



petrus INGENIEROS S.A. ®

**INFORME DE MECANICA DE SUELOS
EDIFICIO CORPORATIVO EPA**

EMPRESA PORTUARIA ARICA

ARICA

XV REGION DE ARICA Y PARINACOTA

**SOLICITADO POR:
SONDAJES CHILE LTDA.**

**PARA:
EMPRESA PORTUARIA ARICA**

**MAYO 2013
INFORME N° 3336-ING-SGC-338/2013**

Santiago, 8 de Mayo de 2013.
ING-SGC-338/2013

Señores
Sondajes Chile Ltda.
Presente

At.: Sr. Oscar Salas.
Ref.: Edificio Corporativo EPA.
Mat.: Informe de Mecánica de Suelos.

Estimados Señores,

Tenemos el agrado de adjuntar a la presente el Informe de Mecánica de Suelos para la obra en referencia. Este informe abarca el estudio geotécnico para el nuevo proyecto de construcción del Edificio Corporativo EPA.

Quedando a vuestra disposición, saluda atentamente a uds.,



Ing. Ricardo Moffat
Ing. Civil

RMC/CGS

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN
2. REFERENCIAS
3. ANTECEDENTES DE MECÁNICA DE SUELOS
 - 3.1 Antecedentes generales
 - 3.2 Exploración realizada
 - 3.3 Estratigrafía de subsuelo
 - 3.4 Estimación de propiedades geomecánicas
4. BASES DE DISEÑO PARA FUNDACIONES
 - 4.1 Tipo de fundación
 - 4.2 Profundidad de fundaciones
 - 4.3 Tensiones de contacto admisibles
 - 4.4 Constantes de balasto
 - 4.5 Empujes sobre muros de subterráneos
 - 4.6 Tipo de suelo según Decreto N°61
5. RECOMENDACIONES
 - 5.1 Excavaciones
 - 5.2 Rellenos compactados
6. SITUACIONES IMPREVISTAS

ANEXOS

- ANEXO I FOTOS
- ANEXO II FIGURAS
- ANEXO III ESTRATIGRAFÍAS
- ANEXO IV RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO
- ANEXO V INFORME GEOFÍSICA
- ANEXO VI PLANO



1. INTRODUCCIÓN

Con motivo del proyecto de construcción del Edificio Corporativo EPA, Sondajes Chile Ltda., solicitó a Petrus Ingenieros un estudio de Mecánica de Suelos para definir las bases de diseño para fundaciones en sector donde se emplaza la obra en referencia de acuerdo al último layout.

Se presenta en este documento el resumen de la prospección geotécnica realizada, los resultados de ensayos de laboratorio con muestras tomadas del sondaje ejecutado y las bases de diseño para las fundaciones del edificio.

2. REFERENCIAS

El siguiente es el listado de documentos tenidos a la vista para la elaboración del presente informe.

- a) Informe estudio geofísico Puerto Arica, Arica. Chile. (Abril de 2013). Elaborado por Geostrata.
- b) Informe sondajes y calicatas para estudio de mecánica de suelos. Proyecto construcción edificio corporativo EPA (Abril 2013). Elaborado por Sondajes Chile Ltda.
- c) Informe de ensayo de materiales RL-004-6. Elaborado por Pampa Austral (Mayo-2013).
- d) Planos de planta y corte del Edificio Corporativo EPA. Suministrado por Sondajes Chile Ltda.



3. ANTECEDENTES DE MECÁNICA DE SUELOS

3.1. Antecedentes generales

Los antecedentes disponibles del sector indican en general la existencia de conglomerados, areniscas, limolitas y arcillolitas, generalmente consolidados de facies aluviales y subordinadamente lacustres y eólicas. Además se encuentran brechas polimícticas con matriz de arena/limo en proporción variable (ver Figura 1). No se observan fallas activas en el sector de emplazamiento de la nueva obra.

3.2. Exploración realizada

La exploración geotécnica corresponde a la excavación de 2 calicatas de 3.0 y 3.2m de profundidad (ver Fotos 1 y 2) y de un sondaje de 30.15m de profundidad (ver Foto 3).

El detalle de la ubicación calicatas y sondajes se muestra en la Figuras 2a y 2b. Se puede apreciar que el sitio se encuentra a aproximadamente 150m de distancia al océano.

El trabajo realizado por Sondajes Chile en las calicatas consistió en la descripción de horizontes y en la extracción de muestras a granel. En el caso del sondaje se cuenta con toma de muestras, determinación del índice RQD y utilización de las muestras para ensayo de compresión simple.



Adicionalmente, se cuenta con los datos de mediciones en terreno mediante el método Down Hole ejecutado por Geostrata.

En anexo se adjuntan los resultados de los ensayos de laboratorio, downhole y registro de sondaje y calicatas.

3.3. Estratigrafía del subsuelo

En la Figura 3 se muestra el perfil estratigráfico deducido con la información obtenida de calicatas y sondaje en el sector donde se ubicará el nuevo edificio corporativo. De dicha figura se resumen los siguientes horizontes:

Horizonte H-1: Relleno granular arenoso con tamaño de partícula máximo de 1 ½". Color café a café amarillento, humedad media a baja de acuerdo al sector y fino de plasticidad baja. Compacidad alta a media. El espesor de este estrato varía entre 15 a 25 cm.

Horizonte H-2: Relleno artificial heterogéneo compuesto por diferentes tipos de materiales dependiendo de la ubicación en planta. En algunos sectores se encuentran gravas y bolones aislados con tamaño máximo de 10" de cantos redondeados a sub redondeados (ver Foto 2). En otros sectores se puede observar limo arenoso con gravas dispersas. La humedad de esta capa es alta y la compacidad baja a alta dependiendo del sector. La profundidad aproximada que alcanza este horizonte es de 5.2m, bajo nivel de terreno, pudiendo variar según sector. Dicho material posee oquedades y cambios fuertes



granulométricos, por lo que se descarta fundar sobre este horizonte.

Horizonte H-3: Estrato rocoso con distintos grados de meteorización. Roca de color café a café amarillenta. Dureza media y valores de RQD promedio cercano al 50%. La roca se detecta en sondaje a 5.2m bajo nivel de explanada, sin embargo, dicho nivel se estima variable en función de la cercanía hacia la línea de costa.

