



UTE
BILBAÍNA DE PROYECTOS S.L
CIPSA CONSULPAN S.A.

Estudio Geológico-Geotécnico para Proyecto de
Urbanización del Área de Reparto 19 "La Naval". Sestao
(Bizkaia)

EP-053001-35
Enero 2006

ÍNDICE

| | | |
|----------|---------------------------------|-----------|
| 1 | ANTECEDENTES | 4 |
| 2 | TRABAJOS REALIZADOS | 5 |
| | 2.1 TRABAJOS DE CAMPO | 5 |
| | 2.2 ENSAYOS DE LABORATORIO | 10 |
| 3 | GEOLOGÍA | 14 |
| | 3.1 MARCO GEOLÓGICO | 14 |
| | 3.2 ESTRATIGRAFÍA | 15 |
| | 3.3 TECTÓNICA | 16 |
| 4 | GEOTECNIA | 17 |
| | 4.1 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS | 17 |
| | 4.2 EXCAVACIONES | 22 |
| | 4.3 CIMENTACIONES | 28 |
| 5 | RESUMEN Y CONCLUSIONES | 33 |

ANEJOS

Anejo nº 1: PLANO DE SITUACIÓN DE TRABAJOS REALIZADOS.

Anejo nº 2: COLUMNAS LITOLÓGICAS DE LOS SONDEOS Y FOTOGRAFÍAS DE LA TESTIFICACIÓN OBTENIDA.

Anejo nº 3: DIAGRAMAS DE LOS ENSAYOS DE PENETRACIÓN.

Anejo nº 4: PERFILES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS.

Anejo nº 5: ENSAYOS DE LABORATORIO.

1 ANTECEDENTES

UTE BILBAÍNA DE PROYECTOS S.L. – CIPSA CONSULPAN S.A. ha solicitado a **Eptisa Cinsa** la realización de un **Estudio Geológico-Geotécnico** para el **Proyecto de Urbanización del Área de Reparto 19 “La Naval”** (Zona Norte Industrial) en Sestao.

A continuación se resumen los trabajos realizados así como las conclusiones y recomendaciones que se deducen de los mismos.

2 TRABAJOS REALIZADOS

2.1 TRABAJOS DE CAMPO

Los trabajos han consistido en la realización de una inspección de la zona desde el punto de vista geológico-geotécnico, así como en la realización de sondeos mecánicos y ensayos de penetración.

2.1.1 Sondeos mecánicos

Se han llevado a cabo 5 sondeos mecánicos a rotación con extracción continua de testigo, mediante una máquina de sondeos tipo ROLATEC. Las profundidades alcanzadas se recogen a continuación:

| SONDEO | PROFUNDIDAD (m) |
|--------|-----------------|
| SM-1 | 26,00 |
| SM-2 | 32,00 |
| SM-3 | 10,00 |
| SM-4 | 10,00 |
| SM-5 | 10,00 |

Los sondeos SM-1 y SM-2 se han realizado en el vaciado existente tras la demolición de antiguos pabellones, estando por consiguiente su cota de emboquille unos 4 metros por debajo de la explanación general urbanizada.

■ Ensayos de penetración dinámica standard (SPT)

Durante la ejecución de los sondeos se han llevado a cabo ensayos de penetración dinámica standard (S.P.T.). El ensayo consiste en la introducción en el terreno de un tomamuestras bipartido normalizado para este ensayo.

Como energía de impacto se utiliza una maza de 63,5 kg que cae desde una altura de 75 cm.

Para su realización se contabilizan los golpes necesarios para la hincada de 60 cm en intervalos de 15 cm el número S.P.T. (NSPT) viene definido por la suma de los intervalos segundo y tercero, ya que se considera que en los primeros 15 cm el sondeo puede estar alterado y en el caso de penetrar 60 cm el último valor es para ver la evolución de NSPT.

Los resultados obtenidos se recopilan a continuación:

| SONDEO | PROFUNDIDAD (m) | N _{SPT} | DESIGNACION |
|--------|-----------------|------------------|-------------|
| SM-1 | 4,60-5,20 | 6 | Arenas |
| SM-1 | 9,60-10,20 | 8 | Arenas |
| SM-1 | 15,60-16,20 | 2 | Limos |
| SM-1 | 21,00-21,60 | 5 | Limos |
| SM-2 | 4,00-4,60 | 7 | Arenas |
| SM-2 | 9,60-10,20 | 12 | Arenas |
| SM-2 | 16,00-16,60 | 14 | Limos |
| SM-2 | 21,00-21,60 | 7 | Limos |
| SM-2 | 26,60-27,20 | 11 | Limos |
| SM-3 | 8,00-8,60 | 11 | Arenas |
| SM-4 | 7,00-7,60 | 5 | Arenas |
| SM-5 | 4,60-5,20 | 4 | Arenas |

También se han tomado muestras de agua de los sondeos para conocer su agresividad frente al hormigón. Las muestras se han tomado en el sondeo SM-5.

■ Toma de muestras

Durante la ejecución de los sondeos se ha procedido a la toma de muestras:

| SONDEO | MUESTRA | PROFUNDIDAD (m) |
|--------|---------|-----------------|
| SM-1 | MI | 4,00-4,60 |
| SM-1 | MI | 9,00-9,60 |
| SM-1 | MI | 15,00-15,60 |
| SM-1 | MI | 20,40-23,00 |
| SM-1 | TP | 25,60-26,00 |
| SM-2 | MI | 3,40-4,00 |
| SM-2 | MI | 9,00-9,60 |
| SM-2 | MI | 15,40-16,00 |
| SM-2 | MI | 20,40-21,00 |
| SM-2 | MI | 26,00-26,60 |
| SM-2 | TP | 30,70-30,95 |
| SM-3 | MI | 7,40-8,00 |
| SM-4 | MI | 6,40-7,00 |
| SM-5 | MI | 4,00-4,60 |

Siendo:

MI: Muestra inalterada

TP: testigo parafinado

La situación de los sondeos mecánicos está reflejada en el Anejo nº 1: PLANO DE SITUACIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS, mientras que en el Anejo nº 2 se pueden observar la testificación obtenida de los mismos.

2.1.2 Ensayos de penetración

Se han llevado a cabo seis (6) ensayos de penetración dinámica continua, mediante un penetrómetro tipo D.P.S.H. El ensayo consiste en contabilizar el número de golpes necesarios para introducir en el terreno una puntaza normalizada, en intervalos de 20 cm, golpeada por una maza de 63,5 Kg que cae desde una altura de 75 cm.

