

MAPA GEOTECNICO Y DE RIESGOS GEOLOGICOS DE LA CIUDAD DE VIGO

E: 1/25.000 Y 1/5.000

Memoria

Serie: Geología Ambiental



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

Madrid, 1.987

00945

MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

DIVISION DE GEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA

MAPA GEOTECNICO Y DE RIESGOS GEOLOGICOS DE LA CIUDAD DE VIGO

E.1/25.000 Y 1/5.000

MEMORIA

**MAPA GEOTECNICO Y DE RIESGOS
GEOLOGICOS DE LA CIUDAD DE VIGO
ESCALA 1:25.000 Y 1:5.000**

El presente trabajo ha sido realizado por ESTUDIOS DE GEOLOGIA APLICADA (López-Prado, CONSULTOR), en régimen de adjudicación directa por el Instituto Geológico y Minero de España. La relación nominal del equipo que ha intervenido es la siguiente:

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

D. Francisco J. Ayala Carcedo. Director del Proyecto. Ingeniero de Minas.

ESTUDIOS DE GEOLOGIA APLICADA

D. Jorge López-Prado Teijeira. Licenciado en Ciencias Geológicas.

INDICE

	Pág.
1. INTRODUCCION	1
1.1. <i>La Cartografía Geotécnica en la ordenación urbana</i>	1
1.2. <i>Antecedentes y objetivos del presente Mapa</i>	1
1.3. <i>Zona estudiada</i>	3
1.4. <i>Método de trabajo</i>	3
2. FACTORES CON INCIDENCIA CONSTRUCTIVA	7
2.1. <i>Factores físico-geográficos</i>	7
2.1.1. <i>Climatología y meteorología</i>	7
2.1.2. <i>Morfología. Mapa de pendientes</i>	12
2.1.3. <i>Hidrología superficial</i>	13
2.1.4. <i>Hidrología subterránea</i>	14
2.2. <i>Bosquejo geológico</i>	14
2.2.1. <i>Estratigrafía</i>	16
2.2.2. <i>Rocas filonianas</i>	18
2.2.3. <i>Rocas ígneas</i>	19
2.2.4. <i>Rocas metamórficas</i>	19
2.2.5. <i>Rocas muy alteradas</i>	20
2.2.6. <i>Tectónica</i>	20
2.2.7. <i>Historia geológica</i>	21
2.3. <i>Sismología</i>	21
2.4. <i>Yacimientos y explotaciones de materiales utilizados en construcción</i>	23
3. ESTUDIO DEL AREA A ESCALA 1:25.000	27
3.1. <i>Zonación geotécnica</i>	27
3.1.1. <i>Criterios de división</i>	27
3.1.2. <i>División en Areas y Zonas Geotécnicas</i>	27
3.2. <i>Estudio de las Zonas Geotécnicas</i>	29
3.2.1. <i>Metodología</i>	29
3.2.2. <i>Area I</i>	34
3.2.2.1. <i>Zona I₁</i>	34
3.2.2.2. <i>Zona I₂</i>	36
3.2.2.3. <i>Zona I₃</i>	41
3.2.2.4. <i>Zona I₄</i>	45
3.2.2.5. <i>Zona I₅</i>	49
3.2.3. <i>Area II</i>	51
3.2.3.1. <i>Zona II₁</i>	51
3.2.3.2. <i>Zona II₂</i>	57
3.2.4. <i>Area III</i>	63
3.2.4.1. <i>Zona III₁</i>	63
3.2.4.2. <i>Zona III₂</i>	66
3.2.4.3. <i>Zona III₃</i>	68
3.2.4.4. <i>Zona III₄</i>	71
3.2.4.5. <i>Zona III₅</i>	75
3.2.4.6. <i>Zona III₆</i>	80
3.2.4.7. <i>Zona III₇</i>	83
3.2.4.8. <i>Zona III₈</i>	88
3.2.4.9. <i>Zona III₉</i>	94
3.2.5. <i>Area IV</i>	97
3.2.5.1. <i>Zona IV₁</i>	97
3.2.5.2. <i>Zona IV₂</i>	99
3.2.6. <i>Investigaciones geotécnicas suplementarias para obras puntuales</i>	99

	Pág
4. ESTUDIO DEL AREA DEL RIO LAGARES, A ESCALA 1:5.000	103
4.1. Zonación geotécnica	103
4.2. Estudio de las Zonas y Subzonas Geotécnicas	103
4.2.1. Zona III ₂	105
4.2.2. Zona III ₈	105
4.2.3. Zona III ₉	106
4.2.4. Zona IV ₁	106
4.2.5. Investigaciones geotécnicas suplementarias para obras puntuales	106
5. DEFINICION DE LOS PRINCIPALES TERMINOS GEOTECNICOS EMPLEADOS	107
6. BIBLIOGRAFIA	111

1. INTRODUCCION

1.1. LA CARTOGRAFIA GEOTECNICA EN LA ORDENACION URBANA

La toma de decisiones en materia de Ordenación Urbana, siempre que se pretenda que dichas decisiones estén bien fundadas, debe ir precedida de una Información Básica Previa. Entre los aspectos que esta Información debe contemplar, están los relativos al Medio Físico. Este Medio condiciona el desarrollo y las actividades cotidianas de la ciudad y su entorno de muchas formas, fundamentalmente en el sentido de protegerlo de la contaminación y otras agresiones que contra él se ejercen. La elaboración de documentos cartográficos en los que el Medio Físico se considera desde un enfoque ambiental es, hoy en día, tarea obligada de los Planes de Ordenación Urbana. Hay, sin embargo, otras relaciones entre el citado Medio y dicha Ordenación. El suelo, aparte de sus usos agrícolas y recreativos, es también el soporte de todas las construcciones y, como tal, influye en los aspectos económicos (generalmente a medio y largo plazo) que conlleva toda decisión urbanística.

La ubicación de construcciones y obras de infraestructura en terrenos problemáticos, imputa unos sobrecostos presupuestarios cuyo pago recae sobre la comunidad, sin que se traduzca en servicio alguno para ella. Se produce, en consecuencia, una inversión inútil, siempre que exista alguna posibilidad alternativa y permanente, una vez que se ha decidido la expansión de la ciudad hacia dicha zona. En los actuales momentos en que la racionalidad de las inversiones se cuida al máximo, pensamos que lo expuesto debe ser considerado por quienes tienen el poder de decisión en actuaciones urbanísticas. La Cartografía Geotécnica trata de suministrar la Información requerida a este respecto.

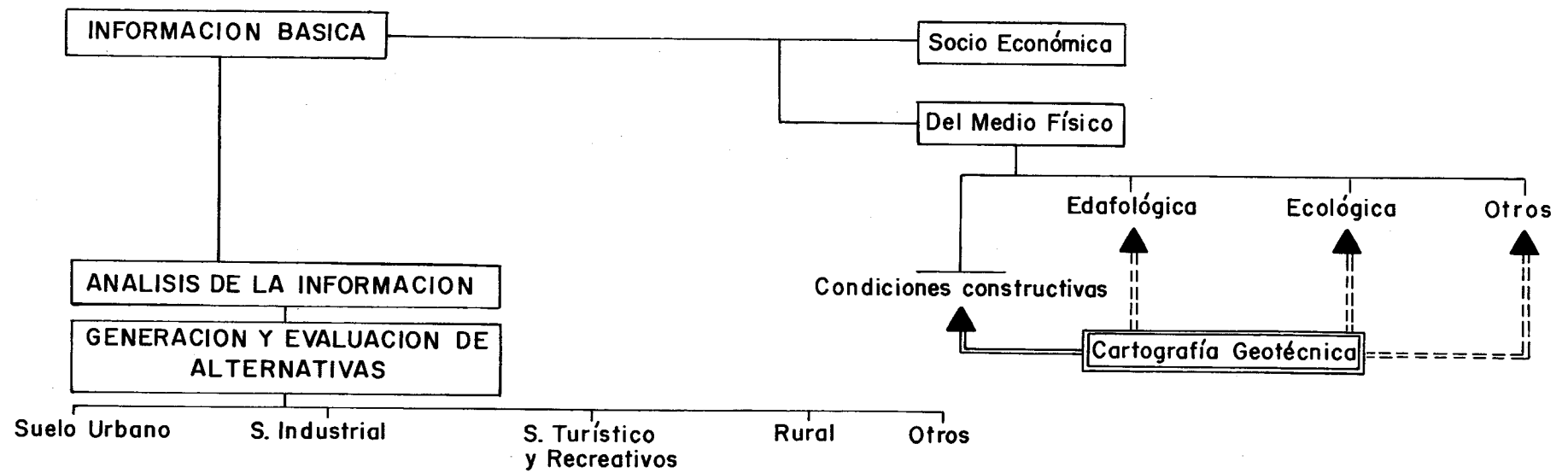
Por otra parte, la ejecución racional de proyectos constructivos, por lo que a su relación con el suelo se refiere (sea en cimentaciones o en obras de tierra), requiere un documento que facilite previamente al diseñador una orientación sobre las características mecánicas del terreno natural, acerca de su idoneidad para constituir rellenos, referente a la problemática que pueda encontrar en excavaciones, etc... Quienes han trabajado en este campo de actividad y conocen, por tanto, la variabilidad de las condiciones del terreno, lo mucho que incide sobre la estabilidad de la mayor parte de las obras y, a la vez, la escasa o nula información previa existente, encontrarán en la Cartografía Geotécnica una valiosa guía que hará más útiles, seguros y económicos sus proyectos.

1.2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DEL PRESENTE MAPA

Dada la rápida expansión industrial y urbana de nuestro país, la planificación de las realizaciones insertadas en el Programa Nacional de Investigación Geotécnica

CARTOGRAFIA GEOTECNICA Y ORDENACION TERRITORIAL Y URBANA

ETAPAS DEL PLANEAMIENTO



← Cartografía Resolutiva

← Apoyo a otros estudios

se orientó de forma escalonada, de modo que, al principio, cubrió grandes áreas estudiadas a escalas reducidas y luego se pasó a investigar zonas pequeñas con mayor detalle. El Programa se inició con la elaboración de mapas geotécnicos a escala 1:200.000, que eran idóneos para técnicos y organismos encargados de la planificación de zonas extensas.

Una vez dominada la metodología de este tipo de mapas, y ya con más de la mitad del territorio nacional cubierto, se emprendió la realización de otro tipo de documentos, encaminados a estudiar áreas más reducidas, a escalas comprendidas entre 1:25.000 y 1:5.000. Se decidió como escala básica la 1:25.000, complementada en zonas de expansión, con escalas mayores.

El municipio de Vigo constituye, hoy en día, una gran área metropolitana, desarrollada sobre un soporte físico, de marcados rasgos morfológicos, que presenta claros problemas geotécnicos. Se relacionan la mayoría de éstos, con el profuso isleo que, dentro de su dominio, definen los depósitos de materiales modernos, afectos generalmente a niveles freáticos altos y bajas capacidades portantes. La dinámica y agresividad de algunos acuíferos costeros son, así mismo, factores negativos muy a tener en cuenta en un municipio que, por condicionantes geográficos o de estrategia local, puede verse obligado a dirigir su expansión industrial y urbana hacia terrenos problemáticos.

Todas estas consideraciones contribuyen al interés de establecer un marco geológico orientativo y una zonación geotécnica que simplifique las prospecciones a efectuar por particulares, poniendo a su disposición la información obtenida durante la elaboración de este documento.

1.3. ZONA ESTUDIADA

A escala 1:25.000 se ha estudiado el área cubierta por el Término Municipal de Vigo, que linda con los municipios de Redondela y Mos por el E., Porriño, Gondomar y Nigrán por el S. y la ría que lleva su nombre al N. y al W.

La zona de estudio a escala 1:5.000 se definió por consulta con el gabinete técnico del Excmo. Ayuntamiento de Vigo, el cual señaló el área de desembocadura del río Lagares como de máximo interés de cara a una previsible demanda de suelo industrial.

La figura 1 muestra la situación de las zonas estudiadas a las distintas escalas.

1.4. METODO DE TRABAJO

Para la realización del estudio se han seguido las siguientes frases:

- A) Recopilación de información cartográfica, geológica, geotécnica e hidrogeológica, así como toma de datos de diversa índole útiles a los objetivos del trabajo. Se visitaron Organismos Públicos y Empresas Privadas que han realizado estudios geológico-geotécnicos en el área investigada.
- B) Cartografía geológico-geotécnica. Se elaboró en gabinete una base cartográfica geológica mediante fotointerpretación y con el apoyo de las Hojas del Mapa Geológico Nacional, a escala 1:50.000, números 223 (Vigo) y 261 (Tuy). Posteriormente se realizaron los recorridos de campo necesarios para la definición de las características de cada una de las formaciones.
- C) Campaña de obras de reconocimiento. Se han efectuado sondeos mecánicos con toma de muestras inalteradas, ejecución de ensayos de penetración standard (SPT). y desmuestres sistemáticos. También se llevaron a cabo una serie de penetraciones dinámicas mediante penetrómetro Borro, con maza de

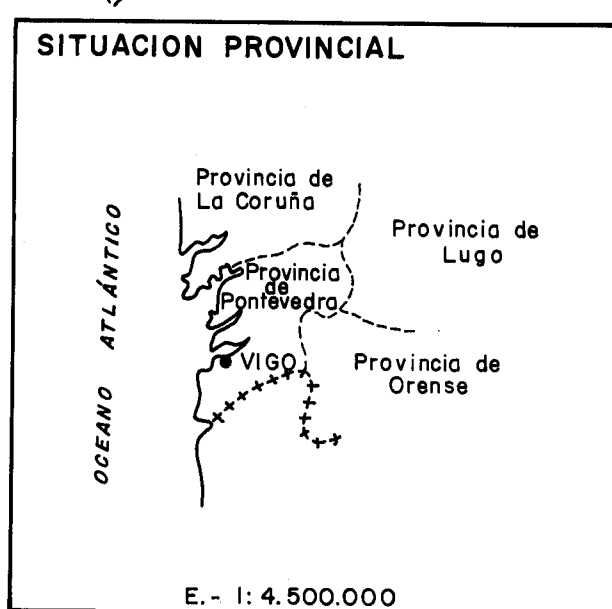
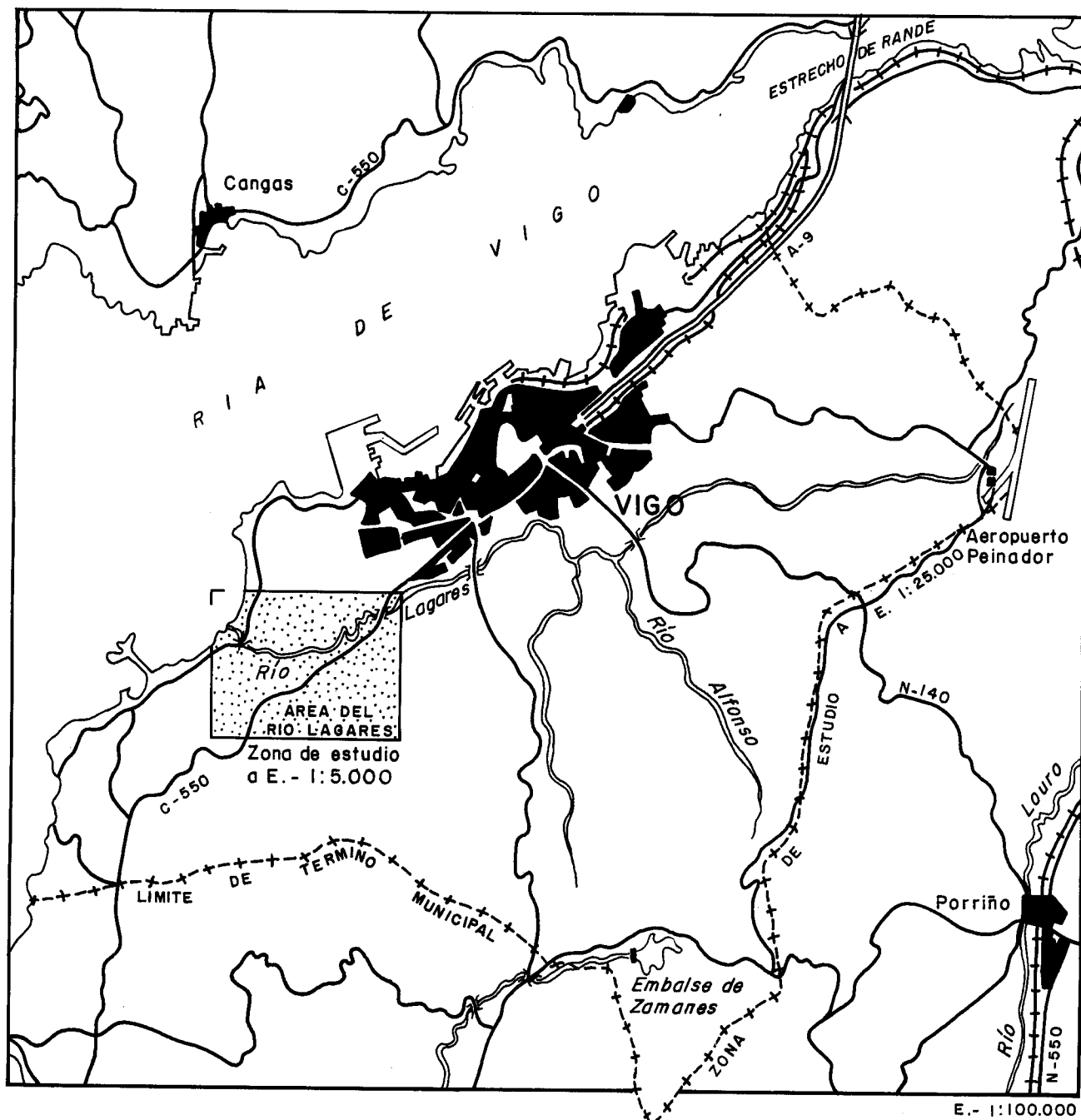


Fig. 1.- Mapa de situación de zonas de estudio

65 kg, altura de caída de 50 cm y puntaza de 4x4 cm², hasta obtener una velocidad de hincia inferior a 0,1 cm/golpe.

D) Ensayos de laboratorio. Las muestras obtenidas en los sondeos se han sometido a los siguientes ensayos:

- Muestras alteradas (SPT y desmuestres)
 - Límites de Attemberg
 - Granulometría por tamizado
 - Contenido en materia orgánica
 - Ensayo Lambe

- Muestras inalteradas
 - Límites de Attemberg
 - Granulometría por tamizado
 - Contenido en materia orgánica
 - Humedad natural
 - Edómetro
 - Corte directo
 - Compresión simple

E) Síntesis de resultados y de la información geotécnica puntual, confección de los distintos mapas y redacción de la presente memoria.

2. FACTORES CON INCIDENCIA CONSTRUCTIVA

2.1. FACTORES FISICO-GEOGRAFICOS CON INCIDENCIA CONSTRUCTIVA

2.1.1. CLIMATOLOGIA Y METEOROLOGIA

Si se atiende a la clasificación climática de PAPADAKIS, el área estudiada que, al menos en su mayor parte, se supone regida por las características climáticas dadas por el observatorio de Peinador (Vigo), posee un tipo de clima marítimo cálido (MA, Hu). Se caracteriza por un invierno tipo Citrus (CI) (con temperatura media de las mínimas absolutas del mes más frío entre 7°C y 2,5°C; temperatura media de las máximas del mes más frío de 10°C a 21°C, y temperatura media de las mínimas del mes más frío inferior a 8°C); el verano es de tipo Arroz(O), con duración de la estación libre de heladas, «mínima», de más de 4 meses, y con una media de las máximas (de los «n» meses más cálidos) entre 21°C y 25°C (n=6). El régimen de humedad es de tipo Húmedo (Hu).

Los datos sobre precipitaciones y otros parámetros climáticos se han obtenido en el Servicio Meteorológico Nacional y se refieren a la estación de Peinador (Vigo) y al periodo 1961-1985.

PRECIPITACIONES

La pluviometría media anual, en el periodo considerado, fue de 2.037 mm; los valores máximos se registraron en los meses de Enero y Diciembre, con 298,8 mm y 280,3 mm respectivamente. El mes más seco fue Agosto, con un promedio de 31,5 mm y le siguió Julio con 38,3 mm.

La precipitación máxima en 1 hora, para un período de retorno de 10 años y nivel de probabilidad del 90%, es del orden de 42 mm, según Instrucción de Carreteras, Drenaje, Norma 5.1-1c.

La precipitación máxima en 24 horas en el período 1961-1985 se produjo el día 7 de Diciembre de 1.978; se midieron 175 l. por metro cuadrado.

La Norma Tecnológica de Edificación, Drenajes y Avenamientos, sitúa el término municipal de Vigo, respecto a precipitaciones máximas (P) en una hora y para un período de retorno de 10 años, en la zona B, donde dicho valor, P, oscila en el entorno 30-50 mm/hora.

Las heladas se registran desde el mes de Noviembre (5 días en la totalidad del período considerado), hasta Abril (2 días); los meses de Diciembre, Enero y Febrero son los que alcanzan mayor número de días de heladas (54, 54, 28 y 20 respectivamente).

Las nevadas son muy poco frecuentes, correspondiendo al mes de Febrero el mayor número de días con nieve (12 en el período 1961-1985).

TEMPERATURAS

La temperatura media anual en dicho período alcanzó los 13,5°C; el mes más cálido fue Agosto, con una temperatura media de 18,8°C, y los más fríos Diciembre y Enero, que registraron 8,5°C y 8,1°C respectivamente.

En el cuadro que sigue se da el intervalo de variación de las temperaturas máxima y mínima media (período 1961-1985).

MES	OSCILACION DE T. MAX. MEDIA	OSCILACION DE T. MIN. MEDIA
Enero	9,2 a 13,0	2,3 a 8 ,0
Febrero	9,1 a 15,2	3,0 a 8 ,2
Marzo	11,4 a 20,0	3,4 a 8 ,5
Abril	13,0 a 19,2	5,6 a 11,1
Mayo	14,7 a 20,5	6,8 a 11,3
Junio	18,1 a 25,6	8,9 a 14,3
Julio	21,0 a 27,2	12,5 a 15,3
Agosto	21,2 a 27,3	11,9 a 15,4
Septiembre	19,1 a 26,7	10,9 a 15,6
Octubre	15,7 a 21,7	8,4 a 12,8
Noviembre	12,3 a 18,1	4,7 a 11,2
Diciembre	9,4 a 14,0	2,6 a 7,8

El cuadro 1 representa el resumen de los datos señalados en las líneas precedentes.

CUADRO NUM. 1. DATOS DE LA ESTACION PEINADOR (VIGO). PERIODO 1961-1985
Elaboración a partir de los datos del Servicio Meteorológico Nacional

Meses	Precipitación Media	Precipitación Máxima en 24 h	Días tormenta Valor medio	Días niebla Valor medio	Temperatura Media °C	Máxima Absoluta °C	Mínima Absoluta °C
Enero	298,8	121,8	1,2	4,9	8,1	20,4	-4,0
Febrero	264,4	105,6	2,8	2,8	12,0	20,0	-5,0
Marzo	203,7	166,4	1,1	2,1	10,1	27,0	-3,0
Abril	149,4	76,5	1,4	2,2	11,6	27,6	0,0
Mayo	148,3	107,4	1,2	2,7	13,4	33,6	2,0
Junio	78,3	60,2	1,0	4,4	16,9	38,6	4,6
Julio	38,3	49,1	1,0	4,8	18,7	35,2	7,6
Agosto	31,5	48,9	0,3	5,4	18,8	36,0	8,0
Septiembre	117,8	113,4	1,1	5,2	17,8	35,0	5,0
Octubre	186,2	84,0	0,8	5,1	14,7	30,0	2,0
Noviembre	240,0	101,6	1,3	3,3	10,9	24,6	-0,8
Diciembre	280,3	175,0	1,3	4,0	8,5	19,4	-3,4
AÑO	2.037,0	175,0	14,5	46,9	13,5	38,6	-5,0

VIENTOS

Los cuadros que siguen dan las direcciones de los vientos dominantes por meses y años en el periodo 1961-1985.

MES	VIENTO DOMINANTE
Enero	S
Febrero	S
Marzo	S
Abril	N-W-S
Mayo	N-W-S
Junio	W-NW
Julio	W-NW
Agosto	W-N
Septiembre	W-S
Octubre	S
Noviembre	S
Diciembre	S

AÑO	VIENTO DOMINANTE	AÑO	VIENTO DOMINANTE
1961	S	1974	S
1962	W	1975	S
1963	S	1976	S
1964	S	1977	S
1965	S	1978	S
1966	S	1979	S
1967	S	1980	S
1968	W	1981	S
1969	S	1982	S
1970	W	1983	S
1971	S	1984	S
1972	S-W	1985	S
1973	W		

INSOLACION

La figura 4 indica la variación del número de horas de sol a lo largo del año, con valores medios calculados para el periodo 1961-1985. El promedio anual es de un total de 2355,9 horas; el máximo corresponde al mes de Julio, con valor medio de 308,7 horas y el mínimo a Diciembre con 109,6 horas.

INCIDENCIAS CLIMATOLOGICAS EN EL PROYECTO Y PROGRAMACION DE OBRAS

De acuerdo con la publicación del M.O.P.U. «Datos climáticos para carreteras» (1964), los coeficientes medios anuales para la obtención del número de días útiles de trabajo a partir del número de días laborables, según el tipo de obra, son los siguientes:

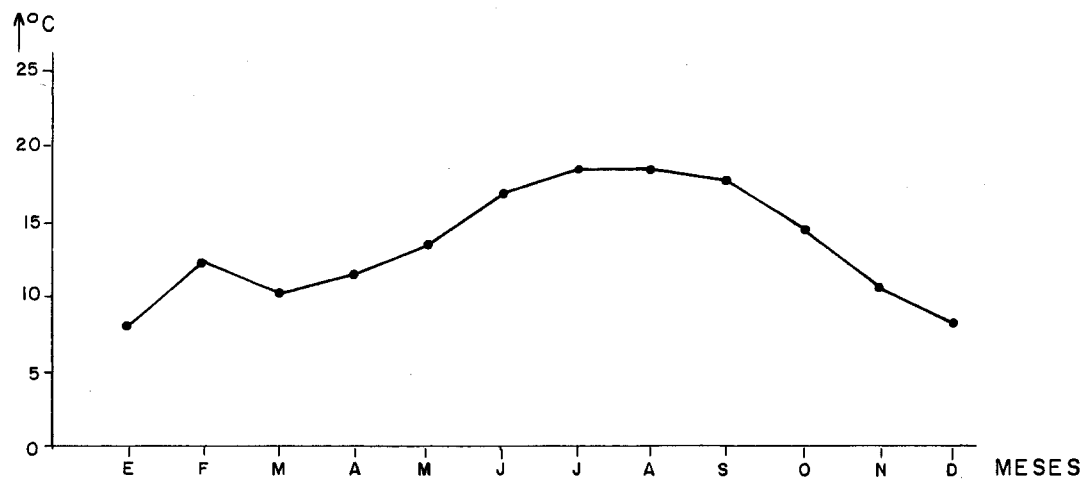


Fig. 2.- Evolución de las temperaturas medias mensuales. Periodo 1961-1985.

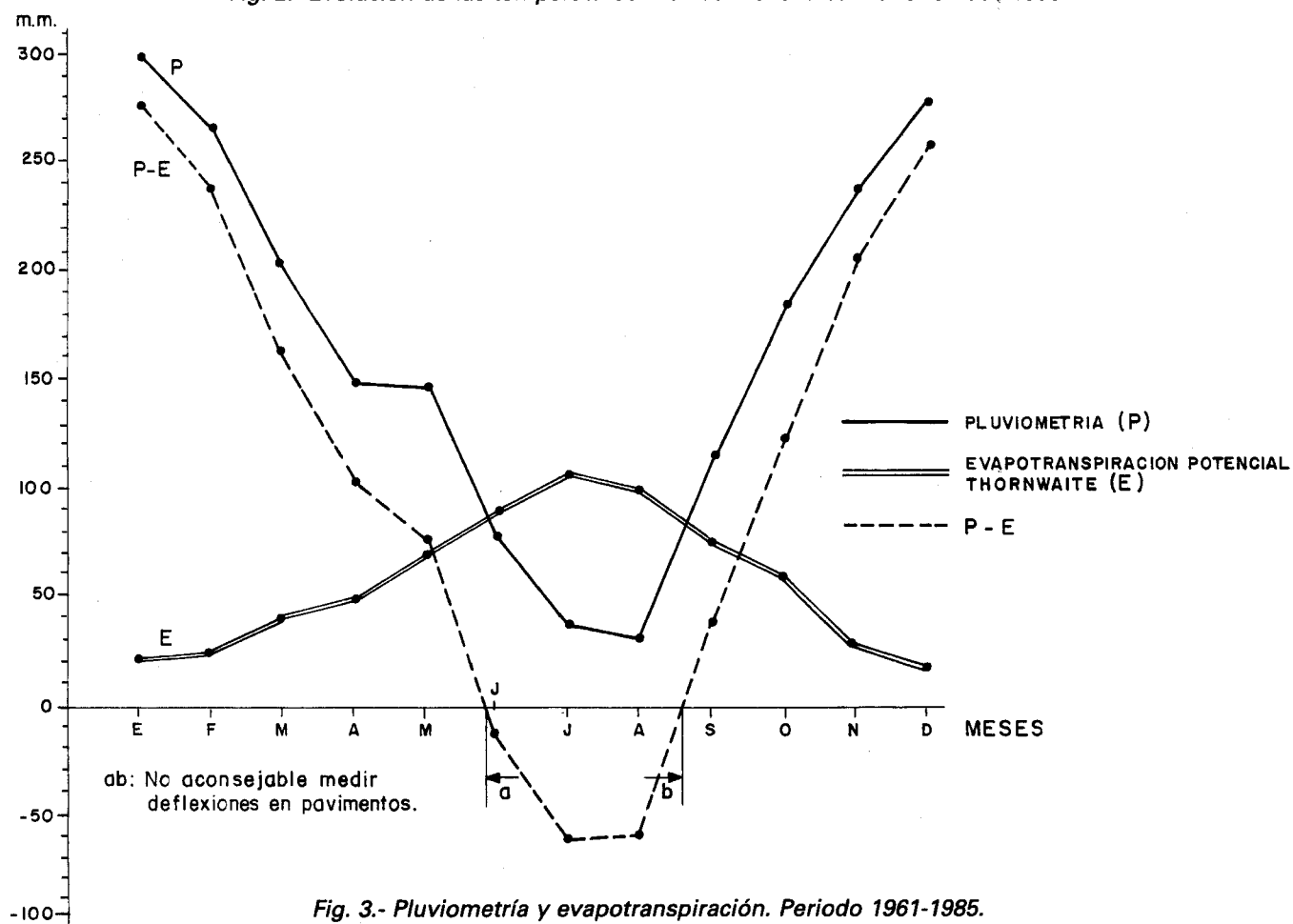


Fig. 3.- Pluviometría y evapotranspiración. Periodo 1961-1985.

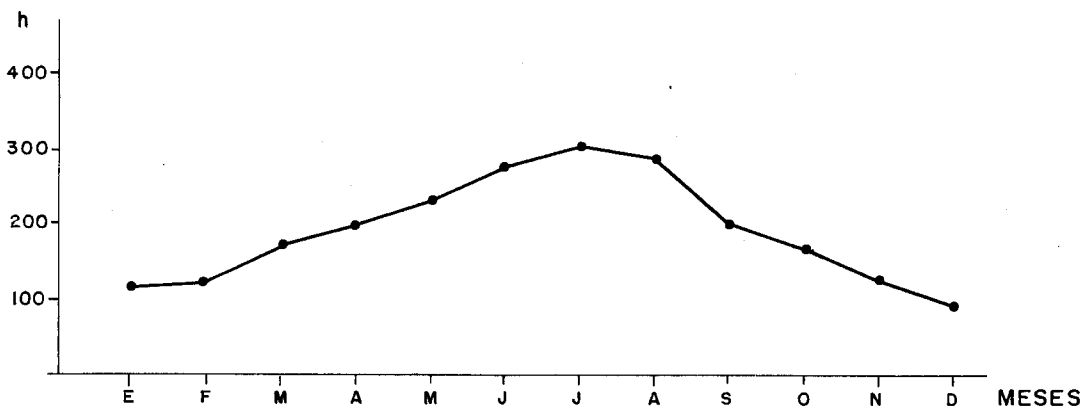


Fig. 4.- Insolación media mensual. Periodo 1961-1985.

- Hormigón 0,845
- Explanaciones 0,747
- Aridos 0,848
- Riegos o tratamientos 0,552
- Mezclas bituminosas 0,647

La Norma Tecnológica NTE-ECV/1973 del Ministerio de la Vivienda «Estructuras. Cargas de Viento», aprobada en Orden de 4 de Junio de 1973, sitúa el área estudiada en la Zona Eólica X. En ella, la carga total de viento a considerar sobre edificios oscila, para la situación normal, entre $q=60 \text{ kg/m}^2$ y $q=111 \text{ kg/m}^2$ para alturas comprendidas entre 3 y 60 m respectivamente; para situación expuesta «q» varía entre 66 y 122 kg/m^2 con la misma variación de alturas. Se considera situación expuesta: las costas, cumbres de montaña, desfiladeros, bordes de meseta y aquellos lugares en que pueda preverse la aparición de vientos locales de intensidad excepcional. Para edificios de planta rectangular o combinación de rectángulos, se considera una presión a barlovento $p=2/3 q$ y una succión a sotavento $s=1/3 q$. Para el cálculo de la carga sobre acristalamientos u otras superficies en que pueda haber huecos abiertos, se tomará el valor de q. El cálculo de cargas de viento sobre cubiertas puede seguirse en la citada NTE-ECV.

A efectos de fijar las condiciones térmicas de los edificios y sus cerramientos y de predicción de condensaciones en los mismos, el Artículo 13º de la Norma Básica de Edificación NBE-CT-79, Condiciones Térmicas en los Edificios, establece dos zonificaciones, según las cuales el área estudiada se encuentra en la Zona C del Mapa de Zonificación por grados/día/año: de 801 a 1.300 grados/día/anuales, y en la Zona W del Mapa de Zonificación por temperaturas mínimas medias de enero: 5°C.

Los edificios quedan definidos térmicamente por los conceptos:

- a) Transmisión global de calor a través del conjunto del cerramiento, definida por su coeficiente K_G .
- b) Transmisión de calor a través de cada uno de los elementos que forman el cerramiento, definida por sus coeficientes K.
- c) Comportamiento higrotérmico de los cerramientos.
- d) Permeabilidad al aire de los cerramientos.