3.4. Estimación de propiedades geomecánicas de la roca

El nivel freático se detectó en el sondaje a 3.0m bajo el nivel de explanada (Marzo 2013), sin embargo dicho nivel está condicionado al nivel del mar que permea entre el relleno artificial H-2 (granular de abundantes oquedades).

Horizonte H-3

Para el horizonte H-3 o estrato rocoso se estiman las propiedades basados en la descripción visual, determinación del índice RQD y de ensayos de compresión simple realizados en el laboratorio (ver punto 4.6 para resultados de ensayos).

$q_u = 38.7 \text{ MPa}$	Resistencia a la compresión simple promedio
RQD: 50%	Valor promedio obtenido
RMR: 66	
$\gamma = 2.7 \text{ ton/m}^3$	Densidad
$E = 100.000 \text{ kg/cm}^2$	



4. BASES DE DISEÑO PARA FUNDACIONES

En este acápite se dan recomendaciones respecto del diseño de fundaciones del proyecto.

4.1. Tipo de fundación

Las fundaciones serán directas sobre la roca o bien sobre relleno de hormigón pobre a disponer bajo estas según se muestra en la Figura 4.

Se deberá considerar un radier armado o losa se para tomar la sub-presión de agua producto del nivel de la napa existente.

4.2. Profundidad de fundación

El edificio considera 1 nivel de subterráneo ubicado a la cota -3.5m bajo explanada.

Se considera entonces disponer un enterramiento mínimo de las fundaciones de 0.5m bajo nivel de piso terminado, condicionando al apoyo en roca, para lo cual se dispondrá de un relleno de hormigón H-10 o superior para alcanzar dicho nivel tal como se muestra en la Figura 4.



4.3. Tensiones de contacto admisible

Se considerarán las siguientes tensiones admisibles a nivel de sello de fundación, según el tipo de contacto de la losa de fundación.

Contacto directo con Horizonte H-3

$$q_{adm} = 15 \text{ kg/cm}^2 \text{ (estático)}$$

$$q_{adm} = 22.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ (estático + sismo)}$$

4.4. Constantes de balasto

Se considerarán la siguiente constante de balasto para las fundaciones:

$$k_v = \frac{80000}{B} \left(1 + 0.5 \frac{B}{L} \right) \text{ en kg / cm}^3$$

Donde B y L en (cm) corresponden a los lados menor y mayor de la fundación o ancho y largo de la losa. Para el caso estático + sísmico se amplificará el valor de k_v por 2.

La constante de balasto al giro $k_{v\theta}$ se evaluará mediante la siguiente expresión:

$$k_{v\theta} = 2.3 k_v$$



4.5. Empujes sobre muros de subterráneos

En la Figura 5 se entregan los empujes en muros correspondientes al caso de tener relleno granular compactado directamente en contra de los muros.

4.6. Tipo de suelo según Decreto N°1

De acuerdo al decreto supremo N°1 el suelo de fundación clasifica como suelo Tipo A correspondiente a roca o suelo cementado. Esto basado en el valor de $V_{S30} = 1325$ m/s deducida a partir del sello de fundación y de los valores de RQD y de q_u , expuestos en la Figura 3.

La zona sísmica corresponde a la Zona 3.



5. RECOMENDACIONES

5.1. Excavaciones

- Las excavaciones en el Horizonte H-1 y H-2 se podrán efectuar con maquinaria convencional.
- No se prevé necesario realizar excavaciones en el horizonte H-3.
- Se recomienda que el escarpe en sector de pavimentos y caminos sea de 0.6m como mínimo con tal de remover el Horizonte H-1 y parte del H-2 que es un material heterogéneo y que por lo tanto podría provocar asentamientos diferenciales en radieres y pavimentos.
- Las excavaciones provisorias para profundidades de hasta 3.5m, se podrán efectuar con taludes de 2:3 (H:V). Para alturas entre 3.5 y 6.0m se recomienda utilizar excavaciones con ángulo 1:1 (H:V) dada la presencia de la napa.
- En caso de efectuar excavaciones bajo fundaciones se deberá disponer de entibaciones.

5.2. Rellenos compactados

5.2.1 Rellenos bajo losa de fundación

Se refiere a la alternativa de utilizar un relleno compactado por debajo de la losa de fundación o radier armado del edificio. Este relleno compactado deberá llegar hasta el nivel del horizonte H-3 (Roca)



El material a utilizar corresponderá a suelo gravo arenoso de partículas firmes y duras, con un tamaño máximo de 4" y un porcentaje de finos inferior al 16%. El porcentaje de sales solubles totales de ser inferior al 5%.

Se iniciará la colocación del material de relleno gravo arenoso en capas sucesivas las que se compactarán independientemente. El espesor suelto de cada capa a compactar se ajustará al tamaño del equipo compactador que se utilice. No obstante se estima razonable utilizar espesores suelos no superiores a 35 cm.

La humedad de colocación de cada capa deberá ser homogénea en todo su espesor y lo más cercana posible a la humedad óptima de compactación Proctor Modificado, P.M. (AASHTO T-180).

Cada capa se compactará mediante pasadas sucesivas y paralelas de rodillo vibratorio en fajas longitudinales, traslapando cada vez 1/3 del ancho del equipo de compactación. Se recomienda utilizar un rodillo vibratorio de peso estático igual o superior a 10 toneladas. El avance de la compactación se efectuará desde los puntos más bajos del terreno.

Cada capa deberá quedar sometida a un número suficiente de pasadas completas hasta alcanzar una densidad equivalente al 95% de la densidad seca máxima obtenida por el ensayo Proctor Modificado. En todo caso, el número mínimo de pasadas por franja, será de 6. Si el suelo de relleno arenoso posee menos de 8% de material fino (bajo malla N° 200 ASTM) se deberá compactar hasta lograr una densificación no inferior al 80% de densidad relativa.



El grado de compactación deberá ser verificado y certificado mediante determinaciones de densidad in situ en todo el espesor de cada capa compactada, función que deberá ser realizada por un laboratorio de faena competente.

