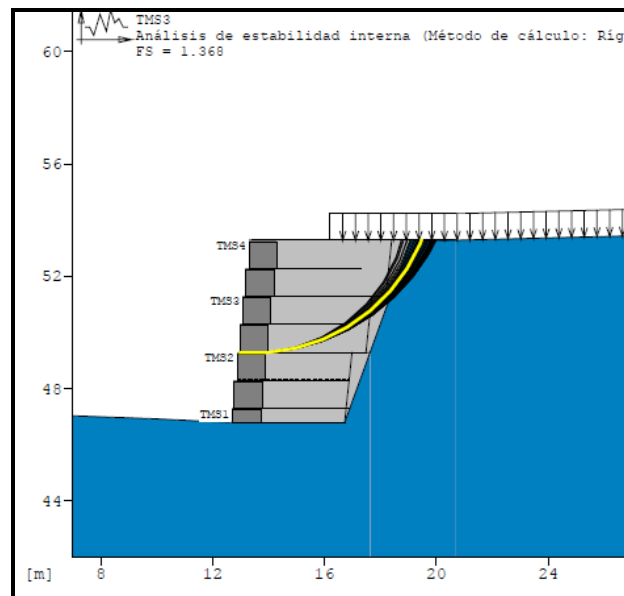


Figura 2-13. Chequeo de la estabilidad interna del muro, TSM3

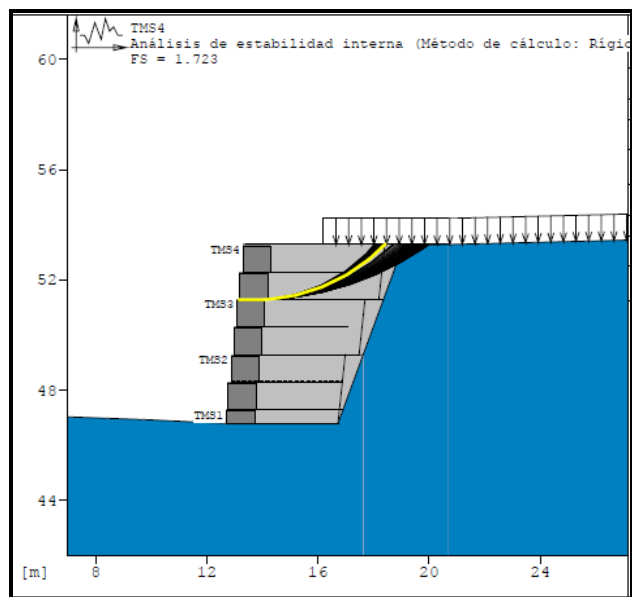


Figura 2-14. Chequeo de la estabilidad interna del muro, TSM4

La solución de diseño definitiva se representó en los planos de diseño considerando que las geogrillas a colocar quedarán con la mayor continuidad espacial posible, por lo que se tipifica la solución siempre del lado de la seguridad.

Como resultado del diseño se obtiene un muro de gavión-terramesh, que en conjunto con el sistema de pilotes logra resolver los problemas de contención de tierras y protección de la explanada y sus elementos.

2.4.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

La sección crítica se establece en el sentido de la máxima pendiente del talud, aproximadamente perpendicular a la vía.

En Slope/W para el cálculo de la estabilidad se consideraron las siguientes hipótesis:

1. El perfil en la sección considerada como crítica; fue obtenido a partir del levantamiento topográfico realizado por CACISA.
2. Los suelos descritos en el informe como capas 1-A, 1-B, 2-A y 2-B son simulados como un material elastoplástico, ajustado a un modelo Mohr-Coulomb según propiedades definidas en las tablas 2-9 y 2-11. Los perfiles simulados quedan como se muestra en los esquemas de los cálculos.
3. El sistema de estabilización propuesto muro-pilotes es simulado como un elemento rígido e indeformable.
4. El talud con su solución de estabilización se modela considerando 3 condiciones críticas: estática sin nivel freático, con nivel freático y pseudoestática. En esta última condición se emplea un coeficiente sísmico de 0,20 g en la componente horizontal.
5. Se define el FS a emplear en función del código geotécnico de taludes y laderas.

Según las recomendaciones del Código de geotécnico de taludes y laderas vigente, para una carretera nacional de alto tránsito, los riesgos se consideran altos tanto para el caso de pérdidas de vidas humanas, como contra daños económicos y ambientales. De acuerdo a estas disposiciones el Código de geotécnico de taludes y laderas vigente recomienda en su tabla 3, un valor mínimo para FS de 1,50 para condición estática y mayor a 1,10 para condición pseudoestática en falla de talud; y para el caso de condición saturada se considera en este proyecto un factor mínimo de 1,40.

Durante los análisis se realizaron varias modelaciones previas, para aplicar la técnica de retroanálisis y calibrar las propiedades de algunos materiales. El modelo analizado se presenta en la figura 2-15.

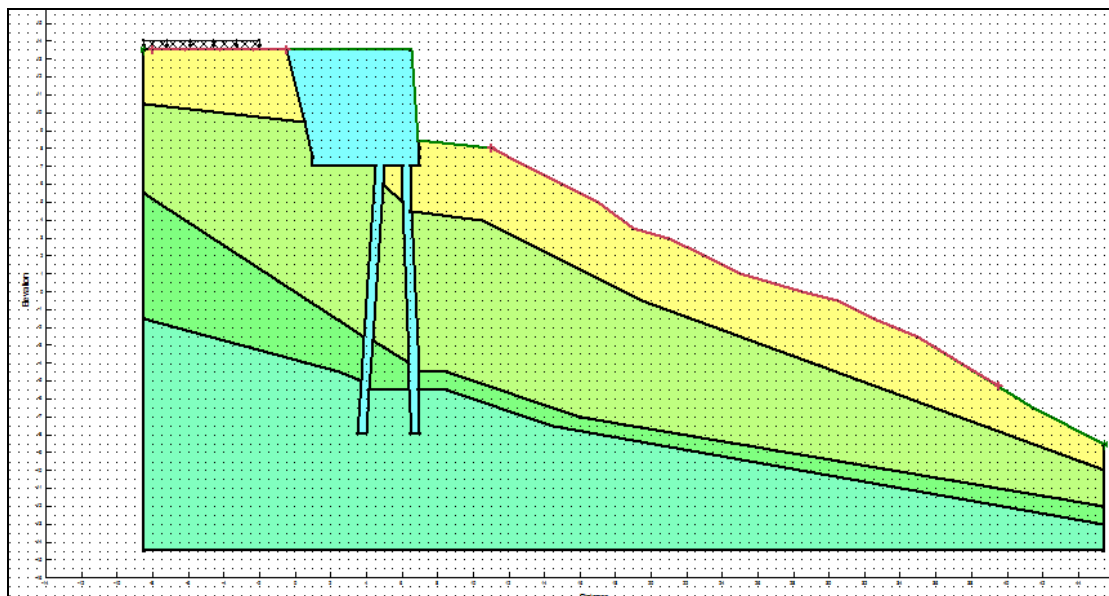


Figura 2-15. Modelo del talud con solución integral

Las modelaciones definitivas realizadas para el talud, con la solución de estabilización muro-pilotes, se muestra en las figuras 2-16, 2-17 y 2-18. En ellas aparecen los factores de seguridad mínimos obtenidos y sus respectivas superficies de falla.

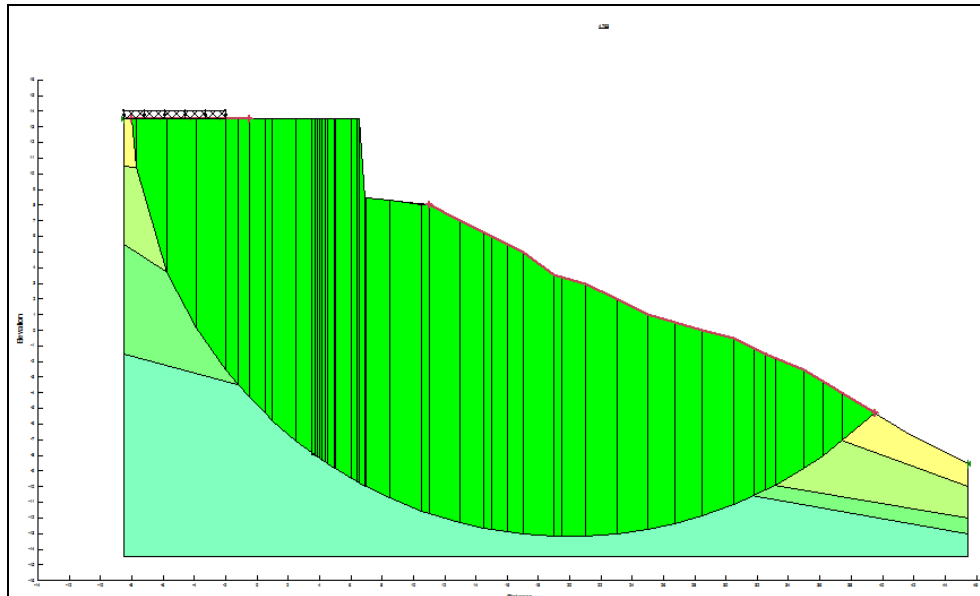
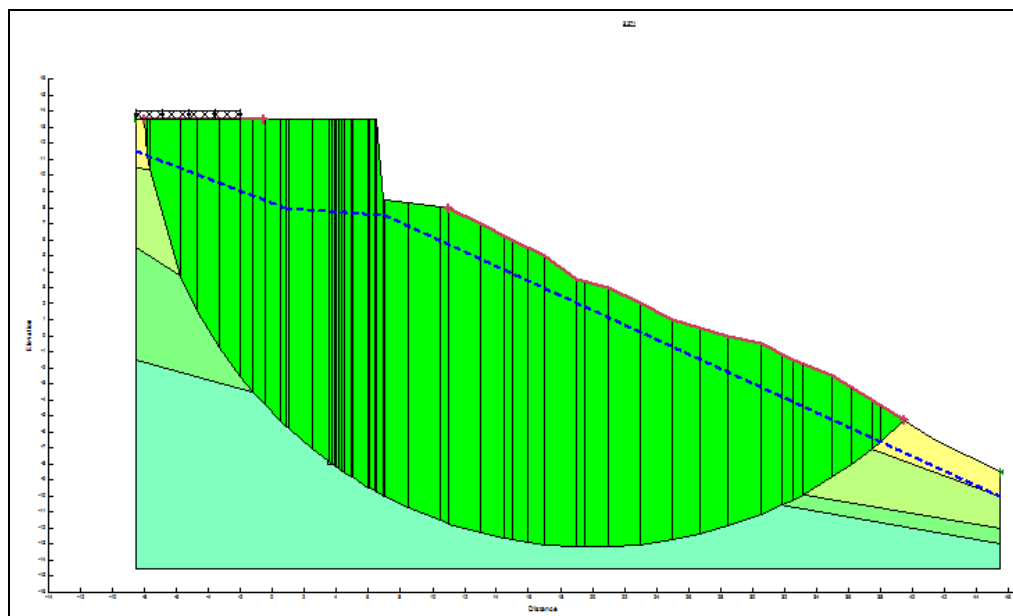
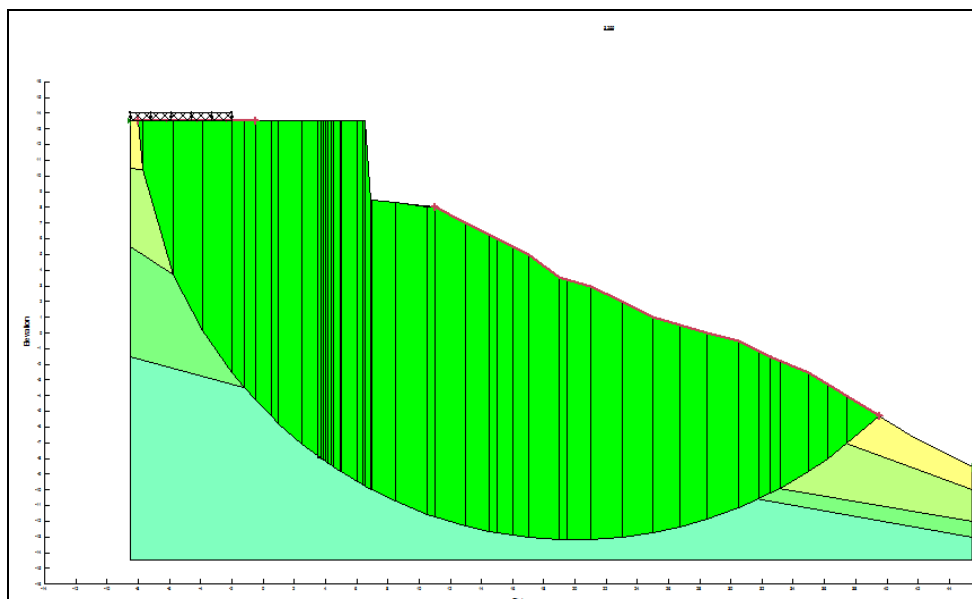


Figura 2-15. Estabilidad Condición Estática

En condición estática se alcanza la estabilidad ya que la única posibilidad de falla va a estar asociada a una falla profunda, por debajo del nivel de empotramiento de los pilotes.



Esquema 2-16. Estabilidad Condición con nivel freático



Esquema 2-17. Estabilidad Condición Pseudoestática

Los valores del FS obtenidos según la serie de iteraciones realizadas son sintetizados en la tabla 2-16, y comparados con los FS mínimos exigidos por las normativas de Costa Rica.

Tabla 2-16. Factores de Seguridad

Condición	FS recomendados	FS obtenidos
Estática sin NF	1,50	4,763
Condición con NF	1,40	3,271
Pseudoestática	1,10	3,255

En el análisis se evidencia la necesidad de acompañar la solución de estabilidad de muro de gabión-terramesh con pilotes de 15,5 m de longitud para garantizar la estabilidad ante la falla del talud. En este sentido solo la solución de cimentación con pilotes, que atraviesen la zona de falla potencial, puede garantizar la estabilidad. Variantes con pilotes más cortos y/o de menor diámetro no lograron satisfacer las condiciones críticas de estabilidad y no lograban cumplir con el diseño estructural de los pilotes.

Independientemente de que se alcance la condición de estabilidad, en el proyecto definitivo, se recomiendan medidas de protección del talud para evitar la infiltración de agua y la erosión. Entre estas medidas se destaca la canalización de las aguas superficiales e impermeabilización de las cunetas. De igual forma es recomendable revestir el talud, si se generan cortes para que no quede desprovisto de vegetación.

2.4.5 ANÁLISIS DE LICUEFACCIÓN

La licuefacción es la pérdida total de resistencia de un limo arenoso o una arena fina, uniforme, suelta, sumergida, cuando es sometida a la acción de un sismo. Cuando el fenómeno de licuación ocurre, la masa de suelo puede tornarse una arena movediza y producir el hundimiento de las estructuras colocadas sobre ellas.

En el sitio no se encontraron limos con alto contenido de arena o arenas finas, uniformes, sueltas en condición sumergida; por lo que en el análisis realizado se constató que los suelos NO presentan riesgo de licuación.

2.4.6 ANÁLISIS DE ASENTAMIENTOS

La solución de cimentación propone (para la transmisión de la carga), la utilización de un sistema a base de pilotes de concreto empotrados alrededor de 4,0 m en la capa de roca sana (capa 2-B), la cual desde el punto de vista geomecánico constituye un medio indeformable. Por tanto, los asentamientos estimados para los pilotes trabajando en grupo son despreciables desde el punto de vista ingenieril.

Por otra parte, el conjunto viga cabecial-pilotes garantiza que al nivel de la cimentación del muro tipo gavión-terramesh; tanto el muro en su conjunto como la estructura del pavimento no sufran deformaciones.

Por estas razones es posible indicar que los asentamientos de la obra diseñada tienden a cero y son despreciables ingenierilmente.

CAPÍTULO 3: DISEÑO ESTRUCTURAL

Esta configuración geométrica se traduce básicamente en un sistema de carga axial, cortante y momento en el cabezal que a su vez “propaga” el efecto en los pilotes.

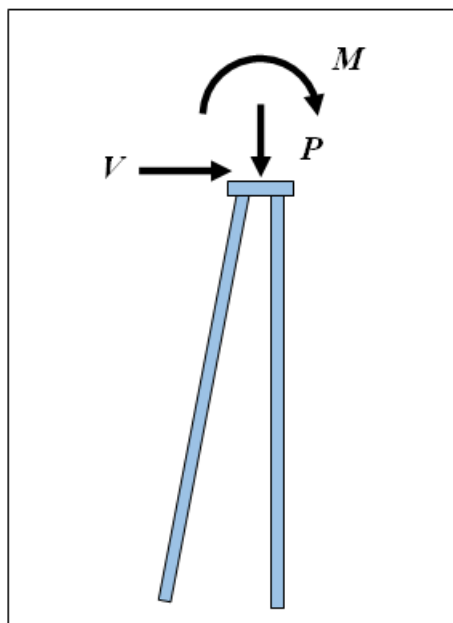


Figura 3-2. Esquema de cargas a nivel de cabezal

De la anterior imagen se deducen las diversas revisiones a las que se debe someter el sistema pilotes-cabezal y que se clasifican en geotécnicas y estructurales:

Tabla 3-1. Revisiones efectuadas al sistema pilotes-cabezal

Geotécnicas	Estructurales
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Capacidad de carga axial del pilote a compresión ✓ Capacidad de carga axial del pilote a extracción 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Diseño a flexo-compresión de los pilotes ✓ Diseño a cortante de los pilotes ✓ Diseño a flexión y cortante del cabezal

Como concepto general en todas las revisiones, se procedió a dotar al elemento de una capacidad tal que esta sea mayor que la respectiva demanda (resistencia requerida) con un factor de seguridad adecuado.

3.2.1 REVISIÓN GEOTÉCNICA

Consiste en verificar que la configuración geométrica satisface los distintos criterios de falla. Para esto se emplearon las metodologías usuales de Mecánica de Suelos y en apego a la normativa vigente, específicamente de la sección 5.6 del Código de Cimentaciones de Costa Rica (en adelante CCCR) “Pilotes sobre rocas”.

Para la selección de parámetros geotécnicos, de forma conservadora, se ignoró el aporte del suelo y la capa superior de roca muy alterada (capas 1-A, 1-B y 2-A) tanto a resistencia pasiva como de capacidad de carga (componente de adherencia) por considerarse que sus características son altamente variables, por lo tanto solo se calculará el aporte del pilote empotrado en roca.

Tabla 3-2. Parámetros de la roca para el análisis y diseño de los pilotes

Parámetro	Valor
Capacidad a la compresión simple q_u	40 000 kPa
Resistencia por fricción concreto-roca τ_a	300 kPa
Peso volumétrico γ_s	23 kN/m ³

Así mismo, del estudio geotécnico se desprende que el suelo posee características asociadas a un tipo S_2 , de acuerdo con la categorización del Código Sísmico de Costa Rica 2010 (Sección 2.2 *Sitios de cimentación*). Adicionalmente se sabe que la construcción se ubicará en la Zona Sísmica III. Del Cuadro 6.2 del CCCR, el coeficiente dinámico asociado es 0,20.

3.2.1.1 CAPACIDAD DE CARGA AXIAL DEL PILOTE EN COMPRESIÓN

Este criterio fue evaluado mediante la expresión básica de pilotes que considera como capacidad última del pilote, la suma de los aportes de fricción y de punta.

$$Q_{pilote}^{última} = Q_{fricción} + Q_{punta}$$

Para estimar el aporte por fricción se empleó la ecuación 5.14 del CCCR:

$$Q_{fricción} = \pi \cdot D \cdot H_s \cdot \tau_a$$

Donde:

D : diámetro del pilote

H_s : profundidad del empotramiento en roca

τ_a : Resistencia por fricción entre concreto y roca.

Considerando que el pilote se empotra en la roca una longitud de 4,0m, se obtiene:

$$Q_{fricción} = \pi \cdot 0.45m \cdot 4.0m \cdot 30 \frac{Ton}{m^2} = 169.6Ton$$

La sección 5.6.1 del CCCR (Capacidad por punta) no da una expresión para hallar este valor. Por tal razón, se indagó en la literatura una metodología apropiada.

Del libro *Foundation Design. Principles and Practices*. Donald Coduto, 2nd Edition:

Si $70\% < RQD < 100\%$ y $q_u > 50 \frac{Ton}{m^2}$:

La resistencia por punta $q'_t [kPa]$ de la roca en función de la resistencia a la compresión de la roca $q_u [MPa]$ es:

$$q'_t = 4830 \cdot q_u^{0.51} = 3170 \frac{Ton}{m^2}$$

Por lo tanto:

$$Q_{punta} = 3170 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \cdot 0.159 \text{m}^2 = 504.1 \text{Ton}$$

Finalmente, se halla la capacidad total del pilote:

$$Q_{compresión}^{última} = 169.6 \text{Ton} + 504.1 \text{Ton} = 673.7 \text{Ton}$$

3.2.1.2 CAPACIDAD DE CARGA AXIAL DEL PILOTE EN TENSIÓN (EXTRACCIÓN)

Dadas las suposiciones, corresponde básicamente a la resistencia por fricción:

$$Q_{extracción}^{última} = \pi \cdot 0.45 \text{m} \cdot 4.0 \text{m} \cdot 30 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 169.6 \text{Ton}$$

El detalle de la memoria de cálculo se puede observar en el Anexo 3-1: Diseño geotécnico del pilote.

3.2.2 REVISIÓN ESTRUCTURAL

Se refiere a los cálculos numéricos que justifiquen si las dimensiones y refuerzo de los elementos son adecuados para soportar las demandas asociadas a las diversas hipótesis de carga: carga axial P_u , cortante V_u y momento M_u .

Según lo dispone el CSCR-10, se debe trabajar con cargas mayoradas en aras de aplicar el Método de Resistencia Último.

3.2.2.1 DISEÑO A FLEXO-COMPRESIÓN

Adicional al diseño geotécnico del pilote, éste deberá satisfacer los criterios de resistencia estructural según lo establece el CSCR-10 y el Reglamento ACI.

Es decir, las cargas internas máximas P_u , V_u y M_u (provenientes de los distintos escenarios de carga) a lo largo del elemento deben ser inferiores a las respectivas capacidades ϕP_n , ϕV_n y ϕM_n , las cuales fueron calculadas con las metodologías que estipula

El pilote que finalmente se propuso posee la sección mostrada en la figura 3-3.

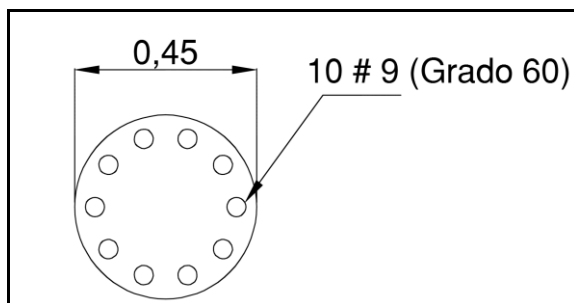


Figura 3-3. Sección transversal del pilote propuesto

Se aplica la metodología empleada en columnas. Es decir, una vez propuesta una geometría y un refuerzo para el pilote, se genera su respectivo diagrama de interacción el cual representa gráficamente la variación de la capacidad de carga axial P cuando se aplica simultáneamente un momento flector M al elemento.

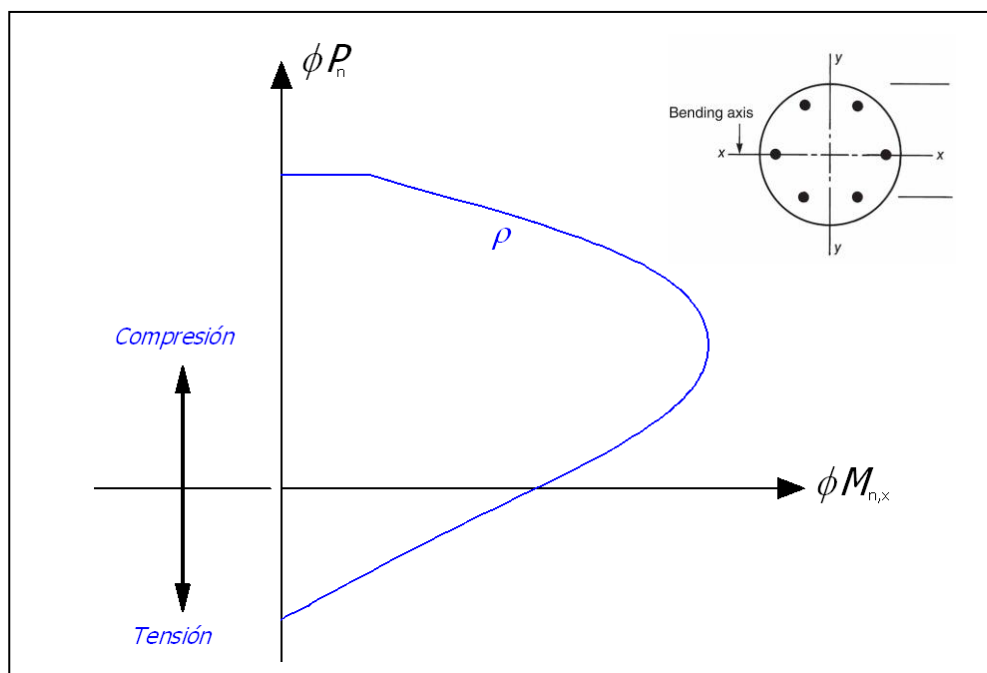


Figura 3-4. Diagrama de interacción típico de una sección circular

Posteriormente, los pares ordenados (M_u, P_u) provenientes del análisis estructural se grafican en el mismo sistema de coordenadas para verificar si se encuentran en “zona segura”.

El detalle de la memoria de cálculo se puede observar en el Anexo 3-2: Diseño a flexocompresión del pilote.

3.2.2.2 REVISIÓN A CORTANTE

Para este apartado, rige la sección 8.3.4 del CSCR-10, específicamente a columnas circulares.

$$\rho_{s,min} = \text{mayor} \left\{ \frac{0.12 f'_c}{f_{yh}}, \frac{0.45 f'_c}{f_{yh}} \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \right\}$$

Donde:

ρ_s : razón del volumen de los aros respecto al volumen del núcleo confinado por dicho refuerzo.

A_g : Área bruta de la columna [cm²]

A_c : Área del núcleo interior confinado de la columna [cm²]

La cuantía según el ACI se obtiene con la expresión:

$$\rho_s = \frac{A_v \cdot \pi \cdot (D_c - d_{aro})}{\left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot D_c^2 \cdot s}$$

El detalle de la memoria de cálculo se puede observar en el Anexo 3-3: Revisión a cortante del pilote.

Para efectos de incluir el efecto de un eventual sismo, se emplearon los parámetros que establece el Código Sísmico de Costa Rica en su versión más reciente, 2010 (CSCR-10).

La elección de los parámetros sísmicos de diseño se hizo con base en las características supuestas para el terreno de cimentación. De acuerdo con la siguiente tabla (extraída del CSCR-10), para un suelo tipo S_2 y una zona sísmica III , el correspondiente valor de coeficiente dinámico horizontal es de 0,20.

Se emplearon las combinaciones que establece el CSCR-10 en sus ecuaciones 6-1, 6-2, 6-3 y 6-4.

3.3 ESTIMACIÓN DE CANTIDADES

En la siguiente tabla se presentan las cantidades de materiales asociadas a la propuesta geotécnica estructural del proyecto:

ITEM CR- 2010	Descripción	Cantidad
CR.552.01 (a)	Concreto estructural clase A (RC 225 kg/cm ²), (m ³)	8,000
CR.204.05 (b)	Excavación de préstamo selecto para relleno de muros Terra Mesh®, (m ³)	1161,025
CR.208.01	Excavación para estructuras de contención, (m ³)	2296,550
CR 253.03 (a)	Gavión galvanizado tipo caja de 1x1x2 m, (m ³)	240,000
CR 253.03 (f)	Gavión galvanizado tipo Terra-Mesh® con cola de 3,0m (m ³)	188,000
CR 610.01(b)	MacPipe, tubería perforada envuelta en geotextil, Ø=10 cm (4"), (m)	40,000
CR 610.01(a)	MacDrain 2L (m ²)	120,000
CR 719.01	Filtro Geotextil, (m ²)	458,000
CR 719.01	Geogrilla WG 200	681,000
CR.209.01 (a)	Excavación para estructuras menores de drenaje	68,000
CR 209.03(a)	Relleno para fundación, (m ³)	8,000
CR.552.01 (a)(1)	Concreto estructural clase A (RC = 225 kg/cm ²) para obras de drenaje.	21,200
CR.554.04 (a)	Varilla #5, grado 40 para colector (kg)	2011,000
CR.615.01	Acera, espesor = 0,10 m, (m ²)	49,000
CR.556.01c	Baranda peatonal de acero tipo MZ	40,000
CR.551.05	Perforación para pilotes, diámetro = 0,45 m, (m ³)	197,250
CR.552.01 (a)(1)	Concreto estructural clase A para cabezal 280kg/cm ² , (m ³)	50,000
CR.552.01 (a)(1)	Concreto estructural clase A para pilote 280 kg/cm ² , (m ³)	213,000
CR.554.01	Varilla #5, grado 60 para cabezal, Largo= 6m, (unidad)	178,000
CR.554.01	Varilla #5, grado 60 para pilote, espiral, (ml)	1328,000
CR.554.01	Varilla #8, grado 60 para cabezal, Largo= 6m, (unidad)	359,000
CR.554.01	Varilla #9, grado 60 para pilotes, Largo= 6m, (unidad)	1992,000

DISCUSIÓN SOBRE GRADOS DE INCERTIDUMBRE Y ALCANCE DEL ESTUDIO

Con respecto a los grados de incertidumbre del Estudio Geotécnico, es importante destacar que las perforaciones son ensayos puntuales, de profundidad limitada a la energía disponible para la penetración del terreno, y por consiguiente brindan información sobre las condiciones específicas detectadas en este punto y a la profundidad máxima alcanzada por el método de exploración (SPT y Rotación). A pesar de esta limitación, con base en las perforaciones que se realizaron y el conocimiento de la zona, es posible tener noción de las condiciones geotécnicas existentes que permiten desarrollar un modelo geotécnico para brindar los datos de capacidad soportante necesarios para el diseño de la cimentación de la estructura.