Los valores máximos del coeficiente de transmisión global K_G vienen dados, para la Zona C, en la siguiente tabla:

Tipo de energía para calefacción	Factor de forma "f" (m^{-1})	Valores máx. de K_G en $\text{Kcal/h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$	Coeficiente "a" en $\text{Kcal/h m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$
Combustibles sólidos, líquidos o gaseosos	$\leq 0,25$	1,40	0,20
	$\geq 1,00$	0,80	
Edificios sin calefacción o calefactados con energía eléctrica directa	$\leq 0,25$	1,05	0,15
	$\geq 1,00$	0,60	

Para valores intermedios de «f», K_G se calcula con la fórmula $K_G = a(3+1/f)$, donde «f» es el factor de forma del edificio y «a» el coeficiente dado en la tabla anterior, que depende del tipo de energía y de la Zona Climática. El coeficiente de transmisión térmica de los cerramientos, K, presentará los valores máximos que se dan en la siguiente tabla:

Tipo de cerramiento		Valores máx. de K en Kcal/h m ² °C
Cerramientos exteriores	Cubiertas	1,20
	Fachadas ligeras (< 200 kg/m ²)	1,03
	Fachadas pesadas (> 200 kg/m ²)	1,55
	Forjados sobre espacio abierto	0,86
Cerramientos con locales no calefactados	Paredes	1,72
	Suelos o techos	—

Para fijar las condiciones térmicas de los edificios y sus cerramientos y la producción de condensaciones, la temperatura para la zona W se tome igual a 8°C.

2.1.2. MORFOLOGIA.MAPA DE PENDIENTES

Desde el punto de vista morfológico, el municipio de Vigo se caracteriza, como ya se ha apuntado, por sus marcados rasgos, que dibujan un paisaje anfractuoso en la práctica totalidad del término, con la sola excepción de su ámbito noroccidental. Una corta y densa red de drenaje, rejuvenecida en el ciclo erosivo actual, se encaja en el relieve y modela lateras de largo desarrollo que, en base a la naturaleza del sustrato, muestran algunos aspectos diferenciales; así, las situadas en el entorno occidental, dominado por los granitoides, poseen planta subredondeada y perfiles bastante uniformes, mientras que las emplazadas en el dominio oriental, donde se asientan los gneises (definidores de un medio más anisotrópo), diseñan plantas más asimétricas y alargadas, mostrando perfiles con inflexiones que puedan marcar hombreras o pequeñas repisas. En general, los remates de los relieves han sido ya redondeados.

El ámbito noroccidental posee relieves suaves e, incluso, algunas formas llanas, como el pasillo del río Lagares. El tránsito de esta zona hacia la circundante se realiza rápidamente, localmente con brusquedad, por medio de un tramo con formas alomadas de planta irregular. El casco urbano de Vigo se emplaza en dicho dominio y posee dos accidentes topográficos que hablan bien a las claras del brusco ascenso que la línea de costa sufre en esta zona; a saber, el monte de EL Castro, que con 147 m dista unos 500 m del puerto, definiendo una pendiente media del 29%, y La Guía, que eleva a 124 m la Ermita de su cumbre y se separa del mar 287 m, lo que arroja un valor medio de pendiente del 43%.

Los vértices más destacados son: el Galiñeiro, de 705 m, situado en el extremo S del término, el Ferreira, de 445 m, sito en el límite NE, y el Outeiro Grande, que con 442 m se ubica en el límite SW.

MAPA DE PENDIENTES

La clara incidencia del condicionante topográfico, dentro del término municipal de Vigo, ha hecho considerar la conveniencia de incluir, entre los documentos gráficos, un mapa de pendientes. Se ha conseguido, de esta forma, compartimentar el territorio en una serie de entornos cuyo factor común es el de poseer similares porcentajes de pendiente.

Los ámbitos de variación seleccionados (<3%; 3-6%, 6-15%; 15-40% y >40%) no coinciden exactamente con los de ninguna clasificación concreta, pero han sido elegidos por estimarse que son los más representativos de este dominio físico y, en consecuencia, dan una mayor uniformidad al mapa.

En la leyenda se incluyen dos de las numerosas clasificaciones existentes, útiles para determinar el uso adecuado del terreno desde el punto de vista agrario y como

soporte de instalaciones y actividades urbanas. Debe añadirse aquí, a título orientativo, que la mayoría de las mencionadas clasificaciones (especialmente las más utilizadas) incluyen siempre un intento de descripción del relieve o, lo que es lo mismo, tratan de utilizar un enfoque geomorfológico. Para usos agrarios se consideran de interés: la utilizada por el Ministerio de Agricultura para la Caracterización de la Capacidad Agrológica de los Suelos de España, basada en los grados de variación propuestos por el Servicio de Conservación de Suelos de E.E.U.U. (1966); la del Soil Survey Staff (1951); la de STORIE (1970), utilizada para la clasificación de suelos en California; la inglesa de BIBBY Y MACKNEY (1969), y la del Centre d'Etudes Phytosociologiques de Montpellier (1968). Para usos urbanos, la clasificación más interesante es la del State Geological Survey of Kansas (1974), descrita en la leyenda y que proporciona una buena orientación para la elección de clases de pendiente en orden a la «implantación de actividades urbanas»; en ella se presupone que el uso del terreno se lleva a cabo sin modificación de pendientes, dado que, mediante recursos técnicos y aumentando las inversiones, sería posible elevar los límites de las mismas para idénticas utilidades pero, claro está, ello implicaría, generalmente, la modificación de dichas pendientes.

Existen, también, una serie de tablas locales de densidad de urbanización en sentido superficial (no espacial) en relación con la pendiente. Estas tablas son de tres tipos, según traten de establecer dicha relación con:

- El tamaño de la parcela de terreno en la que se podrá urbanizar, ocupando un porcentaje de suelo de la misma, que irá decreciendo a medida que la pendiente y el tamaño de la parcela aumenten.
- El porcentaje de terreno sobre el que no se debe actuar.
- El número máximo de parcelas urbanizables por Ha.

Por último, es preciso añadir en este apartado que, en relación con fenómenos de erosión y deslizamientos, MARSH (1979) proporciona la siguiente clasificación:

- Pendiente muy fuerte $>25^{\circ}$. Hay peligro de deslizamientos si sobre estos terrenos se realizan determinadas construcciones o labores de remoción.
- Pendiente fuerte: $15^{\circ}-25^{\circ}$. Si se disminuye la cobertura vegetal hay peligro de erosión y formación de cárcavas.
- Pendiente moderada: $5^{\circ}-15^{\circ}$. Con esta pendiente se pueden desarrollar actividades agrícolas y de urbanización. Sin embargo, una inadecuada explotación puede hacer susceptible la superficie a la erosión.
- Pendiente suave: $<5^{\circ}$. Con esta pendiente los terrenos se pueden dedicar a los usos más intensivos.

2.1.3. *HIDROLOGIA SUPERFICIAL*

La red de drenaje del área estudiada es corta y densa. Sus cursos son subsecuentes, es decir, se han desarrollado a favor de líneas de mínima resistencia que, en este caso, son las fallas originadas por una tectónica tardihercínica; consecuentemente, sus direcciones preferentes corren NE-SW, NW-SE y N-S.

El conjunto conforma una red de drenaje «angular», de fuerte control tectónico que, en los cursos de primer orden (los de menor importancia), lleva asociada una red «dendrítica» local. Los pasillos por los que circulan estos accidentes fluviales son estrechos y alargados, presentando perfiles frecuentemente quebrados, con claras rupturas de pendiente, que dan lugar a una alternancia de talwegs rectilíneos con otros de trazado meandriforme.

Las secciones, excepción hecha de los tramos bajos de los cauces, son bastante reducidas, por lo que, a pesar de la aceptable velocidad debida a la pendiente, los caudales son poco importantes, aunque, eso sí, no sufren excesivas variaciones estacionales.

Dentro del municipio de Vigo son muy escasos los cursos de agua que merecen la categoría de río, pero entre ellos destaca el Lagares que corre en dirección NE-SW, desemboca en la ensenada de Samil y recibe, por la izquierda, los caudales del Barxa y del Eifonso. El río Zamanes, que atraviesa el ámbito meridional del término, rinde aguas al Miñor en las inmediaciones de Gondomar (ya fuera del dominio geográfico del estudio).

El resto de los cursos que drenan la zona poseen categoría de arroyos y barrancos o, en terminología local, «regos» y «regueiros».

2.1.4. *HIDROLOGIA SUBTERRANEA*

La existencia de acuíferos, por lo que se refiera al sustrato, se limita, en este dominio, al agua de percolación y circulación por fracturas y red de diaclasado. El elevado índice de escorrentía que poseen los granitoides y gneises yacientes en este término municipal ($C=0,65-0,80$), sugiere ya, bien a las claras y «a priori», las reducidas posibilidades de los acuíferos que puedan ser captados. Los almacenes deben ser buscados en los entornos de cruceros de fallas, enclaves metamórficos dentro del granito y discontinuidades o superficies de anisotropía en general; de hecho, buen número de alumbraamientos de manantiales y fuentes existentes se suelen asociar con este tipo de accidentes.

Los depósitos modernos (fundamentalmente los aluviales) con coeficientes de escorrentía más bajos ($C=0,20-0,35-0,50$), y mayores índices de infiltración por porosidad intergranular, pueden constituir acuíferos de alguna importancia y notable continuidad. No obstante poseen un claro inconveniente, el de su escaso desarrollo o reducido volumen, circunstancia que los convierte en almacenes bastante limitados. Las captaciones se pueden realizar por zanjas o calicatas, obteniéndose caudales que muy difícilmente superan los 0,5 l/sg.

2.2. *BOSQUEJO GEOLOGICO*

Dado que el estudio geotécnico se orienta y refiera a un conjunto de materiales cuyo estado y configuración actuales son fruto de su naturaleza y de los diversos procesos sufridos a lo largo del tiempo, como son meteorización, erosión, transporte, sedimentación, diagénesis, metamorfismo, intrusiones y tectonización, es conveniente esbozar, de forma más o menos concisa, el marco geológico del área estudiada. Además, este apretado bosquejo ayudará a comprender la División Zonal realizada más adelante.

El término municipal de Vigo enclava su dominio en la zona Centro-Ibérica del Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares (IGME, 1972), incluyendo parte de la terminación sur de la unidad denominada «Fosa blastomilonítica». En el esquema de zonas paleogeográficas de MATTE Ph. (1968), queda comprendido dentro de la Zona V, Galicia Occidental-NW de Portugal.

Su territorio diferencia dos ámbitos claramente contrastados: el oriental, con dominio casi absoluto de rocas metamórficas, y el occidental, donde se emplazan las intrusiones graníticas. La línea divisoria corre aproximadamente, en dirección N-S, desde el Castro hasta Valladares. Sobre este tectonizado zócalo paleozóico se disponen, discordantemente y en distribución caótica, una serie de depósitos cuaternarios, de discreta importancia, que acumulan los productos del desmantelamiento de los macizos graníticos y metamórficos.

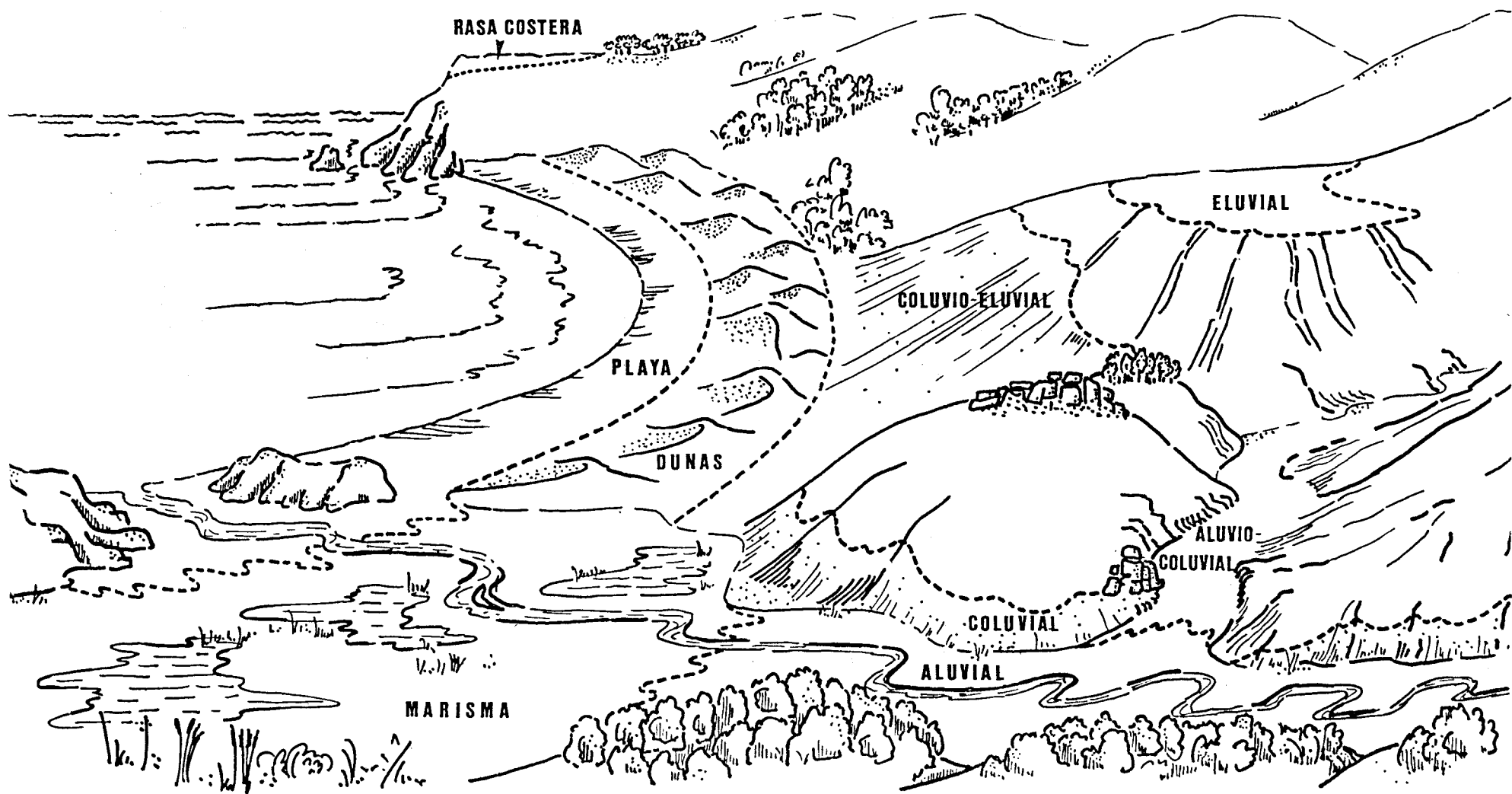


Fig. 5.- Disposición y rasgos morfológicos de los diferentes depósitos cuaternarios. Esquema idealizado.

2.2.1. ESTRATIGRAFIA

En el área estudiada se encuentran representadas formaciones sedimentarias pertenecientes al Cuaternario y metasedimentos datados como prehercínicos. Se describirán estos últimos en el apartado destinado a rocas metamórficas, reduciéndose el presente epígrafe a tratar sobre los depósitos cuaternarios.

CUATERNARIO

Como ya se ha comentado está integrado por una serie de acúmulos que fosilizan cicatrices erosivas y poseen una irregular disposición. Su importancia, por lo que a dimensiones y potencias se refiere es más bien discreta y su característica común es la inconstancia que, en los planos horizontal (espacio) y vertical (tiempo), suelen presentar sus materiales constituyentes. La génesis formacional de estos depósitos puede ser sencilla o mixta y, para el área estudiada, se sintetiza en el siguiente cuadro:

GENESIS		TIPO DE DEPOSITO
Sencilla	Mixta	
Marina		Playa
	Marino—Fluvial	Marisma
Fluvial		Aluvial
	Fluvial—Gravitacional	Aluvio—coluvial
Gravitacional		Coluvial
	Gravitacional—Meteórica	Coluvio-eluvial
Meteórica		Eluvial
	Meteórico—Eólica	Rasa Costera
Eólica		Dunas

La figura 5 muestra, por medio de un esquema idealizado, la disposición espacial y los rasgos morfológicos que suelen presentar cada uno de los depósitos referenciados. Sus características generales son las siguientes:

Rasa Costera (Rc)

De escasa representación superficial y con dos únicos afloramientos, en las zonas del Matadero y de Oya, estos depósitos poseen el significado inicial de una terraza marina, pero, en la actualidad, han sido desmantelados y, aunque conserven su clásico rasgo morfológico (zona semillana elevada junto a la línea de costa), sus materiales constituyentes poseen un origen meteórico y eólico. Se trata de arenas, mal graduadas, producto de la alteración de granitos, entre los que se disponen horizontes de arenas finas eólicas.

Dunas (Qd)

Ocupan la zona de trasplaya de Samil y Canido, en una ubicación que corresponde ya al dominio externo de la ría de Vigo, donde esta rompe el paralelismo de sus márgenes y la acción del viento es más persistente. Estos depósitos eólicos, con espesores variables, de 1 a 5 m, han sido fijados en Samil por una vegetación arbórea bien desarrollada.

Sus materiales constituyentes son arenas finas de tonos beige claros.

Depósitos de Playa (Qp)

Son acúmulos arenosos, de origen marino, que se disponen festoneando la línea de costa y constituyendo una zona de tránsito, con suave pendiente, entre el mar y el continente. Existe un buen número de estas formas de acumulación en el borde litoral del municipio de Vigo; la más importante es, sin duda alguna, la de Samil que posee arena de tamaño medio bastante bien clasificada.

La granulometría de las arenas varía de unas playas a otras; así, la de Bouzas, situada muy cerca de Samil pero con orientación ortogonal, es bastante gruesa y posee una buena clasificación. En general y para este término municipal, se puede decir que las arenas de sus playas van de medias a gruesas.

Eluviales (Qe)

Son depósitos residuales, de alteración meteórica, desarrollados a favor de hombreras, repisas e inflexiones donde se suavizan las pendientes. Prima, en todos ellos, la meteorización química, que ejerce una acción de transformación interna y disgregación de los componentes minerales de la roca original. El tránsito al subyacente se realiza de forma gradual, por lo que no es sencillo establecer sus espesores, aunque se estima que varían en el entorno 2-10 m.

Están constituidos, fundamentalmente, por arenas-limosas, pero pueden incluir algunos horizontes con limos-arenosos; además, los desarrollados sobre el sustrato metamórfico, presentan arenas-arcillosas y arcillas de baja plasticidad.

Coluvio-eluviales (Qce)

Estos depósitos son muy parecidos a los descritos en el anterior apartado, pero se diferencian de ellos en que, sus tramos altos, presentan una clara remoción y transporte. Su origen, pues, es mixto, gravitacional-meteórico.

Los materiales que los integran son similares a los de los eluviales, pero, aquí, los primeros 1-1,5 m están constituidos por arenas heterométricas que engloban cantos y gravillas subangulosas poligénicas. El rasgo morfológico es menos suave que en los depósitos meteóricos.

Coluviales (Qc)

Se trata de depósitos gravitacionales en los que, de manera relativamente caótica, se acumulan los productos del desmantelamiento de la cuenca vertiente. Se disponen suavizando las bruscas inflexiones de las laderas y, por tanto, fosilizan el relieve primitivo; esta última circunstancia es causa del carácter errático de sus espesores.

Sus materiales constituyentes son arenas-limosas y arcillosas que engloban cantos heterométricos (subangulosos) y fragmentos de roca.

Aluvio-coluviales (Qac)

Son depósitos de carácter mixto fluvial-gravitacional. Incluyen en su seno, los sedimentos de la modesta red fluvial secundaria y los materiales, heredados por gravedad, de la degradación de la cuenca vertiente. Constituyen rellenos de fondo de valle en los interfluvios.

Con espesores dominantes de 3-5 m, estos aluvio-coluviales incluyen arenas-limosas y arenas arcillosas que, frecuentemente, presentan pasadas de cantos.

Aluviales (Qa)

De inequívoca génesis fluvial, estos depósitos constituyen áreas deprimidas y semillanas en las que se acumulan los materiales habidos por la actividad erosiva de los citados agentes modeladores del relieve. Sus materiales constituyentes son arenas mal graduadas, arenas-limosas, limos-arenosos y arcillas de baja plasticidad.

El espesor de los aluviales del área estudiada puede alcanzar e, incluso, superar los 10 m.

Marismas (Qm)

Son depósitos de génesis mixta marino-fluvial. Si sitúan en las desembocaduras de los ríos, ocupando zonas de Traspaya, llanas y deprimidas, a las que, de forma permanente u ocasional, alcanza la oscilación de las mareas. Su superficie presenta frecuente encharcamientos y numerosos canales naturales de drenaje.

Sus materiales constituyentes son limos-arenosos, con abundante materia orgánica, que yacen sobre arenas-limosas y arenas mal graduadas.

ACTUAL

La actividad constructiva y urbana provoca la aparición de una serie de depósitos antropogénicos, en actual desarrollo, que, para el término municipal de Vigo, han sido divididos en dos grupos, presentando las siguientes características:

Rellenos (Qr)

Su destino es el servir de soporte a edificaciones y obras públicas, nivelando el terreno, por lo que dibujan, invariablemente, formas planas. Como puede comprenderse, sus materiales integrantes poseen naturaleza muy variada; así, en explanaciones, heredan los productos de los desmontes (fragmentados si se trata de rocas) y, en rellenos ingenieriles, están constituidos por materiales seleccionados. En cualquier caso, estos acúmulos, pueden considerarse controlados.

Vertidos (Qv)

Acumulan, de forma incontrolada, residuos y desechos industriales y urbanos, fundamentalmente, éstos últimos.

2.2.2. ROCAS FILONIANAS

En el ámbito meridional del área estudiada se desarrollan, normalmente a favor de fracturas, una serie de cuerpos, con geometría filoniana, que están integrados por cuarzo lechoso (Fq). Su potencia, de orden métrico, ha sido exagerada para poder concederles representación cartográfica.

Se disponen de forma subvertical, y su traza, que corre en el entorno direccional 20°W-45°E, corta indiscriminadamente a las estructuras del sustrato encajante, certificando así la edad tardi o post-hercínica de estos filones.

2.2.3. ROCAS IGNEAS

Ocupan la práctica totalidad del dominio occidental del municipio de Vigo y pueden ser encuadradas en dos series, calcoalcalina y alcalina, de acuerdo con el esquema de evolución magmática del NW peninsular admitido por diversos autores.

SERIE CALCOALCALINA

Como características generales puede decirse que dominan en ella los granitos de biotita y oligoclasa. En estas rocas predominan los tonos oscuros, otorgados por los minerales accesorios y, muy especialmente, por la biotita que, al contrario de la moscovita, es muy abundante.

En el área y pertenecientes a esta serie, se han distinguido:

- Granodiorita con megacrístales (G_1). Se presenta como una roca, de tonos oscuros, con abundantes megacrístales idiomorfos de feldespato potásico, de hasta 8 cm de largo. El cuarzo aparece en posición intersticial entre feldespatos y plagioclasas. Como micas se encuentran biotita y, en menor proporción, moscovita.
- Granito y granodiorita biotíticos (G_2). Este grupo de granitoides es heterogéneo en el aspecto textural y su facies más común está en estrecha relación con la granodiorita de megacrístales (G_1); de hecho, el contacto entre ambas tiene carácter difuso. Petrográficamente se trata de granodioritas y granitos adamellíticos, de grano medio a grueso.
- Granito moscovítico y aplitas (G_3). Conforman un cuerpo intrusivo de granitos leucocráticos, ubicado en el lugar de Costa. Algunos autores (FLOOR, P., 1966; ARPS, C.E.S., 1970) los consideran como diferenciados tardíos de la serie de granitoides calcoalcalinos precoces.

SERIE ALCALINA

El litotipo típico de esta serie es el granito de dos micas. Se trata de rocas leucocráticas, que nunca presentan hornblenda o piroxeno, poseen una proporción de biotita y moscovita equivalente, y sus minerales accesorios son escasos, tanto en cantidad como en variedad.

Dentro del área estudiada y perteneciente a esta serie se ha distinguido:

- Granito de feldespato alcalino (G_4). Presenta, además de las características generales del grupo, tendencia a la equigranularidad, aunque, localmente, hay variaciones de tamaño de grano. Su origen es anatéctico, si bien el carácter netamente intrusivo de los contactos que presenta, obliga a pensar en una removilización del frente de granitización autóctono inicial.

2.2.4. ROCAS METAMORFICAS

Dominan absolutamente el ámbito oriental del término municipal de Vigo y, en superficie, ocupan más del cincuenta por ciento del mismo. Se distribuyen, a grandes rasgos, en franjas de dirección N-S ocupadas por los siguientes tipos pétreos:

- Paraneises y micaesquistos (P). Pertenecen al Complejo Vigo-Pontevedra y, en campo, presentan el aspecto de rocas con marcada esquistosidad y

tonos oscuros, gris-azulados, negruzcos o pardos. Los paraneises, correspondientes a sedimentos grauwáquicos en origen, están compuestos por cuarzo, plagioclasa, biotita y, en algunos casos, moscovita. Los micaesquistos, que derivan de sedimentos pelítico-samíticos, poseen una mineralogía similar, pero con ausencia de metablastos de plagioclasa.

- Neises de biotita (N_1). Son rocas leucocráticas, ortometamórficas, emplazadas en íntima relación con el Complejo Vigo-Pontevedra. Su aspecto de campo es muy característico, por la generalizada textura lineal o planolínal, resultado de la orientación de agregados de cuarzo, feldespato y biotita que se ha producido por recristalización metablástica.
- Neises de Riebeckita (N_2). Afloran en una banda estrecha y alargada que corre desde la Guía hasta el extremo meridional del término, ya en las inmediaciones del vértice Galiñeiro. Posee esta roca, a simple vista, una mayor homogeneidad textural que el neis de biotita, y un fino bandeo claro y oscuro, ocasionalmente de tono rosado. Sus minerales principales son: cuarzo, albita, microclina, egirina, lepidomelana, astrofilita y fluorita; entre los accesorios que se concentran en las bandas oscuras, figuran apatito, biotita, riebeckita, circón rutilo y siderita.

2.2.5. ROCAS MUY ALTERADAS

Por ser este capítulo de geología preámbulo y base documental para establecer una zonación geotécnica del término municipal de Vigo, se ha considerado e impuesto la necesidad de realizar, en aquellos entornos donde fue posible, una diferenciación cartográfica de las rocas muy alteradas, ya que ocupan una gran superficie y constituyen un sustrato-soporte del que se esperan diferentes comportamientos, frente a las solicitudes de obra, que los de una roca sana.

Incluye, por tanto, este apartado, desde granitos y neises en proceso inicial de arenización hasta «xabres» y «tobres», ya con la sombra textural de la roca original prácticamente desaparecida. Así mismo, se contemplan los casos en los que el proceso de meteorización alcanza el nivel de caolinización.

El carácter de estas rocas es, normalmente, arenoso en los granitos alterados, GA_1 , GA_2 , GA_3 y GA_4 , y posee mayor porcentaje de matriz arcillosa en los neises, PA , NA_1 y NA_2 . Así mismo, puede decirse que, el contenido en fracción fina, es mayor en los tramos topográficos situados por debajo de la inflexión de las laderas que en las orlas más cercanas a los relieves. Esta norma genérica es, naturalmente, orientativa y debe presentar un buen número de excepciones puntuales.

2.2.6. TECTONICA

Aunque existen ciertos indicios petrológicos (FLOOR, P., 1966) que inducen a pensar en la posible existencia de una fase de deformación prehercínica, no llegan a constituir argumentos definitivos como para asegurar tal hecho. Lo constatable, por tanto, es que el entorno geológico estudiado ha sido afectado por una tectónica polifásica, de edad hercínica, que comenzó por un periodo de comprensión, con esfuerzos en el eje E-W, acompañado de un aumento del gradiente térmico motivador de metamorfismo regional y anatexia local, además de estar relacionado con el emplazamiento de diversos granitos alóctonos. Por lo que se refiere a la deformación se distinguen dos fases sucesivas.

Fase I

Desarrolla una esquistosidad de plano axial que, en el Complejo Vigo-Pontevedra, posee vergencia variable (preferentemente entre 10° y 30°). No se han encontrado estructuras plegadas correspondientes a esta fase, pero se deduce que se trataría de apretados pliegues isoclinales, de plano axial subhorizontal y con ejes en dirección N-S.

En los neises de biotita y riebeckita esta fase deformativa se manifiesta por una intensa foliación.

Fase II

Origina pliegues de gran radio, homoaxiales con los de la fase I, que presentan cabeceo variable y fuerte inclinación en su plano axial; la traza de estas estructuras resulta algo sinuosa.

En los granitoides hercínicos este momento deformativo produce la orientación planar de ciertos minerales (micas) y una linealidad en otros (feldespatos).

La tectónica posthercínica está representada por fracturas con desplazamiento dextro o senestro cuyos planos de falla, en ocasiones conjugados, se adaptan a direcciones 60° E y 170° E, coincidentes con desgarres tardihercínicos.

Las fallas normales, posiblemente relacionadas con una etapa de distensión mesozóica, se desarrollan en el abanico direccional 30° E- 30° W.

2.2.7. HISTORIA GEOLOGICA

La evolución prehercínica del paraje geológico sobre el que se ubica el municipio de Vigo, tal y como ya se indicó en el epígrafe «Tectónica», es poco clara, presentando como único argumento favorable la similitud existente entre los metasedimentos del Complejo Vigo-Pontevedra y algunos tramos de la «Serie negra» (SW peninsular), que han sido datados del Precámbrico Superior-Cámbrico Inferior.

El ciclo hercínico se desarrolla con dos fases de deformación, a las que acompaña un metamorfismo regional de intermedia a baja presión. Las masas graníticas se emplazan a lo largo de este ciclo, durante o con posterioridad a los momentos deformativos, originando algunas de ellas metamorfismo de contacto.

Al finalizar las palpitaciones tardihercínicas se desarrolla una etapa de descompresión cortical, durante la que se generan importantes sistemas de fracturación, con direcciones preferentes NE-SW, N-S y W.NW-E.SE. Según NONN, H, (1966), a favor de alguno de estos sistemas se producen basculamientos del borde continental que provocan la inundación de la Ría de Vigo.

La evolución finiterciaria y cuaternaria queda registrada por el encajamiento de la red fluvial y por la existencia de la superficie morfológica denominada Rasa Costera.

2.3. SISMOLOGIA Y RIESGO SISMICO

Según la Norma Sismorresistente PDS-1(1974), el área estudiada se ubica en la Zona primera o zona de intensidad baja, en la que G (grado de intensidad sísmica de la escala macrosísmica internacional M.S.K.) es $<VI$. La mencionada Norma asigna al casco urbano de Vigo un valor $G=V$ y sitúa al término entre las isosistas VI y V.

El grado de intensidad V se describe en estos términos: «El sismo es percibido en el interior de los edificios por la mayoría de las personas y por muchas en el exterior. Muchas personas que duermen se despiertan y algunas huyen. Los animales se ponen nerviosos. Las construcciones se agitan con una vibración general. Los ob-

jetos colgados se balancean ampliamente. Los cuadros golpean contra los muros o son lanzados fuera de su emplazamiento. En algunos casos los relojes de péndulo se paran. Los objetos ligeros se desplazan o vuelcan. Las puertas o ventanas abiertas batien con violencia. Se vierten en pequeña cantidad los líquidos contenidos en recipientes abiertos y llenos. La vibración se siente en la construcción como la producida por un objeto pesado arrastrándose».

Los daños esperables se concretan en:

- a) Las construcciones de tipo A (muros de mampostería en seco o barro, de adobes, de tapial) pueden registrar daños ligeros (fisuras en los revestimientos o caída de pequeños trozos).
- b) En ciertos casos se modifica el caudal de los manantiales.

La *probabilidad* de ocurrencia de un sismo de grado $G=V$ (o *riesgo sísmico* R) es 1 para un periodo de 50 años.

Respecto a *prescripciones*, la Norma no es obligatoria para las obras situadas en la Zona primera.

FACTORES DE CIMENTACION

Los efectos de un sismo sobre una construcción se traducen en acciones que pueden estudiarse determinando, por separado, sus componentes horizontal y vertical. En general, se puede prescindir de los efectos debidos a las fuerzas sísmicas verticales, que solo se consideran en determinados casos. La componente horizontal, F , se calcula mediante la fórmula $F=sQ$, donde:

Q =Peso correspondiente al punto considerado.

s =Coeficiente sísmico, cuyo valor viene dado por $s=\alpha \eta \beta \delta$.

α =Factor de intensidad.

η =Coeficiente de distribución.

β =Factor de respuesta.

δ =Factor de cimentación.

Los valores α, η y β pueden ser consultados en la Norma PDS-1 (1974), epígrafes 4.10, 4.12 y 4.11 respectivamente, y los valores del factor de cimentación, para las diferentes Zonas en que se ha dividido el área estudiada, corresponden a los que se dan en la siguiente tabla.

TIPO DE CIMENTACION	ZONA GEOTECNICA			
	A	B	C	D
Pilotes:				
Resistentes por el fuste	(2,0)	1,0	0,7	—
Resistentes por la punta	(1,8)	0,9	0,6	—
Zapatas:				
Aisladas	(1,6)	1,1	0,8	0,5
Corridas	(1,5)	1,0	0,7	0,4
Losas	(1,4)	0,7	0,5	0,3

- A: III₉ y III₈
- B: III₈, III₇, III₆, III₅, III₄, III₃, III₂, III₁, IV₂ y IV₁
- C: II₂ y II₁
- D: I₅, I₄, I₃, I₂ y I₁

Un hecho interesante, relacionado con los movimientos sísmicos, es el fenómeno de la *licuefacción*, por el cual las arcillas sensitivas y las arenas flojas saturadas sufren una pérdida importante de resistencia debida a una sollicitación dinámica y fluyen hasta encontrar una configuración compatible con su pequeña resistencia. La aparición del fenómeno depende de las características del seísmo y de los suelos, y existen diversos métodos (empíricos, semiempíricos, analíticos y estadísticos) para determinar el potencial de licuefacción de una formación concreta.

En el área estudiada se han estimado como Zonas con un potencial mayor de licuefacción por sacudida sísmica fuerte, las reseñadas con las notaciones III₉ (depósitos de marisma) y III₈ (aluviales), por la situación del nivel freático a muy escasa profundidad (generalmente menos de 1 m) y la naturaleza de sus materiales integrantes (arenas flojas o muy flojas y limos).

2.4. YACIMIENTOS Y EXPLOTACIONES DE MATERIALES UTILIZADOS EN CONSTRUCCION

Entre los mapas que acompañan a esta Memoria, se encuentra uno, tomado del Mapa de Rocas Industriales a escala 1:200.000, Hoja 16-26, Pontevedra-La Guardia, en el que se localizan los yacimientos y explotaciones de materiales utilizados en construcción, dentro del entorno que circunda al municipio de Vigo.

A) ROCAS DE CONSTRUCCION Y ORNAMENTALES

Los materiales utilizados en éstas industrias son los neises y, fundamentalmente, los granitoides.

- a) *Neises*. En el ámbito interesado por este estudio solo se localizan dos explotaciones, ya inactivas, que beneficiaban este tipo de materiales. El destino de su producción era el de rocas de construcción como «cachote», es decir, sin manipulado previo, y el de áridos de escollera.
- b) *Granitoides*. Son los tipos pétreos dominantes en la zona, por lo que han sufrido y sufren una explotación intensiva. Su destino más noble es el de servir como rocas ornamentales, y para ello precisan de una extracción selectiva, con modernos medios de arranque de grandes bloques (unos 6 m³), y un posterior procesado industrial en el que se lleva a cabo el serrado y pulido.

Los principales centros extractivos se sitúan en Atios-Porriño (calidad «Rosa Porriño»), Salceda de Caselas (calidades «Roca Dante» y «Gris Mondariz»), Portavedra-Gondomar (calidad «Gris Gondomar»). En la tabla que se adjunta se relacionan las características más destacadas de los mencionados granitoides.