5.2.2 Subbase para pavimentos rígidos

Se refiere al material a colocar bajo pavimentos o radieres de hormigón. Dicha base se construirá con un material gravo arenoso compactado de tamaño máximo 2". El espesor compactado de la base será de a lo menos 0.20 m o más según lo aconseje el proyecto de pavimentos y se construirá de acuerdo a las especificaciones granulométricas y de compactación siguientes:

- Se utilizará una grava arenosa que cumpla con la siguiente banda granulométrica:

Tabla I. Banda granulométrica sub base pavimentos rígidos

Malla o Criba (ASTM)	% en peso que pasa
2"	100
1"	55 - 100
3/8"	40 - 70
Nº 4	35 - 65
Nº 40	10 - 30
Nº 200	0 - 15



La fracción bajo malla N° 40 deberá tener un límite líquido inferior a 25% y un índice de plasticidad no mayor a 6%. El desgaste Los Ángeles (AASHTO T-96) será de 40% como máximo (se observa de muestras tomadas en calicatas de empréstito que el desgaste se encuentra por debajo de este valor máximo recomendado).

Colocación: el material de relleno se colocará en capas superpuestas, las que se compactarán en forma independiente con pasadas sucesivas y paralelas de rodillo vibratorio, traslapando cada vez un tercio del ancho del rodillo.

El espesor de cada capa, número de pasadas, peso estático y tipo de equipo compactador vibratorio lo ajustará el constructor de acuerdo a su mejor disponibilidad y al espacio disponible para la faena de compactación

- La compactación del material de subbase se hará en capas, con rodillo vibratorio hasta alcanzar una densidad mínima equivalente al 95% de la máxima compactación Proctor Modificado; en caso que el suelo de subbase posea un porcentaje de finos bajo malla ϕ 200 ASTM menor a 6%, la compactación deberá alcanzar una densidad de a lo menos 80% de (DR).
- El control del grado de compactación del subsuelo y de los rellenos compactados en general, lo deberá realizar un laboratorio de suelo competente a través de determinaciones de densidad seca. La frecuencia de control la determinará la ITO.



5.2.3 Base estabilizada para pavimentos flexibles

Para efectos del presente informe se entenderá como pavimento flexible los pavimentos de concreto asfáltico que se materializarán en caminos y estacionamientos de vehículos. Estos pavimentos se construirán directamente sobre una base estabilizada, la que se confeccionará con material granular, de partículas firmes y duras de grava combinada con arena, de tamaño máximo 1 ½", que debidamente compactada den una mezcla dura y estable. El espesor compactado de la base será de a lo menos 0.20m o más según resulte del proyecto estructural.

En la confección de la base se utilizarán las siguientes especificaciones:

Tabla II. Banda granulométrica base pavimentos flexibles

Malla o Criba (ASTM)	% en peso que pasa
1 ½" (T max)	100
1"	70 – 100
3/8"	35 - 70
Nº 4	25 - 55
Nº 40	2 – 20
Nº 200	0 – 10

La fracción de material que pasa bajo la malla Nº 40 ASTM, deberá tener un límite inferior a 35% y su índice de plasticidad no mayor que 9%.

El desgaste Los Angeles (AASHTO T-96) quedará limitado a 40% máximo.



▪ **Colocación:**

El material de base se colocará en capas. La humedad de colocación deberá ser homogénea y lo más cercana posible a la humedad óptima obtenida en ensayos Proctor Modificado de referencia (AASHTO T-180) a realizar con el material que se emplee en definitiva.

La base se compactará con pasadas sucesivas y paralelas de rodillo vibratorio, traslapando cada vez un tercio del ancho del rodillo. A cada capa se deberá dar un número suficiente de pasadas de rodillo, de modo de alcanzar un grado de densificación similar a lo establecido para subbase de pavimentos rígidos. La colocación y el control de compactación será similar a lo señalado para pavimentos rígidos.



6. SITUACIONES IMPREVISTAS

Cualquier situación no prevista en el presente informe o modificaciones que se desearan realizar a su contenido deberán ser informados y aprobados por esta oficina.

Ricardo Moffat

Ingeniero Civil

Santiago, Mayo de 2013.



petrus INGENIEROS S.A. ®

A N E X O I

F O T O S

(Proporcionadas por Sondajes Chile)



petrus INGENIEROS S.A. ®

DURANTE LA EJECUCIÓN





SONDAJE N°1

FOTOGRAFÍAS DE TESTIGOS





petrus INGENIEROS S.A. ®

SONDAJE N°1

FOTOGRAFÍAS DE TESTIGOS





petrus INGENIEROS S.A. ®

SONDAJE N°1

FOTOGRAFÍAS DE TESTIGOS





petrus INGENIEROS S.A. ®

SONDAJE N°1

FOTOGRAFÍAS DE TESTIGOS





CALICATA N°1





petrus INGENIEROS S.A. ®





petrus INGENIEROS S.A. ®

CALICATA Nº2







petrus INGENIEROS S.A. ®

A N E X O I I

F I G U R A S



petrus INGENIEROS S.A. ®

A N E X O III

E S T R A T I G R A F I A S

(Proporcionadas por Sondajes Chile)

RESUMEN DE PERFORACION DE SOBRECARGA

PROYECTO

Construc. Edificio Corporativo EPA

SONDAJE N°

1

FECHA

26 de Marzo al 02 de Abril

UBICACIÓN

Terminal Puerto Arica

SONDA

T - 42 JAC

INCLINACION

Vertical

COORDENADAS

NORTE7956535

ESTE0360364

ANTECEDENTES GENERALES							
	PERFORACION			ENTUBACION			NIVEL AGUA INTERIOR SONDAGE(mts)
	HORA	DIAMETRO	PROFUNDIDAD (mts)	DIAMETRO	Prof.Zapata (mts)	Prof.Cabeza (mts)	
INICIO TURNO	8:30	HQ3	0,00	HW	0,00	0,00	0,00
FIN TURNO	18:00	HQ3	5,20	HW	5,00	5,20	3,40

Perdida Agua de retorno	
profundidad (mts) (%)	
15%	

Velocidad de Rotacion (RPM)		600
P R E S I O N	AGUA (Psi)	3
	ACEITE (Kg./Cm²)	