Las profundidades alcanzadas son las siguientes:

| PENETRÓMETRO | PROFUNDIDAD (m) |
|--------------|-----------------|
| P-1 | 25,00 |
| P-2 | 28,60 |
| P-4 | 15,00 |
| P-5 | 15,00 |
| P-6 | 1,60 |
| P-7 | 10,00 |

La situación de los ensayos de penetración está reflejada en el Anejo nº 1: PLANO DE SITUACIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS, mientras que en el Anejo nº 3 se pueden observar los diagramas de golpes de los mismos.

2.1.3 Niveles freáticos

Una vez finalizados los sondeos se ha procedido a colocar una tubería de P.V.C. en los mismos para poder medir el nivel freático.

La profundidad a la que se ha observado el nivel freático en los sondeos se pueden consultar en la siguiente tabla:

| SONDEO | PROFUNDIDAD (m) |
|--------|-----------------|
| SM-1 | 0,25 |
| SM-2 | 0,25 |
| SM-3 | 4,50 |
| SM-4 | 4,00 |
| SM-5 | 4,20 |

2.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos realizados sobre las muestras tomadas en los sondeos se recogen en la siguiente tabla:

| SONDEO | TIPO MUESTRA | PROFUNDIDAD (m) | ENSAYOS |
|----------|----------------|-----------------|---------------------------------|
| SM-1 | MI arenas | 4,00-4,60 | H-D-EG-LA-CS |
| SM-1 | MI limos | 15,00-15,60 | H-D-EG-LA-CS |
| SM-1 | TP margocaliza | 25,60-26,00 | H-D-CS |
| SM-2 | TP margocaliza | 30,70-30,95 | H-D-CS |
| SM-3 | MI arenas | 7,40-8,00 | H-D-EG-LA-CS |
| SM-4 | MI limos | 6,40-7,00 | H-D-EG-LA-CS |
| SM-3-4-5 | MA rellenos | - | EG-LA-PR-CBR-SA-Y-HIN-CO-MO-AGR |
| SM-5 | AGUA | - | AGR |

Siendo:

EG: Ensayo granulométrico

HIN: Hinchamiento en edómetro

LA: Límites de Atterberg

PR: Proctor normal

H: Humedad

CBR: Ensayo índice CBR

D: Densidad/es

SA: Sales solubles

CS: Compresión simple

Y: Yesos

AGR: Agresividad frente al hormigón

CO: Colapso

MO: Materia orgánica

En la página siguiente se adjunta una tabla resumen de los resultados obtenidos. Los partes de los ensayos se adjuntan en el Anejo nº 5 ENSAYOS DE LABORATORIO.

Los ensayos de agresividad realizados en la muestra de agua tomada en el sondeo SM-5 han dado un resultado de que el agua es de **Agresividad Débil** frente al hormigón.

El ensayo de agresividad realizado en la muestra de rellenos de los sondeos SM-3-4-5 ha dado un resultado de que el suelo es de **Agresividad Débil** frente al hormigón.

CUADRO RESUMEN. RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO. SUELOS Y ROCAS

| REFERENCIAS | | | CARACTERÍSTICAS FÍSICAS | | | | | CLASIFICACIÓN DE CASAGRANDE | DESCRIPCIÓN | CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS |
|-------------|-----------------|-----------------|-------------------------|--------------------------------------|------------------|-------------|-------|-----------------------------|----------------|---|
| SONDEO | PROFUNDIDAD (m) | TIPO DE MUESTRA | HUMEDAD (%) | DENSIDAD HUMEDAD (t/m ³) | % PASA TAMIZ 200 | PLASTICIDAD | | | | COMPRESIÓN SIMPLE (Kp/cm ²) |
| | | | | | | LL(%) | IP(%) | | | |
| SM-1 | 4,00-4,60 | MI | 37,69 | 1,812 | 18,5 | NP | NP | SM | Arenas | 0,09 |
| SM-1 | 15,00-15,60 | MI | 41,07 | 1,767 | 86,9 | 30,0 | 7,7 | CL | Arcilla limosa | 0,07 |
| SM-1 | 25,60-26,00 | TP | 2,21 | 2,617 | - | - | - | - | Margocaliza | 351 |
| SM-2 | 30,70-30,95 | TP | 3,08 | 2,552 | - | - | - | - | Margocaliza | 185 |
| SM-3 | 7,40-8,00 | MI arenas | 28,59 | 1,939 | 21,6 | NP | NP | SM | Arenas | 0,08 |
| SM-4 | 6,40-7,00 | MI limos | 43,65 | 1,842 | 38,1 | 45,7 | 9,3 | SM | Arena limosa | 0,08 |

CUADRO RESUMEN. RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO

| SONDEO | TIPO DE MUESTRA | INDICE DE COLAPSO | SALES SOLUBLES (%) | YESO (%) | PLASTICIDAD | | % PASA TAMIZ 200 | M.O. (%) | HINCHAMIENTO LIBRE (%) | PROCTOR | | CBR | |
|----------------------|-----------------|-------------------|--------------------|----------|-------------|--------|------------------|----------|------------------------|------------------------------------|----------|--------|-------------|
| | | | | | LL (%) | IP (%) | | | | γ_{max} (t/m ³) | Wopt (%) | ÍNDICE | Hincha. (%) |
| SM-3 SM-4 SM-5 | Rellenos | 0,03 | 0,27 | 0,076 | NP | NP | 12,1 GM | 2,92 | 0,1 | 1,84 | 15,2 | 24,8 | 0,0 |

3 GEOLOGÍA

3.1 MARCO GEOLÓGICO

La zona objeto de estudio se sitúa en el flanco Norte del Anticlinorio de Bilbao, al Norte de la cual se extiende el Sinclinorio de Vizcaya, accidentes estos más significativos achacados a la Orogenia Alpina.

No obstante, se ha comprobado por investigaciones recientes que ya en los tiempos Cretácicos, concretamente en el inferior (anterior, por tanto, a la Orogenia Alpina), existía una diferencia batimétrica en la cuenca Vasco-Cantábrica, con una preformación de estos accidentes, de manera que cuando se estaban depositando las potentes sucesiones Cretácicas, había una zona de alto relativo en la zona del Anticlinorio actual y una de bajo relativo en la del Sinclinorio.

Este hecho actuó de manera decisiva en el tipo de sedimentación y, por lo tanto, en el carácter de las formaciones depositadas en uno y otro sector.

Sin embargo, es la Orogenia Alpina de edad postluteciense la que configura la personalidad geotectónica de la región, ya que como consecuencia de la Orogenia las capas se plegaron en dirección normal a las de empuje, fracturándose según esta dirección (fracturas longitudinales) y posteriormente en dirección transversal. Estas se han rellenado frecuentemente de cuarzo de baja temperatura, filoniano y, en ocasiones, han servido de vías de salida a rocas intrusivas.

Regionalmente, se enclava en la unidad de Oiz, unidad tectónica que viene limitada al Sur por la falla de Bilbao (relativamente próxima a nuestra zona) y por el Norte por la falla de Durango.

