ANEJO Nº 18

ESTUDIO GEOTÉCNICO

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN
ANEXO I: INFORME DE ESTUDIO GEOTÉCNICO
ANEXO II: PLANO DE PENETRACIONES Y SONDEOS

1.- INTRODUCCIÓN

En este anejo se recoge toda la información sobre las características geotécnicas del terreno, mediante observaciones en el emplazamiento, ensayos de campo y laboratorio, tratando de obtener información de índole geotécnica para las obras previstas relacionadas al **PROYECTO IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN LOS BOMBEOS DE LA JUNTA CENTRAL DE USUARIOS DE LA VEGA DEL RÍO SEGURA EN CIEZA (MURCIA)**.

ANEXO I: INFORME DE ESTUDIO GEOTÉCNICO

Estudios geotécnicos *Patología de obras* *Asistencias técnicas* *Topografía*

INFORME

DE

ESTUDIO GEOTÉCNICO

Referencia	022/1350
Cliente	Junta Central de Usuarios “Norte de la Vega del Río Segura”.
Situación de la obra	Polígono 41, parcelas 237 y 246 de Cieza (Murcia).
Tipo de obra	Huerto Solar.
Fecha	Noviembre de 2022, Murcia.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN 3

2. TRABAJOS REALIZADOS 4

3. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL 5

4. ESTRATIGRAFÍA DEL TERRENO Y PROPIEDADES GEOTÉCNICAS 7

5. RECOMENDACIONES PARA LA CIMENTACIÓN 9

6. RECOMENDACIONES ADICIONALES 11

7. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS 15

8. DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO 20

APARTADO DE ANEJOS

Anejo A - PLANOS

A.1 - Plano de situación

A.2 - Plano de corte estratigráfico

A.3 - Plano geológico y leyenda

Anejo B - COLUMNAS DE SONDEOS

Anejo C - ACTAS DE TRABAJOS DE CAMPO

Anejo D - ACTAS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Anejo E - REPORTAJE FOTOGRÁFICO

1. INTRODUCCIÓN.

Cliente	Junta Central de Usuarios "Norte de la Vega del Río Segura".
Situación de la obra	Polígono 41, parcelas 237 y 246 de Cieza (Murcia).
Tipo de obra	Huerto Solar.
Número de plantas	NA.
Superficie (m^2)	Unos 2500.
Tipo de construcción (DB SE-C de CTE)	NA.
Fecha inicio de trabajos	25 de octubre de 2022.
Tipo de trabajos	Estudio geotécnico.
Área de actuación	Zona de actuación con una cobertera vegetal y anteriormente ocupada por arbolado.
Otros	Inicialmente, se nos indicó que la cimentación de los elementos portantes de las placas, sería mediante zapatas apoyadas en el terreno. El día del inicio de los trabajos de campo, se nos comentó por parte de técnico representantes de nuestro cliente que seguramente se utilizaría hinca de perfiles.
Puntos de investigación	Replanteados por el técnico que redacta el presente informe, según indicaciones facilitadas (plano) en cuanto a situación aproximada de la obra y en las zonas accesibles para los equipos de investigación.
Técnico	Informe redactado por Jesús Teban Fernández (Ingeniero Técnico de Minas e Ingeniero Técnico Industrial colegiado 4.948).
Objeto	El presente estudio geotécnico, tiene por objeto la obtención de las características geotécnicas del terreno, mediante observaciones en el emplazamiento, ensayos de campo y laboratorio, tratando de obtener información de índole geotécnica para las obras previstas.

2. TRABAJOS REALIZADOS.

Resumen de los trabajos de campo y laboratorio

Según la programación prevista y el avance de los trabajos, se ejecutaron los siguientes ensayos:

Trabajo de campo	
Ensayo	**Unidades**
Sondeos a rotación (SR)	2 (3,5 y 2,7 m)
Penetraciones dinámicas DPSH (PD)	3
Ensayos de penetración estándar (SPT)	5
Visita a obra por parte de técnico especializado	1
Toma de muestra categoría A s/CTE	--
Replanteo de puntos de investigación con GPS (UTM)	1

Trabajo de laboratorio		
Unidades	**Ensayo**	**Norma**
2	Preparación de muestras	UNE 103.100/95
2	Humedad natural mediante secado en estufa	UNE 103.300/93
2	Límites de Atterberg	UNE 103.103/94 UNE 103.104/94
2	Análisis granulométrico por tamizado	UNE 103.101/95
2	Sulfatos solubles	UNE 83.963
1	Presión de hinchamiento en edómetro	UNE 103.602/96

Singeoteb Estudios Geotécnicos, S.L., es un laboratorio de ensayos para el control de calidad en la edificación s/R.D. 410/2010, con registro RG LECCE MUR-L-024.

Las actas de los ensayos de laboratorio de campo figuran en el anejo C del presente documento, donde se indican las profundidades de los ensayos y valores de golpeo de N.

Las actas de los ensayos de laboratorio figuran en el anejo D del presente documento.

En el apartado 8, se efectúa una breve descripción del fundamento teórico y método operatorio de los ensayos geotécnicos de campo y laboratorio realizados.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.

La localidad de Cieza se encuentra en la confluencia de dos grandes valles fluviales, el del río Segura que entra por el Oeste desde el cañón de Almadenes y el de la rambla del Judío, desde el Este, lo que determina el relieve de su término con forma de Y.

Según bibliografía consultada, mapa geológico de España nº 891 E 1/50.000, el área de la zona estudiada a escala regional queda englobada por depósitos Cuaternario y margas del Tortoniense.

A continuación se exponen las unidades y estratigrafía del mapa nº 891:

TERCIARIO Y CUATERNARIO AUTOCTONOS

Los depósitos más actuales (Cuaternario) están compuestos por depósitos aluviales, coluviales y eluviones, con un aporte importante de materiales del rio Segura.

El Terciario está compuesto principalmente por margas, areniscas, calizas y conglomerados.

PREBETICO EXTERNO

Formado por dolomías, margas, arenas y conglomerados del Cretácico.

PREBETICO INTERNO

Son materiales del Cretácico y están compuestos por dolomías, margas, calizas y margocalizas.

PREBETICO MERIDIONAL

Con materiales también del Cretácico, similares a los anteriormente indicados.