	ROSA PORRIÑO	ROSA DANTE	GRIS MONDARIZ	GRIS GONDOMAR
Clasificación petrológica	Leucogranito biotítico	Granodiorita biotítica porfídica	Granodiorita biotítica por- fídica	Microgranodiorita biotítica
Peso Específico	2,61	2,64	2,64	2,66
Capacidad de Absor- ción de Agua	0,30%	0,32%	0,30%	0,29%
Resistencia a la comprensión	1.208 kg/cm ²	1.056 kg/cm ²	956 kg/cm ²	1.157 kg/cm ²
Resistencia a la flexión	119 kg/cm ²	125 kg/cm ²	145 kg/cm ²	187 kg/cm ²
Desgaste lineal	0,9 mm	1,1 mm	1,0 mm	1,1 mm
Módulo de heladicidad	0,04%	0,06%	0,03%	0,01%

Existe además una industria extractiva, de menor rango y carácter artesanal o familiar, que afecta a este mismo grupo de rocas y destina su producción a «piedras de mampostería», en sus calidades de:

- Cachote
- Taco o adoquín
- Poste
- Perpiaño

Los principales centro productores de estos elaborados son los ya citados para rocas ornamentales y, además, el de Vincios, donde se beneficia un granito de dos micas denominado «Matamá» y también «Ojo de Gallo».

B) ARIDOS

Este área beneficia, exclusivamente, áridos de trituración, es decir, aquellos que para su extracción precisan del empleo de explosivos y un posterior tratamiento de trituración y lavado. A tal fin son utilizados granitos, granodioritas y neises, materiales todos ellos aptos para base de carreteras, aunque no para capas de rodadura.

Los neises se explotaron, intensivamente, en el área de Zamanes, cuando el establecimiento del polígono industrial allí existente y las obras de la carretera así lo exigieron. Las características de estos áridos de trituración, por lo que a desgaste se refiere, son las siguientes:

	Desgaste "Los Angeles" Granulometría A
Granitos de dos micas	47,8
Granodioritas	42,2—43,7
Neises	40,4

C) VIDRIO

Con destino a esta industria han sido explotados una serie de cuerpos filonianos en los que se ha extraído cuarzo como mineral principal y feldespato e incluso micas como subproductos.

Las posibilidades de estos filones oscilan de moderadas a reducidas.

D) PRODUCTOS CERAMICOS

Para la elaboración de estos productos, fundamentalmente de ladrillos y refractarios, han sido utilizadas las arcillas del Valle de Porriño, que se erigió en su día como el mayor centro productor de la provincia de Pontevedra, pero que, en la actualidad, ha visto prácticamente agotadas sus reservas conocidas.

Se trata de arcillas miocenas con elevada proporción de caolín, sustancia que, en la zona central, llega a constituir lentejones de notable tamaño. Su composición mineralógica presenta gran uniformidad en toda la cuenca, con caolinita como mineral dominante en porcentajes del orden del 75%.

Sus límites de Atterberg presentan los siguientes ámbitos de variación:

Límite líquido: 71'1 - 84'1

Límite plástico: 30'6 - 32'7

Índice plástico: 40'5 - 51'4

La composición química de estas arcillas figura en la tabla siguiente:

Estaciones	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P.p.c.
16 A	45,00	37,00	1,24	1,73	0,12	0,22	1,05	0,15	13,53
16 B	46,90	35,20	1,01	1,50	0,11	0,26	0,41	0,11	13,97
23	45,10	36,60	0,97	1,30	0,11	0,21	0,30	0,07	15,16
24	66,90	18,70	4,77	1,00	0,09	0,14	0,78	0,10	7,26
25 A	58,60	35,70	2,10	1,10	—	0,15	1,70	0,30	—
25 B	58,60	38,00	1,20	1,40	—	0,50	1,00	0,12	—
25 C	55,20	29,90	2,40	1,00	0,25	0,28	1,13	0,40	9,43
26	60,50	23,00	2,87	1,75	0,06	0,14	1,37	0,15	9,97
27	60,50	23,00	2,87	1,75	0,06	0,14	1,37	0,15	9,97
33	74,50	14,50	2,68	1,37	0,06	0,16	1,11	0,05	5,51
35	60,60	23,00	3,40	2,00	0,06	0,19	1,27	0,13	9,33 3
Valor Medio	57,50	28,60	2,32	1,44	0,08	0,21	1,04	0,16	8,56

A pesar de su elevado contenido en alúmina, un importante porcentaje de la producción se destina a la fabricación de ladrillería normal.

3. ESTUDIO DEL AREA A ESCALA 1:25.000

3.1. ZONACION GEOTECNICA

El objetivo de este trabajo es la delimitación, en el dominio físico estudiado, de una serie de Zonas, relativamente homogéneas en sus características geotécnicas, y el estudio de las mismas, con previsión de los problemas que puedan presentar e indicación de las soluciones genéricas a adoptar, a fin de que las diversas instituciones, entidades y personas interesadas dispongan de una orientación para decidir sus actuaciones. A este respecto, se hacen unas observaciones generales de los criterios seguidos, sus límites y la división realizada.

3.1.1. CRITERIOS DE DIVISION

La superficie estudiada se ha dividido en Areas y, posteriormente, cada Area en Zonas. El criterio seguido para la primera división ha sido fundamentalmente geológico, entendido como síntesis de aspectos litológicos, tectónicos y geomorfológicos que, conjuntamente, otorgan a cada Area una entidad bien marcada y condicionan cierta homogeneidad en sus características geotécnicas. Para subdividir cada Area en Zonas se ha atendido fundamentalmente a criterios litológicos (tipo de materiales, compacidad, potencia...) por considerarse que son los que mejor permiten acusar sus diferencias.

3.1.2. DIVISION EN AREAS GEOTECNICAS

En el ámbito estudiado a escala 1:25.000 se han diferenciado un total de cuatro Areas, I, II, III y IV, definidas de la siguiente forma:

Area I

Comprende las rocas filonianas, ígneas y metamórficas.

Area II

Está constituida por las rocas muy alteradas.

Area III

Incluye los depósitos cuaternarios de génesis natural.

Area IV

Sus elementos constituyentes, son los depósitos actuales antropogénicos.

Estas cuatro Areas han sido divididas en un total de dieciocho Zonas, de la forma siguiente:

Area I. Zonas I₁, I₂, I₃, I₄ y I₅

Area II. Zonas II₁ y II₂

Area III. Zonas III₁, III₂, III₃, III₄, III₅, III₆, III₇, III₈ y III₉

Area IV. Zonas IV₁ y IV₂

Cada una de estas zonas se define así:

Zona I₁

Comprende, exclusivamente, los filones de cuarzo (Fq).

Zona I₂

Está constituida por las rocas igneas, cuyos representantes más significativos son la granodiorita con megacristales (G₁), el granito y granodiorita biotíticos (G₂), el granito moscovítico y aplitas (G₃), y el granito de feldespato alcalino (G₄).

Zona I₃

Incluye los paraneises y micaesquistos (P) del Complejo Vigo-Pontevedra.

Zona I₄

Está integrada por los neises de biotita (N₁).

Zona I₅

Está constituida por los neises de riebeckita (N₂).

Zona II₁

Incluye a las rocas igneas muy alteradas (GA₁, GA₂, GA₃ y GA₄), que presentan una naturaleza preferentemente arenosa.

Zona II₂

Comprende a las rocas metamórficas muy alteradas (PA, NA₁ y NA₂), de carácter arenoso, pero con cierta presencia de matriz arcillosa.

Zona III₁

Está formada por los depósitos que actualmente yacen en la «rasa costera» (Rc). Se trata de arenas, mal graduadas, con horizontes de arenas finas eólicas.

Zona III₂

Integra los depósitos de dunas. (Qd).

Zona III₃

Está constituida por los arenales de las playas actuales (Qp).

Zona III₄

Incluye los depósitos eluviales (Qe), de origen meteórico y naturaleza areno-limosa.

Zona III₅

Está formada por los depósitos mixtos coluvio-eluviales (Qce), integrados por arenas con cantos y gravillas, en sus tramos altos, y arenas-limosas hacia el interior.

Zona III₆

Comprende los depósitos coluviales (Qc), de origen gravitacional, disposición caótica y naturaleza areno-limosa y arcillosa, con cantos heterométricos y poligénicos.

Zona III₇

Está constituida por los rellenos de fondo de valle (Qac), que poseen origen mixto fluvial-gravitacional, e incluyen arenas-limosas y arenas-arcillosas con pasadas de cantos.

Zona III₈

Incluye los aluviales (Qa), depósitos de génesis fluvial compuestos por arenas mal graduadas, arenas-limosas, limos-arenosos y arcillas de baja plasticidad.

Zona III₉

Comprende los depósitos marismales (Qm), integrados, fundamentalmente, por limos-arenosos con abundante materia orgánica.

Zona IV₁

Está constituida por los rellenos ingenieriles y los procedentes de desmontes en las explanaciones (Qr).

Zona IV₂

Incluye los vertidos (Qv), acumulando residuos y desechos industriales y urbanos.

3.2. ESTUDIO DE LAS ZONAS GEOTECNICAS

3.2.1. METODOLOGIA

Hasta este momento, después de conocer el ámbito geográfico que abarca el estudio y los elementos que integran el plan de trabajo para realizarlo, se han analizado una serie de factores que afectan al conjunto del Area en cuestión: climatología,

sismología, rasgos geomorfológicos e hidrológicos generales, aspectos geológicos globales y explotación de materiales para la construcción.

Se ha procedido, así mismo, a la separación en el territorio de determinadas zonas geotécnicas, para iniciar ahora su estudio detallado y concreto.

En el Mapa de Factores Geológicos con Incidencia Constructiva son caracterizadas cartográficamente cada una de las Zonas Geotécnicas, de modo que se pretende dar al usuario una idea de los aspectos siguientes:

LITOLOGIA. Se facilitan datos sobre:

a) Descripción de los principales materiales presentes, su naturaleza, abundancia relativa y disposición mutua. Clasificación según el Sistema Unificado (USCS).

b) Grado de homogeneidad o heterogeneidad de la formación, designado respectivamente con los adjetivos Uniforme y Errático.

c) Espesor, cuando ello es posible, o una idea de él y sus variaciones.

Es importante señalar la limitación que este Mapa presenta debido a su escala. En general, cuanto más precisa es la delimitación litológica, más precisas son las restantes caracterizaciones, dado que la litología es el factor del que dependen los demás. De acuerdo con la escala básica (1:25.000) y en concordancia con las recomendaciones de la Comisión Internacional de Cartografía Geotécnica de la Asociación Internacional de Geología Aplicada a la Ingeniería (Engineering Geological Maps. A guide to their preparation, 1976), las unidades taxonómicas empleadas son los Complejos Litológicos, que agrupan varias litologías diferentes. Ello es debido a la absoluta imposibilidad de separar a esta escala litologías con más precisión. Por ello es muy importante que se atienda a la homogeneidad o heterogeneidad (erraticidad) de las formaciones, que se indican tanto en la Memoria como en los mapas. Se ha señalado siempre la litología dominante, pero no debe olvidarse que las litologías subordinadas pueden en algunos sitios ser principales.

GEOMORFOLOGIA. Se facilitan datos sobre:

a) *Pendientes del terreno.*- Se ha elegido como parámetro descriptivo la pendiente P a la que corresponde un porcentaje mayor o igual del 75 por ciento de valores como el reseñado y un 25 por ciento o menos de valores diferentes. Es decir, que $P \leq 30\%$, significa que en el 75 por ciento de la superficie de la Zona considerada la pendiente es menor o igual al 30 por ciento y en el 25 por ciento restante, mayor. Se trata de un dato aproximado dada la escala del trabajo, pero de indudable interés para el planificador ya que muestra donde se encuentran las vertientes más acusadas (que pueden impedir o limitar ciertos tipos de desarrollo) al tiempo que señala donde pueden darse problemas de estabilidad de taludes con mayor probabilidad y la situación de llanuras o áreas en las que la topografía plantea pocos inconvenientes o restricciones a la construcción y al transporte.

Respecto al uso intensivo o extensivo del terreno en función de las pendientes, puede tomarse el siguiente criterio:

- Uso intensivo: pendiente menor o igual al 3 por ciento.
- Uso extensivo: pendiente menor o igual al 6 por ciento.

En áreas costeras o entornos turísticos, pueden tomarse valores del 6 por ciento para usos intensivos.

b) *Formas topográficas del terreno.*

HIDROLOGICA SUPERFICIAL Y SUBTERRANEA

Es un aspecto de gran importancia en numerosos tipos de obra. Ligado por una parte a la Climatología y Meteorología, mantiene, así mismo, íntima relación con el tipo de terreno, vegetación y permeabilidad. Se definirá para cada Zona:

- a) Coeficiente de Escorrentía (según Instrucción de Carreteras, Drenaje, MOPU).
- b) Idea de la posición del nivel freático, basada en los sondeos realizados, mediciones de pozos u otras estimaciones.
- c) Comportamiento del material o materiales de la Zona frente a la infiltración: permeable, semipermeable, impermeable.
- d) Tipo de Drenaje principal: infiltración más escorrentía, escorrentía.
- e) Calidad del Drenaje: aceptable o deficiente (tendencia al encharcamiento o niveles freáticos muy altos). Se recomienda para mejor utilización de los datos expuestos en este trabajo, en fases de diseño, la consulta de la Instrucción de Carreteras y de la Norma Tecnológica de Edificación. Drenajes y Avenamientos. Esta última en especial en lo que se refiere a drenajes de muros de contención, y sótanos.
- f) Agresividad de las aguas subterráneas.

RIESGOS GEOLOGICOS

Se indicará, cuando proceda, el tipo de riesgo existente así como sus causas, efectos, intensidad y probabilidad de ocurrencia. El riesgo sísmico, por su incidencia general sobre todas las Zonas, se ha comentado en apartado especial.

En los Mapas de Factores Geológicos con incidencia Constructiva se facilita la localización puntual de algunos procesos dañosos (acaecidos o potenciales) y se incluyen cortes orientativos, que ayudarán al usuario a comprender lo que del terreno puede esperarse en profundidad. También figuran en estos Mapas los resultados puntuales obtenidos con los sondeos en lo que a factores geológicos hace referencia. A través de esta información puntual se puede matizar, en una misma Zona, la caracterización extensiva que en el Mapa se ofrece. Sin embargo, no debería procederse a interpolaciones simplistas dada la baja densidad de obras que se ha empleado y, por tanto, la gran separación entre puntos de reconocimiento.

CARACTERISTICAS GEOMECANICAS

En el Mapa de Características Geomecánicas y Condiciones Constructivas se da idea de las condiciones de cimentación y de las de obras de tierra, cuyo contenido se verá mas adelante.

Para definir las propiedades constructivas de cada Zona se consideran las características geomecánicas de sus materiales, que incluyen los parámetros que los identifican y las relaciones con el comportamiento en deformación por aplicación de esfuerzos. Dichas características geomecánicas se han investigado puntualmente mediante sondeos y penetraciones dinámicas. Se han considerado los siguientes parámetros, cuyos valores están reflejados en el Mapa de Características Geomecánicas y Condiciones Constructivas: N (número de golpes para penetrar 30 cm en el ensayo SPT), p (penetración dinámica en centímetros/golpe, con puntaza de 4 x 4 cm²), qu, resistencia a compresión simple. Otros parámetros considerados, no reflejados cartográficamente, son C'- ϕ ' (corte lento), Cc y e₀ (índice de compresión e índice de poros inicial, obtenidos del ensayo edométrico). También en el Mapa se incluye una clasificación geomecánica de los materiales pétreos, a través de los índices de Barton, Q, y de Bieniawski 1979, RMR.

Se ha dicho ya que estos parámetros, investigados puntualmente, han servido de base para reflejar características extendidas, zonales. El problema de pasar de datos puntuales a una valoración extendida es realmente complejo, complejidad que se agrava cuando determinada Zona se encuentra constituida por varios Tipos Litológicos y aún más Tipos Ingenieriles, pues son estos últimos, precisamente, los que realmente interesan en una obra concreta de carácter puntual. Por consiguiente, la recomendación que se da es que se contemplen los valores numéricos que definen las diversas propiedades mecánicas estudiadas con carácter fundamentalmente orientativo, tanto más cercano a criterios de carácter semicuantitativo cuanto mayor sea la homogeneidad de la Zona geotécnica o, dicho de otro modo, cuanto menor sea la dispersión de los valores que aquí se incluyen y, por otro lado, cuanto mayor sea la densidad de la obra realizada.

Todo esto es fruto de las limitaciones que la escala de trabajo impone. Respecto a su campo de aplicación debe considerarse que los estudios necesarios para la implantación de una obra pasan por tres fases consecutivas: a) Fase de viabilidad, b) Fase de Anteproyecto y c) Fase de Proyecto. El presente Mapa cubre principalmente la Fase de Viabilidad; puede, sin embargo, aplicarse a la Fase de Anteproyecto de estructuras ligeras y medias que no posean gran magnitud económica. Los restantes casos deben ser estudiados en particular de acuerdo con las orientaciones del presente trabajo.

En el Mapa de Características Geomecánicas y Condiciones Constructivas se da:

a) Condiciones de Cimentación

- *Presiones admisibles*: son aquellas presiones de cimentación correspondientes a cargas verticales y centradas que garantizan la producción de asientos absolutos medios inferiores a 2'5 cm en suelos granulares (gravas, arenas, arenas limosas) y 5 cm en suelos cohesivos (arcillas, limos arcillosos). Se han determinado para Zapata cuadrada de 1'50 x 1'50 m y a profundidades de 1'5-2'5, 3-4 y 7-8 metros. Esos asientos son aquellos que para edificaciones u obras ordinarias no suelen originar problemas derivados de distorsiones angulares excesivas (agrietamientos, etc.).

Las presiones admisibles se han determinado en cuanto a su intervalo de variación. La obtención del valor de la presión admisible en cada uno de los puntos en una malla suficientemente cerrada para el caso de una construcción puntual, por ejemplo de 100 x 100 m, es una empresa imposible a las escalas de trabajo utilizadas y con la densidad de investigación realizada. Esta imposibilidad puede subsanarse solo en parte, para las zonas más prospectadas, mediante el uso de histogramas.

El método seguido para la obtención de los intervalos de presiones admisibles, siempre que no se indique lo contrario, se ha basado en los ensayos de campo y en los de laboratorio. Entre los ensayos de campo figura el valor de N obtenido en el SPT; para el caso de materiales granulares se utiliza el ábaco de Terzaghi-Peck (1967) SPT-Ancho de cimentación, con las oportunas consideraciones respecto a la posición del nivel freático, y para suelos cohesivos, en ausencia de ensayos de laboratorio, la fórmula aproximada $\sigma_{ad} = N/10$ (Kg/cm²), siendo N el valor obtenido en el ensayo de penetración estándar. Tanto para suelos granulares como cohesivos, se tiene la fórmula empírica aproximada $\sigma_{ad} = 4 - p$ (Kg/cm²), donde p es la penetración dinámica en cm/golpe, válida para valores de σ_{ad} comprendidos entre 0'5 y 3'5 Kg/cm².

Los ensayos de laboratorio utilizados para este fin han sido la resistencia a compresión simple y ensayos edométricos. La presión admisible se ha determinado con factor de seguridad 3, respecto a la rotura y asientos garantizados por la fórmula $s = \sum m_{vi} H_i \Delta \sigma$, donde:

s = asiento en cm.

m_{vi} = módulo de comprensibilidad volumétrico, en cm²/Kg.

H_i = espesor de cada uno de los estratos en la zona comprimida, en cm.

$\Delta \sigma$ = presión inducida en el punto medio de cada uno de los estratos, en Kg/cm².

Existen Zonas Geotécnicas que por su escasa entidad superficial ya sea en extensión o en potencia, no han sido prospectadas o lo han sido muy escasamente. En este caso se ha clasificado el suelo, mediante observaciones de campo, por su consistencia o densidad relativa a partir de la cual se han deducido presiones admisibles. Se trata de datos, en general, menos fiables que los de otras Zonas pero razonablemente adecuados a la finalidad perseguida por el presente Mapa.

Es de gran utilidad para el planificador urbanístico, el arquitecto y el ingeniero, conocer lo que significa concretamente la presión admisible. Como aproximación puede indicarse lo siguiente. Para que pueda utilizarse cimentación superficial por zapatas aisladas o combinadas, se precisa:

- Para edificios de 3 alturas, aproximadamente $\sigma_{ad} = 0,5 \text{ Kg/cm}^2$.
- Para edificios de 6 alturas, aproximadamente $\sigma_{ad} = 1 \text{ Kg/cm}^2$.
- Para edificios de 10 alturas, aproximadamente $\sigma_{ad} = 1,5 \text{ Kg/cm}^2$.

Para cimentación superficial por losas, se necesita, aproximadamente, la mitad de la presión admisible, pero deberán comprobarse cuidadosamente los asientos, en especial para presiones admisibles menores de 1 Kg/cm^2 . Caso de no poderse utilizar losa o de resultar menos económica, deberá irse a cimentación profunda, por pilotaje, a cimientos flotantes, etc.

- *Problemas de cimentación:* una de las mayores utilidades que puede ofrecer este Mapa Geotécnico es la indicación de los principales problemas con que puede encontrarse toda cimentación concreta. Su conocimiento previo ayudará, tanto en el planteamiento de la Campaña de Investigación Geotécnica Suplementaria, como en el diseño y construcción de la cimentación. Estos problemas se indican en cada Zona Geotécnica.

b) Obras de tierra

Se estudian los siguientes conceptos: facilidad de excavación, estabilidad de taludes, empujes sobre contenciones, aptitud para préstamos, aptitud para explanada de carreteras y obras subterráneas.

- *Excavabilidad:* los terrenos se han clasificado de acuerdo con la Norma Tecnológica de Edificación: Acondicionamiento del Terreno. Desmontes. Vaciados (NTE-ADV (1976)), en los siguientes grupos: 1) Duro. Atacable con máquinas y/o escarificador, pero no con pico, como terrenos de tránsito, rocas descompuestas, tierras muy compactadas. 2) Medio. Atacable con el pico, pero no con la pala, como arcillas semi-compactas, con o sin gravas o gravillas. 3) Blando. Atacable con la pala, como tierras sueltas, tierra vegetal, arenas. Cuando en la excavación se encuentran mezclados los terrenos se establece el porcentaje de cada uno de los tres tipos.

- *Estabilidad de taludes:* los taludes naturales se han observado en el terreno y se señalan los factores que pueden degradar la estabilidad. El análisis de estabilidad de taludes artificiales puede hacerse por alguno de los múltiples métodos que existen. En una primera aproximación, que deberá analizarse con mayor detalle, bajo el término estable se engloban los terrenos que admiten taludes 1,5/1 (H/V), para alturas de unos 6 m, sin mayor problema e inestables los que no lo admiten. Debe destacarse que las cifras que se manejan en los apartados referentes a estabilidad de taludes poseen carácter orientativo, limitado por el alcance del estudio, y será preciso el análisis detallado de los factores que influyen en la estabilidad cuando se trate del estudio y construcción de taludes importantes, ya sea por su dimensionado o por condiciones de seguridad.

- *Empujes sobre contenciones.* Hacen referencia a contenciones del terreno natural, no a rellenos realizados con los materiales de cada Zona.

- *Aptitud para préstamos.* Se ha utilizado básicamente el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales de la Dirección General de Carreteras. El término No Apto designa suelos inadecuados; Marginal, designa suelos que unas veces son inadecuados y otras tolerables e incluso adecuados; el término Apto designa suelos tolerables, adecuados e incluso seleccionados.

- *Aptitud para explanada de carreteras.* Se ha tomado como referencia la Instrucción de Carreteras, Normas de Firmes Flexibles y Firmes Rígidos. Se entiende por suelo No Apto aquel que no puede constituir en desmonte ni en terraplén explanadas tipo E-1 (suelo tolerable al menos estabilizado en sus 15 cm superiores, con CBR de 5 a 10). Marginales son aquellos que cumplen a veces dicha condición, en especial suele referirse a terrenos tolerables que no es conveniente sean directamente explanada. Aptos son terrenos frecuentemente adecuados y los seleccionados.

- *Obras subterráneas.* Se utiliza el término «muy difícil» para suelos muy blandos bajo el nivel freático o suelos potencialmente expansivos, «difícil» designa terrenos blandos o arenosos limpios bajo el nivel freático; «medio», suelos firmes, casi rocas blandas que solo a veces presentan problemas de nivel freático, con cierta capacidad de autosoporte y sin empujes fuertes.

En el caso de las rocas, en base a los valores de los índices Q y RMR, se recomiendan unos determinados tipos de sostenimiento.

3.2.2. AREA I

3.2.2.1. ZONA I₁

LOCALIZACION

La Zona I₁, constituida por los filones de cuarzo hidrotermal, se ubica, definiendo cuerpos de clásica geometría estrecha y alargada, en el ámbito meridional del municipio de Vigo. Su importancia, habida cuenta de su reducidísima representación superficial y a pesar de haber sido exagerada por necesidades de expresión cartográfica, es francamente baja; no obstante, se ha convenido en otorgarle entidad propia, por su singular característica espacial y el marcado contraste con las rocas de caja.

CARACTERISTICAS LITOLÓGICAS

Se trata de una facies de cuarzo lechoso (Fq), muy común en la geología gallega, de origen hidrotermal y que constituye cuerpos filonianos desarrollados en clara asociación con la red de fracturas tardi y post-hercínicas.

La potencia de estos filones, que corren subverticales en el entorno direccional 20°W-45°E, es variable, pero no suele superar el orden métrico; su continuidad lateral es escasa. Se presentan, por lo menos en el dominio de los primeros metros, afectados por una densa y cerrada red de diaclasado.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

Estos singulares cuerpos pétreos dibujan formas acusadas de desarrollo lineal, constituyéndose, con relativa frecuencia, en espina dorsal o armazón de algunos relieves (circunstancia ésta fácilmente constatable por inspección con la fotografía aérea). No obstante, en el área de este estudio, se muestran bastante degradados y suavizan notablemente sus rasgos típicos.

CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS

En relación con los cuerpos filonianos, tiene poco sentido ahondar en este parámetro. Únicamente decir que poseen un favorable drenaje ($C=0'65-0'80$), realizado exclusivamente por escorrentía, ya que su mineral constituyente, el cuarzo, es impermeable. También debe reseñarse la posible circulación de agua en los hastiales.

RIESGOS GEOLOGICOS NATURALES

En esta Zona no se han apreciado riesgos geológicos; podría apuntarse, no obstante, que, en procesos sísmicos y a gran escala, los filones constituyen superficies de amiotropía, susceptibles de convertirse (indistintamente) en obstáculo de paso o en vía de liberación de energía.

CARACTERISTICAS GEOMECHANICAS

Por considerarse la Zona como de escasa impotencia, no se han realizado obras de investigación -ni ensayos de laboratorio para determinar estos parámetros. Las numerosas tablas existentes otorgan al cuarzo filoniano valores de resistencia a la comprensión simple, q_u , entre 900 y 4.700 Kg/cm², correspondiendo la primera cifra (y su entorno cercano) a los tramos superficiales, en los que el filón se encuentra más afectado por la meteorización y la red de discontinuidades local.

Para obras de cierta importancia y desde el punto de vista mecánico, deben ser considerados, además del parámetro resistente, otros factores, como la disposición de las juntas, su especiado, continuidad, relleno, circulación de aguas, etc.

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

Condiciones de cimentación

Para cimentaciones superficiales no se presentarán problemas de capacidad portante, habida cuenta de que la resistencia de la roca es grande respecto a las cargas que edificaciones o construcciones similares puedan transmitirle. Solo será preciso sanear ligeramente la parte más externa del filón.

Por lo que a presiones admisibles se refiere, la Norma DIN 1054 da un cuadro de «Cargas admisibles sobre roca poco fisurada, sana, no meteorizada y con estratificación favorable», en el que se especifica:

- Con estratificación cerrada: 15 Kg/cm²
- De estructura maciza y columnar: 30 Kg/cm²

En el caso de estar la roca muy diaclasada estas cifras deben ser reducidas a la mitad, con lo que, para los primeros metros de los filones, puede tomarse de forma restrictiva el valor $\sigma_{ad} \geq 15$ Kg/cm².

Los posibles problemas de cimentación pueden surgir, en obras que imputen cargas muy elevadas, por la capacidad portante diferencial existente entre el filón y la roca de caja, cuando esta está muy alterada. En tales casos el fenómeno debe ser tenido muy en cuenta a la hora de calcular los asientos.

También puede originar pequeños problemas la posible circulación de agua en los hastiales.

Restricciones geológicas a la construcción

Son mínimas -la Zona ha sido representada en color amarillo- y se reducen a la dificultad de desmontar materiales tan competentes.

Condiciones para obras de tierra

Excavabilidad

Los materiales de esta zona precisan del uso de explosivos para su seccionamiento.

Estabilidad de taludes

De acuerdo con los términos definidos en la Metodología, los taludes de esta Zona son estables; no obstante, pueden observarse, en ocasiones, pequeños cuerpos paralelepípedicos (de escasos decímetros cúbicos) desprendidos a favor de la red de diaclasas y acumulados al pie del filón.

Contenciones

Los empujes sobre contenciones serán bajos aunque, localmente, pueden sufrir brusca elevación, por desplazamiento de alguna cuña.

Aptitud para préstamos

El cuarzo filoniano de la Zona I₁ es considerado como «roca adecuada» para pedraplenes, de acuerdo con el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes.

Obras subterráneas

La perforación de ésta Zona en obras subterráneas debe ser llevada a cabo por medio de explosivos.

3.2.2.2. ZONA I₂

LOCALIZACION

Esta unidad, que incluye los afloramientos de rocas igneas, se desarrolla en el dominio occidental del término de Vigo, dibujando un isleo dentro de la Zona II₁.

Sus manifestaciones más importantes se localizan en los relieves de Cabezo de Sayanes, Chan Grande, Porteliña y Cepudo, al S, Costa, en el ámbito central, y el Castro, ya en pleno casco urbano.

CARACTERISTICAS LITOLOGICAS

Los tipos pétreos integrados en esta Zona pertenecen, como ya se indicó en el epígrafe correspondiente, a dos series: la calcoalcalina y la alcalina. Dominan, en la primera de ellas, los granitos de biotita y oligoclasa; la segunda presenta, como litotipo más representativo, al granito de dos micas. En términos generales puede añadirse que la serie calcoalcalina está constituida por rocas oscuras, mientras que la serie alcalina es más leucocrática.

Se han diferenciado: granodiorita con megacrístales (G_1), granito y granodiorita biotíticos (G_2), y granito moscovítico y aplitas (G_3), todos ellos dentro de la serie calcoalcalina; la serie alcalina incluye un único tipo pétreo, el granito de feldespato alcalino (G_4).

Las características específicas de cada uno de estos granitoides han sido descritas en el Bosquejo Geológico.



Foto 1.- Aspecto del granito de feldespato alcalino (G_4) en el frente de cantera de la Porteliña.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

Diseñan los granitos formas de relieve alomadas, acusadas e, incluso, abruptas. Sus pendientes, P, oscilan en un amplio abanico de valores, entre el 6% y el 40%, aunque justo es decir que el entorno más frecuente va del 15 al 40%. Estos gradientes definen a la Zona como inadecuada para usos intensivos, siempre que no se modifique su estado natural.

CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS

a) Hidrología superficial

La red de drenaje de esta Zona está constituida por arroyos y barrancos de escasa importancia. El coeficiente de escurrimiento, C, posee un valor de 0'65-0'80, muy elevado, a causa de que el mecanismo de evacuación de estas rocas impermeables se basa, fundamentalmente, en tal proceso, complementándose con la percolación a través de la red local de discontinuidades. Este sistema mixto conforma un drenaje de calidad favorable.

b) Hidrología subterránea

Esta Zona no presenta acuíferos subterráneos, pero debe tenerse muy en cuenta que por las juntas y planos de discontinuidad en general, como pueden ser los enclaves metamórficos, es frecuente la circulación de agua. Esta circulación, que a veces sufre variaciones estacionales, se constata en numeroso alumbramientos y se ha comprobado en obras de vaciado para cimentaciones, como en el entorno de la Plaza de la Independencia, donde el agua fluía por el contacto de un enclave metamórfico dentro del granito.

RIESGOS GEOLOGICOS NATURALES

Se circunscriben a los fenómenos gravitatorios que, en estos materiales, adoptan la modalidad de desplazamientos a lo largo de superficies erosivas y pueden ser combinados con caídas. Este tipo de movimientos van de rápidos a extremadamente rápidos.

En los bordes de la Zona, donde se mezclan bolos y arenas, pueden surgir fenómenos de caídas, por descalces debidos a erosión hídrica superficial.

CARACTERISTICAS GEOMECHANICAS

Los cuerpos naturales que la red de discontinuidades define en los granitos, poseen tamaños apreciables (frecuentemente superiores al metro cúbico) y formas elipsoidales, paralelepédicas o, más raramente, tetraédricas. En conjunto conforman un medio físico en el que, la componente direccional de los esfuerzos, no posee una importancia relevante.

Las tablas existentes dan, para los granitoides, valores de resistencia a la compresión simple, q_u , entre 108 y 2.800 Kg/cm². La experiencia regional permite reducir este entorno de valores (para el ámbito más superficial de los macizos) hasta 200-533 Kg/cm², cifras que, según DEERE y MILLER (1966) clasifican a estas rocas como de «resistencia muy baja» y «baja».

La red de diaclasado que los afecta es relativamente densa y cambiante, por localizaciones. Las superficies de las juntas suelen ser onduladas-rugosas o planas-rugosas, incluyendo una ligera alteración arenosa. En base a la relación Jr/Ja se han calculado los ángulos de rozamiento en dichas juntas, encontrándose un valor medio =43°, con desviación standard de 17° y valores extremos de 14° y 71°.

Los índices de calidad del macizo rocoso son:

	VALOR MEDIO	DESVIACION STANDARD	CLASIFICACION CALIDAD	CLASE
Q (Barton)	4,84	3,84	Roca media	—
RMR (Bieniawski—1979)	68	9,6	Roca buena	II

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

Condiciones de cimentación

La elevada resistencia de estas rocas, en relación con las cargas que pueden transmitirles edificaciones o construcciones similares, permite el desarrollo de cimentaciones superficiales, con la única precaución de sanear y eliminar los pequeños bloques sueltos.

Respecto a las capacidades de carga, existen diversas Normas e Instrucciones que permiten calcularlas de forma sencilla y restrictiva. Así, para la Norma DIN 1054, la carga admisible en este tipo de rocas, considerando el caso más desfavorable de presentarse fuertemente diaclasadas, sería $\sigma_{ad} \geq 15 \text{ Kg/cm}^2$. Para el Código de práctica Británico Número 4, la carga admisible más desfavorable sería de 55 Kg/cm^2 , y según TENG (1962) oscilaría entre 25 y 67 Kg/cm^2 .

Los posibles problemas de cimentación surgen de la necesidad de realizar voladuras durante la fase de preparación del terreno, por lo que, en núcleos urbanos, deben tomarse las precauciones pertinentes o seguir la normativa fijada a fin de evitar daños y deterioros en las cimentaciones vecinas.