3.2 ESTRATIGRAFÍA

Los materiales en los que se emplaza la zona de estudio corresponden a formaciones pertenecientes a la Formación Durango (Complejo Supraurgoniano o Albocenomaniense), en el límite entre el Cretácico Inferior y Cretácico Superior.

3.2.1 Complejo Supraurgoniano

Está constituido por argilitas y/o limolitas, existe un claro dominio de los materiales limolíticos sobre los areniscosos.

Las limolitas se presentan en niveles que alternan con estratos poco potentes de arenisca.

Las litologías finas predominan más claramente en los niveles altos de la sucesión, donde va aumentando paulatinamente el contenido de carbonato, en el tránsito gradual a las margas del Cretácico Superior.

En los sondeos realizados aparecen margas y margocalizas.

3.2.2 Cuaternario

Dentro del Cuaternario encontramos dos tipos de materiales:

1. Depósitos de origen aluvial: Está formado por arenas y limos finos típicos de llanuras de inundación.
2. Por encima del nivel anteriormente descrito, aparece un nivel de rellenos heterogéneos de origen antropogénico formados por materiales procedentes de explanaciones de las fábricas existentes en el área de estudio.

3.3 TECTÓNICA

Desde el punto de vista estructura no se detecta ni en antecedentes geológicos ni mediante las investigaciones realizadas, la presencia de estructuras geológicas tales como plegamientos o fallas que pudieran afectar de algún modo a la cimentación de la urbanización o edificaciones.

4 GEOTECNIA

4.1 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

A continuación se recoge una descripción de los diferentes niveles detectados en los trabajos de campo:

■ Nivel I: Rellenos heterogéneos

El espesor de este nivel varía en los trabajos realizados entre 1,40 y 6,90 m, predominando en la mayor parte de la zona objeto de estudio espesores por lo general variables entre los 5 y 7 metros. Únicamente en la zona de pabellones demolida y que se encuentra unos cuatro metros por debajo de la cota media de urbanización, el espesor de los rellenos es variable entre 1,40 y 2,70m. Igualmente en la zona de estudio situada más al Este, donde se ha realizado el penetrómetro P-7, el espesor de los rellenos detectado es de 2,00 metros, aunque por experiencia de trabajos realizados en dicho área, podemos indicar que el espesor medio de los rellenos se encuentra entre 5-7 metros. Tal y como ha podido comprobarse en los trabajos de campo, se trata de rellenos depositados en la época de actividad de Altos Hornos de Vizcaya, con escorias, restos de construcción, arenas sílices y limos, no descartándose la posibilidad de existencia de tortas de mineral mezcladas con gravas.

En los golpes de los ensayos de penetración dinámica que han podido llevarse a cabo en este nivel se han obtenido valores medios de N^* corregido de 19, correspondientes a materiales medianamente densos. Para la obtención de este valor medio no se han tenido en cuenta los valores del Penetrómetro P-7, ya que el área donde se ha realizado ha sido una zona de relleno de escorias de fundición encontrándose incluso tortas de mineral.

Donde $N^* = 2 \cdot N$, al haberse empleado un equipo automatizado para la realización del ensayo.

Por otro lado, hay que señalar que en tres de los ensayos de penetración previstos se tuvo que perforar mediante una sonda el primer metro debido a la presencia de bloques de hormigón.

Se han llevado a cabo ensayos de laboratorio sobre una muestra de rellenos tomada de los sondeos realizados en este nivel, cuyos resultados se recogen en una tabla del apartado 2 del presente documento así como en el apartado 4.2.2. Control de materiales.

En general, puede decirse que este nivel de rellenos heterogéneos es compacto / muy denso en su primer metro de potencia, pasando a continuación a presentarse como un material bastante homogéneo medianamente denso.

El ensayo de agresividad realizado en estos materiales ha dado que presentan **agresividad débil** frente al hormigón.

■ Nivel II: Aluvial

En este nivel se engloban, como su propio nombre indica, los materiales de origen aluvial de la ría del Nervión junto a la que se encuentra la zona de estudio. El espesor detectado en los trabajos que se han llevado a cabo oscila entre 22,20 m en el sondeo SM-1 y 25,60 m en el sondeo SM-2.

Dentro del aluvial se ha detectado la presencia de limos y arenas, conformando capas generalmente con mayor predominancia de la fracción arenosa en los metros superiores (primeros 12-13m) y de la fracción de limos en la parte basal. Como puede observarse en las testificaciones de las columnas de sondeo, nos encontramos con limos y arenas, y otras proporciones de unos y otros materiales, destacando en todos los casos su color gris como consecuencia de la presencia de materia orgánica, etc.

La densidad/consistencia de estos materiales está relacionada con los ensayos SPT, tal y como se recoge en la tabla siguiente:

| SONDEO | PROFUNDIDAD (m) | DESCRIPCIÓN | N* _{SPT} | DENSIDAD/CONSISTENCIA |
|--------|-----------------|-------------|-------------------|-------------------------------|
| SM-1 | 4,60-5,20 | Arenas | 12 | Medianamente densas |
| SM-1 | 9,60-10,20 | Arenas | 16 | Medianamente densas |
| SM-1 | 15,60-16,20 | Limos | 4 | Blandos |
| SM-1 | 21,00-21,60 | Limos | 10 | Compactos |
| SM-2 | 4,00-4,60 | Arenas | 14 | Medianamente densas |
| SM-2 | 9,60-10,20 | Arenas | 24 | Medianamente densas |
| SM-2 | 16,00-16,60 | Limos | 28 | Muy compactos |
| SM-2 | 21,00-21,60 | Limos | 14 | Compactos |
| SM-2 | 26,60-27,20 | Limos | 22 | Muy compactos |
| SM-3 | 8,00-8,60 | Arenas | 22 | Medianamente densas |
| SM-4 | 7,00-7,60 | Arenas | 10 | Sueltas a Medianamente densas |
| SM-5 | 4,60-5,20 | Arenas | 8 | Sueltas |

Donde $N^*_{SPT} = 2 \cdot N_{SPT}$, al haberse empleado un equipo automatizado para la realización del ensayo.

Paralelamente en función de los golpes obtenidos en los ensayos de penetración dinámica, se obtienen valores medios de $N^* = 10-11$ tanto para las arenas como para los limos.

