

Cimentaciones superficiales en arcillas de descalcificación: el caso de la ciudad de Gijón (Asturias, España)

Shallow foundations on residual clays: a case study of Gijón city (Asturias, NW Spain)

C. López-Fernández, L. Pando, M. Gutiérrez-Claverol y M. Torres-Alonso

Dpto. de Geología, Univ. de Oviedo, C/ Arias de Velasco s/n 33005 Oviedo, clopez@geol.uniovi.es

Resumen: En este trabajo se analiza el comportamiento geotécnico de las arcillas de descalcificación de rocas carbonatadas ante la ejecución de cimentaciones, tomando como caso de estudio la ciudad de Gijón (Asturias, España). La mayor parte del subsuelo de la misma está compuesto por un potente nivel arcilloso originado por la alteración de calizas y dolomías jurásicas, que constituye el terreno habitual de cimentación dentro de este ámbito urbano. A partir del estudio realizado sobre un amplio número de muestras se han determinado sus propiedades geotécnicas, que fueron empleadas en una segunda fase para la modelización informática de su comportamiento ante la realización de cimentaciones superficiales. Los resultados obtenidos confirman que estos materiales cohesivos presentan una problemática específica consistente en una reducida capacidad portante y en la aparición de notables asentamientos de consolidación, acentuada si se emplean apoyos mediante zapatas aisladas.

Palabras clave: arcillas, descalcificación, cimentaciones superficiales, Gijón.

Abstract: *In this work the geotechnical characterization of clays as a product of carbonates decalcification is exposed taking the city of Gijón (Asturias, Spain) as a case study. The subsoil of Gijón is composed of a powerful clay layer originated by chemical alteration of Jurassic limestones and dolomites. The studies have been made on a wide number of samples and allow to establish the geotechnical properties of the clays. In order to evaluate its behavior quantitatively, the aptitude of the materials in relationship to shallow foundations has been studied. The results confirm that these cohesive materials, the common laying level for building foundations in the urban area, present mechanical deficiencies such as reduced bearing capacity and the appearance of remarkable consolidation settlements, especially when a traditional support by isolated pad foundations is used.*

Key words: residual clays, shallow foundations, Gijón, Spain.

INTRODUCCIÓN

Gijón, una de las ciudades más pobladas y con mayor desarrollo urbano del norte de España, se asienta en gran parte sobre un extenso nivel de arcillas resultantes de la alteración de rocas carbonatadas (Fig. 1a). Éste hecho conlleva una especial problemática geotécnica (Torres Alonso *et al.*, 1998) dadas las marcadas deficiencias que estos materiales han ocasionado tanto en obras de ingeniería civil como en edificación urbana.

El objetivo de este trabajo ha sido determinar las propiedades geotécnicas de los depósitos arcillosos y valorar su particular comportamiento frente a la implantación de cimentaciones superficiales. De modo específico se ha atendido al cálculo de parámetros aplicables como son la capacidad portante y los asentamientos de consolidación primaria provocados por la aplicación de cargas.

MARCO GEOLÓGICO

El subsuelo de la mitad meridional de Gijón (Fig. 1a) está constituido por importantes acumulaciones de

arcillas residuales que recubren un sustrato rocoso constituido por materiales carbonatados jurásicos pertenecientes a la Fm Gijón (Fig. 1b).

La Fm. Gijón ha sufrido una alteración paulatina esencialmente de componente químico, favorecida tanto por las condiciones hidrogeológicas de la cuenca como por los factores climáticos. El resultado de este proceso –desarrollado in situ– ha sido un importante depósito eluvionar de residuo insoluble y de gran potencia, constituido principalmente por arcillas. Éstas, aunque afloran en la mayor parte de la ciudad, muestran un mayor desarrollo en el sector noroeste y en la zona central (Fig. 1a). Su espesor es muy variable (0-14 m), dado que este depósito actúa como un recubrimiento que fosiliza un paleorrelieve irregular, llegando a fluctuar notablemente incluso a escala de parcela.

En el borde litoral los sedimentos arcillosos se localizan en profundidad, situándose sobre ellos una importante acumulación de origen marino integrada fundamentalmente por arenas y limos.