DESCRIPCION SUELOS PERFORADOS			ENSAYOS SPT				
PROFUNDIDAD		DESCRIPCION SEGÚN SONDEADOR; SUELO:TIPO,COLOR,CONSISTENCIA COMPACIDAD,PLASTICIDAD,BOLONES,ARCILLAS. EN ROCA: DUREZA, COLOR,TEXTURA,TAMAÑO,ORIENTACION DEL FRACTURAMIENTO.	PROF (m)	N1	N2	N3	NF
DESDE (m)	HASTA (m)						
0,00	0,05	Asfalto	1,50 - 1,95	3	5	9	14
0,05	1,25	Relleno artificial compuesto por arena limosa, color café claro, grava dispersa bajo 1/2"	2,50 - 2,95	4	3	5	8
1,25	3,95	Relleno artificial compuesto por limo arenoso, color café, consistencia baja, humedad media, gravas aisladas.	3,50 - 3,95	7	7	5	12
3,95	5,20	Relleno artificial compuesto de gravas y arenas heterogeneas, humedad media, compacidad baja.	4,50 - 4,95	9	19	17	36

OPERADOR

1°

Francisco Obreque

2°

Rody Nuñez

3°

Juan Parra

OBSERVACIONES

OSCAR SALAS A.

NOMBRE Y FIRMA SUPERVISOR

REGISTRO DE PERFORACIÓN Y MUESTREO EN ROCA

PROYECTO Construc. Edificio Corporativo EPA SONDAGE N° 1 FECHA 26 de Marzo al 02 de Abril

UBICACIÓN Terminal Puerto Arica SONDA N° JAC T-42

ANTECEDENTES GENERALES				
PERFORACIÓN				NIVEL DE AGUA INTERIOR SONDAGE (mts)
	HORA	DÍAMETRO	PROFUNDIDAD	
INICIO DE TURNO		HQ3	5,20	3,40
FIN DE TURNO		HQ3	30,15	2,80

PERDIDA AGUA DE RETORNO
Profundidad mts (%)
20%
Nivel estático al termino del sondaje: 3,40 m.

RECUPERACIÓN DE TESTIGO									
INICIO DE TURNO		LONGITUD CARRERA (cm)	TOTAL RECUP.	LONGITUD TESTIGO (cm)		VEL. DE ROTACIÓN R.P.M.	PRESIÓN Kg/cm²		NUMERO
FIN DE TURNO				% RQD TOTAL	> 10 cm		AGUA	ACEITE	NUMERO BARRA
Desde (mts)	Hasta (mts)								
5,20	5,60	0,40	18	45,00	18				
5,60	6,90	1,30	113	86,92	20-10-35-17-31				
6,90	7,65	0,75	19	25,33	19				
7,65	8,10	0,45	45	0,00					
8,10	9,45	1,35	119	88,15	10-46-48-15				
10,10	11,00	0,90	31	34,44	31				
11,00	12,60	1,60	30	18,75	19-11				
12,60	13,75	1,15	65	56,52	32-43				
13,75	14,75	1,00	21	21,00	10-11				
14,75	15,35	0,60	55	91,67	35-20				
15,35	16,85	1,50	47	31,33	18-29				
16,85	18,45	1,60	125	78,13	62-20-12-16-15				
18,45	19,45	1,00	55	55,00	10-13-14-18				
19,80	21,30	1,50	94	62,67	30-11-19-34				
21,30	22,80	1,50	89,00	59,33	50-17-22				
22,80	24,30	1,50	111,00	74,00	19-20-12-11-49				
24,30	24,40	0,10	10,00	0,00					
24,40	25,65	1,25	100,00	80,00	45-19-36				
25,65	27,25	1,60	75,00	46,88	17-17-28-13				
27,25	28,72	1,47	98,00	66,67	11-20-38-29				
28,75	30,15	1,40	36,00	25,71	10-12-14				

PROFUNDIDAD		DESCRIPCIÓN ROCA PERFORADA
DESDE (mts)	HASTA (mts)	DESCRIPCIÓN (SEGÚN SONDEADOR) TIPO, ESTADO DE FISURACIÓN, DUREZA, COLOR, TEXTURA, POROSIDAD, TAMAÑO, ORIENTACION DEL FRACTURAMIENTO
5,20	30,15	Roca volcánica, color café amarillenta y grisáceo con pigmentación de caliza tipo tobas o inimbritas. Dureza media. Agrietada y fracturada.

OBSERVACIONES:

OPERADORES: 1° Francisco Obreque
2° Rody Nuñez
3° Juan Parra

OSCAR SALAS A.
SUPERVISOR

V°B° ITO

Calicata: N°1

Coordenadas: Norte 7956533
 Este 0360362

Profundidad (m)	Horizonte	Descripción Visual
0.00 – 0.25	H-1	Losa de hormigón.
0.25 – 0.50	H-2	Base estabilizada en matriz arena limosa con gravas de 1 ½" color café compactidad media, humedad media, plasticidad baja, de clasificación SM.
0.50 – 1.80	H-3	Relleno artificial compuesto arena limosa con gravas y bolones aislados tamaño máximo 10" en un 5% aproximado, color café, humedad media, compactidad media a baja, de clasificación SP/SM.
1.80 – 2.00	H-4	Grava areno limosa, color café, de cantos redondeados y sub redondeados de tamaño máximo 2". Compactidad

media a alta, humedad media, de clasificación GP/GM.

2.00 – 2.50

H-5

Limo arenoso con incrustaciones de gravas dispersas en 3% color café, humedad media a alta, compacidad media, de clasificación ML.

2.50 – 3.00

H-6

Relleno artificial compuesto por enrocado con escasa matriz arenosa, los clastos son de cantos angulosos y sub angulosos de tamaño máximo 14” en un 60%.