Con base en todo lo indicado anteriormente, el terreno cumple con condiciones geotécnicas buenas para las obras de estabilización del HUNDIMIENTO SOBRE LA RUTA NO. 224: PARAÍSO-OROSI, EN EL SECTOR DE PUENTE NEGRO siempre y cuando se sigan las recomendaciones dadas anteriormente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se realizó el levantamiento topográfico, curvas de nivel y las secciones transversales necesarias para la exploración geotécnica y geofísica; así como la representación de la solución definitiva de la solución de estabilización.
- El basamento del área de estudio está constituido por rocas sedimentarias pertenecientes a la formación Pacacua, y en superficie materiales deluviales-coluviales recientes. Las características geológicas, así como el perfil geotécnico fue establecido a partir de los trabajos geológicos, la geofísica y las perforaciones.
- El estudio de suelos permitió caracterizar desde el punto de vista geotécnico dos capas; ambas subdividas en dos subcapas de acuerdo con sus características físico-mecánicas. Las mismas están representadas por materiales deluviales-coluviales envueltos en una matriz arcillosa con contenido variable de arena, y un conglomerado brechoso de características tobaceas, con grados de alteración variable. Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)* la matriz arcillosa arenosa de las capas deluviales-coluviales clasifica como: CL.
- Se detectó el nivel freático en los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, S-5 y S-6, a profundidades desde la superficie hasta del orden de los 2,50 m; así mismo en los sondeos S-11, S-12 y S-13 a profundidades de los 6,20 m y hasta los 13,60 m donde aparece la roca representada por el conglomerado brechoso con zonas facturadas. El nivel freático detectado es de tipo colgado; este nivel consiste en una propiedad estacional que puede variar en las distintas épocas del año.
- Desde el punto de vista de las obras de retención propuestas, las capacidades de carga admisible del sitio son malas para las capas 1-A y 1-B (coluvios-deluvios envueltos en matriz de suelo arcillosa arenosa; regulares para la capa 2-A (conglomerado brechoso muy alterado), y excelentes para la capa 2-B (conglomerado brechoso sano, duro y compacto).
- Bajo ninguna circunstancia se podrán colocar las cimentaciones sobre rellenos mal compactados o materiales sueltos que se generen durante el movimiento de tierras.
- Según la última versión vigente del CSCR-2010 el terreno de estudio clasifica en un sitio de cimentación tipo S_2 en zona III, lo que aplica una aceleración pico efectiva de diseño aef de 0,33 en la componente horizontal.
- El estudio geológico-geotécnico detallado permitió constatar la existencia de una zona de falla (deslizamiento) asociada a áreas de baja resistividad eléctrica que se corresponden con los materiales coluviales-deluviales. Por tanto, la construcción de las obras de retención diseñadas como parte de esta contratación son estrictamente necesarias para evitar la falla de la carretera, del talud y de la vivienda colindante.
- La propuesta de solución integral de estabilización está constituida por un muro de gavión-terramesh apoyado sobre un sistema de viga de amarre-cabecal que vincula con un grupo de pilotes empotrado en la roca. Además se incorporar una serie de medidas y recomendaciones de drenaje para evitar la infiltración de agua y que se generen empujes hidrostáticos.
- Los suelos del sitio no son susceptibles a fenómenos geotécnicos nocivos como licuefacción, expansión o colapso.
- En el momento de las excavaciones para la cimentación se deberá realizar una verificación de las condiciones determinadas en este estudio, y se deberán seguir las recomendaciones mínimas solicitadas por el código de cimentaciones vigentes respecto a excavaciones temporales.
- En caso de que se obtengan características distintas, se nos deberá comunicar para realizar las recomendaciones y evaluaciones respectivas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Concrete Institute, 2014. Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary. ACI 318-14. Detroit, Michigan, U.S.A.
- 6° Simposio Nacional. Geotecnia Ambiental y Mejora del Terreno. Sociedad Española de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica. Madrid, España.
- Asociación Costarricense de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones. 2009. Código de Cimentaciones de Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Coduto, Donald, . Foundation Design. Principles and Practices. 2nd Edition.
- Comisión Permanente de Estudio y Revisión del Código Sísmico de Costa Rica. 2003. Código Sísmico de Costa Rica 2002. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Dass, Braja M. 2001. Principios de Ingeniería de Cimentaciones. Editorial Thomson. Estados Unidos.
- Denyer P., y Areas, O, 1991. Estratigrafía de la región central de Costa Rica. Revista Geológica de América Central. Escuela Centroamericana de Geología. 12: 1-59, 1991.
- González de Vallejo, Luis I. 2002. Ingeniería Geológica. Prentice Hall. Madrid, España.
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). "El clima de Costa Rica", sitio web www.imn.ac.cr.
- Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), 2008. Atlas Digital de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- MacCormac, Jack, 2011. Diseño de Concreto Reforzado. Editorial Alfaomega. 8va edición.
- Rodríguez, José María; Serra, Jesús; Oteo, Carlos. 1980. Curso Aplicado de Cimentaciones. E.T.S.A.M. Madrid, España.
- Rojas Herrera, Vanessa, 2010. Caracterización de la geología superficial y subterránea, del área de las estaciones acelerográficas RALT, CSLG, CCDN, CPAR, CCCH, sector central de la provincia de Cartago. Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- Salinas Rodríguez, José Luis. 2004. Diccionario guía de Reconocimientos Geológicos para Ingeniería Civil. CEDEX. Madrid, España.

NOTA:

*ENSAYO ACREDITADO. Ver alcance en www.eca.or.cr

**ENSAYO NO ACREDITADO

ANEXO 1-1: CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN EQUIPO TOPOGRÁFICO



Taller Óptico Mecánico
Walter Schaer S.A.

SOKKIA SOUTH TOPCON

tel: 2297-3868 / fax: 2297-3851
info@tallerotopografico.com
www.tallerotopografico.com
cédula jurídica: 3-101-262966
140mts oeste de la gasolinera
Texaco, Tibás

Certificación de Verificación y Control

Nº de certificado	170202-02
Fecha	02/02/17
Cliente	Los Felinos
Instrumento	Estación Total
Marca	Sokkia
Modelo	SET 610
Serie	204079

Resultados

Desviación Hz Standard (medición angular)	+1mgon-1mgon-2mgon
Desviación Vt Estándar (medición angular)	+2mgon-1mgon-1mgon
Error tilting axis	+/-3 mgon
Distancia entre 10m y 120 m	+/-2mm +2 ppm
Precisión Angular	6" segundos

A una temperatura de 25° C, precisión atmosférica de 878 hpa y humedad relativa 62%

Patrones empleados:

- Colimador Fennel,
- Voltímetro DC Power Supply M10-380S-303E
- Multímetro Fluke 87 serie 74230463.

Ángulos: Colimadores mecánico y electrónico mediante al programa de servicio.

Distancias: Puntos de referencia establecidos.

Comentarios:

El taller óptico Mecánico Walter Schaer S.A. garantiza que dicha estación cumple con los parámetros establecidos por el fabricante.

ATTE:



Walter Schaer Vargas
Taller Óptico Mecánico Walter Schaer S.A

ANEXO 2-1: FIGURAS

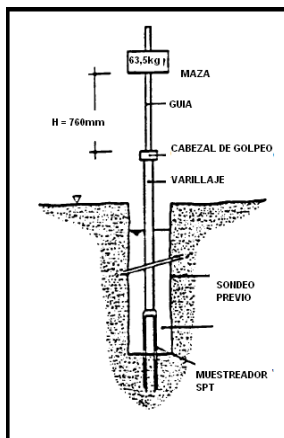


Figura 1: Esquema Ensayo SPT

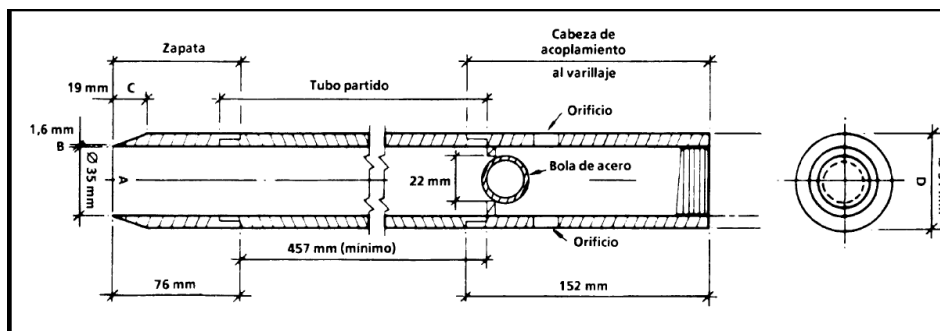
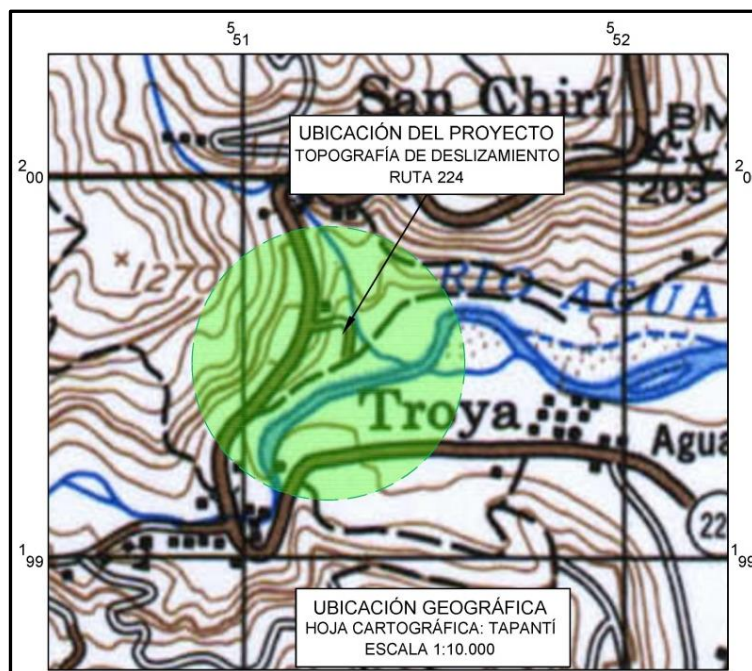


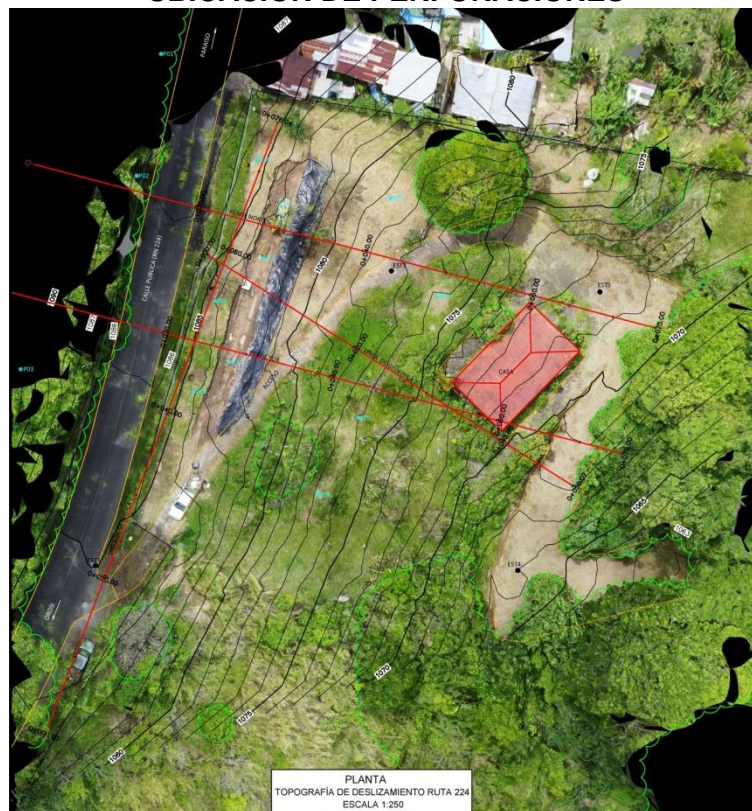
Figura 2: Esquema muestreador SPT

ANEXO 2-2: UBICACIÓN PROYECTO Y PERFORACIONES

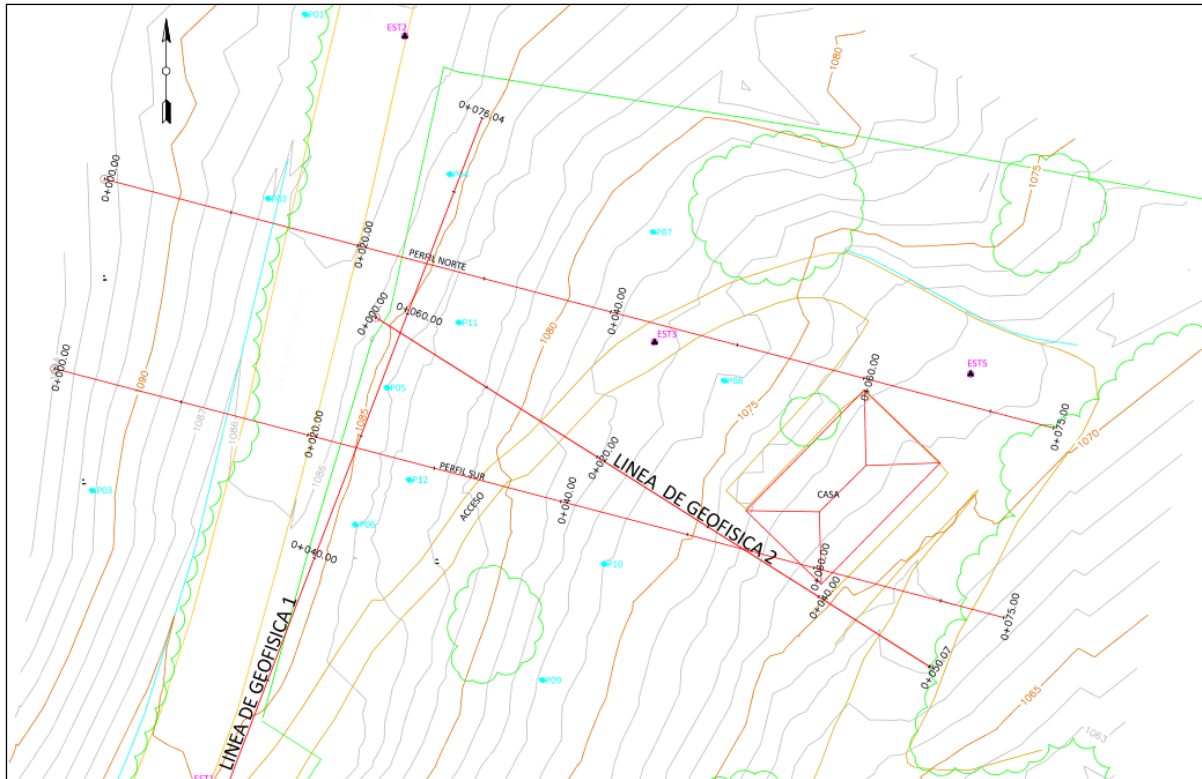
HOJA CARTOGRÁFICA TAPANTÍ: 1:50 000



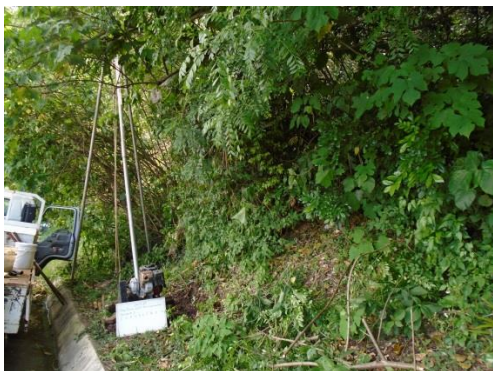
UBICACIÓN DE PERFORACIONES



CROQUIS DE UBICACIÓN



ANEXO 2-3: FOTOGRAFÍAS DE SONDEOS



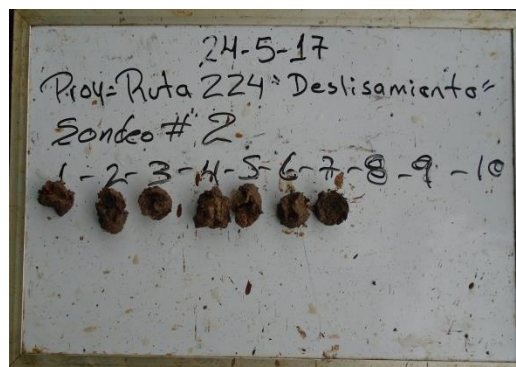
Fotografía A2-3-1. Zona de Perforación S1



Fotografía A2-3-2. Muestra de Suelos, Perforación S1



Fotografía A2-3-3. Zona de Perforación S2



Fotografía A2-3-4. Muestra de Suelos, Perforación S2



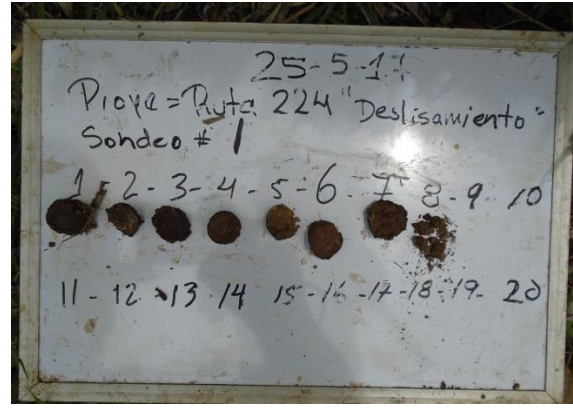
Fotografía A2-3-5. Zona de Perforación S5



Fotografía A2-3-6. Muestra de Suelos, Perforación S5



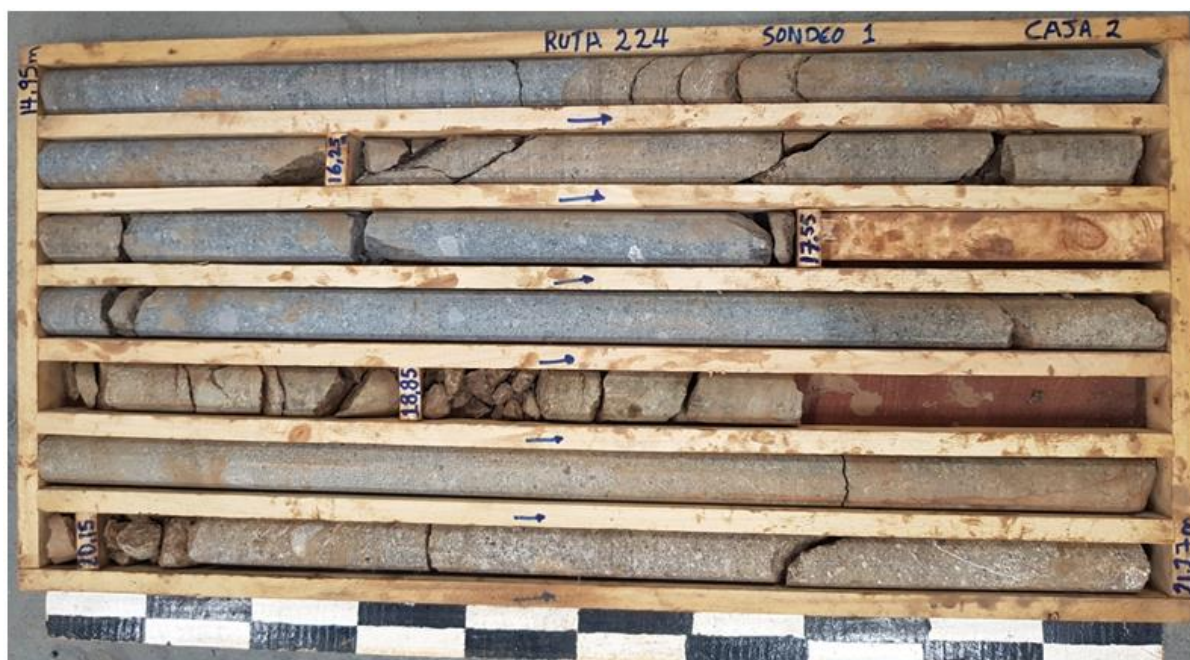
Fotografía A2-3-7. Zona de Perforación S6



Fotografía A2-3-8. Muestra de Suelos, Perforación S6



Fotografía A2-3-9. Sondeo a rotación S11 (profundidad 0,00m a 14,95m)



Fotografía A2-3-10. Sondeo a rotación S11 (profundidad 14,95m a 21,27m)



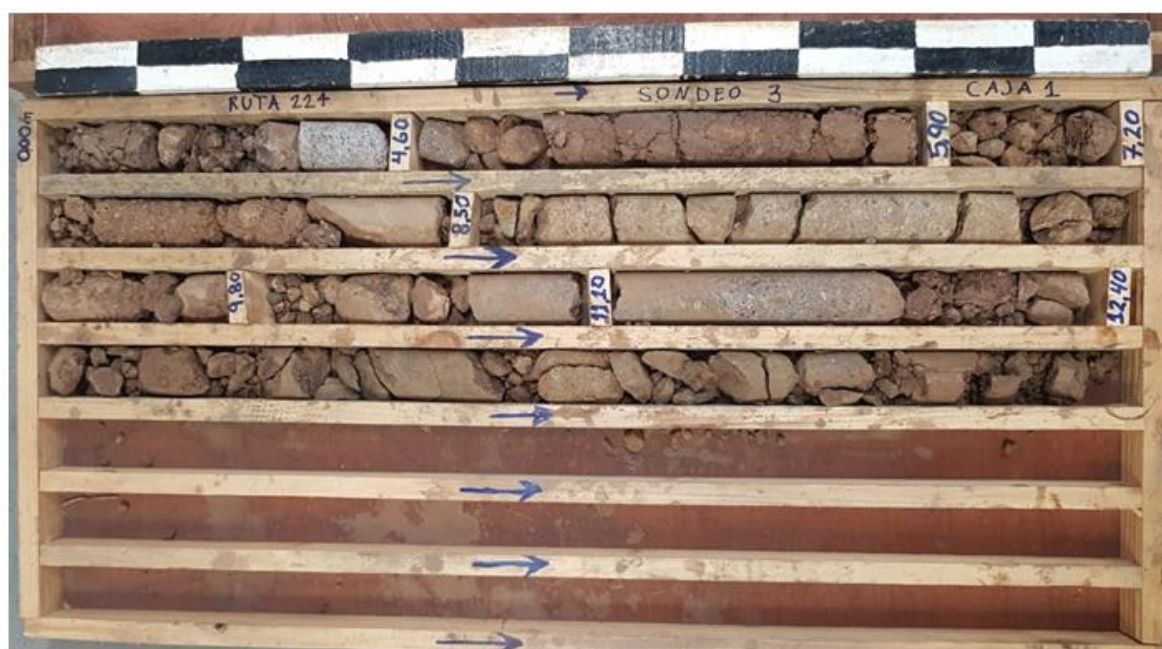
Fotografía A2-3-11. Sondeo a rotación S11 (profundidad 21,27m a 27,00m)



Fotografía A2-3-12. Sondeo a rotación S12 (profundidad 0,00m a 11,00m)



Fotografía A2-3-13. Sondeo a rotación S12 (profundidad 11,00m a 15,60m)



Fotografía A2-3-14. Sondeo a rotación S13 (profundidad 0,00m a 13,40m)

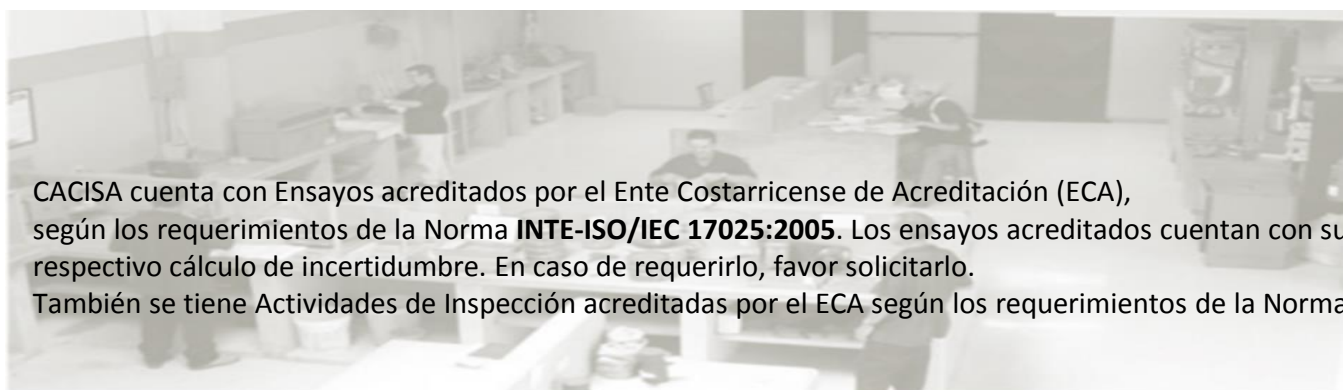
ANEXO 2-4: INFORME DE CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

INFORME DE ENSAYO

GEO 076-2017
22 junio de 2017

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	
Cliente: CONAVI	Dirigido a: CONAVI
Dirección: Puente Negro, Orosi	Proyecto: Deslizamiento RN 224 (Paraiso-Orosi)
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA Y DATOS DE CONTROL	
Fecha de recolección de muestra:	24/06/2017 - 26/06/2017
Contenido	*Clasificación Unificada de Suelos según SUCS (D2487-11)
Método de muestreo utilizado:	Ensayo para la penetración estándar (SPT) y muestreo de suelos con muestreador partido (IE-028, ASTM D1586-2008)
Descripción de la muestra:	Muestra de suelo alterada
Procedencia de la muestra:	Puente Negro, Orosi
Fecha Recepción de la Muestra:	29/06/2017
Fecha de Realización del Ensayo:	29/05/2017 - 09/06/2017

Aclaración: Los resultados que se presentan a continuación se refieren solo a las muestras ensayadas y/o pruebas de campo realizadas y al momento y condiciones en que se realizaron los ensayos. No se permite la reproducción parcial del Informe de Ensayo sin previa autorización escrita de CACISA. Este Informe de Ensayo no es válido sin la firma de aprobación respectiva.