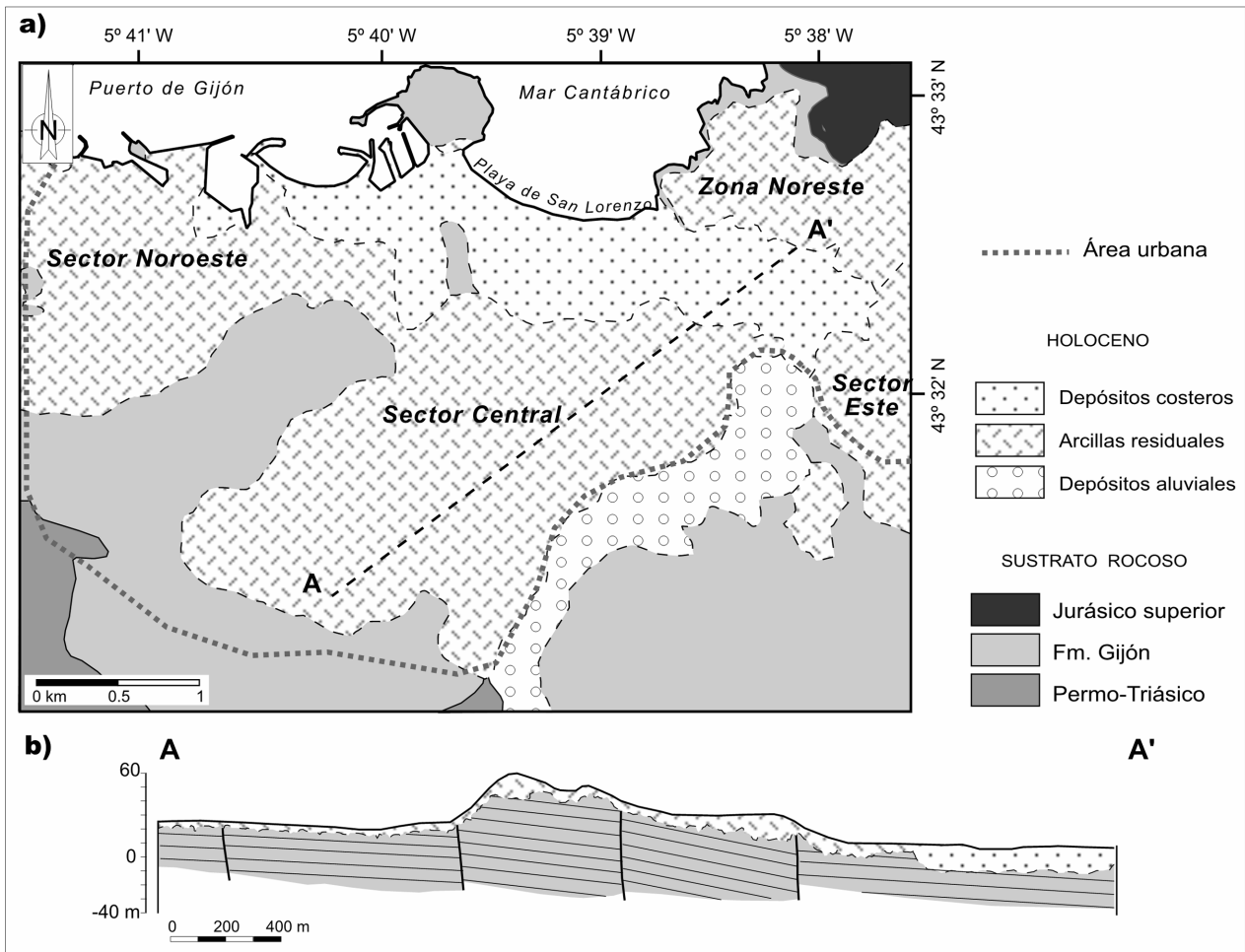


FIGURA 1. (a) Esquema geológico de la ciudad de Gijón. (b) Corte geotécnico simplificado con escala vertical realizada.

CARACTERÍSTICAS DE LAS ARCILLAS

Esencialmente, el depósito eluvial está conformado en su mayor parte por arcillas y arcillas limosas pardos-amarillentas o grisáceas. Hacia la base, en el contacto con la roca del macizo, aparecen en ocasiones fragmentos angulosos heterométricos de calizas y/o dolomías. Asimismo, en algunos casos, hacia la zona superior del eluvial, acompañando a la arcilla, se encuentra una fracción detrítica de gravas, arenas y cantos redondeados de cuarcita.