Calicata: N°2

Coordenadas: Norte 7956546
 Este 0360374

Profundidad (m)	Horizonte	Descripción
0.00 – 0.05	H-1	Carpeta asfáltica.
0.05 – 0.20	H-2	Base estabilizada compuesta por arena limosa con gravas bajo 1 ½" de color café amarillento, compacidad media, humedad baja, plasticidad baja, de clasificación SP/SM.
0.20 – 3.20	H-3	Relleno artificial compuesto por bolones y clastos de cantos redondeados y sub redondeados de tamaño máximo 18" con escasa matriz, muy heterogeneo. Además se encuentran rieles enterrados de forma vertical, cañería que cruza en sentido horizontal de 2 ½" y una losa de hormigon por el lado sur de 1,45 m.



petrus INGENIEROS S.A. ®

A N E X O I V

E N S A Y O S D E L A B O R A T O R I O



petrus INGENIEROS S.A. ®

ANEXO V

INFORME GEOFÍSICA

2013

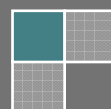


INFORME ESTUDIO GEOFÍSICO PARA EMPRESA PORTUARIA ARICA CHILE

**MEDICIONES DE VELOCIDADES DE ONDAS SÍSMICAS
MEDIANTE EL MÉTODO DOWN HOLE.**

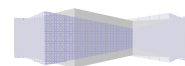
El presente informe muestra la información sísmica obtenida de los trabajos en terreno, mediante el método Sísmico Down Hole.

Jorge Jiménez A
GeoStrata
19/04/2013



CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. MARCO TEÓRICO	3
3. METODOLOGÍA.....	5
4. EQUIVALENCIAS LITOLÓGICAS CON VELOCIDADES DE ONDAS SÍSMICAS	7
5. MATERIALES E INSTRUMENTOS	7
6. ANÁLISIS Y RESULTADOS	8
7. CONCLUSIÓN.....	10



1. INTRODUCCIÓN

A solicitud de la empresa **SONDAJES CHILE LTDA., GEOSTRATA** ha realizado un estudio geofísico aplicando el método sísmico de Down Hole (DH), como parte de los estudios de terreno en el sitio donde se ha proyectado la construcción del edificio corporativo EPA, ubicado en el puerto de Arica, Chile.

El siguiente informe tiene como objetivo presentar los resultados de las mediciones de las ondas sísmicas V_p y V_s de acuerdo al **DECRETO 61 2011 DE DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICACIÓN**, donde se calculara el parámetro de V_{s30} para la clasificación del suelo.

2. MARCO TEÓRICO

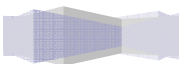
La teoría sísmica es ampliamente conocida en el medio de la geofísica e ingeniería, y esta consiste en calcular el tiempo de llegada de las ondas sísmicas hasta un cierto receptor llamado geófono, no se indagará en la física matemática de los métodos, pero estas se encuentran ampliamente publicadas en la red y libros.

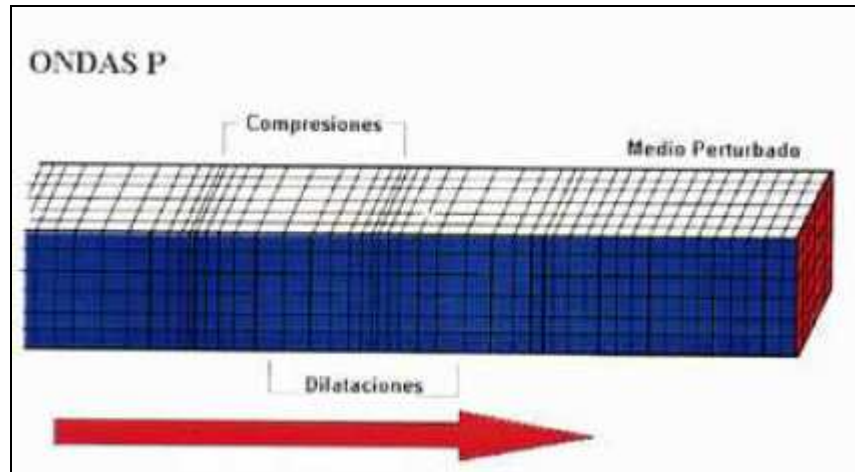
La tierra, como varios materiales, se comporta como un medio elástico por el cual pueden viajar ondas acústicas producidas por una fuente, como puede ser un sismo. Los sismos pueden ser de forma natural o artificial, estos últimos se pueden lograr mediante la liberación de energía a través de explosivos, con un martillo de masa considerable que golpee el suelo, mediante vehículos llamados vibradores, etc.

Los sismos producen ondas elásticas, las cuales se propagan por la tierra. Estas ondas se pueden clasificar en 2 tipos, ondas internas y ondas superficiales.

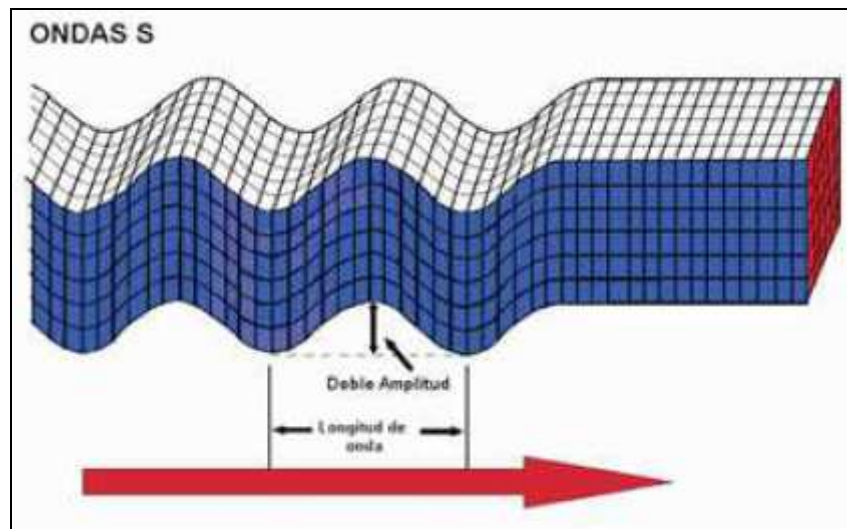
Ondas internas: Estas viajan a través del interior de la tierra, siguen caminos curvos debido a las distintas densidades y composición del interior de la tierra, ocurriendo un fenómeno similar al de la refracción de la luz. Las ondas internas se pueden clasificar en ondas Primarias (ondas P) y ondas Secundarias (ondas S)

- **Ondas P:** Estas son ondas de compresión o longitudinales, por lo cual producen compresión y dilatación en el suelo en la dirección que se propagan. Estas ondas pueden viajar en cualquier material y tienen un comportamiento similar a las ondas de sonido. En la siguiente figura se presenta un diagrama de cómo viaja este tipo de onda.

