

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

**Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia**

**Escuela Profesional de Ingeniería Geológica – Geotecnia**

**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE ZONAS ÓPTIMAS  
PARA EL EMPLAZAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO  
Y DE LA SUBESTACIÓN TRANSFORMADORA DE  
ENERGÍA EN EL DISTRITO LAS LOMAS,  
PROVINCIA DE CARAVELÍ, REGIÓN  
DE AREQUIPA**

**TESIS**

Presentada por:

Bach. Juan Gregorio Chipoco Palo

Para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO GEÓLOGO – GEOTÉCNICO**

TACNA – PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica – Geotecnia

### HOJA DE JURADO

#### TESIS

“CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL  
EMPLAZAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO Y DE LA SUBESTACIÓN  
TRANSFORMADORA DE ENERGÍA EN EL DISTRITO LAS LOMAS, PROVINCIA DE  
CARAVELÍ, REGIÓN DE AREQUIPA”

Presentado por el bachiller Juan Gregorio Chipoco Palo  
Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo – Geotécnico

Tesis Sustentada y Aprobada el 24 de setiembre de 2025 (RF N° 471-2025-FIAG/UNJBG) con el  
siguiente jurado:


**Presidente**

  
Mstro. Ing. MICHAEL ALEX MIRANDA CHOQUE


**Miembro – Secretario**

  
Ing. JONATHAN FARAZ DAWIS ZAVALA CURASI

**Miembro – Accesorio**

  
Ing. JORGE PANTALEON BARRIGA GAMARRA

**Asesor de Tesis**

  
Mgr. Ing. FREDY CLETO CABRERA OLIVERA

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHOMANN  
VICERRECTORADO ACADÉMICO  
**BIBLIOTECA**

Ciudad Universitaria Av. Miraflores/Av. Cusco S/N Teléfono: 052-583000 Anexos: 2342 Casilla 316

**CERTIFICADO DE SIMILITUD**

Yo, FREDY CLETO CABRERA OLIVERA, en mi condición de ASESOR (A) acreditado con Resolución de Facultad y/o Postgrado N° 518-2024-FIG/UNJBG del 05 de julio del 2024, de la tesis denominada: "**CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO Y DE LA SUBESTACIÓN TRANSFORMADORA DE ENERGÍA EN EL DISTRITO LAS LOMAS, PROVINCIA DE CARAVELÍ, REGIÓN DE AREQUIPA**". Presentado por el Bachiller Juan Gregorio Chipoco Palo. Para optar el grado académico y/o título profesional de **INGENIERO GEÓLOGO - GEOTÉCNICO**.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y similitud de trabajos de investigación y producción intelectual de la UNJBG; considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es **16 %**. Por lo que **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis y/o trabajo enunciado líneas arriba, la cual esta expedita para continuar con los trámites para optar el título profesional de **INGENIERO GEÓLOGO - GEOTÉCNICO**, según corresponda para su publicación en el Repositorio Institucional.

Tacna, 13 de octubre del 2025.



FIRMA ASESOR

Nombres y apellidos: Fredy Cleto Cabrera Olivera

DNI: 29293902



Huella dactilar



FIRMA AUTOR

Nombres y apellidos: Juan Gregorio Chipoco Palo

DNI: 70570702



Huella dactilar

### **Dedicatoria**

El presente trabajo lo dedico a mis padres y hermanos, quienes me brindaron su apoyo y ayuda incondicional, ofreciéndome consejos alentadores para superarme durante mi proceso de formación. Gracias por estar siempre a mi lado y ser parte de este viaje trascendental que es la vida.

En memoria de “Toby”, quien fue un pilar durante mi época universitaria, y también dedico este momento a “Snow y Shadow”, quienes representan mi presente.

### **Agradecimiento**

En primer lugar, quiero expresar mi gratitud a Dios por darme la vida, el conocimiento y la oportunidad de crecer en esta profesión desafiante que, aunque compleja, es muy gratificante. También valoro el apoyo de mi familia y amistades, quienes de diversas maneras contribuyeron a mi formación profesional.

Además, extiendo mi sincero agradecimiento a la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna, específicamente a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica Geotecnia. Agradezco a todos los ingenieros que compartieron parte de sus vidas profesionales y conocimientos en nuestra formación y preparación.

Agradecer a mi asesor, el Ingeniero Fredy Cabrera por aportar su conocimiento y experiencia profesional durante todo el proceso de la investigación de la presente tesis, a mi grupo de trabajo conformado por Julio, Walter, Esteban y Nazario, quienes me dieron la oportunidad de iniciar mi carrera, así como desarrollarme como una mejor persona y profesional.

Expreso mi sincero reconocimiento a los miembros del jurado calificador, conformado por el Ing. Michael A. Miranda, el Ing. Hismael T. Rodriguez y el Ing. Jonathan D. Zavaleta, por su valiosa participación en la evaluación de esta tesis. Agradezco profundamente el tiempo dedicado, las observaciones constructivas y el rigor académico con el que abordaron su labor.

## Índice general

Portada.....	i
Hoja de jurados firmada .....	ii
Certificado de similitud.....	iii
Dedicatoria .....	iv
Agradecimiento .....	v
Resumen.....	xv
Abstract .....	xvi
Introducción .....	1
Capítulo I.....	1
1.1.    Aspectos generales.....	1
1.1.1.  Ubicación .....	1
1.1.2.  Clima.....	3
1.1.3.  Vegetación.....	3
1.1.4.  Hidrografía .....	3
1.2.    Descripción de proyecto .....	4
1.2.1.  Planteamiento del problema.....	4
1.3.    Formulación del problema.....	5
1.3.1.  Problema Principal .....	5
1.3.2.  Problema Específico.....	5
1.4.    Hipótesis .....	5
1.4.1.  Hipótesis General .....	5
1.4.2.  Hipótesis Específicas .....	5
1.5.    Objetivos.....	6
1.5.1.  Objetivo General .....	6
1.5.2.  Objetivos Específicos.....	6
1.6.    Fundamento y justificación.....	7
Capítulo II .....	8

Marco teórico .....	8
2.1.    Antecedentes .....	8
2.1.1.  Antecedentes nacionales .....	8
2.1.2.  Antecedentes internacionales .....	10
2.2.    Introducción a los parques eólicos .....	11
2.2.1.  Energía eólica .....	12
2.2.2.  Parques eólicos .....	12
2.3.    Zonificación geotécnica .....	18
2.4.    Investigaciones geotécnicas .....	18
2.4.1.  Exploración directa .....	19
2.4.2.  Exploración indirecta .....	32
2.5.    Clasificación de materiales con fines de excavación .....	44
2.6.    Peligros geológicos en proyectos .....	45
2.6.1.  Análisis de la susceptibilidad ante peligros por movimientos en masa	46
2.6.2.  Análisis de la susceptibilidad ante peligros por flujos hídricos .....	48
2.7.    Cimentaciones superficiales .....	51
2.8.    Comportamiento del suelo bajo cargas de arrancamiento o tensión .....	51
2.9.    Capacidad de carga .....	54
2.9.1.  Capacidad de carga: Terzaghi .....	54
2.9.2.  Capacidad de carga; Meyerhof .....	59
2.9.3.  Capacidad de carga: Vesic .....	60
2.10.   Teoría del asentamiento .....	61
2.10.1.  Tipos de asentamiento .....	62
2.10.2.  Cálculo del asentamiento .....	65
Capítulo III .....	67
Metodología .....	67
3.1.    Etapa de gabinete pre campo .....	67

3.2.	Etapa de campo .....	67
3.3.	Etapa laboratorio y gabinete .....	69
3.3.1.	Ensayos de laboratorio .....	69
3.3.2.	Trabajo de gabinete .....	69
Capítulo IV	.....	70
Discusión de resultados	.....	70
4.1.	Criterio de distribución y evaluación del Recurso Eólico .....	70
4.1.1.	Selección del lugar para el emplazamiento del parque eólico .....	70
4.1.2.	Evaluación del recurso eólico .....	70
4.2.	Geología regional.....	71
4.2.1.	Geomorfología regional .....	71
4.2.2.	Litoestratigrafía regional.....	73
4.3.	Geología local .....	74
4.3.1.	Geomorfología local.....	74
4.3.2.	Litoestratigrafía local .....	75
4.4.	Análisis geodinámico de la zona de estudio .....	78
4.4.1.	Evaluación de susceptibilidad del área de estudio .....	79
4.4.2.	Análisis de la susceptibilidad ante peligros por flujos hídricos .....	89
4.4.3.	Análisis de la susceptibilidad a deslizamientos y erosión fluvial ...	93
4.5.	Investigaciones geotécnicas .....	95
4.5.1.	Exploración indirecta .....	96
4.5.2.	Exploración directa .....	98
4.6.	Resultados de los ensayos geotécnicos .....	100
4.6.1.	Resultados de la exploración indirecta.....	100
4.6.2.	Resultados de la exploración directa.....	111
4.6.3.	Ripabilidad del terreno .....	125
4.7.	Modelo geológico geotécnico .....	125
4.7.1.	Unidades geotécnicas de la zona de estudio .....	126

4.7.2.	Obtención de parámetros geotécnicos.....	127
4.7.3.	Parámetros geotécnicos.....	140
4.7.4.	Obtención del Modelo Geotécnico.....	142
4.8.	Análisis de capacidad de carga y asentamiento.....	144
4.8.1.	Capacidad admisible por corte.....	144
4.8.2.	Capacidad por asentamiento.....	145
4.8.3.	Resultado de capacidad admisible por corte y asentamiento.....	146
4.8.4.	Análisis de cargas transmitidas a la cimentación.....	151
Capítulo V	.....	158
Conclusiones y recomendaciones	.....	158
5.1.	Conclusiones.....	158
5.2.	Recomendaciones.....	159
Referencias bibliográficas	.....	160
Anexos	.....	163

## Índice de tablas

Tabla 1 <i>Sistema de Coordenadas Geográficas del Polígono (WGS_1984)</i> .....	2
Tabla 2 <i>Sistema de Coordenadas proyectadas del Polígono (WGS_1984_UTM_Zona_18S)</i> .....	2
Tabla 3 <i>Factores clave en la instalación de plantas eólicas</i> .....	17
Tabla 4 <i>Símbolos de grupo clasificación SUCS incluyendo Prefijos y Sufijos</i> .....	20
Tabla 5 <i>Símbolos de cada Tipo de Suelo Clasificación SUCS</i> .....	22
Tabla 6 <i>Relación entre la densidad relativa y el ángulo de fricción de suelos cohesivos</i> .....	27
Tabla 7 <i>Parámetros del Sub suelo</i> .....	30
Tabla 8 <i>Compacidad Relativa de la Arena</i> .....	31
Tabla 9 <i>Resistencia de los Suelos Cohesivos</i> .....	31
Tabla 10 <i>Rango de velocidades de onda S</i> .....	34
Tabla 11 <i>Perfiles de suelo según la Velocidad de corte S</i> .....	38
Tabla 12 <i>Correlación velocidad de ondas p y tipo de suelo según Arce Helberg (1990)</i> .....	39
Tabla 13 <i>Correlación velocidad de ondas p y tipo de suelo según ASTM D 5777 – 95</i> .....	40
Tabla 14 <i>Resistividad de los materiales naturales</i> .....	43
Tabla 15 <i>Ripabilidad del material y la correlación con las ondas P</i> .....	45
Tabla 16 <i>Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos (Hoy movimiento en masa), (Kanungo - 1993)</i> .....	47
Tabla 17 <i>Característica del tipo de movimiento y material, Earle Steven, 2015</i> .	49
Tabla 18 <i>Factores de carga para las ecuaciones de Terzaghi</i> .....	57
Tabla 19 <i>Factores de Capacidad de Carga Modificados de Terzaghi <math>N'c</math>, <math>N'q</math> y <math>N'\gamma</math></i> .....	58
Tabla 20 <i>Parámetros máximos para los tipos de Asentamiento</i> .....	64
Tabla 21 <i>Límites de distorsión angular (<math>\alpha</math>)</i> .....	65

Tabla 22 <i>Estimación y clasificación de los niveles de Pendientes</i> .....	82
Tabla 23 <i>Cruzamiento de la información alfanumérica de los niveles de Pendientes</i> .....	82
Tabla 24 <i>Estimación y clasificación de las clases texturales del suelo</i> .....	85
Tabla 25 <i>Cruzamiento de la información de las clases texturales del suelo</i> .....	86
Tabla 26 <i>Estimación y clasificación del factor geológico – geomorfológico</i> .....	87
Tabla 27 <i>Cruzamiento de la información del factor geológico – geomorfológico</i> .....	89
Tabla 28 <i>Precipitación total mensual (mm) estación de Copara</i> .....	90
Tabla 29 <i>Precipitación total mensual (mm) estación de Lomas</i> .....	90
Tabla 30 <i>Ponderación del Mapa Isoyetas</i> .....	93
Tabla 31 <i>Matriz de cruzamiento de información por Isoyetas</i> .....	93
Tabla 32 <i>Grado de Amenaza para el análisis de susceptibilidad a movimientos en masa</i> .....	94
Tabla 33 <i>Resumen de ensayos de MASW y Refracción Sísmica ejecutados</i> .....	96
Tabla 34 <i>Resumen de ensayos de SEV ejecutados</i> .....	97
Tabla 35 <i>Resumen de ensayos de SPT ejecutados</i> .....	99
Tabla 36 <i>Resumen de calicatas ejecutadas</i> .....	99
Tabla 37 <i>Perfiles del suelo usando la Velocidad de corte S (Vs30), resultado del ensayo de MASW</i> .....	101
Tabla 38 <i>Resumen de resultados del ensayo de MASW y Refracción Sísmica ejecutados</i> .....	103
Tabla 39 <i>Resumen de los resultados de ensayo de SEV ejecutados</i> .....	107
Tabla 40 <i>Resumen de resultados del ensayo SPT</i> .....	112
Tabla 41 <i>Resumen de perfiles estratigráficos de las calicatas</i> .....	116
Tabla 42 <i>Resumen de datos obtenidos de ensayos de laboratorio en suelos</i> .....	119
Tabla 43 <i>Resumen de resultados de la densidad relativa</i> .....	121
Tabla 44 <i>Clasificación de Compacidad para suelos granulares</i> .....	121

Tabla 45 <i>Resumen del Ensayo químico de suelos</i> .....	123
Tabla 46 <i>Requisitos para concreto expuesto a soluciones de sulfatos</i> .....	124
Tabla 47 <i>Límites permisibles de cloruros y sales solubles totales</i> .....	124
Tabla 48 <i>Datos de ripabilidad obtenidos del terreno</i> .....	125
Tabla 49 <i>Resumen de las Unidades Geotécnicas</i> .....	126
Tabla 50 <i>Factores de corrección para obtener el número de golpes NI(60)</i> .....	128
Tabla 51 <i>Correlaciones corregidas a la energía de 60 % para el cálculo del ángulo de fricción</i> .....	129
Tabla 52 <i>Resumen de resultados de ángulos de fricción mediante SPT</i> .....	130
Tabla 53 <i>Resumen de resultados de ángulos de fricción mediante corte directo</i>	134
Tabla 54 <i>Resumen de resultados de ángulos de fricción por densidad relativa.</i>	136
Tabla 55 <i>Resumen de resultados de parámetros de elasticidad dinámica</i> .....	137
Tabla 56 <i>Resumen de parámetros resistencia y elasticidad de suelos</i> .....	141
Tabla 57 <i>Resumen de resultados de capacidad admisible por corte y asentamiento</i> .....	147
Tabla 58 <i>Parámetros normativos utilizados para la evaluación de las unidades geotécnicas.</i> .....	148
Tabla 59 <i>Características del aerogenerador del parque eólico</i> .....	152
Tabla 60 <i>Cargas o acciones transmitidas en la estructura</i> .....	153
Tabla 61 <i>Medidas respectivas de la zapata circular</i> .....	155
Tabla 62 <i>Esfuerzos transmitidos por la torre a la cimentación</i> .....	156

## Índice de figuras

Figura 1 <i>Mapa de Ubicación Puerto Lomas</i> .....	1
Figura 2 <i>Gráfica de plasticidad</i> .....	24
Figura 3 <i>Prueba de corte directo en arena</i> .....	26
Figura 4 <i>Ensayo de SPT insitu, procedimiento ASTM D1586-84</i> .....	28
Figura 5 <i>Saca muestra partido ASTM D1586-84</i> .....	29
Figura 6 <i>Configuración Schlumberger</i> .....	42
Figura 7 <i>Proceso de Ensayo de SEV</i> .....	44
Figura 8 <i>Tipos de movimiento en masa, USGSS (2008)</i> .....	50
Figura 9 <i>Método del cono invertido</i> .....	52
Figura 10 <i>Falla de la capacidad de carga en un suelo bajo una cimentación continua rígida en grava</i> .....	55
Figura 11 <i>Tipos de Asentamiento</i> .....	63
Figura 12 <i>En la presente fotografía se observa la excavación o apertura de calicatas</i> .....	68
Figura 13 <i>En la fotografía se observan trabajos de perforación diamantina para realizar la prueba de SPT</i> .....	68
Figura 14 <i>En la fotografía se observan los mantos de arena representativos de la zona de estudio, junto con la vegetación típica de la región</i> .....	76
Figura 15 <i>En la fotografía se observan depósitos coluviales en la zona</i> .....	77
Figura 16 <i>En la fotografía se observan llanuras y planicies desérticas de la zona</i> .....	78
Figura 17 <i>Mapa de Inventario de peligros geológicos</i> .....	80
Figura 18 <i>Mapa de Pendientes</i> .....	81
Figura 19 <i>Mapa geológico</i> .....	84
Figura 20 <i>Mapa geomorfológico</i> .....	88
Figura 21 <i>Histograma comparativo de precipitación promedio mensual (mm)</i> ... 91	91

Figura 22 <i>Análisis comparativo de Variación de la Precipitación Total Anual</i> <i>(mm)</i> .....	91
Figura 23 <i>Mapa de precipitaciones</i> .....	92
Figura 24 <i>Representación gráfica de susceptibilidad a movimientos en masa</i> ....	94
Figura 25 <i>Vista del plantado de los geófonos. MASW-06</i> .....	102
Figura 26 <i>Vista de la ubicación de la línea de refracción sísmica LS-ST</i> . ....	102
Figura 27 <i>En la fotografía se observan trabajos de perforación diamantina con</i> <i>SPT-03</i> .....	111
Figura 28 <i>En la fotografía se observan trabajos de perforación diamantina con</i> <i>SPT-25</i> .....	114
Figura 29 <i>En la fotografía se observan las maquinarias que se emplearon para</i> <i>el proyecto de tesis</i> . ....	115
Figura 30 <i>Geometrías utilizadas para cimentación de aerogeneradores</i> .....	151
Figura 31 <i>Diferentes acciones que intervienen en la estructura</i> .....	154
Figura 32 <i>Definición geométrica de la zapata circular</i> .....	155

## **Resumen**

Los estudios de caracterización geológica geotécnica para el emplazamiento se llevaron a cabo en 2023 en el distrito de Lomas, en la Provincia de Caravelí, a 30 minutos del Puerto Las Lomas.

Los rasgos geológicos predominantes del área de emplazamiento son depósitos cuaternarios recientes, caracterizados por la presencia de depósitos eólicos y, cerca del litoral, depósitos marinos. Los mantos de arena más antiguos se extienden ampliamente en la zona de estudio. El lugar de emplazamiento abarca un área de 1 439,17 hectáreas.

Para la geotecnia, se realizaron excavaciones manuales de nueve calicatas para obtener muestras que fueron llevadas al laboratorio para su clasificación y determinación de la composición y características del suelo. Además, se realizaron nueve perforaciones en diamantina con ensayo de penetración estándar (SPT).

En cuanto a la geofísica, se llevaron a cabo ensayos de sondeo eléctrico vertical (SEV), MASW y Refracción Sísmica en los puntos seleccionados para los aerogeneradores, para la obtención de los parámetros elásticos.

Además, para identificar zonas de amenazas geológicas se elaboró un mapa de zonificación de movimientos en masa, relacionando factores como pendiente, geología, textura del suelo y precipitación, reflejados en el Mapa de Susceptibilidad. El mapa resultante clasifica las zonas en Muy Baja, Baja, Media y Alta susceptibilidad a movimientos en masa.

Finalmente, con la obtención de los resultados se elaboró un mapa de zonificación geotécnica, identificando tres unidades geotécnicas con diferentes características del subsuelo para propósitos de cimentación superficial.

## **Abstract**

Geotechnical geological characterization studies for the site were carried out in 2023 in the district of Lomas, in the Province of Caravelí, 30 minutes from Puerto Las Lomas.

The predominant geological features of the emplacement area are recent Quaternary deposits, characterized by the presence of aeolian deposits and, near the coast, marine deposits. The oldest sand layers are widely spread in the study area. The site covers an area of 1 439,17 hectares.

For geotechnics, manual excavations of nine pits were carried out to obtain samples that were taken to the laboratory for classification and determination of the composition and characteristics of the soil. In addition, nine diamond perforations were performed with standard penetration test (SPT).

Regarding geophysics, vertical electrical sounding (VES), MASW and seismic refraction tests were carried out at the points selected for the wind turbines, to obtain the elastic parameters.

In addition, to identify areas of geological hazards, a zoning map of mass movements was developed, relating factors such as slope, geology, soil texture and precipitation, reflected in the Susceptibility Map. The resulting map classifies the zones into Very Low, Low, Medium and High susceptibility to mass movements.

Finally, with the results obtained, a geotechnical zoning map was developed, identifying three geotechnical units with different characteristics of the subsoil for surface foundation purposes.

## **Introducción**

Uno de los principales desafíos que enfrenta la sociedad en la actualidad es la transición de las energías no renovables, como los combustibles fósiles, a fuentes de energía renovable, destacando la energía eólica por su eficiencia y bajo impacto ambiental.

El objetivo del estudio fue realizar una caracterización geológica y geotécnica detallada del área con el propósito de identificar zonas óptimas y obtener el conocimiento necesario para validar los emplazamientos de torres de viento o aerogeneradores, dando una alternativa que beneficie el desarrollo social y económico del distrito Las Lomas.

El análisis geológico-geotécnico es esencial en la ejecución de proyectos, debido que influye de manera relevante en la estabilidad y seguridad del terreno sobre el cual se apoyarán las estructuras planificadas. Este análisis debe cumplir con una serie de características que lo validen como una base adecuada para la futura construcción. Entre estas características se incluyen la resistencia del suelo, la capacidad de carga, la presencia de agua subterránea y la susceptibilidad a fenómenos geológicos como deslizamientos o erosión por flujos hídricos. Además de los aspectos geotécnicos, la selección de emplazamientos para parques eólicos también debe considerar factores meteorológicos y ambientales. La velocidad y consistencia del viento son cruciales para maximizar la generación de energía.

Ante lo expuesto, se resalta la importancia de realizar estudios que permitan ubicar las infraestructuras eólicas y la Subestación en sitios donde se maximice el equilibrio entre el aprovechamiento del potencial eólico y las condiciones geotécnicas del terreno. Esto no solo mejorará el rendimiento y la eficiencia de los aerogeneradores, sino que también garantizará la sostenibilidad y seguridad de esta fuente de energía renovable y alternativa a largo plazo.

## Capítulo I

### 1.1. Aspectos generales

#### 1.1.1. Ubicación

Las Lomas se ubica en la provincia de Caravelí, se encuentra en el límite entre Ica y Arequipa. El puerto de Lomas es una caleta pesquera artesanal, que abastece con productos marinos a los asentamientos poblacionales y también posee paradisíacas playas para el turismo estacional.

El acceso al distrito de Lomas se encuentra a la altura del kilómetro 528 de la Panamericana Sur. Desde ese punto, un desvío pavimentado de 8 kilómetros hacia la izquierda permite llegar tanto a Lomas Capital como al Puerto de Lomas.

#### Figura 1

Mapa de Ubicación Puerto Lomas



Nota. Fuente propia.

### Ubicación Política

Región : Arequipa  
 Provincia : Caraveli  
 Distrito : Las Lomas

### Ubicación Geográfica

**Tabla 1**

*Sistema de Coordenadas Geográficas del Polígono (WGS\_1984)*

ID	Coordenadas Geográficas	
	SUR	OESTE
P1	15°23'20''	74°59'49''
P2	15°22'23''	74°58'43''
P3	15°23'12''	74°56'42''
P4	15°24'18''	74°57'53''
P5	15°24'41''	74°59'20''
P6	15°24'29''	74°59'46''

*Nota.* Elaboración Propia.

**Tabla 2**

*Sistema de Coordenadas proyectadas del Polígono (WGS\_1984\_UTM\_Zona\_18S)*

ID	Coordenadas UTM	
	ESTE	NORTE
P1	500334.53	8298664.48
P2	502304.82	8300425.28
P3	505894.70	8298909.75
P4	503776.96	8296874.63
P5	501204.20	8296159.83
P6	500422.41	8296554.87

*Nota.* Elaboración Propia.

### **1.1.2. Clima**

De acuerdo con Vidal (1978), el clima en la región es cálido y seco, típico de la costa peruana. Describiendo a detalle lo anterior, durante el verano hay extrema aridez, aunque la influencia de las brisas marinas provenientes del sureste mantiene el litoral con un clima fresco y agradable. En los Valles Transversales y la Depresión Preandina, el calor es sofocante debido a la escasa circulación del viento, exacerbado por la irradiación solar sobre las masas de arena. En la zona se registran vientos locales que están asociados a diversos factores meteorológicos, entre ellos destacan los fuertes vientos de arena y tierra, comúnmente conocidos como “vientos paracas”, que suelen ocurrir durante los cambios de estación.

### **1.1.3. Vegetación**

En cuanto a la vegetación característica de esta zona desértica, se destaca la presencia de 2 tipos de flora, identificadas según Whaley et al. (2010) como los cimarrones o clavelines (*Tillandsia purpurea*) poseen una cubierta protectora de pequeñas escamas blancas en sus hojas, que capturan la humedad y los nutrientes que el viento y las corrientes de neblina transportan. Otro tipo de flora son las cactáceas, son las clásicas plantas adaptadas al desierto, se encuentran aproximadamente una docena de importantes especies locales en el sur de Ica y norte de Arequipa.

### **1.1.4. Hidrografía**

Los ríos que integran el sistema hidrográfico de Arequipa nacen en las altas cumbres de la Cordillera Occidental. Desde allí, descienden por empinadas pendientes y laderas hacia el oeste, esculpiendo valles y cañones en su trayecto, hasta alcanzar el Océano Pacífico. Hacia el norte del distrito de Caravelí, se aprecian pequeñas intercuencas que reciben un escaso aporte de agua.

## **1.2. Descripción de proyecto**

### ***1.2.1. Planteamiento del problema***

El área de estudio está ubicada en el distrito de Las Lomas, la cual ha experimentado un crecimiento económico regular en los últimos años, cuyo puerto antiguamente era muy importante, tanto en la pesca como en el transporte. pero actualmente se ha reducido a una caleta artesanal debido a la ausencia de inversiones en infraestructura orientadas al desarrollo regional sostenible. Uno de los principales desafíos en la ejecución de estos proyectos radica en la localización precisa de zonas técnicamente aptas para su implementación, especialmente en entornos costeros donde las características geológicas presentan alta variabilidad.

El incremento en la demanda de energía eléctrica para las poblaciones en zonas costeras desérticas, unido a la necesidad de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, están impulsando el avance de energías renovables, como es el caso de la energía eólica. Ésta forma de energía aprovecha fenómenos atmosféricos naturales, destacando los fuertes vientos característicos en la zona, las cuales podrían generar electricidad de manera limpia y sostenible. No obstante, para asegurar la viabilidad técnica y económica de un parque eólico y su infraestructura complementaria, como la subestación transformadora, es indispensable realizar una caracterización geotécnica detallada de las zonas donde se proyecta su instalación.

En el Perú se desarrollan proyectos de gran magnitud y de forma continua; sin embargo, la limitada divulgación de estudios nacionales sobre estructuras eólicas dificulta el diseño y ejecución eficiente de estas iniciativas. Ante esta brecha técnica, se propone la evaluación geotécnica de zonas óptimas para la instalación de un parque eólico y su subestación en el distrito de Las Lomas, con el objetivo de impulsar el desarrollo sostenible mediante infraestructura energética limpia y técnicamente respaldada.

### **1.3. Formulación del problema**

#### ***1.3.1. Problema Principal***

¿Cuáles son las características geotécnicas para el emplazamiento de un parque eólico y de la subestación transformadora de energía en el distrito Las Lomas, provincia de Caravelí, región Arequipa?

#### ***1.3.2. Problema Específico***

- a) ¿Existen condiciones geotécnicas adversas para el emplazamiento de un parque eólico en el distrito de las Lomas, región de Arequipa?
- b) ¿Cómo determinar las zonas que pueden considerarse óptimas desde el punto de vista geotécnico para el emplazamiento de un parque eólico en el distrito de las Lomas, región de Arequipa?

### **1.4. Hipótesis**

#### ***1.4.1. Hipótesis General***

Existen zonas dentro del distrito Las Lomas que presentan características geotécnicas óptimas para el emplazamiento seguro y eficiente de un parque eólico y su subestación transformadora de energía.

#### ***1.4.2. Hipótesis Específicas***

- a) La estabilidad para el emplazamiento de un parque eólico depende directamente del análisis del terreno en el distrito de las Lomas, región de Arequipa

- b) La aplicación de un modelo geotécnico tridimensional permite identificar con mayor precisión las zonas más estables y seguras para el emplazamiento de un parque eólico destinado a la generación de energía eléctrica para el distrito las Lomas, región de Arequipa.

## **1.5. Objetivos**

### ***1.5.1. Objetivo General***

Identificar mediante una caracterización geotécnica las zonas óptimas para el emplazamiento de un parque eólico y su subestación transformadora de energía en el distrito de las Lomas, región de Arequipa

### ***1.5.2. Objetivos Específicos***

- a) Determinar las condiciones geotécnicas óptimas del terreno para el emplazamiento un Parque eólico en el distrito de las Lomas, región de Arequipa
- b) Establecer mediante un modelo geotécnico tridimensional las zonificaciones geotécnicas para el emplazamiento un parque eólico destinado a la generación de energía eléctrica para el distrito de las Lomas, región de Arequipa

## **1.6. Fundamento y justificación**

El distrito de Las Lomas se sustenta principalmente a través de actividades pesqueras y turísticas. El limitado suministro energético, especialmente de electricidad, y la escasez de propuestas de proyectos, interfieren en el desarrollo social y económico, afectando el progreso de la zona.

La justificación de esta investigación radica en la necesidad de identificar y evaluar sitios adecuados para la instalación de parques eólicos en el distrito de Las Lomas. La construcción de un parque eólico cerca de este pequeño puerto pesquero artesanal no solo contribuirá a satisfacer la creciente demanda de energía eléctrica de manera sostenible, sino que también puede ser beneficiosa económicamente, impulsando su reactivación y fomentando la sostenibilidad ambiental. Esto subraya la importancia de este tipo de proyectos en la región.

La elaboración del presente trabajo de tesis adicionalmente pretende servir de preámbulo para futuras investigaciones y proyectos de energía renovable en la región, además aportará con datos concernientes a parámetros de mecánica de suelos, geología entre otros.

## Capítulo II

### Marco teórico

#### 2.1. Antecedentes

Este subcapítulo, que forma parte de la investigación preliminar, se sintetiza a partir de ocho tesis, divididas equitativamente entre fuentes nacionales e internacionales.

##### 2.1.1. Antecedentes nacionales

Gordillo y Montoya (2023) presentaron la tesis de pregrado titulada "*Análisis del desarrollo y potencial de la energía eólica en el Perú*", teniendo por objetivo realizar un análisis basado en una revisión sistemática de las investigaciones sobre energía eólica realizadas en Perú en los últimos años, evaluando su evolución y el potencial del país para desarrollar esta fuente de energía renovable. Se considerarán diversas variables e indicadores que influyen en este aspecto. Además, se analizarán estudios de otros países con un desarrollo más avanzado en energía eólica para enriquecer el análisis y la discusión del trabajo. La investigación utiliza una revisión sistemática de la literatura sobre el tema. El alcance incluye tipos exploratorios y explicativos, con un enfoque cualitativo y una metodología de investigación no experimental. Entre los principales hallazgos, se identificó un número significativo de proyectos adjudicados y parques eólicos en ejecución en Perú.

Escobar y Esplana (2019) presentaron su proyecto de grado llamado "*Estudio del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en la región de Huancavelica*", como objetivo principal del estudio fue analizar la adecuación de la cantidad de energía eléctrica generada a partir del potencial eólico en la Región de Huancavelica. La metodología empleada fue de tipo aplicada y nivel descriptivo,

con un diseño no experimental y utilizando fichas de registro de datos. La población del estudio fue la Región de Huancavelica, y la muestra incluyó 5 distritos seleccionados por conveniencia. Para el análisis inferencial, se utilizó el método estadístico de Kolmogórov-Smirnov, que mostró que los datos de las velocidades del viento no seguían una distribución normal. Por ello, se aplicó la prueba no paramétrica de signos de Wilcoxon, concluyendo que los datos registrados por las estaciones meteorológicas en Huancavelica durante 2015-2017 son adecuados para la implementación de aerogeneradores de baja potencia (70 KWh/d).

Chalco y Olivos (2019), presentaron la tesis de pregrado titulada “*Estudio geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales en suelo arenoso en el proyecto Condominio oasis, distrito de Paracas – Pisco – Ica – Perú*”, El propósito principal fue llevar a cabo un análisis geotécnico y sugerir alternativas de cimentaciones superficiales, las cuales se comprobaron con el programa SAFE. El estudio mostró una estratigrafía de terreno granular formado por arena mal distribuida con una capacidad de carga de  $1,67 \text{ kgf/m}^2$  y la existencia de sales no dañinas. Se sugirió el uso de zapatas vinculadas a vigas de cimentación, cimientos corridos y losas de cimentación.

Jimenes (2018) “*Estudio de viabilidad técnica de un mini parque eólico de 9 kw conectado a la red eléctrica Puno, en el sector de Ventilla Alto Puno - Departamento de Puno*”, este proyecto se centra en el estudio viabilidad técnica en el ámbito de las energías alternativas, específicamente la energía eólica, para el potencial establecimiento de un pequeño parque eólico a través de técnicas probabilísticas en la ciudad de Puno, Alto Puno (Sector Ventilla). En el proyecto se utilizan hojas de cálculo de Excel, Google Earth Pro para la información geográfica y datos meteorológicos. El estudio es experimental y recolecta datos acerca de las siguientes variables: la velocidad promedio y máxima del viento, así como las direcciones promedio y máxima del viento.

### **2.1.2. Antecedentes internacionales**

González (2023) con su Trabajo Fin de Máster “*Análisis de las cimentaciones de los aerogeneradores del parque eólico de Buseco (Asturias)*”, tiene por objetivo del estudio definir la tipología de la cimentación de aerogeneradores sobre sustrato rocoso, verificando dos tipos de cimentación propuestas en las fases de predimensionado y licitación. Se comprobó el cumplimiento de los estados límites últimos. Para la cimentación directa, se verificó la estabilidad global, el hundimiento y el deslizamiento. En el caso de la cimentación anclada, se comprobó el despegue, la resistencia de la roca y la resistencia a la tracción y adhesión del mortero de los anclajes en la roca. En todas las situaciones, se logró una comprobación positiva.

Astudillo y Serrano (2022) presentaron el proyecto de grado titulada “*Análisis crítico del diseño geotécnico de cimentaciones para aerogeneradores en el sector Minas de Huaschaca*”, el objetivo es realizar un análisis crítico del diseño geotécnico de las cimentaciones superficiales de los aerogeneradores. Utilizando las propiedades físicas y mecánicas de los suelos obtenidas de la base de cada cimentación, se determinaron los factores de seguridad contra vuelco, deslizamiento y fallo de base. Se verificó que estas bases cumplen con gran medida con las regulaciones para este tipo de construcciones en Ecuador. Los números de los factores de seguridad señalan que los cimientos satisfacen los estándares de seguridad, aunque desde una perspectiva geotécnica están sobredimensionados.

Soto (2013) presentó la tesis llamada “*Estudios geológicos, - geotécnico a detalle para la construcción del parque eólico Santo Domingo tramo II, cantón Catamayo provincia de Loja*”, con el propósito de obtener un conocimiento que facilite la confirmación de los emplazamientos de unas torres de viento y la elaboración del proyecto ejecutivo de un Parque Eólico, elabora un mapa geológico

y estructural detallado del Parque Santo Domingo, a una escala 1:1000, que se utilizará como fundamento para investigaciones geotécnicas, a su vez desarrolla e interpreta los resultados geológicos - geotécnicos sobre la base de los análisis y ensayos de laboratorio y por último, elabora un mapa de zonificación a movimientos en masa.

FSF INGENIERÍA (2013) en su trabajo de consultoría “ *Estudio geotécnico del terreno para la construcción de un parque eólico formado por 132 aerogeneradores denominado Eólica del sur – Bii Binnizá – 396 Mw*”, la finalidad del proyecto es definir la disposición y características geomecánicas de los diferentes estratos del terreno en la profundidad de 30 metros, analizando el comportamiento mecánico del subsuelo e investigando las tensiones y deformaciones que el suelo experimenta bajo estados de carga. La campaña consiste en la realización de ciento cuarenta y nueve (149) Sondeos Mixtos para los ciento treinta y dos Aerogeneradores (132) más seis sondeos para las dos Subestaciones Eléctricas, y once sondeos para la construcción y comprobación de Puentes, toma de muestras en S.P.T. e inalteradas a diferentes cotas de profundidad. Comprobando que, los ensayos realizados son suficientes para la buena finalización de este estudio.

## **2.2. Introducción a los parques eólicos**

En un entorno global donde la sostenibilidad y las fuentes de energía renovable son esenciales, los parques eólicos se presentan como una solución ideal para un futuro más verde. Estos complejos aprovechan la fuerza del viento para generar electricidad de manera limpia y eficiente. La gran mayoría de países están apostando por la energía eólica por sus múltiples ventajas.

### **2.2.1. Energía eólica**

En la opinión de Segui (2024) la energía eólica se deriva de la fuerza constante del viento. Aplica la energía cinética generada por las masas atmosféricas. Los aerogeneradores transforman la energía eólica en energía eléctrica.

La energía eólica se genera siguiendo los pasos siguientes:

- a) El viento en acción: El viento, impulsado por las variaciones en la presión del aire, impacta las aspas de los aerogeneradores.
- b) Las aspas giran: El viento provoca que las aspas del aerogenerador se muevan como si fueran hélices de un molino de gran envergadura.
- c) Movimiento a energía: Ese movimiento rotativo se transforma en energía mecánica mediante un eje que une las aspas a un generador.
- d) Generación eléctrica: El generador transforma la energía mecánica en electricidad, al igual que un dínamo en un vehículo eléctrico.
- e) Electricidad a la red: La energía producida se convierte y se transmite a la red eléctrica para su distribución y uso.

### **2.2.2. Parques eólicos**

Como plantea Segui (2024) un parque eólico se compone de aerogeneradores situados en una misma zona, cuyo propósito es transformar la energía eólica en electricidad para los usuarios. Estos, tienen la capacidad de propagarse tanto en tierra (onshore) como en el mar (offshore).

- **Características fundamentales de las plantas eólicas:**
  - Los parques eólicos utilizan la energía eólica para producir electricidad de forma ecológica y sustentable.

- Los elementos clave son las turbinas eólicas o aerogeneradores, torres con aspas que transforman el viento en energía eléctrica.
  - Proporcionan múltiples beneficios, tales como la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> y la conservación de los recursos naturales.
  - Son estructuras de variados tamaños y generalmente se encuentran en zonas abiertas y ventosas; áreas costeras, colinas o áreas rurales, donde el viento es constante y potente, asegurando así un rendimiento superior en la producción de electricidad.
- **Cómo funcionan los parques eólicos**

La operación de una central eólica se fundamenta en convertir la energía cinética del viento en electricidad. Las turbinas, movidas por el viento, accionan un generador que genera energía eléctrica. Esta energía, posteriormente, se transforma y se reparte a la red eléctrica.

- **Generación de electricidad en un proyecto eólico**

Las fases para la generación de electricidad en un proyecto eólico con varios aerogeneradores serían:

**a) Captura del viento**

- Aspas de la Turbina: Diseñadas aerodinámicamente para capturar la máxima cantidad de energía eólica.
- Orientación: La mayoría de las turbinas se ajustan automáticamente para enfrentar el viento de manera óptima.

**b) Conversión de energía**

- Generador: Ubicado en la góndola, convierte la energía mecánica de las aspas en energía eléctrica.
- Multiplicador: Aumenta la velocidad de rotación del eje lento de las aspas al eje rápido necesario para el generador.

**c) Transmisión de energía**

- Subestaciones: La electricidad generada se transmite a subestaciones donde se aumenta su voltaje para su distribución.
- Red Eléctrica: Finalmente, la energía se integra a la red eléctrica para su consumo.

**• Tipos de Parques Eólicos**

Explorar la clasificación de los parques con aerogeneradores nos permite entender mejor cómo se adaptan a distintos entornos y necesidades. Los podemos distinguir en:

**a) Parques eólicos terrestres (Onshore)**

- Ubicación: Estas granjas eólicas se sitúan en tierra, a menudo en áreas rurales o montañosas.
- Características: Más fáciles y económicos de construir y mantener.
- Desafíos: Limitaciones de espacio y posible impacto visual.

**b) Parques eólicos marinos (Offshore)**

- Ubicación: En el mar, generalmente cerca de las costas.
- Ventajas: Vientos más fuertes y constantes, mayor producción.
- Retos: Mayor costo y complejidad en construcción y mantenimiento.

### **c) Parques eólicos flotantes**

- Innovación: Turbinas instaladas en plataformas flotantes.
- Potencial: Acceso a aguas profundas, aprovechando vientos más fuertes.
- Futuro: Expansión en regiones con aguas profundas cercanas a la costa

#### **• Ventajas y desventajas de las centrales eólicas**

En la opinión de Segui (2024), los complejos eólicos ofrecen varias ventajas significativas, especialmente en términos de sostenibilidad y eficiencia energética. Además, aportan muchos otros beneficios:

#### **a) Beneficios de los Parques Eólicos**

- Se trata de una energía sustentable y renovable: Mediante el uso de la energía eólica, limpia e inagotable, reduce la dependencia de combustibles fósiles y las emisiones contaminantes.
- Genera cero Emisiones de CO<sub>2</sub>: Operan sin emitir CO<sub>2</sub> ni otros contaminantes, contribuyendo a la mitigación del cambio climático.
- Poseen costos reducidos de funcionamiento y mantenimiento: En contraste con otros métodos de producción de energía, las granjas eólicas resultan más rentables en el largo plazo.
- Crean puestos de trabajo local y nuevas compañías: Impulsan el empleo en construcción, operación y mantenimiento, favoreciendo el desarrollo local.
- Variación de la matriz de energía: Integran energía renovable al sistema, mejorando la seguridad energética y reduciendo la dependencia de combustibles fósiles importados.
- Independencia energética: Las plantas de energía eólica favorecen la autonomía energética en países dependientes de combustibles fósiles, sin afectar actividades como agricultura o ganadería.

De acuerdo con Global Wind Energy Council (GWEC), se ha conseguido una disminución de cerca de 1.1 gigatoneladas de CO<sub>2</sub>, lo que se traduce en la eliminación de 260 millones de vehículos de circulación.

### **b) Desventajas de los Parques Eólicos**

En la opinión de Segui (2024), a pesar de sus considerables ventajas, el efecto en el medio ambiente de una planta eólica es un factor esencial que se debe considerar al discutir los parques de aerogeneradores. Algunos elementos negativos a considerar:

- Poseen una influencia visual: Pueden modificar la estética del ambiente natural e influir en el valor de las propiedades adyacentes, a pesar de que se implementan acciones para reducir este efecto.
- Generan sonido y vibraciones: Las turbinas producen un ruido continuo que puede resultar alarmante en proximidades de áreas residenciales. Aunque la tecnología emergente está ofreciendo nuevas turbinas más silenciosas.
- Efecto en la fauna salvaje: Existe el riesgo de colisión para aves y murciélagos, especialmente en rutas migratorias, aunque se están desarrollando tecnologías para reducir este efecto.
- Requerimiento de extensas áreas de terreno: El desarrollo de un parque eólico requiere extensas áreas, lo que puede dificultarse en lugares con limitaciones de espacio o disputas sobre el uso del suelo.
- Considerable inversión financiera: Establecer un área de producción eólica conlleva altos costos financieros, a pesar de que su mantenimiento sea bajo.

Reducir el efecto y potenciar las ventajas de una instalación no solo se basa en la tecnología y la economía, sino también en una meticulosa instalación y organización que considere diversos aspectos.

- **Puntos clave para la instalación de una granja eólica**

La instalación de una planta de energía eólica exige tener en cuenta diversos aspectos esenciales para garantizar su eficacia, sostenibilidad y aprobación de la comunidad. Las claves son:

**Tabla 3**

*Factores clave en la instalación de plantas eólicas*

Factores clave en la instalación de plantas eólicas	Consideraciones Detalladas
Evaluación del recurso eólico	Mediciones de Velocidad y Dirección del Viento.
Selección el lugar	Análisis de Datos Meteorológicos. Topografía y Accesibilidad. Uso del Suelo y Restricciones Locales.
Impacto ambiental y social	Evaluaciones de Impacto Ambiental. Consultas Comunitarias.
Conexión a la red eléctrica	Infraestructura de Red Existente. Costos de Conexión y Transmisión.
Tecnología de turbinas eólicas	Selección de Turbinas. Eficiencia y Confiabilidad.
Planificación y regulaciones	Permisos y Licencias. Cumplimiento Regulatorio.
Financiación y viabilidad económica	Análisis de Costos y Beneficios. Búsqueda de Financiamiento. Caminos y Fundaciones.
Infraestructura de Soporte	Facilidades de Almacenamiento y Mantenimiento.
Planificación a largo plazo y mantenimiento	Estrategias de Mantenimiento. Consideraciones de Desmantelamiento.

*Nota.* Obtenido de OVACEN: Energía Renovable y Parques Eólicos (Segui, 2024).

### **2.3. Zonificación geotécnica**

De acuerdo con González (2001), la zonificación geotécnica consiste en la identificación de unidades con características geotécnicas homogéneas, que pueden corresponder a diversas edades geológicas. Estas unidades pueden subdividirse en subunidades, cuya precisión y uniformidad dependen de la escala utilizada, los objetivos del mapa y la información disponible.

Se deberá establecer las unidades geotécnicas de suelos y rocas en función de sus características físicas y mecánicas, tales como resistencia, deformabilidad, permeabilidad, entre otras.

La zonificación de suelos puede llevarse a cabo utilizando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), complementado con la carta de plasticidad de Casagrande. También se consideran el tipo de depósito, la consistencia o densidad relativa, la permeabilidad y los parámetros de resistencia del terreno.

Para la zonación de rocas, requiere clasificaciones geomecánicas que consideran resistencia, meteorización, discontinuidades, fracturamiento y permeabilidad.

### **2.4. Investigaciones geotécnicas**

Los estudios geológicos del terreno son eficientes y rentables. Su correcta ejecución optimiza la precisión de las campañas de ensayos, facilitando su desarrollo. Por ello, es fundamental iniciar las campañas con un análisis geológico que establezca las bases para el diseño de la campaña de prospecciones.

La incertidumbre en los proyectos eólicos se relaciona principalmente con las características geotécnicas y geofísicas del terreno. Estas propiedades son esenciales para lograr diseños seguros y eficientes.

A continuación, se sintetizan algunos de los factores geotécnicos más relevantes que generalmente están relacionados con los proyectos de energía eólica.

#### **2.4.1. Exploración directa**

##### **2.4.1.1. Ensayos de Mecánica de suelos**

###### **a) Clasificación de los suelos**

La clasificación del suelo es esencial en la modelación geotécnica y el diseño de cimentaciones para un terreno específico, ya que permite determinar su tipo de suelo, la capacidad de carga y asentamientos en los estratos del terreno, de manera que estos tengan las características requeridas para sustentar la estructura.

Este análisis garantiza que el suelo reúna las propiedades necesarias para soportar la estructura proyectada. (Das, 2001).

- **Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)**

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS), desarrollado por Arthur Casagrande, es una metodología ingenieril utilizada para caracterizar la granulometría y textura de los suelos. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales no consolidados, permitiendo clasificar aquellos con partículas inferiores a tres (3) pulgadas; se expresa mediante un símbolo con dos letras (Das, 2001).

El sistema Unificado de Clasificación, clasifica los suelos en dos amplias categorías:

- Los suelos de grano grueso, que se componen principalmente de grava y arena, muestran menos del 50% de sus partículas al pasar por la malla No. 200. En el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), son reconocidos por los prefijos **G** para grava o terreno gravoso y **S** para arena o suelos arenoso.
- Suelos de grano fino, presentan al menos un 50 % de sus partículas atravesando la malla No. 200. En la clasificación SUCS, se identifican con los prefijos **M** para limo inorgánico, **C** para arcilla inorgánica y **O** para limos y arcillas de origen orgánico. Además, el símbolo **Pt** se asigna a turbas, lodos y otros suelos con alto contenido orgánico.

También se utilizan otros símbolos para la clasificación: **W**: bien graduado, **P**: mal graduado, **L**: plasticidad baja (límite de líquido inferior a 50), **H**: plasticidad alta (límite de líquido superior a 50).

**Tabla 4**

*Símbolos de grupo clasificación SUCS incluyendo Prefijos y Sufijos*

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	<b>G</b>	Bien graduado	<b>W</b>
Arena	<b>S</b>	Pobremente Graduado	<b>P</b>
Limo	<b>M</b>	Limoso	<b>M</b>
Arcilla	<b>C</b>	Arcilloso	<b>C</b>
Orgánico	<b>O</b>	Límite líquido alto (>50)	<b>L</b>
Turba	<b>R</b>	Límite líquido bajo (<50)	<b>H</b>

*Nota.* Tomado de Manual de Carreteras (Bañón & Beviá, 2000)

Según su distribución granulométrica y conforme a estándares como D.I.N., ASTM y AENOR, los suelos se categorizan en cuatro tipos principales: gravas, arenas, limos y arcillas. (González, 2002). A continuación se detalla:

- Gravas, cuyo tamaño de grano oscila entre 8-10 cm y 2 mm; se distinguen por ser directamente perceptibles los granos. No capturan el agua, debido a la inactividad de su superficie y las amplias cavidades presentes entre las partículas.
- Arenas, con partículas de 2 a 0,060 mm, siguen siendo perceptibles a simple vista. Cuando se combinan con el agua, no se generan agregados indefinidos, sino que se pueden separar fácilmente de ella.
- Limos, con partículas que oscilan entre 0,060 y 0,002 mm (algunas regulaciones señalan que este valor último debería ser 0,005 mm). Mejor conservan el agua que los tamaños más grandes. Si se elabora una pasta de agua-limo y se sitúa en la mano, al golpear con la mano se puede observar cómo el agua se desprende con facilidad.
- Arcillas, compuestas por fragmentos con dimensiones menores que los limos (0,002 mm). Principalmente están compuestas por minerales de silicatos, compuestos por cadenas de elementos tetraédricos y octaédricos (el ion silicio está en el núcleo de cada una de estas estructuras regulares), vinculadas mediante enlaces covalentes frágiles.

**Tabla 5***Símbolos de cada Tipo de Suelo Clasificación SUCS*

SÍMBOLO	Características Generales		
GW		Limpias	Bien graduadas
GP		(Finos <5 %)	Pobremente graduadas
	GRAVAS		
GM	(>50 % en tamiz #4 ASTM)	Con finos	Componente Limoso
GC		(Finos >12 %)	Componente Arcilloso
SW		Limpias	Bien graduadas
SP		(Finos <5 %)	Pobremente graduadas
	ARENAS		
SM	(<50 % en tamiz #4 ASTM)	Con finos	Componente Limoso
SC		(Finos >12 %)	Componente Arcilloso
ML		Baja Plasticidad (LL < 50)	
MH		Alta Plasticidad (LL > 50)	
	ARCILLAS		
CL		Baja Plasticidad (LL < 50)	
CH		Alta Plasticidad (LL > 50)	
	SUELOS ORGÁNICOS		
OL		Baja Plasticidad (LL < 50)	
OH		Alta Plasticidad (LL > 50)	
Pt		TURBA	Suelos altamente orgánicos

*Nota.* Tomado de Manual de Carreteras (Bañón & Beviá, 2000).

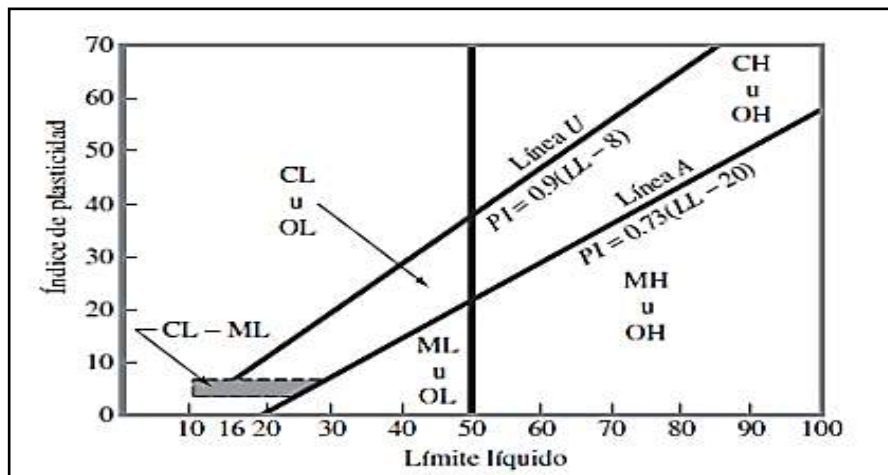
### **b) Ensayo Contenido de Humedad**

Para este ensayo nos apoyaremos de las siguientes normas: ASTM D 2216. El contenido de humedad es la relación, presentada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada del suelo, al peso de las partículas sólidas; la obtención de las partículas sólidas es por medio del secado en horno con temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ . La otra manera de obtención del contenido de humedad en Obra es mediante el procedimiento del Speedy.

### **c) Ensayo de Límites de Consistencia**

En este ensayo, nos basaremos en las siguientes normas: ASTM D 4318, AASHTO T 89 y ASTM D 4318, AASHTO T 90 respectivamente. La granulometría ofrece una primera aproximación para identificar el suelo, sin embargo, a veces resulta insuficientemente precisa (como en la arena limo-arcillosa), por lo que se recurre a índices derivados de la agronomía, que establecen la consistencia del suelo basándose en su contenido de agua, mediante la medición de la humedad.

Por ello Atterberg estableció 3 restricciones: El de retracción o consistencia que distingue entre el sólido seco y el semisólido, el límite plástico que distingue entre el semisólido y el plástico, y el límite líquido que distingue entre el plástico y el semilíquido; estos dos límites se establecen con la porción del suelo que atraviesa el tamiz.N° 40.

**Figura 2***Gráfica de plasticidad*

*Nota.* Tomado de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Das, 2001).

#### **d) Ensayo de Densidad de los suelos por el método del Cono de arena**

Para este ensayo nos apoyaremos de las siguientes normas: ASTM D 1558. El ensayo de densidad in situ determina la densidad del suelo para validar los trabajos de compactación, comparando los resultados con los parámetros técnicos de densidad, humedad y grado de compactación requeridos.

El método es aplicable para suelos cuyo tamaño de partículas sea menor a  $1\frac{1}{2}$ ", cuyo diámetro del hoyo de extracción es aproximadamente 10,16 cm, con una profundidad aproximada de 15 cm. y se emplea una arena estandarizada uniforme (arena formada por partículas cuarzosas, sanas, no cementadas, de granulometría redondeada y que forma parte de las mallas N° 10 y 20,

#### **e) Ensayos Químicos del Suelo**

Las muestras recolectadas del terreno y previamente identificadas, serán enviadas al laboratorio para su análisis, identificación y clasificación geotécnica.

Además, se efectuarán pruebas químicas para determinar la concentración de sulfatos y cloruros en suelos representativos y alterados.

Para determinar la agresividad de las muestras de suelo, se procederá como sigue:

- Determinación de la humedad natural.
- Secado y triturado.
- Tamizado por la malla # 40 un mínimo de 700 g

Con las condiciones mencionadas, se obtendrán los siguientes parámetros geoquímicos:

- Sulfatos,
- Cloruros y
- Sólidos solubles totales.

Los ensayos químicos de sales agresivas al concreto, serán desarrollados bajo las normas de la American Society for Testing and Material (ASTM D-516).

#### **2.4.1.2. Ensayos de Mecánica de suelos**

##### **a) Prueba de corte directo**

La arena seca puede ser examinada de forma adecuada a través de pruebas de corte directo, las cuales se llevarán a cabo conforme a las normas de la American Society For Testing and Materials (ASTM), a la norma NTP 339.

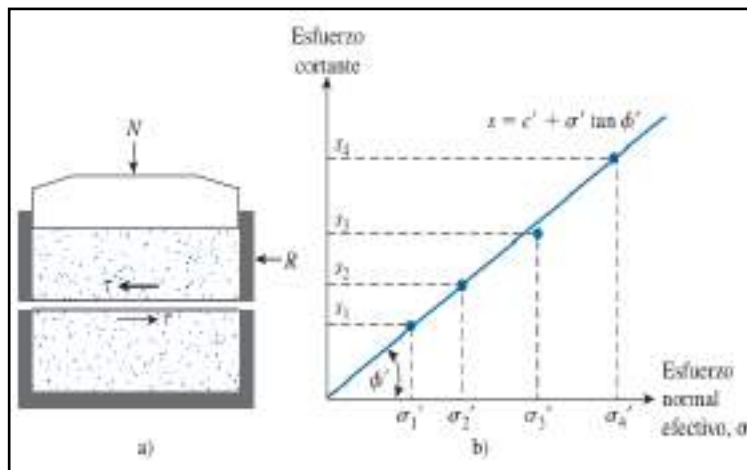
La arena se dispone en un recipiente de corte que se divide en dos mitades (figura 2 a). Primero, la muestra recibe una carga normal. Posteriormente, se ejerce una fuerza de corte en la parte superior de la caja de corte para provocar el derrumbe de la arena. Los esfuerzos habituales y de corte en caso de fallo son:

$$\sigma' = \frac{N}{A} \text{ y } S = \frac{R}{A}$$

donde  $A$  = área del plano de falla en el suelo, es decir, el área de la sección transversal de la caja de corte.

### Figura 3

#### Prueba de corte directo en arena



Nota. Se observa: a) diagrama esquemático del equipo de prueba; b) gráfica de los resultados de la prueba para obtener el ángulo de fricción (Das, 2012).

Es posible llevar a cabo diversas pruebas de este tipo modificando la carga habitual. Se puede calcular el ángulo de fricción de la arena mediante la elaboración de un gráfico de  $s$  contra  $\sigma'^{\wedge}$  ( $= \sigma$  para arena seca), tal como se ilustra en la Figura 3 b, o

$$\phi' = \tan^{-1}\left(\frac{s}{\sigma'}\right) \dots\dots (a)$$

**Tabla 6**

*Relación entre la densidad relativa y el ángulo de fricción de suelos cohesivos*

Estado del Empaquetamiento	Densidad Relativa (%)	Ángulo de fricción, $\phi$ (grados)
Muy suelto	<20	<30
Suelto	20-40	30-35
Compacto	40-60	35-40
Denso	60-80	40-45
Muy denso	>80	>45

*Nota.* Tomado de Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones (Das, 2012).

- **Parámetros de Resistencia**

- **Cohesión**, La cohesión ( $c$ ) alude a la resistencia interna de un suelo que actúa como un vínculo debido a las fuerzas de atracción entre las partículas; es una característica propia de los terrenos finos, como arcillas o limos, y es la encargada de su resistencia frente a la deformación y al corte.
- **Ángulo de Fricción**, El ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) es una medida de la resistencia que indica la capacidad de un suelo granular para resistir el movimiento relativo entre sus partículas.

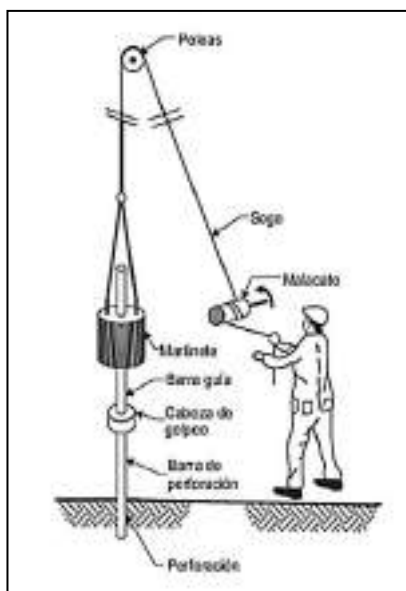
- b) **Ensayo de Penetración Estándar SPT**

Según la perspectiva de Campos (2011), señala: "El ensayo del SPT (Penetración estándar), posiblemente el más habitual y famoso de los ensayos de campo, evalúa la resistencia del terreno a la penetración de un muestreador de tubo partido de 2" (50,8 mm) de diámetro, al ser introducido en el suelo en la base de una perforación revestida." Este muestreador, también conocido como cuchara normal o saca muestras partido, es un tubo de acero con paredes de gran grosor

dividido longitudinalmente. El extremo inferior se conecta a una zapatilla de corte, mientras que el extremo superior se conecta a una válvula y copla para conectarse a la barra de sondeo.

#### Figura 4

*Ensayo de SPT insitu, procedimiento ASTM D1586-84*



*Nota.* Tomado de Libro Ingeniería Geológica (González, 2002).

#### - Metodología del procedimiento del cálculo de la Capacidad Portante mediante el Ensayo Penetración Estándar (SPT)

El Ensayo de Penetración Estándar (SPT) implica colocar un muestreador estandarizado en el fondo de un sondeo geotécnico, vinculado a un tren de barras. La penetración se consigue a través de impactos en la parte superior de las barillas con una barra de 63,5 kg, que se desplaza desde una altura de 76 cm. El número de impactos se registra en tres o cuatro tramos de 15 cm de progreso, y se calcula el valor N al sumar los golpes del segundo y tercer tramo.

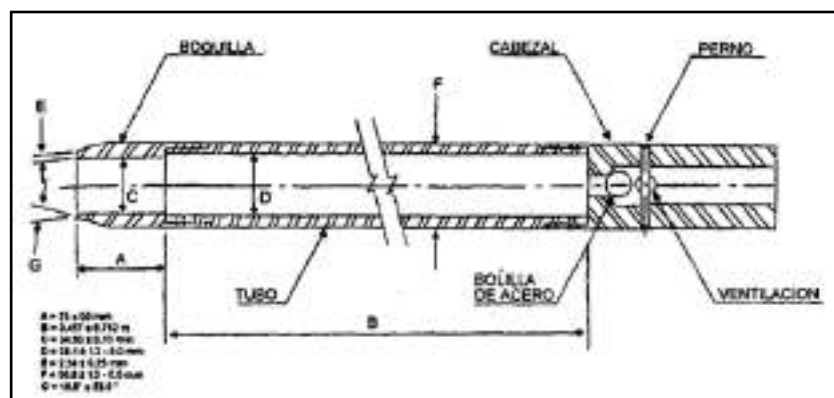
Este ensayo es uno de los más antiguos en geotecnia, y su aplicación universal y a lo largo de décadas, en cualquier tipo de terreno, ha facilitado la identificación de múltiples correlaciones con otros factores geotécnicos, además de la propagación de fórmulas empíricas para cálculos directos de capacidad de soporte y asentamientos, entre otros. Según la norma ASTM D1586.

Los elementos y las características significativas del método propuesto por la ASTM son las siguientes:

- Maza de 63,5 kg
- Altura de caída: 76 cm
- Saca muestras: de diámetro externo= (50 mm ó 2 pulgadas).
- Saca muestras: de diámetro interno= (35 mm ó 1 3/8 pulgadas)
- Variante con diámetro interno 38mm y tubo porta muestras (diámetro interno final 35mm)
- Mecanismo de liberación del martinete mediante soga y malacate
- Barras de sondeo
- Cabeza de golpeo

**Figura 5**

*Saca muestra partido ASTM D1586-84*



*Nota.* Tomado de Libro Ingeniería Geológica (González, 2002)

- **Aplicabilidad del Método Ensayo Penetración Estándar (SPT)**

La tabla 7 detalla las investigaciones realizadas en laboratorio y la utilidad del método SPT en relación con los parámetros del subsuelo.

**Tabla 7**

*Parámetros del Sub suelo*

Parámetros de Subsuelo	Aplicabilidad del SPT
Tipo de suelo	B
Perfil Estratigráfico	B
Densidad Relativa	B
Modulo Elasticidad E y G	N
Comprensibilidad	C
Consolidación	N
Permeabilidad (k)	N
Resistencia a la Licuefacción	A

*Nota.* Tomado de Libro Ingeniería Geológica (González, 2002)

Las referencias sobre la aplicabilidad son las siguientes:

A: Aplicabilidad alta.

B: Aplicabilidad moderada.

C: Aplicabilidad limitada.

N: Aplicabilidad nula.

- **El Muestreo**

Como expresa Abad (1992) la muestra recolectada en el sondeo geotécnico es inspeccionada y clasificada por el técnico de campo. Luego, se almacena en un recipiente de vidrio o plástico, debidamente sellado, para su posterior envío al laboratorio.

La resistencia a la penetración es un parámetro clave para evaluar la compacidad de los suelos no cohesivos y la resistencia de los suelos cohesivos. Se

trata de un ensayo dinámico de esfuerzo cortante realizado directamente en el terreno, proporcionando información sobre sus propiedades mecánicas. Las tablas 8 y 9 reflejan la compacidad y la resistencia de acuerdo con los resultados de la prueba de Penetración Estándar.

**Tabla 8**

*Compacidad Relativa de la Arena*

Número de Golpes	Compacidad Relativa
0 - 4	Muy Suelta
5 - 10	Suelta
11 - 20	Firme
21 - 30	Muy Firme
31 - 50	Densa
Más de 50	Muy Densa

*Nota.* Tomado de Libro Mecánica de suelos y Cimentaciones (Villalaz, 2004).

**Tabla 9**

*Resistencia de los Suelos Cohesivos*

Número de Golpes	Consistencia	Resistencia a la Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
< 2	Muy Blanda	< 0,25
2 - 4	Blanda	0,25 - 0,50
4 - 8	Media	0,50 - 1,00
8 - 15	Firme	1,00 - 2,00
15 - 30	Muy Firme	2,00 - 4,00
> 30	Dura	> 4,00

*Nota.* Tomado de Libro Mecánica de suelos y Cimentaciones (Villalaz, 2004).

### **2.4.2. Exploración indirecta**

Para el caso de Proyectos Eólicos, se debe realizar ensayos en los puntos donde se instalarán los posibles aerogeneradores.

#### **2.4.2.1. Método Sísmico**

##### **a) MASW**

El ensayo de Ondas Superficiales MASW es un método sísmico no destructivo que caracteriza el subsuelo mediante la propagación de Ondas Rayleigh. Su interacción con las Ondas S permite obtener un perfil de velocidad Vs en profundidad, fundamental para evaluar parámetros dinámicos del suelo y estimar su capacidad de carga, entre otros.

##### **- Parámetros dinámicos del subsuelo**

Denominados también módulos elásticos, estos parámetros describen las propiedades mecánicas de un material sometido a esfuerzos, determinando su capacidad para deformarse y posteriormente recuperar su forma original al concluir la carga aplicada. En sismología, influyen directamente en la velocidad de propagación de las ondas sísmicas, junto con la densidad del suelo o roca. Asimismo, en geotecnia aplicada a ingeniería civil, son empleadas en la caracterización de sitios, optimizando el diseño y comportamiento estructural de cimentaciones.

##### **- Relación de Poisson**

Se refiere a la correlación entre las variaciones unitarias de área en la sección transversal y la deformación de longitud. Las velocidades de dispersión de las ondas sísmicas se vinculan con las características elásticas del medio de

propagación; por lo tanto, la relación de Poisson se puede expresar de la siguiente manera:

$$\nu = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2} \quad \text{Ecuación 01}$$

- **Módulo de Cizalla o Rigidez (Gmax)**

Se refiere a la correlación entre el esfuerzo transversal unitario y el movimiento relativo de los planos de deslizamiento, mientras que la definición que lo describe se encuentra en:

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad \text{Ecuación 02}$$

La densidad del medio se puede obtener en campo o con aproximaciones usando las  $V_p$  y/o  $V_s$  en fórmulas empíricas.

- **Módulo Elástico o Young (E<sub>max</sub>)**

Es la relación entre esfuerzo unitario y la deformación longitudinal unitaria, esto es para la compresión y tensión respectivamente.

$$E_{max} = 2 * G_{max}(1 + \nu) \quad \text{Ecuación 03}$$

- **Módulo de Volumen o Bulk (K)**

El vínculo lineal entre la variación fraccional del volumen y la presión hidrostática ejercida sobre una masa geológica, está regulado por el Módulo de Incompresibilidad Volumétrica o de Bulk "K", de manera que:

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)} \quad \text{Ecuación 04}$$

### - Capacidad Portante ( $q_a$ )

La capacidad de carga en cimentaciones superficiales puede estimarse a partir de la velocidad de las ondas de corte ( $V_s$ ) obtenidas in situ mediante métodos geofísicos. Esta estimación se basa en una fórmula empírica respaldada por estudios de caso que combinan datos de campo, ensayos de laboratorio y prospección geofísica, mostrando consistencia con la teoría clásica y ofreciendo resultados confiables y seguros. (Tezcan et al., 2006).

$$q_a = 0,1 \rho V_s / n \quad \text{Ecuación 05}$$

Se proporcionan diversos factores de seguridad para distintos tipos de roca o terrenos, añadiendo también un factor de corrección dependiendo del ancho de la zapata.

**Tabla 10**

*Rango de velocidades de onda S*

Tipo	Rango de $V_s$ (m/seg)	n	$q_a$ (KN/m <sup>2</sup> )
Roca dura	$V_s \geq 4\,000$	$n = 1,4$	$q_a = 0,071 \rho V_s$
Roca blanda	$750 \leq V_s \leq 4\,000$	$n = 4,6 - 0,0008 V_s$	$q_a = 0,1 \rho V_s / n$
Suelos	$750 \geq V_s$	$n = 4$	$q_a = 0,025 \rho V_s \alpha$

*Nota.* Tomado del libro (Arce Helberg, 1990).

Factor de seguridad n para suelos y rocas (Tezcan et al., 2006).

$\alpha = 1,00$  para  $(0,0 \leq B \leq 1,20 \text{ m})$

$\alpha = 1,13 - 0,11 B$  para  $(1,2 \leq B \leq 3,00 \text{ m})$

$\alpha = 0,83 - 0,01 B$  para  $(3,0 \leq B \leq 12,0 \text{ m})$

\* Factor de corrección ( $\alpha$ ) de uso para suelos, según ancho de zapata (B).

- **Características Geotécnica**

- *Condiciones Geotécnicas usando la Velocidad de corte S ( $V_{S30}$ )*

Recientemente el 24 de enero del 2016 mediante decreto supremo N° 003-2016-VIVIENDA se modifica la Norma Técnica E,030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE. Esta norma introduce en su capítulo 2 la determinación de las condiciones geotécnicas usando las velocidades de las ondas de corte S.

- *Perfiles de Suelo*

Según esta Norma, los perfiles del suelo se categorizan considerando la velocidad media de propagación de las ondas de corte Vs en los primeros 30 metros de superficie. A continuación, se expone los cinco tipos de perfiles de suelo.

i. Perfil Tipo S0: Roca Dura

Esta categoría se refiere a las rocas sanas que tienen una velocidad de propagación de ondas de corte Vs superior a 1500 m/s. Las mediciones deberán ser equivalentes al lugar del proyecto o a los perfiles de la misma roca en la misma estructura con el mismo intemperismo o fracturas.

Si se sabe que la roca dura es continua hasta una profundidad de 30m, se pueden utilizar las mediciones de la velocidad de las ondas de corte superficiales para calcular el valor de Vs.

ii. Perfil Tipo S1: Roca o Suelos Muy Rígidos

Esta categoría se refiere a las rocas con variados niveles de fracturación, de tamaño uniforme y a los terrenos extremadamente rígidos con velocidades de

propagación de onda de corte  $V_s$ , que oscilan entre 500 m/s y 1500 m/s, incluyendo situaciones donde se cimienta sobre:

- Roca fracturada, con una resistencia no confinada a la compresión que supere o exceda los 500 kPa (5 kg/cm<sup>2</sup>).
- Arena muy densa o grava arenosa densa, con N<sub>60</sub> superior a 50.
- Arcilla muy compacta (de espesor inferior a 20 m), con una resistencia al corte superior a 100 kPa (1 kg/cm<sup>2</sup>) y con un aumento progresivo de las características mecánicas a medida que aumenta la profundidad.

iii. Perfil Tipo S2: Suelos Intermedios

Este tipo se refiere a los terrenos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte  $V_s$  que oscilan entre 180 m/s y 500 m/s, incluyendo aquellos donde se cimienta sobre:

- Arena gruesa, de grosor medio, o grava arenosa de grosor medio, con valores del SPT N<sub>60</sub> que oscilan entre 15 y 50,
- Suelo compacto cohesivo, con una resistencia al corte en condiciones sin drenaje que oscila entre 50 kPa (0,5 kg/cm<sup>2</sup>) y 100 kPa (1 kg/cm<sup>2</sup>), y con un aumento progresivo de las características mecánicas a medida que aumenta la profundidad.

iv. Perfil Tipo S3: Suelos Blandos

Este tipo comprende los suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte  $V_s$ , que sean inferiores o iguales a 180 m/s, incluyendo aquellos casos donde se cimienta sobre:

- Arena de tamaño medio a fino, o grava arenosa, con valores del SPT N<sub>60</sub> inferiores a 15.

- Suelo cohesivo blando, con una resistencia al corte de 25 kPa (0,25 kg/cm<sup>2</sup>) a 50 kPa (0,5 kg/cm<sup>2</sup>), y con un aumento progresivo de las características mecánicas a medida que aumenta la profundidad.
- Cualquier perfil que no sea del tipo S4 y que cuente con más de 3 m de terreno con las siguientes propiedades: índice de plasticidad  $P_i$  superior a 20, contenido de humedad  $\omega$  superior al 40%, resistencia al corte en estado no drenado  $S_u$  inferior a 25 kPa.

v. Perfil Tipo S4: Condiciones Excepcionales

Este tipo se refiere a los terrenos excepcionalmente flexibles y a aquellos lugares donde las condiciones geológicas y/o topográficas son especialmente adversas, en los que se necesita llevar a cabo un análisis específico para el lugar.

Únicamente se requerirá tener en cuenta un perfil de tipo S4 cuando el Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) lo indique.

- **Velocidad promedio de las ondas  $V_{s30}$**

Se establecerá la velocidad media de propagación de las ondas de corte utilizando la fórmula siguiente:

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{d_i}{V_{si}} \right)}$$

Donde  $d_i$  es el espesor de cada uno de los  $n$  estratos y  $V_{si}$  es la correspondiente velocidad de ondas de corte (m/s).

**Tabla 11**

*Perfiles de suelo según la Velocidad de corte S.*

CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	V <sub>s</sub>	N60	Su
S0	> 1500 m/s	-	-
S1	500 m/s a 1 500 m/s	> 50	>100 kPa
S2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S3	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S4	Clasificación basada en el EMS		

*Nota.* Clasificación de los perfiles de Suelo tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte V<sub>s</sub>.

#### - Cálculo del Periodo Natural del suelo

Según las normas IBC (INTERNATIONAL BUILDING CODE) el T<sub>s</sub> se obtiene:

$$T_s = \frac{4H}{V_{s_{30}}}$$

Donde:

T<sub>s</sub>: Periodo fundamental de vibración del suelo

V<sub>s30</sub>: Velocidad promedio en los 30 metros superficiales

H: Profundidad total de la investigación

## b) REFRACCIÓN SISMICA

El método de refracción sísmica constituye una técnica geofísica empleada para la caracterización del subsuelo, basada en el análisis de la velocidad de propagación de ondas sísmicas generadas artificialmente.

Este procedimiento se fundamenta en el principio físico de que las ondas sísmicas atraviesan los distintos estratos geológicos a velocidades variables, determinadas por las propiedades mecánicas y densidad de los materiales. Al registrar los tiempos de llegada de las ondas refractadas en una red de geófonos, es posible inferir la geometría de las capas subsuperficiales, así como estimar parámetros como la profundidad de interfaces y la rigidez relativa de los materiales

**Tabla 12**

Correlación velocidad de ondas p y tipo de suelo según Arce Helberg (1990)

TIPOS DE SUELOS	Vp (m/s)
Suelos de cobertura	< 1000
Roca muy alterada o aluvión compacto	1000 - 2000
Roca alterada o aluvión muy compacto	2000 - 4000
Roca poco alterada	4000 - 5000
Roca firme	> 5000

### - Aplicaciones del método de refracción sísmica

El método de refracción sísmica se emplea en diversos estudios geotécnicos y geológicos, destacando por su utilidad en la caracterización mecánica del subsuelo. Sus principales aplicaciones incluyen:

- Caracterización de suelos para cimentaciones: Fundamental en obras civiles como edificaciones, carreteras, represas y puentes, para evaluar la compacidad y rigidez del terreno.
- Estimación de trabajabilidad y ripabilidad: A través de la velocidad de las ondas compresionales (P), se determina la facilidad de excavación de los materiales.
- Obtención de propiedades elásticas del suelo: En combinación con métodos MASW y MAM, se derivan parámetros dinámicos como el módulo de corte, módulo de Young y relación de Poisson, a partir de la velocidad de ondas de corte ( $V_s$ ).

