

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETO DE LOS TRABAJOS	3
2.	REFERENCIAS E INFORMACIÓN DISPONIBLE.....	3
2.1.	Informes y campaña geotécnica.....	3
2.2.	Estándares y códigos.....	3
3.	RESULTADOS DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO	4
3.1.	Ensayos de penetración dinámica.....	4
3.2.	Ensayos de placa de carga	4
3.3.	Ensayos de laboratorio	5
4.	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES	5
4.1.	UG-1 Cuaternario.....	5
4.2.	UG-2 Caliche: calizas margosas	5
4.3.	UG-3 Arcillas arenosas	7
4.4.	UG-4 Areniscas, conglomerados y limos.....	10
5.	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS RECOMENDADOS	12
6.	RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS PARA EL DISEÑO	12
6.1.	Agresividad del medio: suelo y agua	12
6.2.	Posición del nivel freático	13
7.	RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN.....	13
7.1.	Excavabilidad.....	13
7.2.	Desmontes.....	14
7.3.	Terraplenes	15
7.4.	Aprovechamiento de materiales	19
7.5.	Coeficiente de paso	19
7.6.	Cimentación de estructuras	20

APÉNDICES

APÉNDICE 1: RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

DOCUMENTO Nº 6
ESTUDIO GEOTÉCNICO

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DE LOS TRABAJOS

El presente estudio geotécnico tiene como objetivo conocer en detalle el comportamiento mecánico y deformable de los suelos presentes en el área del Centro Tecnológico Nokian Tyres con el fin de proporcionar el asesoramiento geotécnico adecuado para cada problema específico. En particular, se pretende estudiar los siguientes puntos:

- Estudiar el espesor, la distribución y la naturaleza de las formaciones presentes.
- Caracterización geotécnica y definición de los parámetros de cálculo.
- Condiciones de la excavación y ratio de materiales excavables con medios convencionales, ripado y voladura.
- Clasificación de los materiales excavados y posibilidades para su uso en rellenos, terraplenes, etc.
- Caracterización hidrológica de la zona. Niveles de agua subterránea.
- Agresividad del medio.
- Diseño y cálculo de estabilidad de taludes de desmontes y terraplenes. Indicar zonas problemáticas en su caso, y las medidas correctivas o de drenaje concretas.
- Definir el tipo más adecuado de cimentación de edificios y recomendaciones asociadas.
- Determinación de las presiones admisibles de las cimentaciones.

Este estudio se ha realizado de la siguiente manera:

- Ejecución de la campaña de campo y toma de muestras.
- Realización de los ensayos de laboratorio.
- Informe de resultados de la campaña geotécnica.
- Preparación del informe de geología, así como planta y perfil geológico-geotécnico.
- Realización del estudio geotécnico.

2. REFERENCIAS E INFORMACIÓN DISPONIBLE

2.1. Informes y campaña geotécnica

En primer lugar se ha consultado la siguiente documentación:

- Proyecto de Construcción "Tyre Test Track. Nokian Tyres. T. M. Santa Cruz de la Zarza (Toledo, Spain)". Realizado por la empresa Eiffage Infraestructuras (2015).
- Proyecto de Construcción: "Autopista A-40 de Castilla La Mancha. Tramo: Ocaña-Tarancón. Subtramo: Santa Cruz de la Zarza (Este) - Tarancón". Realizado por TRN Ingeniería y GTT ingeniería (2006).

Posteriormente se llevaron a cabo las campañas geotécnicas de la Fase 1 (Estudio Preliminar) y la Fase 2 (Diseño Conceptual). La siguiente tabla resume el alcance de la campaña geotécnica realizada en cada fase:

INVESTIGACIÓN	NÚMERO TOTAL	OBJETIVO
CALICATAS	Estudio Preliminar: 10	- Espesor de rellenos
	Diseño Conceptual: 24	- Cimentaciones - Taludes - Caracterización explanada
SONDEOS	Estudio Preliminar: 0	- Cimentaciones
	Diseño Conceptual: 7	- Taludes - Apoyos de rellenos
PENETRÓMETROS	Estudio Preliminar: 10	- Cimentaciones
	Diseño Conceptual: 0	- Espesores de rellenos
GEOFÍSICA	Estudio Preliminar: 1 perfil de 600 m	- Espesores de rellenos
	Diseño Conceptual: 3 perfiles (2025 m)	- Riesgos geológicos

Tabla 1. Resumen y objetivos campaña de investigación.

En la Fase actual está en redacción el Proyecto de Construcción y por lo tanto completadas las investigaciones y ensayos geotécnicos. Los resultados obtenidos confirman las predicciones y resultados de las investigaciones realizadas en fases anteriores.

2.2. Estándares y códigos

Las siguientes normativas y códigos han sido usadas para la redacción de este documento:

- Pliego de Prescripciones Técnicas generales para obras de carretera y puentes (PG-3).
- Unified Soil Classification System (USCS).

- American Association of State Highway Officials (AASHTO).
- Instrucción de hormigón estructural (EHE-2008).
- Guía de Cimentaciones en Obras de Carreteras, Ministerio de Fomento, 2002.
- Código Técnico de la Edificación (CTE-2015).
- Curso aplicado de cimentaciones (J.M Rodríguez Ortiz, 1984).
- European Symposium on Penetration Testing, ESOPT (1974).

Además, condiciones técnicas particulares y requerimientos del Cliente han sido tenidos en cuenta:

- Terms of Reference Tender Nº DS/QCBS/01/2016.

3. RESULTADOS DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO

3.1. Ensayos de penetración dinámica

En la Fase 1 “Estudio Preliminar” se realizaron 10 ensayos de penetración dinámica en la siguiente ubicación:

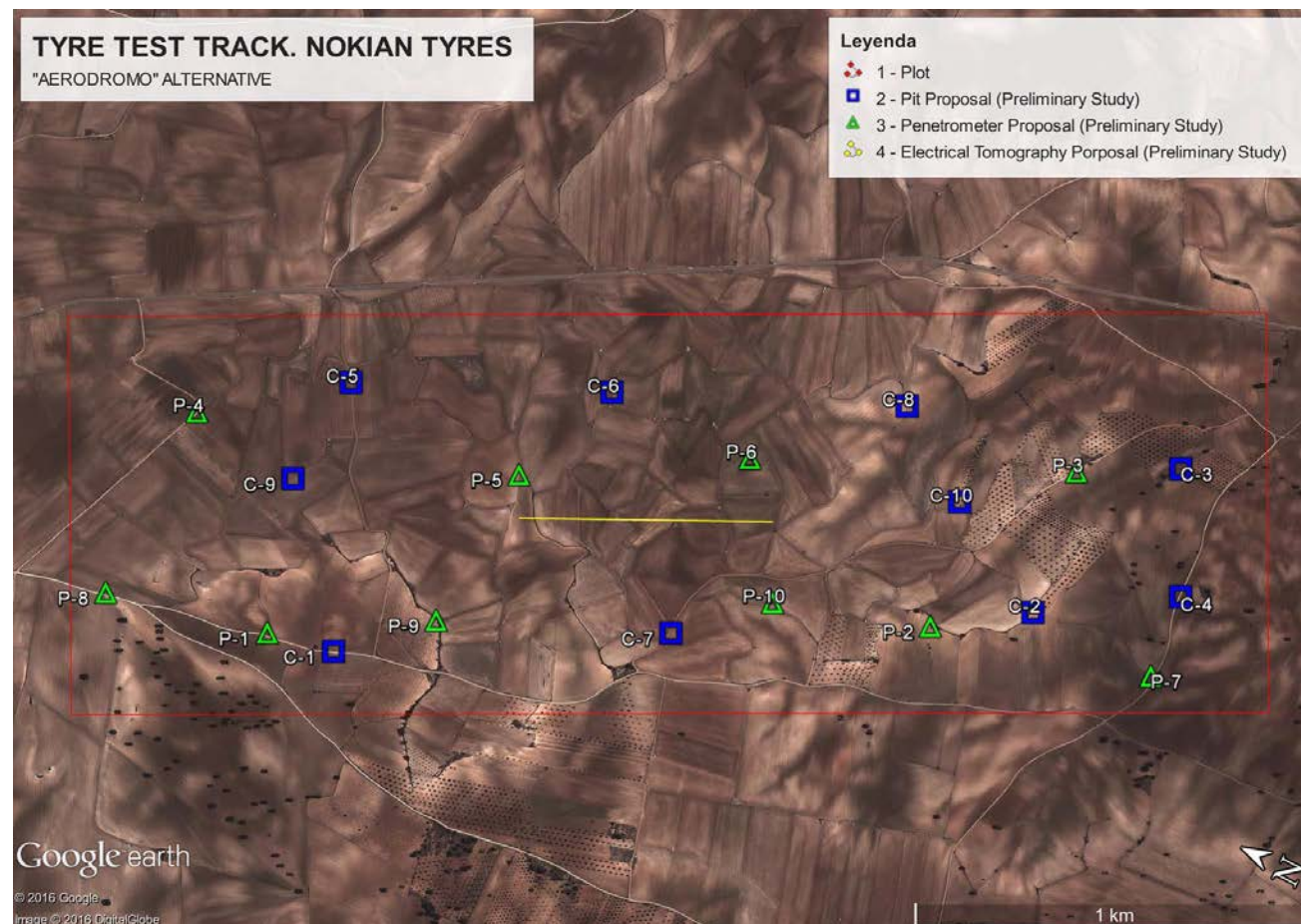


Figura 1. Ubicación ensayos de penetración dinámica de la Fase 1 Estudio Preliminar

En la siguiente tabla se incluyen las coordenadas así como la profundidad de rechazo de estos ensayos:

PENETRÓMETROS	COORDENADAS			PROF. RECHAZO (m)
	X	Y	HUSO	
P-01	485484,00	4420355,00	30 S	2,2
P-02	486474,00	4418849,00	30 S	1,0
P-03	486804,00	4418686,00	30 S	4,4
P-04	485920,00	4420738,00	30 S	1,2
P-05	486188,00	4419820,00	30 S	1,0
P-06	486614,00	4419386,00	30 S	3,8
P-07	486400,00	4418307,00	30 S	2,2
P-08	485396,00	4420749,00	30 S	0,6
P-09	485944,00	4420329,00	30 S	1,2
P-10	486258,00	4419154,00	30 S	6,4

Tabla 2. Coordenadas y profundidad de rechazo de los ensayos de penetración dinámica

En general, la profundidad de rechazo varía entre 0,6 y 2,2 m, con 3 casos puntuales con mayor profundidad de rechazo (P-03 a 4,4 m, P-06 a 3,8 m y P-10 a 6,4 m). Los rechazos más superficiales coinciden con la formación UG-2 Caliche, y en algunos casos se trata de falsos rechazos por encontrar gravas o bolos. En los registros se aprecia que la compacidad aumenta con la profundidad sin haber detectado ningún blandón.

3.2. Ensayos de placa de carga

Durante la Fase 2-Diseño Conceptual, siguiendo las indicaciones del Pliego, se han realizado ensayos de placa de carga distribuidos en caminos a lo largo de la zona de estudio. Todos los ensayos se realizaron a cota del terreno natural existente con un diámetro de placa de 30 cm.

El objetivo de estos ensayos in situ es determinar las curvas carga-asientos y, a partir de ellas, obtener la deformabilidad y la capacidad portante del suelo. De estas curvas se pueden calcular el módulo de compresibilidad E_{v1} y E_{v2} y la relación entre ellos.

PENETRÓMETROS	COORDENADAS			RESULTADO		
	X	Y	HUSO	MÓDULO DE COMPRESIB. E _{v1} (MPa)	MÓDULO DE COMPRESIB. E _{v2} (MPa)	E _{v2} /E _{v1}
PC-01	486447,00	4419218,00	30 S	78,5	214,3	2,7
PC-02	486711,00	4419819,00	30 S	70,3	180,0	2,6
PC-03	485069,00	4422061,00	30 S	128,6	254,7	2,0
PC-04	485015,00	4421153,00	30 S	47,5	119,5	2,5
PC-05	485667,00	4420098,00	30 S	83,3	190,1	2,3
PC-06	486498,00	4419904,00	30 S	82,8	207,7	2,5

Tabla 3. Ubicación ensayos de placa de carga Fase 2-Diseño conceptual

El valor medio del módulo de compresibilidad del primer ciclo ha sido de 80 MPa y del segundo ciclo 190 MPa.

La relación de módulos es en general superior a 2,2, por lo que este material superficial no se podría utilizar para la ejecución de terraplenes, según las recomendaciones del PG-3, sin su previa retirada y recompactación.

Los materiales sobre los que se han realizado estos ensayos corresponden a la formación UG-1 Cuaternario (arena limosa de color marrón rojizo con presencia ocasional, y en diversas proporciones de cantos de caliche, materia orgánica y raíces).

3.3. Ensayos de laboratorio

En el Apéndice 1 se incluyen las tablas resumen con los ensayos de laboratorio realizados en las dos fases. Se han dividido por ensayos en sondeos y ensayos en calicatas y también por unidades geotécnicas (UG-1, UG-2, UG-3 y UG-4).

4. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES

La investigación realizada, junto con los datos previos existentes y el posterior análisis de gabinete han permitido establecer una distinción entre los distintos materiales presentes en el terreno.

En este apartado se comentan las características geotécnicas de los diferentes niveles reconocidos, obtenidas en los ensayos "in situ" y de laboratorio, realizados sobre las muestras obtenidas en los sondeos durante la fase de proyecto constructivo, así como las disponibles de fases previas.

4.1. UG-1 Cuaternario

Esta unidad está constituida por tierra vegetal detectada en la mayor parte de los puntos de investigación. Está formada por arena limosa de color marrón rojizo con presencia de cantos de caliche, materia orgánica y raíces.

Las principales características geotécnicas de esta unidad son: constitución heterogénea, alto contenido de materia orgánica, alta compresibilidad, la inestabilidad y sin capacidad de soporte. Esta unidad debe eliminarse tanto para el apoyo de desmontes como para el de terraplenes.

Los espesores medios medidos en las calicatas y los sondeos realizados son de 0,4 m, presentando un espesor máximo de 1,0 m. Con los datos disponibles de espesores de tierra vegetal de los puntos de investigación, se ha obtenido un resultado de espesor medio de tierra vegetal de 50 cm.

No se han realizado ensayos en esta unidad geotécnica.

4.2. UG-2 Caliche: calizas margosas

Esta unidad está formada por calizas margosas en lajas de 2 a 3 centímetros y se sitúan de forma discordante sobre los sedimentos inferiores. Aparecen en las cotas más altas, jalonado los pequeños cerros a modo de costras calcáreas. Esta costra calcárea superficial, se encuentra muy rota por el laboreo y el aspecto del terreno es ripiosa y sensible a la erosión.

Los espesores medios medidos son de 1,0 m, encontrando valores máximos de 3,2 m.

Se han ensayado muestras en sondeos (2) y calicatas (11).