De los ensayos de laboratorio realizados en las arenas se deducen los siguientes parámetros geotécnicos medios:

- Humedad: 33,1%
- Densidad aparente (t/m³): 1,876
- Límites Atterberg: NP

De los ensayos de laboratorio realizados en los limos se deducen los siguientes parámetros geotécnicos medios:

- Humedad: 42,36%
- Densidad aparente (t/m³): 1,805
- Límite líquido: 38
- Índice de Plasticidad: 9
- Compresión simple (Kp/cm²): 0,07

■ Nivel III: Sustrato rocoso

Está constituido fundamentalmente por margocalizas. Aparece prácticamente a la misma profundidad tal y como se aprecia en los perfiles geotécnicos incluidos en el Anejo 4, entre los 28,00 y 33,00m aproximadamente. En función de los grados de meteorización se han distinguido los siguientes subniveles:

- a) **Sustrato rocoso ligeramente a bastante meteorizado:** Se han descrito como materiales bastante duros de color gris, con juntas algo cerradas a muy cerradas.

Se han ensayado testigos de estos materiales en el laboratorio. Los resultados se recogen en el apartado 2 del presente estudio y los partes se adjuntan en el Anejo nº 5. A continuación se indican los valores medios obtenidos:

| | |
|---|-------|
| ENSAYOS | MEDIO |
| Humedad (%) | 2,64 |
| Densidad aparente (t/m ³) | 2,585 |
| Resistencia a compresión simple (Kp/cm ²) | 268 |

La calidad de la roca se obtiene a partir del cálculo del R.Q.D.

El índice de calidad R.Q.D. se basa en la recuperación modificada del testigo que, a su vez, depende del número de fracturas y del grado de debilitamiento o alteración del macizo rocoso, según se puede observar por los testigos extraídos en un sondeo. En lugar de contar las fracturas, se obtiene una medida indirecta sumando la longitud total del testigo, pero considerando únicamente aquellos trozos de longitud igual o superior a 10 cm en su estado sano o compacto.

Este índice se ha determinado en los sondeos, presentando los siguientes valores:

| SONDEO | MATERIAL | PROFUNDIDAD (m) | RECUPERACIÓN TESTIGO | ÍNDICE ROD | CALIDAD |
|--------|-------------|-----------------|----------------------|------------|---------|
| SM-1 | Margocaliza | 23,80-26,00 | 95 | 50 | Media |
| SM-2 | Margocaliza | 29,00-32,00 | 95 | 40 | Mala |

4.2 EXCAVACIONES

4.2.1 excavabilidad

En cualquier movimiento de tierras se pueden diferenciar tres grados de excavación:

| | |
|-----------|---|
| FÁCILES | Son aquellos materiales que se pueden excavar con los métodos tradicionales existentes: pala retroexcavadora o similar. |
| MEDIOS | Son aquellos materiales que para su excavación necesitan el empleo parcial de martillo hidráulico y/o voladuras. |
| DIFÍCILES | Son aquellos materiales en los que se necesita el empleo continuado de martillo y/o voladuras. |

En este caso, los grados de dificultad de excavación serán los siguientes:

- Rellenos heterogéneos: excavabilidad FÁCIL-MEDIA, mediante pala retroexcavadora, con posibilidad de necesidad de martillo u otro medio auxiliar para retirar posibles tortas de mineral que puedan aparecer.
- Aluvial: excavabilidad FÁCIL, mediante pala retroexcavadora.

4.2.2 Control de materiales

Dada la existencia de rellenos en la actual plataforma existente de urbanización, se han realizado una serie de ensayos con el objetivo de caracterizar dichos materiales como posibles materiales de apoyo o relleno.

Los ensayos de laboratorio que se han estimado oportunos realizar para conseguir la caracterización geotécnica de los materiales son los siguientes:

| SONDEO | TIPO MUESTRA | ENSAYOS |
|----------|--------------|-----------------------------|
| SM-3-4-5 | MA rellenos | EG-LA-PR-CBR-SA-Y-HIN-CO-MO |

Siendo:

CO: Colapso

HIN: Hinchamiento

SA: Sales solubles

Y: Contenido en yeso

MO: Determinación del contenido de materia orgánica

LA: Determinación de los Límites de Atterberg

EG: Ensayo granulométrico

PR: Próctor Normal

CBR: Determinación del índice CBR

Los resultados obtenidos se recogen en el Anejo N° 5: ENSAYOS DE LABORATORIO así como en las tablas del apartado 2.

Los rellenos se podrán clasificar en referencia a los criterios de clasificación de suelos para su empleo en terraplenes según la Orden Circular 326/000 (actualización del PG-3 vigente desde Marzo de 2000) como seleccionados, adecuados, tolerables ó marginales cuyo empleo en terraplenes se admite, siempre que se lleve a cabo un estudio específico y en función de las características concretas de la obra proyectada.

| ENSAYO | SELECCIONADOS | ADECUADOS | TOLERABLES | MARGINALES |
|-----------------------------------|------------------|------------------------------|---|--------------------------------|
| Materia orgánica | < 0.2% | < 1% | < 2% | < 5% |
| Sales solubles | < 0.2% | < 0.2% | Yeso < 5% | <20% |
| | | | Otras < 1% | |
| Expansión (hinchamiento libre) | - | - | < 3% | < 5% |
| Asiento en colapso | - | - | <1% | - |
| Tamaño máximo (mm) | < 100 | < 100 | - | - |
| Finos (#0.08) | < 25% | < 35% | - | - |
| Otras condiciones granulométricas | #2 < 80% | #2 < 80% | - | - |
| | #0.4 < 75% | | | |
| Plasticidad | LL < 30, IP < 10 | LL < 40; SI LL > 30 → IP > 4 | LL < 65; SI LL > 40 → IP > 0.73·(LL-20) | SI LL > 90 → IP > 0.73·(LL-20) |

Clasificación de suelos para terraplenes según O.C. 326/00

Según los resultados de los ensayos de laboratorio realizados podemos decir que:

- Los rellenos se podrían caracterizar como materiales de tipo **Tolerables**, aunque su contenido en materia orgánica los hace catalogar como **Marginales**.

4.2.3 Ejecución de los rellenos

En los casos en que sea necesario llevar a cabo rellenos para conseguir la cota de urbanización proyectada, deberá seguirse un procedimiento controlado para la colocación de los materiales, los cuales deberán cumplir las especificaciones técnicas correspondientes, y se llevará a cabo una compactación adecuada, comprobándose in situ durante la ejecución la calidad del relleno ejecutado.

A continuación se recogen las recomendaciones a tener en cuenta en las distintas fases de la ejecución de los rellenos.

- **Preparación de la superficie de apoyo:**

Se efectuará en primer lugar un saneo de la capa superficial del terreno y la eliminación de la capa de tierra vegetal, si la hubiera. Tras ello, se procederá a la excavación y retirada de los materiales del subsuelo hasta la cota proyectada.

Una vez alcanzada la cota sobre la que finalmente se apoyará el vial ó la explanada, se escarificará el terreno en una profundidad no menor de 15 cm y no mayor de 30 cm. A continuación se procederá a la compactación de la superficie resultante, sobre la cual se apoyarán los materiales del nuevo relleno.