**Tabla 13**Correlación velocidad de ondas p y tipo de suelo según *ASTM D 5777 – 95*

TIPOS DE SUELO	$V_p$ (m/s)
Suelos intemperizados	240 - 610
Grava o arena seca	460 - 915
Arena saturada	1220 - 1830
Arcilla saturada	910 - 2750
Agua	1430 - 1665
Agua de mar	1460 - 1525
Arenisca	1830 - 3960
Esquistos, arcillas esquistosas	2750 - 4270
Tiza	1830 - 3960
Caliza	2130 - 6100
Granito	4575 - 5800
Roca metamórfica	3050 - 7000

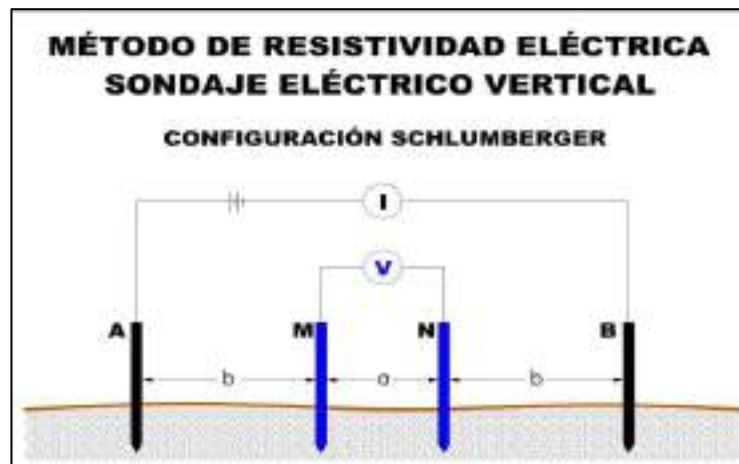
### **2.4.2.2. Método Eléctrico**

#### **a) Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)**

El método eléctrico ha sido el de Resistividad Eléctrica, mediante Sondajes Eléctricos Verticales (SEVs), con dispositivo Schlumberger simétrico. Se compone de un dipolo de electrodos de doble dipolo: El primer dipolo A - B se refiere al circuito de los electrodos de corriente, que pueden ser de acero inoxidable, a través del cual se transmite una intensidad eléctrica de (mA) a la tierra, proveniente de una fuente de corriente continua de una batería; el segundo dipolo se refiere al circuito de potencial M - N, donde se evalúa el potencial eléctrico generado por el paso de la corriente eléctrica ( $\Delta V$ ).

Los parámetros eléctricos de intensidad de corriente (I en mA) y potencial ( $\Delta V$  en mV) se evalúan a través de un georesistivímetro con alta impedancia de entrada y sensibilidad inferior al milésimo, tanto en términos de corriente eléctrica como de potencial.

Para llevar a cabo las mediciones de los parámetros resistivos I y  $\Delta V$ , los electrodos MN y AB se ubican en línea recta, realizándose las mediciones desde los primeros metros, hasta alcanzar un nivel de profundidad suficiente para los propósitos de la investigación.

**Figura 6***Configuración Schlumberger*

*Nota.* Distribución del circuito de los electrodos de corriente Resistividad Eléctrica.

Aplicaciones:

- Es una técnica geofísica muy utilizada en la ingeniería civil para determinar las propiedades del subsuelo.
- Esta técnica consiste en enviar una corriente eléctrica desde la superficie del suelo hasta una profundidad determinada, y medir la resistencia que ofrece el subsuelo a esa corriente.
- La resistividad del suelo se relaciona con la presencia de agua, minerales y otros materiales, lo que permite obtener información valiosa sobre la composición y estructura del subsuelo.
- Con los datos del SEV es posible elaborar perfiles geológicos útiles para el diseño de cimentaciones, muros, obras similares y para la planificación de excavaciones y análisis de estabilidad del suelo

- **Resistividad de los materiales naturales**

La resistividad de una roca depende de su composición mineralógica, el contenido de agua, la porosidad y la salinidad del agua (mayor salinidad implica mayor conductividad). Estos factores hacen que la resistividad de cada tipo de roca varíe significativamente. En general, en el campo encontraremos valores de este orden:

**Tabla 14**

*Resistividad de los materiales naturales*

Material	Resistividad ( $\Omega\text{m}$ )
Rocas ígneas y metamórficas inalteradas	> 1 000 $\Omega\text{m}$
Rocas ígneas y metamórficas alteradas.	100 a 1 000 $\Omega\text{m}$
Calizas y Areniscas	100 a más de 1 000 $\Omega\text{m}$
Arcillas	1 a 10 $\Omega\text{m}$
Limos	10 a 100 $\Omega\text{m}$
Arenas	100 a 1 000 $\Omega\text{m}$
Gravas	200 a más de 1 000 $\Omega\text{m}$

*Nota.* Valores de la Resistividad de los materiales naturales.

**Figura 7***Proceso de Ensayo de SEV*

*Nota.* Fuente Propia.

**2.5. Clasificación de materiales con fines de excavación**

La ripabilidad es clave en proyectos geotécnicos, ya que define cuán difícil es excavar terrenos rocosos con maquinaria convencional, afectando directamente la productividad y los costos de obra.

La ripabilidad depende de la geología y propiedades físicas del material, evaluándose con métodos geofísicos (sísmica de refracción, MASW, tomografía eléctrica), sondeos y ensayos, lo que permite definir la estrategia óptima de excavación.

Como plantea Caterpillar (2007), para el análisis de la ripabilidad de un terreno, se utiliza varios criterios. En este estudio, se ha adoptado el criterio de la compañía Caterpillar, que define los márgenes de velocidad sísmica para determinar si una roca es ripable o no. Este parámetro se calcula mediante la

determinación de las velocidades sísmicas de las ondas P, considerando niveles de ripabilidad desde el más fácil (velocidades  $V_p$  de 600 m/s) hasta el ripado duro (velocidades  $V_p$  de hasta 1850 m/s).

**Tabla 15**

*Ripabilidad del material y la correlación con las ondas P*

Tipo de Material	Grado de Meteorización	$V_p$ (m/s)
Material Excavable	Material Suelto	$V_p < 600$ m/s
M. Ripado fácil	IV: Suelo Residual	$V_p = 600-1300$ m/s
M. Ripado normal	III: Moderadamente Meteorizada	$V_p = 1300-1700$ m/s
M. Ripado duro	II: Ligeramente Meteorizada	$V_p = 1700-1850$ m/s
M. no Ripable (Voladura)	I: Roca Sana	$V_p > 1850$ m/s

*Nota.* Tomado de Libro CATERPILLAR INC. Caterpillar Performance Handbook (Caterpillar, 2007).

## 2.6. Peligros geológicos en proyectos

Como afirma Galán et al. (2019), a pesar de las particularidades del Proyecto y de la acción humana en el terreno, deben ser evidentes los factores geológicos y naturales que pueden suceder en ciertos contextos regionales, naturales o ambientales.

Una campaña geotécnica deficiente puede generar sobrecostos o paralizar proyectos energéticos. Entre los riesgos geológicos destacan los sismos (en zonas del Cinturón de Fuego), deslizamientos activos, licuefacción en suelos saturados y amenazas de inundación en terrenos desfavorables como valles, laderas o zonas kársticas. entre otros.

### ***2.6.1. Análisis de la susceptibilidad ante peligros por movimientos en masa***

En la opinión de INDECI (2011), generalmente, la susceptibilidad se refiere a la facilidad con que un fenómeno puede suceder a partir de los factores condicionantes o intrínsecos propios del suelo o roca. En un estudio de susceptibilidad, no se toma en cuenta la posibilidad de que ocurra un factor detonante como una lluvia o un terremoto.

Se aconseja delimitar con precisión las zonas con material coluvial, erosión intensa o fracturas geológicas, considerando también el uso del suelo y el drenaje.

Usualmente, para la creación del Mapa de Susceptibilidad se consideran tres factores:

- 1) Inventario de movimiento en masa ocurridos en el pasado.
- 2) Topografía y mapa de pendientes.
- 3) Características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del terreno

**Tabla 16**

*Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos (Hoy movimiento en masa), (Kanungo - 1993)*

Grado de susceptibilidad	Criterio
Muy Alta	Laderas con zonas de falla, masas de suelo altamente meteorizadas y saturadas, y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe alta posibilidad de que ocurran
Alta	Laderas que tienen zonas de falla, meteorización alta a moderada y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe la posibilidad de que ocurran
Media	Laderas con algunas zonas de falla, erosión intensa o materiales parcialmente saturados donde no han ocurrido deslizamientos, pero no existe completa seguridad de que no ocurran
Baja	Laderas que tienen algunas fisuras, materiales parcialmente erosionados no saturados con discontinuidades favorables, donde no existen indicios que permitan predecir deslizamientos Laderas no meteorizadas con discontinuidades favorables que no presentan ningún síntoma de que puedan ocurrir deslizamientos

*Nota.* Tomado de INDECI (2011).

### ***2.6.2. Análisis de la susceptibilidad ante peligros por flujos hídricos***

En la opinión de SENAMHI (2019), se denomina ‘flujo hídrico’ a todas las manifestaciones geodinámicas en las que el agua de escorrentía superficial se desplaza de manera difusa o a lo largo de un cauce regular. Estos flujos pueden ser temporales, estacionarios o permanentes.

Las principales manifestaciones de flujos hídricos abarcan desde pequeñas arroyadas temporales hasta grandes cursos de agua permanentes, como los ríos. Estos fenómenos forman parte de las unidades hidrográficas de una cuenca, y se les asignan diferentes niveles de jerarquía. Algunos ejemplos de estos flujos incluyen arroyadas difusas, huaicos, aluviones, erosión de riberas, desbordes, inundaciones, riadas o avenidas.

La Tabla 17 y la Figura 8, muestran las diversas fallas originadas por la activación de procesos geodinámicos internos, externos e hidrometeorológicos, reflejados en el tipo de movimiento y otros factores relevantes.

**Tabla 17***Característica del tipo de movimiento y material, Earle Steven, 2015*

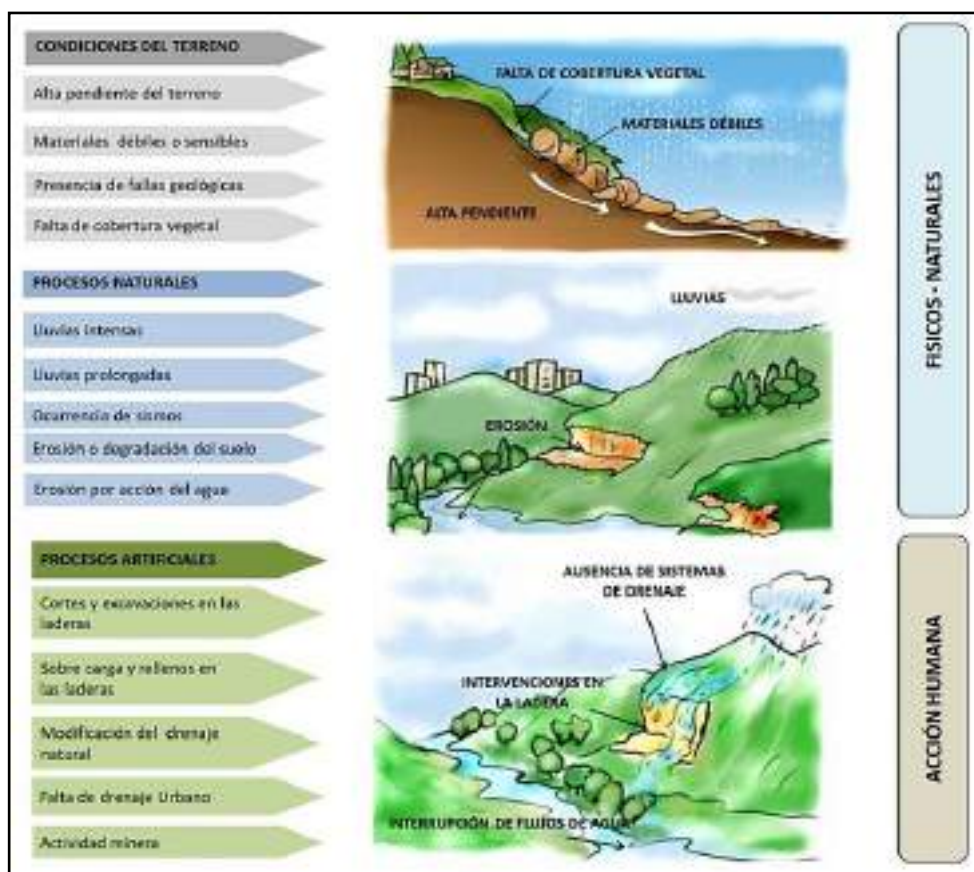
Tipo de Falla	Tipo de Material	Tipo de Movimiento	Tasa de Movimiento
Caída de rocas	Fragmento de roca	Caída vertical o casi vertical (más rebote en muchos casos)	Muy rápido (>10m/s)
Deslizamiento de rocas	Un gran cuerpo de roca	Movimiento como una unidad a lo largo de una superficie plana (deslizamiento traslacional)	Normalmente muy lento (mm/año o cm/año) pero algunos pueden ser más rápidos
Avalancha de rocas	Un gran cuerpo de roca que desliza y luego se rompe en pequeños fragmentos	Flujo (altas velocidades, la masa de fragmentos de roca se suspende en un colchón de aire)	Muy rápido (>10m/s)
Creep o Solifluction	Suelo u otra sobrecarga: En algunos casos, mezclado con hielo	Flujo (aunque también puede ocurrir un movimiento deslizante)	Muy lento (mm/año o cm/año)
Depresión	Depósitos gruesos (de m a 10s de m) de sedimentos no consolidados	Movimiento como una unidad a lo largo de una superficie curva (deslizamiento de rotación)	Lento (cm/año o m/año)
Mudflow	Sedimento suelto con un importante componente de limo y arcilla	Flujo (una mezcla de sedimento y agua se mueve por un canal)	Moderado a rápido cm/s o m/s)
Flujos de escombros	Arena, grava y fragmentos más grandes	Flujo (similar a un flujo de lodo, pero típicamente más rápido)	Rápido (m/s)

*Nota.* Tomado de SENAMHI (2019).

La presencia de cobertura vegetal juega un papel importante en la regulación de estos fenómenos. Por lo general, esta cobertura es escasa por debajo de los 3,000 metros sobre el nivel del mar, lo que permite que, durante eventos de precipitación intensa (como el Fenómeno del Niño), se produzca erosión y transporte de sedimentos.

### Figura 8

*Tipos de movimiento en masa, USGSS (2008)*



Nota. Tomado SENAMHI (2019).

## **2.7. Cimentaciones superficiales**

Rodríguez (2001). Señala que, una cimentación superficial es un componente estructural cuyo tamaño transversal es considerable en relación a la altura y cuyo propósito es mover las cargas de un edificio a profundidades relativamente bajas, que no superan los 4 m en relación al nivel natural de una superficie de terreno o de un sótano. En un cimiento superficial, la reacción del terreno balancea la fuerza que la estructura transmite.

Para las bases de aerogeneradores en parques eólicos, uno de los factores clave es la existencia de terrenos superficiales con baja carga permitida o con riesgo de derrumbes. Esto requiere reemplazar las bases directas por cimentaciones profundas o mejoras del terreno (pilotes, micropilotes, columnas de grava, etc.) con el objetivo de lograr estratos apropiados. En estas situaciones, es crucial examinar los parámetros elastodinámicos del suelo, pues estos serán esenciales para asegurar una adecuada cimentación. Un elemento a considerar es la existencia de karstificaciones o la fluctuación de los suelos. Este tipo de sucesos pueden impactar seriamente en los cimientos.

## **2.8. Comportamiento del suelo bajo cargas de arrancamiento o tensión**

Aunque generalmente se centra en la capacidad portante del suelo al hablar de cimentaciones, hay situaciones en las que es necesario analizar la resistencia del sistema cimentación-terreno frente a las cargas de arrancamiento.

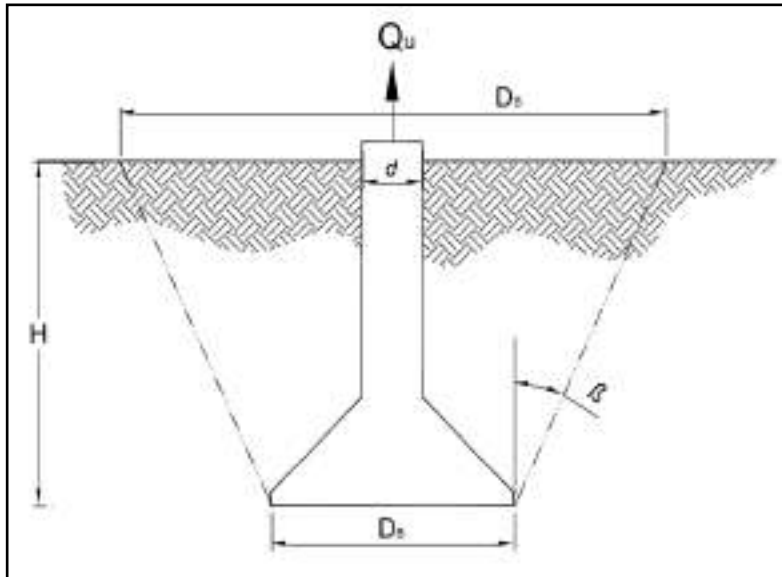
Para estructuras como aerogeneradores en Parques Eólicos, es fundamental el análisis de cimentaciones para estructuras que experimentan cargas de tensión o levantamiento, conocidas como cargas de arrancamiento, la cual se deriva del análisis estructural de edificios después de haber sido sometidos a fuerzas que generan tensiones en sus bases.

Cruz (2011) hace mención en su Tesis sobre la Teoría de Salas, et al. “Método del Cono Invertido”, donde se considera una pila de diámetro “ $d$ ” con un ensanchamiento en la base hasta “ $D_B$ ”, solicitada por una carga de arrancamiento o de tensión “ $Q_u$ ”, como se muestra en la Figura 9.

Varios estudios a nivel real y de laboratorio (Elliot y Aviles, 1963; Downs y Chieurzzi, 1966) permiten asimilar la superficie de ruptura del suelo a un cono truncado invertido que se inicia en la parte baja de la base, generando un ángulo  $\beta$ , también conocido como ángulo de arrancamiento, que según los autores mencionados puede equipararse al ángulo  $\phi$ , ángulo de fricción interna del suelo.

**Figura 9**

*Método del cono invertido*



*Nota.* Tomado de Jiménez (1980).

A efectos prácticos, el ángulo de arrancamiento se define:

$$\beta = 2/3 * \phi \text{ (con un límite máximo de } 30^\circ\text{)}$$

Por lo tanto, la carga final de rotura se determinará por el peso  $W$  de la pila, más el peso  $W_S$  del cono de tierras, y más la resistencia total al esfuerzo de corte de la superficie que se fricciona. Dado que la resistencia friccional solo se aplica cuando hay una fuerza normal, esta disminuye progresivamente a medida que el levantamiento de la zapatilla se incrementa durante el ensayo.

En el límite, perdido el contacto entre las dos masas de terreno, la resistencia última será igual a  $W + W_S$ .

Con un factor de seguridad  $FS$  de 2 a 3 el valor de la Tensión Admisible será:

$$T_{adm} = \frac{W + W_S}{FS}$$

El valor de  $W + W_S$  puede ser calculado suponiendo todo el tronco de cono con la densidad  $\gamma_s$  del terreno y el volumen de hormigón de la pila, con una densidad total,

$$\gamma_T = \gamma_c (\text{del Concreto}) + \gamma_s (\text{del suelo}).$$

El volumen del tronco del cono es:

$$V = \frac{\pi * H}{12} * (D_S^2 + D_S + D_B + D_B^2)$$

Donde

$D_B$  = diámetro del cono en la base  $D_S$  = diámetro del cono en la superficie

El método del cono invertido mencionado es aproximado, pero de uso práctico y fácil. Las variaciones detectadas en los ensayos tienen suficiente justificación por las siguientes consideraciones:

- El suelo es estratificado y no presenta un ángulo de fricción único
- La forma de la superficie de rotura es sólo aproximada

## **2.9. Capacidad de carga**

Medrano (2008) las teorías que determinan la capacidad de carga proporcionan modelos para la creación de cimientos en terrenos en estado natural, y son aplicables a rellenos artificiales con un adecuado control de calidad.

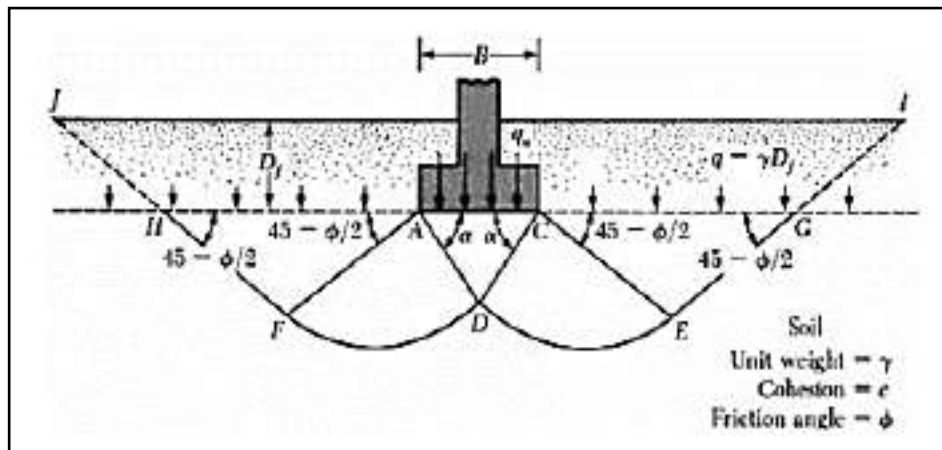
Existen diversas teorías que permiten determinar la capacidad de carga de un suelo. Entre estas se incluyen métodos desarrollados a lo largo del tiempo y basados en principios de la mecánica de suelos. Estas teorías son:

### ***2.9.1. Capacidad de carga: Terzaghi***

Terzaghi propuso que en caso de una cimentación continua o de franja (esto es, la relación de anchura a lo largo de la cimentación tiende a 0), la superficie de falla en el terreno se encuentra a su máxima carga. También es posible suponer que el impacto del suelo sobre el fondo de la cimentación pueda ser sustituido por una sobrecarga similar.

**Figura 10**

*Falla de la capacidad de carga en un suelo bajo una cimentación continua rígida en grava*



*Nota.* Tomado de Das (2012).

La zona de la falla bajo la cimentación se puede dividir en tres partes:

1. La zona triangular ACD inmediatamente debajo de la cimentación.
2. Las zonas de corte radiales ADF y CDE, con las curvas DE y DF siendo arcos de una espiral logarítmica.
3. Dos zonas pasivas Rankine triangulares AFH y CEG.

Se supone que los ángulos CAD y ACD son iguales al ángulo de fricción del suelo (es decir,  $\alpha = \phi$ ). Observe que con la sustitución del suelo por encima del fondo de la cimentación por un suplemento  $q$  equivalente, se desprecia la resistencia al corte del suelo a lo largo de las superficies de falla GI y HJ.

Utilizando el análisis de equilibrio, Terzaghi expresa la capacidad última de carga en la forma:

$$q_u = cN_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma$$

Donde:

\*  $c$  = cohesión del suelo

\*  $q = \gamma Df$

\*  $\gamma$  = peso específico del suelo

$N_c, N_q, N_\gamma$  = factores de capacidad de carga adimensionales que están únicamente en función del ángulo  $\phi$  de fricción de suelo.

#### **Para cimentación cuadrada**

$$q_u = 1,3cN_c + qN_q + 0,4\gamma BN_\gamma$$

#### **Para cimentación circular**

$$q_u = 1,3cN_c + qN_q + 0,3\gamma BN_\gamma$$

**Tabla 18***Factores de carga para las ecuaciones de Terzaghi*

Ø	Nc	Nq	Ny	Ø	Nc	Nq	Ny
0	5.7	1	0	26	27.09	14.21	9.84
1	6	1.1	0.01	27	29.27	15.9	11.6
2	6.3	1.22	0.04	28	31.61	17.81	13.7
3	6.62	1.35	0.06	29	34.24	19.98	16.18
4	6.97	1.49	0.1	30	37.16	22.46	19.13
5	7.37	1.64	0.14	31	40.41	25.28	22.65
6	7.73	1.81	0.2	32	44.04	28.52	26.87
7	8.15	2	0.27	33	48.09	32.23	31.94
8	8.6	2.21	0.35	34	52.64	36.5	38.04
9	9.09	2.44	0.44	35	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	36	63.53	47.16	54.36
11	10.16	2.98	0.69	37	70.01	53.8	65.27
12	10.76	3.29	0.85	38	77.5	61.55	78.61
13	11.41	3.63	1.04	39	85.97	70.61	95.03
14	12.11	4.02	1.26	40	95.66	81.27	115.31
15	12.86	4.45	1.52	41	106.81	93.85	140.51
16	13.68	4.92	1.82	42	119.67	108.75	171.99
17	14.6	5.45	2.18	43	134.58	126.5	211.56
18	15.12	6.04	2.59	44	151.95	147.74	261.6
19	16.56	6.7	3.07	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	46	196.22	204.19	407.11
21	18.92	8.26	4.31	47	224.55	241.8	512.84
22	20.27	9.19	5.09	48	258.28	287.85	650.67
23	21.75	10.23	6	49	298.71	344.63	831.99
24	23.36	11.4	7.08	50	347.5	415.14	1072.8
25	25.13	12.72	8.34				

Nota. Tomado de Das (2012)

**Caso de falla local****Para cimentación corrida**

$$q_u = \frac{2}{3}cN'_c + qN'_q + \frac{1}{2}\gamma BN'_\gamma$$

**Para cimentación cuadrada**

$$q_u = 0,867cN'_c + qN'_q + 0,4\gamma BN'_\gamma$$

### Para cimentación circular

$$q_u = 0,867cN'_c + qN'_q + 0,3\gamma BN'_\gamma$$

Donde:

\*  $c$ : Cohesión del suelo

\*  $\gamma$ : Peso específico del suelo

\*  $q$ : Es la sobre carga ( $q = \gamma Df$ )

$N'_c, N'_q, N'_\gamma$  : Son factores de capacidad de carga modificada. Estos se calculan usando las ecuaciones para el factor de capacidad de carga (para  $N_c, N_q, N_\gamma$ ), reemplazado  $\phi$  por  $\phi' = tg^{-1} (2/3 tg\phi)$ . la variación de  $N'_c, N'_q, N'_\gamma$ , con el ángulo  $\phi$  de fricción del suelo se da en la siguiente tabla a continuación:

**Tabla 19**

*Factores de Capacidad de Carga Modificados de Terzaghi  $N'_c, N'_q$  y  $N'_\gamma$*

$\phi$	$N'_c$	$N'_q$	$N'_\gamma$	$\phi$	$N'_c$	$N'_q$	$N'_\gamma$
0	5.7	1	0	26	15.53	6.05	2.59
1	5.9	1.07	0.005	27	16.3	6.54	2.88
2	6.1	1.14	0.02	28	17.13	7.07	3.29
3	6.3	1.22	0.04	29	18.03	7.66	3.79
4	6.51	1.3	0.055	30	18.99	8.31	4.39
5	6.74	1.39	0.074	31	20.03	9.03	4.83
6	6.97	1.49	0.1	32	21.16	9.82	5.51
7	7.22	1.59	0.128	33	22.39	10.69	6.32
8	7.47	1.7	0.16	34	23.72	11.67	7.22
9	7.74	1.82	0.2	35	25.18	12.75	8.35
10	8.02	1.94	0.24	36	26.77	13.97	9.41
11	8.32	2.08	0.3	37	28.51	15.32	10.9
12	8.63	2.22	0.35	38	30.43	16.85	12.75
13	8.96	2.38	0.42	39	32.53	18.56	14.71
14	9.31	2.55	0.48	40	34.87	20.5	17.22
15	9.67	2.73	0.57	41	37.45	22.7	19.75
16	10.06	2.92	0.67	42	40.33	25.21	22.5
17	10.47	3.13	0.76	43	43.54	28.06	26.25
18	10.9	3.36	0.88	44	47.13	31.34	30.4
19	11.36	3.61	1.03	45	51.17	35.11	36
20	11.85	3.88	1.12	46	55.73	39.48	41.7
21	12.37	4.17	1.35	47	60.91	44.45	49.3
22	12.92	4.48	1.55	48	66.8	50.46	59.25
23	13.51	4.82	1.74	49	73.55	57.41	71.45
24	14.14	5.2	1.97	50	81.31	65.6	85.75
25	14.8	5.6	2.25				

Nota. Tomado de Das (2012).

### 2.9.2. Capacidad de carga; Meyerhof

Medrano (2008). Meyerhof en su teoría de capacidad de carga toma en cuenta los esfuerzos cortantes desarrollados en el suelo arriba del nivel de desplante del cimiento, considerando un mecanismo de falla de la siguiente forma:

$$q_u = cN_c F_{CS} F_{Cd} F_{Ci} + qN_q F_{qS} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma S} \gamma F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

C = Cohesión

$\gamma$  = Peso específico del suelo

q = Esfuerzo efectivo del suelo

B = Ancho de cimentación

$N_c N_q N_\gamma$  = Factores capacidad de carga  $F_{CS} F_{qS} F_{\gamma S}$  = Factores de forma

$F_{Cd} F_{qd} F_{\gamma d}$  = Factores de profundidad  $F_{Ci} F_{qi} F_{\gamma i}$  = Factores de

inclinación

#### Factores de Capacidad de Carga

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_q = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{\pi \tan \phi}$$

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

#### Factores de Forma (Beer 1970)

$$F_{CS} = 1 + \frac{B}{L} \frac{N_q}{N_c}; F_{qS} = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi; F_{\gamma S} = 1 - 0,4 \frac{B}{L}$$

Donde L = longitud de la cimentación (L>B)

#### Factores de Profundidad (Hansen 1970)

**Condición (a):  $D_f/B \leq 1$**

$$F_{Cd} = 1 + 0,4 \frac{D_f}{B}; F_{qd} = 1 + 2 \tan \theta (1 - \sin \theta)^2 \frac{D_f}{B}; F_{\gamma d} = 1$$

**Condición (b):  $Df/B > 1$**

$$F_{cd} = 1 + 0,4 \tan^{-1}\left(\frac{Df}{B}\right); F_{qd} = 1 + 2 \tan\theta(1 - \text{sen}\theta)^2 \tan^{-1}\left(\frac{Df}{B}\right); F_{\gamma d} = 1$$

**Factores de Inclinación (Meyerhof 1963; Hanna y Meyerhof 1981)**

$$F_{Ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\beta}{90^\circ}\right)^2; F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta}{\phi}\right)^2$$

$\beta$  = inclinación de la carga sobre la cimentación con respecto a la vertical

### 2.9.3. Capacidad de carga: Vesic

Según Pinto (2014), "La ecuación formulada por Vesic (1973, 1975) representa una opción magnífica frente a la formulada por Terzaghi." Ofrece valores de capacidad para cargas más extensas y bajo condiciones geométricas. Su principal inconveniente es su complejidad."

$$q_{ult} = cN_c S_c d_c i_c b_c g_c + qN_q S_q d_q i_q b_q g_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma$$

**Factores de Capacidad de Carga**

$$N_q = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2}\right) e^{\pi \tan \phi}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

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

**Factores de Forma**

$$S_c = 1,0 + \frac{B N_q}{L N_c}; S_q = 1,0 + \frac{B}{L} \tan \phi; S_\gamma = 1,0 - 0,4 \frac{B}{L} \geq 0,6$$

### Factores de Profundidad

$$d_c = 1,0 + 0,4k \quad * \text{ Para } \frac{D_f}{B} \leq 1,0 ; k = \frac{D_f}{B}$$

$$* \text{ Para } \frac{D_f}{B} > 1,0 ; k = \tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right)$$

$$d_q = 1,0 + 2 \tan\phi(1,0 - \sin\phi)^2 k$$

$$d_\gamma = 1,0$$

### Factores de Inclinación de carga

$$i_c = 1 - \frac{mV}{A_c N_c} \geq 0, i_q = \left[ 1 - \frac{V}{P + \frac{A_c}{\tan\phi}} \right] m \geq 0, i_\gamma = \left[ 1 - \frac{V}{P + \frac{A_c}{\tan\phi}} \right] m + 1 \geq 0$$

### Factores de Inclinación de la Base de Cimentación

$$b_c = 1 - \frac{\alpha}{147}, b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \cdot \tan\phi)^2$$

### Factores de Terreno

$$g_c = 1 - \frac{\beta}{147}, g_q = g_\gamma = (1 - \tan\beta)^2$$

## 2.10. Teoría del asentamiento

Según Gonzales y Torres (2018) definen el asentamiento como “la deformación vertical en la superficie de un terreno proveniente de la aplicación de cargas o debido al peso propio de las capas”.

Los elementos que influyen en la capacidad de una estructura para soportar asentamientos incluyen el tipo, la forma, la ubicación y el propósito de la misma. Además, se deben considerar la rapidez, las causas y el origen del asentamiento.

### 2.10.1. Tipos de asentamiento

Se presentan tres (3) tipos de asentamientos:

- a) *Asentamiento uniforme*: Ocurre sobre una placa estructural muy rígida, el asentamiento es uniforme en toda su área.
- b) *Vuelco o inclinación*: Se presenta cuando toda la estructura presenta la misma distorsión angular.
- c) *Asentamiento Diferencial (no uniforme)*: Según Gonzales, N. & Torres, J. (2018) lo definen de la siguiente manera: Movimiento o desplazamiento relativo de las diferentes partes de una estructura a causa de un asentamiento irregular de la misma. Presenta distorsión angular que es la diferencia entre el asentamiento máximo y el asentamiento mínimo entre la distancia de estos dos puntos.

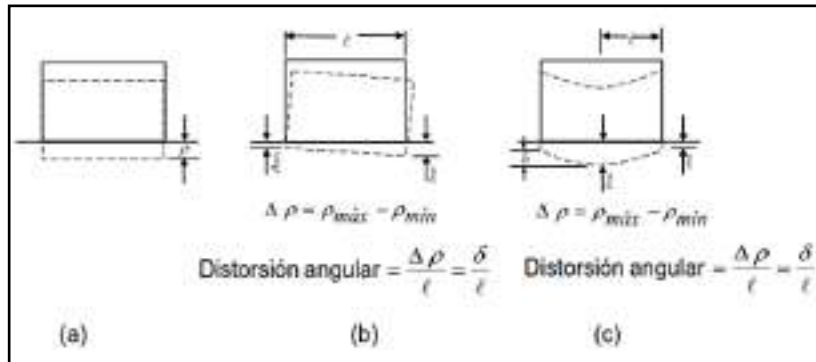
$$\alpha = \frac{\Delta}{L}$$

Donde:

$\alpha$  = Distorsión Angular.

$\Delta$  = Asentamiento diferencial entre dos elementos adyacentes.

L = Distancia entre dos elementos adyacentes que se asientan.

**Figura 11***Tipos de Asentamiento**Nota.* Gonzales y Torres (2018)

**Tabla 20***Parámetros máximos para los tipos de Asentamiento*

Tipo de Movimiento	Factor Limitativo	Asentamiento máximo
Asentamiento Total	Drenaje	6 – 12 plg
	Acceso	12- 24 plg
	Probabilidad de asentamiento no uniforme	
	Estructuras con muros de mampostería	1 – 2 plg
	Estructuras reticulares	2 – 4 plg
	Chimeneas, silos, placas	3 – 12 plg
	Estabilidad frente al vuelco	Depende de la altura y ancho
	Inclinación de chimeneas, torres	0,004 L
	Rodadura de camiones, etc.	0,01 L
	Almacenamiento de mercancías	0,01 L
Inclinación o Giro	Funcionamiento de máquinas – telares de algodón	0,003 L
	Funcionamiento de máquinas - turbogeneradores	0,0002 L
	Carriles de grúas	0,003 L
	Drenaje de soleras	0,01 – 0,02 L
	Muros de ladrillo continuos y elevados	0,0005 – 0,001 L
	Factoría de una planta, fisuración de muros de ladrillo	0,001 – 0,002 L
	Fisuración de revocos (yeso)	0,001 L
Asentamiento Diferencial	Pórticos de concreto armado	0,0025 – 0,004 L
	Pantallas de concreto armado	0,003 L
	Pórticos metálicos continuos	0,002 L
	Pórticos metálicos sencillos	0,005 L

*Nota.* En el cuadro, “L” es la distancia entre columnas adyacentes con asentamientos diferentes o entre dos puntos cualesquiera con asentamiento diferencial (Lambe & Withman, 1964)

La estructura puede experimentar diversos asentamientos, pero el asentamiento diferencial es el más perjudicial. La norma E,050 Suelos y Cimentaciones fija un límite máximo de tolerancia para evitar daños y garantizar su funcionalidad.

**Tabla 21**

*Límites de distorsión angular ( $\alpha$ )*

$\alpha = \Delta/L$	Descripción
1/150	Límite en el que se debe esperar daño estructural en edificios convencionales.
1/250	Límite en que la pérdida de verticalidad de edificios altos y rígidos puede ser visible.
1/300	Límite en que se debe esperar dificultades con puentes grúas.
1/300	Límite en que se debe esperar las primeras grietas en paredes.
1/500	Límite seguro para edificios en los que no se permiten grietas.
1/500	Límite para cimentaciones rígidas circulares o para anillos de cimentación de estructuras rígidas, altas y esbeltas.
1/650	Límite para edificios rígidos de concretos cimentados sobre un solado con espesor aproximado de 1,20 m.
1/750	<u>Límite</u> donde se esperan dificultades en maquinaria sensible a asentamientos.

*Nota.* Norma E,050 Suelos y Cimentaciones.

### **2.10.2. Cálculo del asentamiento**

El cálculo del asentamiento de cimentaciones superficiales se basa en la Teoría de la Elasticidad, según lo descrito por Lambe y Whitman, destacando el asentamiento elástico inicial.

$$S_i = \frac{qB(1 - u^2)}{E_s} * I_f$$

Donde:

$S_i$  = Asentamiento inmediato en cm

$u$  = Relación de Poisson

$I_f$  = Factor de forma (cm/m) que depende de la forma y rigidez de la cimentación

$E_s$  = Módulo de elasticidad (ton/m<sup>2</sup>)

$q$  = Presión de trabajo (ton/m<sup>2</sup>)

$B$  = Ancho de la cimentación (m)

## **Capítulo III**

### **Metodología**

El siguiente capítulo explica y describe la metodología empleada en las tres etapas de la investigación; abarcando la preparación previa al trabajo de campo, el desarrollo en la ubicación seleccionada y el análisis final realizado hacia el entorno de estudio.

#### **3.1. Etapa de gabinete pre campo**

Para iniciar la investigación, primero se realizó una revisión bibliográfica de trabajos previos en la zona de estudio. En esta etapa se recopila información de:

- Recolección de información bibliográfica
- Revisión y análisis de los estudios geológicos y geotécnicos del área
- Recolección de Planos de la zona.
- Revisión de datos meteorológicos. (velocidad del viento y precipitaciones)

#### **3.2. Etapa de campo**

En esta etapa consiste al reconocimiento general de la zona, identificando los puntos de estudio dentro del polígono de interés; además de realizar in situ la caracterización del tipo de suelo para obtener los parámetros geotécnicos de la zona.

- Se desarrollaron los siguientes trabajos de exploración geofísica:
  - o Se utilizó el Método Eléctrico de Resistividades, en su modalidad de Sondeo Eléctrico Vertical (S.E.V.) y en el método sísmico, como es el caso del MASW y Refracción Sísmica.
- Se desarrollaron los siguientes trabajos de exploración geológico geotécnicos:
  - o Levantamiento de mapeo geológico geotécnico del polígono de estudio.

- Posteriormente, se ejecutaron nueve (09) trabajos de perforación diamantina seguido de ensayos SPT y nueve (09) apertura de calicatas. La profundidad de estos trabajos dependió de la relevancia de la investigación y las características del subsuelo.

### **Figura 12**

*En la presente fotografía se observa la excavación o apertura de calicatas*



*Nota.* Fuente Propia.

### **Figura 13**

*En la fotografía se observan trabajos de perforación diamantina para realizar la prueba de SPT*



*Nota.* Fuente Propia.

### **3.3. Etapa laboratorio y gabinete**

#### **3.3.1. Ensayos de laboratorio**

- En esta etapa se obtuvieron muestras representativas las cuales fueron usadas para ensayos de mecánica de suelos y la definición de las características geotécnicas que conforma la zona de estudio.

#### **3.3.2. Trabajo de gabinete**

- Elaboración de mapas temáticos, producto del cruce de información base, éste es el caso de los mapas de Geología, Geomorfología, Topográficos, Movimientos en masa y Pendientes para obtener el mapa de susceptibilidad total de terreno.
- En esta etapa comprende el procesamiento de datos en hoja de cálculo para la obtención de los resultados de las muestras ensayadas en el laboratorio de mecánica de suelos de tal modo proceder al análisis correspondiente a la finalidad de estos materiales de acuerdo a los requerimientos en la especificación técnica.
- Se generó mapa de zonificación para identificar sectores óptimos, así como perfiles o secciones de la zona de estudio.

## Capítulo IV

### Discusión de resultados

#### 4.1. Criterio de distribución y evaluación del Recurso Eólico

La selección para el emplazamiento de un parque eólico debe basarse principalmente en criterios geográficos y ambientales que garanticen la eficiencia del recurso.

##### *4.1.1. Selección del lugar para el emplazamiento del parque eólico*

El área proyectada de investigación, se caracteriza por condiciones costeras y áridas, con baja rugosidad superficial, producto de suelos expuestos y vegetación escasa, que favorecen la estabilidad del flujo eólico al reducir la turbulencia.

Asimismo, la topografía suavemente ondulada permite una disposición estratégica de los aerogeneradores, minimizando el efecto de interferencia entre equipos. Conforme se observa en el Anexo A: Mapas de número de lámina A-1

##### *4.1.2. Evaluación del recurso eólico*

Una vez definido el emplazamiento de los aerogeneradores, se procedió con la recopilación sistemática de datos anemométricos y mapas que muestran el potencial del recurso eólico a nivel nacional.

De acuerdo con el Atlas Eólico del Perú, el área de Las Lomas registra velocidades medias anuales superiores a 6 m/s a una altura de 100 metros, lo que indica un elevado potencial eólico. Estas condiciones favorecen un aprovechamiento eficiente del recurso, incrementando la capacidad de generación energética del parque proyectado. Conforme se observa en el Anexo A: Mapas de número de lámina A-2 y lámina A-3.

## **4.2. Geología regional**

### **4.2.1. Geomorfología regional**

El área estudio presenta un relieve variado, que se extiende desde la línea litoral hasta las estribaciones andinas, sus cotas alcanzan hasta los 2 500 m.s.n.m. y conforme se observa en el Anexo A: Mapas de número de lámina A-4, se han identificado así:

#### **4.2.1.1. Terrazas Marinas**

Las terrazas marinas de San Juan-Yauca, representan una de las formas fisiográficas más impresionantes de la zona de estudio. Son testigos inobjctables de la acción combinada de la abrasión con el levantamiento andino (Broggi, 1946), esta unidad geográfica se caracteriza por un relieve escalonado en el flanco occidental de la Cordillera de la Costa.

De todos los rasgos geomórficos, solo las superficies de abrasión son visibles en la zona. Debido a que el relieve subacuático es más bajo, se formaron terrazas sedimentarias compuestas por materiales deltaicos retrabajados y gravas resultantes de la erosión marina.

#### **4.2.1.2. Cordillera de la Costa**

Esta denominación se refiere a una serie de cerros de baja altura que se sitúa en el límite continental entre Ilo y la Península de Paracas. Desde el punto de vista geológico, se compone de rocas del cimientto cristalino y antiguos granitos rojizos cubiertos por una costra sedimentaria paleozoica.

#### **4.2.1.3. Depresión Andina**

Así se conoce a la peneplanicie situada entre la Cordillera de la Costa y el frente andino, inmersa en un sistema de fallas casi paralelas, con una trayectoria noroeste-sureste que coincide con la extensión a la llanura Preandina (Newell, 1956), también conocida como pampa costanera. Esta depresión está repleta de gravas y arenas aluviales y marinas, vinculadas genéticamente con la evolución de las terrazas marinas.

#### **4.2.1.4. Peneplanicie Pliocénica**

En las pendientes de los Andes, se ha formado una peneplanicie de abrasión, que en la actualidad está diseccionada por los proyectiles de los ríos Yauca, Acarí y Qda. Carbonera con sus correspondientes ríos. Welter (1947), quien la identificó y analizó, la llamó "Planicie Pliocénica", vinculándola con la "Superficie Puna" de Mc Laughlin. Asimismo, ha recibido el nombre de "Plataforma Costanera" (Bellido, 1960; Mendivil, 1960). De acuerdo con Walter, esta superficie abarca una amplia zona, situada entre Mollendo y las proximidades del Departamento de Lima. En este sitio, se hallan conglomerados y areniscas con fósiles marinos, evidenciando así una abrasión marina.

#### **4.2.1.5. Frente Andino y valle transversales**

Este término se aplica a la superficie con mayor inclinación, situada entre la Peneplanicie Pliocénica y la Depresión Preandina, producto del desplome longitudinal a lo largo del borde del frente andino, y de la disección transversal provocada por los ríos y arroyos que se descienden del macizo andino.

#### **4.2.2. Litoestratigrafía regional**

El área de estudio se encuentra dentro de una zona desértica, representado en el Anexo A: Mapas de número de lámina A-5, identificando así:

##### **4.2.2.1. Formación Pisco (Nm-pi)**

Según Newell (1956) esta formación se desprende 3 secciones, la sección inferior está compuesta por areniscas compactas de gran grosor de tonalidades amarillas, en bancos amplios con horizontes conchíferos fuertemente triturados por el viento y unidos por soluciones de dicho material calcáreo.

En la parte intermedia, se observan intercalaciones frecuentes entre arcillas bentoníticas y areniscas tufáceas de tonalidad gris o blanquecina.

En la parte superior, las alternancias tufáceas se tornan más constantes, por lo que en las cercanías de Sacaco se observa un significativo aumento de lavas y cenizas en estratos bajos, con intercalaciones sedimentarias que incluyen areniscas, calizas margosas y lutitas.

##### **4.2.2.2. Formación San Juan (NP-sj)**

Según Vidal (1978) se conoce como Formación San Juan, debido a que se considera distinta y más antigua que la Formación Marcona, debido a su litología, estilo estructural y ubicación estratigráfica. Constituida por esquistos biotíticos y cloríticos, con escasos niveles de mármol dolomítico.

##### **4.2.2.3. Formación Marcona (CA-m)**

Según Vidal (1978) denominó Formación Marcona a toda una secuencia calcárea premesozoica, que se expone en la región de San Juan, compuesta de calizas gris voláceas, conglomerados con cantos de cuarcitas y calizas

#### **4.2.2.4. Complejo Basal de la Costa**

Según Vidal (1978) el complejo se compone de un conjunto metamórfico, cuyas relaciones recíprocas suelen ser complejas de definir, debido a la sobreimposición de varias etapas de metamorfismo regional generadas en periodos geológicos bastante distintos. Está compuesto por esquistos, meta-arcosas, gneises, granitos potásicos y migmatitas en su litología.

- Facies Gneiss Migmatíticos (*NP-cbc-gnmg*)

Gneises de textura granoblástica asociados con esquistos y anfíbolitas

#### **4.2.2.5. Depósitos Cuaternarios**

- Depósitos Eólicos (*Q-eo*) y Depósitos Coluviales (*Qh – col*)

Según Vidal (1978), los depósitos eólicos se muestran como dunas y cubiertas de arena limo y polvo. Abundante material eólico cubriendo grandes superficies con presencia de arenas cuarzosas de grano medio a fino, bien seleccionados. Los depósitos coluviales están compuestos de conglomerados con matriz areno-limoso.

### **4.3. Geología local**

#### **4.3.1. Geomorfología local**

En la zona de estudio se observan distintas unidades geomorfológicas y se representan en Anexo A: Mapas de número de lámina A-6, describiendo así:

##### **4.3.1.1. Mantos de Arena (M-a)**

Geoforma compuesta por la acumulación de arenas eólicas en forma de mantos, que cubren la región de estudio, abarcando desde suelos planos hasta

semiplano de la planicie costera; dentro de estos mantos de arena se pueden hallar alineamientos de dunas que se ajustan a la dirección del viento. Además, se pueden hallar acumulaciones de arena en las pendientes de montañas, que funcionaron como trampas que propiciaron la acumulación de arena.

#### **4.3.1.2. Colina y Lomada en Roca Metamórfica (RCL-rm)**

Estas geoformas se componen de erupciones de roca metamórfica disminuidas por factores erosivos, adoptan la forma de pendientes de nivel moderado a bajo y se propagan a través de una extensa zona.

#### **4.3.1.3. Colina y Lomada en Roca Sedimentaria (RCL-rs)**

Geoforma que corresponde a erupciones de roca sedimentaria disminuidas por procesos denudativos; deterioro de la superficie de la Tierra a causa del movimiento del agua, el hielo, el viento y las olas; y lo conforman elevaciones alargadas, con laderas disectadas y de pendientes moderada a baja.

### ***4.3.2. Litoestratigrafía local***

El área de estudio se sitúa sobre depósitos cuaternarios recientes, caracterizados por la presencia de depósitos eólicos y coluviales, la cual se emplaza sobre llanuras y planicies desérticas con un alto porcentaje de arena. Las geoformas incluyen dunas y médanos.

**Figura 14**

*En la fotografía se observan los mantos de arena representativos de la zona de estudio, junto con la vegetación típica de la región*



*Nota.* Fuente Propia.

Los mantos de arena presentan un espesor limitado, alcanzando un máximo de dos metros en las zonas de mayor acumulación. Según lo obtenido en las calicatas y los trabajos de perforación, representado en Anexo A: Mapas de número de lámina A-7, se describen lo siguiente:

**4.3.2.1. Depósitos Eólicos**

Se observa en mayor extensión en la zona, compuesta de arenas cuarzosas de grano fino a medio, de color beige con poco contenido de ferromagnesianos.

**4.3.2.2. Depósitos Coluviales**

Son el resultado del desprendimiento de geomateriales en las laderas bajo la influencia de la gravedad, generando una acumulación de bloques, gravas, arenas y limos.

### **Figura 15**

*En la fotografía se observan depósitos coluviales en la zona*



*Nota.* Fuente Propia.

#### **4.3.2.3. Formación Pisco**

En el área de estudio esta unidad aflora al SE, se caracteriza por la presencia de estratos horizontales o subhorizontales de areniscas tobáceas intercaladas con niveles de areniscas de grano grueso, color blanco, con ligeras variaciones constituidas mayormente de areniscas laminadas con estratificación fina y delgados lechos de conglomerados cuyos elementos están formados por arcillas.

#### **4.3.2.4. Complejo Basal de la Costa**

Cubierto por los mantos de arena, está compuesto por un conjunto metamórfico, litológicamente está constituido por esquistos, metaarcosas, gneises, granitos potásicos y migmatitas e infrayacen a la Formación San Juan.

La secuencia estratigráfica de la zona de estudio obtenido mediante los trabajos de calicatas y perforaciones, nos muestra capas de arena de diferentes granulometrías y colores, reflejando variaciones en las condiciones de deposición.

Las arenas de grano grueso y color marrón claro que, debido a su mayor peso y cohesión, tienden a ser más estables y permanecen en las zonas planas del litoral. Por otro lado, las arenas de grano fino y color beige, al ser más ligeras y menos cohesivas, son más susceptibles a la erosión y el transporte por el viento, lo que les permite cubrir grandes extensiones y modificar el paisaje de manera dinámica.

### **Figura 16**

*En la fotografía se observan llanuras y planicies desérticas de la zona*



*Nota.* Fuente Propia.

#### **4.4. Análisis geodinámico de la zona de estudio**

En el área de estudio, los procesos de geodinámica externa han moldeado y continúan moldeando la superficie terrestre debido a la interacción de agentes como el agua, el sol, la gravedad, el viento y los organismos vivos.

Estos procesos ocurren de diversas maneras, influenciados por factores geodinámicos como la litología, la estratigrafía, la tectónica, la topografía, el clima, la hidrología y las actividades humanas.

#### ***4.4.1. Evaluación de susceptibilidad del área de estudio***

La Susceptibilidad es el grado de fragilidad interna de un sujeto, objeto o sistema para enfrentar una amenaza y recibir un posible impacto ante la ocurrencia de un evento desencadenante.

Para este procedimiento, se combinan y suman todas las capas temáticas de análisis, como Movimientos en Masa, Geología, Pendientes, Geomorfología y Uso de Suelo, para generar un mapa de susceptibilidad total del terreno. Este mapa ayuda a evaluar los riesgos y la vulnerabilidad del área.

El mapa de susceptibilidad es un mapa en el cual se zonifica las unidades de roca o suelo que muestran una actividad de deslizamientos similar o de igual potencial de inestabilidad, para la elaboración del Mapa de Susceptibilidad se tienen en cuenta generalmente tres elementos:

##### **1) Inventario de peligros geológicos ocurridos en el pasado**

A continuación, en el mapa se encuentran registrados los distintos peligros geológicos cercano a la zona de estudio, los cuales son inundaciones, arenamiento y erosión.

**Figura 17**

*Mapa de Inventario de peligros geológicos*



*Nota.* Elaboración propia.

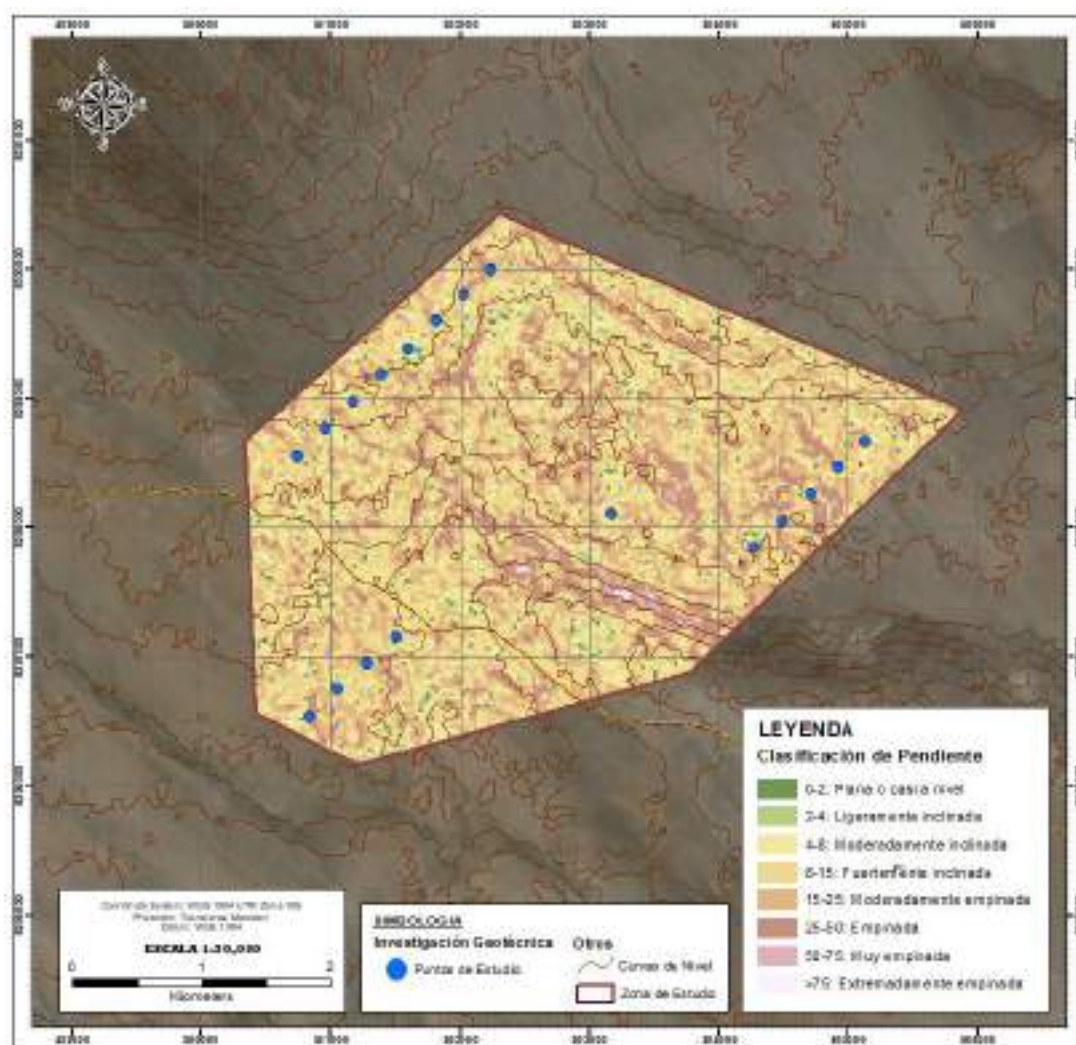
## 2) Topografía y mapa de pendientes.

La inclinación es un elemento que condiciona el terreno para que se generen Movimientos de Masa.

El objetivo de este mapa es ilustrar a través de colores áreas del territorio con una pendiente parecida; con esta actividad se busca entender el concepto de pendiente.

**Figura 18**

*Mapa de Pendientes*



*Nota.* Elaboración propia.

La información de pendientes se reclasificó de acuerdo a las clases detallada a continuación:

**Tabla 22***Estimación y clasificación de los niveles de Pendientes*

Nivel	Índice	Pendiente
Muy Bajo	1	0° - 12°
Bajo	2	12° - 25°
Medio	3	25° - 50°
Alto	4	> 50°

*Nota.* Tomado de INDECI (2011)

El cruzamiento de la información alfanumérica de pendientes se la realizó con la ayuda de la herramienta de ArcGis, en base a la matriz lógica descrita a continuación:

**Tabla 23***Cruzamiento de la información alfanumérica de los niveles de Pendientes*

PENDIENTE				
Nivel	Índice	Pendiente	Área (ha)	Área en Porcentaje (%)
Muy Bajo	1	0° - 12°	856,85	60 %
Bajo	2	12° - 25°	408,84	28 %
Medio	3	25° - 50°	164,94	11 %
Alto	4	> 50°	8,54	1 %

*Nota.* Obtención de las áreas y los porcentajes de los niveles de Pendiente.

El área de estudio se distingue por tener terrenos con inclinaciones que oscilan entre altas y bajas; en la zona de estudio predominan las inclinaciones muy bajas que abarcan 856,85 hectáreas, representando el 60 % del total del área de estudio. Las pendientes bajas representan 408,84 hectáreas, lo que representa el 28%, y constituyen la sección principal del proyecto. Las pendientes Medias constituyen el 11% del área de estudio, lo que equivale a 164,94 hectáreas situadas en las zonas empinadas del área de estudio. Este sector está compuesto por

materiales areno limosos de resistencia media. Finalmente, las pendientes elevadas, que constituyen el 1% del total del área de análisis, lo que equivale a 8,54 hectáreas de terreno.

### **3) Características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del terreno**

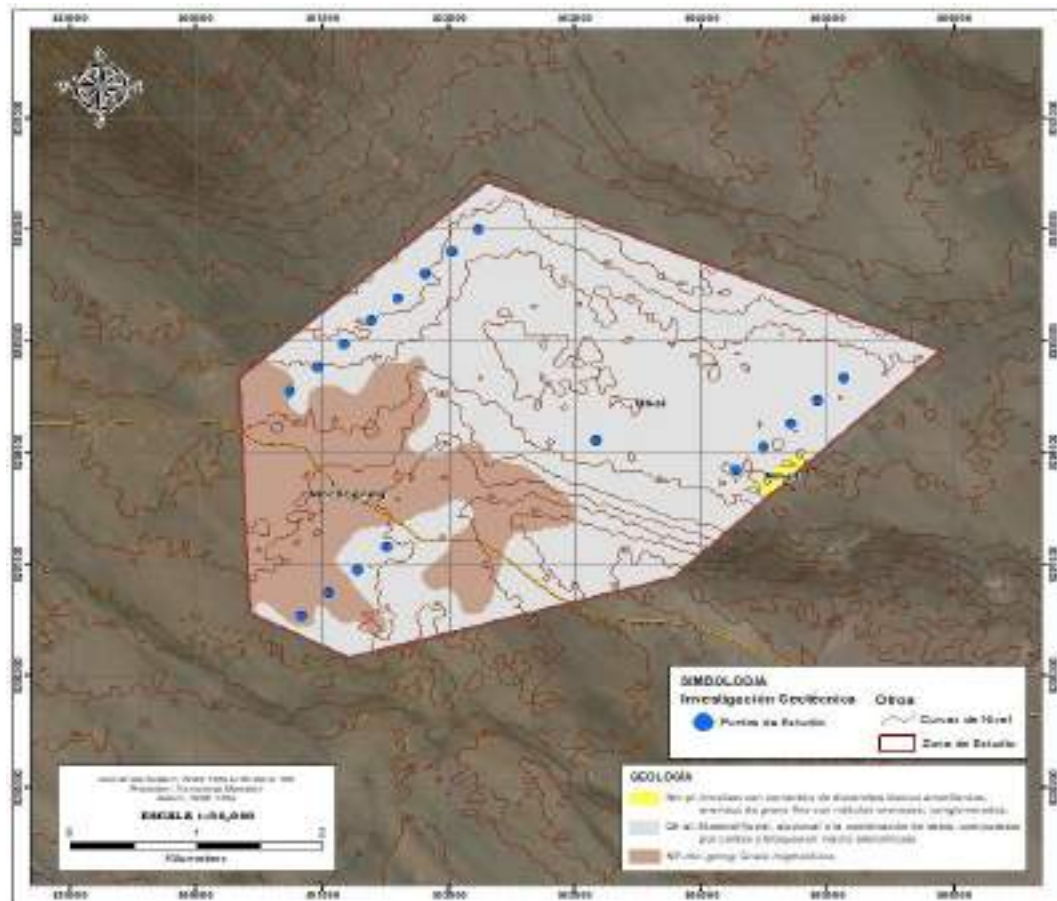
#### **a) Mapa Geológico del Polígono de Estudio**

La geología también juega un papel determinante y es crucial para establecer la susceptibilidad del terreno a los Movimientos de Masa.

La Geología del sector este compuesto por dunas, material eólico cubriendo grandes superficies con presencia de arenas cuarzosas y material coluvial o combinación de estos, compuestos por conglomerados con matriz areno limosa.

**Figura 19**

*Mapa geológico*



*Nota.* Elaboración propia.

El parámetro del suelo seleccionado para la reclasificación es la textura. Basándose en las distintas clases de textura del suelo, se las clasificó en dos categorías uniformes en términos de susceptibilidad a deslizamientos. Estas son las siguientes:

**Tabla 24***Estimación y clasificación de las clases texturales del suelo*

Código	Descripción	Reclasificación
11	Arenoso (fina, media, gruesa)	Gruesa
21	Franco Arenoso (fino a gruesos)	
22	Franco Limoso	Media
32	Limoso	
33	Franco Arcilloso (<35 % de arcilla)	
34	Franco Arcilloso Arenoso	
41	Franco Arcilloso Limoso	Fina
42	Arcilloso	
43	Arcillo Arenoso	
44	Arcillo Limoso	

*Nota.* Tomado de INDECI (2011).

La información de textura de suelo se reclasificó de acuerdo a las clases detallada a continuación:

**Tabla 25***Cruzamiento de la información de las clases texturales del suelo*

TEXTURA DEL SUELO				
Descripción	Reclasificación	Índice	Área (ha)	Área en Porcentaje %
Arenoso (fina, media, gruesa)				
Franco Arenoso (fino a gruesos)	Gruesa	-	5,9	0
Franco Limoso				
Limoso				
Franco Arcilloso (<35 % de arcilla)	Media	2	989,45	69 %
Franco Arcilloso Arenoso				
Franco Arcilloso Arenoso				
Franco Arcilloso Limoso				
Arcilloso	Fina	1	443,82	31 %
Arcillo Arenoso				
Arcillo Limoso				

*Nota.* Obtención de las áreas y los porcentajes de las texturas del Suelo.

Textura media ocupa 989,45 hectáreas, que equivale al 69 % del área total. Y un 31 % que equivale 443,82 hectáreas, como textura fina, estas categorías se obtuvieron de acuerdo a la Clasificación de suelos hechos en laboratorio.

#### **b) Mapa Geomorfológico del Polígono de Estudio**

La evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa mediante el factor geológico - geomorfológico, se consideró la litología, edad, estructura y grado de meteorización como parámetros fundamentales.

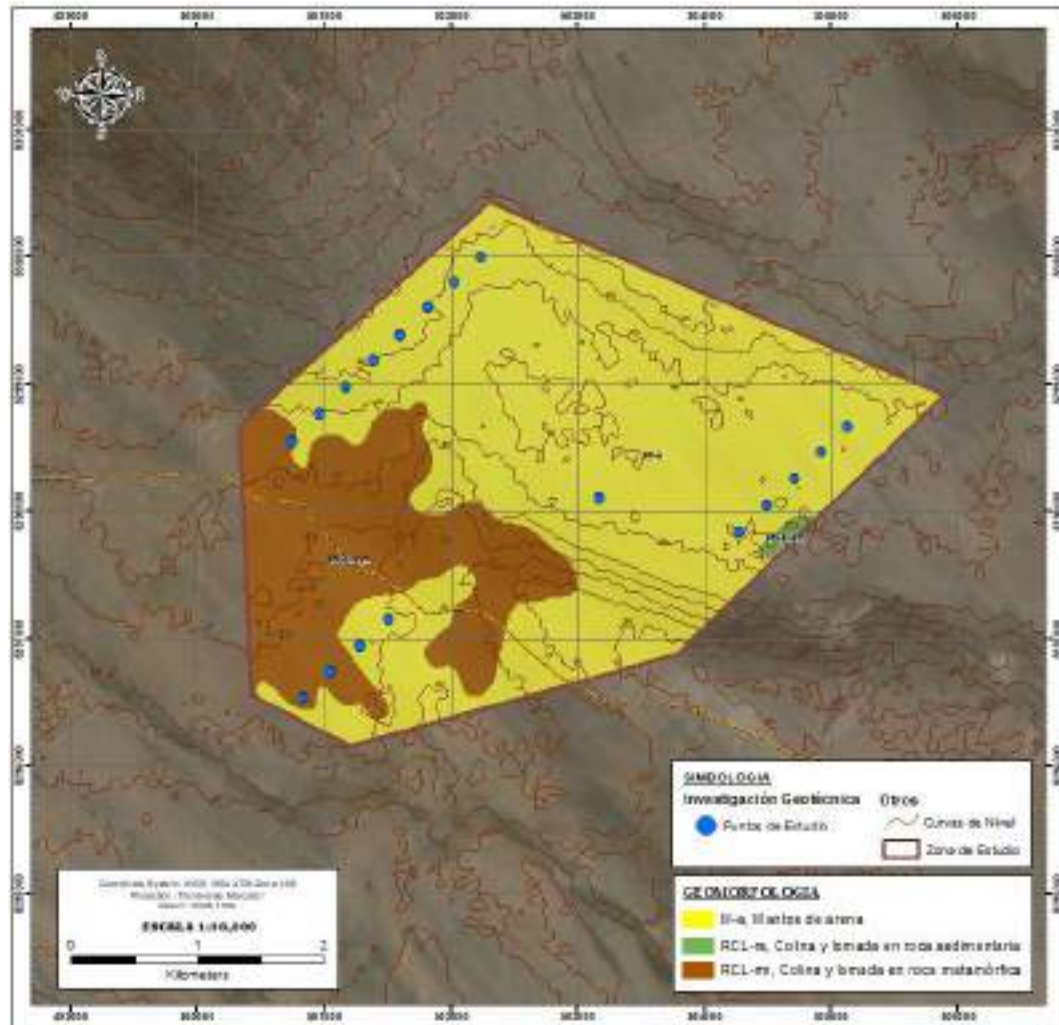
**Tabla 26***Estimación y clasificación del factor geológico – geomorfológico*

Grado	Índice	Descripción Geológica
Bajo	1	Formaciones volcánicas recientes y cuaternarias
Medio	2	Rocas volcánicas intrusivas y sedimentarias
Alto	3	Rocas metamórficas e intrusivas muy meteorizadas
Muy Alto	4	Rocas calcáreas, rocas arcillosas

*Nota.* Tomado de Libro Manual de estimación del riesgo ante movimientos en masa en laderas (INDECI, 2011).

**Figura 20**

*Mapa geomorfológico*



*Nota.* Elaboración propia.

La información geológica – geomorfológico se reclasificó de acuerdo a los grados detalladas a continuación:

**Tabla 27***Cruzamiento de la información del factor geológico – geomorfológico*

Grado	Índice	Descripción Geológica	Área (ha)	Área en Porcentaje %
Bajo	1	Formaciones volcánicas recientes y cuaternarias	1076,71	75
Medio	2	Rocas volcánicas intrusivas y sedimentarias	6,87	0
Alto	3	Rocas metamórficas e intrusivas muy meteorizadas	355,59	25
Muy Alto	4	Rocas calcáreas, rocas arcillosas	-	-

*Nota.* Obtención de las áreas y los porcentajes de la Descripción Geológica. Elaboración Propia.

El sector de estudio presenta un área de grado de susceptibilidad bajo del 75 % del área total lo que corresponde a 1076,71 hectáreas mientras que el 25 % del área de estudio que corresponde 355,59 hectáreas presenta un grado de susceptibilidad alta.

#### **4.4.2. Análisis de la susceptibilidad ante peligros por flujos hídricos**

La precipitación se lo considera como un factor activo que contribuye a la ocurrencia de los movimientos de masa.

En la Tabla 28 y Tabla 29, Figura 21 y 22 se muestra los histogramas de precipitaciones mensuales y anuales totales tomadas de las estaciones meteorológicas aledañas a la zona de estudio, se puede apreciar que los meses que presentan mayores registros de precipitación son de diciembre a marzo, en cuanto a los años de mayor precipitación estos se encuentran relacionados a fenómeno del Niño.

**Tabla 28***Precipitación total mensual (mm) estación de Copara*

ESTACIÓN	COPARA				LATITUD	14°58'30.04"				DEPARTAMENTO	ICA			
PARÁMETRO	PRECIPITACIÓN (mm/día)				LONGITUD	74°53'26.95"				PROVINCIA	NAZCA			
CÓDIGO	114018				ALTITUD	587 msnm				DISTRITO	VISTA ALEGRE			
AÑO	MESES												SUMA	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic		
2018	0.00	0.10	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.12</b>
2019	0.50	0.90	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>1.80</b>
2020	0.92	1.80	0.50	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.90	0.00	<b>4.97</b>
2021	0.00	0.80	0.50	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	<b>1.51</b>
2022	0.00	1.30	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>1.40</b>
2023	1.40	1.80	1.11	0.40	0.00	0.00	0.01	0.00	0.10	0.00	0.00	0.40	0.00	<b>5.22</b>
<b>PROM</b>	<b>0.47</b>	<b>1.12</b>	<b>0.42</b>	<b>0.15</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.02</b>	<b>0.00</b>	<b>0.08</b>	<b>0.25</b>	<b>0.00</b>	<b>2.50</b>

Nota. Obtención de SENAMHI

**Tabla 29***Precipitación total mensual (mm) estación de Lomas*

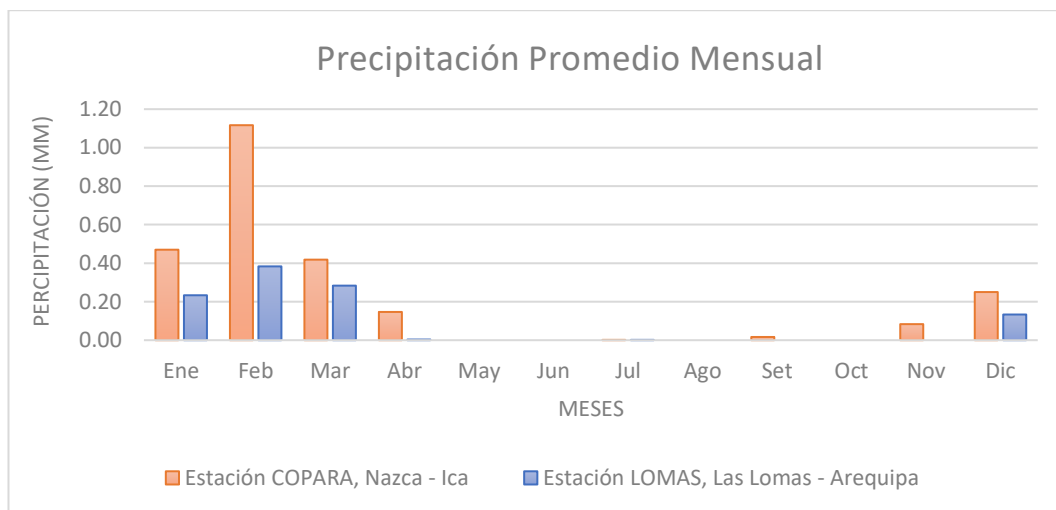
ESTACIÓN	LOMAS				LATITUD	15°34'16.27"				DEPARTAMENTO	AREQUIPA			
PARÁMETRO	PRECIPITACIÓN (mm/día)				LONGITUD	74°51'1.09"				PROVINCIA	CARAVELI			
CÓDIGO	115133				ALTITUD	19 msnm				DISTRITO	LOMAS			
AÑO	MESES												SUMA	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic		
2018	0.00	0.10	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.12</b>
2019	0.00	0.50	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.90</b>
2020	1.30	0.10	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>1.90</b>
2021	0.00	0.50	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.80</b>
2022	0.00	0.40	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.50</b>
2023	0.10	0.70	0.40	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	<b>2.01</b>
<b>PROM</b>	<b>0.23</b>	<b>0.38</b>	<b>0.28</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.13</b>	<b>0.00</b>	<b>1.04</b>

Nota. Obtención de SENAMHI

Observando las tablas, las 2 estaciones cercanas a nuestra zona de estudio podemos señalar que presentan una precipitación de alrededor de 2,50 mm/año en Nazca y 1,04 mm/año en Puerto Lomas.

