

Anejo Nº4: ESTUDIO GEOTÉCNICO



ÍNDICE DEL DOCUMENTO

1	OBJETO DEL ANEJO	1
2	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA.....	1
2.1	CONTEXTO GEOLÓGICO	1
2.2	DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES.....	3
3	HIDROGEOLOGÍA.....	5
4	SISMICIDAD	5
4.1	OBJETO.....	5
4.2	ACCIONES SÍSMICAS	5
4.3	CONCLUSIÓN.....	6
5	CAPACIDAD PORTANTE Y ASIENTOS	6
5.1	CONSIDERACIONES PREVIAS	6
5.2	DETERMINACIÓN DE LA CARGA ADMISIBLE	7
5.3	DETERMINACIÓN DE ASIENTOS.....	7
5.3.1	Asientos absolutos en el terreno	8
6	EXCAVABILIDAD	8
7	CONCLUSIONES DEL ESTUDIO	8

1 Objeto del anejo

El objeto del presente estudio geológico-geotécnico es el de conocer las características geológicas y geotécnicas del terreno de cimentación en la zona del puente, para asegurar el correcto dimensionamiento de la subestructura de este, además de cualquier otro elemento que se desee incluir en el proyecto y así lo requiera

Para determinar las características del terreno de cimientto, la empresa COMAYPA S.A. ha realizado una campaña de ensayos en la zona de actuación en la zona del puente. La relación de ensayos realizados se puede consultar en el *Anexo 1: Informe de ensayos*.

A lo largo de los siguientes apartados se determinan las características del terreno de manera justificada y a partir de la información proporcionada en los ensayos.

Finalmente, y una vez definidos estos parámetros, se obtienen una serie de conclusiones que determinarán tanto el tipo de cimentación como los procedimientos constructivos y de seguridad que se deberán emplear para su ejecución.

2 Columna estratigráfica

2.1 Contexto geológico

La zona de estudio se localiza en la provincia de Castellón, situada al Este de la península Ibérica, entre la zona oriental fallada y la zona meridional diapírica, ubicada íntegramente sobre materiales pertenecientes a la era Cuaternaria.

La provincia de Castellón es una franja comprendida entre el macizo occidental y el mar, donde destacan unas sierras de rasantes comprendidas entre los 500 y los 700 metros y unos pasillos de depresión con fondos planos a 200 y 300 metros sobre el nivel del mar.

Las ramblas, barrancos y los arroyos que corren por la provincia de Castellón, forman un enjambre complicado, de cauces numerosos y profundos. La distribución de estos en superficie es difícil de definir.

El Cuaternario de la provincia de Castellón está constituido por materiales de superficie de acarreo, terrenos transportados, de cantos rodados, gravas, arenas, limos, etc. También por materiales brechoides pudingas, travertinos, etc. Estos materiales se disponen en capas de espesores variables, lechos superpuestos, presentando extensiones superficiales muy diferentes. Se divide en dos grandes etapas: una inferior, de tipo diluvial antiguo (Pleistoceno) y otra superior, de tipo aluvial reciente (Holoceno).

El relieve de la provincia de Castellón es accidentado, formado por sierras y montañas, ramblas y barrancos, pero al mismo tiempo, cuenta con grandes superficies aplanadas, que dan fisonomías particulares a los parajes y contrastan con los relieves agrestes circundantes.

Los sustratos de estas llanuras son de diferente naturaleza, unas veces se trata de masas geológicas arrasadas; otras de estructuras sinclinales colmatadas, otras son espacios de hundimiento post-orogénicos y en otras ocasiones a rellenos endorréicos.

La plana de Castellón se corresponde con una estructura de glacis de erosión, caracterizado por una morfología suave, iniciada en el contacto con la zona montañosa, y situada en rasante angular, a 100 metros sobre el nivel del mar, para terminar en la franja litoral hasta el punto cero. La distribución de los materiales guarda una disposición casi zonal en la zona de arranque (al pie del relieve), se aprecia una franja en la que presentan travertinos, rocas y pudingas, mientras que en el sector intermedio dominan los componentes de suelos sueltos, terrosos y gravas, por último, en la zona marginal (más baja), existe un predominio de los suelos arcillosos, arenosos y fangosos, etc., lugar de las marismas, marjales, lagunas, etc.

La formación de la Plana de Castellón comenzó en las primeras etapas del Cuaternario, hasta nuestros días manteniendo una estrecha relación con las variaciones climáticas.

Puede decirse que la zona de estudio se enmarca dentro de un glacis relicto, los cauces que circulan por la zona lo hacen por debajo de la cota de la superficie actual del glacis, se trata de cauces que están encajados y las terrazas que se presentan marcan episodios de penetración, por lo que la rasante general del glacis queda más elevada. Como consecuencia de esto, la morfología del glacis es consecuencia de una forma geológica heredada. Actualmente, las montañas (proveedoras de material de sedimentación) al tener las aguas canalizadas, dejan de circular por el glacis y por lo tanto ya no le aportan material, consecuencia de lo cual, este no incrementa su potencia, como consecuencia de esta ausencia de circulación de agua sobre la plana, se favorece la formación y desarrollo de las costras, las cuales fosilizan el suelo, dotándolos de gran rigidez.

Con respecto a las formaciones costeras de la zona, cabe destacar que no existen costas levantadas debidas al movimiento epirogénicos. Las playas son bordes continentales rasantes con la superficie del mar. Las playas son de gravas, gravillas y arenas. Los cordones litorales son franjas de relieve que se forman paralelas a la costa, formadas por gravas y arenas, las cuales se encuentran modeladas como consecuencia de la fuerza del oleaje.

Como ya se ha comentado anteriormente, la zona de estudio que nos ocupa está formada por materiales Cuaternarios de origen continental, predominando en ellos el régimen laminar sin presentar una clara expresión morfológica, aunque sin que abundan los materiales de ambientes mixtos, marino-continental, que forman potentes deltas debido a la fuerte subsidencia existente en la desembocadura de las numerosas ramblas que constituyen el drenaje actual.