Se han realizado 12 ensayos granulométricos, con una media obtenida de porcentaje de grava/arena/finos de 48,8/27,6/23,6 (grava con bastante arena y finos):

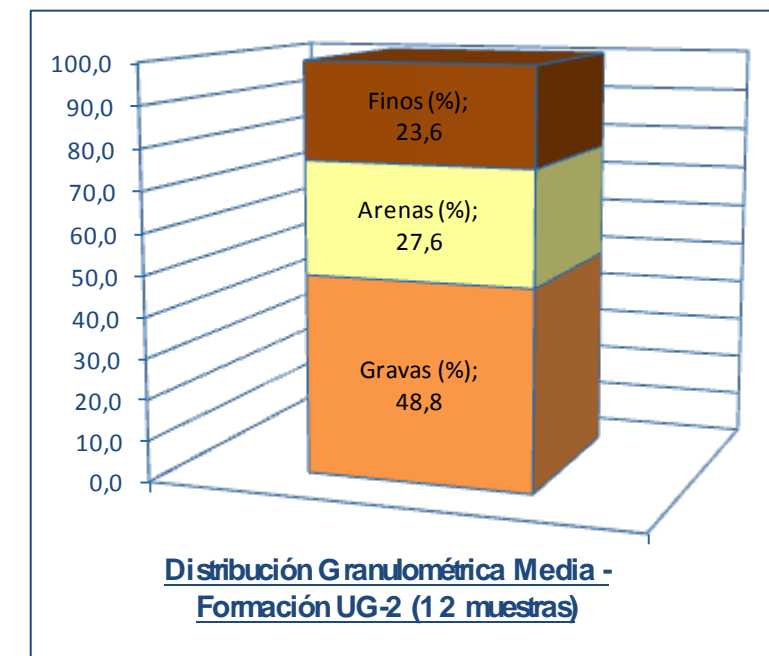


Figura 2. UG-2. Gráfico con la distribución granulométrica media

Cabe destacar que en las 2 muestras de sondeos ensayadas, el porcentaje de finos ha sido muy alto (superior al 60%). Este valor está justificado por el pequeño diámetro de perforación de los sondeos que no permiten estudiar en su totalidad la heterogeneidad del material.

Con respecto a la plasticidad, 7 de las 12 muestras han resultado ser no plásticas. El resto de resultados están representados en la siguiente figura:

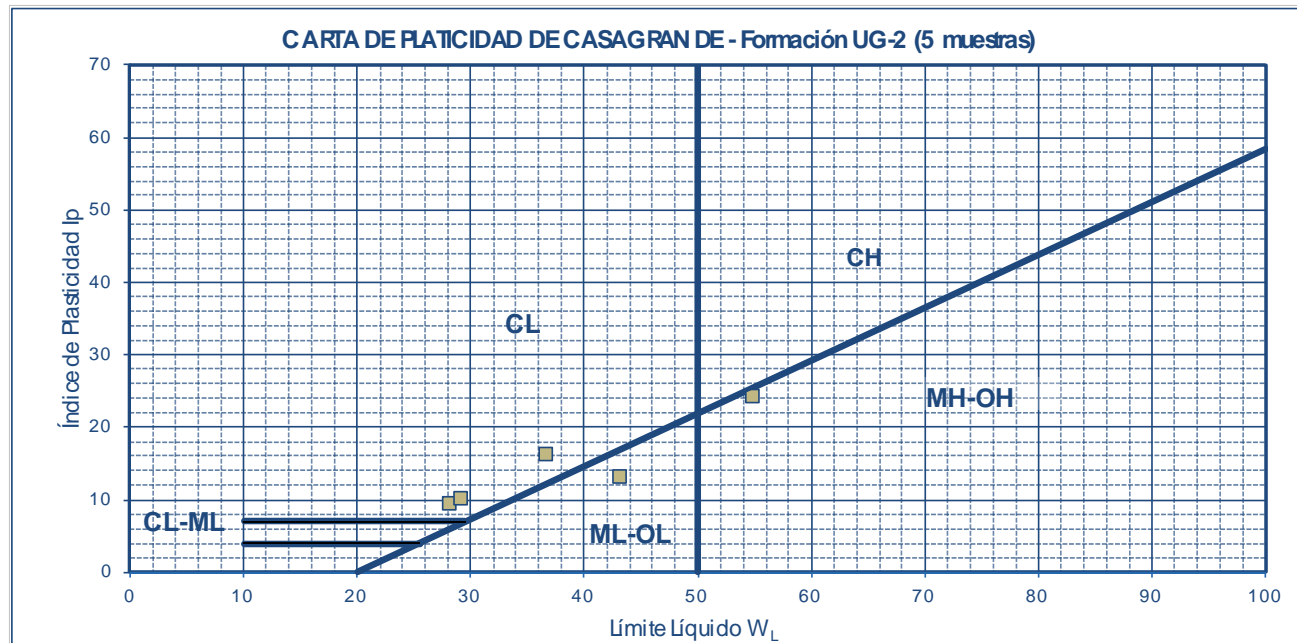


Figura 3. UG-2. Carta de plasticidad de Casagrande

Estos materiales se clasifican según el sistema USCS en un 75% como gravas (G). El 33% de las muestras se clasifican como GM-GW, es decir, principalmente son gravas limosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y limo o grava bien graduada, mezcla de grava y arena con pocos finos o sin ellos. En un 25% de las ocasiones se clasifican como GC (gravas arcillosas, mezclas mal graduadas de grava, arena y arcilla).

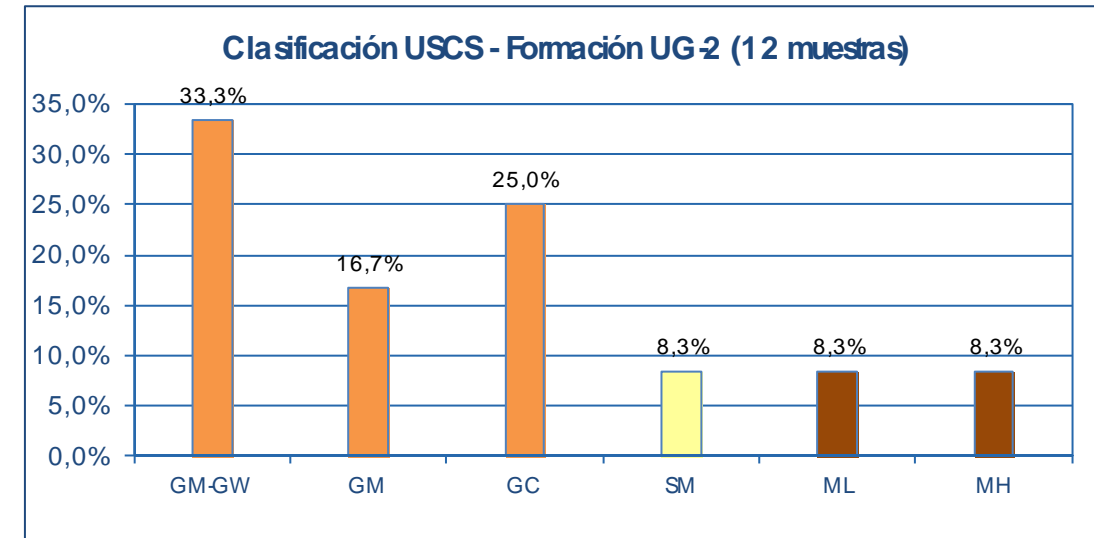
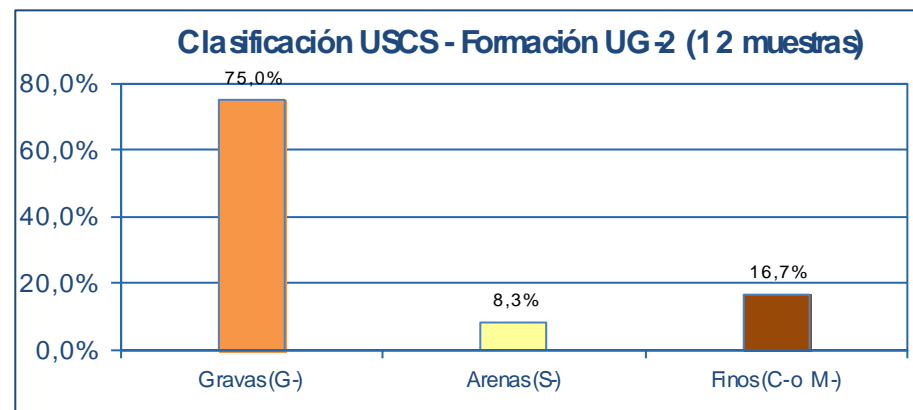


Figura 4. UG-2. Clasificación USCS

Las densidades secas varían entre 15,0 y 17,4 kN/m³. La densidad media aparente tiene un valor de 19 kN/m³. Las muestras presentan una humedad natural variable entre un 2,6% y un 26,5%, con un valor medio de 8,7%.

En los ensayos SPT efectuados en estos materiales se han obtenido golpes NSPT que han oscilado entre 30 y 50, clasificando el material como medianamente denso a denso.

El valor máximo de materia orgánica detectada en las muestras de calicatas ha sido 0,72%. El porcentaje de carbonatos varía entre 37,3 y 92,1, con un valor medio de 68,5%. No se han detectado sulfatos en las muestras de calicatas de esta formación. El valor medio de acidez de Baumann y Gully ha sido 5,9 mg/kg.

Se ha realizado un ensayo de corte directo con el siguiente resultado: ángulo de rozamiento 40,6° y cohesión 0 kPa.

Según la clasificación de suelos AASHTO, el 41,7% de las muestras estarían en el grupo A-1-a (fragmentos de piedra, grava y arena) y otro 41,7% en el grupo A-2 (grava, arenas limosas y arcillosas):

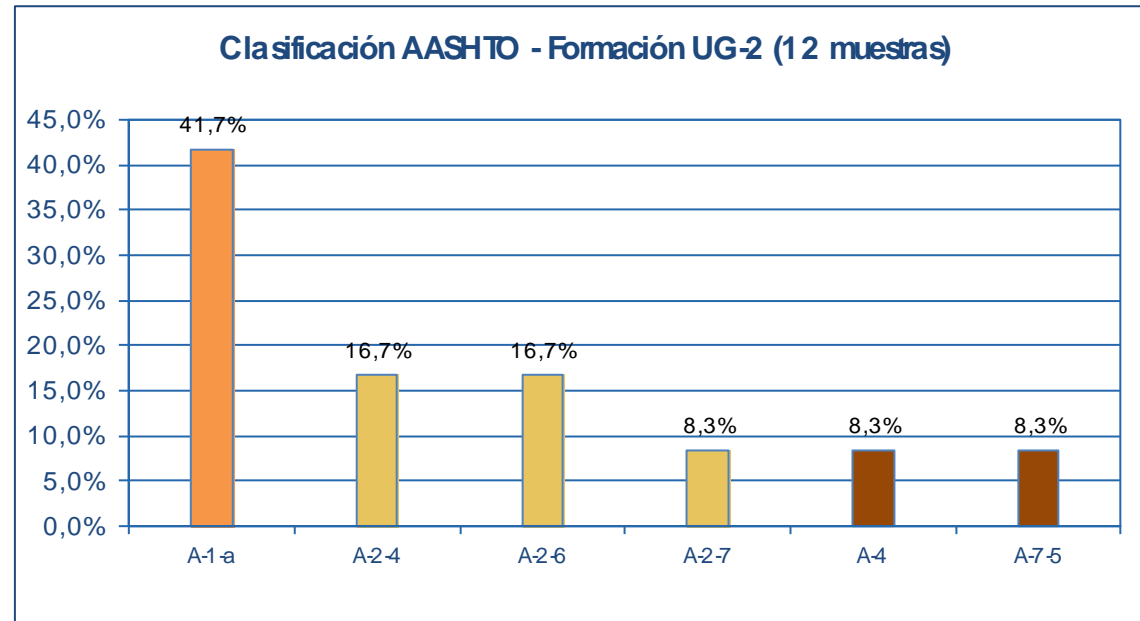


Figura 5. UG-2. Clasificación AASHTO

Para la clasificación del PG-3, se necesitan ensayos granulométricos, límites de Atterberg, ensayos químicos (materia orgánica, sales solubles, contenido en yeso), asiento en ensayo de colapso e hinchamiento en ensayo de expansión. Según el contenido en materia orgánica ($MO < 1\%$) y porcentaje de grava ($\#2 < 80\%$), se podría clasificar como adecuado. Según el contenido en finos de algunas muestras ($\#0,080 > 35\%$), se clasificaría como tolerable. Según la plasticidad de algunas muestras, el material podría ser marginal. Las distintas clasificaciones de suelos que se presentan en esta formación (adecuado, tolerable, marginal), son un reflejo de la heterogeneidad que presenta el material. Analizando en detalle los ensayos realizados, el alto porcentaje de finos en 2 muestras se justifica porque se trata de 2 muestras tomadas en sondeos que debido al diámetro de perforación, presentan mayor porcentaje de finos y no representan la generalidad del material.

Con los ensayos disponibles en esta fase, el material se puede considerar como **adecuado** cuando se utilice como material de aporte, prestando atención al porcentaje de finos y a la plasticidad del mismo.

Como para poder asignar a los suelos de la explanación o de la obra de tierra subyacente una determinada clasificación deberán tener un espesor mínimo de un metro (1 m) del material indicado y esta formación presenta espesores muy variables, no se recomienda considerarla como adecuada sino como **tolerable** para estar del lado de la seguridad.

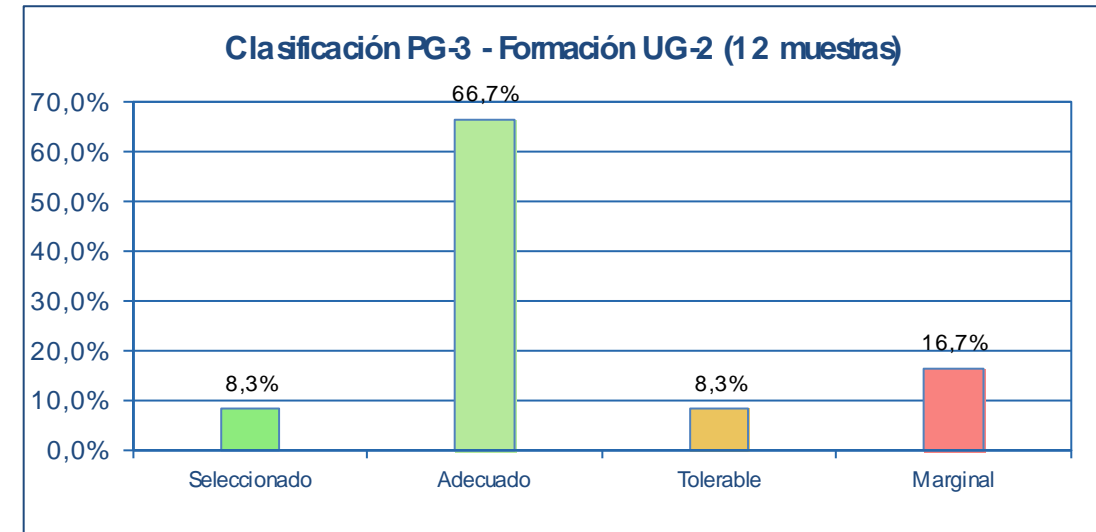


Figura 6. UG-2. Clasificación PG-3 (sin confirmar)

Se han efectuado 10 ensayos Proctor Modificado y CBR en muestras de calicatas tomadas en saco. El cuadro que sigue resume los valores obtenidos:

	PRÓCTOR MODIFICADO		CBR	
	W_{opt} (%)	$D_{máx}$ (kN/m^3)	$D_{máx}$ 95%	$D_{máx}$ 100%
MÁX.	22	18,5	44,20	78,10
MIN.	13,7	15,0	6,3	9,90
PROMEDIO	18,81	16,2	26,64	45,57
DESV. TÍPICA	2,62	1,1	12,32	22,07

Tabla 4. UG-2. Ensayos de próctor modificado y CBR.