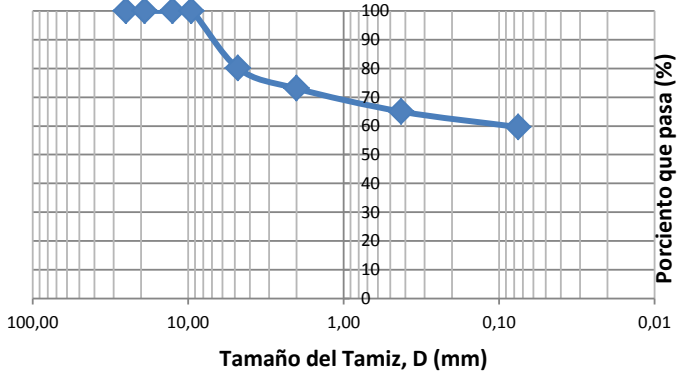
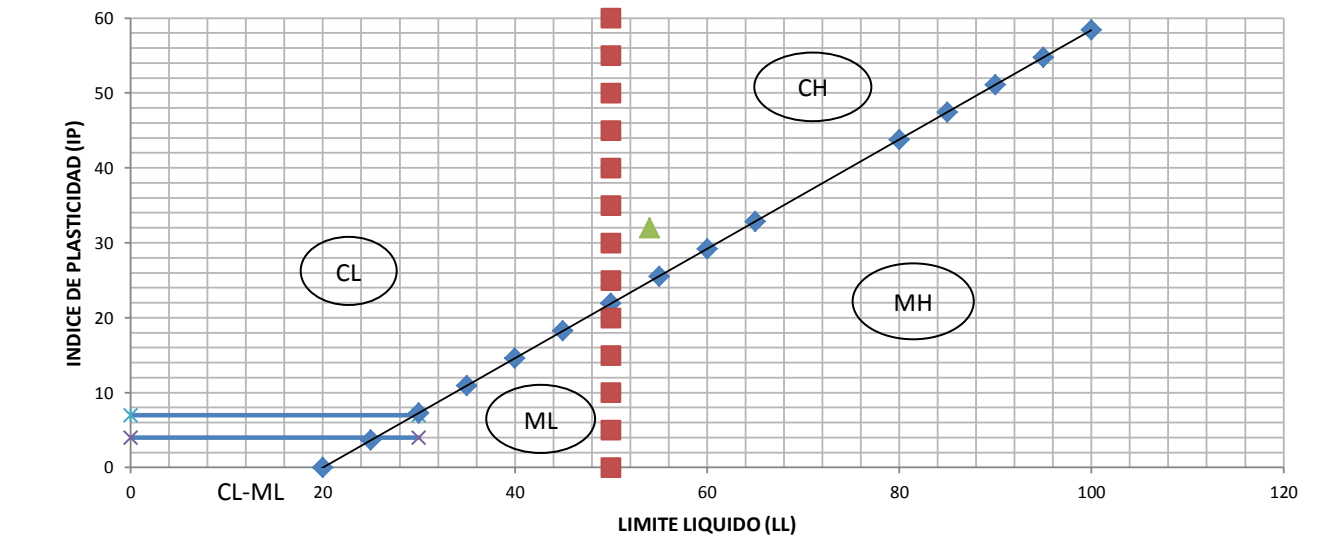
CACISA cuenta con Ensayos acreditados por el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), según los requerimientos de la Norma **INTE-ISO/IEC 17025:2005**. Los ensayos acreditados cuentan con su respectivo cálculo de incertidumbre. En caso de requerirlo, favor solicitarlo. También se tiene Actividades de Inspección acreditadas por el ECA según los requerimientos de la Norma

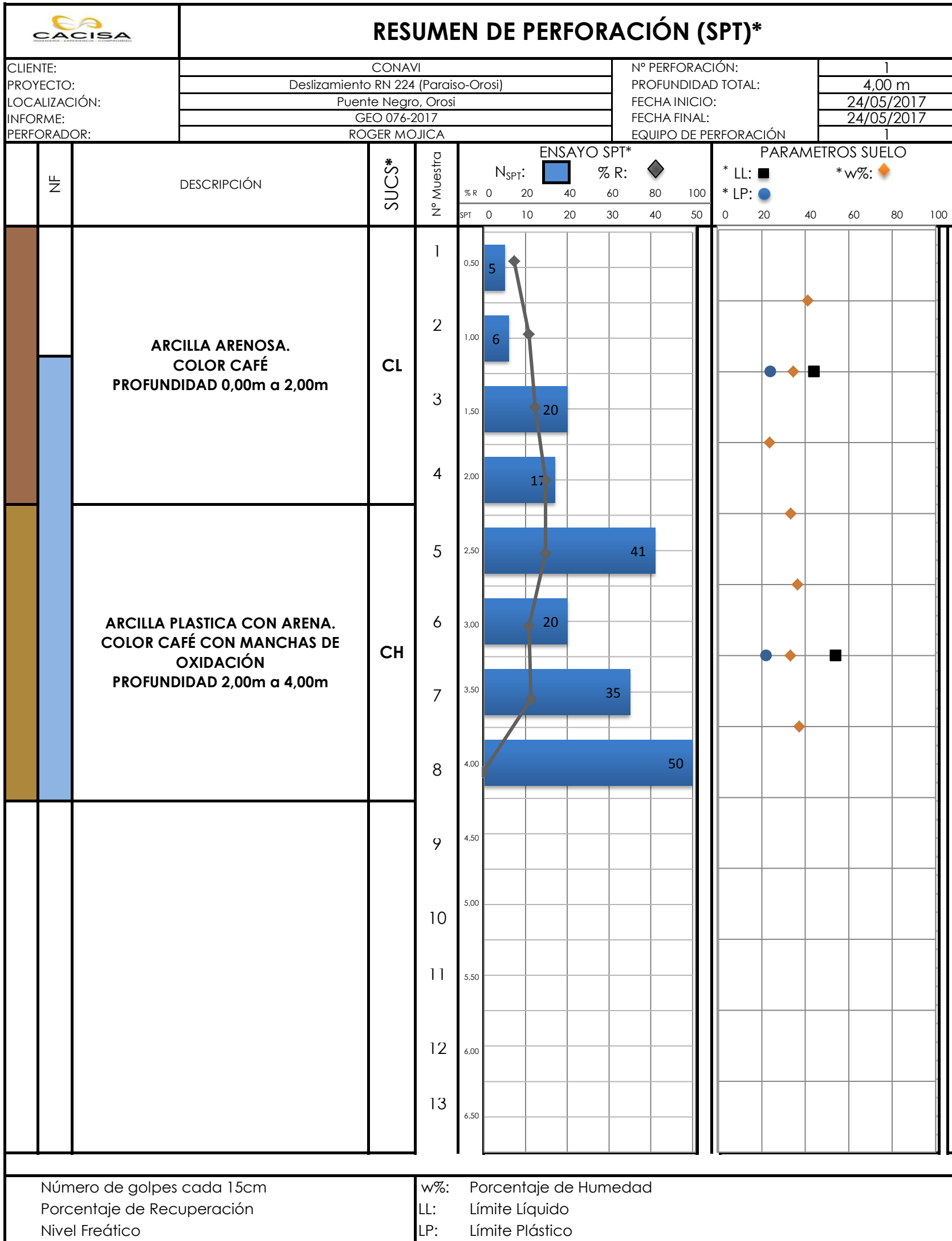
Cualquier comentario acerca de nuestros servicios, favor enviarlo a info@cacisa.cr


RESULTADOS

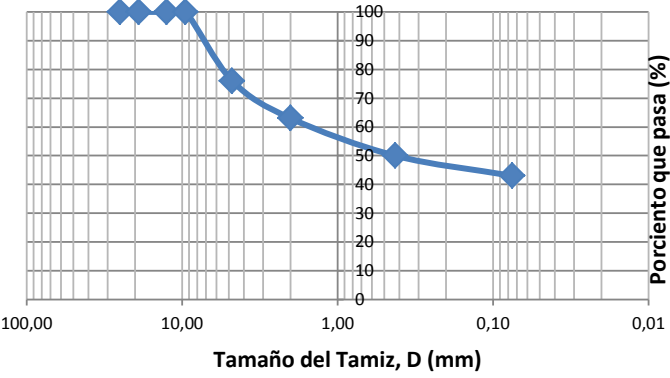
***Clasificación Unificada de Suelos SUCS (D2487-11)**

 CACISA <small>INGENIERÍA + EXPERIENCIA + COMPROMISO</small>		CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*	
CLIENTE:	CONAVI	INFORME:	GEO 076-2017
SONDEO:	S-1	PROF (m):	0,00-2,00
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*			
Tamiz		Porcentaje Pasando (%)	
N°	mm		
1"	25,00	100	
3/4"	19,00	100	
1/2"	12,5	100	
3/8"	9,5	100	
N°4	4,75	100	
N°10	2,00	84	
N°40	0,425	73	
N°200	0,075	69,9	
% Grava:	0	% Arena:	30,1
		% Finos:	69,9
D ₆₀ :		D ₁₀ :	
		C _c :	
LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*			
LIMITE LIQUIDO (LL):	44	LIMITE PLÁSTICO (LP):	24
INDICE DE PLASTICIDAD (IP):	20	HUMEDAD EN SITIO (ω):	
CLASIFICACION (SUCS)*			
SIMBOLO:	CL	DESCRIPCIÓN:	Arcilla Arenosa
REALIZADO POR:	Giovanni Arguedas Morales		Color café
FECHA:	22 junio de 2017		
		* ENSAYO ACREDITADO	
		** ENSAYO NO ACREDITADO	

 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*																																
CLIENTE:	CONAVI	INFORME:	GEO 076-2017																													
SONDEO:	S-1	PROF (m):	2,00-4,00																													
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="background-color: #add8e6;">Tamiz</th> <th rowspan="2" style="background-color: #add8e6;">Porcentaje Pasando (%)</th> </tr> <tr> <th style="background-color: #add8e6;">N°</th> <th style="background-color: #add8e6;">mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1"</td><td>25,00</td><td>100</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>19,00</td><td>100</td></tr> <tr><td>1/2"</td><td>12,5</td><td>100</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9,5</td><td>100</td></tr> <tr><td>N°4</td><td>4,75</td><td>80</td></tr> <tr><td>N°10</td><td>2,00</td><td>73</td></tr> <tr><td>N°40</td><td>0,425</td><td>65</td></tr> <tr><td>N°200</td><td>0,075</td><td>59,6</td></tr> </tbody> </table>		Tamiz		Porcentaje Pasando (%)	N°	mm	1"	25,00	100	3/4"	19,00	100	1/2"	12,5	100	3/8"	9,5	100	N°4	4,75	80	N°10	2,00	73	N°40	0,425	65	N°200	0,075	59,6		
Tamiz		Porcentaje Pasando (%)																														
N°	mm																															
1"	25,00	100																														
3/4"	19,00	100																														
1/2"	12,5	100																														
3/8"	9,5	100																														
N°4	4,75	80																														
N°10	2,00	73																														
N°40	0,425	65																														
N°200	0,075	59,6																														
% Grava:	20	% Arena:	20,4																													
		% Finos:	59,6																													
D ₆₀ :		D ₁₀ :																														
		C _c :																														
LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*																																
LIMITE LIQUIDO (LL):	54	LIMITE PLÁSTICO (LP):	22																													
INDICE DE PLASTICIDAD (IP):	32	HUMEDAD EN SITIO (ω):																														
																																
CLASIFICACION (SUCS)*																																
SIMBOLO:	CH	DESCRIPCIÓN:	Arcilla Plastica con arena																													
REALIZADO POR:	Giovanni Arguedas Morales		Color café con manchas de oxidación																													
FECHA:	22 junio de 2017		* ENSAYO ACREDITADO																													
			** ENSAYO NO ACREDITADO																													



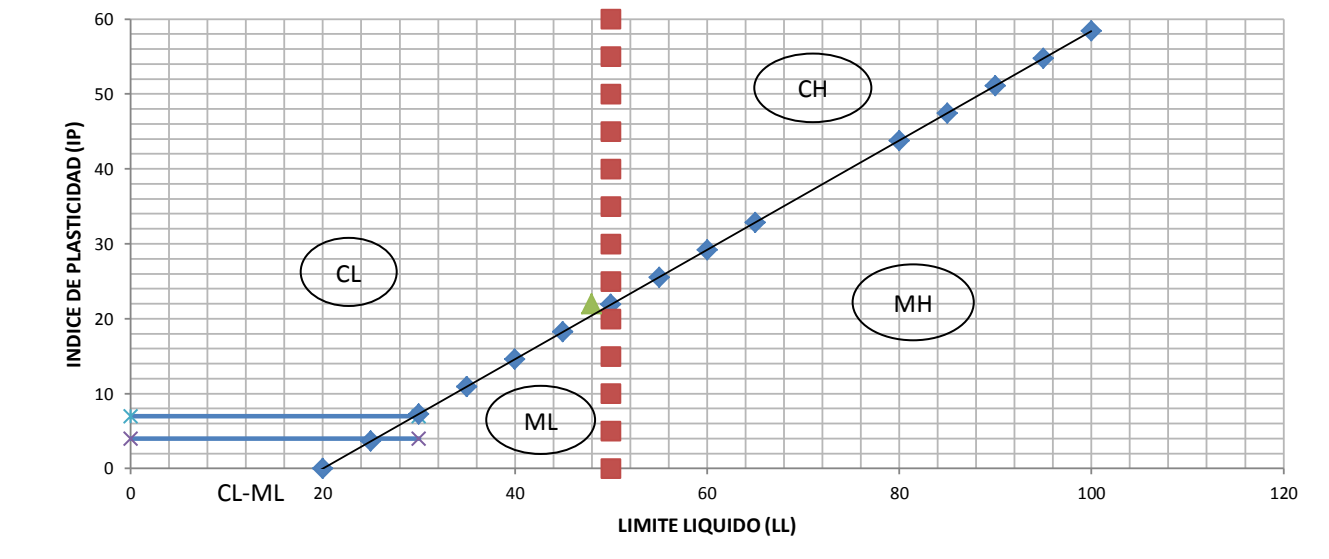
 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*			
CLIENTE:	CONAVI	INFORME:	GEO 076-2017
SONDEO:	S-2	PROF (m):	0,00-2,00
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*			
Tamiz		Porcentaje Pasando (%)	
N°	mm		
1"	25,00	100	
3/4"	19,00	100	
1/2"	12,5	100	
3/8"	9,5	100	
N°4	4,75	76	
N°10	2,00	63	
N°40	0,425	50	
N°200	0,075	43	



% Grava:	24	% Arena:	33,0	% Finos:	43
D ₆₀ :		D ₁₀ :		D ₃₀ :	
		C _c :	1,05		


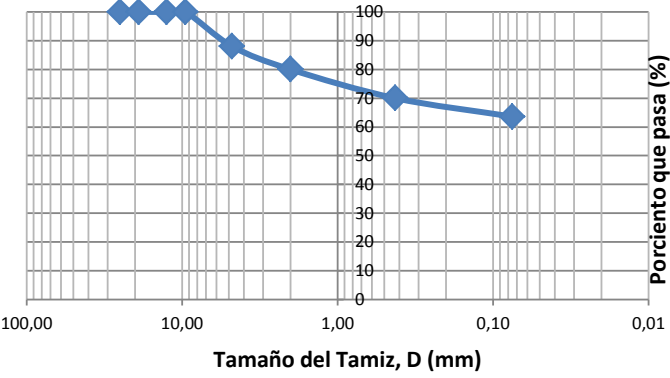
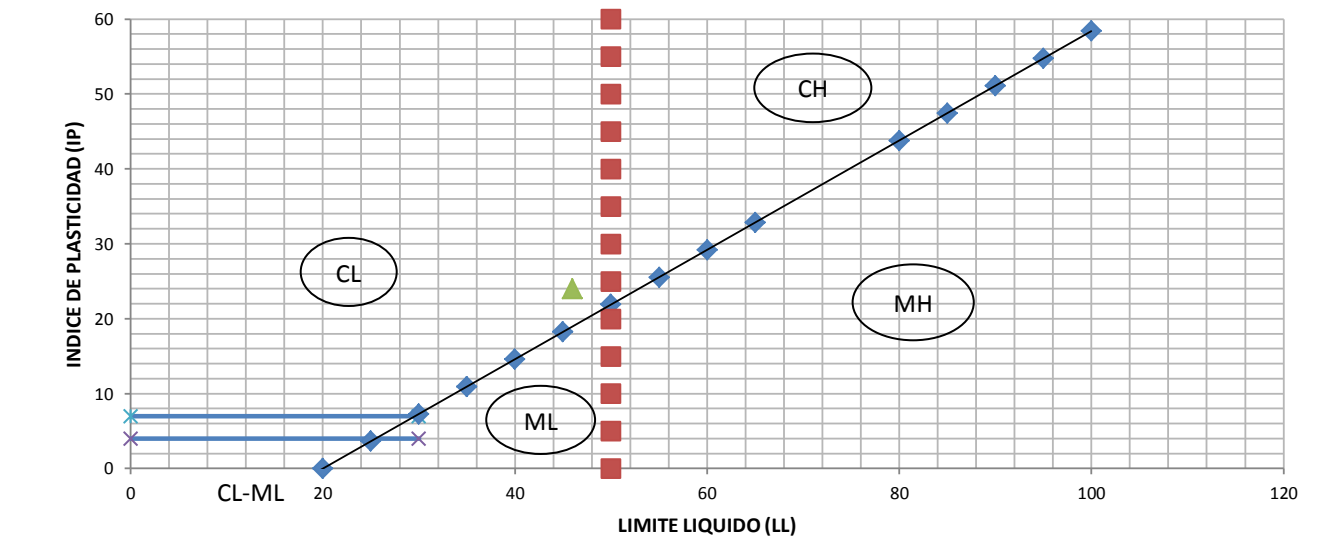
| **LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*** | | | | | |

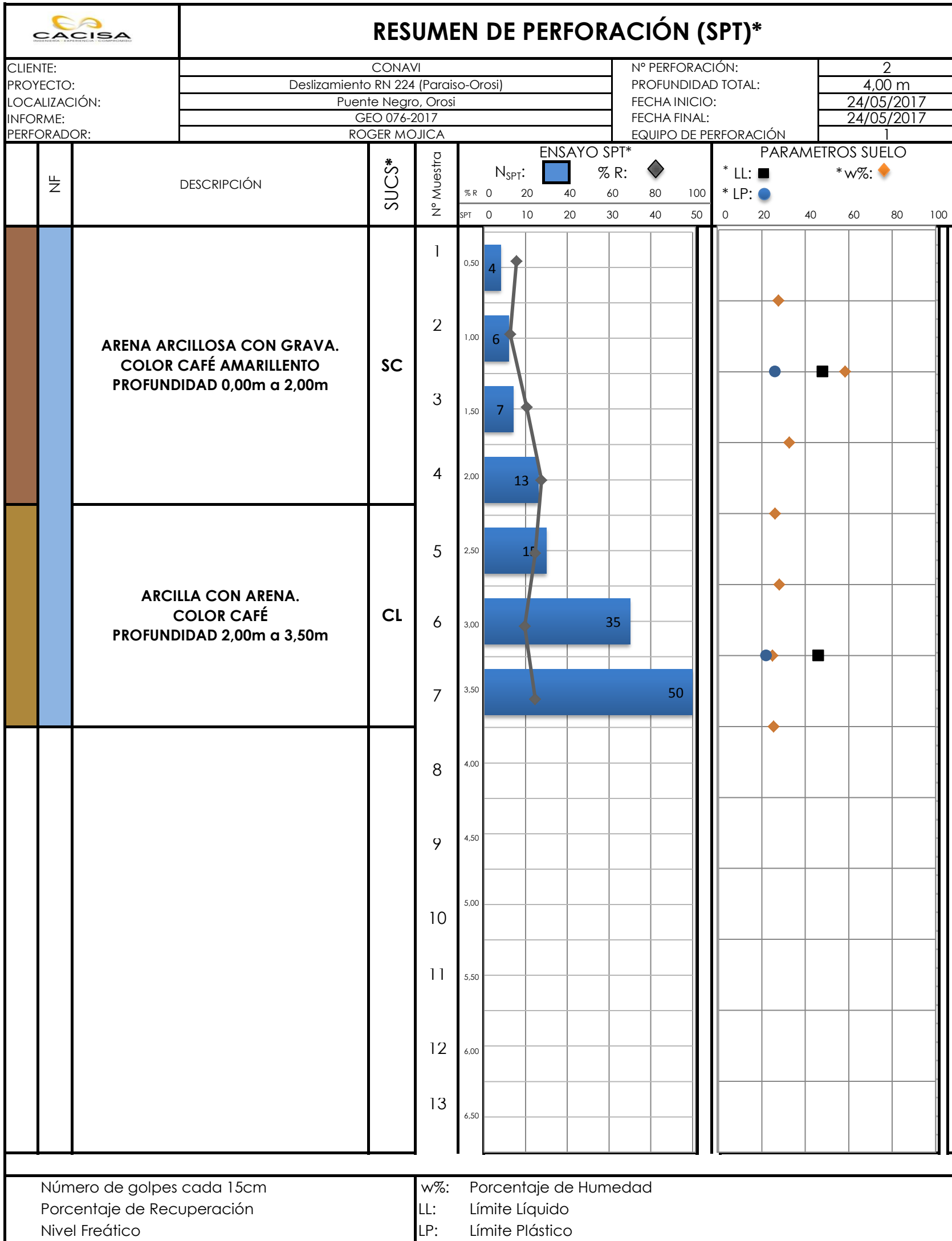
LIMITE LIQUIDO (LL):	48	LIMITE PLÁSTICO (LP):	26
INDICE DE PLASTICIDAD (IP):	22	HUMEDAD EN SITIO (ω):	




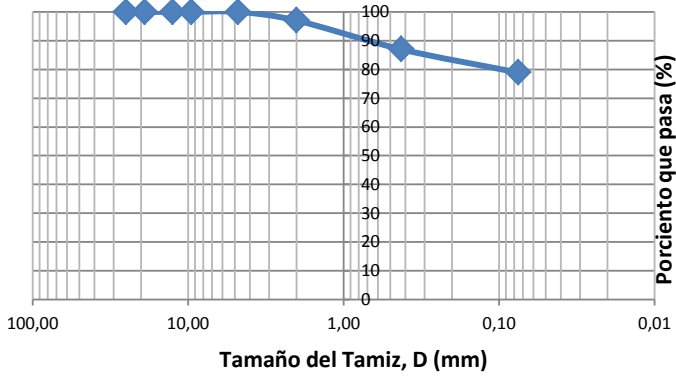
| **CLASIFICACION (SUCS)*** | | | | | |

SIMBOLO:	SC	DESCRIPCIÓN:
		Arena arcillosa con grava
REALIZADO POR:	Giovanni Arguedas Morales	
FECHA:	22 junio de 2017	
	* ENSAYO ACREDITADO	
	** ENSAYO NO ACREDITADO	

 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*																														
CLIENTE:	CONAVI																													
SONDEO:	S-2																													
INFORME:	GEO 076-2017																													
PROF (m):	2,00-3,50																													
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="background-color: #4F81BD; color: white;">Tamiz</th> <th rowspan="2" style="background-color: #FFD700;">Porcentaje Pasando (%)</th> </tr> <tr> <th style="background-color: #4F81BD; color: white;">N°</th> <th style="background-color: #4F81BD; color: white;">mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1"</td><td>25,00</td><td style="background-color: #FFD700;">100</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>19,00</td><td style="background-color: #FFD700;">100</td></tr> <tr><td>1/2"</td><td>12,5</td><td style="background-color: #FFD700;">100</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9,5</td><td style="background-color: #FFD700;">100</td></tr> <tr><td>N°4</td><td>4,75</td><td style="background-color: #FFD700;">88</td></tr> <tr><td>N°10</td><td>2,00</td><td style="background-color: #FFD700;">80</td></tr> <tr><td>N°40</td><td>0,425</td><td style="background-color: #FFD700;">70</td></tr> <tr><td>N°200</td><td>0,075</td><td style="background-color: #FFD700;">63,6</td></tr> </tbody> </table>	Tamiz		Porcentaje Pasando (%)	N°	mm	1"	25,00	100	3/4"	19,00	100	1/2"	12,5	100	3/8"	9,5	100	N°4	4,75	88	N°10	2,00	80	N°40	0,425	70	N°200	0,075	63,6	
Tamiz		Porcentaje Pasando (%)																												
N°	mm																													
1"	25,00	100																												
3/4"	19,00	100																												
1/2"	12,5	100																												
3/8"	9,5	100																												
N°4	4,75	88																												
N°10	2,00	80																												
N°40	0,425	70																												
N°200	0,075	63,6																												
% Grava:	12																													
% Arena:	24,4																													
% Finos:	63,6																													
D ₆₀ :																														
D ₁₀ :																														
D ₃₀ :																														
C _c :																														
LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*																														
LIMITE LIQUIDO (LL):	46																													
LIMITE PLÁSTICO (LP):	22																													
INDICE DE PLASTICIDAD (IP):	24																													
																														
CLASIFICACION (SUCS)*																														
SIMBOLO:	CL																													
DESCRIPCIÓN:	Arcilla con arena																													
REALIZADO POR:	Giovanni Arguedas Morales																													
FECHA:	22 junio de 2017																													
* ENSAYO ACREDITADO ** ENSAYO NO ACREDITADO																														



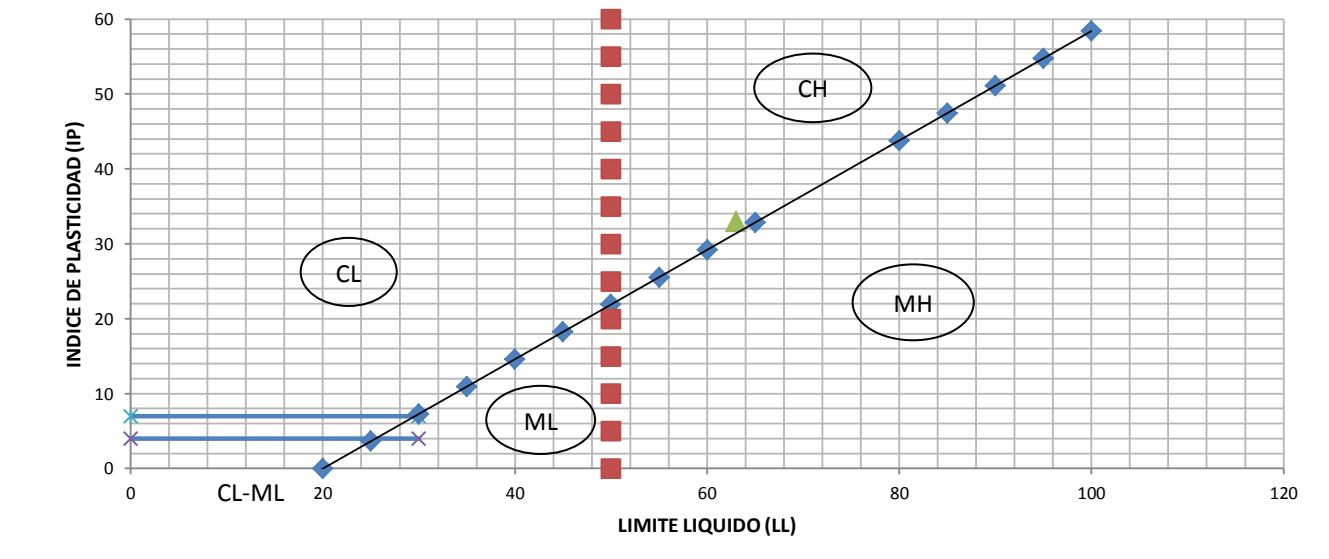
 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*			
CLIENTE:	CONAVI	INFORME:	GEO 076-2017
SONDEO:	S-3	PROF (m):	0,00-1,00
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*			
Tamiz		Porcentaje Pasando (%)	
N°	mm		
1"	25,00	100	
3/4"	19,00	100	
1/2"	12,5	100	
3/8"	9,5	100	
N°4	4,75	100	
N°10	2,00	97	
N°40	0,425	87	
N°200	0,075	78,9	



% Grava:	0	% Arena:	21,1	% Finos:	78,9
D ₆₀ :		D ₁₀ :		D ₃₀ :	
		C _c :	1,05		

| **LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*** | | | | | |


LIMITE LIQUIDO (LL):	63	LIMITE PLÁSTICO (LP):	30
INDICE DE PLASTICIDAD (IP):	33	HUMEDAD EN SITIO (ω):	

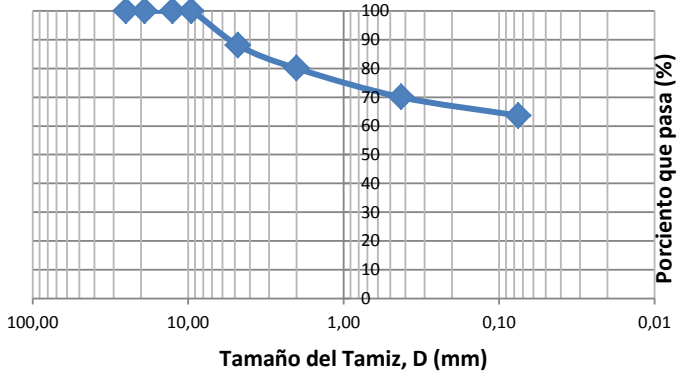


| **CLASIFICACION (SUCS)*** | | | | | |

SIMBOLO:	CH	DESCRIPCIÓN:	Arcilla plastica con arena
REALIZADO POR:	Giovanni Arguedas Morales		Color café amarillento
FECHA:	22 junio de 2017		

* ENSAYO ACREDITADO
** ENSAYO NO ACREDITADO

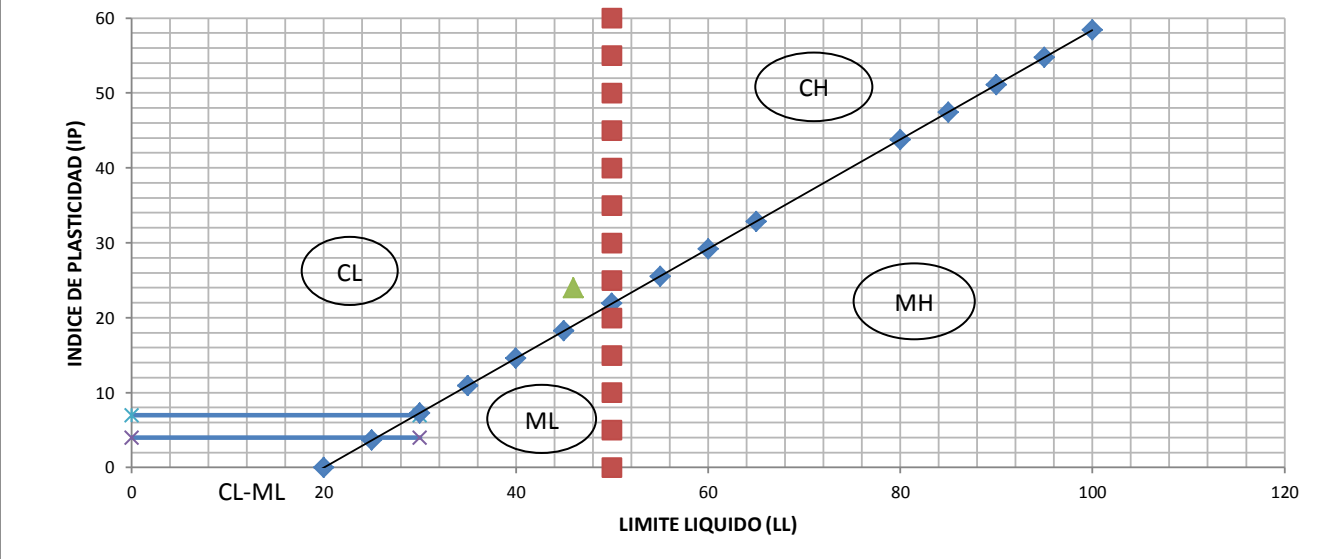
 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*			
CLIENTE:	CONAVI	INFORME:	GEO 076-2017
SONDEO:	S-3	PROF (m):	1,00-3,00
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*			
Tamiz		Porcentaje Pasando (%)	
N°	mm		
1"	25,00	100	
3/4"	19,00	100	
1/2"	12,5	100	
3/8"	9,5	100	
N°4	4,75	88	
N°10	2,00	80	
N°40	0,425	70	
N°200	0,075	63,6	



% Grava:	12	% Arena:	24,4	% Finos:	63,6
D ₆₀ :		D ₁₀ :		D ₃₀ :	
		C _c :	1,05		

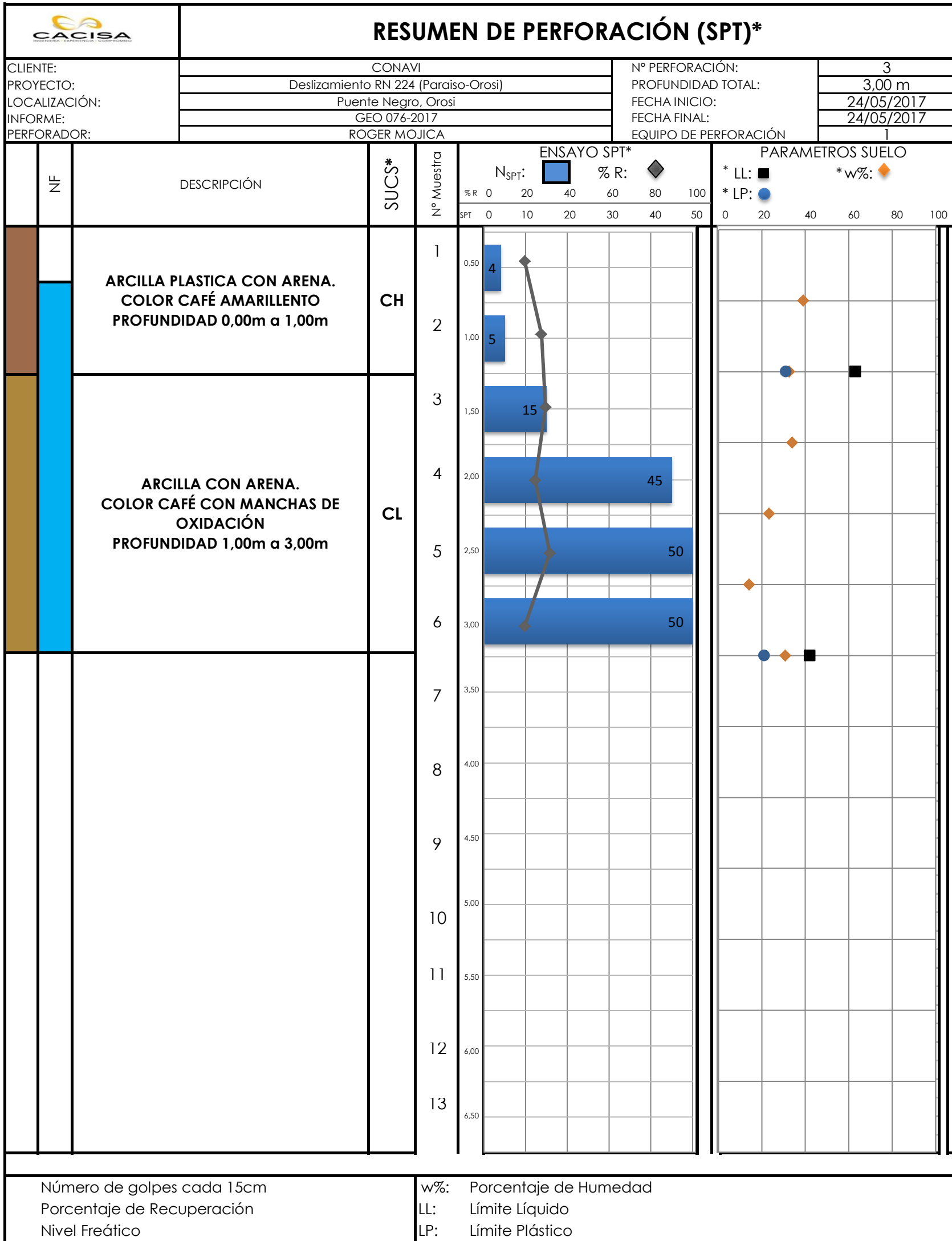
| **LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*** | | | | | |