A continuación, se procederá a detallar cada uno de este tipo de materiales:

Depósitos continentales

Mantos aluviales encostrados: se trata de materiales que descienden con suave pendiente desde la cota 100 m, hasta la de 20-30 m. Están formados por conglomerados de cantos redondeados de caliza y arenisca, con presencia de matriz arcillosa y cemento carbonatado, constituyendo un depósito fuertemente encostrado. Este material que se presenta en forma de cono desaparece por debajo de unas arcillas rojas, las cuales forman la llanura perilitoral en la zona.

La formación de estos mantos debe estar asociada a la época de los pluviales, y que corresponden a largas y fuertes precipitaciones de gran duración e intensidad. Su establecimiento sobre amplias superficies indica que han sido situadas por escurrimientos difusos y muy divagantes, sin presentar relación con los arroyos que circulan siguiendo la pendiente. El encostramiento que presenta el material implica la existencia de un periodo más cálido y húmedo que el actual, en el que se produciría un ascenso por capilaridad del agua cargada con bicarbonato cálcico en disolución.

Mantos de arroyada: se trata de depósitos de tipo laminar, los cuales se localizan por encima de los mantos aluviales anteriormente descritos, de manera que ocultan el contacto entre estos y los depósitos de pie de monte. Estos mantos se distribuyen formando una orla adosada a la anterior. Están formados por arcillas de coloración rojiza, con presencia de cantos, los cuales provienen de los mantos aluviales y de las costras zonales. Estas costras se presentan o bien como láminas discontinuas formando la base del depósito, o bien como intercalaciones dentro del mismo. La formación de estos mantos de arroyada se atribuye a la acción de una lluvia corta y abundante, en una superficie poco trabajada por los arroyos (de manera que los hilillos de agua se unen para formar un manto de agua mínimo, con el que se transportan todos los materiales de granulometría fina. Este arroyamiento tiene carácter intermitente por definición, por lo que se permite el endurecimiento de las láminas de costra, como consecuencia de la exposición temporal al aire.

Además de este tipo de mantos descritos se presentan otros, que se caracterizan tanto porque nunca descansan sobre los mantos aluviales, como por que presentan niveles de cantos subangulosos cementados (lo cual podría ser consecuencia de un arroyamiento más intenso dentro del mismo periodo de formación).

Depósitos mixtos.

Limos pardos: se trata de materiales que forman una orla que rodea las albuferas colmatadas, las cuales deben tener su origen en el lavado de las arcillas rojas circundantes. Se ha detectado la presencia de cantos marinos perforados por litófagos, lo cual es indicativo del origen mixto de estos materiales. Alrededor de esta formación se localiza una segunda orla de limos pardos, la cual se caracteriza por la ausencia de los cantos marinos, anteriormente mencionados.

Dunas litorales: se trata de un cordón formado por arenas parcialmente fijadas por la vegetación, las cuales se presentan cerrando la albufera. Estas dunas son bastante recientes, aunque no actuales, y pueden ser consecuencia de un movimiento negativo del mar, que al abandonar los sedimentos aún sin consolidar, se permite que la acción del viento realice una selección eólica, y una acumulación en las zonas próximas.

Ninguno de los materiales descritos presenta síntomas claros de tectónica reciente, no obstante, hay que señalar la disparidad que existe entre los niveles de terrazas fluviales y casi la inexistencia de terrazas marinas levantadas. Todo esto lleva a pensar en la posible flexura del continente, a la vez que se produciría un hundimiento progresivo de las zonas cercanas a la línea de costa actual. Del mismo modo hay que señalar un reciente movimiento positivo del continente, que ha dado lugar a la colmatación de las

albuferas, a la formación del cordón dunar, y a la elevación del cordón litoral. Cortado actualmente por el mar, en forma de pequeño acantilado.

Con todo lo expuesto, queda claro que geológicamente la zona de ubicación del proyecto se caracteriza por la circulación divagante de las aguas en periodos de fuertes precipitaciones, siendo esto la consecuencia de la actual morfología y composición geológica de la zona de la Plana. Con el encauzamiento del barranco de Fraga se pretende recoger todas las aguas pluviales, causantes de algunas de las inundaciones que se producen en la zona de estudio.

2.2 Descripción de los materiales

Las muestras que se ensayaron en laboratorio se muestran en las siguientes tablas:

SONDEO nº1 (Estribo zona UJI):

TRAMO 0: Desde -0,00 a -4,00 m

400 cm de relleno antrópico variado con tramos de tierra vegetal con restos de raíces a techo y niveles de material grueso con matriz arenosa. Se observa la presencia de bolos. En este tramo, se ha tomado una muestra alterada para la determinación de la agresividad del terreno frente al hormigón:

<i>N.º de muestra</i>	<i>01</i>
<i>Profundidad (m)</i>	3,00
<i>% Sulfatos</i>	0,05

Tabla 1. Resultados ensayos muestra 1.

Teniendo en cuenta los resultados de los ensayos realizados, se puede deducir que el terreno NO ES AGRESIVO al hormigón, según la EHE/08.

TRAMO 00: Desde -4,00 a -4,80 m

80 cm de tierra vegetal limo-arcillosa, de color pardo oscuro, con presencia de cantos carbonatados de pequeño tamaño.

TRAMO 1: Desde -4,80 a -10,00 m

520 cm de secuencia limos arenoarcillosos y/o arcillas limoarenosas cuasi cementadas, intercaladas con niveles de gravas cementadas y/o conglomerados (de 30 ó 40 cm), formados por cantos, guijarros y algunos bolos, en general carbonatados y subredondeados con presencia de algunos subangulares, con matriz limoarenosa de colores pardos. A lo largo de este tramo, se han ejecutado tres (3) ensayos SPT, en los que se ha obtenido un parámetro N_{30} de 39 golpes, 53 golpes y Rechazo, comprobándose una mayor compacidad a medida que se gana en profundidad.

TRAMO 2: Desde -10,00 a -14,80 m

360 cm de arenas arcillosas de color pardo con abundantes cantos y algunos bolos calcáreos. Se aprecia cementación incipiente, en ocasiones, muy desarrollada, formando un nivelillo de unos 15 cm de costra conglomerática entorno a los 14,00 metros de profundidad. En este tramo, se ha realizado un

ensayo SPT en el que se ha registrado Rechazo en la primera tanda de golpeo. Se ha tomado una muestra alterada para su ensayo en el laboratorio de suelos:

<i>N.º de muestra</i>	<i>02</i>
<i>Profundidad (m)</i>	12,00
<i>% gravas</i>	40
<i>% arenas</i>	31
<i>% finos</i>	29
<i>Límite Líquido</i>	28,4
<i>Índice de Plasticidad</i>	10,7
<i>Clasificación (S.U.C.S)</i>	SC

Tabla 2. Resultados ensayos muestra 2.