Restricciones geológicas a la construcción

Vienen determinadas exclusivamente por las pendientes del terreno; las áreas con gradientes inferiores al 15% se han representado en color amarillo y se considera que, prácticamente, no poseen restricciones. Entre el 15% y el 40% se ha significado el color verde y, por encima del 40%, el azul. De uno a otro van aumentando de magnitud los problemas relacionados con la accesibilidad, longitud de las vías de comunicación y redes de servicio; crece, así mismo, el volumen de los desmontes a realizar y, con él, la desestabilización potencial que se introduce en la ladera.

Condiciones para obras de tierra

Excavabilidad

De acuerdo con el RQD y la resistencia a compresión simple de estas rocas, su excavación debe ser llevada a cabo con explosivos, aunque, en entornos de fuerte diaclasado y baja resistencia, podrían ser utilizadas máquinas para rocas duras.

Estabilidad de taludes

En base a los términos establecidos en la Metodología, los taludes de esta Zona son estables; no obstante y puntualmente, pueden desprenderse cuñas, definidas por la red de diaclasado, o bien, debidas al terioro mecánico producido por la acción de las raíces de árboles y arbustos. (Foto 2). En los entornos de bolos dispersos en matriz arenosa se recomiendan, hasta 5 m de altura, taludes 1/2:1 y, para alturas superiores, 3/4:1.



Foto 2.- Deterioro mecánico de un talud (en granito) por la acción de las raíces.

Contenciones

Los empujes sobre contenciones serán bajos aunque, localmente pueden sufrir brusca elevación por desplazamiento de alguna cuña.

Aptitud para préstamos

Según el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes, los granitos son «rocas adecuadas» para constituir pedraplenes.

Aptitud para explanada de carreteras

En este apartado debe distinguirse entre pedraplenes y desmontes. En el primer caso la aptitud y categoría de la explanada dependerá de las características del material utilizado en la coronación. En el caso de desmontes, la categoría de la explanada que se realiza en roca corresponde a la E-3, recomendándose el relleno de las depresiones que retengan agua y determinándose la necesidad de dotarla de la inclinación necesaria para asegurar la evacuación del agua infiltrada.

Obras subterráneas

De acuerdo con la clasificación geomecánica de Barton, Q, para obras subterráneas, en estos granitos, con diámetro equivalente (De) entre 7 y 15, se recomienda el siguiente tipo de sostenimiento:

- Bulones tensados, separados 1-1'5 m
- Tela metálica

En base al RMR, dicho sostenimiento debe ser:

- Bulonado en bóveda, con longitud 2-3 m y separación 2-2'5 m.
- Gunitado de 5 cm en bóveda para impermeabilización.

3.2.2.3. ZONA I₃

LOCALIZACION

Esta zona, de reducida significación superficial, se presenta en pequeños afloramientos, irregularmente distribuidos por todo el ámbito oriental del municipio de Vigo.

CARACTERISTICAS LITOLOGICAS

Está constituida por paraneises y micaesquistos (P) que pertenecen al Complejo metasedimentario Vigo-Pontevedra. Sin lugar a dudas, el litotipo predominante es el de los paraneises, un detalle de los cuales puede observarse en la Foto 3. Se trata de rocas que, en campo, muestran una marcada esquistosidad y cierto bandeado alternante; sus tonalidades, en corte fresco, son grisáceas y beiges.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

Estos metasedimentos definen formas de relieve acusadas, alomadas e, incluso, abruptas; los remates de sus afloramientos pueden ser angulosos. El valor de P oscila entre el 6% y el 40%, por lo que ésta Zona se considera inadecuada para usos intensivos, siempre que no se modifique su estado original.



Foto 3.- Detalle de un afloramiento de paraneises (P).

CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS

a) Hidrología superficial

En estas Zonas sólo se desarrollan algunos arroyos y barrancos, no existiendo cursos de agua importantes. El drenaje se realiza por el sistema mixto de escorrentía superficial e infiltración a través de la red de discontinuidades, resultando de «favorable» calidad, a pesar de que estos materiales son impermeables. El coeficiente de escorrentía, C, se sitúa entre los valores 0'50 y 0'80.

b) Hidrología subterránea

La Zona I₃ no almacena acuíferos subterráneos, pero permite la circulación del agua infiltrada a través de su desarrollada red de diaclasado y planos de discontinuidad en general. El fenómeno puede ser comprobado en numerosos puntos, donde pequeñas trincheras de desmonte provocan la aparición de surgencias.

RIESGOS GEOLOGICOS NATURALES

No se han apreciado riesgos geológicos de importancia para esta Zona. Tal vez y únicamente a título de posibilidad, podría reseñarse aquí el potencial desarrollo de desplazamientos planos, a lo largo de superficies de esquistosidad, originándose resbalamientos y corrimientos.

CARACTERISTICAS GEOMECHANICAS

Los cuerpos naturales definidos por la red de discontinuidades, en los paraneises, adoptan hábitos paralelepíedicos o lapídeos, conformando un medio físico de comportamiento diferencial según sea la dirección de aplicación de las tensiones. La razón de esta actitud está, por un lado, en la ya mencionada disposición en lajas, y, por otro, en la orientación de sus componentes minerales.

Las tablas existentes dan, para los paraneises, valores de resistencia a la comprensión simple, q_u , entre 108 y 2.300 Kg/cm²; no obstante, la experiencia regional permite reducir dicho entorno al de 108-533 Kg/cm² (para el ámbito más superficial del macizo rocoso).

En estos tipos pétreos las superficies de las juntas observadas son, por regla general, onduladas-lisas y planas-lisas, incluyendo ligeras alteraciones arenosas y areno-arcillosas. Los ángulos de rozamiento calculados en dichas juntas poseen un valor medio de $=45^\circ$, con desviación standard de 17° y valores extremos de 71° y 26° . Algunas de las discontinuidades muestran una gran continuidad lateral.

Los índices de calidad del macizo rocoso son:

	CLASIFICACION			
	VALOR MEDIO	DESVIACION STANDARD	CALIDAD	CLASE
Q (Barton)	2,99	2,83	Roca mala	—
RMR (Bieniawski—1979)	58	10,5	Roca media	III

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

Condiciones de cimentación

La elevada resistencia de estas rocas, en relación con las cargas que puedan imputarles edificaciones o construcciones similares, permite el desarrollo de cimentaciones superficiales, con la precaución de sanear el horizonte superior más intemperizado.

Diversas Normas e Instrucciones permiten calcular de forma sencilla y restrictiva la capacidad de carga de estas rocas. Así, para la Norma DIN 1054, las presiones admisibles, en el caso más desfavorable, serían de $\sigma_{ad} \geq 7,5$ Kg/cm²; el Código de práctica Británico número 4, permitiría llegar, sin embargo, hasta los 15 Kg/cm², y para TENG (1966) oscilaría entre 13,5 y 67 Kg/cm².

Los posibles problemas se centran en las cimentaciones realizadas en los remates de relieves y taludes con pendientes superiores al 40%, ya que, las sobrecargas que se transmitan, pueden provocar la aparición de resbalamientos o corrimientos a lo largo de las superficies de esquistosidad (siempre y cuando éstas bucen paralelamente y a favor de la pendiente).

Restricciones geológicas a la construcción

Vienen determinadas por las diferentes pendientes. Así, los entornos con $P < 15\%$ se han representado en amarillo, los comprendidos entre el 15% y el 40%, en verde, y aquellos en que se supera la última cifra, en rojo, puesto que, a los consabidos problemas de accesibilidad, longitud de vías y redes de servicio, volumen de desmontes y desestabilizaciones, se une, en ellos, el aludido fenómeno potencial de res-

balamiento y corrimientos, por aplicación de sobrecargas, en los remates de los relieves.

Condiciones para obras de tierra

Excavabilidad

En base al RQD y a la resistencia a compresión simple de estas rocas, su excavación deberá ser llevada a cabo con explosivos, aunque diversos entornos podrán ser seccionados con maquinaria para rocas duras e, incluso, rozadoras.

Estabilidad de taludes

De acuerdo con los términos establecidos en la Metodología, los taludes de esta Zona son estables; ahora bien, en aquellos puntos donde la esquistosidad lleva una dirección paralela al relieve y buza a favor del mismo con valores inferiores al de su pendiente, pueden producirse resbalamientos y corrimientos de cuerpos tabulares. Para dichos casos, en taludes de desmonte, se recomienda no superar los $63^{\circ}(1/2:1)$.



Foto 4.- Paraneises en una trinchera de la N-120.

Contenciones

Los empujes serán bajos aunque, localmente, pueden tomar valores elevados por deslizamiento de alguna cuña.

Aptitud para préstamos

Según el PPTG, del MOPU, estas rocas requieren un estudio especial para su utilización en pedraplenes.

Aptitud para explanada de carreteras

En desmontes las rocas dan explanadas de categoría E-3, recomendándose el relleno de las oquedades y depresiones que retengan agua, y determinándose la necesidad de dotarlas de la inclinación necesaria para asegurar la evacuación del agua infiltrada.

Obras subterráneas

De acuerdo con la clasificación geomecánica de Barton, Q, para realizar obras subterráneas de diámetro equivalente (De) entre 6 y 10 en estos paraneises, se recomienda el siguiente tipo de sostenimiento:

- Bulones inyectados sin tensión, separados 1 m.
- Capa de hormigón proyectado, de 2'5-5 cm, con mallazo.

En base al RMR, dicho sostenimiento debe consistir en:

- Bulonado sistemático de 3-4 m de longitud, con separación de 1'5-2 m en bóveda y hastiales. Mallazo en bóveda.
- Gunitado de 5 a 10 cm en bóveda y de 3 cm en hastiales.

3.2.2.4. ZONA I₄

LOCALIZACION

Se sitúa esta unidad, definiendo un isleo pobre e incontrolado, en el tercio y borde oriental del término municipal estudiado.

CARACTERISTICAS LITOLÓGICAS

La Zona I₄ está integrada por lo neises de biotita, (N₁), rocas leucocráticas, metamórficas, emplazadas en íntima relación con el Complejo Vigo-Pontevedra. Presentan, a simple vista, textura lineal o planolineal, resultado de una orientación mineral producida por recristalización. En la Foto 5 puede verse un detalle de este tipo pétreo.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLÓGICAS

Los neises de biotita dibujan formas de relieve acusadas, alomadas y abruptas, con valores de porcentajes de pendiente, P, entre el 6% y el 40%. Naturalmente y a causa de estos rasgos morfológicos, la Zona I₄ es inadecuada para usos intensivos, siempre y cuando no sea modificada su condición original.



Foto 5.- Aspecto de un neis biotítico (N_1) en corte fresco.

CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS

a) Hidrología superficial

La unidad no desarrolla cursos de agua importantes, situándose en ella, únicamente, las cabeceras de algunos arroyos y barrancos. El drenaje, realizado por el sistema mixto de escorrentía superficial e infiltración a través del diaclasado, posee una calidad «favorable». El coeficiente de escorrentía, C , varía en el abanico de valores 0'50-0'80.

Estos neises, por lo que se refiere a porosidad intergranular, son considerados impermeables.

b) Hidrología subterránea

La Zona I_4 no almacena acuíferos subterráneos, pero permite la circulación del agua de infiltración a través de su red de diaclasado. Este fenómeno puede sufrir variaciones e interrupciones estacionales, viéndose favorecido, al igual que en los granitos y paraneises, por los pasillos milonitizados o triturados de los accidentes tectónicos de rango superior (fallas y sus crucesos).

RIESGOS GEOLOGICOS NATURALES

No se han apreciado riesgos geológicos de importancia para esta unidad.

CARACTERISTICAS GEOMECANICAS

La disyunción provocada por el diaclasado en estos neises, produce sólidos naturales de apreciable tamaño (en ocasiones superiores al metro cúbico) y formas paralelepíedicas o, más raramente, tetraédricas. El conjunto así formado define un medio físico que responde de forma muy parecida a los esfuerzos, casi con independencia de su componente direccional, aunque, en algunos casos, puede influir la textura plano-lineal de la roca, marcando líneas de debilidad.

Los valores empíricos de resistencia a compresión simple, q_u , de estos neises, oscilan entre 422 y 2.500 Kg/cm², entorno que puede ser reducido, en base a la experiencia regional y en referencia al ámbito más superficial del macizo, a las cifras 422-533 Kg/cm².

Las superficies observadas en las juntas son, preferentemente, onduladas-lisas y planas-lisas, con ligera alteración de carácter arenoso. Los valores hallados para ángulos de rozamiento en dichos planos oscilan entre las cifras extremas 71° y 14°, arrojando una media $\phi=40^\circ$, con desviación standard de 18°.

Los índices de calidad del macizo rocoso son:

	CLASIFICACION			
	VALOR MEDIO	DESVIACION STANDARD	CALIDAD	CLASE
Q (Barton)	3,70	3,11	Roca mala	---
RMR (Bieniawski—1 79)	65	10,7	Roca buena	II

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

Condiciones de cimentación

Respecto a las cargas que puedan transmitirles edificaciones o construcciones similares, estas rocas poseen una elevada resistencia, por lo que permiten el desarrollo de cimentaciones superficiales. La única precaución recomendable es el saneado de los pequeños bloques sueltos que pueda haber en la parte alta del terreno.

Respecto a las capacidades de carga, existen diversas Normas e Instrucciones que permiten su cálculo de forma sencilla y restrictiva. Así, para la Norma DIN 1054, la presión admisible en este tipo de rocas, considerando el caso más desfavorable, sería $\sigma_{ad} \geq 15$ Kg/cm². Para el Código de Práctica Británico número 4, podría alcanzar un valor de 55 Kg/cm², y según TENG (1966) oscilaría entre 53 y 67 Kg/cm².

Los problemas previsibles derivarían de la necesidad de realizar voladuras durante la fase de preparación del terreno, por lo que, en núcleos urbanos, deben tomarse las precauciones pertinentes a fin de evitar el riesgo de daños en las cimentaciones vecinas.

Restricciones geológicas a la construcción

Se basan en la pendiente del terreno y en el hecho de que, con su progresivo aumento, va dificultándose la accesibilidad, se hacen más largas las vías de comunicación y las redes de servicios, además de crecer el volumen de los desmontes a realizar y la desestabilización potencial de la ladera. Con ese criterio se han distinguido tres subzonas, a saber, las que poseen pendientes inferiores al 15%, en amarillo, las comprendidas entre el 15 y el 40%, en verde, y las que superan el último porcentaje, en azul.

Condiciones para obras de tierra

Excavabilidad

De acuerdo con el RQD y la resistencia a compresión simple de estas rocas, su excavación precisa el uso de explosivos.

Estabilidad de taludes

En base a los términos establecidos en la Metodología, los taludes de esta Zona son estables.

Contenciones

Los empujes sobre contenciones serán bajos, pero pueden sufrir brusca elevación local por desplazamiento de alguna cuña.

Aptitud para préstamos

Según el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes, los neises de biotita son «rocas adecuadas» para constituir pedraplenes.

Aptitud para explanada de carreteras

En desmonte las rocas dan explanadas de categoría E-3, recomendándose el relleno de las oquedades y depresiones que retengan agua, y determinándose la necesidad de dotarlas de la inclinación necesaria para asegurar la evacuación del agua infiltrada.

Obras subterráneas

De acuerdo con la clasificación geomecánica de Barton, Q, para realizar obras

subterráneas de diámetro equivalente (De) entre 7 y 12, se recomienda el siguiente tipo de sostenimiento:

- Bulones inyectados sin tensión, separados 1 m.
- Capa de hormigón proyectado, de 2'5-5 cm, con mallazo.

En base al RMR, dicho sostenimiento debe consistir en:

- Bulonado en bóveda, con longitud 2-3 m y separación 2-2'5 m.
- Gunitado de 5 cm en bóveda para impermeabilización.

3.2.2.5. ZONA I₅

LOCALIZACION

Aflora esta Zona en el relieve de La Guía, al E del embalse de Zamanes y en las inmediaciones del vértice Galiñeiro, ya en el extremo meridional del término de Vigo.

CARACTERISTICAS LITOLÓGICAS

Esta unidad está constituida por los neises de riebekita (N₂) que son rocas, de aceptable homogeneidad textural, en las que destaca un discreto bandeado de escala macroscópica. Sus tonalidades son azuladas, y beiges o blancuzcas en las bandas. En la Foto 6 se puede observar el aspecto que presentan estos litotipos en corte relativamente fresco.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLÓGICAS

La Zona I₅ modela formas de relieve acusadas y abruptas, con pendientes superiores al 30%, absolutamente inadecuadas, por tanto, para uso intensivo. Evidentemente, esta afirmación solo es válida si no se modifican sus condiciones naturales.

CARACTERISTICAS HIDROLÓGICAS

Son similares a las de la Zona I₄, con la diferencia de que, aquí, el coeficiente de escorrentía, C, tiene un valor superior (0'65-0'80).

RIESGOS GEOLÓGICOS

Se centran en los fenómenos gravitatorios que, en estos materiales, adoptan la modalidad de desplazamientos a lo largo de superficies erosivas y pueden ser combinados con caídas. Este tipo de movimientos van de rápidos a extremadamente rápidos.

CARACTERISTICAS GEOMECANICAS

Los neises de esta Zona poseen características geomecánicas similares a los de biotita (Zona I₄), pero presentan, respecto a aquellos, los tres siguientes matices diferenciales:

- Pueden definir sólidos naturales de mayor volumen.
- Son más tenaces.
- El límite superior de los valores de resistencia a la compresión puede alcanzar cifras más altas.

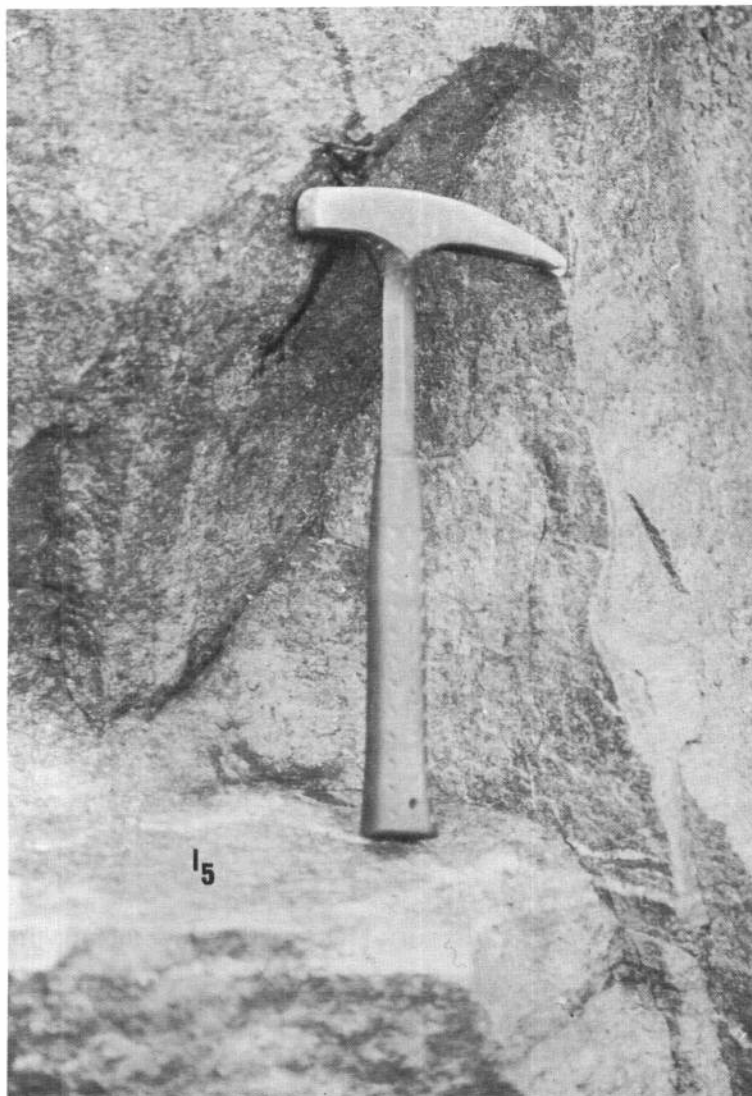


Foto 6.- Detalle de un neis de riebeckita (N₂) en un frente de cantera abandonado.

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

También en este apartado son válidos los datos suministrados para la Zona I₄. Los aspectos que presentan características diferenciales se tratan a continuación.

Restricciones geológicas a la construcción

Vienen determinadas exclusivamente por la pendiente del terreno, en base al argumento, ya sobradamente repetido, de que, a medida que esta aumenta, se dificulta progresivamente la accesibilidad, las vías de comunicación y servicios precisan más

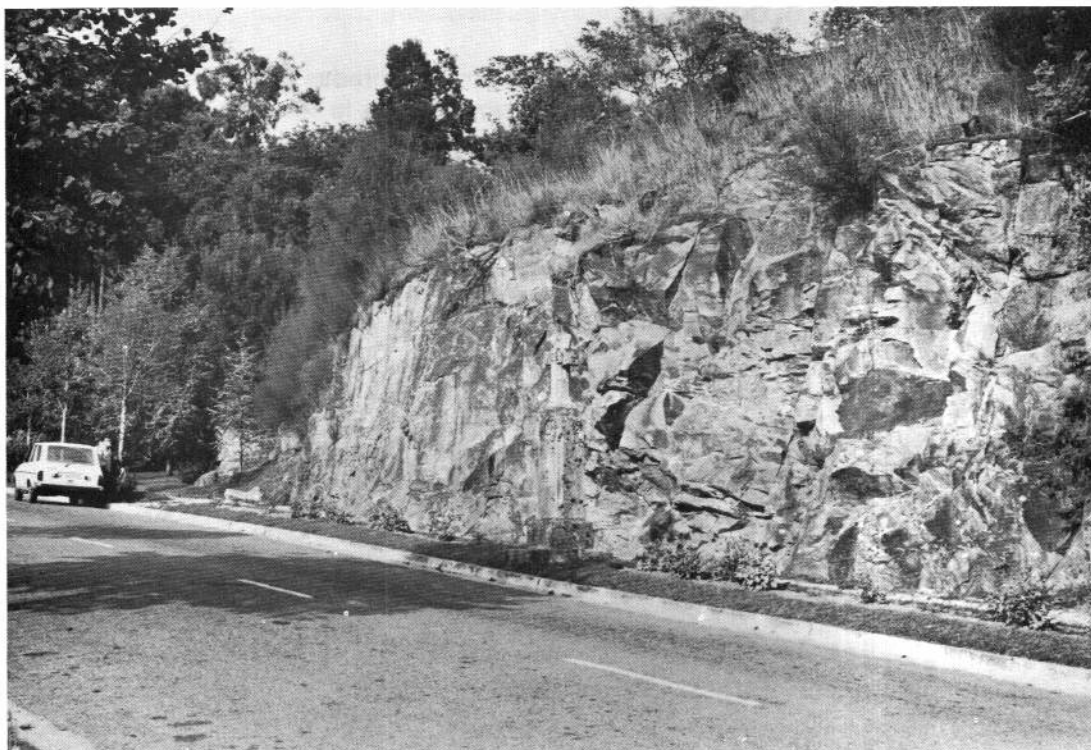


Foto 7.- Talud vertical en la Zona I₅. Carretera de subida a La Guía.

desarrollo, crece el volumen de los desmontes y se acentúa el peligro de desestabilización en la ladera.

En esta Zona I₅ se han significado dos entornos: el verde, para pendientes del 30% al 40%, y el azul, para las que superan la última cifra.

Condiciones para obras de tierra

Estabilidad de taludes

De acuerdo con lo establecido en la Metodología, los taludes de esta Zona son estables; no obstante y puntualmente, pueden desprenderse cuñas, definidas por la red de diaclasado, o bien, debidas al deterioro mecánico producido por la acción de las raíces de árboles y arbustos.

3.2.3. AREA II

3.2.3.1. ZONA II₁

LOCALIZACION

Se emplaza en el ámbito occidental del área de estudio, ocupando una gran superficie entre la costa y una línea imaginaria que, desde el relieve de El Castro, llegará hasta el monte Cepudo.

CARACTERISTICAS LITOLÓGICAS

Incluye esta Zona a las rocas graníticas muy alteradas (GA₁, GA₂, GA₃ y GA₄), las cuales, desde el punto de vista geotécnico, poseen más la consideración de un suelo que la de una roca. Ni que decir tiene que esta unidad debe considerarse fundamentalmente errática, puesto que, tanto lateralmente como en vertical y sin criterio de control utilizable, puede pasarse, rápidamente, desde un granito en proceso inicial de arenización hasta un «xabre» con la sombra textural prácticamente desaparecida. Claro es que, este fenómeno, sigue una cierta evolución lógica en el plano vertical, en el sentido de aumentar la compacidad hacia el interior del macizo, pero puede suceder que se encuentren bolos o cuerpos de roca semisana englobados en la matriz más alterada, con lo que, tal norma, no siempre es válida.

De cualquier forma, el carácter de esta Zona es arenoso, con arenas mal graduadas (SP) en la mayoría de los casos, arenas-limosas (SM) en algunos entornos, y arenas arcillosas (SC) en los tramos altos de las localizaciones con pendientes más suaves.

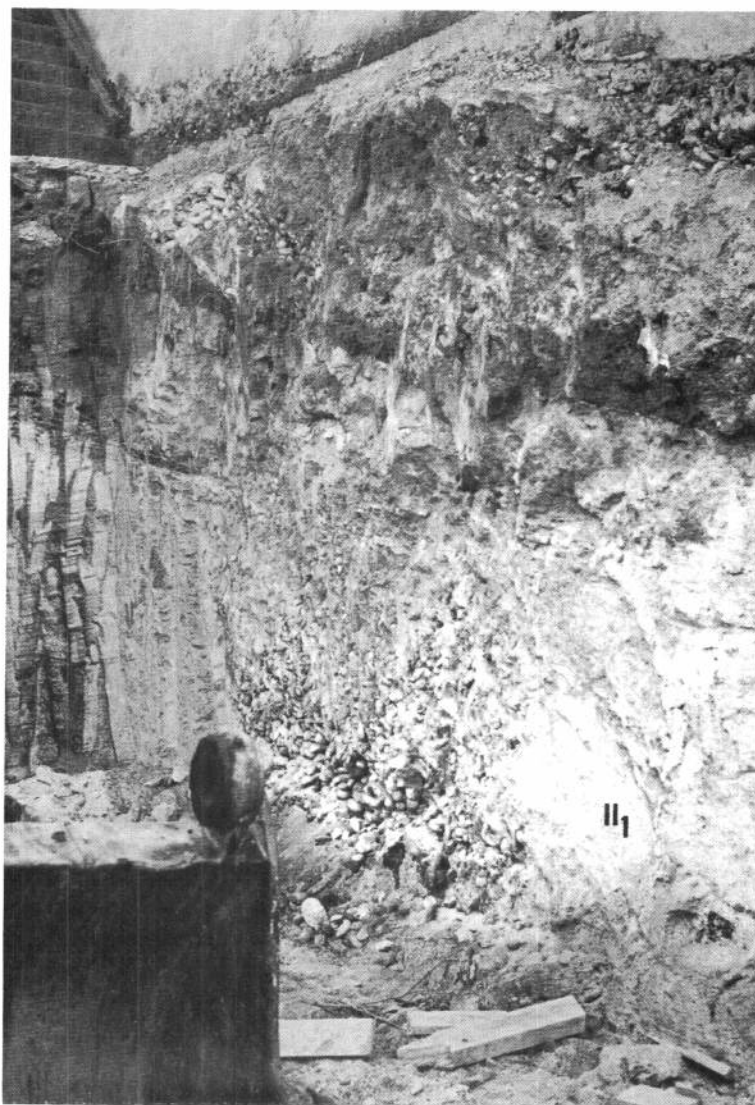


Foto 8.- Cimentación rural sobre Zona II₁

El espesor de la Zona II₁ carece absolutamente de uniformidad y varía normalmente en relación con el área morfológica ocupada. Así, en las zonas de relieve más fuerte, donde la alteración meteórica es principalmente erosiva y disgregadora, su potencia oscila desde pocos metros (2-3) hasta algunos centímetros; por el contrario, en los entornos físicos de relieve más suave, semillano, donde las aguas de infiltración provocan intensa alteración química, puede sobrepasar los 15 m de potencia. El caso de los terrenos caolinizados escapa un poco a la norma morfológica que se acaba de señalar, debido a que su origen se liga también a elementos estructurales.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

Esta Zona geotécnica no va ligada a rasgos morfológicos concretos, sino que, en dependencia de ellos, posee unas potencias y características constitucionales diferentes. En efecto, sus formas de relieve van de suavemente alomadas hasta abruptas, mientras que sus porcentajes de pendiente, P, muestran valores entre 6% y 40%, superando, en algunas localizaciones reducidas, la última cifra. De lo dicho se deduce lo inadecuado de esta unidad para usos intensivos, aunque justo es reconocer que, en muchos puntos, se modifica su condición natural para poder dedicarla a tal fin.

De acuerdo con la clasificación agrológica de pendientes (López Cadenas y Blanco Criado, 1976), esta Zona puede ser destinada a suelo agrícola (hasta el 12%), suelo con cultivo ocasional (12%-20%) y suelo forestal (>20%).

CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS

a) Hidrogeología superficial

La Zona II₁, cuyos materiales se consideran semipermeables, realiza su drenaje por el sistema mixto de infiltración y escurrimiento, predominando un fenómeno u otro según se trate de entornos semillanos o de relieves fuertes. En el segundo caso la calidad del drenaje es «favorable», mientras que, en el primero, se considera «aceptable», pudiendo existir entornos reducidos, con caolinizaciones, en los que se registren ciertas deficiencias con ligeros encharcamientos. El coeficiente de escurrimiento posee un valor $C=0'50-0'65$.

b) Hidrogeología subterránea

Este grupo geotécnico almacena agua y el nivel freático de dicho acuífero, en las zonas cercanas a los valles, puede adoptar una posición relativamente alta que sufre patentes variaciones estacionales. En las áreas más alomadas y de media ladera la profundidad del nivel freático no debe afectar ya a las fundaciones de construcciones convencionales.

RIESGOS GEOLOGICOS NATURALES

En taludes naturales cargados de agua y, fundamentalmente, en relación con desmontes artificiales (riesgos inducidos), la Zona II₁ puede desarrollar desplazamientos, de los tipos «desplazamiento discordante» y «deslizamiento». Estos movimientos van de muy lentos a rápidos.

También, en aquellos puntos donde se encaja la red de drenaje local, pueden producirse pequeños fenómenos de socavación y desplome.

CARACTERISTICAS GEOMECANICAS

Respecto a parámetros relacionados con los datos obtenidos en el campo los materiales de la Zona II, rechazan normalmente el SPT, y cuando no lo hacen registran valores de N por encima de 56; deben ser considerados, en consecuencia, como de compacidad muy densa. No debe descartarse, sin embargo, la posible existencia de entornos o, más bien, localizaciones, en los que las características del terreno rebajen considerablemente su valor, a causa de la presencia de arenas arcillosas (SC).

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

Condiciones de cimentación

Las presiones admisibles, calculadas a partir de los resultados del SPT, se estiman superiores a 6 kg/cm^2 . En el caso de que el nivel freático se sitúe a escasa profundidad de la cota de cimentación prevista, dicha cifra deberá ser sustituida por el entorno de valores $\sigma_{ad}=3'3-6 \text{ kg/cm}^2$.

En cualquier caso, el rango de las mencionadas presiones debe garantizar la posibilidad de desarrollar cimentaciones superficiales. Los problemas previsibles surgen en relación con la localización de circunscripciones en las que, la presencia de arenas arcillosas o caolinizadas, puede rebajar notablemente la capacidad de carga del terreno. Para evitar este problema se recomienda un reconocimiento concienzudo de pasillos de falla y vías de circulación de agua, por considerar que son las localizaciones más propensas a poseer dichas características litológicas. Otro tipo de problemas puede surgir por la inestabilidad de los taludes en desmontes y vaciados.

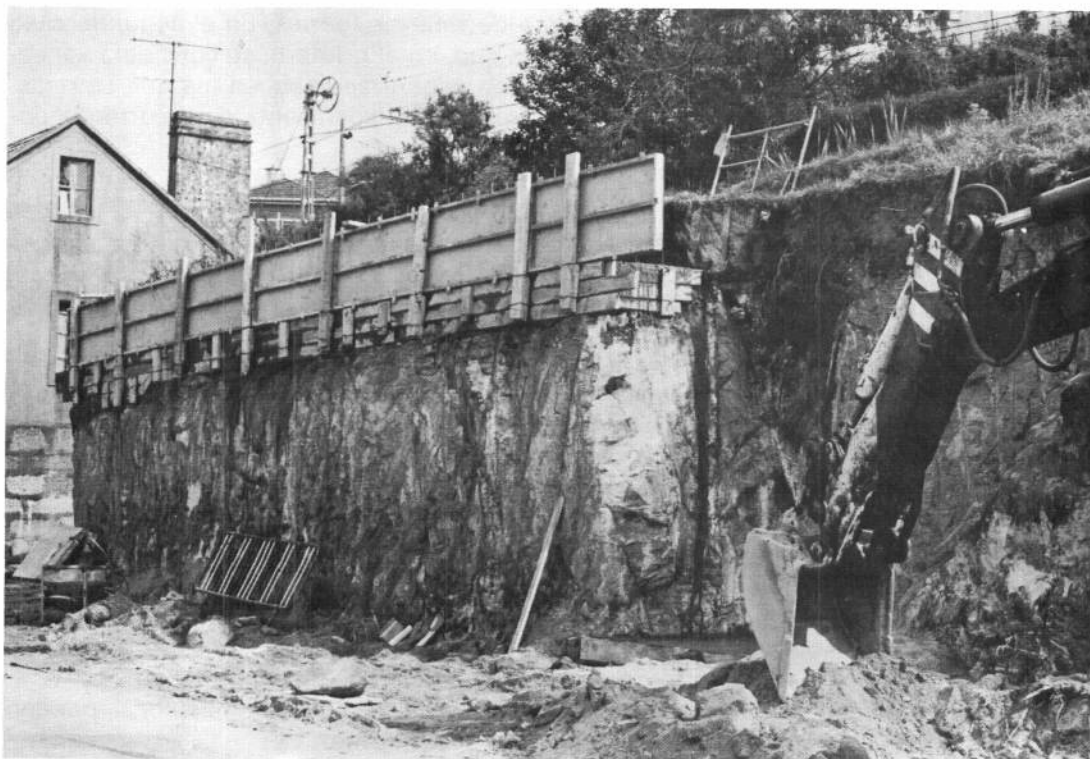


Foto 9.- Encofrado sobre un talud vertical tallado en la Zona II, (entorno de tránsito a I₂).

Restricciones geológicas a la construcción

Haciendo abstracción de las locales circunstancias desfavorables apuntadas, esta Zona se considera muy apta para la construcción. El problema de su pendiente puede ser superado, sin grandes inversiones, modificando su estado natural. Se le ha asignado, por tanto, color amarillo.

Condiciones para obras de tierra

Excavabilidad

De acuerdo con la NTE-ADV (1976), los terrenos de la Zona II₁ se consideran Duros y en sus niveles más superficiales, Medios. Son, por tanto, fácilmente atacables por medios mecánicos e, incluso, en sus tramos altos, con pico. En las zonas de tránsito a roca, pueden precisar para su seccionamiento del empleo de un escarificador.