LIMITE LIQUIDO (LL):	46	LIMITE PLÁSTICO (LP):	22
INDICE DE PLASTICIDAD (IP):	24	HUMEDAD EN SITIO (ω):	

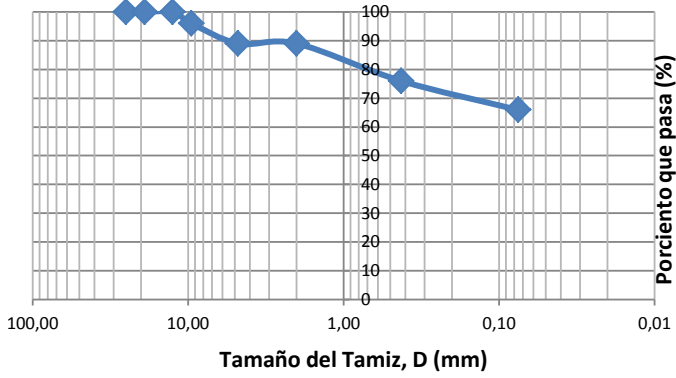


| **CLASIFICACION (SUCS)*** | | | |

SIMBOLO:	CL	DESCRIPCIÓN:	Arcilla con arena
REALIZADO POR:	Giovanni Arguedas Morales		Color café con manchas de oxidación
FECHA:	22 junio de 2017		* ENSAYO ACREDITADO ** ENSAYO NO ACREDITADO



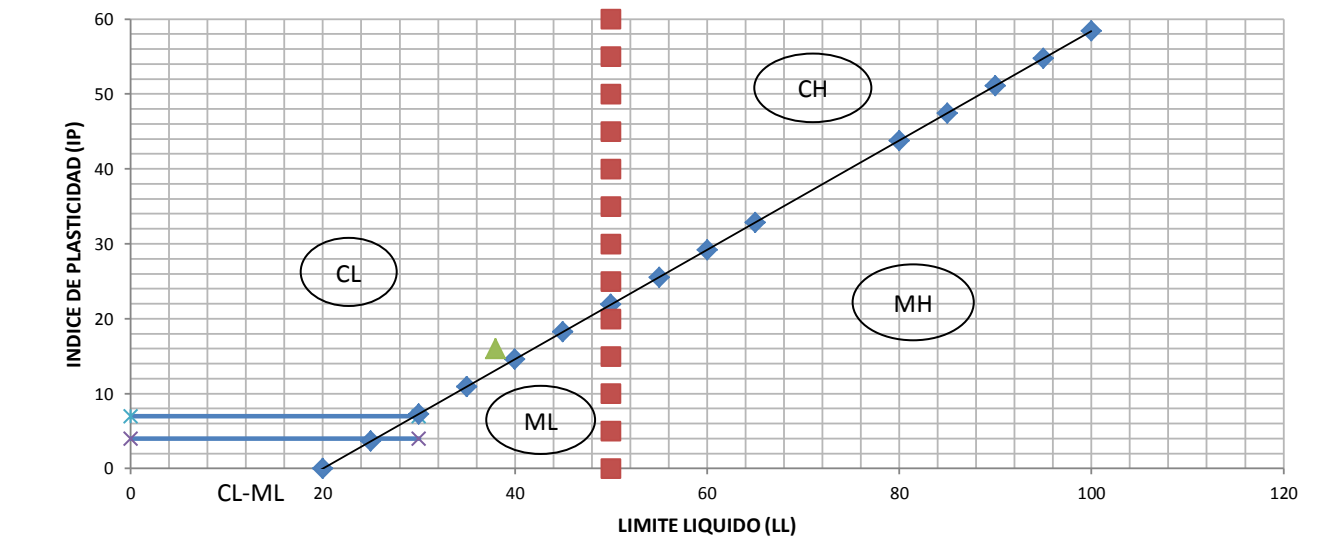
 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*			
CLIENTE:	CONAVI	INFORME:	GEO 076-2017
SONDEO:	S-4	PROF (m):	0,00-5,00
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*			
Tamiz		Porcentaje Pasando (%)	
N°	mm		
1"	25,00	100	
3/4"	19,00	100	
1/2"	12,5	100	
3/8"	9,5	96	
N°4	4,75	89	
N°10	2,00	89	
N°40	0,425	76	
N°200	0,075	65,9	



% Grava:	11	% Arena:	23,1	% Finos:	65,9
D ₆₀ :		D ₁₀ :		D ₃₀ :	
		C _c :	1,05		

| **LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*** | | | | | |


LIMITE LIQUIDO (LL):	38	LIMITE PLÁSTICO (LP):	22
INDICE DE PLASTICIDAD (IP):	16	HUMEDAD EN SITIO (ω):	

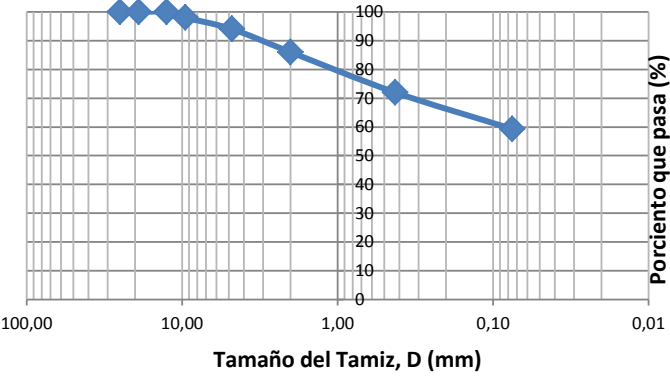


| **CLASIFICACION (SUCS)*** | | | | | |

SIMBOLO:	CL	DESCRIPCIÓN:	Arcilla con arena
REALIZADO POR:	Giovanni Arguedas Morales		Color café
FECHA:	22 junio de 2017		

* ENSAYO ACREDITADO
 ** ENSAYO NO ACREDITADO

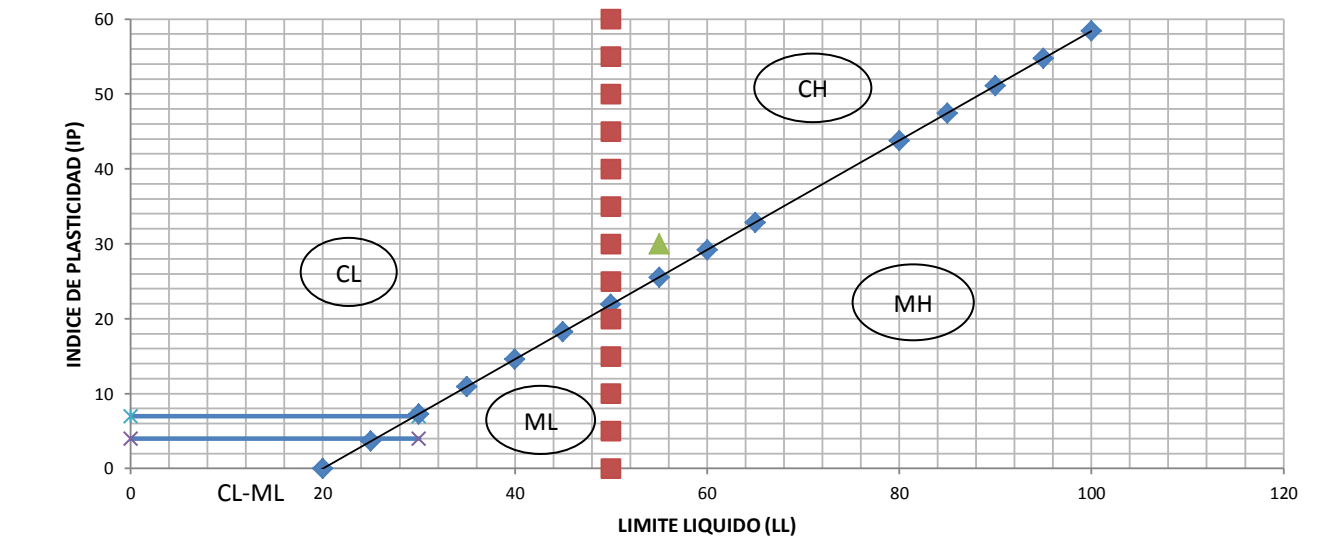
 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*			
CLIENTE:	CONAVI	INFORME:	GEO 076-2017
SONDEO:	S-4	PROF (m):	5,00-6,00
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*			
Tamiz		Porcentaje Pasando (%)	
N°	mm		
1"	25,00	100	
3/4"	19,00	100	
1/2"	12,5	100	
3/8"	9,5	98	
N°4	4,75	94	
N°10	2,00	86	
N°40	0,425	72	
N°200	0,075	59,3	



% Grava:	6	% Arena:	34,7	% Finos:	59,3
D ₆₀ :		D ₁₀ :		D ₃₀ :	
		C _c :	1,05		

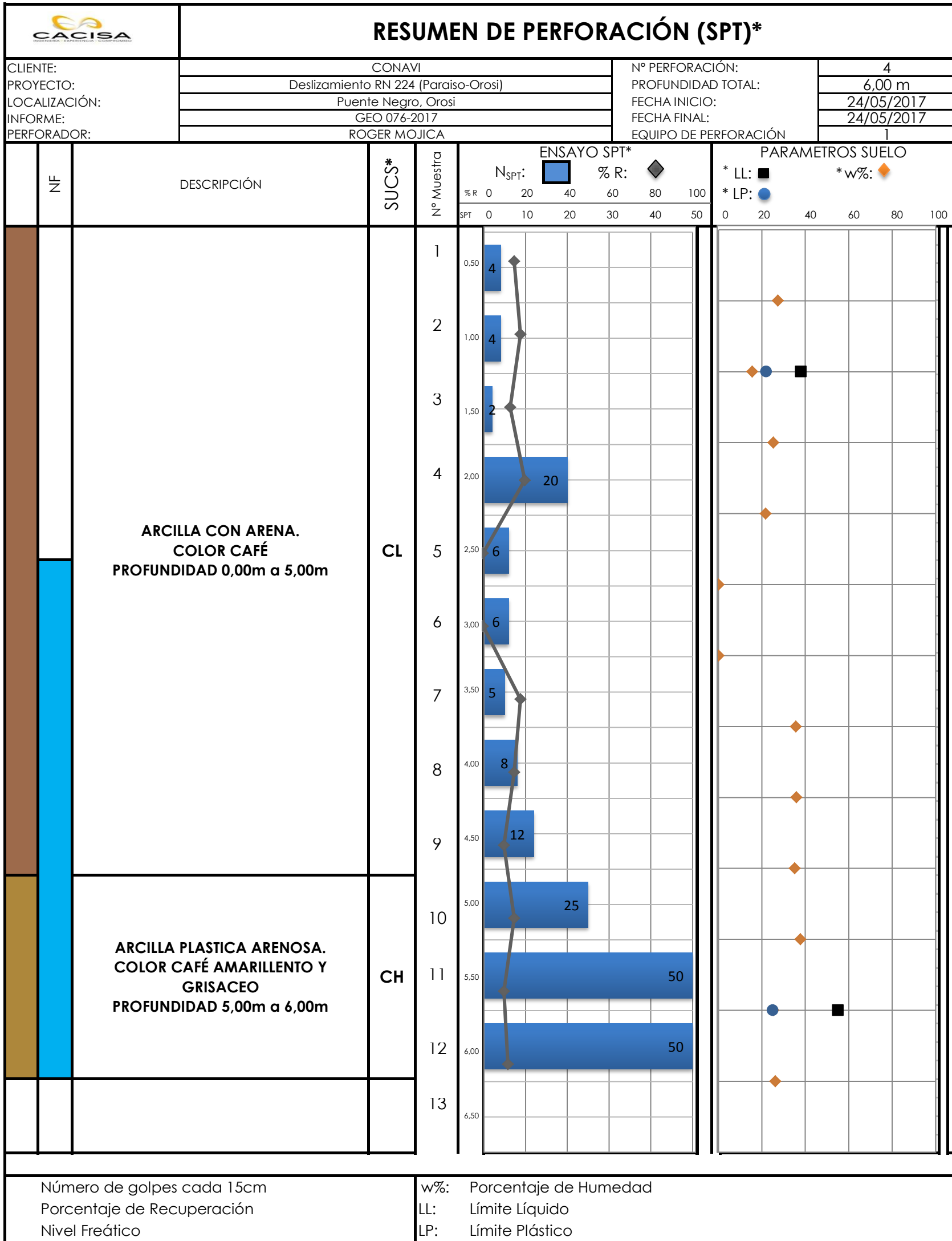
| **LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*** | | | | | |


LIMITE LIQUIDO (LL):	55	LIMITE PLÁSTICO (LP):	25
INDICE DE PLASTICIDAD (IP):	30	HUMEDAD EN SITIO (ω):	

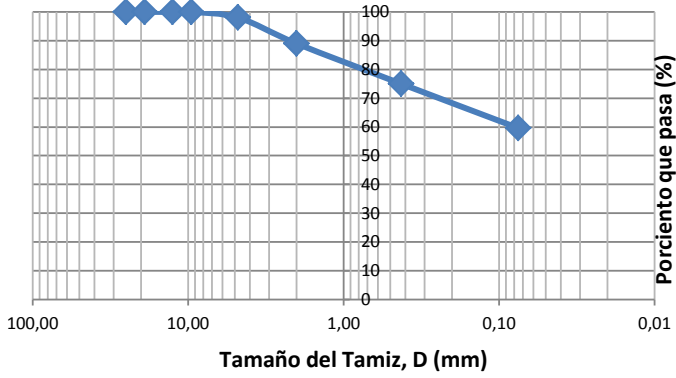


| **CLASIFICACION (SUCS)*** | | | | | |

SIMBOLO:	CH	DESCRIPCIÓN:	Arcilla plástica arenosa
REALIZADO POR:	Giovanni Arguedas Morales		Color café amarillento y grisáceo
FECHA:	22 junio de 2017		* ENSAYO ACREDITADO ** ENSAYO NO ACREDITADO



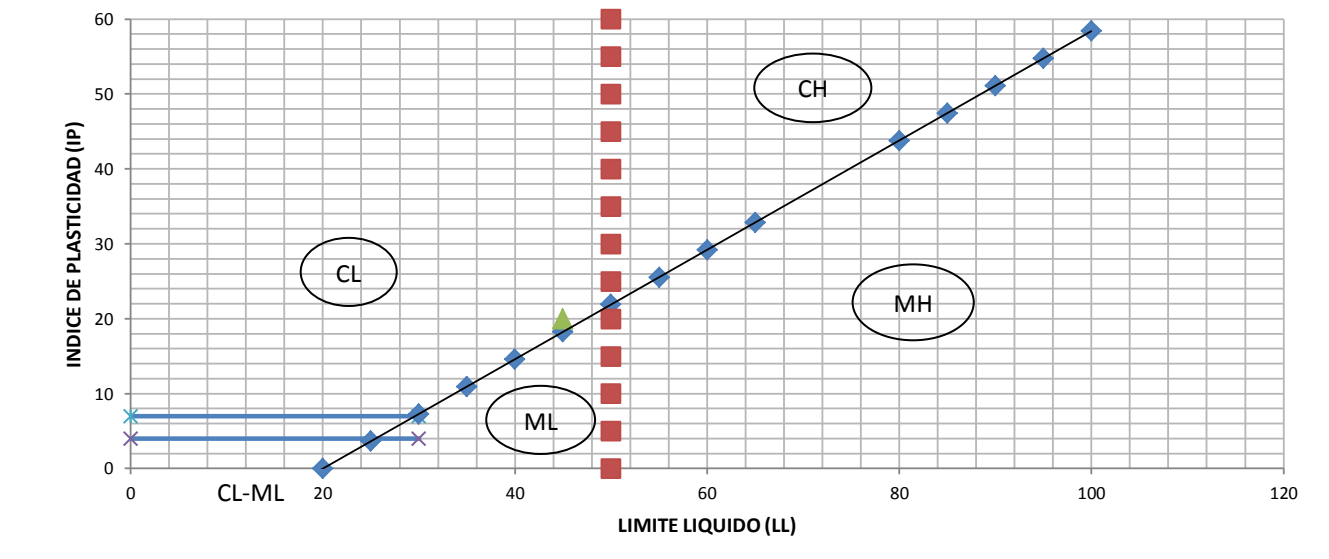
 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*			
CLIENTE:	CONAVI	INFORME:	GEO 076-2017
SONDEO:	S-5	PROF (m):	0,00-1,50
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*			
Tamiz		Porcentaje Pasando (%)	
N°	mm		
1"	25,00	100	
3/4"	19,00	100	
1/2"	12,5	100	
3/8"	9,5	100	
N°4	4,75	98	
N°10	2,00	89	
N°40	0,425	75	
N°200	0,075	59,6	



% Grava:	2	% Arena:	38,4	% Finos:	59,6
D ₆₀ :		D ₁₀ :		D ₃₀ :	
		C _c :	1,05		

| **LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*** | | | | | |


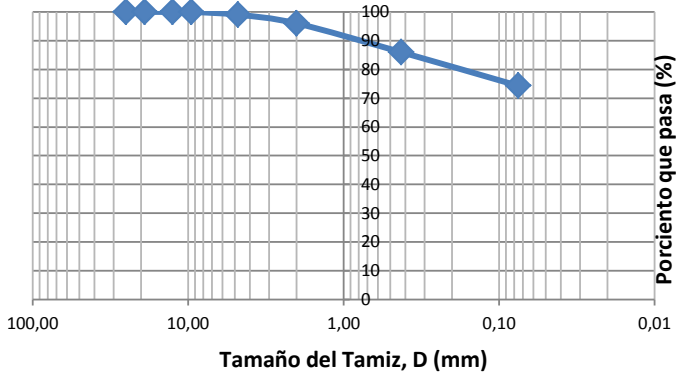
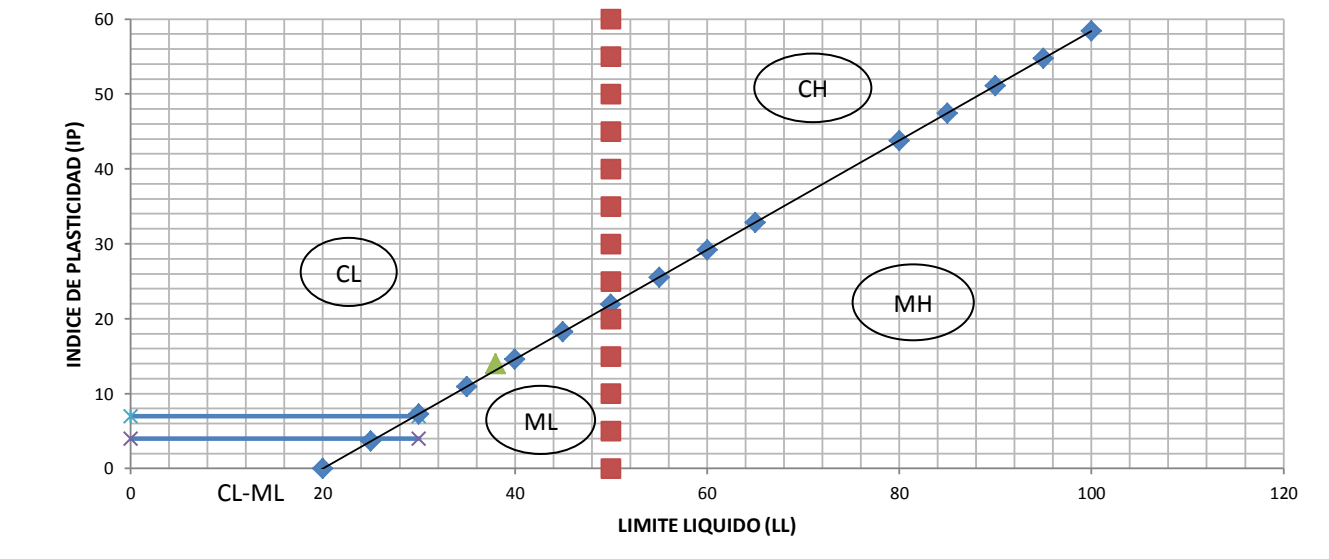
LIMITE LIQUIDO (LL):	45	LIMITE PLÁSTICO (LP):	25
INDICE DE PLASTICIDAD (IP):	20	HUMEDAD EN SITIO (ω):	

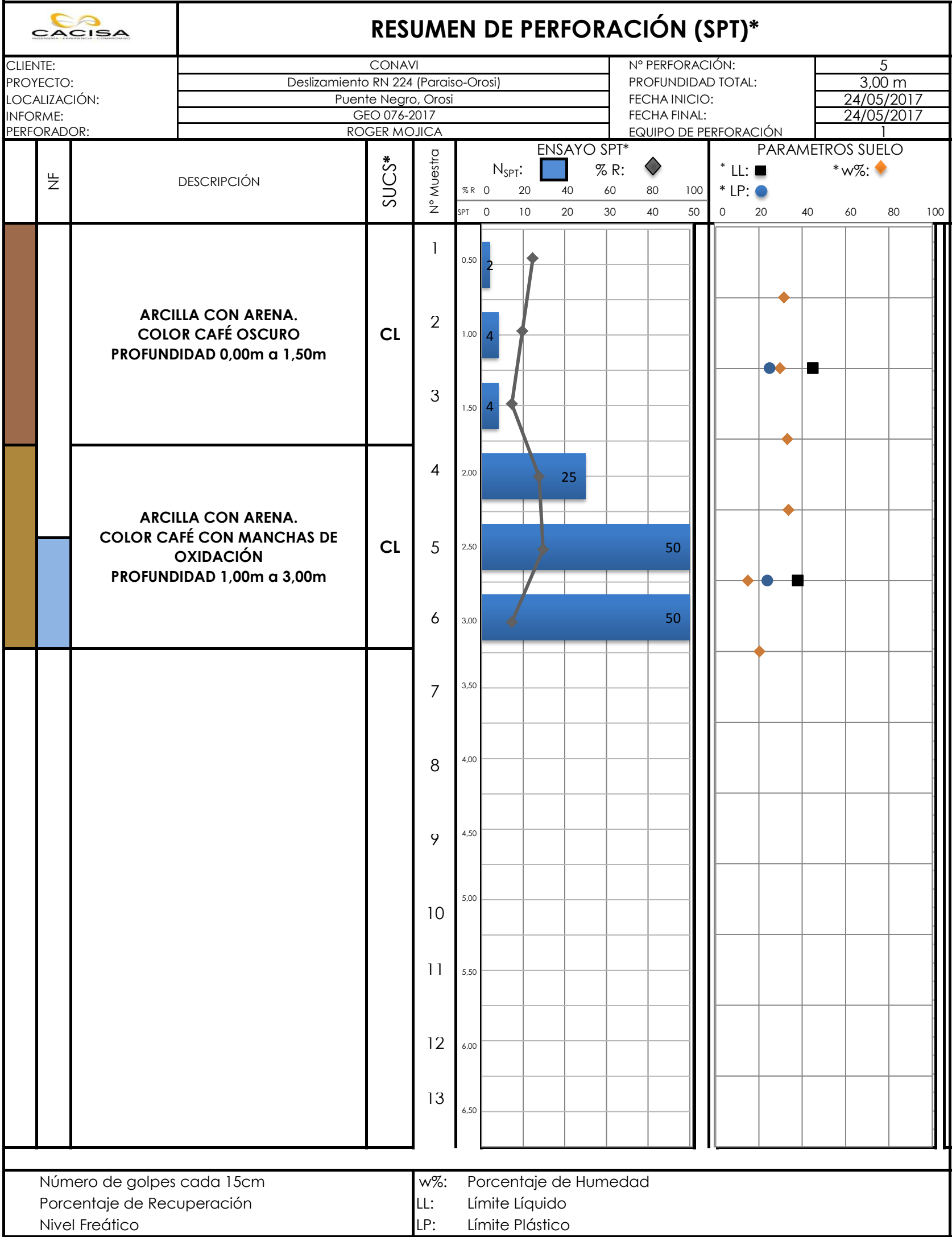



| **CLASIFICACION (SUCS)*** | | | | | |

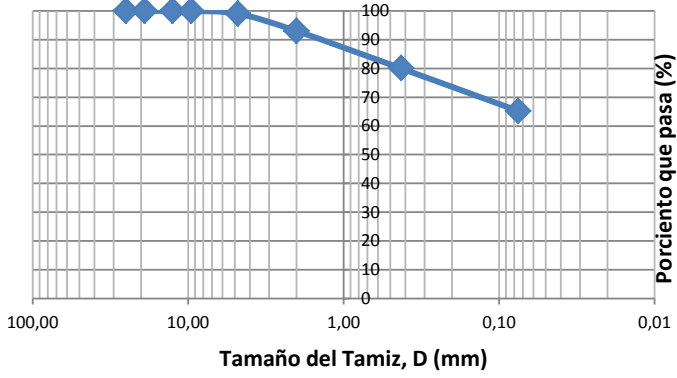
SIMBOLO:	CL	DESCRIPCIÓN:	Arcilla arenosa
REALIZADO POR:	Giovanni Arguedas Morales		Color cafe oscuro
FECHA:	22 junio de 2017		

* ENSAYO ACREDITADO
** ENSAYO NO ACREDITADO

 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*																																
CLIENTE:	CONAVI	INFORME:	GEO 076-2017																													
SONDEO:	S-5	PROF (m):	1,50-3,00																													
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="background-color: #add8e6;">Tamiz</th> <th rowspan="2" style="background-color: #add8e6;">Porcentaje Pasando (%)</th> </tr> <tr> <th style="background-color: #add8e6;">N°</th> <th style="background-color: #add8e6;">mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1"</td><td>25,00</td><td>100</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>19,00</td><td>100</td></tr> <tr><td>1/2"</td><td>12,5</td><td>100</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9,5</td><td>100</td></tr> <tr><td>N°4</td><td>4,75</td><td>99</td></tr> <tr><td>N°10</td><td>2,00</td><td>96</td></tr> <tr><td>N°40</td><td>0,425</td><td>86</td></tr> <tr><td>N°200</td><td>0,075</td><td>74,3</td></tr> </tbody> </table>		Tamiz		Porcentaje Pasando (%)	N°	mm	1"	25,00	100	3/4"	19,00	100	1/2"	12,5	100	3/8"	9,5	100	N°4	4,75	99	N°10	2,00	96	N°40	0,425	86	N°200	0,075	74,3		
Tamiz		Porcentaje Pasando (%)																														
N°	mm																															
1"	25,00	100																														
3/4"	19,00	100																														
1/2"	12,5	100																														
3/8"	9,5	100																														
N°4	4,75	99																														
N°10	2,00	96																														
N°40	0,425	86																														
N°200	0,075	74,3																														
% Grava: 1		% Arena: 24,7																														
% Finos: 74,3																																
D ₆₀ : 		D ₁₀ : 																														
D ₃₀ : 		C _c : 																														
LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*																																
LIMITE LIQUIDO (LL): 38		LIMITE PLÁSTICO (LP): 24																														
INDICE DE PLASTICIDAD (IP): 14		HUMEDAD EN SITIO (ω): 																														
																																
CLASIFICACION (SUCS)*																																
SIMBOLO: CL		DESCRIPCIÓN: Arcilla con arena																														
REALIZADO POR: Giovanni Arguedas Morales		Color café con manchas oxidación																														
FECHA: 22 junio de 2017		* ENSAYO ACREDITADO ** ENSAYO NO ACREDITADO																														



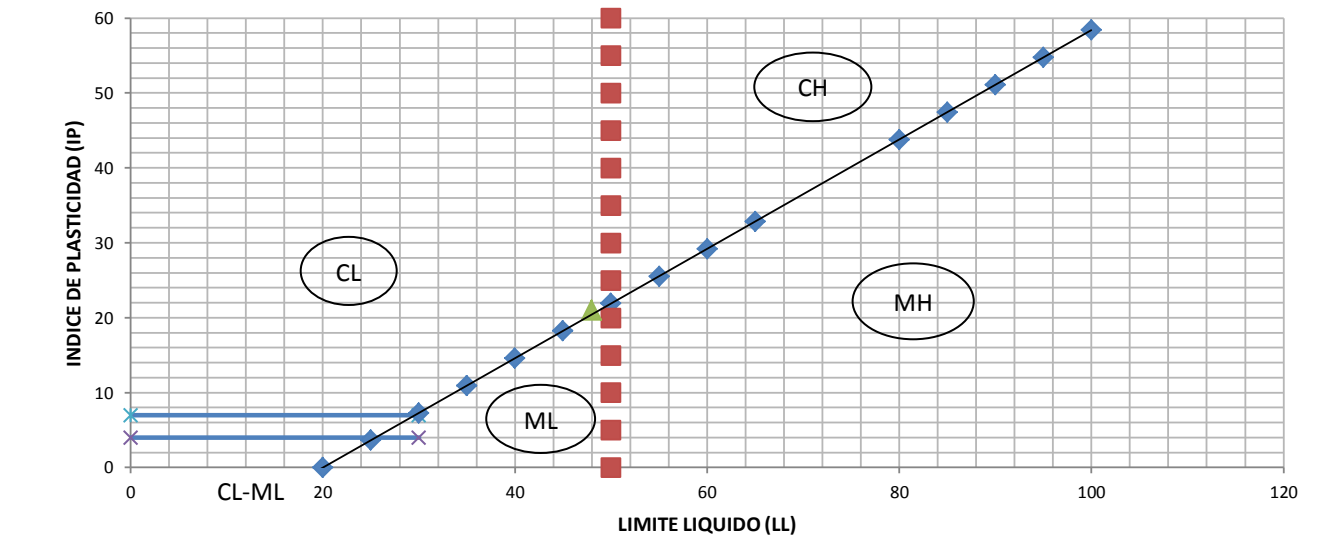
 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*			
CLIENTE:	CONAVI	INFORME:	GEO 076-2017
SONDEO:	S-6	PROF (m):	0,00-1,50
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*			
Tamiz		Porcentaje Pasando (%)	
N°	mm		
1"	25,00	100	
3/4"	19,00	100	
1/2"	12,5	100	
3/8"	9,5	100	
N°4	4,75	99	
N°10	2,00	93	
N°40	0,425	80	
N°200	0,075	65,2	