4.3. UG-3 Arcillas arenosas

Está formada principalmente por limos arcillo-arenosos de tonalidades rojizas, con enriquecimiento de carbonato, por lo que se encuentran parcialmente cementados en superficie por carbonatos y por óxido de hierro, pudiendo englobar pequeños cantos de caliche y cuarcita. Los cantos de caliche presentan texturas angulosas y subangulosas, mientras que los clastos silíceos se muestran redondeados.

Los espesores medios medidos son de 4,7 m, encontrándose valores mínimos de 0,4 m y valores máximos de 15,2 m.

Se han ensayado muestras en sondeos (21) y calicatas (8).

Se han realizado 26 ensayos granulométricos, con una media obtenida de porcentaje de grava/arena/finos de 13,1/26,6/60,3 (arcilla con bastante arena y algo de grava):

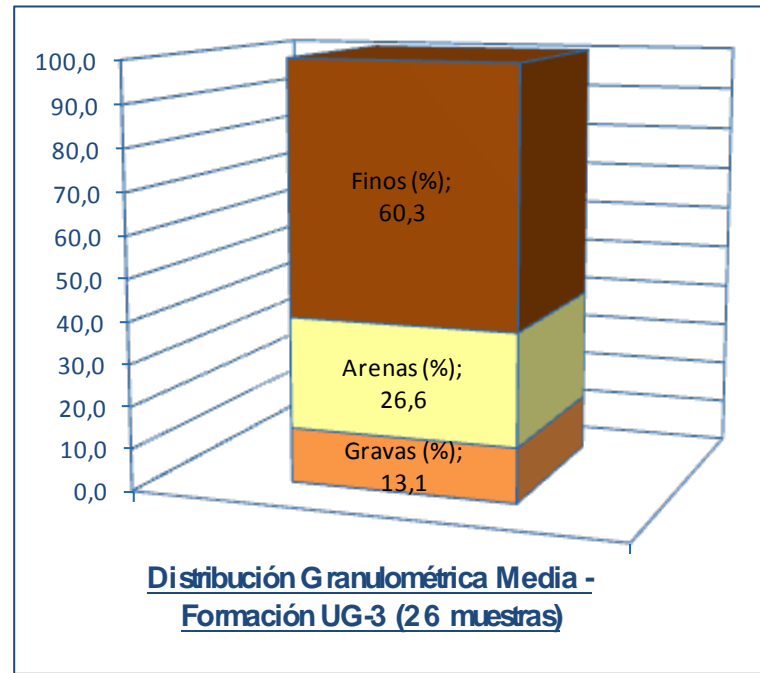


Figura 7. UG-3. Gráfico con la distribución granulométrica media

Con respecto a la plasticidad, 6 de las 26 muestras han resultado ser no plásticas. El resto de resultados están representados en la siguiente figura, clasificándose en general como arcillas de plasticidad baja a media (CL):

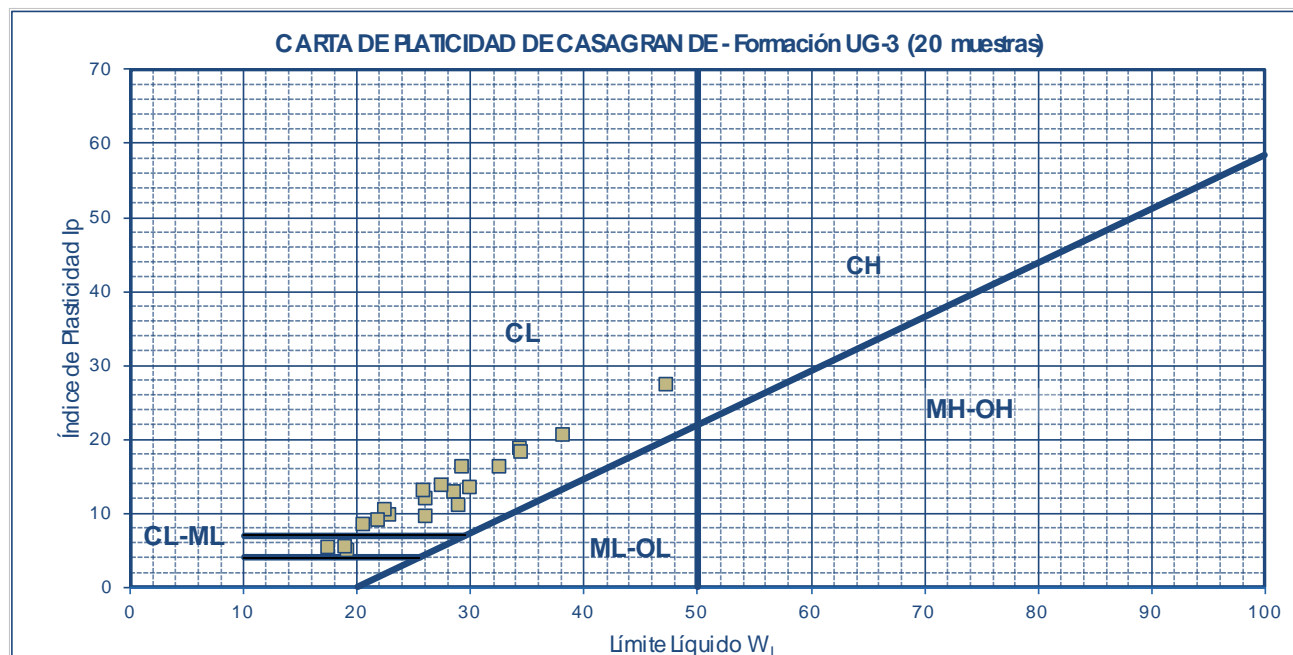


Figura 8. UG-3. Carta de plasticidad de Casagrande

Estos materiales se clasifican según el sistema USCS en un 69% como finos. El 53,8% de las muestras se clasifican como CL, es decir, principalmente son arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas o arcillas magras.

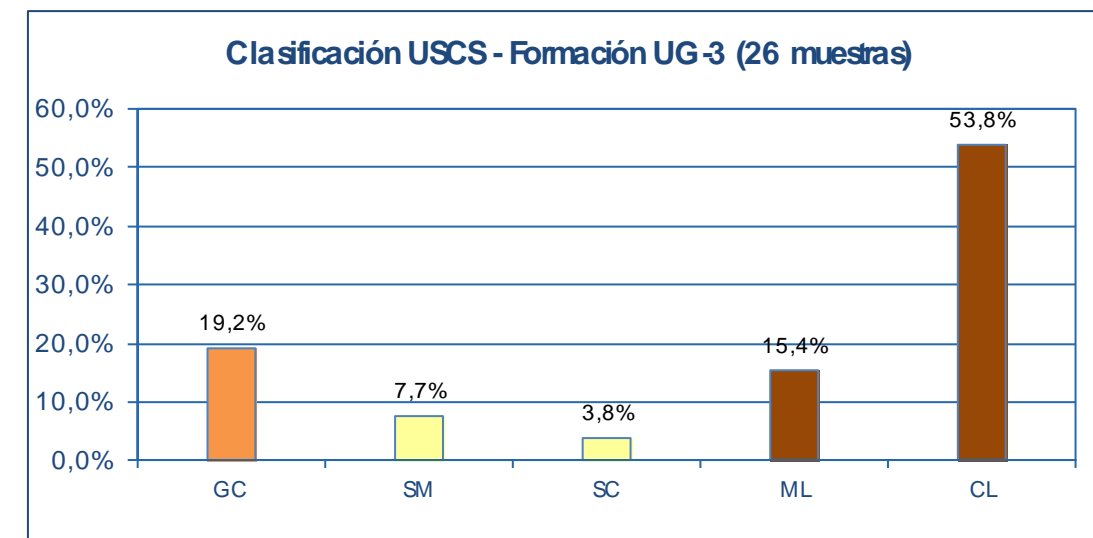
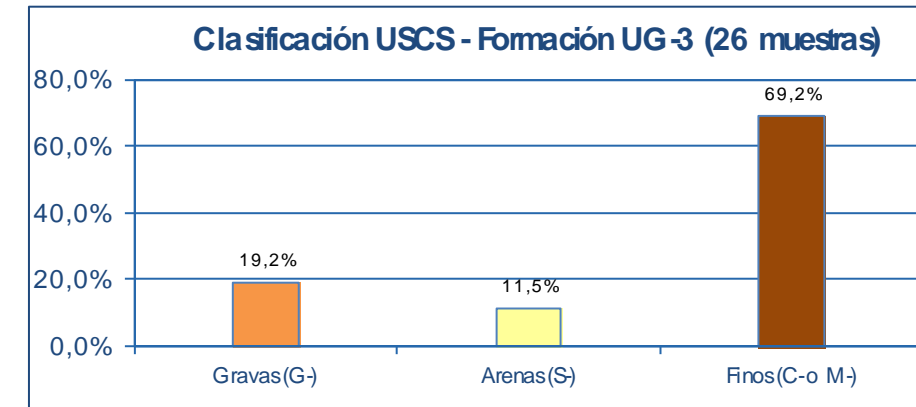


Figura 9. UG-3. Clasificación USCS

Las densidades secas varían entre 17,0 y 21,0 kN/m³, con un valor medio de 19 kN/m³. La densidad media aparente tiene un valor de 21 kN/m³. Las muestras presentan una humedad natural variable entre un 0,4% y un 20,0%, con un valor medio de 10,4%.

En los ensayos SPT efectuados en estos materiales se han obtenido golpes NSPT que han oscilado entre 25 y 50, clasificando el material como medianamente denso a denso.

El valor máximo de materia orgánica detectada en las muestras de calicatas ha sido 0,2%. El porcentaje de carbonatos varía entre 36,3 y 59,9, con un valor medio de 46,6%. No se han detectado sulfatos en las muestras de calicatas de esta formación. El valor medio de acidez de Baumann y Gully ha sido 5,8 mg/kg.

Se han realizado 12 ensayos de resistencia a compresión simple, con valores que oscilan entre 214 y 854 kPa, con un valor medio de 370 kPa. En el siguiente gráfico se han representado todos los resultados de ensayos, con respecto a la cota.

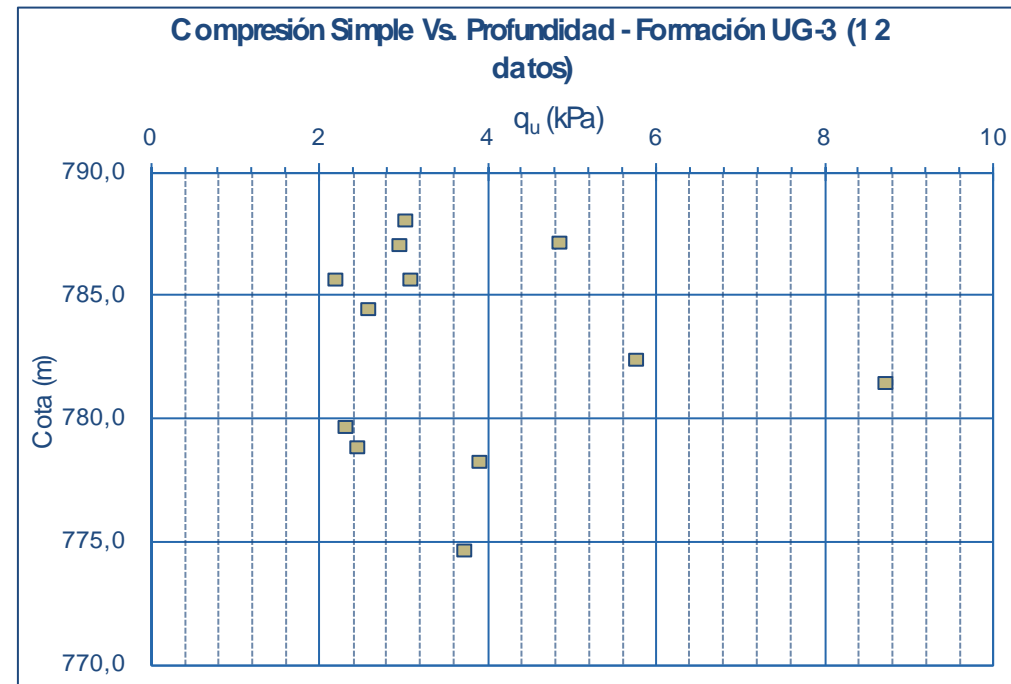


Figura 10. UG-3. Resistencia a compresión simple

Se han realizado 5 ensayos de corte directo. En la siguiente tabla se incluyen los resultados obtenidos:

MUESTRA	COHESIÓN (kPa)	ÁNGULO DE ROZAMIENTO (°)
S2-SPT2	13	31,4
S3-MI 1	0	41,9
S4-MI 3	35	27,6
S6-MI 3	19	37,3
S7-MI 2	33	38,4

Tabla 5. UG-3. Ensayos de Corte Directo

Se dispone de 5 ensayos de presión de hinchamiento con valores que oscilan entre 9,8 y 34,3 kN/m² (grado I-II, baja-baja a media expansividad). Ese grado de expansividad corresponde a valores de hinchamiento en ensayo de expansión alrededor del 1%. El PG-3 incluye el límite del 3% para poder clasificarlo como suelos tolerables.

Se dispone de 3 ensayos de colapso con valores que varían entre 0,1 y 0,7% (grado de colapso bajo-bajo a medio). El PG-3 incluye el límite del 1% para poder clasificarlo como suelos tolerables.