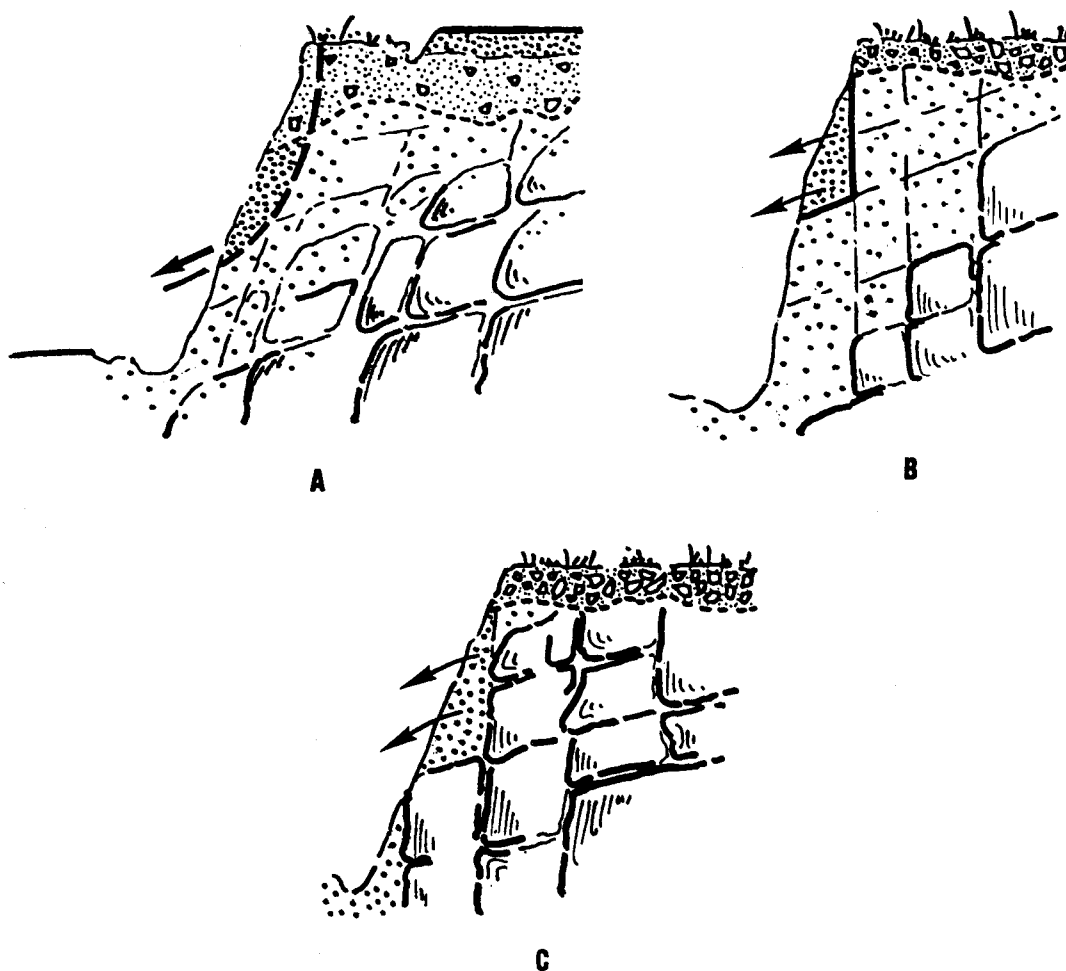


Fig. 6.- Degradación de taludes de desmonte en la zona II₁.

Estabilidad de taludes

Los taludes naturales observados son, en general, estables. No deben olvidarse, sin embargo, los riesgos de desplazamientos citados en el apartado correspondiente.

Por lo que hace referencia a taludes artificiales, se observan, en ellos, frecuentes problemas de degradación. Los fenómenos constatados aparecen reflejados, de forma gráfica, en la Figura 6, afectan a volúmenes de 1-3 m³ y poseen los mecanismos siguientes:

- A. Deslizamiento circular por la «cara» del talud.
- B. Deslizamiento, con caída, de cuerpos definidos por la red de diaclasado original.
- C. Desplazamiento, con caída, por superficies de contraste litológico.

En el tercer caso se ha visto que, además de la circunstancia del contraste, existía circulación de agua a través de los planos de discontinuidad. Para evitar estos fenómenos de degradación, RICO A. y del CASTILLO H., proponen los siguientes taludes:

- Para alturas menores de 10 m, relación H:V, 3/4:1; para taludes entre 10 m y 15 m, 3/4:1 en la mitad inferior de la altura y 1:1 en la mitad superior.
- En áreas caolinizadas, para alturas menores de 5 m, 1:1; hasta 8 m, 1,5:1, y hasta 16 m (altura máxima) proyectar una berma de 6 m, bien drenada, manteniendo la relación 1,5:1.

Empujes sobre contenciones

Serán de tipo bajo aunque, en entornos semillanos, con presencia de niveles freáticos someros, pueden alcanzar valores más elevados.

Aptitud para préstamos

De acuerdo con las características descritas en el apartado de litología, se pueden considerar materiales Aptos para tal utilización.

Aptitud para explanada de carretera

Igualmente, para explanada de carreteras, los materiales de la zona II₁, se consideran Aptos.

Obras subterráneas

De cara a la realización de obras subterráneas, estos terrenos, equivalentes a suelos firmes o rocas blandas, con problemas muy ocasionales de nivel freático, cierta capacidad de autoaporte y empujes bajos, son considerados Medios.

LOCALIZACION

Por su desarrollo superficial, es la unidad geotécnica más importante de todas las definidas en el término municipal de Vigo. Ocupa, aproximadamente, cerca del 40% del área de estudio y se ubica, cubriendo amplísimos entornos, en su ámbito central y oriental.

CARACTERISTICAS LITOLÓGICAS

Esta Zona integra a los tipos pétreos metamórficos muy alterados (PA, Na₁ y NA₂), los cuales desde el punto de vista geotécnico, poseen más la consideración de suelos que de rocas. En el plano litológico la unidad debe ser considerada errática, puesto que, sin mecanismos de control adecuados, se puede pasar rápidamente de un neis en fase inicial de arenización a un «tobre», apelativo regional que designa materiales areno-arcillosos con escasos signos texturales de la roca original. Este fenómeno de la erraticidad, es menos sorpresivo en dirección vertical, es decir, de fuera hacia dentro del macizo: no obstante, aún en ese sentido, debe tenerse muy presente.

El carácter de los materiales constituyentes de esta zona es arenoso, con unos entornos en los que predominan las arenas-limosas mal graduadas (SP-SM), y otros en donde lo hacen las arenas-arcillosas (SC).

El espesor de esta unidad varía bastante y se relaciona, normalmente, con el área morfológica que ocupa. Así, en las zonas de fuerte relieve, donde predomina la alteración meteórica en su faceta erosiva y disgregadora, su potencia se reduce a 2 ó 3 m; por el contrario, en los entornos físicos de relieve más suave, donde las aguas de infiltración provocan una intensa alteración química, puede sobrepasar los 15 m de potencia. Esta norma genérica, aunque muy válida para entornos amplios, puede presentar modificaciones locales relacionadas con cruceros y pasillos de falla, composición mineralógica diferencial de las rocas originales etc...



Foto 10.- Cimentación de una construcción rural sobre la Zona II₂.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

Como ya se ha insinuado, esta Zona geotécnica no va ligada a rasgos morfológicos concretos, sino que, en dependencia de ellos, posee unas potencias e incluso características constitucionales diferentes. En efecto, sus formas de relieve van de alomadas a abruptas, y sus porcentajes de pendiente, P, poseen valores entre el 6% y el 40%, superando la última cifra en diversas localizaciones. La unidad, por tanto, es inadecuada para usos intensivos y debe ser así catalogada, aunque, en numerosos puntos, haya sido modificada su condición natural y se dedica a tal fin.

En base a la clasificación agrológica de pendientes, esta Zona puede ser destinada a suelo agrícola (hasta el 12%), suelo con cultivos ocasionales (12%-20%) y suelo forestal (>20%).

CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS

a) Hidrología superficial

La Zona II₂, cuyos materiales se consideran semipermeables e incluso, en algunas circunscripciones, impermeables, realiza su drenaje por el sistema mixto de escorrentía e infiltración, dominando, en la práctica totalidad del territorio que ocupa, el primero de los fenómenos. La calidad de la evacuación así conseguida es «aceptable» y el coeficiente de escorrentía, C, posee un valor de 0,50-0,65. No obstante, en áreas semillanas la calidad del drenaje baja, el coeficiente C desciende al entorno 0,35-0,50 y no son infrecuentes los encharcamientos estacionales.

b) Hidrología subterránea

Este grupo geotécnico es susceptible de almacenar un acuífero cuyo nivel freático varía con la posición topográfica y con la estación climática. Normalmente, en las zonas más deprimidas y semillanas, dicho nivel es bastante somero y puede afectar a las cotas normales de las cimentaciones convencionales.

RIESGOS GEOLOGICOS NATURALES

En taludes naturales cargados de agua y con pendientes superiores al 40%, esta unidad geotécnica desarrolla movimientos gravitatorios de los tipos llamados «desplazamiento discordante» y «deslizamientos». La velocidad con que acaecen estos fenómenos va de muy lenta a rápida.

Uno de estos deslizamientos se ha desarrollado, en pasado cercano, fuera del área de estudio (el lugar de Casal do Monte pertenece a Redondela), pero afectando a la conducción de aguas de Vigo, circunstancia que impuso la conveniencia de una inspección «in situ» con análisis de sus posibles causas. En la Figura 7 y en la Foto 11 se reflejan algunos aspectos gráficos de dicho deslizamiento, que presentaba, en planta (A), las siguientes características:

- Ligera asimetría y tendencia de giro hacia el arroyo Cabeiro.
- Eje mayor de unos 50 m.
- Eje menor de unos 20 m.

En sección (B), los aspectos más destacables eran:

- Escarpe de coronación de unos 3 m.

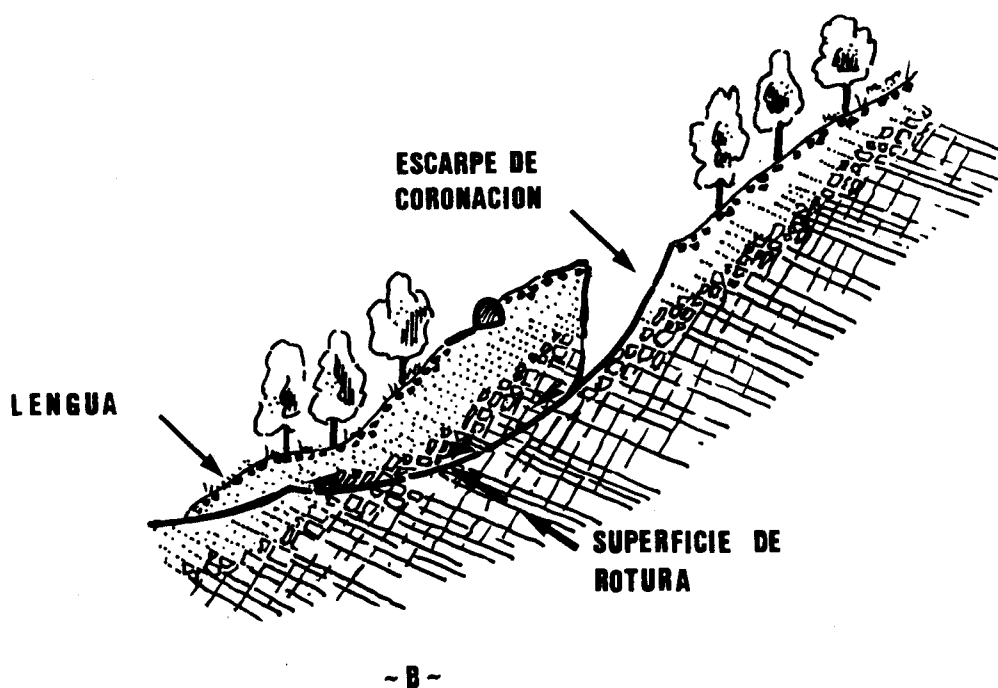
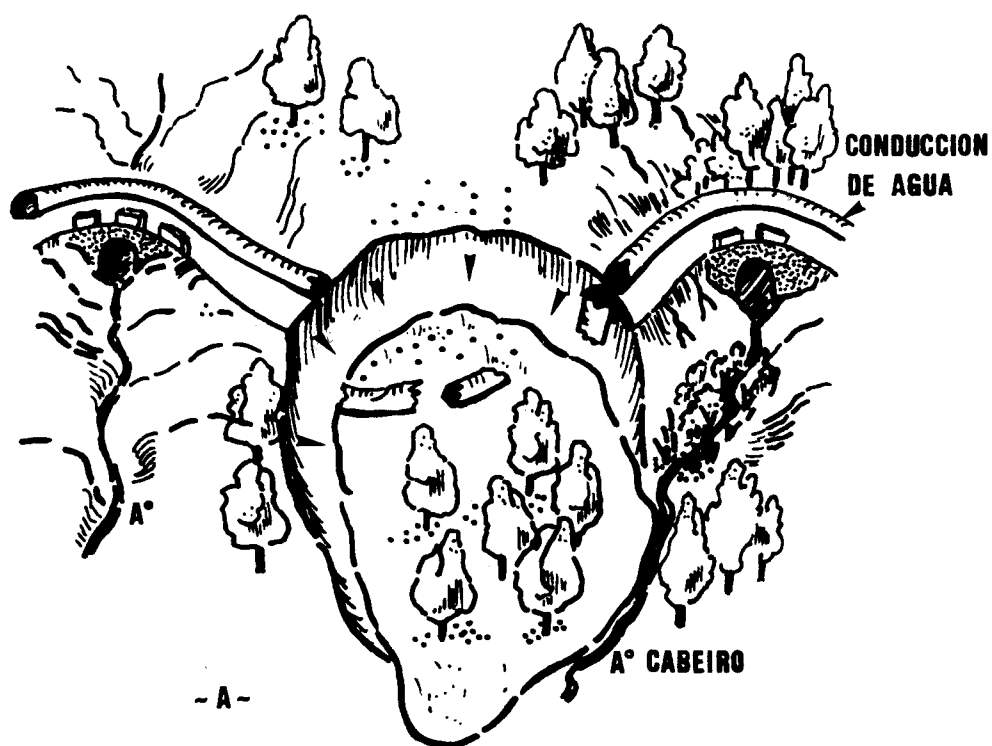


Fig. 7.- Deslizamiento que afectó a la conducción de agua a Vigo y se desarrolló en la Zona II₂ (lugar de Casal do Monte)

- Lengua muy corta: con su avance abortado por la morfología del lugar.
- Superficie de rotura circular, aunque ligeramente aplanada y mediatizada por el contacto I₄/II₂ (neis/neis alterado).

El volumen de la masa movida ronda los 2.000 m³ y aunque, en otras zonas del país, podría ser catalogado de escasa importancia, en este paisaje geológico posee una notable significación como fenómeno gravitatorio, amén de los perjuicios originados. Las causas que están en el origen de este movimiento son, fundamentalmente, las fuertes lluvias acaecidas en los días anteriores a su desarrollo, las deficiencias de drenaje bajo la traza de la canalización de agua y la desestabilización, por erosión del arroyo Cabeiro al pie de la masa movida; no se descartan, así mismo, como posibles agentes desencadenantes, las fugas de agua de la conducción y las sobrecargas imputadas por el tráfico de vehículos en la carretera PO-321, sita encima de la coronación.

En esta Zona II₂ se han detectado, además, algunos fenómenos, de reducida dimensión, de zapa y desplome en la red de arroyos y barrancos



Foto 11.- Escarpe de flanco derecho en el deslizamiento de Casal do Monte

CARACTERISTICAS GEOMECANICAS

Por lo que hace referencia a los datos obtenidos a partir de obras de investigación en campo, los materiales de la Zona II₂ rechazan normalmente el SPT, regis-

trando valores de N, cuando no lo consiguen, superiores a 47; su compacidad, por tanto, va de densa a muy densa. No debe descartarse, sin embargo, la posible existencia de entornos donde las características del terreno rebajen su valor a causa del mayor porcentaje de arenas-arcillosas en las inmediaciones o bajo el nivel freático.

La Zona es muy susceptible a la erosión lineal por las aguas de arroyada, habiéndose observado incisiones de más de 1 m de profundidad. Son frecuentes, así mismo, los rellenos (milimétricos o centimétricos) de materia orgánica carbonosa en las discontinuidades.

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

Condiciones de cimentación

Las presiones admisibles, calculadas a partir de los resultados del SPT, se estiman en el entorno de $5,5 \text{ kg/cm}^2$ a mayores de 6 kg/cm^2 . En aquellos casos en los que el nivel freático se sitúa a escasa profundidad de la cota de cimentación prevista (o por encima de ella), dichas cifras deberán rebajarse al abanico de valores $\sigma_{ad} = 2,8-6 \text{ kg/cm}^2$.

Sea cual fuera la circunstancia, los mencionados rangos de presiones admisibles posibilitan el desarrollo de cimentaciones superficiales. Los problemas previsibles podrán surgir por la necesidad (en las zonas más llanas) de realizar agotamientos de escasa entidad, o bien en relación con la inestabilidad de estos materiales en desmontes, vaciados y pendientes naturales superiores al 40%.

Restricciones geológicas a la construcción

Al igual que la Zona II₁, la que aquí se describe, se considera con muy escasas restricciones para la construcción, habiéndose significado en la cartografía en ama-



Foto 12.- Inicio de un movimiento por la «cara del talud» (Zona II₂)

rillo. El problema de sus pendientes puede ser superado, sin grandes inversiones, modificando su relieve natural; no obstante, aquí, es preciso tener en cuenta los fenómenos gravitatorios que presentan los gradientes superiores al 40%, a los que, por contraste, se adjudica el color verde.

Condiciones para obras de tierra

Excavabilidad

Según la NTE-ADV (1976), los terrenos de la Zona II₂ se consideran Duros Medios en sus aureolas más externas y Duros hacia el interior del macizo. De acuerdo con dicha catalogación podrán ser excavados sin dificultad por medios mecánicos e incluso, en algunas localizaciones, con pico. La apertura de zanjas puede presentar problemas de estabilidad de las paredes.

Estabilidad de taludes

Ya se ha comentado que los taludes naturales observados son estables por debajo del 40% de pendiente y que, por encima de dicha cifra, pueden sufrir fenómenos gravitatorios.

Los taludes de desmonte presentan muy frecuentes problemas de degradación por medio de deslizamientos y caídas a través de superficies de discontinuidad (planas y, generalmente, subverticales) que delimitan masas de hasta varios metros cúbicos. (Ver Fotos 12 y 13). En ocasiones dichas superficies son, en realidad, planos de contraste litológico.

Para evitar estos fenómenos de degradación, RICO A. y DEL CASTILLO H., proponen los siguientes taludes:

- Para alturas menores de 10 m, relación H:V, 3/4:1; para taludes entre 10 m y 15 m, 3/4:1, con berma de 2 m a la mitad de la altura, y para taludes de más de 15 m, 3/4:1 en la mitad inferior de la altura y 1:1 en la mitad superior separando ambos tramos con una berma de 4 m de ancho.

Empujes sobre contenciones

Serán de tipo Bajo-Alto, según el porcentaje de finos que contengan las arenas y en función de la infiltración que pueda producirse.

Aptitud para préstamos

De acuerdo con las características descritas en el apartado de litología, se pueden considerar materiales Aptos para tal utilización.

Aptitud para explanada de carreteras

También para explanada de carreteras los materiales de esta Zona se considerarán Aptos.

Obras subterráneas

De cara a la realización de obras subterráneas, estos terrenos pueden catalogarse como Medios y Difíciles.



Foto 13.- Pequeña masa deslizada en la Zona II₂

3.2.4. AREA III

3.2.4.1. ZONA III₁

LOCALIZACION

Posee esta reducidísima Zona una localización muy concreta, circunscrita a dos afloramientos en las zonas del Matadero y Oya, respectivamente.

CARACTERISTICAS LITOLOGICAS

Esta unidad geotécnica está integrada por los sedimentos actuales de la rasa costera (Rc), arenosos y mal graduados en general (herederos del desmantelamiento

de los granitos), que incluyen horizontes decimétricos de finas arenas eólicas.

Las arenas procedentes de los granitos poseen tonalidades pardo-grisáceas y engastan en una matriz fina, de naturaleza limo-arcillosa, con micas. Las arenas finas eólicas son bastante homométricas y ofrecen tonalidades beiges-claras. La clasificación USCS es de SM, con límite líquido del orden de 27 e índice de plasticidad alrededor de 6. En una muestra se ha analizado el contenido en materia orgánica arrojando valores del 2,7%. La humedad natural se sitúa alrededor del 10,96% y la densidad en torno a 1,53 gr/cm³. En conjunto debe considerarse zona errática.

El espesor de esta unidad es muy variable, pero no debe superar los 7 m.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

Son precisamente los rasgos morfológicos de estos depósitos, que conforman superficies suaves y semillanas elevadas junto a la línea de costa, la principal característica definitoria de los mismos y la que les otorga la calificación de terrazas marinas. En función de este parámetro geomorfológico, pueden considerarse perfectamente aptos para usos intensivos.

CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS

a) Hidrología superficial

Los materiales de esta Zona III₁ son semipermeables por porosidad intergranular y realizan su drenaje, casi exclusivamente, a través de la infiltración, con lo que la calidad de evacuación resulta «aceptable» o, en algunos entornos muy planos, «desfavorable». El coeficiente de escorrentía posee un valor medio de $C = 0,35-0,50$, pero evidentemente en ciertas localizaciones puede ser más bajo.

b) Hidrología subterránea

La disposición topográfica de esta Zona junto a la línea de costa y elevada sobre ella, imposibilita el almacenamiento de acuíferos subterráneos, ya que posee un drenaje continuado de las aguas infiltradas a lo largo del talud exterior que da al mar. La profundidad del nivel freático vendrá marcada por su contacto con el infrayacente, o incluso será más baja si este no constituye una roca almacén.

RIESGOS GEOLOGICOS NATURALES

Los únicos riesgos geológicos que se han detectado en esta unidad geotécnica son los de fluencias en taludes naturales y de desmonte.

CARACTERISTICAS GEOMECHANICAS

Los resultados de ensayos SPT han dado valores de $N = 15$, en el entorno de profundidad 1,50-2,50 m, $N = 61$ en el tramo de 3-4 m, y Rechazo en el de 7-8 m, por lo que, estos terrenos, pueden considerarse medianamente densos en los 3 primeros metros y muy densos a partir de dicha profundidad.

Se ha determinado la resistencia a la comprensión simple en una muestra inalterada tomada a 1,50 m de profundidad, obteniéndose un valor $q_u = 0,46 \text{ kg/cm}^2$, que califica al terreno como de consistencia blanda. Respecto a la resistencia a largo

plazo se ha realizado un ensayo de corte, sobre la misma muestra, encontrándose los siguientes valores, $c = 0,29 \text{ kg/cm}^2$ y $\phi = 19^\circ$.

Para determinar características de compresibilidad, se ha efectuado, así mismo, un ensayo edométrico que, para la profundidad de 1,50-1,95 m, ha proporcionado los datos siguientes: índice de compresibilidad $C_c = 0,112$, índice inicial de poros $e_0 = 0,739$, módulo de compresibilidad específica $m_v = 0,070$ (para presiones verticales de 0,1-0,8 kg/cm^2), 0,041 (para presiones de 0,8-1,5 kg/cm^2), y 0,022 (para presiones de 1,5-3 kg/cm^2).

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

Condiciones de cimentación

Las presiones admisibles, de acuerdo con los resultados de los ensayos SPT, se estiman de 1,6 kg/cm^2 para el entorno de cotas 1,5-2,5 m; y de 7,2 kg/cm^2 entre 3 y 4 m. Por debajo de los 7 m las cimentaciones afectarían ya a la Zona II₁, que constituye el sustrato infrayacente.

Dichos valores permiten el desarrollo de cimentaciones superficiales. Los problemas previsibles derivan de los niveles de arenas eólicas, cuya geometría lentejona puede provocar su desigual repartición debajo de las zapatas y, con ella, la aparición de asentamientos diferenciales. El estacional ascenso del nivel freático, con circulación de aguas hacia la playa, puede originar subpresiones, e incluso fenómenos de sifonamiento, por erosión remontante de niveles de arenas sueltas.

Restricciones geológicas a la construcción

En base a la problemática constructiva que se acaba de describir, esta unidad geotécnica debe ser utilizada con cierta prevención, desarrollando una campaña investigadora que tienda a definir las características litológicas puntuales y la posición del nivel freático. En el Mapa correspondiente se ha significado en azul.

Condiciones para obras de tierra

Excavabilidad

De acuerdo con la NTE-ADV (1976), los terrenos de la Zona III₁ se consideran Medios, pudiendo ser excavados con pico.

Estabilidad de taludes

Los taludes de desmonte son inestables y sufren degradación por fenómenos de fluencias. Para evitar estos procesos algunos autores recomiendan una relación H:V = 1:1.

Empujes sobre contenciones

Serán de tipo Medio.

Aptitud para préstamos

Los materiales de esta Zona se clasifican como No Aptos para tal uso.

Aptitud para explanada de carreteras

Al igual que en el apartado anterior, estos terrenos son considerados No Aptos para explanada.

Obras subterráneas

De cara a la realización de obras subterráneas, esta Zona puede catalogarse de Difícil.

3.2.4.2. ZONA III₂

LOCALIZACION

Se emplaza esta unidad geotécnica en tres localizaciones concretas: la trasplaya de Samil, la trasplaya de Canido y, en un reducidísimo afloramiento, sobre el relieve costero existente entre las puntas Sobreira y Estay. En los dos primeros casos, constituye el enlace de los sedimentos marinos de la playa con el medio continental.

CARACTERISTICAS LITOLÓGICAS

La Zona III₂ está constituida por los depósitos eólicos de dunas (Qd), que incluyen arenas finas sueltas, de tonos beige. La clasificación de estas arenas, según el Sistema Unificado, corresponde a los tipos SP y SP-SM. Su potencia, muy variable, va reduciéndose desde la costa hacia el interior, oscilando entre 5 m y 1 m.

Por debajo de estos terrenos yacen los de la Zona II₁.

CARACTERISTICAS HIDROLÓGICAS

a) Hidrología superficial

Los materiales de la Zona son permeables, y debido a esta circunstancia y a la reducida pendiente, el drenaje se realiza casi exclusivamente por infiltración, alcanzando una calidad «favorable» o «aceptable» en los entornos más llanos. El coeficiente de escorrentía posee un valor $C = 0,35-0,50$.

b) Hidrología subterránea

Aunque las características litológicas de este terreno lo conforman como una buena roca almacén, su reducida potencia y los rasgos morfológicos del infrayacente, con caída hacia el mar, impiden la existencia de un verdadero acuífero subterráneo, reduciéndose el fenómeno a una circulación de agua por la superficie de contacto entre ambas formaciones. El nivel freático, por tanto, habrá que buscarlo en la Zona II₁ que le subyace.

RIESGOS GEOLOGICOS NATURALES

El carácter suelto de estos materiales los hace muy vulnerables a la actividad de los agentes erosivos, especialmente en aquellos entornos donde no están fijados



Foto 14.- Arenas eólicas de III_2 fosilizando un suelo desarrollado en granito alterado.

por la vegetación. Su inestabilidad en pendientes que superan su ángulo de rozamiento interno es patente, provocándose fenómenos de «golpes de arena» hasta alcanzar el equilibrio natural.

CARACTERISTICAS GEOMECANICAS

Se estima que las arenas de esta Zona poseen una compacidad suelta en los dos primeros metros y que, a partir de dicha cota, se hacen firmes.

Según A. CALLEUX, su densidad aparente va de 1,5 a 1,8 gr/cm³, la porosidad de 30 a 63, el ángulo de talud seco oscila entre 25° y 35° y el de talud húmedo entre 15° y 25°. El coeficiente de permeabilidad K (cm/s) varía entre 10⁻¹ y 10⁻².

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

Condiciones de cimentación

Según SOWERS-1972 y de acuerdo con la estimación de compacidad del terreno que se ha efectuado, a la cota de 1,5 m las cargas admisibles, σ_{ad} , oscilan entre 0,5 y 1 kg/cm², a 3 m su entorno de valores asciende hasta 1-2 kg/cm², y para profundidades mayores de 5 m hay que referirse ya a las presiones admisibles del infrayacente (II_2). Estas cifras son válidas siempre y cuando no se modifiquen las condiciones de hidrología subterránea descritas en el correspondiente apartado.

La Zona, en base a lo dicho, admite cimentaciones superficiales, recomendándose no obstante, habida cuenta la facilidad de su desmonte y reducida potencia, buscar el infrayacente como plataforma de sustentación; si así no se hiciera, se aconseja

seja construir estructuras ligeras y medias, teniendo en cuenta la posible aparición de problemas relacionados con la inestabilidad en vaciados y la circulación de agua en la base del depósito.

Restricciones geológicas a la construcción

Se refieren a los aspectos que se acaban de describir, cuya catalogación conjunta no parece muy problemática; por ello, en el Mapa correspondiente, la Zona se ha significado en color verde.

Condiciones para obras de tierra

Excavabilidad

Según la NTE-ADV (1976) los terrenos de esta Zona son Medios, con un nivel superficial que puede considerarse Blando. En consecuencia podrán ser excavados con pico y, en los horizontes superiores, con pala. La construcción de zanjas presentará el problema de derrumbamiento de las paredes.

Estabilidad de taludes

Los taludes de desmonte son inestables, sufriendo degradación por fenómenos de «golpes de arena». Para evitar tales procesos se recomienda mantener su ángulo de rozamiento interno (\emptyset).

Empujes sobre contenciones

En función de las características litológicas, los empujes serán Bajos.

Aptitud para préstamos y explanada de carreteras

Los materiales de esta Zona se consideran Aptos para ambas utilidades.

Obras subterráneas

El reducido espesor de estos terrenos induce a pensar que tal tipo de obras no se desarrollarán en ellos; no obstante, si ese fuera el caso, será conveniente realizar su construcción en falso túnel: excavación de la trinchera (con los problemas reseñados) y posterior relleno.

3.2.4.3. ZONA III₃

LOCALIZACION

Esta unidad geotécnica se sitúa en la línea de costa, dibujando una serie de afloramientos, de planta estrecha y alargada, que festonean el entorno marítimo del municipio.

CARACTERISTICAS LITOLOGICAS

Compuesta por los depósitos de playa (Qp), esta Zona almacena arenas de modelado marino, tonos beige o blanquecinos, y tamaños que, variando de unas playas a otras, oscilan entre medios y gruesos. Son frecuentes los contenidos en milimétricos clastos biogénicos (restos de conchas) y minerales pesados. La curva de clasificación en algunas playas, como las de Bouzas y Samil, es bastante buena, correspondiendo al tipo del Sistema Unificado SW. El espesor de esta Zona se estima que va de 4 a 6 m.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

Las playas de la costa viguesa definen formas semi-llanas, de suaves pendientes, con gradiente inferior al 5%. Si por este parámetro fuera serían destinados a uso intensivo, pero sus condicionantes paisajísticos y la posición respecto al mar les imponen una clara utilización como áreas recreativas.

a) Hidrología superficial

Los materiales integrantes de esta unidad geotécnica son permeables y realizan su drenaje por infiltración, consiguiendo una baja calidad («deficiente») a causa de la cercanía del nivel freático. El coeficiente de escorrentía, elaborado según Instrucción de Carreteras, posee un valor de $C = 0,35-0,50$.

b) Hidrología subterránea

Almacena la Zona un acuífero salino a escasa profundidad, con nivel freático sujeto a la fluctuación mareal y de comportamiento agresivo hacia los aglomerantes hidráulicos ordinarios.

RIESGOS GEOLOGICOS NATURALES

Los terrenos de esta unidad se hallan expuestos al deterioro que pueda causar la acción dinámica litoral y, también, a los fenómenos inducidos de ampliación o pérdida de dominio, en función de la modificación de corrientes por construcción de diques y espigones.

Otro riesgo evidente es el de la salinización de acuíferos terrestres, a través de posibles vías de penetración estructurales.

CARACTERISTICAS GEOMECHANICAS

Se estima que estas arenas de playa poseen una compacidad firme en los dos primeros metros y que, a partir de la referida cota, se hacen densas.

Según A. CALLEUX, su densidad aparente va de 1,4 a 1,8 gr/cm³ y la porosidad de 26 a 62. El ángulo de rozamiento interno (ϕ), para una densidad relativa Media (0,333-0,667), oscila en el entorno 35°-38°, mientras que su coeficiente de permeabilidad K(cm/s) varía entre 1 y 10⁻¹.

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

Condiciones de cimentación

Según los valores dados por SOWERS-1972, de acuerdo con la estimación de compacidad del terreno que se ha efectuado y teniendo en cuenta que el nivel freático afectará a cualquier tipo de fundación, las presiones admisibles a 1,50 m serán de 1-2 kg/cm², a 3 m alcanzarán valores de 2-4 kg/cm², y a más profundidad resultará ya afectado el infrayacente, constituido, normalmente, por rocas muy alteradas. (Zonas II₁ y II₂).

De acuerdo con lo expuesto, la zona admite el desarrollo de cimentaciones superficiales; no obstante, debe señalarse la circunstancia de que pueden surgir numerosos problemas relacionados con la elevada posición del nivel freático, la condición fluctuante del mismo y su carácter agresivo. Así, será preciso realizar agotamientos importantes, con evidente inestabilidad en los taludes del vaciado y riesgo de aparición de fenómenos de sifonamiento; la cimentación, además, puede ser afectada por subpresiones.

Restricciones geológicas a la construcción

Se refieren, fundamentalmente, a los aspectos constructivos que se acaban de describir. No hay que olvidar, sin embargo, que es esta una Zona con una clarísima problemática ecológica y ambiental, y que, con toda seguridad, serán ese tipo de condicionantes los que impongan las restricciones a la construcción. En el Mapa, la unidad III₃ se ha significado con color azul.

Condiciones para obras de tierra

Excavabilidad

De acuerdo con la NTE-ADV (1976) los terrenos de esta Zona deben ser catalogados como Medios, con un nivel superficial que puede considerarse Blando. Consecuentemente podrán ser excavados con pico y, en los horizontes superiores, con pala. La construcción de zanjas presentará problemas de derrumbamiento de las paredes.

Estabilidad de taludes

Los taludes de desmonte serán inestables, sufriendo continuos fenómenos de degradación.

Empujes sobre contenciones

En función de las características litológicas y de la posición del nivel freático, serán Bajos o Medios.

Aptitud para préstamos

Los materiales de esta Zona se consideran Aptos para tal uso.

Aptitud para explanada de carreteras

En explanadas, estos materiales serán catalogados como aptos o Marginales.

Obras subterráneas

Respecto a la construcción de este tipo de obras, la Zona III₃ es un terreno Difícil, para el que sería recomendable construir en falso túnel: excavación de la trinchera (con los problemas reseñados) y posterior relleno.

3.2.4.4. ZONA III₄

LOCALIZACION

Se distribuye irregularmente por todo el área estudiada, dando en planta un isleo desordenado que, en alzado, coincide con repisas e inflexiones donde se suavizan las pendientes.