SUBBETICO EXTERNO

Aparecen términos del Terciario con margas, calizas y areniscas. También comprende el Cretácico con calizas, margas y margocalizas y el Jurasico con dolomías, calizas nodulosas y margocalizas.

SUBETICO INTERNO FRONTAL

Los materiales quedan englobados en Cretácico (margas y margocalizas), Jurasico (calizas, dolomías y margas yesiferas) y términos Triásicos (Bundsandstein, Muschelkalk y Keuper) con margas con yesos, calizas, dolomías areniscas y ofitas.

La *tectónica* de la región de Murcia aumenta desde las Zonas Externas a la Internas. Los materiales de las Zonas Internas fueron afectados por deformaciones prealpinas, mientras que las primeras estructuras posthercínicas tuvieron lugar en el Cretácico inferior. En las

Zonas Internas se inició una subducción que produjo metamorfismo, mientras que en las Zonas Externas se pudieron dar las primeras deformaciones e incluso la iniciación de algunos cabalgamientos. Esta tectónica continuó en el Eoceno y Oligoceno, pero fue en el Mioceno inferior y medio cuando tuvieron lugar las etapas más intensas de plegamiento y cabalgamiento, que estructuraron a grandes rasgos la Región de Murcia. Con posterioridad, en el Mioceno superior y Plioceno, tiene lugar una tectónica de distensión que origina las cuencas postorogénicas. Por último, en el Cuaternario se inicia una tectónica compresiva que continúa en la actualidad.

4. ESTRATIGRAFÍA Y PROPIEDADES GEOTÉCNICAS.

Los materiales prospectados en los trabajos realizados, los hemos dividido en los siguientes niveles estratigráficos, de techo a muro:

Nivel (N)	Descripción
Nivel 0	Formado por un relleno y suelo de labor con un espesor de unos 0,4/0,8 m.
Observaciones	No se descarta que los espesores antes indicados, puedan variar a lo largo de las parcelas. En las penetraciones dinámicas los espesores se han estimado en función del golpeo, ya que en este tipo de ensayos no se obtiene muestra, siendo por lo tanto los valores indicados orientativos.

Nivel (N)	Descripción
Nivel 1	Sondeo 1: limos areno arcillosos. Sondeo 2: limos areno arcillosos de aspecto margoso.
Observaciones	Se trata de unos depósitos aluviales de edad Cuaternario. Estos materiales por su origen, no siempre presentan unas pautas claras de estratificación, pudiendo aparecer ocasionalmente cambios laterales de facies, lentejones o acuñamientos.

Nivel (N)	Descripción
Nivel 2	En el sondeo 2, superados los 1,5 m, tenemos margas limosas con yesos aislados. Presumiblemente, este nivel aparezca en los diferentes ensayos a las siguientes profundidades respecto a boca de ensayos: • PD-1: >2,5 m. • PD-2: >6,6 m. • PD-3: >2,0 m. Es posible que la zona de la PD-2, se corresponda con un paleocauce o similar.
Observaciones	Las margas son de origen marino o lacustre y está formada por una mezcla de arcillas, limos con materiales calizos, aderezados con otros minerales y eventualmente con trazas de materiales orgánicos. El espesor de este nivel según experiencia y bibliografía consultada (mapa Magna E 1/50.000) es de varias decenas de metros.

	En las penetraciones dinámicas los espesores se han estimado en función del golpeo, ya que en este tipo de ensayos no se obtiene muestra, siendo por lo tanto los valores indicados orientativos.

Propiedades geotécnicas de los materiales investigados, según ensayos realizados:

Unidad geotécnica 1 (UG-1): incluye los materiales del nivel 1 (sondeo 1).

Ensayo nº	Cota (m)	HN (%)	SO_4 (mg $SO_4^=$/kg)	Granulométrico (% pasa por el 0,08)	Limites de Atterberg			CUSC
					LL	LP	IP	
SR-1	1,20 a 1,80	12,7	3.317	62	32,7	19,6	13,1	CL

HN: Humedad natural. SO_4: Sulfatos solubles. CUSC: Clasificación Unificada de Suelos de Casagrande.

Otros parámetros obtenidos y/o estimados del terreno son los siguientes:

Parámetros	Valores
Ángulo de rozamiento interno	29º (27 - 31º)
Cohesión efectiva	10,0 kPa (7,5 - 15,0 kPa)
Densidad aparente	19,0 kN/m^3 (18,0 - 20,0 kN/m^3)
Permeabilidad	5 x 10^{-6} m/s (10^{-6} - 10^{-7} m/s)
Ensayo SPT (N_{30})	12, 12 y 32. Mayor compacidad/consistencia hacia muro. La menor consistencia se aprecia en la PD-2, especialmente entre los 4,0 y 6,4 m.
Resistividad*	150 Ωm (100 - 200 Ωm)

Parámetros estimados a partir de los ensayos realizados y bibliografía consultada (Universidad Nacional 2000*, Grundbau Taschenbuch, anejo D del DB SE-C del CTE, Muromachi y Luis Bañón Blázquez). Entre paréntesis se indica un rango de valores.

Unidad geotécnica 2 (UG-2): incluye los materiales del nivel 1 (sondeo 2) y nivel 2.

Ensayo nº	Cota (m)	HN (%)	SO_4 (mg $SO_4^=$/kg)	Granulométrico (% pasa por el 0,08)	Limites de Atterberg			CUSC
					LL	LP	IP	
SR-2	1,20 a 1,80	11,4	3.564	94	41,1	18,4	22,7	CL

HN: Humedad natural. SO_4: Sulfatos solubles. CUSC: Clasificación Unificada de Suelos de Casagrande.

Otros parámetros obtenidos y/o estimados del terreno son los siguientes:

Parámetros	Valores
Ángulo de rozamiento interno	27º (25 - 29º)
Cohesión efectiva	25,0 kPa (15,0 - 50,0 kPa)
Densidad aparente	20,0 kN/m^3 (19,0 - 21,0 kN/m^3)
Permeabilidad	5 x 10^{-7} m/s (10^{-7} - 10^{-8} m/s)

Parámetros	Valores
Ensayo SPT (N_{30})	38. En las penetraciones los valores golpeo oscilan entre 30 y rechazo.
Resistividad	75 Ωm (50 - 120 Ωm)

Parámetros estimados a partir de los ensayos realizados y bibliografía consultada (Universidad Nacional 2000, Grundbau Taschenbuch, anejo D del DB SE-C del CTE, Muromachi y Luis Bañón Blázquez). Entre paréntesis se indica un rango de valores.

