

Características geológico-geotécnicas de depósitos cuaternarios tipo loess (depósitos de *Brickearth*) en el área de Ospringe (Faversham, Kent, UK)

M. A. Rodríguez Sastre

Quiñones, 5 24240 León
marsast@hotmail.com

RESUMEN

Se presentan los resultados geotécnicos obtenidos a partir de ensayos de identificación y consolidación en muestras de suelos de los depósitos cuaternarios recientes denominados *brickearth*. Estos constituyen la cobertera cuaternaria asociada a la última etapa de periglaciación en Europa, y yacen discordantes sobre el Terciario. Presentan características similares a los depósitos tipo loess y comparables a los encontrados en otras partes del mundo. Los principales resultados del ensayo edométrico en estos suelos indican que son colapsables y pueden dar lugar a asentamientos diferenciales de entre 4,3 y 5,5 cm.

Palabras clave: depósitos cuaternarios, loess, *brickearth*, geotecnia, colapsabilidad

Geological and geotechnical characteristics of the Quaternary loess-type (brickearth) deposits at Ospringe (Faversham, Kent, UK)

ABSTRACT

We describe here the main results from geotechnical lab tests (index properties and consolidation parameters) in soil samples from recent Quaternary deposits known as 'brickearth'. These Quaternary sediments were deposited during the last periglacial stage in Europe and lie unconformably upon Tertiary rocks. They are similar in character to loess-type deposits found elsewhere in the world. The main oedometric results reveal a problematic soil because of its collapsible properties, which may give rise to sinking of between 4.3 and 5.5 cm.

Key words: quaternary deposits, loess, brickearth, geotechnics, collapsibility

Introducción

En las proximidades del área urbana de Ospringe (Faversham) afloran sedimentos cuaternarios sin cementar asociados a la cuenca del río Thames (Ellison *et al.*, 2004) normalmente descritos como *brickearth* (Holmes, 1981), y que constituyen el sustrato donde se asientan las cimentaciones de las distintas obras de tipo civil a desarrollar en esta región. Al NE de la localidad de Ospringe (Fig. 1), en una finca de uso agrícola situada entre la vía del ferrocarril y una de las principales carreteras (London Road), se ha excavado una calicata a lo largo del perfil de los depósitos objeto de este estudio, presentándose en este trabajo los principales resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio (Foto 1), especialmente los parámetros de consolidación en el edómetro, en la unidad carbonatada problemática del perfil investigado y conocido a partir de investigaciones previas.

Con el ánimo de establecer a partir de métodos indirectos (principalmente perfiles electromagnéticos, medidas de la resistividad eléctrica y perfiles de propagación de ondas S), la potencia lateral y profundidad de estos sedimentos susceptibles de sufrir asentamientos diferenciales, se efectuaron registros litológicos, y se determinaron las propiedades geotécnicas a partir de calicatas y sus correlaciones con las medidas indirectas (Northmore *et al.*, 2008, Gunn *et al.*, 2006); además se llevo a cabo un ensayo de carga *in situ* a gran escala (Zourmpakis *et al.*, 2006). Junto con estas investigaciones en estos materiales se han establecido modelos para el comportamiento de la resistividad a lo largo del perfil cuaternario, en base a observaciones de laboratorio y registros en el campo (Jackson *et al.*, 2006).

Sedimentológicamente, los materiales cuaternarios de esta zona están asociados a los depósitos de los ríos que constituyen las principales terrazas alu-

