
GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y ESTUDIO DE MATERIALES

**ANEJO
2**

ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Geología	1
2.1. Entorno geológico regional	1
2.2. Entorno geológico local: Unidades geológico-geotécnicas	3
2.3. Estratigrafía.....	5
2.3.1. Cuaternario.....	5
2.3.2. Mioceno	7
2.4. Sismicidad.....	8
2.5. Tectónica	8
2.6. Riesgos Geológicos	10
2.7. Geomorfología	10
2.8. Hidrogeología.....	12
3. Geotecnia	17
3.1. Campañas geotécnicas recopiladas y en ejecución	17
3.2. Caracterización geotécnica de los materiales.....	21
3.3. Clasificación de la Explanada y Espesor de la Capa de Forma.....	23
3.4. Tierra vegetal	25
3.5. Estudio de desmontes.....	25
3.6. Estudio de rellenos	25
3.7. Geotecnia de cimentación de estructuras	26
3.8. Agresividad	28
4. Estudio de materiales	29
4.1. Condiciones exigibles a los materiales	29
4.2. Cuadros resumen	34
4.3. Materiales procedentes de las excavaciones de la traza	42
4.4. Materiales externos al trazado	46

1. Introducción

A continuación se definen las características geológicas y los condicionantes geológico-geotécnicos más relevantes del trazado, para definir con claridad los distintos aspectos a tener en cuenta en cualquier obra de carácter lineal: caracterización geotécnica de los materiales, estabilidad de desmontes y rellenos, recomendaciones para la ejecución de la plataforma ferroviaria y el análisis de la cimentación de las estructuras proyectadas.

Se ha utilizado toda la información disponible de proyectos previos, incluidas sus campañas geotécnicas. Se han completado las mismas con la realización de una campaña específica para el Proyecto básico con el mismo nombre que el presente documento, que se está desarrollando actualmente.

2. Geología

2.1. Entorno geológico regional

El punto de partida para la realización del Estudio ha sido una recopilación y análisis de la información existente sobre la zona objeto de estudio, es decir, informes técnicos, antecedentes bibliográficos y cartografías disponibles.

A escala regional y desde un punto de vista geológico el área que nos ocupa se encuadra dentro de la Depresión del Tajo y más concretamente en la denominada Cuenca de Madrid, que es uno de los dominios morfoestructurales de la Meseta Sur.

La comunidad de Madrid está situada en el borde septentrional de la Meseta Sur, sobre la vertiente meridional de la Cordillera Central, extendiéndose hasta el río Tajo. La cota más baja de la comarca coincide con el nivel de base local del Tajo, algo inferior a los 500 m, y la más elevada con el vértice de Peñalara que alcanza los 2.430 m de altitud. La ciudad de Madrid oscila entre los 720 m de Chamartín y los 560 m de la depuradora de La China, junto al Manzanares.

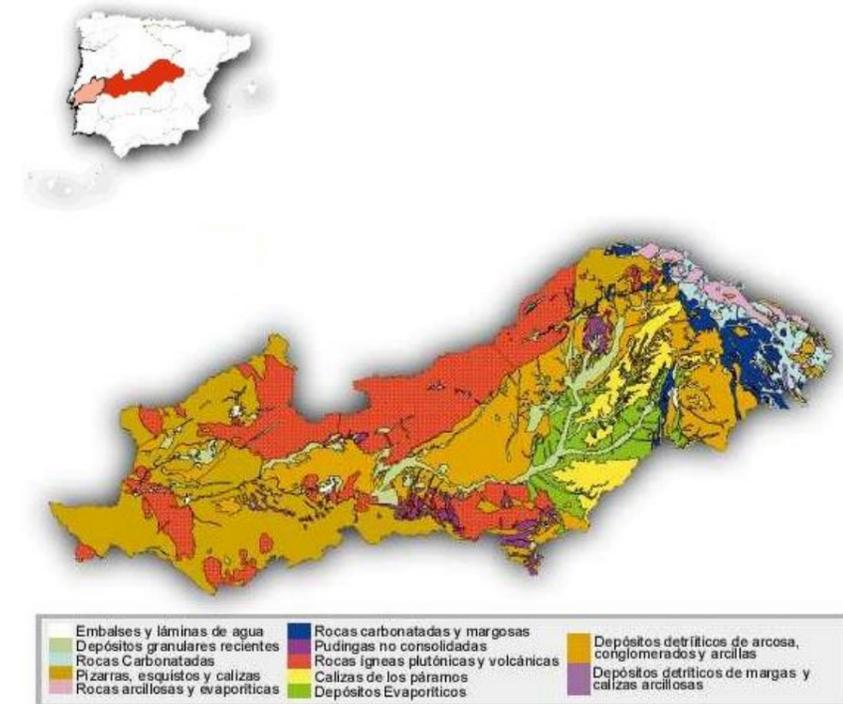


Figura 1. Planta de situación y esquema geológico de la Cuenca de Madrid (Fuente: Confederación Hidrográfica del Tajo)

Los materiales más antiguos, que forman el sustrato rocoso de la Depresión, son de edad paleozoica y forman parte de la Cordillera Hercínica o Varisca, generada a finales del Carbonífero e inicios de Pérmico. La Cordillera Hercínica experimentó posteriormente un arrasamiento generalizado y sobre ellos los movimientos orogénicos alpinos desarrollaron una tectónica de fractura a partir de finales del Mesozoico, coincidiendo con direcciones estructurales preexistentes se configuró la cuenca del Tajo.

Durante el Cenozoico y a la vez que las pulsaciones orogénicas alpinas, se producen reactivaciones de las grandes fallas de dirección NE-SW que delimitan la fosa y el Sistema Central. La fosa tectónica o "graben" actuó de cuenca endorreica (cuenca intramontaña) donde, en condiciones de subsidencia lenta, se depositan grandes espesores de sedimentos continentales (1.500 m en Tielmes de Tajuña, más de 2.000 m en Tres Cantos, hasta 3.500 m en San Sebastián de los Reyes).

El Ciclo Sedimentario Alpino culminó en el Pontiense (Mioceno superior), que es cuando se rompe el régimen endorreico de la cuenca. El modelado superficial actual viene definido por una serie de superficies de aplanamiento (correspondiente a sucesivos ciclos erosivos ó, más probablemente, a superficies desniveladas por la tectónica de fractura) que, partiendo del Guadarrama, se prolongan hasta los relieves estructurales conformados por las calizas del páramo. Estas superficies están disectadas por los cursos fluviales cuaternarios.

El esquema de sedimentación de la cuenca endorreica en Madrid es típico de las cuencas intramontaña en clima árido, que predominaba a finales del Terciario: sedimentos detríticos en los bordes y químicos en la zona central, con franjas intermedias de deposición en que se yuxtaponen las facies detríticas y las químicas.

La naturaleza de los sedimentos detríticos está estrechamente vinculada a las formaciones de procedencia. En el área de Madrid los materiales provienen de los relieves del entorno del Guadarrama, esencialmente graníticos. Los detritos arenosos son, por tanto, fundamentalmente de composición cuarzo-feldespática (de tipo arcósicos). Se encuentran también micas y minerales resistentes a la meteorización. Hacia la ciudad de Madrid aparecen además minerales detríticos procedentes de la destrucción de rocas de alto metamorfismo. La distribución granulométrica de las arcosas es polimodal y la granulometría es globalmente más gruesa hacia los relieves montañosos.

Estos sedimentos se han depositado en un ambiente semiárido, como abanicos aluviales imbricados que determinan frecuentes acñamientos y cambios de granulometría en los depósitos. Dentro de estos abanicos aluviales cabe distinguir tres zonas o subfacies: subfacies proximal, junto al escarpe de falla, con depósitos detríticos gruesos de borde, aportados por corrientes de inundación; subfacies media, donde predominan las corrientes meandriformes, que comienzan siendo anastomosadas, con los depósitos más gruesos en los canales; subfacies distal, con canales imbricados y flujos de barro que depositan materiales más finos en la zona terminal, igualmente con sedimentos más gruesos en los canales. En el borde de estas subfacies, junto a la facies lagunar del centro de la cuenca, se

produce abundante neoformación de minerales. Las facies lacustres son predominantemente evaporíticas.

Las condiciones sedimentológicas se han mantenido relativamente constantes a lo largo de la historia geológica de la cuenca. Los terrenos arenosos superficiales al Norte de la ciudad de Madrid tienen igualmente un carácter detrítico en profundidad, según se deduce de los datos aportados por los sondeos profundos. Existen, no obstante, tramos de granulometría más fina, incluso calcáreos, equivalentes laterales de los depósitos intermedios y químicos del centro de la cuenca endorreica, por el fenómeno de cambios de facies. Dentro del casco urbano de Madrid, los tramos detríticos más superficiales son transgresivos respecto a los químicos, con lo que en algunas zonas pueden aparecer terrenos de esta naturaleza bajo el tosco e, incluso, las arenas de miga.

La sedimentación se ha producido, al menos, desde el Mioceno Inferior hasta el comienzo del Cuaternario. Sin embargo, no existen datos paleontológicos completos que permitan una cronología precisa de todos los terrenos. Se han encontrado fósiles generalmente en las facies intermedias y han sido datados como pertenecientes al Mioceno Medio (Vindoboniense o Prepontiense) antiguos. Por correlación estratigráfica se ha atribuido esta edad geológica a la mayor parte de los sedimentos arcósicos. Estos sedimentos, es decir, las arenas de miga y los toscos, eran atribuidos por Hernández Pacheco, F., al Plioceno, por lo menos en sus niveles más altos.

Las calizas lacustres del centro de la cuenca o "Caliza del Páramo" han sido tradicionalmente datadas como del Pontiense, existiendo, además, sedimentos pliocenos de tipo raña hacia Algete.

La red fluvial cuaternaria ha depositado terrazas que contienen no sólo materiales procedentes de acarreo fluviales, sino en ocasiones, aportes laterales de las zonas por las que discurren los cursos de agua. Existen también depósitos relacionados con glaciares y fondos semiendorreicos con glaciares y fondos semiendorreicos, así como materiales de origen coluvial y conos de deyección.

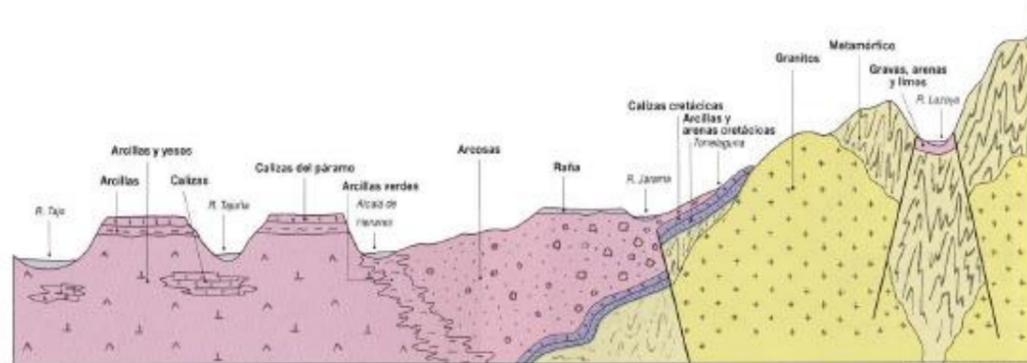
Corte geológico esquemático

Figura 2. Figura Extraída del Atlas Geocientífico del Medio Natural de la Comunidad de Madrid. IGME.

2.2. Entorno geológico local: Unidades geológico-geotécnicas

En el entorno de la ciudad de Madrid se encuentran representados los tipos de sedimentos más característicos de la fosa del Tajo, excepto los detríticos más gruesos y las calizas del páramo. Clásicamente, se ha dividido el relleno terciario de la Depresión de Madrid en tres unidades tecto-sedimentarias, denominadas Inferior, Intermedia y Superior.

Existe en superficie una franja de sedimentos predominantemente detríticos hasta una hipotética línea, lógicamente estimativa, que uniera Barajas y Leganés. Los depósitos evaporíticos comienzan según otra línea que enlazara San Fernando de Henares y Pinto. Entre ambas formaciones se sitúa una franja con los terrenos de facies intermedias. Se trata de franjas flexuosas y dentro de cada formación existen cambios graduales que denotan una mayor energía del medio sedimentario en dirección NW, zona de procedencia de los depósitos. No obstante, las propias características del medio, con continuos cambios de facies, determinan alternativas zonales que dificultan las correlaciones puntuales entre áreas relativamente próximas.

Los sedimentos detríticos constituyen la llamada **facies de Madrid**, y comprenden materiales arcósicos de medios a finos. Corresponden a las denominadas arenas de miga y toscos, del lenguaje geotécnico. Unos y otros se presentan como

lentejones imbricados. Dentro de la ciudad de Madrid pueden establecerse unos “dominios” donde predominan uno u otro tipo de unidad geotécnica.

En las zonas más septentrionales de la ciudad aparecen entre las formaciones de arena de miga lentejones correspondientes a fondos de paleocanales con gravillas y gravas. Por otra parte, las fracciones más finas de los sedimentos, incluyendo materiales arcillosos, se hacen más frecuentes hacia SE, si bien están presentes en casi toda la formación arcósica.

Las facies intermedias, constituidas por lo que suele denominarse “peñuela” en lenguaje geotécnico, son de naturaleza compleja y se sitúan en la zona terminal de los abanicos aluviales, colindantes con las facies lacustres evaporíticas.

La denominación “peñuela” corresponde a dos unidades geológicas de diferente edad pero de litología similar. Se corresponde con las arcillas margosas verdes de la Unidad Inferior que afloran extensamente al E y S de la capital, y que en la zona de Mercamadrid-Atocha se llama también “Greda”. Encima de esta “peñuela”, y separada por una discordancia intra-aragoniense, hay otra unidad muy compleja sedimentológicamente que se incluye en las unidades Intermedia y Superior, que comprende arcillas verdes y rosadas, arenas micáceas, intercalaciones frecuentes de niveles calcáreos y sílex. Las arcillas verdes de esta unidad también se llaman “peñuela”. Esta segunda unidad es lo que Rodríguez Ortiz, sin demasiada base geológica (ya que confunde ambas peñuelas), denomina “transición Tosco-Peñuela”.

La peñuela de la Unidad Inferior se interestratifica con depósitos yesíferos en las facies geológicas centrales, que van siendo globalmente predominantes hacia el centro de la cuenca sedimentaria, esto es, hacia el SE de Madrid. Las evaporitas, esencialmente yesíferas, aunque con anhidrita residual, constituyen estratos globalmente subhorizontales que comienzan siendo centimétricos, con alternativas de mayor espesor que pueden tener grave incidencia geotécnica cuando se presentan fenómenos de disolución. Estos fenómenos (que pueden ir acompañados de replegamientos y reajustes de los estratos) así como las frecuentes removilizaciones de los yesos están ligados a fracturas.

Con frecuencia existen también fracturas, generadas por ciclos de humedad-sequedad, que se manifiestan mediante superficies aparentemente estriadas o “lisos” en las peñuelas, producidas por hinchamiento-contracción.

En el cuadro adjunto se da un esquema de la correspondencia entre las distintas facies geológicas y geotécnicas de la zona de Madrid, con sus características geológicas.

Las formaciones yesíferas ocupan una importante extensión superficial en toda la zona SE del alfoz de Madrid. Se trata de yesos, eventualmente anhidritas, interestratificados con arcillas y arcillas margosas endurecidas.

La tabla que sigue sintetiza lo expuesto anteriormente:

FACIES GEOLÓGICAS	DENOMINACIÓN FORMACIÓN GEOTÉCNICA	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS
Detríticas	Arenas de miga. Formación las Rozas	Arenas arcósicas color ocre o amarillento, de grano grueso a fino, con gravillas y niveles de cantos
	Arenas de miga, formaciones El Pardo y Madrid	Arenas color ocre o amarillento, con gravillas y esporádicos lentejones de gravas con tramos de arenas y arcillas limosas
	Tosco	Arcillas limo-arenosas color ocre o amarillento, con tramos arenosos. Niveles intercalados de naturaleza similar a la transición tosco-peñuela.
Intermedias	Transición tosco-peñuelas	Interestratificados carbonatados (a veces con sílex), sepiolíticos y montmorilloníticos en el contacto entre tosco y peñuela del S y E de Madrid.
	Peñuela	Arcillas y arcillas margosas gris azulado o verdosas y marrones, endurecidas, con tramos de areniscas micáceas.
Centrales	Formaciones yesíferas	Niveles y bancos alternando con arcillas y margas endurecidas

Tabla 1. Unidades geológico-geotécnicas de Madrid

En la siguiente figura se observa con claridad la distribución de depósitos, con un círculo rojo, se ha señalado la zona de estudio.

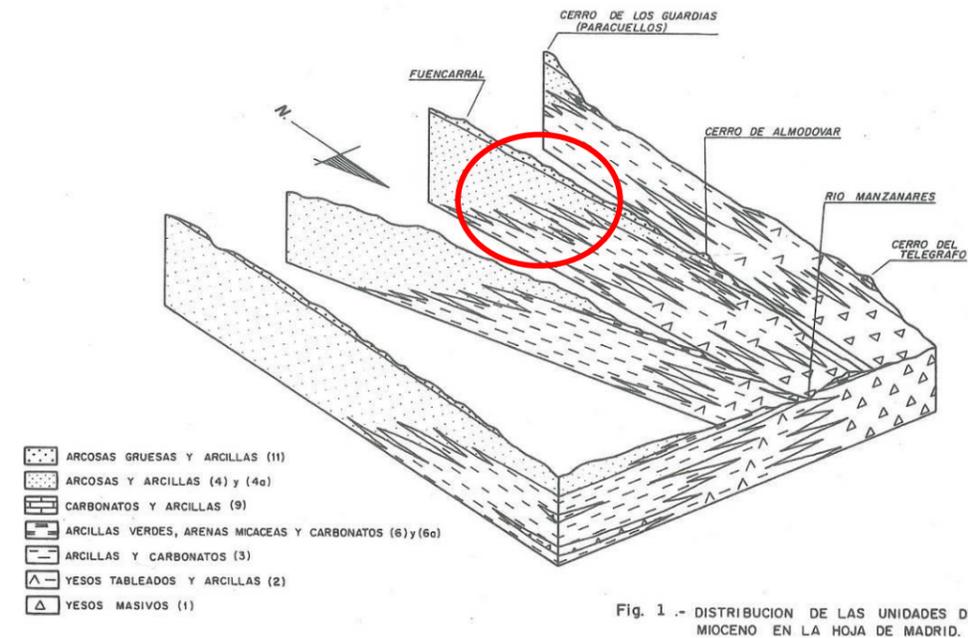


Fig. 1. DISTRIBUCIÓN DE LAS UNIDADES DEL MIOCENO EN LA HOJA DE MADRID.

Figura 3. Extraída del mapa geológico de España hoja 559- Madrid.

La Facies Madrid está principalmente constituida por arenas feldespáticas procedentes de la meteorización y arrastre de los materiales que constituyen los relieves graníticos y metamórficos del Guadarrama. Estos materiales constituyen una avanzadilla hacia el centro de la cuenca, enriqueciéndose en lechos arcillosos que alternan con niveles de granulometría mayor. Los niveles no ofrecen continuidad al representar aspectos lenticulares de un medio de sedimentación enérgico, configurado a partir de arroyadas y mantos difusos.

Los materiales que lo constituyen (Arena de Miga, Arena Tosquiza, Tosco Arenoso y Tosco) se diferencian por su granulometría, plasticidad y aspecto. Sin embargo, la gama de materiales detríticos puede clasificarse de continua y en ocasiones, difícil de definir adecuadamente.

En general, las características y parámetros geotécnicos de las distintas formaciones atravesadas son bastante conocidos, si bien es importante manejar un banco de datos con los resultados de ensayo cuyos límites de variación se comparen con los valores publicados en la literatura o los propios de la experiencia.

La Arena de Miga se caracteriza por su granulometría gruesa, su escasa proporción de finos (<25%) y sus tonalidades ocre y amarillentas. Suele presentar secuencias granodecrecientes y aspecto masivo, con intercalaciones de pequeños niveles de espesor centimétrico con mayor proporción e incluso predominio de materiales finos de naturaleza arcillosa y limo-arcillosa.