Dado que las operaciones de desbroce y escarificado dejan la superficie del terreno fácilmente alterable por los agentes atmosféricos, estos trabajos no deberán llevarse a cabo hasta el momento previsto y en las condiciones oportunas para reducir al mínimo el tiempo de exposición, y en caso contrario se protegerá la superficie.

■ **Extensión de las tongadas:**

Una vez preparado el apoyo del relleno, se procederá a la ejecución del mismo en tongadas sucesivas y sensiblemente paralelas a la explanada final. El espesor de las tongadas será en principio de 30 cm, modificable en función de los medios disponibles para su puesta en obra con el fin de conseguir el grado de compactación exigido. En cualquier caso, el espesor de las tongadas será siempre superior a los 3/2 del tamaño máximo del material empleado.

El extendido se realizará de manera que los materiales de cada tongada sean de características uniformes, y no se extenderá ninguna tongada mientras no se haya comprobado que los materiales subyacentes cumplan las condiciones exigidas en cuanto a su grado de compactación.

Durante la ejecución de las obras, la superficie de las tongadas deberá tener la pendiente transversal necesaria para asegurar la evacuación de las aguas sin peligro de erosión (en torno a un 4%). Asimismo, los equipos de transporte de tierras y extensión de las mismas operarán sobre todo el ancho de cada capa y en sentido longitudinal de la vía.

La maquinaria empleada para la puesta en obra del relleno deberá ser la adecuada para conseguir los objetivos (grado de compactación) previstos. El contratista deberá garantizar la eficacia de sus medios (tipo de rodillo, etc.) y su método de trabajo (nº de pasadas, energía, etc.)

■ **Humectación ó desecación:**

En caso de que sea preciso añadir agua para conseguir el grado de compactación previsto, se humectarán uniformemente los materiales, bien en las zonas de procedencia o en los acopios intermedios o en la tongada, disponiendo los sistemas adecuados para asegurar la citada uniformidad (empleo de rodillos de pata de cabra, etc.).

En caso de que la humedad de los materiales sea excesiva, se tomarán las medidas adecuadas para conseguir la compactación prevista, pudiéndose proceder a la desecación por oreo, o a la adición y mezcla de materiales secos ó sustancias apropiadas (cal, etc.).

■ **Compactación:**

Conseguida la humectación más conveniente, se procederá a la compactación mecánica de la tongada. Los valores de densidad y humedad a alcanzar tras la compactación serán:

Densidad

No inferior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo Próctor de referencia..

Humedad

Estará comprendida entre el -2% y el +1% de la humedad óptima obtenida en el ensayo Próctor de referencia.

■ **Control de la compactación:**

Consiste en comprobar que cada tongada cumple las condiciones de densidad seca y humedad citadas anteriormente, y además comprobar que las características de deformabilidad sean las adecuadas para asegurar un comportamiento aceptable del terreno y del relleno. Para ello se llevarán a cabo determinaciones "in situ" de la densidad seca, humedad y del módulo de deformación (mediante placas de carga).

4.3 CIMENTACIONES

4.3.1 Introducción

La zona de urbanización presenta una topografía sensiblemente horizontal, con restos e indicios de una actividad industrial anterior (vaciados de demolición de naves, soleras de hormigón, viales, antiguas galerías subterráneas,...). En cuanto al terreno, destaca la capa de rellenos existente en los 5 y 7 primeros metros. Entre los rellenos y el sustrato rocoso se encuentran los materiales de origen aluvial con espesores mas o menos homogéneos.

A continuación, se analizan las tipologías de cimentación y el sustrato de apoyo más adecuado, teniendo en cuenta la configuración del terreno.

4.3.2 Sustrato de apoyo y tipologías de cimentación

Como puntos de partida se establecen dos premisas a tener en cuenta:

- A) Es una norma generalmente aceptada la necesidad de cimentar una estructura sobre los mismos materiales, con el objeto de evitar problemas derivados de los comportamientos de los diversos niveles de apoyo frente a las cargas transmitidas.
- B) Generalmente se recomienda evitar una cimentación sobre rellenos cuando éstos no se han colocado mediante un procedimiento controlado y pensado para el uso al que serán destinados.

En segundo lugar, hay que tener en cuenta la posibilidad de que en las futuras instalaciones se pretenda construir edificaciones en la que se desarrollará una actividad que dará lugar a cargas medias-altas.

Las consideraciones que surgen de los condicionantes de cimentación para posibles edificaciones según el terreno existente son las siguientes:

- El nivel de aluvial queda descartado como sustrato de apoyo de la cimentación, puesto que puede tener pequeñas variaciones de litología no detectadas que puedan hacer que tengan un comportamiento (desde el punto de vista de movimientos verticales ó asientos asociados a este nivel) variable y en ningún caso aconsejable.
- En este caso los rellenos existentes no cumplen la premisa expuesta anteriormente (procedimiento controlado y diseñado para el uso al que serán destinados), pero en los trabajos de campo se ha podido comprobar la densidad de esta capa de rellenos, y por otro lado, se cuenta con los antecedentes de su antigüedad y su origen. Esto permitirá contar con un comportamiento admisible de los mismos frente a cargas bajas como pueden ser las transmitidas por la solera de las posibles edificaciones o viales.
- La solución de cimentación más razonable para edificaciones con cargas mayores y susceptibles de generar asientos importantes, es apoyar sobre el sustrato rocoso. La tipología de cimentación para materializar este apoyo se correspondería con una cimentación profunda. En este último caso, hay que señalar que la solución más adecuada sería llevar a cabo pilotes, aunque la ejecución de pilotes in situ se vería dificultada ó incluso imposibilitada por la posible presencia de tortas de mineral en el nivel superficial de rellenos.

Para homogeneizar los primeros metros sobre los que se asentarán las soleras o viales, se deberá llevar a cabo un nuevo relleno controlado y de buena calidad. Se recomienda disponer una capa de 1,50 m por debajo de la losa, en toda su superficie. Teniendo en cuenta la topografía, en una zona será necesario retirar los rellenos existentes y sustituir por los nuevos, y en otra zona se llevará a cabo un recrecido para alcanzar la cota necesaria, por lo que el espesor del nuevo relleno en la misma será mayor.