4.1. Nivel freático

Nivel freático	Ensayo	Cota (m)
No detectado*	--	--

*Durante la ejecución de los trabajos de campo, una vez finalizados los mismos y hasta la profundidad alcanzada.

En la PD-2, a partir de unos 5 m, el material adherido a las barras del ensayo presenta un elevado grado de humedad, no descartándose puntualmente la presencia de agua.

No obstante, lo anterior, no se descarta la presencia ocasional de agua freática en los materiales del nivel 2 (margas), ya que este tipo de formaciones podemos considerarlas acuicluida, el material puede almacenar agua, pero la posibilidad de transmitirla es limitada y, generalmente, su capacidad de drenaje muy baja, aunque puede ver incrementada por la fisuración, movimientos, etc., provocando así su liberación.

4.2. Agresividad del terreno (corrosión)

	Resultados	Índices (s/cuadro 25)
Resistividad media (Ω-cm)	11.250	-1
Potencial redox (mV)	300-500	0/+2
pH	7,0-8,5	0
Cloruros (mg/kg)	<0,03	0
Sulfatos (mg/kg)	3440	-2
Sulfuros (mg/kg)	<0,001	-2
Resultados de índices (s/cuadro 25)		**-5/-3**

Para sulfatos y resistividad se ha indicado el valor medio ponderado. El resto de valores son estimados partir de resultados en terreno similares.

Según el cuadro 25, podemos considerar un **suelo débilmente agresivo** de cara a la corrosión.

CUADRO 25. Determinación de la agresividad de suelos

		ÍNDICE
Resistividad, ρ (Ω-cm)	> 12 000	0
	12 000 – 5 000	–1
	5 000 – 2 000	–2
	< 2 000	–4
Potencial rédox, $E_{rédox}$ (mV *vs.* enh)	> + 400	+2
	400 – 200	0
	200 – 0	–2
	< 0	–4
pH	> 5	0
	< 5	–1
Cloruros, Cl^- (mg/kg)	< 100	0
	100 – 1000	–1
	> 1000	–4
Sulfatos, SO_4^{2-} (mg/kg)	< 200	0
	200 – 300	–1
	> 300	–2
Sulfuros, S^{2-} (mg/kg)	0	0
	0 – 0.5	–2
	> 0.5	–4

Características del suelo	*Suma*
No agresivo	0
Débilmente agresivo	–1 a –8
Medianamente agresivo	–8 a –10
Sumamente agresivo	< - 10

Cuadro 25. La lucha contra la corrosión de Javier Ávila y Joan Genesa.

5. RECOMENDACIONES PARA LA CIMENTACIÓN.

Después de todo lo anteriormente indicado, teniendo en cuenta las inspecciones del terreno, las características de la obra y la parcela, así como los resultados de los trabajos de campo y ensayos de laboratorio, pasamos a exponer las siguientes recomendaciones para la cimentación de la construcción proyectada.

Según se nos informó, se prevé para los módulos de las placas fotovoltaicos, una cimentación mediante hinca de perfiles metálicos de acero. Para los parámetros de cálculo del terreno, además de lo indicado en el presente informe geotécnico, puede ser recomendable realizar pruebas de hinca, arrancamiento u otras.

Por la variabilidad del terreno, en cuanto compacidad/consistencia, se ha realizado una zonificación aproximada (ver plano en anejos).

A continuación, se indican los resultados de los cálculos para diferentes tipos de cimentación - anclaje de la estructura:

PILOTES

Seguidamente se exponen parámetros de cálculo para cimentaciones mediante **pilotes** que transmitan las cargas los niveles 1 y/o 2 (s/apdo. 4), con un empotramiento mínimo en el mismo de unos 1,0/1,5 m.

Los valores de las resistencias unitarias al hundimiento por la punta y por el fuste obtenidas, para **pilotes hormigonados in situ y pilotes hincados**, son las siguientes:

ZONA 1 (SR-1/PD-1)					
Nivel (s/apartado 5) y profundidad (m)	**Resistencia unitaria por fuste (kPa)**			**Resistencia unitaria por punta (kPa)**	
	P. Hor. In situ	**P. Hincados**		**P. Hor. In situ**	**P. Hincados**
		Hor.	**Met.**		
Nivel 1 (hasta 2,5/3,5 m)	20	24	20	2.000	2.500
Nivel 1/2 (>2,5/3,5 m)	30	35	30	3.000	3.500

ZONA 2 (PD-2)					
Nivel (s/apartado 5)	Resistencia unitaria por fuste (kPa)			Resistencia unitaria por punta (kPa)	
	P. Hor. In situ	P. Hincados		P. Hor. In situ	P. Hincados
		Hor.	Met.		
Nivel 1	15	18	16	1.200	1.800

ZONA 3 (SR-2/PD-3)					
Nivel (s/apartado 5) y profundidad (m)	Resistencia unitaria por fuste (kPa)			Resistencia unitaria por punta (kPa)	
	P. Hor. In situ	P. Hincados		P. Hor. In situ	P. Hincados
		Hor.	Met.		
Nivel 1 (hasta 2,0 m)	25	30	25	2.500	3.000
Nivel 1/2 (>2,0 m)	30	35	30	3.000	3.500

P.: Pilotes. Hor.: Hormigón. Met.: Metálico. Profundidades respecto a boca de ensayo.

Los valores expuestos para la resistencia unitaria por punta, son para empotramientos mínimos de 1,0/1,5 m, no siendo inferior a seis diámetros en el nivel indicado.

Como coeficiente de arrancamiento para pilotes, se recomienda multiplicar los resultados de resistencias por fuste expuestos en las tablas anteriores por un valor de **0,7**.

La longitud final de los pilotes estará en función del tipo y dimensiones de pilotes utilizados, así como de su cálculo.

La carga admisible se deducirá de la resistencia límite o unitaria, aplicando un coeficiente de seguridad de 3 para la resistencia por punta y 2 para el fuste, comprobando que no se supera el tope estructural.