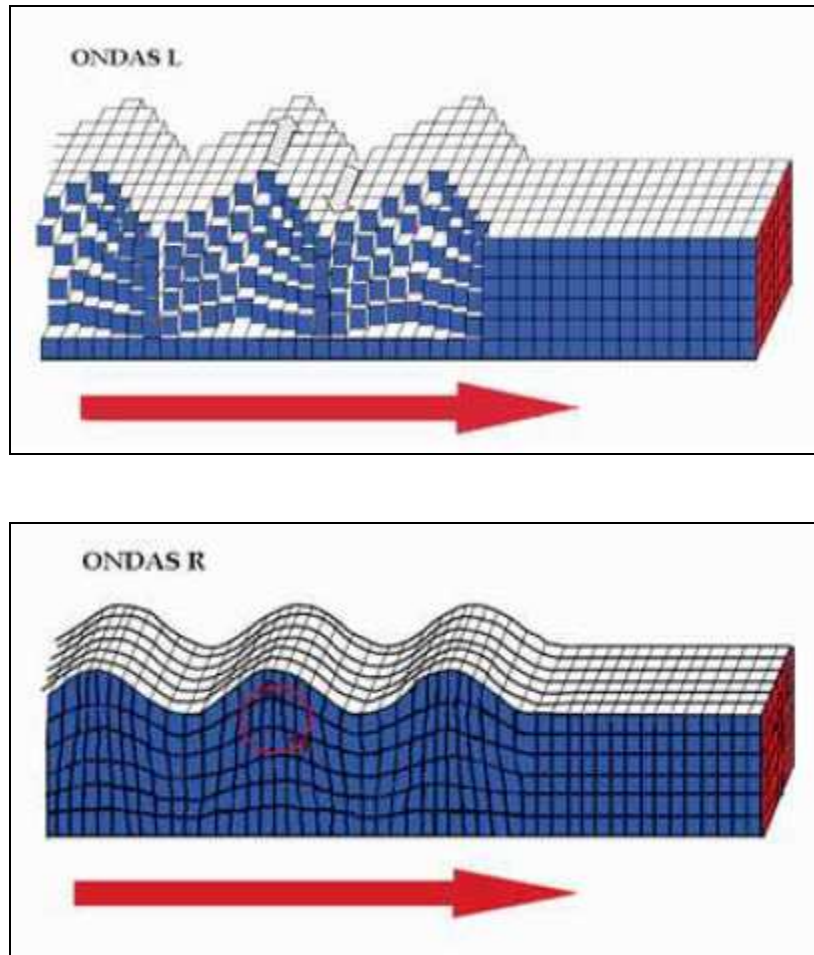




- **Ondas S:** Estas ondas se propagan en forma transversal a la dirección de propagación. Estas son las encargadas de generar las oscilaciones del movimiento. Su velocidad es levemente inferior que las ondas P por este motivo, estas aparecen con un retraso en el terreno.



Ondas Superficiales: Estas se producen cuando las ondas de cuerpo llegan a la superficie, propagándose por la interface tierra-aire o tierra-agua. Estas son las causantes de los daños producidos por los sismos. Se pueden clasificar en ondas Love (ondas L) y Rayleigh (ondas R), y se propagan como se muestra en las siguientes figuras:



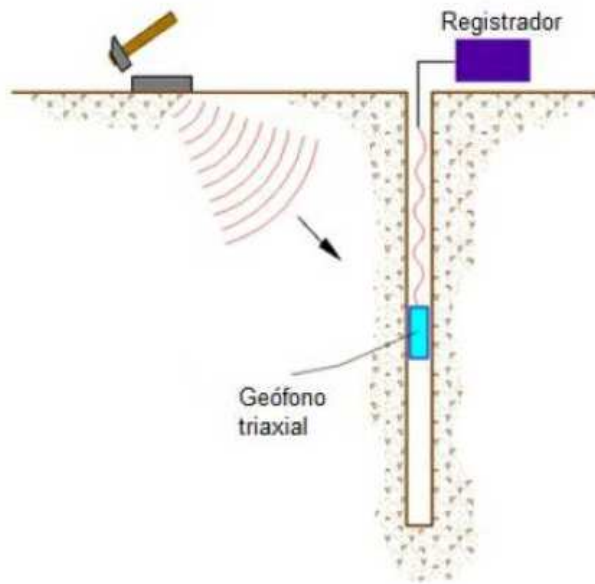
Para este estudio solo se consideraran las ondas de cuerpo internas.
Para todos los cálculos se considera una geometría de rayos

3. METODOLOGÍA

3.1 DOWN HOLE

En si en el método sísmico Down Hole (DH) se medirán el tiempo que las ondas P y S les toma en llegar desde la fuente sísmica colocada en superficie, usualmente una viga de madera, hasta los receptores ubicados en el interior de un sondaje previamente preparado.

La energía sísmica es generada en la superficie mediante golpes de martillo a un tablón que se posiciona a una distancia de 2 m de la parte superior del pozo, el cual se fija al suelo utilizando el peso de un vehículo. Para enfatizar la generación de una onda P, se da un golpe vertical, mientras que para la generación de una onda S se dan dos golpes horizontales y en sentido opuesto. De esta forma es posible utilizar ambas polaridades generadas para distinguir con mayor facilidad la llegada de la onda S en los sismogramas, como se ilustra en la imagen a continuación.



Para poder interpretar los datos es necesario primero corregir los tiempos de trayectoria (t) medidos a lo largo del trayecto fuente-receptor para así tener en cuenta la inclinación del recorrido de las ondas. Una vez calculados los tiempos correctos ya sea para las ondas P y para las ondas S, se realiza el gráfico t vs Profundidad, de manera que la velocidad promedio de las ondas sísmicas en estratos homogéneos de terreno esté representada por la inclinación de los segmentos de recta, a lo largo de los cuales se alinean los datos experimentales.

A partir de estas velocidades de propagación de las ondas sísmicas de compresión (ondas P) y de corte o cizalle (ondas S), permiten estimar los módulos elásticos que caracterizan al sub-suelo bajo observación.