Según la clasificación de suelos AASHTO, el 46,2% de las muestras estarían en el grupo A-6 (suelos arcillosos):

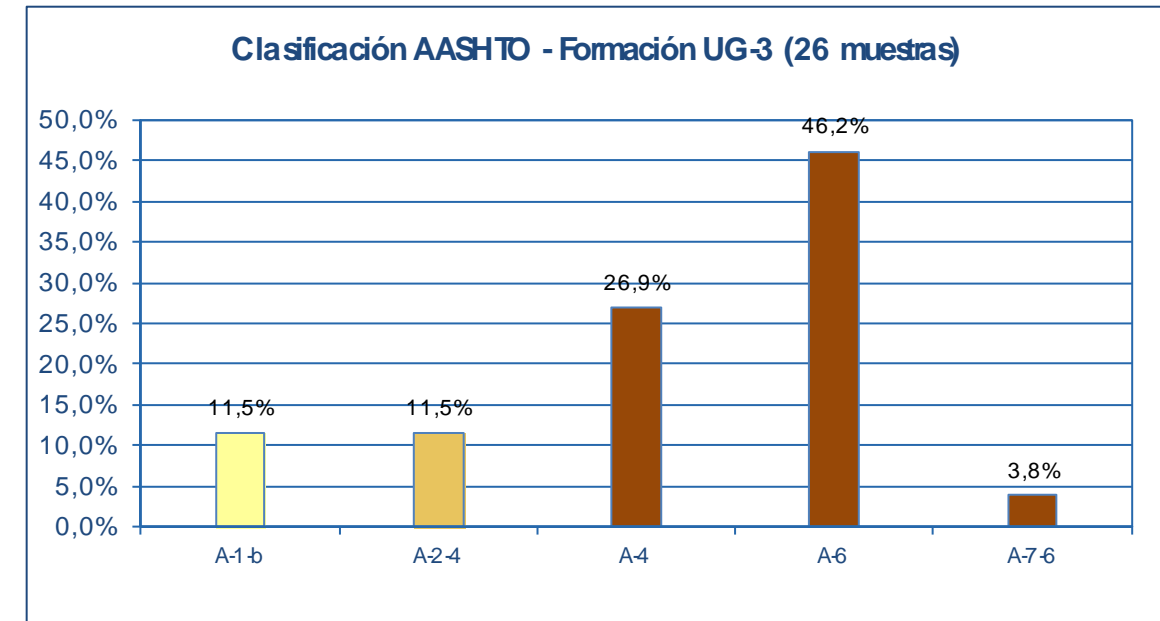


Figura 11. UG-3. Clasificación AASHTO

Según la clasificación del PG-3, la mayoría de las muestras se clasifican como material tolerable:

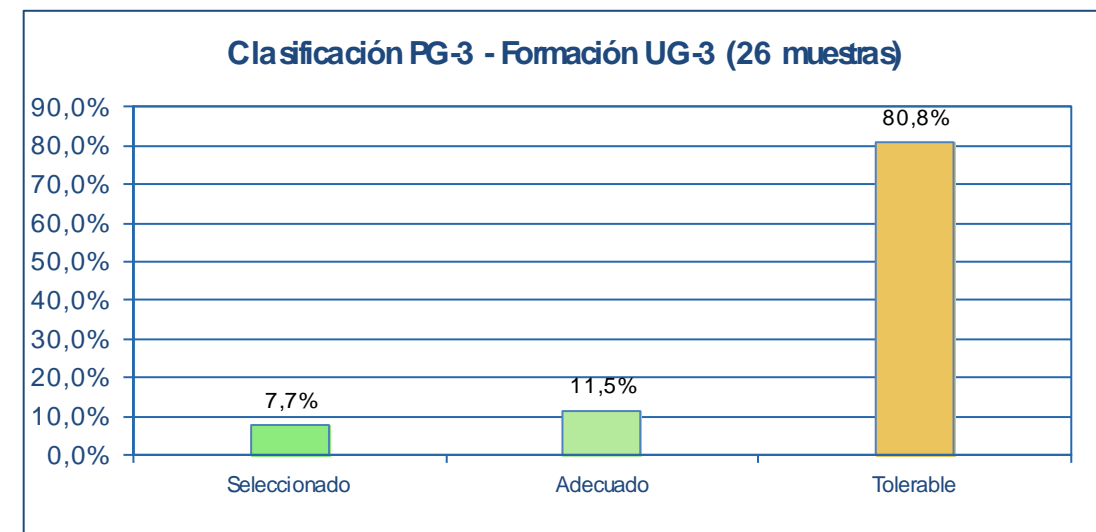


Figura 12. UG-3. Clasificación PG-3

Se han efectuado 5 ensayos Proctor Modificado y CBR en muestras de calicatas tomadas en saco. El cuadro que sigue resume los valores obtenidos:

	PRÓCTOR MODIFICADO		CBR	
	W _{opt} (%)	D _{máx} (kN/m ³)	D _{máx} 95%	D _{máx} 100%
MÁX.	13,90	20,2	8,4	13,60
MIN.	9,90	18,5	6,1	9,80
PROMEDIO	12,10	19,6	7,72	12,04
DESV. TÍPICA	1,45	0,7	0,93	1,45

Tabla 6. UG-3. Ensayos de próctor modificado y CBR.

4.4. UG-4 Areniscas, conglomerados y limos

Está formada principalmente por niveles discontinuos de arenas y arcillas. Predominan las arenas y areniscas dentro de una matriz areno-arcillosa y cemento calcáreo. Suele aparecer lentejones de conglomerados y gravas arenosas. Las gravas son de cuarcita, bien redondeada, de tamaño medio. También se pueden observar lechos limosos y limo-arcillosos de escasa potencia.

Los espesores medios medidos son de 5,2 m, encontrándose valores mínimos de 0,2 m y valores máximos de 16,0 m.

Se han ensayado muestras en sondeos (8) y calicatas (1).

Se han realizado 9 ensayos granulométricos, con una media obtenida de porcentaje de grava/arena/finos de 18,3/37,1/44,6 (limos arenosos con algo de grava):

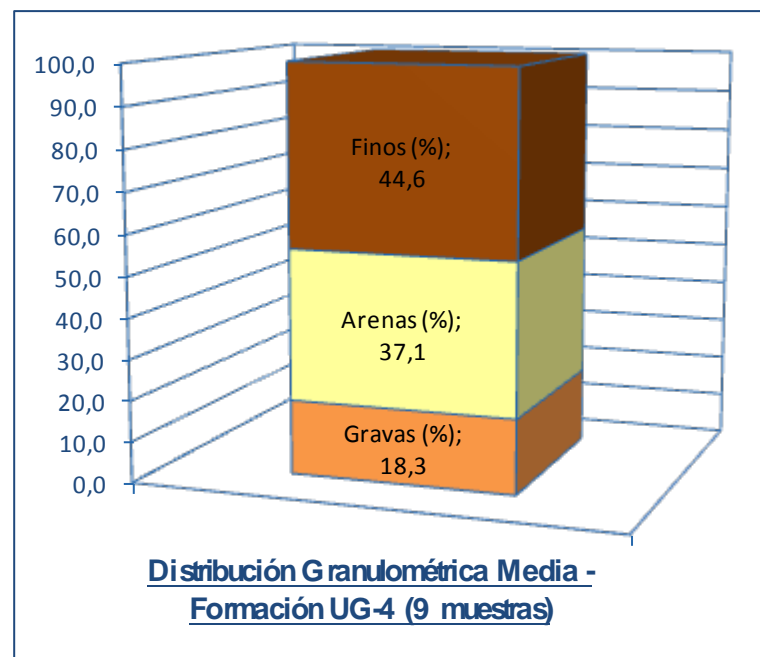


Figura 13. UG-4. Gráfico con la distribución granulométrica media

Con respecto a la plasticidad, 7 de las 9 muestras han resultado ser no plásticas. El resto de resultados están representados en la siguiente figura, clasificándose como arcillas de plasticidad baja a media (CL):

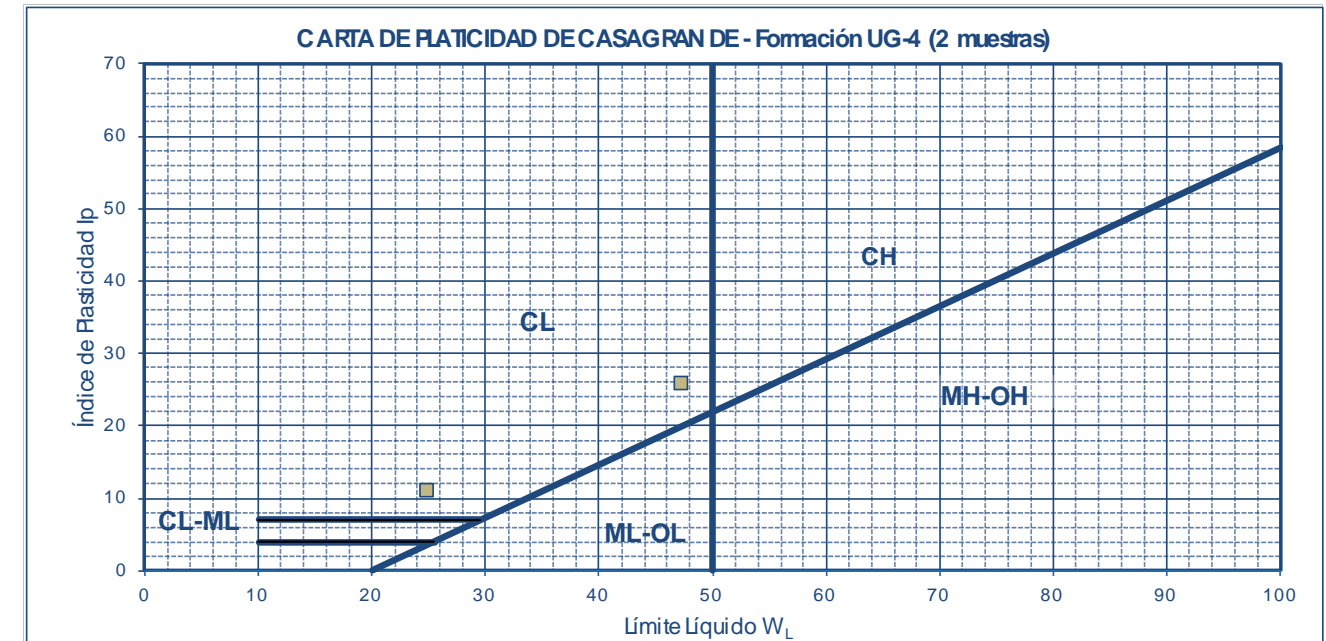
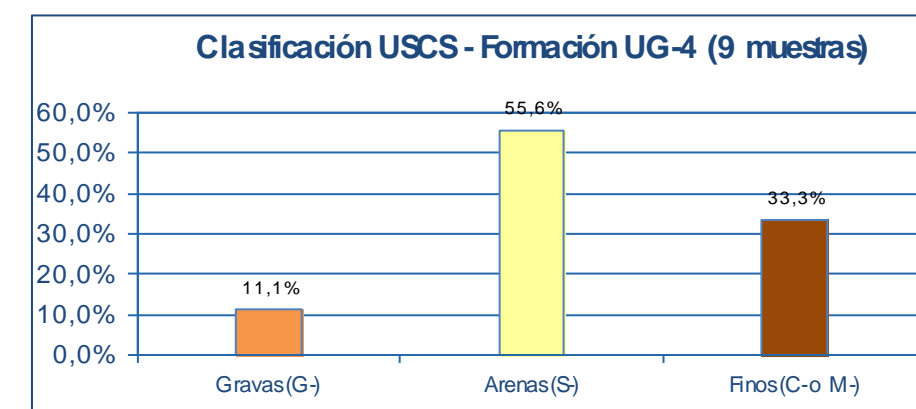


Figura 14. UG-4. Carta de plasticidad de Casagrande

Estos materiales se clasifican según el sistema USCS en un 55,6% como arenas (S). El 33,3% de las muestras se clasifican como SM, es decir, principalmente son arenas limosas, mezclas de arena y limo mal graduadas.



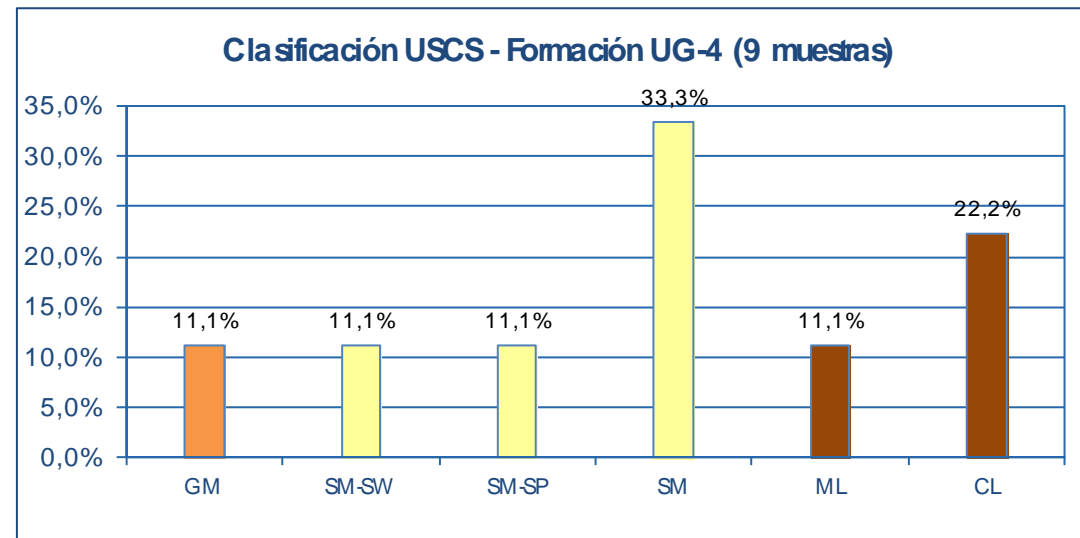


Figura 15. UG-4. Clasificación USCS

Las densidades secas varían entre 17,9 y 20,7 kN/m³. La densidad media aparente tiene un valor de 22 kN/m³. Las muestras presentan una humedad natural variable entre un 2,2% y un 19,4%, con un valor medio de 11,0%.

En los ensayos SPT efectuados en estos materiales se han obtenido golpes NSPT que han oscilado entre 42 y 50, clasificando el material como denso.

El valor máximo de materia orgánica detectada en las muestras de calicatas ha sido 0,6%. El porcentaje de carbonatos varía entre 19,4 y 55,4, con un valor medio de 33,1%. No se han detectado sulfatos en las muestras de calicatas de esta formación. El resultado del ensayo de acidez de Baumann y Gully ha sido 6,1 mg/kg.

Se han realizado 2 ensayos de resistencia a compresión simple, con valores de 130 y 330 kPa.

Se ha realizado un ensayo de corte directo con el siguiente resultado: ángulo de rozamiento 34,2° y cohesión 10 kPa.

Se dispone de un ensayo de presión de hinchamiento realizado en una de las escasas muestras de arcilla de la formación, con valor de 132,4 kN/m² (grado III, expansividad media a alta) y un ensayo de colapso (0,0%). El resultado del ensayo de presión de hinchamiento no se considera representativo de la formación UG-4, ya que en esta formación predominan las muestras de composición arenosa.