Teniendo en cuenta que se pretende utilizar perfiles metálicos hincados y el terreno prospectado inicialmente es apto para este tipo de solución, se pueden considerar los parámetros de fuste de pilotes hincados de tipo metálico.

Debido a la elevada compacidad del terreno en los materiales del nivel 2, no se descarta, que ocasionalmente sea recomendable un pretaladro antes del hincado, en caso de ser preciso avanzar en el mismo.

ZAPATAS

Se han estudiado también las opciones de cimentación mediante **zapatas** que transmitan las cargas al nivel 1 (≈-0,6/-0,8 m, s/apartado 4).

Si fuese preciso para atravesar el nivel 0, se puede recurrir a pozos de cimentación, los cuales se recomienda rellenar con hormigón de limpieza o ciclópeo y sobre ellos se apoyarían las zapatas.

A continuación, se adjuntan resumidos los resultados de los cálculos efectuados en el apartado 7.

ZONA 1 (SR-1/PD-1)			
Solución cimentación	**Dimensiones cimentación consideradas (m)**	**Tensión admisible (kPa)**	**Asientos (cm)**
Zapatas	1,0-2,0 x 1,0-2,0	**140**	<2
Zapatas	0,5 x 10,0	**140**	<1

ZONA 2 (PD-2)			
Solución cimentación	**Dimensiones cimentación consideradas (m)**	**Tensión admisible (kPa)**	**Asientos (cm)**
Zapatas	1,0-2,0 x 1,0-2,0	**100**	<2
Zapatas	0,5 x 10,0	**100**	<2

ZONA 3 (SR-2/PD-3)			
Solución cimentación	**Dimensiones cimentación consideradas (m)**	**Tensión admisible (kPa)**	**Asientos (cm)**
Zapatas	1,0-2,0 x 1,0-2,0	**220**	<1
Zapatas	0,5 x 10,0	**220**	<1

Sismicidad

Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02	
Población	**Cieza**
Aceleración sísmica básica a_b/g	**0,09**
Coeficiente de contribución k	**1,00**
Coeficiente del terreno **(C)**	**1,25**
Coeficiente de ampliación del terreno **(S)**	**1,00**

C y S: Valores medios ponderados, según trabajos realizados.

Coeficiente de Balasto

Nivel (s/apdo. 4) y zona	Coeficiente de balasto (MN/m^3)
1 (Zona 1)	**50** (40 - 60)
1 (Zona 2)	**35** (25 - 45)
1 (Zona 3)	**90** (75 - 120)
2	**200**

(Según tabla D.29 del anejo D del DB SE-C del CTE, placa estándar de un pie cuadrado).

El valor recomendado se ha estimado a partir del valor medio ponderado en la zona de influencia de la cimentación, con las dimensiones consideradas en el apartado 7, según la tensión transmitida que le llega a cada capa considerada y estimadas a partir de los coeficientes de Fadum.

En el siguiente apartado, se exponen recomendaciones adicionales.

6. RECOMENDACIONES ADICIONALES.

6.1 Agresividad - sulfatos:

Agresividad del terreno s/Código Estructural (CE)	
Resultados ensayos.	Apartado 4
No agresivo.	
Ataque débil y tipo de exposición XA1.	
Ataque medio y tipo de exposición XA2.	**X**
Ataque fuerte y tipo de exposición XA3.	
Para los elementos de hormigón en contacto con el terreno, se recomienda tomar las medidas indicadas en el CE para este supuesto (medio, XA2), entre las que destaca el uso de cemento sulforresistente.	

6.2 Excavaciones

Por lo que respecta a la excavabilidad de los materiales prospectados, hasta la cota de excavación prevista, pasamos a indicar lo siguiente:

Nivel (s/apdo. 4)	Excavabilidad
0 y 1	Excavable. Retroexcavadora. Inicialmente, hincado de perfiles fácil.
2	Excavable. Retroexcavadora de elevadas prestaciones. Inicialmente mayor dificulta de hincado para perfiles.

Además de la consistencia/compacidad de los materiales, debemos considerar otros factores que pueden dificultar la excavación en caso de aparecer, tales como la presencia de restos antrópicos, raíces, conducciones, etc.

En la excavación, se recomienda utilizar sistemas que garanticen la estabilidad de los taludes resultantes, para evitar problemas que pudieran producir afecciones tanto a la obra, como a los alrededores (construcciones, edificios, viales, etc.). Entre otras técnicas, se puede recurrir a bataches, utilizando los métodos de sujeción y contención más adecuados en cada caso, ataluzar la excavación (si se dispone de espacio suficiente), apuntalamientos, etc. El tiempo que los taludes queden a la intemperie será el menor posible

(evitando por ejemplo días festivos con tramos de muro sin finalizar, así como días lluviosos).

6.3 Nivel freático

En cuanto al nivel freático (ver apartado 4.1), no se ha detectado su presencia, durante la ejecución de los trabajos de campo y una vez finalizados los mismos.

Posibles aguas acuicluidas en las margas del nivel 2.

6.4 Rellenos o movimientos de tierras

Si fuese preciso realizar algún tipo de relleno en la parcela, se recomienda retirar al menos los primeros 10-30 cm del terreno actual, quitando los restos antrópicos si los hubiere, posteriormente compactar el cajeado hasta un mínimo del 95% de su densidad máxima proctor modificado (DMP). El material utilizado para los rellenos será de acreditada calidad (mínimo suelo adecuado/seleccionado s/PG-3), adecuadamente puestos en obra: extendido en tongadas horizontales de unos 25/30 cm de espesor, regado y compactado como mínimo al 98% (DMP).

Es aconsejable tomar las medidas que se consideren oportunas para evitar la entrada de agua a los materiales del relleno (Ej. lamina impermeable, geotextil, drenajes, acerado, soleras, etc.), con objeto de impedir variaciones en las propiedades de los mismos (saturaciones, lavados de finos, etc.).

Se recomienda que los rellenos estén confinados (ej. muros) o ataluzados, protegiéndolos convenientemente y asegurándose una adecuada estabilidad de los taludes a largo plazo.

Durante los trabajos del movimiento de tierras, se deberá tener en cuenta la climatología, tratando en la medida de lo posible evitar días lluviosos en la ejecución, que podrían dificultar los trabajos y afectar a las propiedades del terreno.

Para poder comprobar las características del relleno se recomienda realizar un control sobre la aptitud de los materiales y la compactación, siguiendo un adecuado plan de control de calidad.