TRAMO 4: Desde -14,80 a 18,00 m

320 cm de arenas arcillosas, en las que se aprecia algún bolo calcáreo, así como niveles intercalados de gravas, con más o menos matriz arcillosa y con signos de cementación. En este tramo se ha realizado un ensayo SPT en el que se ha obtenido Rechazo, calificando el tramo como de compacidad muy alta. Se ha tomado una muestra alterada:

<i>N.º de muestra</i>	<i>03</i>
<i>Profundidad (m)</i>	16,00
<i>% gravas</i>	46
<i>% arenas</i>	33
<i>% finos</i>	21
<i>Límite Líquido</i>	21,0
<i>Índice de Plasticidad</i>	7,2
<i>Clasificación (S.U.C.S)</i>	SC

Tabla 3. Resultados ensayos muestra 3.

TRAMO 6: Desde -18,00 a -21,90 m

390 cm de arcillas de color pardo-rojizo con intercalaciones de niveles de gravas subredondeadas a subangulosas con abundante matriz arcillosa. En este tramo, se ha tomado una muestra alterada para su posterior ensayo en el laboratorio de suelos.

<i>N.º de muestra</i>	<i>04</i>
<i>Profundidad (m)</i>	21,00
<i>% gravas</i>	8
<i>% arenas</i>	34
<i>% finos</i>	58
<i>Límite Líquido</i>	26,8

Índice de Plasticidad	12,6
Clasificación (S.U.C.S)	CL

Tabla 4. Resultados ensayos muestra 4.

TRAMO 7: Desde -21,90 a -24,30 m

240 cm de arenas limoarcillosas de color pardo, con alguna intercalación de gravas de orden centimétrico. En este tramo, se ha llevado a cabo la ejecución de un ensayo SPT en el que se ha obtenido Rechazo en la primera tanda de golpeo, calificando el tramo como de compacidad muy alta. Se ha tomado una muestra alterada:

N.º de muestra	05
Profundidad (m)	23,10
% gravas	38
% arenas	35
% finos	27
Límite Líquido	24,2
Índice de Plasticidad	9,6
Clasificación (S.U.C.S)	SC

Tabla 5. Resultados ensayos muestra 5.

TRAMO 8: Desde -24,30 a -25,00 m

70 cm de arcillas arenosas con abundantes cantos subangulares.

SONDEO nº2 (Zona estribo Avda. Alcora):

TRAMO 0: Desde -0,00 a -1,15 m

115 cm de relleno antrópico y tierra vegetal de carácter limo-arcilloso de colores pardo-rojizos.

TRAMO 1: Desde -1,15 a -6,20 m

505 cm de arenas limoarcillosas bastante plásticas, color marrón, con cantos calcáreos subredondeados, de tamaño medio, con algún bolo hacia los 5,00 metros. A lo largo del tramo, se ha llevado a cabo la realización de dos ensayos SPB en los que se ha registrado Rechazo, calificando el tramo como de compacidad muy alta. Se ha tomado una muestra alterada:

N.º de muestra	06
Profundidad (m)	3,40
% gravas	44
% arenas	35
% finos	21
Límite Líquido	20,4

Índice de Plasticidad	14,6
Clasificación (S.U.C.S)	GC

Tabla 6. Resultados ensayos muestra 6.

(*) La clasificación como gravas es debida a la gran proporción de nódulos en la muestra.

TRAMO 2: Desde -6,20 a -7,40 m

120 cm de limos ligeramente arenosos con cantos de arenisca rojos y algunos cantos calcáreos color gris claro.

TRAMO 3: Desde -7,40 a -11,80 m

440 cm de limos arcillosos, bastante plásticos, de color marrón, con cantos calcáreos subangulosos y algún pequeño bolo. A lo largo de este tramo, se han llevado a cabo dos ensayos SPB en los que se ha registrado Rechazo, calificando el tramo como de compacidad muy alta. Se ha tomado una muestra alterada para su ensayo en el laboratorio de suelos:

N.º de muestra	07
Profundidad (m)	8,00
% gravas	45
% arenas	29
% finos	26
Límite Líquido	26,8
Índice de Plasticidad	17,6
Clasificación (S.U.C.S)	GC

Tabla 7. Resultados ensayos muestra 17.

(*) La clasificación como gravas es debida a la gran proporción de nódulos en la muestra.

TRAMO 3: Desde -11,80 a -12,70 m

90 cm de limos ligeramente arenosos de color marrón y cantos calcáreos.

TRAMO 4: Desde -12,70 a -16,30 m

360 cm de arenas arcillosas marrones con nodulillos consistentes. En este tramo, se han realizado dos ensayos SPB, en los que se ha registrado Rechazo y un parámetro N30 de 69 golpes, que califica al tramo como de consistencia muy alta. También se han tomado dos muestras alteradas para su posterior ensayo en el laboratorio de suelos:

N.º de muestra	08	09
Profundidad (m)	13,20	15,80
% gravas	32	15
% arenas	44	39
% finos	24	46

Límite Líquido	22,2	17,0
Índice de Plasticidad	6,7	5,0
Clasificación (S.U.C.S)	SC	SC

Tabla 8. Resultados ensayos muestras 8 y 9.

TRAMO 4: Desde -16,30 a -16,70 m

40 cm de limos de arenas gruesas y cantos calcáreos redondeados.

TRAMO 5: Desde -16,70 a -19,00 m

230 cm de arcillas arenosas de colores pardos con algunos cantos. En este tramo se ha realizado un ensayo SPB en el que se ha registrado un parámetro N30 de 69 golpes, calificando el tramo como de consistencia muy alta. Se ha tomado una muestra alterada, obteniéndose los siguientes resultados al ensayarla:

N.º de muestra	10
Profundidad (m)	17,80
% gravas	36
% arenas	20
% finos	44
Límite Líquido	23,5
Índice de Plasticidad	9,4
Clasificación (S.U.C.S)	GC

Tabla 9. Resultados ensayos muestra 10.