**Figura 21**

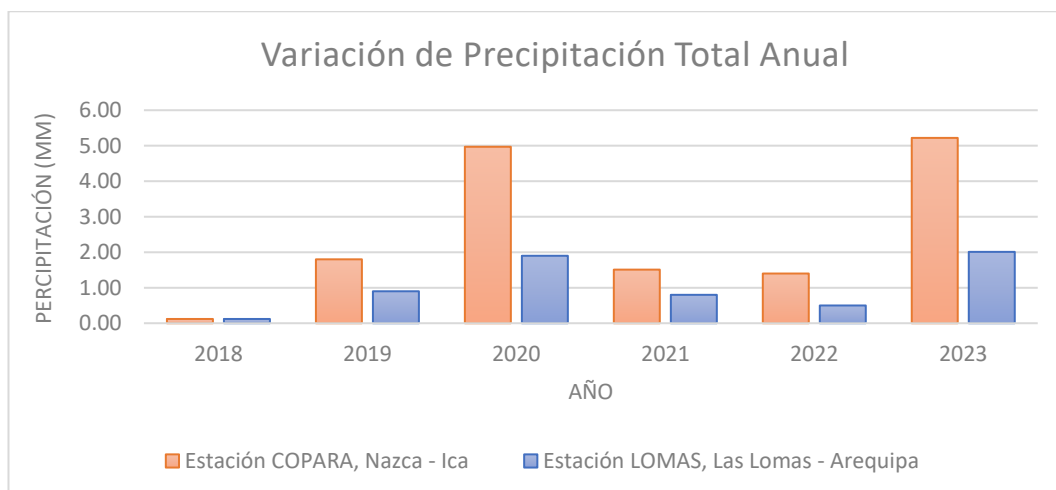
*Histograma comparativo de precipitación promedio mensual (mm)*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 22**

*Análisis comparativo de Variación de la Precipitación Total Anual (mm)*



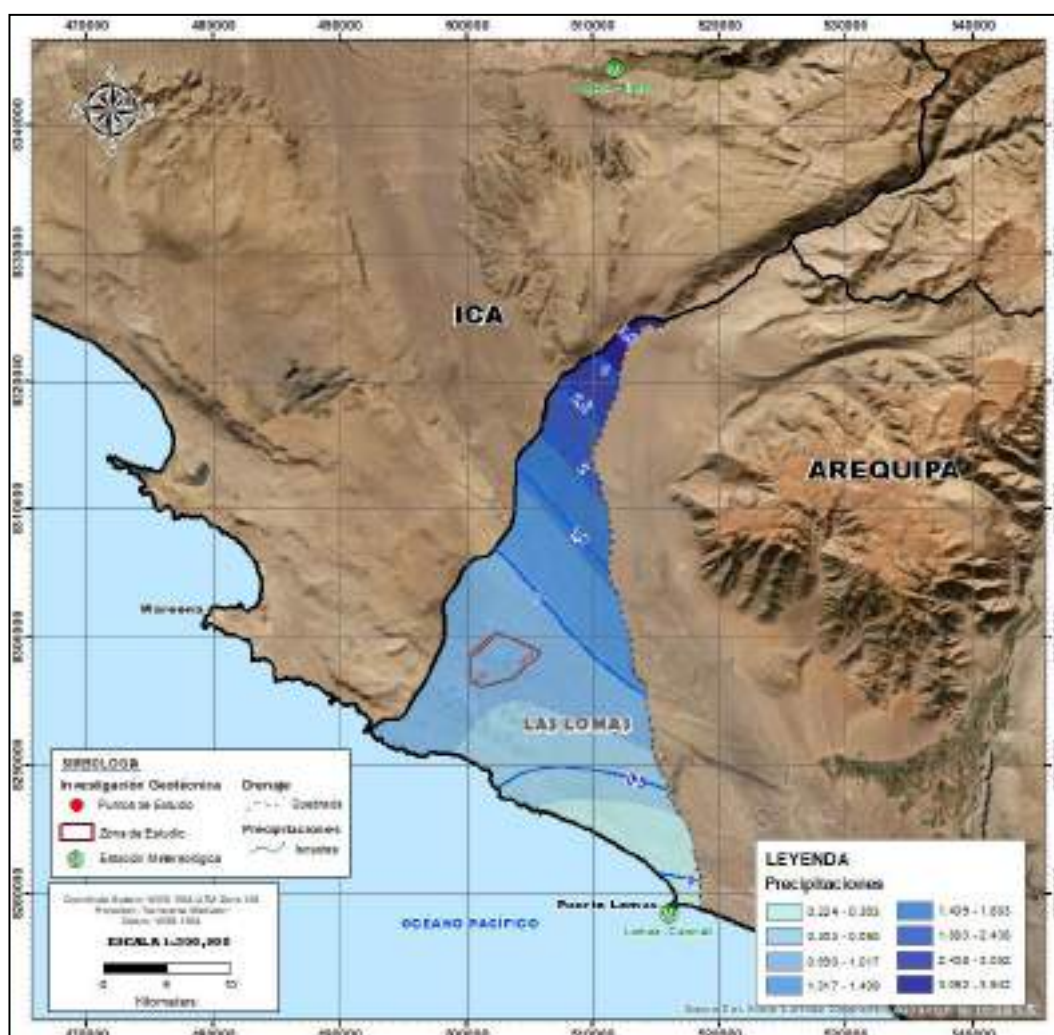
*Nota.* Elaboración propia.

De acuerdo a la información obtenida del promedio mensual de precipitación, las mayores precipitaciones que registran las estaciones meteorológicas son en los meses de diciembre a marzo (Figura 21), siendo el mes

de febrero el más lluvioso. El resto de meses (abril a noviembre), corresponde al periodo seco, siendo los meses de mayo y junio los más secos de la precipitación anual total.

**Figura 23**

*Mapa de precipitaciones*



*Nota.* Elaboración propia.

La información de isoyetas de reclasificó de acuerdo a las clases detallada a continuación:

**Tabla 30***Ponderación del Mapa Isoyetas*

ISOYETAS		
Grado	Índice	Rango (mm)
Baja	1	< 750
Media	2	750 – 1 000
Alta	3	1000 – 1 500
Muy Alta	4	1500 – 1 750

*Nota.* Elaboración propia.

El cruzamiento de la información espacial del subproducto del mapa de Susceptibilidad y el insumo de zonas de precipitación media anual (Isoyetas) se lo realiza con la ayuda de la herramienta *Map Calculator* de ArcGis, en base a la matriz lógica descrita a continuación:

**Tabla 31***Matriz de cruzamiento de información por Isoyetas*

Clase 2	Isoyetas		
	Bajo	Medio	Alto
1	1	1	2
2	2	2	3
3	3	3	3
4	3	4	4

*Nota.* Elaboración propia.

#### **4.4.3. Análisis de la susceptibilidad a deslizamientos y erosión fluvial**

Para el análisis de susceptibilidad a deslizamientos y erosión fluvial se requiere que se presenten en conjunto la susceptibilidad y el evento detonante (precipitaciones).

El mapa análisis de susceptibilidad se agrupan áreas con mayor o menor probabilidad de ocurrencia de Movimientos en Masa, dividiéndose en 4 categorías para este caso que van desde amenaza muy Alta a amenaza Baja, dichas categorías se describen en tabla 30 y Figura 24:

**Tabla 32**

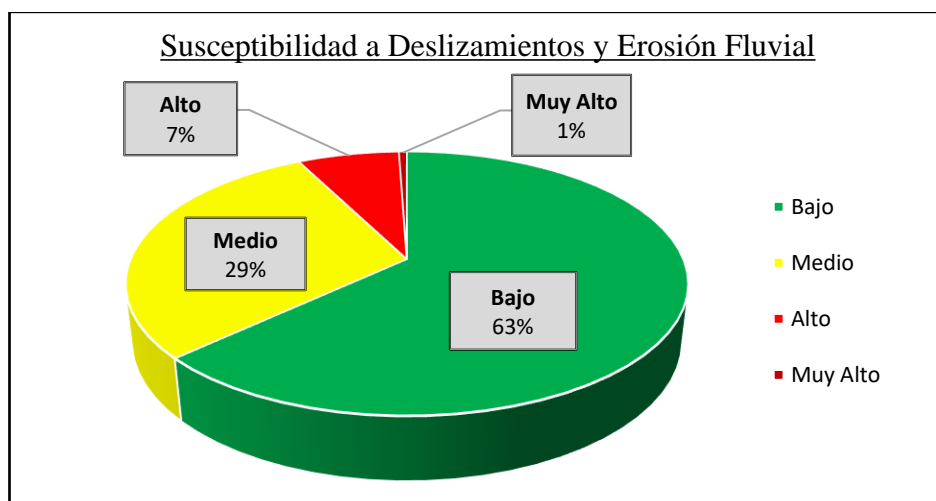
*Grado de Amenaza para el análisis de susceptibilidad a movimientos en masa*

SUSCEPTIBILIDAD			
Índice	Nivel	Área (ha)	Porcentaje (%)
1	Bajo	907,92	63
2	Medio	423,19	29
3	Alto	100,21	7
4	Muy Alto	7,85	1

*Nota.* Elaboración Propia.

**Figura 24**

*Representación gráfica de susceptibilidad a movimientos en masa*



*Nota.* Elaboración propia.

### **Criterio técnico**

Como se observa en la figura 24 y conforme se puede ver en el Anexo A: Mapas de número de lámina A-8, la zona estudio presenta en su totalidad una Amenaza Baja a Media, por lo tanto, se deduce que estas zonas son adversas para que se produzcan movimientos en masa; permanecen estables aún ante fenómenos intensos y extensos como la precipitación de la zona. Debido que su morfología es suave presenta en su mayoría pendientes de 0 a 12 %, la cual no presentaría procesos geodinámicos, más bien los riesgos naturales se refieren al aspecto hidrológico que se producirían por efecto del agua lluvia.

Para el caso de las precipitaciones, de acuerdo con los datos obtenidos de los anuarios meteorológicos publicados del SENAMHI, en el área de estudio se ha determinado que las precipitaciones van de los 0 a 5 mm por año, siendo unos de los climas secos en la costa del Perú.

Analizando la geología del sector donde se quiere emplazar los aerogeneradores el área de estudio se encuentra dentro de depósitos eólicos constituida por Mantos de arena (Cuaternario)

El sector donde estarán emplazadas las torres se distinguen depósitos de suelos de arena fina a gruesa, llegando a una profundidad de 2 metros aproximadamente lo que dificultará el transporte para ejecutar el proyecto.

#### **4.5. Investigaciones geotécnicas**

El siguiente ítem describe los tipos de exploración utilizados para el desarrollo de la tesis, así como su distribución de puntos de investigación, conforme se puede observar en el Anexo A: Mapas de número de lámina A-9.

#### 4.5.1. Exploración indirecta

Las investigaciones indirectas con fines geotécnicos se realizaron de forma complementaria a las investigaciones directas y por la dificultad de alcanzar una profundidad adecuada.

Por tanto, se llevaron dieciocho (18) ensayos MASW, siete (07) ensayos de Refracción Sísmica y dieciocho (18) sondeos eléctricos verticales, distribuidos en el polígono de estudio.

##### 4.5.1.1. MASW y Refracción sísmica

Se realizaron dieciocho (18) ensayos de Análisis Multicanal de Ondas de Superficie (MASW) y siete (07) ensayos de Refracción Sísmica, proyectados en los puntos de instalación de los aerogeneradores, conforme se observa en la Tabla 33.

**Tabla 33**

*Resumen de ensayos de MASW y Refracción Sísmica ejecutados*

CÓDIGO DE ENSAYO		COORDENADAS		PROFUNDIDAD (m)
		Este	Norte	
MASW	LS			
MASW – 01		500739,00	8298547,00	36,40
MASW – 02	LS-02	500960,00	8298763,00	36,40
MASW – 03		501173,00	8298973,00	36,40
MASW – 04		501390,00	8299179,00	36,40
MASW – 05		501601,00	8299386,00	36,40
MASW – 06	LS-06	501815,00	8299596,00	36,40
MASW – 07		502029,00	8299802,00	36,40
MASW – 08		502236,00	8299997,00	36,40
MASW – 09	LS-09	500833,00	8296538,00	36,40

MASW – 10		501053,00	8296745,00	36,40
MASW – 11		501276,00	8296945,00	36,40
MASW – 12	LS-12	501503,00	8297157,00	36,40
MASW - 13		504274,00	8297839,00	36,40
MASW – 14	LS-14	504490,00	8298048,00	36,40
MASW – 15		504705,00	8298256,00	36,40
MASW – 16		504920,00	8298464,00	36,40
MASW - 17	LS-17	505132,00	8298668,00	36,40
MASW - Sub Estación	LS-ST	503165,00	8298109,00	36,40

*Nota.* Elaboración Propia.

En la Tabla 31, se observa las profundidades de los ensayos MASW y Refracción Sísmica realizados, con la finalidad de determinar el espesor del suelo blando y profundidad del material.

#### 4.5.1.2. Sondeo Eléctrico Vertical

Se realizaron dieciocho (18) ensayos de Sondeo eléctrico vertical, con finalidad de para la diferenciar las litologías en el subsuelo.

**Tabla 34**

*Resumen de ensayos de SEV ejecutados*

CÓDIGO	COORDENADAS		PROFUNDIDAD (m)
	Este	Norte	
SEV – 01	500739,00	8298547,00	8,00
SEV – 02	500960,00	8298763,00	8.10
SEV – 03	501173,00	8298973,00	8.10
SEV – 04	501390,00	8299179,00	8,00
SEV – 05	501601,00	8299386,00	8,00
SEV – 06	501815,00	8299596,00	8,00

SEV – 07	502029,00	8299802,00	8,00
SEV – 08	502236,00	8299997,00	8,00
SEV – 09	500833,00	8296538,00	8,00
SEV – 10	501053,00	8296745,00	8,00
SEV – 11	501276,00	8296945,00	8,00
SEV – 12	501503,00	8297157,00	8,00
SEV – 13	504274,00	8297839,00	8,00
SEV – 14	504490,00	8298048,00	8,00
SEV – 15	504705,00	8298256,00	8,00
SEV – 16	504920,00	8298464,00	8,00
SEV - 17	505132,00	8298668,00	8,00
SEV - Sub Estación	503165,00	8298109,00	8,00

*Nota.* Elaboración Propia.

#### **4.5.2. Exploración directa**

Dentro de las investigaciones exploratorias directas se realizaron nueve (09) perforaciones diamantinas con ensayos de penetración estándar (SPT) y nueve (09) calicatas distribuidas en el polígono de la zona de estudio y se describen:

##### **4.5.2.1. Ensayo SPT**

Se llevaron a cabo nueve (9) perforaciones diamantinas para realizar las pruebas de penetración estándar (SPT), conforme se observa en la tabla 35.

**Tabla 35***Resumen de ensayos de SPT ejecutados*

CÓDIGO	COORDENADA		PROFUNDIDAD	Ensayo
	Este	Norte	Excavación (m)	Geotécnico
S – 01	500739,00	8298547,00	30,00	SPT
S – 03	501173,00	8298973,00	20,70	SPT
S – 05	501601,00	8299386,00	30,00	SPT
S - 07	502029,00	8299802,00	26.50	SPT
S – 10	501053,00	8296745,00	20,30	SPT
S – 12	501503,00	8297157,00	30,00	SPT
S – 14	504490,00	8298048,00	30,00	SPT
S - 16	504920,00	8298464,00	30,00	SPT
S - Sub Estación	503165,00	8298109,00	30,00	SPT

*Nota.* Elaboración Propia.

Es fundamental caracterizar y determinar la profundidad del suelo rígido para poder sustentar adecuadamente las estructuras sobre él. Esto es crucial para planificar el mejoramiento del suelo o aplicar tratamientos si es necesario.

#### 4.5.2.2. Calicatas

Se llevaron a cabo nueve (9) calicatas, conforme se observa en la tabla 36.

**Tabla 36***Resumen de calicatas ejecutadas*

CÓDIGO	COORDENADA		PROFUNDIDAD	PROFUNDIDAD
	Este	Norte	Excavación (m)	Nivel Freático (m)
C-02	500960,00	8298763,00	4,00	N.P.
C-04	501390,00	8299179,00	3.50	N.P.
C-06	501815,00	8299596,00	3.70	N.P.

C-08	502236,00	8299997,00	3.50	N.P.
C-09	500833,00	8296538,00	1.50	N.P.
C-11	501276,00	8296945,00	4,00	N.P.
C-13	504274,00	8297839,00	2.70	N.P.
C-15	504705,00	8298256,00	3.70	N.P.
C-17	505132,00	8298668,00	3.50	N.P.

*Nota.* Elaboración Propia.

De la Tabla 36, se observa que las profundidades de investigación varían entre 2,00 m a 4,00 m en su mayoría, las calicatas que no alcanzaron la profundidad mínima de 3,00 m se debieron a la presencia un estrato rígido o compacto.

#### **4.6. Resultados de los ensayos geotécnicos**

##### **4.6.1. Resultados de la exploración indirecta**

Estos métodos de investigación se realizaron con la finalidad de conocer la rigidez y disposición de los materiales en profundidad, debido a que las excavaciones de las calicatas en su mayoría alcanzaron los 3,20 m de profundidad.

##### **4.6.1.1. MASW y Refracción sísmica**

Los resultados de los ensayos de MASW y Refracción Sísmica se pueden ver en el Anexo B: Investigaciones Geotécnicas – B.1 Exploración Indirecta.

De acuerdo con lo establecido en la Norma Técnica Peruana NTP E-030, la clasificación de los perfiles geotécnicos del terreno se realiza en función de la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte ( $V_s$ ) obtenida en los primeros 30 metros de profundidad desde la superficie natural del suelo.

**Tabla 37**

*Perfiles del suelo usando la Velocidad de corte S (Vs30), resultado del ensayo de MASW*

<b>CODIGO</b>	<b>Vs30</b>	<b>PERFIL DEL SUELO (NTP E-030)</b>
MASW – 01	800,3	<b>S1</b> (Roca o Suelos muy rígidos)
MASW – 02	483,9	<b>S2</b> (Suelos Intermedios)
MASW – 03	488,2	<b>S2</b> (Suelos Intermedios)
MASW – 04	388,9	<b>S2</b> (Suelos Intermedios)
MASW – 05	408,3	<b>S2</b> (Suelos Intermedios)
MASW – 06	407,0	<b>S2</b> (Suelos Intermedios)
MASW – 07	357,1	<b>S2</b> (Suelos Intermedios)
MASW – 08	387,4	<b>S2</b> (Suelos Intermedios)
MASW – 09	803,2	<b>S1</b> (Roca o Suelos muy rígidos)
MASW – 10	498,4	<b>S2</b> (Suelos Intermedios)
MASW – 11	723,5	<b>S1</b> (Roca o Suelos muy rígidos)
MASW – 12	491,7	<b>S2</b> (Suelos Intermedios)
MASW - 13	509,5	<b>S1</b> (Roca o Suelos muy rígidos)
MASW – 14	436,8	<b>S2</b> (Suelos Intermedios)
MASW – 15	398,7	<b>S2</b> (Suelos Intermedios)
MASW – 16	485,2	<b>S2</b> (Suelos Intermedios)
MASW - 17	369,2	<b>S2</b> (Suelos Intermedios)
MASW - Sub Estación	564,0	<b>S1</b> (Roca o Suelos muy rígidos)

*Nota.* Elaboración Propia.

De la Tabla 37, se observa que la zona de investigación predomina el Perfil Tipo S2: Suelos Intermedios, los cuales se describen como Arena gruesa, de compactación media a compacta.

**Figura 25**

*Vista del plantado de los geófonos. MASW-06*



*Nota. Fuente Propia.*

**Figura 26**

*Vista de la ubicación de la línea de refracción sísmica LS-ST.*



*Nota. Fuente Propia.*

**Tabla 38***Resumen de resultados del ensayo de MASW y Refracción Sísmica ejecutados.*

CÓDIGO	ESPESOR (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Descripción
P-01	9,0	780 - 1350	420 - 750	Suelo muy Denso
	27,0	1350 - 1900	> 820	Roca
P-02	1,0	260 - 340	< 160	Suelo Blando
	4,0	340 - 890	210 - 320	Suelo Rígido
	20,0	890 - 1720	410 - 760	Suelo muy Denso
	10,0	1720 - 2700	>770	Roca
P-03	6,0	410 - 820	220 - 370	Suelo Rígido
	30,0	820 - 1300	> 480	Suelo muy Denso
P-04	1,0	230 - 310	< 120	Suelo Blando
	20,0	310 - 910	210 - 490	Suelo Rígido
	15,0	910 - 1450	> 510	Suelo muy Denso
P-05	1.1	250 - 320	< 175	Suelo Blando
	6,0	320 - 850	180 - 340	Suelo Rígido
	29,0	850 - 1180	> 420	Suelo muy Denso

P-06	4,0	420 - 830	210 - 320	Suelo Rígido
	32,0	830 - 1250	> 360	Suelo muy Denso
P-07	10,0	375 - 820	180 - 360	Suelo Rígido
	26,0	820 - 1490	> 370	Suelo muy Denso
P-08	9,0	400 - 790	230 - 350	Suelo Rígido
	27,0	790 - 1350	> 370	Suelo muy Denso
P-09	7,0	850 - 1450	410 - 750	Suelo muy Denso
	29,0	1450 - 3000	> 780	Roca
P-10	4,0	360 - 840	200 - 320	Suelo Rígido
	16,0	840 - 1430	390 - 750	Suelo muy Denso
	16,0	1430 - 1950	> 770	Roca
P-11	1,0	410 - 800	< 360	Suelo Rígido
	12,0	800 - 1360	450 - 750	Suelo muy Denso
	21,0	1360 - 2050	> 800	Roca
P-12	4,0	380 - 860	280 - 360	Suelo Rígido
	20,0	860 - 1970	380 - 750	Suelo muy Denso
	12,0	1970 - 2870	> 850	Roca
P-13	4,0	360 - 810	180 - 360	Suelo Rígido

	17,0	810 - 1200	410 - 760	Suelo muy Denso
	15,0	1200 - 1960	> 800	Roca
P-14	4,0	370 - 900	180 - 320	Suelo Rígido
	16,0	900 - 1400	380 - 760	Suelo muy Denso
	16,0	1400 - 2020	> 780	Roca
	7,0	400 - 910	< 330	Suelo Rígido
P-15	16,0	910 - 1650	370 - 710	Suelo muy Denso
	13,0	1650 - 1980	> 770	Roca
	5,0	360 - 860	200 - 340	Suelo Rígido
P-16	10,0	860 - 1480	380 - 750	Suelo muy Denso
	21,0	1480 - 2000	> 881	Roca
	10,0	380 - 820	190 - 360	Suelo Rígido
P-17	26,0	820 - 1550	> 370	Suelo muy Denso
	3,0	390 - 830	< 340	Suelo Rígido
P-Sub Estación	15,0	830 - 1350	380 - 760	Suelo Denso
	18,0	1350 - 1700	> 780	Suelo muy Denso

*Nota.* Elaboración Propia.

En la Tabla 38, mayormente se observa los resultados de tres (03) estratos bien definidos, del resultado de los ensayos de MASW y Refracción Sísmica.

Para las velocidades de ondas de compresión ( $V_p$ ), el primer estrato presenta ondas menores a 980 m/s, la segunda varía entre 850 a 1550 m/s y el tercer estrato presenta velocidades de ondas  $V_p$  mayores a 1450 m/s.

El primer estrato presenta velocidades de ondas de corte ( $V_s$ ) de 180 a 350 m/s, la segunda varía entre 330 a 775 m/s y el tercer estrato presenta velocidades de ondas de corte  $V_s$  mayores a 760 m/s.

#### **4.6.1.2. Sondeo Eléctrico Vertical**

A continuación, se presentan los resultados del ensayo SEV's en el Anexo B: Investigaciones Geotécnicas – B.1 Exploración Indirecta y en la Tabla 39,

**Tabla 39***Resumen de los resultados de ensayo de SEV ejecutados*

CÓDIGO	ESPESOR (m)	RESISTIVIDAD (Ohm*m)	Número de capa	LITOLOGÍA
SEV-01	0,5	536.7	1	S. Eólico
	0,8	87.8	2	Arena Limosa
	1.4	365.3	3	Arena con gravas
	5.3	3578.9	4	Roca Fracturada
SEV - 02	0,4	45.6	1	S. Eólico
	0,8	217.8	2	Arena Limosa
	4.8	643.7	3	Arena Cementada
	1.5	2156.1	4	Arena muy Cementada
SEV - 03	0,6	14.4	1	S. Eólico
	1,0	315,0	2	Arena Limosa
	2.6	866.3	3	Arena Cementada
	3.9	1417.4	4	Arena muy Cementada
SEV - 04	0,5	269.5	1	S. Eólico
	0,7	2006.8	2	Arena Limosa
	2.6	527.5	3	Arena Cementada

	4.2	209.4	4	Arena muy Cementada
SEV - 05	1,0	523.6	1	S. Eólico
	0,9	189.6	2	Arena Cementada
	3.4	408.9	3	Arena Limosa
	2.7	3247.4	4	Arena muy Cementada
	1,0	88.5	1	S. Eólico
SEV - 06	0,9	1062.7	2	Arena Limosa Cementada
	3.4	573.9	3	Arena Limosa
	2.7	4006.8	4	Arena muy Cementada
	1,0	476.8	1	S. Eólico
SEV - 07	2.4	125.6	2	Arena con gravas
	0,6	43.5	3	Arena Limosa
	4,0	214.6	4	Arena con gravas
	0,5	476.8	1	S. Eólico
SEV - 08	0,7	125.6	2	Arena Fina
	1.1	43.5	3	Arena Limosa
	4.7	214.6	4	Arena con gravas
	0,2	5.2	1	S. Eólico
SEV - 09	0,9	34.6	2	Roca muy Fracturada

	4.7	237.8	3	Roca muy Fracturada
	2.2	3712.6	4	Roca Fracturada
SEV - 10	0,4	27.4	1	S. Eólico
	1.5	146.4	2	Arena Fina
	1.1	365.7	3	Arena Limosa
	5,0	614.2	4	Arena con gravas
SEV - 11	0,2	8.4	1	S. Eólico
	0,6	299.5	2	Arena Limosa
	1.9	674.5	3	Arena fina y gravilla
	5.3	6240,1	4	Arena con gravas
SEV - 12	0,8	143.3	1	S. Eólico
	1,0	354.8	2	Arena fina y gravilla
	2.7	910,3	3	Arena Cementada
	3.5	2078.7	4	Arena muy Cementada
SEV - 13	0,2	77.8	1	S. Eólico
	2,0	8.6	2	Arena Limosa
	3.6	21.5	3	Arena Fina
	2.2	417.8	4	Arena con gravas
SEV - 14	0,3	157.3	1	S. Eólico

	2.8	90,1	2	Arena Fina
	3.3	380,6	3	Arena Limosa Cementada
	1.6	1172.9	4	Arena con gravas
	0,3	33.7	1	S. Eólico
SEV - 15	2.8	123.9	2	Arena Fina
	3.3	625.8	3	Arena Limosa Cementada
	1.6	8139.4	4	Arena con gravas
	0,5	169.2	1	S. Eólico
SEV - 16	1.8	676.3	2	Arena Fina
	4.7	473.7	3	Arena Limosa Cementada
	1,0	7929.8	4	Arena con gravas
	1,0	88.8	1	S. Eólico
SEV - 17	1.2	184.2	2	Arena Fina
	2.5	790,0	3	Arena Limosa Cementada
	3.3	6477.5	4	Arena con gravas
	0,9	21.5	1	S. Eólico
SEV - Sub Estación	5.7	952.2	2	Arena Limosa
	1.1	131,0	3	Arena Fina
	0,3	20,5	4	Limo arenoso con óxidos

Nota. Elaboración Propia.

En la Tabla 39 mayormente se observa los resultados de cuatro (04) estratos bien definidos con su respectiva litología en los 18 puntos de SEV's.

Los valores de resistividad elevados ubicados en profundidad son asociados a roca fracturadas, cubiertos de material de depósitos eólicos; de igual manera en las zonas de terrazas marinas, los valores de resistividad elevadas en profundidad, se asocian por la presencia de grava y gravilla en matriz de arena fina porosa o cementada.

#### ***4.6.2. Resultados de la exploración directa***

Este método de investigación se realizó para caracterizar las propiedades físicas de los diferentes materiales en la zona de estudio, con ensayos SPT y la apertura de calicatas distribuidos en el polígono de estudio.

#### **Figura 27**

*En la fotografía se observan trabajos de perforación diamantina con SPT-03*



*Nota.* Fuente Propia.

#### 4.6.2.1. Resultados de los Ensayos de SPT

Los resultados de los ensayos SPT se pueden ver en la Tabla 40, las cuales se observan en el Anexo B: Investigaciones Geotécnicas – B.2 Exploración Directa.

**Tabla 40**

*Resumen de resultados del ensayo SPT*

CÓDIGO	PROFUNDIDAD		N CAMPO	N.F.	CLASIFICACIÓN VISUAL
	(M)				
	De	a			
SPT 01	3,00	3.45	51	-	SP - SM
	5,00	5.45	49	-	SP - SM
	7,00	7.45	50	-	SP - SM
	10,00	10.45	56	-	SP - SM
	15,00	15.45	53	-	SP - SM
	20,00	20.45	48	-	SP - SM
	25,00	25.45	55	-	SP - SM
SPT 03	3,00	3.45	41	-	GW
	5,00	5.45	45	-	GW
	7,00	7.45	51	-	GW
	10,00	10.45	50	-	GW
	15,00	15.45	48	-	SP
	20,00	20.45	49	-	SW
SPT 05	3,00	3.45	51	-	GW
	5,00	5.45	47	-	GW
	7,00	7.45	50	-	GW
	10,00	10.45	51	-	SM
	15,00	15.45	48	-	SM
	20,00	20.45	52	-	SM

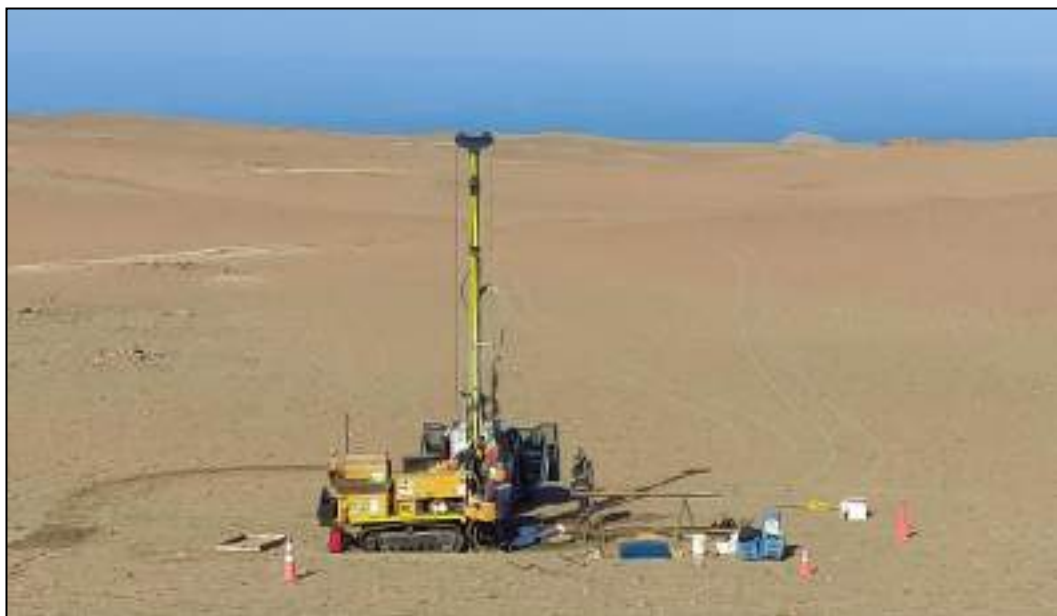
	25,00	25.45	49	-	SM
	3,00	3.45	47	-	GW
	5,00	5.45	52	-	GW
	7,00	7.45	50	-	GW
SPT 07	10,00	10,45	45	-	SM
	15,00	15.45	42	-	SM
	20,00	20,45	46	-	SM
	25,00	25.45	48	-	SM
	3,00	3.45	51	-	SP-SM
SPT 10	5,00	5.45	47	-	SP-SM
	7,00	7.45	50	-	SP-SM
	10,00	10,45	52	-	SP-SM
	3,00	3.45	48	-	GW
	5,00	5.45	49	-	GW
	7,00	7.45	50	-	SP-SM
SPT 12	10,00	10,45	52	-	SP
	15,00	15.45	50	-	SP
	20,00	20,45	46	-	SP
	25,00	25.45	48	-	SP
	3,00	3.45	50	-	SP
	5,00	5.45	49	-	SP
	7,00	7.45	51	-	SP
SPT EST	10,00	10,45	52	-	SP
	15,00	15.45	50	-	SP
	20,00	20,45	47	-	SP
	25,00	25.45	49	-	SP
SPT 14	3,00	3.45	43	-	GW
	5,00	5.45	46	-	GW

	7,00	7.45	49	-	GW
	10,00	10,45	52	-	SP
	15,00	15.45	56	-	SP
	20,00	20,45	53	-	SP
	25,00	25.45	48	-	SP
	3,00	3.45	50	-	SP
	5,00	5.45	48	-	SP
	7,00	7.45	46	-	SP
SPT 16	10,00	10,45	51	-	SP
	15,00	15.45	49	-	SP
	20,00	20,45	55	-	SP
	25,00	25.45	48	-	SP

*Nota.* Elaboración Propia.

### **Figura 28**

*En la fotografía se observan trabajos de perforación diamantina con SPT-25*



*Nota.* Fuente Propia.

#### 4.6.2.2. Registro Estratigráfico de calicatas y Laboratorio para Calicatas

##### a) Perfil Estratigráfico de Calicatas

En este ítem se presenta el resumen de los perfiles estratigráficos de las calicatas ejecutadas en el polígono de estudio, el resumen se puede ver en la Tabla 41.

#### Figura 29

*En la fotografía se observan las maquinarias que se emplearon para el proyecto de tesis.*



*Nota.* Fuente Propia.

**Tabla 41***Resumen de perfiles estratigráficos de las calicatas*

CÓDIGO	PROFUNDIDAD (m)		Presencia Nivel Freático	SUCS	DESCRIPCIÓN
	Desde	Hasta			
C-02	0,00	4,00	N.P.	SP	Arena fina beige con algo de grava y gravilla subangulosa
C-04	0,00	0,70	N.P.	SP	Arena eólica fina beige con algunos fragmentos de grava subredondeada, suelta
	0,70	3.50		GW	Grava grisácea con matriz areno-limosa. Subangulosa a subredondeada. Poligénica.
C-06	0,00	0,30	N.P.	SP	Arena fina beige con algunos fragmentos de grava subangulosa, eólica
	0,30	0,60		SP-SM	Arena fina marrón con algo de limo y con algunos fragmentos de grava subredondeada.
	0,60	3.70		GW	Grava grisácea con matriz arenosa. Subredondeada. Poligénica.
C-08	0,00	0,80	N.P.	SP	Arena fina beige con algunos fragmentos de grava subangulosa, eólica
	0,80	2.50		SP-SM	Arena fina marrón con algo de limo y con algunos fragmentos de grava subredondeada.
	2.50	3.50		GW	Grava grisácea con matriz arenosa. Subredondeada. Poligénica.

C-09	0,00	1.50	N.P.	GW	Arena fina beige con algo de grava y gravilla subangulosa
C-11	0,00	3,00	N.P.	SP	Arena fina beige con algo de grava y gravilla subangulosa
	3,00	4,00		GW	Grava grisácea con matriz arenosa. Subredondeada. Poligénica.
C-13	0,00	0,40	N.P.	SP	Arena eólica fina beige con algunos fragmentos de grava subredondeada, suelta
	0,40	2.70		GW	Grava grisácea con matriz arenosa. Subredondeada. Poligénica.
C-15	0,00	0,50	N.P.	SP	Arena fina beige con algunos fragmentos de grava subangulosa, eólica
	0,50	0,80		SP-SM	Arena fina marrón claro con algo de limo
	0,80	1.90		SP-SM	Arena blanca cremosa de grano fino muy fracturada. Contiene óxidos amarillentos en forma de vetas.
	1.90	3.70		SP-SM	Arena fina beige con algo de grava y gravilla subangulosa
C-17	0,00	0,30	N.P.	SP	Arena eólica fina beige con algunos fragmentos de grava subredondeada, suelta
	0,30	1,00		GW	Arena fina beige con algo de grava y gravilla subangulosa
	1,00	3.50		SP-SM	Arena fina marrón con algo de limo y con algunos fragmentos de grava subredondeada.

*Nota.* Elaboración Propia.

### **b) Ensayos de Propiedades Físicas y Estándar**

Los resultados estándares y propiedades físicas del suelo, se obtuvieron de las nueve (09) muestras extraídas de las calicatas debidamente etiquetadas, posteriormente se enviaron a un laboratorio de mecánica de suelos, donde fueron ensayados las muestras conforme a las normas nacionales e internacionales, conforme se detallan a continuación:

- Descripción e identificación de suelos. Procedimiento manual – visual (NTP 339.148);
- Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D 422);
- Clasificación por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (ASTM 2487);
- Límite líquido (ASTM D4318);
- Límite plástico (ASTM D4318);
- Contenido de humedad natural (ASTM D2216).

**Tabla 42***Resumen de datos obtenidos de ensayos de laboratorio en suelos*

CALICATA	MUESTRA	CLASIFICACIÓN DE SUELOS				GRANULOMETRIA			CONTENIDO DE	LÍMITES DE ATTERBERG			DENSIDADES (gr/cm <sup>3</sup> )		
		SISTEMA SUCS		SISTEMA AASHTO		%	%	%		L.L.	L.P.	I.P.	Natural	Mínima	Máxima
		SUCS	Descripción	AASHTO	Descripción	Gravas	Arenas	Finos		(%)	(%)	(%)			
C-AE 02	M-1 (1.10 - 3,00 m)	SP-SM	Arena pobremente gradada con limo	A-3 (0)	Materiales granulares. Arena fina.	0,0	98,4	1,6	1,75	--	--	--	1,69	1,65	1,81
C-AE 04	M-1 (1.10 - 3,00 m)	SP-SM	Arena pobremente gradada con limo	A-3 (0)	Materiales granulares. Arena fina.	0,0	98,4	1,6	1,85	--	--	--	1,63	1,55	1,79
C-AE 06	M-1 (1.50 - 3,00 m)	SP-SM	Arena pobremente gradada con limo	A-3 (0)	Materiales granulares. Arena fina.	0,0	96,8	3,2	2,06	--	--	--	1,62	1,56	1,75
C-AE 08	M-1 (1.60 - 3,00 m)	SP-SM	Arena pobremente gradada con limo	A-3 (0)	Materiales granulares. Arena fina.	0,0	96,5	3,5	0,69	--	--	--	1,65	1,56	1,77

C-AE 09	M-1 (0,00 - 1,50 m)	GP- GM	Grava pobremente gradada con limo con arena	A-1-a (0)	Materiales granulares. Fragmentos de roca, grava y arena.	55,0	39,4	5,6	1,41	--	--	--	2,02	1,90	2,18
C-AE 11	M-1 (2.20 - 3.10 m)	SP- SM	Arena pobremente gradada con limo con grava	A-3 (0)	Materiales granulares. Arena fina.	18,0	77,7	4,3	1,98	--	--	--	1,67	1,59	1,79
C-AE 13	M-1 (0,80 - 1,80 m)	SP- SM	Arena pobremente gradada con limo con grava	A-3 (0)	Materiales granulares. Arena fina.	12,0	83,6	4,4	2,00	--	--	--	1,54	1,50	1,81
C-AE 15	M-1 (1.20 - 3,00 m)	SP- SM	Arena pobremente gradada con limo con grava	A-3 (0)	Materiales granulares. Arena fina.	0,0	98,2	1,8	0,45	--	--	--	1,61	1,57	1,76
C-AE 17	M-1 (1.20 - 3,00 m)	SP- SM	Arena pobremente gradada con limo	A-3 (0)	Materiales granulares. Arena fina.	0,0	98,5	1,5	0,48	--	--	--	1,59	1,56	1,79

Nota. Elaboración Propia.

Del cuadro anterior, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 43**

*Resumen de resultados de la densidad relativa*

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	Densidad In-situ seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Mínima (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Relativa (%)
C-02	2,10	1,69	1,81	1,65	26,78
C-04	1,80	1,63	1,79	1,55	36,61
C-06	2,00	1,62	1,75	1,56	34,09
C-08	2,00	1,65	1,77	1,56	45,51
C-11	2,50	1,67	1,79	1,59	42,87
C-13	1,50	1,54	1,81	1,50	15,18
C-15	1,50	1,61	1,76	1,57	25,41
C-17	1,90	1,59	1,79	1,56	17,16

*Nota.* Elaboración Propia.

La tabla a continuación, correlaciona el grado de compacidad o densidad relativa (Dr) de los suelos granulares (arenas, limos arenosos, etc.) con base en el valor N (número de golpes) del SPT, es la clasificación clásica propuesta por Terzaghi y Peck.

**Tabla 44**

*Clasificación de Compacidad para suelos granulares*

CLASIFICACIÓN DE COMPACIDAD	Número de Golpes (N)	Densidad Relativa (Dr)
Muy Suelta	0-4	0-15
Suelta	4-10	15-35
Medianamente Compacta	10-30	35-65
Compacta	30-50	65-85
Muy Compacta	>50	85-100

*Nota.* Karl Terzaghi y Ralph B. Peck, 1948.

## **Consideraciones Específicas**

### *I. Compacidad en la Capa Superficial (Calicatas)*

El análisis técnico de compacidad en la capa superficial (calicatas) se basa en la Densidad Relativa (Dr) presentadas en la Tabla 43, obtenida de pruebas de laboratorio sobre muestras extraídas entre 1.50 m y 2.50 m de profundidad. Definiendo una capa de compacidad predominantemente suelta a media.

### *II. Compacidad en la Capa Profunda (SPT N Campo)*

Los resultados de los sondeos consignados en la Tabla 40 evidencian que, entre las profundidades de 3.00 m y 25.45 m, los suelos investigados presentan una condición de Compactación que varía entre Compacta y Muy Compacta.

1. Uniformidad: La consistencia de los valores de N a lo largo de los perfiles (3.00 m a 25.45 m) en todos los sondeos sugiere un depósito de suelo con una alta uniformidad de compacidad en profundidad y lateralmente.
2. Correlación con Clasificación Visual:
  - Las Gravillas Bien Graduadas (GW) y los Suelos Arenosos Puros (SP) presentan valores de N altos, lo cual es coherente con su naturaleza.
  - Es notable que los suelos clasificados como Limos Arenosos (SM) o Arenas Limosas (SP-SM) también mantienen valores de N altos (entre 46 y 55).

Se establecieron dos niveles de compacidad predominantes, caracterizados por rangos que oscilan entre media y compacta, conforme a las propiedades de los materiales identificados.

### c) Ensayo Químico de suelos

Para este ensayo se tomaron nueve (09) muestras representativas provenientes. A continuación, se presenta la tabla 45 resumiendo el contenido químico del suelo en las calicatas mencionadas:

**Tabla 45**

*Resumen del Ensayo químico de suelos*

CALICATA	PROFUNDIDAD	Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) p.p.m.	Cloruros (CL) p.p.m.	Sales Solubles Totales
C-AE02	2,10	1 398,00	1 240,00	-
C-AE04	1,80	1 026,00	1 026,00	-
C-AE06	2,00	982,00	982,00	-
C-AE08	2,00	862,00	862,00	-
C-AE09	1,50	2 534,00	7 482,00	-
C-AE11	2,50	2 016,00	7 017,00	-
C-AE13	1,50	187,00	822,00	-
C-AE15	1,50	401,00	954,00	-
C-AE17	1,90	325,00	905,00	-

*Nota.* Elaboración Propia.

Las cuales son evaluadas conforme a las normas E-060 de concreto armado y ACI 318-2005, a continuación, se presentan las Tablas 46 y 47.

**Tabla 46***Requisitos para concreto expuesto a soluciones de sulfatos*

PRESENCIA EN EL SUELO	p.p.m.	GRADO DE ALTERACIÓN	TIPO DE CEMENTO	OBSERVACIONES
	0 - 150	Leve	-	
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	150 – 1 500	Moderado	MS, IP	Ocasiona un ataque químico al concreto
	1 500 - 10 000	Severo	V	de la cimentación
	>10000	Muy Severo	V +puzolana	

*Nota.* Norma Técnica de Edificaciones E-60 de Concreto Armado.

**Tabla 47***Límites permisibles de cloruros y sales solubles totales*

PRESENCIA EN EL SUELO	p.p.m.	GRADO DE ALTERACIÓN	TIPO DE CEMENTO	OBSERVACIONES
Cloruros (CL)	>6 000	Perjudicial	-	Corrosión en armaduras o elementos metálicos
Sales Solubles Totales	>15 000	Perjudicial	-	Pérdida de Resistencia Mecánica (Lixiviación)

*Nota.* Norma Técnica de Edificaciones E-60 de Concreto Armado.

De la tabla 45 se concluye que los agentes químicos existentes (cloruros, sulfatos y sales solubles) en el suelo estudiado tienen un grado de agresividad moderado, ya que la cantidad en p.p.m que presenta está muy por debajo del rango que resultaría perjudicial para la cimentación.

Para el caso de las muestras de C-AE25 y C-AE27, sus resultados para sulfatos estan en el grado de alteración Severo y para cloruros sus resultados son muy elevadas, llegando al grado de alteración perjudicial.

#### **4.6.3. Ripabilidad del terreno**

Del ítem 4.5.1.1. de la tabla 38 se interpreta el resultado obtenido mediante el ensayo geofísico de MASW y Refracción Sísmica donde, el primer estrato presenta velocidades de ondas sísmicas ( $V_p$ ) menores a 980 m/s. El segundo estrato varía entre 850 y 1550 m/s, mientras que el tercer estrato muestra velocidades de ondas  $V_p$  superiores a 1450 m/s.

**Tabla 48**

*Datos de ripabilidad obtenidos del terreno*

Tipo de Material	Grado de Meteorización	$V_p$ (m/s)
M. Ripado fácil	IV: Suelo Residual	$V_p > 980$ m/s
M. Ripado normal	III: Moderadamente Meteorizada	$V_p = 850-1550$ m/s
M. Ripado duro	II: Ligeramente Meteorizada	$V_p = 1450-1850$ m/s

*Nota.* Elaboración Propia.

#### **4.7. Modelo geológico geotécnico**

El modelo geológico geotécnico se ha construido a partir de correlaciones entre el mapeo geológico local y las exploraciones geotécnicas ejecutadas, en tramos donde no se cuenta con información se complementaron con la inspección y evaluación de campo para completar el modelo y posterior a ello determinar los respectivos parámetros de resistencia mecánica.

#### 4.7.1. Unidades geotécnicas de la zona de estudio

Se ha obtenido mediante correlaciones con el cartografiado geológico local, calicatas, ensayos de SPT y también de ensayos geofísicos como SEV's, MASW y Refracción Sísmica, para construir las secciones geotécnicas del subsuelo.

Se tomaron en cuenta las inspecciones realizadas en campo dentro del polígono de estudio, considerando además el análisis presentado en la Tabla 44, correspondiente a la clasificación del grado de compactación de la capa superficial (evaluada mediante calicatas) y la capa profunda (según los valores de SPT N obtenidos en campo).

A continuación, en la Tabla 49 y conforme se puede ver Anexo A: Mapas de número de lámina A-10a y A-10b, se presentan las unidades geotécnicas encontradas a lo largo de la zona de estudio, sobre las cuales se apoyará los aerogeneradores y la Subestación eléctrica.

**Tabla 49**

*Resumen de las Unidades Geotécnicas*

UNIDAD GEOTÉCNICA	SUCS	DESCRIPCIÓN	GRADO DE COMPACTACIÓN
UG-01	SP-SM	Arena fina beige con limos, con poco de gravilla subangulosa	Suelta a Media
UG-02	SP-SM	Arena mal gradada con limos, marrón claro, con algo gravilla y sin presencia de agua.	Media a Compacta
UG-03	GP-GM	Grava mal gradada con arenas y limos, gris claro, sin presencia de agua	Media a Compacta

*Nota.* Elaboración Propia.

#### **4.7.2. Obtención de parámetros geotécnicos**

Consistió en analizar e interpretar los resultados de los ensayos especiales de laboratorio de mecánica de suelos, SPT y MASW, con la finalidad de determinar los parámetros de resistencia para cada unidad geotécnica definida en el ítem 4.6.1.

A continuación, se presenta el proceso de desarrollo para cada una de las investigaciones geotécnicas citadas anteriormente:

##### **Interpretación de SPT**

En este ítem se presenta la interpretación de los ensayos SPT siguiendo la metodología de la norma técnica E,050 de suelos y cimentaciones, con el objetivo de determinar la compacidad y los parámetros de resistencia para la zona de los bofedales, el desarrollo se presenta a continuación:

Los factores de corrección para obtener el número de golpes  $(N1)_{60}$  está basada en la siguiente relación:

$$N_{1(60)} = N * C_N * C_E * C_B * C_R * C_S$$

Donde N es el valor del número de golpes medido en campo en los últimos 30 cm. Los factores de corrección se describen en la siguiente tabla:

**Tabla 50***Factores de corrección para obtener el número de golpes NI(60)*

	FACTOR	DESCRIPCIÓN
CN	Factor de corrección por confinamiento.	$C_N = \left(\frac{100kPa}{\sigma'_{v0}}\right)^{0,5}$
CE	Corrección por energía del martillo	La corrección por energía estándar se realizó con 60 %
CB	Factor de corrección por diámetro de perforación.	Método simple, MS = 1,00
CR	Factor de corrección por la longitud de la varilla.	LB < 3 m: CR = 0,75
		3 m < LB < 4 m: CR = 0,75
		4 m < LB < 6 m: CR = 0,8
		6 m < LB < 10 m: CR = 0,95
		LB: Longitud de la varilla
CS	Factor de corrección por método de muestreo.	Con tubo muestreador: CS=1,0
		Sin tubo muestreador: CS=1.2

*Nota.* Elaboración Propia.

En la Tabla 51 se muestra la propuesta de correlación por tres (03) autores; Kishida (1969), Japan National Railway (1999) y Japan Road Bureau (1986), se optaron por ellos debido a que la variación entre ellas es menor que otras que no se han tomado en cuenta en este informe.

**Tabla 51**

*Correlaciones corregidas a la energía de 60 % para el cálculo del ángulo de fricción*

AUTOR	Correlación de N1(60)
Kishida (1969)	$\phi' = 15 + (16.67 * N1(60))^{0,5}$
Japan Road Bureau (1986)	$\phi' = 15 + (12.5 * N1(60))^{0,5}$
Japan National Railway (1999)	$\phi' = 27 + (0,25 * N1(60))$

*Nota.* Elaboración Propia.

A continuación, en la Tabla 52 se presentan los resultados de ángulos de fricción que fueron obtenidas mediante las correlaciones de Kishida (1969), Japan National Railway (1999) y Japan Road Bureau (1986).

**Tabla 52***Resumen de resultados de ángulos de fricción mediante SPT*

CÓDIGO	PROFUNDIDAD (m)		N campo	Clasificación Visual	$NI_{(60)}$	CÁLCULO DE ÁNGULO DE FRICCIÓN			
	De	a				Kishida	JRB	JNR	$\phi'_{prom}$ (°)
SPT 01	3,00	3.45	51	SP - SM	48	43.2	39.4	38.9	39.2
	5,00	5.45	49	SP - SM	41	41.3	37.8	37.4	37.6
	7,00	7.45	50	SP - SM	43	41.9	38.3	37.8	38,0
	10,00	10,45	56	SP - SM	42	41.5	38,0	37.6	37.8
	15,00	15.45	53	SP - SM	31	37.8	34.7	34.8	34.7
	20,00	20,45	48	SP - SM	23	34.7	32,0	32.8	32.4
	25,00	25.45	55	SP - SM	23	34.4	31.8	32.6	32.2
SPT 03	3,00	3.45	42	GW	37	39.7	36.4	36.1	36.3
	5,00	5.45	45	GW	35	39,0	35.8	35.6	35.7
	7,00	7.45	51	GW	39	40,6	37.2	36.8	37,0
	10,00	10,45	50	GW	33	38.4	35.3	35.2	35.3
	15,00	15.45	48	SP	25	35.5	32.8	33.3	33,0
	20,00	20,45	49	SW	21	33.8	31.3	32.3	31.8
SPT 05	3,00	3.45	45	GW	41	42.1	38.5	38,0	38.3
	5,00	5.45	47	GW	37	39.4	36.2	36,0	36.1
	7,00	7.45	50	GW	38	40,3	36.9	36.6	36.8
	10,00	10,45	51	SM	35	39.2	35.9	35.8	35.9
	15,00	15.45	48	SM	26	36,0	33.2	33.6	33.4
	20,00	20,45	52	SM	24	35,0	32.3	33,0	32.6

	25,00	25.45	49	SM	19	32.9	30,5	31.8	31.2
	3,00	3.45	47	GW	41	41.1	37.6	37.2	37.4
	5,00	5.45	52	GW	40	40,7	37.3	36.9	37.1
	7,00	7.45	50	GW	38	40,3	36.9	36.6	36.7
SPT 07	10,00	10,45	45	SM	31	37.7	34.7	34.7	34.7
	15,00	15.45	42	SM	23	34.6	32,0	32.8	32.4
	20,00	20,45	46	SM	21	33.8	31.3	32.3	31.8
	25,00	25.45	48	SM	19	32.8	30,4	31.7	31.1
	3,00	3.45	46	SP-SM	46	43.2	39.4	38.9	39.1
	5,00	5.45	48	SP-SM	43	40,7	37.3	36.9	37.1
SPT 10	7,00	7.45	50	SP-SM	43	41.8	38.2	37.8	38,0
	10,00	10,45	52	SP-SM	39	40,5	37.1	36.8	37,0
	3,00	3.45	48	GW	42	41.4	37.9	37.5	37.7
	5,00	5.45	49	GW	38	40,0	36.7	36.4	36.5
	7,00	7.45	50	SP-SM	40	40,7	37.3	36.9	37.1
SPT 12	10,00	10,45	52	SP	37	39.7	36.4	36.2	36.3
	15,00	15.45	50	SP	28	36.5	33.7	34,0	33.8
	20,00	20,45	46	SP	21	33.8	31.3	32.3	31.8
	25,00	25.45	48	SP	19	32.8	30,4	31.7	31.1
	3,00	3.45	50	SP	47	42.9	39.1	38.7	38.9
	5,00	5.45	49	SP	41	41.2	37.7	37.3	37.5
SPT EST	7,00	7.45	51	SP	44	42.1	38.4	38,0	38.2
	10,00	10,45	52	SP	39	40,5	37.1	36.8	36.9
	15,00	15.45	50	SP	29	37.1	34.1	34.3	34.2

	20,00	20,45	47	SP	22	34.4	31.8	32.6	32.2
	25,00	25.45	49	SP	20	33.2	30,8	32,0	31.4
	3,00	3.45	43	GW	37	40,0	36.6	36.4	36.5
	5,00	5.45	46	GW	35	39.2	36,0	35.8	35.9
	7,00	7.45	49	GW	38	40,2	36.8	36.5	36.6
SPT 14	10,00	10,45	52	SP	36	39.4	36.1	35.9	36,0
	15,00	15.45	56	SP	31	37.6	34.5	34.6	34.6
	20,00	20,45	53	SP	24	35,0	32.3	33,0	32.6
	25,00	25.45	48	SP	19	32.6	30,2	31.6	30,9
	3,00	3.45	46	SP	45	42.9	39.1	38.7	38.9
	5,00	5.45	48	SP	40	40,9	37.4	37.1	37.2
	7,00	7.45	46	SP	40	40,7	37.3	36.9	37.1
SPT 16	10,00	10,45	51	SP	38	40,3	36.9	36.6	36.7
	15,00	15.45	49	SP	29	36.9	33.9	34.2	34,0
	20,00	20,45	55	SP	26	35.9	33.1	33.6	33.4
	25,00	25.45	48	SP	19	33,0	30,6	31.9	31.2

*Nota.* Elaboración Propia.

De la Tabla 52, se observa valores de  $N_{1(60)}$  entre 48 a 36 registrados a una profundidad de 3,0 m a 5,0 m, dichos valores corresponden a un material medio, la cual será necesario retirar para apoyar las estructuras sobre el suelo de compacidad media a compacta, denominado unidad geotécnica EG-02 y EG-03 en la presente investigación.

Para los valores de ángulo de fricción efectiva, solamente se utilizaron las correlaciones Japan National Railway (1999) y Japan Road Bureau (1986), debido a la gran diferencia con la correlación de Kishida (1969), obteniendo valores que varían entre  $30^\circ$  a  $36^\circ$  hasta la profundidad de 3,0 m y valores entre  $32^\circ$  a  $38^\circ$  en la profundidad de 5,0 metros.

### **Resultado de Ensayos Especiales**

Estos resultados se obtuvieron a partir de ensayos de corte directo realizado en el laboratorio, la ubicación se realizó conforme a la distribución de los tipos de material identificado en campo. Los ensayos de corte directo se realizaron en muestras disturbadas, cuyos resultados se muestran a continuación:

**Tabla 53***Resumen de resultados de ángulos de fricción mediante corte directo*

CÓDIGO	PROFUNDIDAD (m)	SUCS	TIPO DE MATERIAL	P.E. (kN/m <sup>3</sup> )	PARÁMETROS DE RESISTENCIA	
					C (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ø (°)
C-02	2,10	SP-SM	Arena pobremente gradada con limo	14,2	0,03	34,00
C-04	1,80	SP-SM	Arena pobremente gradada con limo	14,0	0,02	36,50
C-06	2,00	SP-SM	Arena pobremente gradada con limo	14,1	0,05	35,10
C-08	2,00	SP-SM	Arena pobremente gradada con limo	14,5	0,03	36,80
C-09	1,50	GP-GM	Grava mal gradada con limo con arena	17,2	0,01	41,20
C-11	2,50	SP-SM	Arena pobremente gradada con limo con grava	15,3	0,02	36,40
C-13	1,50	SP-SM	Arena pobremente gradada con limo con grava	16,0	0,04	31,10
C-15	1,50	SP-SM	Arena pobremente gradada con limo con grava	15,1	0,03	32,82
C-17	1,90	SP-SM	Arena pobremente gradada con limo	14,1	0,01	32,20

*Nota.* Elaboración Propia.

En la Tabla 53, se observa (09) nueve resultados donde la cohesión varía entre 0,01 Kg/cm<sup>2</sup> a 0,05 Kg/cm<sup>2</sup> y el ángulo de fricción entre 31,10° a 36,50°, son característico de suelos arena limosos de compacidad suelta a media. Con excepción de la calicata (C-AE 25), la cual se encuentra mayormente conformada por gravas y bolones en su composición mayoritaria, sin embargo, se realizó el ensayo de corte directo para la matriz fina.

Adicionalmente se realizaron ensayos de densidades mínimas y máximas para determinar la densidad relativa en el fondo de las calicatas, conociendo el valor de la densidad relativa se puede encontrar también los valores del ángulo de fricción interna efectiva ( $\phi'$ ) de los materiales granulares, para realizar este cálculo utilizaremos la ecuación de Terzaghi y Meyerhof (1957), dicha expresión se presenta a continuación:

- Para suelos granulares con que pasa el tamiz N° 200 mayor al 5 %.

$$\phi = 25 + (0,15 * Dr)$$

- Para suelos granulares con % que pasa el tamiz N° 200 menor al 5 %

$$\phi = 30 + (0,15 * Dr)$$

A continuación, se puede ver el resultado de los ángulos de fricción interna calculados mediante la expresión propuesta por Terzaghi y Meyerhof (1957).

**Tabla 54***Resumen de resultados de ángulos de fricción por densidad relativa*

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	Densidad In-situ seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Mínima (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Relativa	Angulo de Fricción Efectiva
C-02	2,10	1,69	1,81	1,65	26,78	33,50
C-04	1,80	1,63	1,79	1,55	36,61	35,49
C-06	2,00	1,62	1,75	1,56	34,09	35,11
C-08	2,00	1,65	1,77	1,56	45,51	36,83
C-11	2,50	1,67	1,79	1,59	42,87	36,43
C-13	1,50	1,54	1,81	1,50	10,21	32,27
C-15	1,50	1,61	1,76	1,57	25,41	33,45
C-17	1,90	1,59	1,79	1,56	17,16	32,57

*Nota.* Elaboración Propia.

En la Tabla 54 se observa que los ángulos de fricción efectiva varían entre 30,53° a 36,45°, las cuales fueron estimados con la ecuación de Terzaghi y Meyerhof (1957).

### **Resultado de parámetros de Elasticidad Dinámica.**

Los parámetros de elasticidad se han obtenido a partir del ensayo de MASW y Refracción Sísmica, los cuales se determinaron por unidades geotécnicas determinados en campo a partir del cartografiado geológico e investigaciones geotécnicas. Los cuales se presentan en la Tabla 55 a continuación:

**Tabla 55***Resumen de resultados de parámetros de elasticidad dinámica*

CÓDIGO	ESPESOR (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Descripción	PARAMETROS DE ELASTICIDAD			
					POISSON v	YOUNG (E) MPa	RIGIDEZ (G) MPa	BULK (B) MPa
P-01	9,0	780 - 1350	420 - 750	Suelo muy Denso	0,28	1406,08	547,56	1084,68
	27,0	1350 - 1900	> 820	Roca	0,26	3709,59	1471,68	2579,64
	1,0	260 - 340	< 160	Suelo Blando	0,22	82,27	33,75	48,75
P-02	4,0	340 - 890	210 - 320	Suelo Rígido	0,39	303,68	109,55	443,96
	20,0	890 - 1720	410 - 760	Suelo muy Denso	0,33	1460,16	547,6	1460,16
	10,0	1720 - 2100	>770	Roca	0,38	2855,90	1033,08	4041,64
P-03	6,0	410 - 820	220 - 370	Suelo Rígido	0,26	481,76	191,10	335,23
	30,0	820 - 1300	> 480	Suelo muy Denso	0,26	1456,44	576,00	1029,76
	1,0	230 - 310	< 120	Suelo Blando	0,33	52,90	19,84	52,90
P-04	20,0	310 - 910	210 - 490	Suelo Rígido	0,37	323,83	117,98	423,18
	15,0	910 - 1450	> 510	Suelo muy Denso	0,39	1152,88	416,16	1672,96
	1,1	250 - 320	< 175	Suelo Blando	0,13	89,85	39,61	40,94
P-05	6,0	320 - 850	180 - 340	Suelo Rígido	0,38	290,41	105,46	393,26
	29,0	850 - 1180	> 420	Suelo muy Denso	0,26	1337,00	529,00	943,03
	4,0	420 - 830	210 - 320	Suelo Rígido	0,39	304,64	109,55	463,31
P-06	32,0	830 - 1250	> 360	Suelo muy Denso	0,36	1024,48	376,36	1228,75

P-07	10,0	375 - 820	180 - 360	Suelo Rígido	0,37	311,99	113,72	405,30
	26,0	820 - 1490	> 370	Suelo muy Denso	0,39	1068,16	384,16	1622,23
P-08	9,0	400 - 790	230 - 350	Suelo Rígido	0,34	352,71	131,20	377,35
	17,0	790 - 1350	> 370	Suelo muy Denso	0,36	1069,37	392,04	1309,12
P-09	7,0	850 - 1320	410 - 750	Suelo muy Denso	0,30	1399,38	538,24	1165,91
	29,0	1320 - 2000	> 780	Roca	0,25	3958,90	1585,15	2626,10
P-10	4,0	360 - 840	200 - 320	Suelo Rígido	0,38	291,99	105,46	420,99
	16,0	840 - 1430	390 - 750	Suelo muy Denso	0,33	1384,19	519,84	1368,04
	16,0	1430 - 1950	> 770	Roca	0,35	3016,70	1114,60	3426,35
	1,0	410 - 800	< 360	Suelo Rígido	0,29	437,70	169,88	344,49
P-11	12,0	800 - 1360	450 - 750	Suelo muy Denso	0,28	1470,86	576,00	1098,24
	21,0	1360 - 2050	> 800	Roca	0,22	4398,52	1807,08	2590,65
	4,0	380 - 860	280 - 360	Suelo Rígido	0,32	421,23	159,74	386,67
P-12	20,0	860 - 1970	380 - 750	Suelo muy Denso	0,34	1364,02	510,76	1380,15
	12,0	1970 - 2870	> 850	Roca	0,27	3669,23	1440,03	2706,08
	4,0	360 - 810	180 - 360	Suelo Rígido	0,36	310,39	113,72	382,24
P-13	17,0	810 - 1200	410 - 760	Suelo muy Denso	0,27	1296,25	510,76	935,03
	15,0	1200 - 1860	> 800	Roca	0,27	3454,03	1362,41	2477,26
P-14	4,0	370 - 900	180 - 320	Suelo Rígido	0,42	244,78	86,15	514,16
	16,0	900 - 1350	380 - 760	Suelo Denso	0,34	1390,22	519,84	1422,88

	16,0	1350 - 1620	> 780	Suelo muy Denso	0,36	3026,47	1114,60	3543,31
	7,0	400 - 910	< 330	Suelo Rígido	0,41	286,20	101,44	534,03
P-15	16,0	910 - 1650	370 - 710	Suelo Denso	0,39	1298,66	466,56	1999,36
	13,0	1650 - 1980	> 770	Suelo muy Denso	0,38	2969,45	1073,45	4234,80
	5,0	360 - 860	200 - 340	Suelo Rígido	0,38	313,46	113,72	428,84
P-16	10,0	860 - 1480	380 - 750	Suelo Denso	0,35	1376,95	510,76	1509,23
	21,0	1480 - 2000	> 881	Suelo muy Denso	0,29	4013,74	1560,48	3126,83
	10,0	380 - 820	190 - 360	Suelo Rígido	0,37	322,55	117,98	404,30
P-17	26,0	820 - 1450	> 370	Suelo muy Denso	0,38	1215,30	441,00	1658,76
	3,0	390 - 830	< 340	Suelo Rígido	0,30	442,50	169,88	373,15
P-Sub Estación	15,0	830 - 1350	380 - 760	Denso	0,32	1368,70	519,84	1242,88
	18,0	1350 - 1700	> 780	Suelo muy Denso	0,36	3033,49	1114,60	3631,94

Nota. Elaboración Propia.

Donde:  $\nu$ : Relación de poisson; E: Módulo de elasticidad; G: Módulo de corte y B: Bulk

De la Tabla 55, se puede ver el resumen de los valores de módulos dinámicos por estrato hasta los 36,0 m de profundidad para los 18 ensayos realizados en el polígono de estudio.

Para los cálculos y análisis se usarán los suelos predominantes que no superen los 5 metros de profundidad, los cuales presenta módulos de Young (E) que varían entre 46 MPa a 320 MPa entre suelos rígidos, densos y suelos de arena y grava (rocas fraccionadas), además el emplazamiento del Parque Eólico y su estructura anexa serán de cimentación superficial.

#### ***4.7.3. Parámetros geotécnicos***

Se ha obtenido mediante los resultados de los ensayos especiales de laboratorio, ensayos de SPT, Sondeo Eléctrico Vertical, SEV's, MASW y Refracción Sísmica, las cuales se analizaron y correlacionaron para obtener los parámetros de resistencia y de elasticidad por cada unidad geotécnica.

**Tabla 56***Resumen de parámetros resistencia y elasticidad de suelos*

UNIDAD GEOTÉCNICA	SUCS	DESCRIPCIÓN	PESO UNITARIO (kN/m <sup>3</sup> )	Parámetros de Resistencia		Parámetros de Elasticidad		Ángulo de Arrancamiento (β)
				C (kPa)	∅ (°)	v	E (ton/m <sup>2</sup> )	
UG-01	SP-SM	Arena fina suelta beige con limos, con poco de gravilla subangulosa.	14,8	2,7	25	0,27	2 660	17,5
UG-02	SP-SM	Arena mal gradada con limos, marrón claro, con algo gravilla y sin presencia de agua.	16,2	2,9	28	0,33	5 700	19,6
UG-03	GP-GM	Grava mal gradada con arenas y limos, gris claro, sin presencia de agua.	17	2,3	30	0,31	12 305	20,5

*Nota.* Elaboración Propia.

#### **4.7.4. Obtención del Modelo Geotécnico**

A partir de la correlación entre el cartografiado geológico local, las calicatas, los ensayos SPT y los estudios geofísicos —incluyendo SEV, MASW y refracción sísmica— se han identificado 3 unidades geotécnicas, las cuales se describen a continuación:

##### **Unidad Geotécnica UG-01**

Constituida por material de tipo arena limosa (SP-SM), color beige, de compacidad suelta a media y sin presencia de agua, con parámetros físicos y de resistencia: Peso unitario (P.U) de 14,8 kN/m<sup>3</sup>, Cohesión (C) de 2,7 kPa y ángulo de fricción de 25°.

Para su evaluación geofísica, mediante resultados obtenidos del ensayo SEV's, corresponde a depósitos eólicos con profundidad entre 0,5 m a 1,2 m de baja resistividad que van de 21,5  $\Omega$ -m a 545  $\Omega$ -m., y de parámetros de elasticidad obtenidos mediante MASW, con módulo de elasticidad 2 660 ton/m<sup>2</sup> y relación de poisson de 0,27.

Esta unidad UG-01 predomina bastante en la zona extendiéndose por todo el polígono de estudio, con una profundidad máxima de 2,1 metros en algunas zonas.

##### **Unidad Geotécnica UG-02**

Constituida por material tipo arena mal gradada con limos (SP-SM), color marrón claro, compacidad media a compacta y sin presencia de agua, con parámetros físicos y de resistencia: Peso unitario (P.U) de 16,2 kN/m<sup>3</sup>, Cohesión (C) de 2,9 kPa y ángulo de fricción de 28°.

Para su evaluación geofísica, mediante resultados obtenidos del ensayo SEVs, corresponde a arenas limosas cementadas con profundidad iniciando desde 1,0 m hasta 3,5 m de media resistividad que van de 408,5  $\Omega$ -m a 3247,4  $\Omega$ -m., y de parámetros de elasticidad obtenidos mediante MASW, con módulo de elasticidad 5 700 ton/m<sup>2</sup> y relación de poisson de 0,33.

Esta unidad UG-02 se encuentra en las zonas elevadas del polígono de estudio y por debajo de la Unidad Geotécnica UG-01.

### **Unidad Geotécnica UG-03**

Constituida por material tipo grava mal gradada con matriz de arena limosa (GP-GM), color gri claro, de compactidad media a compacta y sin presencia de agua, con parámetros físicos y de resistencia: Peso unitario (P.U) de 17 kN/m<sup>3</sup>, Cohesión (C) de 2,3 kPa y ángulo de fricción de 30°.

Para su evaluación geofísica, mediante resultados obtenidos del ensayo SEV's, corresponde a arenas con gravas cementadas con profundidad iniciando desde 2,4 m hasta 8,5 m de media resistividad que van de 420,5  $\Omega$ -m a 5365  $\Omega$ -m., y de parámetros de elasticidad obtenidos mediante MASW, con módulo de elasticidad 12 305 ton/m<sup>2</sup> y relación de poisson de 0,31.

Esta unidad UG-03 son asociados a gravas y arenas producto de depósitos coluviales, conforme se puede ver Anexo A: Mapas de número de lámina A-11

## 4.8. Análisis de capacidad de carga y asentamiento

La determinación de la capacidad portante y los asentamientos se efectuó según las unidades geotécnicas identificadas a lo largo del canal y para las estructuras anexas proyectadas. Para el cálculo de la capacidad portante de los suelos, se aplicará el criterio de Meyerhof, mientras que para los asentamientos se utilizará el método elástico.

### 4.8.1. Capacidad admisible por corte

Se procedió a calcular la capacidad portante admisible de carga en suelo utilizando el criterio de Meyerhof (1963), según el cual la capacidad de carga última es expresada por la siguiente ecuación:

$$q_{ult} = C(N_c S_c d_c i_c) + q(N_q S_q d_q i_q) + 0,5\gamma B(N_y S_y d_y i_y)$$

Siendo la capacidad admisible:  $q_{adm} = \frac{q_{ult}}{FS}$

#### Donde:

C = Cohesión

q = Esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación

Df = Profundidad de la cimentación

$\gamma$  = Peso específico del suelo

B = Ancho de la zapata

$N_c N_q N_y$  = Factores de capacidad de carga

$S_c S_q S_y$  = Factores de capacidad de carga

$d_c d_q d_y$  = Factores de capacidad de carga

$i_c i_q i_y$  = Factores de capacidad de carga

- **Factores de Capacidad de Carga**

$$N_q = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) * e^{\pi * \tan \phi} ; N_c = (N_q - 1) * \cot \phi ; N_y = 2(N_q + 1) * \tan \phi$$

- **Factores de Forma**

$$S_c = 1 + \frac{B}{L} * \frac{N_q}{N_c} ; S_q = 1 + \frac{B}{L} * \tan \phi ; S_y = 1 - 0,4 * \frac{B}{L}$$

- **Factores de Profundidad**

$$\text{Condición (a): } \frac{D_f}{B} \leq 1$$

$$d_c = 1 + 0,4 * \frac{D_f}{B} ; d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \text{senn} \phi)^2 \frac{D_f}{B} ; d_y = 1$$

$$\text{Condición (b): } \frac{D_f}{B} > 1$$

$$d_c = 1 + 0,4 * \tan^{-1} \left( \frac{D_f}{B} \right) ; d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \text{sen} \phi)^2 \tan^{-1} \left( \frac{D_f}{B} \right) ; d_y = 1$$

- **Factores de Inclinación**

$$i_q = i_c = \left( 1 - \frac{\beta^\circ}{90^\circ} \right)^2 ; i_y = \left( 1 - \frac{\beta^\circ}{\phi^\circ} \right)^2$$

Donde  $\beta$  = inclinación de la carga sobre la cimentación con respecto a la vertical.

#### 4.8.2. Capacidad por asentamiento

Para efectos del cálculo de una aproximación al asentamiento inmediato, bajo condiciones límite de capacidad portante de un suelo relativamente homogéneo, recurrimos a la expresión matemática sugerida según la Teoría de la Elasticidad (Lambe y Whitman, 1969), está dada por la siguiente relación:

$$S_i = \frac{qB(1 - u^2)}{E_s} * I_f$$

Donde:

$S_i$  = Asentamiento inmediato en cm

$u$  = Relación de Poisson

$I_f$  = Factor de forma (cm/m) que depende de la forma y rigidez de la cimentación

$E_s$  = Módulo de elasticidad (ton/m<sup>2</sup>)

$q$  = Presión de trabajo (ton/m<sup>2</sup>)

$B$  = Ancho de la cimentación (m)

Para el análisis de la capacidad admisible por asentamiento, se fijaron asentamientos permisibles no mayores de 1” (2,4 cm) para cimentaciones tipo cimiento corrido.

#### ***4.8.3. Resultado de capacidad admisible por corte y asentamiento***

Los cálculos de capacidad admisible y asentamiento se realizaron con los datos obtenidos de las unidades geotécnicas que fueron identificados dentro del polígono de estudio, conforme se muestra en las Tabla 56.

- **Capacidad Admisible por Corte y Asentamiento**

A continuación, se muestran los resultados de la capacidad de carga para cimentaciones circular con profundidades de desplante de 2,50 m y 3,00 m, considerando el ancho (diámetro) de cimentación de 15 metros, establecido para el modelo de aerogenerador de 3,5 KW.

**Tabla 57***Resumen de resultados de capacidad admisible por corte y asentamiento*

UNIDAD GEOTÉCNICA	SUCS	Profundidad Df m	Dimensiones B (diámetro) m	Capacidad por corte		Presión por carga
				Q ult.	Q adm.	Asentamiento cm
				kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	
UG-01	SP-	2,50	15,00	5,1	1,71	4,52
	SM	3,00		5,6	1,87	4,60
UG-02	SP-	2,50	15,00	7,1	2,37	2,01
	SM	3,00		7,7	2,58	2,06
UG-03	GP-	2,50	15,00	8,8	2,92	0,96
	GM	3,00		9,5	3,17	0,97

*Nota.* Elaboración Propia.

De la Tabla 57, se observa el resumen de los valores de capacidad admisible por corte ( $Q_{adm}$ ) en función de las Unidades Geotécnicas definidas, las profundidades de desplante (Df) para su evaluación es 2,50 m y 3,00 m con ancho de zapata 15,00 m, obteniendo los siguientes valores:

Para la UG-01 de material arena suelta, la capacidad admisible por corte varía por profundidad de 1,71 kg/cm<sup>2</sup> y 1,87 kg/cm<sup>2</sup>. Para la unidad geotécnica UG-02 de material arena densa, su capacidad admisible por corte varía por profundidad de 2,37 kg/cm<sup>2</sup> y 2,58 kg/cm<sup>2</sup> y, por otro lado, para la UG-03 de material arena con grava, se obtienen valores de capacidad admisible por corte varía por profundidad de 2,92 Kg/cm<sup>2</sup> y 3,2 kg/cm<sup>2</sup>.

Para la capacidad admisible por Asentamiento, se evaluaron las Unidades Geotécnicas definidas considerando los resultados geofísicos como la relación de Poisson y el Módulo de Elasticidad, además se definió una presión de carga ( $Q_{real}$ ) de la Estructura hacia el terreno, dando Asentamientos que varían de entre 0,91 cm

y 2,1 cm lo cual no supera el Asentamiento Permisible de 2,50 cm. en algunas Unidades Geotécnicas definidas.

De los resultados obtenidos se presenta la Tabla 58, donde se muestran los criterios técnicos de referencia para la valoración y diferenciación de las unidades geotécnicas.

**Tabla 58**

*Parámetros normativos utilizados para la evaluación de las unidades geotécnicas.*

UNIDAD GEOTÉCNICA	V <sub>s30</sub> (m/s) (Norma E.030)	Capacidad Portante (q <sub>adm</sub> ) (Norma E0.50) - (EMS)	Asentamiento Máx. Esperado (Norma E0.50)	Clasificación de Aptitud	Justificación (Óptima, Aceptable, Restringida)
UG-1	<180	<180 kPa	>25 mm	Restringida	Baja rigidez, alta deformabilidad. Requiere cimentaciones profundas o mejora del suelo.
UG-2	180–350	180–270 kPa	10–25 mm	Aceptable	Rigidez media. Requiere cimentaciones superficiales convencionales.
UG-3	>350	>270 kPa	<10 mm	Óptima	Alta rigidez y resistencia, bajo potencial de asentamiento.

*Nota.* Elaboración Propia.

Los datos presentados comparan tres unidades geotécnicas basándose en sus características de suelo, capacidad portante (por corte y admisible), y potencial de asentamiento, contrastando estos resultados con parámetros normativos.