- Además de lo aquí indicado, es aconsejable seguir las recomendaciones expuestas en el PG-3 (Pliego de Prescripciones Técnicas Generales de Carreteras y Puentes).

  Los movimientos de tierras previstos se realizarán adecuadamente (extendido de tongadas, regado, compactado, etc.), siguiendo entre otras, las recomendaciones siguientes:

  Extendido de la capa de suelo: Consiste en colocar el material en capas de espesor uniforme y sensiblemente paralelas a la explanada, el mismo deberá ser homogéneo y presentar características uniformes en cada capa; en caso de no presentar esta homogeneidad deberá mezclarse convenientemente hasta conseguirla. El espesor de cada capa debe ser lo suficientemente reducido para que con los medios disponibles de la obra, se obtenga en todo su espesor el grado de compactación exigido. Por lo general dicho espesor oscilará entre los 20 a 25 cm de la capa delgada en suelos finos o secos y de 30-35 cm de la capa media empleada para suelos granulares o húmedos, siguiendo en cualquier caso lo indicado en el proyecto.

  Humectación a la humedad óptima: Una vez llevado a cabo el extendido de la capa del terreno se procede a acondicionar la humedad del suelo:

  Por un lado, se asegura una óptima compactación del material, asegurando la suficiente resistencia y reduciendo los posteriores asentamientos del terraplén.

  Por otro, evita que las variaciones de humedad que se produzca después de la construcción provoquen cambios excesivos de volumen en el suelo, ocasionando daños y deformaciones.

  Para ello suelo tomarse como humedad de referencia, la determinada en el ensayo de Proctor Normal o modificado (humedad óptima Proctor). Es importante destacar que existen una serie de casos particulares necesarios de tratar de forma especial:

  Suelos secos**:** Un suelo con bajo nivel de humedad puede ser compactado hasta su nivel óptimo sin necesidad de humectarlo, empleando para ello una mayor energía de compactación, ya que la humedad optima disminuye con la energía de compactación.

  Suelos sensibles a la humedad: Suelen presentar curvas de compactación muy pronunciadas, lo que los hace especialmente sensibles a la humedad.

- Compactación de la capa: Destinada a aumentar la estabilidad y resistencia mecánica del terraplén; el cual se alcanza comunicando energía de vibración a las partículas que conforman el suelo, produciendo una reordenación de estas, que adoptarán una configuración energéticamente más estable. La calidad de la compactación referida a la densidad máxima

obtenida en el ensayo Proctor; lo que indica que para cimientos y núcleos debe ser al menos el 98%, mientras que en coronación debe ser del 100% de la obtenida en el ensayo.

La maquinaria empleada es muy diversa, aunque suele emplearse compactadores vibratorios de llanta metálica lisa, compactadores de neumáticos o rodillos de pata de cabra según el tipo de suelo; en los márgenes y zonas difíciles se emplean vibroapisonadores o planchas vibrantes.

Evitar el paso de vehículos durante la compactación, ya que esto genera concentraciones de huellas de rodadura.

La compactación debe ser uniforme tanto en los flancos como en el centro del terraplén, ya que esto podría generar grietas laterales y combaduras de la superficie de rodadura.

6.5 Expansividad

Tabla de resultados de ensayos de hinchamiento en edómetro:

Sondeo nº	Cota (m)	Presión de hinchamiento (kPa)	Hinchamiento libre (%)
2	1,20 a 1,80	50,0	1,0

Grado de expansividad (s/CHEN, González Vallejo 2002)	Observaciones
Bajo a medio	Inicialmente, por el tipo de obra, no son de esperar problemas relacionados con la expansividad. No obstante, es aconsejable tomar las medidas abajo indicadas.

Según lo anterior, se recomienda entre otras, las siguientes medidas:

i. Control de la humedad por medio de barreras horizontales y/o verticales, impidiendo además que las aguas de infiltración y escorrentía afecten a las proximidades de la cimentación: El propósito de barreras para el control de humedad es promover un contenido de humedad uniforme en el suelo debajo del cimiento por medio de la minimización de la pérdida o ganancia de humedad, y por ende reduciendo los cambios volumétricos del suelo. Para ello podemos recurrir a pendientes adecuadas, por ejemplo un 2% hacia afuera con cuneta en su borde exterior.

ii. Para evitar pérdidas de agua, han de cuidarse las canalizaciones de agua o alcantarillado que vayan sobre el terreno. Han de construirse de modo que resistan ciertos movimientos, y al mismo tiempo deben impedirse posibles fugas que puedan

causar asientos u otros problemas. A título de ejemplo son aconsejables medidas de este tipo:

- Colocación de lecho de hormigón bajo tuberías, y relleno de zonas laterales y superiores con terreno debidamente compactado (preferible arena fina, arena con cal, etc.).
- Juntas flexibles entre tuberías.
- Entrega suficiente de tuberías en arquetas, que serán resistentes pero flexibles o deformables, con posibilidad de ligeros movimientos. Puede estudiarse el empleo de arquetas prefabricadas.
- Es conveniente también para su inspección y arreglo (si fuese preciso), que se encuentren fácilmente accesibles.

iii. Para evitar la alteración del terreno, los últimos centímetros de la excavación para la cimentación, se recomienda excavarlos poco antes de hormigonar.

iv. Impedir el riego abundante de las zonas ajardinadas o tierras de cultivo junto a la construcción, o en su caso drenaje de estas zonas con recogida y evacuación del agua.

v. No plantar árboles a una distancia de los edificios equivalente a 1,5 veces su altura en estado adulto, pues provocan una importante disminución de la humedad del suelo. En particular resultan especialmente peligrosas las especies de hoja caduca. Se evitaran también setos u otra vegetación en la aéreas perimetrales del edificio.

vi. Durante la obra, se evitarán acumulaciones/infiltraciones de agua en excavaciones o similares que puedan saturar el terreno.

6.6 Otras recomendaciones

a) Zonas inundables:

	Zona inundable*		Observaciones
	SI	NO	
Área de actuación		X	Adyacente a zonas inundables

*s/Web CHS.