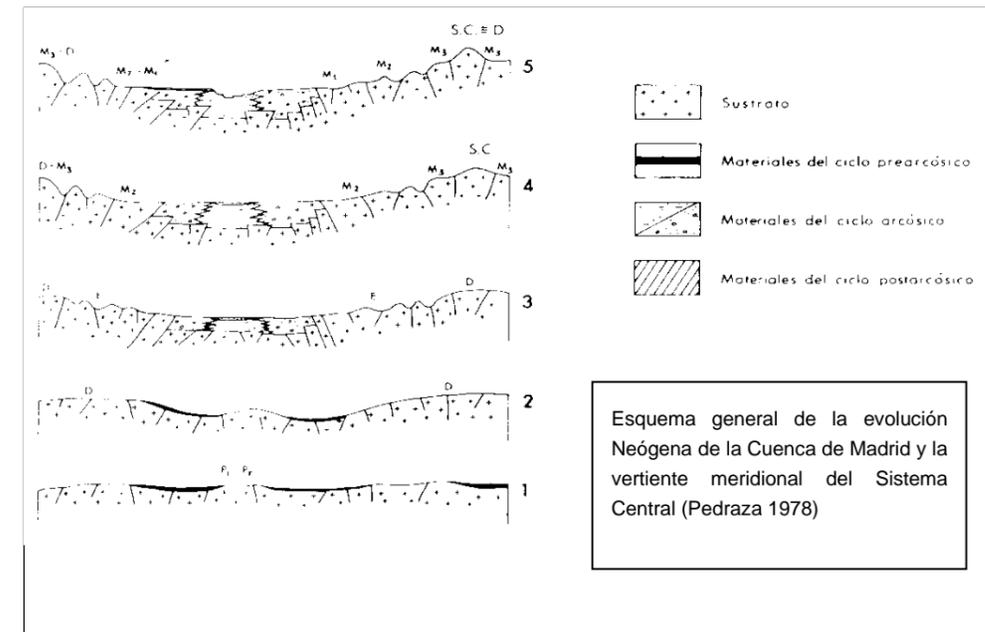
La Arena Tosquiza, de carácter lenticular, está constituida por arenas cuarzo-feldespáticas de grano medio-fino, con contenido de finos entre el 25% y el 40%. Al igual que la Arena de Miga, presentan intercalaciones con proporción variable de finos y en ocasiones secuencias granulométricas decrecientes sin estructura interna bien definida. En ocasiones estos niveles arenosos pueden aparecer saturados con flujo y carga de agua constituyendo acuíferos colgados, en el seno de los niveles más arcillosos.

El Tosco Arenoso lo forman arenas feldespáticas de color marrón con alta proporción en arcilla-limosa (superior al 40% de finos) y arcillas muy arenosas (inferior al 60% de finos). En ocasiones intercala niveles lenticulares de Arenas Tosquizas y Tosco, de escasa continuidad. Generalmente, se trata de materiales de plasticidad media. Son prácticamente impermeables y suelen presentar alto contenido de humedad.

El Tosco está formado por arcillas y limos de coloración ocre y marrón, de baja plasticidad y en ocasiones alta. Su estructura interna es masiva, con carácter lenticular e imbricaciones subhorizontales de composición variable. Su compacidad es dura y puntualmente muy consistente. Al igual que el Tosco Arenoso intercala niveles centimétricos de arena tosquiza y Tosco Arenoso de grano fino, que le confieren un laminado característico. Su límite inferior se sitúa a cota aproximada 630.

La **Historia Geológica** de la Cuenca de Madrid responde a la evolución mesocenoica de sus bordes montañosos, más concretamente su borde septentrional formado por el Sistema Central, cuyo continuo abombamiento y ascenso, en un régimen tectónico compresivo, se acompaña de un proceso de subsidencia mucho más acusado en los márgenes de la cuenca. El ciclo sedimentario se inicia en el Cretácico Superior y alcanza hasta la base del Plioceno. Dicho proceso se

esquemata en la figura adjunta, que refleja la evolución neógena de la Cuenca de Madrid.



2.3. Estratigrafía

A continuación, se describen brevemente los materiales que se pueden encontrar en la zona de estudio:

2.3.1. Cuaternario

Dentro de los materiales cuaternarios adquieren gran importancia los referentes a los de origen antrópico, que como es lógico son debidos a la intensa actividad humana vertidos en los alrededores de una gran ciudad.

Se reconocen 4 tipos de depósitos antrópicos: rellenos antrópicos compactados (rellenos estructurales), rellenos antrópicos sin compactar, rellenos de plataforma de vías de comunicación y los rellenos de explanaciones de zonas urbanas. Según la información previa consultada se espera que en el tramo de estudio únicamente los rellenos antrópicos vertidos (R_x) y rellenos antrópicos compactados (R_{xc}).

RELLENOS ANTRÓPICOS VERTIDOS (R_x)

Esta unidad está constituida por materiales de aportación artificial producto de la actividad humana. Su procedencia es muy diversa, siendo mayoritarios aquellos que proceden de los excedentes de explanaciones y movimientos de tierra de obras cercanas y residuos de construcción y demolición. Como puede deducirse, la litología de este grupo es muy variada en función de su procedencia y origen. Los rellenos de excedentes de tierras son, en ocasiones, muy difíciles de distinguir del sustrato sobre el cual están vertidos, excepto por la compacidad. No obstante, la observación cuidadosa de un buen afloramiento o del testigo de sondeo permite reconocer la estratificación en el terreno natural cosa que no se da en los vertidos.

Según las síntesis efectuadas por el Ayuntamiento de Madrid, el volumen de rellenos se evalúa en torno a los 350 millones de metros cúbicos, ocupando una extensión de 67,5 km², lo que representa el 11% de la superficie del municipio, con un espesor medio del orden de 5 m.

Relleno de origen Antrópico, de gran profusión en el entorno del trazado de Proyecto. En el sector central se localizan importantes vertederos municipales, recientemente desarrollados, aunque actualmente no se realizan vertidos. Se localizan principalmente junto a la M-40, con espesores que pueden alcanzar hasta 25 metros, y al pie de los terraplenes del trazado actual, con espesores variables de hasta 2-3 metros.

Están constituidos por productos de desecho de la actividad humana y excedentes de todo tipo (plásticos, maderas, restos cerámicos, etc.), considerados inservibles, entre los que abunda la materia orgánica. En general presentan una marcada heterogeneidad, todos ellos de baja compacidad y sin estructura alguna.

Morfológicamente forman una acumulación de materiales en zonas generalmente deprimidas, de características muy variables, que sobresalen sobre el terreno natural, aunque en las grandes acumulaciones han sido retocados dejando una zona de morfología plana en superficie. También existen acumulaciones puntuales e irregulares como las observadas al pie de los terraplenes en la zona intermedia del trazado.

Hidrogeológicamente, forman un conjunto bastante permeable, aunque dado su carácter incontrolado y heterogéneo, puede presentar condiciones muy variables de unos emplazamientos a otros.

RELLENOS ANTRÓPICOS COMPACTADOS (R_{xc})

Dentro de este grupo se engloban los terraplenes de las distintas vías de comunicación que aparecen en el área de estudio.

Se han denominado, en el apartado correspondiente a la caracterización geotécnica de los materiales y en el perfil geológico-geotécnico como R_{xc}.

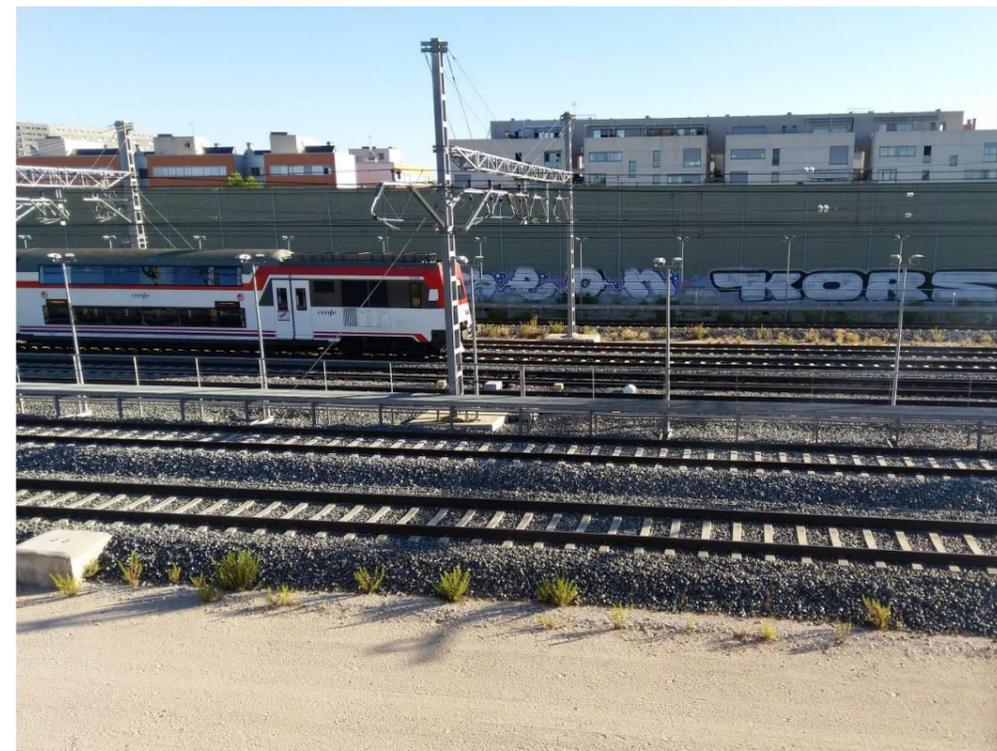


Figura 4. Fotografía de los rellenos ferroviarios existentes en la zona de estudio

Constituyen la plataforma y los terraplenes de las infraestructuras viarias actuales. Se encuentran en el entorno de la vía existente y en el cruce con las carreteras y viarios atravesados.

Geológicamente son depósitos fundamentalmente granulares constituidos por gravas angulosas en superficie, situadas sobre un relleno predominantemente arenoso. Los terraplenes de las carreteras y viales situadas en el entorno, están constituidas por arenas con gravas, cantos y algo de arcilla en su parte superior y fundamentalmente arcillas en la inferior. El trazado actual discurre por un terraplén de unos 10 metros de desnivel sobre el que discurrirá una parte del trazado proyectado.

Morfológicamente dan lugar a plataformas elevadas de varios metros sobre el terreno natural.

Hidrogeológicamente forman un conjunto de capas permeables e impermeables sobre las arcillas de la base del terraplén.

2.3.2. Mioceno

A pesar de que dicho sustrato aparece muy recubierto por materiales antrópicos, es posible reconocer gracias a los sondeos que en la zona de estudio solamente aparecen los sedimentos detríticos (arcosas) de la Unidad Intermedia y las arcosas con pasadas de arcillas marrones (tosco) de la Unidad Superior, que Rodríguez Ortiz incluye dentro de las ya clásicas denominaciones de “arena de miga”, “arna tosquiza”, “tosco arenoso” y “tosco”.

ARENAS ARCILLOSAS. ARENA DE MIGA Y ARENAS TOSQUIZAS (T₁)

Litológicamente se trata de una unidad compuesta por arenas de grano fino a grueso, de composición cuarzo-feldespática y color marrón o amarillento, matriz arcillosa y, en algunas zonas, con gravillas y gravas dispersas de cuarzo principalmente, de tamaño inferior a los 5 cm. Como ya se ha comentado anteriormente, dentro de la literatura geológico-geotécnica correspondiente a los suelos de Madrid, a estos materiales se les denomina “arenas tosquizas” o “arenas de miga”, en función del siguiente contenido en finos:

Denominación	% de finos (<0,08 mm)
Arena de miga	<25
Arena Tosquiza	25-40
Tosco Arenoso	40-60
Tosco	>60

Las arenas arcillosas son los materiales predominantes de este grupo litológico, pero dentro del mismo también existen lentejones, imbricaciones y cambios de facies, desde arenas hasta arcillas, pasando por toda la gama de materiales intermedios.

ARCILLAS MARRONES ALGO ARENOSAS. TOSCO ARENOSO-TOSCO (T₂)

Litológicamente esta unidad aparece constituida por arcillas algo arenosas, de tonos marrones y en algunos casos con manchas verdosas. Presentan un aspecto masivo o bien una estratificación difusa, con fisuras verticales posiblemente debidas a procesos de desecación.

En algunos tramos muestran intercalaciones de arcillas de alta plasticidad, sepiolita, calizas o dolomías y sílex. Al conjunto de estos materiales se les ha dado el nombre de niveles activos.

Estos materiales se denominan geotécnicamente toscos, que como ocurre con las arenas descritas en el apartado anterior, en función de la proporción de finos se denominan:

Denominación	% de finos (<0,08 mm)
Arena de miga	<25
Arena Tosquiza	25-40
Tosco Arenoso	40-60
Tosco	>60

2.4. Sismicidad

En este apartado se toma como referencia la Norma de Construcción Sismorresistente: parte general y edificación (NCSE-02), cuya aplicación se extiende a todos los proyectos y obras de construcción relativos a edificación, y, en lo que corresponda, a los demás tipos de construcciones, en tanto no se aprueben para los mismos normas o disposiciones específicas con prescripciones de contenido sismorresistente.

Según esto, el proyecto que nos ocupará se puede clasificar como construcción de importancia especial, “aquellas cuya destrucción por el terremoto, pueda interrumpir un servicio imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos”.

La aplicación de esta norma es obligatoria en las construcciones de importancia normal o especial cuando la aceleración sísmica básica sea superior a 0.04 g, siendo g la aceleración de la gravedad, como es este caso.

Por otra parte, el terreno sobre el que se apoya la actuación proyectada puede ser clasificado como Terreno de Tipo III, suelo granular de compacidad media, o suelo cohesivo de consistencia firme. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla, $400\text{m/s} \geq V_s > 200\text{ m/s}$.

Quizá algunos materiales, como pueden ser rellenos antrópicos o aluviales, se podrían considerar como terreno de Tipo IV: suelo granular suelto, o suelo cohesivo blando, con velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla menor de 200 m/s.

En la Figura adjunta, tomada de la citada norma, se observa que en la zona centro donde se encuentra la zona de estudio $a_b < 0.04\text{ g}$, por lo que no es obligatoria la aplicación de la misma en el presente Proyecto.

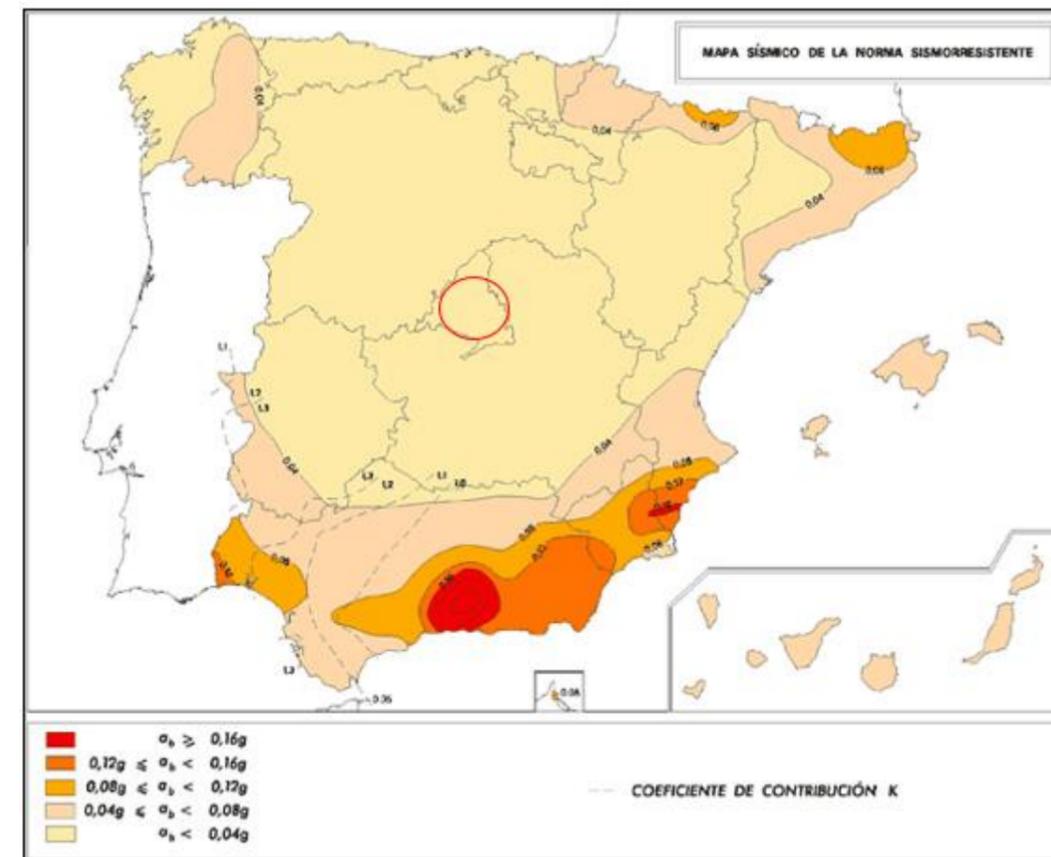


Figura 5 Norma Sismorresistente NCSE-02

2.5. Tectónica

La cuenca de Madrid constituye un amplio graben (unos 15.000 km²) limitado al NO por granitoides y rocas metamórficas de alto grado, al N por series paleozoicas formadas por distintos materiales metamórficos y más al NE por los sedimentos de edad Mesozoica, al Sur por los granitos y rocas metamórficas de los Montes de Toledo, y hacia su parte oriental por los materiales calcáreos de la sierra de Altomira. Todos ellos dibujan un marco en forma triangular que refleja el carácter y dependencia tectónica de esta cuenca interior hacia las direcciones impuestas por el basamento. La dirección dominante, en la mayor parte de la misma, es la de orientación NO-SE, aunque hacia el sur también se pone de manifiesto la influencia de las estructuras W-E, así como la N-S en el margen oriental. Este

- Reajustes de las fracturas en el basamento a las que ya estaban adaptadas los principales cursos fluviales. En este sentido, es fácilmente apreciable el cambio brusco en la orientación del cauce del río Manzanares al Sur de Villaverde y hasta su desembocadura en el Jarama. Según Vegas et al., 1975, este hecho podría explicarse por la adaptación de los sedimentos terciarios a movimientos tectónicos tardíos. Además de lo apuntado anteriormente, la disimetría de los valles del Manzanares y Jarama y de sus principales afluentes, pueden quedar explicadas por movimientos tectónicos producidos durante el Mioceno.
- Otra evidencia es la fracturación sufrida en el “zócalo yesífero”. A pesar de la cobertera sedimentaria que los oculta, se ha podido constatar la presencia de zonas que han sufrido una importante filtración diferencial de agua y por lo tanto una mayor tasa de disolución de estos materiales evaporíticos.

En ocasiones las oquedades creadas se han derrumbado, al no soportar el peso de su recubrimiento, dando lugar a colapsos, dolinas y zonas semiendorreicas. Las trincheras abiertas en estos materiales por las vías de comunicación descubren fuertes ondulaciones (falso plegamiento), generados por el “acomodo” en los materiales suprayacentes al hundimiento generado. Estos “puntos blandos” han sido minuciosamente estudiados, comprobándose que se distribuyen siguiendo unas alineaciones paralelas de varios kilómetros de longitud. De igual forma se ha constatado cómo las zonas de infiltración preferentes son más patentes, cuando a estas alineaciones las disectan otras de menor entidad de forma casi ortogonal.

La cartografía geológica de detalle, apoyada por numerosos sondeos, que se realizó para los estudios geológico-geotécnicos de la LAV a Levante, ha detectado numerosas fallas que afectan tanto a la unidad yesífera como a las unidades de peñuela más modernas.

2.6. Riesgos Geológicos

Los principales Riesgos por los que pueden verse afectados las Soluciones de trazado, están asociados con dos fenómenos importantes, la erosionabilidad de los materiales arenosos y la presencia de rellenos antrópicos encubiertos.

En los taludes de excavación es habitual en este tipo de materiales la formación de cárcavas y abarrancamientos, con riesgos de inestabilidades e importantes arrastres.

El comportamiento de los rellenos antrópicos es imprevisible, tanto como materiales de apoyo, como estabilidad de taludes o en el peor de los casos la necesidad de atravesarlos en profundidad. Según las observaciones y datos obtenidos, no se prevén espesores superiores a 4 metros.

2.7. Geomorfología

El área de Madrid es un territorio fisiográficamente de apariencia monótona que, sin embargo, encierra una gran complejidad evolutiva. Sus elementos geomorfológicos más destacados son las superficies divisorias o planicies altas, que forman cumbres de anchas lomas y que dividen las aguas de los grandes ríos que drenan la zona: el Manzanares y el Jarama. Una tercera cuenca, apenas insinuada, se establece al Oeste de Madrid.

El río Jarama y su afluente el Guadalix presentan un total de nueve niveles de terrazas que han sido agrupadas en tres conjuntos: altas, medias y bajas. Litológicamente están constituidas por gravas y arenas que incluyen cantos y a veces bloques de naturaleza diversa (granito, pizarras, cuarcitas, etc.). En cuanto a la edad pertenecen al Pleistoceno.

El río Jarama ha dejado encajadas numerosas llanuras escalonadas y paralelas al cauce actual. Se han diferenciado un total de nueve terrazas, con cotas de: + 5-8 m, + 10-15m, + 25-30 m, 35+40 m, +50-55 m, +60m, +110-115 m y 130-140 m.

Se trata de gravas, con cantos de cuarcitas, cuarzo, granitoides, pizarras y carbonatos; de matriz arenosa y abundante en algunos niveles.