### ***I. Clasificación del Suelo (SUCS y Aptitud)***

La clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y la Clasificación de Aptitud indican lo siguiente:

- **UG-01:** Corresponde a suelos de clasificación SP-SM (Arena mal graduada con limo) y tiene una Aptitud Restringida. Esto se debe a su baja rigidez ( $V_{s30} < 180$  m/s) y alto potencial de asentamiento.
- **UG-02:** Corresponde a suelos SP-SM (Arena mal graduada con limo) y se clasifica como Aceptable. Muestra una rigidez media ( $V_{s30}$  180–350 m/s) y un asentamiento moderado.
- **UG-03:** Corresponde a suelos GP-GM (Grava bien graduada con limo) y es Óptima. Posee alta rigidez ( $V_{s30} \geq 350$  m/s) y un bajo potencial de deformación.

### ***II. Capacidad Portante y Resistencia por Corte***

Los datos de capacidad portante varían significativamente entre las unidades, lo que está directamente relacionado con su clasificación y aptitud.

- **Capacidad Portante Última (Qult):** Aumenta progresivamente desde 5.1 kg/cm<sup>2</sup> (UG-01) hasta 9.5 kg/cm<sup>2</sup> (UG-03), lo que indica un aumento en la resistencia al corte del suelo de la UG-01 a la UG-03.
- **Capacidad Admisible (Qadm):** En términos de presión admisible, todas las unidades geotécnicas, en sus condiciones menos favorables ( $D_f = 3.00$  m), parecen cumplir o superar ligeramente los límites inferiores de capacidad portante ( $q_{adm}$ ) según la Norma E.050 establecida en la tabla.

Sin embargo, la UG-01 ( $1.87 \text{ kg/cm}^2 \approx 183 \text{ kPa}$ ) se encuentra en el límite de la clasificación "Restringida" ( $<180 \text{ kPa}$ ), lo que concuerda con su requerimiento de cimentaciones profundas o mejora de suelo.

### ***III. Asentamiento***

El criterio de asentamiento es el factor más crítico que diferencia la aptitud de las unidades:

- **UG-01 (Restringida):** Muestra los mayores asentamientos (4.52–4.60 cm o 45.2–46.0 mm). Estos valores son significativamente mayores al Asentamiento Máximo Esperado normativo de  $\geq 25 \text{ mm}$ , justificando la clasificación de Baja Rigidez y la restricción.
- **UG-02 (Aceptable):** Presenta asentamientos intermedios (2.01–2.06 cm o 20.1–20.6 mm). Estos caen dentro del rango normativo de 10–25 mm, confirmando su aptitud para cimentaciones superficiales convencionales.
- **UG-03 (Óptima):** Muestra los menores asentamientos (0.96–0.97 cm o 9.6–9.7 mm). Estos valores son menores al Asentamiento Máximo Esperado normativo de  $<10 \text{ mm}$ , lo que corrobora su clasificación de Alta Rigidez y Óptima aptitud.

#### 4.8.4. *Análisis de cargas transmitidas a la cimentación*

La cimentación superficial se distingue por su amplia extensión en planta, diseñada para transferir tanto las cargas recibidas como su propio peso al suelo. Su forma en planta es siempre circular o poligonal como se muestra en la Figura 30 y el material más comúnmente utilizado es el hormigón armado.

#### **Figura 30**

*Geometrías utilizadas para cimentación de aerogeneradores*



*Nota.* En la figura se puede observar las geometrías más representativas para la cimentación de Aerogeneradores, a) Geometría circular, b) Geometría octogonal.

Por último, añadir también que este tipo de cimentación es adecuada para suelos rígidos que ofrecen pequeños asentamientos, y que se utilice en terrenos con elevado ángulo de rozamiento interno y no en suelos arcillosos, orgánicos o con bajos módulos de elasticidad.

Tomando como base el estudio de Herrando, V. (2012), haremos uso de sus datos para la corroborar las cargas sujetas al terreno debido a la similitud de nuestra área de estudio. A continuación, procedemos a verificar:

- **Dimensiones del Aerogenerador**

Como plantea Herrando, V. (2012), los valores escogidos en base a todo ello y según los proyectos consultados para cada tipo de acción, comprueba las cargas con un aerogenerador de 100 metros de altitud, con fuste de hormigón, capaz de generar 3,5 MW de potencia.

Elegido por la estimación de vientos calculados y de modelo general para terrenos de ambiente desértico, ajustable para nuestra zona de proyectos.

**Tabla 59**

*Características del aerogenerador del parque eólico*

Altura	D fuste	D rotor	Potencia
100 m	7,5 m	100 m	3,5 MW

*Nota.* Optimización del diseño de la Cimentación para un aerogenerador de gran altura. (Herrando, 2012)

- **Cargas transmitidas a la cimentación**

- Cargas gravitatorias: cargas estáticas y dinámicas resultantes de la acción de las vibraciones, rotación de las palas, gravedad, y actividad sísmica sobre la estructura.
- Cargas aerodinámicas: cargas estáticas y dinámicas resultantes de la acción del flujo de aire y su interacción con las partes de la estructura. El flujo de aire depende de la velocidad de giro del rotor, la velocidad media del viento, la intensidad de la turbulencia, la densidad del aire, y las formas aerodinámicas de los componentes de la turbina.

Según Herrando, V. (2012), la evaluación de los efectos del viento sobre el rotor de un aerogenerador en funcionamiento debe realizarse considerando aspectos aerodinámicos o mediante pruebas de laboratorio a escala reducida.

En la Tabla 60 se han proyectado las fuerzas de carga de la estructura y en la figura 31 se representaron gráficamente las diferentes acciones.

**Tabla 60**

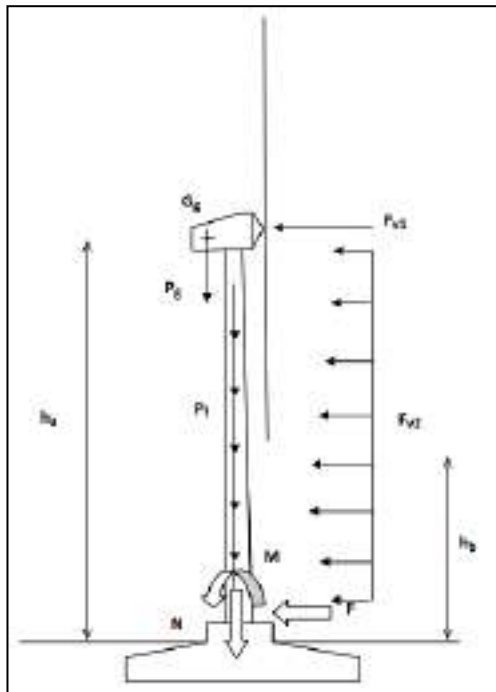
*Cargas o acciones transmitidas en la estructura*

ACCIONES GRAVITATORIAS		ACCIONES AERODINÁMICAS	
Peso fuste (Pf)	Peso góndola (Pg)	Fuerza sobre el rotor (Fv1)	Fuerza sobre el fuste (Fv2)
10 400 KN	1 600 KN	800 KN	700 KN

*Nota.* Tomado del informe “Optimización del diseño de la Cimentación para un aerogenerador de gran altura.” (Herrando, 2012)

**Figura 31**

*Diferentes acciones que intervienen en la estructura*



*Nota.* En la figura se puede observar los esfuerzos transmitidos a la cimentación, (Herrando, 2012)

Los esfuerzos transmitidos a la cimentación son:

$$N = P_g + P_f$$

$$F = F_{v1} + F_{v2} * h_b$$

$$M = F_{v1} * h_a + F_{v2} * h_b$$

Donde:

**N:** Carga vertical de compresión causada por el peso propio de la estructura y la góndola.

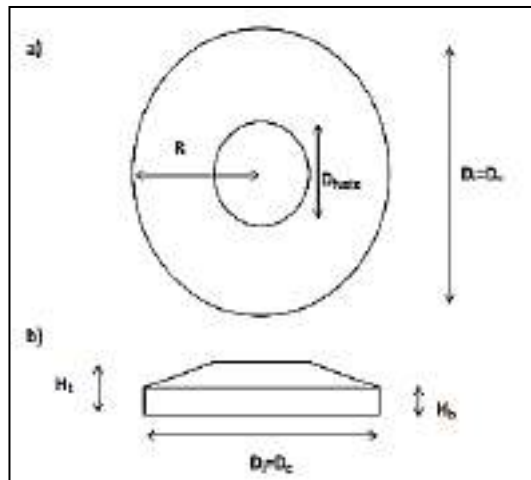
**F:** Fuerza horizontal causada por el empuje del viento sobre el rotor y sobre el fuste. Puede actuar en cualquier dirección.

**M:** Momento flector causado por el empuje del viento sobre el rotor y sobre el fuste. Se considerará despreciable el flector generado por una posible desviación del centro de gravedad de la góndola. Puede actuar en cualquier dirección.

El siguiente paso, será proyectar los esfuerzos según las características mencionadas de la Tabla 60, donde se comprobará que la cimentación de la capacidad estructural es suficiente para resistir la flexión ejercida sobre las presiones en el terreno según su definición geométrica.

### Figura 32

*Definición geométrica de la zapata circular*



*Nota.* Zapata circular: a) vista en planta, b) vista en alzado. (Herrando, 2012)

### Tabla 61

*Medidas respectivas de la zapata circular*

L(m)	D <sub>i</sub> (m)	D <sub>c</sub> (m)	D <sub>f</sub> (m)	H <sub>t</sub> (m)	H <sub>b</sub> (m)	A(m <sup>2</sup> )	V <sub>h</sub> (m <sup>3</sup> )
9,1	18,2	18,2	7,5	2	1	260,16	412,3

*Nota.* Tomado del informe “Optimización del diseño de la Cimentación para un aerogenerador de gran altura.” (Herrando, 2012)

**Tabla 62***Esfuerzos transmitidos por la torre a la cimentación*

CARGAS			
Lugar de Acción	N (KN)	F(KN)	M (KNm)
En la base de la torre	12 000	1 500	100 000
En la base de la cimentación	24 251,85	1 500	103 000

*Nota.* Tomado del informe “Optimización del diseño de la Cimentación para un aerogenerador de gran altura.” (Herrando, 2012)

Aplicaremos el criterio de carga en la teoría de Meyerhof donde,

- Primeramente, se estima unas dimensiones L y B de la zapata tentativas. Con estos valores, se calcula la resistencia última del suelo “ $q_u$ ”, y además la resistencia admisible “ $q_{adm}$ ”.
- Posteriormente, se determina el esfuerzo real transmitido al suelo para las dimensiones L y B adoptadas. Si el esfuerzo de carga “ $q_{real}$ ” es menor a “ $q_{adm}$ ”, las dimensiones estimadas de L y B son adecuadas, indicando así que el suelo resiste los esfuerzos reales producto de la carga de la estructura. ( $q_{adm} > q_{real}$ ).
- En caso no cumpliera esta condición, se debe incrementar la sección B·L

Para comprobar la capacidad portante del suelo soporte las cargas de la estructura hacia el terreno, emplearemos la siguiente fórmula:

$$q_{real} = \frac{N}{A}$$

Donde:

N: Carga axial - vertical      A: Área de la zapata

Reemplazando los valores y teniendo en cuenta los datos de las Tablas 55 y 56, obtenemos:

$$q_{real} = \frac{24\,251,85\text{ KN}}{260,16\text{ m}^2} = 93,22 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} = 0,95 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Para la comparación del cumplimiento de la teoría, usaremos los datos de la Tabla 57 obtenidos de la zonificación para nuestro estudio, usando la UG-02 y UG-03 debido que se realizará la cimentación en este suelo.

Demostrando así:

Para profundidad de desplante de la zapata en 2,5 m:

- . Unidad Geotécnica UG-02, con  $q_{adm} = 2,4\text{ kg/cm}^2 > 0,95\text{ kg/cm}^2 = q_{real}$
- . Unidad Geotécnica UG-03, con  $q_{adm} = 2,9\text{ kg/cm}^2 > 0,95\text{ kg/cm}^2 = q_{real}$

Para profundidad de desplante de la zapata en 3,0 m:

- . Unidad Geotécnica UG-02, con  $q_{adm} = 2,6\text{ kg/cm}^2 > 0,95\text{ kg/cm}^2 = q_{real}$
- . Unidad Geotécnica UG-03, con  $q_{adm} = 3,2\text{ kg/cm}^2 > 0,95\text{ kg/cm}^2 = q_{real}$

## Capítulo V

### Conclusiones y recomendaciones

A partir del análisis de los resultados obtenidos en los trabajos de campo, laboratorio y gabinete, así como de los datos proporcionados, se pueden formular las siguientes conclusiones y recomendaciones.

#### 5.1. Conclusiones

1. La ubicación propuesta para el Parque Eólico es Favorable, debido a las condiciones geológicas y geotécnicas del suelo, así como a la baja susceptibilidad a movimientos en masa por deslizamiento y erosión por flujo hídrico, lo que elimina los riesgos geológicos.
2. En base al análisis realizado, para la propuesta de una cimentación superficial se ha determinado que la capacidad admisible por asentamiento del suelo es más restrictiva que la capacidad admisible por corte, eligiendo la unidad geotécnica UG-02 y UG-03 como principal tipo de suelo Favorable.,
3. Se zonificó el área de estudio en cuatro categorías de amenaza que van desde muy alta a baja, predominando la categoría baja con 907,92 hectáreas que equivale el 63 % del sector de estudio, son áreas poco susceptibles a los deslizamientos y erosión fluvial.
4. Las dimensiones de las zapatas se dejan a juicio y criterio de Proyectista basándose en este estudio geotécnico.

## **5.2. Recomendaciones**

1. En los puntos propuestos para la instalación de aerogeneradores, donde la unidad geotécnica UG-01 presenta espesores superiores a 2,5 metros, se recomienda implementar medidas de mejoramiento del terreno. Esta recomendación se fundamenta en que el perfil estratigráfico predominante está conformado por materiales finos con grados de compacidad que varían entre suelta y media.
2. Para una mejor cimentación de los aerogeneradores realizar pilotes pre barrenados.

### Referencias bibliográficas

- Abad, C. (1992). Ensayo de Penetración Estándar (SPT). En O. V. Antonio Campos Siguenza, *Seminario taller de mecanica de suelos y exploración geotécnica* (págs. 44-62). CISMID.
- Bañón, L., & Beviá, J. (2000). *Manual de carreteras*. Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A.
- Campos, M. (2011). *Estudio de la variabilidad del suelo de Piura a través del SPT para la valoración del F.S.* [Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional de Piura]. <https://hdl.handle.net/11042/1356>
- Caterpillar. (2007). *Manual de Rendimiento Caterpillar*. Caterpillar Inc.
- Cruz, D. (2011). *Análisis y diseño de Cimentaciones sujetas a Cargas de Tensión*. [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Das, B. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Thomson Editores S. A.
- Das, M. (2012). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*. Cengage Learning.
- Galán, G., Montes, D., Fernández, A., Urbina, E., Criado, R., & Nogueira, L. (2019). La adaptación del estudio geotécnico para proyectos eólicos y fotovoltaicos: condicionantes geotécnicos y propuestas de optimización. *Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente*(272), 30-34. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6855787>
- González, L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación.
- González, M. (2001). *El Terreno*. C. Miracle S.A.

- González, N., & Torres, J. (2018). *Microzonificación geotécnica y diseño de cimentaciones superficiales en el sector Taquila de las Delicias, distrito de Moche, provincia de Trujillo – La Libertad*. [Tesis de grado, Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/4175>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. McGrawHill.
- Herrando, V. (2012). *Optimización del diseño de la Cimentación para un aerogenerador de gran altura*.
- Hunt, R. (1984). *Geotechnical Engineering Investigation Manual*. McGraw-Hill Book Company.
- Igme, E. (1987). *Manual de Taludes*.
- INDECI. (2011). *Manual de estimación del riesgo ante movimientos en masa en laderas*. Litigraf EIRL.
- Jiménez, J. (1980). *Geotecnia y Cimientos III - Cimentaciones, excavaciones y aplicaciones a la geotecnia*. Rueda.
- Juárez, E., & Rico, A. (2005). *Fundamentos de la Mecánica de Suelos, Tomo I*. Limusa S.A.
- Lambe, T., & Whitman, R. (1991). *Mecánica de Suelos*. Limusa.
- Luque, G., Pari, W., & Dueñas, K. (2021). *Peligro geológico en la región Arequipa. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica*. Lima: INGEMMET.

- Ministerio de Energía y Minas del Perú (2016). *Atlas Eólico del Perú, Estudio para aprovechamiento eólico con fines energéticos y actualización del atlas eólico del Perú*. Lima.
- Newell, N. (1956). *Reconocimiento Geológico de la Región de Pisco - Nazca*.
- Nij, J. (2009). *Guía práctica para el cálculo de capacidad de carga en cimentaciones superficiales, losas de cimentación, pilotes y pilas perforadas*. [Trabajo de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Redpath, B. (1973). *Seismic Refraction Exploration for Engineering Site*. NTIS.
- Segui, P. (2024). *Energía Renovable - Energía Eólica*. OVACEN:  
<https://ovacen.com/energias-renovables/eolica/parques-eolicos/>
- SENAMHI. (2019). *Movimiento de masa por lluvias intensas en el Perú*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Vidal, J. (1978). *Geología de los Cuadrángulos de San Juan. Acarí y Yauca*. Instituto de Geología y Minería.
- Villalaz, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. Limusa.
- Whaley, O., Orellana, A., Pérez, E., Tenorio, M., Quinteros, F., Mendoza, M., & Pecho, O. (2010). *Plantas y vegetación de Ica, Perú - Un recurso para su restauración y conservación*. Litho Arte S.A.C.

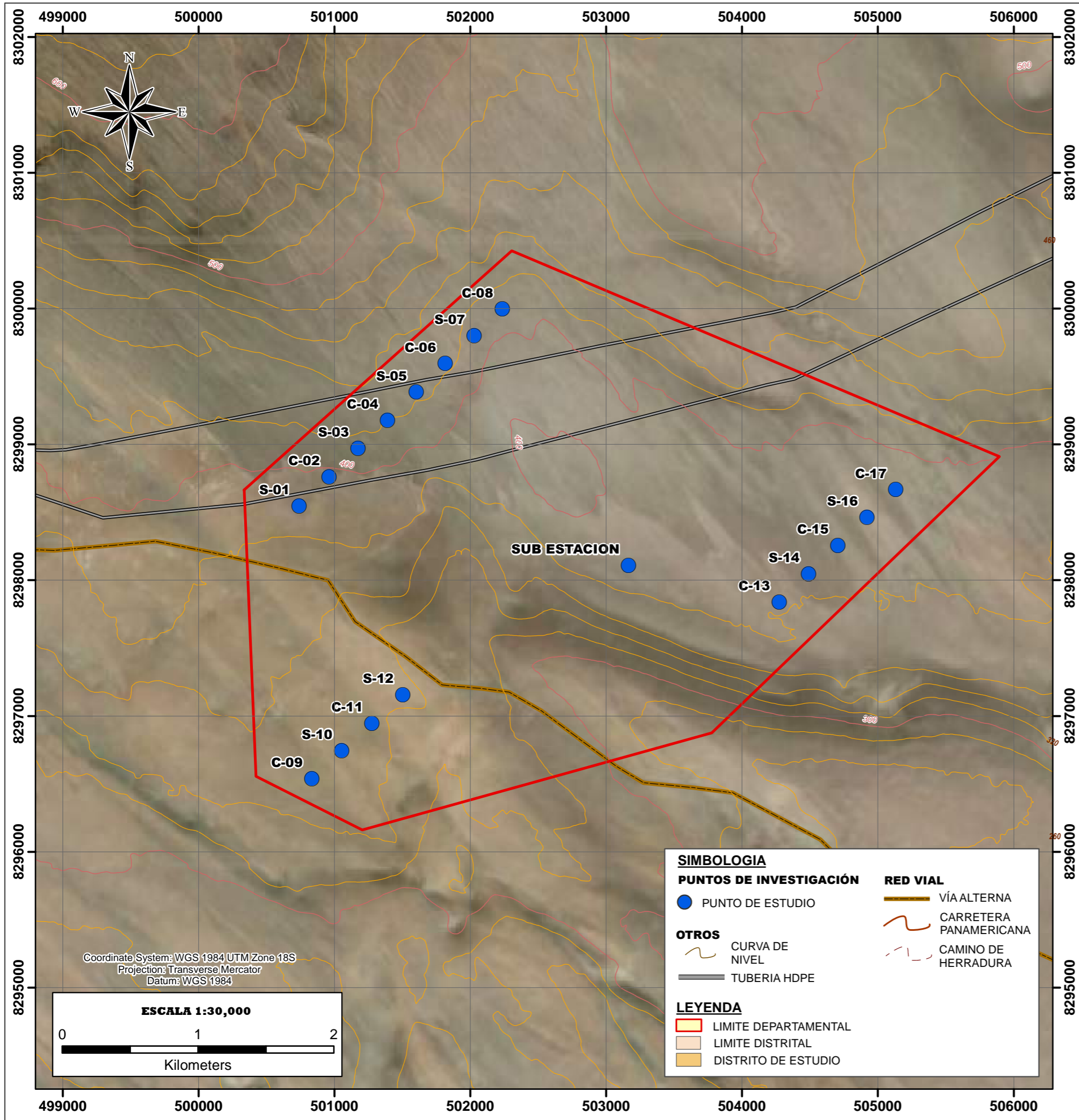
**Anexos**

## Matriz de Consistencia

Definición del Problema	Hipótesis	Objetivos	Variables e Indicadores	Metodología
<p><i>Problema General</i></p> <p>¿Cuáles son las características geotécnicas para el emplazamiento de un parque eólico y de la subestación transformadora de energía en el distrito Las Lomas, provincia de Caraveli, región Arequipa?</p>	<p><i>Hipótesis General</i></p> <p>Existen zonas dentro del distrito Las Lomas que presentan características geotécnicas óptimas para el emplazamiento seguro y eficiente de un parque eólico y su subestación transformadora de energía.</p>	<p><i>Objetivo General</i></p> <p>Identificar mediante una caracterización geotécnica las zonas óptimas para el emplazamiento de un parque eólico y su subestación transformadora de energía en el distrito de las Lomas, región de Arequipa</p>	<p><u>VARIABLE INDEPENDIENTE</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Características Geológicas</li> <li>- Propiedades Geotécnicas del Suelo</li> <li>- Condiciones Hidrogeológicas</li> <li>- Estudios Geofísicos</li> </ul> <p><b>Indicadores V.I.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapeo Geológico.</li> <li>• Laboratorio de Mecánica de Suelos.</li> <li>• Permeabilidad de la zona.</li> <li>• Resistividad Eléctrica del suelo y sus características.</li> </ul>	<p><u>TIPO DE INVESTIGACIÓN</u></p> <p>Cuantitativo, Descriptivo - Aplicado</p> <p><u>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</u></p> <p>No experimental de tipo transaccional</p>
<p><i>Problemas Específicos</i></p> <p>¿Existen condiciones geotécnicas adversas para el emplazamiento de un parque eólico en el distrito de las Lomas, región de Arequipa?</p> <p>¿Cómo determinar las zonas que pueden considerarse óptimas desde el punto de vista geotécnico para el emplazamiento de un parque eólico en el distrito de las Lomas, región de Arequipa?</p>	<p><i>Hipótesis Específicos</i></p> <p>La estabilidad para el emplazamiento de un parque eólico depende directamente del análisis del terreno en el distrito de las Lomas, región de Arequipa</p> <p>La aplicación de un modelo geotécnico tridimensional permite identificar con mayor precisión las zonas más estables y seguras para el emplazamiento de un parque eólico destinado a la generación de energía eléctrica para el distrito las Lomas, región de Arequipa.</p>	<p><i>Objetivos Específicos</i></p> <p>Determinar las condiciones geotécnicas óptimas del terreno para el emplazamiento un Parque eólico en el distrito de las Lomas, región de Arequipa</p> <p>Establecer mediante un modelo geotécnico tridimensional las zonificaciones geotécnicas para el emplazamiento un parque eólico destinado a la generación de energía eléctrica para el distrito de las Lomas, región de Arequipa</p>	<p><u>VARIABLE DEPENDIENTE</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zona Óptima de Emplazamiento</li> <li>- Peligros Geológicos.</li> </ul> <p><b>Indicadores V.D.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de carga</li> <li>• Susceptibilidad a movimientos en masa</li> </ul>	<p><i>Población y Muestra</i></p> <p><b>Población</b></p> <p>Localidad de Caraveli, región de Arequipa</p> <p><b>Muestra</b></p> <p>Desierto de Las Lomas.</p>

# **ANEXO A**

## **Mapas**




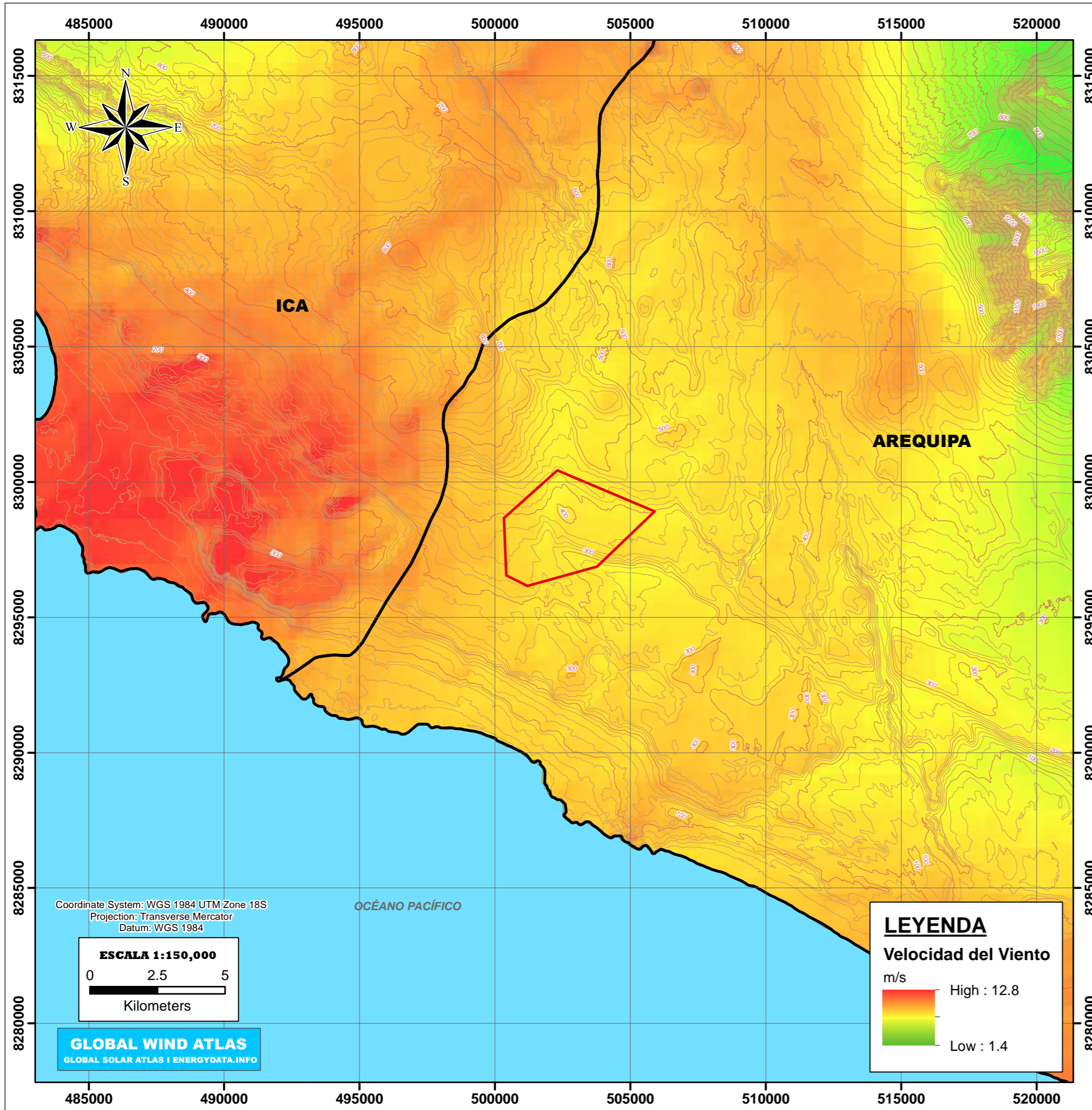
**MAPA DEPARTAMENTAL**



**MAPA REGIONAL**



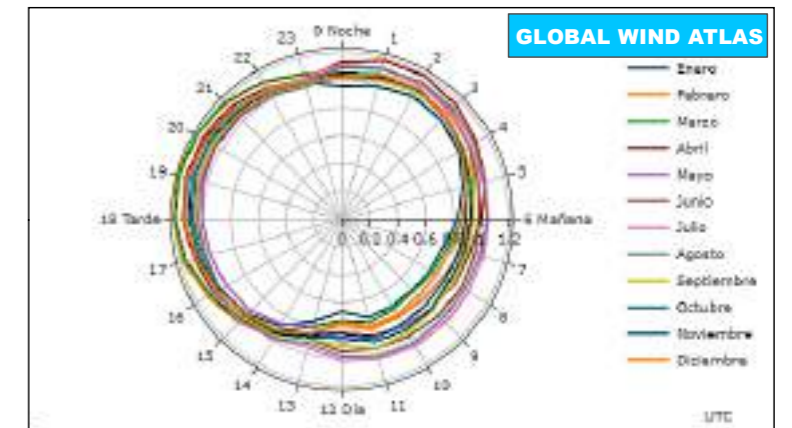
 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN</b> Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia Escuela Profesional de Ingeniería Geológica-Geotecnia			<b>A - 1</b>
Tema: CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO Y DE LA SUBESTACIÓN TRANSFORMADORA DE ENERGÍA EN EL DISTRITO LAS LOMAS, PROVINCIA DE CARAVELI, REGIÓN DE AREQUIPA	Fecha: AGOSTO, 2025	Lamina N°:	
Mapa: <b>MAPA DE UBICACIÓN DEL PROYECTO</b>	Revisado por: ING. FREDY CABRERA	Escala: INDICADA	Datum: WGS 84, ZONA 18 S



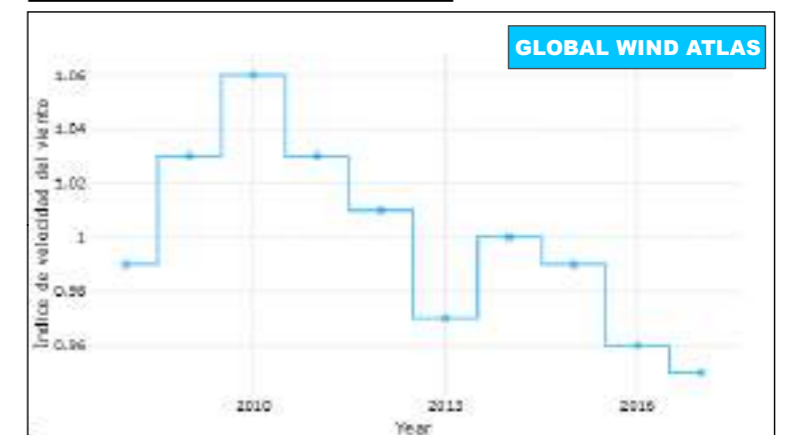
**MAPA DEPARTAMENTAL**





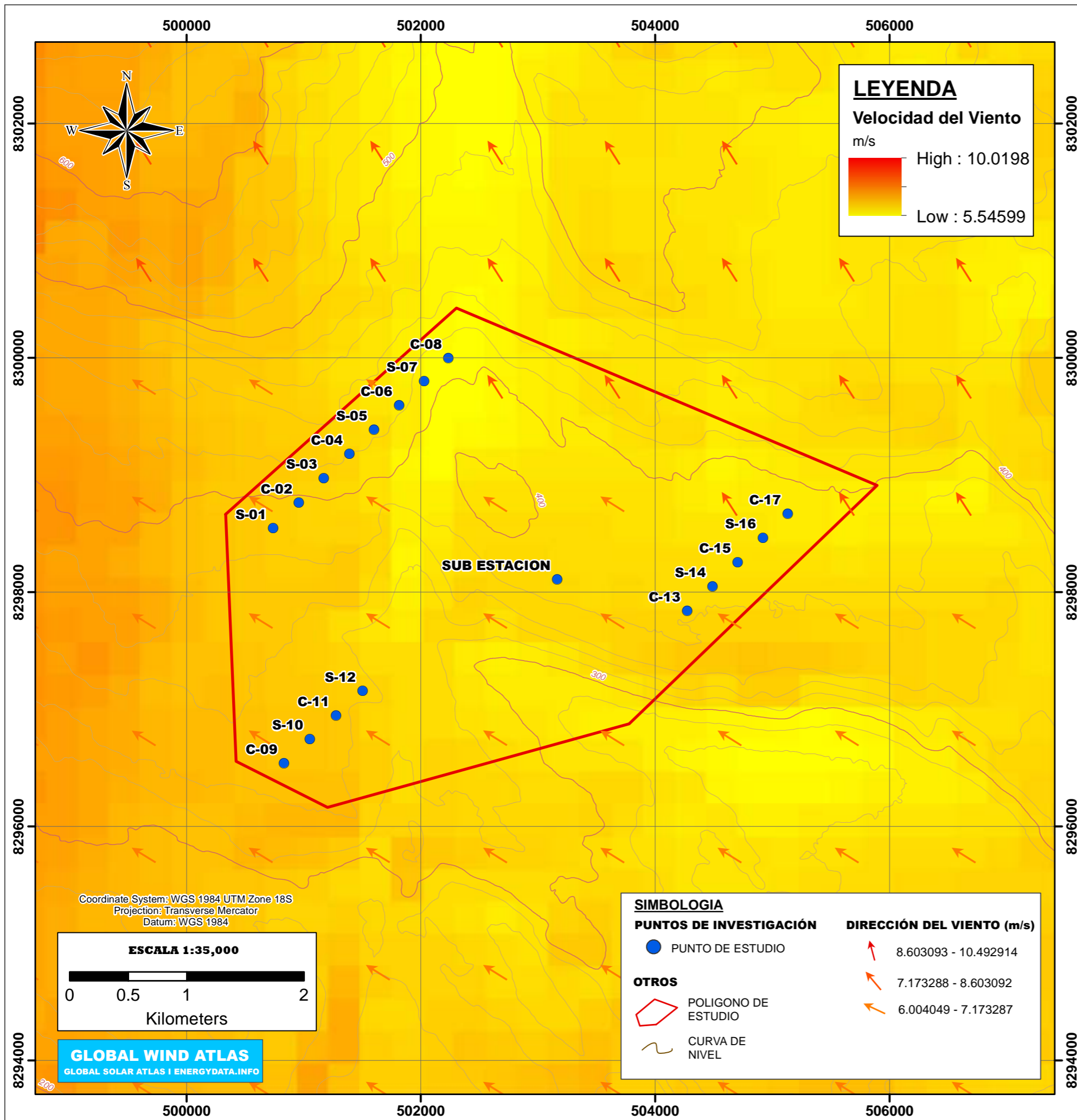
**Gráfico de Radar (Por Hora vs Mensual)**



**Variabilidad de la velocidad del viento**



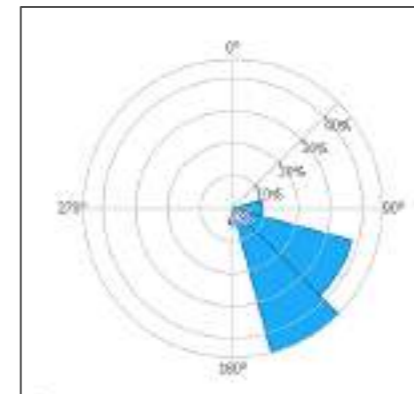
 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN</b> Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia Escuela Profesional de Ingeniería Geológica-Geotecnia			
Tema: CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO Y DE LA SUBESTACIÓN TRANSFORMADORA DE ENERGÍA EN EL DISTRITO LAS LOMAS, PROVINCIA DE CARAVELI, REGIÓN DE AREQUIPA	Fecha: AGOSTO, 2025	Lamina N°: <b>A - 2</b>	
Mapa: <b>MAPA REGIONAL DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO</b>	Revisado por: ING. FREDY CABRERA	Departamento y Provincia: AREQUIPA, CARAVELI	Escala: INDICADA
Elaborado por: BACH. JUAN G. CHIPOCO PALO	Datum: WGS 84, ZONA 18 S		



**MAPA DEPARTAMENTAL**



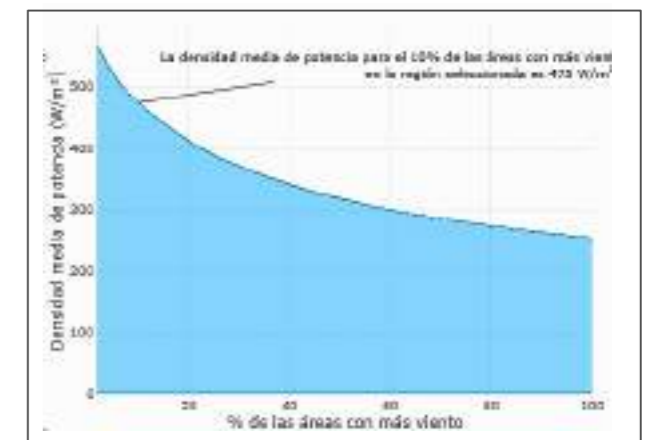
**Roseta de la Velocidad del Viento**



**Roseta de Energía Eólica**

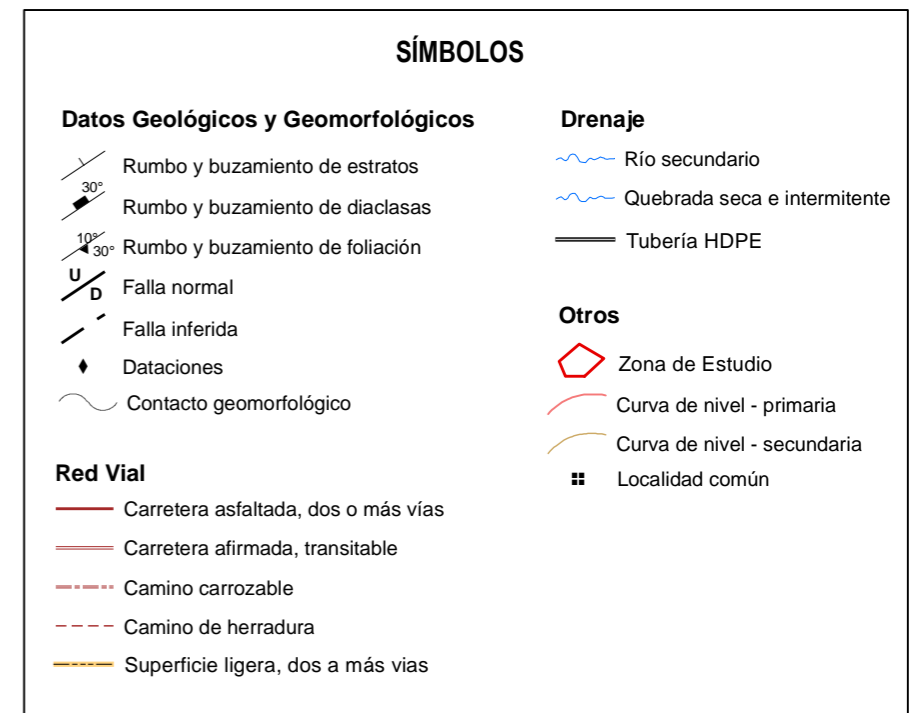


**Densidad Media de Potencia a una altura de 100 m**



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
 Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica-Geotecnia

Tema: CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO Y DE LA SUBESTACIÓN TRANSFORMADORA DE ENERGÍA EN EL DISTRITO LAS LOMAS, PROVINCIA DE CARAVELI, REGIÓN DE AREQUIPA	Fecha: AGOSTO, 2025	Lamina N°: <b>A - 3</b>
Departamento y Provincia: AREQUIPA, CARAVELI	Revisado por: ING. FREDY CABRERA	Escala: INDICADA
Mapa: MAPA LOCAL DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO	Elaborado por: BACH. JUAN G. CHIPOCO PALO	Datum: WGS 84, ZONA 18 S



**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
 Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica-Geotecnia

Tema: CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO Y DE LA SUBESTACIÓN TRANSFORMADORA DE ENERGÍA EN EL DISTRITO LAS LOMAS, PROVINCIA DE CARAVELI, REGIÓN DE AREQUIPA

Fecha: AGOSTO, 2025

Departamento y Provincia: AREQUIPA, CARAVELI

Revisado por: ING. FREDY CABRERA

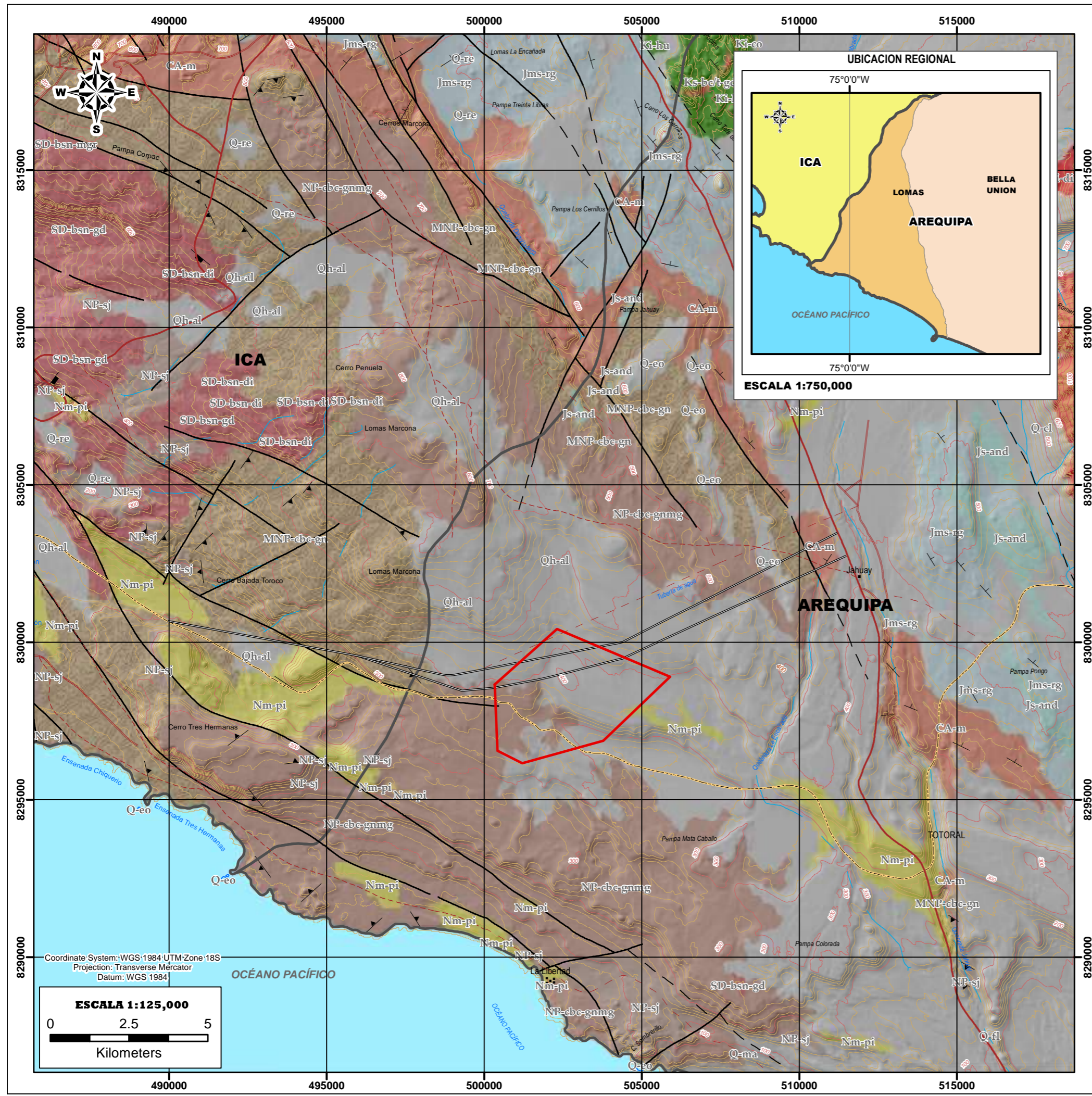
Elaborado por: BACH. JUAN G. CHIPOCO PALO

Lamina N°: **A - 4**

Escala: INDICADA

Datum: WGS 84, ZONA 18 S

**MAPA GEOMORFOLÓGICO REGIONAL**



### LEYENDA

ERA/PERIODO	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	ROCAS INTRUSIVAS Y SUBVOLCANICAS	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	Depósito residual Depósito eólico Depósito coluvial Depósito aluvial		
		PLEISTOCENO PLIOCENO	Formación Pisco Grupo Nazca Formación Chilcatay Formación Yumaque		
			OLIGOCENO EOCENO		
			PALEOCENO SUPERIOR		
MESOZOICO	CRETACICO JURASICO	Formación Copara			
		SUPERIOR MEDIO			
		Formación Río Grande			
PALEOZOICO	DEVONICO SILURICO				
MESO-PROTEROZOICO/NEO-PROTEROZOICO					

### SÍMBOLOS

Datos Geológicos	Drenaje	Otros
↘ Rumbo y buzamiento de estratos	~ Río secundario	◊ Zona de Estudio
↘ Rumbo y buzamiento de diaclasas	~ Quebrada seca e intermitente	⊞ Localidad común
↘ Rumbo y buzamiento de foliación	— Tubería HDPE	▪ Casa aislada
↘ Falla normal		☒ Cementerio
↘ Falla inferida		× Cota comprobada
◆ Dataciones		⊗ Mina activa
~ Contacto geológico		⊗ Mina abandonada
~ Contacto geológico inferido		— Curva de nivel - primaria
— Carretera asfaltada, dos o más vías		— Curva de nivel - secundaria
— Carretera afirmada, transitable		
— Camino carrozable		
— Camino de herradura		
— Superficie ligera, dos a más vías		

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia  
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica-Geotecnia

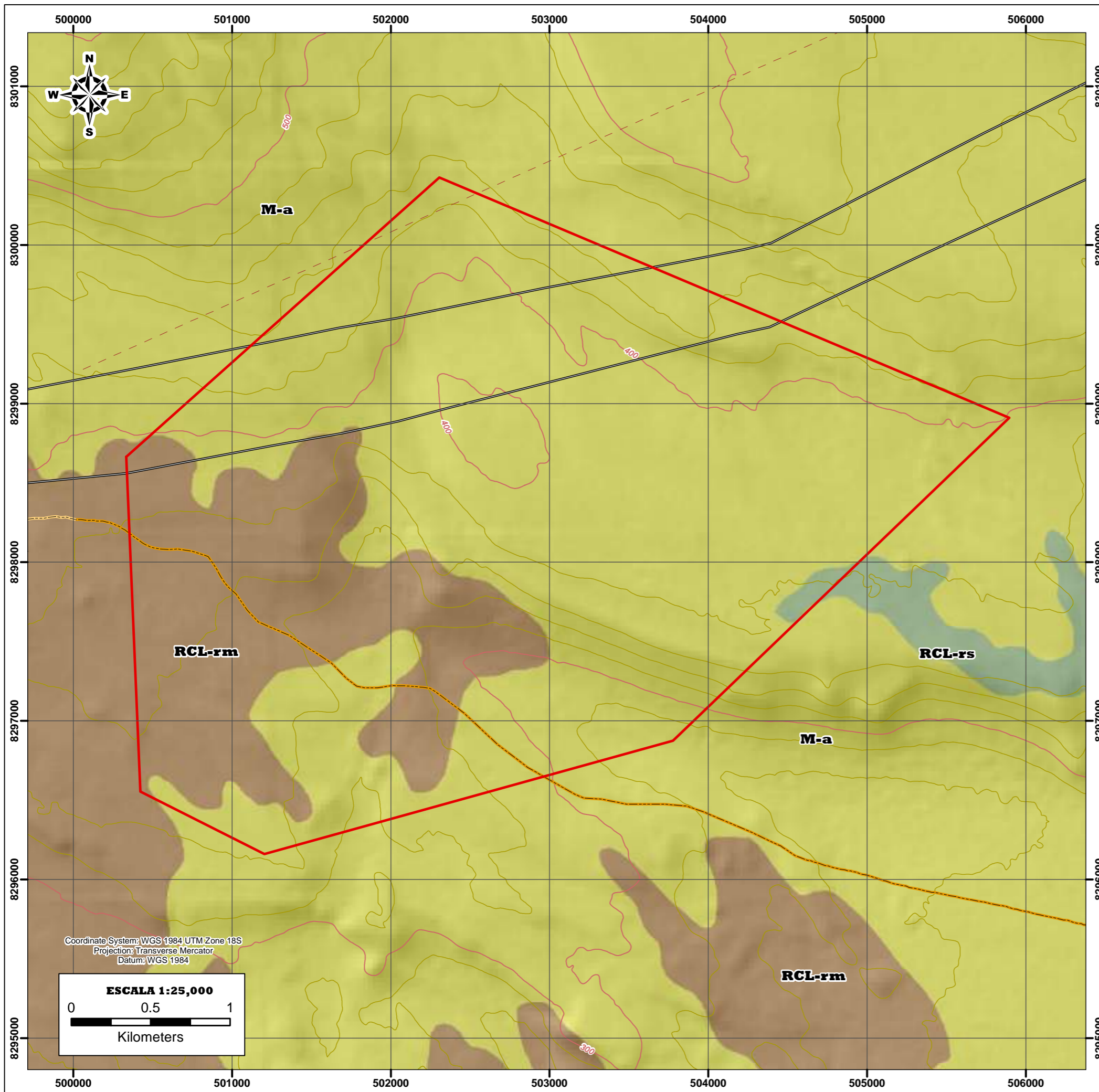
Tema: CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO Y DE LA SUBESTACIÓN TRANSFORMADORA DE ENERGÍA EN EL DISTRITO LAS LOMAS, PROVINCIA DE CARAVELI, REGIÓN DE AREQUIPA

Fecha: AGOSTO, 2025  
Departamento y Provincia: AREQUIPA, CARAVELI

Revisado por: ING. FREDY CABRERA  
Elaborado por: BACH. JUAN G. CHIPOCO PALO

Lamina N°: **A - 5**  
Escala: INDICADA  
Datum: WGS 84, ZONA 18 S

**MAPA GEOLÓGICO REGIONAL**



**MAPA DE UBICACION**



**SIMBOLOGIA**

**Red Vial**

- Carretera afirmada, transitable
- Camino de herradura
- Carretera panamericana
- Puente
- Cable transmisor de fuerza eléctrica
- Superficie ligera, dos o mas vias
- Rodadera

**Drenaje**

- Río secundario
- Quebrada seca e intermitente
- Tuberia HDPE

**Topografía**



- Curva de nivel - primaria
- Curva de nivel - secundaria

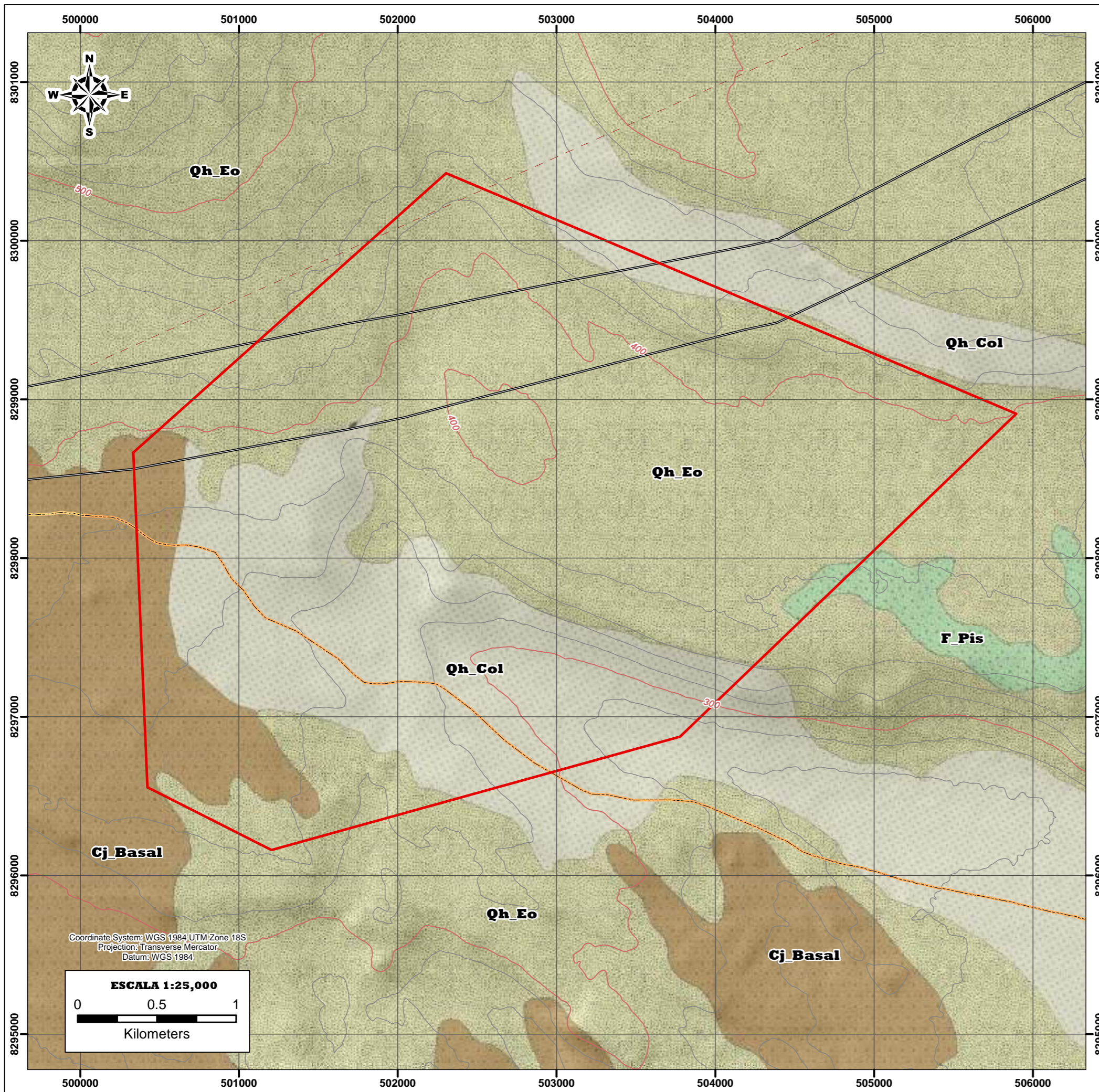
**Otros**

- Límite Departamental
- Área de Estudio

**GEOMORFOLOGIA**

- M-a, Mantos de arena
- RCL-rs, Colina y lomada en roca sedimentaria
- RCL-rm, Colina y lomada en roca metamórfica

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN</b> Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia Escuela Profesional de Ingeniería Geológica-Geotecnia					
Tema: CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO Y DE LA SUBESTACIÓN TRANSFORMADORA DE ENERGÍA EN EL DISTRITO LAS LOMAS, PROVINCIA DE CARAVELI, REGIÓN DE AREQUIPA		Fecha: AGOSTO, 2025	Lamina N°: <b>A - 6</b>		
Mapa: <b>MAPA GEOMORFOLÓGICO LOCAL</b>		Revisado por: ING. FREDY CABRERA	Departamento y Provincia: AREQUIPA, CARAVELI		Escala: INDICADA
		Elaborado por: BACH. JUAN G. CHIPOCO PALO	Datum: WGS 84, ZONA 18 S		



**MAPA DE UBICACION**



**SIMBOLOGIA**

**Red Vial**

- Carretera afirmada, transitable
- Camino de herradura
- Carretera panamericana
- Puente
- Cable transmisor de fuerza eléctrica
- Superficie ligera, dos o mas vías
- Rodadera

**Drenaje**

- Río secundario
- Quebrada seca e intermitente
- Tubería HDPE

**Topografía**

- Curva de nivel - primaria
- Curva de nivel - secundaria

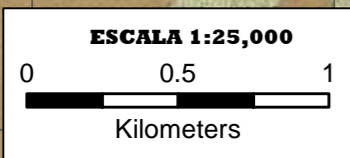
**Otros**

- Límite Departamental
- Área de Estudio

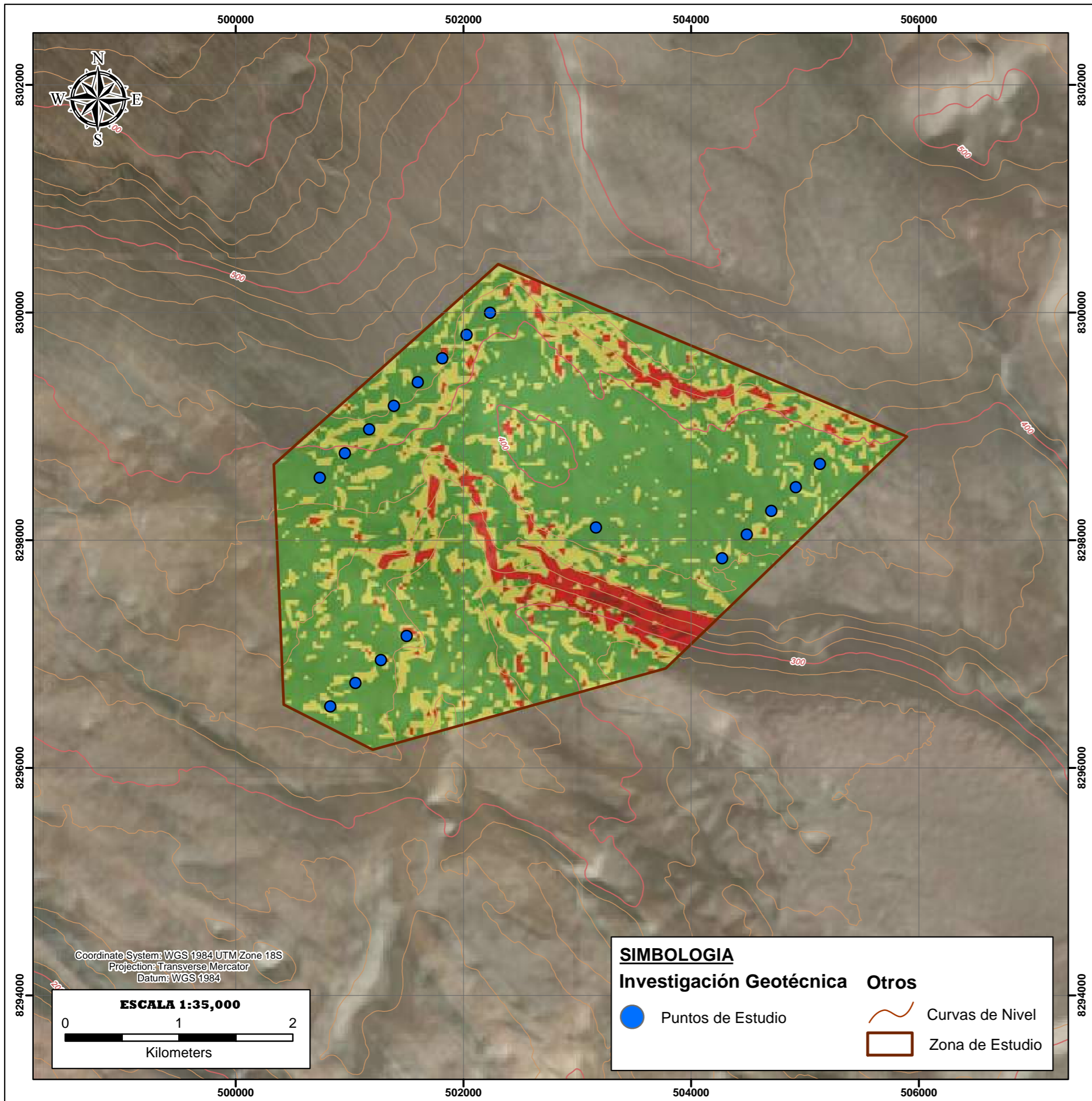
**Geología Local**

- Qh\_Col Depósito Coluvial
- Cj\_Basal Complejo Basal
- Qh\_Eo Depósito Eólico
- F\_Pis Formación Pisco

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 18S  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 1984



<p><b>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN</b>          Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia          Escuela Profesional de Ingeniería Geológica-Geotecnia</p>		<p>Lamina N°: <b>A - 7</b></p>
<p>Tema: CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO Y DE LA SUBESTACIÓN TRANSFORMADORA DE ENERGÍA EN EL DISTRITO LAS LOMAS, PROVINCIA DE CARAVELI, REGIÓN DE AREQUIPA</p>		
<p>Fecha: AGOSTO, 2025</p>		<p>Escala: INDICADA</p>
<p>Departamento y Provincia: AREQUIPA, CARAVELI</p>		
<p>MAPA GEOLÓGICO LOCAL</p>		<p>Datum: WGS 84, ZONA 18 S</p>
<p>Revisado por: ING. FREDY CABRERA</p>		
<p>Elaborado por: BACH. JUAN G. CHIPOCO PALO</p>		

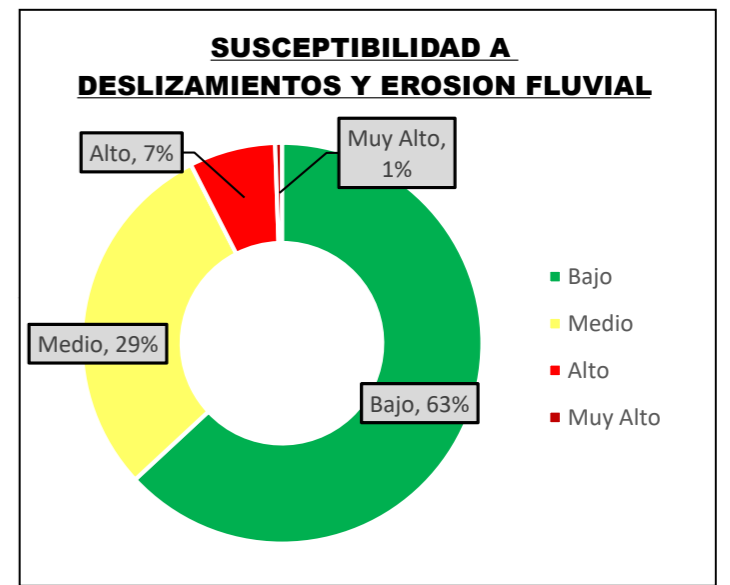


**SIMBOLOGIA**

**Investigación Geotécnica**    **Otros**

● Puntos de Estudio    ~ Curvas de Nivel

□ Zona de Estudio



**SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA**

INDICE	NIVEL	AREA (ha)	PERIMETRO (m)	PORCENTAJE
1	Bajo	907.92	701787.64	63
2	Medio	423.19	222731.86	29
3	Alto	100.21	47816.08	7
4	Muy Alto	7.85	5015.25	1
<b>TOTAL</b>		<b>1439.17</b>	<b>977350.82</b>	<b>100.00</b>

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
 Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica-Geotecnia

Tema: CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO Y DE LA SUBESTACIÓN TRANSFORMADORA DE ENERGÍA EN EL DISTRITO LAS LOMAS, PROVINCIA DE CARAVELI, REGIÓN DE AREQUIPA

Fecha: AGOSTO, 2025

Departamento y Provincia: AREQUIPA, CARAVELI

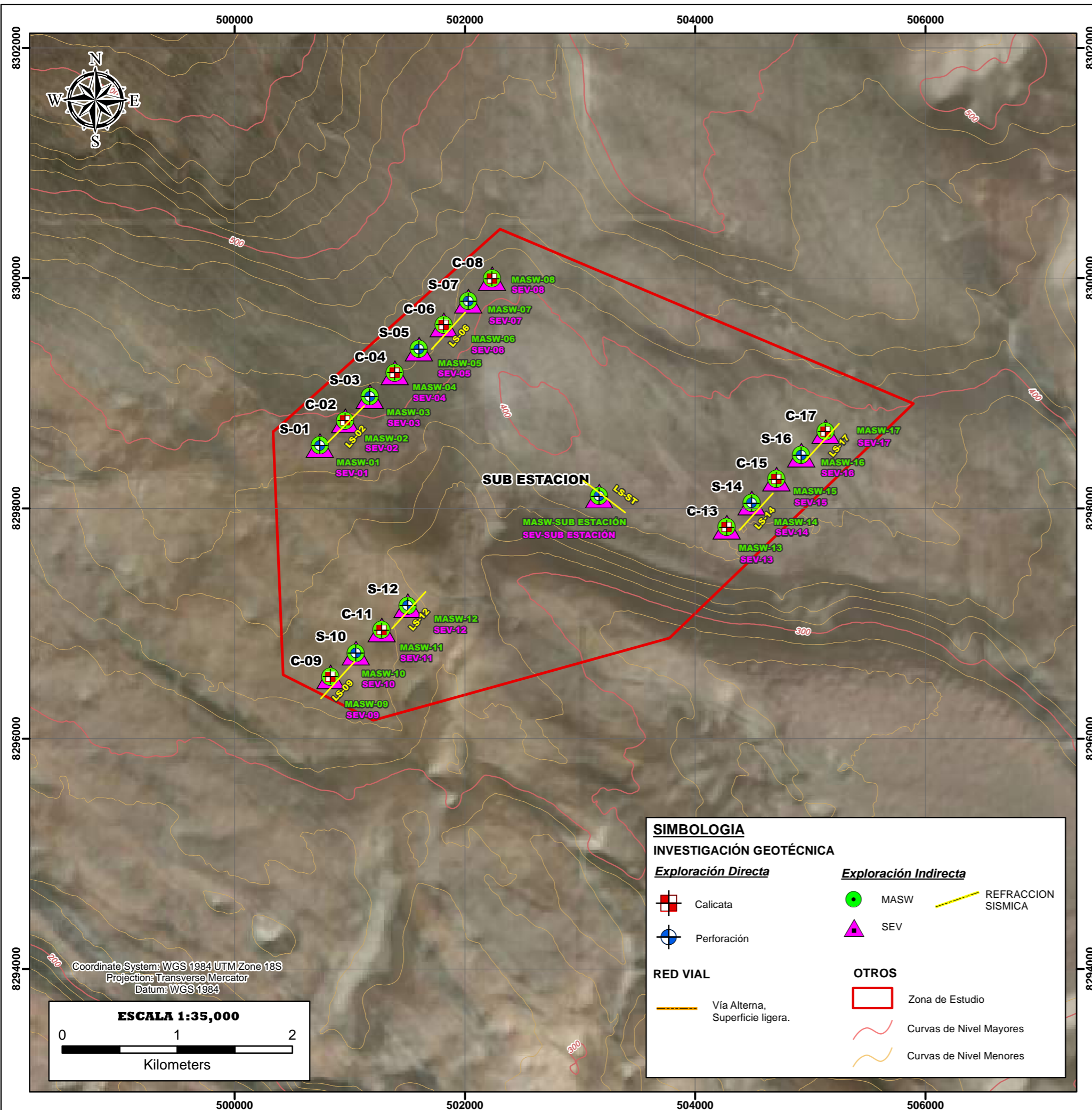
Revisado por: ING. FREDY CABRERA

Elaborado por: BACH. JUAN G. CHIPOCO PALO

Lamina N°: **A - 8**

Escala: INDICADA

Datum: WGS 84, ZONA 18 S



**SIMBOLOGIA**

**INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA**

*Exploración Directa*

- Calicata
- Perforación

*Exploración Indirecta*

- MASW
- SEV
- REFRACCION SISMICA

**RED VIAL**

- Vía Alternativa, Superficie ligera.

**OTROS**

- Zona de Estudio
- Curvas de Nivel Mayores
- Curvas de Nivel Menores

**MAPA DE UBICACION**



**EXPLORACIÓN DIRECTA**

CÓDIGO	CALICATA		CÓDIGO	SONDAJE	
	COORDENADA			COORDENADA	
	Este	Norte		Este	Norte
C-02	500960.00	8298763.00	S-01	500739.00	8298547.00
C-04	501390.00	8299179.00	S-03	501173.00	8298973.00
C-06	501815.00	8299596.00	S-05	501601.00	8299386.00
C-08	502236.00	8299997.00	S-07	502029.00	8299802.00
C-09	500833.00	8296538.00	S-10	501053.00	8296745.00
C-11	501276.00	8296945.00	S-12	501503.00	8297157.00
C-13	504274.00	8297839.00	S-14	504490.00	8298048.00
C-15	504705.00	8298256.00	S-16	504920.00	8298464.00
C-17	505132.00	8298668.00	S-Sub Estación	503165.00	8298109.00

**EXPLORACIÓN INDIRECTA**

CÓDIGO	SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL		MASW Y REFRACCIÓN SISMICA		
	COORDENADAS		COORDENADAS		
	Este	Norte	CÓDIGO DE ENSAYO	COORDENADAS	
			MASW	Este	Norte
SEV - 01	500739.00	8298547.00	MASW - 01	500739.00	8298547.00
SEV - 02	500960.00	8298763.00	MASW - 02	500960.00	8298763.00
SEV - 03	501173.00	8298973.00	MASW - 03	501173.00	8298973.00
SEV - 04	501390.00	8299179.00	MASW - 04	501390.00	8299179.00
SEV - 05	501601.00	8299386.00	MASW - 05	501601.00	8299386.00
SEV - 06	501815.00	8299596.00	MASW - 06	501815.00	8299596.00
SEV - 07	502029.00	8299802.00	MASW - 07	502029.00	8299802.00
SEV - 08	502236.00	8299997.00	MASW - 08	502236.00	8299997.00
SEV - 09	500833.00	8296538.00	MASW - 09	500833.00	8296538.00
SEV - 10	501053.00	8296745.00	MASW - 10	501053.00	8296745.00
SEV - 11	501276.00	8296945.00	MASW - 11	501276.00	8296945.00
SEV - 12	501503.00	8297157.00	MASW - 12	501503.00	8297157.00
SEV - 13	504274.00	8297839.00	MASW - 13	504274.00	8297839.00
SEV - 14	504490.00	8298048.00	MASW - 14	504490.00	8298048.00
SEV - 15	504705.00	8298256.00	MASW - 15	504705.00	8298256.00
SEV - 16	504920.00	8298464.00	MASW - 16	504920.00	8298464.00
SEV - 17	505132.00	8298668.00	MASW - 17	505132.00	8298668.00
SEV - Sub Estación	503165.00	8298109.00	MASW - Sub Estación	503165.00	8298109.00

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
 Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica-Geotecnia

Tema: CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO Y DE LA SUBESTACIÓN TRANSFORMADORA DE ENERGÍA EN EL DISTRITO LAS LOMAS, PROVINCIA DE CARAVELI, REGIÓN DE AREQUIPA

Fecha: AGOSTO, 2025

Departamento y Provincia: AREQUIPA, CARAVELI

Revisado por: ING. FREDY CABRERA

Elaborado por: BACH. JUAN G. CHIPOCO PALO

Lamina N°: **A - 9**

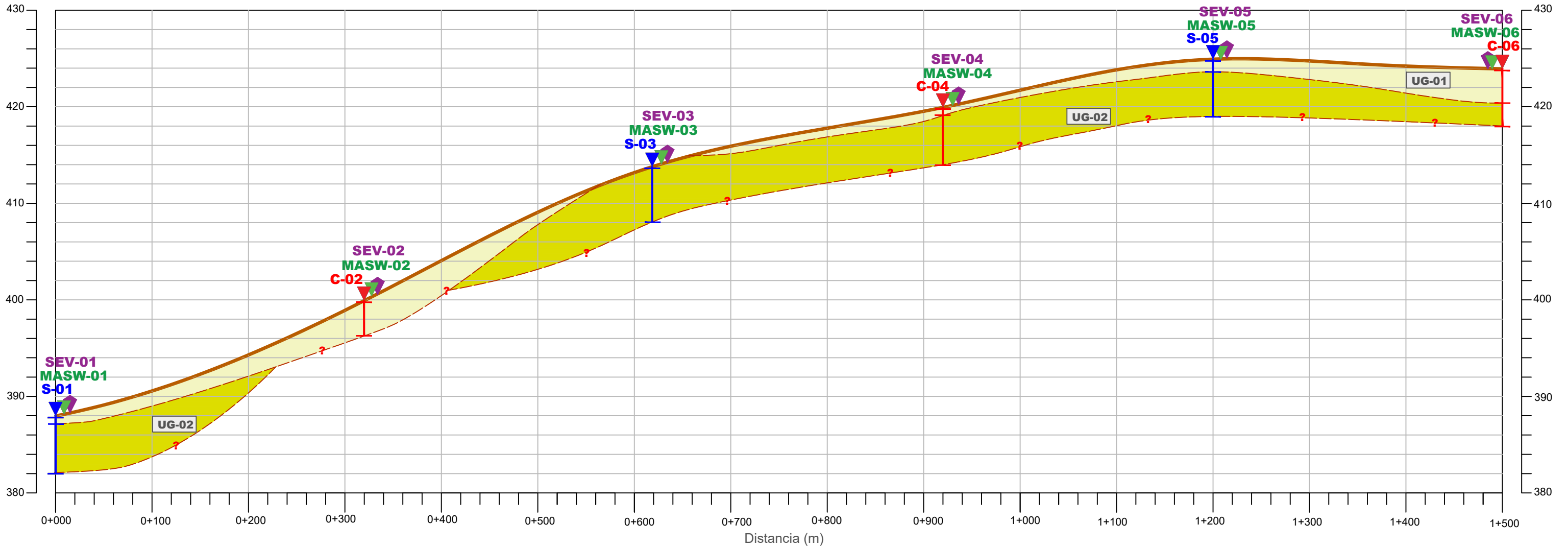
Escala: INDICADA

Datum: WGS 84, ZONA 18 S

ALTURA  
(m.s.n.m.)  
SW

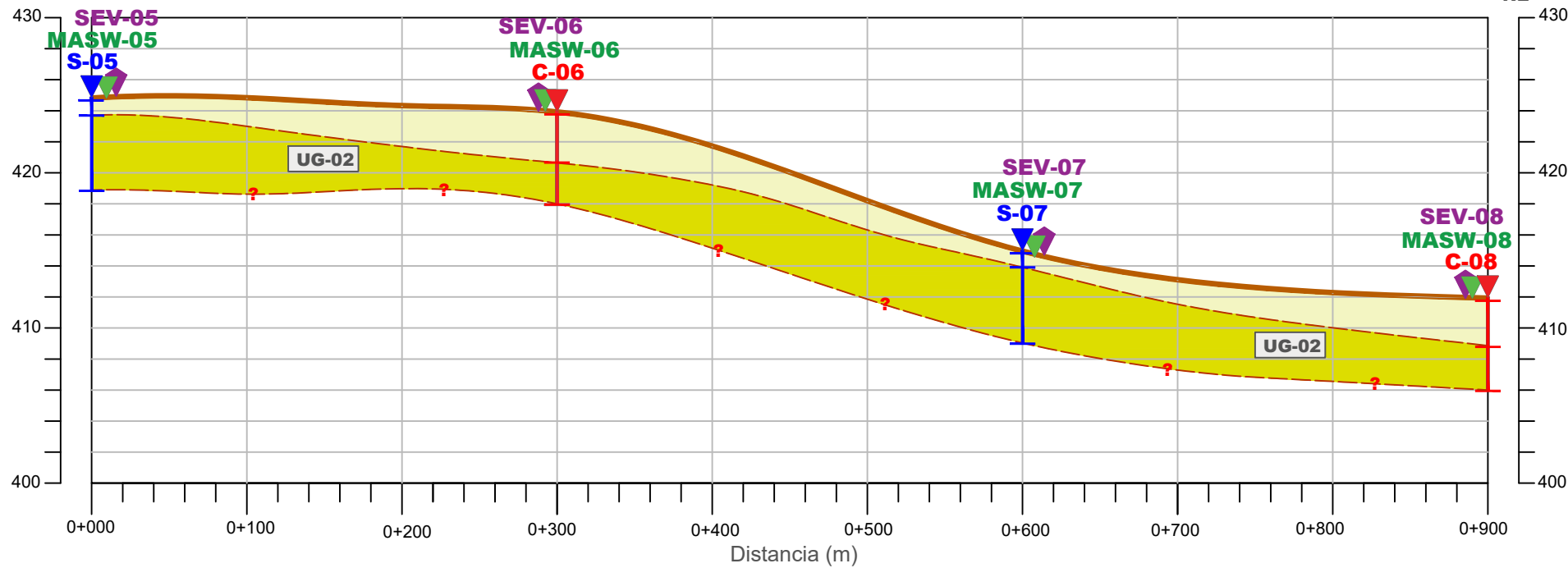
# CORTE A-A'

ALTURA  
(m.s.n.m.)  
NE



ALTURA  
(m.s.n.m.)  
SW

ALTURA  
(m.s.n.m.)  
NE





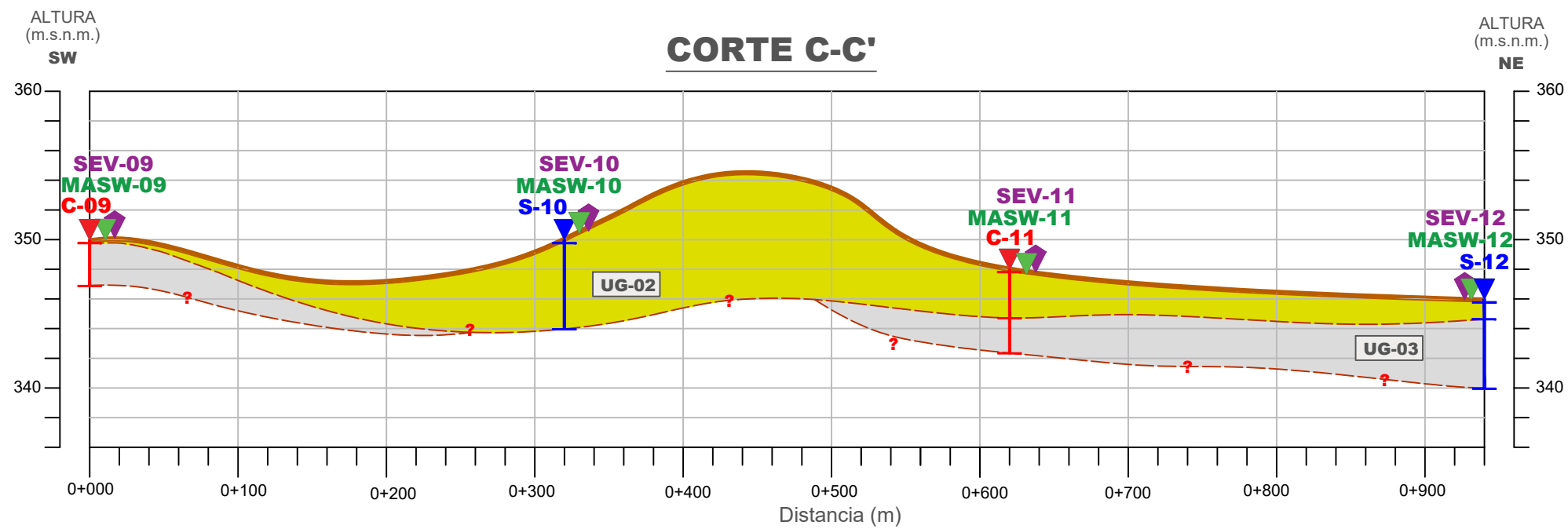
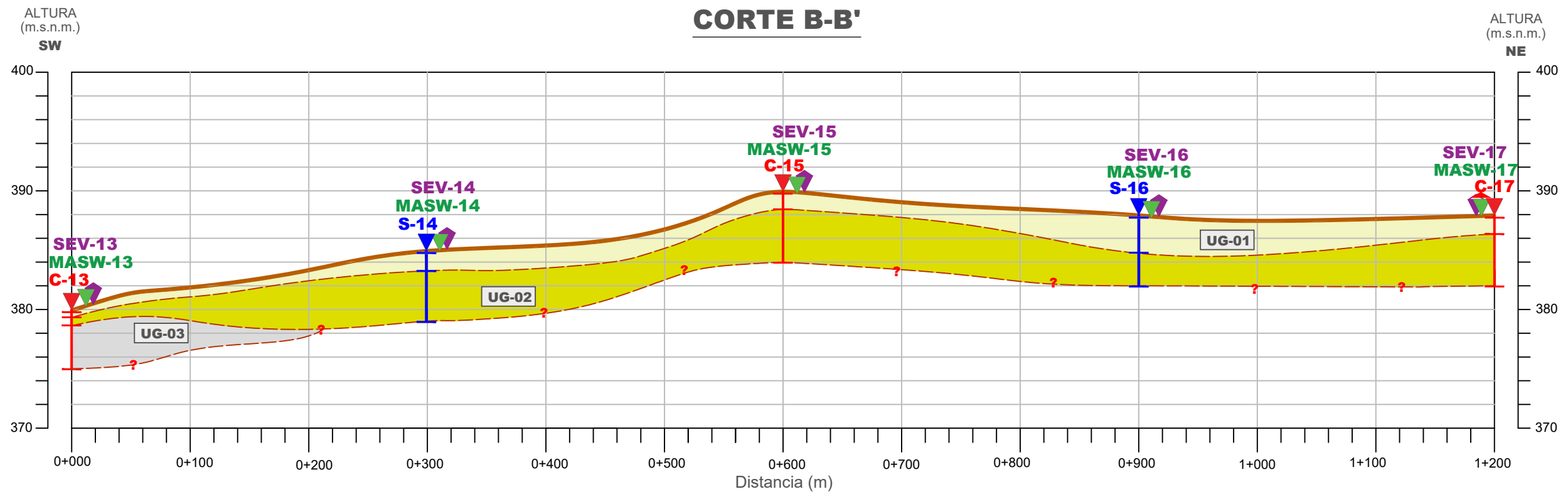
**SIMBOLOGÍA**

UG-01	SP-SM; Arena fina, color beige, mal gradada con limos
UG-02	SP-SM; Arena color marrón claro, mal gradada con limos y poca grava
UG-03	GP-GM; Grava mal gradada con arena y limos.