Según la clasificación de suelos AASHTO, el 33,3% de las muestras estarían en el grupo A-1-b (fragmentos de piedra grava y arena) y otro 33,3% como A-4 (suelos limosos):

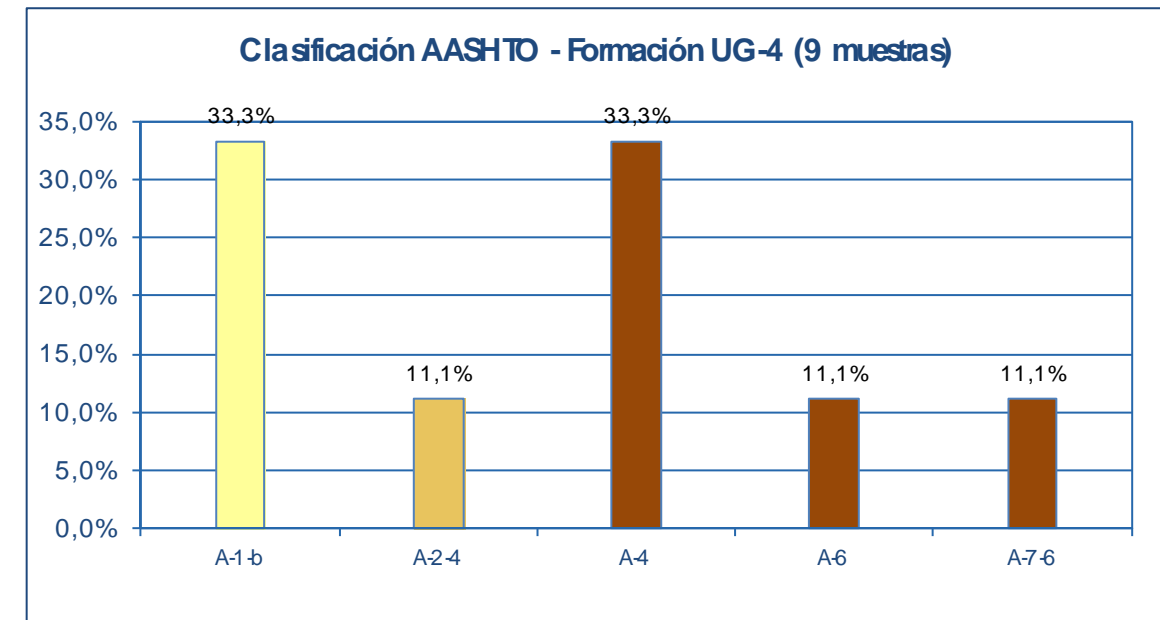


Figura 16. UG-4. Clasificación AASHTO

Según la clasificación del PG-3, la mayoría de las muestras se clasifican como material tolerable:

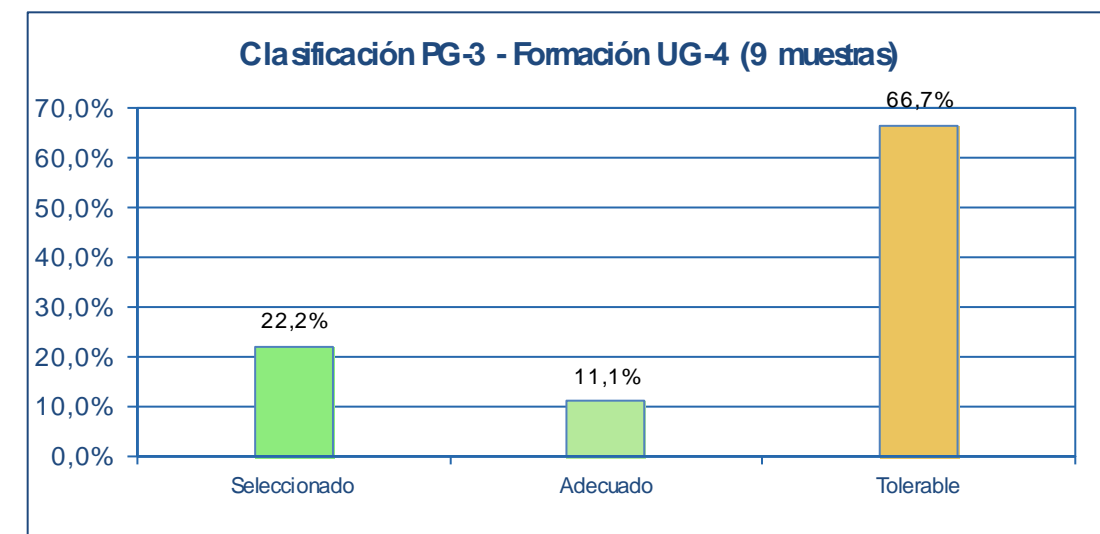


Figura 17. UG-4. Clasificación PG-3

Se ha efectuado un ensayo Proctor Modificado y CBR en una muestra de calicata tomadas en saco. El cuadro que sigue resume los valores obtenidos:

PRÓCTOR MODIFICADO		CBR	
W_{opt} (%)	$D_{máx}$ (kN/m ³)	$D_{máx}$ 95%	$D_{máx}$ 100%
10,7	20,0	12,10	18,00

Tabla 7. UG-4. Ensayos de próctor modificado y CBR.

5. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS RECOMENDADOS

En la siguiente tabla, y en función del análisis de datos efectuado, se proponen los siguientes parámetros para las distintas litologías:

Litología	Densidad γ_{ap} (kN/m ³)	Cohesión efectiva c' (kPa)	Resistencia al corte sin drenaje c_u (kPa)	Ángulo de rozamiento interno Φ' (°)
Tierra Vegetal (UG-1)	18	0	-	25
Caliche (UG-2)	19	10	-	30
Arcillas arenosas (UG-3)	21	20	180	25
Areniscas y arenas (UG-4)	22	10	115	33

Tabla 8. Resumen de parámetros geotécnicos recomendados

6. RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS PARA EL DISEÑO

6.1. Agresividad del medio: suelo y agua

En la investigación geotécnica se cuenta con ensayos en muestras de agua y suelo con objeto de analizar el grado de ataque al hormigón de elementos estructurales o de cimentación, según la EHE.

La siguiente tabla muestra la agresividad del medio definida en la EHE:

Tipo de ambiente	Parámetros	Qa	Qb	Qc
		ATAQUE DÉBIL	ATAQUE MEDIO	ATAQUE FUERTE
AGUA	Valor de PH	6.5-5.5	5.5-4.5	<4.5
	Ion Magnesio (mg Mg ²⁺ /l)	300-1000	1000-3000	>3000
	Ion Sulfato (mg SO ₄ ²⁺ /l)	200-600	600-3000	>3000
	Ion Amonio (mg NH ⁴⁺ /l)	15-30	30-60	>60
	Ion CO ₂ agresivo (mg CO ₂ /l)	15-40	40-100	>100
	Residuo seco (mg/l)	75-150	50-75	<50
SUELO	Grado de acidez Baumann-Gully	> 20	Condiciones no reales	Condiciones no reales
	Ion Sulfato (mg SO ₄ ²⁻ /kg suelo seco)	2000-3000	3000-12000	> 12000

Tabla 9. Agresividad del medio definida en la EHE

En la siguiente tabla se resumen los ensayos químicos para clasificar la agresividad del suelo en muestras de calicatas:

Litología	Contenido sulfatos SO ₄ – EHE (mg/kg)	Acidez Baumann Gully (ml/kg)	Contenido carbonatos (%)	Tipo Exposición SUELO
Nº ensayos	20,0	18,0	18,0	
Máximo	0,0	6,1	92,10	<Q _a
Mínimo	0,0	5,8	36,30	<Q _a
Valor medio	0,0	5,9	59,1	<Q _a
Desv. Estándar	0,0	0,1	17,68	

Tabla 10. Resumen de ensayos químicos en muestras de suelo de calicatas

En la siguiente tabla se resumen los ensayos químicos para clasificar la agresividad del suelo en muestras de sondeos:

Litología	Contenido sulfatos SO4 – EHE (mg/kg)	Acidez Baumann Gully (ml/kg)	Contenido carbonatos (%)	Tipo Exposición SUELO
Nº ensayos	11	2	4	
Máximo	0,0	5,9	59,9	Q _a
Mínimo	0,0	5,8	19,4	Q _a
Valor medio	0,0	5,9	40,4	Q _a
Desv. Estándar	0,0	0,1	21,3	

Tabla 11. Resumen de ensayos químicos en muestras de suelo de sondeos

En la siguiente tabla se incluyen los resultados de los ensayos de muestras de agua:

Ensayos	S-1	S-2	Tipo de Exposición AGUA
Sulfato (mg/l)	136,2	56,9	<Q _a
pH	8	8,5	<Q _a
Residuo seco (mg/l)	200	300	<Q _a
Magnesio (mg/l)	33	2,4	<Q _a
Amonio (mg/l)	-	-	<Q _a
Dióxido de carbono (mg/l)	-	-	<Q _a
Cloruros (mg/l)	78	50	-

Tabla 12. Resumen de ensayos químicos en muestras de agua

Como se puede ver en las tablas anteriores, en ninguna de las muestras de suelos tomadas en las formaciones UG-2, UG-3 y UG-4, ni en las muestras de agua se aprecia agresividad del suelo frente al hormigón, según los criterios establecidos en la EHE 08 (Tabla 8.2.3 b).

6.2. Posición del nivel freático

Durante la fase de los trabajos de campo se procedió a la medición de los niveles piezométricos en todos los sondeos realizados. Adicionalmente, en 3 de ellos se colocó una tubería piezométrica ranurada de PVC.

En los perfiles geológico-geotécnicos aparecen indicados estos niveles, así como en los partes de sondeos, habiéndose recogido en la siguiente tabla la relación de mediciones efectuadas en las tuberías instaladas.

SONDEO	PROF.	NIVEL FREÁTICO	
	ALCANZADA (m)	FIN SONDEO (m)	FECHA MEDIDA
S-01	15,0	10,50	27/07/16
S-02	15,5	6,00	20/07/16
S-03	15,0	Seco	21/07/16

Tabla 13. Nivel freático sondeos

No se detectaron niveles de agua durante la ejecución de las calicatas, debido a que las profundidades máximas alcanzadas no superaron los 3,6 m.

Se observa que los niveles de agua se localizan aproximadamente entre las cotas 769 y 777 msnm.

7. RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN

7.1. Excavabilidad

La siguiente figura muestra la gráfica de excavabilidad para ver si los materiales son excavables con medios mecánicos, ripables o bien necesitan voladura:

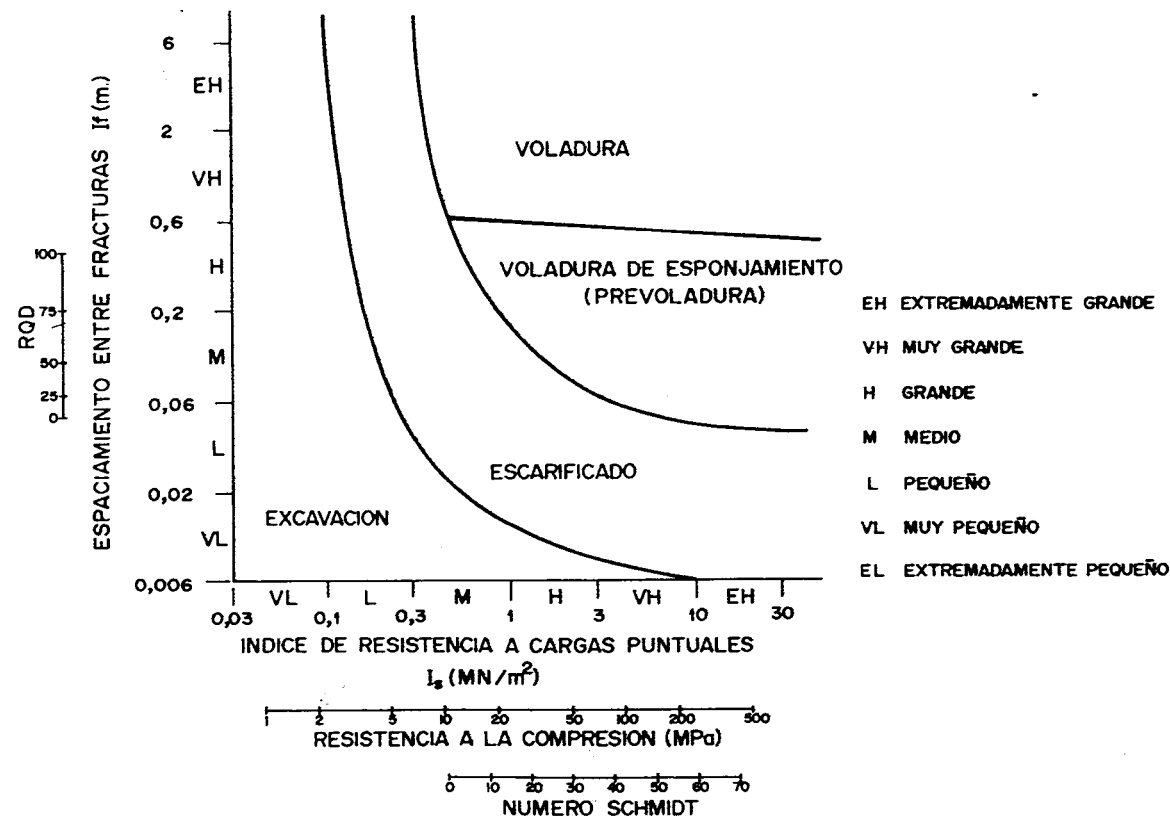


Figura 18. Gráfica de excavabilidad

Se han realizado ensayos de resistencia a la compresión simple en las unidades geotécnicas UG-3 y UG-4, con valores máximos de 330 kPa (0,3 MPa). En consecuencia, los materiales de las unidades geotécnicas UG-1, UG-3 y UG-4 se consideran excavables por medios mecánicos, es decir, se pueden extraer con retroexcavadora o pala cargadora.

Los materiales de la unidad geotécnica UG-2 (caliche) se han clasificado de forma conservadora como excavable-ripables, por no disponer de ensayos de resistencia a la compresión simple y porque la maquinaria utilizada para realizar las calicatas no consiguió alcanzar el nivel inferior de esta formación en muchas calicatas.

Esta información está reflejada en la guitarra de la "Figura 2: Perfil Longitudinal geológico-geotécnico" del "Anejo 03 Suelo, Materiales e Investigación Geotécnica".

7.2. Desmontes

Para el cálculo de los taludes de excavación, se han utilizado los ábacos de Hoek y Bray (1977).

Estos ábacos proporcionan un límite inferior del factor de seguridad, asumiendo que las tensiones normales en la superficie de deslizamiento se concentran en un solo punto.