SECTOR URBANO	TOTAL	Agregado orientado (tamiz < 110E)		
		I	K	Cl
Noroeste	Q,I,G,F	94 %	6 %	-
Central	Q,I,G,F	96 %	3 %	1 %
Noreste	Q,I,G,H,F	88 %	10 %	2 %
Este	Q,I,G,H,F	92 %	3 %	5 %

TABLA I. Composición mineralógica de las arcillas residuales. Leyenda: I = illita; C = caolinita; Cl = clorita; F = feldespato; Q = cuarzo; G = goetita; H = hematites (análisis: difracción rayos X).

Mineralógicamente (Tabla I), la fracción arcillosa presenta de forma mayoritaria illita, y en menor proporción caolinita (<15%) y clorita (<9%). De manera puntual han sido observadas tanto tinciones ferruginosas como nódulos de goethita y hematites. Asimismo, en

algunas áreas se han analizado muestras que contienen interestratificados illita-esmectita y cuarzo.

Desde un punto de vista químico (Tabla II), es destacable el contenido de Al₂O₃, de SiO₂ y de otros cationes (Fe, Mg y K), que evidencian la abundancia de illita (silicato hidratado de aluminio con K, Mg y Fe) y de cuarzo.

PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE LAS ARCILLAS

La caracterización geotécnica de estas arcillas se llevó a cabo a partir del análisis de 97 muestras, cuyos resultados han sido sintetizados en la Tabla III. Estas arcillas poseen unos parámetros geotécnicos propios de terrenos cohesivos, destacando su elevada plasticidad. El límite líquido (WL) muestra un valor medio de 56, habiendo superado el 53% de las muestras un WL=50. El índice de plasticidad (IP) presenta un valor medio de 20, superando un 12% de las muestras un IP=50. Ambos valores disminuyen al aumentar la profundidad de muestreo, hecho probablemente causado por un proceso de compactación del paquete de finos. La clasificación geotécnica permite diferenciar cuatro tipologías U.S.C.S. (Fig. 2): arcillas de plasticidad media (CL) y alta (CH), y limos de alta (MH) y media plasticidad (ML).

Los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos han sido resumidos en la Tabla IV. Las pruebas de compresión uniaxial constatan en conjunto una baja resistencia (<300 kPa), que aumenta con el tamaño de grano y que es especialmente reducida en los términos más plásticos (tipo CH). El ángulo de rozamiento interno también crece a medida que la granulometría es más gruesa, mientras que la cohesión, en tendencia inversa, decrece. Los valores del índice de compresión obtenido en las pruebas edométricas, permiten clasificar como suelos medianamente compresibles ($0,1 < C_c < 0,3$) a las arcillas y limos CL y ML; por su parte, las arcillas de tipo CH muestran una elevada compresibilidad ($C_c > 0,3$).

COMPONENTE	SECTOR NOROESTE	SECTOR CENTRAL	SECTOR ESTE
SiO ₂ (%)	47,12	52,26	47,19
Al ₂ O ₃ (%)	22,64	19,60	22,44
Fe ₂ O ₃ (%)	12,74	9,53	12,29
MnO (%)	0,02	0,22	0,27
MgO (%)	2,47	4,37	1,94
CaO (%)	0,79	0,52	0,58
Na ₂ O (%)	0,01	0,01	0,05
K ₂ O (%)	4,03	5,72	3,29
TiO ₂ (%)	1,22	0,96	0,97
P ₂ O ₅ (%)	0,11	0,15	0,07
Cr (%)	0,027	0,023	0,03
Cu (ppm)	42	46	44,50
Zn (%)	-	-	indicios
PC (%)	8,31	6,45	9,45
TOTAL	99,48	99,80	98,54

TABLA II. Composición química (%) de las arcillas residuales. Leyenda: PC = pérdida por calcinación (análisis efectuados por Fluorescencia de RX sobre la fracción <110E).