CARACTERISTICAS LITOLÓGICAS

Incluye esta Zona los depósitos eluviales (Qe), procedentes de la alteración meteórica de las rocas. Según el Sistema Unificado se corresponden con tipos SM y ML, es decir arenas-limosas y limos-arenosos, con presencia, sobre el sustrato metamórfico, de suelo SC (arenas-arcillosas) y CL (arcillas de baja plasticidad). Los valores



Foto 15.- Eluvial arenoso procedente de granito (III₄)

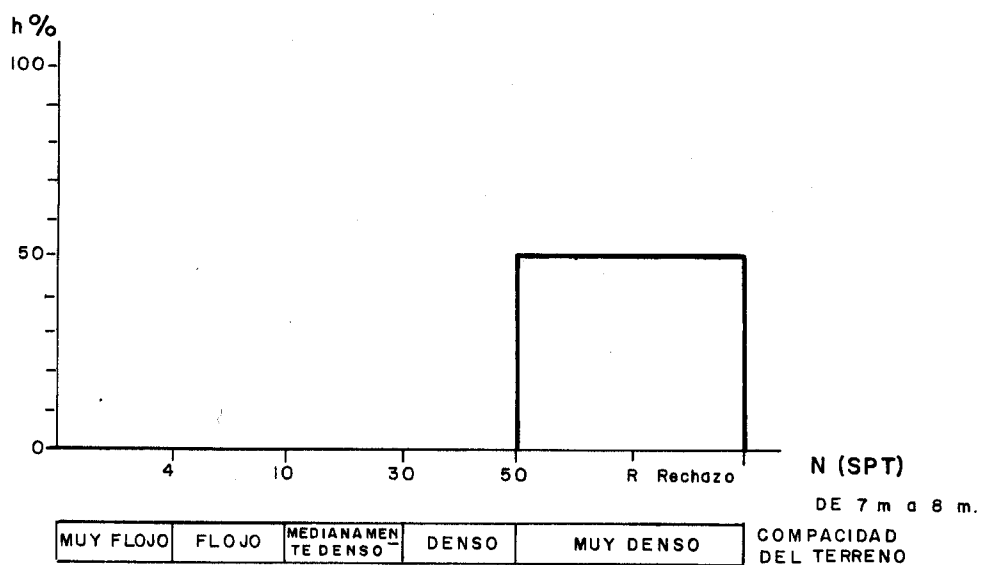
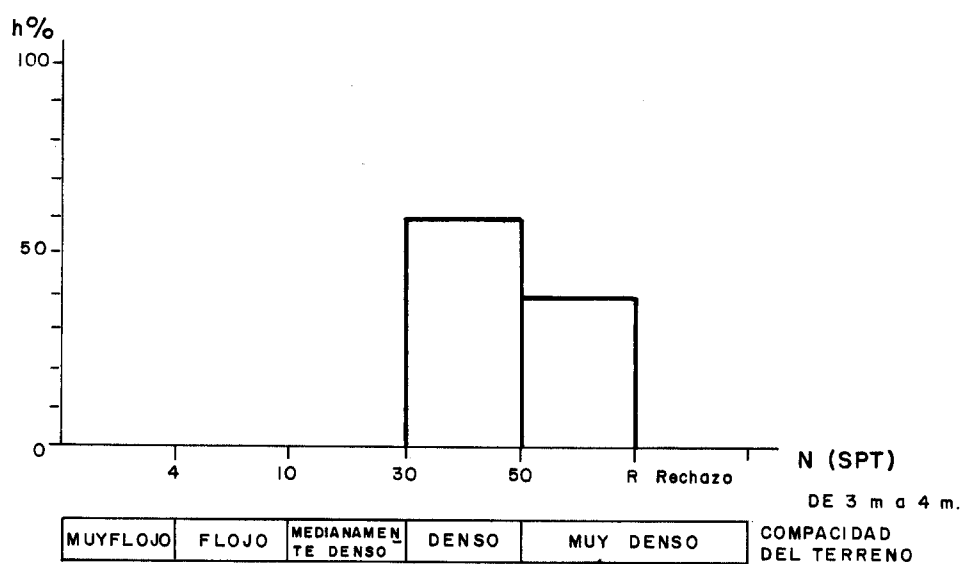
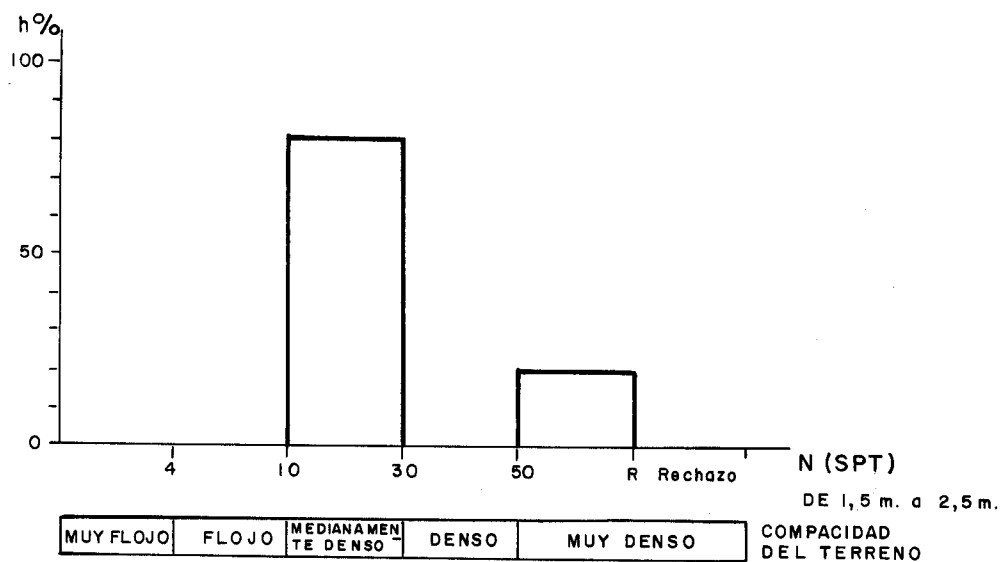


Fig. 8.- Histogramas de valores de $N(SPT)$, a distintos intervalos de profundidad, en la zona III₄.

de humedad natural, W, varían entre 18,74% y 36,82%. Las densidades se mueven en el entorno 1,02-1,49 gr/cm³, y de cinco muestras inalteradas analizadas, cuatro han resultado ser No Plásticas, mientras que la quinta presentó un índice de plasticidad de 10,31, con límite líquido 37,27.

La observación «de visu» en esta Zona distingue, para los eluviales desarrolladas sobre metamórfico, arenas medias y finas, doradas, con abundantes micas y matriz limo-arcillosa; los procedentes de granitos están compuestos por arenas heterométricas, de tonos grisáceos y marrones, engastadas en matriz preferentemente limosa.

El espesor de estas formaciones es variable, pero tiene un desarrollo más común de 2 a 10 m.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

Define esta unidad formas suaves y aplanadas, con valores de pendiente entre 3% y 15%. Parece, por tanto, parcialmente adecuada para usos intensivos pero, debido a su carácter aislado, tal catalogación debe ir supeditada a la del entorno que la rodea.

CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS

a) Hidrología superficial

Esta Zona realiza su drenaje por infiltración y escorrentía, sistema mixto que, debido al carácter semipermeable de sus materiales y a la reducida pendiente, posee una calidad de «aceptable» a «deficiente». Los entornos con evacuación más pobre son los de los eluviales procedentes de neises, ya que, debido a su contenido en finos, pueden considerarse impermeables. El coeficiente de escorrentía, según Instrucción de Carreteras, posee un valor C= 0,35-0,50.

b) Hidrología subterránea

Estas formaciones, fundamentalmente en los entornos más llanos, suelen almacenar acuíferos con el nivel freático alto, a cotas en las que debe influir sobre las condiciones de cimentación. En eluviales procedentes de neises, los sondeos han captado acuíferos a 0.50 m de profundidad, aunque debe reconocerse que no es ese el nivel normal, más frecuente a los 3-4 m.

RIESGOS GEOLOGICOS NATURALES

El principal riesgo geológico se ciñe a los movimientos gravitatorios de pequeña envergadura que se producen en los taludes naturales (como los tallados por la red de drenaje local) y artificiales (riesgos inducidos).

CARACTERISTICAS GEOMECHANICAS

Los resultados de los ensayos de penetración standard se reflejan en la Figura 8, donde se ofrecen los histogramas de valores de N para diversos intervalos de profundidad. En el primer tramo, 1,5-2,5 m, el terreno posee una compacidad medianamente densa, con algunos valores de muy densa correspondientes a eluviales sobre granito, los cuales, en sus primeros 2 m, pueden presentar gravillas. El tramo de 3 a 4

m, nos muestra ya terrenos de compacidad densa a muy densa, y el de 7 a 8 m (con ciertas dudas sobre si se trata de la roca alterada) posee valores de compacidad muy densa. La evolución, de fuera hacia adentro del macizo, elevando la calidad resistente del terreno es muy clara.

La penetración dinámica número 9 se realizó en esta Zona, registrando valores de p (cm/golpe) superiores a 3 en el primer metro, del orden de 2 en el segundo, y rechazando el ensayo a los 5 m.

Se ha determinado la resistencia a compresión simple del horizonte 1,50-1,95 m, que arrojó un valor de $0,200 \text{ kg/cm}^2$ calificándolo como de consistencia muy blanda.

Para determinar las características de compresibilidad se han efectuado ensayos edométricos, obteniéndose, para la profundidad 1,50-1,95 m, los siguientes valores: índice de compresibilidad $C_c = 0,139-0,161$; índice inicial de poros $e_o = 0,758-0,992$, y módulo de compresibilidad específica, para presiones verticales entre $0,1$ y $0,8 \text{ kg/cm}^2$, $m_v = 0,097-0,124$, de $0,8$ a $1,5 \text{ kg/cm}^2$, $m_v = 0,058-0,064$, y de $1,5$ a 3 kg/cm^2 , $m_v = 0,029$.

CUADRO RESUMEN DE CARACTERISTICAS LITOLÓGICAS Y GEOMECANICAS

Clasificación USC	SM, ML
Densidad seca	$1,02-1,49 \text{ gr/cm}^3$
Humedad natural	$18,74-36,82\%$
N (SPT)	11 - R
q_u	$0,200 \text{ kg/cm}^2$
C_c	$0,139-0,161$
e_o	$0,758-0,992$
SPT	Standard Penetration Test
q_u	Resistencia a compresión simple
C_c	Índice de compresibilidad
e_o	Índice inicial de poros
R	Rechazo en el SPT

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

Condiciones de cimentación

Las presiones admisibles a diferentes profundidades, se han elaborado en base a los datos procedentes de los ensayos de SPT, y considerando el condicionante negativo de la presencia de un nivel freático que afecta a la cimentación. Los valores que se dan a continuación podrían ser elevados al doble si no se cumpliera tal premisa.

Tramo 1,5 - 2,5 m, $\sigma_{ad} = 0,6-3,6 \text{ kg/cm}^2$

Tramo 3 - 4 m, $\sigma_{ad} = 1,8-4,6 \text{ kg/cm}^2$

Tramo 7 - 8 m, $\sigma_{ad} = 3,7-6,0 \text{ kg/cm}^2$

La Zona, por tanto, eliminando algún caso del entorno de profundidad 1,5-2,5 m, admite el desarrollo de cimentaciones superficiales. Los problemas previsibles se centrarían en la necesidad de realizar algunos agotamientos de escasa importancia y en la inestabilidad en desmontes para explanar y paredes de vaciados.

Restricciones geológicas a la construcción

Se reducen a los pequeños problemas constructivos que se acaban de describir, por lo que, prácticamente, carecen de importancia. La Zona, en el Mapa, se ha significado en color amarillo.

Condiciones para obras de tierra

Excavabilidad

El terreno de esta unidad geotécnica, de acuerdo con la NTEADV (1976), se considera Medio-Blando en su horizonte superior (atacable con pico y, a veces, con pala) y Medio, atacable solo con pico, hacia el interior del depósito. La construcción de zanjas puede presentar ligeros problemas de estabilidad.

Estabilidad de taludes

Los taludes de desmonte son inestables, sufren degradación por desarrollo de fluencias. Para evitar estos fenómenos, RICO A y DEL CASTILLO H., recomiendan, en taludes de hasta 10 m, una relación H:V = 1:1; en las zonas más compactadas podría llegarse a relaciones 3/4:1.

Empujes sobre contenciones

Serán Medios en los eluviales arenosos, y Altos en aquellos que poseen mayor contenido de fracción arcillosa y limosa.

Aptitud para préstamos

Estos terrenos pueden ser considerados como Aptos o Marginales para tal uso.

Aptitud para explanada de carreteras

Para esta utilización los materiales de la Zona III₄ se considerarán Marginales o No Aptos.

Obras subterráneas

Respecto a la construcción de este tipo de obras, estos terrenos deben ser clasificados Dificiles-Medios, pues alternan tramos blandos bajo el nivel freático con otros más compactos y sin apenas problemas de agua.

3.2.4.5. ZONA III₅

LOCALIZACION

Posee, al igual que la Zona anterior, una distribución muy irregular dentro del área de estudio, con los rasgos morfológicos como criterio único de control.

CARACTERISTICAS LITOLOGICAS

Incluye esta Zona los depósitos de origen mixto gravitacional-meteórico, que aquí se han denominado coluvio-eluviales (Qce). Sus materiales son parecidos a los de la Zona III₄, pero la diferencia fundamental estriba en el mayor desorden que registra esta unidad, lo que le otorga un carácter más errático. Las columnas de los sondeos muestran arenas limosas y arcillosas (con micas) y pasadas de gravillas poligénicas; son también relativamente frecuentes los niveles de arenas gruesas. Las partes más externas de estos depósitos están muy remocionadas e incluyen cantos subangulosos de cuarzo.

La clasificación del Sistema Unificado ha catalogado en esta Zona tipos de suelos SM, SC y SP-SM. Los valores de humedad natural varían entre 31,26% y 44,18%; la densidad va de 1,05 a 1,43 gr/cm³; el límite líquido oscila entre 28,45 y 35,78, y el índice de plasticidad se sitúa en el entorno 4,40-11,06. En una de las muestras se ha detectado un contenido en materia orgánica del 2,4%.

El espesor de estas formaciones es variable, pudiendo superar los 10 m.

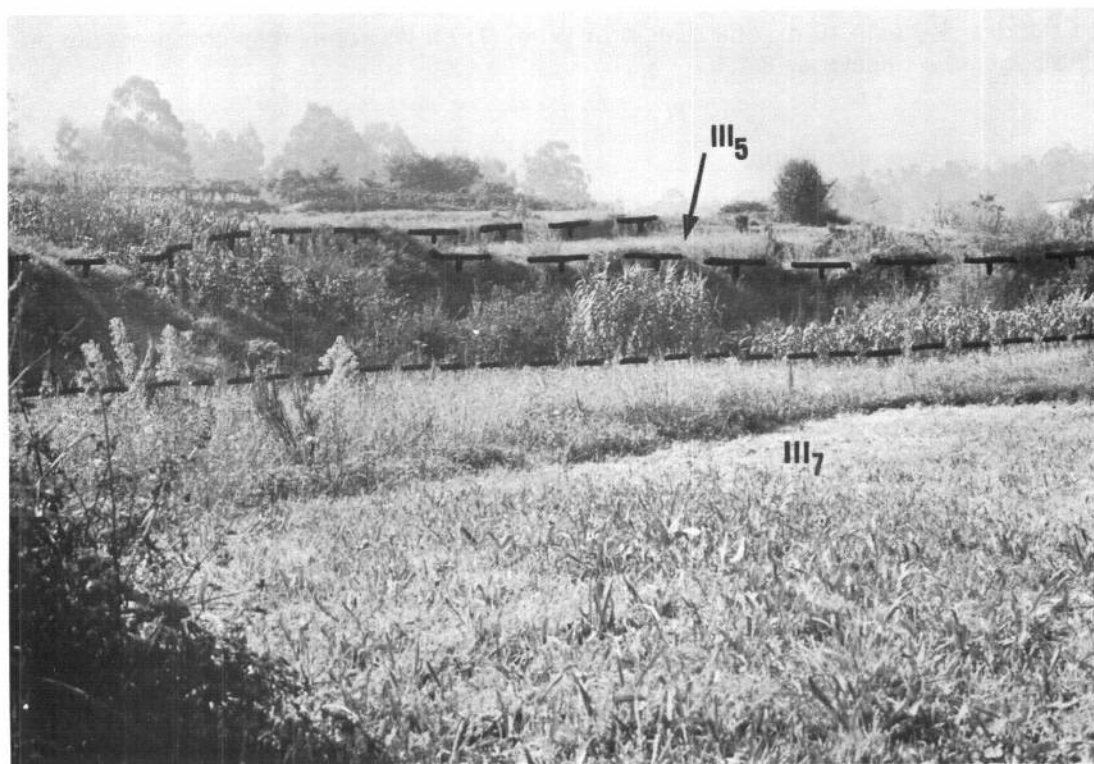


Foto 16.- Contacto, con escarpe, entre las Zonas III₅ y III₇

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

Esta unidad geotécnica dibuja relieves de formas suaves y alomadas, rematados en ocasiones como la de la Foto 15, por un escarpe. Los porcentajes de sus pen-

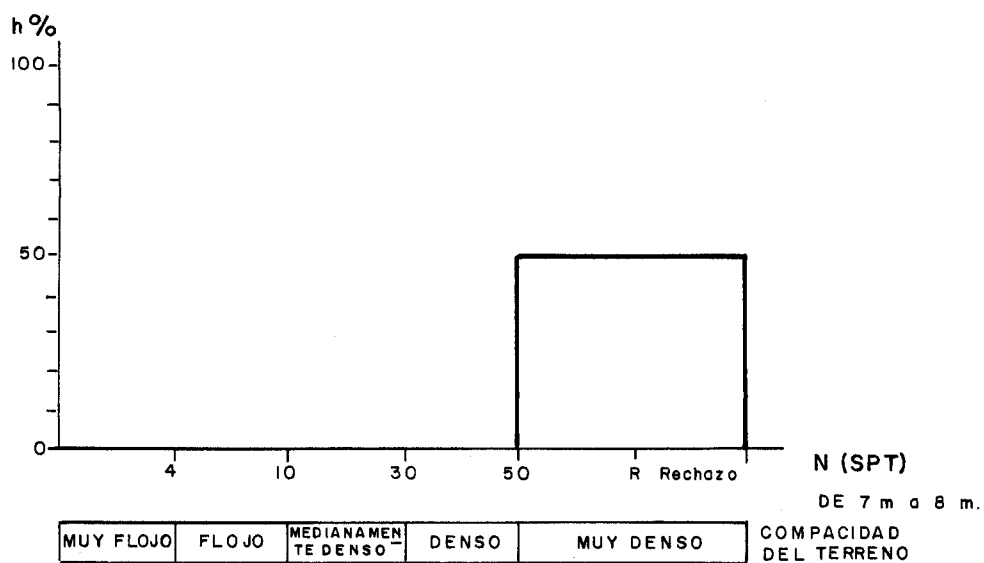
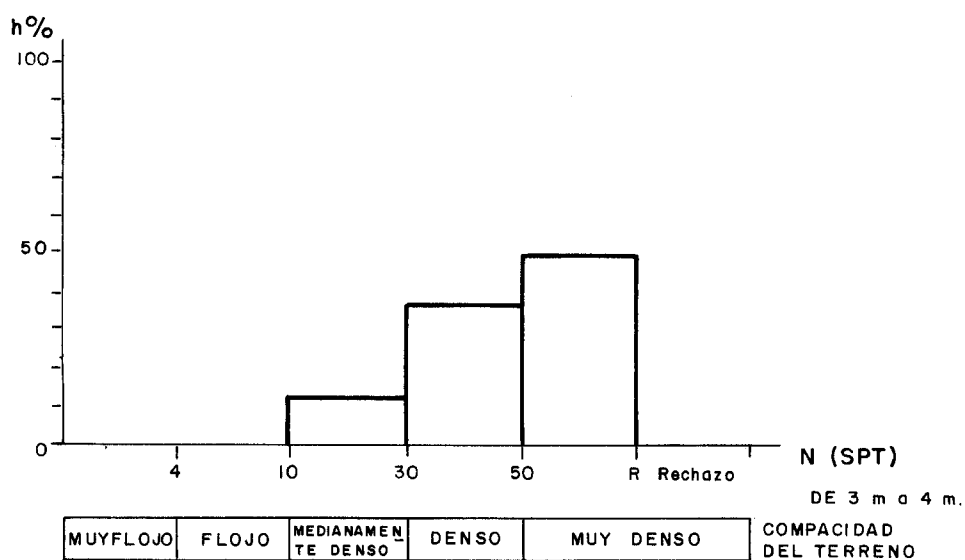
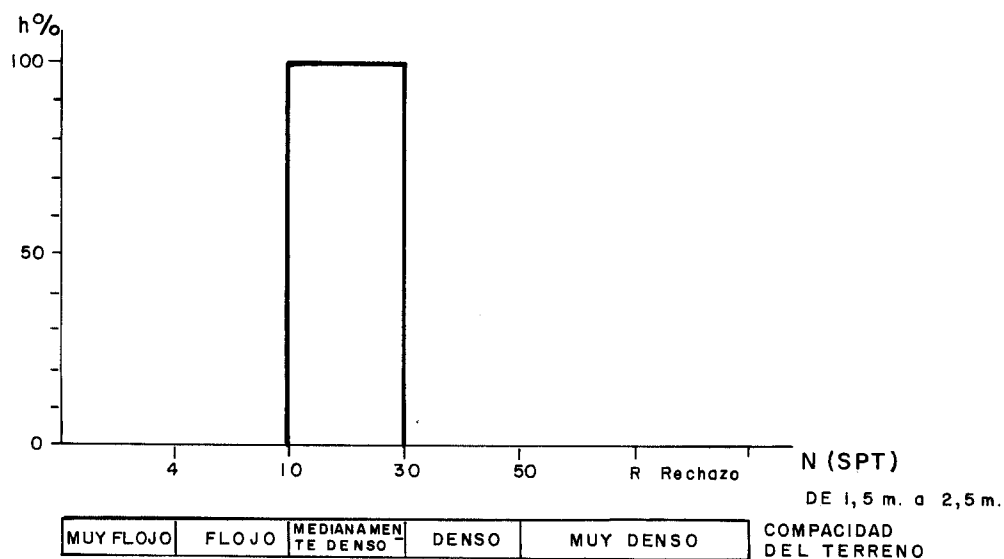


Fig. 9.- Histogramas de valores de $N(SPT)$, a distintos intervalos de profundidad, en la zona III₅.

dientes, P, varían desde el 5% hasta el 30%. Su uso, preferentemente agrario, será en parte determinado, como en el caso de los eluviales, por el del entorno que la rodea.

CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS

a) Hidrología superficial

La Zona III_s, integrada por materiales considerados semipermeables, realiza un aceptable drenaje por el doble sistema de infiltración y esorrentía superficial. El coeficiente C alcanza un valor de 0,50-0,65.

b) Hidrología subterránea

Los depósitos coluvio-eluviales almacenan, frecuentemente, acuíferos subterráneos cuyo nivel freático es variable y, en las áreas de más reducida pendiente, puede situarse a profundidades(en invierno) de 0,30 a 2,20 m. En las localizaciones con gradiente más fuerte se estima que no debe ejercer influencia sobre las cimentaciones.

RIEGOS GEOLOGICOS NATURALES

Se reducen a las pequeñas fluencias que pueden afectar a los escarpes naturales y taludes artificiales.

CARACTERISTICAS GEOMECHANICAS

La Figura 9 muestra los histogramas elaborados para valores de N a diferentes intervalos de profundidad. Como puede observarse, entre 1,5 y 2,5 m el terreno es medianamente denso, de 3 a 4 m varía entre medianamente denso y muy denso, y de 7 a 8 m posee la máxima compacidad. La evolución de la calidad resistente de estos materiales es positiva y continua hacia el interior del macizo.

La penetración dinámica número 6 se ha realizado así mismo en esta Zona, registrando valores inferiores a 2 cm/golpe a partir de los 2 m y rechazando la prueba a los 3,26 m.

Los ensayos de compresión simple han revelado resistencias, para el tramo 1,50-1,95 m, de $q_u = 0,390-0,900 \text{ kg/cm}^2$, otorgando a estos terrenos consistencia blanda-media. Respecto a la resistencia a largo plazo, el ensayo de corte, para la cota de 1,50 m, ha dado un ángulo de rozamiento interno $\phi = 28^\circ$ y una cohesión $c = 0,64 \text{ kg/cm}^2$.

Los resultados del edómetro, practicado con una muestra inalterada del tramo 1,50-1,95 m, han sido los siguientes: índice de compresibilidad $c_c = 0,128$, índice inicial de poros $e_o = 0,835$, y módulo de compresibilidad específica, m_v , para presiones verticales entre 0,1 y 0,8 kg/cm^2 , 0,094, de 0,8 a 1,5 kg/cm^2 , 0,044, y de 1,5 a 3 kg/cm^2 , 0,025.

CUADRO RESUMEN DE CARACTERISTICAS LITOLOGICAS Y GEOMECANICAS

Clasificación USC	SM, SC, SP—SM
Densidad seca	1,05— 1,43 gr/cm ³
Humedad natural	31,26—44,18%
Límite líquido	28,45—35,78
Índice plástico	4,40—11,06
N (SPT)	22 — R
qu	0,390—0,900 kg/cm ²
c	0,64 kg/cm ²
ϕ	28°
C _c	0,128
e ₀	0,835
SPT	Standard Penetration Test
qu	Resistencia a compresión simple
c	Cohesión
ϕ	Angulo de rozamiento interno
C _c	Índice de compresibilidad
e ₀	Índice inicial de poros
R	Rechazo en el SPT

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

Condiciones de cimentación

Las presiones admisibles a diferentes profundidades, se han elaborado en base a los datos de los ensayos de SPT y considerando la presencia de un nivel freático afectando a la cimentación. En los entornos donde no se cumpla esta premisa negativa (los de pendiente más fuerte), podrían duplicarse los valores que se dan a continuación:

Tramo 1,5 - 2,5 m, $\sigma_{ad} = 1,2-1,7 \text{ kg/cm}^2$
 Tramo 3 - 4 m, $\sigma_{ad} = 1,4-3,2 \text{ kg/cm}^2$
 tramo 7 - 8 m, $\sigma_{ad} = 4,8-6 \text{ kg/cm}^2$

La Zona, por tanto, admite el desarrollo de cimentaciones superficiales. Los principales problemas que pueden surgir son: aparición de asientos diferenciales (normalmente en el primer nivel de cimentación considerado, 1,5-2,5 m), necesidad de realizar agotamientos de regular importancia, fenómenos de subpresión por variación estacional del acuífero, e inestabilidad en taludes de desmonte (explanaciones) y paredes de vaciados.

Restricciones geológicas a la construcción

Enraizan con los problemas constructivos que se acaban de exponer y que poseen su máxima manifestación en las áreas de pendiente más suave; es por ello por lo que se han separado dos entornos, significándose los primeros en verde ($p > 15\%$) y los segundos en azul ($P < 15\%$).

Condiciones para obras de tierra

Excavabilidad

De acuerdo con la NTE-ADV (1976) el terreno de esta unidad geotécnica se considera Medio y, por tanto, atacable co pico. En construcción de zanjas pueden surgir problemas de inestabilidad en las paredes de excavación.

Estabilidad de taludes

Los taludes de desmante son inestables, sufriendo frecuentes fluencias. El carácter heterogéneo de estos materiales impide dar una recomendación genérica sobre la pendiente más adecuada, que, en este caso, deberá ser estudiada para cada localización concreta.

Empujes sobre contenciones

Serán Medios y Altos.

Aptitud para préstamos

Estos terrenos pueden ser considerados como Aptos o Marginales a tal fin.

Aptitud para explanada de carreteras

Para esta utilización, los materiales de la Zona III₅ se catalogan de Marginales.

Obras subterráneas

De cara a la construcción de este tipo de obras, la unidad geotécnica que aquí se describe se clasifica como un terreno Difícil, por su heterogeneidad, presencia de tramos blandos y posibles problemas de nivel freático.

3.2.4.6. ZONA III₆

LOCALIZACION

Se sitúa en la parte baja de los relieves, suavizando la brusca inflexión que estos sufren al llegar al valle y constituyéndose en una franja transicional entre los deprimidos rellenos fluviales y la ladera. Su distribución, en planta, es sumamente irregular.

CARACTERISTICAS LITOLÓGICAS

La Zona III₆ incluye los depósitos coluviales (Q_c) que, de forma relativamente caótica, acumulan los productos del desmantelamiento de la cuenca vertiente y fosilizan el relieve. Ambas circunstancias confieren carácter errático tanto a la disposición de sus materiales integrantes como a sus espesores.

Estos depósitos gravitacionales integran en su seno arenas limosas y arcillosas (SM, SC), de tonalidades ocre-rojizas, que engloban cantos subangulosos y heterométricos de cuarzo, así como fragmentos de roca (centil 20 cm).

CARACTERISTICAS GEOMORFOLÓGICAS

Debido a su significado de franja de enlace entre los entornos deprimidos y los relieves fuertes, la unidad geotécnica III₆ dibuja perfiles de pendiente progresiva-

mente cambiante, sin rupturas bruscas. Los valores de P son, en todos los casos contemplados, inferiores al 40%.

CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS

a) Hidrología superficial

Esta Zona, integrada por materiales considerados permeables y semipermeables, realiza su drenaje por el mecanismo mixto de infiltración y escorrentía superficial. Dependiendo de las características litológicas y de los porcentajes de pendiente, dominará uno u otro fenómeno pero, en cualquier caso, la calidad de la evacuación es aceptable. El coeficiente de escorrentía, C, alcanza un valor de 0,50-0,65.

b) Hidrología subterránea

Debido a la pendiente de la superficie erosiva que marca su contacto con el enfrayacente, es difícil que esta unidad almacene un acuífero; no obstante, en los entornos de perfil más suave, pueden localizarse niveles freáticos someros.

RIESGOS GEOLOGICOS NATURALES

Se circunscriben a los movimientos gravitatorios que, con las características de una fluencia, pueden afectar a los escarpes naturales y taludes artificiales.

CARACTERISTICAS GEOMECHANICAS

El carácter errático de estos depósitos coluviales, constituye un factor negativo que obliga a considerar la inconveniencia de facilitar datos genéricos sobre sus parámetros geomecánicos. Estos deben ser investigados en cada localización concreta, ciñéndose las correlaciones laterales a distancias reducidas. Tal vez, la única generalización válida, sea la constatación del citado fenómeno de la erraticidad, en sentido horizontal (espacio) y vertical (tiempo).

No obstante y teniendo muy en cuenta la premisa anterior, pueden utilizarse como datos orientativos los suministrados para los primeros 4 m. de la zona III₅.

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

Condiciones de cimentación

Al igual que en el epígrafe precedente, debe llamarse aquí la atención sobre la necesidad de investigar las presiones admisibles para cada emplazamiento concreto de obra. Sin embargo, teniendo en cuenta que en esta Zona el parámetro hidrológico es menos negativo, se aceptan, por restrictivas, las dadas para la unidad geotécnica III₅, es decir:

Tramo 1,5 - 2,5 m, $\sigma_{ad} = 1,2-1,7 \text{ kg/cm}^2$

Tramo 3 - 4 m, $\sigma_{ad} = 1,4-3,2 \text{ kg/cm}^2$

Tramo 7 - 8 m, $\sigma_{ad} = 4,8-6 \text{ kg/cm}^2$

En consecuencia, esta Zona admite el desarrollo de cimentaciones superficiales. El problema previsible más importante, deriva del carácter heterogéneo del depósito, y consiste en la aparición de asientos diferenciales. También pueden surgir fenómenos de subpresiones e inestabilidades en desmontes y vaciados.

Restricciones geológicas a la construcción

Se relacionan con la problemática expuesta, que alcanza su máximo desarrollo en las áreas de pendiente más suave; por ello, en cartografía, se han diferenciado dos entornos, los de pendiente superior al 15%, significados en verde, y los que no alcanzan dicho gradiente, caracterizados en azul.

Condiciones para obras de tierra

Excavabilidad

Según la NTE-ADV (1976) el terreno de esta unidad es Medio, pudiendo excavarse con pico.

Estabilidad de taludes

Los taludes de desmonte son inestables, por sufrir frecuentes fenómenos de fluencia que los degradan progresivamente. La pendiente de equilibrio adecuada debe ser estudiada para cada trinchera.

Empujes sobre contenciones

Serán Medios.

Aptitud para préstamos

Estos terrenos pueden ser considerados como Aptos o Marginales a tal fin.

Aptitud para explanado de carreteras

Para esta utilización, los materiales de la Zona III₆ se catalogan como Marginales.

Obras subterráneas

La heterogeneidad litológica y textural de esta unidad geotécnica, unida a la presencia incontrolable de tramos blandos, obliga a considerarla, con vistas a la ejecución de obras subterráneas, como un terreno Difícil.

3.2.4.7. ZONA III₇

LOCALIZACION

Se ubica sobre la red fluvial secundaria, dibujando, en planta, un entramado de afloramientos estrechos y alargados que ponen de relieve la traza de arroyos, regos y partes altas de los ríos.

CARACTERISTICAS LITOLOGICAS

La Zona III₇ incluye los depósitos aluvio-coluviales (Qac), que poseen origen mixto fluvial-gravitacional y acumulan, en los fondos de valle de los interfluvios, los sedimentos de la modesta red fluvial secundaria y materiales procedentes de la degradación de la cuenca vertiente. Sus espesores más comunes oscilan entre 3 y 5 m, pero en las cercanías de los ríos principales pueden alcanzar y superar los 10 m. Las columnas de los sondeos muestran, en las zonas situadas sobre neises, arenas finas (arcillosas) de tonos ocre con abundantes moscovitas y pasadas de cantos angulosos (centil 3 cm); en los entornos sobre granitos dominan las arenas medias, limosas, con tonalidades grisáceas. Las clasificaciones, de acuerdo al Sistema Unificado, han catalogado en esta Zona tipos SM, SP, SP-SM, SM-SC y SC. Los valores de humedad natural varían entre 6,67% y 34,27%; el contenido en materia orgánica es del orden del 0,9%; la densidad seca va de 1,11 a 1,94 gr/cm³; el límite líquido oscila entre 26,87 y 33,64, y el índice de plasticidad se sitúa en el entorno 4,35-8,13.