A la vista de lo anterior, se recomienda tomar las medidas que se consideren oportunas, para evitar y/o paliar los posibles efectos de las aguas de escorrentía superficial, sobre las obras.

b) Según ANEJO II - Documento Básico HS Salubridad - Sección HS 6 del CTE - Protección frente a la exposición al radón, pasamos a indicar lo siguiente:

Zona	Edificación proyectada
I	X
II	
Fuera de zonas I y II	

c) Debido a las propiedades del terreno con una compacidad/consistencia por lo general baja a media, dependiendo del tratamiento y acabado superficial, la erosión aunque inicialmente podemos considerarla baja a media, se debe tener en cuenta, especialmente a medio plazo. Puede ser preciso y aconsejable, mantenimientos preventivos para reducir las afecciones por erosión, por ejemplo, recurriendo un acabado adecuado de la superficie del terreno para una mejor circulación de las aguas, pendientes suficientes para una rápida evacuación, evitar zonas deprimidas rellenando si fuese preciso, compactación superficial a un mínimo del 95/97% DMP, etc.

A continuación, se adjunta un cuadro resumen con algunos de los resultados obtenidos e indicados en apartados anteriores:

Cuadro resumen	
Cimentación pilotes (nivel y cota de apoyo).	(N-1/N-2, ≥-1,0/-1,5 m)
Cimentación zapatas, tensión admisible (nivel y cota de apoyo).	Zona 1: 140 kPa (N-1, ≥-0,8 m) Zona 2: 100 kPa (N-1, ≥-0,8 m) Zona 3: 220 kPa (N-1/2, ≥-0,8 m)
Agresividad del terreno	XA2, Media
Nivel freático	No
Excavabilidad	Retroexcavadora
Expansividad	Baja a media
Otros	Adecuada compactación superficial y drenaje y evacuación de a agua de escorrentía.

7. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

7.1. Tensión admisible

A continuación, pasamos a realizar el cálculo de la tensión admisible.

ZONA 1, 2 y 3

Zapatas

El cálculo de la tensión admisible del terreno para una cimentación mediante zapatas, ha sido realizado con la expresión indicada en el punto 2 del apartado 4.3.3 del DB SE-C del CTE, fundamentada en el número de penetración N_{30} obtenido de los ensayos SPT.

La expresión para B menor de 1,2 m es la siguiente:

$$Q_{adm} = 12N_{30}\left[1+\frac{D}{3B}\right]\left(\frac{S_t}{25}\right)$$

La expresión para B mayor o igual a 1,2 m es la siguiente:

$$Q_{adm} = 8N_{30}\left[1+\frac{D}{3B}\right]\left(\frac{S_t}{25}\right)\left(\frac{B+0{,}3}{B}\right)^2$$

Donde:

- **Q_{adm}** = tensión admisible en kPa.
- **S_t** = es el asiento tolerable.
- **B** = es el ancho de la cimentación.
- **D** = empotramiento de la zapata.
- **N_{30}** = es el valor de penetración.

A continuación, se adjunta una tabla con los valores utilizados y resultados obtenidos:

ZONA 1 (SR-1/PD-1)				
S_t (mm)	**B (m)**	**D (m)**	**N_{30}**	**Q_{adm} (kPa)$_1$**
25	0,5 - 2,0	0,6	12	**140**

ZONA 2 (PD-2)				
S_t (mm)	B (m)	D (m)	N_{30}	Q_{adm} (kPa)$_1$
27,5	0,5 - 2,0	0,6	8,5*	**100**

ZONA 3 (SR-2/PD-3)				
S_t (mm)	B (m)	D (m)	N_{30}	Q_{adm} (kPa)$_1$
25	0,5 - 2,0	0,6	19*	**220**

1	Tensión más desfavorable para los distintos valores de B.
*	Valores obtenidos por semejanza de penetrómetros (s/Geotecnia y Cimientos). PD-2 (media de 0,6 a 7,0 m) y PD-3 (0,6 a 2,0 m).

Se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones para los cálculos realizados:

Solución	Dimensiones (m)	Nivel (s/apdo. 4)	Cota / profundidad (m)
Zapata aislada o arriostrada y/o zapata corrida	1,0-2,0 x 1,0-2,0 0,5 x 10,0	**1/2**	Zona 1: (N-1, ≥-0,8 m) Zona 2: (N-1, ≥-0,8 m) Zona 3: (N-1/2, ≥-0,8 m)

0,1 MPa = 100 kPa = 100 kN/m^2 ≈ 1 Kg/cm^2 = 10 T/m^2.

7.2. Asientos

Seguidamente, procedemos a una estimación de asientos para los supuestos considerados y comprobar que estos sean tolerables para la estructura proyectada. El cálculo de asientos se realizará por métodos elásticos y en capas, utilizando *el método aproximado de Steinbrenner para carga rectangular sobre base rígida*. A tal efecto se calcula, en primer lugar un asiento elástico s_o, seguidamente se estima un segundo asiento s_z de la base de la capa, siendo el asiento total de la primera capa $s = s_o - s_z$. Para las capas siguientes se procede de igual modo, sólo que además de calcular el s_z correspondiente a la base de la capa, se debe determinar el $s_{z'}$ correspondiente a su cota superior (techo), con lo que el asiento sería $s = s_{z'} - s_z$. El asiento total para la cimentación propuesta sería el sumatorio de los acortamientos de las distintas capas consideradas.

El asiento previsible se estima como asiento elástico según la fórmula:

$$s_o = k\,\frac{qb(1-\nu^2)}{E}$$

Donde:

q = carga neta uniformemente repartida

b = semiancho de la zona cargada

k = factor que combina la rigidez y forma de la cimentación

ν = coeficiente de Poisson

E = módulo de deformación considerado

Para la determinación de la s_z se emplea:

$$s_z = \frac{qb}{2E}(A\phi_1 - B\phi_2)$$

Donde:

A y B = funciones del coeficiente de Poisson

ϕ_1 y ϕ_2 = funciones de la forma de la cimentación y la profundidad de la capa

Los valores de K, A, B, ϕ_1 y ϕ_2 están tabulados en los apéndices de Geotecnia y Cimientos tomo II de J.A. Jiménez Salas, 1981.

Los cálculos son efectuados con el semiancho y semilargo de la cimentación, por lo que los valores obtenidos deberán multiplicarse por cuatro, obteniéndose así el asiento elástico previsible en el centro de la cimentación.