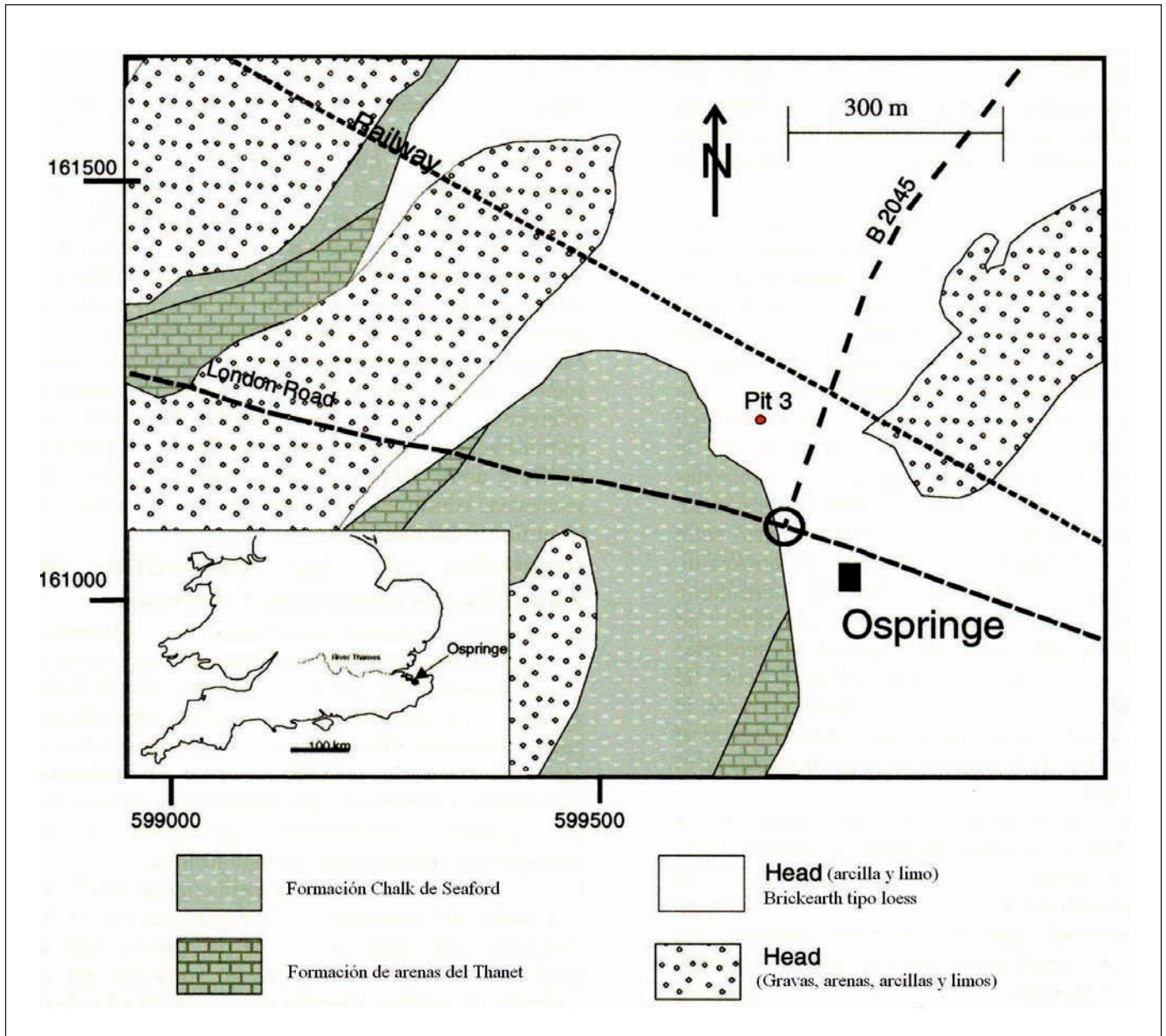


Figura 1. Mapa geológico de la zona de estudio en el área de Ospringe basado en la edición digital BGS, escala: 1:50.000
 Figure 1. Geological map of the Ospringe area based on the BGS digital map (1:50,000)

viales, y fuera de estas zonas se encuentran los depósitos de origen glaciar, objeto de este estudio (Holmes, 1981). Constituyen una capa continua de depósitos arcillosos con gravas sin aparente estructura interna o con frecuentes estructuras de deslizamiento y que presentan características a mitad de camino entre los depósitos de origen glaciar propiamente dicho o los depósitos aluviales. Son sedimentos depositados por procesos de solifluxión, desliza-

mientos lentos de ladera o por la acción del viento, sin producirse mucho transporte del área de origen, y suelen aflorar coronando zonas elevadas o en los fondos de los valles, y en algunas circunstancias pueden proceder de depósitos previos de características similares. Son difíciles de datar a partir de su posición relativa con las llanuras aluviales utilizándose más recientemente técnicas analíticas de luminiscencia de estimulación óptica (OSL) (Clark *et al.*, 2005, 2007).



Foto 1. Perfil del suelo en calicata Pit 3
Photo 1. Soil profile in exploratory Pit 3

Unidades geológicas

En la zona de estudio han sido diferenciadas tres unidades sedimentarias que comprenden materiales de edad pleistocena (Fig. 2). Las distintas unidades se han denominado de techo a muro: *brickearth* no carbonatado, *brickearth* carbonatado y *brickearth* con gravas (Rodríguez-Sastre *et al.*, 2006). A lo largo del perfil de este material cuaternario se han tomado un total de 27 muestras abarcando cada una de las distintas unidades.