En la construcción de los ábacos se tuvo en cuenta diferentes condiciones de presiones intersticiales debidas a la presencia de un nivel freático en el terreno, que divide el talud en una zona seca y otra saturada. Se cuenta con 5 ábacos, dos de ellos para talud totalmente seco y

totalmente saturado y tres para casos intermedios. En el gráfico H indica la altura del talud y X la distancia entre el pie del talud y el punto de corte del nivel freático con la superficie del terreno:

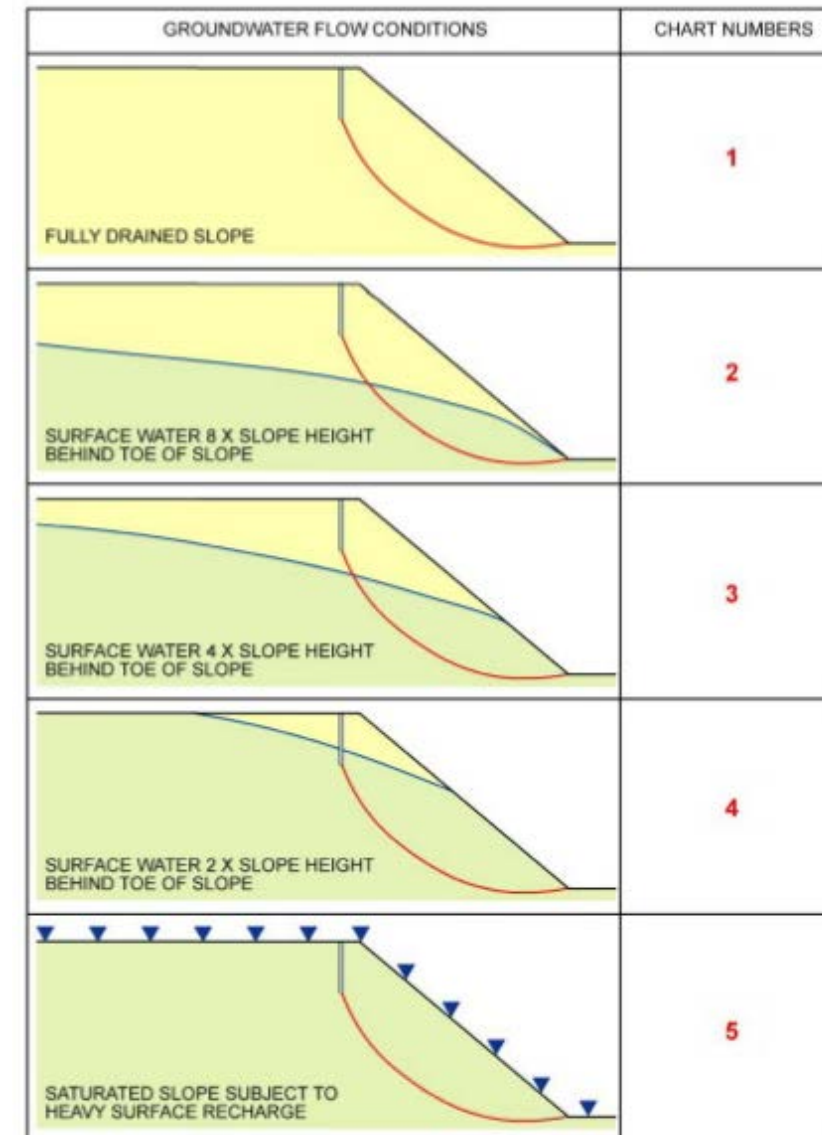


Figura 19. Ábacos Hoek&Bray. Situación de la línea de saturación y número de ábaco

Para el proyecto actual, se ha considerado el número de ábaco 1 (talud totalmente seco) basándonos en los niveles de agua del terreno detectado en los sondeos:

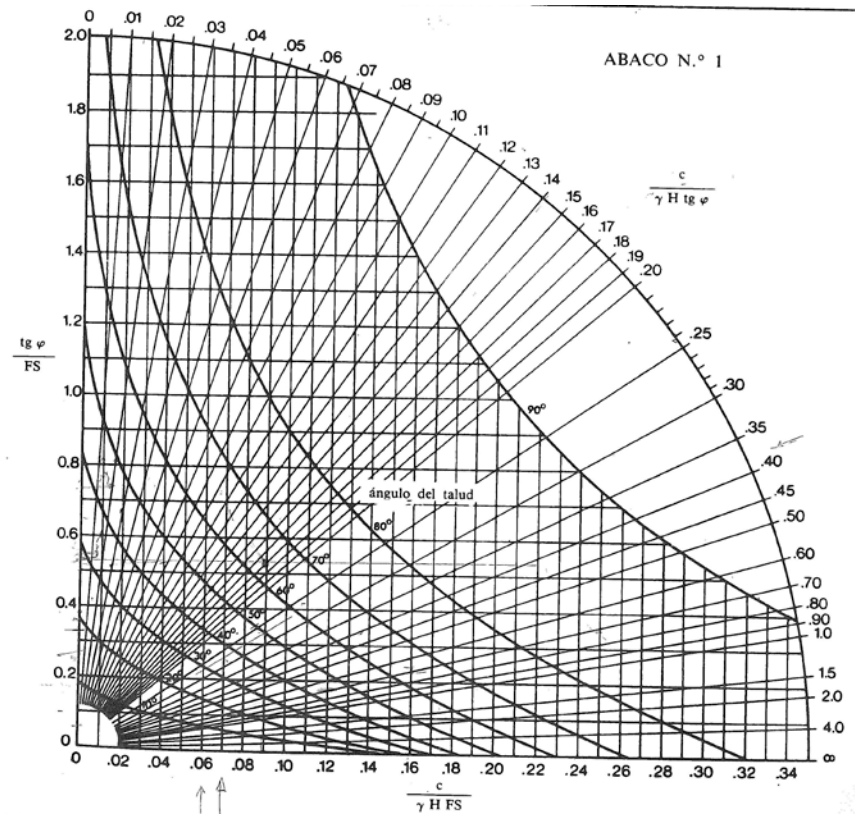


Figura 20. Ábacos Hoek&Bray. Ábaco 1 (talud totalmente seco)

En la siguiente tabla se indican los taludes estables obtenidos para las distintas unidades geotécnicas y la altura máxima de talud considerada en el cálculo:

UNIDAD GEOTÉCNICA	ALTURA DEL TALUD (m)	TALUD	FACTOR DE SEGURIDAD
UG-1	1	2H:1V (27°)	1,59
UG-2	10	3H:2V (34°)	1,64
UG-3	10	3H:2V (34°)	1,73
UG-4	10	3H:2V (34°)	1,52

Tabla 14. Taludes para desmontes (excavaciones permanentes)

7.3. Terraplenes

En general, los terraplenes se realizarán con materiales disponibles en la zona. Las principales formaciones de las que se extraerá material son la UG-2 (Caliche) y UG-3 (arcillas arenosas).

Como primera aproximación, se han utilizado los ábacos de Hoek y Bray (1977) para conocer el talud general de relleno recomendado. En la siguiente tabla se indican las propiedades de densidad y resistencia al corte, asumidas para estos materiales tras ser compactados:

Litología	Densidad γ_{ap} (kN/m ³)	Cohesión efectiva c' (kPa)	Ángulo de rozamiento interno ϕ' (°)
Caliche (UG-2) - Adecuado	20	5	35
Arcillas arenosas (UG-3) - Tolerable	19	13	28

Tabla 15. Parámetros geotécnicos de materiales compactados

En fase de proyecto de detalle se deberán realizar ensayos de corte sobre muestras remoldeadas y compactadas, al menos al 95% de la densidad máxima del Próctor Modificado para verificar que se satisfacen estos requerimientos.

En este caso, se ha considerado el ábaco 2 (talud parcialmente saturado) porque esta situación puede ocurrir durante la vida útil del relleno.

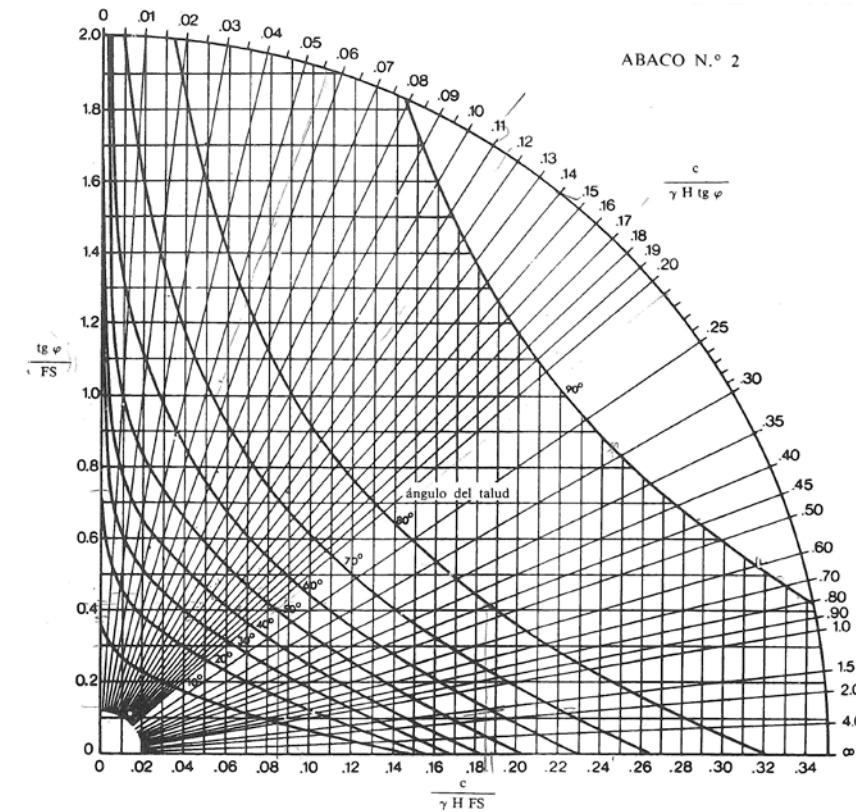


Figura 21. Ábacos Hoek&Bray. Ábaco 2 (talud parcialmente saturado)

En la siguiente tabla se indican los taludes estables obtenidos para las distintas unidades geotécnicas, con distintas alturas de relleno:

UNIDAD GEOTÉCNICA	ALTURA DEL RELLENO (m)	TALUD	FACTOR DE SEGURIDAD
UG-2	10	2H:1V (27°)	1,25
	8	2H:1V (27°)	1,56
UG-3	10	2H:1V (27°)	1,52

Tabla 16. Taludes para rellenos

Los ábacos de Hoek y Bray consideran una superficie de rotura circular por el pie del talud, considerando un material homogéneo y la existencia de una grieta de tracción.

Se considera adecuado recomendar un talud general para la ejecución de terraplenes de 2H:1V, talud habitualmente recomendado en proyectos de obras lineales con requisitos exigentes. No obstante, por criterios de diseño, en zonas donde adoptar este talud pueda generar problemas como por ejemplo una excesiva ocupación de tierras o un volumen de material alto, se podrá adoptar el talud 3H:2V, dependiendo de los requisitos finales que se necesiten conseguir.

Por otro lado, se ha realizado un estudio específico del talud de relleno de más altura del proyecto. Este talud se encuentra en el PK 7+200, tiene una altura de 12 m y si se consideraba el talud 2H:1V, se presentaba el problema de una excesiva ocupación de tierras y un volumen de material alto, por lo que por criterios de diseño se ha adoptado el talud 3H:2V.

Se han realizado varios cálculos con el programa SLOPE, de la casa GEO-SLOPE. Es un software que permite calcular por la teoría del equilibrio límite el coeficiente de seguridad al deslizamiento de taludes en suelos o roca alterada. El programa realiza el cálculo de estabilidad de taludes por resolución de las ecuaciones de diferentes métodos de equilibrio límite, lo que permite calcular todo tipo de superficies de deslizamiento.

La siguiente tabla resume los factores de seguridad obtenidos para terraplenes formados con materiales de la zona, sin agua y parcialmente saturados:

MATERIAL COMPACTADO	FACTOR DE SEGURIDAD	
	SIN AGUA	PARCIALMENTE SATURADO
UG-2 Adecuado (GW)	1,414	1,239
UG-3 Tolerable (CL)	1,455	1,250

Tabla 17. SLOPE. Factores de seguridad

A continuación se incluyen las salidas gráficas del programa:

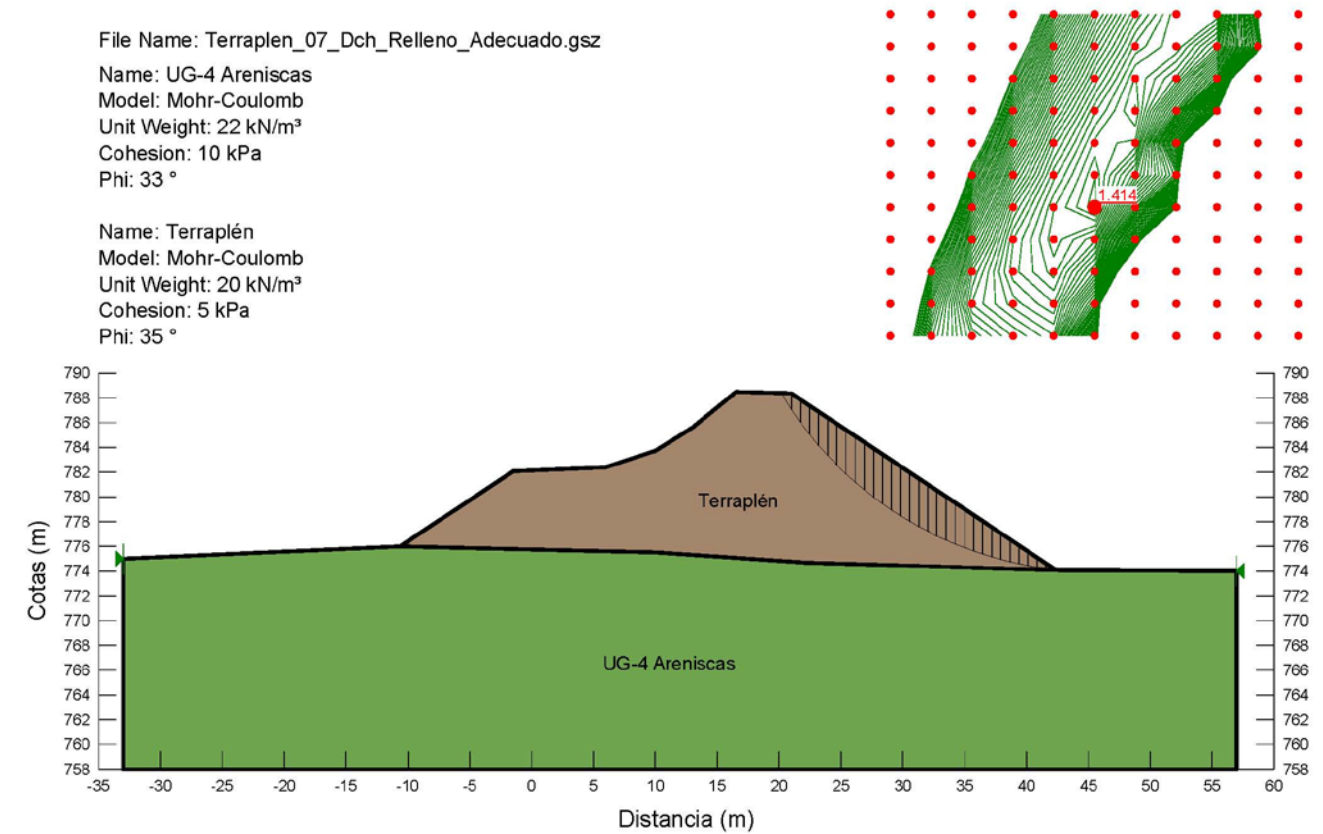


Figura 22. SLOPE. Relleno con material adecuado sin agua. FS=1,414

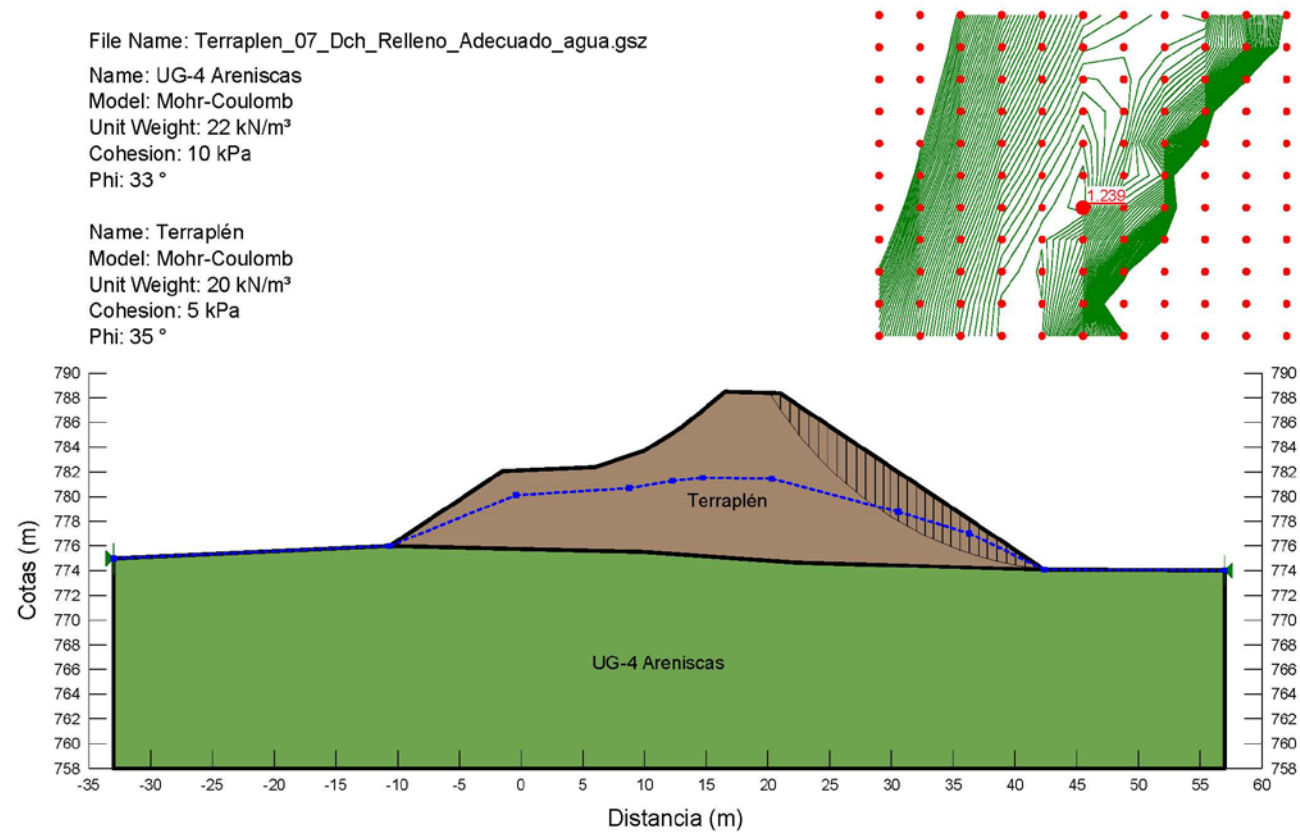


Figura 23. SLOPE. Relleno con material adecuado con agua. FS=1,239

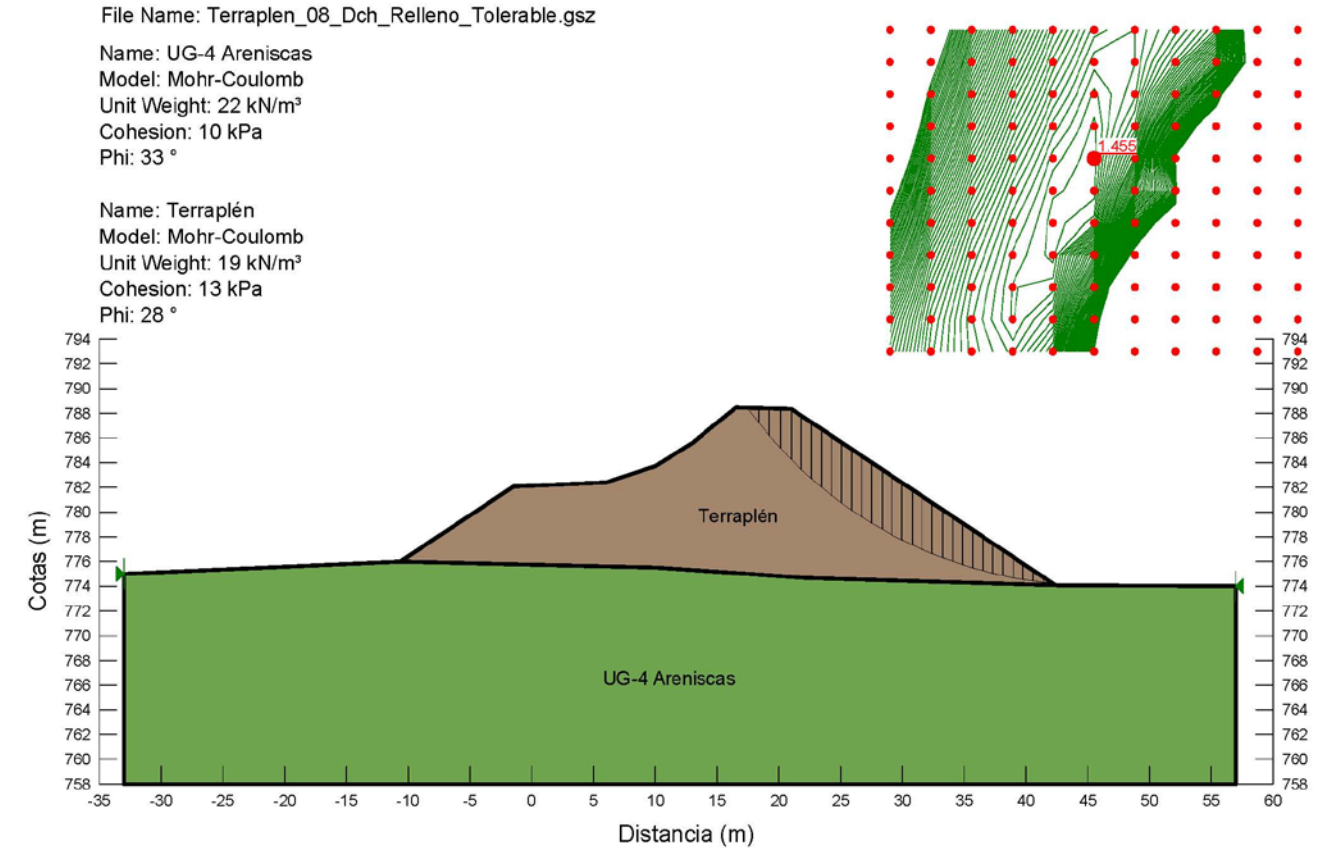


Figura 24. SLOPE. Relleno con material tolerable sin agua. FS=1,455

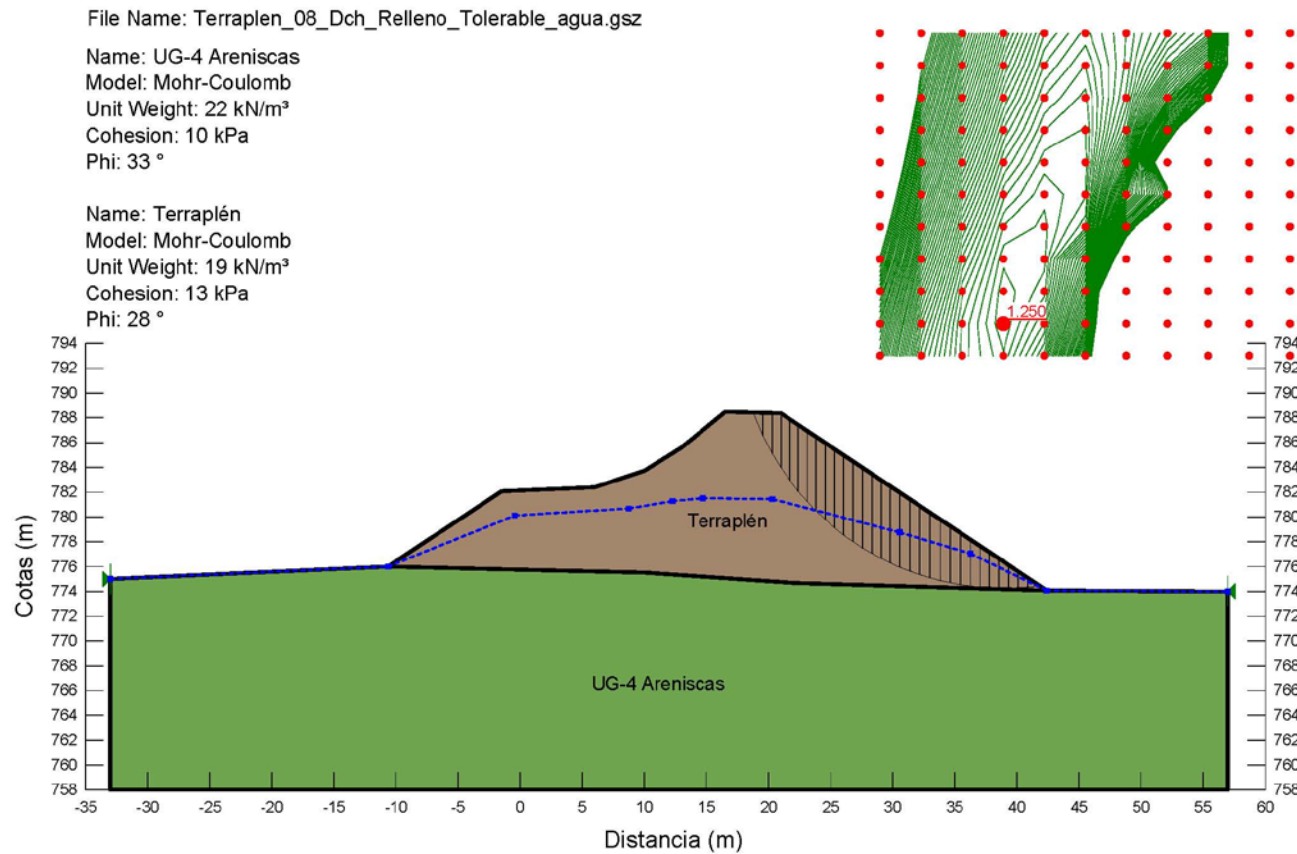


Figura 25. SLOPE. Relleno con material tolerable con agua. FS=1,250

Tras ejecutar el saneo recomendado para el apoyo de relleno, con un espesor medio de 50 cm, el comportamiento del cemento se considera favorable sin que se haya detectado la presencia de zonas blandas o flojas en el área de estudio.

Se ha estimado el asiento del cimiento por el peso del terraplén de 12 m de altura utilizando la formulación de Steinbrenner, obteniendo un asiento medio de 2,4 cm. Las siguientes figuras muestran el detalle de este cálculo:

El asiento a una profundidad z bajo la esquina viene dado por:

$$S(z) = \frac{q B}{2 E} (M \phi_1 (A,B,z) - N \phi_2 (A,B,z))$$

donde q = presión unitaria aplicada
 E = módulo elástico
 A = lado mayor
 B = ancho de la cimentación (lado menor)
 $M = 1 - \nu^2$
 $N = 1 - \nu - 2 \nu^2$
 $m = z/B$
 $n = A/B$

$$\phi_1 = \frac{1}{\pi} \left\{ \text{Ln} \left(\frac{(1+n^2+m^2)^{1/2} + n}{(1+n^2+m^2)^{1/2} - n} \right) + n \text{Ln} \left(\frac{(1+n^2+m^2)^{1/2} + 1}{(1+n^2+m^2)^{1/2} - 1} \right) \right\}$$

$$\phi_2 = \frac{m}{\pi} \text{arctg} \frac{n}{m (1+n^2+m^2)^{1/2}}$$

Se ha caracterizado el sustrato con un módulo de formación de 80 MPa, que es el valor medio obtenido en el primer ciclo de carga de los ensayos de placa de carga.

La siguiente tabla resume las propiedades deducidas de la caracterización geotécnica de los materiales:

Litología	Densidad seca (kN/m ³)	Densidad máxima PM (kN/m ³)	Coefficiente de paso
Caliche (UG-2)	16	16,2	1,04
Arcillas arenosas (UG-3)	19	19,6	1,02
Areniscas y arenas (UG-4)	19	20	1,00

Tabla 19. Coeficiente de paso

En esta fase de Diseño Conceptual se ha decidido adoptar un coeficiente de paso medio para todos los materiales de 1,02.

Teniendo en cuenta las pérdidas que pueden ocurrir por transporte, incrementos locales de humedad, intercalaciones de materiales, existencia de bloques, etc., se ha previsto un grado de aprovechamiento del 85%, por lo que el **coeficiente de paso corregido** es $1,02 \times 0,85 = 0,87$ para todos los materiales.

7.6. Cimentación de estructuras

El material UG-1 no se considera adecuado para la cimentación de estructuras.

El material UG-2 no se considera adecuado para la cimentación de estructuras dada su heterogeneidad, tanto en composición como en espesor. Dependiendo de las dimensiones de la estructura, apoyar en esta formación podría generar asentamientos relativos no admisibles por la estructura.

Las cimentaciones de las estructuras siempre deben alcanzar al menos la profundidad de la unidad geotécnica UG-3 (arcillas arenosas). Esta unidad se encuentra relativamente superficial por lo que se puede considerar cimentación directa.

La fórmula más frecuente para la determinación de la carga de hundimiento es la conocida como de Brinch-Hansen, de la que existen diferentes versiones que presentan ligeras variaciones en la obtención de algunos coeficientes. En este caso, se ha seguido la incluida en la Guía de Cimentaciones en Obras de Carreteras del Ministerio de Fomento. Según este método, la presión vertical de hundimiento es la suma de tres términos que representan la contribución a la capacidad de soporte, de la sobrecarga existente al nivel de cimentación q , de la cohesión del terreno c , y de su peso propio. La ecuación es del siguiente tipo:

$$p_{vh} = q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot s_q \cdot t_q \cdot r_q + c \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot s_c \cdot t_c \cdot r_c + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B^* \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot s_\gamma \cdot t_\gamma \cdot r_\gamma$$

Donde:

p_{vh} = Presión vertical de hundimiento.

q = Sobrecarga actuante al nivel del plano de cimentación, en el entorno del cimiento.

c = Cohesión de cálculo.

γ = Peso específico del terreno.

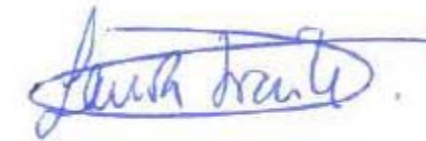
B^* = Anchura equivalente del cimiento.

N_q, N_c, N_γ = Factores de capacidad de carga, adimensionales y dependientes del ángulo de rozamiento interno.

d_q, i_q, s_q, t_q, r_q = Factores adimensionales para considerar el efecto de la resistencia al corte local del terreno situado sobre el plano de apoyo, la inclinación de la carga, la forma de la cimentación, la proximidad de la cimentación a un talud y la inclinación del plano de apoyo. Los subíndices q, c, γ indican en cuál de los tres términos de la fórmula polinómica deben aplicarse.

Con los valores de c y f de la unidad UG-3, se puede considerar cimentación directa con una carga admisible de 300 kN/m².