La morfología de este valle se caracteriza por un perfil transversal disimétrico, con la margen izquierda abrupta y la derecha larga y suave estructurada en terrazas (en la que se emplaza la zona de estudio). Generalmente no presenta más de cinco niveles de terrazas, que forman bandas paralelas al valle, pero muy disectadas por el alto grado de erosión de los pequeños barrancos que las atraviesan. La causa de la disimetría se debe a causa estructural o tectónica de índole regional, como basculamientos, movimientos de bloques dentro de la depresión, etc.

Tanto en el valle del Jarama como en los arroyos menores, el dispositivo morfológico de los depósitos fluviales, en relación al sustrato, es el de terrazas colgadas, para los niveles medios y altos, y el de terrazas solapadas o encajadas, para los inferiores.

Otra forma de origen fluvial y gran representación son los conos de deyección o conos aluviales, debido a que la gran mayoría de los arroyos, al desembocar en otros cauces de rango superior, suelen dejar un depósito de ese tipo.

Los fondos de valle son alargados, algo serpenteantes y en ocasiones rectilíneos. Debido a la composición del área madre, su naturaleza es muy arenosa, con cantos de cuarzo y granitoides. En general se observa una sobreexcavación del fondo del valle, con fuerte encajamiento de la red, por lo que algunas veces estos depósitos son colgados, hecho que puede deberse a un rejuvenecimiento de la red por causas tectónicas o climáticas.

Análisis morfológico

Dentro de la morfología fluvial del entorno de la zona de estudio, hay que destacar, la llanura de inundación del río Jarama y su cauce activo, en el que se pueden observar las sucesivas barras fluviales y sus cicatrices. La llanura de inundación del Jarama tiene una anchura aproximada de 1 km, y actualmente está excavada por el cauce, que da lugar a un escarpe muy neto. En algunas zonas quedan sobre la llanura huellas de funcionamiento de antiguos cauces, actualmente

abandonados. Estas formas se desarrollan también sobre algunos niveles de terrazas.

Los conos de deyección (dos son cercanos a la zona estudiada, sin entra en ella) son muy abundantes en la salida de la mayor parte de los arroyos del valle del Jarama. La litología de todos ellos aunque algo monótona ofrece ciertas variaciones de unos sectores a otros dependiendo del sustrato del que derive. Se trata de materiales arenosos o areno-arcillosos con cantos sueltos procedentes de facies arcósicas y arcillosas terciarias o incluso de las terrazas. Su potencia es variable, oscilando entre 2 y 10 m.

Por otra parte, también existen zonas consideradas como activas formada por barras de cantos de arena con pocos finos, en los que se pueden reconocer las cicatrices de acreción lateral.

A escala 1:500.000, la zona de estudio corresponde con la figura a continuación, donde se muestra un detalle de las formaciones superficiales que componen el paisaje de la zona de estudio.

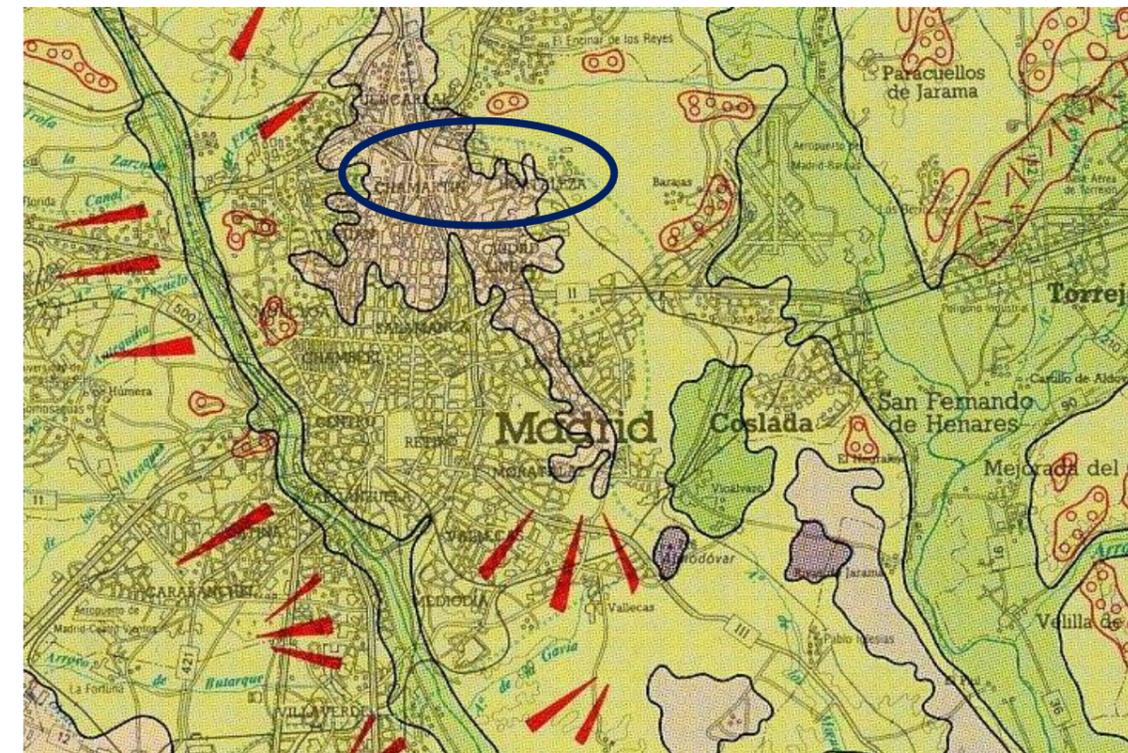


Figura 7. Mapa geomorfológico de la zona de estudio (Fuente: IGME)

DOMINIOS		UNIDADES		ELEMENTOS	
La Sierra	Cimas	Cuerdas			
		Parameras serranas			
	Vertientes	Laderas		Circos y morrenas glaciares	
		Rampas		Navas	
	Depresiones	Valles interiores			
La Depresión	Altas superficies	Páramos			
		Rañas			
		Divisorias			
	Relieves intermedios	Plataformas estructurales			
		Cuestas estructurales			
		Cerros			
	Depresiones	Fondos endorreicos			
	Valles	Vegas	Conos aluviales		
			Depósitos de pié de talud		
		Vertientes	Terrazas		
Glacis					

Figura 8 Leyenda geomorfológica (Fuente: IGME)

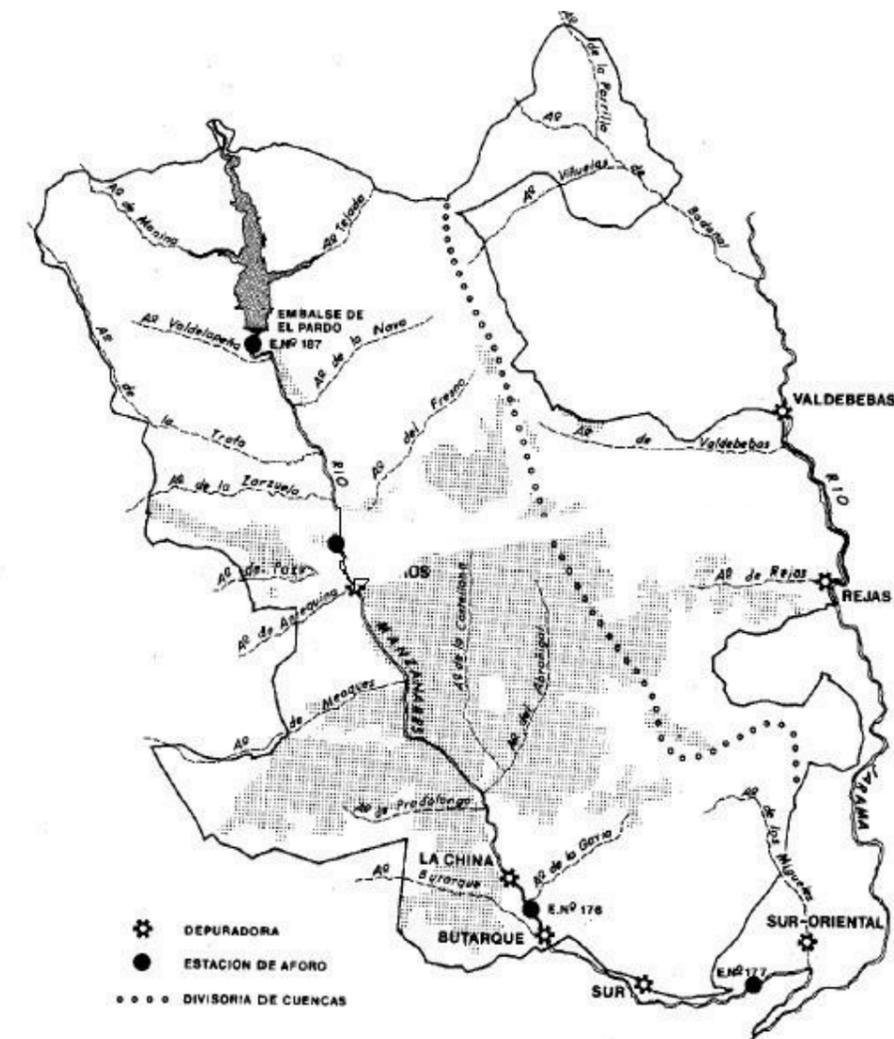


Figura 9 Esquema de los principales ríos y arroyos del área de Madrid

2.8. Hidrogeología

Hidrogeológicamente, Madrid se localiza dentro de la Cuenca del río Tajo. El encaje de los ríos y los depósitos aluviales tal como los conocemos hoy obedece a procesos geológicos elaborados fundamentalmente durante el Cuaternario. Entre estos procesos geológicos han tenido especial influencia las deformaciones del zócalo en profundidad y los últimos juegos de las fallas marginales tal y como se ha indicado previamente el apartado dedicado a “Tectónica”.

La red fluvial fundamental está constituida por la cuenca principal del río Tajo y de sus afluentes por la derecha, Jarama, Tajuña, Henares, Manzanares y Guadarrama (De La Fuente, P. “Estudio de la deformabilidad de los suelos arcillosos de Madrid”. CEDEX. Madrid, 1986).

Las propiedades hidrogeológicas de las facies terciarias típicas de Madrid se encuentran a menudo condicionadas por el contenido en finos, que a su vez resulta ser el parámetro que permite definir y distinguir estas facies entre sí (Arena de Miga, Tosco, Peñuela y sus términos intermedios). A continuación, se realiza una breve descripción de las unidades hidrogeológicas de la cuenca de Madrid presentes área de estudio.

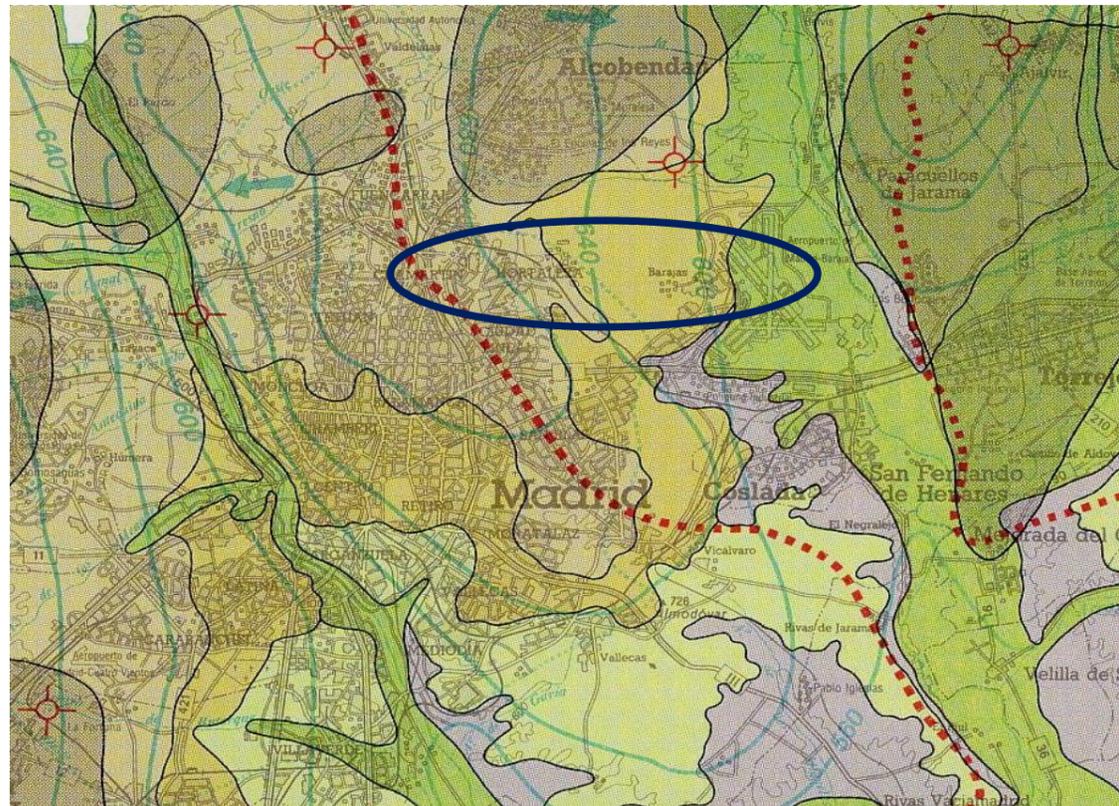


Figura 10 Mapa hidrogeológico de la zona de estudio (Fuente: IGME)

Para la caracterización de la condición hidrogeológica de los materiales presentes en el corredor de trazado, se ha empleado en primer lugar la información bibliográfica general existente. Posteriormente, y a la vista de los perfiles geotécnicos elaborados con la información procedente de la investigación realizada, especialmente de los sondeos perforados, se ha interpretado la posición del nivel freático o piezométrico.

A continuación, se realiza una descripción de las unidades hidrogeológicas de la cuenca de Madrid:

El acuífero Terciario detrítico de la cuenca de Madrid

Existe un importante acuífero instalado en la extensa y profunda masa de depósitos detríticos terciarios, alimentado en el macizo serrano y los terrenos permeables que lo rodean, que en cierto modo queda “represado” por los niveles más impermeables, arcillosos y evaporíticos en que van derivando por cambio lateral de facies hacia el centro de la cuenca. Este acuífero está muy explotado actualmente en la parte noroeste de Madrid mediante pozos, en general de más de 50 metros de profundidad, que alumbran aguas con frecuencia artesianas.

A pesar de su importancia como fuente de alimentación de agua, no la tiene normalmente de manera directa desde el punto de vista geotécnico dada su profundidad; sin embargo, sí tienen importancia sus niveles superiores, donde se detectan frecuentemente la presencia de agua. En la zona de estudio se localiza esta unidad acuífera.

Acuíferos en los niveles superiores de arena de miga y tosco

Existen otros acuíferos colgados, cuya descarga hacia abajo alimenta el acuífero general anteriormente citado, alojados por tanto también en depósitos terciarios, pero en sus niveles superiores. La distribución en forma de lentejones de algunas capas de arena (arena de miga) junto con las intercalaciones de materiales menos permeables o impermeables (tosco), da origen a acuíferos confinados que, en ocasiones, hasta presentan cierta presión artesianas.

UNIDAD HIDROGEOLOGICA	LITOLOGIA DOMINANTE	PRINCIPALES ACUIFEROS
1	Granitos	
2	Gneises, pizarras, esquistos, etc.	
3	Arenas, margas, calizas y dolomías	Acuífero Cretácico
4	Arcillas, yesos y conglomerados	
5	Arcillas, yesos y carbonatos	
6a	Arcosas, arcillas y conglomerados	Acuífero detrítico del Terciario
6b	Arcosas finas, limos y arcillas	Acuífero detrítico del Terciario
6c	Arenas y conglomerados con gran proporción de arcillas	Acuífero detrítico del Terciario
7	Calizas, margas y arcillas	
8	Calizas y margocalizas, a veces en la base conglomerados, arenas y arcillas	Acuífero del Páramo
9	Arenas, gravas, limos y arcillas	Acuíferos cuaternarios

Figura 11 Leyenda geomorfológica (Fuente: IGME)

Naturalmente, en el contacto más alto entre materiales permeables e impermeables (arena de miga y tosco) puede encontrarse un primer nivel de agua colgada. Estos acuíferos han sido explotados para abastecimiento de aguas de Madrid desde tiempo inmemorial, mediante la perforación de galerías denominadas “viajes de agua”, hasta que entra en servicio el Canal de Isabel II. La existencia de estas galerías, en muchos casos sin revestir y a profundidades relativamente reducidas, puede originar problemas para las cimentaciones y, en ocasiones, ha sido la causa de socavones con graves consecuencias.

Dada la naturaleza de estos acuíferos, no es posible definirlos de manera precisa. Los diferentes niveles de agua existentes dentro de este conjunto son difíciles de correlacionar unos con otros; es incluso posible que se trate de bolsas que en muchas ocasiones lleguen a agotarse después de estar drenando durante un cierto tiempo.

Los lentejones de arenas de miga, permeables, quedan semiconfinados por los materiales del tosco, impermeables. Los niveles acuíferos de agua colgados en el seno de los materiales toscos más cohesivos presentan un funcionamiento de acuíferos colgados tipo multicapa, de capacidad de almacenamiento limitada, en ocasiones con funcionamiento artesiano.

En cuanto a la permeabilidad de estas “arenas de miga”, y en contra de lo que podría esperarse, no parece existir una correlación directa entre la permeabilidad y el contenido en finos. En la bibliografía consultada, se indica que el contenido en finos por encima de 11% puede incrementar la permeabilidad hasta en tres órdenes de magnitud, por lo general comprendida entre de 10⁻⁴ centímetros por segundo para las arenas de miga y 10⁻⁶ centímetros por segundo para los niveles de Tosco.

Los valores medios representativos obtenidos de la permeabilidad para acuíferos en estratos de Arena de Miga y de Arena Tosquiza, son:

- Arena de Miga K= 6,85x10⁻³ cm/s Perm. Media (Terzaghi 1948)
- A. Miga y A. Tosquiza K= 5,80x10⁻⁴ cm/s Perm. Media-Baja
- Tosco Arenoso K= 3,10x10⁻⁵ cm/s Perm. Baja

Para correlacionar la magnitud de la permeabilidad de los suelos con la granulometría, forma y distribución de tamaños, existen diversos métodos contrastados. Dichas correlaciones se han establecido principalmente para arenas, aunque en muchas ocasiones se aplican a materiales de menor tamaño de grano con objeto de obtener una aproximación a su permeabilidad. Para Hazen (1892), los materiales con menor contenido en finos presentan una permeabilidad 10⁻³ y 10⁻⁴ cm/s, mientras que los que presentan un contenido en finos superior al 20% la permeabilidad es de 10⁻⁵ cm/sg., que según la clasificación de Terzaghi & Peck (1948) el grado de permeabilidad sería media en el primero de los casos y baja en el segundo.

Materiales cuaternarios

Dentro de los materiales cuaternarios los únicos que tienen un interés desde el punto de vista hidrogeológico son los fondos de valle de naturaleza más granular, depósitos aluviales y depósitos de terraza antiguos, que pueden tener niveles freáticos muy superficiales, de escasa capacidad, y los rellenos.

Por lo general, se trata de los acuíferos libres que mayores reservas pueden llegar a albergar, al encontrarse cuando están cerca del río Manzanares, estrechamente conectados con él.

Su recarga se produce por infiltración desde cursos superficiales por el agua de lluvia. Cuando se trata de áreas extensas de fondo plano o ligeramente cóncavo pueden llegar a producir zonas semiendorreicas, que suelen coincidir con puntos de encharcamiento ocasional en época de lluvias.

Niveles piezométricos

En las tablas siguientes se incluyen los niveles piezométricos medidos en los sondeos recopilados en las distintas campañas geotécnicas analizadas en la zona de estudio:

		15/04/2003	21/04/2010	22/04/2010	25/04/2003	26/04/2010	27/04/2010	30/04/2010	05/05/2003	06/05/2003
Intecsa-Inarsa (2003)	S-1				8,50				6,00	
	S-2		8,70						7,75	
	S-3					6,80			5,60	
						11,00			11,00	
	S-4			2,00					8,10	
	S-5							6,30	6,15	
								18,00	16,00	
	S-6						5,05			
	S-7	10,10								
	S-8							2,60	2,50	
							13,55	16,40		
S-9			8,00					3,20		
S-10									8,25	

Tabla 2. Niveles piezométricos recopilados (2003)

		16/07/2004	20/07/2004	21/07/2004	22/07/2004	25/07/2004	27/07/2004	29/07/2004	14/08/2004	13/08/2004
Proyecto Cercanías Barajas, Tramo I Intecsa-Inarsa (2006/2004)	S-1	8,53	20,70							11,80
		10,40	20,80							
	S-2			10,00						10,35
	S-3				17,50	8,50				16,00
	S-4							14,88		15,05
	S-5								14,40	14,50
	S-6							8,50		17,80
							18,35			
S-7					4,90	5,80				5,03

Tabla 3. Niveles piezométricos recoilados (2004)

		19/02/2007
Azierta-GPO (2007)	S-1	3,00
		6,00

Tabla 4. Nivel piezométrico recopilado (2007)

		23/12/2009	29/12/2009	12/01/2010	13/01/2010	14/01/2010	18/01/2010	20/01/2010	21/01/2010	26/01/2010	01/02/2010	02/02/2010	05/02/2010	09/02/2010	11/02/2010	
Fase de Obra. Geocisa (2009/2010)	SR-2					10										
	SR-4					11	11,52	11,55		11,47	11,39			11,33		
	SR-5			7,6	0			0	0		0		0		0	
				10	11,91			11,97	9,47		9,36		9,36		9,65	
	SR-6			8,4	8,46			8,48	8,51		8,5		8,5		8,49	
				16,5	11,57			12,02	11,67		12,93		11,71		13,32	
	SR-7			7		6,48	6,73	6,78		6,91		6,97		6,72		
				11,6		14,21	12,12	13,05		12,16		12,26		12,27		
	SR-8					11	15,41		15,65	14,3		15,56		15,46		
	SR-9	16					15,99			15,8	15,64					
	SR-10		11,2		11,67					11,45		11,43				
			15,3		13,12					13,7		13,85				
	SR-11		9		8,8					8,86		8,86				
			15,6		11,95					12		14,95				
	SR-B											17	15,61	15,42		
	SR-C											12	13,6	13,11		
SR-D											13,85					
SR-E											12,36					
											18,06					
SR-103														12		

Tabla 5. Niveles piezométricos recopilados (2010)

Pendientes los resultados de los cinco sondeos en ejecución del Proyecto básico.