Estos materiales están asociados a los procesos postglaciares, en ambiente periglacial, que tuvieron lugar en Europa después del máximo glaciar del último periodo glacial conocido como el Würm (Lowe &

Walter, 1997). A muro de esta última se encuentra los depósitos terciarios de edad paleoceno correspondientes a la Formación de arenas del Thanet (facies de grano fino). El espesor máximo del depósito pleistoceno es ligeramente superior a los 3 metros con acuñamiento hacia los bordes de los mismos (Zourmpakis *et al.*, 2006). Sobre estos depósitos tradicionalmente se han venido desarrollando explotaciones del material con excavaciones que tenían el fin último de la fabricación de ladrillos.

Para el estudio de esta secuencia se ha realizado la excavación de una calicata con la toma sistemática de muestras, y la descripción de las principales unidades diferenciadas que de techo a muro son:

- La unidad de *brickearth* no carbonatado está constituida por limos de tonos marrones rojizos blandos, compactos y masivos sin superficies de estratificación visibles. Presenta fracturación vertical muy marcada debido a los procesos de meteorización posteriores. Se han identificado paleo-raíces y nódulos rellenos de arcilla gris. Esta unidad ha sido datada mediante luminiscencia como de 11,640 +/- 975 ka (Clark *et al.*, 2005). El contacto con la unidad inferior es neto e irregular.
- La unidad de *brickearth* carbonatado está constituida por limos de tonos marrones rojizos blandos, con concreciones carbonatadas de raíces de plantas de tamaño milimétrico, destaca la presencia de gravas angulosas de *flint*. Esta unidad ha sido datada mediante luminiscencia como de 14,790 +/- 790 ka (Clark *et al.*, 2005, 2007). Por otra parte se ha observado un aumento gradual del contenido en gravas con la profundidad pudiendo constituir un contacto gradual con la unidad infrayacente, mientras que el contacto con la unidad superior es neto y presenta evidencias de oxidación al haber estado expuesto a condiciones de erosión y meteorización.
- En la base de la secuencia sedimentaria se encuentra una unidad variable de gravas con el material del *brickearth* carbonatado. La potencia se estima entre 0.20 y 0.58 m según las distintas investigaciones realizadas y en ella se han identificado gravas de subredondeadas a angulosas incluidas en una matriz de grano fino de limo con tonalidades marrones amarilláceas con muy distinto origen y tamaños entre 5 –10 mm.
- La unidad de la Formación de arenas del *Thanet* es un depósito paleógeno (57,5 m. a.) sobre la que se dispone discordantemente la secuencia Cuaternaria del *Brickearth*. En este lugar la potencia de esta facies varía entre 0.62 y 0.99 m y consiste en una potente capa con limo arenoso fino de tonos claros marrones rojizos.