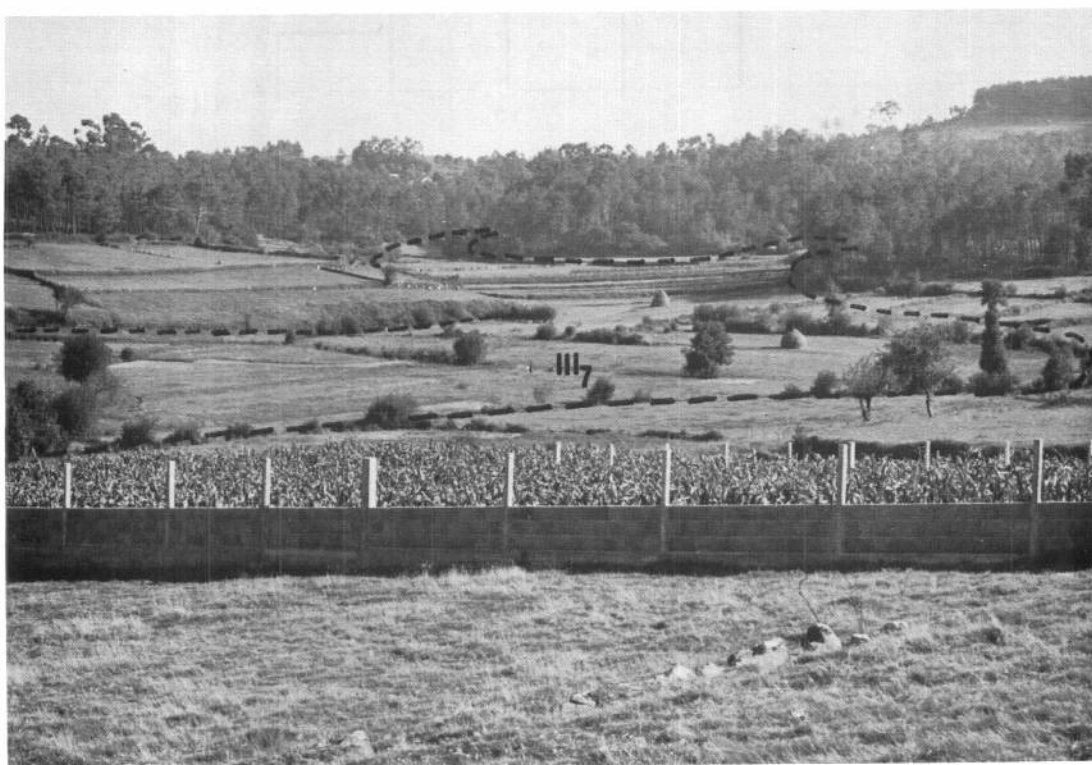


Foto 17.- Zona III₇ en el curso alto del río Zamanes

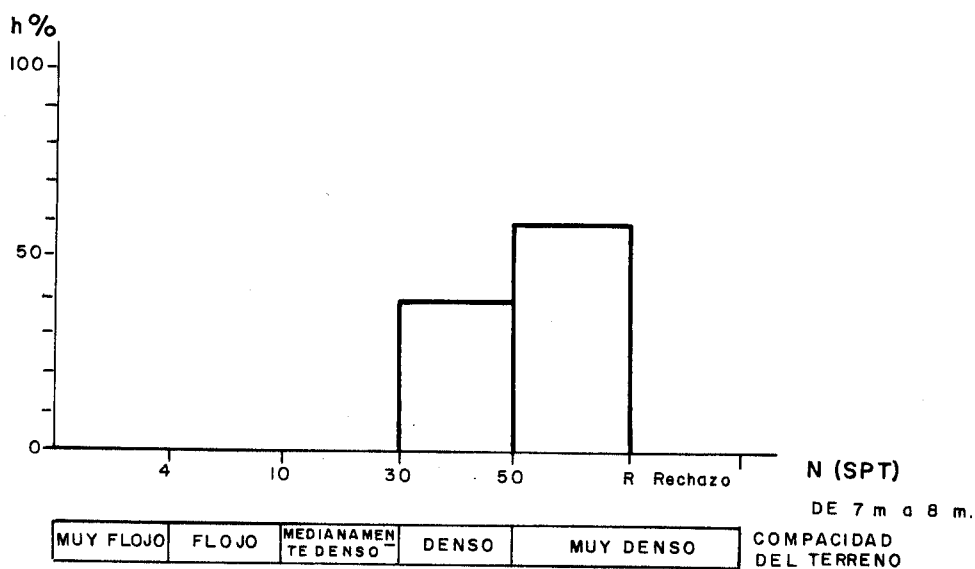
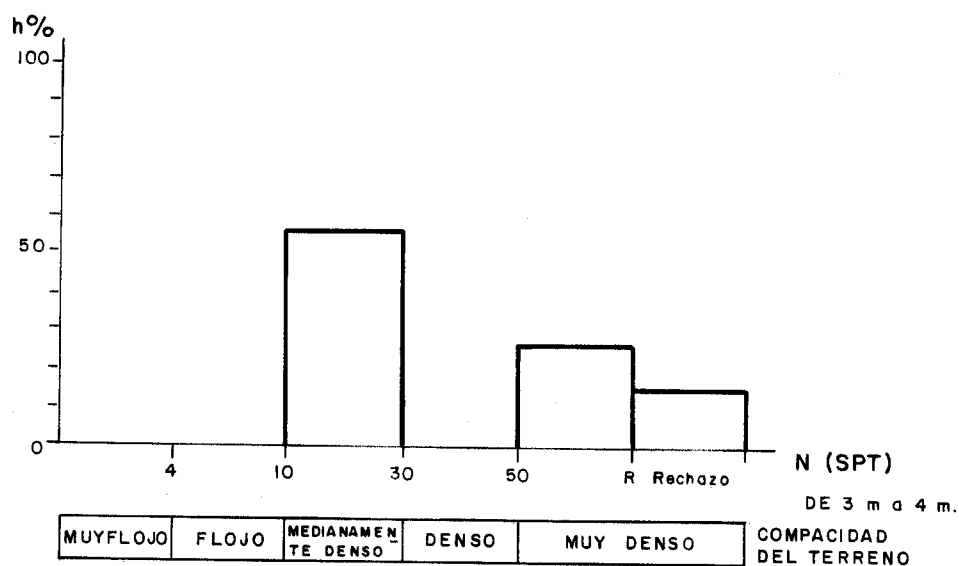
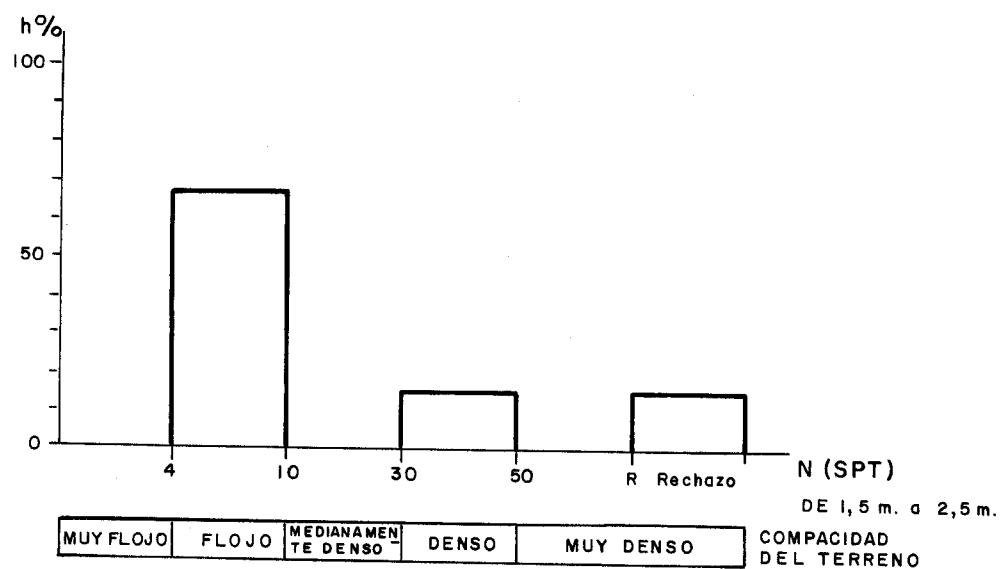


Fig. 10.- Histogramas de valores de N(SPT), a distintos intervalos de profundidad, en la zona III₇.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

Esta unidad define formas deprimidas, de perfil transversal muy suave y cuya pendiente longitudinal es inferior al 15%. En casi todos los ámbitos donde se desarrolla admite, en teoría y haciendo abstracción de otros parámetros, el uso intensivo; no obstante, sus reducidas dimensiones y buena aptitud para usos agrarios, recomiendan supeditar su destino al del área circundante.

CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS

a) Hidrología superficial

La evacuación de las aguas de precipitación se realiza, aquí, por infiltración a través de unos materiales semipermeables y escorrentía superficial. El mecanismo consigue un drenaje aceptable en los tramos más pendientes y deficientes en los semillanos. El coeficiente de escorrentía posee un valor de $C=0,50-0,65$.

b) Hidrología subterránea

Esta Zona almacena un acuífero subterráneo muy somero, con profundidades constatadas del nivel freático entre 0,20 m y 2,70; en cualquier caso, a cotas desde las que interferirá o ejercerá influencia sobre las cimentaciones.

RIESGOS GEOLOGICOS NATURALES

Se reducen a pequeñas fluencias en los taludes, y a los encharcamientos que pueden originarse en los entornos más llanos, con drenaje deficiente y elevado nivel freático.

CARACTERISTICAS GEOMECHANICAS

La Figura 10 muestra los histogramas elaborados para valores de N a diferentes tramos de profundidad. En ellos se puede observar que, dentro de cada uno de los dos primeros intervalos, existen dos ámbitos diferentes; así, de 1,5 a 2,5 m, el terreno es flojo o denso-muy denso y de 3 a 4 m la compacidad define terrenos medianamente densos o muy densos. Las catalogaciones dadas, para cada caso, en primer lugar, corresponden a los aluvio-coluviales desarrollados sobre granitos y las referidas en segundo lugar a los que lo hacen sobre neises. A la cota de 7-8 m las diferencias establecidas desaparecen.

Las penetraciones dinámicas efectuadas sobre esta unidad III₇, registran similar fenómeno, con idéntico significado. Los histogramas de valores de p (cm/golpe), facilitados en la Figura 11, son suficientemente ilustrativos y en ellos queda perfectamente reflejada la existencia, hasta la cota de 6 m., de dos unidades con diferente comportamiento resistivo ($Q_{ac}/granito$ y $Q_{ac}/neises$). Para ambas, los valores de p (resistencia a la penetración dinámica) son los siguientes;

	Q _{ac} /granito		Q _{ac} /neises	
	Valor medio	Desviación standard	Valor medio	Desviación standard
Tramo 1,50—3 m	12,5	4,6	0,7	0,2
Tramo 3—4,50 m	7,5	5,8	0,6	0,4
Tramo 4,50—6 m	1,6	1,0	0,4	0,1
Tramo 6—7,50 m	0,3	0,2	0,3	0,2

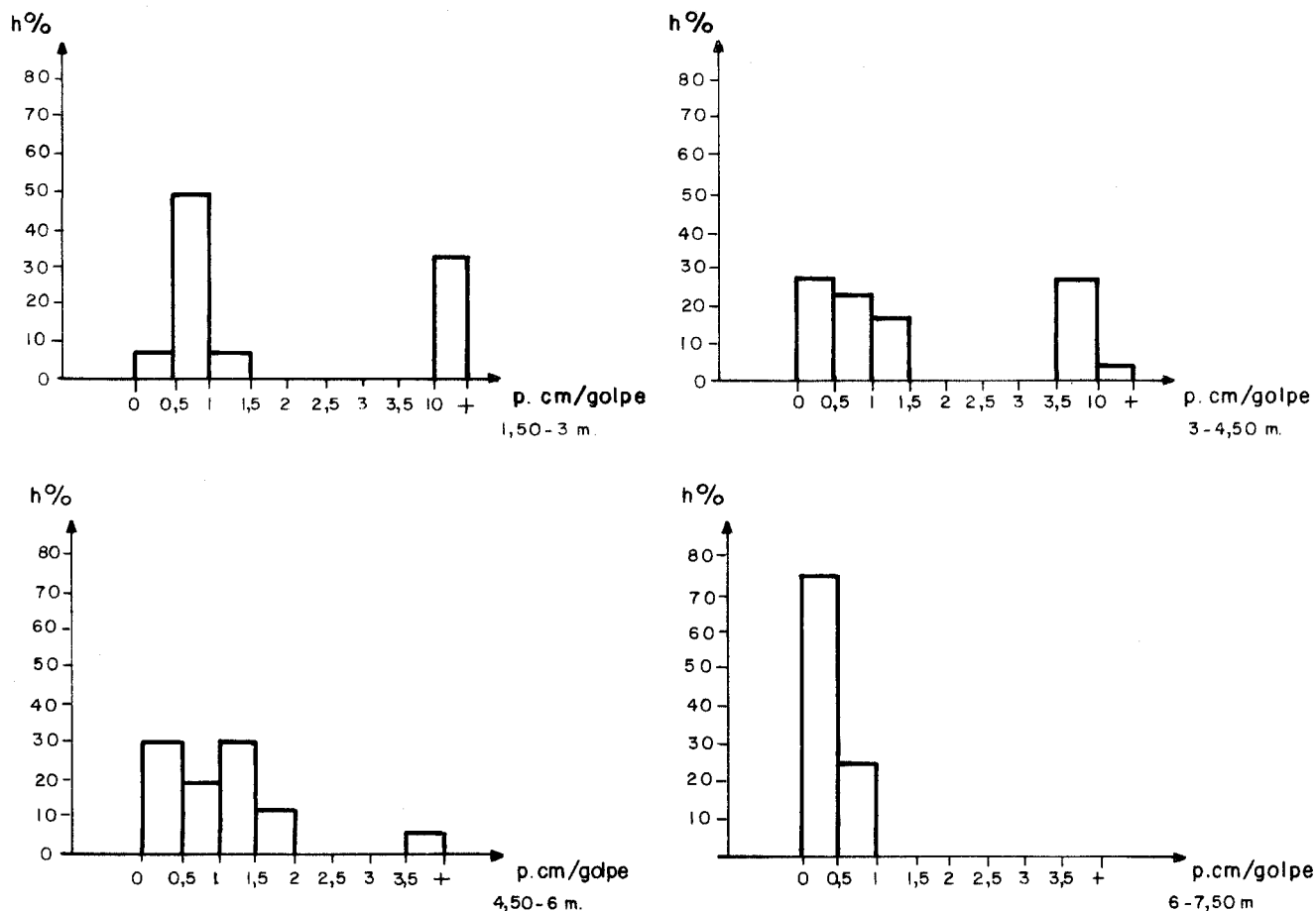


Fig. 11.- Histogramas de valores de la resistencia a la penetración dinámica (p.cm/golpe), para distintos intervalos de profundidad, en la zona III.

Los ensayos de compresión simple suministran valores de q_u , para el horizonte de los dos primeros metros, de 0,400 a 0,800 kg/cm², cifras que permiten catalogar la consistencia de dicho terreno como blanda-media. Por lo que respecta a la resistencia a largo plazo, los ensayos de corte registran valores de $C=0,14-0,64$ kg/cm² y $\phi=19^{\circ}-27^{\circ}$.

CUADRO RESUMEN DE CARACTERISTICAS LITOLÓGICAS Y MECANICAS

Clasificación USCS	SM, SP, SP-SM, SM-SC, SC
Densidad seca	1,11-1,94 gr/cm ³
Humedad natural	6,67-34,27%
Límite líquido	26,87-33,64
Índice plástico	4,35-8,13
N (SPT)	5 - R
q_u	0,400-0,800 kg/cm ²
c	0,14-0,64 kg/cm ²
ϕ	19° - 27°
SPT	Standard Penetration Test
q_u	Resistencia a compresión simple
c	Cohesión
ϕ	Angulo de rozamiento interno
R	Rechazo en el SPT

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

Condiciones de cimentación

Las presiones admisibles a diferentes profundidades se han elaborado en base a los resultados de los ensayos de campo y considerando la presencia de un nivel freático que afecta a la cimentación.

En los datos que a continuación se facilitan debe interpretarse que los valores más bajos corresponden a los aluvio-coluviales desarrollados sobre granitos.

Tramo 1,5 - 2,5 m, $\sigma_{ad} = 0,25-1,9 \text{ kg/cm}^2$

Tramo 3 - 4 m, $\sigma_{ad} = 0,6-5 \text{ kg/cm}^2$

Tramo 7 - 8 m, $\sigma_{ad} = 2,7-3,3 \text{ kg/cm}^2$

La Zona, como puede comprobarse, admite cimentaciones superficiales en las áreas situadas sobre neises. En las que yacen sobre granitos, para practicar este tipo de cimentación debe vaciarse el terreno hasta la cota de 3 m y, aún así, adoptar el sistema de losa para estructuras pesadas (comprobando en ese caso, minuciosamente, los asentos que se puedan producir).

Los problemas, «a priori», se centran en la baja capacidad portante de los casos que se acaban de reseñar y la posible aparición de asentos diferenciales. Así mismo, la elevada posición del nivel freático determinará la necesidad de llevar a cabo agotamientos importantes, con riesgo de que se produzcan fenómenos de sifonamiento en el fondo de los vaciados. Problemas potenciales de subpresiones, por varicción estacional del nivel freático, en cimentaciones muy superficiales, e inestabilidades de las paredes en vaciados.

Restricciones geológicas a la construcción

Se fundamentan en la problemática constructiva que se acaba de exponer y que manifiesta su máxima intensidad en los aluvio-coluviales desarrollados sobre granitos; es por ello por lo que dichos entornos se han significado en rojo, reservándose una caracterización cartográfica más atenuada (azul) para los depósitos desarrollados sobre neises.

Condiciones para obras de tierra

Excavabilidad

Según la NTE-ADV (1976) el terreno de esta unidad geotécnica se considera Blando-Medio y, por tanto, atacable con pico y, en algunos entornos, con pala.

Estabilidad de taludes

Los taludes artificiales, fruto de la excavación del terreno, serán inestables, ya que prácticamente en todos los casos interceptarán el nivel freático.

Empujes sobre contenciones

Serán Altos. Las contenciones podrán hacerse bien recurriendo a pantallas o bien por depresión del nivel freático, excavación y relleno.

Aptitud para préstamos

De acuerdo con los términos definidos en la Metodología, los materiales de la Zona III₇ se consideran Marginales.

Aptitud para explanada de caracteres

Para esta utilización, constituyen materiales Marginales y No aptos.

Obras Subterráneas

El terreno de esta unidad geotécnica, en base a los criterios fijados en la Metodología, debe considerarse Difícil y Muy Difícil para la realización de tal tipo de obras.

3.2.4.8. ZONA III₈

LOCALIZACION

Se ubica sobre la red fluvial principal, bordeando el curso medio y bajo del río Lagares, y el tramo final del Rego de Bao.

CARACTERISTICAS LITOLÓGICAS

Esta Zona III₈ comprende los depósitos aluviales (Qa), de génesis fluvial y que acumulan los productos habidos a expensas de la acción erosiva de dichos agentes modeladores. Las columnas de los sondeos muestran arenas finas y medias, de tono ocre, beige o grisáceos, inmersas en matriz limosa y arcillosa, entre las que se desarrollan niveles de arenas gruesas, arcillas y limos, así como algunos horizontes con pasadas de gravillas. Los espesores, en las localizaciones investigadas con sondeos, son del orden de 10 m o bien superan dicha cifra.

Las clasificaciones USCS realizadas han catalogado tipos SP-SM, ML, SM y ML-CL. El contenido en materia orgánica posee un valor medio de 1,67%, con desviación standard de 0,78%; la humedad natural va de 9,22% a 27,55%, y la densidad seca oscila entre 1,40 y 1,84 gr/cm³. En cuatro muestras inalteradas se ha determinado la condición de suelos No Plásticos.



Foto 18.- Aluvial del Rego de Bao (Zona III₈)

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

La unidad geotécnica III₈ define formas de relieve deprimidas y llanas, cuya pendiente natural es inferior al 3%. En consecuencia, por lo que respecta a este parámetro, admite uso intensivo.

CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS

a) Hidrología superficial

La evacuación de la Zona se realiza por infiltración, a través de unos materiales semipermeables que, además, poseen un nivel freático casi superficial, circunstancias ambas determinantes de una calidad de drenaje deficiente. El coeficiente de escorrentía, elaborado de acuerdo con la Instrucción de Carreteras, posee un valor de $C=0,20-0,50$.

b) Hidrología subterránea

Esta unidad almacena un acuífero subterráneo muy somero, con profundidades de nivel freático (constatadas en sondeos) de 0,15 a 0,30 m. Hay que significar, no obstante, que la campaña de obras de investigación se realizó durante los meses de invierno y primavera, por lo que debe esperarse que la posición de dicho nivel descienda en el periodo verano-otoño aunque, eso sí, a cotas en las que seguirá influyendo sobre la cimentación.

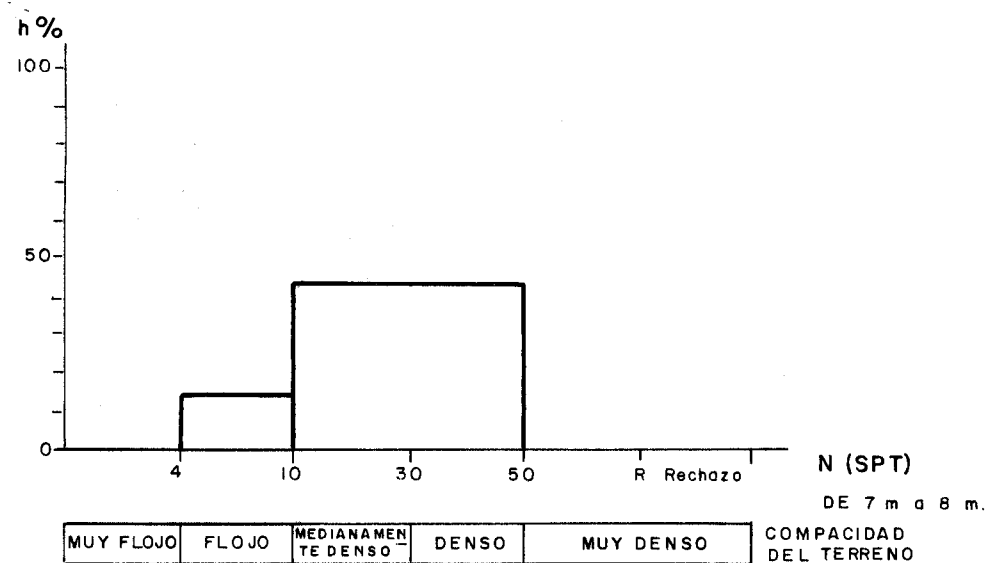
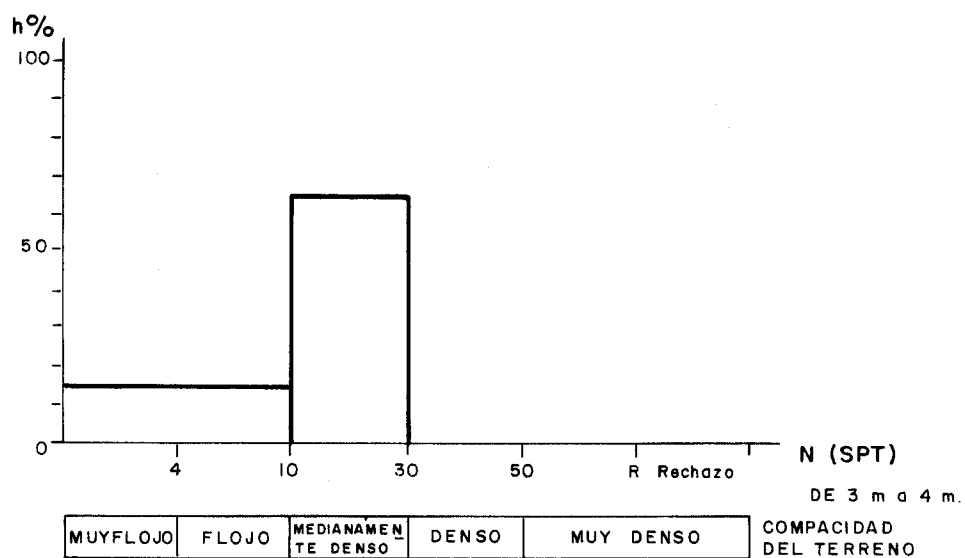
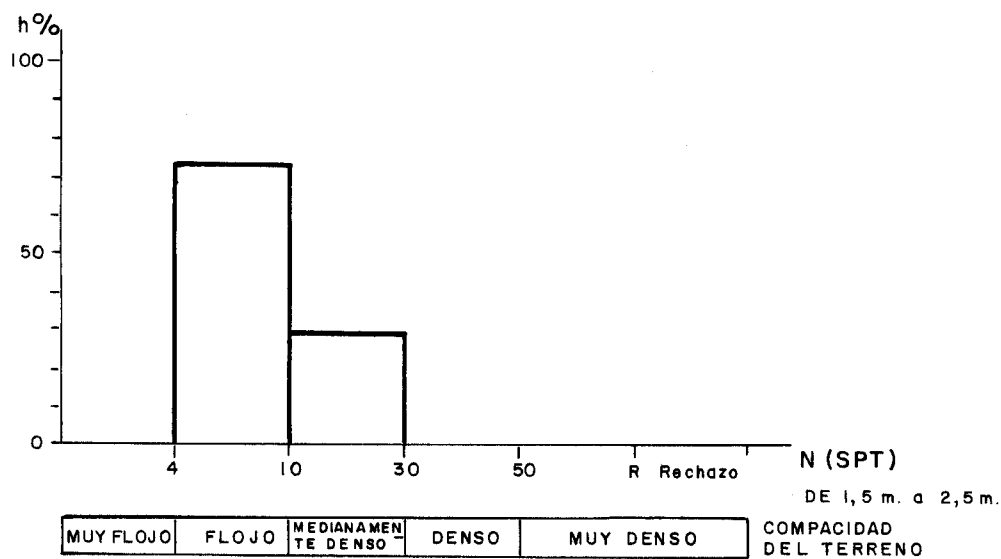


Fig. 12.- Histogramas de valores de $N(SPT)$, a distintos intervalos de profundidad, en la zona III_g.

RIESGOS GEOLOGICOS NATURALES

Es esta una Zona sujeta permanentemente al riesgo de inundación por avenidas, e incluso por crecidas fuertes en las áreas más cercanas al cauce del río. Los encharcamientos son frecuentes, debido a la dificultad de evacuar las aguas de precipitación.

Debe señalarse además, en este apartado, el riesgo de aparición de fenómenos de licuefacción por sacudida sísmica fuerte.

CARACTERISTICAS GEOMECANICAS

En la Figura 12 se reflejan los histogramas elaborados para valores de N a diferentes intervalos de profundidad. En ellos se puede observar que, para el tramo 1,5-2,5 m, el terreno es flojo o medianamente denso, para el de 3 a 4 m, muy flojo, flojo o medianamente denso, y para el de 7 a 8 m, flojo, medianamente denso y denso. Se ponen pues de relieve dos circunstancias, a saber, las deficientes condiciones resistentes en general, y el hecho de que la evolución de la calidad hacia el interior del depósito (en profundidad) no es constante, presentándose valores de compacidad muy floja bajo otros flojos o incluso medianamente densos. Este fenómeno, que va a reflejarse en la magnitud de los asentos y en la posible aparición de comportamientos diferenciales, queda muy bien plasmado en los gráficos de las penetraciones dinámicas, que por tener el carácter de registros continuos permiten «visualizar» este tipo de circunstancias.

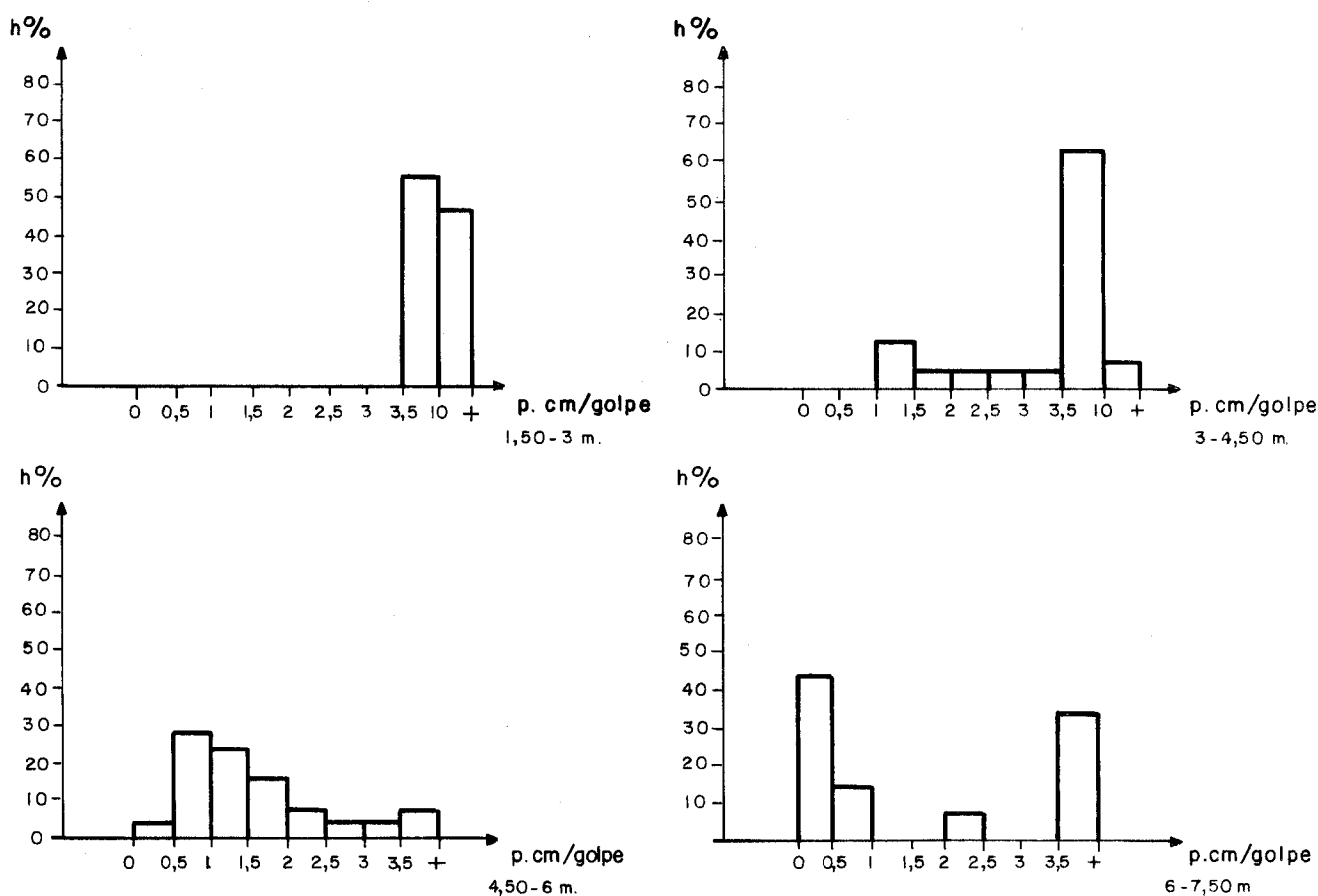


Fig. 13.- Histogramas de valores de la resistencia a la penetración dinámica (p.cm/golpe), para distintos intervalos de profundidad, en la zona III_g.

Los histogramas de la resistencia a la penetración dinámica se ofrecen en la Figura 13, facilitándose a continuación una tabla de los valores hallados para p (cm/golpe):

	Valor medio	Desviación standard
Tramo 1,50—3 m	11,4	6,9
Tramo 3—4,50 m	5,6	3,8
Tramo 4,50—6 m	2,1	2,5
Tramo 6—7,50 m	3,1	5,6

La amplitud de las desviaciones sobre los valores centrales y la poco clara evolución de estos en profundidad, hablan bien a las claras de un medio físico con compartimiento resistente dispar y difícilmente controlable.

Los ensayos de laboratorio realizados han registrado un valor de resistencia a la compresión simple, q_u , de $0,930 \text{ kg/cm}^2$, poco representativo por su carácter aislado y puntual. Por lo que respecta a la resistencia a largo plazo, se ha efectuado un ensayo de corte que arrojó los valores orientativos de $c=0,72 \text{ kg/cm}^2$ y $\phi = 26^\circ$. Las pruebas de hinchamiento Lambe registraron Índices de Hinchamiento $0,250-0,387 \text{ kg/cm}^2$ y Crecimientos Potenciales de Volumen No Críticos..

Para determinar las características de compresibilidad se han efectuado ensayos edométricos, obteniéndose para la profundidad de 1,50 a 1,95 m los siguientes valores: índice de compresibilidad, C_c , $0,134-0,140$; índice inicial de poros, e_o , $0,846-0,890$, y módulo de compresibilidad específica, para presiones verticales entre $0,1$ y $0,8 \text{ kg/cm}^2$, $m_v = 0,124-0,134$, de $0,8$ a $1,5 \text{ kg/cm}^2$, $m_v = 0,061-0,071$, y de $1,5$ a 3 kg/cm^2 , $m_v = 0,027-0,030$.

CUADRO RESUMEN DE CARACTERISTICAS LITOLÓGICAS Y MECANICAS

Clasificación USCS	SP—SM, ML, ML—CL, SM
Densidad seca	$1,40-1,84 \text{ gr/cm}^3$
Humedad natural	$9,22-27,55\%$
N (SPT)	4—49
c	$0,72 \text{ kg/cm}^2$ $0,72 \text{ kg/cm}^2$
ϕ	26°
I.H.	$0,250-0,387 \text{ kg/cm}^2$
C.P.V.	No crítico
C_c	$0,134-0,140$
e_o	$0,846-0,890$
SPT	Standard Penetration Test
c	Cohesión
ϕ	Angulo de rozamiento interno
I.H.	Índice de hinchamiento
C.P.V.	Crecimiento potencial de volumen
C_c	Índice de compresibilidad
e_o	Índice de poros inicial

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

Condiciones de cimentación

Las presiones admisibles se han elaborado en base a los resultados de los ensayos de campo y considerando la presencia de un nivel freático que afecta a la cimentación. Los valores a los diferentes intervalos son:

Tramo 1,5 - 2,5 m, $\sigma_{ad} = 0,2-1,2 \text{ kg/cm}^2$

Tramo 3 - 4 m, $\sigma_{ad} = 0,1-0,9 \text{ kg/cm}^2$

Tramo 7 - 8 m, $\sigma_{ad} = 0,25-2,8 \text{ kg/cm}^2$

Estas cifras hablan bien a las claras de la necesidad de realizar cimentaciones profundas, por medio de pilotes que, trabajando en punta, vayan a buscar los horizontes resistentes del infrayacente (granito alterado, II_1 o granito sano, II_2). Las estructuras ligeras e incluso de tipo medio pueden ser desarrilladas sobre rellenos controlados.

Los problemas, para el caso de fundaciones sobre rellenos, se centrarán en la baja capacidad portante del aluvial y la posible aparición de asentamientos diferenciales. En las excavaciones, la elevada posición del nivel freático, obligará a realizar agotamientos importantes, con los consiguientes problemas de inestabilidad, por lo que deberá recurrirse a recintos estancos.

Toda actividad constructiva en esta Zona III_g deberá tener en cuenta, además, que se trata de un dominio inundable por avenidas.

Restricciones geológicas a la construcción

Es esta una unidad geotécnica conflictiva, con una problemática compleja, a nivel técnico, cuya solución puede imputar, además serias cargas económicas. Por todo ello se ha caracterizado en rojo, es decir, como de máximo nivel restrictivo.

Condiciones para obras de tierra

Excavabilidad

De acuerdo con la NTE-ADV (1976), el terreno de esta Zona se considera Blando, es decir, atacable incluso con pala.