PARÁMETRO	Nº	VALOR MÁXIMO	VALOR MÍNIMO	MEDIA ARITMÉTICA
Grava (%)	12	18	0,1	5,2
Gravilla (%)	24	21	0,4	6,6
Arena gruesa	33	32,5	1	7,6
Arena fina	28	30,7	1	11,5
Limo + arcilla	46	88,2	17	74,2
Humedad natural	63	52	13	26,7
Densidad ap.	45	2,3	1,4	1,9
Materia orgánica	24	8,4	0,2	3,2
Carbonatos	11	76	7,9	33,4
Sulfatos	8	-	-	-
Límite líquido	76	120	24	56
Límite plástico	76	43	13	27
Índice plasticidad	76	77	3	29

TABLA III. Ensayos de identificación de las arcillas residuales de la zona urbana de Gijón

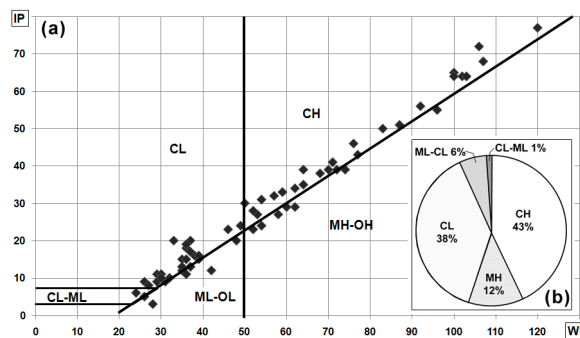


FIGURA 2. (a) Carta de plasticidad y (b) tipos de arcillas en el subsuelo de Gijón según la clasificación geotécnica del U.S.C.S.

PARAM.	USCS	N	Mín	Máx	x	S	CV
q _u (kPa)	CH	8	45,08	189,14	91,14	0,49	0,53
	CL	15	79,38	312,62	146,02	0,67	0,45
	ML	4	88,2	245	167,58	0,66	0,39
	SC-SM	2	178,36	357,7	268,52	1,29	0,47
Ø (°)	CH	12	4	30	14	9,68	0,69
	CL	15	2	32	15	8,94	0,6
	ML	5	7	25	18	8,44	0,47
	SC-SM	3	10	40	28	15,7	0,56
c (kPa)	CH	12	16,66	124,46	62,72	0,32	0,5
	CL	15	4,9	115,64	59,78	0,32	0,52
	ML	5	20,58	67,62	46,06	0,22	0,47
	SC-SM	3	20,58	69,58	43,12	0,25	0,57
C _c	CH	5	0,2	0,719	0,356	0,21	0,59
	CL	7	0,124	0,361	0,233	0,08	0,34
	ML	2	0,209	0,278	0,244	0,05	0,2

TABLA IV. Ensayos mecánicos sobre las arcillas de la Fm. Gijón. Leyenda: q_u = resistencia a compresión uniaxial; Ø = ángulo de rozamiento; c = cohesión; C_c = índice compresión; x = media aritmética; S = desviación estándar; CV = coeficiente de Pearson

CIMENTACIONES SUPERFICIALES

Considerando los parámetros geotécnicos representativos de las tipologías U.S.C.S. identificadas se procedió a evaluar el comportamiento geotécnico de las mismas ante la ejecución de elementos de cimentación superficial. Así, se analizaron diferentes prototipos considerando condiciones de carga propias de un entono urbano, tratando de establecer las pautas generales de comportamiento. Como estructuras de cimentación se escogieron zapatas rígidas de hormigón armado, de planta cuadrada (B=L) y carga vertical centrada. La cota de apoyo se situó a diferentes profundidades, simulando las condiciones de empotramiento equivalentes a la construcción de 1 planta de sótano (- 4 m), 2 plantas subterráneas (- 7 m) y ausencia de las mismas (- 1,5 m). En los distintos modelos realizados se asumió un único nivel arcilloso continuo y homogéneo, con una potencia suficiente para admitir que el bulbo de tensiones no sea afectado por el sustrato rocoso.

En los cálculos se tomó, como condiciones de carga, la situación de corto plazo o carga rápida sin drenaje, en suelo saturado. Ello implica la situación habitualmente más desfavorable, sin la disipación de presiones intersticiales, acorde con la velocidad de aplicación de cargas usual en edificación, de modo que la estimación numérica se realiza utilizando presiones totales (efectivas más hidrostáticas). Los parámetros geotécnicos utilizados en la modelización se muestran en la Tabla V. En todos los casos se trata de materiales de consistencia media a firme ($50 < q_u < 200$ kPa).