% Grava:	1	% Arena:	33,8	% Finos:	65,2
D ₆₀ :		D ₁₀ :		D ₃₀ :	
		C _c :	1,05		

| **LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*** | | | | | |


LIMITE LIQUIDO (LL):	48	LIMITE PLÁSTICO (LP):	27
INDICE DE PLASTICIDAD (IP):	21	HUMEDAD EN SITIO (ω):	

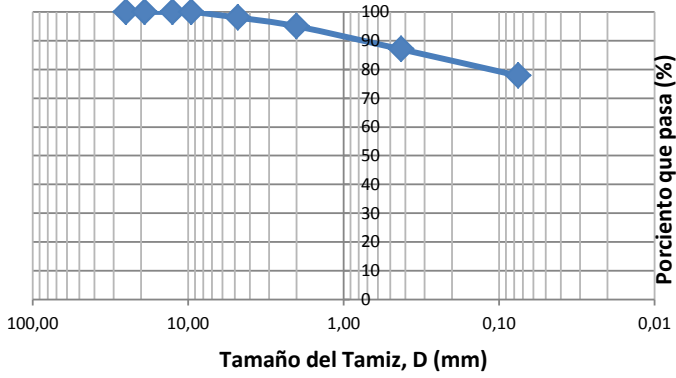


| **CLASIFICACION (SUCS)*** | | | | | |

SIMBOLO:	CL	DESCRIPCIÓN:	Arcilla arenosa
REALIZADO POR:	Giovanni Arguedas Morales		Color Café amarillento
FECHA:	22 junio de 2017		

* ENSAYO ACREDITADO
 ** ENSAYO NO ACREDITADO

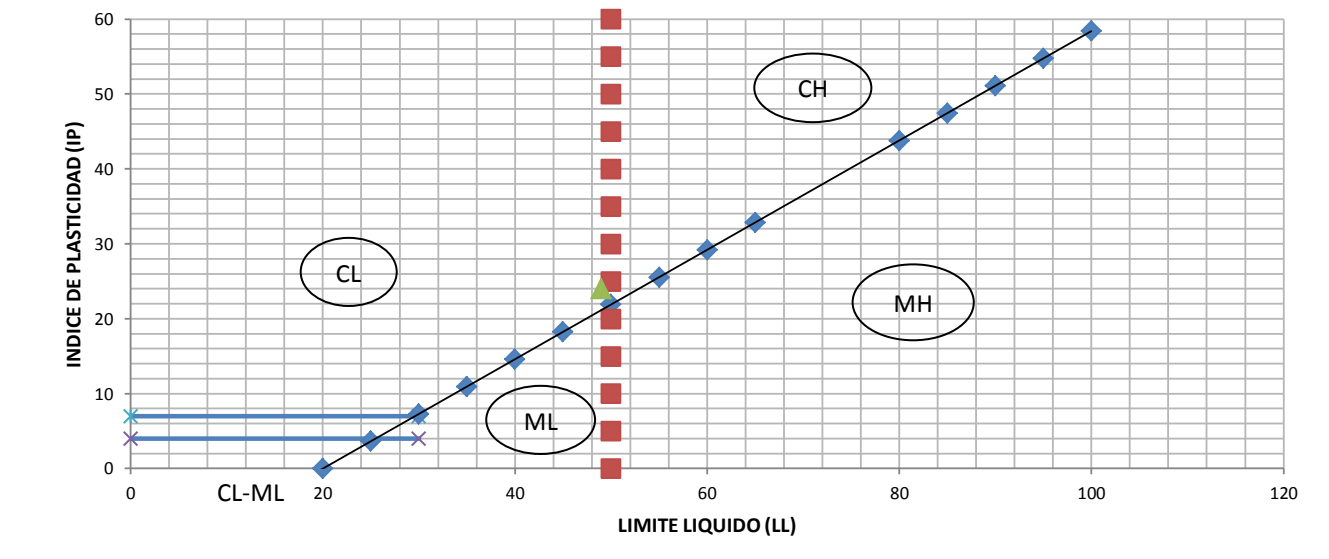
 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*			
CLIENTE:	CONAVI	INFORME:	GEO 076-2017
SONDEO:	S-6	PROF (m):	1,50-4,00
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*			
Tamiz		Porcentaje Pasando (%)	
N°	mm		
1"	25,00	100	
3/4"	19,00	100	
1/2"	12,5	100	
3/8"	9,5	100	
N°4	4,75	98	
N°10	2,00	95	
N°40	0,425	87	
N°200	0,075	77,8	



% Grava:	2	% Arena:	20,2	% Finos:	77,8
D ₆₀ :		D ₁₀ :		D ₃₀ :	
		C _c :	1,05		

| **LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*** | | | | | |

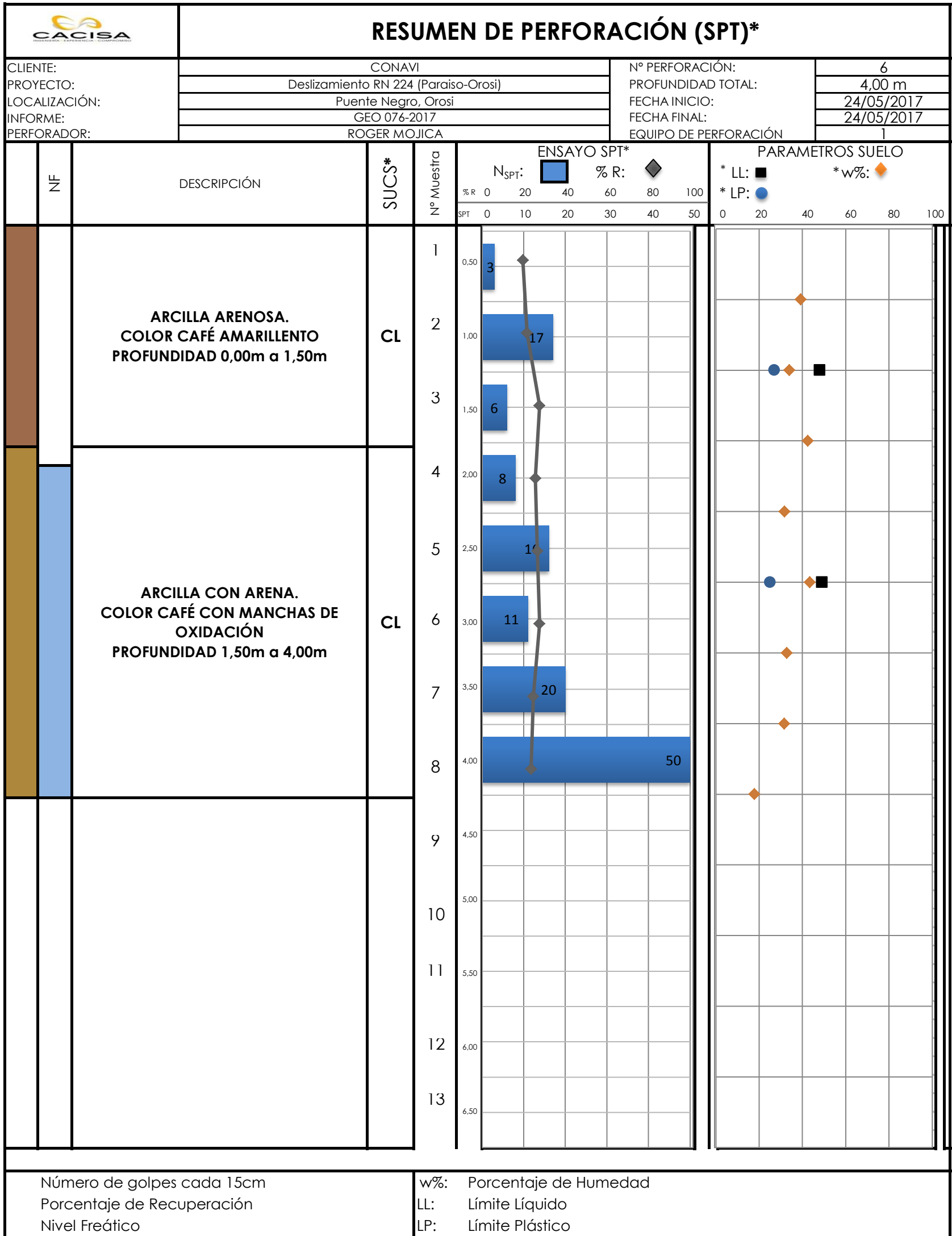
LIMITE LIQUIDO (LL):	49	LIMITE PLÁSTICO (LP):	25
INDICE DE PLASTICIDAD (IP):	24	HUMEDAD EN SITIO (ω):	




| **CLASIFICACION (SUCS)*** | | | |

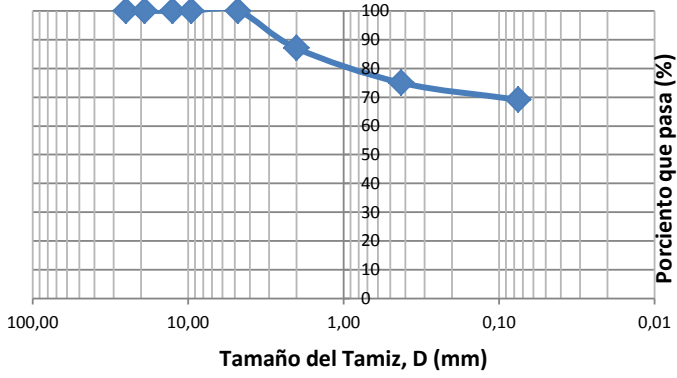
SIMBOLO:	CL	DESCRIPCIÓN:
REALIZADO POR:	Giovanni Arguedas Morales	Arcilla con arena
FECHA:	22 junio de 2017	Color café con manchas de oxidación

* ENSAYO ACREDITADO
 ** ENSAYO NO ACREDITADO



 CACISA <small>INGENIERÍA + EXPERIENCIA + COMPROMISO</small>		CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*	
CLIENTE:	CONAVI	INFORME:	GEO 076-2017
SONDEO:	S-7	PROF (m):	0,00-1,50
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*			
Tamiz		Porcentaje Pasando (%)	
N°	mm		
1"	25,00	100	
3/4"	19,00	100	
1/2"	12,5	100	
3/8"	9,5	100	
N°4	4,75	100	
N°10	2,00	84	
N°40	0,425	70	
N°200	0,075	61	
% Grava:	0	% Arena:	39,0
		% Finos:	61
D ₆₀ :		D ₁₀ :	
		C _c :	1,00
LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*			
LIMITE LIQUIDO (LL):	46	LIMITE PLÁSTICO (LP):	24
INDICE DE PLASTICIDAD (IP):	22	HUMEDAD EN SITIO (ω):	
CLASIFICACION (SUCS)*			
SIMBOLO:	CL	DESCRIPCIÓN:	Arcilla arenosa
REALIZADO POR:	Giovanni Arguedas Morales		Color café
FECHA:	22 junio de 2017		
		* ENSAYO ACREDITADO	
		** ENSAYO NO ACREDITADO	

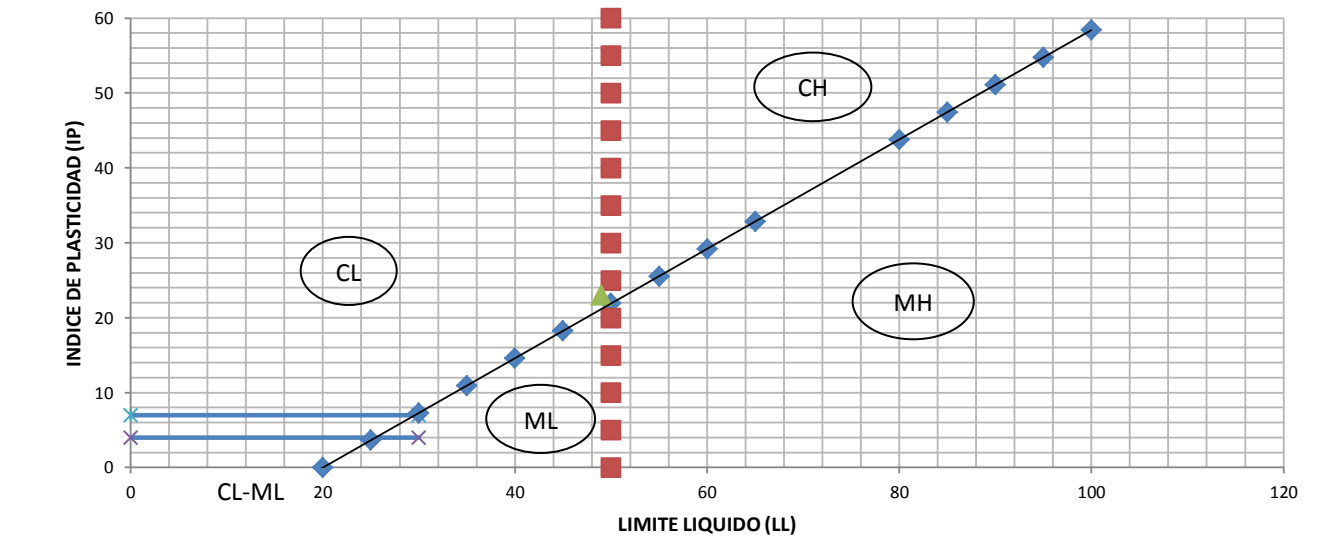
 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*			
CLIENTE:	CONAVI	INFORME:	GEO 076-2017
SONDEO:	S-7	PROF (m):	0,00-6,50
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*			
Tamiz		Porcentaje Pasando (%)	
N°	mm		
1"	25,00	100	
3/4"	19,00	100	
1/2"	12,5	100	
3/8"	9,5	100	
N°4	4,75	100	
N°10	2,00	87	
N°40	0,425	75	
N°200	0,075	69,1	



% Grava:	0	% Arena:	30,9	% Finos:	69,1
D ₆₀ :		D ₁₀ :		D ₃₀ :	
		C _c :	1,05		

| **LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*** | | | | | |

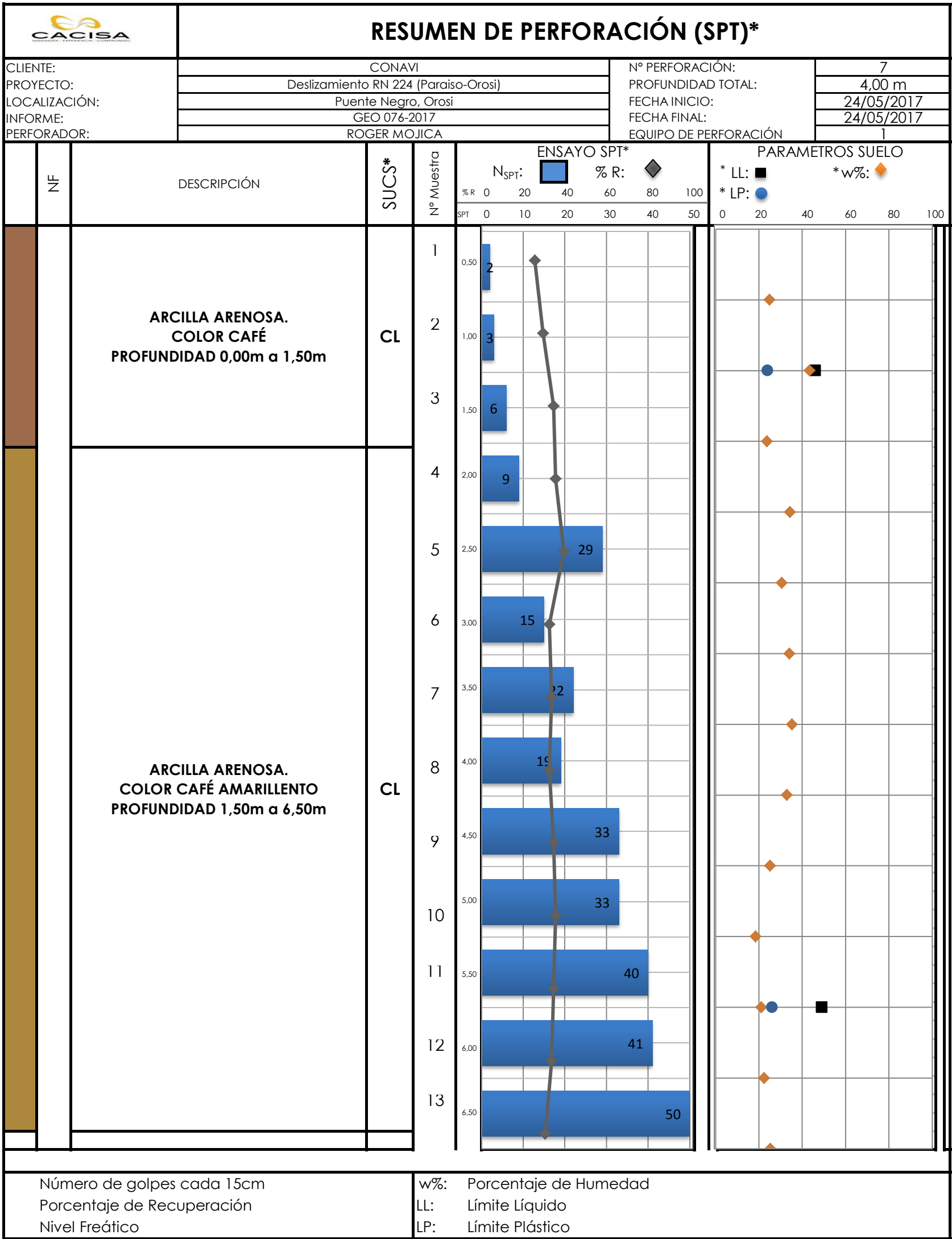
LIMITE LIQUIDO (LL):	49	LIMITE PLÁSTICO (LP):	26
INDICE DE PLASTICIDAD (IP):	23	HUMEDAD EN SITIO (ω):	


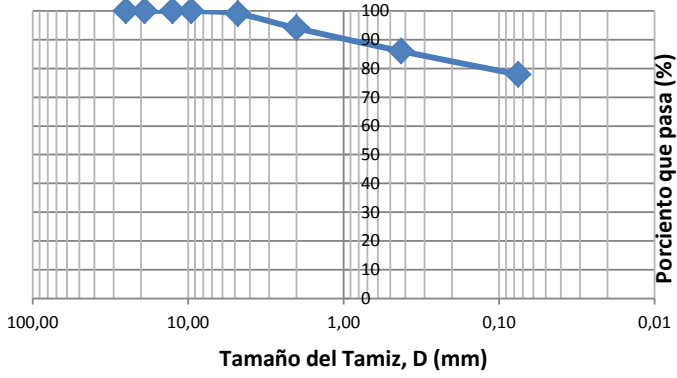
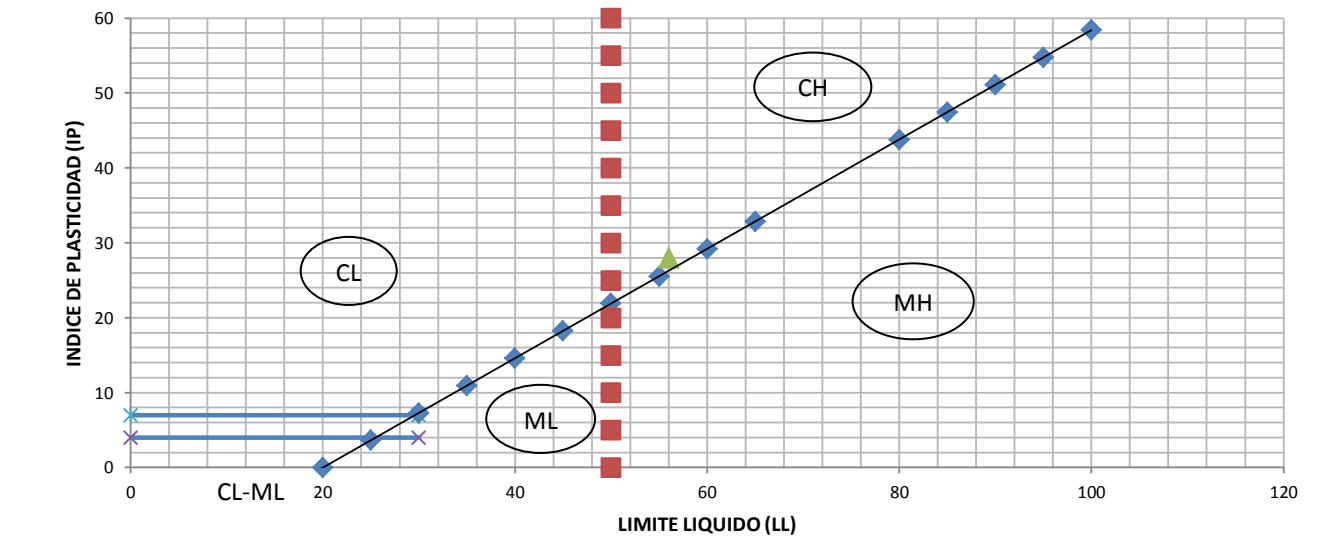



| **CLASIFICACION (SUCS)*** | | | |

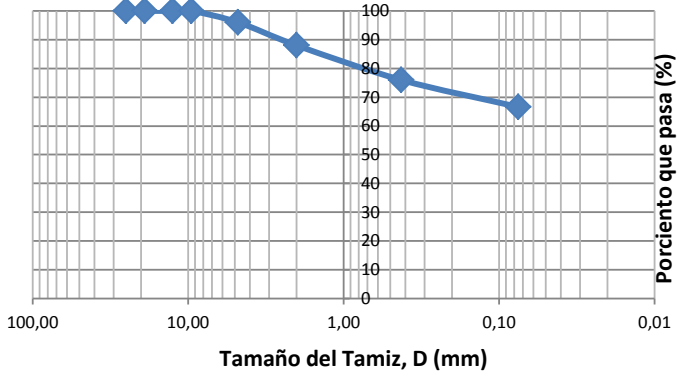
SIMBOLO:	CL	DESCRIPCIÓN:	Arcilla arenosa
REALIZADO POR:	Giovanni Arguedas Morales		Color café amarillento
FECHA:	22 junio de 2017		

* ENSAYO ACREDITADO
** ENSAYO NO ACREDITADO



 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*																																
CLIENTE:	CONAVI	INFORME:	GEO 076-2017																													
SONDEO:	S-8	PROF (m):	0,00-2,50																													
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="background-color: #add8e6;">Tamiz</th> <th rowspan="2" style="background-color: #add8e6;">Porcentaje Pasando (%)</th> </tr> <tr> <th style="background-color: #add8e6;">N°</th> <th style="background-color: #add8e6;">mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1"</td><td>25,00</td><td>100</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>19,00</td><td>100</td></tr> <tr><td>1/2"</td><td>12,5</td><td>100</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9,5</td><td>100</td></tr> <tr><td>N°4</td><td>4,75</td><td>99</td></tr> <tr><td>N°10</td><td>2,00</td><td>94</td></tr> <tr><td>N°40</td><td>0,425</td><td>86</td></tr> <tr><td>N°200</td><td>0,075</td><td>77,9</td></tr> </tbody> </table>		Tamiz		Porcentaje Pasando (%)	N°	mm	1"	25,00	100	3/4"	19,00	100	1/2"	12,5	100	3/8"	9,5	100	N°4	4,75	99	N°10	2,00	94	N°40	0,425	86	N°200	0,075	77,9		
Tamiz		Porcentaje Pasando (%)																														
N°	mm																															
1"	25,00	100																														
3/4"	19,00	100																														
1/2"	12,5	100																														
3/8"	9,5	100																														
N°4	4,75	99																														
N°10	2,00	94																														
N°40	0,425	86																														
N°200	0,075	77,9																														
% Grava: 1		% Arena: 21,1																														
% Finos: 77,9																																
D ₆₀ : 		D ₁₀ : 																														
D ₃₀ : 		C _c : 																														
LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*																																
LIMITE LIQUIDO (LL): 56		LIMITE PLÁSTICO (LP): 28																														
INDICE DE PLASTICIDAD (IP): 28		HUMEDAD EN SITIO (ω): 																														
																																
CLASIFICACION (SUCS)*																																
SIMBOLO: CH		DESCRIPCIÓN: Arcilla plastica con arena																														
REALIZADO POR: Giovanni Arguedas Morales		Color café																														
FECHA: 22 junio de 2017		* ENSAYO ACREDITADO ** ENSAYO NO ACREDITADO																														

 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*			
CLIENTE:	CONAVI	INFORME:	GEO 076-2017
SONDEO:	S-8	PROF (m):	2,50-6,00
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*			
Tamiz		Porcentaje Pasando (%)	
N°	mm		
1"	25,00	100	
3/4"	19,00	100	
1/2"	12,5	100	
3/8"	9,5	100	
N°4	4,75	96	
N°10	2,00	88	
N°40	0,425	76	
N°200	0,075	66,6	



% Grava: 4

% Arena: 29,4

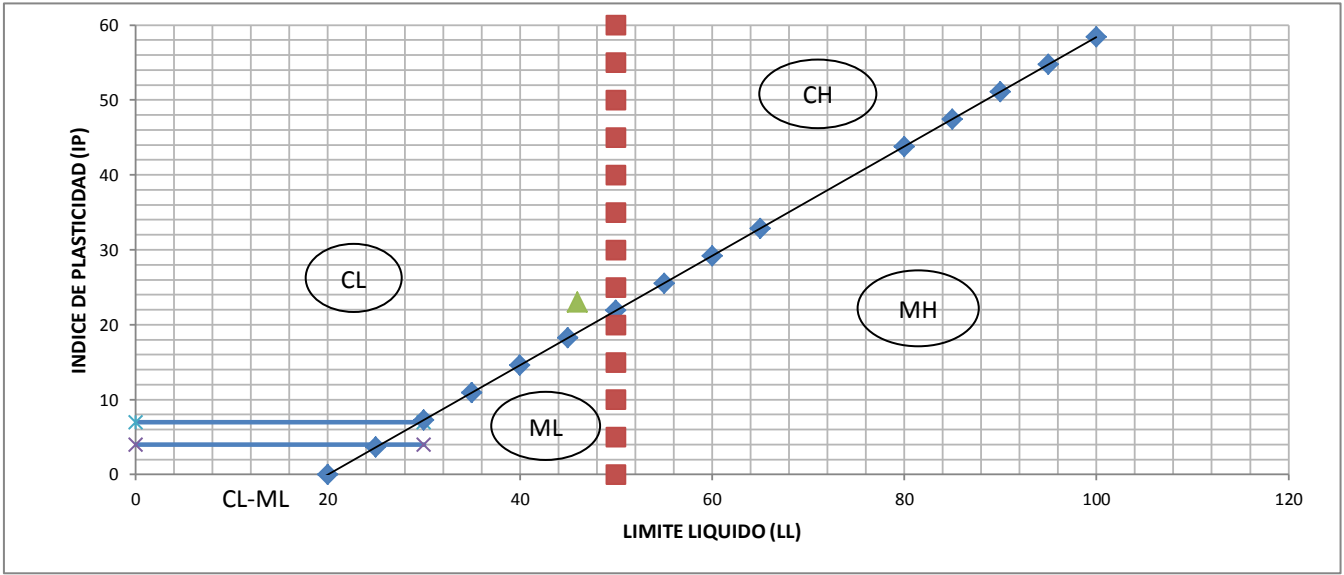
% Finos: 66,6

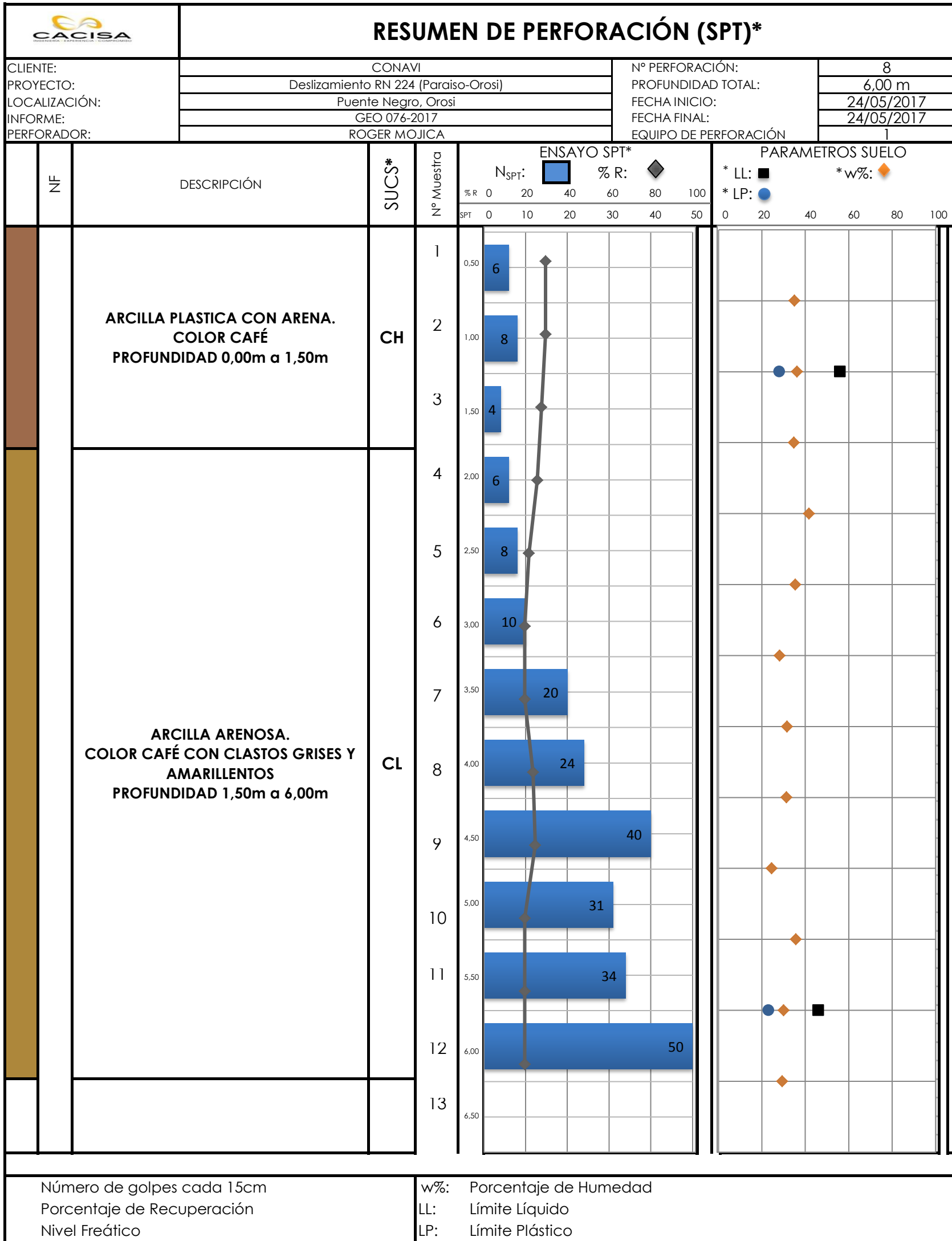
D₆₀:


D₁₀:

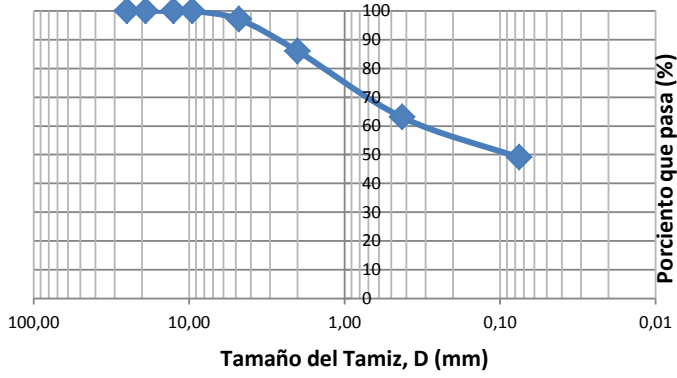
D₃₀:

C_c:

LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*			
LIMITE LIQUIDO (LL):	46	LIMITE PLÁSTICO (LP):	23
INDICE DE PLASTICIDAD (IP):	23	HUMEDAD EN SITIO (ω):	

CLASIFICACION (SUCS)*



 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*			
CLIENTE:	CONAVI	INFORME:	GEO 076-2017
SONDEO:	S-9	PROF (m):	0,00-1,50
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*			
Tamiz		Porcentaje Pasando (%)	
N°	mm		
1"	25,00	100	
3/4"	19,00	100	
1/2"	12,5	100	
3/8"	9,5	100	
N°4	4,75	97	
N°10	2,00	86	
N°40	0,425	63	
N°200	0,075	49	



% Grava: 3

% Arena: 48,0

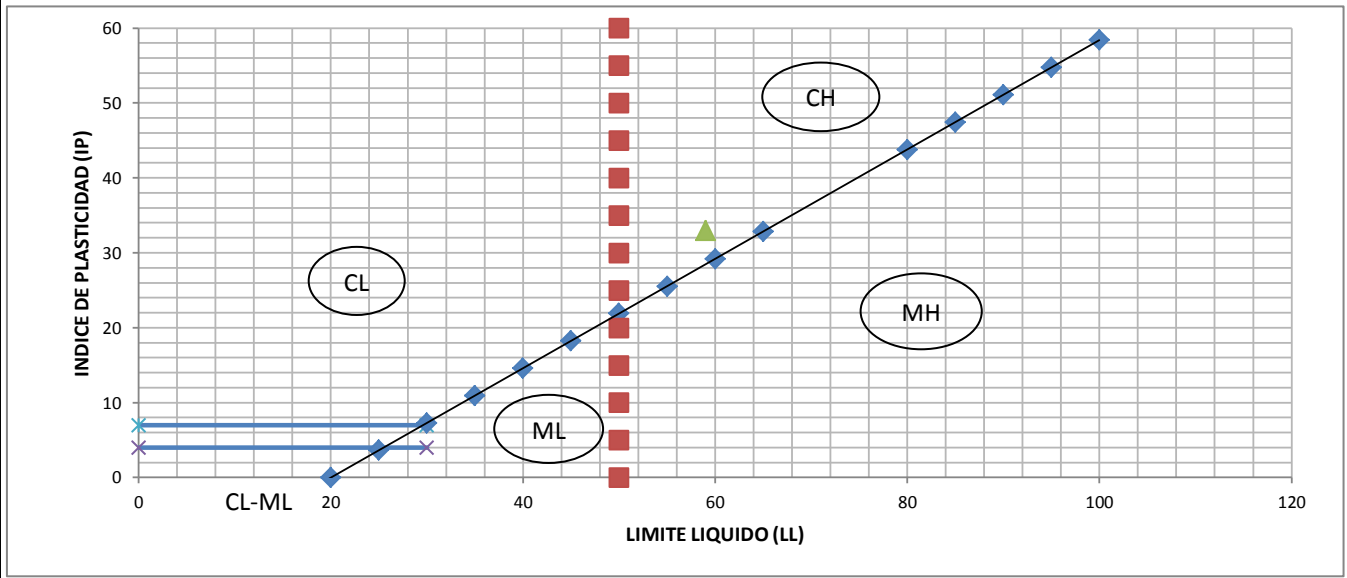
% Finos: 49

D₆₀:


D₁₀:

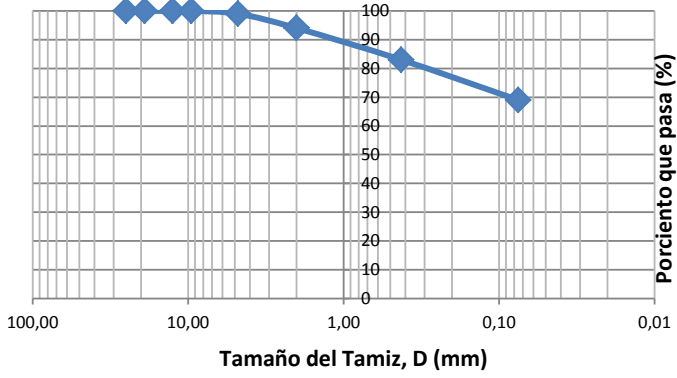
D₃₀:

C_c:

LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*			
LIMITE LIQUIDO (LL):	59	LIMITE PLÁSTICO (LP):	26
INDICE DE PLASTICIDAD (IP):	33	HUMEDAD EN SITIO (ω):	


CLASIFICACION (SUCS)*	
SIMBOLO:	SC
DESCRIPCIÓN:	Arena arcillosa
REALIZADO POR:	Giovanni Arguedas Morales
FECHA:	22 junio de 2017
* ENSAYO ACREDITADO ** ENSAYO NO ACREDITADO	

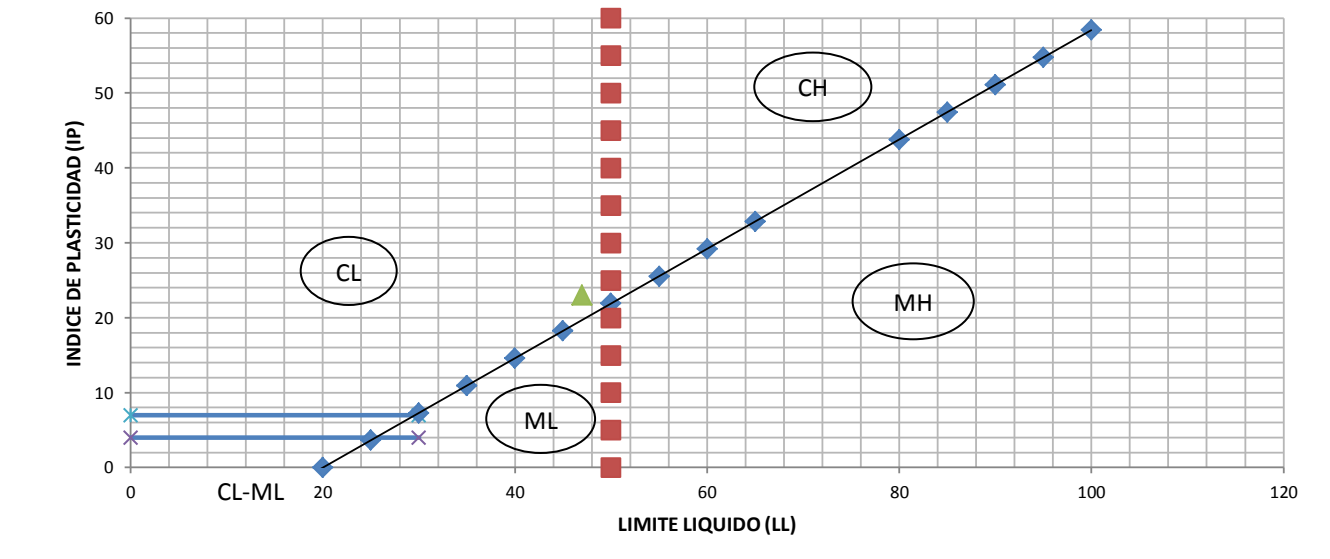
 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*			
CLIENTE:	CONAVI	INFORME:	GEO 076-2017
SONDEO:	S-9	PROF (m):	1,50-6,00
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*			
Tamiz		Porcentaje Pasando (%)	
N°	mm		
1"	25,00	100	
3/4"	19,00	100	
1/2"	12,5	100	
3/8"	9,5	100	
N°4	4,75	99	
N°10	2,00	94	
N°40	0,425	83	
N°200	0,075	69	



% Grava:	1	% Arena:	30,0	% Finos:	69
D ₆₀ :		D ₁₀ :		D ₃₀ :	
		C _c :	1,05		

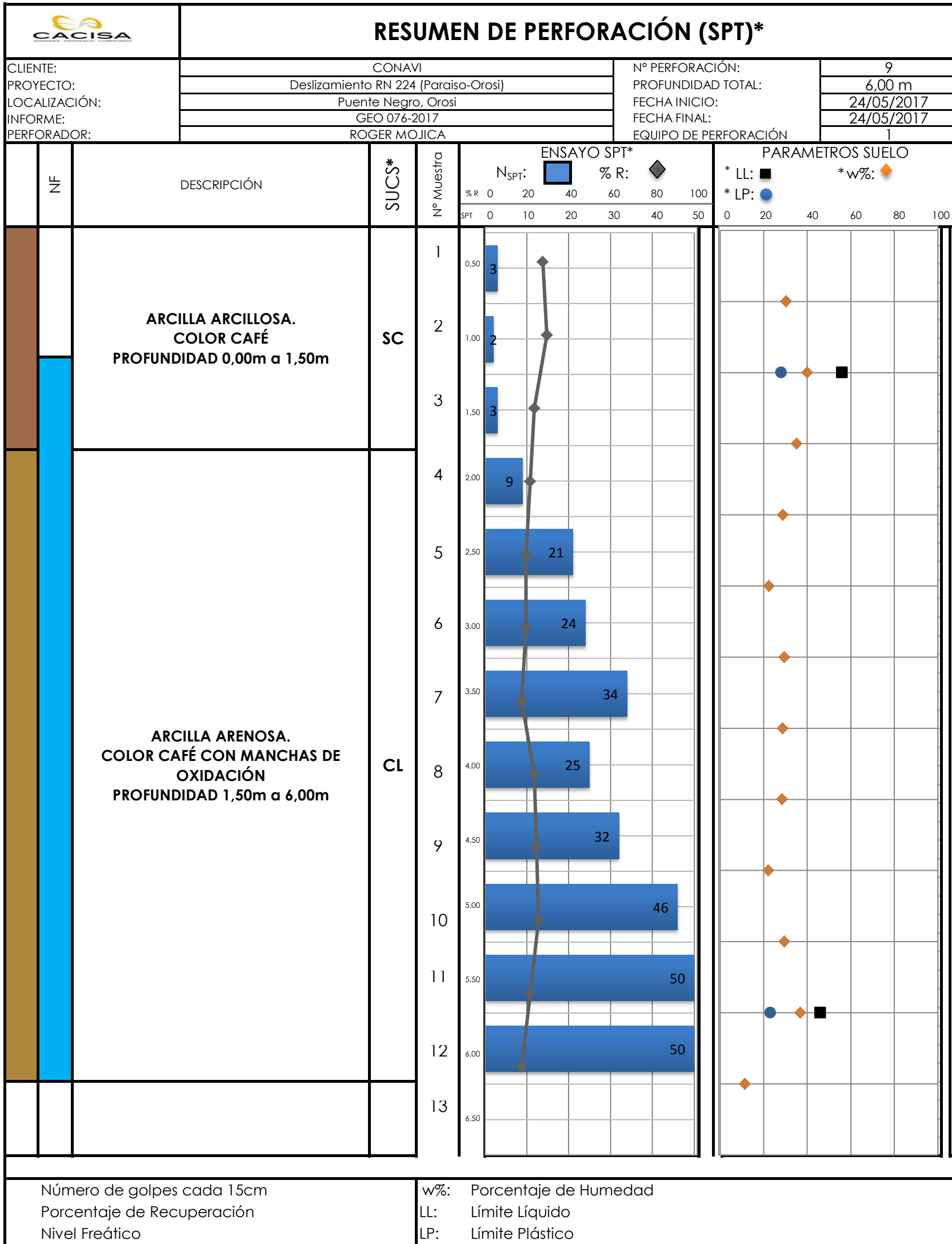
| **LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*** | | | | | |


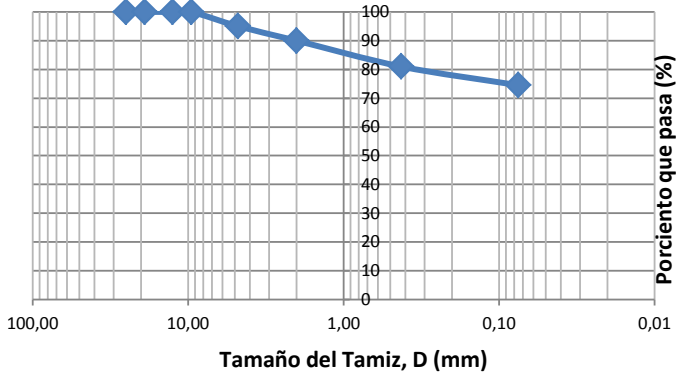
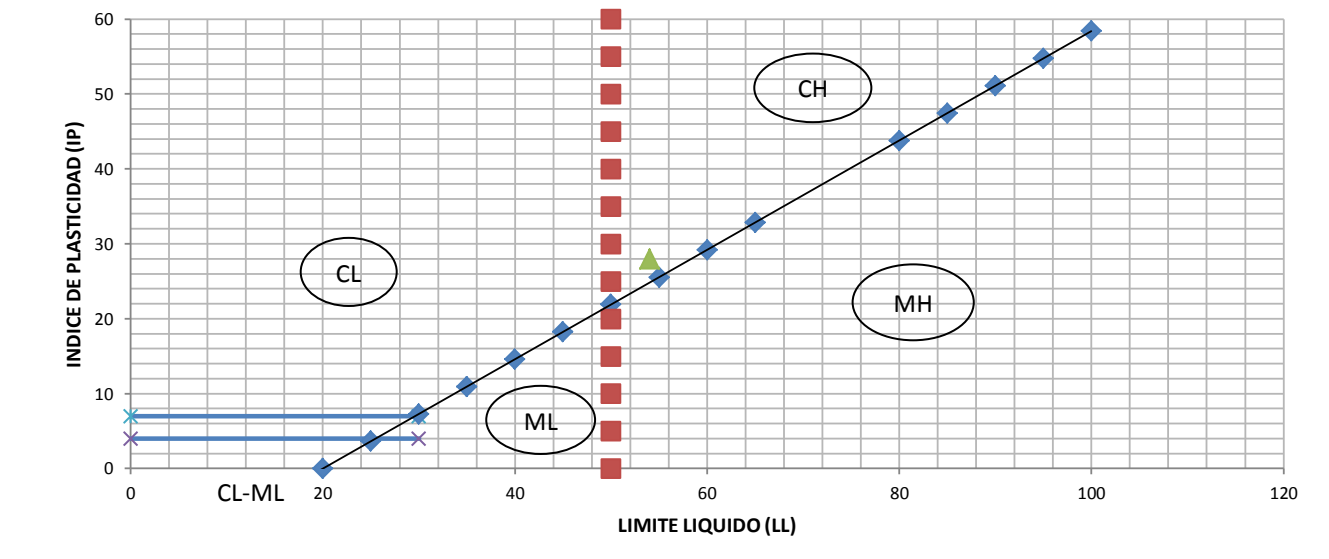
LIMITE LIQUIDO (LL):	47	LIMITE PLÁSTICO (LP):	24
INDICE DE PLASTICIDAD (IP):	23	HUMEDAD EN SITIO (ω):	


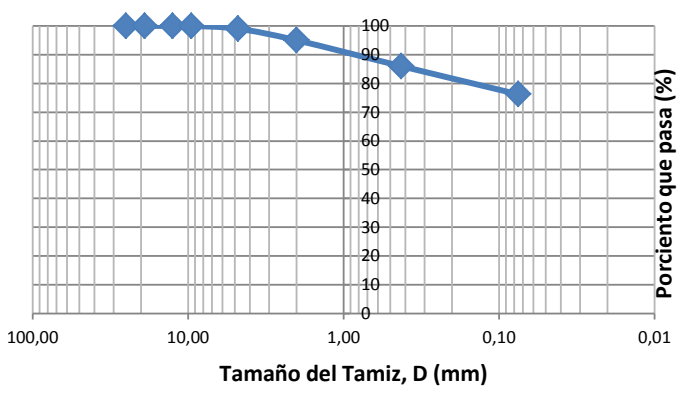
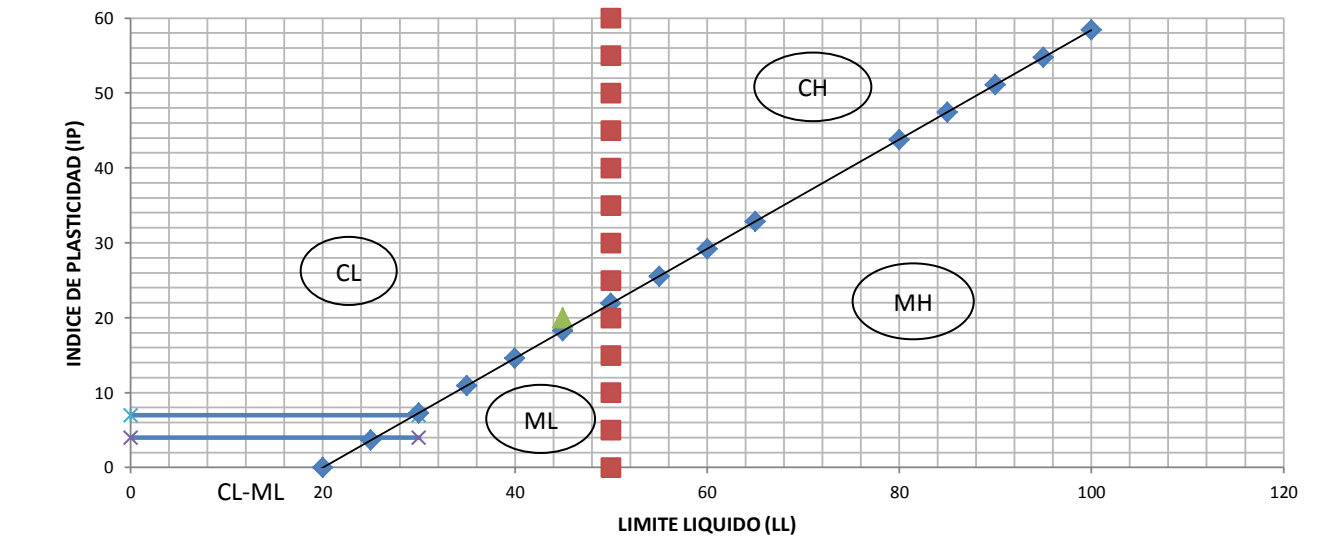


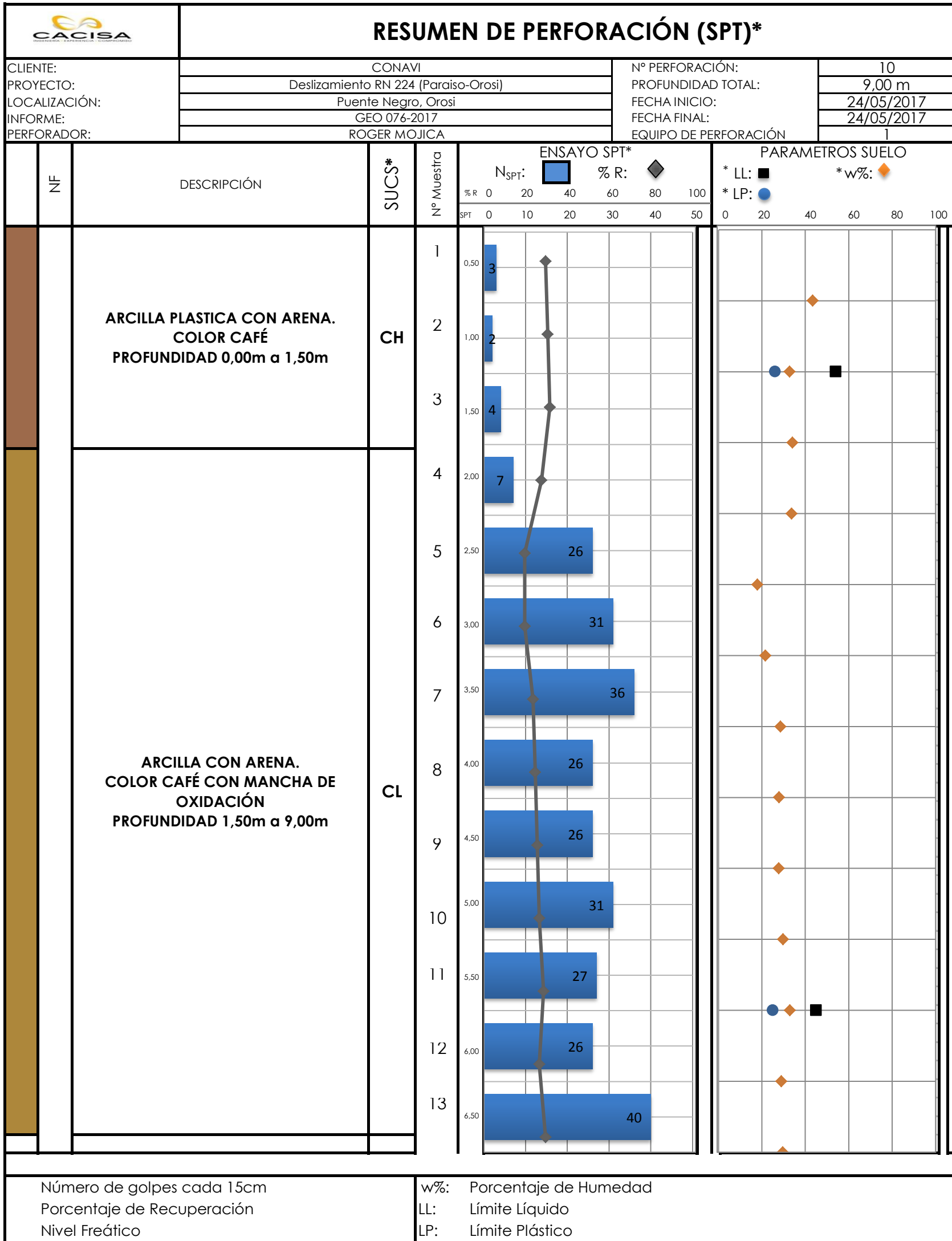
| **CLASIFICACION (SUCS)*** | | | |

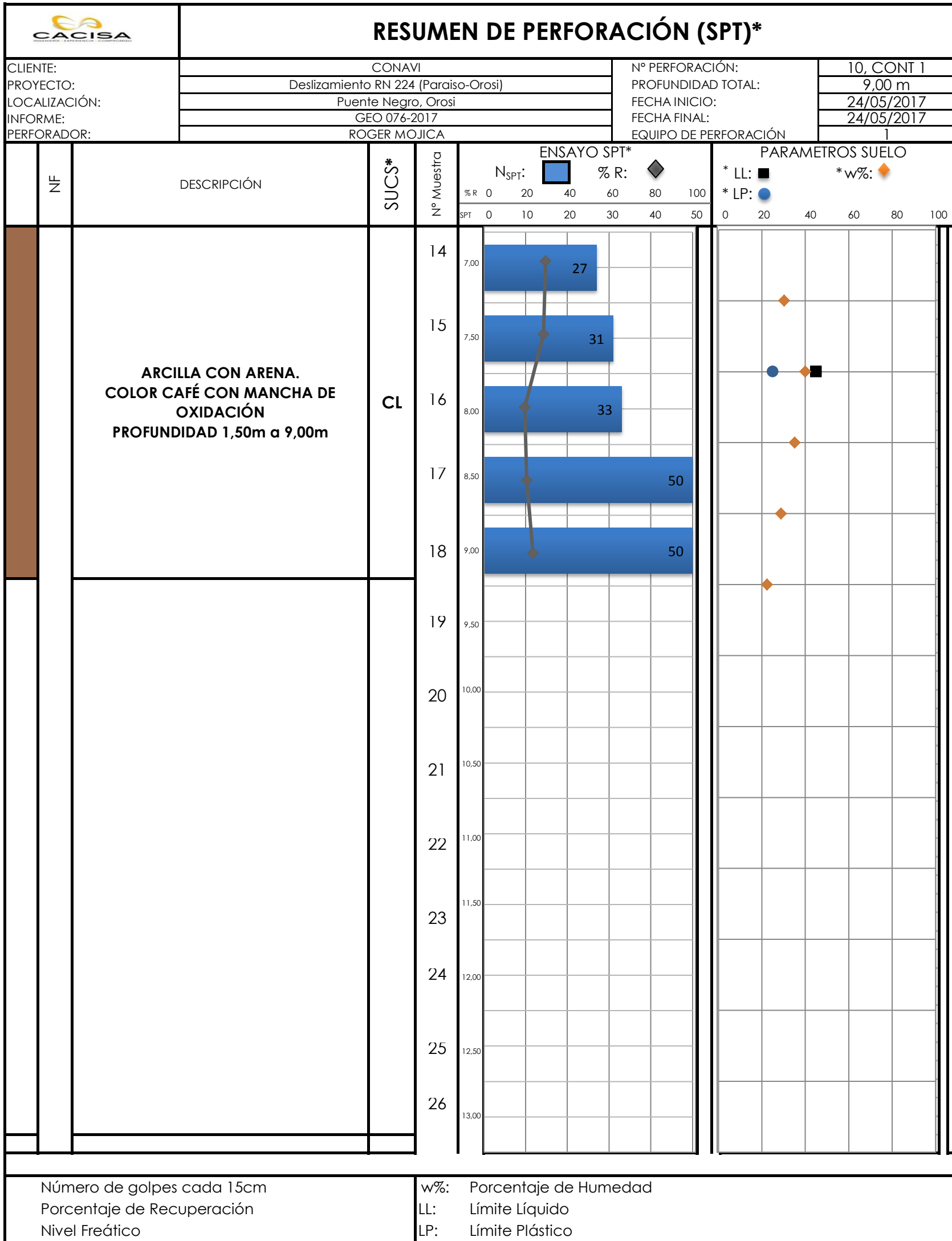
SIMBOLO:	CL	DESCRIPCIÓN:	Arcilla arenosa
REALIZADO POR:	Giovanni Arguedas Morales		Color café con manchas de oxidación
FECHA:	22 junio de 2017		* ENSAYO ACREDITADO ** ENSAYO NO ACREDITADO




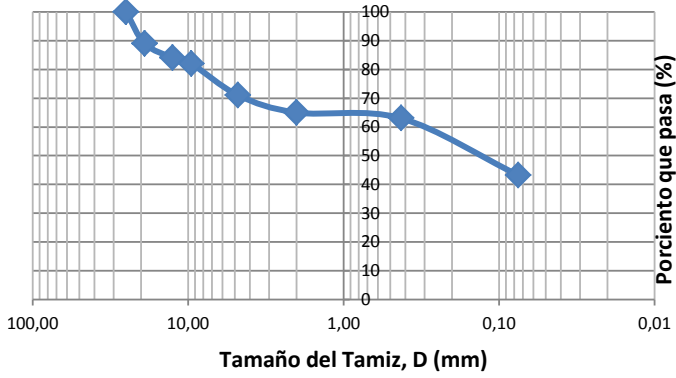
 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*																																	
CLIENTE:	CONAVI	INFORME:	GEO 076-2017																														
SONDEO:	S-10	PROF (m):	0,00-1,50																														
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="background-color: #add8e6;">Tamiz</th> <th style="background-color: #add8e6;">Porcentaje Pasando (%)</th> </tr> <tr> <th style="background-color: #add8e6;">N°</th> <th style="background-color: #add8e6;">mm</th> <th style="background-color: #add8e6;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1"</td><td>25,00</td><td>100</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>19,00</td><td>100</td></tr> <tr><td>1/2"</td><td>12,5</td><td>100</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9,5</td><td>100</td></tr> <tr><td>N°4</td><td>4,75</td><td>95</td></tr> <tr><td>N°10</td><td>2,00</td><td>90</td></tr> <tr><td>N°40</td><td>0,425</td><td>81</td></tr> <tr><td>N°200</td><td>0,075</td><td>74,5</td></tr> </tbody> </table>		Tamiz		Porcentaje Pasando (%)	N°	mm		1"	25,00	100	3/4"	19,00	100	1/2"	12,5	100	3/8"	9,5	100	N°4	4,75	95	N°10	2,00	90	N°40	0,425	81	N°200	0,075	74,5		
Tamiz		Porcentaje Pasando (%)																															
N°	mm																																
1"	25,00	100																															
3/4"	19,00	100																															
1/2"	12,5	100																															
3/8"	9,5	100																															
N°4	4,75	95																															
N°10	2,00	90																															
N°40	0,425	81																															
N°200	0,075	74,5																															
% Grava: 5		% Arena: 20,5																															
% Finos: 74,5																																	
D ₆₀ : 		D ₁₀ : 																															
D ₃₀ : 		C _c : 																															
LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*																																	
LIMITE LIQUIDO (LL): 54		LIMITE PLÁSTICO (LP): 26																															
INDICE DE PLASTICIDAD (IP): 28		HUMEDAD EN SITIO (ω): 																															
																																	