3.2 MÓDULOS ELÁSTICOS

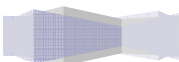
El conocimiento de las velocidades de las ondas P y S, junto con la densidad del material, permite el cálculo de los módulos de Poisson (ν), Corte (E) y Young (G), parámetros que definen el comportamiento dinámico del subsuelo.

Para ello se emplean las siguientes expresiones:

Módulo de Poisson	$\nu = \frac{[(V_p/V_s)^2 - 2]}{[2(V_p/V_s)^2 - 2]}$	(1)
Módulo de Young	$E = 2 G (1 + \nu)$	(2)
Módulo de Corte	$G = \frac{1}{2} \rho V_s^2$	(3)

Donde:

V_p : Velocidad Sísmica Compresional
 V_s : Velocidad Sísmica de Corte
 ρ : Densidad de la Formación



4. EQUIVALENCIAS LITOLÓGICAS CON VELOCIDADES DE ONDAS SÍSMICAS

Como se sabe la tierra se comporta como un medio elástico y se pueden relacionar las velocidades de ondas sísmicas con diferentes materiales que componen el sub-suelo.

Estas equivalencias se han obtenido con el tiempo y en la actualidad existen valores tabulados que relacionan las velocidades de ondas sísmicas V_p y V_s , con litología. A continuación se muestran algunos valores.

TIPO DE SUELO O ROCA	V_p (m/s)	V_s (m/s)
Arena, limo seco y suelo superior de grano fino	200 - 1000	130 - 480
Deposito aluvial, gravas	280 - 1500	150 - 800
Arcilla, grava arcillosa, arena arcillosa densa	1000 - 2000	450 - 1000
Arenisca	1500 - 4000	650 - 1950
Cuarcita	4000 - 6000	
Granito Sano	4000 - 6000	
Granito Meteorizado	450 - 1500	

Como se ve en la tabla anterior el rango de velocidades en algunos suelos o materiales se traslapa, por lo que la correlación entre litología y velocidades de onda dependerán del conocimiento de la geología y las características propias de cada terreno. Cabe destacar que la porosidad, humedad y estado de meteorización del material, pueden hacer variar estos valores.

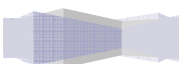
5. MATERIALES E INSTRUMENTOS

Para la realización de las prospecciones se dispuso de un sismógrafo digital llamado Geode, de Geometrics Inc. con accesorios, los cuales se detallan a continuación:

- 2 Geófonos triaxiales de marca GeoStuff.
- Modulo de comando para los geófonos BHCG-4 de marca GeoStuff
- Viga de madera de 3 m de largo por una sección transversal de 50 por 50 cm
- Mazo de 15 kg
- Disparador

Adicional a esto se utilizaron los siguientes materiales.

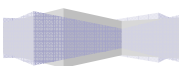
- Camioneta 4 x 4.
- Notebook HP de ocho núcleos de 1.8 GHz y 8 GB de RAM, para el procesamiento de los datos.
- Software específico de procesamiento de datos

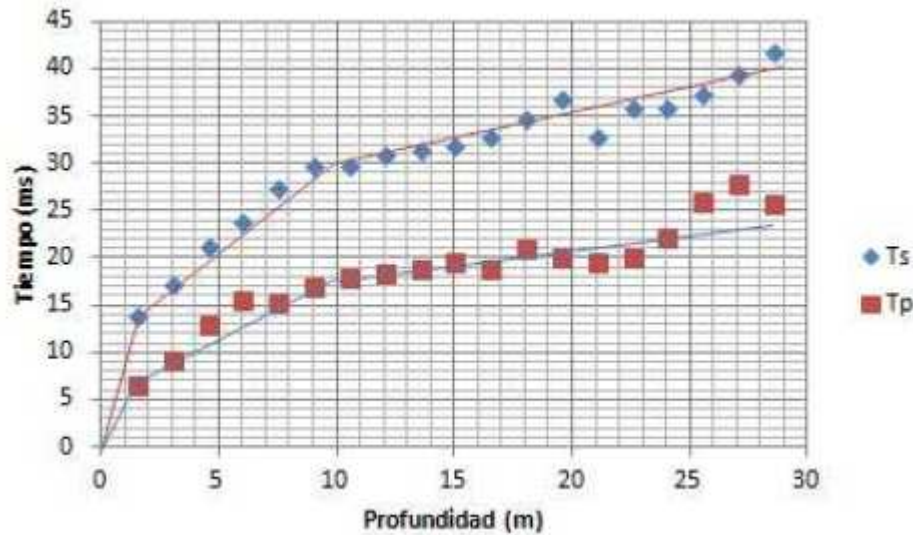


6. ANÁLISIS Y RESULTADOS

El trabajo en terreno consto con la realización de 1 DH con una profundidad promedio de 28.5 m con lecturas cada 1.5 metros. El DH fue realizado en un sondaje preparado por Sondajes Chile, este estaba preparado con un tubo de PVC y en las paredes, entre el terreno y el tubo, con una mezcla de bentonita y cemento, para reducir el efecto de las perturbaciones en el terreno. Cabe destacar que por la cercanía al mar y por el constante trafico del puerto, los datos presentaron ruido de fondo, por lo que algunas lecturas presentaron mucha dispersión. A continuación se presentan los resultados del análisis de datos donde se detalla el tiempo de llegada para cada onda y su respectiva dromocrona.

Profundidad (m)	Ts (ms)	Tp (ms)
1,5	14	6,5
3	17,5	9,2
4,5	21,5	13
6	24	15,5
7,5	27,5	13,5
9	30	17
10,5	30	18
12	31	18,4
13,5	31,5	18,9
15	32	19,6
16,5	33	19
18	35	21
19,5	37	20
21	33	19,5
22,5	36	20,1
24	36,1	22,3
25,5	37,5	26
27	39,7	27,9
28,5	42	25,7





Dromocrona del Down Hole

Ahora a partir de la dromocrona se calcularon las velocidades de los estratos, las cuales están relacionadas con las pendientes de las rectas. De esto se obtuvo lo siguiente.