(*) La clasificación como gravas es debida a la gran proporción de nódulos en la muestra.

TRAMO 5: Desde -19,00 a -24,50 m

550 cm de arcillas con restos de arenas finas y cantos calcáreos subangulares. En este tramo, se ha realizado un ensayo SPB en el que se ha obtenido Rechazo, calificando el tramo como de consistencia muy alta. En este tramo, se han tomado dos muestras alteradas:

N.º de muestra	11	12
Profundidad (m)	21,00	24,30
% gravas	43	45
% arenas	31	23
% finos	26	32
Límite Líquido	18,9	18,5
Índice de Plasticidad	5,2	5,0
Clasificación (S.U.C.S)	GC	GC

Tabla 10. Resultados ensayos muestras 10 y 11.

(*) La clasificación como gravas es debida a la gran proporción de nódulos en la muestra.

Las columnas litológicas con los materiales aquí descritos se pueden consultar gráficamente en el *Anexo 2: Columnas litológicas*.

3 Hidrogeología

No se ha detectado la presencia del nivel freático, durante la ejecución de los trabajos de campo, al menos hasta las cotas investigadas. En el momento en el que se llevó a cabo la investigación realizada no se apreciaron signos de surgencias, riegos o fugas.

El entorno está afectado por la influencia del Río Seco. Se trata de una barranquera típica de la cuenca Mediterránea, sin circulación de agua durante la mayor parte del año, pero con fuertes avenidas con gran incremento de caudal. Su acción sobre los estribos del puente debe considerarse, ya que la erosión sobre los taludes de las márgenes del río puede afectarles, por lo que se deberán tomar medidas para evitar la afección del río sobre la cimentación del puente.

Se recomienda que en el caso de que se observen surgencias o fugas de agua (red de abastecimiento o saneamiento) o cualquier otra circunstancia que implique un flujo de agua no previsto sobre cimentación, se tomen las medidas oportunas en cada caso para garantizar el buen comportamiento de la obra a largo plazo.

4 Sismicidad

4.1 Objeto

Con fecha 11 de octubre de 2.002 el Boletín Oficial del Estado publicó el RD 997/2.002, de 27 de septiembre, por el que se aprueba la norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación (NCSR-02).

El presente apartado, atendiendo a los requerimientos del punto 1.3.1. de la Norma de Construcción Sismorresistente Española NCSE-02, tiene por objeto la descripción de las características sismológicas del área afectada por las obras, así como la determinación de las acciones sísmicas a contemplar en la redacción del proyecto correspondiente, a efectos de su consideración en los cálculos, si procede.

4.2 Acciones sísmicas

APLICACIÓN DE LA NCSE-02 A ESTE PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN

De acuerdo con el apartado 1.2.4 de la citada Norma, se consideran como prescripciones de índole general las siguientes:

- Clasificación de las construcciones. (Apartado 1.2.2.)
- Criterios de aplicación de la Norma. (Apartado 1.2.3.)
- Cumplimiento de la Norma. (Apartado 1.3.)
- Mapa de peligrosidad sísmica. Aceleración sísmica básica. (Apartado 2.1)
- Aceleración sísmica de cálculo. (Apartado 2.2.)

Atendiendo a los condicionantes de las obras objeto del presente proyecto, cabe considerar de forma particular las que se especifican a continuación:

Apartado 1.2.2. Clasificación de las construcciones

La vigente Norma de la Construcción Sismorresistente Española, NCSE-02, establece una clasificación de las obras en función de su importancia, en obras de normal, moderada y especial importancia. Al mismo tiempo, la citada NCSE-02 deja a la decisión del proyectista la determinación del uso de la obra, y consecuentemente su clasificación.

En el caso concreto de las obras referidas en el correspondiente Proyecto de Construcción cabe entender se trata de una obra **de importancia especial** para la localidad de Castellón, a efectos de la Norma NCSE-02, ya que se trata de una vía de comunicación.

Apartado 1.2.3.- Criterios de aplicación de la Norma.

La aplicación de esta Norma es obligatoria[...], excepto en las edificaciones de importancia normal o especial cuando la aceleración sísmica básica a_b sea inferior a $0'04\text{ g}$, siendo g la aceleración de la gravedad.

Apartado 1.3.- Cumplimiento de la Norma

Con el presente apartado se pretende proporcionar los datos necesarios para que el proyectista pueda atender los requerimientos de la Norma NCSE-02 para la fase de proyecto.

Apartado 2.1.- Mapa de peligrosidad sísmica. Aceleración sísmica básica.

Según el mapa de peligrosidad sísmica del territorio nacional (figura 2.1), la aceleración sísmica básica, a_b , es inferior a $0'04\text{ g}$, siendo g la aceleración de la gravedad.

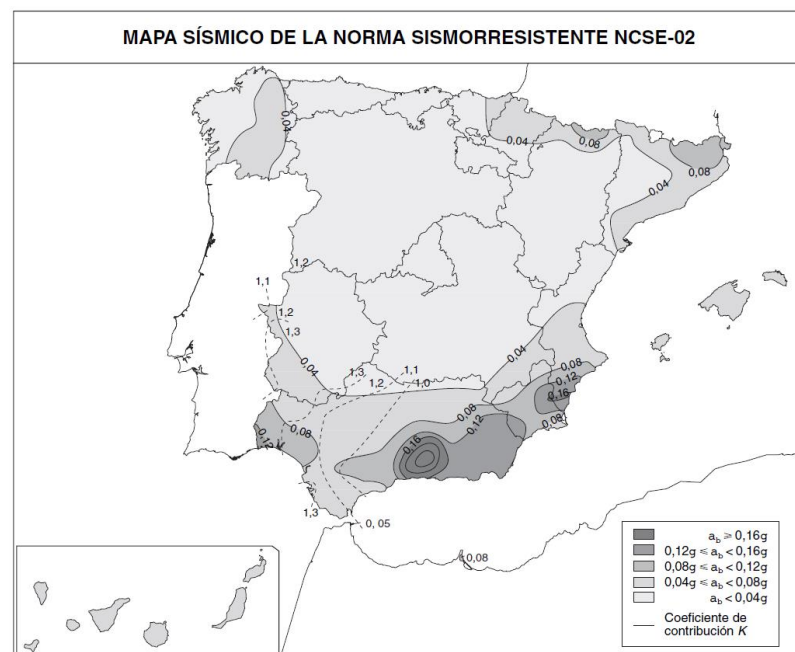


Figura 1. Figura 2.1 de la NSCE-02

Apartado 2.2.- Aceleración sísmica de cálculo

No procede.