3. Geotecnia

3.1. Campañas geotécnicas recopiladas y en ejecución

Con el fin de reconocer las características del terreno por el que discurre la línea de Cercanías en su acceso al aeropuerto de Barajas, se efectuaron varias campañas geotécnicas cuya información ha sido recopilada para la elaboración del presente documento, esta recopilación de campañas es descrita a continuación en orden cronológico de ejecución:

- **Campaña para el Proyecto de Construcción: “Cercanías de Madrid. Acceso ferroviario al Aeropuerto de Barajas. Tramo Chamartín-Hortaleza”. Intecsa-Inarsa (2003)**

Campaña realizada por SGS durante el año 2003, consistente en:

- Diez (10) sondeos mecánicos, de los cuales se han consultado siete (7) al ser los más próximos al tramo en estudio.
- Siete (7) ensayos de penetración dinámica DPSH, los cuales no pueden emplearse a no contarse con sus coordenadas y ubicación en planta.
- Nueve (9) calicatas mecánicas, cuyas coordenadas se indican junto con la descripción de la siguiente campaña geotécnica.

Las coordenadas UTM de los sondeos recopilados se incluyen a continuación:

SONDEO	COORDENADAS	
	X	Y
S-4	442.693,61	4.481.829,87
S-5	442.809,31	4.481.932,74
S-6	442.915,31	4.482.074,6
S-7	442.993,71	4.482.026,95
S-8	443.113,41	4.482.048,4
S-9	443.326,81	4.481.966,69
S-10	442.635,51	4.481.663,21

Tabla 6. Sondeos recopilados

- **Campaña para el Proyecto de Construcción: “Cercanías de Madrid. Acceso ferroviario al Aeropuerto de Barajas. Tramo I”. Intecsa-Inarsa (2006)**

La campaña en cuestión corrió a cargo de la empresa IN-SITU TESTING (exceptuando las calicatas que se utilizaron las realizadas por S.G.S. en la campaña del tramo “Chamartín-Hortaleza”) y fue ejecutada en dos fases sucesivas en el tiempo durante el año 2004, constando la primera fase de:

- Nueve (9) Calicatas mecánicas (realizadas por S.G.S. para el tramo “Chamartín-Hortaleza”).
- Nueve (9) ensayos de penetración dinámica tipo Borro (emplazados junto a las calicatas del tramo anterior para completar el estudio con la resistencia del terreno).

Las coordenadas de los reconocimientos se incluyen a continuación:

INVESTIGACIONES	COORDENADAS	
	X	Y
C-1 y P-1	444.028,01	4.481.733,4
C-2 y P-2	444.246,51	4.481.689,2
C-3 y P-3	444.375,61	4.481.671,2
C-4 y P-4	444.510,9	4.481.623,6
C-5 y P-5	444.665,7	4.481.589,2
C-6 y P-6	444.823,6	4.481.585,59
C-7 y P-7	444.956,6	4.481.534,89
C-8 y P-8	445.115,1	4.481.516,29
C-9 y P-9	445.294,3	4.481.439,09

Tabla 7. Calicatas y ensayos de penetración dinámica recopilados

Estas investigaciones se realizaron en los primeros 1.500m de la línea de Cercanías en proyecto, correspondientes con un tramo a cielo abierto entre Chamartín y la estación de Hortaleza. En una segunda fase se realizaron nuevas investigaciones, de las cuales se han consultado cinco (5) sondeos, dos (2) ensayos de penetración dinámica y una (1) calicata, cuyas ubicaciones coinciden con el trazado objeto de estudio.

Las coordenadas UTM de los reconocimientos se incluyen a continuación:

SONDEOS	COORDENADAS	
	X	Y
S-1	445.695,321	4.481.571,498
S-2	445.785,367	4.481.581,672
S-3	445.865,197	4.481.501,420
S-4	445.979,499	4.481.492,938
S-5	446.297,294	4.481.434,140

Tabla 8. Sondeos recopilados

PENETRACIONES DINÁMICAS	COORDENADAS	
	X	Y
PC-01	445.695,3	4.481.571,5
PC-02	445.859,7	4.481.564,7

Tabla 9. Ensayos de penetración dinámica recopilados

CALICATA	COORDENADAS	
	X	Y
CC-2	445.859,7	4.481.564,7

Tabla 10. Calicata recopilada

- **Campaña para el Proyecto de Construcción: “Cercanías de Madrid. Acceso ferroviario al Aeropuerto de Barajas”. UTE: Azierta-GPO, 2007.**

La campaña específica para este proyecto se centró en el tramo de túnel comprendido entre la M-40 y la terminal aérea. Entre las investigaciones realizadas se encuentran sondeos y ensayos de penetración, cuya ejecución corrió a cargo de diferentes empresas, siendo el reconocimiento más interesante de los disponibles el sondeo S-1. Las coordenadas UTM de este reconocimiento son:

SONDEO	COORDENADAS	
	X	Y
S-1	446.094	4.481.488

Tabla 11. Sondeo recopilado

No se dispone de los resultados de los ensayos de laboratorio asociados a esta campaña de investigaciones “in-situ”.

- **Investigación geotécnica Fase de obra del acceso ferroviario Chamartín- Aeropuerto de Barajas T-4. (Madrid). Geocisa, abril 2010.**

Durante la ejecución de la línea de Cercanías se realizó, en obra, una campaña geotécnica complementaria para completar la información disponible del terreno. Las nuevas investigaciones quedaron centradas en el tramo a cielo abierto, desde las inmediaciones de Chamartín hasta el cruce con la M-40. En total se realizaron los siguientes reconocimientos:

- Veinte y ocho (28) sondeos mecánicos, de los cuales dieciocho (18) se sitúan a lo largo del tramo en estudio.
- Cincuenta y nueve (59) ensayos de penetración dinámica tipo DPSH, de los cuales se han consultado cincuenta y cuatro (54) situados a lo largo del tramo en estudio.
- Diez (10) calicatas mecánicas, de las cuales ninguna se ubica próxima al tramo en estudio.

La totalidad de los sondeos se ejecutaron por cuenta de la empresa GEOCISA durante los meses de diciembre de 2009 y enero de 2010, las coordenadas de los sondeos recopilados se adjuntan a continuación:

SONDEO	COORDENADAS	
	X	Y
SR-103	442.797,8	4.481.947,2
SR-A	442.883,3	4.482.106,7
SR-B	442.929,3	4.482.167,4
SR-C	442.973,9	4.482.203,1
SR-1	443.357,6	4.482.155,9
SR-2	443.458,6	4.482.116,9
SR-3	443.573,8	4.482.073,5
SR-4	444.150,2	4.481.927,4
SR-5	444.264,1	4.481.895,9
SR-6	444.380,4	4.481.872,8
SR-7	444.495,7	4.481.841,7
SR-8	444.566,6	4.481.825,0

SONDEO	COORDENADAS	
	X	Y
SR-D	445.111,5	4.481.711,2
SR-9	445.237,4	4.481.684,1
SR-9BIS	445.238,4	4.481.686,0
SR-10	445.275,7	4.481.677,6
SR-11	445.304,7	4.481.671,9
SR-11BIS	445.303,2	4.481.671,8
SR-E	445.412,2	4.481.637,9

Tabla 12. Sondeos recopilados

PENETROS	COORDENADAS		PENETROS	COORDENADAS	
	X	Y		X	Y
P-214	443.554,7	4.482.092,7	P-18	444.566,6	4.481.824,6
P-B	443.572,0	4.482.078,4	P-19	444.602,5	4.481.833,1
P-215	443.584,6	4.482.079,8	P-20	444.623,6	4.481.827,7
P-216	443.612,3	4.482.070,2	P-21	445.109,9	4.481.718,1
P-217	443.642,0	4.482.057,8	P-22	445.186,0	4.481.700,6
P-218	443.672,2	4.482.046,1	P-23	445.351,3	4.481.662,6

Tabla 13. Ensayos de penetración dinámica recopilados

Los ensayos de penetración los efectuó la empresa SGS entre los meses de diciembre de 2009 y enero de 2010. Las coordenadas de los emplazamientos se adjuntan a continuación:

PENETROS	COORDENADAS		PENETROS	COORDENADAS	
	X	Y		X	Y
P-D	442.884,2	4.482.106,9	P-219	443.708,1	4.482.034,4
P-G	442.902,4	4.482.136,1	P-220	443.734,1	4.482.024,8
P-E	442.929,6	4.482.168,0	P-221	443.763,2	4.482.016,4
P-H	442.953,1	4.482.190,9	P-222	443.800,3	4.482.007,5
P-F	442.974,3	4.482.204,6	P-1	444.093,3	4.481.942,0
P-I	442.997,4	4.482.221,3	P-2	444.124,8	4.481.934,7
P-200	443.135,1	4.482.226,5	P-3	444.150,5	4.481.927,5
P-201	443.167,7	4.482.224,1	P-4	444.176,4	4.481.913,6
P-202	443.198,6	4.482.220,5	P-5	444.205,7	4.481.909,5
P-203	443.226,7	4.482.212,9	P-6	444.234,4	4.481.902,2
P-204	443.255,6	4.482.201,9	P-7	444.263,9	4.481.898,0
P-205	443.285,0	4.482.191,6	P-8	444.291,6	4.481.890,4
P-206	443.322,2	4.482.178,1	P-9	444.321,7	4.481.884,7
P-A	443.338,6	4.482.167,8	P-10	444.350,4	4.481.848,5
P-207	443.344,3	4.482.169,1	P-11	444.380,4	4.481.872,8
P-208	443.372,5	4.482.159,1	P-12	444.409,0	4.481.865,6
P-209	443.401,9	4.482.147,9	P-13	444.437,2	4.481.857,2
P-210	443.432,7	4.482.137,6	P-14	444.467,4	4.481.849,2
P-211	443.462,2	4.482.126,8	P-15	444.495,7	4.481.841,5
P-212	443.491,4	4.482.116,4	P-16	444.517,5	4.481.835,4
P-213	443.524,7	4.482.103,8	P-17	444.546,3	4.481.827,9

• **Investigaciones geotécnicas en ejecución en el Proyecto Básico**

Se analizaron las carencias detectadas en la información geotécnica previa en las distintas unidades de obra elementales objeto de estudio en el Proyecto Básico, proponiéndose nuevas investigaciones **complementarias** en ejecución.

En el ámbito de determinadas actuaciones, en algunos casos el número de investigaciones previas consultadas son escasas o bien se encuentran a bastante distancia o no tienen el alcance necesario para dar unas recomendaciones adecuadas de cara la redacción del Proyecto de Construcción. Por tales motivos, se ha propuesto la ejecución de una campaña geotécnica complementaria en el Proyecto básico en base a las necesidades de cada una de las actuaciones estudiadas. Las investigaciones propuestas se indican a continuación:

- Cuatro (4) sondeos mecánicos con recuperación de testigo.
- Tres (3) ensayos de penetración dinámica.
- Siete (7) calicatas, tres (3) de ellas calicatas manuales en vía.
- Un (1) sondeo corto con recuperación de testigo.
- Tres (3) taladros con máquina HILTI.

▸ Sondeos

Para un adecuado conocimiento geológico-geotécnico se están ejecutando un total de cuatro (4) sondeos. La profundidad propuesta para los sondeos es de 20 m. En la siguiente tabla resumen se indica la denominación de dichos sondeos, coordenadas aproximadas, profundidad y objeto de estudio:

SONDEOS	COORDENADAS UTM		Objeto de estudio	PROF. (m)	MUESTREO		
	X	Y			MI	SPT	TP
S-1	442.845	4.482.020	Retranqueo muro existente	20	5	5	1
S-2	443.916	4.481.736	Viaducto	20	5	5	2
S-3	443.953	4.481.728	Viaducto	20	5	5	1
S-4	445.015	4.481.721	Ampliación Paso Inferior	20	5	5	2
TOTAL				80	20	20	6

Tabla 14. Sondeos en ejecución

▸ Ensayos SPT, muestras inalteradas y testigos parafinados

Se están realizando ensayos de resistencia del terreno en el interior de los sondeos, con su correspondiente toma de muestra (SPT, Muestras Inalteradas y Testigos parafinados) según la cadencia expuesta a continuación.

Se realizará una muestra inalterada MI y un ensayo SPT de forma alterna, cada 2,00 metros o cambio de litología.

Es muy importante tomar muestras inalteradas de todas las litologías observadas. En caso de aparecer rellenos muy heterogéneos y caóticos (restos de botellas, latas, etc.) no se considera necesario tomar muestra.

Cuando no sea posible la toma de muestras inalteradas o ensayos SPT, se tomarán testigos parafinados.

▸ Calicatas

Para completar el conocimiento geológico-geotécnico de algunas de las actuaciones proyectadas en el Proyecto Básico, están realizando un total de siete (7) calicatas, de las cuales tres (3) de ellas en vía de forma manual, denominadas como CV-X.

En la siguiente tabla resumen se indica la denominación de las calicatas propuestas, coordenadas aproximadas y objeto de estudio:

CALICATAS	COORDENADAS UTM		Objeto de estudio
	X	Y	
C-1	442.865	4.482.080	Nueva plataforma y posible muro asociado
C-2	442.940	4.482.181	
C-3	443.506	4.481.106	Estudio plataforma existente
C-4	443.880	4.481.989	
CV-1	443.056	4.482.248	Espesor banquetta balasto en paso bajo A-1
CV-2	445.205	4.481.694	Espesor capas plataforma existente
CV-3	445.299	4.481.683	

Tabla 15. Calicatas en ejecución

Salvo en las calicatas en vía, cuyo objetivo es únicamente conocer los espesores de la banquetta de balasto y resto de capas de la plataforma existente, se tomarán muestras en el resto de las calicatas para su posterior ensayo en laboratorio.

Además de las calicatas propuestas, se tomará muestra en saco del relleno existente entre los PK 1+360 y 1+720 aproximadamente, dado que se excavará durante las obras y por lo tanto se ha considerado necesario tomar muestra para su análisis en laboratorio y poder evaluar su reutilización.

▸ Ensayos de penetración dinámica

Para completar el conocimiento geológico-geotécnico de algunas de las actuaciones proyectadas, se están realizando un total de tres (3) ensayos de penetración dinámica tipo DPSH.

En la siguiente tabla resumen se indica la denominación de los ensayos de penetración dinámica propuestos, coordenadas aproximadas y objeto de estudio:

ENS. PENETRACIÓN DIÁMICA	COORDENADAS UTM		Objeto de estudio
	X	Y	
P-1	443.506	4.481.106	Estudio plataforma existente
P-2	443.880	4.481.989	
P-3	444.220	4.481.904	Muro de contención

Tabla 16. Ensayos de penetración dinámica en ejecución

▸ Sondeo corto

Para evaluar la plataforma existente se está ejecutando de un (1) sondeo corto de 3 m de profundidad, donde se tomarán muestras alteradas del propio testigo obtenido para su posterior ensayo en laboratorio. En la siguiente tabla se indica su denominación, coordenadas aproximadas y objeto de estudio:

SONDEO CORTO	COORDENADAS UTM		Objeto de estudio
	X	Y	
SC-1	444.805	4.481.776	Estudio plataforma existente

Tabla 17. Ensayos de penetración dinámica en ejecución

▸ Taladros estructurales

Para determinar el espesor de la losa superior y vía en placa del tramo final, se están realizando tres (3) taladros mediante HILTI. En la siguiente tabla resumen se incluye su denominación, coordenadas aproximadas y objeto de estudio:

TALADROS	COORDENADAS UTM		Objeto de estudio
	X	Y	
HLT-1	442.845	4.482.020	Estudio losa superior
HLT-2	445.639	4.481.611	Espesor vía en placa tramo final
HLT-3	445.007	4.481.520	

Tabla 18. Taladros estructurales en ejecución

▸ Ensayos de laboratorio

Sobre las muestras del terreno que se obtengan en los sondeos y calicatas propuestos se realizarán una serie de ensayos de laboratorio que permitan la correcta comprensión geológica – geotécnica del área

de estudio. A modo de estimación se recogen en la siguiente tabla resumen las mediciones de ensayos de laboratorio propuestos:

UNIDAD	ENSAYOS DE LABORATORIO	MEDICIÓN
Ud.	Apertura, descripción y preparación de muestra de suelo para cualquier tipo de ensayo	50
Ud.	Determinación de los límites Atterberg.	50
Ud.	Determinación de granulometría por tamizado.	50
Ud.	Ensayo de compresión simple en suelos.	10
Ud.	Ensayo triaxial CU, sobre muestra inalterada, con consolidación previa, rotura sin drenaje y medida de presiones intersticiales.	6
Ud.	Ensayo de colapso.	5
Ud.	Determinación de presión de hinchamiento.	7
Ud.	Ensayo Proctor modificado.	5
Ud.	Determinación C.B.R. de laboratorio, sin incluir Proctor.	5
Ud.	Determinación cuantitativa de sulfatos solubles.	9
Ud.	Determinación cuantitativa de materia orgánica por el método del permanganato potásico.	9
Ud.	Acidez Baumman-Gully. EHE Anejo 5.	4
Ud.	Determinación del contenido de yesos en un suelo	5
Ud.	Contenido de sales solubles, sin incluir el yeso, en un suelo	5
Ud.	Análisis químico completo de agua, para determinar su agresividad. (EHE)	4

Tabla 19. Ensayos de laboratorio estimados en el Proyecto Básico

3.2. Caracterización geotécnica de los materiales

La amplia cantidad de trabajos de índole civil realizados en la localidad de Madrid ha permitido recopilar gran cantidad de información geotécnica acerca de las formaciones que componen el subsuelo de la zona. La compilación de estos datos por parte de numerosos autores da lugar a una extensa bibliografía técnica que recoge parámetros geotécnicos que en muchos de los casos representan con bastante fidelidad el comportamiento real del terreno.

Para caracterizar el terreno en estudio se dispone, aparte de información bibliográfica, de los datos facilitados por las campañas geotécnicas anteriormente descritas, y realizadas para el estudio de la línea de Cercanías entre Chamartín y la T-4 y el Proyecto Constructivo de Acceso UIC al Aeropuerto de Barajas.

Comparando los datos de campañas previas con aquellos facilitados por las publicaciones consultadas, se obtiene considerable coherencia entre ambos. Por lo que en los diferentes cálculos desarrollados en el presente documento se adoptan los parámetros propuestos en las siguientes publicaciones:

- › “Procedimientos de diseño geotécnico y parámetros a tener en cuenta en los proyectos de las obras de ampliación del metro de Madrid”, MINTRA.
- › “Propiedades geotécnicas de los suelos de Madrid”, J.M. Rodríguez Ortiz.

A continuación, se indican las unidades diferenciadas, y se incluye una descripción de las mismas.

CUATERNARIO

- › Rx: Rellenos antrópicos vertidos.
- › Rxc: Rellenos antrópicos compactados.