CLASIFICACION (SUCS)*																																	
SIMBOLO: CH		DESCRIPCIÓN: Arcilla plastia con arena																															
REALIZADO POR: Giovanni Arguedas Morales		Color café																															
FECHA: 22 junio de 2017		* ENSAYO ACREDITADO ** ENSAYO NO ACREDITADO																															

 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*																																
CLIENTE:	CONAVI	INFORME:	GEO 076-2017																													
SONDEO:	S-10	PROF (m):	1,50-9,00																													
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="background-color: #add8e6;">Tamiz</th> <th rowspan="2" style="background-color: #add8e6;">Porcentaje Pasando (%)</th> </tr> <tr> <th style="background-color: #add8e6;">N°</th> <th style="background-color: #add8e6;">mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1"</td><td>25,00</td><td>100</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>19,00</td><td>100</td></tr> <tr><td>1/2"</td><td>12,5</td><td>100</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9,5</td><td>100</td></tr> <tr><td>N°4</td><td>4,75</td><td>99</td></tr> <tr><td>N°10</td><td>2,00</td><td>95</td></tr> <tr><td>N°40</td><td>0,425</td><td>86</td></tr> <tr><td>N°200</td><td>0,075</td><td>76,2</td></tr> </tbody> </table>		Tamiz		Porcentaje Pasando (%)	N°	mm	1"	25,00	100	3/4"	19,00	100	1/2"	12,5	100	3/8"	9,5	100	N°4	4,75	99	N°10	2,00	95	N°40	0,425	86	N°200	0,075	76,2		
Tamiz		Porcentaje Pasando (%)																														
N°	mm																															
1"	25,00	100																														
3/4"	19,00	100																														
1/2"	12,5	100																														
3/8"	9,5	100																														
N°4	4,75	99																														
N°10	2,00	95																														
N°40	0,425	86																														
N°200	0,075	76,2																														
% Grava: 1		% Arena: 22,8																														
% Finos: 76,2																																
D ₆₀ : 		D ₁₀ : 																														
D ₃₀ : 		C _c : 																														
LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*																																
LIMITE LIQUIDO (LL): 45		LIMITE PLÁSTICO (LP): 25																														
INDICE DE PLASTICIDAD (IP): 20		HUMEDAD EN SITIO (ω): 																														
																																
CLASIFICACION (SUCS)*																																
SIMBOLO: CL		DESCRIPCIÓN: Arcilla con arena																														
REALIZADO POR: Giovanni Arguedas Morales		Color café con manchas de oxidación																														
FECHA: 22 junio de 2017		* ENSAYO ACREDITADO ** ENSAYO NO ACREDITADO																														





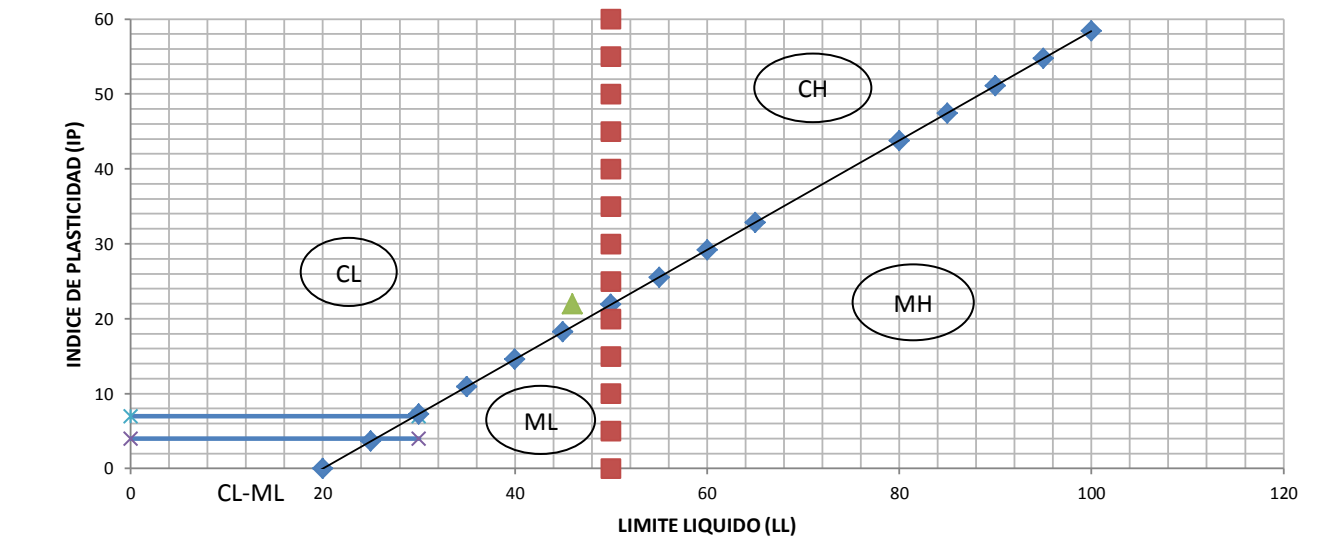
 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*			
CLIENTE:	CONAVI	INFORME:	GEO 076-2017
SONDEO:	S-11	PROF (m):	0,00-1,50
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*			
Tamiz		Porcentaje Pasando (%)	
N°	mm		
1"	25,00	100	
3/4"	19,00	89	
1/2"	12,5	84	
3/8"	9,5	82	
N°4	4,75	71	
N°10	2,00	65	
N°40	0,425	63	
N°200	0,075	43,2	



% Grava:	29	% Arena:	27,8	% Finos:	43,2
D ₆₀ :		D ₁₀ :		D ₃₀ :	
		C _c :	1,05		


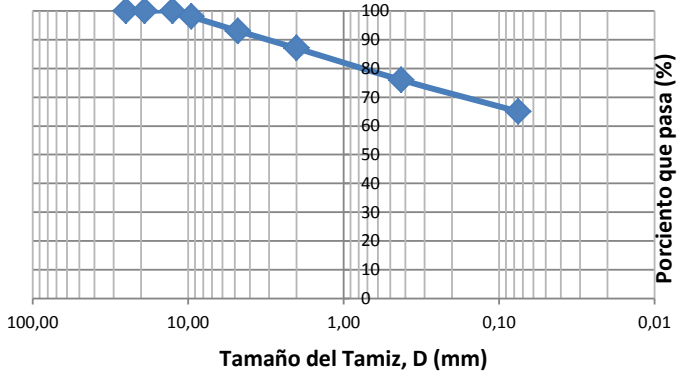
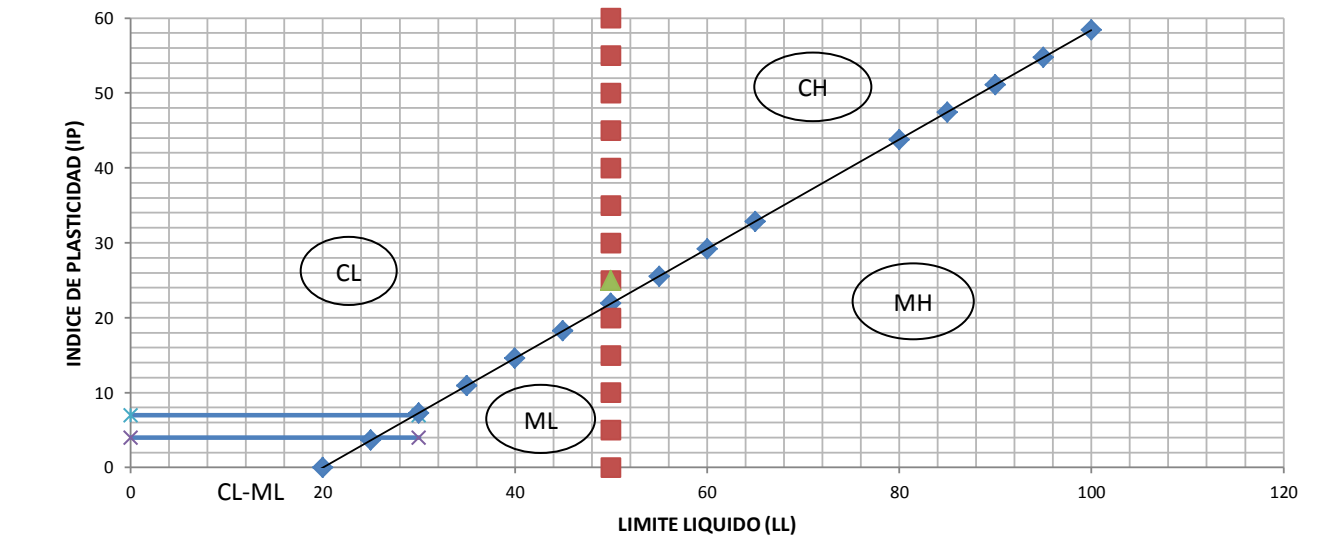
| **LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*** | | | | | |

LIMITE LIQUIDO (LL):	46	LIMITE PLÁSTICO (LP):	24
INDICE DE PLASTICIDAD (IP):	22	HUMEDAD EN SITIO (ω):	





| **CLASIFICACION (SUCS)*** | | | | | |

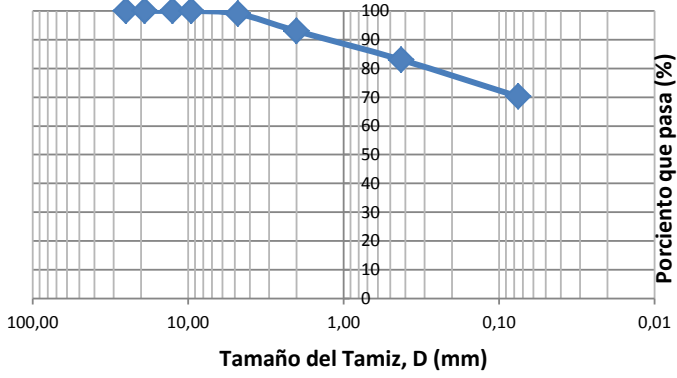
SIMBOLO:	CL	DESCRIPCIÓN:	Limo con arena
REALIZADO POR:	Giovanni Arguedas Morales		Color café amarillento
FECHA:	22 junio de 2017		<small>* ENSAYO ACREDITADO</small> <small>** ENSAYO NO ACREDITADO</small>

 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*						
CLIENTE:	CONAVI	INFORME:	GEO 076-2017			
SONDEO:	S-11	PROF (m):	1,50-4,50			
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*						
Tamiz						
N°	mm			Porcentaje Pasando (%)		
1"	25,00			100		
3/4"	19,00			100		
1/2"	12,5			100		
3/8"	9,5			98		
N°4	4,75			93		
N°10	2,00			87		
N°40	0,425			76		
N°200	0,075			65		
% Grava:		7	% Arena:	28,0	% Finos:	65
D ₆₀ :			D ₁₀ :		D ₃₀ :	
			C _c :			
LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*						
LIMITE LIQUIDO (LL):		50	LIMITE PLÁSTICO (LP):		25	
INDICE DE PLASTICIDAD (IP):		25	HUMEDAD EN SITIO (ω):			
						
CLASIFICACION (SUCS)*						
SIMBOLO:		CH	DESCRIPCIÓN:			
REALIZADO POR:		Giovanni Arguedas Morales		Arcilla plastica con arena		
FECHA:		22 junio de 2017		Color café con manchas de oxidación		
				* ENSAYO ACREDITADO		
				** ENSAYO NO ACREDITADO		

CACISA		REGISTRO DE PERFORACIÓN													
CLIENTE:		CONAVI					N° PERFORACIÓN:			S-11					
PROYECTO:		Deslizamiento RUTA 224, PARAISO - OROSI					PROFUNDIDAD TOTAL:			27,00 m					
LOCALIZACIÓN:		Ruta 224, Paraiso-Orosi, Sector Puente Negro					FECHA INICIO:			02/06/2017					
INFORME:		GEO-076-2017					FECHA FINAL:			04/06/2017					
PERFORADOR:		Marvin Montoya													
Litología	Nº	DESCRIPCIÓN	Método	Profundidad (m)	N _{SPT}	w	Rec	RQD	LL	IP	Clasificación SUCS	Grado de alteración			
		Material deluvial-coluvial constituido por bloques y fragmentos de materiales lávicos en una matriz de arcilla color café rojiza. Los fragmentos pueden ser centimétricos hasta métricos, los mayores fragmentos perforados son de 30cm, generalmente de lavas andesíticas e ignimbrita muy bien soldada.	SPT	0,00 - 0,50	8	20,7%	44%	-	47	14	CL	IV			
				0,50 - 1,00	9	25,8%	48%	-				IV			
				1,00 - 1,50	6	28,2%	52%	-				IV			
				1,50 - 2,00	7	30,0%	60%	-				IV			
			ROT	2,00 - 2,50	12	31,4%	58%	-	50	25	CH	IV			
				2,50 - 3,00	21	33,2%	60%	-				IV			
				3,00 - 3,50	25	32,8%	58%	-				IV			
				3,50 - 4,00	31	28,2%	40%	-				IV			
				4,00 - 4,55	50	14,3%	48%	-				IV			
				4,55 - 5,85	-	-	18%	-				-	-	-	IV
				5,85 - 7,15	-	-	22%	-							IV
				7,15 - 8,45	-	-	61%	-							IV
			8,45 - 9,75	-	-	40%	-	IV							
			9,75 - 11,05	-	-	15%	-	IV							
				11,05 - 12,35	-	-	58%	-	IV						
		Conglomerado brechoso muy alterado. Colores rojizos y café.	ROT	12,35 - 13,65	-	-	92%	50%	-	-	-	V-III			

			REGISTRO DE PERFORACIÓN									
CLIENTE:			CONAVI				N° PERFORACIÓN:		S-11, CONT 1			
PROYECTO:			Deslizamiento RUTA 224, PARAISO - OROSI				PROFUNDIDAD TOTAL:		27,00 m			
LOCALIZACIÓN:			Ruta 224, Paraiso-Orosi, Sector Puente Negro				FECHA INICIO:		02/06/2017			
INFORME:			GEO-076-2017				FECHA FINAL:		04/06/2017			
PERFORADOR:			Marvin Montoya									
Litología	N°	DESCRIPCIÓN	Método	Profundidad (m)	N _{SPT}	w	Rec	RQD	LL	IP	Clasificación SUCS	Grado de alteración
		Conglomerado brechoso en el cual se observan evidencia de sedimentación terrígena en un ambiente con fuerte influencia volcánica, principalmente en los 3,00 m superiores del intervalo. Se observa dos sistemas de grietas uno de 90-80 grados y otro de 50-60 grados, en las grietas se observa mineralización secundaria de calcita en la mayoría rellanos con arcilla café.	ROT	13,65 - 14,95	-	-	100%	96%				II
				14,95 - 16,25	-	-	100%	77%				II
				16,25 - 17,55	-	-	100%	69%				II
				17,55 - 18,85	-	-	100%	56%				II-III
				18,85 - 20,15	-	-	100%	76%				II-III
				20,15 - 21,67	-	-	100%	55%				II
				21,67 - 23,19	-	-	67%	21%				III-IV
				23,19 - 24,71	-	-	100%	59%				III-IV
				24,71 - 26,23	-	-	88%	29%				III-IV
				26,23 - 27,00	-	-	60%	31%				III-IV

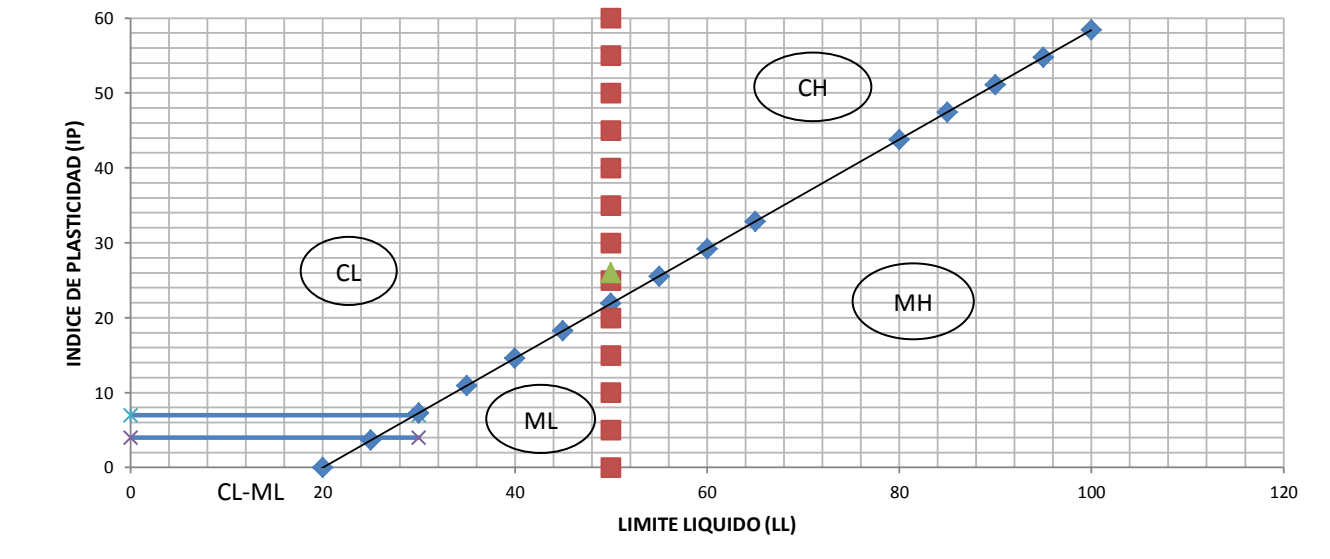
 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*			
CLIENTE:	CONAVI	INFORME:	GEO 076-2017
SONDEO:	S-12	PROF (m):	0,00-2,00
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*			
Tamiz		Porcentaje Pasando (%)	
N°	mm		
1"	25,00	100	
3/4"	19,00	100	
1/2"	12,5	100	
3/8"	9,5	100	
N°4	4,75	99	
N°10	2,00	93	
N°40	0,425	83	
N°200	0,075	70,2	



% Grava:	1	% Arena:	28,8	% Finos:	70,2
D ₆₀ :		D ₁₀ :		D ₃₀ :	
		C _c :	1,05		

| **LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*** | | | | | |


LIMITE LIQUIDO (LL):	50	LIMITE PLÁSTICO (LP):	24
INDICE DE PLASTICIDAD (IP):	26	HUMEDAD EN SITIO (ω):	

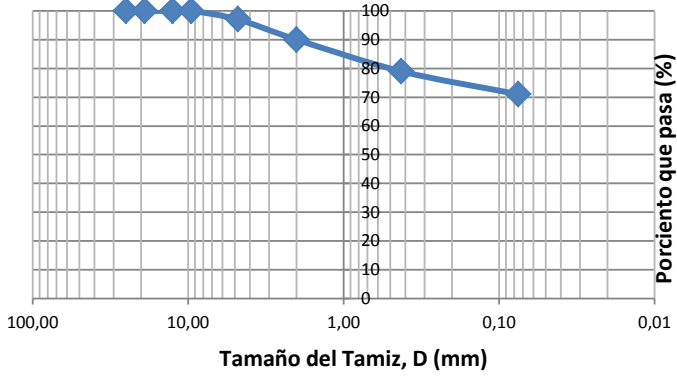


| **CLASIFICACION (SUCS)*** | | | |

SIMBOLO:	CH	DESCRIPCIÓN:	Arcilla plastica con arena
REALIZADO POR:	Giovanni Arguedas Morales		Café amarillento
FECHA:	22 junio de 2017		

* ENSAYO ACREDITADO
** ENSAYO NO ACREDITADO

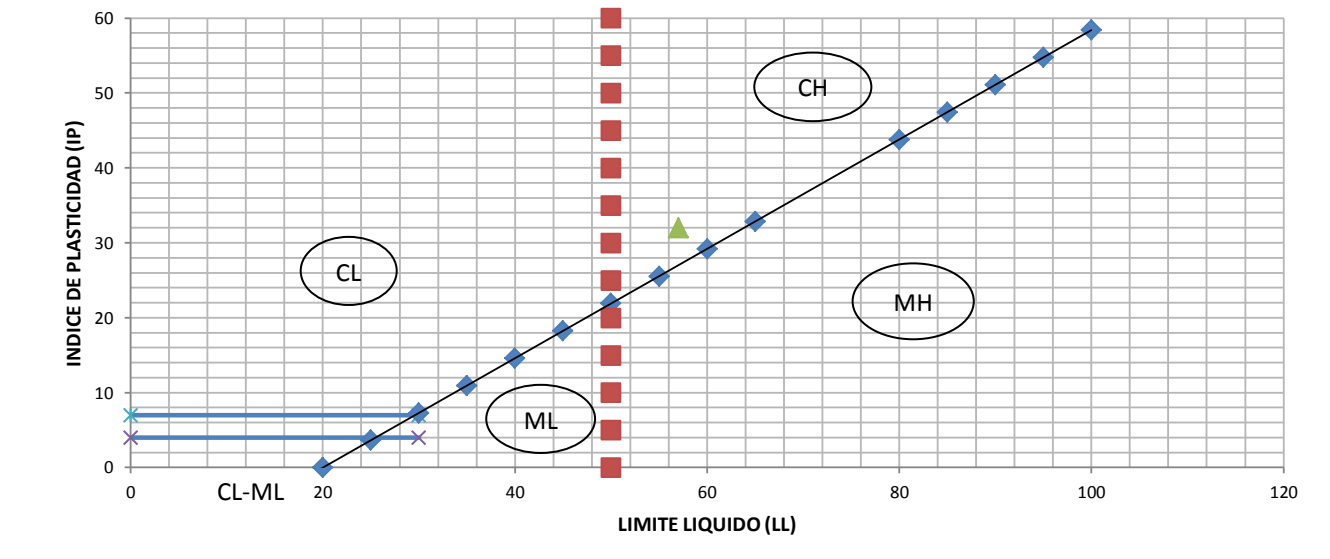
 CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)*			
CLIENTE:	CONAVI	INFORME:	GEO 076-2017
SONDEO:	S-12	PROF (m):	2,00-4,50
GRANULOMETRIA: AASHTO T-27/11*			
Tamiz		Porcentaje Pasando (%)	
N°	mm		
1"	25,00	100	
3/4"	19,00	100	
1/2"	12,5	100	
3/8"	9,5	100	
N°4	4,75	97	
N°10	2,00	90	
N°40	0,425	79	
N°200	0,075	71	



% Grava:	3	% Arena:	26,0	% Finos:	71
D ₆₀ :		D ₁₀ :		D ₃₀ :	
		C _c :	1,05		


| **LIMITES DE ATTERBERG: AASHTO T-89/90*** | | | | | |






LIMITE LIQUIDO (LL):	57	LIMITE PLÁSTICO (LP):	25
INDICE DE PLASTICIDAD (IP):	32	HUMEDAD EN SITIO (ω):	



| **CLASIFICACION (SUCS)*** | | | |

SIMBOLO:	CH	DESCRIPCIÓN:	Arcilla plastica con arena
REALIZADO POR:	Giovanni Arguedas Morales		Color café con manchas de oxidación
FECHA:	22 junio de 2017		<small>* ENSAYO ACREDITADO</small> <small>** ENSAYO NO ACREDITADO</small>

		REGISTRO DE PERFORACIÓN										
CLIENTE:		CONAVI					N° PERFORACIÓN:			S-12		
PROYECTO:		Deslizamiento RUTA 224, PARAISO - OROSI					PROFUNDIDAD TOTAL:			15,60 m		
LOCALIZACIÓN:		Ruta 224, Paraiso-Orosi, Sector Puente Negro					FECHA INICIO:			04/06/2017		
INFORME:		GEO-076-2017					FECHA FINAL:			05/06/2017		
PERFORADOR:		Marvin Montoya										
Litología	Nº	DESCRIPCIÓN	Método	Profundidad (m)	N _{SPT}	w	Rec	RQD	LL	IP	Clasificación SUCS	Grado de alteración
		Material deluvial-coluvial constituido por bloques y fragmentos de materiales lávicos en una matriz de arcilla color café rojiza. Los fragmentos pueden ser centimétricos hasta métricos, los mayores fragmentos perforados son de 30cm, generalmente de lavas andesíticas e ignimbrita muy bien soldada.	SPT	0,00 - 0,50	5	32,7%	50%	-	50	26	CL	IV
				0,50 - 1,00	6	44,4%	52%	-				IV
				1,00 - 1,50	4	38,7%	72%	-				IV
				1,50 - 2,00	13	37,7%	50%	-				IV
				2,00 - 2,50	16	34,6%	40%	-	50	25	CH	IV
				2,50 - 3,00	27	-	0%	-				IV
				3,00 - 3,50	33	-	0%	-				IV
				3,50 - 4,00	50	35,6%	52%	-				IV
				4,00 - 4,50	50	35,5%	54%	-				IV
			ROT	4,50 - 5,25	-	-	65%	-	-	-	-	IV
				5,25 - 6,75	-	-	66%	-				IV
				6,75 - 8,20	-	-	35%	-				IV
				8,20 - 9,60	-	-	34%	-				IV
	conglomerado brechoso muy alterado	ROT	9,60 - 11,00	-	-	32%	-				IV	
			11,00 - 12,40	-	-	34%	-				IV	
			12,40 - 13,60	-	-	50%	-				V-III	
		Conglomerado brechoso sano y compacto (posible Ignimbrita) se observa un sistema de grietas a 70 grados con mineralización secundaria de calcita.	ROT	13,60 - 14,10	-	-	100%	58%	-	-	-	II
				14,10 - 15,60	-	-	100%	93%				II

		REGISTRO DE PERFORACIÓN										
CLIENTE:		CONAVI					N° PERFORACIÓN:		S-13			
PROYECTO:		Deslizamiento RUTA 224, PARAISO - OROSI					PROFUNDIDAD TOTAL:		13,40 m			
LOCALIZACIÓN:		Ruta 224, Paraiso-Orosi, Sector Puente Negro					FECHA INICIO:		05/06/2017			
INFORME:		GEO-076-2017					FECHA FINAL:		06/06/2017			
PERFORADOR:		Marvin Montoya										
Litología	Nº	DESCRIPCIÓN	Método	Profundidad (m)	N _{SPT}	w	Rec	RQD	LL	IP	Clasificación SUCS	Grado de alteración
		Material deluvial-coluvial constituido por bloques y fragmentos de materiales lávicos en una matriz de arcilla color café rojiza. Los fragmentos pueden ser centimétricos hasta métricos, los mayores fragmentos perforados son de 30cm, generalmente de lavas andesíticas e ignimbrita muy bien soldada.	ROT	0,00 - 0,50	-	-	7%	-	-	-	-	IV
				0,50 - 1,00	-	-		-				IV
				1,00 - 1,50	-	-		-				IV
				1,50 - 2,00	-	-		-				IV
				2,00 - 2,50	-	-		-				IV
				2,50 - 3,00	-	-		-				IV
				3,00 - 3,50	-	-		-				IV
				3,50 - 4,00	-	-		-				IV
				4,00 - 4,50	-	-		-				IV
				4,50 - 5,90	-	-	35%	-				IV
				5,90 - 6,20	-	-	10%	-				IV
				6,20 - 8,50	-	-	30%	-				IV
				8,50 - 9,80	-	-	63%	-				IV
		Conglomerado brechoso muy alterado	ROT	9,80 - 11,10	-	-	24%	-	-	-	-	IV
	Ignimbrita soldada o material lávico conglomerático. La roca es compacta y dura, se observa ocasionalmente sistemas de grietas a 60-70 grados cerradas y con mineralización secundaria de calcita.	ROT	11,10 - 12,40	-	-	33%	18%	VI-V				
			12,40 - 13,40	-	-	77%	8%	V				

* ENSAYO ACREDITADO, Ver alcance en www.eca.or.cr

** ENSAYO NO ACREDITADO

APROBACIÓN DE INFORME DE ENSAYO

Ing. Domingo E. Delgado Martínez, Ph.D.