4.3 Conclusión

De acuerdo con lo establecido en el artículo 1.2.3 de la norma NCSE-02, no es obligatoria la aplicación de la citada norma, atendiendo a las especificaciones consideradas acerca de las prescripciones de índole general establecidas.

5 Capacidad portante y asientos

5.1 Consideraciones previas

Como se ha señalado anteriormente, el objeto del presente estudio consiste en la determinación de las condiciones de cimentación en el emplazamiento del puente sobre el río Seco en la prolongación de la C/ Jesús Martí Martín hacia la Avda. Alcora.

Dada la luz a cubrir y la localización del puente, se opta por una estructura sencilla y de rápida ejecución que minimice la afección al cauce y a los vecinos de la zona. Por ello se opta por un tablero conformado por tres vigas artesas pretensadas, prefabricadas, que apoyarán sobre los estribos laterales, sin apoyos intermedios. Sobre dichas vigas se ejecutará una losa de hormigón armado de 25 cm de canto.

Teniendo en cuenta la información disponible y la campaña geotécnica existente, situando el plano de cimentación entorno a los 12,00 metros de profundidad (tomando como referencia la boca de inicio de los sondeos), se estima que la cimentación de los estribos recaerá en terreno constituido por arenas arcillosas, muy compacto y con fenómenos de carbonatación más o menos desarrollados que le confieren al terreno consistencia casi pétreo, pero sin llegar a ser una auténtica roca.

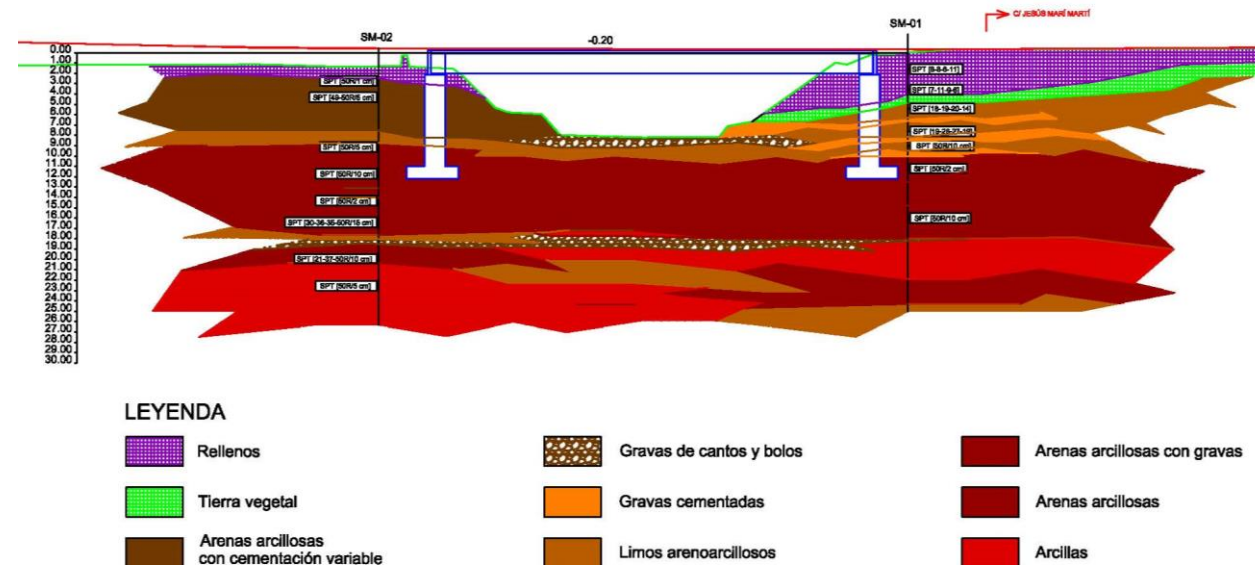


Figura 2. Perfil estratigráfico

La opción de llevar a cabo una cimentación superficial se contempla bajo la premisa de la necesaria adopción de las medidas oportunas para garantizar la adecuada protección y consolidación frente a la erosión y socavación del terreno bajo los estribos, bien mediante colocación de escollera, o por cualquier otro medio encaminado a minimizar el riesgo de descalce de las cimentaciones.

Por lo tanto, se realizará una estimación de la tensión admisible del terreno atendiendo a la formulación de la Guía de Cimentaciones en obras de carretera (4.5.5.).

5.2 Determinación de la carga admisible

Como ya se ha comentado, el plano de cimentación se situará aproximadamente a unos 4 metros de profundidad respecto al fondo del cauce, de tal manera que la cimentación recaerá sobre la facies de limos arenoarcillosos y/o arcillas limoarenosas, muy compactas y cuasi cementadas, que se han localizado en los dos sondeos realizados.

CÁLCULO ANALÍTICO DE LA CARGA DE HUNDIMIENTO

Según la formulación de la Guía de Cimentaciones en obras de carretera, en el punto 4.5.5., la fórmula más frecuente para la determinación de la carga de hundimiento es la conocida como de Brinch-Hansen, de la que existen diferentes versiones.

Según este método, la presión vertical de hundimiento es la suma de tres términos que representan la contribución a la capacidad de soporte, de la sobrecarga existente al nivel de cimentación q , de la cohesión del terreno c , y de su peso propio. La ecuación es del siguiente tipo:

$$q_h = c_k N_c d_c s_c i_c t_c + q_{0k} N_q d_q s_q i_q t_q + \frac{1}{2} B^* \gamma_k N_\gamma d_\gamma s_\gamma i_\gamma t_\gamma$$

Siendo:

q_h = presión vertical de hundimiento

q_{0k} (presión vertical característica alrededor del cimientto al nivel de su base.)

c_k (valor característico de la cohesión de terreno).

B^* (ancho equivalente del cimientto).

γ_k (peso específico característico por debajo de la base del cimientto).