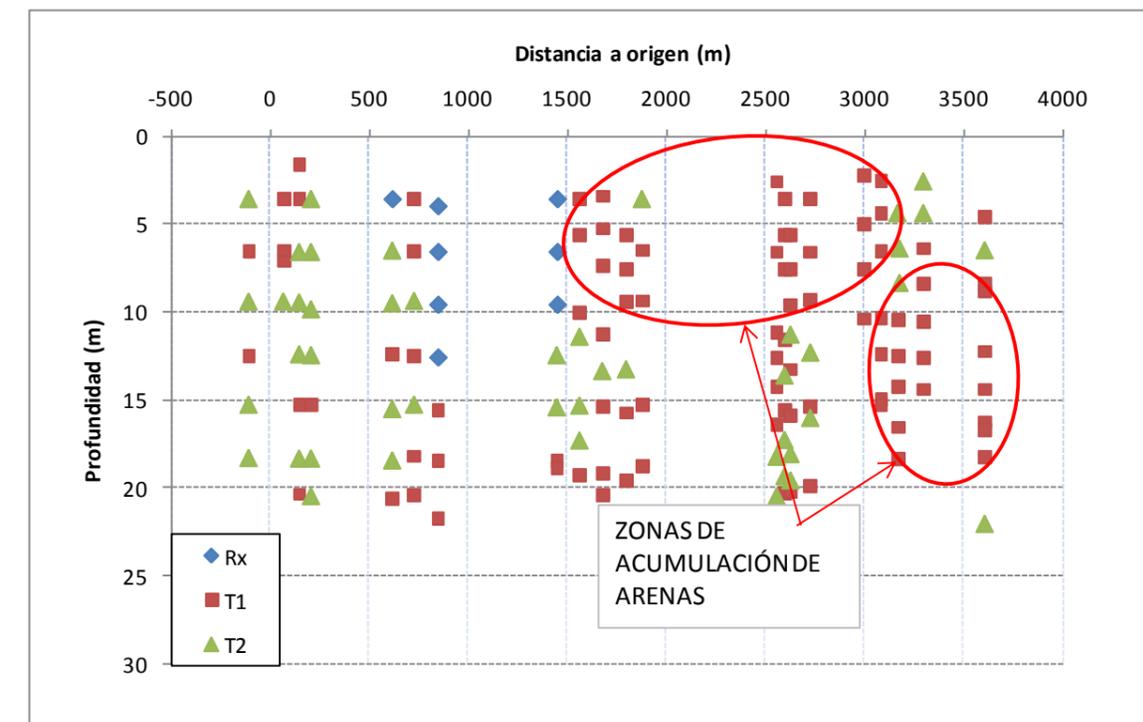
TERCIARIO. MIOCENO

- › T₁: Arenas de miga y arenas tosquizas (arcosas miocenas con la misma denominación geológica).
- › T₂: Tosco arenoso y tosco (arcosas arcillosas con la misma denominación geológica).

Se dispone de los ensayos de laboratorio procedentes del Proyecto de Construcción: “Cercanías de Madrid. Acceso ferroviario al Aeropuerto de Barajas. Tramo I”. Intecsa-Inarsa, 2006, del documento “Investigación geotécnica del acceso ferroviario Chamartín- Aeropuerto de Barajas T-4. (Madrid)”. Geocisa, abril 2010 Y del el Proyecto Constructivo de Acceso UIC al Aeropuerto de Barajas de Ineco de 2012.

Se han tratado conjuntamente los datos de las campañas a fin de obtener una imagen global del terreno.

Como se indica en el capítulo geológico del presente documento, la diferenciación geológica- geotécnica de los suelos detríticos de Madrid se puede realizar en función de su granulometría. Según el contenido en finos de cada muestra obtenido en el laboratorio, se incluye a continuación una figura con la distribución de cada unidad geotécnica en el tramo a cielo abierto del trazado, representándose su distancia al origen y su profundidad con respecto a la superficie del terreno.



El gráfico viene a confirmar el carácter heterogéneo de las facies detríticas de la cuenca de Madrid, donde el tránsito entre formaciones se debe fundamentalmente a ancanalamientos de cauces o mantos de arroyada difusa que dan lugar a cuerpos con geometrías lentejonares. Otra forma geométrica frecuente son los cambios verticales u horizontales de facies debidos a la progradación de unas facies sobre otras.

La figura muestra como en la vertical de un mismo punto se suceden estratos cohesivos y granulares con espesores irregulares, que van desde niveles decimétricos-métricos, hasta potentes estratos de carácter decamétrico.

Cabe destacar dos acumulaciones de arenas significativas (T1): la primera, entre el p.k. 1+500 hasta 3+000 comprendida entre la superficie y los 10m de profundidad; y la segunda, entre el p.k. 3+000 a 3+500 entre los 10 y los 20m de profundidad.

La mayor concentración de rellenos antrópicos (RX) se ha detectado entre la p.k. 0+800 a 2+000, alcanzándose espesores máximos superiores a los 10m entre la p.k. 0+800 a 1+500.

La diferenciación de estos rellenos con el sustrato se ha realizado mediante inspecciones visuales en el material recuperado por los sondeos, y mediante la diferente compacidad que presentan en los ensayos de penetración. La toma de muestras sobre los rellenos vertidos se ha centrado en las zonas de mayor acumulación de estos depósitos y siempre con un intervalo de muestreo inferior al de las formaciones miocenas.

De los parámetros geotécnicos obtenidos en los estudios realizados, se resumen en la siguiente tabla los valores considerados a efectos de cálculo:

Síntesis Geotécnica (Parámetros Medios)		Cuaternario	Terciario-Mioceno			
		Relleno	Arena de Miga	Arena Tosguiza	Tosco Arenoso	Tosco
Golpes (N_{SPT} y N_{MI})		<10	56	>40	>40	>40
D. Seca (g/cm^3)		1,8	1,89	1,91	1,9	1,87-1,90
Humedad (%)		15	9	11	12	15
Granulometría	Grava	15	5	0	0	0
	Arena	50	79	70	54	31
	Finos	35	16	30	46	69
L. Atterberg (%)	L. Líquido	38	31	32	35	37
	I. Plasticidad	15	11	12	12	14
C. Simple (kg/cm^3)		1,2	3	3,5	4,5	5,5
Cohesión (C' - kg/cm^2)		0	0,05 (0,1>10 m)	0,15-0,20	0,2-0,35	0,30-0,40
Rozamiento (ϕ' -°)		Are-28 Arc-22	35	33	32	30
Mód. Deformación (Em - kg/cm^2)	<10 m (carga-descarga)	80-100	400-700	450-900	500-1300	700-1700
	>10 m (carga-descarga)		600-1000	700-1500	750-1600	750-1800
Coef. Poisson (ν)		0,35	0,3	0,3	0,3	0,3
Químicos	Carbonatos	6	0,44			
	Sulfatos	0,9	0,02	0,03	0,03	0,03
	M. Orgánica	1,5	0,26	0,52	0,21	0,23
(*) P. Hincham. (Kg/cm^2)			0,0-0,3	0,02	0,25	0,5
(*) Hincham. Libre (Kg/cm^2)			0,01	0,3	0,68	1,8
(*) Hum. Proctor Mod. (%)			6,9	9,43	12,1	16,2
(*) Dens. Proctor Mod. (t/m^3)			2,05	2,05	1,96	1,78
(*) Permeabilidad (cm/s)			1,61E-02	5,64E-04	6,60E-06	

(*) Datos estimados

Estos parámetros se consideran conservadores, ajustados a los valores obtenidos en la zona de Proyecto y contrastados con datos de experiencias en la zona y serán reajustado con los datos del Proyecto Básico en ejecución.

3.3. Clasificación de la Explanada y Espesor de la Capa de Forma

La explanada ferroviaria, conformada por el terreno donde apoya la capa de forma o capas suprayacentes, está principalmente condicionada por la composición y características geotécnicas del terreno donde apoya, y a las condiciones hidrogeológicas que presenta.

Casi la totalidad del trazado del eje Chamartín está constituido en la parte superficial, por material de relleno estructural de espesor variable; también a lo largo del trazado

se localizan algunas zonas aisladas con presencia de dichos materiales, aunque en su mayor parte han sido retirados para la ejecución del Plan Parcial de Valdebebas.

Los materiales del sustrato pertenecen a la unidad terciaria (T), constituida por la serie detrítica de Madrid (Arena de Miga, Tosco y los términos intermedios de la serie). Predominan los materiales detríticos gruesos de consistencia relativa muy densa y a los tosquizos de compacidad dura y baja-media plasticidad.

Según la Norma UIC-719R, la clasificación de la explanada se define con la información de la clasificación del material que la compone. Las características se resumen en la siguiente tabla.

Unidades		Clasificación				
		U.S.C.S.	H.R.B.	PG-3	UIC-719R	
					Material	Plataforma
Relleno (R)	Arena con Grava	No utilizable				
Terciario (T)	Arena de Miga	SC-SP	A-2-6 (0)	Adecuado	QS2-QS1	P2
	Arena Tosquiza	SC	A-4	Tolerable	QS1	P2-P1
	Tosco Arenoso	SC-CL	A-4 y A-6 (2)	Tolerable	QS1	P-1
	Tosco	CL	A-6 (9)	Tolerable Inadecuado	QS1	P1

La calidad de los materiales que componen la plataforma en toda su extensión se clasifica como QS1. En la siguiente tabla se indican los espesores de capa de forma que es necesario disponer en función del tipo de plataforma.

Material		Plataforma		
Descripción	Clasificación	Calidad exigida	Calidad	Espesor mínimo (cm)
Suelo orgánico y vertidos	QS0			
Suelo con finos >20%	QS1	P1	QS1	-
		P2	Suelo tratado	93
			QS2	55
			QS3	40
Suelo con finos entre el 5-15%	QS2 (QS3)	P2	QS2	-
		P3	QS3	40
Suelos con finos <5%	QS3	P3	QS3	-

Todos los materiales procedentes de la excavación podrán utilizarse para núcleo de terraplenes. Los materiales excedentes de obra se enviarán a vertederos autorizados que cuenten con todos los requisitos legales necesarios. Determinados rellenos se realizarán con materiales de aportación.

Para el presente Proyecto, se están realizando investigaciones en el Proyecto básico para determinar la correcta la ejecución de vía sobre plataforma con balasto en todo el tramo a cielo abierto (mayor parte del eje Chamartín, hasta el tramo soterrado) y vía en placa para el tramo subterráneo. El tramo a cielo abierto se sitúa en su totalidad sobre la plataforma existente, caracterizada mediante calicatas y penetraciones dinámicas, con la sección del terreno indicada en los registros de las calicatas.

Según los datos obtenidos y la clasificación del suelo, se determinará la necesidad de capa de forma o no en la siguiente fase.

3.4. Tierra vegetal

Al tratarse de una zona con gran desarrollo urbanístico, el espesor de tierra vegetal es muy reducido o prácticamente inexistente en la gran mayoría del trazado. A efectos de medición se ha considerado un espesor de 5 cm. Si se cuenta con zonas libres de construcciones urbanas se considerará un espesor de tierra vegetal de 30 cm.

3.5. Estudio de desmontes

La zona de proyecto abarca un área de suave morfología en donde los desniveles son prácticamente inexistentes, este hecho sumado a que el trazado propuesto discurre en todo momento adyacente a la actual plataforma del Cercanías conlleva que las obras de tierras (desmontes y rellenos) sean muy reducidas en número y dimensiones, incluso habiéndose realizado en su mayoría para dar acomodo a la línea de Cercanías.

El único desmonte a realizar en proyecto consiste en un pequeño retaluzado de la margen derecha al comienzo del ramal. Se recomienda mantener la pendiente actual 3H: 2V. El material a excavar es un relleno antrópico vertido (RX). La altura máxima del desmonte son unos 8 m, aunque, dado que hay espacio para ello, se recomienda descabezar el desmonte retirando las tierras de su coronación en la medida de lo posible.

3.6. Estudio de rellenos

Durante las obras de ejecución de la línea de Cercanías se construyeron un buen número de los rellenos requeridos por el actual trazado UIC, siendo objeto del proyecto actual únicamente el diseño de dos rellenos con las características que se describen a continuación:

Relleno entre los pp.kk. 1+310 y 1+350

Se trata de un recrecido del actual terraplén de la vía ferroviaria. La altura máxima del relleno proyectado es de 6.1m, y se recomienda realizarlo con idéntica pendiente a la actual: 3H:2V.

El relleno será de tipo terraplén con un material de tipo tolerable.

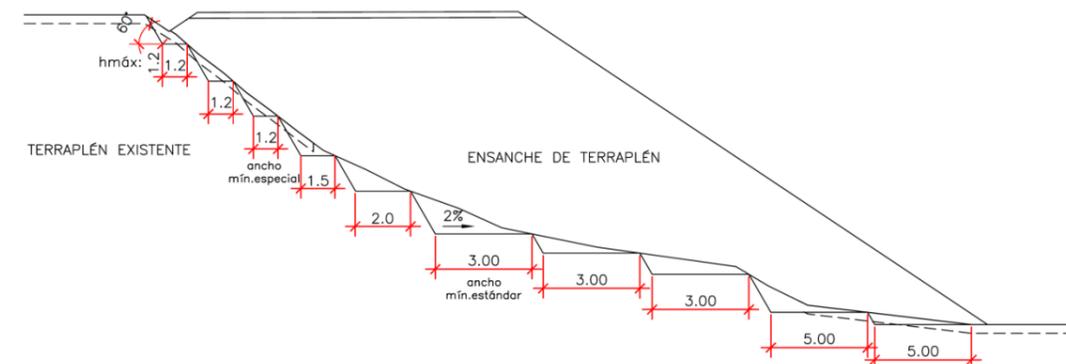
Para obtener una buena unión entre el terraplén de nueva ejecución y el existente se escalonará la superficie de contacto entre ambos con el fin de evitar la formación de un posible plano de debilidad en la superficie de contacto.

En concreto, esta medida se materializará en la excavación de banquetas o escalones de una anchura mínima de 3,0 m, con un talud de 55° de inclinación entre escalones y una altura máxima de cada escalón de 1,20 m. Como caso excepcional en aquellos puntos en los que no sea posible compatibilizar el ancho mínimo indicado de 3,0 m con la altura máxima de 1,20 m, se podrá reducir el ancho hasta un mínimo de 1,20 m, siempre que se cumpla que el ancho del terraplén añadido en ese punto, incluyendo la banqueta o escalón, sea superior a 5,0 m.

Con el fin de evitar la erosionabilidad del terreno por los agentes atmosféricos, el escalonado de las pendientes no deberá llevarse a cabo hasta el momento preciso y en las condiciones oportunas para reducir al mínimo el tiempo de exposición, salvo que se recurra a protecciones de dicha superficie.

Es conveniente que el escalonamiento se realice con una pendiente del 2% en el sentido que permita la evacuación del agua y evite posibles encharcamientos.

En la siguiente figura se puede apreciar el escalonamiento que debe realizarse, según las indicaciones dadas, en un terraplén tipo que apoya sobre otro existente.



Este pequeño relleno podría realizarse también, como el siguiente, al abrigo de un muro de contención para minimizar la ocupación

Relleno entre los pp.kk. 1+350 y 1+710

Es un relleno a realizar al abrigo de un muro contención, de manera que se ve limitado por el derrame existente de la línea de Cercanías y por el mencionado muro. La altura máxima de relleno está en torno a los 5.5m.

Para minimizar los empujes contra el muro además de para garantizar una buena unión con el terraplén existente y reducir así la posibilidad de asentos diferenciales entre ambos rellenos es conveniente una correcta ejecución del relleno. El material constituyente debe ser un suelo adecuado o seleccionado y compactado, al menos, al 98% del Próctor Normal.

Teniendo esto en cuenta, los parámetros para estimar empujes en el muro serían los siguientes:

- Densidad Aparente: 20 kN/m³
- Cohesión Efectiva: 0.0 kPa
- Ángulo de Rozamiento: 30°

La unión con el terraplén existente se debe realizar con las mismas consideraciones que las indicadas en el caso del relleno anterior.

3.7. Geotecnia de cimentación de estructuras

AMPLIACIÓN P.I INGENIERO EMILIO HERRERA (ANTERIOR AVDA.ALCALDE CONDE DE MAYALDE)

Para soportar la plataforma ferroviaria en la ampliación a su paso sobre la Avda. Ingeniero Emilio Herrera se proyecta un paso inferior que se sitúa en prolongación del marco actualmente existente. La ampliación y ancho del tablero es de unos 12m de ancho en este punto del trazado.

Dada la existencia de espesores de relleno importantes se requiere una cimentación por pilotaje, por lo que debe preverse que la maquinaria de pilotes

pueda trabajar desde la cota de inicio de los mismos. Para ello se diseñan unos muros de plataforma que habrán de ejecutarse sobre el terreno natural y rellenarse previamente, junto con unas pantallas de micropilotes para contener la excavación en los bordes del terraplén actual. De esta forma se contienen tanto el desmonte como el terraplén necesario para la plataforma provisional.

En los terraplenes de la línea contiguos a un estribo de estructura es necesario diseñar una zona de transición de rigidez, a fin de reducir el riesgo de asentos diferenciales. Esto se consigue ejecutando las capas de terraplén al aproximarse a la estructura, en longitud decreciente a medida que sube el terraplén (formando “cuña”), con un material granular de las condiciones fijadas en el Pliego PGP 2008 de Adif, ya sea tratado con cemento (MT) o sin tratar (MG).

MURO PILOTADO

Para la contención de tierras de la ampliación de la plataforma ferroviaria se ha definido **un muro pilotado**. Este muro se adapta a la geometría del derrame de tierras entre la ampliación del paso inferior anterior y el muro existente del P.K 1+705,944.

La cimentación del muro es profunda, mediante un encepado de pilotes. Se conforman dos alineaciones de pilotes de diámetro $\varnothing 800$ mm, separadas 2.40 m en el sentido transversal, dejando un vuelo a cada lado de 0.25 m.

Parámetros geotécnicos recomendados

A continuación, se incluye una tabla con los parámetros geotécnicos recomendados en la publicación de MINTRA “Procedimientos de diseño geotécnico y parámetros a tener en cuenta en los proyectos de las obras de ampliación del metro de Madrid”.

UNIDAD GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA	γ_{ap} (t/m ³)	ϕ' (°)	c' (t/m ³)	E_{carga} (t/m ²)	$E_{descarga}$ (t/m ²)
R _x	Rellenos antrópicos vertidos	1.20-1.60	25-28	0.00-0.05	400-600	500-800
T ₁	Arena de miga	1.80-1.95	33-38	0.50-2.00	5.500-18.000	5.000-12.000
T ₁	Arena tosquiza	1.80-1.93	32-35	1.00-5.00	8.000-25.000	6.000-15.000
T ₂	Tosco arenoso	1.75-1.88	30-34	2.00-8.00	12.000-35.000	6.000-18.000
T ₂	Tosco	1.70-1.85	28-32	6.00-15.00	15.000-55.000	10.000-22.5000

Y estos son los propuestos por J.M. Rodríguez Ortiz en la publicación “Propiedades geotécnicas de los suelos de Madrid”

UNIDAD GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA	γ_{ap} (t/m ³)	ϕ' (°)	c' (t/m ³)	$E_{descarga}$ (t/m ²)	K_h (t/m ³)
R _x	Rellenos antrópicos vertidos	1.80	28.0°	0.0	800-1.000	2.000
R _{xc}	Rellenos antrópicos compactados	2.00	33.0°	1.0	3.500-4.500	8.000
T ₁	Arena de miga	2.00	35.0°	0.5-1.0	5.500-7.500	15.000
T ₁	Arena tosquiza	2.05	33.0°	1.0-1.5	8.000-10.000	15.000
T ₂	Tosco arenoso	2.08	32.5°	2.0-2.5	13.000	25.000
T ₂	Tosco	2.10	30.0°	3.0-4.0	15.000-18.000	30.000

Para los futuros cálculos se aproximan estos valores recopilados, se han adoptado los siguientes parámetros dentro del rango recogido en la bibliografía.

UNIDAD GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA	γ_{ap} (t/m ³)	ϕ' (°)	c' (t/m ³)	c_u (t/m ²)	E_{carga} (t/m ²)	$E_{descarga}$ (t/m ²)	K_h (t/m ³)
R _x	Rellenos antrópicos vertidos	1.85	28°	0.2	-	550	1.100	2.000
R _{xc}	Rellenos antrópicos compactados	2.00	33°	1.0	-	-	-	8.000
T ₁	Arena de miga	2.10	36°	0.5	-	7.500	15.000	15.000
T ₁	Arena tosquiza	2.10	35°	2.0	-	5.500	11.000	15.000
T ₂	Tosco arenoso	2.10	34°	3.0	3.330	7.500	15.000	25.000
T ₂	Tosco	2.10	28°	9.0	3.330	9.000	18.000	30.000

3.8. Agresividad

Se analiza la agresividad del suelo y del agua freática al hormigón, remarcándose las siguientes conclusiones:

- **Rellenos antrópicos vertidos (R_x):** Una de las seis muestras analizadas presenta agresividad fuerte (Q_c) por sulfatos.
- **Rellenos antrópicos compactados (R_{xc}):** No se dispone de datos, pero se les presupone una agresividad nula al estar confeccionados por materiales de las unidades T₁ y T₂.
- **Arena de miga y arena tosquiza (T₁):** la totalidad de las muestras presentan valores nulos de sulfatos o muy bajos. No presentan agresividad.
- **Tosco arenoso y tosco (T₂):** la totalidad de las muestras presentan valores nulos de sulfatos o muy bajos. No presentan agresividad.

La única muestra de agua que ha resultado agresiva por sulfatos está en contacto con la unidad T₁, en una zona muy localizada del proyecto coincidiendo con la ubicación actual del telescopio y del edificio transformador eléctrico objeto de ampliación. El resto de los niveles freáticos existentes a lo largo del trazado no tienen afección química sobre el hormigón.