Estabilidad de taludes

No existen taludes naturales. Los artificiales, fruto de excavaciones, serán inestables tal y como ya se ha indicado en el apartado de cimentaciones.

Empujes sobre contenciones

Serán siempre Altos. Deberán realizarse, recurriendo a recintos de tablestacas o pantallas.

Aptitud para préstamos

De acuerdo con la Metodología, los materiales de esta Zona se consideran No Aptos a tal fin.

Aptitud para explanada de carreteras

También en esta faceta los materiales de la unidad geotécnica III_g son catalogados como No Aptos.

Obras subterráneas

Se trata de Terrenos Muy Dificiles para esa actividad, ya que incluyen suelos blandos y muy blandos bajo el nivel freático.

3.2.4.9. ZONA III_g

LOCALIZACION

Se sitúa en dos únicos afloramientos, entre los tramos finales de los ríos Lagares y Rego de Bao y las trasplayas de Samil y Canido, respectivamente.

CARACTERISTICAS LITOLÓGICAS

Incluye esta Zona los depósitos marismales (Qm), que poseen génesis mixta marino-fluvial y están constituidos por limos-arenosos con abundante materia orgánica en el primer metro, arenas-limosas y arenas mal graduadas. Las columnas de los sondeos realizados permiten observar arenas medias y gruesas, con abundantes moscovitas y fracción limo, alternando con arenas-limosas que contienen materia orgánica. Todo el conjunto presenta colores grisáceos oscuros y los tramos de finos son casi negruzcos.



Foto 19.- Marisma en el tramo final del Lagares (III_g)

Las clasificaciones USCS realizadas han catalogado, únicamente, tipos SP-SM, ya que los niveles de limos fueron imposibles de recuperar por el tomamuestras. Los contenidos en materia orgánica para el tramo 1,50-1,95 m, son del 1,8-2%, en el intervalo 3-3,45 m, del 1,4% y en el de 6,8-7,25 m, del 0,5%. La densidad oscila entre 1,36 y 1,49 gr/cm³, mientras que la humedad natural (W) lo hace entre 19,54% (a 3,40 m de profundidad) y 34,64% (a 1,50 m de cota negativa).

El espesor de estos sedimentos varía desde 2 m, en la franja cercana a su límite externo, hasta más de 10 m.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

Los depósitos de marisma forman parte del dominio morfológico marino-continental, sobre el que actúan la dinámica de las mareas y la dinámica fluvial. Define formas de relieve planas, con valor de P=0.

CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS

a) Hidrología superficial

Los materiales constituyentes de la Zona III_g deben considerarse prácticamente impermeables, por la abundancia de fracción limo en los primeros metros y, sobre todo, la absoluta saturación del terreno. Aún así, el mecanismo de evacuación que poseen se basa principalmente en la infiltración, por lo que, como puede comprenderse, la calidad del drenaje es muy deficiente. El coeficiente de escorrentía, según la Instrucción de Carreteras, posee un valor de C= 0,20-0,50.

b) Hidrología subterránea

Esta unidad almacena un acuífero subterráneo salinizado y cuyo nivel freático (sub-superficial) se ve afectado por la oscilación de las mareas. El carácter salino del acuífero lo hace agresivo a los aglomerantes hidráulicos ordinarios (por su contenido en sulfatos) y corrosivo frente a las estructuras metálicas (contenido en cloruros).

RIESGOS GEOLOGICOS NATURALES

A causa de su disposición topográfica estratégica, la Zona III_g está permanentemente sujeta al riesgo de inundación, por crecidas fluviales que coincidan con la marea alta, o bien al ser afectada por mareas vivas. De hecho su dominio padece permanentes encharcamientos.

Debe referenciarse, así mismo, el riesgo de aparición de fenómenos de licuefacción de las arenas ante una sacudida sísmica fuerte.

CARACTERÍSTICAS GEOMECHANICAS

Los ensayos realizados en laboratorio sobre muestras inalteradas, arrojan valores de resistencia a la compresión simple (qu) del orden de 0,470 kg/cm², tanto para el horizonte de 1,50 m como para el de 3 m, que se significan así como terrenos de consistencia blanda. En relación con la resistencia a largo plazo se han realizado pruebas de corte, las cuales muestran cohesiones de 0,34 kg/cm² y 0,26 kg/cm² a profundidades de 1,50 m y 3 m respectivamente; para las mismas cotas los valores de ϕ son 14° y 17°. El ensayo de hinchamiento Lambe registró un Crecimiento Potencial de Volumen No Crítico, con valor de I.H. 0,318 kg/cm².

Con el fin de determinar características de compresibilidad, se ha efectuado un ensayo edométrico sobre muestra inalterada procedente de la cota 1,50 m; los resultados obtenidos han sido los siguientes: índice de compresibilidad específica, C_c , 0,145; índice inicial de poros, e_o , 0,947, y módulo de compresibilidad específica, para presiones verticales entre 0,1 y 0,8 kg/cm², $m_v = 0,146$, de 0,8 a 1,5 kg/cm², $m_v = 0,081$, y de 1,5 a 3 kg/cm², $m_v = 0,028$.

La compacidad orientativa del terreno, en base a las escasas obras realizadas en la orla marginal de la marisma, es floja en el intervalo 1,50-2,50 m, y medianamente densa en los tramos 3-4 m y 7-8 m. Se estima no obstante que, en circunscripciones más centrales el horizonte de compacidad floja debe aumentar notablemente de espesor.

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

Condiciones de cimentación

Las presiones admisibles, solo orientativas, se han elaborado con los escasos datos de SPT y penetración dinámica. Es necesario indicar aquí, que la razón de tan pobre campaña investigadora, en esta Zona, se relaciona con las grandes dificultades para emplazar la sonda y el penetrómetro sobre un terreno en el que se hundían, aunque tal circunstancia constituye, en sí misma, un dato sobre su capacidad portante superficial. Los valores elaborados, teniendo en cuenta la omnipresencia de un nivel freático superficial, son: para el tramo 1,50-2,50 $\sigma_{ad} = 0,25$ kg/cm²; para el de 3-4 m, $\sigma_{ad} = 1,4$ kg/cm², y para el de 7-8 m, $\sigma_{ad} = 1,2$ kg/cm².

Estas presiones justifican la ejecución de cimentaciones superficiales para estructuras ligeras y medias, pero (se ha de insistir nuevamente) en el dominio marginal de la marisma. En su entorno central es preciso recomendar el desarrollo de cimentaciones profundas, a base de pilotes perforados flotantes o bien buscando la resistencia en punta sobre las rocas alteradas que subyacen a este depósito.

En cimentaciones superficiales los problemas vendrán determinados por la baja capacidad portante y la presencia de un nivel freático superficial y agresivo.

Las excavaciones registrarán problemas de agotamientos importantes e inestabilidad, por lo que deberá recurrirse a recintos estancos. También podrán originarse removilizaciones de depósitos sueltos y fenómenos de levantamientos del fondo por sifonamiento.

No se prevén problemas de hincas de pilotes ante la ausencia de bolos que puedan dificultarla.

Restricciones geológicas a la construcción

En el Mapa de Características Geomecánicas y Condiciones Constructivas, la Zona III₉ se ha representado en rojo, es decir, con un nivel máximo de restricciones a la construcción. Estas se centran en problemas de nivel freático muy superficial y agresivo, baja capacidad portante e inestabilidad en excavaciones, con fenómenos de removilizaciones de depósitos sueltos y posibles sifonamientos.

Condiciones para obras de tierra

Excavabilidad

De acuerdo con las especificaciones dadas en la Metodología, estos materiales son Blandos, excavables con pico y pala.

Estabilidad en taludes

No existen taludes naturales. Los taludes artificiales, fruto de excavaciones, se consideran inestables y presentarán la problemática ya citada en el apartado de cimentación.

Empujes sobre contenciones

Serán siempre Altos. Deberá recurrirse a recintos de tablestacas o pantallas.

Aptitud para préstamos

Los materiales de esta Zona se consideran No Aptos a tal fin.

Aptitud para explanada de carreteras

También en esta faceta los materiales de la unidad geotécnica III₉ son catalogados como No Aptos.

Obras subterráneas

Se trata de terrenos Muy Difíciles para desarrollar esa actividad ya que incluyen suelos blandos y muy blandos bajo el nivel freático.

3.2.5. AREA IV

3.2.5.1. ZONA IV₁

LOCALIZACION

Esta unidad incluye los depósitos antropogénicos de relleno, surgidos a expensas de la actividad constructiva humana y desarrollados en dos ámbitos diferenciados, la orla ciudadana que, en Vigo, bordea el mar, y los numerosos asentamientos fabriles, urbanizaciones de media ladera y pasillos de obras públicas que dibujan un isleño desordenado de este tipo de acúmulos artificiales.

CARACTERISTICAS LITOLOGICAS

Los materiales integrantes de la Zona IV₁ (Qr) poseen una naturaleza heterogénea, que depende, fundamentalmente, del entorno sobre el que se emplazan, Así, los rellenos que se efectúan en explanaciones, heredan los productos del desmonte, fragmentados si se trata de rocas (a causa de las voladuras) y en estado natural si se trata de suelos. Los que han de servir como soporte para establecimientos fabriles y obras públicas, en zonas conflictivas, son materiales seleccionados. En cualquier caso, unos y otros pueden ser considerados como rellenos controlados.

El caso del dominio vigués ganado al mar posee matices diferenciales, puesto que se rellenó por bombeo continuo y prácticamente carente de control de los sedimentos de la bahía, resultando así un acúmulo de características litológicas poco conocidas que, preventivamente, debe ser considerado errático. Sus principales tipos integrantes son arenas finas y limos.

CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS

Por su destino, como soportes niveladores del terreno para edificaciones y obras públicas, definen formas planas, con pendiente prácticamente nula.

CARACTERISTICAS HIDROLOGICAS

a) Hidrología superficial

Los materiales de estos rellenos son normalmente permeables, pero su posterior acondicionamiento, con capas de hormigón o asfalto, da a la Zona un carácter impermeable. El coeficiente de escorrentía, C, según Instrucción de Carreteras puede tomar el valor 0,70-0,95 (pavimentos de hormigón y asfálticos). El drenaje se considera favorable.

b) Hidrología subterránea

El nivel freático a considerar en cada caso será el del subyacente, excepto para el relleno portuario de Vigo, en el que adoptará la posición del nivel de mar, con fluctuaciones mareales y fuerte agresividad hacia los hormigones así como efectos corrosivos sobre elementos metálicos.

RIESGOS GEOLOGICOS

En este apartado los únicos aspectos a considerar son: la mencionada presencia, en rellenos portuarios, de un acuífero salino oscilante y la acción dinámica litoral.

CARACTERISTICAS GEOMECHANICAS

Los rellenos ingenieriles, controlados, han adaptado sus características al fin concreto para el que han sido contruídos y, consecuentemente, debe darse por su puesta su idónea aptitud geomecánica.

El relleno portuario, como ya se ha comentado, se considera errático y, por tanto, de comportamientos difícilmente previsibles; no obstante aplicando un respetuoso criterio restrictivo debe interpretarse que sus materiales integrantes presentan bajas capacidades de carga.

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

Condiciones de cimentación

Los rellenos controlados se construyen con el fin de que puedan admitir las presiones que les va a transmitir la obra, procurando además que su propio peso y las sobrecargas a imputar, no originen en el infrayacente (normalmente una Zona problemática) asientos de magnitudes o comportamientos diferenciales inadmisibles. Es por ello por lo que se adecuan a la fundación de estructuras ligeras (naves industriales) o áreas de servicios.

Las explanaciones de media ladera, realizadas a base de desmonte y relleno, admiten, normalmente, estructuras ligeras y medias. En función de sus materiales constituyentes pueden llegar a constituir asiento de estructuras pesadas.

El ámbito portuario presenta problemas de baja capacidad portante y subpresiones, debidas al carácter oscilante de un acuífero subterráneo, que, además es agresivo. En este entorno las cimentaciones importantes deben realizarse por medio de pilotes, bien sea, flotantes o que busquen la resistencia de punta sobre los horizontes de granitos y neises alterados.

Restricciones geológicas a la construcción

Poseen un nivel mínimo en los rellenos controlados (significados en amarillo) y son francamente dignas de ser tenidas en cuenta en el ámbito portuario (caracterizado en azul).

Condiciones para obras de tierra

Los rellenos bien compactados se consideran Medios y Duros por lo que a excavabilidad se refiere.

Los taludes de excavación serán estables o presentarán diferentes fenómenos de degradación y los empujes sobre contenciones, por encima del nivel freático, serán Bajos o Medios. Respecto a la aptitud para préstamos o explanadas de carretera, evidentemente deben ser Aptos, pero, en algunos entornos del relleno portuario, pueden considerarse Marginales. Las obras subterráneas en estos terrenos, Muy Difíciles, tienen poco sentido.

3.2.5.2. ZONA IV₂

Incluye los vertidos (Qv) de residuos industriales y urbanos; fundamentalmente, estos últimos. Por su naturaleza, no tiene gran interés analizar las características de distinto tipo que se detallan en las restantes zonas. Debe significarse, no obstante, que representan un claro riesgo potencial de contaminación de los acuíferos del entorno, puesto que sus aguas de circulación se vuelven fuertemente agresivas. Bajo el aspecto constructivo interesa destacar su baja capacidad portante y el carácter absolutamente errático de sus componentes, dos circunstancias que aconsejan su eliminación de cara al establecimiento de emplazamientos industriales o de viviendas.

3.2.6. INVESTIGACIONES GEOTECNICAS SUPLEMENTARIAS PARA OBRAS PUNTUALES

En el Mapa de Características Geomecánicas y Condiciones Constructivas se encuentra una columna en la que se indican los objetivos que deben tener las investigaciones puntuales y su intensidad.

Ya se ha dicho que los valores numéricos que se dan poseen un carácter esencialmente orientativo. Por tanto, su campo de aplicación fundamental es el de los anteproyectos; para proyectos servirán a los de escasa o normal entidad o para estructuras no permanentes. Los valores numéricos a aplicar que no sean los mínimos dados deben seleccionarse con criterios estadísticos. Sin embargo, la aplicación de estos criterios simplistas no puede suplir a la observación de las condiciones geotécnicas de una obra ni a la realización de una campaña de investigación geotécnica para obras de una mínima importancia. Lo que resultará de la ampliación de estos Mapas es, por una parte, el conocimiento previo de la variabilidad estratigráfica de cada Zona, que permite detectar los niveles más débiles o problemáticos y, por otra, el acercamiento al conjunto de problemas de cada unidad geotécnica. Asimismo, orientan respecto a parámetros que pueden hacer prevér las condiciones de cimentación y obras de tierra.

Para obras de una mínima importancia, en especial en Zonas problemáticas, será conveniente, por razones de seguridad y economía realizar una Investigación Geotécnica Suplementaria.

Cada campaña recomendada se caracteriza por:

a) Número Superior. Indica los objetivos principales perseguidos.

1. Se aplicará a zonas rocosas, en particular para obras de cierta importancia. Sus objetivos son: determinación de potencias de recubrimiento, detección de discontinuidades importantes, niveles compresibles y posibles oquedades. El método de investigación puede ser el sondeo mecánico.
2. Se aplicará a Zonas con estratigrafía errática, con variaciones litológicas laterales y verticales. Su objeto es definir litológica y mecánicamente el área a que afectará la cimentación. De forma sistemática analizará la posible agresividad de los suelos o de las aguas freáticas si se interceptan. El método preferente de investigación será el sondeo mecánico al que pueden complementar ensayos de penetración dinámica.
3. Se aplicará a Zonas con estratigrafía relativamente homogénea y su objetivo es definir mecánicamente los materiales a que afectará la cimentación. Será conveniente también analizar la posible agresividad de los suelos. El método de investigación será el sondeo mecánico.
4. Constituye un matiz de las campañas anteriores, como es la localización del nivel freático, su caudal relativo y la posible agresividad del acuífero. En rocas, se buscarán las vías de posible circulación de las aguas infiltradas.

b) Letra Inferior, que designa la intensidad de la campaña. A título orientativo y para cimentaciones, pueden utilizarse, en primera aproximación, los siguientes valores del número de puntos a reconocer n:

A (Alta): uno cada 50-200 m²
M (Media): uno cada 100-400 m²
B (Baja): uno cada 200-800 m²

Para las diferentes Zonas Geotécnicas de este estudio, se han definido las siguientes campañas suplementarias de investigación:

Cuadro R Zona Geotécnica, Campaña Suplementaria

Zona Geotécnica	Campaña Suplementaria	Zona Geotécnica	Campaña Suplementaria
I ₁	IG ¹⁽⁴⁾	III ₃	IG ^{3.4} _{M-B}
I ₂	IG ¹⁽⁴⁾	III ₄	IG ^{3.4} _M
I ₃	IG ¹	III ₅	IG ^{3.4} _{A-M}
I ₄	IG ¹	III ₆	IG ^{2.4} _A
I ₅	IG ¹	III ₇	IG ²⁽⁴⁾ _{A-M}
II ₁	IG ³⁽⁴⁾ _{M-B}	III ₈	IG ² _A
II ₂	IG ^{3.4} _M	III ₉	IG ² _A
III ₁	IG ^{2.4} _M	IV ₁	—
III ₂	IG ³⁽⁴⁾ _A	IV ₂	IG ² _A

4. ESTUDIO DEL AREA DEL RIO LAGARES, A ESCALA 1:5.000

4.1. ZONACION GEOTECNICA

En la cartografía geotécnica del área del Río Lagares, que incluye, en realidad, el tramo final de dicho río, además de la marisma, se ha adoptado la misma zonificación, en cuanto a nomenclatura, que la de la cartografía a escala 1:25.000. Sin embargo, se han introducido algunas modificaciones en diversas Zonas, concretamente en las reseñadas con las referencias III₂, III₈, III₉ y IV₁. En los apartados que siguen se hará descripción particular de dichas unidades.

4.2. ESTUDIO DE LAS ZONAS Y SUBZONAS GEOTECNICAS

El entorno del Río Lagares se ha distribuido en las siguientes Areas y Zonas:

Area I

Comprende los afloramientos de rocas ígneas.

Area II

Está constituida por rocas alteradas.

Area III

Incluye los depósitos cuaternarios de génesis natural.

Area IV

Comprende los depósitos actuales antropogénicos.

Zona I₂

Está constituida por los afloramientos graníticos.

Zona II₁

Incluye a los granitos muy alterados, con comportamientos de materiales arenosos.

Zona III₂

Está compuesta por los depósitos de dunas.

Zona III₃

Integra los arenales de las playas actuales.

Zona III₄

Comprende los eluviales formados a expensas de los granitoides, compuestos por arenas-limosas.

Zona III₅

Está formada por los depósitos mixtos coluvio-eluviales que integran arenas limosas y arcillosas.

Zona III₆

Comprende los acúmulos de origen gravitacional, coluviales.

Zona III₇

Integra los materiales que se depositan en los fondos de valle, aluvio-coluviales.

Zona III₈

Está constituida por los depósitos debidos a la dinámica fluvial, aluviales.

Zona III₉

Incluye los acúmulos de marisma.

Zona IV₁

Comprende los rellenos realizados como asientos de construcciones.

Zona IV₂

Está formada por los vertidos de residuos sólidos urbanos y algunos apilamientos incontrolados de productos de derribos.

Con las pequeñas salvedades que a continuación se comentan, las características de las Zonas I₂, II₁, III₃, III₄, III₅, III₆, III₇, y IV₂, pueden seguirse en los apartados correspondientes del estudio a escala 1:25.000. Sus particularidades litológicas, geomorfológicas, hidrológicas y constructivas se resumen en el Mapa de Factores Geológicos con Incidencia Constructiva, Características Geomecánicas y Condiciones Constructivas, a escala 1:5.000, relativo a este área.

Por lo que respecta a la Zona II₁ de este entorno, debe significarse que está formada, exclusivamente, por granitos muy alterados y consecuentemente, en el mecanismo del drenaje, domina ligeramente la infiltración sobre la escorrentía.

Los eluviales procedentes de los granitos (Zona III₄) muestran, en este ámbito físico, posiciones bajas del nivel freático, por lo que sus presiones admisibles adquieren valores de 2 kg/cm² para el tramo 1,5-2,5 m, y 3,6 kg/cm² en el de 3-4 m.

Los coluvio-eluviales (Zona III₅) definen pendientes inferiores al 6% y la posición de su nivel freático es normalmente alta.

Los acúmulos de fondo de valle (Zona III₇) del entorno, por desarrollarse sobre granitos, tal y como ya se comentó en el epígrafe correspondiente, manifiestan las características geomecánicas más pobres de toda la unidad. Las cimentaciones superficiales a que se hace referencia en la leyenda son para estructuras ligeras o medias y, aún así, practicadas por el sistema de losas de cimentación por debajo de la cota de 4 m.

4.2.1. ZONA III₂

Está constituida por los depósitos de dunas que se sitúan en la trasplaya de Samil, indiscutiblemente el afloramiento más relevante de esta unidad geotécnica.

Para el estudio a escala 1:5.000 y basándose en el espesor de sedimentos, se han diferenciado dos Subzonas, la III_{2a}, orla más continental, en la que se estiman potencias menores de 3 m, y la III_{2b}, que contacta con el depósito marino de la playa y debe presentar espesores superiores a dicha cifra. Cada una de ellas presenta matices diferenciales por lo que se refiere a los siguientes aspectos:

Hidrología subterránea

Su contacto con el subyacente puede registrar fenómenos de circulación de aguas, pero este hecho no significa, exactamente, la presencia de un almacenamiento subterráneo con su correspondiente nivel freático. No obstante, la Subzona III_{2b} puede verse influida por el acuífero de la playa que, como ya se ha comentado, posee características agresivas.

Condiciones de cimentación

Las cimentaciones sobre III_{2a} serán de estructuras ligeras y medias, aunque la recomendación general es desmontar la unidad e ir a buscar el infrayacente (II₁). En la Subzona III_{2b}, la posible aparición del acuífero salino a cotas que influyen sobre una hipotética cimentación parece aconsejar la fundación sobre el suyacente en cualquier caso.

Restricciones geológicas a la construcción

Se ha matizado aquí entre el nivel relativamente bajo de la Subzona III_{2a}, significada en verde, y el más relevante, en lo que a problemática constructiva se refiere, de la unidad III_{2b}, por lo que ésta se ha caracterizado de azul.

4.2.2. ZONA III₈

Comprende al aluvial del Río Lagares, que en esta Zona del cauce posee espesores de más de 10 m. No obstante, se ha significado un entorno donde dicho parámetro no debe alcanzar los 7 m y, en base a tal circunstancia, se han diferenciado dos Subzonas, la III_{8a} que integra los acúmulos de potencias superiores a 10 m, y la III_{8b}, de muy reducida presencia superficial, y en la que no se alcanza dicho espesor.

La razón de establecer esta diferencia fue la de que, en la Subzona III_{8b}, podrá irse a cimentaciones de tipo superficial, apoyadas sobre el sustrato infrayacente (II₁).

4.2.3. ZONA III₉

Al igual que en la anterior, en esta Zona, comprendida por los depósitos de tipo marismal, se ha establecido una diferenciación en Subzonas, sentada sobre la base de los espesores que, en cada entorno, posee la unidad. La Subzona III_{9b} no alcanza los 3 m de potencia y coincide con el que podría ser llamado ámbito marginal.

En cartografía se han delimitado algunos dominios de la subunidad III_{9b}, por medio de criterios basados en la sección que debe presentar en profundidad el depósito y en las formas del relieve circundante. Debe llamarse muy claramente la atención acerca del carácter exclusivamente interpretativo que ha guiado tal delimitación y, en consecuencia, de la inexcusable necesidad de realizar un detallado estudio geotécnico en cada localización sobre la que se vaya a desarrollar cualquier actividad constructiva.

Como norma genérica, no obstante, debe decirse que las áreas distales, más alejadas del borde externo, poseerán un mayor acúmulo de sedimentos.

4.2.4. ZONA IV₁

Integra los rellenos antropogénicos, debidos a la actividad constructiva humana y realizados para servir de sustentación, en esta circunscripción concreta, al desarrollo de un polígono industrial y algunas edificaciones con viviendas.

Aquí se han podido distinguir dos Subzonas: la IV_{1a}, constituida por materiales seleccionados y ya consolidados, y la IV_{1b}, integrada por materiales sueltos, aún sin consolidar, procedentes del IV_{1a}. Sobre la primera pueden llevarse a cabo cimentaciones superficiales de estructuras ligeras y áreas de servicios. La segunda (IV_{1b}) precisa de un acondicionamiento previo antes de constituirse en soporte de cualquier tipo de edificación.

En base a los aspectos comentados, la Subzona IV_{1b} presenta un elevado nivel de restricciones constructivas, caracterizado en cartografía con el color azul.

4.2.5. INVESTIGACIONES GEOTECNICAS SUPLEMENTARIAS PARA OBRAS PUNTUALES

Considerando las mismas notaciones establecidas en el apartado 3.2.6., se tienen los siguientes tipos de campañas de investigaciones geotécnicas para obras puntuales:

Zona Geotécnica	Campaña Suplementaria	Zona Geotécnica	Campaña Suplementaria
I ₂	IG ¹⁽⁴⁾	III ₆	IG ^{2.4} _A
II ₁	IG ^{3.4} _{M-B}	III ₇	IG ^{2.4} _{A-M}
III ₂	IG ^{3.4} _A	III ₈	IG ² _A
III ₃	IG ^{3.4} _{M-B}	III ₉	IG ² _A
III ₄	IG ^{3.4} _M	IV ₂	IG ² _A
III ₅	IG ^{3.4} _{A-M}		

5. DEFINICION DE LOS PRINCIPALES TERMINOS GEOTECNICOS EMPLEADOS

Agotamiento: procedimiento para extraer el agua del terreno, previa, simultánea o posteriormente a la excavación de éste.

Agresividad: propiedad de las aguas subterráneas o del terreno de atacar al hormigón y/o al acero, produciendo la degradación progresiva de éstos.

Arcilla: agregado de partículas microscópicas y submicroscópicas compuesto principalmente por caolinita, illita, montmorillonita u otros minerales arcillosos, que presentan plasticidad húmeda y es duro cuando está seco, debido a la cohesión. En el gráfico de plasticidad se sitúan sobre la línea A.

Arena: agregado de partículas generalmente compuestas por cuarzo, carente o con débil cohesión, en el que pasa por el tamiz 200 ASTM menos del 50%, y del peso retenido, más del 50% es menor del tamiz núm. 4 ASTM.

Asentamiento: descenso de una estructura provocado por la compresión y deformación del suelo situado debajo de la misma. Por su magnitud se suele expresar en centímetros.

Cimentación flotante o compensada: es una cimentación en la cual el peso del edificio es aproximadamente igual al peso total (incluyendo el agua) del suelo removilizado de la excavación.

Cimentación profunda: aquella cuya carga es aplicada al suelo por presión sobre la base y frotamiento en el fuste, siendo su forma esbelta.

Cimentación superficial: aquella cuya carga es aplicada al suelo por presión sobre la base casi sin intervención de los frotamientos laterales, no esbelta.

Ensayo de compresión simple: el que consiste en romper una muestra de suelo en una prensa sin confinamiento horizontal alguno, para medir su resistencia.

Ensayo de corte directo: aquel en que la muestra es sometida a corte según un plano horizontal para medir su resistencia.

Ensayo edométrico: aquel que permite establecer la deformación vertical en función de las presiones verticales sucesivamente aplicadas en condiciones de total confinamiento horizontal de la muestra.

Errática: zona caracterizada por su falta de homogeneidad tanto en planta como en profundidad, constituida por una disposición compleja de niveles de naturaleza y características distintas.

Expansividad: propiedad de expandirse hacia las superficies libres horizontales o verticales de los suelos expansivos con el aumento de humedad.

Explanada: superficie adecuadamente preparada sobre la que se coloca el firme de las carreteras.

Falla: ruptura de una porción de la corteza terrestre en dos bloques dislocados por movimientos diferenciales.

Fango: suelo, a menudo con un cierto contenido de materia orgánica, caracterizado por estar bajo el nivel freático y presentar baja densidad, alto contenido de humedad y baja resistencia.

Fino: suelo en el que más del 50% en peso pasa por el tamiz 200 ASTM (74 micras). Puede ser limoso o arcilloso.

Formación: serie de depósitos cuyas facies son características del medio en que se depositan (marinas, continentales, etc).

Geomorfología: rama de la Geografía que estudia las formas superficiales de la Tierra, clasificándolas, estudiando su génesis y evolución.

Granular: suelo compuesto de arenas o gravas predominantemente.

Grava: suelo que quedando retenido más de un 50% en el tamiz 200 ASTM, tiene más de un 50% de dicha fracción superior al tamiz núm. 4.

Levantamiento del fondo de una excavación: es el fenómeno que se produce en suelos blandos como consecuencia de la rotura de corte de éstos.

Limo: suelo intermedio entre la arena y la arcilla, con más del 50% de paso por el tamiz 200 ASTM (74 micras), que queda bajo la línea A en el gráfico de plasticidad.

Litológico: que trata de los diversos tipos de suelo y roca.

Losa de cimentación: losa que se dispone bajo la estructura como elemento de transmisión de las cargas al suelo cuando éste no puede soportar zapatas o el área ocupada por éstas es mayor del 50% de la planta del edificio o estructura.

Nivel freático: cota superior alcanzada por el agua en los intersticios del terreno, que se halla a presión atmosférica en los acuíferos libres o a mayor presión en los confinados.

Penetración dinámica: la realizada por golpeo de un martinete sobre el varillaje.

Penetración estática: la realizada por presión, generalmente hidráulica, en la cabeza del varillaje.

Pilote: cimentación esbelta, cuya forma puede ser aproximada a la de una columna, que hincada o moldeada en el propio terreno, transmite las cargas a éste por la punta o por el fuste o ambos. A los pilotes por fuste se les suele designar como pilotes flotantes.

Plasticidad: propiedad de los suelos arcillosos de modelarse en pequeños cilindros.

Presión admisible: es aquella, vertical, uniforme, menor o igual a la tercera parte de la que provocaría rotura total de suelo, que no produce un asentamiento mayor del tolerable por la estructura sin formación de grietas, rupturas estructurales o problemas de servicio (conducciones, etc).

Rozamiento negativo: acción que ejerce hacia abajo, sobre pilotes, los suelos blandos al consolidarse bajo el efecto de su propio peso o del de sobrecargas colocadas encima.

Sifonamiento: designa dos fenómenos; la producción de un túnel por arrastre de las partículas por el agua, que es ensanchado progresivamente por la corriente subterránea (erosión interna retrógrada), y el levantamiento súbito del fondo de una excavación o de la superficie del suelo aguas abajo de un dique por la acción de una corriente de agua ascendente causada por los agotamientos, excavaciones, o por el drenaje subterráneo (diques).

SPT (Standard Penetration Test): ensayo in situ de penetración dinámica con recogida de muestra por cuchara de 2 pulgadas de diámetro, que consiste en contar el número de golpes que es necesario dar con un peso de 65 kg desde una altura de 75 cm para hincarla 30 cm. Habitualmente se cuentan 3 series de 15 cm, despreciándose la primera y sumándose la segunda y tercera.

Subpresión: presión ejercida hacia arriba contra una cimentación por el agua subterránea que llena los intersticios de suelo o roca cuando está en carga.

Tectónica: parte de la Geología que trata de los procesos que producen la deformación y ruptura de los materiales terrestres.

Zapata: tipo de cimentación superficial que reparte la carga transmitida por la superestructura al suelo gracias a su mayor área y que puede situarse bajo uno o varios pilares (aislada y combinada o corrida respectivamente). Suele tener forma rectangular o cuadrada.

6. BIBLIOGRAFIA

- CEOTMA (MOPU). Guía para la elaboración de Estudios del Medio Físico. Madrid, 1982.
- CORRALES ZARAUZA y otros. Estratigrafía. Editorial Rueda. Madrid, 1977.
- DERRUAU, M. Geomorfología. Ediciones Ariel, S.A. Barcelona, 1970.
- HENRI CAMBEFORT. Geotécnia del Ingeniero. Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, 1975.
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 - Mapa Geológico Nacional a E. 1:50.000. Hojas 223 (Vigo) y 261 (Tuy).
 - Mapa Geológico de España a E. 1:200.000. Hoja 16-26, Pontevedra. La Guardia.
 - Mapa de Rocas Industriales a E. 1:200.000. Hoja 16-26, Pontevedra. La Guardia
 - Mapas Geotécnicos para la Ordenación Territorial y Urbana, a E. 1:25.000 de Huelva, Granada, Palma de Mallorca, Alcoy, Valladolid, Sagunto y Cádiz.
 - Mapa de Riesgos Naturales ligados a Movimientos de Terrenos E. 1:25.000. Zona de Granada.
 - Mapa de Riesgos Naturales ligados a Movimientos de Terrenos. E. 1:25.000. Zona de Jaca.
 - Estudio Geotécnico para la Ordenación del Territorio en Llanuras Costeras.
- Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Comunicaciones de las Reuniones Nacionales de Santander (mayo, 1980) y Lérida (junio, 1983).
- LETOURNEUR, J.; MICHEL, R. Geologie du Génie Civil. Ed. Librairie Armand Colin. Paris, 1971.
- LOPEZ-PRADO TEIJEIRA, J. Comportamiento del Suelo Coruñés frente a la Actividad Constructiva. «Presente y Futuro de la Coruña». VOLUMEN I. Instituto José Cornide de Estudios Coruñeses. La Coruña, 1983.
- MORENO TALLON, E. Las Clasificaciones Geomecánicas de las Rocas aplicadas a las Obras Subterráneas. Cuadernos Eptisa 1. Madrid, 1981.

- **NORMATIVA**
 - Norma Sismorresistente PDS-1 (1974). Presidencia de Gobierno.
 - Datos Climáticos para Carreteras. DG de Carreteras. MOPU, 1964.
 - Instrucción de Carreteras: Drenajes, Firmes Flexibles, Firmes Rígidos. DG Carreteras, MOPU.
 - Normas Tecnológicas de Edificación (Ministerio de la Vivienda)
 - Norma Básica de Edificación. Condiciones Térmicas en los Edificios (NBE-CT-79).
 - Cimentaciones. Estudios Geotécnicos (NTE-CEG).
 - Acondicionamiento de Terrenos. Desmontes. Vaciados (NTE-ADV).
 - Acondicionamiento de Terrenos. Desmontes. Explanaciones (NTE-ADE).
 - Estructuras. Cargas Gravitatorias (NTE-ECG).
 - Acondicionamiento de Terrenos. Drenajes. Avenamientos. (NTE-ADV).
 - Estructuras. Cargas de Viento (NTE-ECV).
 - Cimentaciones. Contenciones. Taludes (NTE-CCT)
 - Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes. PG-3. DG de Carreteras. MOPU, 1975.
- **MUNUERA, J. M.** El Mapa de Zonas Sísmicas Generalizadas de la Península Ibérica. Instituto Geográfico y Catastral. Madrid, 1969.
- **OTTMANN, F.C.** Introducción a la Geología Marina y Litoral. Ed. EUDEBA. Buenos Aires, 1967.
- **TERZAGHI, K; PECK, R. B.** Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica. Editorial El Ateneo, S.A. Barcelona, 1976.
- **UNESCO.** Engineerign Geological Maps. A Guide to their preparation 1976.