N_c, N_q, N_γ (factores de capacidad de carga, que dependen del ángulo de rozamiento interno).

d_c, d_q, d_γ (coeficientes correctores de la resistencia a corte del terreno)

s_c, s_q, s_γ (coeficientes correctores de la forma en planta del cimientto)

i_c, i_q, i_γ (coeficientes correctores de la inclinación de la resultante de acciones)

t_c, t_q, t_γ (coeficientes correctores de la proximidad de un talud)

Como hipótesis de cálculo se supondrán cimentaciones cuadradas con cargas centradas sobre el terreno en condiciones no drenadas, con $c_u = 1,50 \text{ kg/cm}^2$ y $\phi_u = 0^\circ$ obteniéndose una presión vertical de hundimiento:

$$Q_{nf} = 9,252 \text{ kg/cm}^2$$

Utilizando un coeficiente de seguridad $CF=3$, la carga de trabajo unitaria será:

$$Q_{ADM} = 3,08 \text{ kg/cm}^2$$

No obstante, este valor de tensión no es definitivo, ya que hay que comprobar que los asientos generados por la estructura con este nivel de tensiones provocan deformaciones en el terreno compatibles con las condiciones de uso de la estructura.

5.3 Determinación de asientos

Tal y como se ha comentado anteriormente, resulta necesario comprobar que las tensiones admisibles obtenidas a partir de la carga de hundimiento estimada no generan asientos excesivos, tanto en valor absoluto como en valor diferencial.

Para la delimitación de los asientos diferenciales, seguiríamos el criterio de limitar la distorsión angular, entendiendo como tal, la relación que existe entre dos puntos de la cimentación y la distancia que los separa. Skempton y MacDonal (1.956), indican que la distorsión angular debe ser inferior a 1/500, como límite de seguridad para hacer frente a la fisuración.

Esta condición debería comprobarse teniendo en cuenta la cimentación proyectada, sobre todo en el caso de que asentara sobre materiales de diferente naturaleza y/o comportamiento geomecánico, En este caso, las condiciones de cimentación son muy similares en ambos estribos, por lo tanto, se suponen despreciables los asientos diferenciales que se puedan producir.

Para la estimación de asientos se empleará el Método de Steinbrenner.

$$s = \frac{B^* q_h}{E} * (1 - \nu^2) * k_o$$

Siendo:

s : asiento en cm

B : ancho de la cimentación (metros)

q_h : carga de hundimiento (kg/cm^2)

E : Módulo de elasticidad (kg/cm^2)

ν : coeficiente de Poisson

K_o : parámetro

5.3.1 Asientos absolutos en el terreno

	PARAMETROS DE CÁLCULO			
	v_u	E_u (Kg/cm ²)	v	E (Kg/cm ²)
ARCILLAS Y/O LIMOS MUY COMPACTAS	0,50	800	0,30	350

NOTA- Parámetros de cálculo según Jiménez Salas, 2ª Edición, "Mecánica de suelos", LAMBE y Rodríguez Ortiz, Capítulo 2.

Tabla 11. Parámetros de cálculo de los asientos en el terreno.

Las zapatas del puente que se proyecta contarán con unas dimensiones de 14,90 mx7,40 m, y con un canto de 1,20 metros. Estos datos permiten estimar los siguientes asientos:

ASIENTOS INICIALES		
Carga de trabajo (Kg/cm ²)	ANCHO DE LA ZAPATA EN METROS	
		7,40
	3,00	3.184313
	2,90	3.078169
	2,80	2.972025
	2,70	2.865881
	2,60	2.759738
	2,50	2.653594

Tabla 12. Asientos iniciales.

ASIENTOS FINALES (A LARGO PLAZO):		
Carga de trabajo (Kg/cm ²)	ANCHO DE LA ZAPATA EN METROS	
		7,40
	3,00	5.619829
	2,90	5.432501
	2,80	5.245174
	2,70	5.057846
	2,60	4.870519
	2,50	4.683191

Tabla 13. Asientos finales.

Como puede apreciarse se ha tenido en cuenta en el cálculo distintas cargas de trabajo, de lo que se deduce, que hasta la tensión de **2,60 Kg/cm²**, los asientos obtenidos se consideran inferiores a 50 mm para una cimentación con las dimensiones especificadas.

6 Excavabilidad

Para llevar a cabo las excavaciones necesarias para realizar cualquier tipo de actuación se deberá recurrir al empleo de métodos convencionales (máquina retroexcavadora), aunque también deberán estar previstos métodos enérgicos (martillo hidráulico) al poderse localizar tramos puntualmente cementados.

Deberán tomarse las medidas oportunas para garantizar la estabilidad de las excavaciones. Se recomienda el empleo de los métodos de sostenimiento, provisionales y/o definitivos que sean necesarios, siguiendo las especificaciones del CTE, las normas NTE A+C, NTP 278: ZANJAS, o correspondiente, según el criterio del Técnico Responsable del Proyecto.

Los parámetros geotécnicos que caracterizan a los materiales que deberán ser retirados, son:

TIERRA VEGETAL Y/O RELLENOS ANTRÓPICOS NO CONTROLADOS:

ϕ	15º
Cohesion (Kg/cm ²)	0
Densidad aparente (T/m ³)	1,65

NOTA 1.- Los suelos alterados por vegetación u otras causas, así como los rellenos de carácter antrópico no pueden ser caracterizados por parámetros geotécnicos debido a la variabilidad y heterogeneidad de los elementos que los componen. Los datos que se exponen ofrecen un orden de magnitud probable, pero quedan muy lejos de pretender definir sus características geomecánicas.

Tabla 14. Parámetros tierra vegetal y/o rellenos antrópicos no controlados.

ARCILLAS LIMOARENOSAS Y/O LIMOS ARENOARCILLOSOS:

ϕ	29º
C_u (Kg/cm ²)	1,50
C' (Kg/cm ²)	0,75
Densidad aparente (T/m ³)	2,00

Tabla 15. Parámetros arcillas limoarenosas y/o limos arenoarcillosos.