**SIMBOLOGÍA**

C	Calicata (C)	MASW	MASW
S	Sondaje (S)	SEV	SEV
(Brown line)	Superficie del Terreno	(Dashed red line)	Contacto Litoestratigráfico
(Yellow area with ?)	Desconocimiento de Continuación		

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN</b> Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia Escuela Profesional de Ingeniería Geológica-Geotecnia			
Tema: CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO Y DE LA SUBESTACIÓN TRANSFORMADORA DE ENERGÍA EN EL DISTRITO LAS LOMAS, PROVINCIA DE CARAVELI, REGIÓN DE AREQUIPA	Fecha: AGOSTO, 2025	Lamina N°: <b>A - 10a</b>	
Mapa: <b>SECCIONES GEOTÉCNICAS</b>	Revisado por: ING. FREDY CABRERA	Escala: INDICADA	
	Elaborado por: BACH. JUAN G. CHIPOCO PALO	Datum: WGS 84, ZONA 18 S	



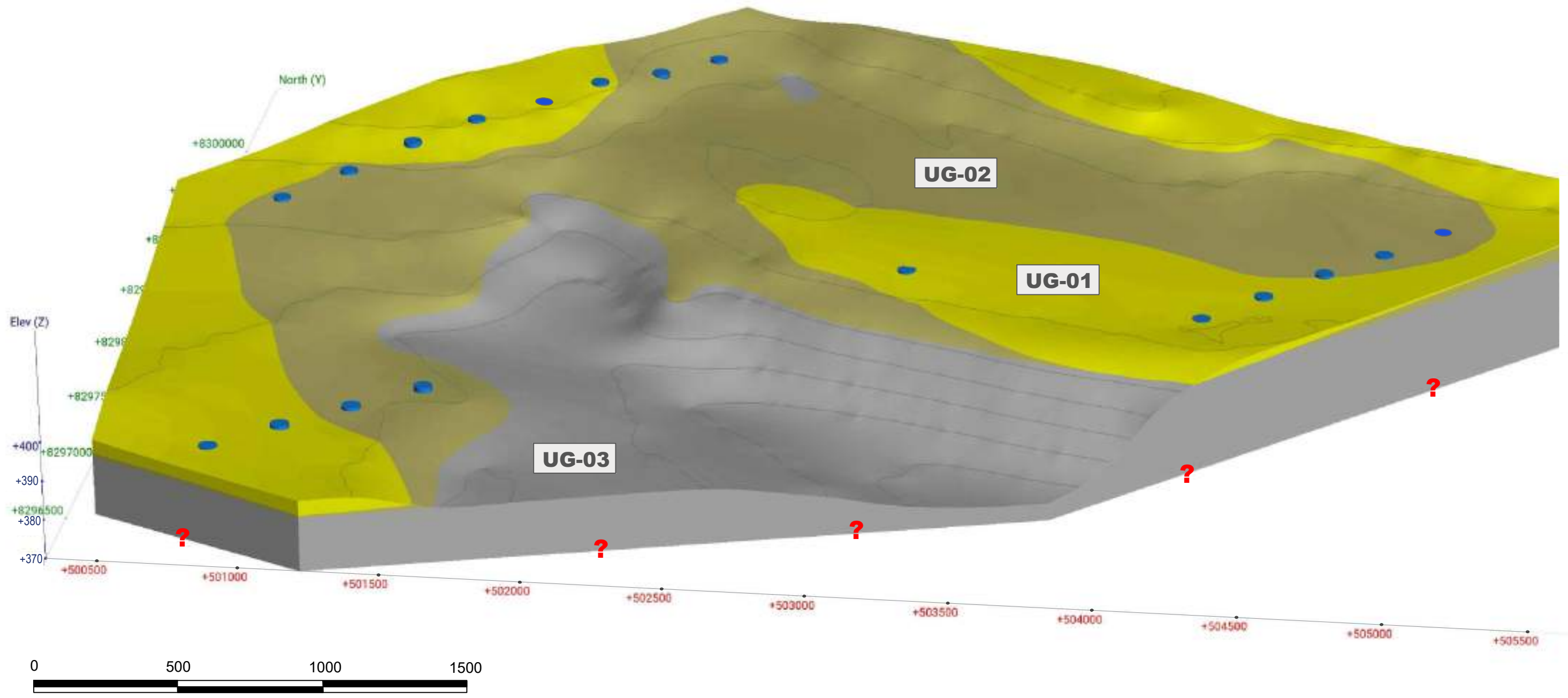
**SIMBOLOGÍA**

<span style="color: red;">▼</span> C	Calicata (C)	<span style="color: green;">▼</span> MASW	MASW
<span style="color: blue;">▼</span> S	Sondaje (S)	<span style="color: purple;">▼</span> SEV	SEV
	Superficie del Terreno		
	Contacto Litoestratigráfico		
<span style="color: red;">?</span>	Desconocimiento de Continuación		

**SIMBOLOGÍA**



<span style="background-color: #f0f0f0; border: 1px solid black; padding: 2px;">UG-01</span>	SP-SM; Arena fina, color beige, mal gradada con limos
<span style="background-color: #fff2cc; border: 1px solid black; padding: 2px;">UG-02</span>	SP-SM; Arena color marrón claro, mal gradada con limos y poca grava
<span style="background-color: #cccccc; border: 1px solid black; padding: 2px;">UG-03</span>	GP-GM; Grava mal gradada con arena y limos.

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN</b> Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia Escuela Profesional de Ingeniería Geológica-Geotecnia		
Tema: CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO Y DE LA SUBESTACIÓN TRANSFORMADORA DE ENERGÍA EN EL DISTRITO LAS LOMAS, PROVINCIA DE CARAVELI, REGIÓN DE AREQUIPA	Fecha: AGOSTO, 2025	Lamina N°: <b>A- 10b</b>
Mapa: <b>SECCIONES GEOTÉCNICAS</b>	Revisado por: ING. FREDY CABRERA	Escala: INDICADA
	Elaborado por: BACH. JUAN G. CHIPOCO PALO	Datum: WGS 84, ZONA 18 S



**SIMBOLOGÍA**

<b>UG-01</b>	SP-SM; Arena fina, color beige, mal gradada con limos
<b>UG-02</b>	SP-SM; Arena color marrón claro, mal gradada con limos y poca grava
<b>UG-03</b>	GP-GM; Grava mal gradada con arena y limos.

 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN</b> Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia Escuela Profesional de Ingeniería Geológica-Geotecnia					
Tema: CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO Y DE LA SUBESTACIÓN TRANSFORMADORA DE ENERGÍA EN EL DISTRITO LAS LOMAS, PROVINCIA DE CARAVELI, REGIÓN DE AREQUIPA		Fecha: AGOSTO, 2025		Lamina N°: <b>A - 11</b>	
Mapa: <b>MODELO GEOTÉCNICO</b>		Revisado por: ING. FREDY CABRERA		Escala: INDICADA	
		Elaborado por: BACH. JUAN G. CHIPOCO PALO		Datum: WGS 84, ZONA 18 S	

## **ANEXO B**

### **Investigaciones Geotécnicas**

*Anexo B.1.*

## **Exploración Indirecta**

***ENSAYO DE MASW***

## ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA POR EL MÉTODO DE MASW

Ensayo Geofísico

**MASW-01**

Vs30 (m/s)

**800,3**

Tipo de Suelo - IBC

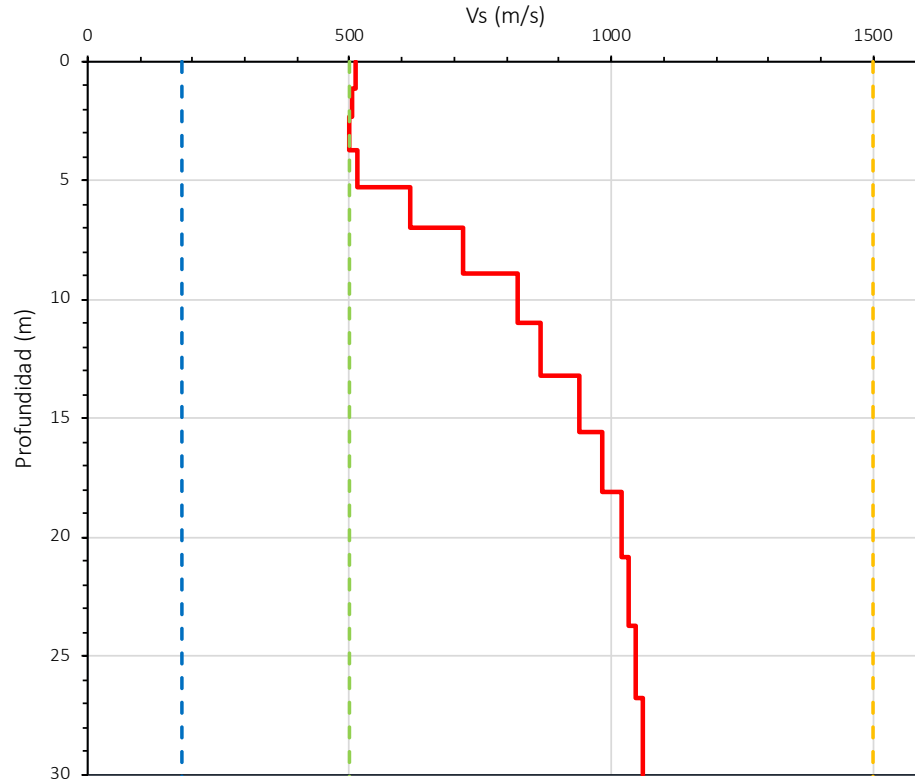
**B**

Tipo de Suelo - NTP E-030

**S1**

Prof. (m)	Vs (m/s)
0,0	423,7
1,1	403,4
2,3	377,4
3,7	408,9
5,3	465,0
7,0	590,0
8,9	741,0
11,0	835,1
13,2	977,6
15,6	1005,1
18,1	1017,0
20,9	1017,8
23,7	1012,9
26,8	1007,0
36,4	1024,4

Perfil 1D de Vs



**ESTUDIO: EMPLAZAMIENTO PARA PARQUE EÓLICO**

**Clasificación de Sitio según IBC 2015**

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
A	$V_s > 1500$	Roca muy dura
B	$760 < V_s \leq 1500$	Roca
C	$360 < V_s \leq 760$	Suelo muy denso o roca blanda
D	$180 \leq V_s \leq 360$	Suelo rígido
E	$V_s < 180$	Suelo blando

**Clasificación de Sitio según NTP E-30**

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Roca o Suelos muy rígidos
S2	$180 < V_s < 500$	Suelos Intermedios
S3	$V_s < 180$	Suelos Blandos

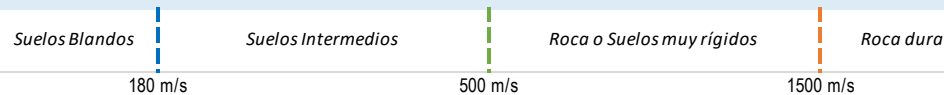
Coordenadas

WGS84 / UTM 19S

Este	Norte
500739.00	8298547.00

**Velocidad de la onda de corte Vs (m/s)**

*Descripción de Materiales según su Velocidad de Onda de Corte (Vs)*



**IG PARQUE EÓLICO**

**MASW-01**

Elaborado por:	ACH	Aprobado por:	JZH
Revisión:	GFJ	Fecha:	ABRIL 2023

## ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA POR EL MÉTODO DE MASW

Ensayo Geofísico

MASW-02

Vs30 (m/s)

483,9

Tipo de Suelo - IBC

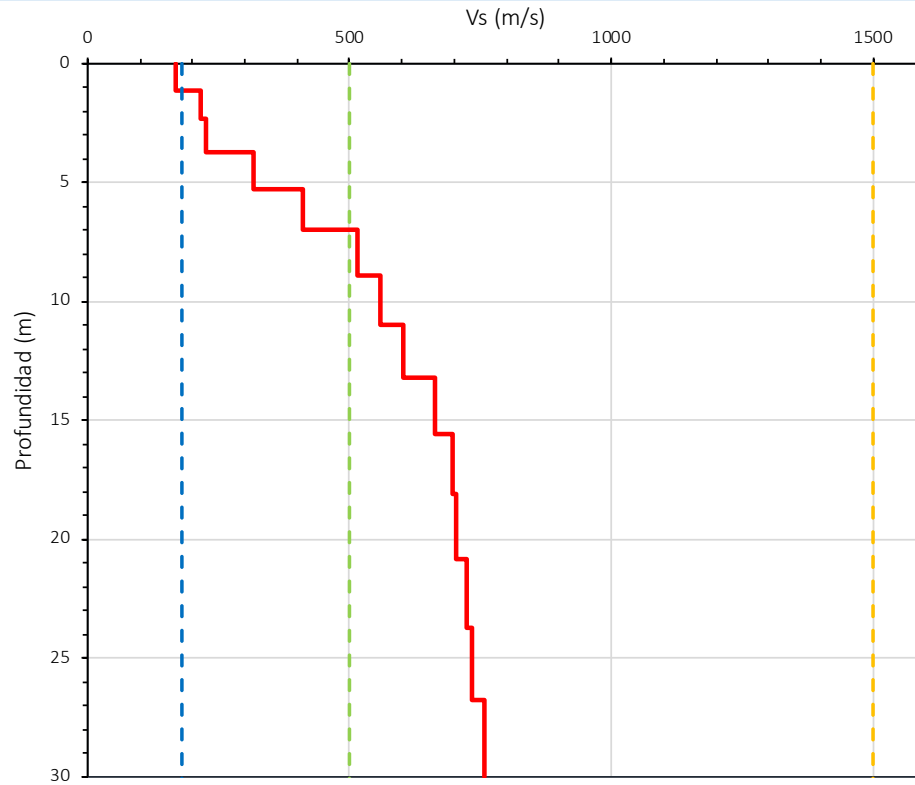
C

Tipo de Suelo - NTP E-030

S2

Prof. (m)	Vs (m/s)
0,0	168,2
1,1	217,5
2,3	225,7
3,7	316,6
5,3	412,5
7,0	515,4
8,9	557,8
11,0	604,1
13,2	663,4
15,6	698,2
18,1	705,0
20,9	724,6
23,7	733,3
26,8	757,4
36,4	779,9

Perfil 1D de Vs



ESTUDIO: EMPLAZAMIENTO PARA PARQUE EÓLICO

**Clasificación de Sitio según IBC 2015**

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
A	$V_s > 1500$	Roca muy dura
B	$760 < V_s \leq 1500$	Roca
C	$360 < V_s \leq 760$	Suelo muy denso o roca blanda
D	$180 \leq V_s \leq 360$	Suelo rígido
E	$V_s < 180$	Suelo blando

**Clasificación de Sitio según NTP E-30**

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Roca o Suelos muy rígidos
S2	$180 < V_s < 500$	Suelos Intermedios
S3	$V_s < 180$	Suelos Blandos

Coordenadas

WGS84 / UTM 19S

Este

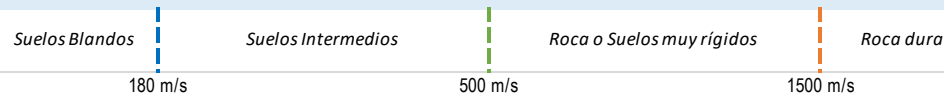
Norte

500960.00

8298763.00

↙ Velocidad de la onda de corte Vs (m/s)

Descripción de Materiales según su Velocidad de Onda de Corte (Vs)



**IG PARQUE EÓLICO**

**MASW-02**

Elaborado por:	ACH	Aprobado por:	JZH
Revisión:	GFJ	Fecha:	ABRIL 2023

## ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA POR EL MÉTODO DE MASW

Ensayo Geofísico

**MASW-03**

Vs30 (m/s)

**488,2**

Tipo de Suelo - IBC

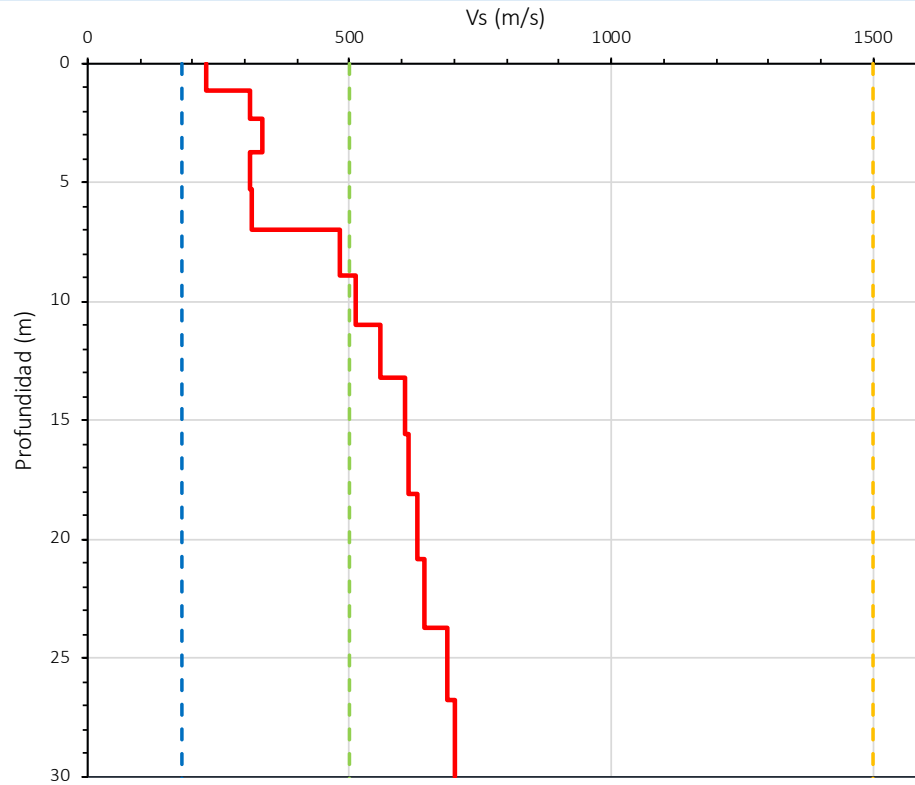
**C**

Tipo de Suelo - NTP E-030

**S2**

Prof. (m)	Vs (m/s)
0,0	226,4
1,1	308,5
2,3	332,6
3,7	310,7
5,3	312,5
7,0	481,0
8,9	512,5
11,0	559,6
13,2	605,3
15,6	613,9
18,1	628,7
20,9	642,8
23,7	687,9
26,8	701,1
36,4	718,5

Perfil 1D de Vs



**ESTUDIO: EMPLAZAMIENTO PARA PARQUE EÓLICO**

### Clasificación de Sitio según IBC 2015

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
A	$V_s > 1500$	Roca muy dura
B	$760 < V_s \leq 1500$	Roca
C	$360 < V_s \leq 760$	Suelo muy denso o roca blanda
D	$180 \leq V_s \leq 360$	Suelo rígido
E	$V_s < 180$	Suelo blando

### Clasificación de Sitio según NTP E-30

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Roca o Suelos muy rígidos
S2	$180 < V_s < 500$	Suelos Intermedios
S3	$V_s < 180$	Suelos Blandos

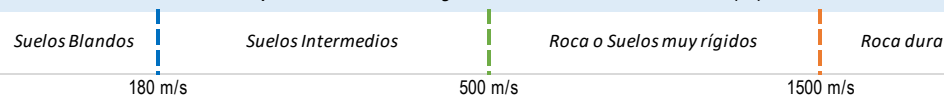
Coordenadas

WGS84 / UTM 19S

Este	Norte
501173.00	8298973.00

Velocidad de la onda de corte Vs (m/s)

Descripción de Materiales según su Velocidad de Onda de Corte (Vs)



**IG PARQUE EÓLICO**

**MASW-03**

Elaborado por:	ACH	Aprobado por:	JZH
Revisión:	GFJ	Fecha:	ABRIL 2023

## ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA POR EL MÉTODO DE MASW

Ensayo Geofísico

MASW-04

Vs30 (m/s)

388,9

Tipo de Suelo - IBC

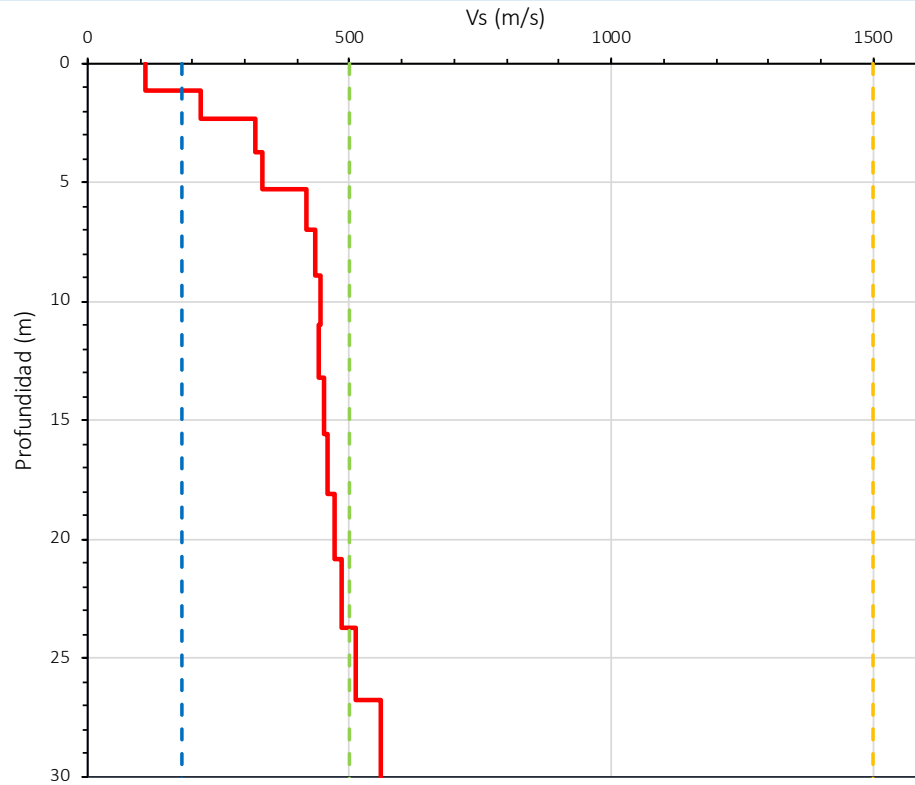
C

Tipo de Suelo - NTP E-030

S2

Prof. (m)	Vs (m/s)
0,0	110,3
1,1	214,7
2,3	318,5
3,7	335,2
5,3	416,9
7,0	435,7
8,9	445,9
11,0	440,2
13,2	451,7
15,6	457,8
18,1	470,0
20,9	485,8
23,7	512,2
26,8	559,6
36,4	601,7

Perfil 1D de Vs



ESTUDIO: EMPLAZAMIENTO PARA PARQUE EÓLICO

Clasificación de Sitio según IBC 2015

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
A	$V_s > 1500$	Roca muy dura
B	$760 < V_s \leq 1500$	Roca
C	$360 < V_s \leq 760$	Suelo muy denso o roca blanda
D	$180 \leq V_s \leq 360$	Suelo rígido
E	$V_s < 180$	Suelo blando

Clasificación de Sitio según NTP E-30

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Roca o Suelos muy rígidos
S2	$180 < V_s < 500$	Suelos Intermedios
S3	$V_s < 180$	Suelos Blandos

Coordenadas

WGS84 / UTM 19S

Este

Norte

501390.00

8299179.00

↙ Velocidad de la onda de corte Vs (m/s)

Descripción de Materiales según su Velocidad de Onda de Corte (Vs)



IG PARQUE EÓLICO

MASW-04

Elaborado por:	ACH	Aprobado por:	JZH
Revisión:	GFJ	Fecha:	ABRIL 2023

## ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA POR EL MÉTODO DE MASW

Ensayo Geofísico

MASW-05

Vs30 (m/s)

408,3

Tipo de Suelo - IBC

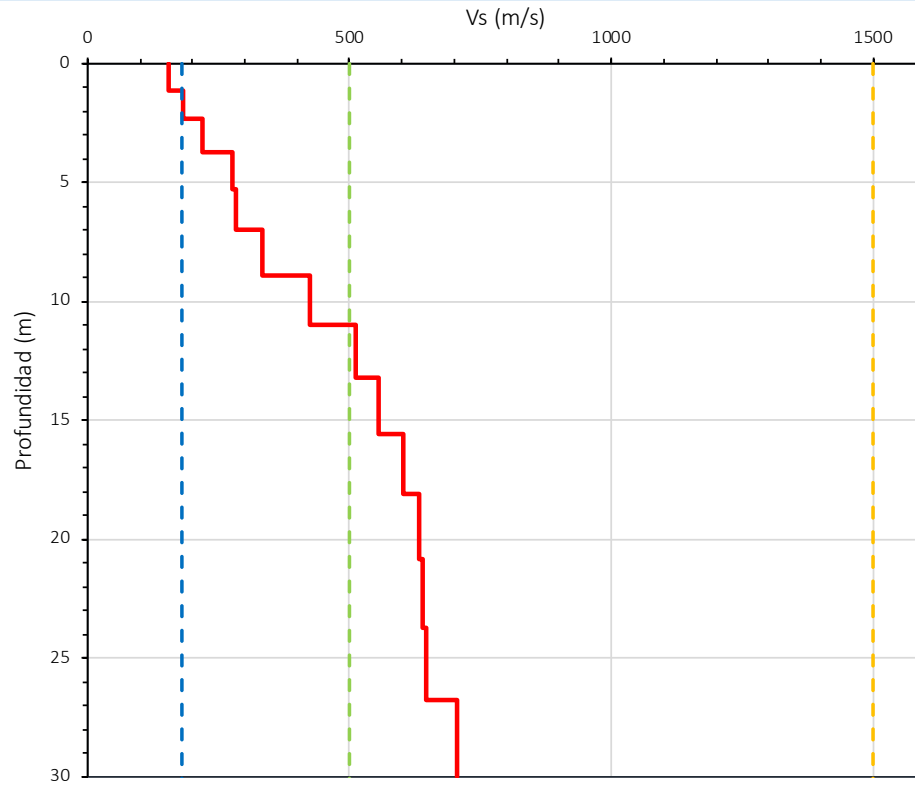
C

Tipo de Suelo - NTP E-030

S2

Prof. (m)	Vs (m/s)
0,0	154,7
1,1	181,5
2,3	218,9
3,7	276,8
5,3	282,1
7,0	332,5
8,9	425,5
11,0	512,3
13,2	556,8
15,6	601,4
18,1	632,7
20,9	640,8
23,7	645,6
26,8	705,2
36,4	727,4

Perfil 1D de Vs



ESTUDIO: EMPLAZAMIENTO PARA PARQUE EÓLICO

### Clasificación de Sitio según IBC 2015

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
A	$V_s > 1500$	Roca muy dura
B	$760 < V_s \leq 1500$	Roca
C	$360 < V_s \leq 760$	Suelo muy denso o roca blanda
D	$180 \leq V_s \leq 360$	Suelo rígido
E	$V_s < 180$	Suelo blando

### Clasificación de Sitio según NTP E-30

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Roca o Suelos muy rígidos
S2	$180 < V_s < 500$	Suelos Intermedios
S3	$V_s < 180$	Suelos Blandos

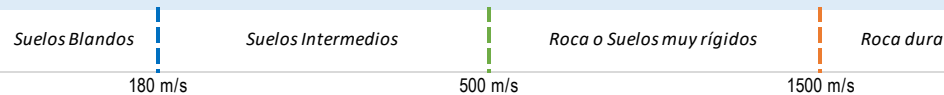
Coordenadas

WGS84 / UTM 19S

Este	Norte
501601.00	8299386.00

↙ Velocidad de la onda de corte Vs (m/s)

Descripción de Materiales según su Velocidad de Onda de Corte (Vs)



IG PARQUE EÓLICO

MASW-05

Elaborado por:	ACH	Aprobado por:	JZH
Revisión:	GFJ	Fecha:	ABRIL 2023

## ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA POR EL MÉTODO DE MASW

Ensayo Geofísico

MASW-06

Vs30 (m/s)

407,0

Tipo de Suelo - IBC

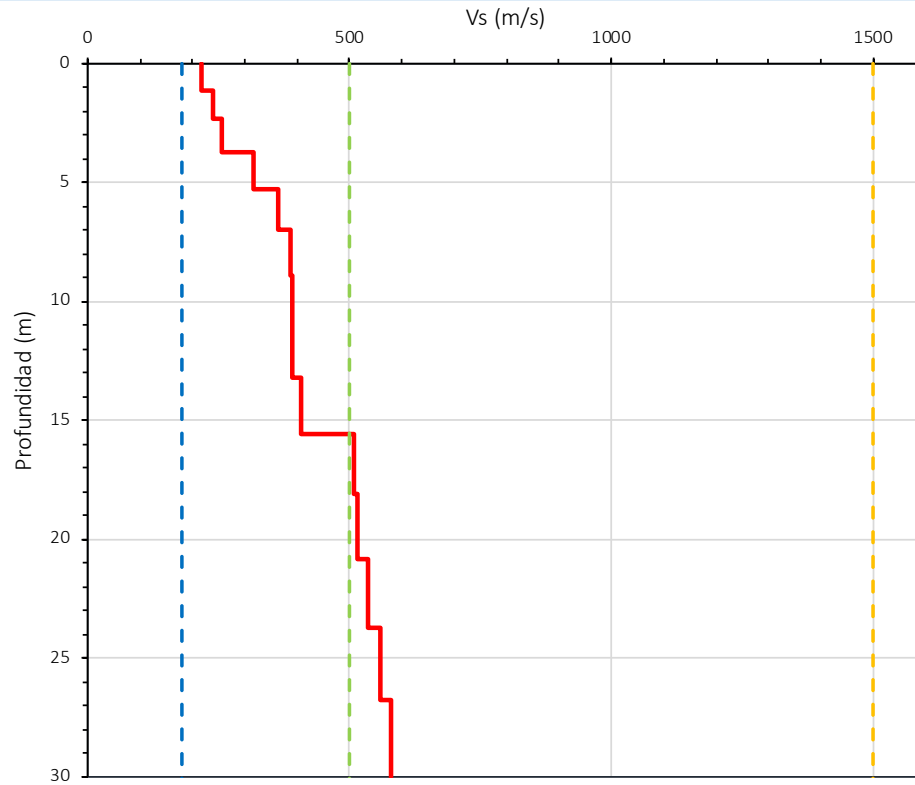
C

Tipo de Suelo - NTP E-030

S2

Prof. (m)	Vs (m/s)
0,0	217,4
1,1	238,4
2,3	254,8
3,7	315,6
5,3	365,1
7,0	388,6
8,9	390,0
11,0	391,3
13,2	408,2
15,6	509,5
18,1	516,7
20,9	534,9
23,7	558,6
26,8	579,2
36,4	600,7

Perfil 1D de Vs



ESTUDIO: EMPLAZAMIENTO PARA PARQUE EÓLICO

Clasificación de Sitio según IBC 2015

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
A	$V_s > 1500$	Roca muy dura
B	$760 < V_s \leq 1500$	Roca
C	$360 < V_s \leq 760$	Suelo muy denso o roca blanda
D	$180 \leq V_s \leq 360$	Suelo rígido
E	$V_s < 180$	Suelo blando

Clasificación de Sitio según NTP E-30

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Roca o Suelos muy rígidos
S2	$180 < V_s < 500$	Suelos Intermedios
S3	$V_s < 180$	Suelos Blandos

Coordenadas

WGS84 / UTM 19S

Este

Norte

501815.00

8299596.00

↙ Velocidad de la onda de corte Vs (m/s)

Descripción de Materiales según su Velocidad de Onda de Corte (Vs)



IG PARQUE EÓLICO

MASW-06

Elaborado por:	ACH	Aprobado por:	JZH
Revisión:	GFJ	Fecha:	ABRIL 2023

## ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA POR EL MÉTODO DE MASW

Ensayo Geofísico

MASW-07

Vs30 (m/s)

357,1

Tipo de Suelo - IBC

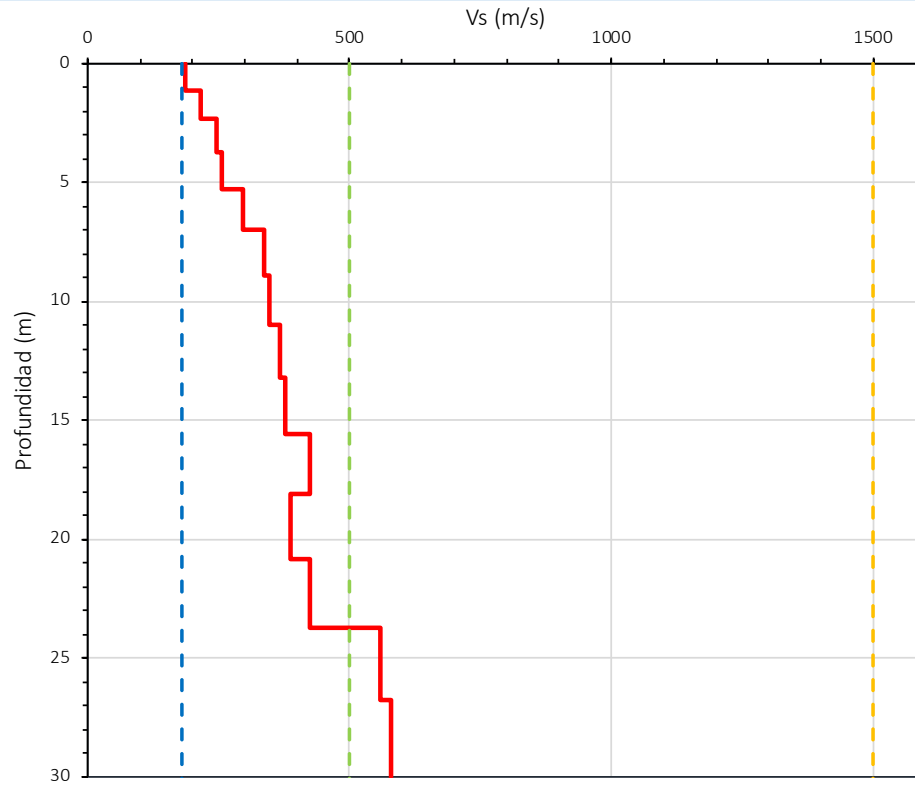
D

Tipo de Suelo - NTP E-030

S2

Prof. (m)	Vs (m/s)
0,0	186,4
1,1	215,9
2,3	246,6
3,7	254,8
5,3	296,1
7,0	338,0
8,9	347,6
11,0	366,5
13,2	375,8
15,6	425,7
18,1	386,1
20,9	422,9
23,7	558,6
26,8	579,2
36,4	602,2

Perfil 1D de Vs



ESTUDIO: EMPLAZAMIENTO PARA PARQUE EÓLICO

### Clasificación de Sitio según IBC 2015

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
A	$V_s > 1500$	Roca muy dura
B	$760 < V_s \leq 1500$	Roca
C	$360 < V_s \leq 760$	Suelo muy denso o roca blanda
D	$180 \leq V_s \leq 360$	Suelo rígido
E	$V_s < 180$	Suelo blando

### Clasificación de Sitio según NTP E-30

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Roca o Suelos muy rígidos
S2	$180 < V_s < 500$	Suelos Intermedios
S3	$V_s < 180$	Suelos Blandos

Coordenadas

WGS84 / UTM 19S

Este

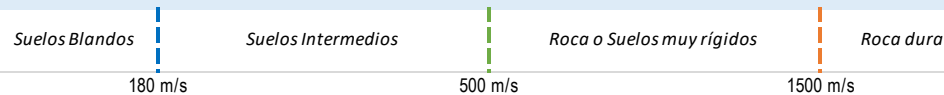
Norte

502029.00

8299802.00

↙ Velocidad de la onda de corte Vs (m/s)

Descripción de Materiales según su Velocidad de Onda de Corte (Vs)



IG PARQUE EÓLICO

MASW-07

Elaborado por:	ACH	Aprobado por:	JZH
Revisión:	GFJ	Fecha:	ABRIL 2023

## ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA POR EL MÉTODO DE MASW

Ensayo Geofísico

MASW-08

Vs30 (m/s)

387,4

Tipo de Suelo - IBC

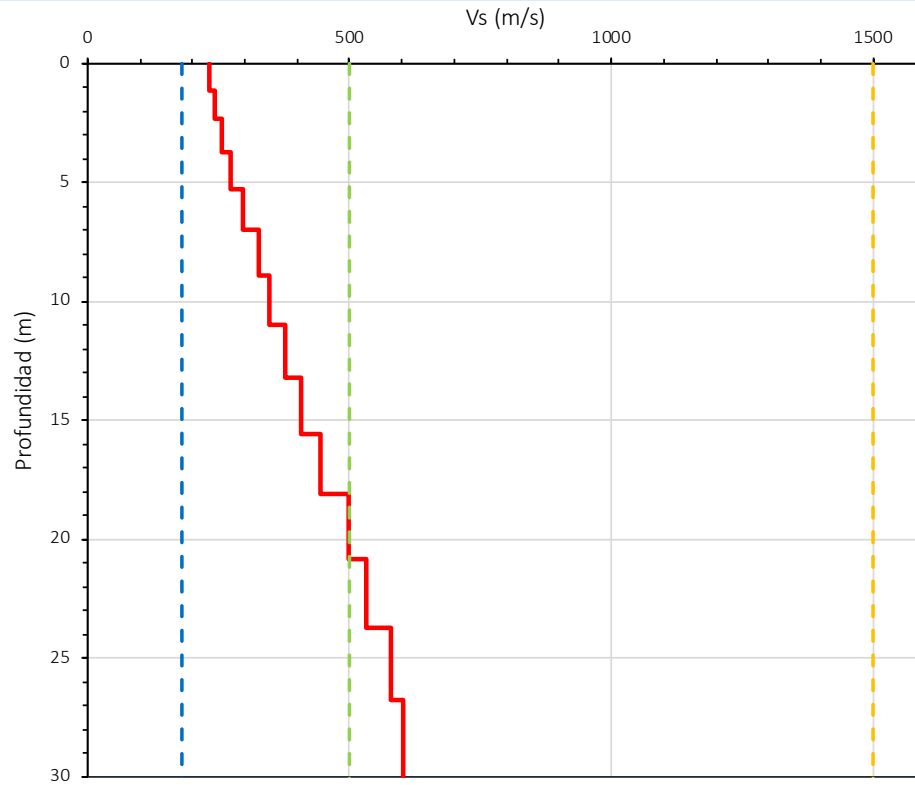
C

Tipo de Suelo - NTP E-030

S2

Prof. (m)	Vs (m/s)
0,0	232,4
1,1	242,7
2,3	256,0
3,7	274,1
5,3	297,5
7,0	328,5
8,9	348,1
11,0	376,8
13,2	406,5
15,6	445,8
18,1	497,3
20,9	530,6
23,7	577,7
26,8	602,4
36,4	616,8

Perfil 1D de Vs



ESTUDIO: EMPLAZAMIENTO PARA PARQUE EÓLICO

### Clasificación de Sitio según IBC 2015

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
A	$V_s > 1500$	Roca muy dura
B	$760 < V_s \leq 1500$	Roca
C	$360 < V_s \leq 760$	Suelo muy denso o roca blanda
D	$180 \leq V_s \leq 360$	Suelo rígido
E	$V_s < 180$	Suelo blando

### Clasificación de Sitio según NTP E-30

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Roca o Suelos muy rígidos
S2	$180 < V_s < 500$	Suelos Intermedios
S3	$V_s < 180$	Suelos Blandos

Coordenadas

WGS84 / UTM 19S

Este

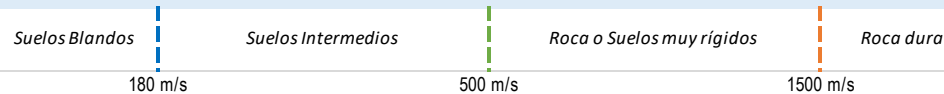
Norte

502236.00

8299997.00

↙ Velocidad de la onda de corte Vs (m/s)

Descripción de Materiales según su Velocidad de Onda de Corte (Vs)



IG PARQUE EÓLICO

MASW-08

Elaborado por:	ACH	Aprobado por:	JZH
Revisión:	GFJ	Fecha:	ABRIL 2023

## ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA POR EL MÉTODO DE MASW

Ensayo Geofísico

**MASW-09**

Vs30 (m/s)

**803,2**

Tipo de Suelo - IBC

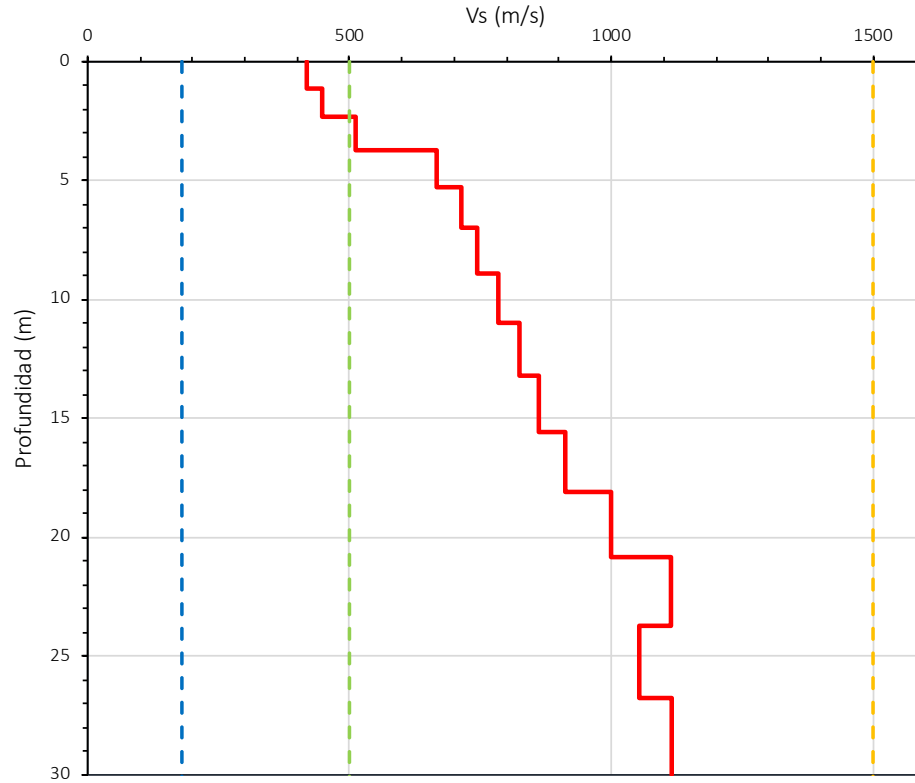
**B**

Tipo de Suelo - NTP E-030

**S1**

Prof. (m)	Vs (m/s)
0,0	418,5
1,1	447,6
2,3	513,4
3,7	667,8
5,3	712,5
7,0	743,9
8,9	785,2
11,0	825,3
13,2	861,8
15,6	913,4
18,1	1000,6
20,9	1113,7
23,7	1054,2
26,8	1115,1
36,4	1138,9

Perfil 1D de Vs



ESTUDIO: EMPLAZAMIENTO PARA PARQUE EÓLICO

**Clasificación de Sitio según IBC 2015**

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
A	$V_s > 1500$	Roca muy dura
B	$760 < V_s \leq 1500$	Roca
C	$360 < V_s \leq 760$	Suelo muy denso o roca blanda
D	$180 \leq V_s \leq 360$	Suelo rígido
E	$V_s < 180$	Suelo blando

**Clasificación de Sitio según NTP E-30**

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Roca o Suelos muy rígidos
S2	$180 < V_s < 500$	Suelos Intermedios
S3	$V_s < 180$	Suelos Blandos

Coordenadas

WGS84 / UTM 19S

Este

Norte

500833.00

8296538.00

Velocidad de la onda de corte Vs (m/s)

Descripción de Materiales según su Velocidad de Onda de Corte (Vs)



**IG PARQUE EÓLICO**

**MASW-09**

Elaborado por:	ACH	Aprobado por:	JZH
Revisión:	GFJ	Fecha:	ABRIL 2023

## ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA POR EL MÉTODO DE MASW

Ensayo Geofísico

MASW-10

Vs30 (m/s)

498,4

Tipo de Suelo - IBC

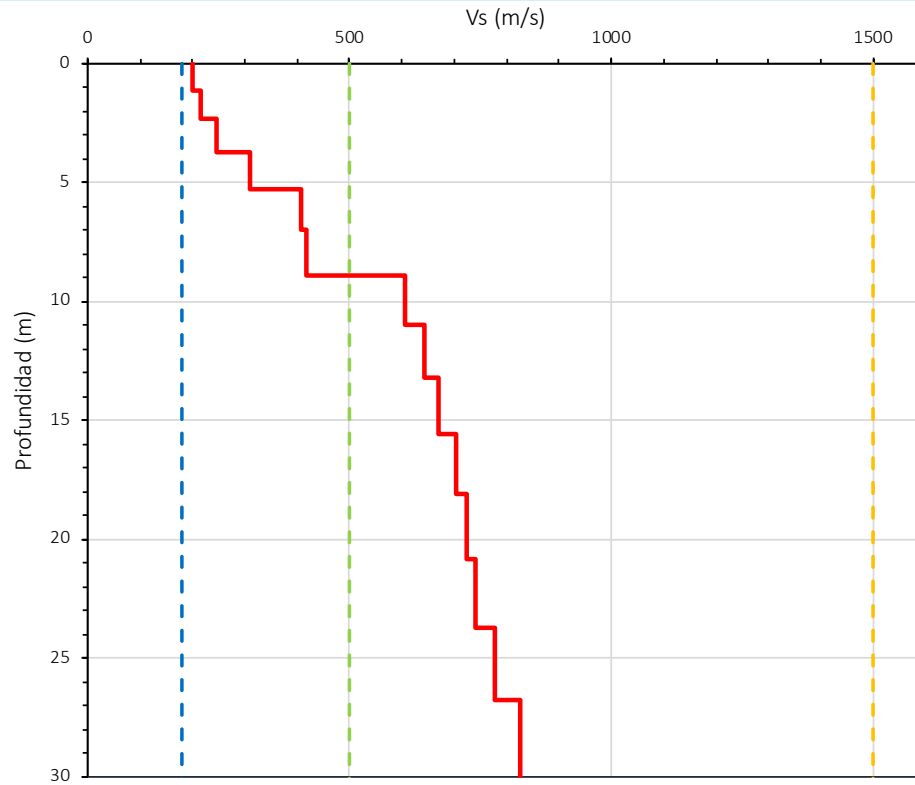
C

Tipo de Suelo - NTP E-030

S2

Prof. (m)	Vs (m/s)
0,0	200,3
1,1	215,8
2,3	244,8
3,7	308,7
5,3	408,4
7,0	416,9
8,9	604,7
11,0	643,4
13,2	668,5
15,6	704,2
18,1	725,0
20,9	740,1
23,7	778,4
26,8	825,8
36,4	853,8

Perfil 1D de Vs



ESTUDIO: EMPLAZAMIENTO PARA PARQUE EÓLICO

Clasificación de Sitio según IBC 2015

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
A	$V_s > 1500$	Roca muy dura
B	$760 < V_s \leq 1500$	Roca
C	$360 < V_s \leq 760$	Suelo muy denso o roca blanda
D	$180 \leq V_s \leq 360$	Suelo rígido
E	$V_s < 180$	Suelo blando

Clasificación de Sitio según NTP E-30

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Roca o Suelos muy rígidos
S2	$180 < V_s < 500$	Suelos Intermedios
S3	$V_s < 180$	Suelos Blandos

Coordenadas

WGS84 / UTM 19S

Este

Norte

501053.00

8296745.00

↙ Velocidad de la onda de corte Vs (m/s)

Descripción de Materiales según su Velocidad de Onda de Corte (Vs)



IG PARQUE EÓLICO

MASW-10

Elaborado por:	ACH	Aprobado por:	JZH
Revisión:	GFJ	Fecha:	ABRIL 2023

## ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA POR EL MÉTODO DE MASW

Ensayo Geofísico

MASW-11

Vs30 (m/s)

723,5

Tipo de Suelo - IBC

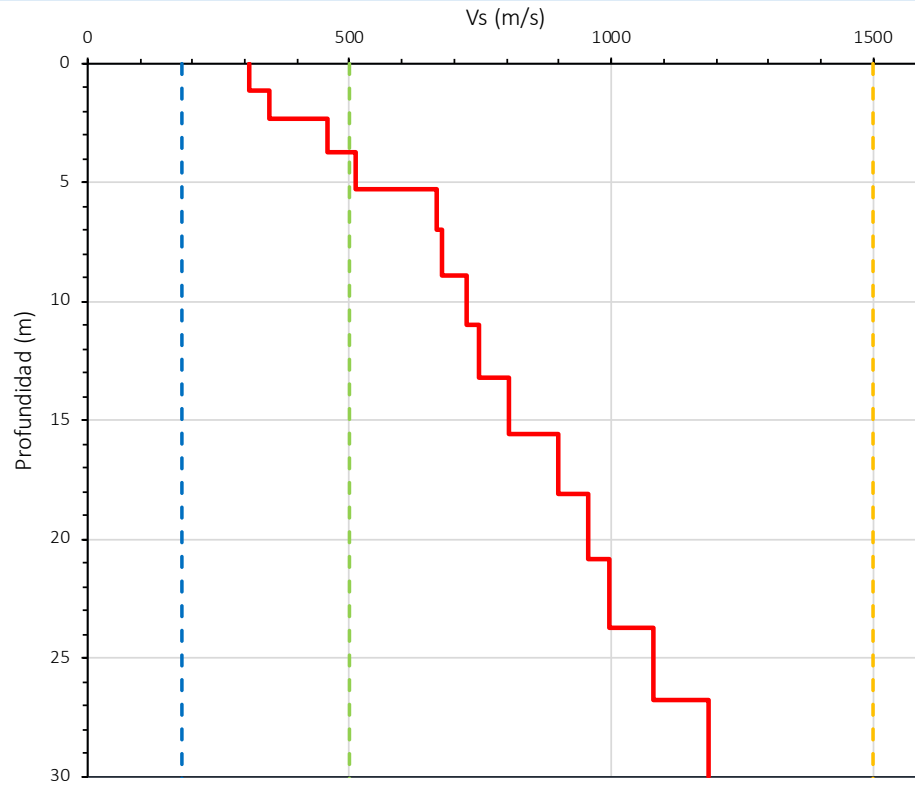
C

Tipo de Suelo - NTP E-030

S1

Prof. (m)	Vs (m/s)
0,0	308,6
1,1	347,4
2,3	458,9
3,7	513,4
5,3	667,3
7,0	675,9
8,9	722,1
11,0	748,5
13,2	804,5
15,6	900,0
18,1	954,5
20,9	994,6
23,7	1078,9
26,8	1185,4
36,4	1201,3

Perfil 1D de Vs



ESTUDIO: EMPLAZAMIENTO PARA PARQUE EÓLICO

**Clasificación de Sitio según IBC 2015**

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
A	$V_s > 1500$	Roca muy dura
B	$760 < V_s \leq 1500$	Roca
C	$360 < V_s \leq 760$	Suelo muy denso o roca blanda
D	$180 \leq V_s \leq 360$	Suelo rígido
E	$V_s < 180$	Suelo blando

**Clasificación de Sitio según NTP E-30**

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Roca o Suelos muy rígidos
S2	$180 < V_s < 500$	Suelos Intermedios
S3	$V_s < 180$	Suelos Blandos

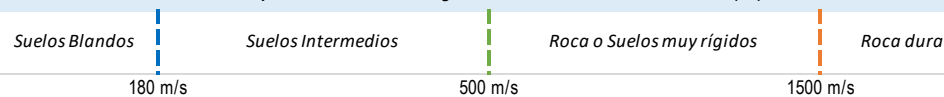
Coordenadas

WGS84 / UTM 19S

Este	Norte
501276.00	8296945.00

↙ Velocidad de la onda de corte Vs (m/s)

Descripción de Materiales según su Velocidad de Onda de Corte (Vs)



**IG PARQUE EÓLICO**

**MASW-11**

Elaborado por:	ACH	Aprobado por:	JZH
Revisión:	GFJ	Fecha:	ABRIL 2023

## ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA POR EL MÉTODO DE MASW

Ensayo Geofísico

MASW-12

Vs30 (m/s)

491,7

Tipo de Suelo - IBC

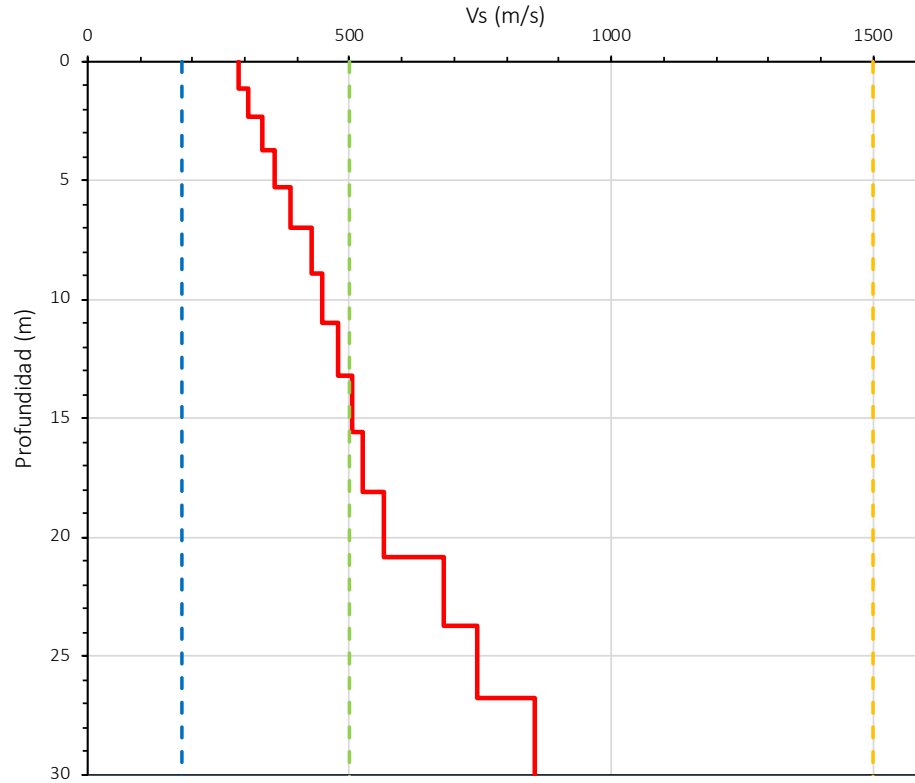
C

Tipo de Suelo - NTP E-030

S2

Prof. (m)	Vs (m/s)
0,0	288,3
1,1	307,4
2,3	335,1
3,7	355,9
5,3	387,2
7,0	428,0
8,9	447,3
11,0	477,9
13,2	503,6
15,6	525,8
18,1	566,2
20,9	678,7
23,7	743,9
26,8	853,6
36,4	978,5

Perfil 1D de Vs



ESTUDIO: EMPLAZAMIENTO PARA PARQUE EÓLICO

Clasificación de Sitio según IBC 2015

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
A	$V_s > 1500$	Roca muy dura
B	$760 < V_s \leq 1500$	Roca
C	$360 < V_s \leq 760$	Suelo muy denso o roca blanda
D	$180 \leq V_s \leq 360$	Suelo rígido
E	$V_s < 180$	Suelo blando

Clasificación de Sitio según NTP E-30

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Roca o Suelos muy rígidos
S2	$180 < V_s < 500$	Suelos Intermedios
S3	$V_s < 180$	Suelos Blandos

Coordenadas

WGS84 / UTM 19S

Este

Norte

501503.00

8297157.00

↙ Velocidad de la onda de corte Vs (m/s)

Descripción de Materiales según su Velocidad de Onda de Corte (Vs)



IG PARQUE EÓLICO

MASW-12

Elaborado por:	ACH	Aprobado por:	JZH
Revisión:	GFJ	Fecha:	ABRIL 2023

## ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA POR EL MÉTODO DE MASW

Ensayo Geofísico

MASW-13

Vs30 (m/s)

509,5

Tipo de Suelo - IBC

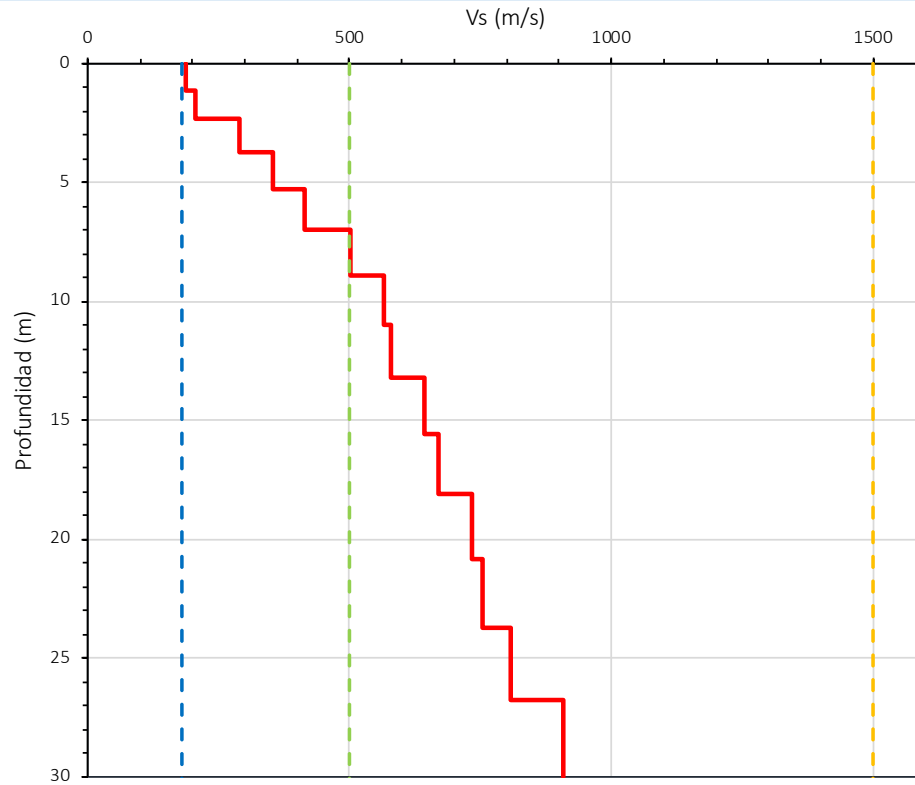
C

Tipo de Suelo - NTP E-030

S1

Prof. (m)	Vs (m/s)
0,0	187,4
1,1	204,4
2,3	289,1
3,7	354,6
5,3	413,7
7,0	501,9
8,9	565,6
11,0	578,4
13,2	643,8
15,6	668,4
18,1	732,8
20,9	755,5
23,7	806,8
26,8	908,0
36,4	975,5

Perfil 1D de Vs



ESTUDIO: EMPLAZAMIENTO PARA PARQUE EÓLICO

Clasificación de Sitio según IBC 2015

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
A	$V_s > 1500$	Roca muy dura
B	$760 < V_s \leq 1500$	Roca
C	$360 < V_s \leq 760$	Suelo muy denso o roca blanda
D	$180 \leq V_s \leq 360$	Suelo rígido
E	$V_s < 180$	Suelo blando

Clasificación de Sitio según NTP E-30

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Roca o Suelos muy rígidos
S2	$180 < V_s < 500$	Suelos Intermedios
S3	$V_s < 180$	Suelos Blandos

Coordenadas

WGS84 / UTM 19S

Este

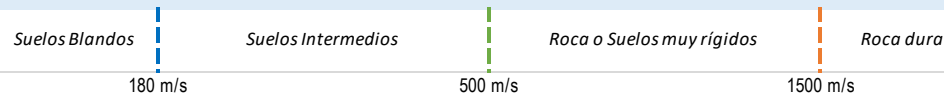
Norte

504274.00

8297839.00

↙ Velocidad de la onda de corte Vs (m/s)

Descripción de Materiales según su Velocidad de Onda de Corte (Vs)



IG PARQUE EÓLICO

MASW-13

Elaborado por:	ACH	Aprobado por:	JZH
Revisión:	GFJ	Fecha:	ABRIL 2023

## ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA POR EL MÉTODO DE MASW

Ensayo Geofísico

MASW-14

Vs30 (m/s)

436,8

Tipo de Suelo - IBC

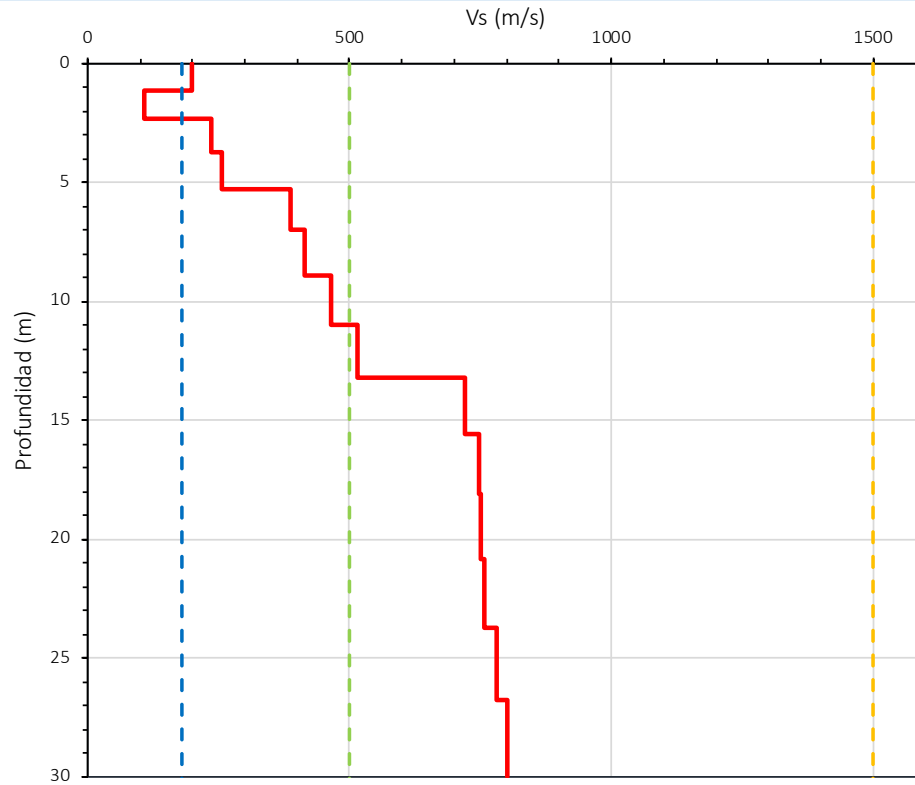
C

Tipo de Suelo - NTP E-030

S2

Prof. (m)	Vs (m/s)
0,0	199,5
1,1	108,1
2,3	234,5
3,7	254,8
5,3	387,9
7,0	413,5
8,9	465,7
11,0	516,8
13,2	719,7
15,6	745,5
18,1	751,3
20,9	758,5
23,7	779,8
26,8	801,1
36,4	824,2

Perfil 1D de Vs



ESTUDIO: EMPLAZAMIENTO PARA PARQUE EÓLICO

**Clasificación de Sitio según IBC 2015**

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
A	$V_s > 1500$	Roca muy dura
B	$760 < V_s \leq 1500$	Roca
C	$360 < V_s \leq 760$	Suelo muy denso o roca blanda
D	$180 \leq V_s \leq 360$	Suelo rígido
E	$V_s < 180$	Suelo blando

**Clasificación de Sitio según NTP E-30**

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Roca o Suelos muy rígidos
S2	$180 < V_s < 500$	Suelos Intermedios
S3	$V_s < 180$	Suelos Blandos

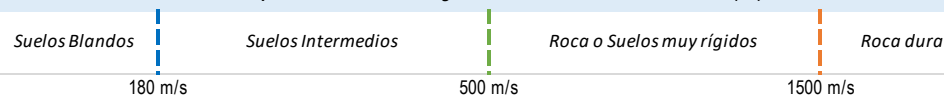
Coordenadas

WGS84 / UTM 19S

Este	Norte
504490.00	8298048.00

↙ Velocidad de la onda de corte Vs (m/s)

Descripción de Materiales según su Velocidad de Onda de Corte (Vs)



**IG PARQUE EÓLICO**

**MASW-14**

Elaborado por:	ACH	Aprobado por:	JZH
Revisión:	GFJ	Fecha:	ABRIL 2023

## ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA POR EL MÉTODO DE MASW

Ensayo Geofísico

MASW-15

Vs30 (m/s)

398,7

Tipo de Suelo - IBC

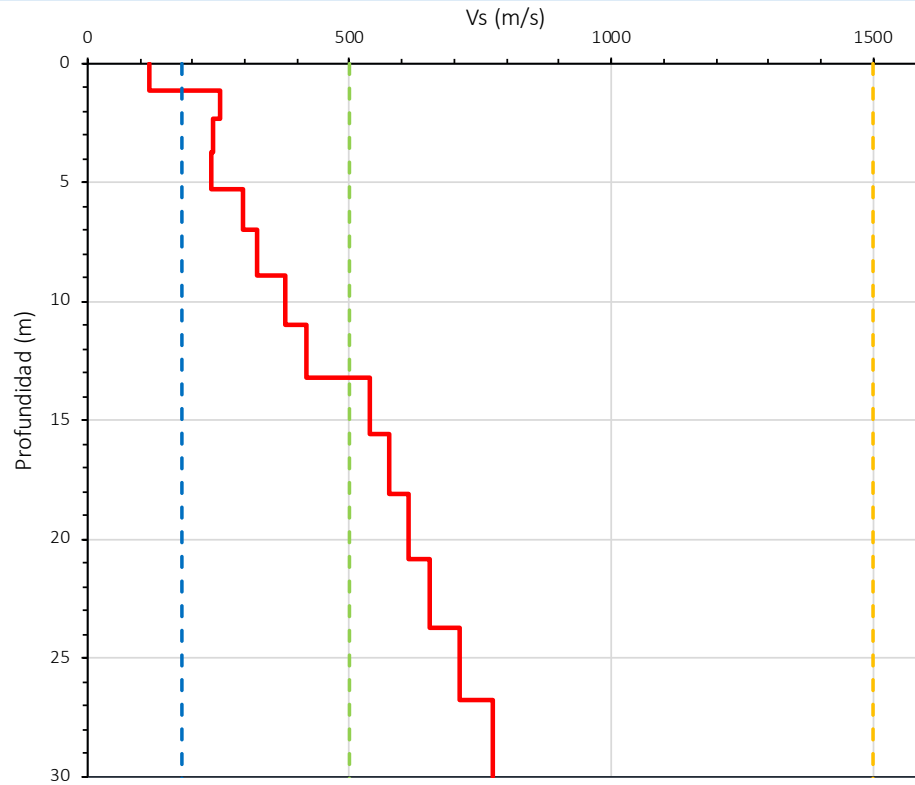
C

Tipo de Suelo - NTP E-030

S2

Prof. (m)	Vs (m/s)
0,0	117,8
1,1	254,4
2,3	240,6
3,7	234,6
5,3	298,0
7,0	323,5
8,9	376,4
11,0	417,4
13,2	538,9
15,6	576,0
18,1	612,1
20,9	651,8
23,7	709,2
26,8	773,4
36,4	808,7

Perfil 1D de Vs



ESTUDIO: EMPLAZAMIENTO PARA PARQUE EÓLICO

Clasificación de Sitio según IBC 2015

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
A	Vs > 1500	Roca muy dura
B	760 < Vs ≤ 1500	Roca
C	360 < Vs ≤ 760	Suelo muy denso o roca blanda
D	180 ≤ Vs ≤ 360	Suelo rígido
E	Vs < 180	Suelo blando

Clasificación de Sitio según NTP E-30

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
S0	Vs > 1500	Roca dura
S1	500 < Vs < 1500	Roca o Suelos muy rígidos
S2	180 < Vs < 500	Suelos Intermedios
S3	Vs < 180	Suelos Blandos

Coordenadas

WGS84 / UTM 19S

Este

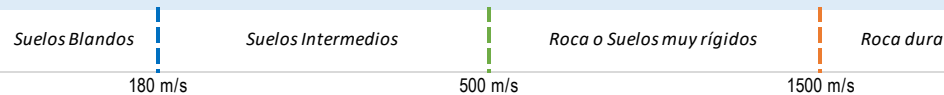
Norte

504705.00

8298256.00

↙ Velocidad de la onda de corte Vs (m/s)

Descripción de Materiales según su Velocidad de Onda de Corte (Vs)



IG PARQUE EÓLICO

MASW-15

Elaborado por:	ACH	Aprobado por:	JZH
Revisión:	GFJ	Fecha:	ABRIL 2023

## ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA POR EL MÉTODO DE MASW

Ensayo Geofísico

MASW-16

Vs30 (m/s)

485,2

Tipo de Suelo - IBC

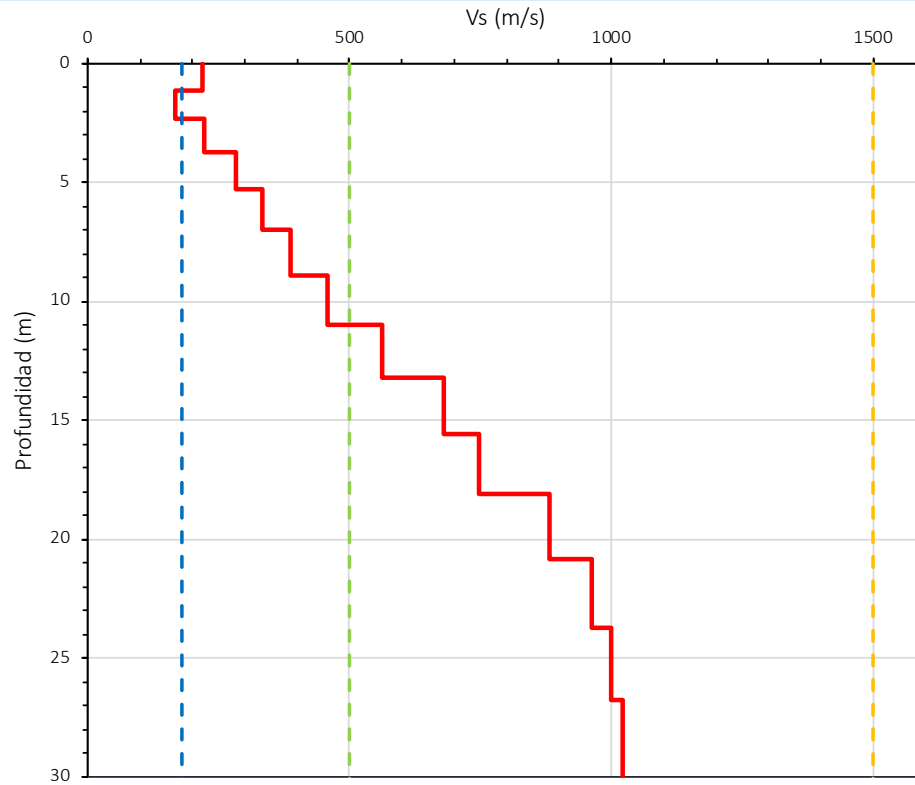
C

Tipo de Suelo - NTP E-030

S2

Prof. (m)	Vs (m/s)
0,0	220,2
1,1	167,3
2,3	222,1
3,7	283,4
5,3	332,4
7,0	386,1
8,9	457,5
11,0	561,4
13,2	680,9
15,6	748,6
18,1	882,0
20,9	962,3
23,7	1000,1
26,8	1021,3
36,4	1024,1

Perfil 1D de Vs



ESTUDIO: EMPLAZAMIENTO PARA PARQUE EÓLICO

**Clasificación de Sitio según IBC 2015**

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
A	Vs > 1500	Roca muy dura
B	760 < Vs ≤ 1500	Roca
C	360 < Vs ≤ 760	Suelo muy denso o roca blanda
D	180 ≤ Vs ≤ 360	Suelo rígido
E	Vs < 180	Suelo blando

**Clasificación de Sitio según NTP E-30**

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
S0	Vs > 1500	Roca dura
S1	500 < Vs < 1500	Roca o Suelos muy rígidos
S2	180 < Vs < 500	Suelos Intermedios
S3	Vs < 180	Suelos Blandos