Madrid, noviembre de 2017,



Fdo: Laura Fraile de Lerma
Ing. Caminos, Canales y Puertos

APÉNDICE 1

RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

RESUMEN ENSAYOS CALICATAS

REFERENCIAS				ESTADO	IDENTIFICACIÓN			COMPACTACIÓN			CBR			ENSAYOS QUÍMICOS				CLASIFICACIÓN							
CATAS	MUESTR A	PROF. (m)		TIPO TERRENO	FORMACIÓN	Humedad Natural (%)	LIMITES ATTERBERG			GRANULOMETRIA			TIPO	Wopt (%)	Dmáx (t/m ³)	95% Dmax	98% Dmax	100% Dmax	Mat. Orgánica (%)	Cont. sulfatos SO ⁴⁻ EHE (mg/kg)	Acidez Baumann Gully (ml/kg)	Cont. carbonatos (%)	USCS	AASHTO	PG-3*
		DE	A				LL	LP	IP	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)													
C-2	MA-2	1,90	2,70	Arcillas Limosas	UG-3														0,00		42,00				
C-5	MA-1	1,30	2,30	Arena Limosas	UG-3														0,00	5,83					
C-6	MA-1	0,50	1,20	Caliche	UG-2														0,00		92,10				
C-7	MA-1	0,50	2,00	Limos arenosos	UG-3														0,00	5,85					
C-11	MA-1	1,00	1,20	Grava con bastante arcilla y arena	UG-3	4,70	26	16	10	36,4	31,0	32,6	PM	11,8	1,99	7,90		11,80	0,22	0,00	5,80	43,60	GC	A-2-4(0)	adecuado
C-12	MA-1	1,30	1,50	Areniscas	UG-4	2,20	NP	NP	NP	60,5	21,2	18,3	PM	10,7	2,00	12,10		18,00	0,61	0,00	6,10	55,40	GM	A-1-b(0)	adecuado
C-14	MA-1	2,20	2,40	Grava con algo de arcilla y arena	UG-3	2,90	19	14	5	63,5	19,1	17,4	PM	12,5	1,97	8,40		13,60	0,14	0,00	5,80	49,10	GC	A-1-b(0)	seleccionado 2
C-15	MA-1	0,60	0,80	Caliche (grava con bastante arena y algo de limo)	UG-2	5,00	NP	NP	NP	55,3	32,2	12,5	PM	21,7	1,50	24,30		40,50	0,43	0,00	5,90	62,10	GM	A-1-a(0)	adecuado
C-16	MA-1	1,40	1,60	Grava con bastante arcilla y algo de arena	UG-3	2,00	19	13	6	62,9	21,6	15,5	PM	9,9	2,02	8,00		12,00	0,19	0,00	5,80	36,30	GC	A-1-b(0)	seleccionado 2
C-17	MA-1	0,50	0,70	Caliche (grava con bastante arena e indicios de limo)	UG-2	8,90	NP	NP	NP	66,1	26,8	7,1	PM	17,7	1,64	21,20		36,70	0,36	0,00	5,90	71,70	GM-GW	A-1-a(0)	adecuado
C-18	MA-1	1,50	1,70	Caliche (grava con bastante arena y limo)	UG-2	3,10	28	18	10	42,7	31,9	25,4	PM	16,0	1,70	29,10		44,60	0,14	0,00	5,80	69,40	GC	A-2-4(0)	adecuado
C-21	MA-1	1,40	1,60	Limos Arenosos con nódulos de carbonatos	UG-3	11,10	29	18	11	17,0	34,4	48,6	PM	13,9	1,85	6,10		9,80	0,12	0,00	5,80	42,80	SC	A-6(2)	tolerable
C-22	MA-1	0,80	1,00	Grava con bastante arena y arcilla	UG-3	3,00	17	12	6	53,3	25,3	21,4	PM	12,4	1,98	8,20		13,00	0,23	0,00	6,00	41,30	GC	A-1-b(0)	adecuado
C-23	MA-1	0,40	0,60	Caliche (grava con bastante limo y algo de arena)	UG-2	2,60	29	19	10	57,6	15,0	27,4	PM	13,7	1,85	6,30		9,90	0,72	0,00	6,10	37,30	GC	A-2-4(0)	adecuado
C-24	MA-1	0,40	0,60	Caliche (grava con bastante arena y algo de limo)	UG-2	5,70	37	20	17	56,2	28,0	15,8	PM	17,6	1,69	31,20		55,70	0,32	0,00	5,90	72,10	GC	A-2-6(0)	adecuado
C-26	MA-1	0,40	0,60	Caliche (grava con bastante arena e indicios de limo)	UG-2	12,20	NP	NP	NP	64,4	27,6	8,0	PM	20,7	1,54	33,60		59,50	0,36	0,00	5,90	73,70	GM-GW	A-1-a(0)	adecuado
C-27	MA-1	0,90	1,10	Caliche (grava con bastante arena e indicios de limo)	UG-2	4,60	NP	NP	NP	66,7	24,5	8,8	PM	20,5	1,52	38,30		66,90	0,29	0,00	5,90	79,60	GM-GW	A-1-a(0)	adecuado
C-29	MA-1	1,20	1,40	Caliche (grava con algo de arena e indicios de limo)	UG-2	10,20	NP	NP	NP	75,5	18,5	6,0	PM	22,0	1,55	44,20		78,10	0,15	0,00	5,80	80,00	GM-GW	A-1-a(0)	seleccionado 3
C-30	MA-1	0,60	0,80	Caliche (grava con algo de arena y limo)	UG-2	6,00	43	30	13	69,6	17,3	13,1	PM	19,1	1,61	7,20		11,60	0,44	0,00	6,00	42,20	GM	A-2-7(0)	marginal
C-34	MA-2	1,50	1,70	Caliche (arena coh bastante grava y limo)	UG-2	6,70	NP	NP	NP	26,8	48,0	25,2	PM	19,1	1,58	31,00		52,20	0,16	0,00	5,80	73,30	SM	A-2-4(0)	adecuado
N° ensayos						16	16	16	16	16	16	16		16	16	16	0	16	16	20	18	18			
Máximo						12,20	43	30	17	75,50	48,00	48,60		22,00	2,02	44,20		78,10	0,72	0,00	6,10	92,10			
Mínimo						2,00	NP	NP	NP	17,00	15,00	6,00		9,90	1,50	6,10		9,80	0,12	0,00	5,80	36,30			
Valor medio						5,68	15	10	5	54,66	26,40	18,94		16,21	1,75	19,82		33,37	0,31	0,00	5,89	59,11			
Desv. Estándar						3,30	9	5	4	16,11	8,18	11,12		4,10	0,20	13,23		23,65	0,18	0,00	0,10	17,68			

RESUMEN ENSAYOS SONDEOS Y CALICATAS EN SUELOS

REFERENCIAS											REGISTROS CAMPO		ESTADO			IDENTIFICACIÓN						C. SIMPLE	CORTE DIRECTO			ENSAYOS QUÍMICOS				ÍNDICE DE COLAPSO (%)	PRESIÓN DE HINCHAMIENTO (kPa)	CLASIFICACIÓN						
SONDEO	COTA SONDEO	MUESTRA	Profundidad (m)				Cota (m)				TIPO TERRENO	FORMACIÓN	GOLPEO		Humedad Natural W (%)	Densidad seca (t/m³)	Densidad Húmeda ó Aparente (t/m³)	LÍMITES ATTERBERG			GRANULOMETRÍA			q _s (kPa)	TIPO	c (kPa)	φ (°)	Mat. Orgánica (%)	Cont. sulfatos SO ₄ -EHE (mg/kg)	Acidez Baumann Gully (mg/kg)	Cont. carbonatos (%)			USCS	AASHTO	PG-3*		
			DE	A	MEDIA	LONGITUD	DE	A	MEDIA	LONGITUD			N _{SPT}	SPT _{ECU} de MI				LL	IP	IP	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)															
S-2	783,0	MI-1	1,5	1,92	1,7	0,4	781,5	781,1	781,3	0,4	Limos arenosos	UG-3		40	7,5	1,75	1,88	NP	NP	NP	4,0	45,0	51,0											ML	A-4(0)	tolerable		
S-2	783,0	SPT-1	1,92	2,43	2,2	0,5	781,1	780,6	780,8	0,5	Limos Arenosos	UG-3	71		5,3			NP	NP	NP	6,8	12,9	80,3											ML	A-4(0)	tolerable		
S-2	783,0	SPT-2	3,12	3,48	3,3	0,4	779,9	779,5	779,7	0,4	Arenas con algo de limo	UG-3	53		0,4			NP	NP	NP	0,4	86,4	13,2		CD	13	31,4	0,00	0,0						SM	A-2-4(0)	tolerable	
S-3	791,0	MI-1	1,8	2,4	2,1	0,6	789,2	788,6	788,9	0,6	Arenas con algo de limo y grava	UG-3		37	11,7	1,79	2,00	NP	NP	NP	21,6	44,1	34,3		CD	0	41,9									SM	A-2-4(0)	adecuado
S-3	791,0	MI-2	3,6	4,2	3,9	0,6	787,4	786,8	787,1	0,6	Arcilla con bastante arena	UG-3		59	9,2	2,13	2,33	23	13	10	13,1	27,4	59,5	288												CL	A-4(3)	tolerable
S-3	791,0	MI-3	6	6,22	6,1	0,2	785,0	784,8	784,9	0,2	Grava arcillosa	UG-3		50R	7,5	1,91	2,05	22	12	11	32,1	24,3	43,6												GC	A-6(1)	tolerable	
S-3	791,0	SPT-4	9,12	9,72	9,4	0,6	781,9	781,3	781,6	0,6	Arcilla con bastante arena	UG-3	68		8,7	2,00	2,17	22	12	9	0,0	29,1	70,9												CL	A-4(4)	tolerable	
S-3	791,0	MI-5	12	12,22	12,1	0,2	779,0	778,8	778,9	0,2	Arcilla con bastante arena	UG-3		50R	11,9	2,04	2,28	26	14	12	1,3	20,3	78,4	239											CL	A-6(7)	tolerable	
S-4	790,0	MI-1	1,8	2,4	2,1	0,6	788,2	787,6	787,9	0,6	Limos Arenosos	UG-3		40	18,1	1,72	2,03	NP	NP	NP	0,0	6,8	93,2												ML	A-4(0)	tolerable	
S-4	790,0	MI-2	4	4,6	4,3	0,6	786,0	785,4	785,7	0,6	Arcilla limosa	UG-3		44	16,5	1,84	2,14	30	16	14	0,0	3,3	96,7	214											CL	A-6(12)	tolerable	
S-4	790,0	MI-3	6,8	7,4	7,1	0,6	783,2	782,6	782,9	0,6	Limos Arcillosos	UG-3		61	12,3	1,90	2,13	NP	NP	NP	1,1	24,0	74,9		CD	35	27,6	0,00	0,0							ML	A-4(0)	tolerable
S-4	790,0	MI-4	10	10,57	10,3	0,6	780,0	779,4	779,7	0,6	Arcilla limosa con indicios de arena	UG-3		44	12,8	1,98	2,23	28	15	13	0,0	10,8	89,2	226											CL	A-6(10)	tolerable	
S-5	792,0	MI-2	3,6	4,2	3,9	0,6	788,4	787,8	788,1	0,6	Arcilla arenosa	UG-3		25	13,1	1,92	2,17	29	13	17	0,0	47,6	52,4	295											CL	A-6(5)	tolerable	
S-6	789,0	MI-2	4,2	4,8	4,5	0,6	784,8	784,2	784,5	0,6	Arcilla con algo de arena	UG-3		33	11,8	1,99	2,22	27	13	14	2,6	16,9	80,5	252											CL	A-6(9)	tolerable	
S-6	789,0	MI-3	6,3	6,81	6,6	0,5	782,7	782,2	782,4	0,5	Arcilla con bastante arena	UG-3		65	10,0	2,03	2,23	26	12	13	0,0	32,1	67,9	564	CD	19	37,3	0,00	0,0							CL	A-6(6)	tolerable
S-6	789,0	SPT-4	10,06	10,66	10,4	0,6	778,9	778,3	778,6	0,6	Arcilla con bastante arena	UG-3	45		10,4			20	12	9	9,3	34,0	56,7											CL	A-4(2)	tolerable		
S-7	789,0	MI-1	1,5	2,1	1,8	0,6	787,5	786,9	787,2	0,6	Arcilla con algo de arena	UG-3		48	14,1	1,91	2,18	32	16	17	4,2	19,7	76,1	475											CL	A-6(11)	tolerable	
S-7	789,0	MI-2	3	3,6	3,3	0,6	786,0	785,4	785,7	0,6	Arcilla con algo de arena	UG-3		53	13,0	1,96	2,21	34	15	19	1,2	15,1	83,7	301	CD	33	38,4	0,00	0,0							CL	A-6(15)	tolerable
S-7	789,0	MI-3	7,2	7,8	7,5	0,6	781,8	781,2	781,5	0,6	Arcilla con bastante arena	UG-3		46	14,8	1,91	2,19	34	16	19	6,3	23,4	70,3	854											CL	A-6(11)	tolerable	
S-7	789,0	MI-4	10,4	11	10,7	0,6	778,6	778,0	778,3	0,6	Arcilla con bastante arena	UG-3		40	17,6	1,83	2,10	38	17	21	2,8	24,4	72,8	381											CL	A-6(13)	tolerable	
S-7	789,0	MI-5	14	14,6	14,3	0,6	775,0	774,4	774,7	0,6	Arcilla con algo de arena	UG-3		39	20,0	1,73	2,08	47	20	28	0,0	12,4	87,6	364											CL	A-7-6(25)	tolerable	
C-2	779,0	MA-2	1,9	2,7	2,3	0,8	777,1	776,3	776,7	0,8	Arcillas Limosas	UG-3																										
C-5	791,0	MA-1	1,3	2,3	1,8	1,0	789,7	788,7	789,2	1,0	Arena Limosas	UG-3																										
C-7	779,0	MA-1	0,5	2	1,3	1,5	778,5	777,0	777,8	1,5	Limos arenosos	UG-3																										
C-11	787,0	MA-1	1	1,2	1,1	0,2	786,0	785,8	785,9	0,2	Grava con bastante arcilla y arena	UG-3			4,7			26	16	10	36,4	31,0	32,6												GC	A-2-4(0)	adecuado	
C-14	790,0	MA-1	2,2	2,4	2,3	0,2	787,8	787,6	787,7	0,2	Grava con algo de arcilla y arena	UG-3			2,9			19	14	5	63,5	19,1	17,4												GC	A-1-4(0)	seleccionado	
C-16	786,0	MA-1	1,4	1,6	1,5	0,2	784,6	784,4	784,5	0,2	Grava con bastante arcilla y algo de arena	UG-3			2,0			19	13	6	62,9	21,6	15,5												GC	A-1-4(0)	seleccionado	
C-21	785,0	MA-1	1,4	1,6	1,5	0,2	783,6	783,4	783,5	0,2	Limos Arenosos con nódulos de carbonatos	UG-3			11,1			29	18	11	17,0	34,4	48,6												SC	A-6(2)	tolerable	
C-22	784,0	MA-1	0,8	1	0,9	0,2	783,2	783,0	783,1	0,2	Grava con bastante arena y arcilla	UG-3			3,0			17	12	6	53,3	25,3	21,4												GC	A-1-4(0)	adecuado	
											N° ensayos		4,0	17,0	26,0	18,0	18,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	12,0		5,0	5,0	13,0	16,0	9,0	8,0	3,0	5,0						
											Máximo		50R	50R	20,0	2,1	2,3	47,1	19,5	27,6	63,5	86,4	96,7	854,2			0,2	0,0	6,0	59,9	0,7	34,3						
											Mínimo		45,0	25,0	0,4	1,7	1,9	17,3	11,6	5,2	0,0	3,3	13,2	213,8			0,0	0,0	5,8	36,3	0,1	9,8						
											Valor medio		48,8	43,3	10,4	1,9	2,1	27,5	14,4	13,1	13,1	26,6	60,3	371,1			0,1	0,0	5,8	46,6	0,3	17,6						
											Desv. Estándar		2,5	7,2	5,2	0,1	0,1	7,3	2,2	5,6	19,9	16,5	25,4	185,0			0,1	0,0	0,1	8,3	0,3	10,2						