7 Conclusiones del estudio

- Se recomienda eliminar como terreno para recibir cualquier tipo de cimentación todos aquellos niveles de suelos caracterizados por procesos de bioturbación, así como los niveles de rellenos antrópicos no controlados.
- Teniendo en cuenta la información disponible y la campaña geotécnica realizada, situando el plano de cimentación entorno a los 12,00 metros de profundidad (tomando como referencia la boca de inicio de los sondeos), se estima que la cimentación de los estribos recaerá en terreno limoarcilloso, muy compacto y con fenómenos de carbonatación más o menos desarrollados que le confieren al terreno consistencia cuasi pétrea, pero sin llegar a ser una auténtica roca.

- La opción de llevar a cabo una cimentación superficial se contempla bajo la premisa de la protección y consolidación frente a la erosión y socavación del terreno bajo los estribos, bien mediante colocación de escollera, o por cualquier otro medio encaminado a minimizar el riesgo de descalce de las cimentaciones.
- Calculadas tanto las tensiones como los asientos se ha llegado a la conclusión de que al aplicar una tensión de hasta **2,60 kg/cm²** los asientos absolutos son inferiores a 50 mm. Debido a que ambos estribos recaen sobre el mismo tipo de materiales, con comportamiento geomecánico similar, y las zapatas serán idénticas, se estiman irrelevantes los asientos diferenciales que se puedan producir por condicionantes geotécnicos del terreno.
- Atendiendo a los resultados de los ensayos se puede deducir que el terreno NO ES AGRESIVO frente al hormigón, según la norma EHE.
- Por otra parte, la Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación (NCSE-02), no es de obligado cumplimiento, aunque se recomienda la aplicación de las reglas de diseño indicadas.
- Para llevar a cabo las excavaciones necesarias para realizar cualquier tipo de actuación se deberá recurrir al empleo de métodos convencionales (máquina retroexcavadora), aunque también deberán estar previstos métodos enérgicos (martillo hidráulico) al poderse localizar tramos puntualmente cementados.
- Deberán tomarse las medidas oportunas para garantizar la estabilidad de las excavaciones, especialmente a las viviendas en medianería, en el caso de existir. Se recomienda el empleo de métodos de sostenimiento, provisionales o definitivos según sean necesarios, siguiendo las especificaciones del CTE, de la norma NTE A+C, NTP 278: ZANJAS (respecto a la seguridad y salud en el trabajo) o correspondiente, según criterio del Técnico Responsable del Proyecto.
- En el caso de que durante la excavación se observaran variaciones en la litología, el diseño y cálculo de la cimentación, así como la definición de las características estructurales definitivas, deberán adaptarse a las nuevas condiciones.

Con todo lo expuesto en este Anejo se da por concluida la redacción del estudio geotécnico, procediéndose a redactar el resto de los documentos del presente proyecto de construcción.

Valencia, 22 de mayo de 2018



Pedro Vilar Ferrero

Anexo 1:

INFORME DE ENSAYOS

ÍNDICE DEL DOCUMENTO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	TRABAJOS REALIZADOS	1
2.1	TRABAJOS DE CAMPO	1
2.2	TRABAJOS DE LABORATORIO	2
2.2.1	Ensayos de identificación y estado	2
2.2.2	Ensayos de resistencia y deformación	2
2.2.3	Agresividad de los suelos	3

1 Introducción

En este anexo se exponen los trabajos de campo llevados a cabo por la empresa COMAYPA S.A. para determinar las características del terreno de cimentación, además de los ensayos realizados. La información contenida en este Anexo es la empleada en la elaboración del Estudio Geotécnico.

2 Trabajos realizados

2.1 Trabajos de campo

Además de la visita a pie de obra, con el fin de realizar un reconocimiento visual de la zona, para la realización de la presente campaña se cuenta con la información de dos sondeos de reconocimiento, realizados a rotación con extracción del testigo de forma continua, mediante la sonda Rolatec RL-48 L (la cual cuenta con las acreditaciones exigidas para el área de GTC).

La situación de los diferentes trabajos de campo se ha llevado a cabo teniendo en cuenta datos disponibles de la zona, y de forma que la información obtenida sea lo más representativa posible. En la siguiente figura puede apreciarse la localización de cada uno de los puntos de reconocimiento (un sondeo en cada uno de los estribos):



Figura 1. Localización de los ensayos.

La profundidad alcanzada en los ensayos de campo que han sido realizados se presenta de manera resumida en el siguiente cuadro, así como el desnivel observado (aproximado) respecto la boca de inicio del sondeo y la rasante de la carretera, la cual se ha considerada como nivel de referencia:

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)	DESNIVEL (m)
SM-01	25,00	+0,00
SM-02	25,00	+0,00

Tabla 1. Profundidad alcanzada en los ensayos de campo

Para la realización de los sondeos de reconocimiento, se utilizó batería simple con herramienta de corte de metal duro en los tramos más superficiales de relleno, dada la naturaleza de los materiales prospectados. También fue necesario recurrir a sostenimientos para mantener la estabilidad de las paredes de la perforación en los tramos constituidos por rellenos.

El diámetro empleado para la ejecución de las perforaciones ha sido de 101 mm, tal y como se indica en el anejo 3 del presente informe.

Durante la ejecución de los trabajos de campo se realizaron ensayos de penetración estándar (S.P.T), según la norma UNE 103.800/92, incluyéndose información relativa a las muestras inalteradas llevadas a cabo, según la norma XP.P-94/202. Los ensayos realizados se presentan de forma resumida en el siguiente cuadro:

SM-01			
PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA	N.º GOLPES	N₃₀
De 1,60 a 2,20 m	SPB	8-8-6-11	14
De 3,60 a 4,20 m	SPB	7-11-9-6	20
De 5,40 a 6,00 m	SPB	18-19-20-14	39
De 7,60 a 8,20 m	SPB	19-26-27-19	53
De 9,00 a 9,60 m	SPB	50R/10 cm	Rechazo
De 11,20 a 11,22 m	SPB	50R/2 cm	Rechazo
De 16,00 a 16,10 m	SPB	50R/10 cm	Rechazo