Se recomienda el empleo de cementos sulfuresistentes en los hormigones en contacto con el agua freática en la zona del edificio transformador.

La heterogeneidad de la unidad geotécnica RX no permite establecer un tipo de exposición global a lo largo del trazado, por lo que se recomienda realizar un estudio localizado en cada actuación para determinar su agresividad. Concretamente la cimentación del muro y del paso inferior del entorno del p.k. 1+350 afecta un importante espesor de rellenos, requiriendo un estudio detallado. Este se está investigando con la campaña en ejecución del Proyecto Básico.

4. Estudio de materiales

4.1. Condiciones exigibles a los materiales

Se incluyen a continuación las prescripciones a cumplir por los materiales que conforman las diferentes capas del terraplén.

- Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares para los proyectos de plataforma (pgp-2011 v2), de Adif

Los requisitos a cumplir por los materiales para obras del ADIF, se encuentran recogidos en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares para los Proyectos de Plataforma (PGP-2011 V2), de ADIF, concretamente en el apartado G0104 (Rellenos), G0106 (Capa de forma) y G0107 (Subbalasto), criterios que han sido adoptados para la elaboración del presente documento.

Prescripciones de los materiales para rellenos

A continuación, se exponen las características necesarias de los materiales a utilizar.

Antes de iniciar la explotación de un determinado desmonte o préstamo cuyo material se vaya a destinar a la formación de rellenos, se procederá a una primera caracterización del mismo mediante los siguientes ensayos:

- Granulometría. (UNE 103-101)
- Estabilidad frente al agua (NLT-255).
- Durabilidad (SDT, "Slake durability test" NLT-251).

Si estos ensayos indican de manera fehaciente que:

- El porcentaje, en peso, de partículas que pasen por el tamiz veinte (20) UNE será inferior al treinta por ciento (30%) y el porcentaje que pase por el tamiz 0,080 UNE sea inferior al diez por ciento (10%), estando el tamaño máximo comprendido entre diez y cincuenta centímetros (10-50 cm).

- No existe material (ensayo NLT-255) que sumergido en agua durante veinticuatro horas (24 h) manifieste fisuración o experimente pérdida de peso superior al dos por ciento (2%).
- No existe material cuya durabilidad (ensayo SDT) sea inferior al setenta por ciento (70%).

Entonces el material tendrá la consideración de pedraplén. En caso contrario, el material será calificado de terraplén o "todo-uno".

A efectos prácticos, en el Pliego PGP 2011, el tratamiento que se dará a los rellenos tipo terraplén o tipo todo uno será conjunto.

Terraplenes

MATERIALES A EMPLEAR EN CIMIENTO DE TERRAPLENES

El material a colocar en la base o cimiento de terraplenes podrá ser:

- Análogo al del núcleo (con las restricciones que más adelante se exponen).
- Con características de refuerzo.
- Con características de drenaje.

En el primer caso deberá tenerse en cuenta si existen condiciones de posible saturación y si es así, el contenido de finos inferiores al tamiz 0,080 UNE se limitará al quince por ciento (15%), prolongando esta exigencia en el núcleo hasta una altura de dos metros (2 m) por encima de la cota del terreno natural (o del relleno del saneo si lo hubo).

Para la función de refuerzo en zonas con problemas de inestabilidad (capacidad portante o compresibilidad) podrán emplearse materiales tratados con ligantes hidráulicos, interposición de geotextiles o materiales adecuados del tipo siguiente:

- Tamaño máximo 80 - 400 mm (no mayor del 40% del espesor de la capa)
- Cernido tamiz nº 4 20 - 50%
- Cernido tamiz nº 40 < 30%
- Finos < 0,080 UNE < 8%

Cuando el cimiento deba ser permeable o drenante, se aplicarán las especificaciones indicadas para pedraplenes, hasta una cota de cincuenta centímetros (50 cm) por encima de la altura considerada inundable, con rocas no sensibles al agua, coeficiente de Los Ángeles inferior a treinta y cinco (35) y contenido de finos menor de cinco por ciento (5%). En este caso se tendrá en cuenta la posible contaminación si el terreno de apoyo es limoso o arcilloso, dando un espesor amplio a la capa (no menos de sesenta centímetros (60 cm)) o colocando una transición o geotextil con funciones de filtro.

MATERIALES A EMPLEAR EN EL NÚCLEO Y CORONACIÓN DE TERRAPLENES

Los materiales a emplear en el núcleo de los terraplenes serán suelos o materiales todo uno, exentos de materia vegetal y cuyo contenido en materia orgánica degradable sea inferior al uno por ciento (1%).

El contenido de sulfatos será inferior al cinco por ciento (5%), si bien la Dirección de Obra podrá admitir suelos con un contenido de sulfatos de hasta el quince por ciento (15%), siempre que se impida la entrada de agua tanto superficial como profunda mediante una coronación y espaldones impermeables.

El material empleado en el núcleo cumplirá, como mínimo, las condiciones siguientes:

- Límite líquido inferior a cuarenta (40).
- Si el límite líquido es superior a cuarenta (40) e inferior a sesenta y cinco (65), el índice de plasticidad será mayor del setenta y tres por ciento del límite líquido menos veinte (IP > 0,73 (LL-20)).
- Asiento en el ensayo de colapso (NLT 254) inferior al uno por ciento (1%).
- Densidad máxima en el ensayo Proctor Modificado superior a un kilogramo setecientos cincuenta gramos por decímetro cúbico (> 1,750 kg/dm³).
- El índice CBR será superior a cinco (5) y el hinchamiento, medido en dicho ensayo, será inferior al uno por ciento (1%). Para valores de hinchamiento medio superiores al 1% e inferiores al 2%, sin que ningún ensayo supere el 3%, la utilización del material podrá ser autorizada por la Dirección de Obra, siempre que el material se coloque a más de dos metros bajo la cota de

coronación del terraplén y que su compactación hasta la densidad exigida se efectúe con un contenido de humedad superior al óptimo Proctor.

- Cuando existan condiciones de posible saturación, se limitará el contenido de finos.

A continuación, se incluye una tabla con las prescripciones de ADIF para núcleo:

CARACTERÍSTICAS	ARTÍCULO G-0104: RELLENOS (PGP – 2011)			
	APTOS		ESPECIALES	
	Valor de referencia	Valor extremo	Valor de referencia	Valor extremo
GRANULOMETRÍA	Pasa por tamiz 200 <25% Tmax 30cm	-	-	
PLASTICIDAD	Para espaldones LL<40 LL < 40 o Si 40 < LL < 65 entonces IP > 0,73 (LL-20)	LL < 40 o Si 40 < LL < 70 entonces IP > 0,73 (LL-25)	LL < 85	LL < 90
DENSIDAD PROCTOR MÍNIMA				
CBR	≥ 5	> 4	≥ 3	> 2.5
% HINCHAMIENTO	≤ 2% En edómetro al 100PM (*)	<2.5% En edómetro al 100PM(*)	≤ 2% En edómetro al 100PN(*)	<2.5% En edómetro al 100PN(*)
ASIENTO DE COLAPSO	≤ 1 % al 95%PM(*)	< 1.5 % al 95%PM(*)	≤ 2 % al 95%PN(*)	< 2.5 % al 95%PN(*)
MATERIA ORGÁNICA	≤ 1 %	< 2 %	≤ 4 %	< 5 %
SULFATOS	≤ 2.5 %	< 3.5 %	≤ 10 %	< 12 %
SALES SOLUBLES DISTINTAS DE YESOS	≤ 1%	<1.5%	≤ 2 %	< 3 %

(*) Se utiliza el material que pasa por el tamiz 2

En la coronación del terraplén se dispondrá un material de mejor calidad cumpliendo las siguientes limitaciones:

- Límite líquido inferior a cuarenta (40).
- Tamaño máximo inferior a diez centímetros (10 cm).

- El cernido por el tamiz 0,080 UNE será inferior al cuarenta por ciento (40%) en peso en la fracción de material inferior a sesenta milímetros (60 mm) (tamiz 60 UNE). Al igual que se indicó anteriormente, este porcentaje no será superior al quince por ciento (15%) cuando existan condiciones de posible saturación. Estas condiciones se cumplirán en muestras tomadas en el material después de compactado.

El tamaño máximo no podrá superar los dos tercios (2/3) del espesor de tongada.

A continuación, se incluyen las prescripciones de ADIF para coronación:

CARACTERÍSTICAS	ARTÍCULO G-0104: RELLENOS (PGP – 2011)
GRANULOMETRÍA	-El cernido por el tamiz 0,080 UNE será inferior al 40% en la fracción de material inferior a 60mm. En caso de posible saturación será inferior a 15%. -Tamaño máximo inferior a 10cm -Tamaño máximo inferior a 2/3 el espesor de la tongada
PLASTICIDAD	LL < 40
DENSIDAD PROCTOR MÍNIMA	
CBR	> 10
% HINCHAMIENTO LIBRE	<2% En edómetro
ASIENTOS	< 1 %
SULFATOS	< 2.5 %
SALES SOLUBLES DISTINTAS DE YESOS	<1%

Cuando en el cimientado del terraplén haya de disponerse una capa drenante como la definida en el apartado anterior, se dispondrá entre esta capa y el núcleo del terraplén una zona de transición de al menos un metro (1 m) de espesor, con objeto de establecer un paso gradual entre ambos materiales, debiéndose verificar entre dos (2) tongadas sucesivas las siguientes condiciones de filtro:

$$(I_{15}/S_{85}) < 5; (I_{50}/S_{50}) < 25; (I_{15}/S_{15}) < 20$$

Siendo I_x la abertura del tamiz por el que pasa el $x\%$ en peso de material de la tongada inferior y S_x la abertura del tamiz por el que pasa el $x\%$ en peso del material de la tongada superior.

MATERIALES A EMPLEAR EN ESPALDONES

En el caso de que la Dirección de Obra aprecie problemas de erosión en los taludes, podrá exigir la colocación de un sobrecanto de dos metros (2,0 m) (o el que considere necesario) de material con porcentaje de finos (pasantes por el tamiz cero coma cero ochenta (0,080) UNE) inferior al quince por ciento (15%).

MATERIALES A EMPLEAR EN RELLENO DE SANEOS DE FONDO DE DESMONTE

El relleno de los saneos en fondo de desmonte previstos en el proyecto debe realizarse con material que cumpla las mismas condiciones que las exigidas para la coronación de los rellenos. En el caso particular de que el suelo del fondo de desmonte sea potencialmente expansivo, el relleno del saneo se efectuará inmediatamente después de excavado éste sin dar tiempo a que se deseque, con material poco o nada permeable, previa colocación sobre el fondo rasanteado a dos aguas, de una lámina de PVC prolongada hasta zanjas de drenaje longitudinales provistas de tubo poroso, si se prevé el riesgo de entrada de agua.

MATERIALES A EMPLEAR EN EL TRASDÓS DE MUROS

Serán materiales provenientes de la traza o de préstamo cuyo porcentaje en peso pasante por el tamiz cero coma cero ochenta (0,080) UNE no supere el quince por ciento (15%), sin presencia de materia orgánica ni cloruro.

Pedraplenes

Los materiales a emplear para la construcción de pedraplenes serán productos pétreos. Queda excluida la roca de yeso.

El material deberá cumplir además las siguientes condiciones granulométricas:

- El tamaño máximo estará comprendido entre cien milímetros (100 mm) y la mitad (1/2) del espesor de la tongada compactada.
- El contenido, en peso, de partículas que pasen por el cedazo veinte (20) UNE será inferior al treinta por ciento (30%).
- El contenido, en peso, de partículas que pasen por el tamiz cero coma cero ochenta (0,080) UNE será inferior al diez por ciento (10%).

Las condiciones anteriores corresponden al material compactado. Las granulometrías obtenidas en cualquier otro momento de la ejecución tan sólo tendrán un valor orientativo, debido a las segregaciones y alteraciones que puedan producirse en el material. En los casos en los que la roca se degrade o desmorone por efecto de la compactación se aplicarán las prescripciones correspondientes al relleno normal o al “todo-uno”, según criterio del Director de Obra.

En coronación del pedraplén habrá una zona de transición de un metro (1 m) de espesor por debajo de la capa de forma, que se ejecutará según las condiciones citadas para terraplenes.

FORMA DE LAS PARTÍCULAS

Salvo autorización expresa del Director, el contenido en peso de partículas con forma inadecuada será inferior al treinta por ciento (30%). A estos efectos se consideran partículas con forma inadecuada aquellas en que se verifique:

$$((L+G)/2E)>3$$

Siendo L, G y E, los valores de la longitud, grosor y espesor, definidos según el Artículo 331 del PG-3.

OTRAS CARACTERÍSTICAS:

El coeficiente de desgaste Los Ángeles será inferior a cincuenta (50).

El coeficiente de friabilidad, según la Norma NLT-351/74, será inferior a veinticinco (25).

Las pérdidas de peso tras cinco (5) ciclos de sulfato sódico y magnésico serán inferiores al veinte por ciento (20%) y treinta por ciento (30%) por ciento respectivamente (Normas NLT-158/72 o UNE 1367).

Para facilitar la revegetación de los taludes se deberán disponer los materiales más gruesos en el núcleo del relleno mientras que los más finos se dispondrán en el borde del talud de tal forma que sirvan de sellado y faciliten la disposición de la capa vegetal.

Prescripciones de los materiales para capa de forma

- La capa de forma se interpone entre la parte superior del terraplén o pedraplén, o en su caso del desmonte, y la capa de subbalasto. Las condiciones que deben cumplir los materiales para ser útiles como capa de forma son las siguientes:
- Contenido en materia orgánica inferior al cero con dos por ciento ($MO < 0,2\%$) según UNE 103-204.
- Contenido en sales solubles en agua, incluido el yeso, inferior al cero con dos por ciento ($SS < 0,2\%$) según NLT 114.
- Tamaño máximo no superior a cien milímetros ($D_{max} \leq 100\text{mm}$).
- Cernido por el tamiz cero coma cuarenta (0,40) UNE menor o igual que el quince por ciento ($\# 0,40 \leq 15\%$) o que en caso contrario cumpla todas y cada una de las condiciones siguientes:
- Cernido por el tamiz dos milímetros UNE, menor del ochenta por ciento ($\# 2 < 80\%$).
- Cernido por el tamiz cero con cuarenta milímetros UNE, menor del setenta y cinco por ciento ($\# 0,40 < 75\%$).
- Cernido por el tamiz cero con cero ochenta milímetros UNE, menor veinticinco por ciento ($\# 0,080 < 25\%$).
- Límite líquido menor de treinta ($LL < 30$). Según UNE 103103.
- Índice de plasticidad menor de diez ($IP < 10$) según UNE 103104.
- En el caso de utilizar material procedente de cantera de roca, su coeficiente de Desgaste de Los Ángeles (UNE EN 1097-2) no será superior a treinta (30). El ensayo Micro Deval húmedo (UNE EN 1097-1) deberá dar menor o igual de veinticinco (25).
- El valor del índice CBR será superior a diez (10) para el noventa y cinco por ciento (95%) de la densidad máxima Proctor Modificado. El hinchamiento por inmersión será inferior al cero coma dos por ciento (0,2%). Para materiales más gruesos serán de aplicación los módulos de placa que se indican más adelante.

A continuación, se incluye una tabla con las prescripciones de ADIF para capa de forma:

	PGP 2011	
	VALOR DE REFERENCIA	VALOR EXTREMO
Tamaño máximo	≤10cm	≤ 12cm
Pasante por el tamiz 2 (2mm)	30 ≤ 2 mm ≤ 65%	25 ≤ 2 mm ≤70%
Contenido en finos	≤ 5%	≤ 7%
Contenido en materia orgánica	≤ 0.2%	≤ 0.3%
Índice CBR	≥ 15	≥ 8
Hinchamiento en CBR	≤ 0.2%	≤ 0.3%
Desgaste de Los Ángeles	≤30	≤ 35
Ensayo Micro Deval húmedo	≤ 25	≤ 30

Prescripciones de los materiales para subbalasto

Como subbalasto se entiende la capa superior de la plataforma sobre la que se apoya el balasto y cumplir una serie de especificaciones, como son:

- Se comprobará, mediante la Norma UNE-EN 933-5:1999, que el cien por cien (100%) del material retenido en el tamiz número cuatro (nº 4) es calificable como "triturado" y que procede del machaqueo y clasificación de piedra no caliza, extraída en cantera o en desmontes rocosos de la traza, o en yacimientos naturales de árido rodado silíceo.
- Si el material procede de un suministro exterior a la obra, deberá cumplir los requisitos del mercado CE.
- El subbalasto no podrá contener fragmentos de: madera, materia orgánica, metales, plásticos, rocas alterables, ni de materiales tixotrópicos, expansivos, solubles, putrescibles, combustibles ni polucionantes (desechos industriales).
- El contenido de materia orgánica, según Norma UNE 103204:1993, deberá ser inferior al cero con dos por ciento (0,2%) en peso, de la fracción que pasa por el tamiz número dos (nº 2).

- El contenido en sulfatos, según Norma UNE 103201:1996, deberá ser inferior al cero con dos por ciento (0,2%) en peso, de la fracción que pasa por el tamiz número dos (nº 2).

- Granulometría.

El subbalasto estará constituido por una grava arenosa bien graduada, con un pequeño porcentaje de elementos finos. El ensayo para su determinación se realizará según Norma UNE-EN933-1:1998 y el resultado deberá cumplir lo siguiente:

TAMIZ UNE	% QUE PASA (EN PESO)
40	100
31.5	90-100
16	85-95
8	65-80
4	45-65
2	30-50
0.5	10-40
0,20	5-25
0,063	3-9

- El coeficiente de uniformidad $C_u = D_{60}/D_{10}$, será mayor o igual que catorce ($C_u \geq 14$).
- El coeficiente de curvatura $C_c = D_{30}^2 / (D_{10} \times D_{60})$, estará comprendido entre uno y tres ($1,0 \leq C_c \leq 3,0$).
- El equivalente de arena, según UNE-EN 933-8:2000, será mayor de cuarenta y cinco (45), para la fracción que pasa por el tamiz número dos (nº 2).
- El coeficiente de desgaste de Los Ángeles (CLA) será inferior al veintiocho por ciento (< 28%). El ensayo se realizará según Norma UNE-EN 1097-2:1999, teniendo en cuenta lo especificado en su Anexo A.

- El coeficiente Micro-Deval Húmedo (MDH) será inferior al veintidós por ciento (< 22%). El ensayo se realizará según Norma UNE-EN 1097-1:1997.
- El coeficiente de permeabilidad vertical del subbalasto (K), compactado al cien por cien (100%) de la densidad máxima del Proctor Modificado, debe ser \leq diez elevado a menos seis metros por segundo (10^{-6} m/s). Su determinación en laboratorio se hará con permeámetro de carga variable, según del procedimiento descrito en el Anejo 3 de la Orden FOM/1269/2006. Se podrá prescindir del control de permeabilidad del material de la capa de sub-balasto, siempre que la capa subyacente cumpla condiciones de capa de forma definidas en el artículo G0106 del presente Pliego.

■

4.2. Cuadros resumen

Sobre la base de esta normativa se han elaborado una serie de cuadros, que se muestran a continuación:

- Materiales para la formación de terraplenes propuesta de nuevo texto del Artículo G-0104: “rellenos” (PGP – 2011).

Los valores serán representativos de un conjunto de al menos 8 muestras.