Coordenadas

WGS84 / UTM 19S

Este

Norte

504920.00

8298464.00

↙ Velocidad de la onda de corte Vs (m/s)

*Descripción de Materiales según su Velocidad de Onda de Corte (Vs)*



**IG PARQUE EÓLICO**

**MASW-16**

Elaborado por:	ACH	Aprobado por:	JZH
Revisión:	GFJ	Fecha:	ABRIL 2023

## ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA POR EL MÉTODO DE MASW

Ensayo Geofísico

MASW-17

Vs30 (m/s)

369,2

Tipo de Suelo - IBC

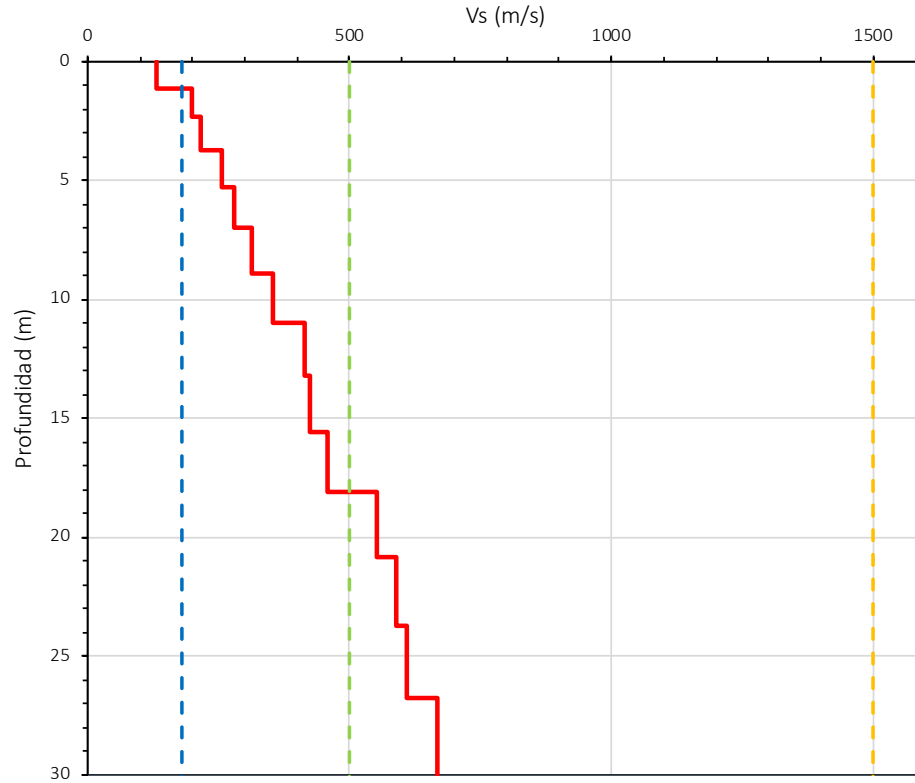
C

Tipo de Suelo - NTP E-030

S2

Prof. (m)	Vs (m/s)
0,0	131,5
1,1	200,4
2,3	216,3
3,7	254,8
5,3	278,3
7,0	314,7
8,9	354,6
11,0	415,8
13,2	424,8
15,6	456,5
18,1	553,3
20,9	590,0
23,7	609,3
26,8	667,6
36,4	679,3

Perfil 1D de Vs



ESTUDIO: EMPLAZAMIENTO PARA PARQUE EÓLICO

Clasificación de Sitio según IBC 2015

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
A	$V_s > 1500$	Roca muy dura
B	$760 < V_s \leq 1500$	Roca
C	$360 < V_s \leq 760$	Suelo muy denso o roca blanda
D	$180 \leq V_s \leq 360$	Suelo rígido
E	$V_s < 180$	Suelo blando

Clasificación de Sitio según NTP E-30

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Roca o Suelos muy rígidos
S2	$180 < V_s < 500$	Suelos Intermedios
S3	$V_s < 180$	Suelos Blandos

Coordenadas

WGS84 / UTM 19S

Este

Norte

505132.00

8298668.00

↙ Velocidad de la onda de corte Vs (m/s)

Descripción de Materiales según su Velocidad de Onda de Corte (Vs)



IG PARQUE EÓLICO

MASW-17

Elaborado por:	ACH	Aprobado por:	JZH
Revisión:	GFJ	Fecha:	ABRIL 2023

## ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA POR EL MÉTODO DE MASW

Ensayo Geofísico

**MASW-ESTACION**

Vs30 (m/s)

**564,0**

Tipo de Suelo - IBC

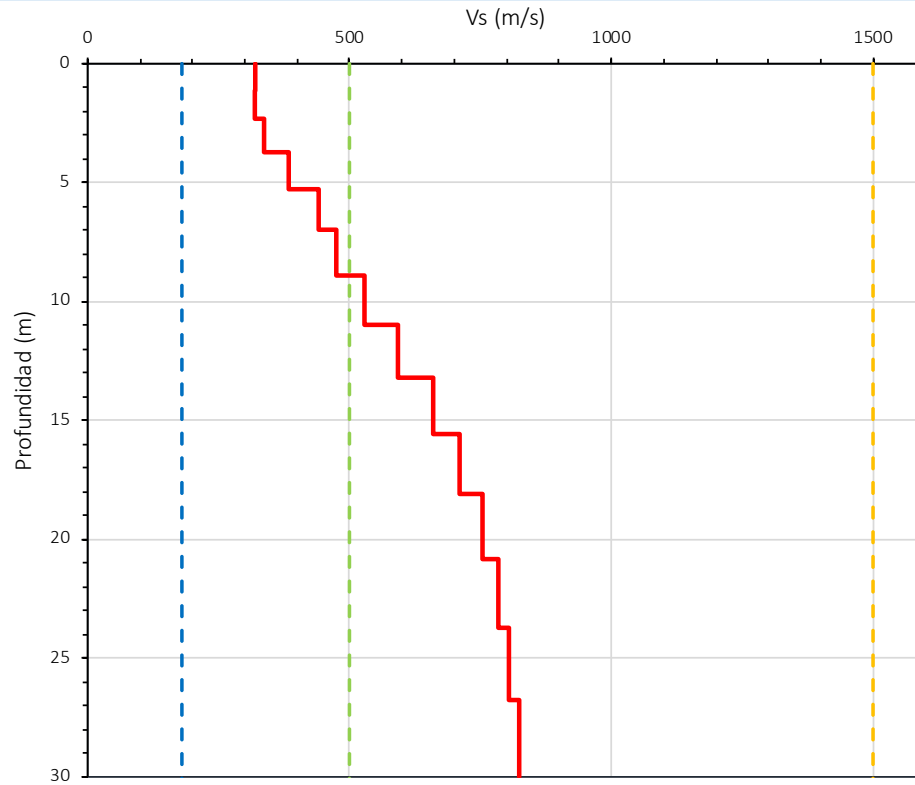
**C**

Tipo de Suelo - NTP E-030

**S1**

Prof. (m)	Vs (m/s)
0,0	321,7
1,1	319,3
2,3	337,1
3,7	383,7
5,3	441,8
7,0	475,1
8,9	529,3
11,0	592,2
13,2	658,9
15,6	710,7
18,1	753,4
20,9	784,4
23,7	805,7
26,8	823,9
36,4	830,6

Perfil 1D de Vs



**ESTUDIO: EMPLAZAMIENTO PARA PARQUE EÓLICO**

**Clasificación de Sitio según IBC 2015**

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
A	$V_s > 1500$	Roca muy dura
B	$760 < V_s \leq 1500$	Roca
C	$360 < V_s \leq 760$	Suelo muy denso o roca blanda
D	$180 \leq V_s \leq 360$	Suelo rígido
E	$V_s < 180$	Suelo blando

**Clasificación de Sitio según NTP E-30**

Tipo de Suelo	Vs30 (m/s)	Denominación
S0	$V_s > 1500$	Roca dura
S1	$500 < V_s < 1500$	Roca o Suelos muy rígidos
S2	$180 < V_s < 500$	Suelos Intermedios
S3	$V_s < 180$	Suelos Blandos

Coordenadas

WGS84 / UTM 19S

Este

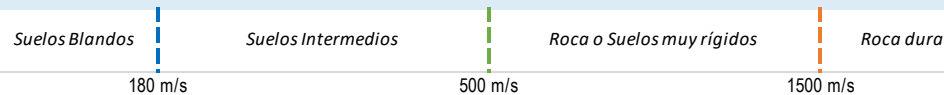
Norte

503165.00

8298109.00

**Velocidad de la onda de corte Vs (m/s)**

*Descripción de Materiales según su Velocidad de Onda de Corte (Vs)*



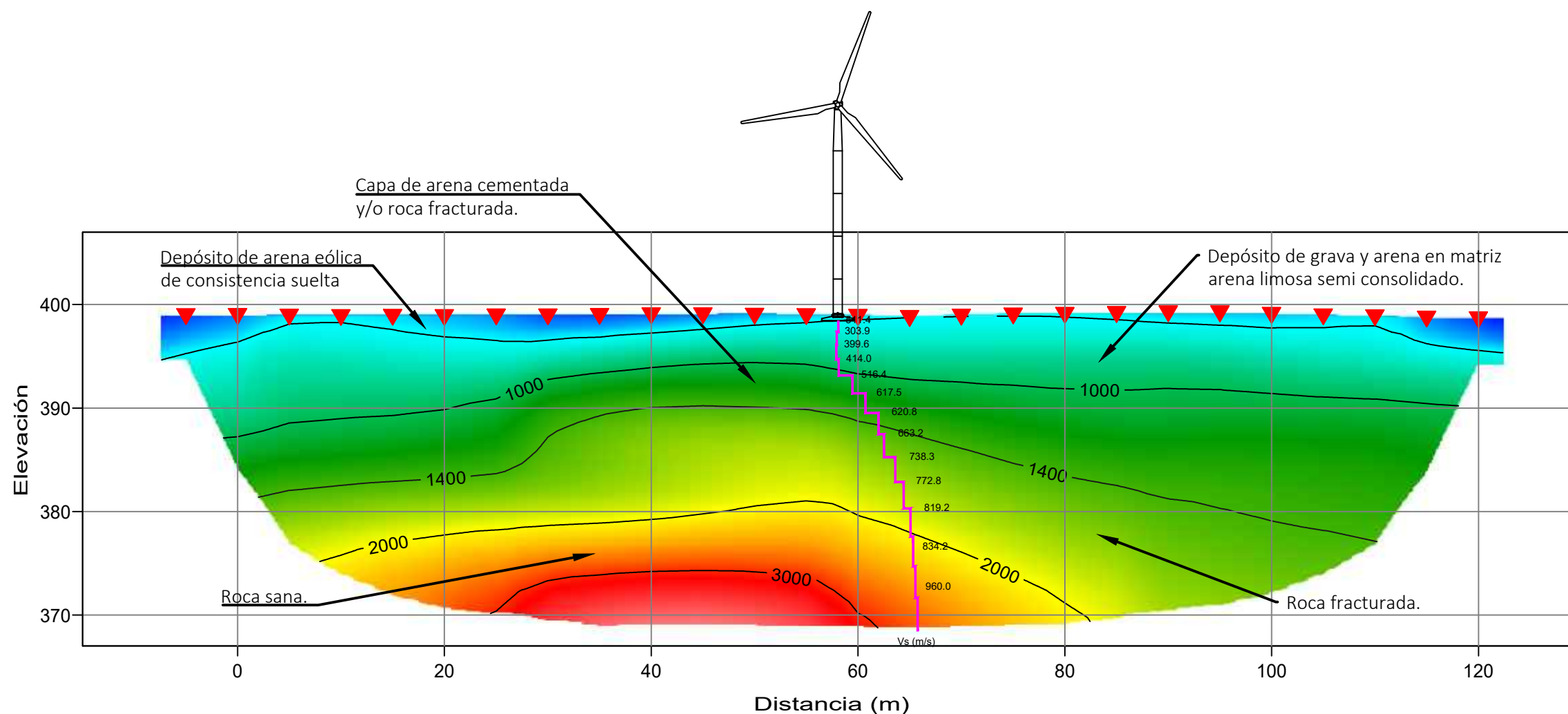
**IG PARQUE EÓLICO**

**MASW-ST**

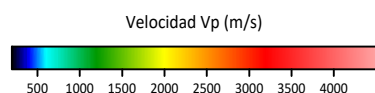
Elaborado por:	ACH	Aprobado por:	JZH
Revisión:	GFJ	Fecha:	ABRIL 2023

## ***ENSAYO DE REFRACCIÓN SÍSMICA***

### SECCION SISMICA LS-02

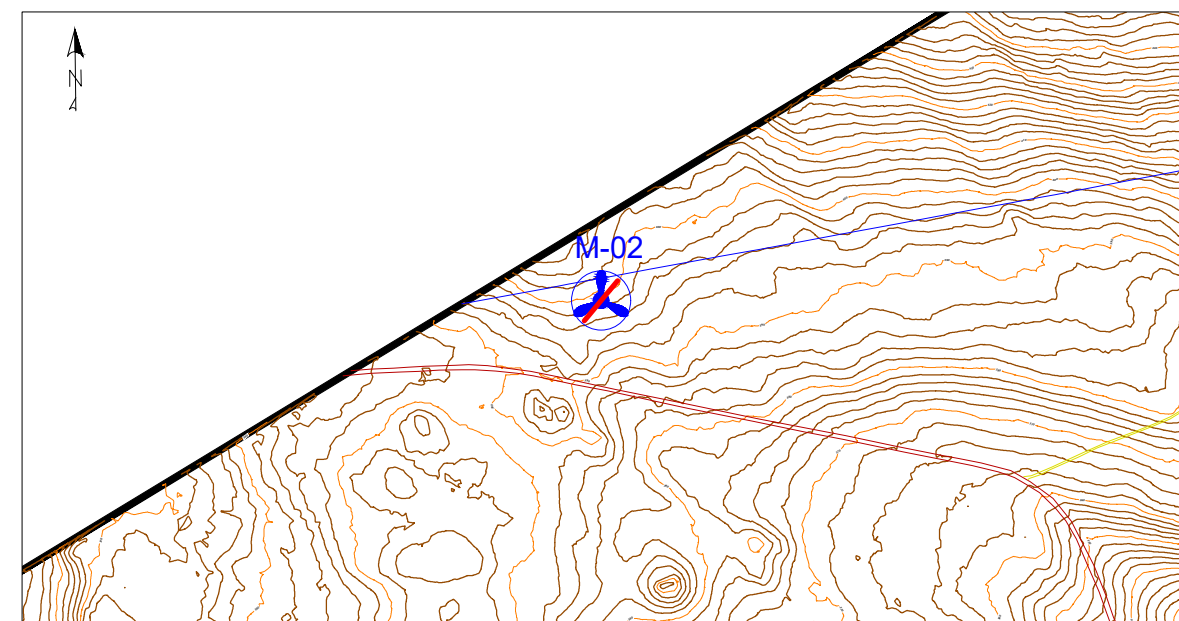


LEYENDA / SIMBOLOGIA	
	LÍNEA DE REFRACCIÓN SÍSMICA
	ENSAYO DE MASW - SEV
	CONTACTO DE CAPAS



▼ Geofono    ♦ Fuente    ~1000~ Vel. Onda P    ~ Vel. Onda S    Escala: 1/500

### UBICACIÓN EN PLANTA



LEYENDA	DESCRIPCIÓN
	$V_p < 600$
	$600 < V_p < 1000$
	$1000 < V_p < 1400$
	$1400 < V_p < 2000$
	$V_p > 2000$

Capa de arena cementada y/o roca fracturada.

Depósito de arena eólica de consistencia suelta

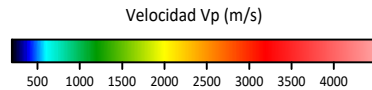
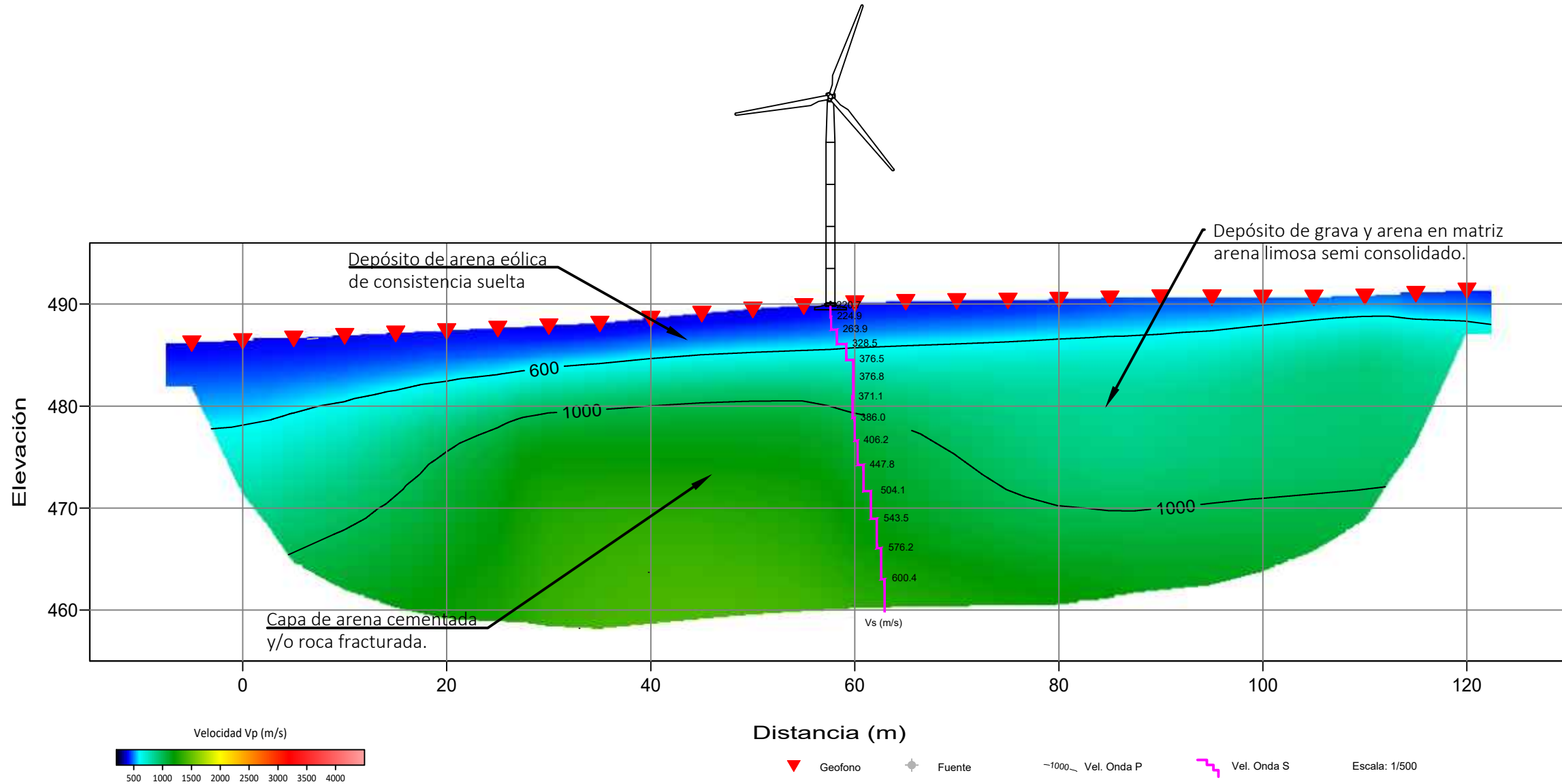
Depósito de grava y arena en matriz arena limosa semi consolidado.

Roca sana.

Roca fracturada.

EJECUTADO: 	PROYECTO: <b>"ESTUDIO GEOTECNICO - PARQUE EOLICO "</b>
SOLICITADO: <b>Juan G. Chipoco Palo</b>	TÍTULO: "ESTUDIO GEOFISICO - REFRACCION SISMICA Y MASW"
	REV. : <b>A</b>
	METODO: "REFRACCIÓN SÍSMICA - LS-03"
	FECHA: ABRIL 2023
	LAMINA: <b>PS-01</b>

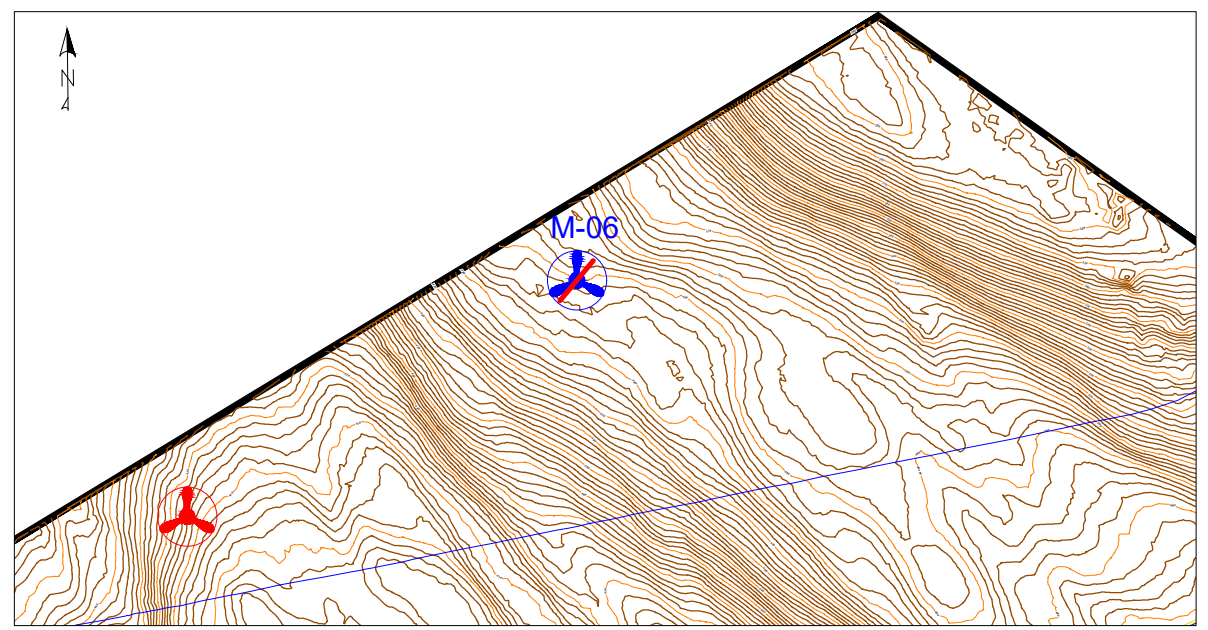
SECCION SISMICA LS-06



Distancia (m)      Geofono      Fuente      Vel. Onda P      Vel. Onda S      Escala: 1/500

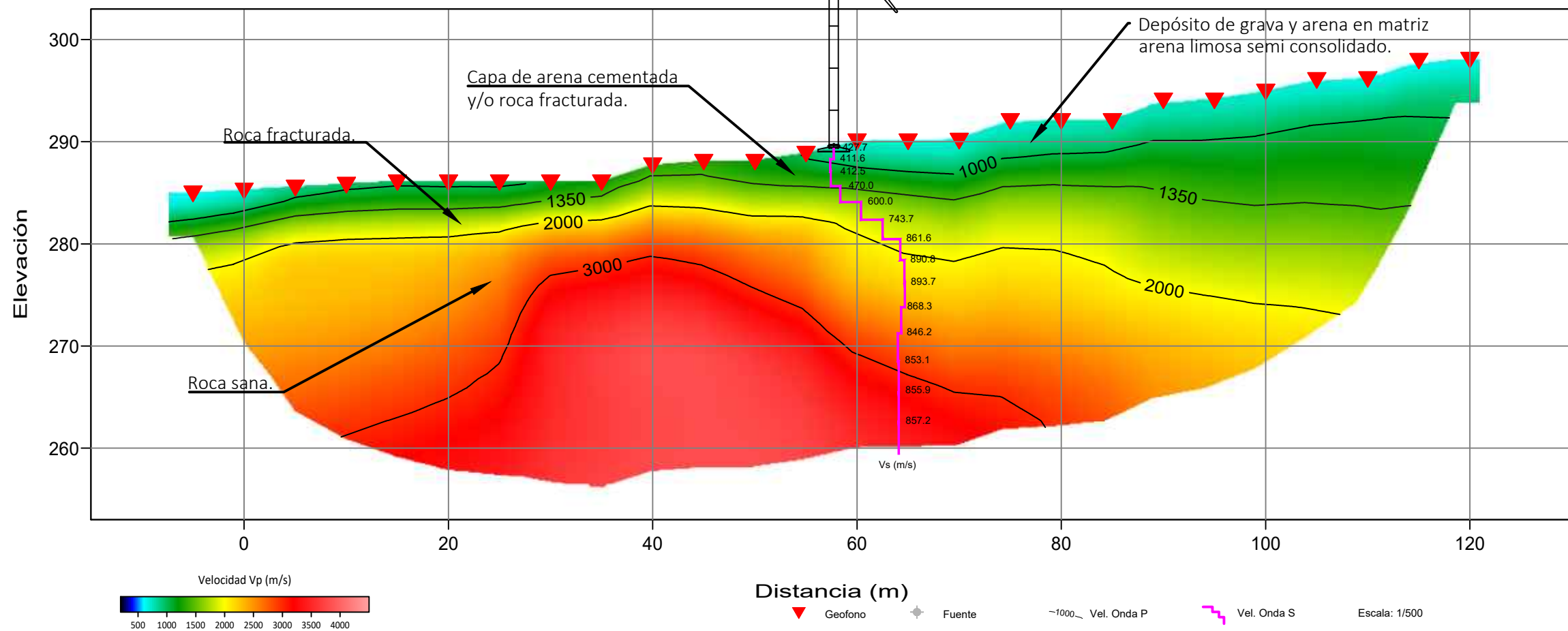
LEYENDA	DESCRIPCIÓN
	Capa de deposito de arena medio a fino con presencia de grava, cubierto de arena eólica, no consolidado.
	Capa de deposito de grava y arena englobados en matriz de arena limosa semi consolidada.
	Capa conformada de arena consolidado.

UBICACIÓN EN PLANTA



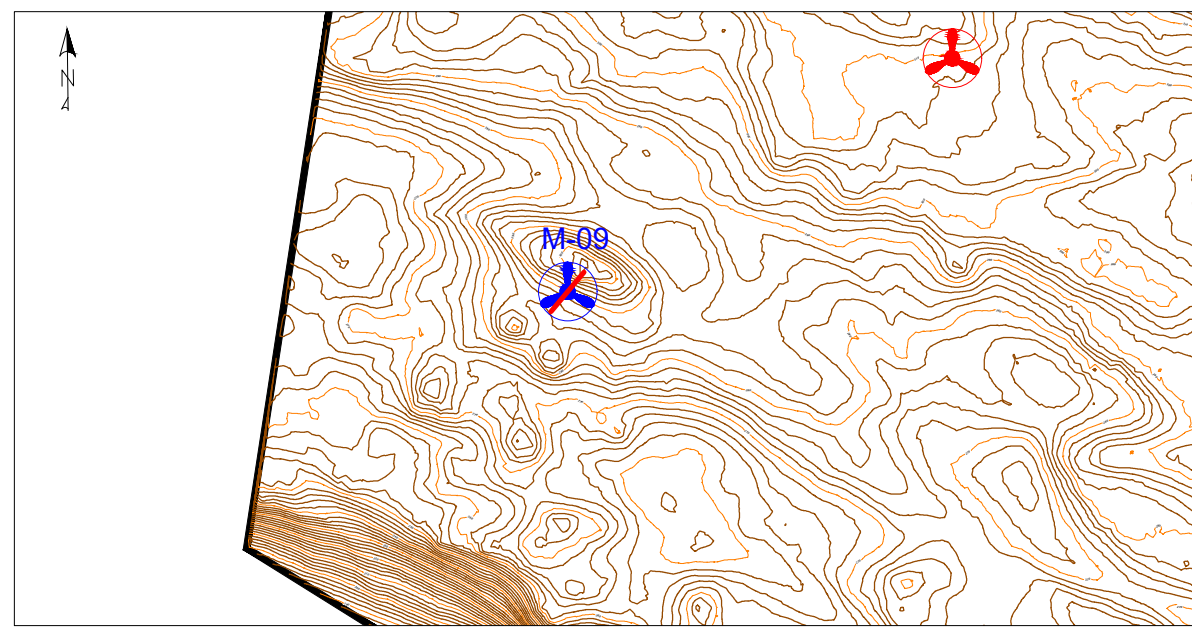
EJECUTADO: 	PROYECTO: <b>"ESTUDIO GEOTECNICO - PARQUE EOLICO "</b>	REV. :	A	LAMINA:	PS-02
SOLICITADO: Juan G. Chipoco Palo	TÍTULO: "ESTUDIO GEOFISICO - REFRACCION SISMICA Y MASW"	FECHA:	ABRIL 2023		
	METODO: "REFRACCIÓN SÍSMICA - LS-06"				

### SECCION SISMICA LS-09



LEYENDA / SIMBOLOGIA	
	LÍNEA DE REFRACCIÓN SÍSMICA
	ENSAYO DE MASW - SEV
	CONTACTO DE CAPAS

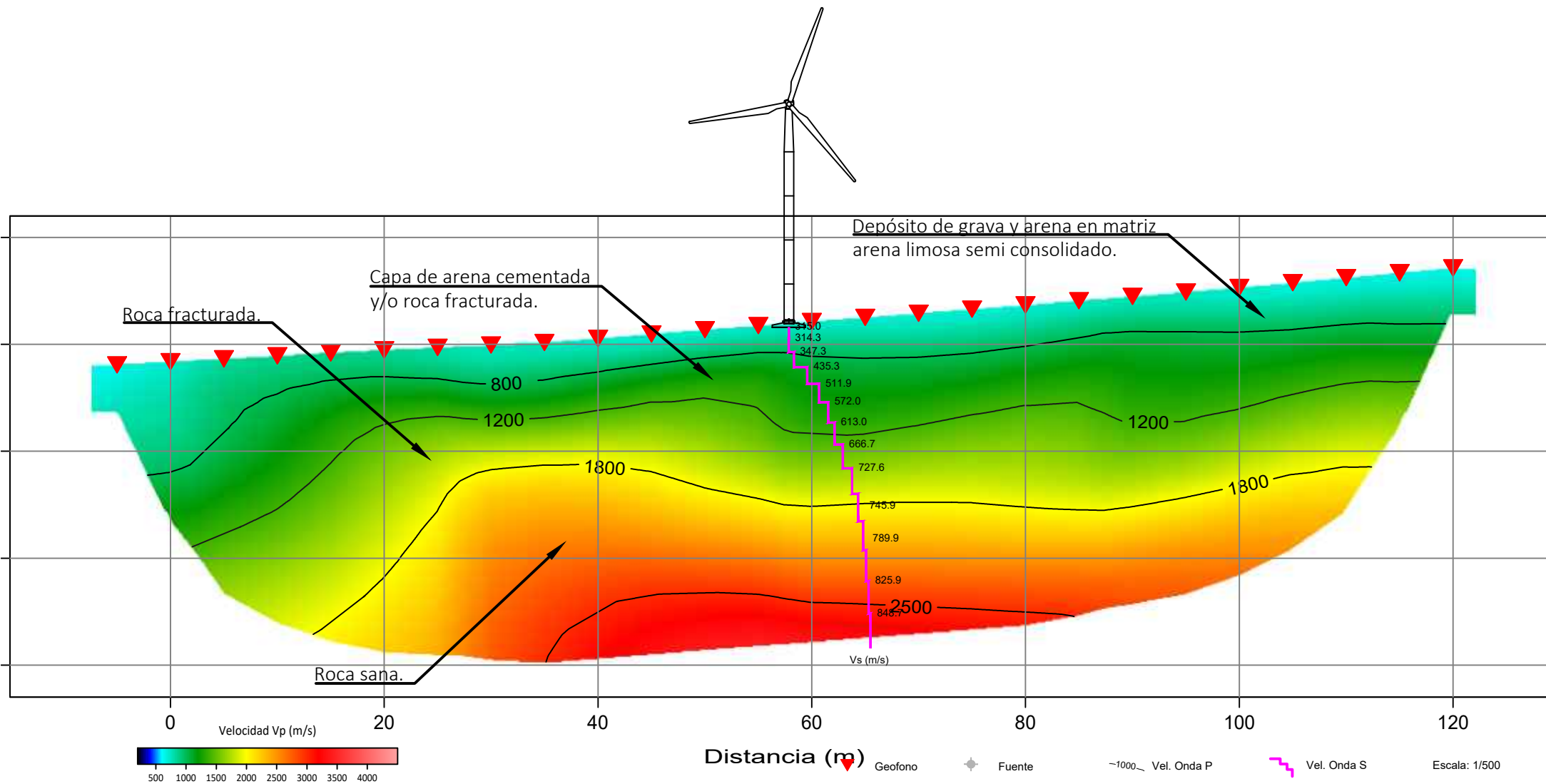
### UBICACIÓN EN PLANTA



LEYENDA	DESCRIPCIÓN	
	600 <math>V_p</math> <math>< 1000</math>	Capa de depósito de grava y arena englobados en matriz de arena limosa semi consolidada.
	1000 <math>V_p</math> <math>< 1350</math>	Capa conformada de arena cementada con material calcáreo y/o roca fracturada.
	1350 <math>V_p</math> <math>< 1800</math>	Capa conformada de roca fracturada.
	1800 <math>V_p</math> <math>< 2500</math>	Capa conformada de roca sana.
	<math&gt;v_p &gt;="" 2500&lt;="" math&gt;<="" td=""> <td>Capa conformada de roca sana.</td> </math&gt;v_p>	Capa conformada de roca sana.

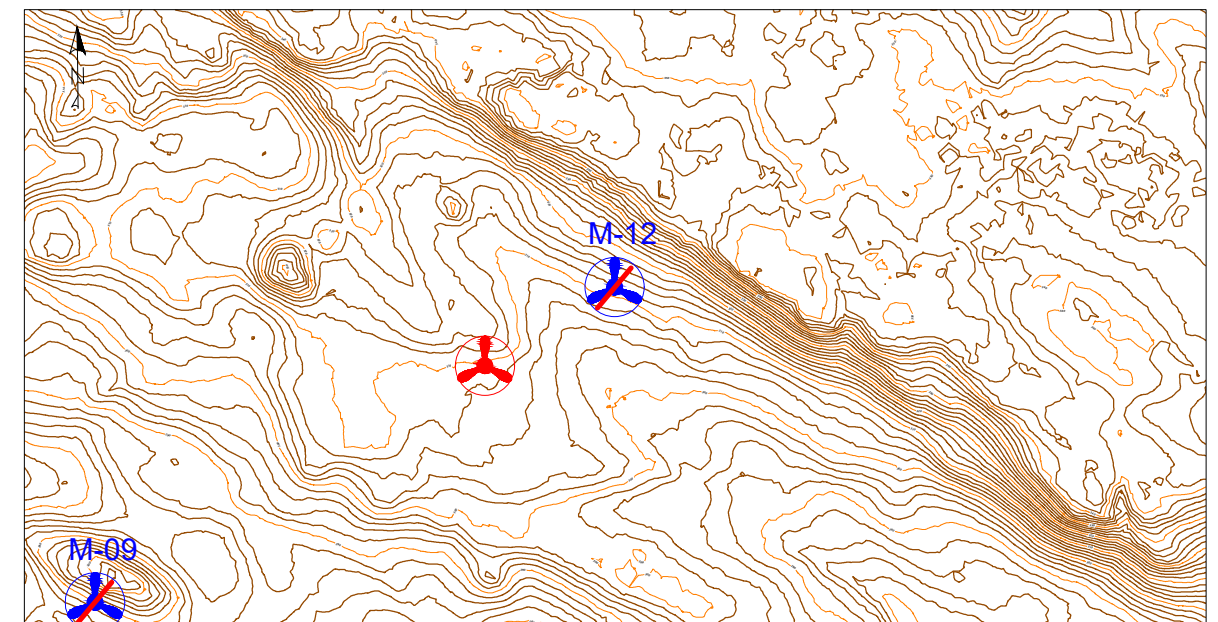
EJECUTADO: 	PROYECTO: <b>"ESTUDIO GEOTECNICO - PARQUE EOLICO "</b>
SOLICITADO: <b>Juan G. Chipoco Palo</b>	TÍTULO: "ESTUDIO GEOFISICO - REFRACCION SISMICA Y MASW"
	REV. : <b>A</b>
	METODO: "REFRACCIÓN SÍSMICA - LS-09"
	FECHA: ABRIL 2023
	LAMINA: <b>PS-03</b>

### SECCION SISMICA LS-12



LEYENDA / SIMBOLOGIA	
	LÍNEA DE REFRACCIÓN SÍSMICA
	ENSAYO DE MASW - SEV
	CONTACTO DE CAPAS

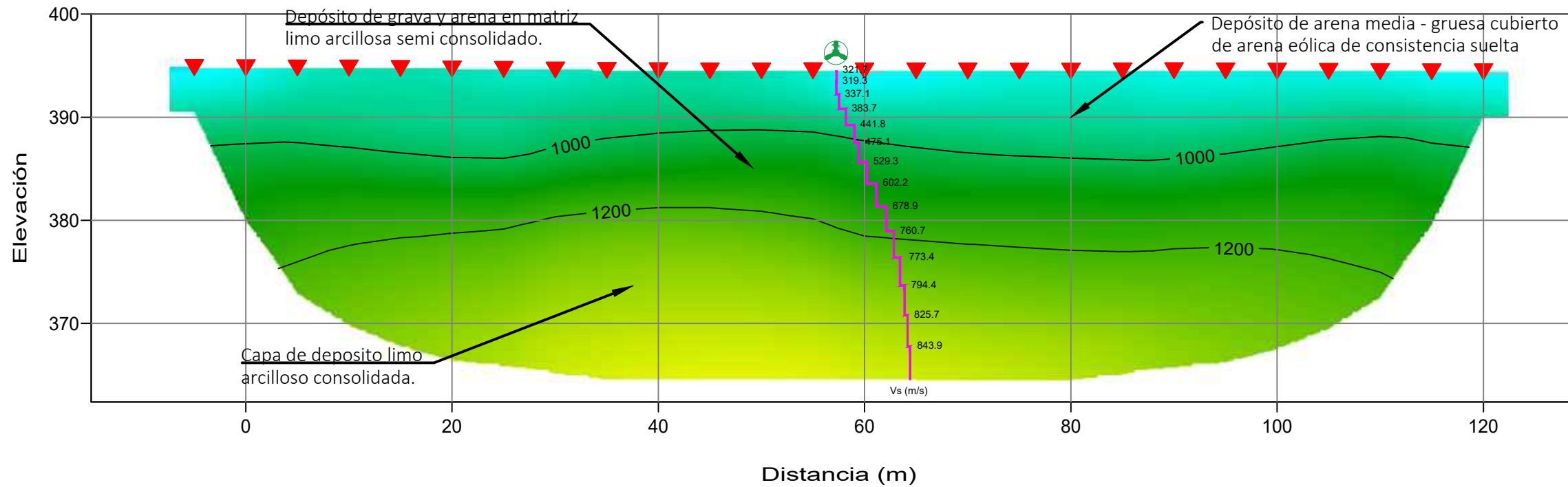
### UBICACIÓN EN PLANTA



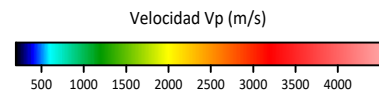
LEYENDA	DESCRIPCIÓN	
	600 <math>V_p</math> <math>800</math>	Capa de deposito de grava y arena englobados en matriz de arena limosa semi consolidada.
	800 <math>V_p</math> <math>1200</math>	Capa conformada de arena cementada con material calcáreo y/o roca fracturada.
	1200 <math>V_p</math> <math>1800</math>	Capa conformada de roca fracturada.
	1800 <math>V_p</math> <math>2500</math>	Capa conformada de roca sana.
	<math>V_p > 2500</math>	Capa conformada de roca sana.

EJECUTADO:		PROYECTO: "ESTUDIO GEOTECNICO - PARQUE EOLICO "	
SOLICITADO: Juan G. Chipoco Palo		TÍTULO: "ESTUDIO GEOFISICO - REFRACCION SISMICA Y MASW"	REV. : A
		METODO: "REFRACCIÓN SÍSMICA - LS-12"	FECHA: ABRIL 2023
			LAMINA: PS-04

### SECCION SISMICA LS-ST



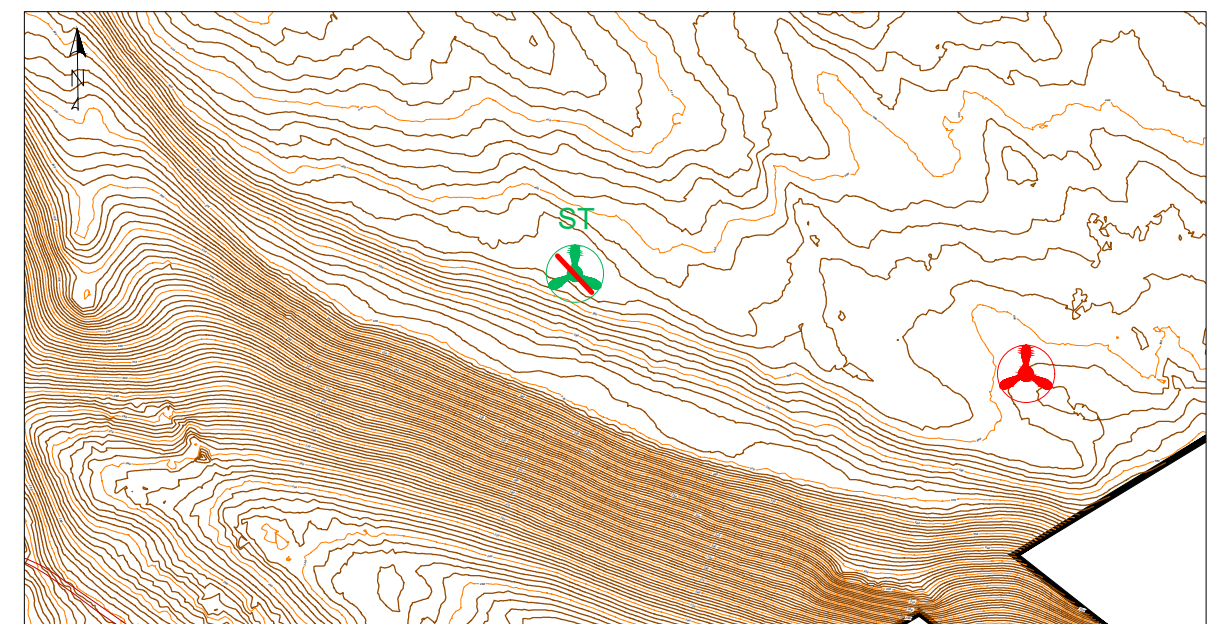
LEYENDA / SIMBOLOGIA	
	LÍNEA DE REFRACCIÓN SÍSMICA
	ENSAYO DE MASW - SEV
	CONTACTO DE CAPAS



▼ Geofono    ✦ Fuente    ~1000~ Vel. Onda P    ~~~~~ Vel. Onda S    Escala: 1/500

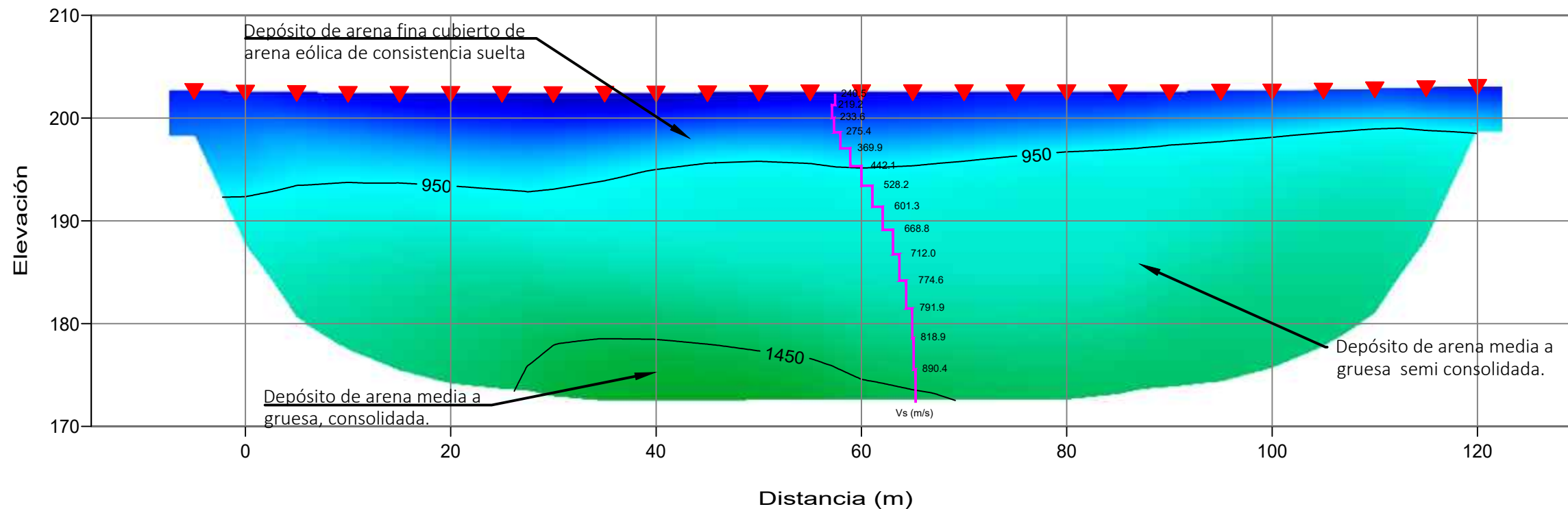
LEYENDA	DESCRIPCIÓN
	Capa de deposito de arena media a gruesa englobados en matriz de arena eólica, no consolidado.
	Capa de deposito de grava y arena englobados en matriz limo arcillosa semi consolidada.
	Capa de deposito limo arcillosa consolidada.

### UBICACIÓN EN PLANTA

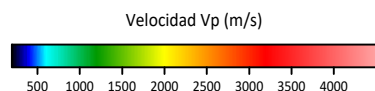


EJECUTADO: 	PROYECTO: <b>"ESTUDIO GEOTECNICO - PARQUE EOLICO "</b>	REV. :	<b>A</b>	LAMINA:	<b>PS-05</b>
SOLICITADO: <b>Juan G. Chipoco Palo</b>	TÍTULO: "ESTUDIO GEOFISICO - REFRACCION SISMICA Y MASW"	FECHA:	<b>ABRIL 2023</b>		
	METODO: "REFRACCIÓN SÍSMICA - LS-ST"				

### SECCION SISMICA LS-14



LEYENDA / SIMBOLOGIA	
	LÍNEA DE REFRACCIÓN SÍSMICA
	ENSAYO DE MASW - SEV
	CONTACTO DE CAPAS



▼ Geofono    ✦ Fuente    ~1000~ Vel. Onda P    ~ Vel. Onda S    Escala: 1/500

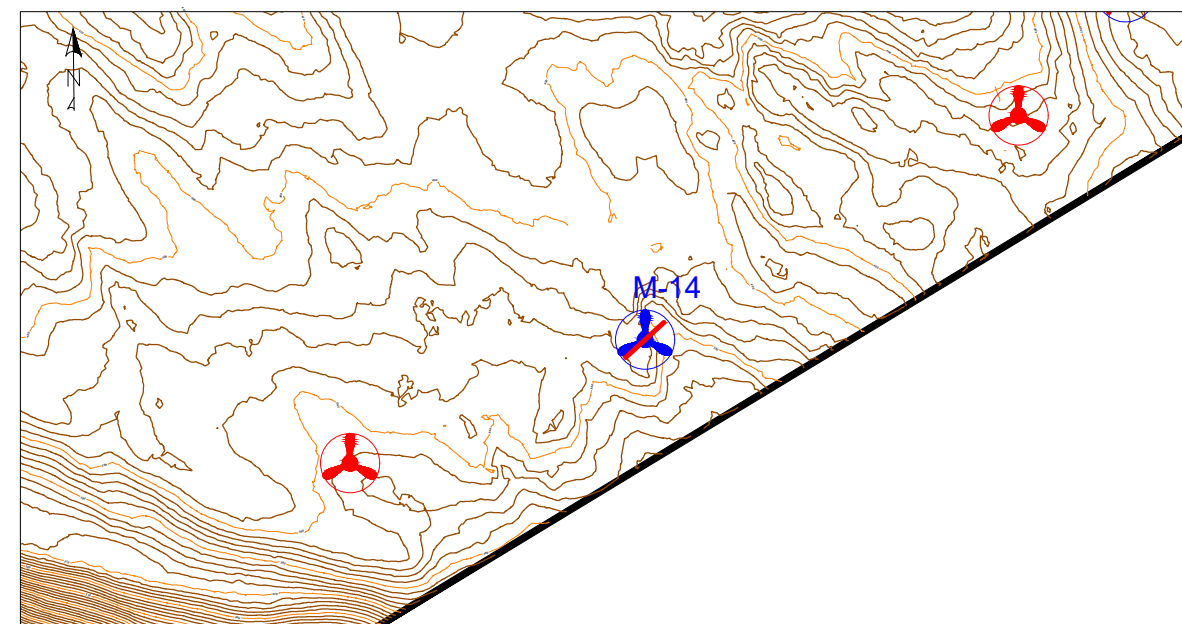
LEYENDA	DESCRIPCIÓN
	$V_p < 950$
	$950 < V_p < 1400$
	$V_p > 1400$

Capa de deposito de arena media a fina con presencia de partículas de grava, cubierto de arena eólica, no consolidado.

Capa de deposito de arena media a gruesa, semi consolidado.

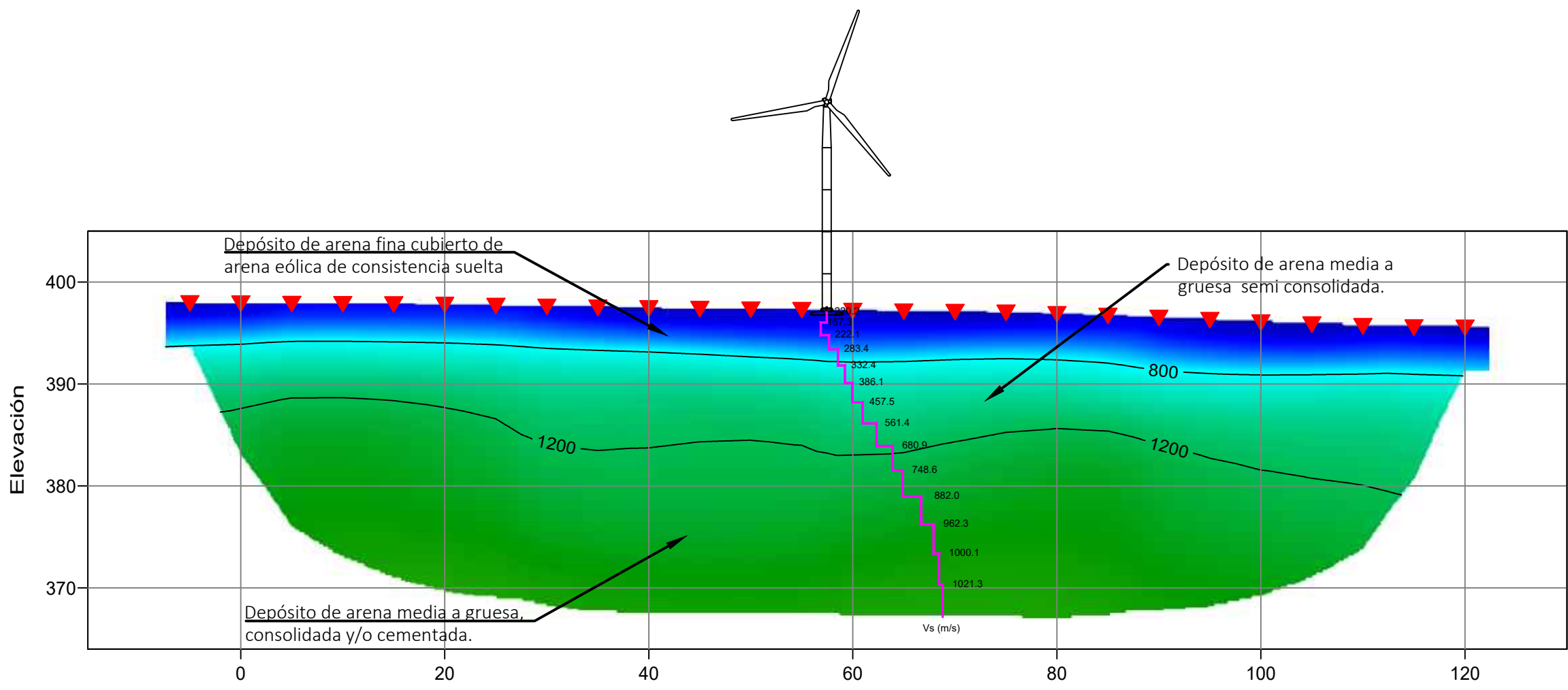
Capa de deposito de arena media a gruesa, consolidado.

### UBICACIÓN EN PLANTA

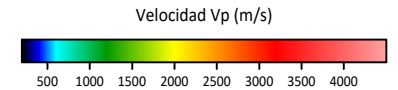


EJECUTADO: 	PROYECTO: <b>"ESTUDIO GEOTECNICO - PARQUE EOLICO "</b>
SOLICITADO: <b>Juan G. Chipoco Palo</b>	TÍTULO: "ESTUDIO GEOFISICO - REFRACCION SISMICA Y MASW"
	METODO: "REFRACCIÓN SÍSMICA - LS-14"
	REV. : <b>A</b>
	FECHA: ABRIL 2023
	LAMINA: <b>PS-06</b>

### SECCION SISMICA LS-17



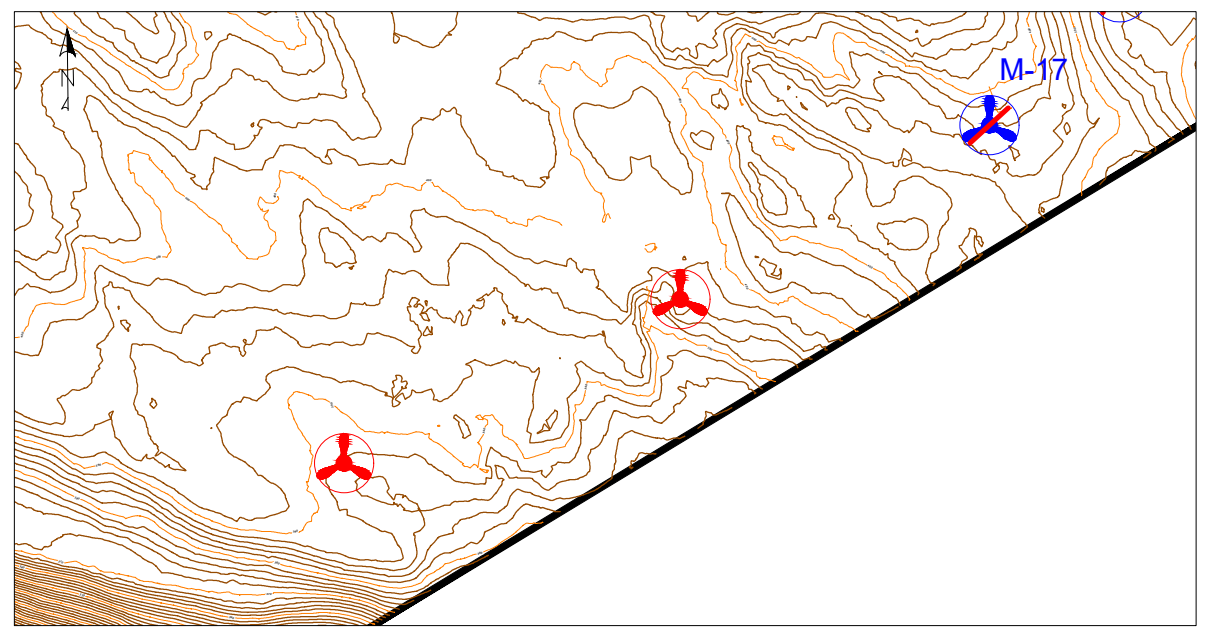
LEYENDA / SIMBOLOGIA	
	LÍNEA DE REFRACCIÓN SÍSMICA
	ENSAYO DE MASW - SEV
	CONTACTO DE CAPAS



▼ Geofono    ✦ Fuente    ~1000~ Vel. Onda P    ~ Vel. Onda S    Escala: 1/500

LEYENDA	DESCRIPCIÓN
	Capa de deposito de arena medio a fino con presencia de grava, cubierto de arena eólica, no consolidado.
	Capa de deposito de grava y arena englobados en matriz de arena limosa semi consolidada.
	Capa conformada de arena consolidado a cementada.

### UBICACIÓN EN PLANTA



EJECUTADO: 	PROYECTO: <b>"ESTUDIO GEOTECNICO - PARQUE EOLICO "</b>
SOLICITADO: <b>Juan G. Chipoco Palo</b>	TÍTULO: "ESTUDIO GEOFISICO - REFRACCION SISMICA Y MASW"
	METODO: "REFRACCIÓN SÍSMICA - LS-17"
	REV. : <b>A</b>
	FECHA: ABRIL 2023
	LAMINA: <b>PS-07</b>

***ENSAYO DE SONDAJE ELÉCTRICO VERTICAL***

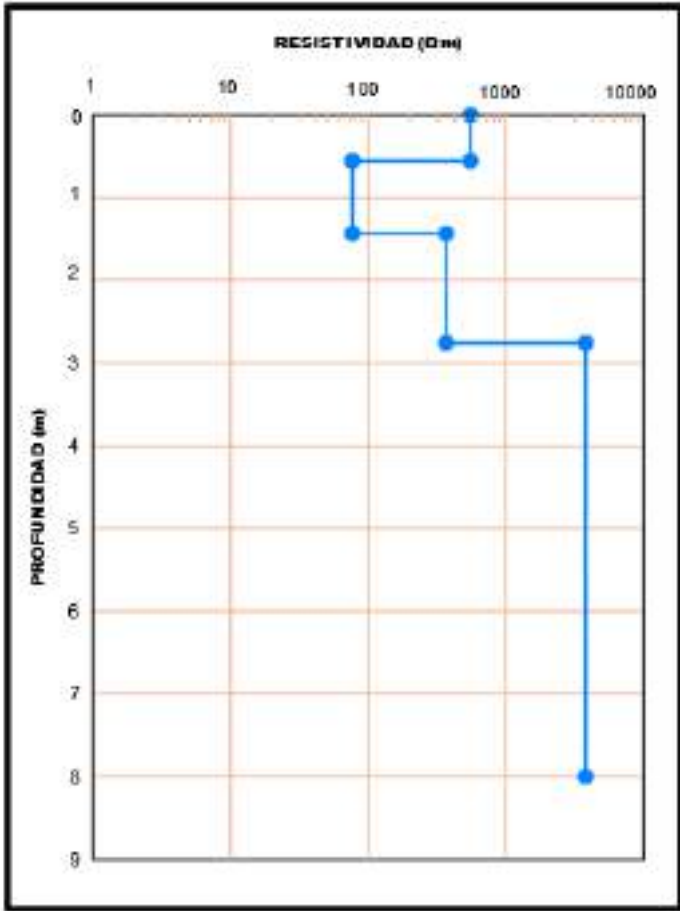
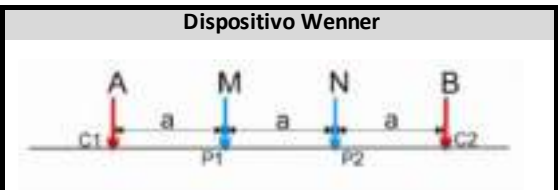
**Ensayo Geofísico**  
SEV-01

**DISPOSITIVO**  
WENNER

**Nº CAPAS**  
4

Prof (m)	P	h	N
0,5	536,7	0,5	1
1,3	87,8	0,8	2
2,7	365,3	1,4	3
8,0	3578,9	5,3	4

P	Resistividad (Ohm*m)
h	Espesor capa (m)
N	Número de capa



Resistividad	SEV-01	Litología
536,7		S. Eólico
87,8		Arena limosa
365,3		Arena con gravas
3578,9		Roca fracturada

Coordenadas		Interpretación SEV			
Este	Norte	1	2	3	4
500739	8298547	Eólico	Arena fna	Arena y gravas	Roca fract

**SEV-01**  
**INFORME GEOFISICO - EMPLAZAMIENTO PARQUE EÓLICO**

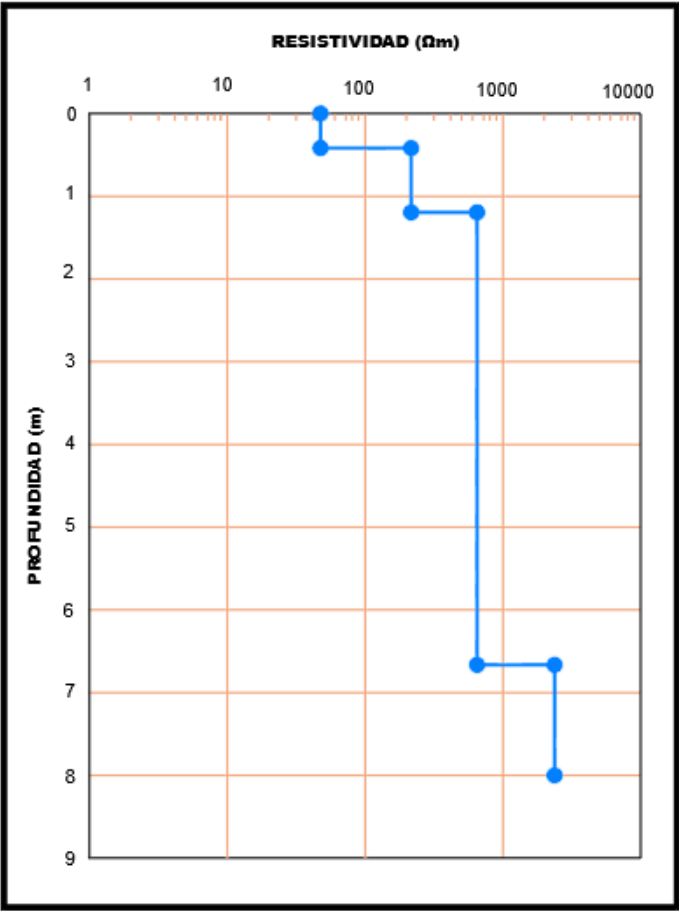
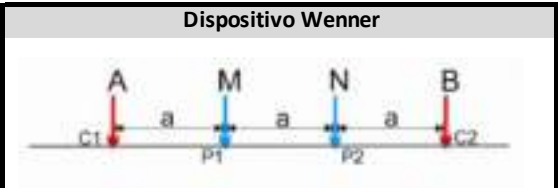
**Ensayo Geofísico**  
SEV-02

**DISPOSITIVO**  
WENNER

**Nº CAPAS**  
4

Prof (m)	P	h	N
0,4	45,6	0,4	1
1,2	217,8	0,8	2
6,6	643,7	4,8	3
8,1	2156,1	1,5	4

P	Resistividad (Ohm*m)
h	Espesor capa (m)
N	Número de capa



Resistividad	SEV-02	Litología
45,6		S. Eólico
217,8		Arenas limosas
643,7		Arenas cementadas
2156,1		Arenas muy cementadas

Coordenadas		Interpretación SEV			
Este	Norte	1	2	3	4
500960	8298763	Eólico	Arenas limosa	Arena cementada	Arena muy cem

**SEV-02**  
**INFORME GEOFISICO - EMPLAZAMIENTO PARQUE EÓLICO**

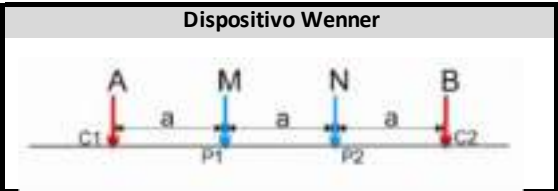
**Ensayo Geofísico**  
SEV-03

**DISPOSITIVO**  
WENNER

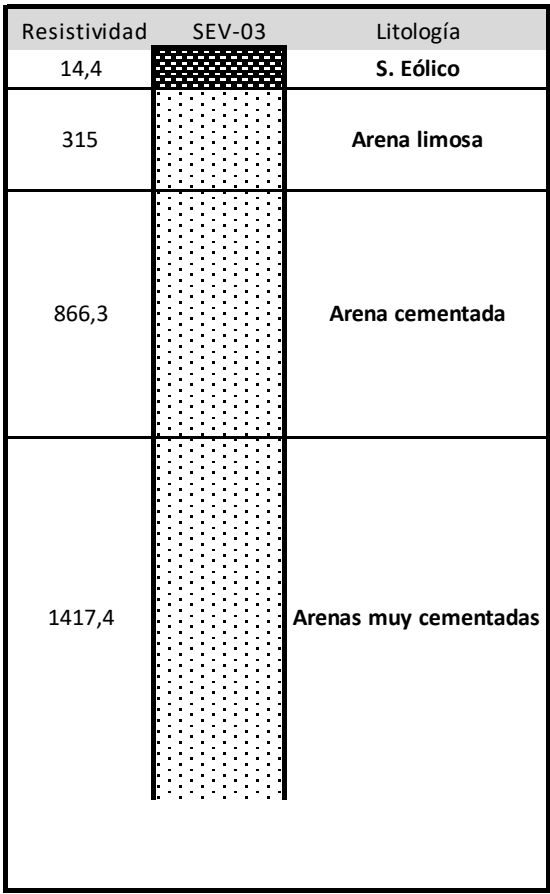
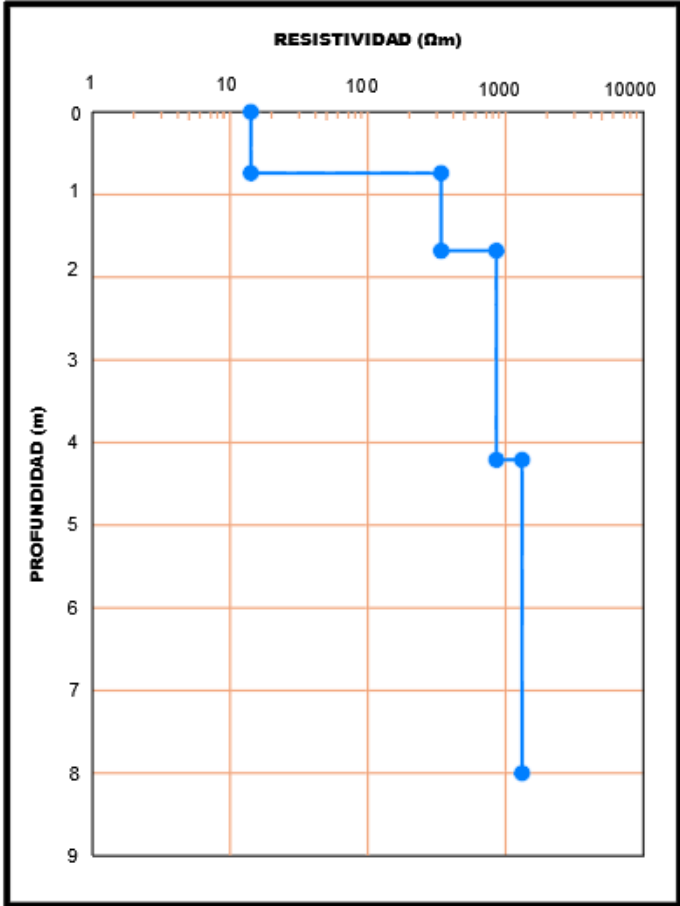
**Nº CAPAS**  
4

Prof (m)	P	h	N
0,6	14,4	0,6	1
1,6	315,0	1	2
4,2	866,3	2,6	3
8,1	1417,4	3,9	4

P	Resistividad (Ohm*m)
h	Espesor capa (m)
N	Número de capa



Coordenadas		Interpretación SEV			
Este	Norte	1	2	3	4
501173	8298973	Eólico	Arenas limosa	Arena cementada	Arena muy cem



SEV-03

**INFORME GEOFISICO - EMPLAZAMIENTO PARQUE EÓLICO**

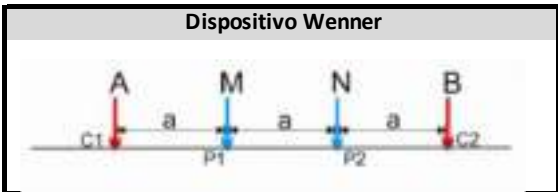
**Ensayo Geofísico**  
SEV-04

**DISPOSITIVO**  
WENNER

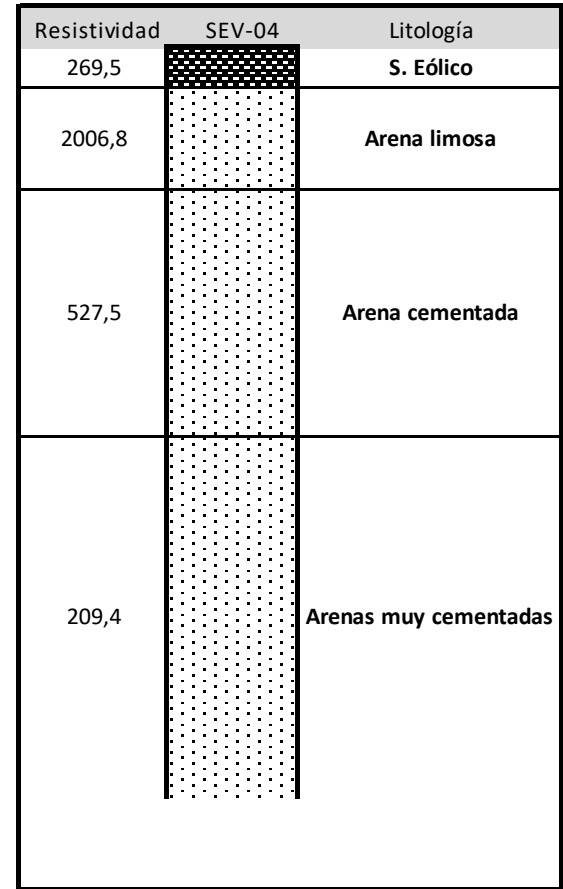
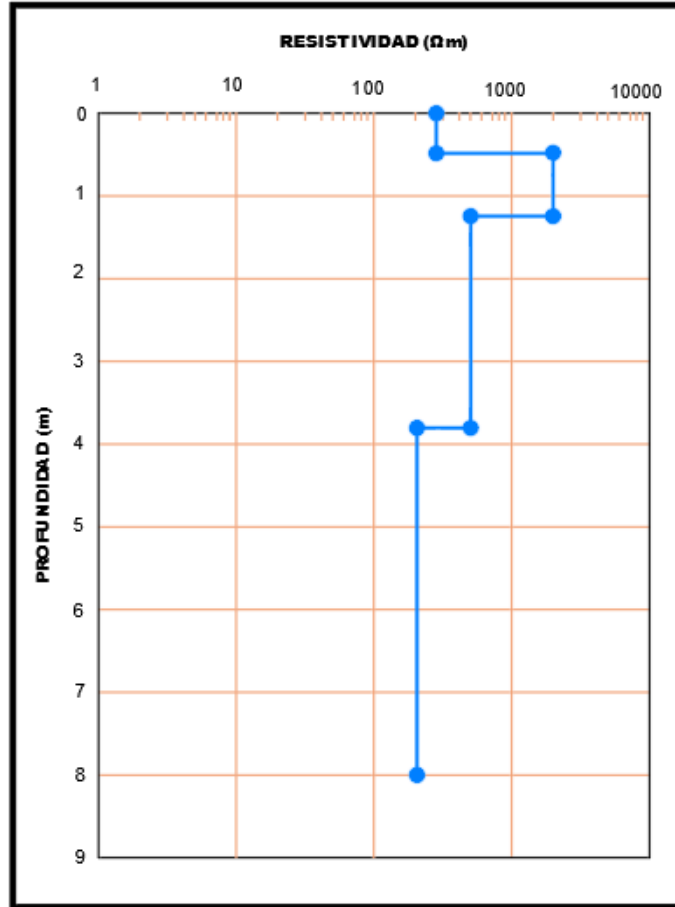
**Nº CAPAS**  
4

Prof (m)	P	h	N
0,5	269,5	0,5	1
1,2	2006,8	0,7	2
3,8	527,5	2,6	3
8,0	209,4	4,2	4

P	Resistividad (Ohm*m)
h	Espesor capa (m)
N	Número de capa



Coordenadas		Interpretación SEV			
Este	Norte	1	2	3	4
501390	8299179	Eólico	Arenas limosa	Arena cementada	Arena muy cem



SEV-04

INFORME GEOFISICO - EMPLAZAMIENTO PARQUE EÓLICO

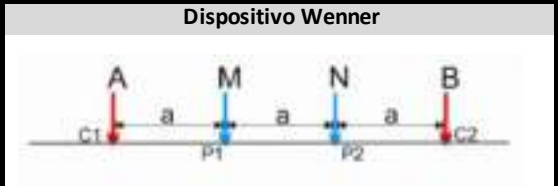
**Ensayo Geofísico**  
SEV-05

**DISPOSITIVO**  
WENNER

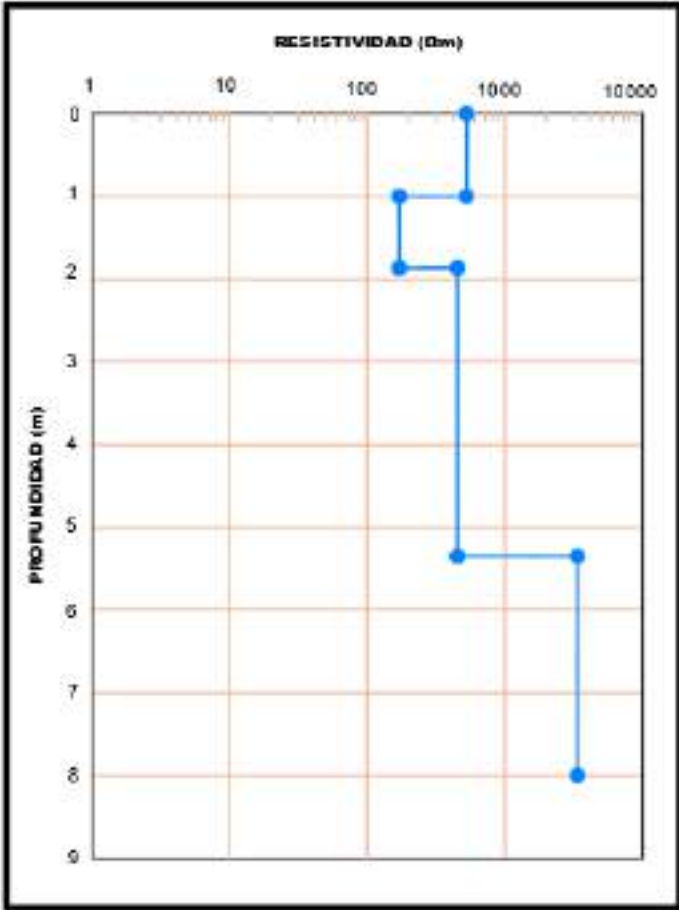
**Nº CAPAS**  
4

Prof (m)	P	h	N
1,0	523,6	1	1
1,9	189,6	0,9	2
5,3	408,9	3,4	3
8,0	3247,4	2,7	4

P	Resistividad (Ohm*m)
h	Espesor capa (m)
N	Número de capa



Coordenadas		Interpretación SEV			
Este	Norte	1	2	3	4
501601	8299386	Eólico	arena cementad	Arena limosa	Arena muy cem



Resistividad	SEV-05	Litología
523,6		S. Eólico
189,6		Arena cementada
408,9		Arena limosa
3247,4		Arena muy cementada