Tabla 2. Sondeo SM-01

SM-02			
PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA	N.º GOLPES	N₃₀
De 1,40 a 1,41 m	SPB	50R/ 1 cm	Rechazo
De 3,00 a 3,20 m	SPB	49-50R/5 cm	Rechazo
De 7,60 a 7,80 m	MG	49-50R/5 cm	Rechazo
De 7,80 a 7,85 m	SPB	50R/5 cm	Rechazo
De 10,40 a 10,42 m	SPB	50R/2 cm	Rechazo
De 13,00 a 13,10 m	SPB	50R/10 cm	Rechazo
De 15,00 a 15,10 m	MG	50R/10 cm	Rechazo
De 15,10 a 15,70 m	SPB	30-36-35-50R/15 cm	71
De 18,00 a 18,60 m	MG	28-29-40-28	69
De 18'60 a 19'00 m	SPB	21-37-50R/10 cm	Rechazo
De 21,20 a 21,25 m	SPB	50R/5 cm	Rechazo

Tabla 3. Sondeo SM-02

SONDEO	TIPO DE MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	N.º DE MUESTRA
SM-01	Muestra alterada	3,00	01
SM-01	Muestra alterada	12,00	02
SM-01	Muestra alterada	16,00	03
SM-01	Muestra alterada	21,00	04
SM-01	Muestra alterada	23,10	05
SM-02	Muestra alterada	3,40	06
SM-02	Muestra alterada	8,00	07
SM-02	Muestra alterada	13,20	08
SM-02	Muestra alterada	15,80	09
SM-02	Muestra alterada	17,80	10
SM-02	Muestra alterada	21,00	11
SM-02	Muestra alterada	24,30	12

Tabla 4. Trabajos de laboratorio

Los ensayos realizados se dividen en diferentes grupos, como se expresa en los siguientes subapartados.

2.2.1 Ensayos de identificación y estado

N.º DE MUESTRA	GRANULOMETRÍA UNE 103.101-95	LÍMITE LÍQUIDO UNE 103.103-94	LÍMITE PLÁSTICO UNE 103.104-93
02	X	X	X
03	X	X	X
04	X	X	X
05	X	X	X
06	X	X	X
07	X	X	X
08	X	X	X
09	X	X	X
10	X	X	X
11	X	X	X
12	X	X	X

Tabla 5. Ensayos de identificación y estado.

2.2.2 Ensayos de resistencia y deformación

No se realizaron ensayos de este tipo.

2.2 Trabajos de laboratorio

Las muestras que se ensayaron en el laboratorio se presentan resumidas en las siguientes tablas:

2.2.3 Agresividad de los suelos

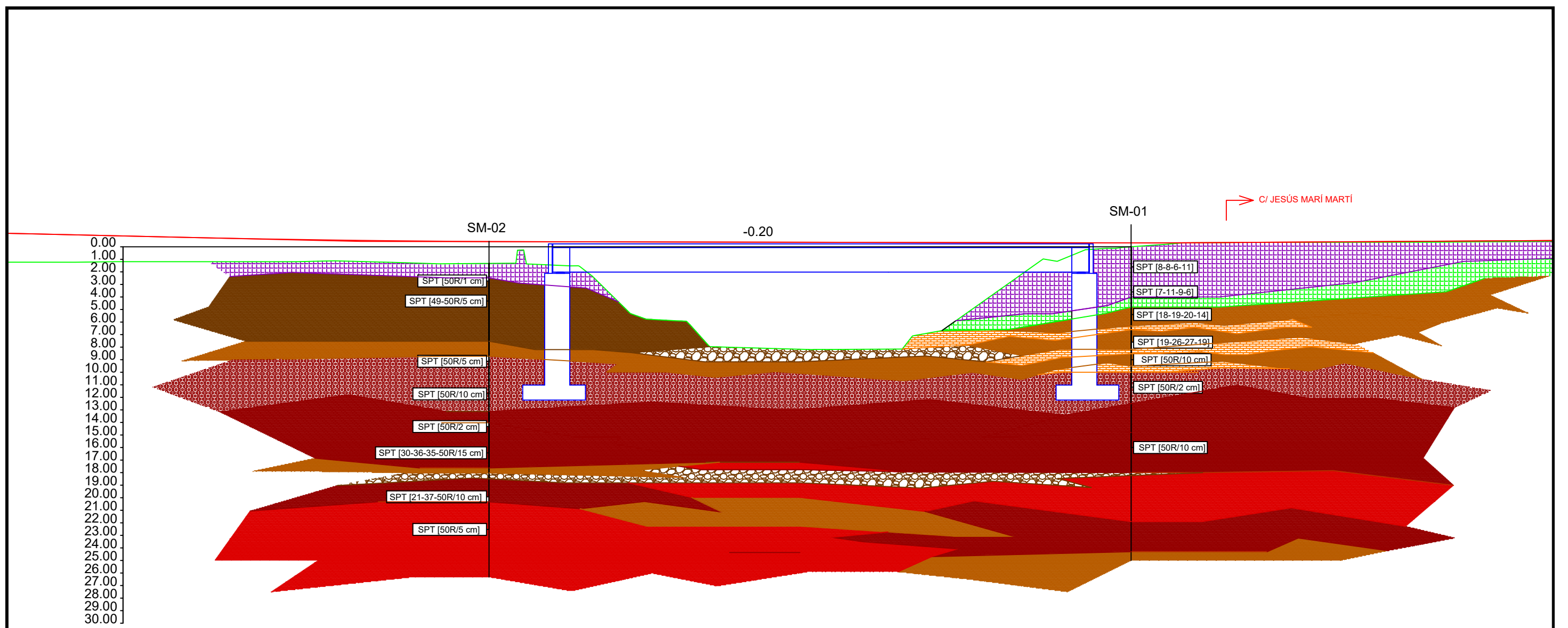
N.º DE MUESTRA	% SULFATOS UNE 103.201-96
01	X

Tabla 6. Ensayos de agresividad de los suelos.

Anexo 2:

COLUMNAS LITOLÓGICAS





LEYENDA

	Rellenos		Arenas arcillosas con gravas
	Tierra vegetal		Arenas arcillosas
	Arenas arcillosas con cementación variable		Arcillas
	Gravas de cantos y bolos		
	Gravas cementadas		
	Limos arenoarcillosos		

COTAS EN METROS

ESTUDIO GEOTÉCNICO

Ref. in.: 13.232

CROQUIS-INTERPRETACIÓN DISTRIBUCIÓN DE LOS MATERIALES

POBLACIÓN: CASTELLON (CASTELLON)



FECHA: DICIEMBRE 2.016

ESCALA: SIN ESCALA