En función de los resultados obtenidos en los trabajos realizados, se han tenido en cuenta varias capas, considerando la última de espesor indefinido.

A continuación, se adjunta una tabla con los parámetros geomecánicos y espesores de capa considerados:

ZONA 1 (SR-1/PD-1)			
Capa (Nº)	**Cotas consideradas (m)**	**Módulo de elasticidad (MPa)**	**Coeficiente de Poisson**
1	0,6 a 3,0	12,0	0,3
2	>3,0	80,0	0,1

ZONA 2 (PD-2)			
Capa (Nº)	**Cotas consideradas (m)**	**Módulo de elasticidad (MPa)**	**Coeficiente de Poisson**
1	0,6 a 4,2	8,0	0,3

ZONA 2 (PD-2)			
Capa (Nº)	**Cotas consideradas (m)**	**Módulo de elasticidad (MPa)**	**Coeficiente de Poisson**
2	4,2 a 6,4	5,0	0,3
3	>6,4	80,0	0,1

ZONA 3 (SR-2/PD-3)			
Capa (Nº)	**Cotas consideradas (m)**	**Módulo de elasticidad (MPa)**	**Coeficiente de Poisson**
1	0,6 a 2,0	25,0	0,3
2	>2,0	80,0	0,1

Los parámetros del terreno (módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson) se han estimado a partir de los ensayos efectuados, según indicaciones del anejo D del DB SE C del CTE y otra bibliografía consultada.

Con los valores anteriormente indicados, los asientos obtenidos en el centro de la cimentación para carga rígida (para pasar de carga flexible a rígida se ha utilizado un coeficiente de 0,75 según DIN 4019), son los siguientes:

Tipo de cimentación	**Dimensiones consideradas de cimentación (m)**	**Asientos (cm)**		
		Zona 1	**Zona 2**	**Zona 3**
Zapatas	1,0 x 1,0	0,7	0,9	0,5
Zapatas	2,0 x 2,0	1,2	1,7	0,4
Zapatas	0,5 x 10,0	0,7	1,0	0,6

Según Terzaghi y Peck (1948), el asiento máximo admisible para una cimentación por zapatas en terrenos granulares es de 25-40 mm y en cohesivos 65 mm.

A la vista de lo anterior, indicar que los asientos estimados son admisibles para la construcción proyectada, según la información con la que se ha desarrollado este informe geotécnico.

7.3 PILOTES

Para la obtención de las resistencias por punta y fuste indicadas se han utilizado las expresiones incluidas en el apartado F.2. del Anejo F del Documento Básico SE-C del Código Técnico de la Edificación, para pilotes hormigonados y sondeados “in situ” y para pilotes hincados (de hormigón y metálicos (análogos a los perfiles hincados)).

7.3.1. Resistencia por punta

La resistencia unitaria de hundimiento por punta de pilotes se puede estimar con la siguiente expresión:

$$q_p = f_p \sigma'_{vp} N_q \leq 20Mpa$$

Siendo:

- f_p = 2,5 para pilotes hormigonados in situ y 3,0 para pilotes hincados
- σ'_{vp} = la presión vertical efectiva al nivel de la punta antes de instalar el pilote
- N_q = es el factor de capacidad de carga que depende del ángulo de rozamiento interno del suelo.

Otra expresión para evaluar la resistencia unitaria de los pilotes es la siguiente:

$$q_p = f_N N(Mpa)$$

Siendo:

f_N = 0,40 para pilotes hincados.

f_N = 0,20 para pilotes hormigonados *in situ.*

N = El valor medio de $N_{SPT.}$

7.3.2. Resistencia por fuste

La resistencia unitaria por fuste se puede estimar con la siguiente expresión:

$$\tau_f = \sigma'_v k_f f tg\phi \leq 120kPa$$

Siendo:

- σ'_v = la presión vertical efectiva al nivel considerado.
- k_f = el coeficiente de empuje horizontal (1 para pilotes hincados y 0,75 para pilotes perforados).
- f = el factor de reducción del rozamiento del fuste (1 pilotes de hormigón in situ, 0,9 para pilotes hincados y 0,8 para pilotes de acero).
- ϕ = ángulo de rozamiento interno del suelo.

Otra expresión para evaluar la resistencia por fuste en un determinado nivel dentro del terreno para un pilote, es mediante:

$$\tau_f = 2{,}5 N_{SPT} (kPa)$$

$N_{SPT,}$ es el valor del SPT al nivel considerado.

La longitud final de los pilotes o micropilotes estará en función del tipo y dimensiones de pilotes o micropilotes utilizados, así como de su cálculo.

Con los parámetros indicados en el apartado 4 en las expresiones anteriormente expuestas, los valores de las resistencias unitarias al hundimiento por la punta y por el fuste obtenidas, para **pilotes hormigonados in situ y pilotes hincados**, son las siguientes:

ZONA 1 (SR-1/PD-1)					
Nivel (s/apartado 5) y profundidad (m)	**Resistencia unitaria por fuste (kPa)**			**Resistencia unitaria por punta (kPa)**	
	P. Hor. In situ	**P. Hincados**		**P. Hor. In situ**	**P. Hincados**
		Hor.	**Met.**		
Nivel 1 (hasta 2,5/3,5 m)	20	24	20	2.000	2.500
Nivel 1 (>2,5/3,5 m)	30	35	30	3.000	3.500

ZONA 2 (PD-2)					
Nivel (s/apartado 5)	**Resistencia unitaria por fuste (kPa)**			**Resistencia unitaria por punta (kPa)**	
	P. Hor. In situ	**P. Hincados**		**P. Hor. In situ**	**P. Hincados**
		Hor.	**Met.**		
Nivel 1	15	18	16	1.200	1.800

ZONA 3 (SR-2/PD-3)					
Nivel (s/apartado 5) y profundidad (m)	**Resistencia unitaria por fuste (kPa)**			**Resistencia unitaria por punta (kPa)**	
	P. Hor. In situ	**P. Hincados**		**P. Hor. In situ**	**P. Hincados**
		Hor.	**Met.**		
Nivel 1 (hasta 2,0 m)	25	30	25	2.500	3.000
Nivel 1/2 (>2,0 m)	30	35	30	3.000	3.500

P.: Pilotes. Hor.: Hormigón. Met.: Metálico.