	γ_d (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	n (%)	e	W (%)	c_u (kPa)
CH	18,12	21,38	33	0,49	18	71,05
CL	16,88	20,57	38	0,6	21,86	69,09
MH	16,67	20,38	38	0,62	22,25	52,28
ML	16,36	20,23	40	0,65	23,65	50,96

TABLA V. Parámetros de ensayo de las muestras empleados en el cálculo. Leyenda: γ_d = peso específico seco; γ_{sat} = peso específico saturado; n = porosidad; e = índice de poros; W = humedad; c_u = cohesión no drenada)

El procedimiento analítico de cálculo de la presión de hundimiento o carga última empleado ha sido el propuesto por Brinch Hansen (1970). Se realizaron algunas simplificaciones tales como no considerar la inclinación del terreno ni de la base de la fundación, desestimándose, asimismo, el efecto positivo pero variable de la profundidad de empotramiento para situarse del lado de la seguridad, y con la señalada ausencia de inclinación de la carga.

Los resultados obtenidos en la modelización han sido sintetizados en la Tabla VI. Los valores de presión admisible han sido calculados frente a hundimiento, a falta de comprobar la magnitud de los asientos y su compatibilidad con la estructura y así establecer la presión de trabajo aceptable.

PROF.	q_h (kPa)				q_{adm} (kPa)			
	CH	CL	MH	ML	CH	CL	MH	ML
-1,5 m	470,4	460,6	352,8	343	176,4	176,4	137,2	137,2
-4 m	519,4	509,6	401,8	392	235,2	225,4	186,2	186,2
-7 m	588	568,4	460,6	460,6	294	284,2	254,8	245

TABLA VI. Presiones de hundimiento brutas y presiones admisibles obtenidas para las diferentes tipologías U.S.C.S. y profundidades de cimentación.

Las tensiones admisibles estimadas son reducidas (130-300 kPa), especialmente para apoyos superficiales, siendo a igualdad de empotramiento levemente menor la capacidad de carga de los términos limosos frente a los arcillosos. Dentro de una misma tipología apenas existen diferencias en función de la plasticidad, con resultados muy próximos. En cualquier caso, y dado que no existe dependencia de las dimensiones absolutas de la cimentación, toma especial interés la cota de apoyo

con un evidente incremento de la resistencia en profundidad de hasta un 30% si se ejecuta una planta subterránea frente a la cimentación más superficial.

En términos de asientos absolutos de consolidación, en especial en las arcillas de alta plasticidad, es esperable que las cargas de trabajo admisibles en estos materiales restrinjan aún más los valores reseñados de capacidad portante. Además, las notables fluctuaciones en la potencia del paquete arcilloso inducen un riesgo potencial evidente de asientos diferenciales, aspecto de obligada previsión en la etapa de diseño geotécnico. La limitada resistencia general mostrada implica en muchos casos la adopción de losas rígidas e incluso la búsqueda de apoyos en profundidad sobre el basamento. En algunos casos, se han efectuado -con resultados positivos- labores de mejora del terreno mediante sustitución por material seleccionado.

CONCLUSIONES

El subsuelo de la ciudad de Gijón está constituido por un importante depósito de arcillas residuales (0-14 m de espesor) originado a partir de la alteración química del sustrato rocoso carbonatado jurásico. En general, estos depósitos residuales presentan una reducida resistencia a compresión ($q_u < 0,3$ MPa) y una elevada compresibilidad, deficiencias que se acentúan en los términos más plásticos. En lo referente a su comportamiento mecánico, tomando como campo de aplicación la cimentación de estructuras, se constatan en los cálculos reducidas cargas de hundimiento para apoyos superficiales mediante zapatas y una elevada susceptibilidad -considerando los ensayos edométricos- a generar importantes asientos de consolidación primaria. Por otro lado, las notables variaciones en el espesor del nivel arcilloso favorecen la aparición de asientos diferenciales. Estas deficiencias se minimizan con el incremento de profundidad de las cotas de apoyo y sobredimensionando el elemento de cimentación, aproximando la situación de carga a una cimentación compensada, y en algunos casos conlleva necesariamente el empleo de losas semi-rígidas de hormigón armado. En situaciones especialmente problemáticas es habitual la ejecución de soluciones profundas con pilotes o micropilotes, así como eventuales labores de sustitución del subsuelo por material seleccionado.

REFERENCIAS

- Brinch Hansen, J., (1970): A revised and extended formula for bearing capacity. *Danish Geotechnical Institut Bulletin*, Vol. 28.
- Torres Alonso, M., Gutiérrez-Claverol, M. y Rodríguez Bouzo, L. (1998): Problemática geológica y geotécnica de una urbe marítima singular: la ciudad de Gijón (NO de España). *Actas X Congreso Latinoamericano de Geología*, I: 359-364. Buenos Aires (Argentina).