En relación con el nuevo relleno citado, se trata de un "relleno estructural", término que se aplica a aquellos destinados a soportar cimentaciones directas ó cargas derivadas de estructuras con apoyo superficial (como será la losa de hormigón armado recomendada). Desde un punto de vista cuantitativo, lo que distingue a los rellenos estructurales de otros rellenos es la necesidad de soportar, con deformaciones tolerables, las cargas transmitidas. Debe tenerse en cuenta que un relleno estructural puede garantizar una capacidad portante suficiente frente al hundimiento, rotura local, punzonamiento, etc., pero tiene escasa influencia sobre los asientos inducidos por capas compresibles o degradables que se encuentren por debajo. En este caso, la existencia por debajo del nivel actual de rellenos de los materiales de origen aluvial, puede dar lugar a movimientos verticales como consecuencia de la transmisión de cargas a los mismos, pero aparte de que este efecto no es evitable, se estima que la colocación del relleno y de la losa de hormigón armado podrá constituir un atenuante de los efectos de las cargas sobre los materiales citados y también de los asientos que se pudieran producir.

En cuanto a los materiales a emplear, son muy escasas las especificaciones al respecto, pero según lo recogido en el Eurocódigo-7, no deben colocarse materiales evolutivos, degradables, orgánicos, expansivos, colapsables, etc. Debe recurrirse a materiales de buena calidad, por ejemplo de naturaleza granular bien graduados y con un porcentaje de finos suficiente para garantizar una adecuada compacidad. Además, deben tener una baja compresibilidad una vez compactados a los niveles usuales.

Habitualmente suele exigirse a estos rellenos una compactación del 100% del Próctor Modificado. También suele exigirse un CBR superior a 15.

Antes de proceder a la puesta en obra del nuevo relleno en la zona donde sea preciso el recrecido, se recomienda retirar los materiales sueltos, vegetación, vertidos localizados, etc., detectados, y preparar una superficie de apoyo horizontal.

4.3.3 Carga admisible

Los pilotes deberán empotrarse en el sustrato rocoso. Para el cálculo de la longitud de empotramiento puede considerarse una resistencia media al arrancamiento correspondiente al sustrato rocoso de unos 300 KN/m² (según lo recogido en la H.P. 8-96, y teniendo en cuenta la incertidumbre que rodea a este parámetro).

Para una cimentación superficial en la capa de rellenos actual siempre y cuando se trate de edificios o naves con cargas bajas y que puedan absorber ciertos asientos o deformaciones, se podría cimentar mediante una carga admisible dependiente de los golpes N_{SPT} y N.

Desde el punto de vista de cimentaciones se ha observado que los golpes N*_{SPT} se encuentran con valores medios de 19. Estimando la carga admisible para una cimentación directa sobre estos materiales mediante la formulación de Terzaghi y Peck:

$$\sigma_{adm} = \frac{N \cdot S_{adm}}{12} \left(\frac{B + 0,3}{B} \right)^2$$

Donde :

N es el valor corregido del golpeo representativo (SPT ó penetrómetro)

S es el asiento máximo admisible en pulgadas: S = 1"

B es el ancho de la zapata, en m

Para una zapata de $B = 2 \text{ m}$ se tiene así una carga admisible de $2,00 \text{ Kp/cm}^2$, si bien se recomienda no sobrepasar los $1,5 \text{ Kp/cm}^2$ por posibles variaciones de materiales en los rellenos existentes.

También se deberá comprobar la calidad del nuevo relleno de mejora una vez ejecutado.

5 RESUMEN Y CONCLUSIONES

- A) El subsuelo de la parcela objeto de estudio está constituido por los siguientes niveles:

| NIVEL | ESPESOR | DESCRIPCIÓN |
|-------|--|-----------------------|
| I | 5,00 – 7,00 | Rellenos heterogéneos |
| II | 22,00-25,60 | Aluvial |
| III | Superior al atravesado por los trabajos realizados | Sustrato rocoso |

Los rellenos heterogéneos en la zona de estudio proceden de la actividad desarrollada en la zona por Altos Hornos de Vizcaya, habiéndose detectado un espesor sensiblemente homogéneo y posible presencia de escorias y tortas de mineral.

- B) Se proyecta llevar a cabo la urbanización del Área de Reparto 19 "La Naval". Las cargas derivadas de dicha urbanización se suponen "bajas" para la realización de viales y soleras y "altas" para posibles edificaciones.
- C) La excavabilidad en los rellenos heterogéneos será FÁCIL-MEDIA debido a la posible presencia de tortas de mineral. En el nivel de aluvial la excavabilidad será FÁCIL.
- D) Se recomienda cimentar los viales y soleras superficialmente sobre los rellenos existentes, previa mejora de los mismos, con cargas admisibles no superiores a 1,5 Kp/cm². Para las edificaciones se recomienda una cimentación profunda mediante pilotes empotrados en el sustrato rocoso bastante a ligeramente meteorizado.

Los pilotes, se empotrarán en el sustrato rocoso bastante a ligeramente meteorizado; para los cálculos podrá considerarse una resistencia media al arrancamiento de estos materiales de 300 KN/m^2 y una resistencia a compresión simple de unos 120 Kp/cm^2 .

- E) Los rellenos heterogéneos existentes se consideran como materiales MARGINALES para apoyo de cimentación así como para su uso como material de relleno debido al contenido de materia orgánica.