Los valores expuestos para la resistencia unitaria por punta, son para empotramientos mínimos de 1,5/2,0 m, no siendo inferior a seis diámetros en el nivel indicado.

Como coeficiente de arrancamiento para pilotes, se recomienda multiplicar los resultados de resistencias por fuste expuestos en las tablas anteriores por un valor de **0,7**.

La carga admisible se deducirá de la resistencia límite o unitaria, aplicando un coeficiente de seguridad de 3 para la resistencia por punta y 2 para el fuste, comprobando que no se supera el tope estructural.

7.3.3. Rozamiento negativo

El rozamiento negativo puede producir que el asiento del terreno circundante al pilote o micropilote sea mayor que el asiento de los mismos. Como consecuencia el *rozamiento negativo* hace que aumente la carga total de compresión que el pilote o micropilote tiene que soportar.

La magnitud de estos esfuerzos derivados del rozamiento negativo (en caso de que se produzcan) se pueden estimar mediante el criterio del CTE SE C (formula 5.4 apartado 5.2.2.). El rozamiento unitario negativo en el fuste se calculará con la expresión:

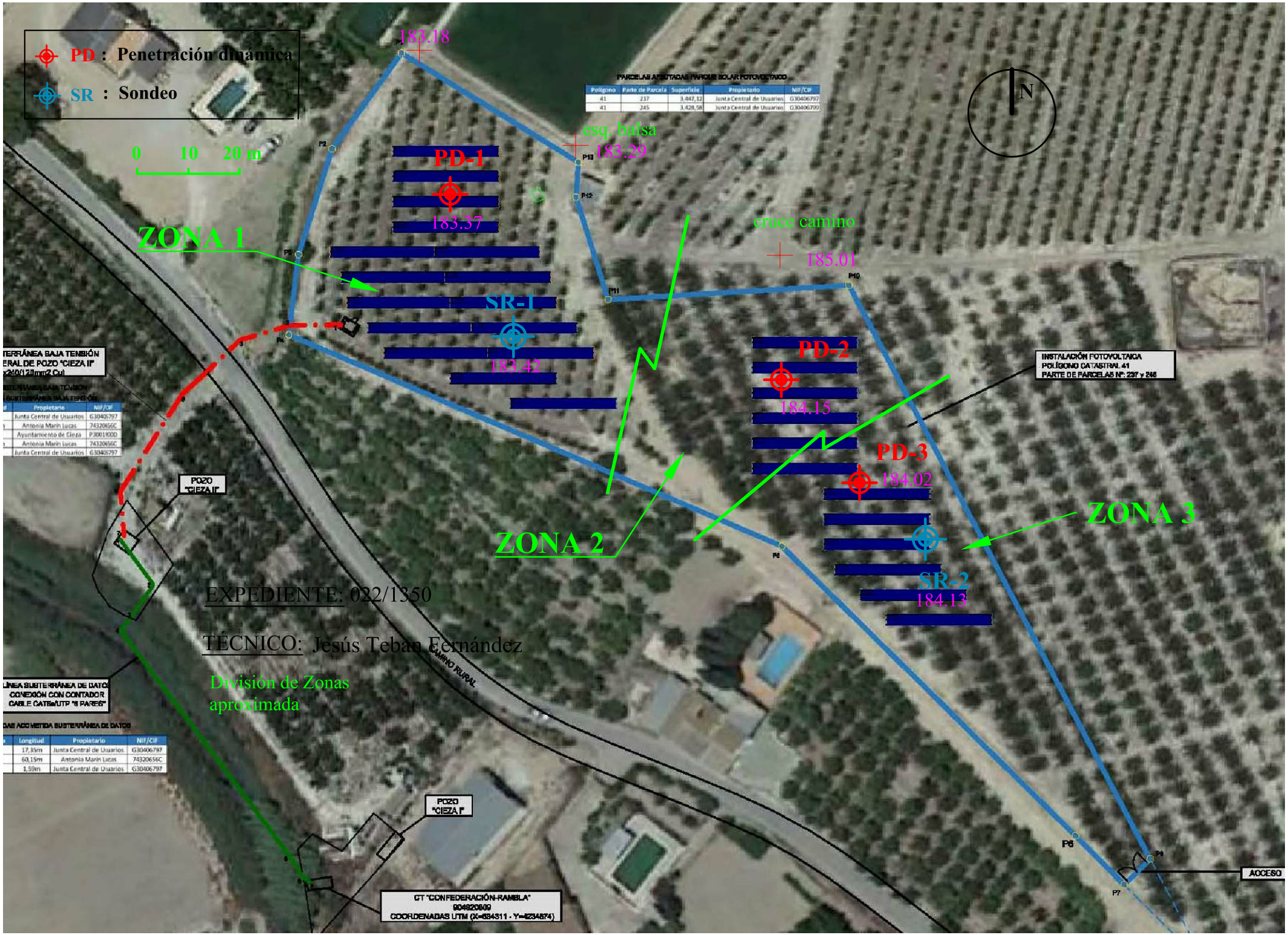
$$F_{s,neg} = \sum_{i=1}^{n} \beta_i \sigma'_{vi}$$

Siendo:

- σ'_{vi} = la tensión efectiva en el punto del fuste considerado.
- i = cada una de las unidades geotécnicas consideradas a lo largo del pilote.
- β = 0,25 en arcillas y limos; 0,10 en arenas flojas y 0,8 en arenas densas.

Inicialmente y por el tipo de terreno, no son de esperar afecciones por el rozamiento negativo.

ANEXO II: PLANO DE PENETRACIONES Y SONDEOS


PD : Penetración dinámica
SR : Sondeo
0 10 20 m
N
183.18
esq. balsa
183.29
PD-1
183.37
ZONA 1
SR-1
183.42
cruce camino
185.01
PD-2
184.15
PD-3
184.02
ZONA 2
ZONA 3
SR-2
184.13
EXPEDIENTE: 022/1350
TÉCNICO: Jesús Teban Fernández
División de Zonas
aproximada
CAMINO RURAL
POZO "CIEZA II"
POZO "CIEZA I"
INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA
POLÍGONO CATASTRAL 41
PARTE DE PARCELAS Nº: 237 y 245
ACCESO
P1
P2
P3
P4
P5
P6
P7
P8
P9
P10
P11
P12
P13