SUELOS	GRANULOMETRÍA	LÍMITES ATTERBERG		M.O.	% SO3	ASIENTO DE COLAPSO	SALES SOLUBLES MENOS YESOS	CBR	HINCH EN EDOMETRO
	TAMICES UNE % QUE PASA	L.L.	I.P.	(%)		(NLT-254)			
Apto para núcleo y cimiento		LL < 40	Si 40 < LL < 65 entonces IP > 0,73 (LL-20)	MO < 1%	<2.5%	<1%	<1%	>5	<2%
Especial para núcleo y cimiento		LL < 85		MO < 5%	<10%	<2%	<2%	>3	<2%
Espaldones	Pasa por tamiz 200 <25% Tmax 30cm	LL<40	Si 40 < LL < 65 entonces IP > 0,73 (LL-20)	MO < 1%	<2.5%	<1%	<1%	>5	<2%
Cimiento saturado	Pasa por tamiz 200 <15%	LL < 40	Si 40 < LL < 65 entonces IP > 0,73 (LL-20)	MO < 1%	<2.5%	<1%	<1%	>5	<2%
Cimiento drenante	Ver prescripciones de pedraplén drenante								
Cimiento reforzado	Tamaño máximo: 80 - 400 mm (no mayor del 40% del espesor de la capa) Cernido tamiz nº 4 (5mm): 20 - 50% Cernido tamiz nº 40 (0,40 mm): < 30% Finos < 0,080 UNE: < 8%	LL < 40	Si 40 < LL < 65 entonces IP > 0,73 (LL-20)	MO < 1%	<2.5%	<1%	<1%	>5	<2%
Coronación	El cernido por el tamiz 0,080 UNE será inferior al 40% en la fracción de material inferior a 60mm. En caso de posible saturación será inferior a 15%. Tamaño máximo inferior a 10cm Tamaño máximo inferior a 2/3 el espesor de la tongada	LL < 40		MO < 1%	<2.5%	<1%	<1%	>5	<2%
Capa de forma	-Carecerán de elementos de tamaño superior a diez centímetros -Su cernido por el tamiz 2mm será inferior al 65% Su cernido por el tamiz 0,080 UNE será menor del cinco por ciento (5%) en peso. En caso de que LL<30 y IP <10, el material sea o plástico el contenido puede llegar hasta el 15%. En el caso de utilizar material procedente de machaqueo de rocas, su coeficiente de Desgaste de Los Ángeles no será superior a treinta (30). El ensayo Micro Deval húmedo deberá dar menor o igual de 25.			MO < 0.2%	-	-	>1.75 gr/cm3	>10	<0.2%

- Materiales para la formación de pedraplenes PGP 2011:

	GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL COMPACTADO				COEFICIENTE DE FORMA		LA	Microdeval	% pérdida sulfato magnésico
	EL TAMAÑO MÁXIMO SERÁ		% QUE PASA CEDAZO 20 UNE	% QUE PASA CEDAZO 0,080 UNE	$(L+G)/2E > 3$				
	COMO MAX.	COMO MIN.							
	(mm)	(mm)							
PEDRAPLÉN	½ Espesor capa	100	< 30	< 10	< 30 de partículas con forma inadecuada. Siendo estas aquellas que cumplan: $(L+G)/2 \geq 3E$ siendo: L = Separación máx. entre dos planos paralelos tangentes G = Ø del agujero circular min. por el que puede atravesar E = Separación min. entre dos planos paralelos tangentes	<50 Para pedraplén drenante <35	<25	<30	

- Materiales para plataformas y firmes:

ÁRIDOS	GRANULOMETRÍA	PLAST.	SULF.	DESGASTE LOS ÁNGELES	MICRO DEVAL.	Permeabilidad.	ÍNDICE DE LAJAS	TERRONES ARCILLOSOS	EQUIV. ARENA	MAT. ORG.	C.B.R.	CARAS DE FRACTURA
												(% de dos o más caras de fractura UNE 5 mm)
SUBBALASTO PGP 2011	3 a 9 % pasa #0,080 UNE	N.P.	-	< 28	<22	<10-6m/sg	-	0	> 45	<0.2	≥ 20	
SUBBALASTO BITUMINOSO												
ZAHORRA ARTIFICIAL Art 501 PG3	3 a 9 % pasa #0,080 UNE	N.P.	-	< 30	-	-	< 35	0	> 35	0	-	> 75%

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes, PG-3

Otros materiales necesarios para finalizar el movimiento de tierras son los rellenos para caminos y terraplenes a acceso a estructuras y las zahorras artificiales de los firmes. Sus prescripciones están recogidas en el PG-3 y se resumen brevemente en las siguientes tablas:

MATERIALES PARA LA FORMACIÓN DE TERRAPLENES PG-3 Art. 330									
TIPO DE SUELO	GRANULOMETRÍA TAMICES UNE % QUE PASA	LÍMITES DE ATERRBERG		M.O. (%) (UNE 103.204)	SALES SOLUBLES (%) (NLT-114)	YESO (%) (NLT-115)	ASIENTO DE COLAPSO (%) (NLT-254)	HINCHAMIENTO LIBRE (%) (UNE-103.161)	UTILIZACIÓN
		L.L. (UNE 103.103)	I.P. (UNE 103.104)						
SELECCIONADO	100% ≤ 100 mmØ y # 0.40 ≤ 15%	-	-	MO<0.2	SS< 0,2 %				CORONACIÓN: CBR>5 CIMIENTO Y NÚCLEO: CBR>3
	(si # 0.40 ≥ 15%, entonces debe darse: # 2 < 80%, # 0.40 < 75%, y # 0.080 < 25%	LL<30	IP<10						
ADECUADO	100% ≤ 100 mmØ # 2 < 80%, # 0.080 < 35%	LL < 40		MO<1	SS< 0,2 %				CORONACIÓN: CBR>5 CIMIENTO Y NÚCLEO: CBR>3
		si LL > 30	IP>4						
TOLERABLE	-	LL < 65		MO<2	Distintos al yeso < 1%	YESO < 5%	< 1 %	< 3 %	CIMIENTO Y NÚCLEO: CBR>3
		si LL > 40	IP > 0.73 (LL-20)						
MARGINAL		si LL > 90	IP < 0.73 (LL-20)	MO<5				< 5 %	NÚCLEO: CBR>3

MATERIALES PARA LA FORMACIÓN DE PEDRAPLENES PG-3 Art.331							
PEDRAPLEN	GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL COMPACTADO				COEFICIENTE DE FORMA (L+G)/2E>3	HUSO UNA VEZ COMPACTADO	
	EL TAMAÑO MÁXIMO SERÁ		% QUE PASA 20 mm UNE	% QUE PASA 0,080 mm UNE		Tamiz UNE (mm)	% que pasa
	COMO MAX. (mm)	COMO MIN. (mm)					
	900	100	< 30	< 10	< 30 de partículas con forma inadecuada. Siendo estas aquellas que cumplan: (L+G)/2≥3E siendo: L = Separación máx. entre dos planos paralelos tangente G= Ø del agujero circular min. por el que puede atravesar E = Separación min. entre dos planos paralelos tangente	220 55 14	50-100 25-50 12.5-25

CONDICIONES EXIGIBLES A LOS MATERIALES

RELLENOS LOCALIZADOS Y TODO-UNO

MATERIALES PARA RELLENOS LOCALIZADOS PG-3 Art. 332			
RELLENOS LOCALIZADOS	TIPOS DE SUELO A EMPLEAR (según PG-3 art. 330)	Valor del CBR (UNE 103502)	
		Caso general	En trasdós obras de fábrica
	ADECUADOS Y SELECCIONADOS		>10

MATERIALES PARA TODO-UNO PG-3 Art. 333								
TODO-UNO	GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL COMPACTADO	TIPO DE ROCA	DESMORONAMIENTO (NLT-255)		PIRITAS (UNE 83.120)	YESO (NLT-115)	OTRAS SALES SOLUBLES (NLT-114)	M.O.
			FISURACIÓN	PERDIDA DE PESO				
	# 0.080 < 35% y 30% < # 20 <70% ----- # 20 < 30% y # 0.080 > 10% ----- Condiciones de pedraplén con tamaño máximo < 100 mm.	ROCAS ESTABLES	NO	<2%	Ausencia	≤ 5%	≤ 1%	>2% rocas marginales
		ROCAS EVOLUTIVAS	SI	>2%	En caso contrario son marginales	5-20% solo en núcleo con espaldones >20% rocas marg.	>1% rocas marginales	

CONDICIONES EXIGIBLES A LOS MATERIALES FORMACIÓN DE EXPLANADAS

MATERIALES PARA LA FORMACIÓN DE EXPLANADAS PG-3 Art. 512 y 6.1-IC Secciones de firme											
SUELOS	GRANULOMETRÍA UNE EN 333-2			PLASTICIDAD		M.O.% UNE-103.204	SULF.% UNE –EN 1744-1	C.B.R. UNE 103.502		C.B.R. MEZCLA A 7 DIAS	RESISTENCIA A COMPRESIÓN A 7 DIAS Mpa
	T. MÁX. (80 UNE)	% pasa (2 UNE)	% pasa (0,063 UNE)	LL UNE 103.103	IP UNE 103.103 UNE 103.104			ÍNDICE	HINCH. %		
SELECCIONADO PARA E-3	100	-	< 25	< 30	< 10	MO < 0,2	-	> 20	0	-	-
SELECCIONADO PARA E-2	100	-	< 25	< 30	< 10	MO < 0,2	-	> 10	0	-	-
ADECUADO PARA E-1	100	-	< 35	<40	LL>30 IP>4	MO < 1	-	> 5	< 2	-	-
TOLERABLE	150 (< 20%)	-	-	<40	-	< 2	-	> 3	-	-	-
				<65	> (0,6 LL-9)						
SUELO ESTABILIZADO CEMENTO											
EST 1			< 50			< 2				≥ 6	-
EST 2	100	> 20			≤ 15	< 1	< 0,7			≥ 12	-
EST 3			<35	≤ 40		< 1					≥ 1,5
SUELO ESTABILIZADO CON CAL											
EST 1	100	-	≥ 15%	-		< 2	< 1			≥ 6	
EST 2					SI IP>40 mezcla en 2 etapas	< 1				≥ 12	

CONDICIONES EXIGIBLES A LOS MATERIALES

MATERIALES PARA FIRMES Y MEZCLAS BITUMINOSAS DISCONTINUAS

MATERIALES PARA FIRMES PG-3 Art. 510, 513 y 542										
ÁRIDOS	GRANULOMETRÍA UNE EN 333-2	PLASTICIDAD UNE 103.103 UNE 103.104	SULFATOS (%) UNE –EN 1744-1	DESGASTE LOS ÁNGELES UNE –EN 1097-2	C.P.A. UNE 146130	ÍNDICE DE LAJAS UNE-EN 933-3	TERRONES DE ARCILLA UNE 7133	EQUIVAL. ARENA UNE-EN 933-8	M. O. (%) UNE- 103.204	PARTICULAS TRITURADAS UNE-EN 933-5
SUELO-CEMENTO PG- 3 Art. 513	Husos SC40 y SC20	LL<30, IP<12	Total azufre ≤ 1.0 % SO ₃ ≤ 0.8%	T00 a T2<30, T3 y T4 <35 Arcenes<40	-	T00 a T2<30, T3 y T4 <35, arcenes<40	<0.25 % árido grueso <1.0 % árido fino	GC20>40 GC32>35	< 1.0	T00-T1 ≥ 70; ≥ 50; T3 y T4 ≥ 30 Arcenes T00-T1 ≥ 50 Arcenes T2-T3-T4 ≥30
GRAVA-CEMENTO PG- 3 Art. 513	Husos GC32 y GC20	T00 a T2 NP Resto LL<25, IP<6								
ZAHORRA NATURAL PG-3 Art. 510	Husos ZN 40, ZN 25 o ZN 20	N.P. LL<25, IP<6 para T4	< 0,5 % capas con cemento < 1% resto	Superior en 5 a los exigidos ZA	-	<35	0	T00 a T1 EA>40; T2 a T4 y arcenes de T00 a T2 EA>35; Arcenes de T3 y T4 EA>30	0	-
ZAHORRA ARTIFICIAL PG-3 Art. 510	Husos ZA 32, ZA 20 o ZAD 20	N.P.		T00 a T2 <30 T3, T4 y arcenes <35						T00 y T0=100% T1 y T2 ≥ 70 % T3 a T4 ≥ 50
MEZCLAS BIT. C. ÁRIDO GRUESO PG-3 Art. 542	>2 mm.		-	de ≤ 30 a ≤ 20	T00 y T0 ≥ 56 T1 a T31 ≥ 50 T32, T4 y arc. ≥ 44	T00 ≤ 20 T0 a T31 ≤ 25 T32, T4 y arc. ≤ 30	<0,5	0	0	T00-T0-T1=100 T2=90-100 T3, T4 y arcenes ≥70
MEZCLAS BIT. C. ÁRIDO FINO PG-3 Art. 542	<2 mm y >0,063 mm.	NP	-	< 25 rodadura e intermedia, < 30 base			0	> 50 la mezcla	0	≥ 75 a 100

MATERIALES PARA MEZCLAS BITUMINOSAS DISCONTINUAS EN CALIENTE PARA CAPAS DE RODADURA PG3 Art. 543							
ÁRIDOS	GRANULOMETRÍA UNE EN 333-2	DESGASTE LOS ÁNGELES UNE –EN 1097-2	C.P.A. UNE 146130	PARTICULAS TRITURADAS UNE- EN 933-5	ÍNDICE DE LAJAS UNE-EN 933-3	EQUIVAL. ARENA UNE- EN 933-8	LIMPIEZA UNE 146130
ARIDO GRUESO	> 2 mm	T00 y T0 ≤ 15 T1 y T2 ≤20 T3 T4 y Arc. ≤ 25	T00 y T0 ≥ 56 T1 a T31 ≥ 50 T32-T4 y arc. ≥ 44	T00 y T31 = 100 T32 y Arc. ≥ 90 T4≥70	T00 y T31 ≤20 T32, T4 y Arc.≤25	> 50 la mezcla	< 0.5 %
ARIDO FINO	< 2 mm > 0.063 mm.	-	-	-	-		0
POLVO MINERAL	< 0.063	T00 y T2 = 100% de proporción de polvo mineral de aportación. T3, T4 y arcenes ≥ 50% La densidad aparente del filler según NLT 176 deberá estar comprendida entre 0.5 y 0.8 gr/cm ³					

CONDICIONES EXIGIBLES A LOS MATERIALES

MATERIALES PARA HORMIGONES

MATERIALES PARA HORMIGONES (EHE Art. 28)														
ÁRIDOS	CONDICIONES FISICOQUÍMICAS							CONDICIONES FISICOMECÁNICAS					PÉRDIDA EN PESO	GRANULOM. Y COEF. DE FORMA
	Terrones de arcilla % UNE 7133:58	Partículas blandas % UNE 7134:58	Retenido # 0,063 UNE y que flota en un líquido de densidad 2 % UNE 7244:71	Compuestos de azufre referidos al árido seco % UNE 1744-1:98	Sulfatos solubles en ácidos y referidos al árido seco % UNE 1744-1:98	Cloruros referidos al árido seco % UNE 1744-1:98	Sulfuros oxidables %	Mat. Orgá. %	Equivalente de arena	Friabilidad de la arena UNE 1097-1:97	Desgaste de los Angeles UNE 1097-2:98	Absorción de agua % UNE 83133:90 83134:90	Con Sulfato Magnésico % UNE 1367-2:98	Máx. % pasa # 0,063 mm
ARIDO FINO	< 1,00	-	< 0,50	< 1,0	< 0,80	< 0,05 Hormigón armado o en masa < 0,03 Hormig. Pretensad.	0	0	75 ó 80 según la agresividad del ambiente	< 40	-	< 5%	< 15	6% según el tipo 10% de árido 15% y clase de exposición de la obra
ARIDO GRUESO	< 0,25	< 0,50	< 1,00	< 1,0	< 0,80	< 0,05 Hormigón armado o en masa < 0,03 Hormig. Pretensad.	0	0	-	-	< 40	< 5%	< 18	1% según el tipo 2% de árido.

4.3. Materiales procedentes de las excavaciones de la traza

A continuación, se realiza un análisis de los materiales afectados por las actuaciones, en función de los datos aportados por los estudios previos disponibles.

Dichos materiales a excavar, son rellenos compactados y los materiales que pertenecen casi en su totalidad a la denominada Facies Madrid, representada por depósitos predominantemente detríticos, denominados por su composición como Arena de Miga, Arena Tosquiza, Tosco Arenoso y Tosco. Todos ellos son válidos para su uso en terraplenes, pudiendo utilizarse ocasionalmente como capa de forma. Dado el excedente de materiales, podrá efectuarse una selección de los mismos

Denominación	Contenido en Finos (#200 ASTM)
Arena de Miga	<25%
Arena Tosquiza	25-40%
Tosco Arenoso	40-60%
Tosco Arenoso	>60%

Rellenos antrópicos vertidos (R_x)

Cubren la mayor parte de la zona estudiada, presentan espesores muy variables de unas zonas a otras.

Consisten generalmente en materiales heterogéneos procedentes de excavaciones, por lo que su composición es muy parecida a la del terreno natural (fundamentalmente arenas y arcillas) junto con abundantes restos de materiales antrópicos como ladrillos, hormigones y balasto.

Aunque granulométricamente y por plasticidad cumplen como un suelo tolerable, no se dispone de los ensayos restantes para clasificarlo como tal. A este respecto hay que añadir que se recomienda la retirada a vertedero de estos materiales debido su heterogeneidad y a la alta concentración de residuos antrópicos que presenta.

Está previsto un retaluzado entre los pp.kk. 0+070 y 0+098. El material a excavar se corresponde con rellenos antrópicos vertidos (R_x), clasificados como suelo marginal no apto para su reutilización en obra y que debe ser destinado a vertedero.

Rellenos antrópicos compactados (R_{xc})

Se trata de los terraplenes de las actuales vías de comunicación, no se dispone de muestras para su clasificación. Al tratarse de rellenos dispuestos en obra bajo un cierto control, se presupone que se tratan como mínimo de un suelo tolerable, si bien es conveniente su análisis antes de su reutilización.

Los materiales de **Relleno de origen Estructural**, están constituido por gravas con arenas y arcillas. Su clasificación, según USCS es GP-SC, y según PG3 son suelos Adecuados. La N.R.V. 2-1-0.0 lo clasifica como QS2-QS3. Estos materiales constituyen el cimiento, núcleo y coronación de los terraplenes de carreteras y FF.CC. existentes. Estos materiales podrán reutilizarse, aunque dada la posibilidad de contaminación, se recomienda utilizar como núcleo de terraplenes.

Arena de Miga y arena tosquiza (T₁)

La arena de miga está formada por arenas cuarzo-feldespáticas de grano medio. Las arenas tosquizas son arenas finas a medias, de colores beige-anaranjados, arcillosas, muy densas.

En la zona de proyecto, la granulometría presenta valores máximos cercanos, evidentemente, al 40%, mientras que los mínimos rondan el 6%, siendo el valor medio alcanzado del 22%. El contenido en gravas es inexistente en algunas muestras, siendo el valor medio del 16% y el máximo igual a 63%.

En cuanto a la plasticidad de la fracción fina, el límite líquido oscila entre valores máximos próximos al 40% y mínimos en torno al 22%; el índice de plasticidad es ciertamente variable, con máximos del 21% y mínimos del 3%.

Aunque no se ha determinado la materia orgánica en todas las muestras, esta ofrece un máximo del 1.00%, con una media de 0.27%. Los cuatro ensayos de

sulfatos solubles no sobrepasan el 0.04%. El contenido de sales solubles no ha sido determinado, aunque es de esperar que sea relativamente bajo en base a los datos bibliográficos recopilados sobre ellos.

Atendiendo a la distribución granulométrica y a la plasticidad, el 6% de las muestras se clasifican como suelo seleccionado y el 21% como adecuado, siendo el resto tolerable; no obstante, al no disponerse de suficientes ensayos químicos, se rebaja, en fase proyecto, la clasificación de los suelos seleccionados a adecuado, pudiendo mantenerse la categoría en obra tras efectuar el correspondiente estudio.

La *Arena de Miga* se caracteriza por su granulometría gruesa, su escasa proporción de finos (<25%) y sus tonalidades ocre y amarillentas. Suele presentar secuencias granodecrescentes y aspecto masivo, con intercalaciones de pequeños niveles de espesor centimétrico con mayor proporción e incluso predominio de materiales finos de naturaleza arcillosa y limo-arcillosa.

La *Arena Tosquiza*, de carácter lenticular, está constituida por arenas cuarzo-feldespáticas de grano medio-fino, con contenido de finos entre el 25% y el 40%. Al igual que la *Arena de Miga*, presentan intercalaciones con proporción variable de finos.

Tosco arenoso y tosco (T₂)

Se ha denominado tosco arenoso a arenas muy arcillosas o arcillas muy arenosas, que presentan un porcentaje en finos del 40 al 60%. Presentan una coloración marrón-ocre.

El tosco está formado por arcillas arenosas con contenido en finos superior al 60%, con coloración marrón–ocre.

Estos materiales presentan un aspecto más homogéneo que las litologías más arenosas, los cambios laterales de unos términos a otros son frecuentes.

Su paso por el tamiz 0.08mm es superior al 35%, lo que incapacita para clasificar las muestras como suelo adecuado. Aunque todas ellas cumplen los criterios de

plasticidad de un suelo tolerable, no se dispone de ensayos químicos, hinchamiento o colapso para poder garantizar esa categoría.

No son de esperar elevados contenidos en sustancias químicas, a la vista de los datos bibliográficos; no obstante, sí se han registrado problemas de hinchamiento durante la puesta en obra de la fracción más plástica. Ante este hecho, se otorga una clasificación provisional de suelo tolerable a toda la unidad, debiendo completarse el estudio antes de su reutilización.

El *Tosco Arenoso* lo forman arenas feldespáticas de color marrón con alta proporción en arcilla-limosa (superior al 40% de finos) y arcillas muy arenosas (inferior al 60% de finos). En ocasiones intercala niveles lenticulares de Arenas Tosquizas y Tosco, de escasa continuidad. Generalmente, se trata de materiales de plasticidad media. Son prácticamente impermeables y suelen presentar alto contenido de humedad.

El *Tosco* está formado por arcillas y limos de coloración ocre y marrón, de baja y media plasticidad. Su estructura interna es masiva, con carácter lenticular e imbricaciones subhorizontales de composición variable. Al igual que el *Tosco Arenoso* intercala niveles centimétricos de arena tosquiza y *Tosco Arenoso* de grano fino, que le confieren un laminado característico.