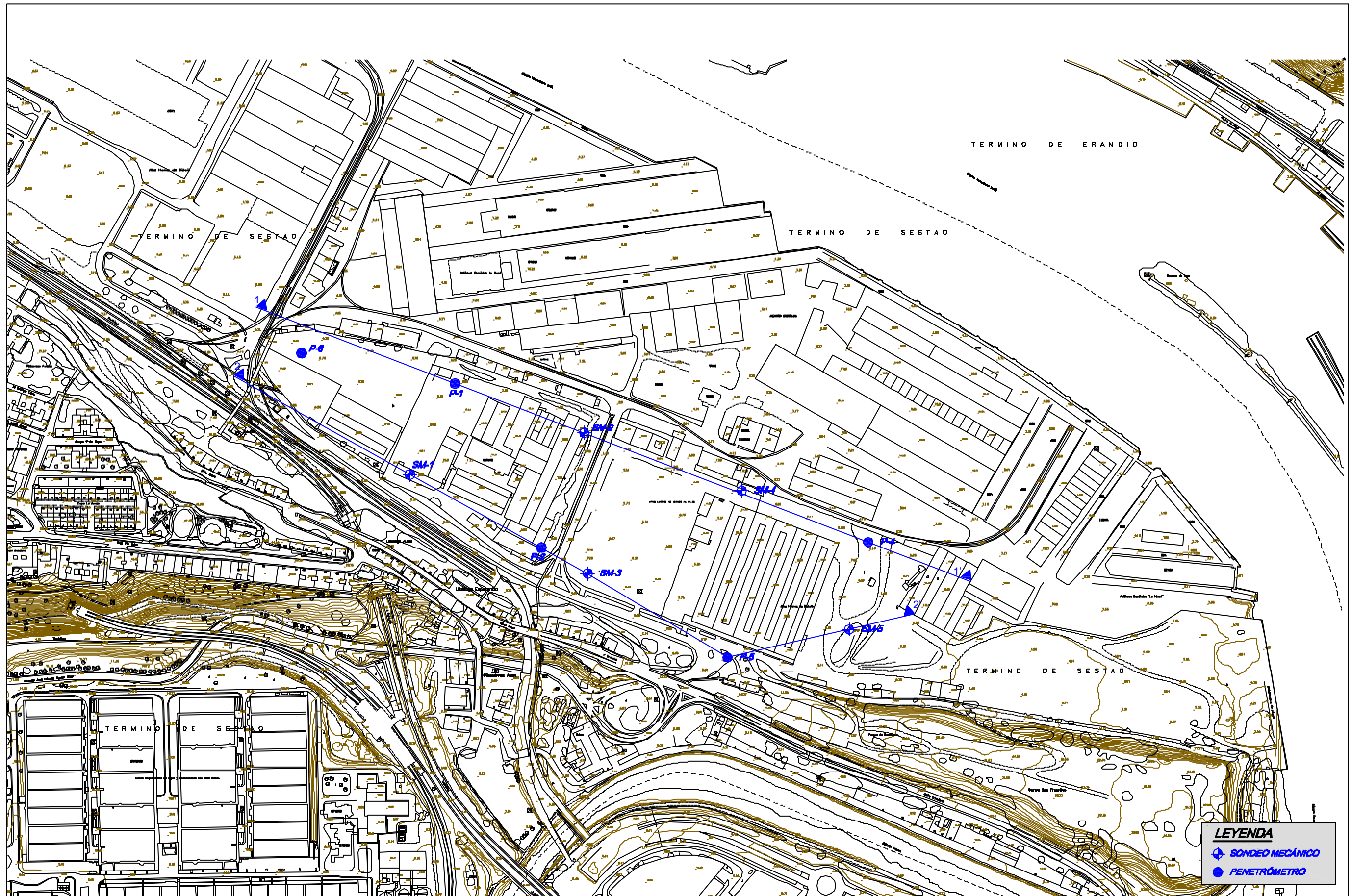
- F) Los ensayos de agresividad de suelos y agua han dado que resultan de AGRESIVIDAD DÉBIL frente al hormigón.

Todas las conclusiones y recomendaciones anteriores se basan en una interpretación razonable de los resultados del reconocimiento geotécnico. Si durante la construcción se observaran diferencias respecto a lo previsto, deberá reevaluarse la situación utilizando esos nuevos datos.

Leioa, Enero de 2006

JON ANDER CASTRO IZQUIERDO
DIRECTOR DE GEOTECNIA Y EQUIPOS
ÁREA DE PROYECTOS Y CONSULTORÍA

JOSE ANTONIO BARCO HERRERA
INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
COLEGIADO N° 14402



U.T.E.
BILBAINA DE PROYECTOS S.L. -
CIPSA CONSULPAN, S.A.

PROYECTO:
ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO
PROYECTO DE URBANIZACIÓN AMBITO LA NAVAL
(SESTAO-BIZKAIA)

FECHA:
DICIEMBRE 2.005
ESCALA(S):
1:4000
ORIGINALES: A3

REFERENCIA:
EP-053001-35
CLAVE:
14-3200-05

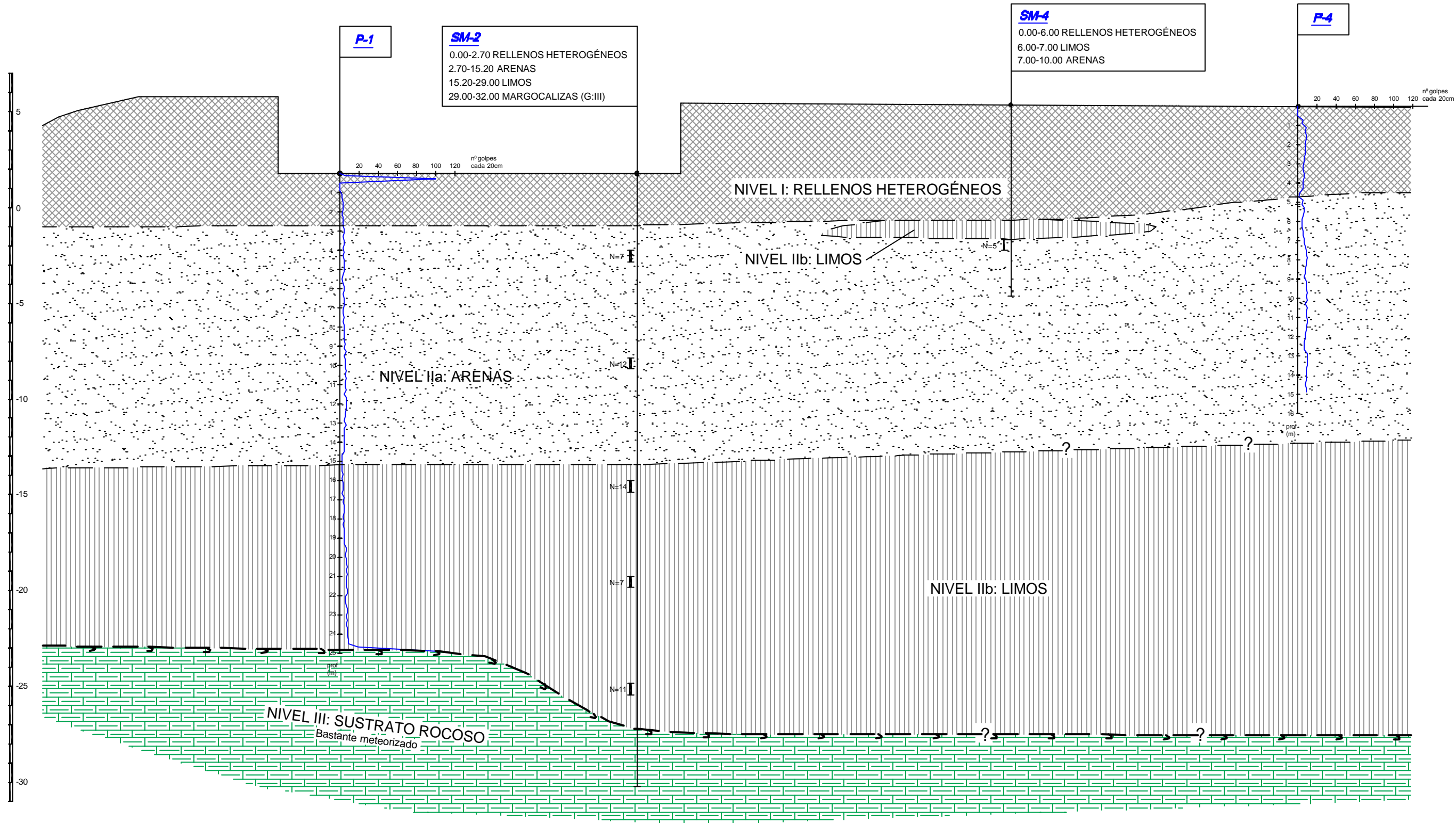
DIBUJADO:
J. Lopez I.
COTEJO:



PLANO:
SITUACIÓN DE TRABAJOS REALIZADOS

Nº:
1

PERFIL GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO 1-1'

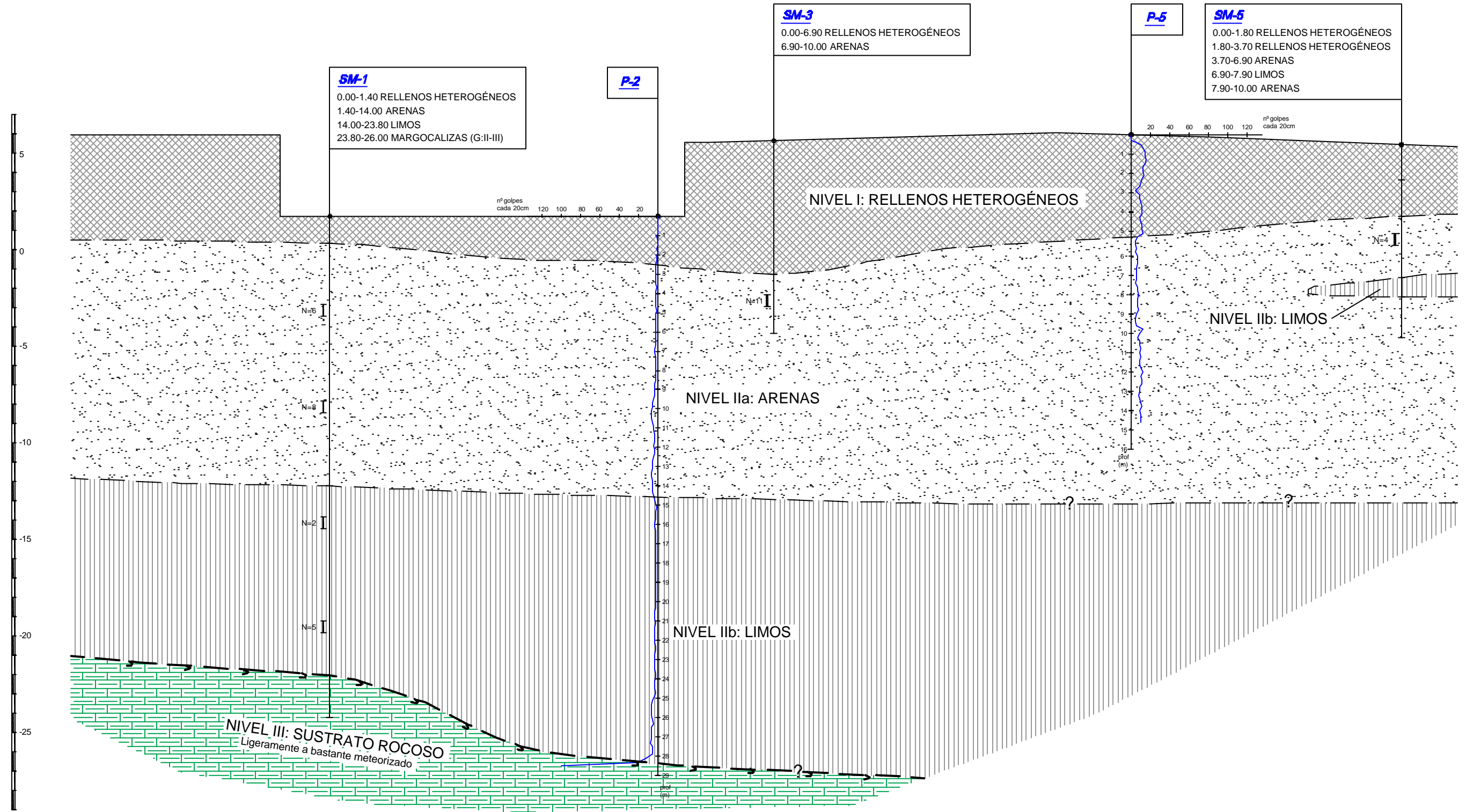


LEYENDA

| | | | | | | | |
|------|------------------------|--------|----------------|------------|-----------------------|------------|--|
| SM-1 | Sondeo mecánico | N=19 I | Resultado SPT | NIVEL I: | RelLENOS heterogéneos | NIVEL IIb: | Limos |
| P-1 | Penetrómetro | 2.72 | Nivel freático | NIVEL IIa: | ARENAS | NIVEL III: | Sustrato rocoso ligeramente a bastante meteorizado |
| → | Supuesto contacto roca | | | | | | |

| | | | | | | |
|---|---|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|--|----------|
| U.T.E. BILBAINA DE PROYECTOS, S.L.- CIPSA CONSULPAN, S.A. | PROYECTO: ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PROYECTO DE URBANIZACIÓN AMBITO LA NAVAL (SESTAO-BIZKAIA) | FECHA: DICIEMBRE 2.005 | REFERENCIA: EP-053001-35 | DIBUJADO: [Logo] | PLANO: PERFIL GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO 1-1' | Nº: 1 |
| | | ESCALA(S): H=1:2000 V=1:200 | CLAVE: 143200-05 | COTEJO: | | |
| | | ORIGINALES: A3 | | [Logo] EptisaCinsa | | |

PERFIL GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO 2-2'



LEYENDA

| | | | | | | | |
|------|------------------------|------|----------------|------------|-----------------------|------------|--|
| SM-1 | Sondeo mecánico | N=19 | Resultado SPT | NIVEL I: | RelLENOS heterogéneos | NIVEL IIb: | Limos |
| P-1 | Penetrómetro | 2.72 | Nivel freático | NIVEL IIa: | ARENAS | NIVEL III: | Sustrato rocoso ligeramente a bastante meteorizado |
| → | Supuesto contacto roca | | | | | | |

| | | | | | | |
|---|---|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------|--|----------|
| U.T.E. BILBAINA DE PROYECTOS, S.L.- CIPSA CONSULPAN, S.A. | PROYECTO: ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PROYECTO DE URBANIZACIÓN AMBITO LA NAVAL (SESTAO-BIZKAIA) | FECHA: DICIEMBRE 2.005 | REFERENCIA: EP-053001-35 | DIBUJADO: JOS I. | PLANO: PERFIL GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO 2-2' | Nº: 1 |
| | | ESCALA(S): H=1:2000 V=1:200 | CLAVE: 143200-05 | COTEJO: | | |
| | | ORIGINALES: A3 | | | | |