Gerente de Geotecnia

ANEXO 2-5: RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE ROCA

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE ROCA (ASTM D7012)

Sondeo	Prof. (m)	Altura extraído (cm)	Altura cortada (cm)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Relación (L/D)	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
S-11	9,50	23,00	9,20	4,60	16,61	2,00	6 371,05	394,23
S-11	13,50	15,00	9,20	4,60	16,61	2,00	10 815,49	669,25
S-11	17,00	21,00	9,30	4,60	16,61	2,02	9 887,87	611,85
S-11	20,30	19,00	9,20	4,60	16,61	2,00	11 111,11	687,54
S-11	24,50	22,00	9,20	4,60	16,61	2,00	7 553,51	467,40
S-12	13,60	14,00	9,80	4,60	16,61	2,13	9 174,34	567,69
S-12	14,60	16,00	9,30	4,60	16,61	2,02	10 224,24	632,66



Fotografía A2-5-1. Núcleo: S-11 (Prof. 9,50 m)



Fotografía A2-5-2. Falla de núcleo: S-11 (Prof. 9,50 m)



Fotografía A2-5-3. Núcleo S-11: (Prof. 13,50 m)



Fotografía A2-5-4. Falla de núcleo S-11: (Prof. 13,50 m)



Fotografía A2-5-5. Núcleo: S-11 (Prof. 17,00 m)



Fotografía A2-5-6. Falla de núcleo: S-11 (Prof. 17,00 m)



Fotografía A2-5-7. Núcleo S-11: (Prof. 20,30 m)



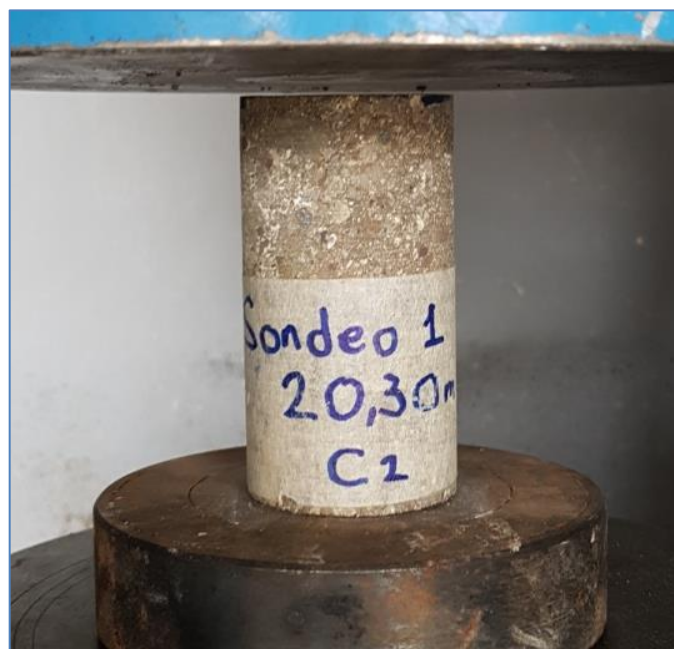
Fotografía A2-5-8. Falla de núcleo S-11: (Prof. 20,30 m)



Fotografía A2-5-5. Núcleo: S-11 (Prof. 17,00 m)



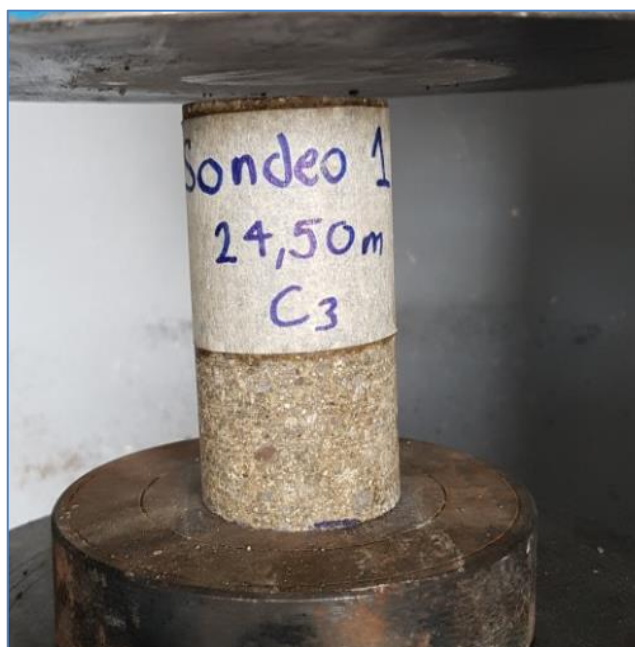
Fotografía A2-5-6. Falla de núcleo: S-11 (Prof. 17,00 m)



Fotografía A2-5-7. Núcleo S-11: (Prof. 20,30 m)



Fotografía A2-5-8. Falla de núcleo S-11: (Prof. 20,30 m)



Fotografía A2-5-9. Núcleo: S-11 (Prof. 24,50 m)



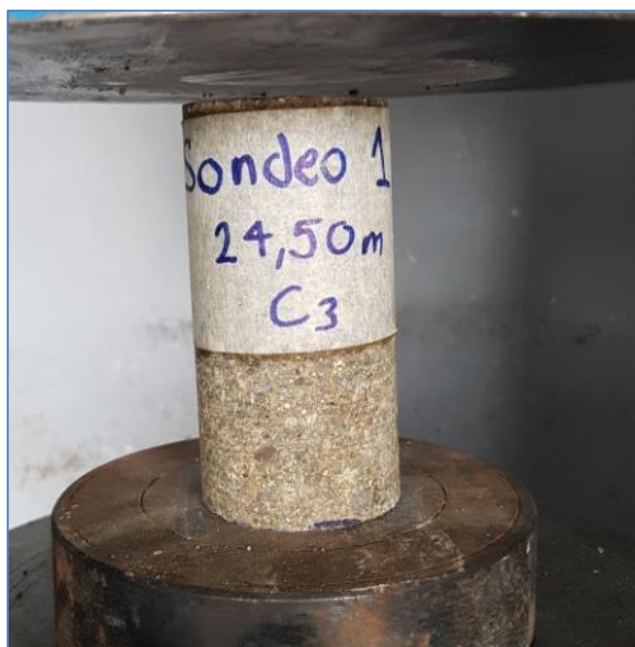
Fotografía A2-5-10. Falla de núcleo: S-11 (Prof. 24,50 m)



Fotografía A2-5-11. Núcleo S-12: (Prof. 13,60 m)



Fotografía A2-5-12. Falla de núcleo S-12: (Prof. 13,60 m)



Fotografía A2-5-9. Núcleo: S-11 (Prof. 24,50 m)



Fotografía A2-5-10. Falla de núcleo: S-11 (Prof. 24,50 m)



Fotografía A2-5-11. Núcleo S-12: (Prof. 13,60 m)



Fotografía A2-5-12. Falla de núcleo S-12: (Prof. 13,60 m)



Fotografía A2-5-13. Núcleo S-12: (Prof. 14,60 m)



Fotografía A2-5-14. Núcleo S-12: (Prof. 14,60 m)

ANEXO 2-6: PERFILES GEOFÍSICOS

A continuación se presenta la tomografía eléctrica 01 realizada con 42 pines colocados cada 2 metros hasta cubrir una distancia de 82 metros. En las Figuras A2-6-1 y A2-6-2, se exponen los datos de las tomografías eléctricas con los cálculos de la conversión matemática mediante los algoritmos de Jacobianos convolutivos y mínimos cuadrados para los residuos de las isoresistividades aparentes y transformadas en resistividades verdaderas y su modelo de multicapas eléctricas, que asemejan el medio litológico de esta área.

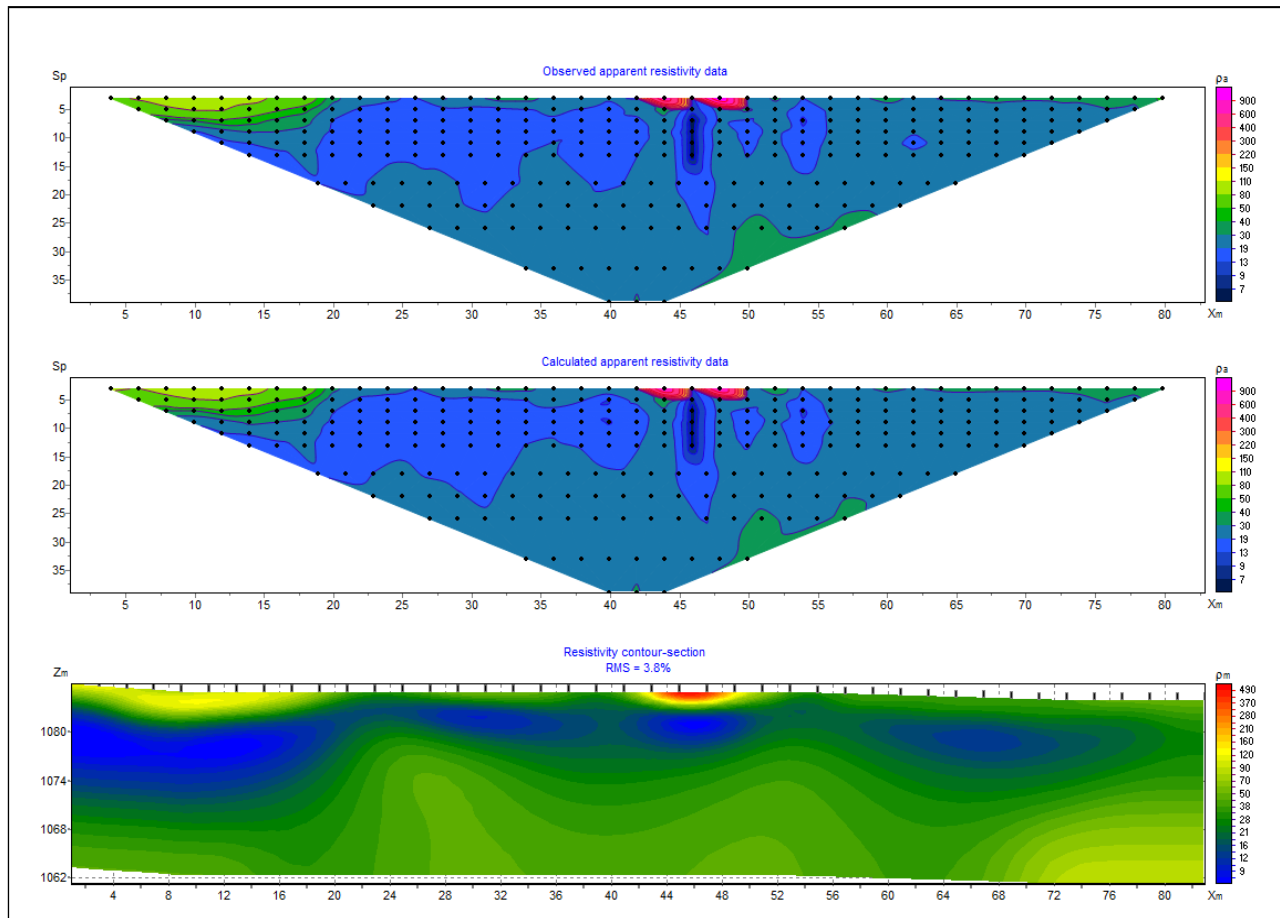


Figura A2-6-1. Tomografía 01 Deslizamiento Ruta 224 Paraíso-Orosi

A continuación se presenta la tomografía eléctrica 02 con 42 pines colocados cada 3 metros hasta cubrir una distancia de 123 m. En las Figuras A2-6-3 y A2-6-4, se exponen los datos de las tomografías eléctricas con los cálculos de la conversión matemática mediante los algoritmos de Jacobianos convolutivos y mínimos cuadrados para los residuos de las isoresistividades aparentes y transformadas en resistividades verdaderas y su modelo de multicapas eléctricas, que asemejan el medio litológico de esta área.

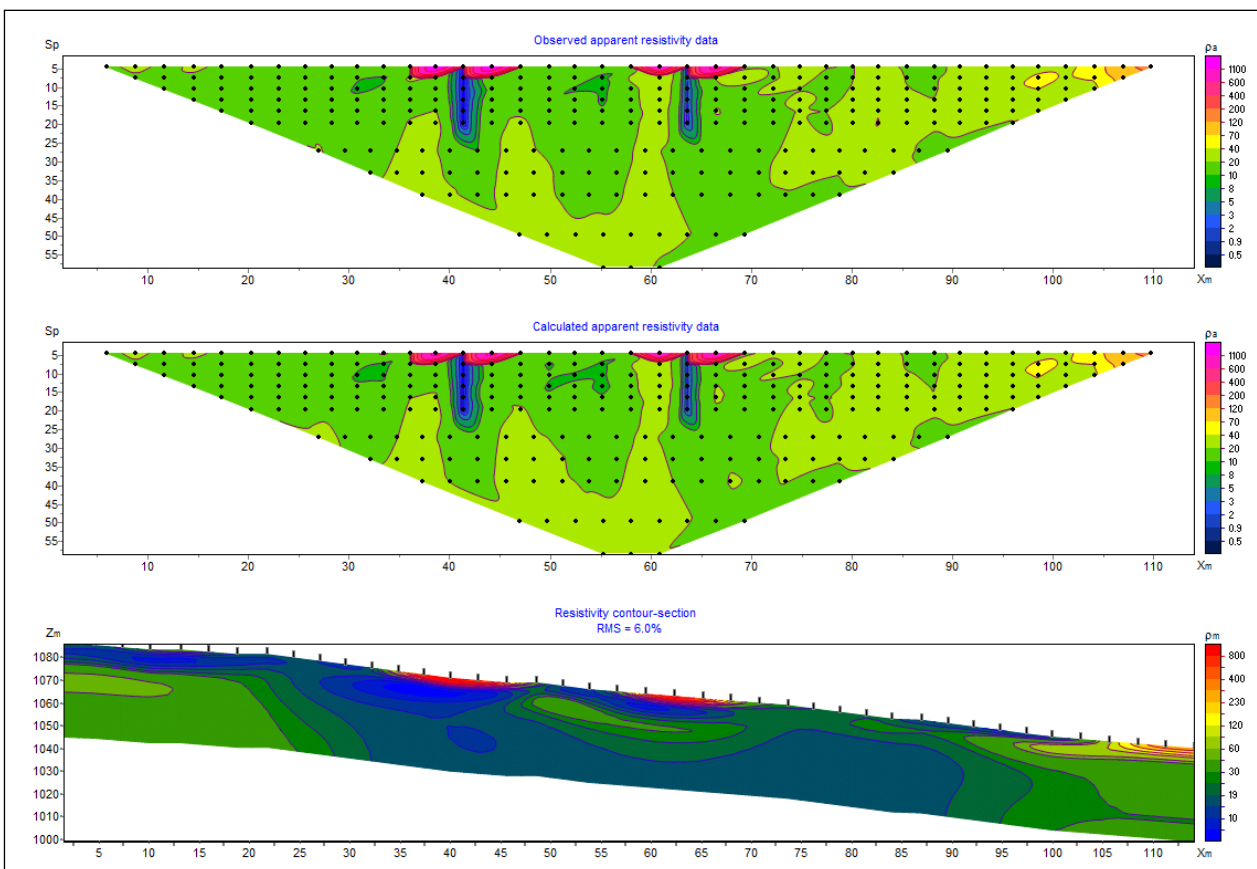


Figura A2-6-3. Tomografía 02 Deslizamiento Ruta 224 Paraíso-Orosi

Se observa las formas tabulares y las formas verticales, que son por las variaciones laterales de las litologías encontradas, demostradas por los rangos de las resistividades.

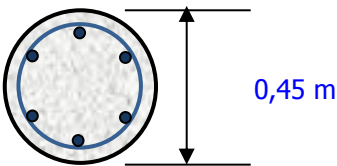
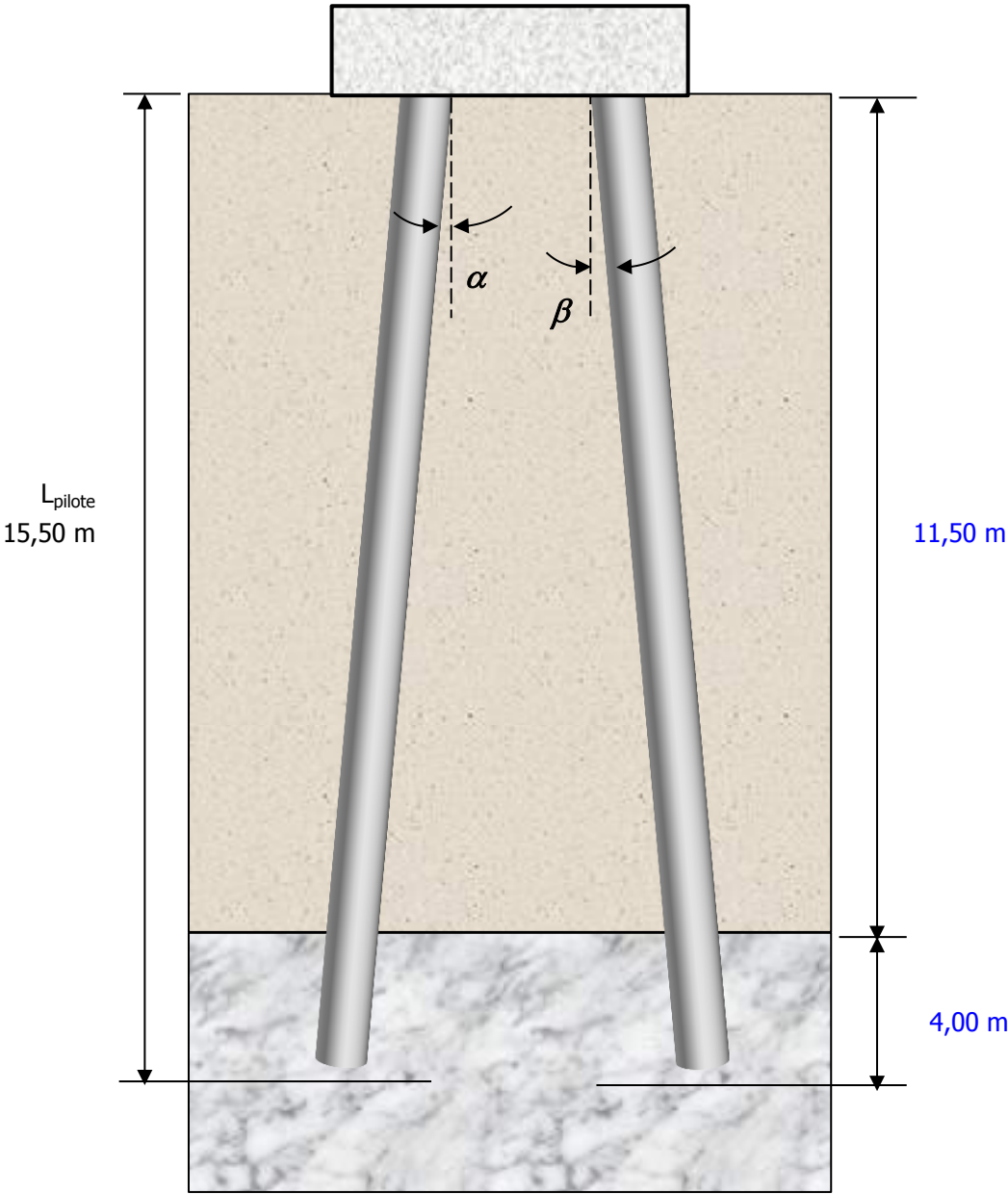
ANEXO 3-1: DISEÑO GEOTÉCNICO DEL PILOTE

Proyecto: Hundimiento RN-224

Fecha: 28/06/2017

Contenido: Capacidades de carga axial del pilote *D=45cm*

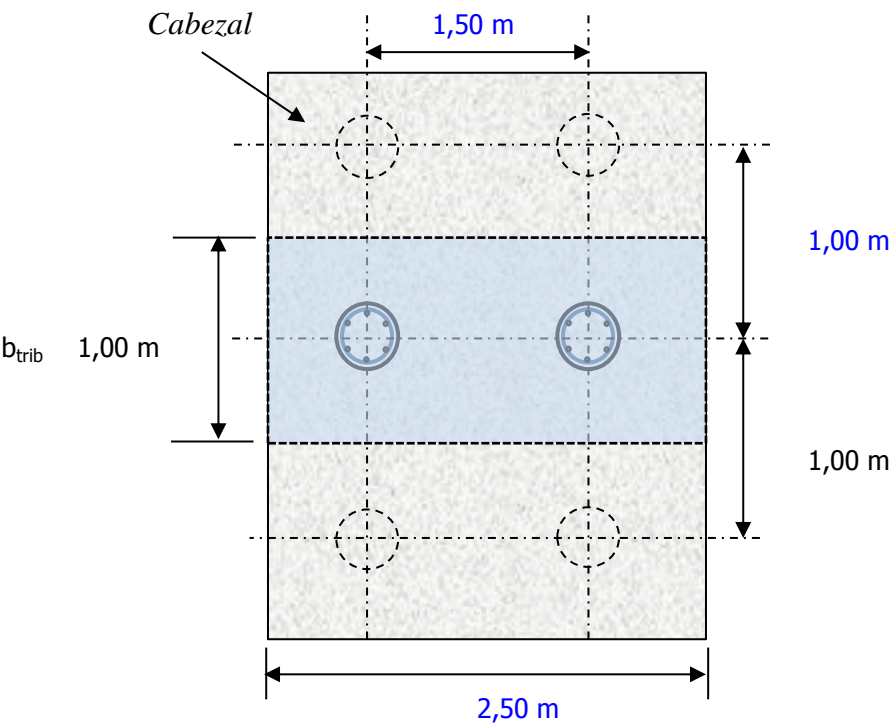
Diseño: Ing. Ronald Jiménez Castro



A	1590	cm ²
A _f	219126	cm ²
	21,91	m ²
I	201289	cm ⁴
α	8°	
β	2°	

Capa 2B Roca (RQD entre 70% y 100%)

q _u	40000	kPa
	4000	Ton/m ²
H _s	4,00	m
τ_a	300,0	kPa
	30,0	Ton/m ²
q' _t	31696	kPa
	3170	Ton/m ²



Capa 2B

Q _{fricción}	169,6	Ton
Q _{punta}	504,1	Ton
	168	Ton
	1680	kN

Capacidad del pilote compresión

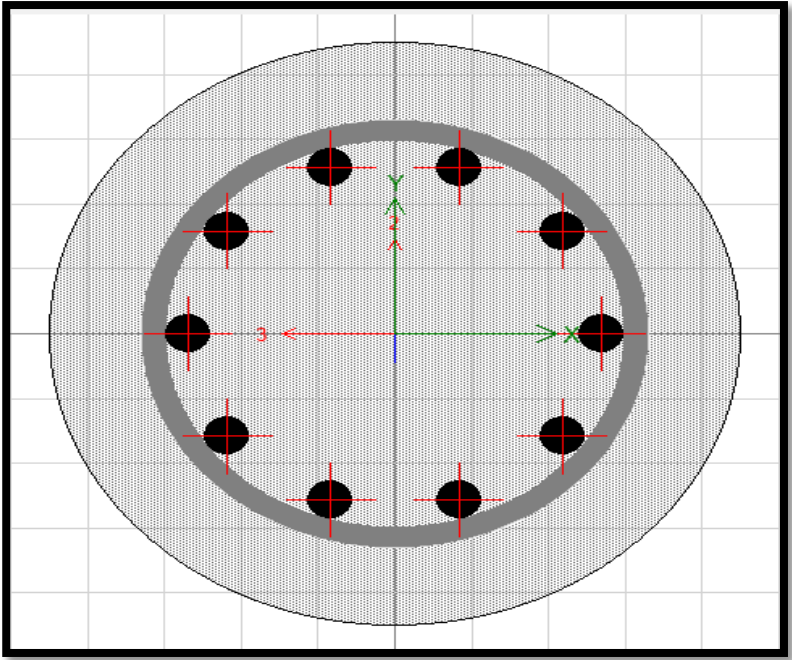
Q _{U,c}	673,7	Ton	No considera aporte de la arcilla
Q _{trabajo,c}	303,2	Ton	

Capacidad del pilote a extracción

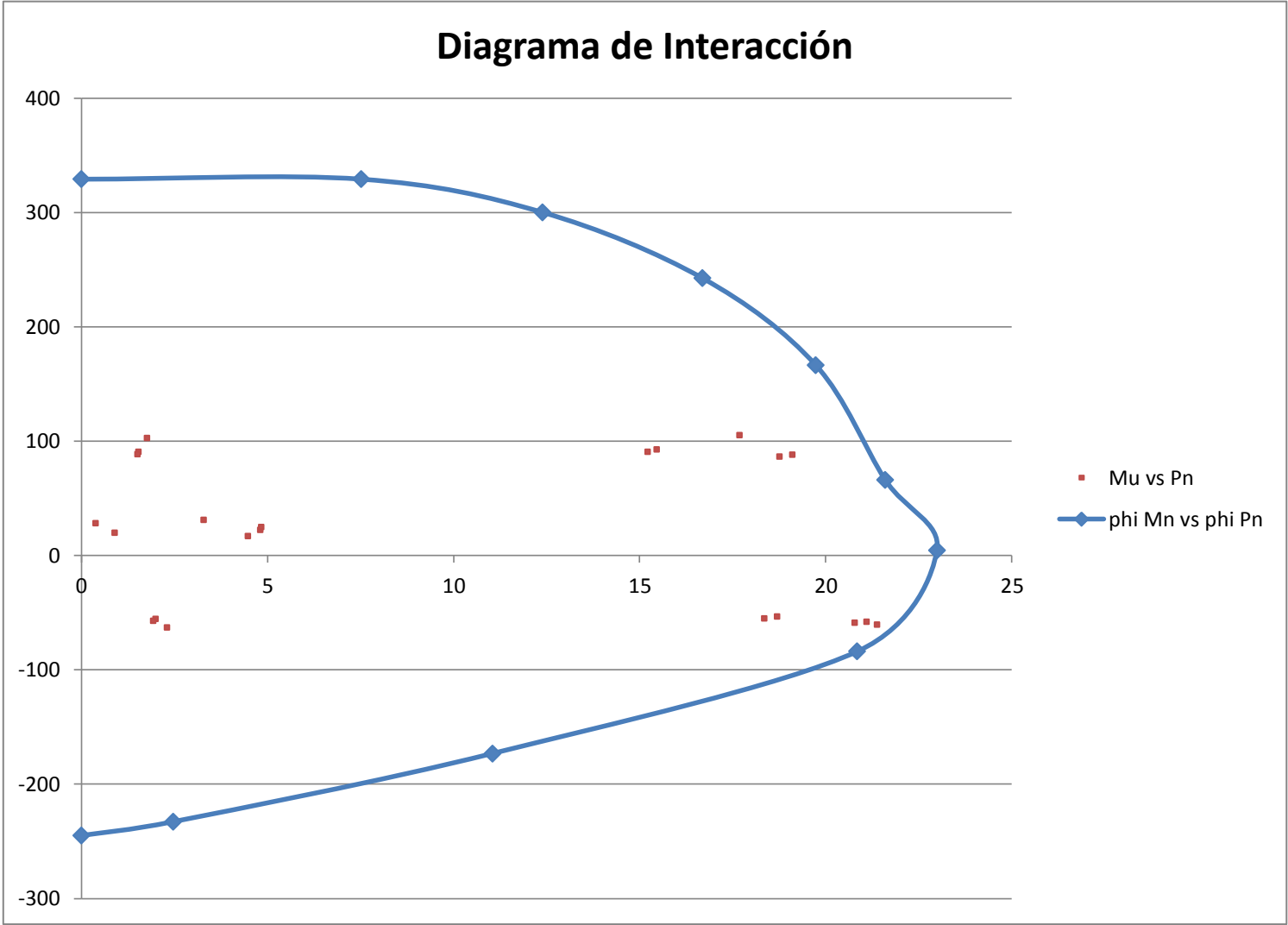
Q _{U,t}	169,6	Ton	No considera aporte de la arcilla
Q _{trabajo,t}	76,3	Ton	

ANEXO 3-2: DISEÑO GEOTÉCNICO A FLEXO-COMPRESIÓN DEL PILOTE

Pilote		
Diámetro	45 cm	
Numero de Varillas	10	
Calibre de Varillas	#9	
Con Aros		
Curve #1 0 deg		
Point	P tonf	M3 tonf-m
1	329,0918	0
2	329,0918	7,5213
3	300,1548	12,3866
4	242,6057	16,6864
5	166,4057	19,7356
6	66,0724	21,6006
7	4,4407	22,9888
8	-83,9803	20,844
9	-173,1523	11,0441
10	-232,7943	2,4666
11	-244,9156	0



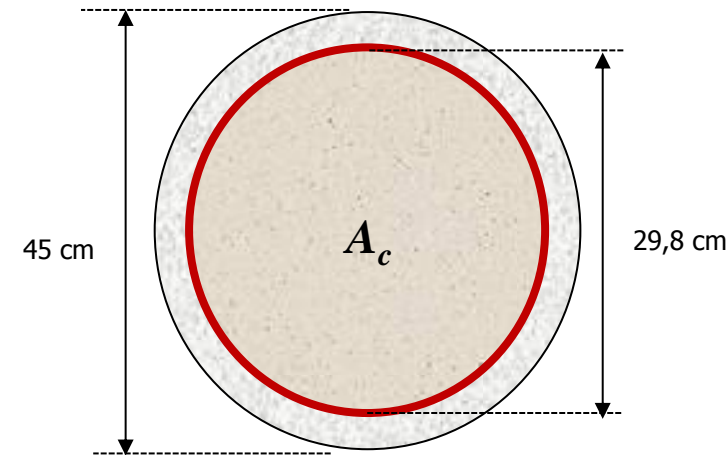
M3	P
Tonf-m	Tonf
4,47562	16,9262
0,89628	19,735
4,81101	22,5437
2,29749	-62,8934
21,37781	-60,4859
21,09336	-57,8102
1,99917	-55,7037
18,69097	-53,5971
20,77367	-59,0192
1,93515	-57,1133
18,34733	-55,2074
4,83094	24,9986
0,38636	28,0749
3,28843	31,1512
1,76354	102,7675
17,68042	105,4043
19,09961	88,2807
1,53282	90,5879
15,45663	92,8951
18,75454	86,4951
1,50522	88,5826
15,22174	90,67



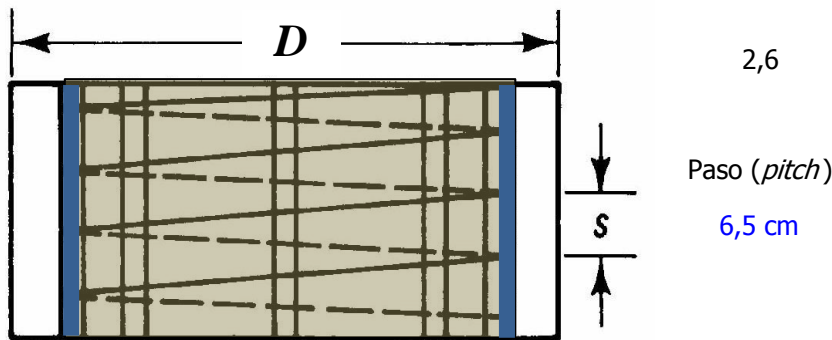
ANEXO 3-3: REVISIÓN A CORTANTE DEL PILOTE

REVISIÓN A CORTANTE DEL PILOTE

Se asume Recubimiento 6 cm
 Varilla espiral #5 1,59 cm
 Área espiral 1,98 cm²



A_g	1590	cm ²
A_c	698	cm ²
$f_{y,aros}$	4200	kg/cm ²
$\rho_{s,min}$	0,038	
A_v	1620	cm ²



ρ_s	0,039	
ϕV_c	10,78	Ton
ϕV_s	69,09	Ton
ϕV_n	79,86	Ton
V_u	4,5	Ton

Cumple a cortante

ANEXO 4: LÁMINAS TOPOGRÁFICAS Y ESTRUCTURALES