A continuación, se definen las características de los materiales que serán excavados y su previsión en lo que a reutilizaciones se refiere, a falta de comprobación de datos en el Proyecto Básico en ejecución:

ARENA DE MIGA	H. Nat.	L. Atterberg (%)			Granulometría (%)				CO ₃ Ca	SO ₃	M.O.
	(%)	LL	LP	IP	#4	#10	#40	#200	(%)	(%)	(%)
Máximo	18	43	26	17	100	99	64	24	0,44	0,08	0,33
Mínimo	2	23	14	5	77	59	10	3	0,44	0,01	0,10
Media	9	31	20	11	95	78	30	14	0,44	0,02	0,26

Material clasificado como Apto para su uso en núcleo y cimiento de terraplenes.

ARENA TOSQUIZA	H. Nat. (%)	L. Atterberg (%)			Granulometría (%)				CO ₃ Ca (%)	SO ₃ (%)	M.O. (%)
		LL	LP	IP	#4	#10	#40	#200			
Máximo	19,4	40	27	17	100	100	92	39		0,04	0,99
Mínimo	3,6	24	16	7	83	74	41	22		0,01	0,18
Media	11,1	32	20	12	99	90	53	30		0,03	0,52

Este material se clasifica como Apto para su uso en núcleo de terraplenes.

TOSCO ARENOSO	H. Nat. (%)	L. Atterberg (%)			Granulometría (%)				CO ₃ Ca (%)	SO ₃ (%)	M.O. (%)
		LL	LP	IP	#4	#10	#40	#200			
Máximo	21,2	44	29	17	100	100	92	58		0,04	0,33
Mínimo	3,8	24	15	7	98	89	52	36		0,03	0,09
Media	12,4	35	22	12	100	96	71	46		0,03	0,21

Este material se clasifica como Apto para su uso en núcleo de terraplenes.

TOSCO	H. Nat. (%)	L. Atterberg (%)			Granulometría (%)				CO ₃ Ca (%)	SO ₃ (%)	M.O. (%)
		LL	LP	IP	#4	#10	#40	#200			
Máximo	23,9	54	33	21	100	100	99	90		0,05	0,41
Mínimo	4,2	29	19	10	100	10	58	40		0,02	0,05
Media	14,5	37	23	14	100	93	90	69		0,03	0,23

Los materiales de este grupo son Aptos, aunque serán No aptos los materiales más arcillosos para su uso en rellenos por CBR.

MATERIAL PROCEDENTE DE LAS EXCAVACIONES DE LAS CIMENTACIONES.

El material a excavar durante la ejecución de las cimentaciones de las estructuras se corresponde, en su mayoría, con rellenos antrópicos vertidos (R_{xc}), pudiendo extraerse rellenos compactados en determinadas actuaciones (R_x). El volumen de este tipo de excavaciones es ciertamente reducido.

De manera general se recomienda la retirada a vertedero de los rellenos vertidos (R_x). Las campañas geotécnicas disponibles no ofrecen datos acerca de la clasificación de los rellenos compactados (R_{xc}), sin embargo, se presupone que sean como mínimo un suelo tolerable, siendo posible su reutilización en obra.

En caso de existir excavaciones afectando al sustrato mioceno, este se clasifica de manera general como un suelo tolerable, pudiendo alcanzar la categoría de suelo adecuado algunos horizontes granulares pertenecientes a las arenas de miga o arenas tosquizas (T₁). Asimismo, se da la posibilidad que los niveles más plásticos pertenecientes al tosco (T₂) se clasifiquen como un suelo marginal.

▸ Coeficiente de paso y esponjamiento

Se denomina coeficiente de paso de cada una de las distintas unidades al número que expresa la relación entre la densidad seca del suelo en estado natural y el mismo concepto cuando el material se encuentra con un cierto grado de compactación, según la expresión siguiente:

$$C_p = \frac{\gamma_{dn}}{\gamma_{max} / G_c}$$

donde:

- C_p es el coeficiente de paso
- γ_{dn} es la densidad seca natural del material
- γ_{max} es la densidad seca máxima que puede obtenerse de ese suelo en el ensayo de compactación empleado. En este caso es el ensayo Proctor Modificado.
- G_c es el grado de compactación

El factor de esponjamiento expresa la relación entre la densidad seca del suelo en estado natural y el mismo concepto cuando es vertido sin compactar, como sucede con los materiales enviados a vertedero.

La diferencia entre ambos se basa en el grado de compactación final, adoptándose de forma general un grado de compactación de entre el 95 y el 100% para formar parte de rellenos y entre el 60-80 % para el material acumulado en vertedero (vertido, sin compactar).

Por tanto, ambos coeficientes quedan definidos de la siguiente forma:

- **COEFICIENTE DE PASO:** expresa la relación entre el volumen “in situ” y el volumen del material colocado en obra, con un grado de compactación final del 95-100 %.
- **COEFICIENTE DE ESPONJAMIENTO:** relación entre el volumen “in situ” y el volumen del material vertido sin compactar (se asume un grado de compactación final por acumulación del material del 60-80 %).

Así, ambos coeficientes se pueden calcular a partir de las densidades obtenidas en laboratorio o bien estimadas en función de datos existentes, pudiendo considerarse un grado de compactación mínimo del 95% para conformar rellenos y del orden del 70% para el acúmulo del material en vertedero.

Para el resto de los materiales, se hace uso de los datos reflejados en la tabla expuesta a continuación:

CUADRO 1.12. PARAMETROS CARACTERISTICOS DEL SUELO (1)

TIPO DE SUELO	GRANULOMETRIA		LIMITES DE ATTERBERG (Fracción <0,04 mm)			PESO ESPECIFICO		HDAD. NATURAL	PROCTOR NORMAL		DEFORMABILIDAD (2)		RESISTENCIA AL CORTE		PERM.	
	mm <0,06	mm <2,0	w _L	w _P	I _P	γ	γ _{sum}	w	D. seca	w _{PN}	E _s = E _o (σ _{at}) ^α	φ'	c'	φ' _r	K	
	%	%	%	%	%	t/m ³	t/m ³	%	t/m ³	%	E _s - kp/cm ²	α	(°)	t/m ²	m/s	
Grava	<5	<60	—	—	—	1,60	0,95	5	1,70	8	400	0,60	34	—	32	2.10 ⁻¹
Grava arenosa con pocos finos	<5	<60	—	—	—	2,10	1,15	7	2,00	7	400	0,70	35	—	32	1.10 ⁻²
Grava arenosa con finos limosos o arcillosos que no alteran la estructura granular	8	<60	20	16	4	2,10	1,15	9	2,10	7	400	0,70	35	1	32	1.10 ⁻⁵
Mezcla de gravas y arenas envueltas por finos	20	<60	20	16	4	2,00	1,05	13	1,90	10	150	0,90	28	3	22	1.10 ⁻⁸
	40	<60	50	25	30	2,25	1,30	5	2,20	5	400	0,70	35	0,5	30	1.10 ⁻¹¹
Arena uniforme																
a) Fina	<5	100	—	—	—	1,60	0,95	22	1,60	15	150	0,75	32	—	30	1.10 ⁻⁴
b) Gruesa	<5	100	—	—	—	1,90	1,10	8	1,75	10	300	0,60	40	—	32	1.10 ⁻⁵
Arena bien graduada y arena con grava	<5	60	—	—	—	1,80	1,00	11	1,90	10	200	0,70	33	—	32	5.10 ⁻⁴
						2,10	1,20	5	2,15	6	600	0,55	41	—	34	2.10 ⁻⁵
Arena con finos que no alteran la estructura granular	8	>60	20	16	4	1,90	1,05	15	2,00	13	150	0,80	32	1	30	1.10 ⁻⁵
	15	>60	45	25	25	2,25	1,30	4	2,20	7	500	0,65	40	0	32	1.10 ⁻⁷
Arena con finos que alteran la estructura granular	20	>60	20	16	4	1,80	0,90	20	1,70	18	50	0,90	25	5	22	1.10 ⁻⁷
	40	>60	50	30	30	2,15	1,10	8	2,00	12	250	0,75	32	1	30	1.10 ⁻¹⁰
Limo poco plástico	>50	>80	25	20	4	1,75	0,95	28	1,60	22	40	0,80	28	2	25	1.10 ⁻⁵
			35	28	11	2,10	1,10	15	1,80	15	110	0,60	35	0,5	30	1.10 ⁻⁸
Limo de plasticidad media a alta	>80	>100	35	22	7	1,70	0,85	35	1,55	23	30	0,90	25	3	22	2.10 ⁻⁶
			50	25	20	2,00	1,05	20	1,75	16	70	0,70	33	1	29	1.10 ⁻⁹
Arcilla de baja plasticidad	>80	100	25	15	7	1,90	0,95	28	1,65	20	20	1,00	24	6	20	1.10 ⁻⁷
			35	22	16	2,20	1,20	14	1,85	14	50	0,90	32	1,5	28	2.10 ⁻⁹
Arcilla de plasticidad media	>90	100	40	18	16	1,80	0,85	38	1,55	23	10	1,00	20	8	10	5.10 ⁻⁸
			50	25	28	2,10	1,10	18	1,75	17	30	0,95	30	2	20	1.10 ⁻¹⁰
Arcilla de alta plasticidad	100	100	60	20	33	1,65	0,70	55	1,45	27	6	1,00	17	10	6	1.10 ⁻⁹
			85	35	55	2,00	1,00	20	1,65	20	20	1,00	27	3	15	1.10 ⁻¹¹
Limo o arcilla orgánicos	>80	100	45	30	10	1,55	0,55	60	1,45	27	5	1,00	20	7	15	1.10 ⁻⁹
			70	45	30	1,90	0,90	30	1,70	18	20	0,85	26	2	22	1.10 ⁻¹¹
Turba	—	—	—	—	—	1,04	0,04	800	—	—	3	1,00	25	1,5	—	1.10 ⁻⁵
						1,30	0,30	100	—	—	8	1,00	30	0,5	—	1.10 ⁻⁸
Fango	—	—	100	30	50	1,25	0,25	200	—	—	4	1,00	22	2	—	1.10 ⁻⁷
			250	80	170	1,60	0,60	50	—	—	15	0,90	28	0,5	—	1.10 ⁻⁹

(1) Según el Grundbau-Taschenbuch, 3.ª ed. 1.ª Parte, 1980.
 (2) σ_{at} = 0,1 kp/cm²

Curso aplicado de cimentaciones (4ª ed). Rodríguez Ortiz, J.M., Serra Gesta, J., Oteo Mazo, C. 1989. Pág.32.

El material procedente de las excavaciones experimenta un esponjamiento tras ser arrancado y una disminución de volumen al ser colocado en rellenos compactados y vertederos. La relación entre el volumen ocupado por el material una vez colocado en obra y el volumen ocupado por el mismo material antes de ser excavado (terreno natural), se denomina coeficiente de paso.

Se han distinguido los coeficientes de conversión de desmonte a terraplén o todo uno; y de desmonte a vertedero. Para ello, se comparará siempre la densidad seca del terreno en su estado natural con la densidad del mismo material compactado en rellenos. Los terraplenes se compactarán, de acuerdo con el Pliego, a una densidad mínima igual al 95% de la densidad máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado. En el caso de transporte a vertedero se supondrá una compactación por vertido del 75- 80% de la especificada para los rellenos.

El coeficiente de paso en rellenos todo-uno o pedraplén viene dado por la expresión $K=1/(1-n)$, donde “n” es la porosidad del material compactado.

En rellenos del tipo todo-uno, “n” toma un valor de 0.10 a 0.15, por lo que K oscila entre 1,11 y 1.18, con valor medio de 1.15. Los materiales que podrán ser utilizados como rellenos todo-uno son los indicados procedentes de la excavación, cuya extracción se realizará por medios mecánicos.

Para el coeficiente de paso en rellenos todo-uno puede adoptarse la siguiente expresión: $C=1/(1-n)$, siendo “n” la porosidad del material compactado. En rellenos todo-uno se toma un valor de “n” que puede oscilar entre 0.10 a 0.15, con lo que “C” oscila entre 1.11 y 1.18, con valor medio de 1,15.

En la siguiente tabla se indican los coeficientes de paso obtenido para cada una de las unidades geotécnicas que se verán principalmente afectadas:

	D. Seca	D. Proctor		Coef. Paso	
		100%	95%	Terraplén	Vertedero
Arena de Miga	1,89	2,05	1,95	1,08	1,39
Arena Tosquiza	1,90	2,05	1,95	1,08	1,39
Tosco Arenoso	1,90	1,96	1,86	1,13	1,46
Tosco	1,87	1,78	1,69	1,23	1,58
Todo Uno	1,89	1,96	1,86	1,13	1,45

4.4. Materiales externos al trazado

En los alrededores del ámbito interesado, existen varias explotaciones a partir de las que podrá extraerse el volumen de material necesario para cubrir las necesidades de material.

MATERIAL PARA TERRAPLENES Y RELLENOS, CAPA DE FORMA, SUBBALASTO Y HORMIGONES.

Las graveras y areneros de la Comunidad de Madrid capaces de suministrar los materiales necesarios son numerosos. Considerando el criterio de cercanía, se ha considerado la elección de varias canteras próximas, en el sur de la Comunidad de Madrid, también se ha incluido la cantera de La Pola, situada próxima a Madrid material para capa de forma, estas son las que siguen a continuación:

TOPONIMIA	NOMBRE	EMPRESA	LOCALIZACIÓN	COORDENADAS		EMPLEO	DISTANCIA A LA OBRA
				X	Y		
C-Pola	Cantera La Pola	TARMAC-IBERIA S.A.U.	Colmenar Viejo	437.200	4.501.900	Áridos para capas granulares, para estructuras de firme, árido para hormigón.	22 km
G-1	GRAVERA "TORREBLANCA A-11"	GRAVERAS DE VELILLA, S.A.	Ventilla de San Antonio	459.573	4.468.081	Suelo seleccionado/capa de forma, terraplén y árido para hormigón	25 km
G-2	GRAVERA "ERMITA SILILLOS" DE	ÁRIDOS TOLEDO, S.A.	Arganda	453.789	4.504.078	Suelo seleccionado/capa de forma, terraplén y árido para hormigón	34 km
G-3	GRAVERA "LA ESPERILLA"	HORMICASA	Arganda	456.800	4.460.800	Suelo seleccionado/capa de forma, terraplén y árido para hormigón	34 km
G-4	GRAVERA "VALDOCARROS"	TRAMSA	Valdetorres del Jarama	465.000	4.478.500	Suelo seleccionado/capa de forma, terraplén y árido para hormigón	34 km
G-5	GRAVERA "LA RAPOSERA"	NORFESA S.L.	Valdetorres del Jarama	456.516	4.507.265	Suelo seleccionado/capa de forma, terraplén y árido para hormigón	35 km
G-6	GRAVERA "CORTIJO SALOMÓN"	STEELEY IBERIA S.A.U.	Fuente el Saz del Jarama	452.164	4.498.228	Suelo seleccionado/capa de forma, terraplén y árido para hormigón	37 km
G-7	GRAVERA "SOTOBRIONES"	TICOSA	San Martín de la Vega	453.143	4.451.879	Suelo seleccionado/capa de forma, terraplén y árido para hormigón	41 km

TOPONIMIA	NOMBRE	EMPRESA	LOCALIZACIÓN	COORDENADAS		EMPLEO	DISTANCIA A LA OBRA
				X	Y		
G-8	GRAVERA "LAS MANTECAS"	HOLCIM ÁRIDOS S.L.	San Martín de la Vega	455.377	4.457.979	Suelo seleccionado/capa de forma, terraplén y árido para hormigón	41 km
G-9	GRAVERA "SOTOPAJARES"	READYMIX ASLAND S.A.	San Martín de la Vega	455.000	4.458.500	Suelo seleccionado/capa de forma, terraplén y árido para hormigón	41 km
G-10	GRAVERA "EL SOTILLO"	GRUPOGLA	Ciempozuelos	449.171	4.441.763	Suelo seleccionado/capa de forma, terraplén y árido para hormigón	42 km

El material del subbalasto se obtendrá de canteras aptas para ello; será necesario una selección previa de tamaños y una comprobación de la validez de los ensayos disponibles (fundamentalmente ensayo de desgaste Los Ángeles y Microdeval).

A continuación, se recoge las instalaciones de fabricación de hormigón más próximas al trazado, debido al elevado número que hay en la Comunidad de Madrid, se han seleccionado las que se encuentran a una distancia máxima aproximada de 20 km:

Empresa	Localización	Teléfono/Fax	Capacidad de producción (m3/mes)	Distancia media a la obra (Km)
HOLCIM HORMIGONES	C/ Antonio Cabezón, 37 28034 Madrid	91 729 37 11	-	3,5
MORTEROS Y ÁRIDOS ESPECIALES, S.A.	C/ Tomás Redondo, s/n. Hortaleza Madrid	91 381 94 44	-	8
HOLCIM HORMIGONES	Avda. Valgrande, 5 28108 Alcobendas. Madrid	91 368 23 30	-	10
LAFARGE ÁRIDOS Y HORMIGONES, S.A.U.	C/ Arroyo de la Vega, 4-6. Pol. Ind. Alcobendas 28108 Alcobendas. Madrid OFICINAS CENTRALES: C/ Orense, 70. Madrid Tf: 91 376 98 00	91 490 55 00	-	10
HORMIGONES DEL JARAMA, S.A.	C/ Embajadores, s/n. 28012 Madrid	91 785 52 93	-	12
HOLCIM HORMIGONES	Camino de Rejas, s/n. 28821 Coslada. Madrid	91 368 23 30 91 747 46 49	-	15
CEMEX HORMIGONES	C/ Pirotecnia S/N. Pol. Ind. de Vicálvaro 28052 Madrid	91 776 66 70	8.000	15
MORTEROS Y ÁRIDOS ESPECIALES, S.A.	C/ Gamonal, 32. Pol. Ind. Vallecas 28031 Madrid	91 303 44 46	-	15

Empresa	Localización	Teléfono/Fax	Capacidad de producción (m3/mes)	Distancia media a la obra (Km)
HOLCIM HORMIGONES	Camino Hormigueras 101-103. Vallecas 28031 Madrid	91 380 07 74	8.000	15
MORTEROS Y ÁRIDOS ESPECIALES, S.A.	C/ Gamonal, 32. Pol. Ind. Vallecas 28031 Madrid	91 303 44 46	-	15
BETON CATALAN	Camino Hormigueras, 99. Pol. Ind. Vallecas 28031 Madrid	91 212 13 00 91 778 32 64	-	15
HORMICEMEX, S.A.	C/ San Fernando, s/n. 28032 Madrid	91 760 23 06	-	15
HOLCIM HORMIGONES	C/ San Tarsicio S/N. Pol. Ind. Villaverde 28021 Madrid	91 795 58 73 91 798 33 11	8.000	18
METRUM CORPORACIÓN Y DESARROLLO, SL.	C/ de las Forjas, 6 28052 Madrid	91 776 20 04	-	20
HORMIGONES BRAVO	Camino de la Veguilla s/n. 28860 Paracuellos del Jarama. Madrid	91 658 03 23 91 765 02 75	8.000	20
HOLCIM HORMIGONES	C/ La Barca S/N. Pol. Ind. de Vicálvaro 28052 Madrid	91 776 14 08	8.000	21

► Balasto

Con el objetivo de satisfacer las necesidades de balasto para el presente proyecto, el balasto a emplear deberá cumplir lo establecido en la ORDEN FOM/1269/2006 de 17 de abril y publicado en el Boletín Oficial del Estado número 103 de 1 de mayo de 2006, en la que se establece la aprobación del capítulo 6.-Balasto, del Pliego de prescripciones técnicas generales de materiales ferroviarios, que será de aplicación en el proyecto, construcción y mantenimiento de infraestructuras ferroviarias integradas en la Red Ferroviaria de Interés General.

Para obtener el balasto deberá acudir a material procedente de canteras con distintivo de calidad de ADIF y que cumplan las especificaciones requeridas para este material según la vigente normativa anteriormente mencionada.

A continuación, se expone la séptima edición del mapa de canteras de balasto en el territorio español con distintivo de calidad ADIF, actualizado en junio de 2017.

Deberá acudir a material procedente de canteras con distintivo de calidad y que cumplan las especificaciones requeridas para este material según la vigente normativa mencionada. Las más próximas al trazado en proyecto se indican a continuación:

A continuación, se incluye el mapa de canteras de balasto del territorio español con el área de estudio:

Canteras de balasto			
Denominación	Localización		Distancia traza
	Provincia	Localidad	
La Curva S.L.	Madrid	Plaza Sol, 7, 28213 Colmenar del Arroyo (Madrid). Telf.: 918 65 12 76	64 km
Aldeavieja	Ávila	Aldeavieja	87 km
El Algibe	Toledo	Almonacid de Toledo	90 km
Canteras de Ávila	Ávila	Tornadizos	116 km

Por su proximidad a la zona de proyecto, se recomienda la cantera “La Curva” para el suministro de material a las obras. Esta instalación fue tomada en consideración en el proyecto de construcción “Cercanías de Madrid. Acceso ferroviario a Barajas”.