**SEV-05**  
**INFORME GEOFISICO - EMPLAZAMIENTO PARQUE EÓLICO**

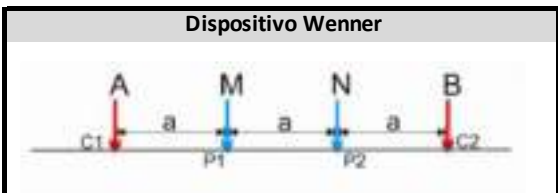
**Ensayo Geofísico**  
SEV-06

**DISPOSITIVO**  
WENNER

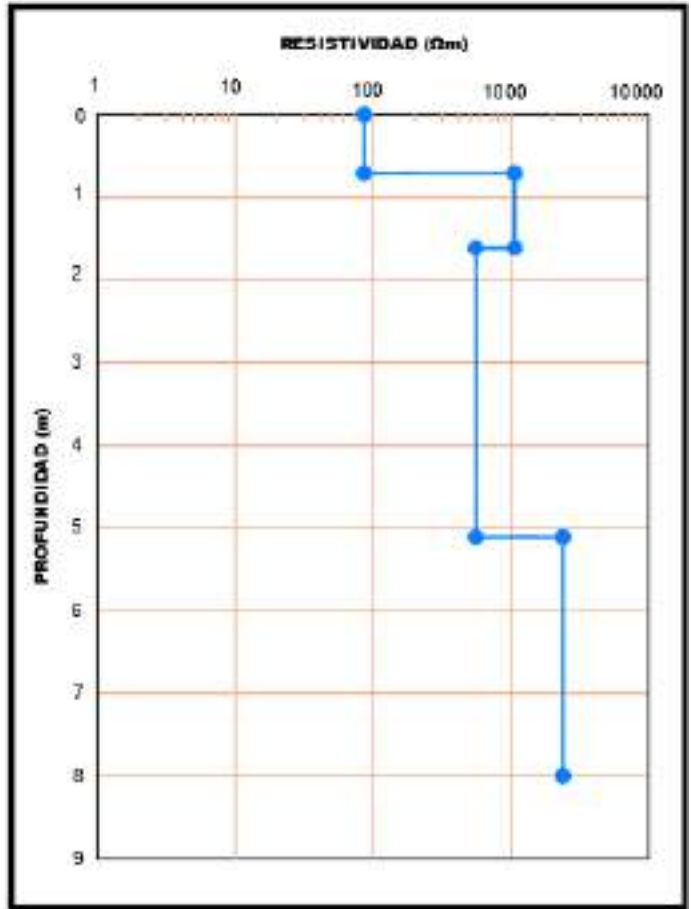
**Nº CAPAS**  
4

Prof (m)	P	h	N
0,7	88,5	1	1
1,6	1062,7	0,9	2
5,1	573,9	3,4	3
8,0	4006,8	2,7	4

P	Resistividad (Ohm*m)
h	Espesor capa (m)
N	Número de capa



Coordenadas		Interpretación SEV			
Este	Norte	1	2	3	4
501815	8299596	Eólico	Arena lim cem	Arena limosa	Arena muy cem



Resistividad	SEV-06	Litología
88,5		S. Eólico
1062,7		Arena limosa cementada
573,9		Arena limosa
4006,8		Arena muy cementada

**SEV-06**  
**INFORME GEOFISICO - EMPLAZAMIENTO PARQUE EÓLICO**

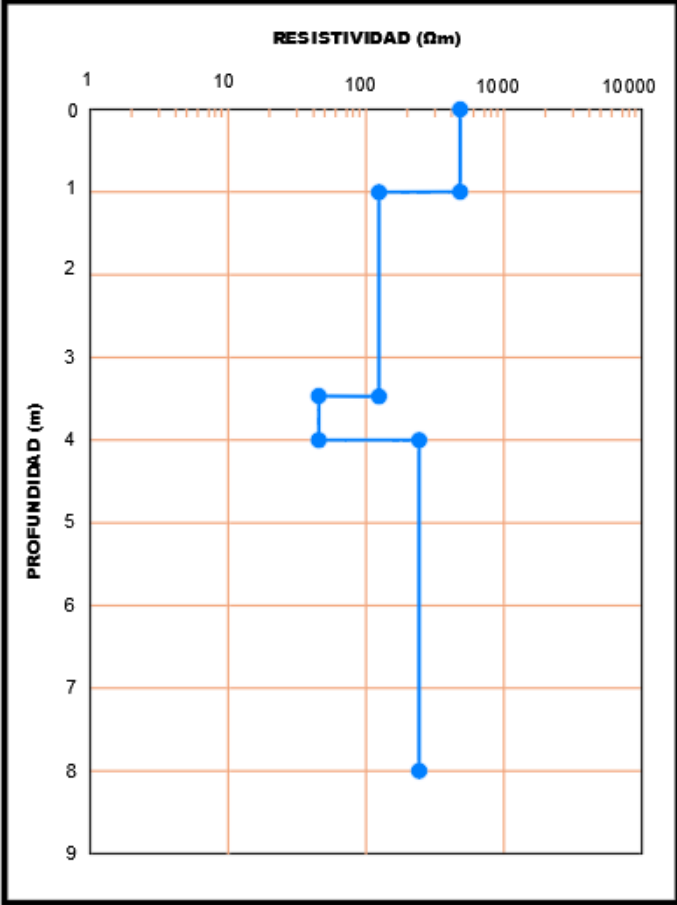
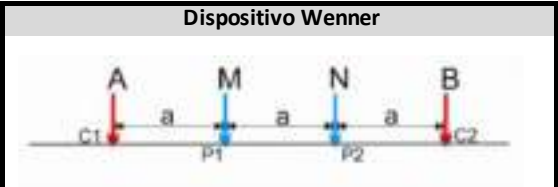
**Ensayo Geofísico**  
SEV-07

**DISPOSITIVO**  
WENNER

**Nº CAPAS**  
4

Prof (m)	P	h	N
1,0	476,8	1	1
3,4	125,6	2,4	2
4,0	43,5	0,6	3
8,0	214,6	4	4

P	Resistividad (Ohm*m)
h	Espesor capa (m)
N	Número de capa



Resistividad	SEV-07	Litología
476,8		S. Eólico
125,6		Arena y gravas
43,5		Arena limosa
214,6		Arena y gravas

Coordenadas		Interpretación SEV			
Este	Norte	1	2	3	4
502029	8299802	Eólico	Arena y gravas	Arena limosa	Arena y gravas

**SEV-07**  
**INFORME GEOFISICO - EMPLAZAMIENTO PARQUE EÓLICO**

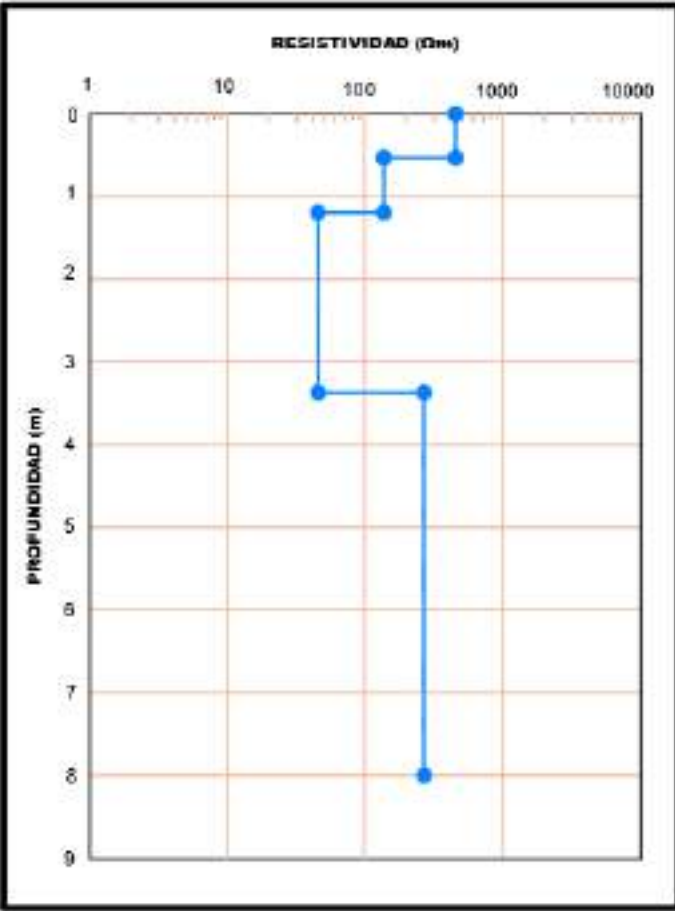
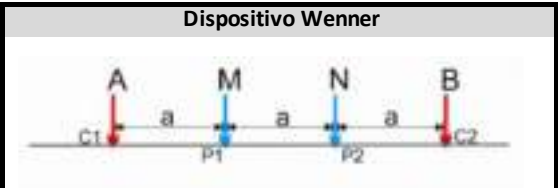
**Ensayo Geofísico**  
SEV-08

**DISPOSITIVO**  
WENNER

**Nº CAPAS**  
4

Prof (m)	P	h	N
0,5	476,8	0,5	1
1,2	125,6	0,7	2
3,3	43,5	1,1	3
8,0	214,6	4,7	4

P	Resistividad (Ohm*m)
h	Espesor capa (m)
N	Número de capa



Resistividad	SEV-08	Litología
476,8		S. Eólico
125,6		Arena fina
43,5		Arena limosa
214,6		Arena y gravas

Coordenadas		Interpretación SEV			
Este	Norte	1	2	3	4
502236	8299997	Eólico	Arena y gravas	Arena limosa	Arena y gravas

**SEV-08**  
**INFORME GEOFISICO - EMPLAZAMIENTO PARQUE EÓLICO**

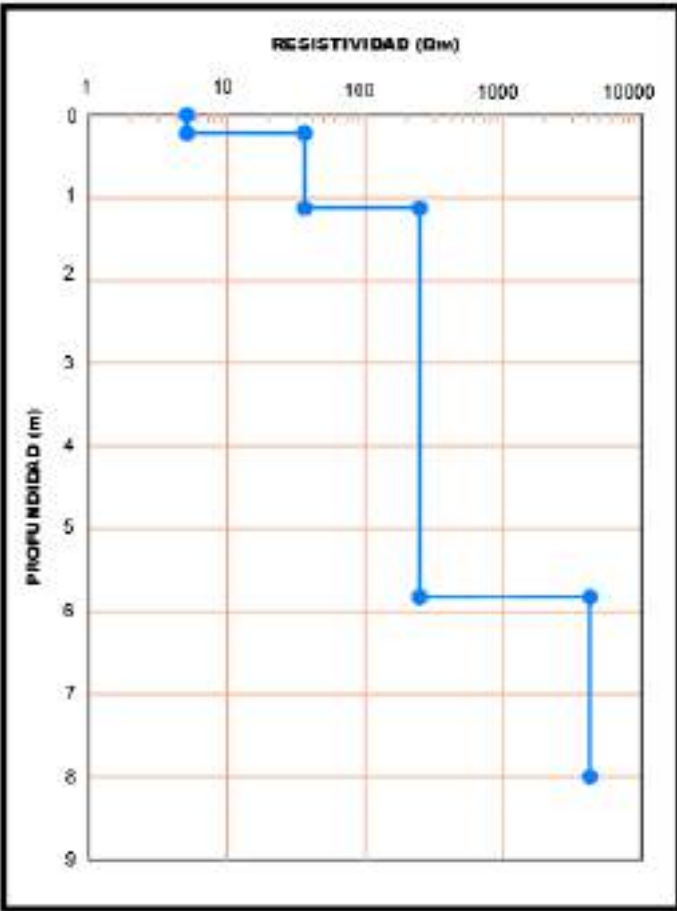
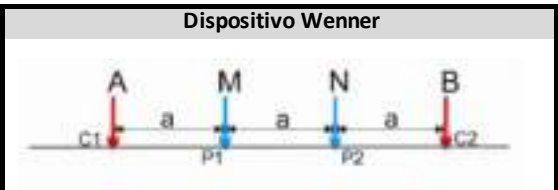
**Ensayo Geofísico**  
SEV-09

**DISPOSITIVO**  
WENNER

**Nº CAPAS**  
4

Prof (m)	P	h	N
0,2	5,2	0,2	1
1,1	34,6	0,9	2
5,8	237,8	4,7	3
8,0	3712,6	2,2	4

P	Resistividad (Ohm*m)
h	Espesor capa (m)
N	Número de capa



Resistividad	SEV-09	Litología
5,2		S. Eólico
34,6		Roca muy fracturada
237,8		Roca muy fracturada
3712,6		Roca fract

Coordenadas		Interpretación SEV			
Este	Norte	1	2	3	4
500833	8296538	Eólico	Roca muy fract	Roca muy fract	Roca fract

SEV-09  
**INFORME GEOFISICO - EMPLAZAMIENTO PARQUE EÓLICO**

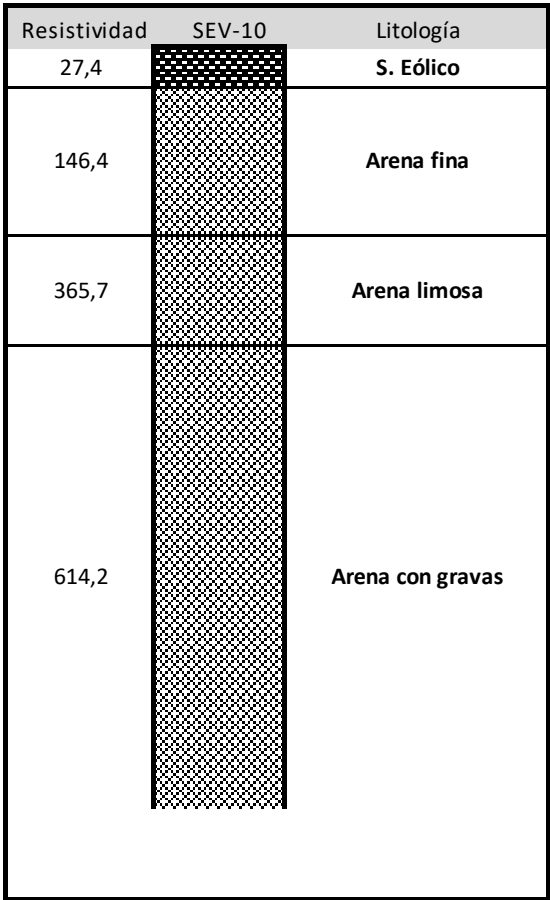
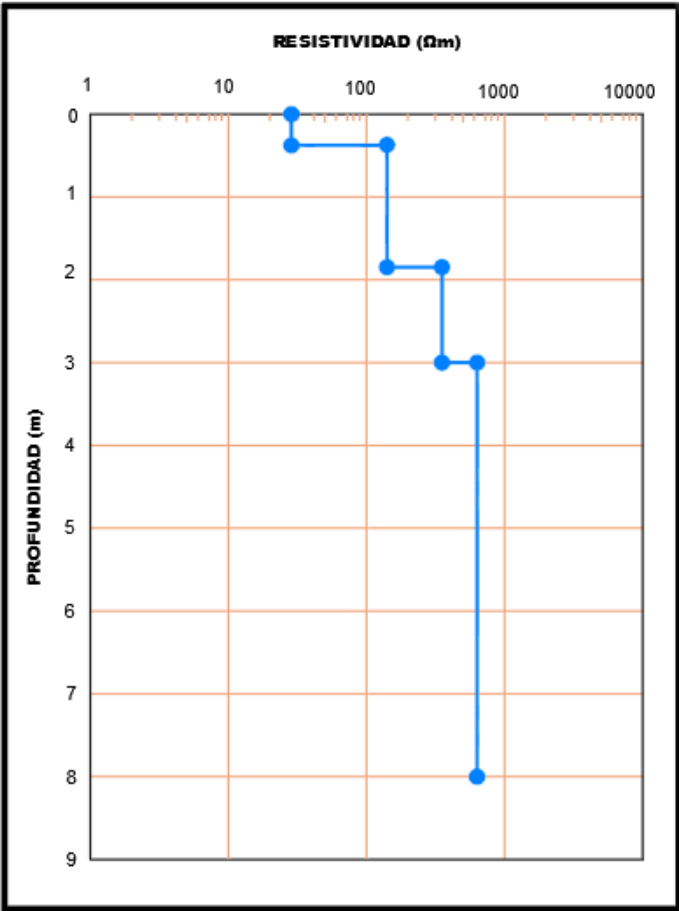
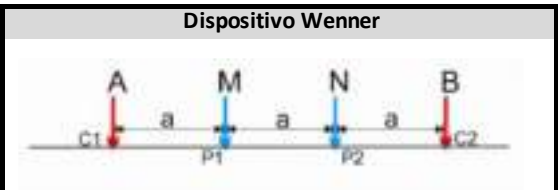
**Ensayo Geofísico**  
SEV-10

**DISPOSITIVO**  
WENNER

**Nº CAPAS**  
4

Prof (m)	P	h	N
0,4	27,4	0,4	1
1,9	146,4	1,5	2
3,0	365,7	1,1	3
8,0	614,2	5,0	4

P	Resistividad (Ohm*m)
h	Espesor capa (m)
N	Número de capa



Coordenadas		Interpretación SEV			
Este	Norte	1	2	3	4
501053	8296745	Eólico	Arena fna	Arena limosa	Arena y gravas

**SEV-10**  
**INFORME GEOFISICO - EMPLAZAMIENTO PARQUE EÓLICO**

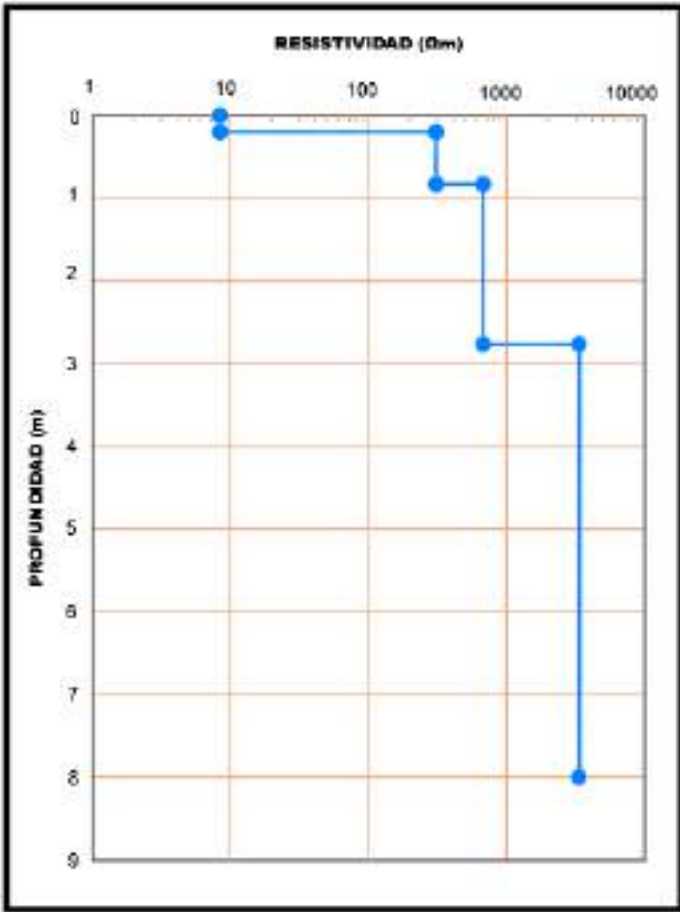
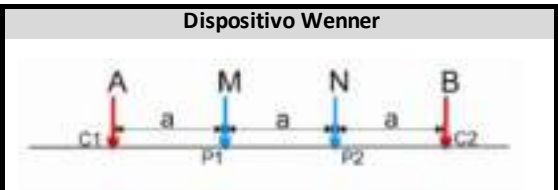
**Ensayo Geofísico**  
SEV-11

**DISPOSITIVO**  
WENNER

**Nº CAPAS**  
4

Prof (m)	P	h	N
0,2	8,4	0,2	1
0,8	299,5	0,6	2
2,7	674,5	1,9	3
8,0	6240,1	5,3	4

P	Resistividad (Ohm*m)
h	Espesor capa (m)
N	Número de capa



Resistividad	SEV-11	Litología
8,4		S. Eólico
299,5		Arena limosa
674,5		Arena fina y gravilla
6240,1		Arena con gravas

Coordenadas		Interpretación SEV			
Este	Norte	1	2	3	4
501276	8296945	Eólico	Arena fina	Arena limosa	Arena y gravas

**SEV-11**  
**INFORME GEOFISICO - EMPLAZAMIENTO PARQUE EÓLICO**

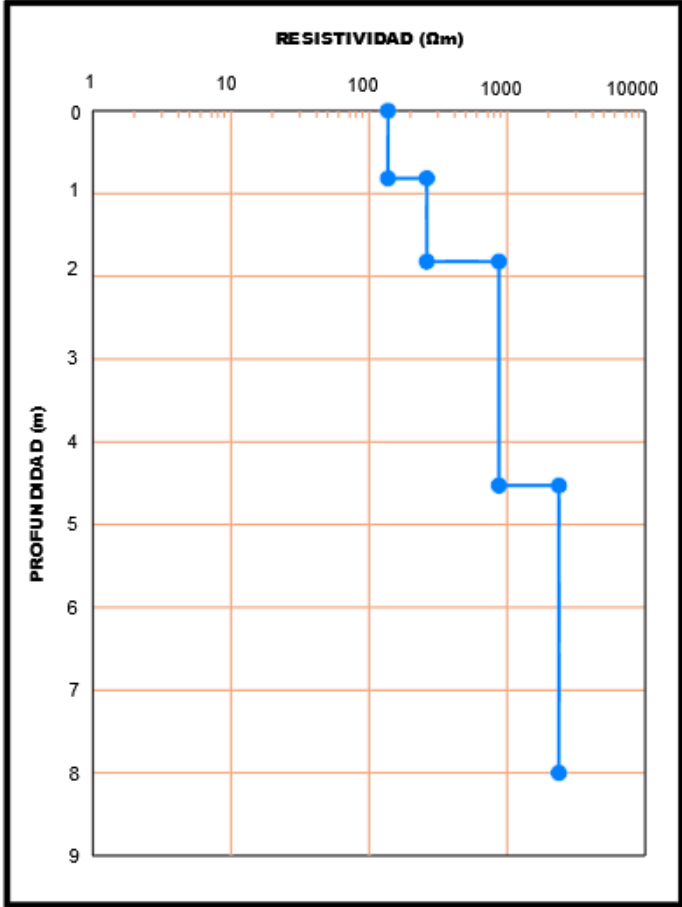
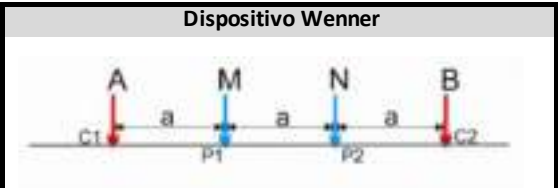
**Ensayo Geofísico**  
SEV-12

**DISPOSITIVO**  
WENNER

**Nº CAPAS**  
4

Prof (m)	P	h	N
0,8	143,3	0,8	1
1,8	354,8	1,0	2
4,5	910,3	2,7	3
8,0	2078,7	3,5	4

P	Resistividad (Ohm*m)
h	Espesor capa (m)
N	Número de capa



Resistividad	SEV-12	Litología
143,3		S. Eólico
354,8		Arena fina y gravilla
910,3		Arena cementadas
2978,7		Arenas muy cementadas

Coordenadas		Interpretación SEV			
Este	Norte	1	2	3	4
501503	8297157	Eólico	Arena fina	Arena cem	Arena muy cem

SEV-12

**INFORME GEOFISICO - EMPLAZAMIENTO PARQUE EÓLICO**

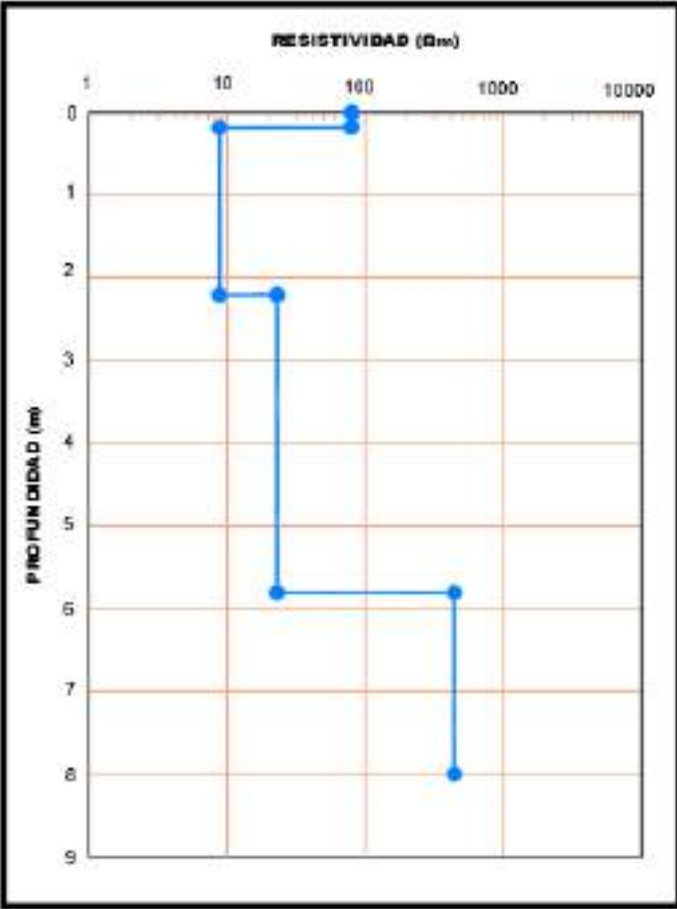
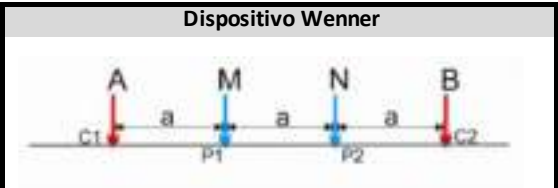
**Ensayo Geofísico**  
SEV-13

**DISPOSITIVO**  
WENNER

**Nº CAPAS**  
4

Prof (m)	P	h	N
0,2	77,8	0,2	1
2,2	8,9	2,0	2
5,8	21,5	3,6	3
8,0	417,8	2,2	4

P	Resistividad (Ohm*m)
h	Espesor capa (m)
N	Número de capa



Resistividad	SEV-13	Litología
77,8		S. Eólico
8,9		Arena limosa
21,5		Arena fina
417,8		Arena con gravilla

Coordenadas		Interpretación SEV			
Este	Norte	1	2	3	4
504274	8297839	Eólico	Arena limosa	Arena fina	Arena gravilla

**SEV-13**  
**INFORME GEOFISICO - EMPLAZAMIENTO PARQUE EÓLICO**

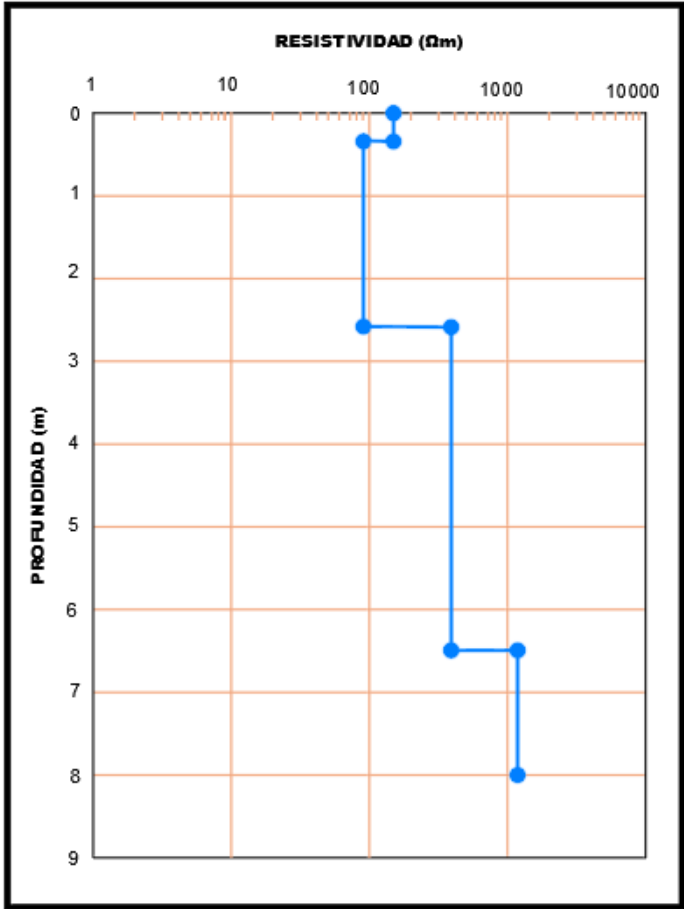
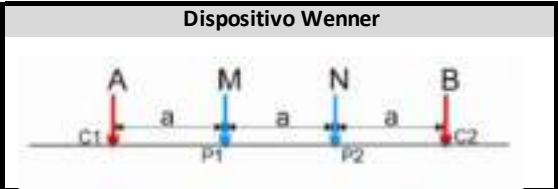
**Ensayo Geofísico**  
SEV-14

**DISPOSITIVO**  
WENNER

**Nº CAPAS**  
4

Prof (m)	P	h	N
0,3	157,3	0,3	1
3,1	90,1	2,8	2
6,4	380,6	3,3	3
8,0	1172,9	1,6	4

P	Resistividad (Ohm*m)
h	Espesor capa (m)
N	Número de capa



Resistividad	SEV-14	Litología
157,3		S. Eólico
90,1		Arena fina
380,6		Arena limosa cementada
1172,9		Arena con gravilla

Coordenadas		Interpretación SEV			
Este	Norte	1	2	3	4
504490	8298048	Eólico	Arena fina	Arena limosa	Arena gravilla

**SEV-14**  
**INFORME GEOFISICO - EMPLAZAMIENTO PARQUE EÓLICO**

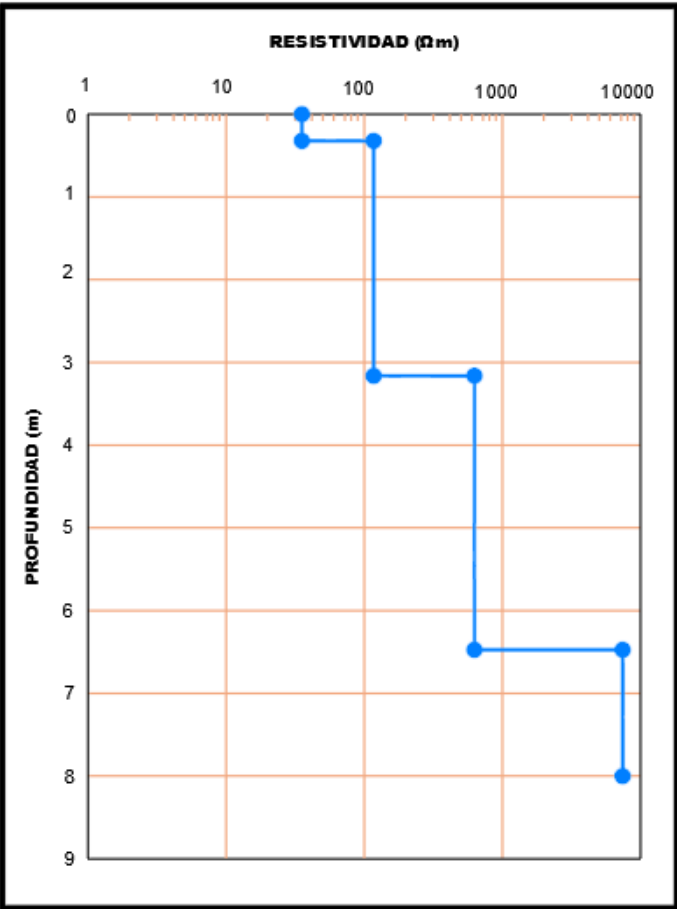
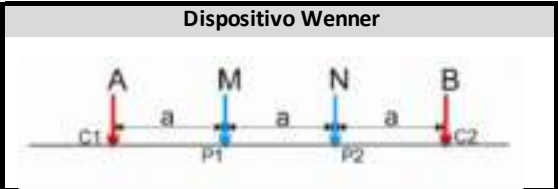
**Ensayo Geofísico**  
SEV-15

**DISPOSITIVO**  
WENNER

**Nº CAPAS**  
4

Prof (m)	P	h	N
0,3	33,7	0,3	1
3,1	123,9	2,8	2
6,4	625,8	3,3	3
8,0	8139,4	1,6	4

P	Resistividad (Ohm*m)
h	Espesor capa (m)
N	Número de capa



Resistividad	SEV-15	Litología
33,7		S. Eólico
123,9		Arena fina
625,8		Arena limosa cementada
8139,4		Arena con grava

Coordenadas		Interpretación SEV			
Este	Norte	1	2	3	4
504705	8298256	Eólico	Arena fina	Arena limosa	Arena grava

**SEV-15**  
**INFORME GEOFISICO - EMPLAZAMIENTO PARQUE EÓLICO**

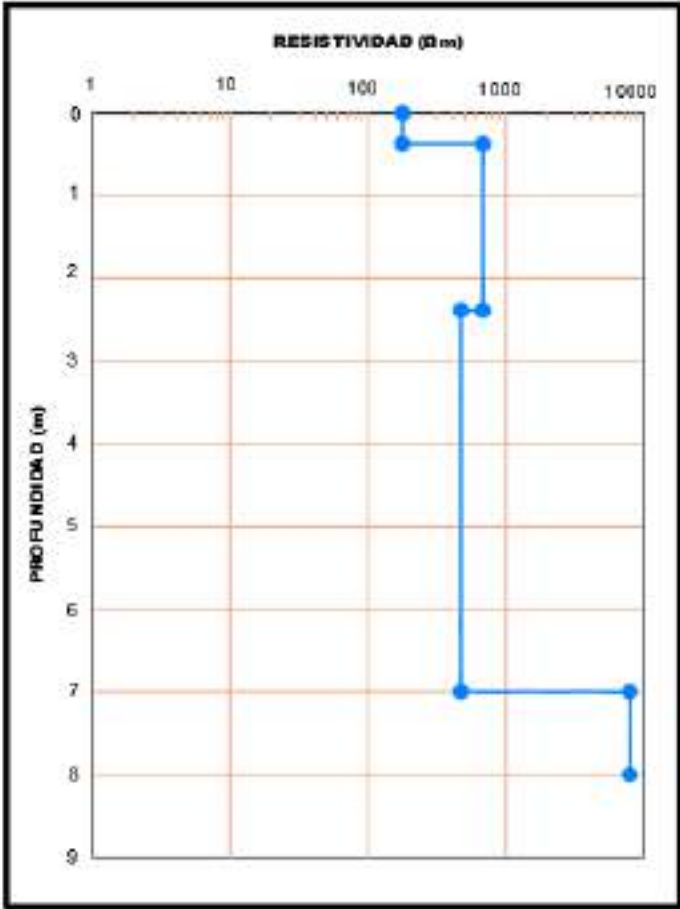
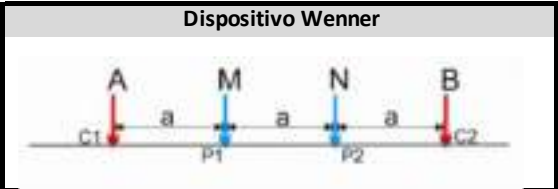
**Ensayo Geofísico**  
SEV-16

**DISPOSITIVO**  
WENNER

**Nº CAPAS**  
4

Prof (m)	P	h	N
0,5	169,2	0,5	1
2,3	676,3	1,8	2
7,0	473,7	4,7	3
8,0	7929,8	1,0	4

P	Resistividad (Ohm*m)
h	Espesor capa (m)
N	Número de capa



Resistividad	SEV-16	Litología
169,2		S. Eólico
676,3		Arena fina
473,7		Arena limosa cementada
7929,8		Arena y gravas

Coordenadas		Interpretación SEV			
Este	Norte	1	2	3	4
504920	8298464	Eólico	Arena fina	Arena limosa	Arena grava

**SEV-16**  
**INFORME GEOFISICO - EMPLAZAMIENTO PARQUE EÓLICO**

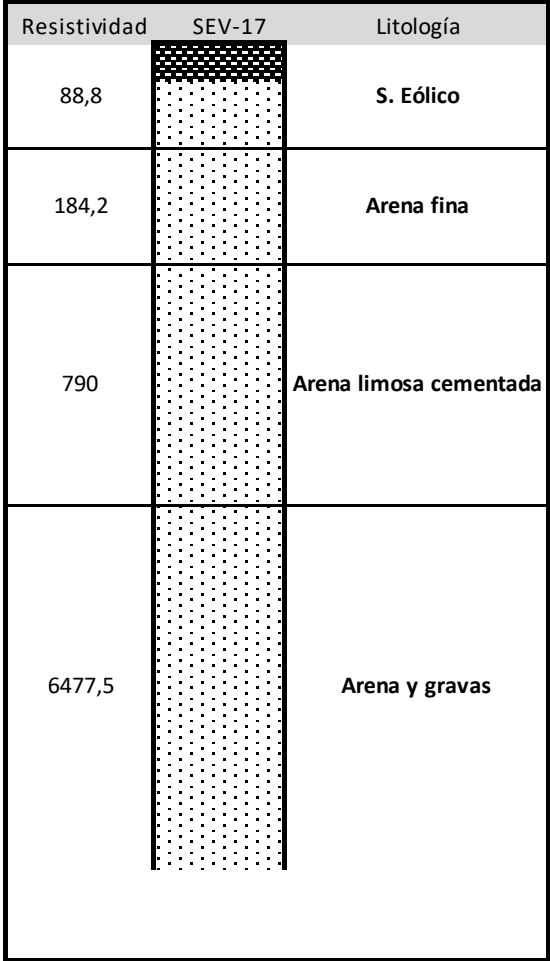
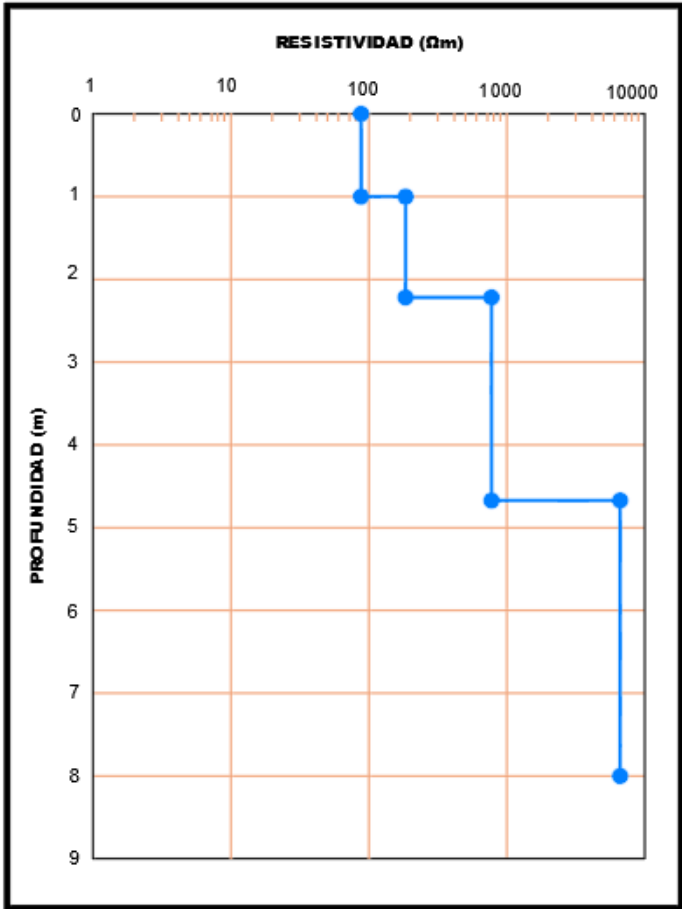
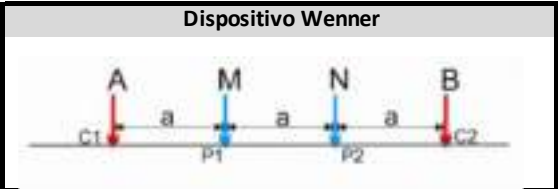
**Ensayo Geofísico**  
SEV-17

**DISPOSITIVO**  
WENNER

**Nº CAPAS**  
4

Prof (m)	P	h	N
1,0	88,8	1,0	1
2,2	184,2	1,2	2
4,7	790,0	2,5	3
8,0	6477,5	3,3	4

P	Resistividad (Ohm*m)
h	Espesor capa (m)
N	Número de capa



Coordenadas		Interpretación SEV			
Este	Norte	1	2	3	4
505132	8298668	Eólico	Arena fina	Arena limosa	Arena grava

**SEV-17**  
**INFORME GEOFISICO - EMPLAZAMIENTO PARQUE EÓLICO**

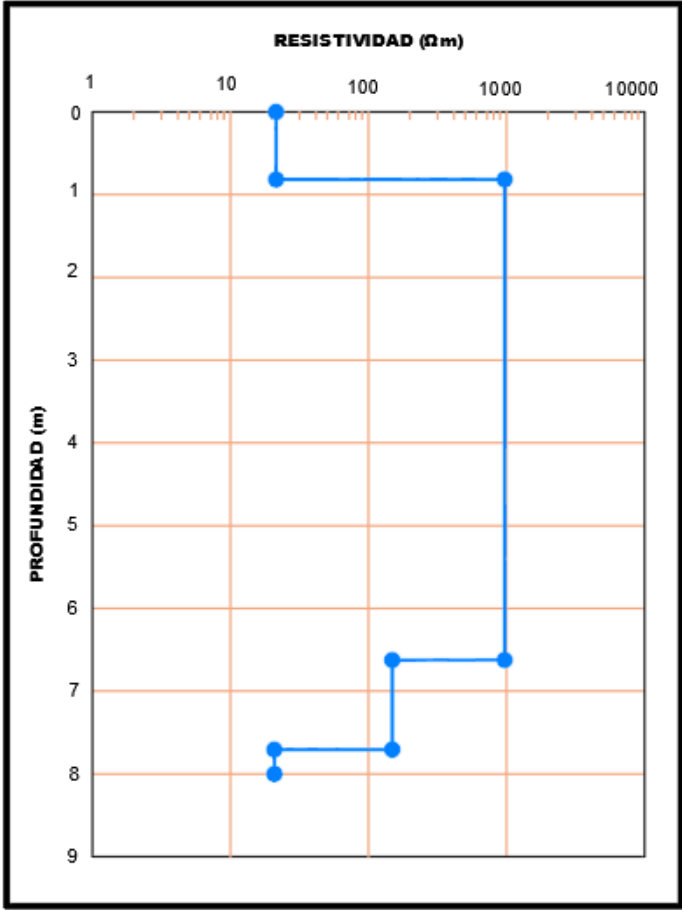
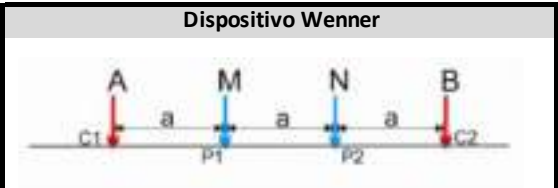
**Ensayo Geofísico**  
SEV-ESTACION

**DISPOSITIVO**  
WENNER

**Nº CAPAS**  
4

Prof (m)	P	h	N
0,9	21,5	0,9	1
6,6	952,2	5,7	2
7,7	131,0	1,1	3
8,0	20,5	0,3	4

P	Resistividad (Ohm*m)
h	Espesor capa (m)
N	Número de capa



Resistividad	SEV-ST	Litología
21,5		S. Eólico
952,2		Arena limosa
131		Arena fina
20,5		Limo arenoso con óxidos

Coordenadas		Interpretación SEV			
Este	Norte	1	2	3	4
503165	8298109	Eólico	Arena limosa	Arena fina	Limo arenoso

**SEV-ST**  
**INFORME GEOFISICO - EMPLAZAMIENTO PARQUE EÓLICO**

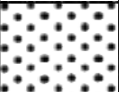
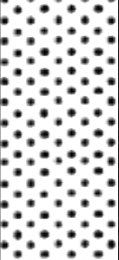
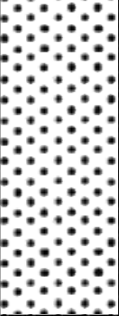
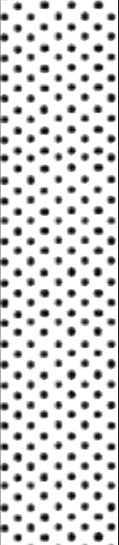
*Anexo B.2.*

## **Exploración Directa**

***REGISTRO DE CALICATAS***

# REGISTRO ESTRATIGRÁFICO

PROYECTO / OBRA:	ESTUDIO PARA EMPLAZAMIENTO DE PARQUE EÓLICO, CARAVELI - AREQUIPA				
TIPO DE EXCAVACIÓN	CALICATA EXCAVADA EN FORMA MECÁNICA (RETROEXCAVADORA)		FECHA DE EJECUCIÓN:	Marzo 2023	
IDENTIFICACIÓN:	C-02	ZONA:	18L	COORDENADAS:	E: 500960    N: 8298763    C: —
RESPONSABLE:	JUAN CHIPOCO PALO		REGISTRADO:	PROFUNDIDAD (m):	4.00 m

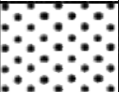


Profundidad (m)	Nivel freático	Columna estratigráfica	Descripción litológica: Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de bolos / cantos, etc.	Muestras	Clasificación SUCS	Densidad seca gr/cm <sup>3</sup>
1.00			0.00 - 0.30 m Arena eólica fina beige con algo de grava y gravilla subangulosa, suelta. Contiene abundante magnetita fina diseminada. Presencia de restos de raíces de plantas.		SP	
2.00			0.30 - 2.20 m Arena fina beige con algo de grava y gravilla subangulosa. Presencia de bolos. Contiene abundante magnetita fina diseminada.		SP	
3.00			2.20 - 4.00 m Arena fina marrón claro con algo de grava y gravilla subangulosa a subredondeada. Presencia de algún bloque de roca. Presencia de una capa discontinua de grava con bolos de 0.80 m. Contiene abundantes restos de conchas marinas. Tambien algo de magnetita fina diseminada.	M-1	SP	
4.00						

**OBSERVACIONES**

1. Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.
2. La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

# REGISTRO ESTRATIGRÁFICO

PROYECTO / OBRA:	ESTUDIO PARA EMPLAZAMIENTO DE PARQUE EÓLICO, CARAVELI - AREQUIPA						
TIPO DE EXCAVACIÓN	CALICATA EXCAVADA EN FORMA MECÁNICA (RETROEXCAVADORA)			FECHA DE EJECUCIÓN:	Marzo 2023		
IDENTIFICACIÓN:	C-04	ZONA:	18L	COORDENADAS:	E: 510390	N: 8299179	C: —
RESPONSABLE:	JUAN CHIPOCO PALO		REGISTRADO:			PROFUNDIDAD (m):	3.50 m

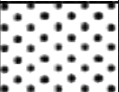
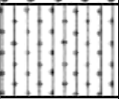

Profundidad (m)	Nivel freático	Columna estratigráfica	Descripción litológica: Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de bolos / cantos, etc.	Muestras	Clasificación SUCS	Densidad seca gr/cm³
1.00			0.00 - 0.30 m Arena eólica fina beige con algunos fragmentos de grava subredondeada, suelta. Contiene abundante magnetita fina diseminada.		SP	
2.00			0.30 - 0.70 m Grava grisácea con matriz areno-limosa. Subangulosa a subredondeada. Presencia de bolos. Poligénica. Contiene abundante magnetita fina diseminada y algo de yeso blanco pulverulento.		GW	
3.00			0.70 - 3.50 m Grava grisácea con matriz arenosa. Subredondeada. Presencia de abundantes bolos. Poligénica. Contiene algo de magnetita fina diseminada y cristales de yeso pardusco en hábito tabular.	M-1	GW	
4.00						

**OBSERVACIONES**

1. Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.
2. La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

# REGISTRO ESTRATIGRÁFICO

PROYECTO / OBRA:	ESTUDIO PARA EMPLAZAMIENTO DE PARQUE EÓLICO, CARAVELI - AREQUIPA				
TIPO DE EXCAVACIÓN	CALICATA EXCAVADA EN FORMA MECÁNICA (RETROEXCAVADORA)		FECHA DE EJECUCIÓN:	Marzo 2023	
IDENTIFICACIÓN:	C-06	ZONA:	18L	COORDENADAS:	E: 501815    N: 8299596    C: —
RESPONSABLE:	JUAN CHIPOCO PALO		REGISTRADO:	PROFUNDIDAD (m):	3.70 m

Profundidad (m)	Nivel freático	Columna estratigráfica	Descripción litológica: Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compactación / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de bolos / cantos, etc.	Muestras	Clasificación SUCS	Densidad seca gr/cm <sup>3</sup>
1.00			0.00 - 0.30 m Arena fina beige con algunos fragmentos de grava subangulosa, eólica. Contiene abundante magnetita fina diseminada.		SP	
2.00			0.30 - 0.60 m Arena fina marrón con algo de limo y con algunos fragmentos de grava subredondeada. Contiene algo de magnetita fina diseminada y yeso blanco pulverulento.		SP-SM	
3.00			0.60 - 3.70 m Grava gisacea con matriz arenosa. Subredondeada. Presencia de bolos. Poligénica. Contiene algo de magnetita fina diseminada y cristales de yeso pardusco en hábito tabular.	M-1	GW	
4.00						

OBSERVACIONES

1. Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.
2. La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

# REGISTRO ESTRATIGRÁFICO

PROYECTO / OBRA:	ESTUDIO PARA EMPLAZAMIENTO DE PARQUE EÓLICO, CARAVELI - AREQUIPA				
TIPO DE EXCAVACIÓN	CALICATA EXCAVADA EN FORMA MECÁNICA (RETROEXCAVADORA)		FECHA DE EJECUCIÓN:	Marzo 2023	
IDENTIFICACIÓN:	C-08	ZONA:	18L	COORDENADAS:	E: 502236    N: 8299997    C: —
RESPONSABLE:	JUAN CHIPOCO PALO		REGISTRADO:	PROFUNDIDAD (m):	3.50 m

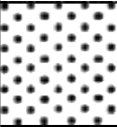

Profundidad (m)	Nivel freático	Columna estratigráfica	Descripción litológica: Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de bolos / cantos, etc.	Muestras	Clasificación SUCS	Densidad seca gr/cm <sup>3</sup>
1.00			0.00 - 0.80 m Arena eólica fina beige con algunos fragmentos de grava subredondeada, suelta. Contiene abundante magnetita fina diseminada.		SP	
2.00			0.80 - 2.50 m Grava grisácea con matriz areno-limosa. Subangulosa a subredondeada. Presencia de bolos. Poligénica. Contiene abundante magnetita fina diseminada y algo de yeso blanco pulverulento.		SP-SM	
3.00			2.50 - 3.50 m Grava grisácea con matriz arenosa. Subredondeada. Presencia de abundantes bolos. Poligénica. Contiene algo de magnetita fina diseminada y cristales de yeso pardusco en hábito tabular.	M-1	GW	
4.00						

OBSERVACIONES

1. Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.
2. La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

# REGISTRO ESTRATIGRÁFICO

PROYECTO / OBRA:	ESTUDIO PARA EMPLAZAMIENTO DE PARQUE EÓLICO, CARAVELI - AREQUIPA				
TIPO DE EXCAVACIÓN	CALICATA EXCAVADA EN FORMA MECÁNICA (RETROEXCAVADORA)		FECHA DE EJECUCIÓN:	Marzo 2023	
IDENTIFICACIÓN:	C-09	ZONA:	18L	COORDENADAS:	E: 500833    N: 8296538    C: —
RESPONSABLE:	JUAN CHIPOCO PALO		REGISTRADO:	PROFUNDIDAD (m):	1.50 m

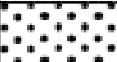
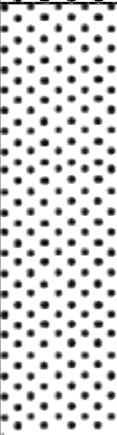
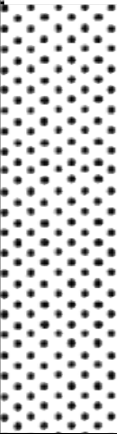

Profundidad (m)	Nivel freático	Columna estratigráfica	Descripción litológica: Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de bolos / cantos, etc.	Muestras	Clasificación SUCS	Densidad seca gr/cm <sup>3</sup>
1.00			0.00 - 0.40 m Arena fina beige con algunos fragmentos de grava subredondeada, eólica suelta. Contiene abundante magnetita fina diseminada. Presencia de restos de raíces de plantas.		SP	
2.00			0.40 - 1.50 m Grava grisácea con matriz arenosa. Subredondeada. Presencia de bastantes bolos. Poligénica. Contiene algo de magnetita fina diseminada. Contiene yeso blanco pulverulento.	M-1	GW	
3.00						
4.00						

**OBSERVACIONES**

1. Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.
2. La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

# REGISTRO ESTRATIGRÁFICO

PROYECTO / OBRA:	ESTUDIO PARA EMPLAZAMIENTO DE PARQUE EÓLICO, CARAVELI - AREQUIPA						
TIPO DE EXCAVACIÓN	CALICATA EXCAVADA EN FORMA MECÁNICA (RETROEXCAVADORA)			FECHA DE EJECUCIÓN:	Marzo 2023		
IDENTIFICACIÓN:	C-11	ZONA:	18L	COORDENADAS:	E: 501276	N: 8296945	C: —
RESPONSABLE:	JUAN CHIPOCO PALO		REGISTRADO:			PROFUNDIDAD (m):	4.00 m

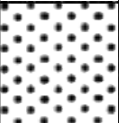

Profundidad (m)	Nivel freático	Columna estratigráfica	Descripción litológica: Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compactación / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de bolos / cantos, etc.	Muestras	Clasificación SUCS	Densidad seca gr/cm <sup>3</sup>
1.00			0.00 - 0.20 m Arena fina beige con algo de arena gravosa subangulosa, eólica suelta. Contiene abundante magnetita fina diseminada. Presencia de restos de raíces de plantas.		SP	
2.00			0.20 - 3.00 m Arena fina beige con bajo porcentaje de finos y con algunos fragmentos de arena gravosa. Contiene abundante magnetita fina diseminada. Suelta.	M-1	SP	
3.00			3.00 - 4.00 m Grava grisácea con matriz arenosa. Subredondeada.		GW	
4.00						

OBSERVACIONES

1. Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.
2. La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

# REGISTRO ESTRATIGRÁFICO

PROYECTO / OBRA:	ESTUDIO PARA EMPLAZAMIENTO DE PARQUE EÓLICO, CARAVELI - AREQUIPA				
TIPO DE EXCAVACIÓN	CALICATA EXCAVADA EN FORMA MECÁNICA (RETROEXCAVADORA)		FECHA DE EJECUCIÓN:	Marzo 2023	
IDENTIFICACIÓN:	C-13	ZONA:	18L	COORDENADAS:	E: 504274    N: 8297839    C: —
RESPONSABLE:	JUAN CHIPOCO PALO		REGISTRADO:	PROFUNDIDAD (m):	2.70 m

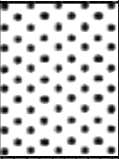

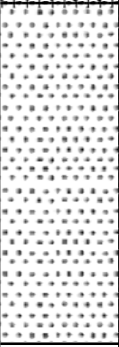
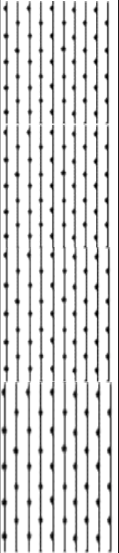
Profundidad (m)	Nivel freático	Columna estratigráfica	Descripción litológica: Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de bolos / cantos, etc.	Muestras	Clasificación SUCS	Densidad seca gr/cm <sup>3</sup>
1.00			0.00 - 0.40 m Arena fina beige con algunos fragmentos de grava subredondeada, eólica suelta. Contiene abundante magnetita fina diseminada. Presencia de restos de raíces de plantas.		SP	
2.00			0.40 - 2.70 m Grava grisácea con matriz arenosa. Subredondeada. Presencia de bastantes bolos. Poligénica. Contiene algo de magnetita fina diseminada. Contiene yeso blanco pulverulento.	M-1	GW	
3.00						
4.00						

OBSERVACIONES

1. Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.
2. La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

# REGISTRO ESTRATIGRÁFICO

PROYECTO / OBRA:	ESTUDIO PARA EMPLAZAMIENTO DE PARQUE EÓLICO, CARAVELI - AREQUIPA						
TIPO DE EXCAVACIÓN	CALICATA EXCAVADA EN FORMA MECÁNICA (RETROEXCAVADORA)			FECHA DE EJECUCIÓN:	Marzo 2023		
IDENTIFICACIÓN:	C-15	ZONA:	18L	COORDENADAS:	E: 504705	N: 8298256	C: —
RESPONSABLE:	JUAN CHIPOCO PALO		REGISTRADO:			PROFUNDIDAD (m):	3.70 m

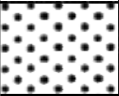

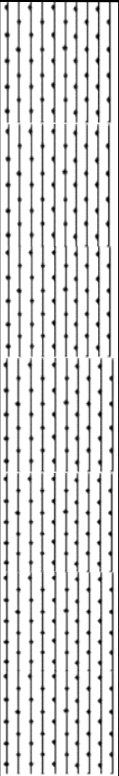
Profundidad (m)	Nivel freático	Columna estratigráfica	Descripción litológica: Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de bolos / cantos, etc.	Muestras	Clasificación SUCS	Densidad seca gr/cm <sup>3</sup>
1.00			0.00 - 0.50 m Arena fina beige con algunos fragmentos de grava subredondeada. Contiene abundante magnetita fina diseminada. Presencia de restos de raíces de plantas. Medianamente compacta.		SP	
			0.50 - 0.80 m Arena fina marrón claro con algo de limo. Contiene abundante yeso blanco diseminado pulverulento.		SP-SM	
2.00			0.80 - 1.90 m Arenisca blanca cremosa de grano fino muy fracturada. Contiene óxidos amarillentos en forma de vetas. Grado de met IV-V			
3.00			1.90 - 3.70 m Arena fina blanca cremosa. Contiene óxidos amarillentos en forma de vetas. También contiene cristales parduscos de yeso en forma de vetas.	M-1	SP-SM	
4.00						

OBSERVACIONES

1. Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.
2. La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

# REGISTRO ESTRATIGRÁFICO

PROYECTO / OBRA:	ESTUDIO PARA EMPLAZAMIENTO DE PARQUE EÓLICO, CARAVELI - AREQUIPA						
TIPO DE EXCAVACIÓN	CALICATA EXCAVADA EN FORMA MECÁNICA (RETROEXCAVADORA)			FECHA DE EJECUCIÓN:	Marzo 2023		
IDENTIFICACIÓN:	C-17	ZONA:	18L	COORDENADAS:	E: 505132	N: 8298668	C: —
RESPONSABLE:	JUAN CHIPOCO PALO		REGISTRADO:			PROFUNDIDAD (m):	3.50 m

Profundidad (m)	Nivel freático	Columna estratigráfica	Descripción litológica: Clasificación técnica, forma del material granular, color, contenido de humedad, índice de plasticidad / compresibilidad, grado de compacidad / consistencia, Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico, porcentaje estimado de bolos / cantos, etc.	Muestras	Clasificación SUCS	Densidad seca gr/cm³
1.00			0.00 - 0.30 m Arena eólica fina beige con algunos fragmentos de grava subredondeada, suelta. Contiene abundante magnetita fina diseminada.		SP	
1.00			0.30 - 1.00 m Grava grisácea con matriz areno-limosa. Subangulosa a subredondeada. Presencia de bolos. Poligénica. Contiene abundante magnetita fina diseminada y algo de yeso blanco pulverulento.		GW	
2.00			1.00 - 3.50 m Grava grisácea con matriz arenosa. Subredondeada. Presencia de abundantes bolos. Poligénica. Contiene algo de magnetita fina diseminada y cristales de yeso pardusco en hábito tabular.	M-1	SP-SM	
3.00						
4.00						

OBSERVACIONES

1. Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.
2. La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

***REGISTRO GEOLÓGICO DE PERFORACIONES***

Identificación: SONDEO No. SPT-01

Tipo de Excavación: Sondeo Mecánico con Perforadora BOARD LONGYEAR DB520

HOJA

Fecha:

Elevación T.N.: 396.00 m

Método: Penetración Standard, SPT

Zona: 18 L

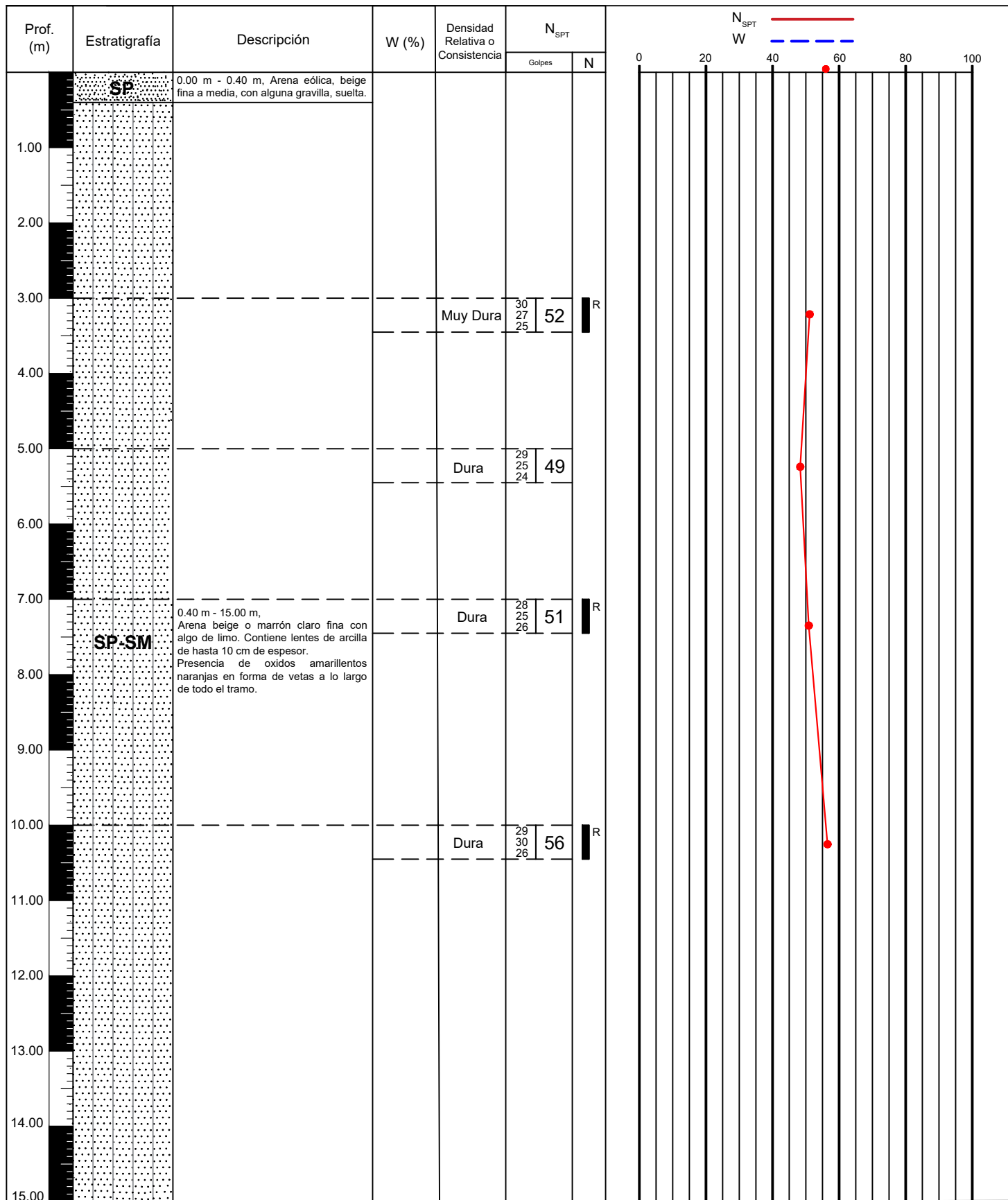
Tramo: 0.00 m - 15.00 m

Coordenadas: 500739.00 m E  
8298547.00 m S

Clima: Seco

Prof. Sondeo: 30.00 m

Prof. Nivel Freático: No se encontro



**OBSERVACIONES**

- Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.
- La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

Identificación: SONDEO No. SPT-01

Tipo de Excavación: Sondeo Mecánico con Perforadora BOARD LONGYEAR DB520

HOJA

Fecha:

Elevación T.N.: 396.00 m

Método: Penetración Standard, SPT

Zona: 18 L

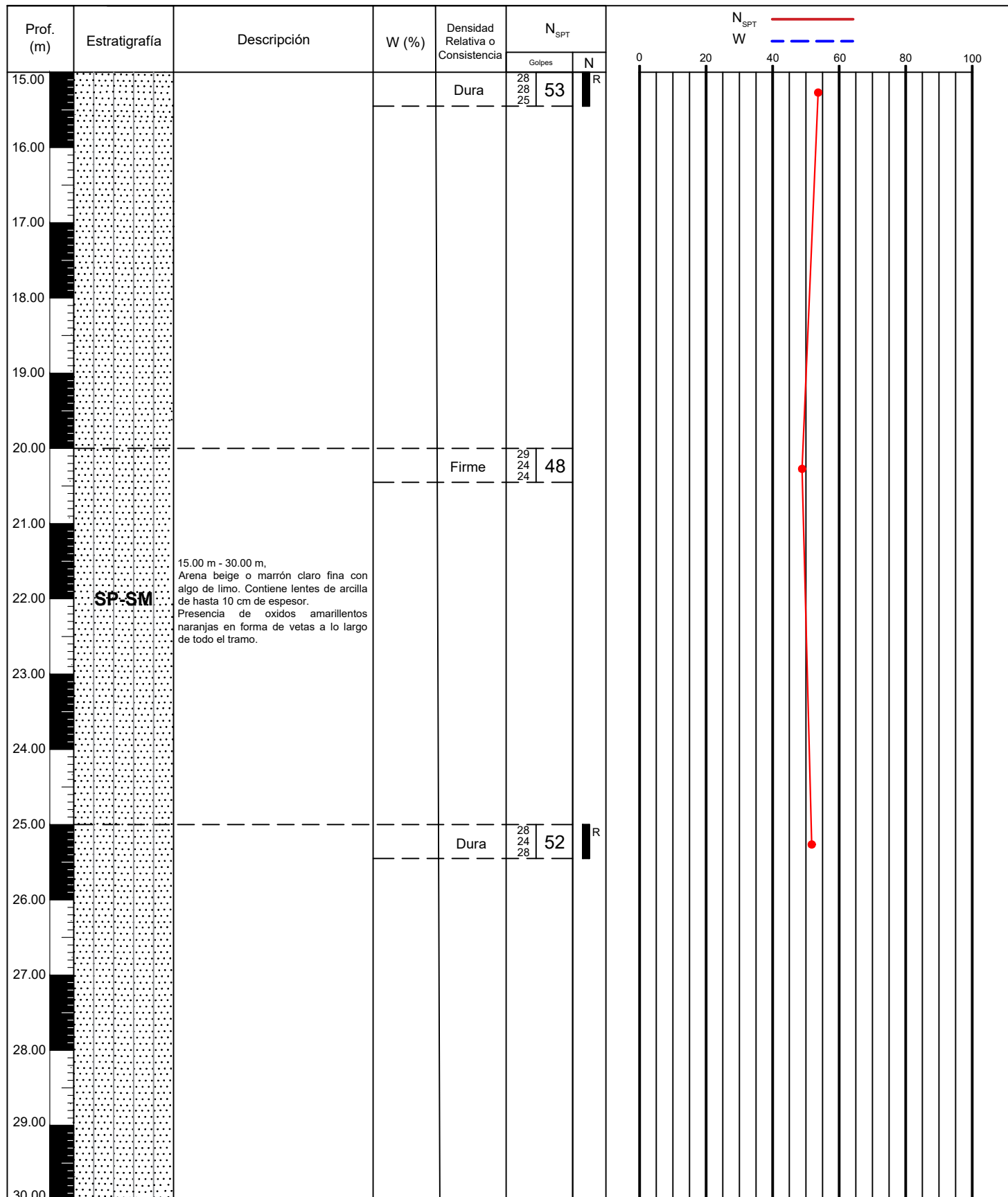
Tramo: 15.00 m - 30.00 m

Coordenadas: 500739.00 m E  
8298547.00 m S

Clima: Seco

Prof. Sondeo: 30.00 m

Prof. Nivel Freático: No se encontro



OBSERVACIONES

- Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.
- La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

Identificación: SONDEO No. SPT-03

Tipo de Excavación: Sondeo Mecánico con Perforadora BOARD LONGYEAR DB520

HOJA

Fecha:

Método: Penetración Standard, SPT

Elevación T.N.: 410.00 m

Tramo: 0.00 m - 15.00 m

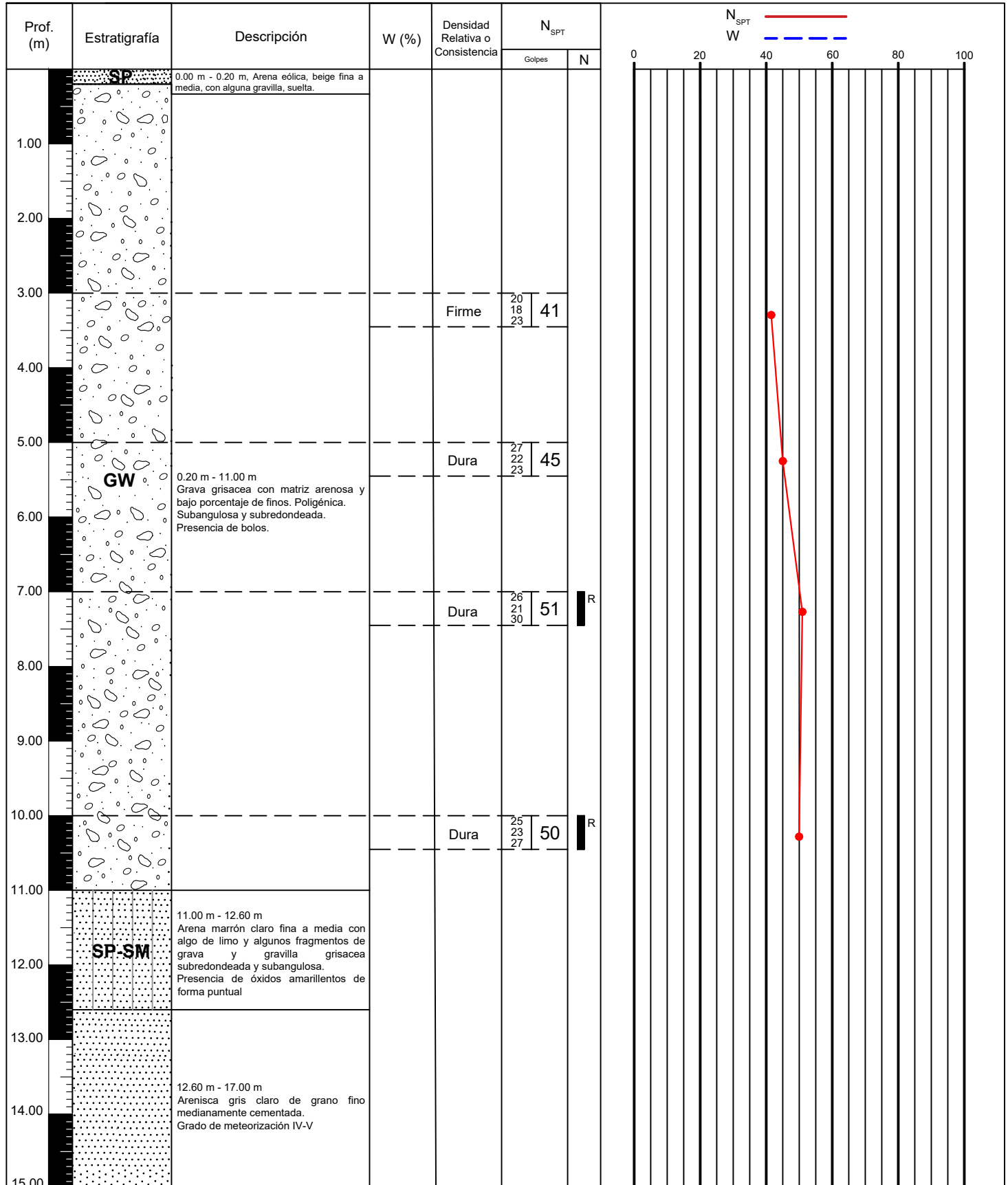
Zona: 18 L

Clima: Seco

Coordenadas: 501173.00 m E  
8298973.00 m S

Prof. Sondeo: 20.70 m

Prof. Nivel Freático: No se encontro



OBSERVACIONES

- Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.
- La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

Identificación: SONDEO No. SPT-03

Tipo de Excavación: Sondeo Mecánico con Perforadora BOARD LONGYEAR DB520

HOJA

Fecha:

Elevación T.N.: 410.00 m

Método: Penetración Standard, SPT

Zona: 18 L

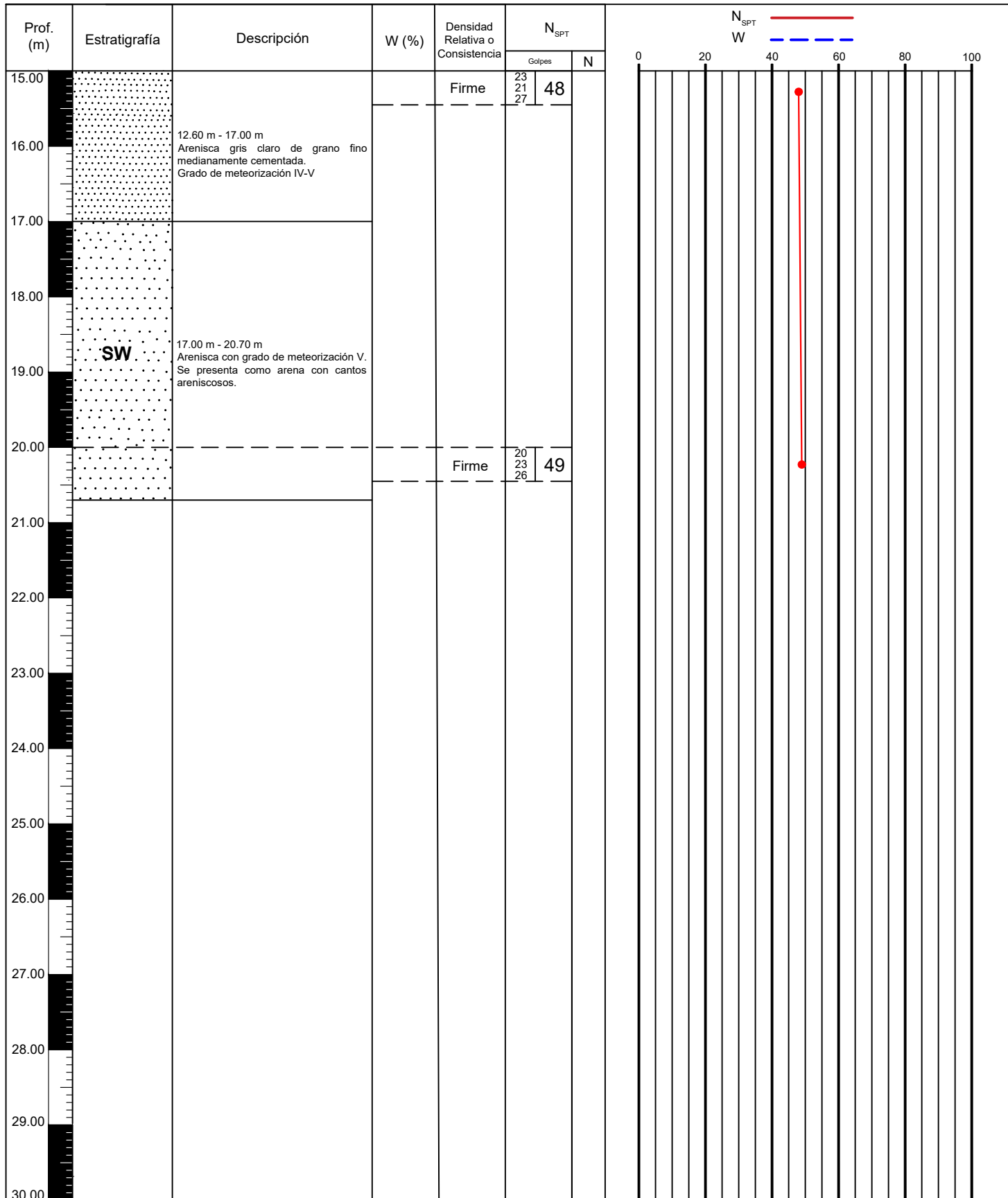
Tramo: 15.00 m - 20.70 m

Coordenadas: 501173.00 m E  
8298973.00 m S

Clima: Seco

Prof. Sondeo: 20.70 m

Prof. Nivel Freático: No se encontro



OBSERVACIONES

- Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.
- La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

Identificación: SONDEO No. SPT-05

Tipo de Excavación: Sondeo Mecánico con Perforadora BOARD LONGYEAR DB520

HOJA

Fecha:

Elevación T.N.: 432.00 m

Método: Penetración Standard, SPT

Zona: 18 L

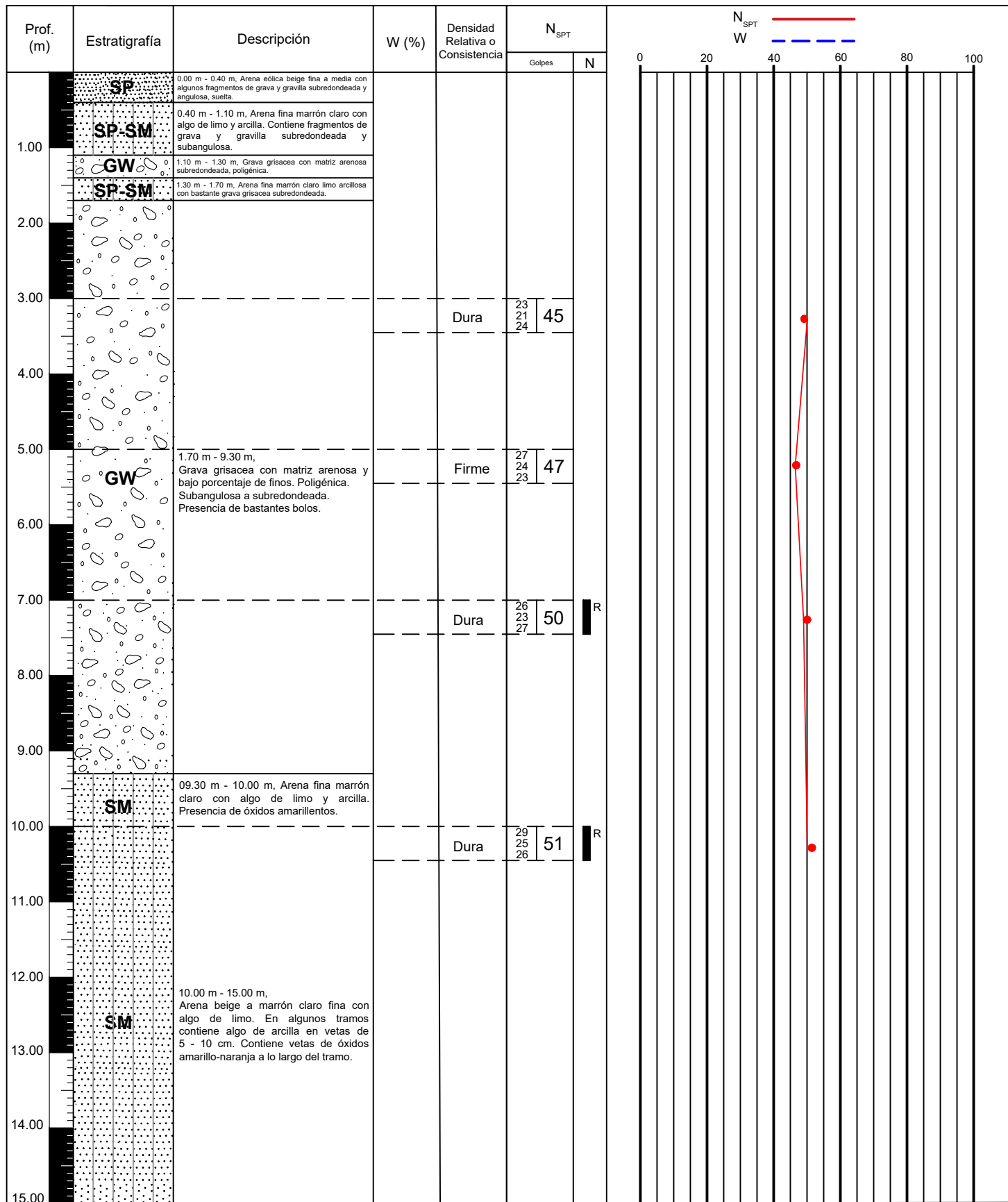
Tramo: 0.00 m - 15.00 m

Coordenadas: 501601.00 m E  
8299386.00 m S

Clima: Seco

Prof. Sondeo: 30.00 m

Prof. Nivel Freático: No se encontro



OBSERVACIONES

- Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.
- La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

Identificación: SONDEO No. SPT-05

Tipo de Excavación: Sondeo Mecánico con Perforadora BOARD LONGYEAR DB520

HOJA

Fecha:

Elevación T.N.: 432.00 m

Método: Penetración Standard, SPT

Zona: 18 L

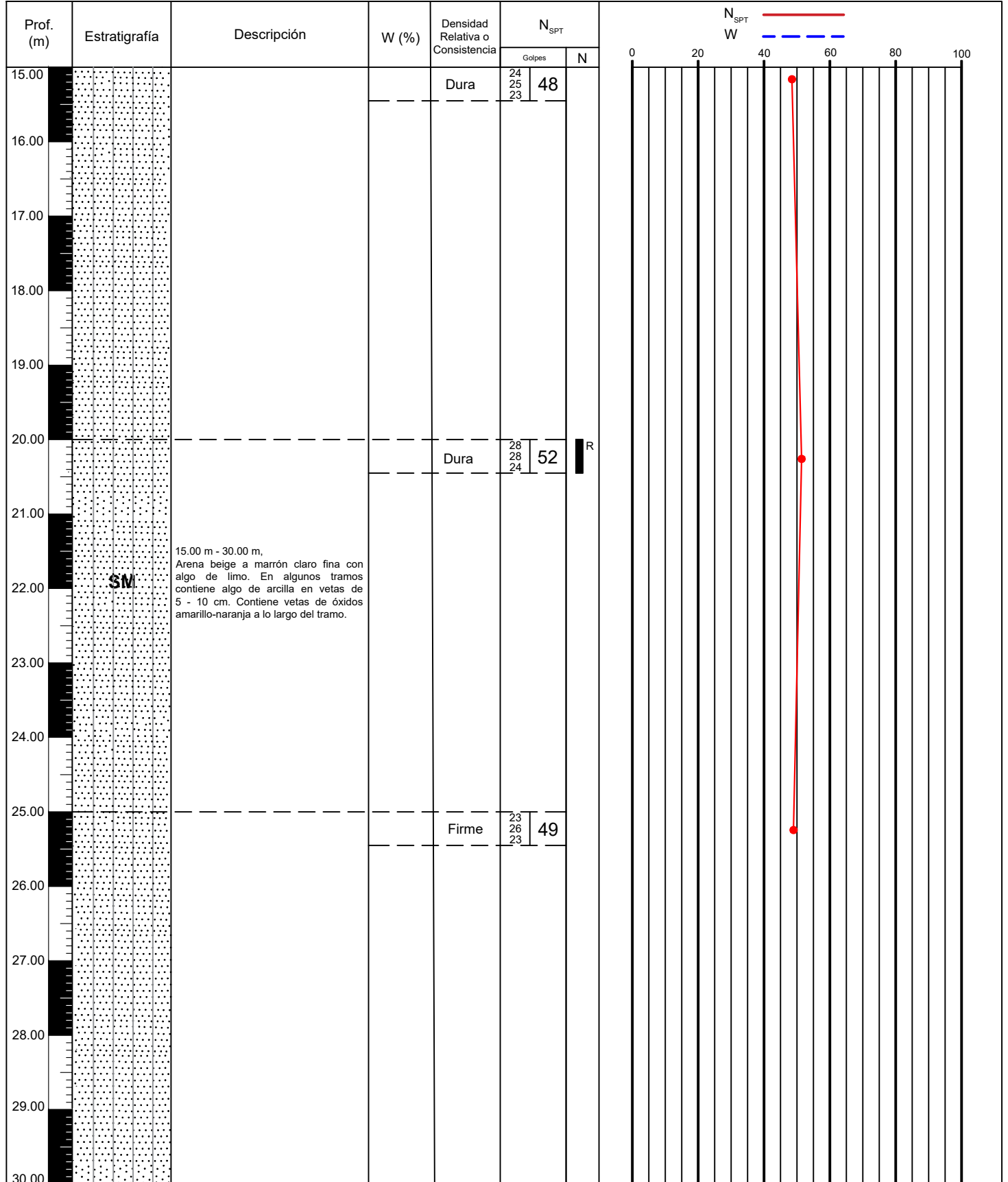
Tramo: 15.00 m - 30.00 m

Coordenadas: 501601.00 m E  
8299386.00 m S

Clima: Seco

Prof. Sondeo: 30.00 m

Prof. Nivel Freático: No se encontro



**OBSERVACIONES**

- Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.
- La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

Identificación: SONDEO No. SPT-07

Tipo de Excavación: Sondeo Mecánico con Perforadora BOARD LONGYEAR DB520

HOJA

Fecha:

Elevación T.N.: 424.00 m

Método: Penetración Standard, SPT

Zona: 18 L

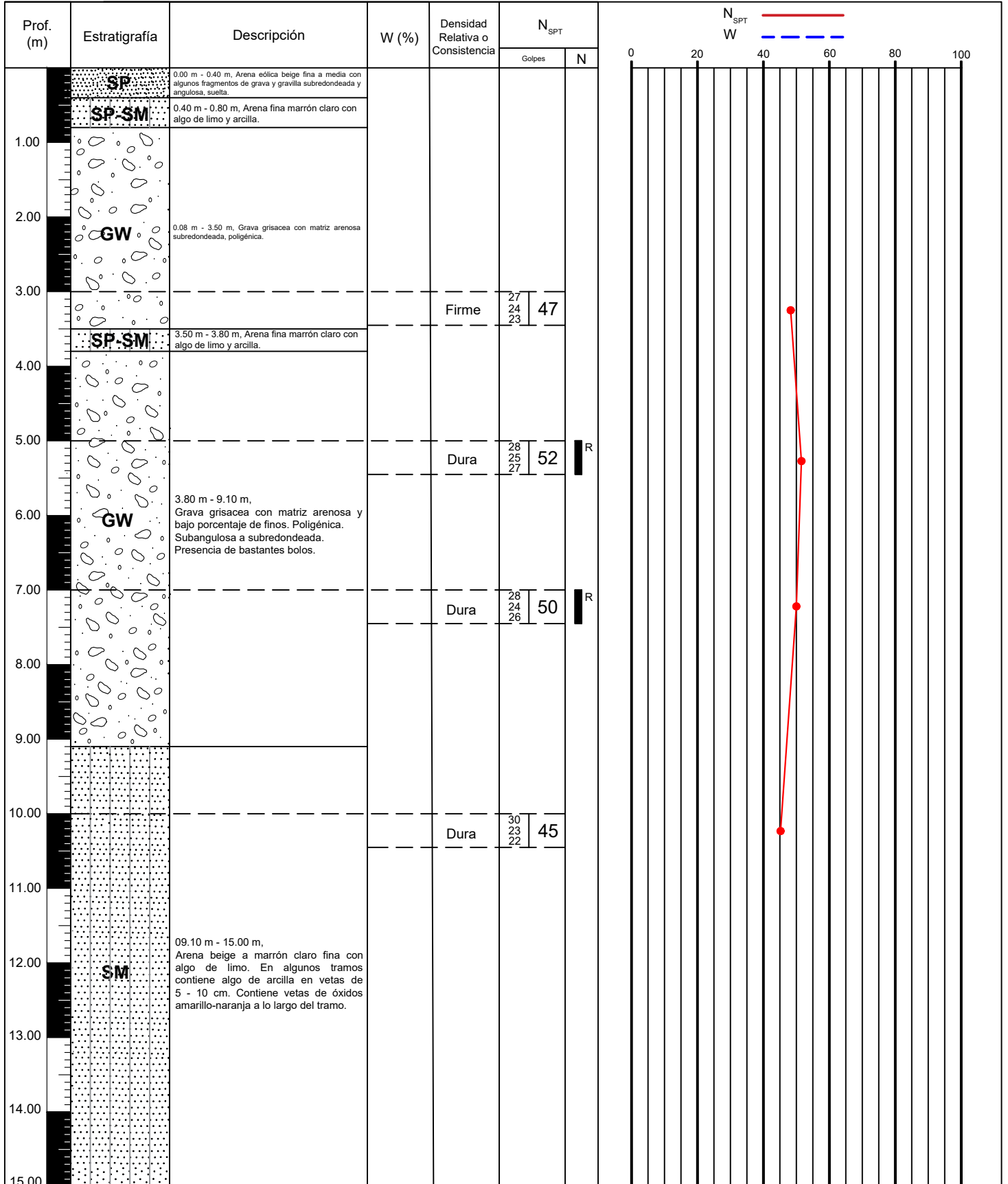
Tramo: 0.00 m - 15.00 m

Coordenadas: 502029.00 m E  
8299802.00m S

Clima: Seco

Prof. Sondeo: 26.50 m

Prof. Nivel Freático: No se encontro



OBSERVACIONES

- Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.
- La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

Identificación: SONDEO No. SPT-07

Tipo de Excavación: Sondeo Mecánico con Perforadora BOARD LONGYEAR DB520

HOJA

Fecha:

Elevación T.N.: 424.00 m

Método: Penetración Standard, SPT

Zona: 18 L

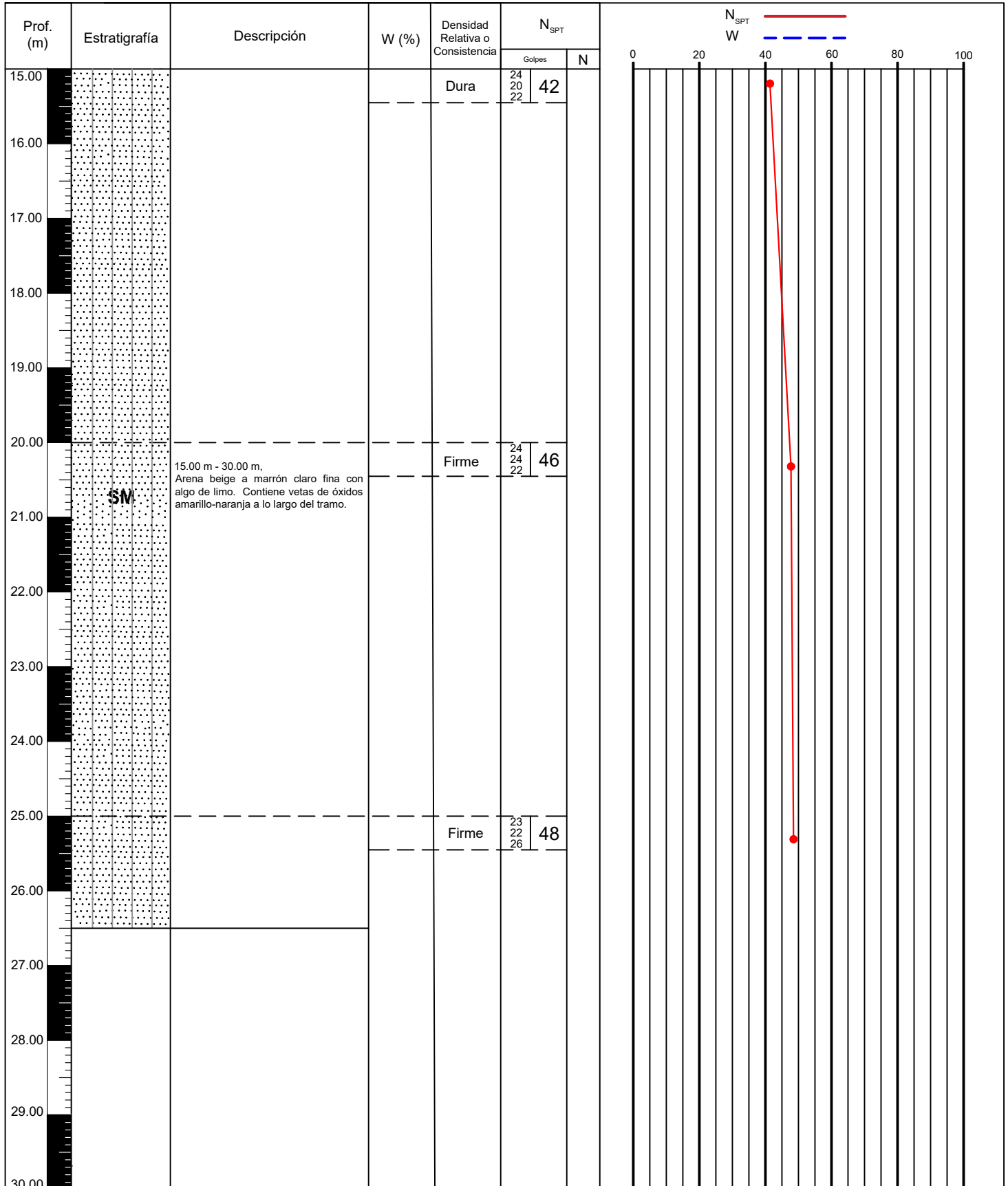
Tramo: 15.00 m - 26.50 m

Coordenadas: 502029.00 m E  
8299802.00m S

Clima: Seco

Prof. Sondeo: 26.50 m

Prof. Nivel Freático: No se encontro



**OBSERVACIONES**

- Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.
- La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

Identificación: SONDEO No. SPT-10

Tipo de Excavación: Sondeo Mecánico con Perforadora BOARD LONGYEAR DB520

Fecha:

Elevación T.N.: 358.00 m

Método: Penetración Standard, SPT

Zona: 18 L

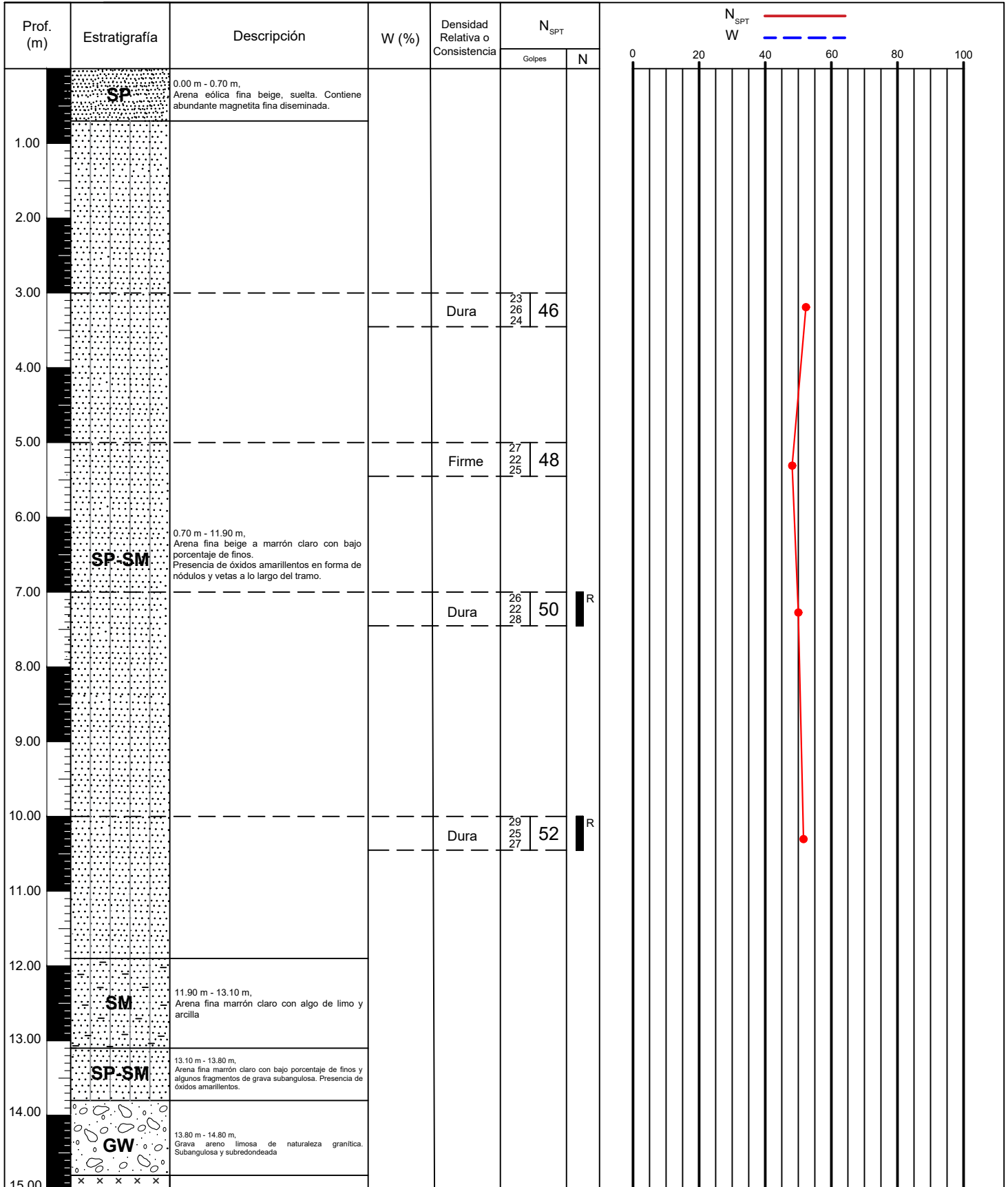
Tramo: 0.00 m - 15.00 m

Coordenadas: 501053.00 m E  
8296745.00 m S

Clima: Seco

Prof. Sondeo: 20.30 m

Prof. Nivel Freático: No se encontro



**OBSERVACIONES**  
 1. Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.  
 2. La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

Identificación: SONDEO No. SPT-10

Tipo de Excavación: Sondeo Mecánico con Perforadora BOARD LONGYEAR DB520

Fecha:

Elevación T.N.: 358.00 m

Método: Penetración Standard, SPT

Zona: 18 L

Tramo: 15.00 m - 20.30 m

Coordenadas: 501053.00 m E  
8296745.00 m S

Clima: Seco

Prof. Sondeo: 20.30 m

Prof. Nivel Freático: No se encontro

Prof. (m)	Estratigrafía	Descripción	W (%)	Densidad Relativa o Consistencia	N <sub>SPT</sub>		N <sub>SPT</sub>	W
					Golpes	N		
15.00	x x x x x	14.80 m - 20.30 m, Granito gneísico rosado con grado de meteorización I. Fracturamiento bajo a medio. RQD <25		Dura			0	0
15.20	x x x x x							
15.40	x x x x x							
15.60	x x x x x							
15.80	x x x x x							
16.00	x x x x x							
16.20	x x x x x							
16.40	x x x x x							
16.60	x x x x x							
16.80	x x x x x							
17.00	x x x x x							
17.20	x x x x x							
17.40	x x x x x							
17.60	x x x x x							
17.80	x x x x x							
18.00	x x x x x							
18.20	x x x x x							
18.40	x x x x x							
18.60	x x x x x							
18.80	x x x x x							
19.00	x x x x x							
19.20	x x x x x							
19.40	x x x x x							
19.60	x x x x x							
19.80	x x x x x							
20.00	x x x x x							
20.20	x x x x x							
20.30	x x x x x							
21.00							20	
22.00							40	
23.00							60	
24.00							80	
25.00							100	
26.00								
27.00								
28.00								
29.00								
30.00								

**OBSERVACIONES**  
 1. Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.  
 2. La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

Identificación: SONDEO No. SPT-12

Tipo de Excavación: Sondeo Mecánico con Perforadora BOARD LONGYEAR DB520

HOJA

Fecha:

Elevación T.N.: 350.00 m

Método: Penetración Standard, SPT

Zona: 18 L

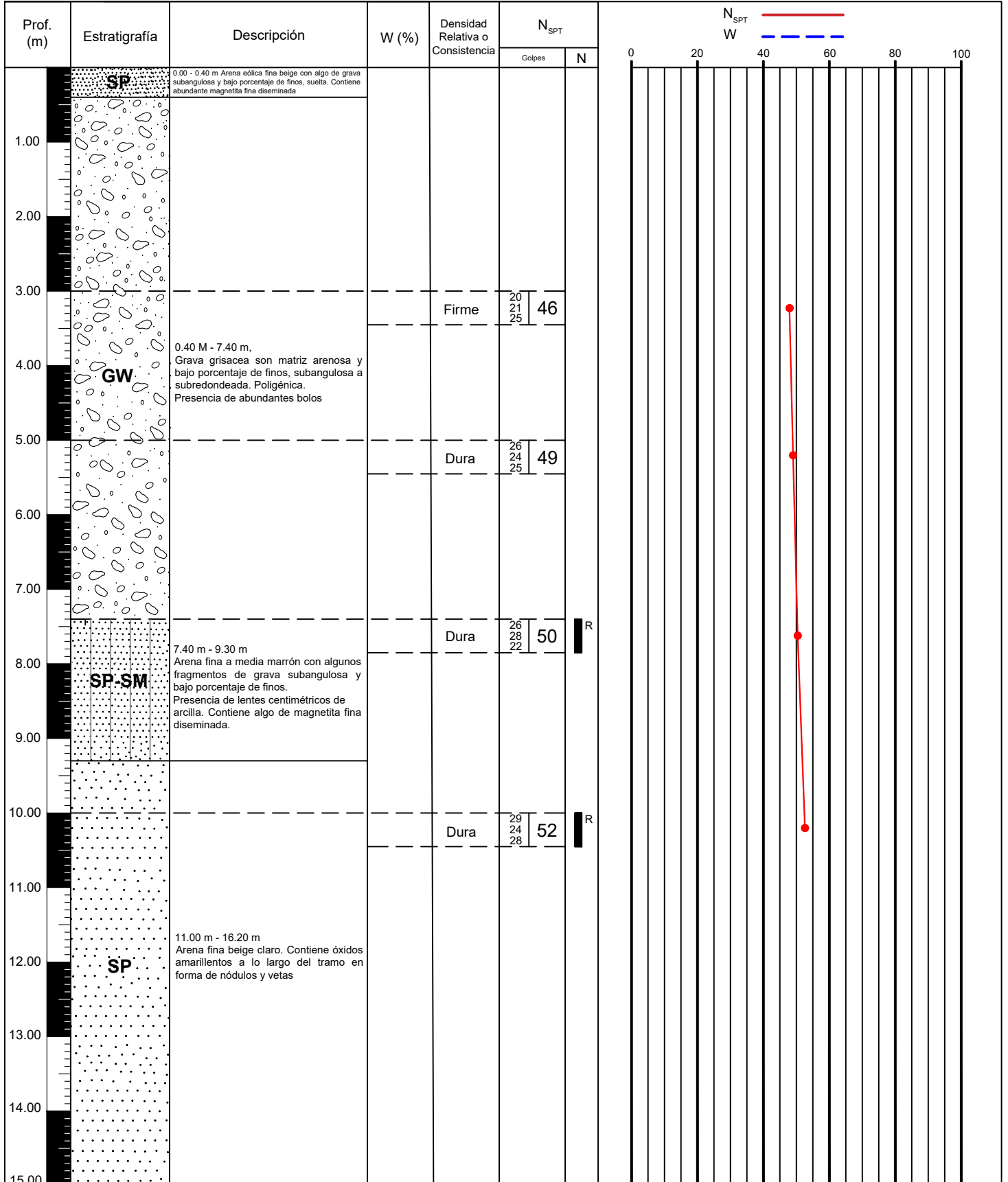
Tramo: 0.00 m - 15.00 m

Coordenadas: 501503.00 m E  
8297157.00 m S

Clima: Seco

Prof. Sondeo: 30.00 m

Prof. Nivel Freático: No se encontro



**OBSERVACIONES**

- Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.
- La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

Identificación: SONDEO No. SPT-12

Tipo de Excavación: Sondeo Mecánico con Perforadora BOARD LONGYEAR DB520

Fecha:

Elevación T.N.: 350.00 m

Método: Penetración Standard, SPT

Zona: 18 L

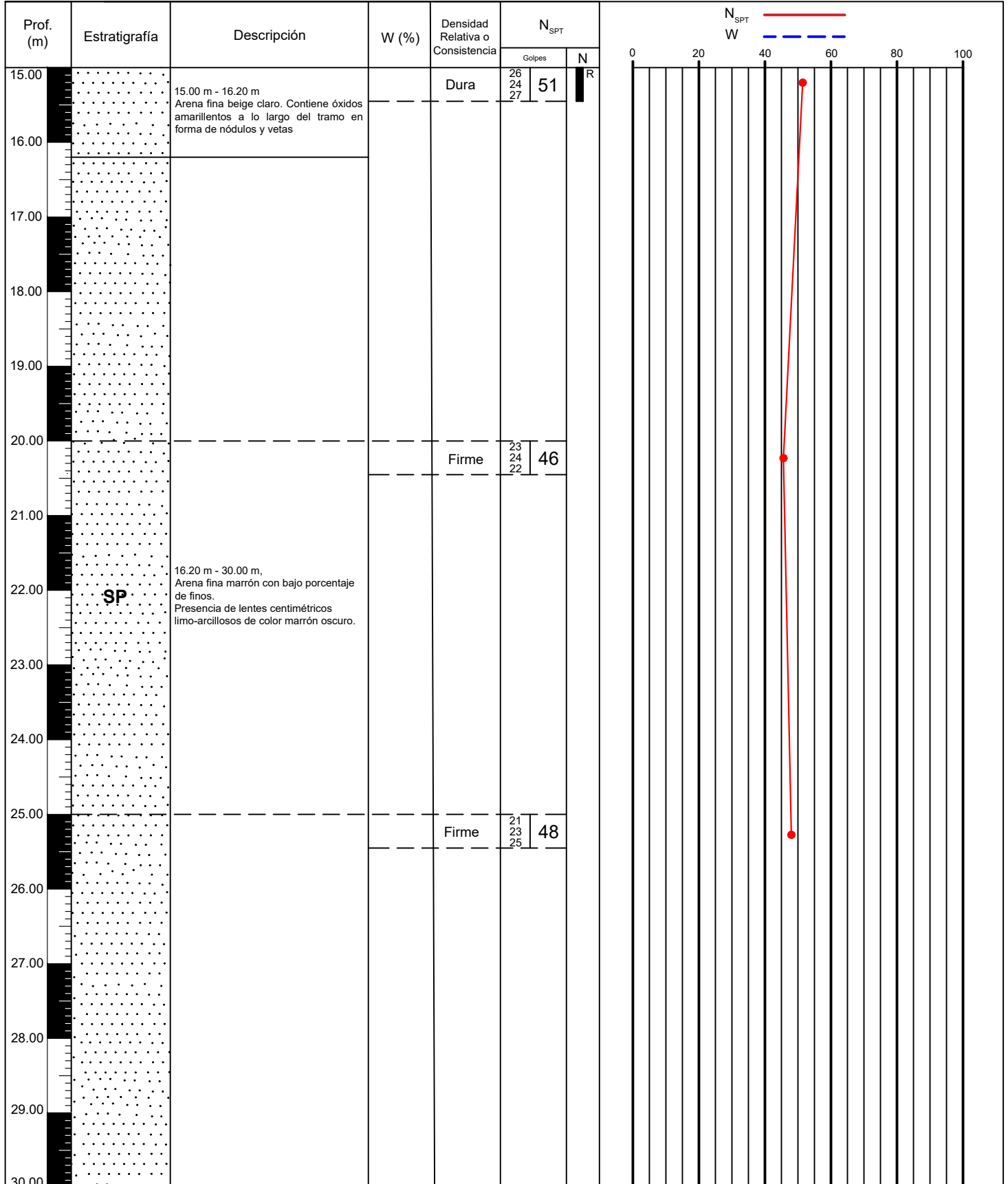
Tramo: 15.00 m - 20.70 m

Coordenadas: 501266.00 m E  
8297393.00 m S

Clima: Seco

Prof. Sondeo: 30.00 m

Prof. Nivel Freático: No se encontro



**OBSERVACIONES**  
 1. Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.  
 2. La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

Identificación: SONDEO No. SPT- ESTACIÓN

Tipo de Excavación: Sondeo Mecánico con Perforadora BOARD LONGYEAR DB520

HOJA

Fecha:

Elevación T.N.: 384.00 m

Método: Penetración Standard, SPT

Zona: 18 L

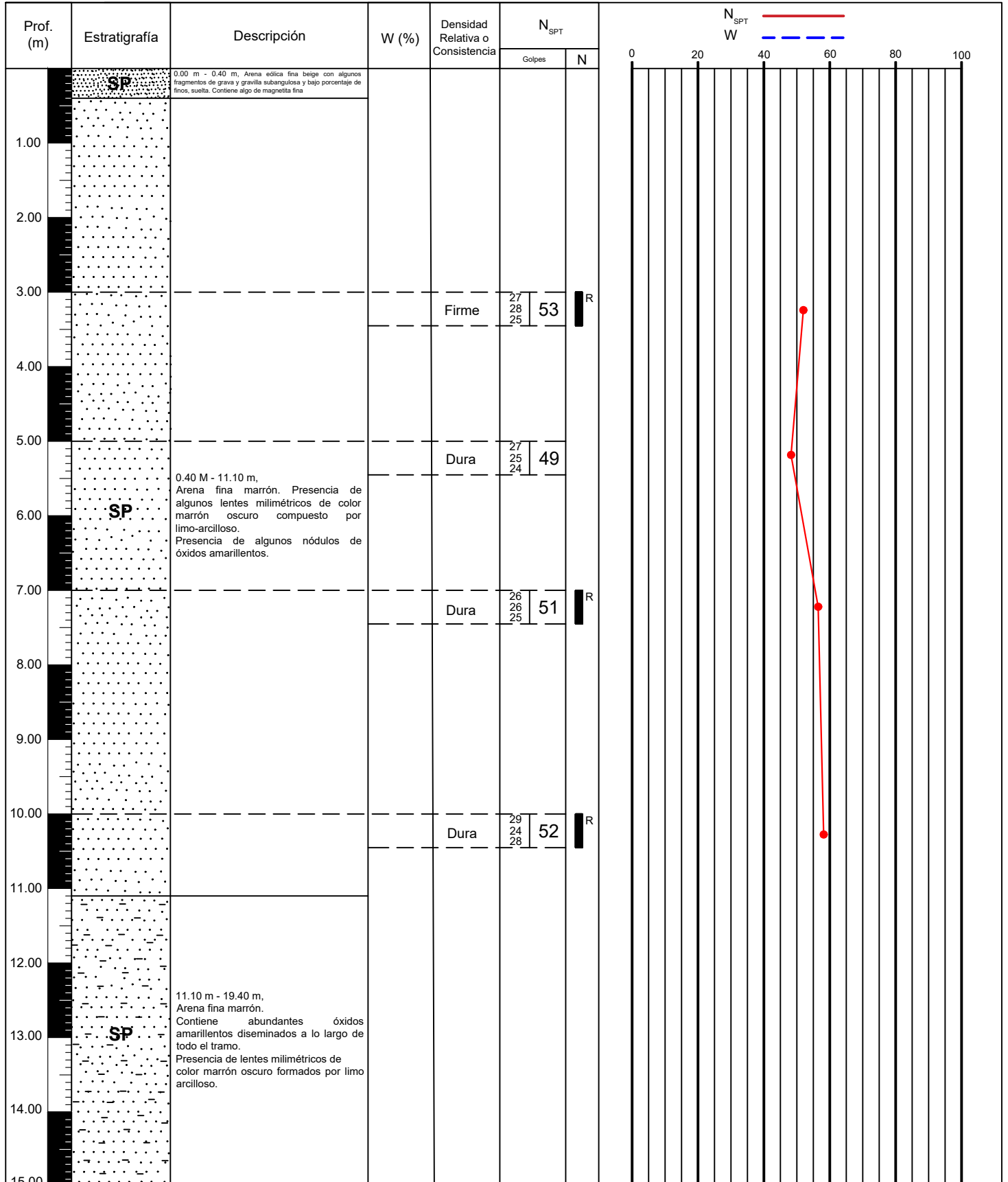
Tramo: 0.00 m - 15.00 m

Coordenadas: 503165.00 m E  
8298109.00 m S

Clima: Seco

Prof. Sondeo: 30.00 m

Prof. Nivel Freático: No se encontro



**OBSERVACIONES**

- Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.
- La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

Identificación: SONDEO No. SPT- ESTACIÓN

Tipo de Excavación: Sondeo Mecánico con Perforadora BOARD LONGYEAR DB520

HOJA

Fecha:

Elevación T.N.: 384.00 m

Método: Penetración Standard, SPT

Zona: 18 L

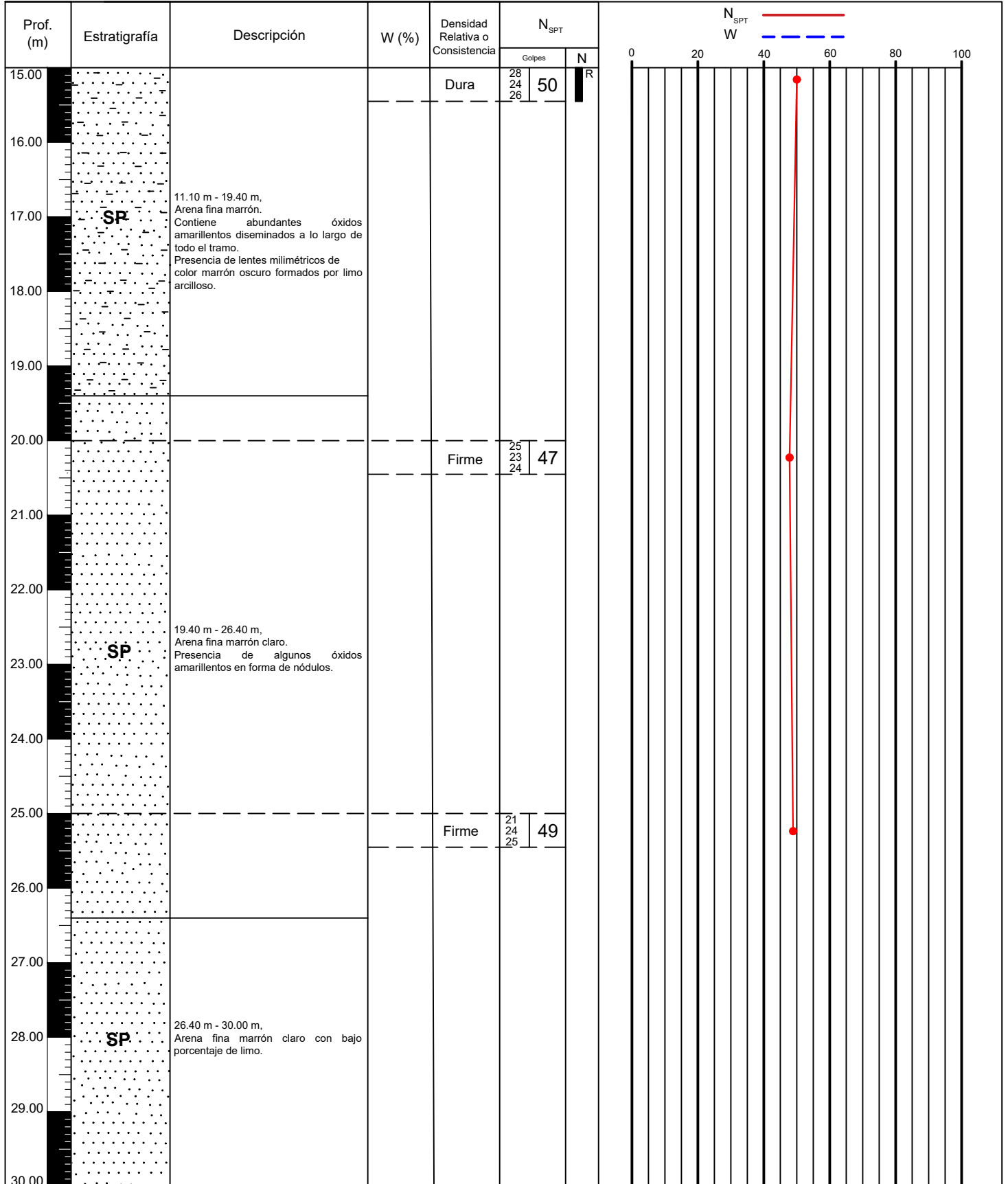
Tramo: 15.00 m - 30.00 m

Coordenadas: 503165.00 m E  
8298109.00 m S

Clima: Seco

Prof. Sondeo: 30.00 m

Prof. Nivel Freático: No se encontro



OBSERVACIONES

- Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.
- La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

Identificación: SONDEO No. SPT- 14

Tipo de Excavación: Sondeo Mecánico con Perforadora BOARD LONGYEAR DB520

HOJA

Fecha:

Elevación T.N.: 379.00 m

Método: Penetración Standard, SPT

Zona: 18 L

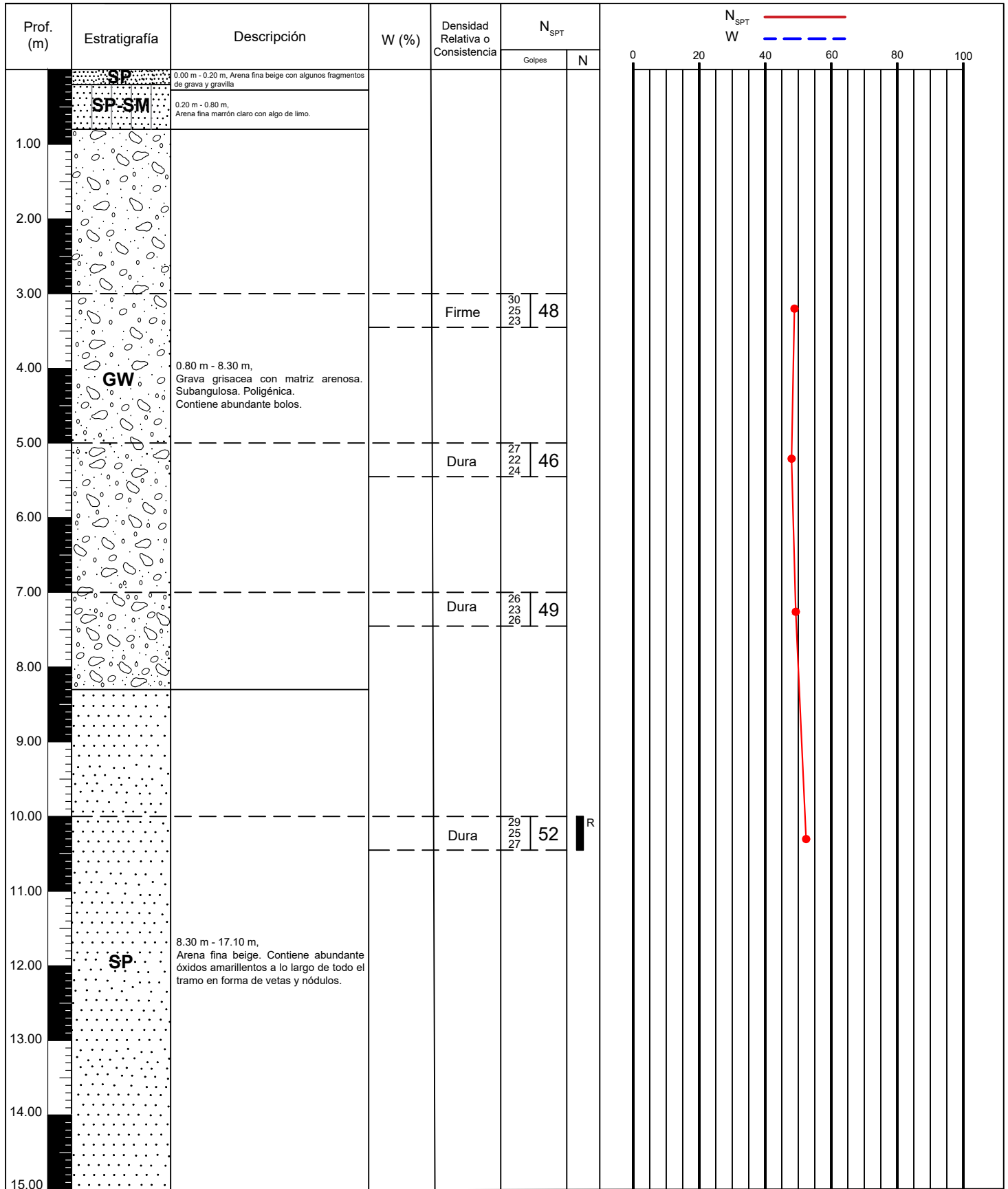
Tramo: 0.00 m - 15.00 m

Coordenadas: 504490.00 m E  
8298048.00 m S

Clima: Seco

Prof. Sondeo: 30.00 m

Prof. Nivel Freático: No se encontro



**OBSERVACIONES**

- Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.
- La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

Identificación: SONDEO No. SPT- 14

Tipo de Excavación: Sondeo Mecánico con Perforadora BOARD LONGYEAR DB520

HOJA

Fecha:

Elevación T.N.: 379.00 m

Método: Penetración Standard, SPT

Zona: 18 L

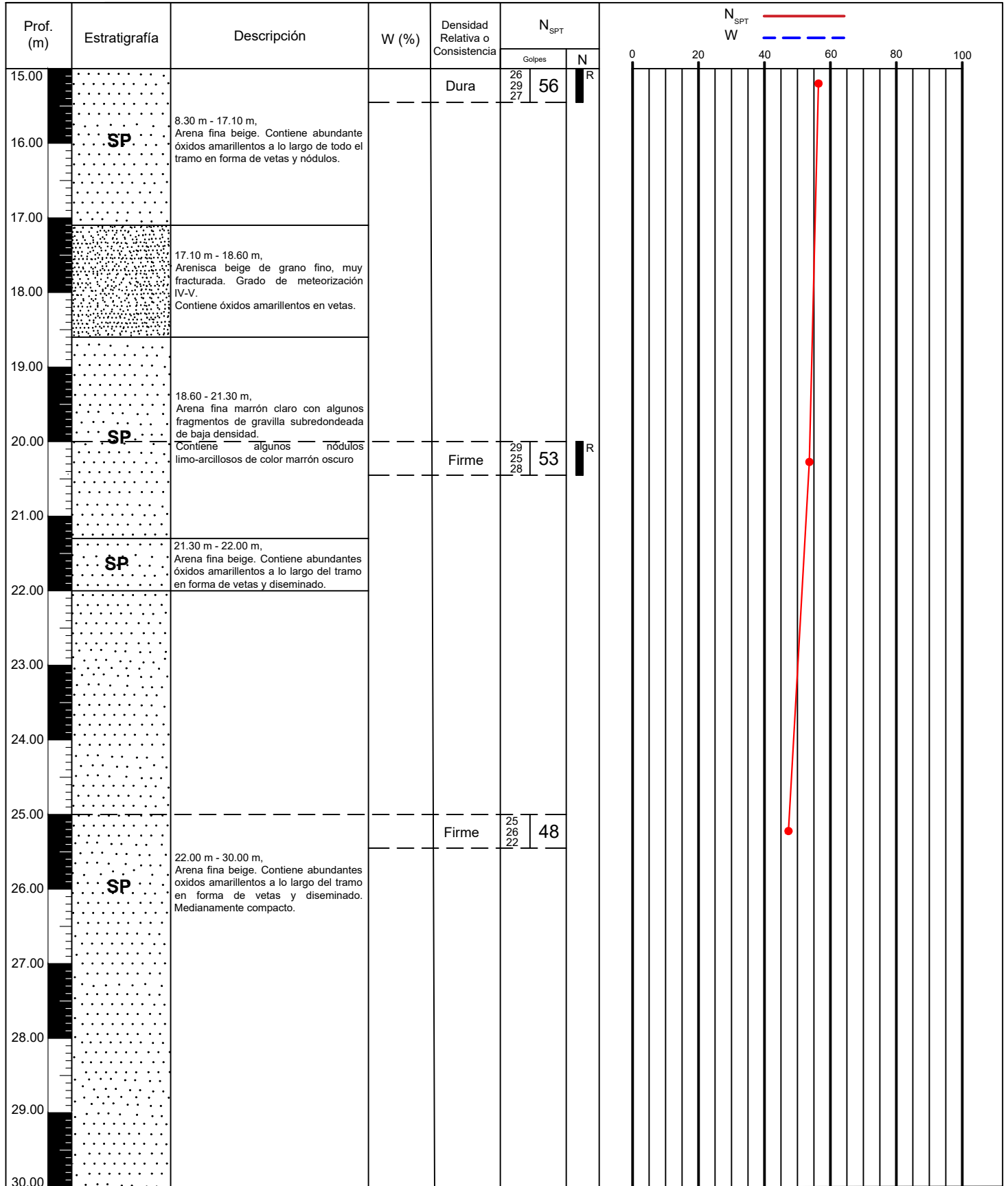
Tramo: 15.00 m - 30.00 m

Coordenadas: 504490.00 m E  
8298048.00 m S

Clima: Seco

Prof. Sondeo: 30.00 m

Prof. Nivel Freático: No se encontro



OBSERVACIONES

- Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.
- La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

Identificación: SONDEO No. SPT- 16

Tipo de Excavación: Sondeo Mecánico con Perforadora BOARD LONGYEAR DB520

HOJA

Fecha:

Elevación T.N.: 384.00 m

Método: Penetración Standard, SPT

Zona: 18 L

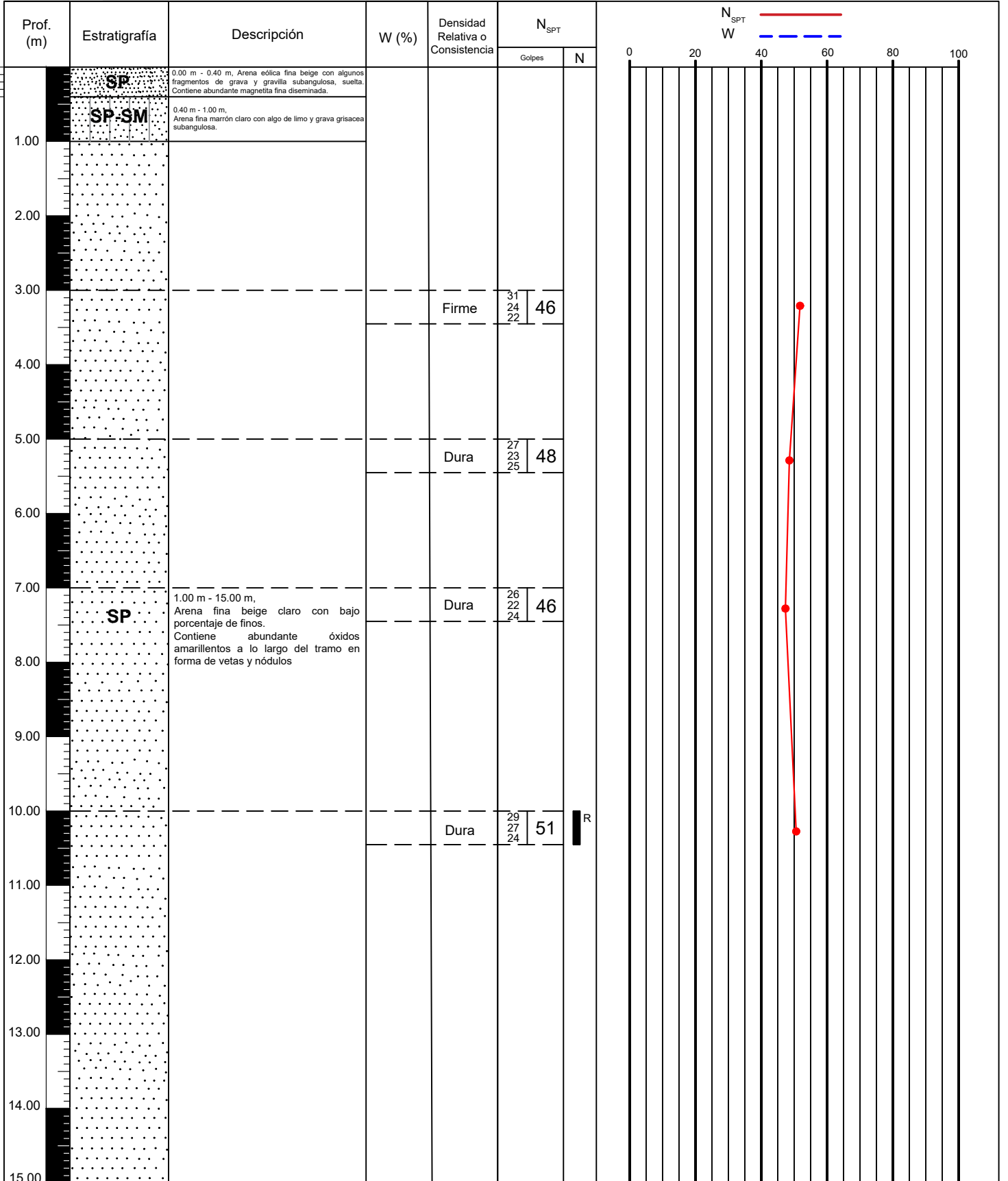
Tramo: 0.00 m - 15.00 m

Coordenadas: 504920.00 m E  
8298464.00 m S

Clima: Seco

Prof. Sondeo: 30.00 m

Prof. Nivel Freático: No se encontro



**OBSERVACIONES**  
 1. Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.  
 2. La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

# REGISTRO DE PERFORACIÓN

02/02

Identificación: SONDEO No. SPT- 16

Tipo de Excavación: Sondeo Mecánico con Perforadora BOARD LONGYEAR DB520

HOJA

Fecha:

Elevación T.N.: 384.00 m

Método: Penetración Standard, SPT

Zona: 18 L

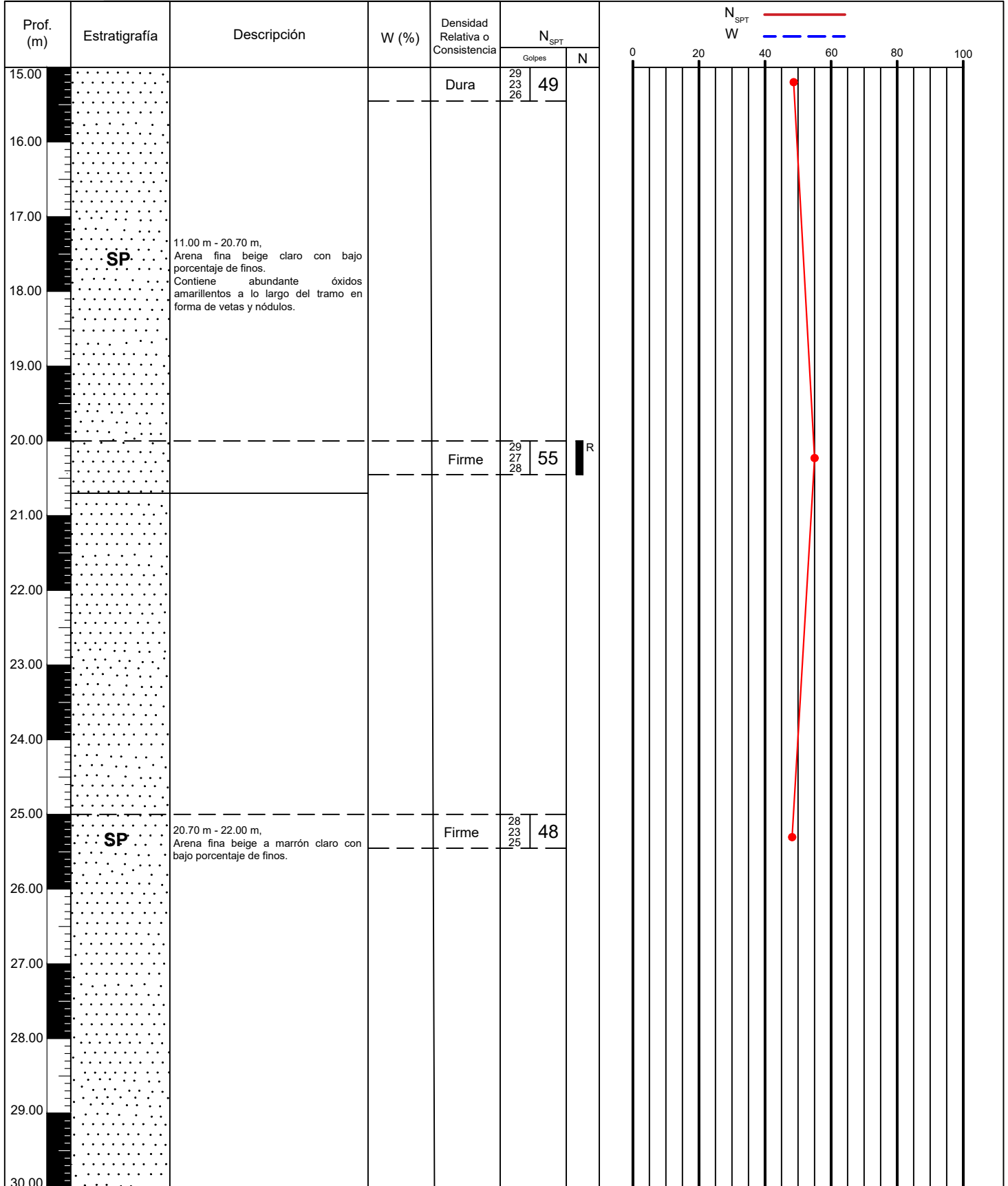
Tramo: 15.00 m - 30.00 m

Coordenadas: 504920.00 m E  
8298464.00 m S

Clima: Seco

Prof. Sondeo: 30.00 m

Prof. Nivel Freático: No se encontro



**OBSERVACIONES**  
 1. Las coordenadas mostradas han sido obtenidas por un GPS navegador.  
 2. La descripción de los perfiles de suelo son los registrados en campo, los cuales pueden variar de acuerdo a los resultados de laboratorio

***HOJA DE CÁLCULOS DE CAPACIDAD PORTANTE  
ADMISIBLE Y ASENTAMIENTOS***



UNIVERSIDAD NACIONAL  
JORGE BASADRE GROHMANN  
TACNA

## PROYECTO DE TESIS

“CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL  
EMPLAZAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO Y DE LA SUBESTACIÓN  
TRANSFORMADORA DE ENERGÍA EN EL DISTRITO LAS LOMAS, PROVINCIA DE  
CARAVELÍ, REGIÓN DE AREQUIPA”

ESCUELA DE INGENIERÍA  
GEOLÓGICA - GEOTECNIA  
TACNA



### CAPACIDAD ADMISIBLE DE SUELOS

PROYECTO: “Caracterización Geotécnica de zonas óptimas para el emplazamiento de un Parque Eólico y de la Subestación Transformadora de energía en el distrito las Lomas, provincia de Caravelí, región de Arequipa”

UBICACIÓN: Caraveli, Región Arequipa

ZONA: Zona Geotecnica 1 SUCS: SP - SM

### CIMENTACION (Unidad Geotecnica 1)

#### CAPACIDAD ADMISIBLE POR RESISTENCIA

##### Cimentación Circular

Cohesión	C	=	0.03	0.03	0.03				Kg/cm <sup>2</sup>
Cohesión modificado	C	=	0.02	0.02	0.02				Kg/cm <sup>2</sup>
Angulo de fricción	φ	=	25.0	25.0	25.0				°
Angulo de fricción modificado	φ	=	17.3	17.3	17.3				°
Angulo de Arrancamiento	λ	=	17.5	17.5	17.5				°
Peso unitario del suelo sobre el nivel de fundación	γ <sub>m</sub>	=	1.48	1.48	1.50				g/cm <sup>3</sup>
Peso unitario del suelo bajo el nivel de fundación	γ <sub>m</sub>	=	1.48	1.48	1.50				g/cm <sup>3</sup>
Ancho de la cimentación	B	=	15.0	15.0	18.0				m
Profundidad de la cimentación	D <sub>f</sub>	=	2.5	3.0	2.0				m
Largo de la cimentación	L	=	15.0	15.0	18.0				m
Factor de seguridad	FS	=	3.0	3.0	3.0				
Capacidad última de carga	q <sub>ult</sub>	=	5.1	5.6	5.2				Kg/cm <sup>2</sup>
Capacidad admisible de carga	q <sub>adm</sub>	=	1.71	1.87	1.74				Kg/cm <sup>2</sup>

\* Nota: Se ha considerado el peso unitario sumergido

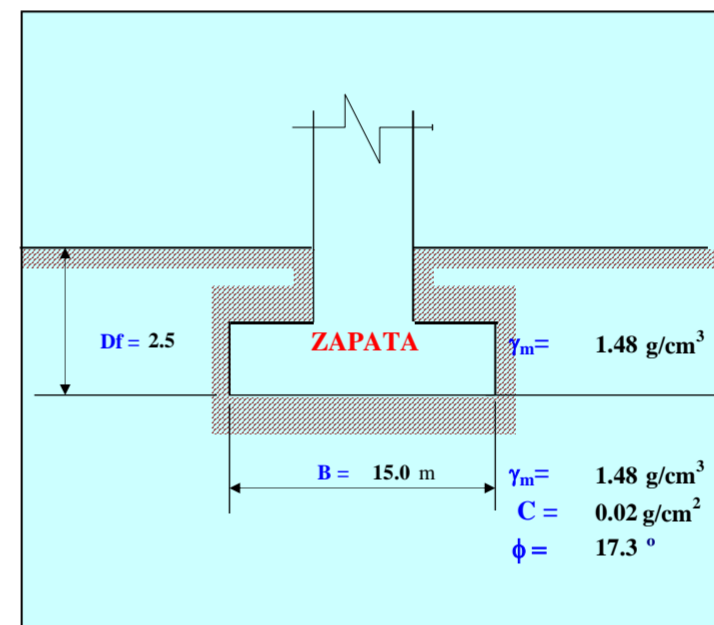
$$q_{ult} = CN_c S_c + \frac{1}{2} \gamma B S_\gamma N_\gamma + \gamma D_f S_q N_q$$

##### Factores de capacidad de carga

N <sub>q</sub> =	4.898
N <sub>c</sub> =	12.538
N <sub>γ</sub> =	3.667
N <sub>q</sub> /N <sub>c</sub> =	0.391
tan φ =	0.311
B/L =	1.000

##### Factores de forma

S <sub>q</sub> =	1.3108718
S <sub>c</sub> =	1.3906287
S <sub>γ</sub> =	0.6



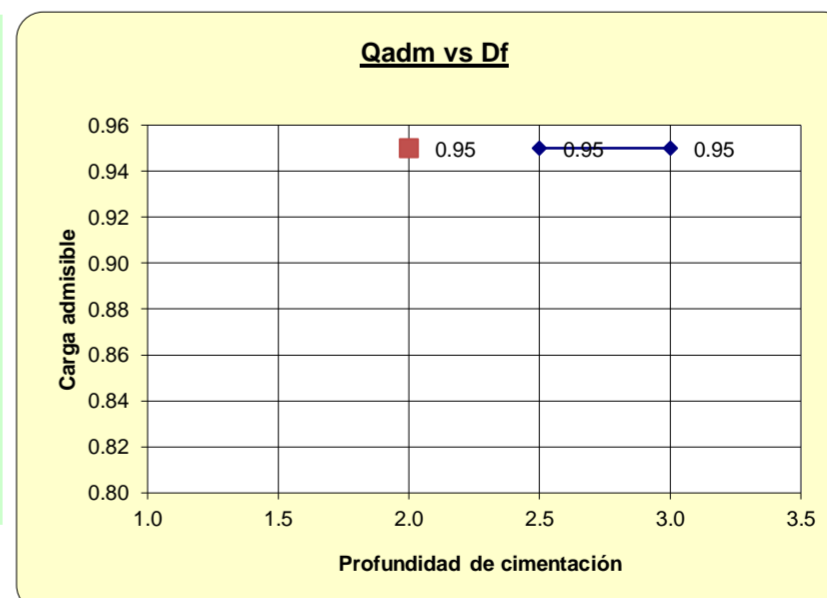
$$S_c = \left( \frac{N_q}{N_c} \right) * \left( \frac{B}{L} \right)$$

$$S_q = 1 + \left( \frac{B}{L} \right) * Tg \phi$$

$$S_\gamma = 1 - 0.4 * \left( \frac{B}{L} \right)$$

#### CAPACIDAD ADMISIBLE POR ASENTAMIENTO

Presión por carga admisible	q <sub>adm</sub>	=	1.71	1.87	1.74				Kg/cm <sup>2</sup>
Relación de Poisson	μ	=	0.27	0.27	0.27				
Módulo de Elasticidad	E <sub>s</sub>	=	270	270	270				Kg/cm <sup>2</sup>
Asentamiento permisible	S <sub>i (max)</sub>	=	2.5	2.5	2.5				cm
Ancho de la cimentación	B	=	15.0	15.0	18.0				m
Factor de forma	I <sub>r</sub>	=	0.93	0.93	0.93				m/m
Asentamiento	S <sub>i</sub>	=	0.082	0.090	0.100				m
Asentamiento	S <sub>i</sub>	=	8.20	8.96	9.99				cm
Presión por carga	q <sub>adm</sub>	=	0.95	0.95	0.95				Kg/cm <sup>2</sup>
	S <sub>i (cm)</sub>	=	4.55	4.55	5.46				
			Sup al perm	Sup al perm	Sup al perm				





UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE  
BASADRE GROHMANN  
TACNA

## PROYECTO DE TESIS

“CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO Y DE LA SUBESTACIÓN TRANSFORMADORA DE ENERGÍA EN EL DISTRITO LAS LOMAS, PROVINCIA DE CARAVELÍ, REGIÓN DE AREQUIPA”

ESCUELA DE INGENIERÍA  
GEOLÓGICA - GEOTECNIA  
TACNA



### CAPACIDAD ADMISIBLE DE SUELOS

PROYECTO: “Caracterización Geotécnica de zonas óptimas para el emplazamiento de un Parque Eólico y de la Subestación Transformadora de energía en el distrito las Lomas, provincia de Caravelí, región de Arequipa”

UBICACIÓN: Caraveli, Región Arequipa

ZONA: Zona Geotecnica 2 SUCS: SP - SM

### CIMENTACION (Unidad Geotecnica 2)

#### CAPACIDAD ADMISIBLE POR RESISTENCIA

##### Cimentación Circular

Cohesión	C =	0.03	0.03	0.03			Kg/cm <sup>2</sup>
Cohesión modificado	C =	0.02	0.02	0.02			Kg/cm <sup>2</sup>
Angulo de fricción	φ =	28.0	28.0	28.0			°
Angulo de fricción modificado	φ =	19.5	19.5	19.5			°
Angulo de Arrancamiento	λ =	19.6	19.6	19.6			°
Peso unitario del suelo sobre el nivel de fundación	γ <sub>m</sub> =	1.48	1.48	1.48			g/cm <sup>3</sup>
Peso unitario del suelo bajo el nivel de fundación	γ <sub>m</sub> =	1.62	1.62	1.62			g/cm <sup>3</sup>
Ancho de la cimentación	B =	15.0	15.0	18.0			m
Profundidad de la cimentación	D <sub>f</sub> =	2.5	3.0	3.0			m
Largo de la cimentación	L =	15.0	15.0	18.0			m
Factor de seguridad	FS =	3.0	3.0	3.0			
Capacidad última de carga	q <sub>ult</sub> =	7.1	7.7	8.5			Kg/cm <sup>2</sup>
Capacidad admisible de carga	q <sub>adm</sub> =	2.38	2.58	2.82			Kg/cm <sup>2</sup>

\* Nota: Se ha considerado el peso unitario sumergido

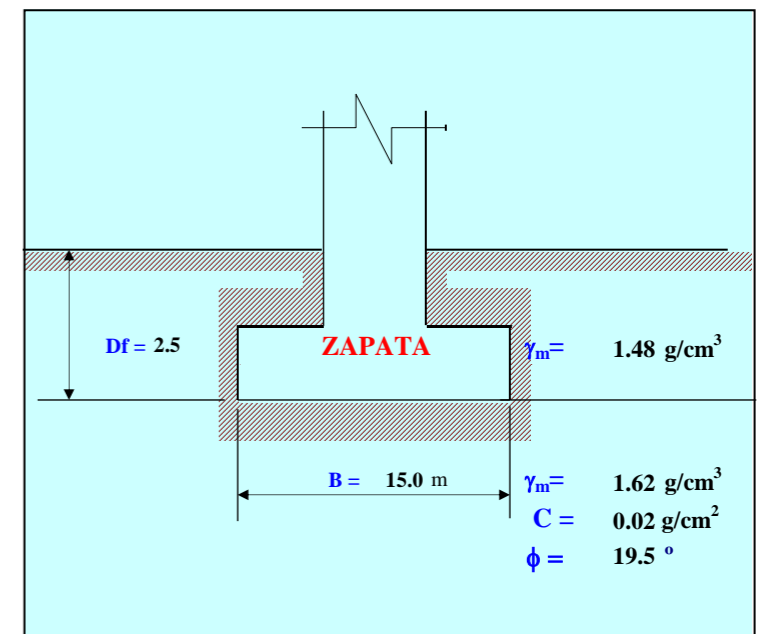
$$q_{ult} = CN_c S_c + \frac{1}{2} \gamma B S_\gamma N_\gamma + \gamma D_f S_q N_q$$

##### Factores de capacidad de carga

N <sub>q</sub> =	6.101
N <sub>c</sub> =	14.391
N <sub>γ</sub> =	5.034
N <sub>q</sub> /N <sub>c</sub> =	0.424
tan φ =	0.354
B/L =	1.000

##### Factores de forma

S <sub>q</sub> =	1.354473
S <sub>c</sub> =	1.4239607
S <sub>γ</sub> =	0.6



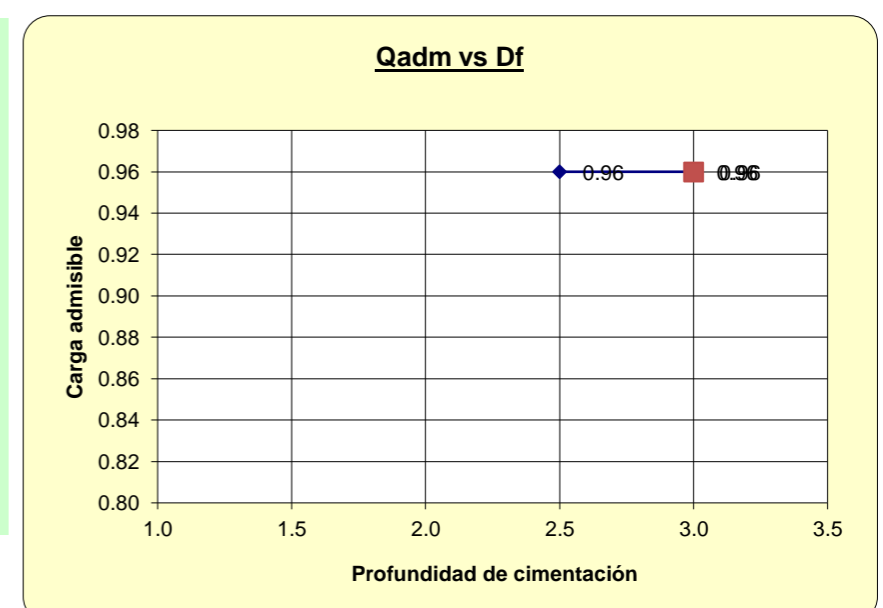
$$S_c = \left( \frac{N_q}{N_c} \right) * \left( \frac{B}{L} \right)$$

$$S_q = 1 + \left( \frac{B}{L} \right) * Tg \phi$$

$$S_\gamma = 1 - 0.4 * \left( \frac{B}{L} \right)$$

#### CAPACIDAD ADMISIBLE POR ASENTAMIENTO

Presión por carga admisible	q <sub>adm</sub> =	2.38	2.58	2.82			Kg/cm <sup>2</sup>
Relación de Poisson	μ =	0.33	0.33	0.33			
Módulo de Elasticidad	E <sub>s</sub> =	580	580	580			Kg/cm <sup>2</sup>
Asentamiento permisible	S <sub>i (max)</sub> =	2.5	2.5	2.5			cm
Ancho de la cimentación	B =	15.0	15.0	18.0			m
Factor de forma	I <sub>r</sub> =	0.93	0.93	0.93			m/m
Asentamiento	S <sub>i</sub> =	0.051	0.055	0.073			m
Asentamiento	S <sub>i</sub> =	5.09	5.53	7.26			cm
Presión por carga	q <sub>adm</sub> =	0.96	0.96	0.96			Kg/cm <sup>2</sup>
	S <sub>i</sub> (cm) =	2.06	2.06	2.47			
		OK !	OK !	OK !			





UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE  
BASADRE GROHMANN  
TACNA

## PROYECTO DE TESIS

“CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL EMPLAZAMIENTO DE UN PARQUE EÓLICO Y DE LA SUBESTACIÓN TRANSFORMADORA DE ENERGÍA EN EL DISTRITO LAS LOMAS, PROVINCIA DE CARAVELÍ, REGIÓN DE AREQUIPA”

ESCUELA DE INGENIERÍA  
GEOLÓGICA - GEOTECNIA  
TACNA



### CAPACIDAD ADMISIBLE DE SUELOS

PROYECTO: “Caracterización Geotécnica de zonas óptimas para el emplazamiento de un Parque Eólico y de la Subestación Transformadora de energía en el distrito las Lomas, provincia de Caravelí, región de Arequipa”

UBICACIÓN: Caraveli, Región Arequipa

ZONA: Zona Geotecnica 3 SUCS: GP - GM

### CIMENTACION (Unidad Geotecnica 3)

#### CAPACIDAD ADMISIBLE POR RESISTENCIA

##### Cimentación Circular

Cohesión	C	=	0.02	0.02	0.01				Kg/cm <sup>2</sup>
Cohesión modificado	C	=	0.02	0.02	0.01				Kg/cm <sup>2</sup>
Angulo de fricción	φ	=	30.0	30.0	30.0				°
Angulo de fricción modificado	φ	=	21.1	21.1	21.1				°
Angulo de Arrancamiento	λ	=	21.0	21.0	21.0				°
Peso unitario del suelo sobre el nivel de fundación	γ <sub>m</sub>	=	1.48	1.48	1.48				g/cm <sup>3</sup>
Peso unitario del suelo bajo el nivel de fundación	γ <sub>m</sub>	=	1.70	1.70	1.70				g/cm <sup>3</sup>
Ancho de la cimentación	B	=	15.0	15.0	18.0				m
Profundidad de la cimentación	D <sub>f</sub>	=	2.5	3.0	3.0				m
Largo de la cimentación	L	=	15.0	15.0	18.0				m
Factor de seguridad	FS	=	3.0	3.0	3.0				
Capacidad última de carga	q <sub>ult</sub>	=	8.8	9.5	10.3				Kg/cm <sup>2</sup>
Capacidad admisible de carga	q <sub>adm</sub>	=	2.92	3.17	3.42				Kg/cm <sup>2</sup>

\* Nota: Se ha considerado el peso unitario sumergido

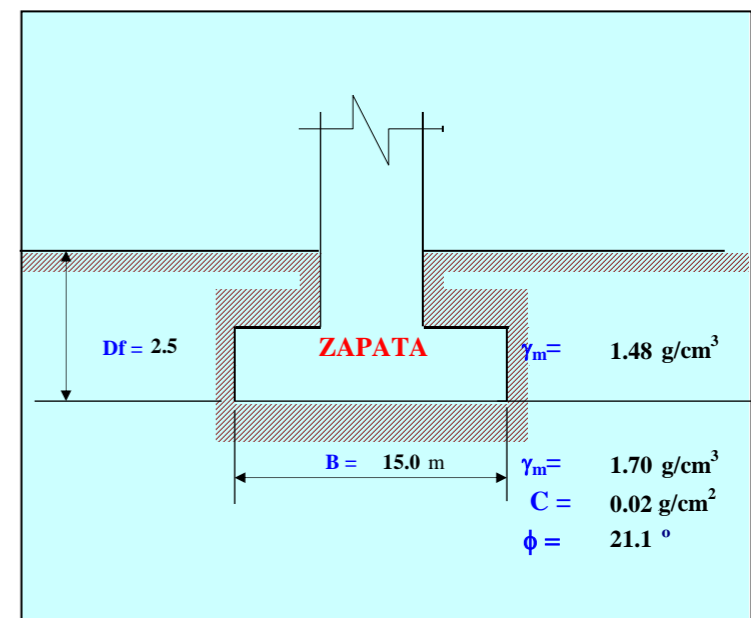
$$q_{ult} = CN_c S_c + \frac{1}{2} \gamma B S_\gamma N_\gamma + \gamma D_f S_q N_q$$

##### Factores de capacidad de carga

N <sub>q</sub> =	7.108
N <sub>c</sub> =	15.868
N <sub>γ</sub> =	6.241
N <sub>q</sub> /N <sub>c</sub> =	0.448
tan φ =	0.385
B/L =	1.000

##### Factores de forma

S <sub>q</sub> =	1.3849002
S <sub>c</sub> =	1.4479205
S <sub>γ</sub> =	0.6



$$S_c = \left( \frac{N_q}{N_c} \right) * \left( \frac{B}{L} \right)$$

$$S_q = 1 + \left( \frac{B}{L} \right) * Tg \phi$$

$$S_\gamma = 1 - 0.4 * \left( \frac{B}{L} \right)$$

#### CAPACIDAD ADMISIBLE POR ASENTAMIENTO

Presión por carga admisible	q <sub>adm</sub>	=	2.92	3.17	3.42				Kg/cm <sup>2</sup>
Relación de Poisson	μ	=	0.31	0.31	0.31				
Módulo de Elasticidad	E <sub>s</sub>	=	1250	1250	1250				Kg/cm <sup>2</sup>
Asentamiento permisible	S <sub>i (max)</sub>	=	2.5	2.5	2.5				cm
Ancho de la cimentación	B	=	15.0	15.0	18.0				m
Factor de forma	I <sub>r</sub>	=	0.93	0.93	0.93				m/m
Asentamiento	S <sub>i</sub>	=	0.029	0.032	0.041				m
Asentamiento	S <sub>i</sub>	=	2.95	3.19	4.14				cm
Presión por carga	q <sub>adm</sub>	=	0.96	0.96	0.96				Kg/cm <sup>2</sup>
	S <sub>i (cm)</sub>	=	OK !	OK !	OK !				