Estrato	Espesor	Vs	Vp
1	1,5	107,14	250
2	10	468,75	714,28
3	18,5	1850	3700

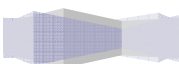
De la tabla anterior se puede ver que se lograron identificar 3 estratos, donde el primer estrato es un tanto dudoso, esto ya que las lecturas superficiales fueron las más afectadas por el ruido de fondo del Puerto.

A partir de estos resultados se calculo el parámetro de Vs30 de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V_{S30} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

Donde h_i es el espesor del estrato i en metros y V_{s_i} es la velocidad Vs relacionada con ese estrato.

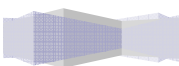
Al calcular el parámetro con los datos obtenidos en terreno tenemos un valor:
 $V_{S30} = 661.76 \text{ (m/s)}$.



7. CONCLUSIÓN

En general se lograron identificar 3 estratos de diferentes espesores con diferentes velocidades sísmicas V_s y V_p , de lo cual se concluyo que el terreno en cuestión tiene un parámetro V_{s30} de 661.76 m/s, con lo que de acuerdo a la clasificación de suelos con respecto al parámetro V_{s30} , planteada en el decreto 61 antes nombrado, el suelo clasificaría como clase B (Roca Blanda o Fracturada, suelo muy denso o muy firme).

Cabe destacar que la marea y el trafico de vehículos pesados en el puerto produjo mucho ruido en algunas lecturas, en especial en las más profundas, donde en algunos casos la energía del disparo se perdió entre este ruido, por lo que se estimo en forma aproximada, por esto la dispersión de algunas lecturas del tiempo.





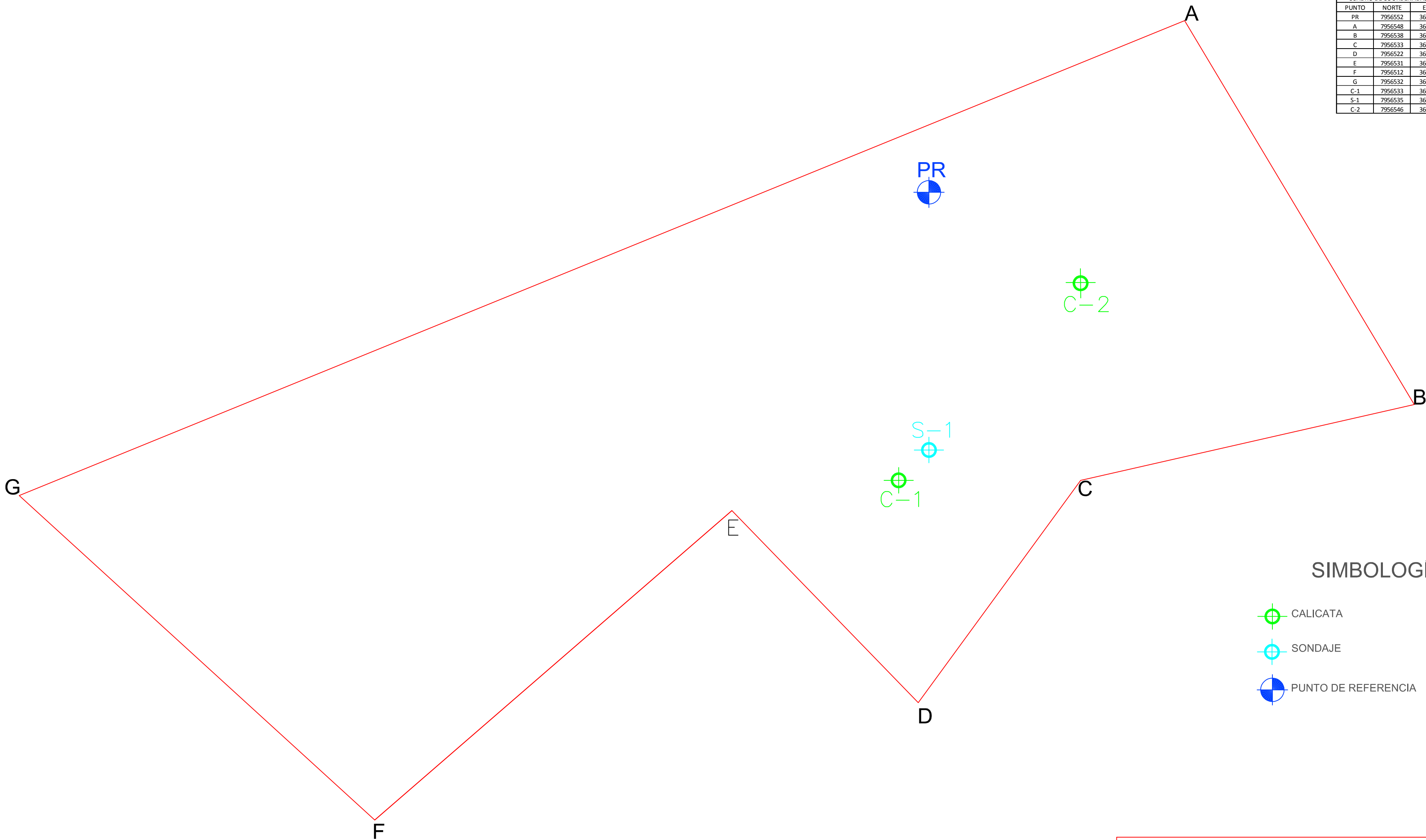
petrus INGENIEROS S.A. ®

A N E X O V I

P L A N O



CUADRO DE COORDENADAS		
PUNTO	NORTE	ESTE
PR	7956552	360364
A	7956548	360374
B	7956538	360396
C	7956533	360374
D	7956522	360362
E	7956531	360351
F	7956512	360332
G	7956532	360304
C-1	7956533	360362
S-1	7956535	360364
C-2	7956546	360374



SIMBOLOGÍA

-  CALICATA
-  SONDAJE
-  PUNTO DE REFERENCIA

			
PLANO DE : PROSPECCIONES GEOTÉCNICAS			
COMUNA :	ARICA	ESCALA :	1:200
EJECUTO :		MANDANTE :	
OSCAR SALAS		JUAN SAN MARTÍN	
DIRECCION: SANTO DOMINGO 1083 OF. 114 PISO 11		FONOS : (56 2) 26873050	
COMUNA : SANTIAGO			