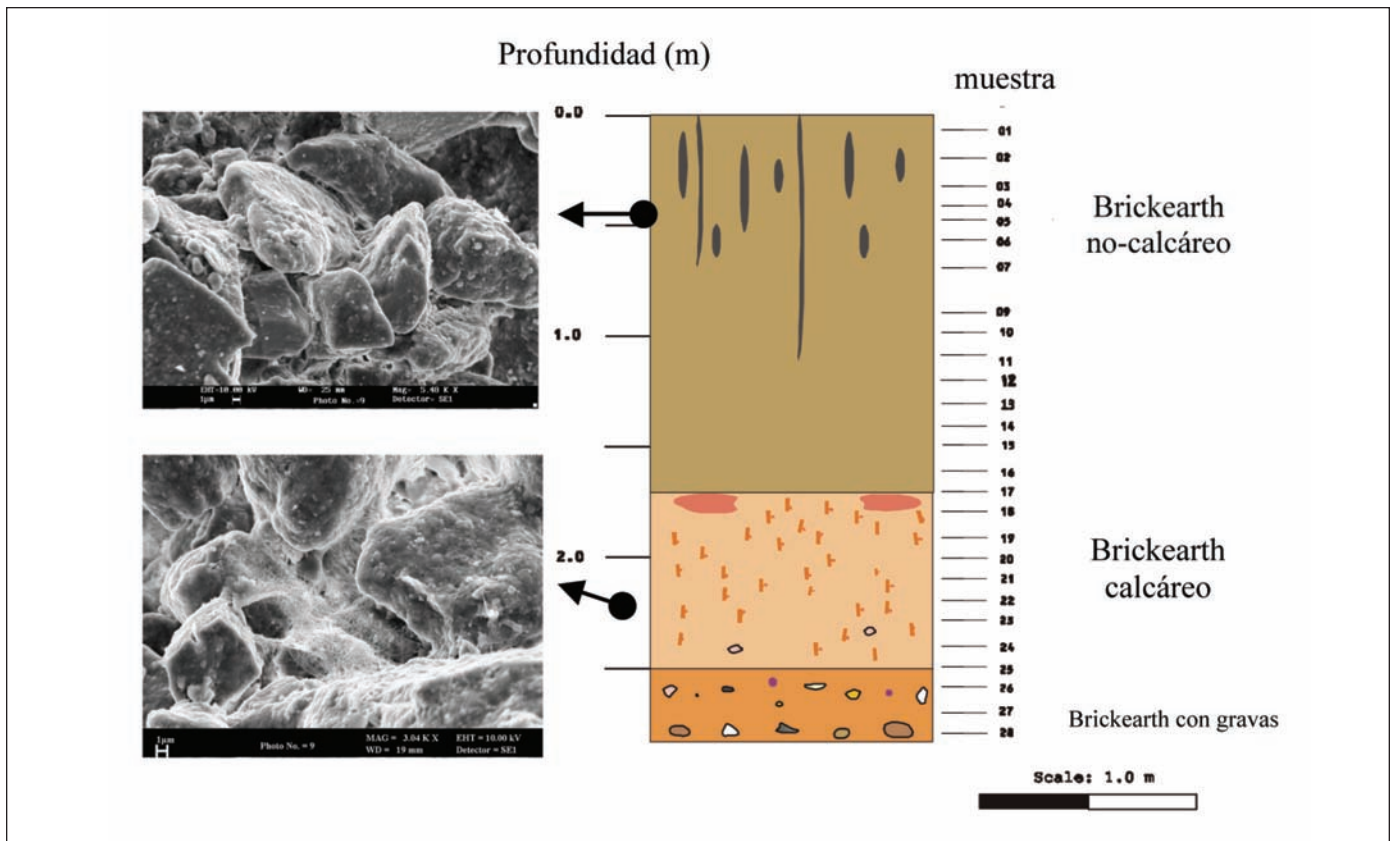


Figura 2. Sección geológica de las muestras tomadas en la secuencia cuaternaria
 Figure 2. Geological section of the samples taken in the Quaternary sequence

Mineralogía

A partir de datos en investigaciones recientes *in situ* (Gunn *et al.*, 2006 y Jackson *et al.*, 2006), se han establecido las relaciones texturales, la fábrica y el tipo de partículas que constituyen estos suelos junto con la observación de las muestras de suelo en el microscopio electrónico de barrido (SEM) (Fig. 2). Se observó que en el nivel de *brickearth* carbonatado las partículas de tamaño de grano limo se presentaban recubiertas con una fina capa de arcilla además de observarse una cementación débil con grandes porosidades. La estructura está soportada por puentes débiles de arcilla y cristales de carbonato cálcico, con morfología acicular, entre los granos de limo.

Se establecieron pequeñas diferencias en la microestructura de los dos niveles superiores de esta formación (capas de los niveles carbonatado y no carbonatado del *brickearth*). Por otra parte estudios mineralógicos mediante los análisis de difracción de rayos-X, en muestras de las calicatas 1 y 2 tomadas en estudios previos (Nothmore *et al.*, 2008), han per-

mitido establecer como mineralogía principal el cuarzo, el feldespato potásico, albita y la mica junto con minerales arcillosos que incluyen minerales tipo caolinita, illita, clorita y esmectita. Se determinó la variación de las principales composiciones minerales con la profundidad así como el contenido en cuarzo. Este disminuye de manera brusca en el contacto entre el nivel no carbonatado y carbonatado del *brickearth*. Por otra parte la calcita y la dolomía aumentan bruscamente en el contacto entre el nivel no carbonatado al carbonatado. El contenido en minerales arcillosos, como la esmectita, se incrementa con la profundidad y la illita y la caolinita disminuyen con la misma, no observándose variaciones importantes en el contenido medio de la clorita con la profundidad en el perfil del suelo (Tabla 1).

Comparando las composiciones mineralógicas de los niveles de *brickearth* con otros loess de centro Europa, el mayor contenido en cuarzo se observó en las muestras del este del Reino Unido (variando entre el 60 y 70%) mientras que en los loess europeos los contenidos en cuarzo se encontraban entre 30 y 40%.

Difracción de rayos X	Minerales	Ospringe		Essex
		Pit 1	Pit 2	
Composición Roca total	Cuarzo (%)	71-53 (63)	78-53 (68)	12-54 (33)
	Feldes - K (%)	10-5 (6)	8-3 (6)	-
	Albita (%)	8.7-3.6 (5.9)	7.8-3.3 (5.5)	-
	Calcita (%)	12.8- 0.0 (2.6)	13.5-0.2 (4.9)	19-0.1 (9)
	Dolomita (%)	12.8-0.0 (2.6)	13.5-0.2 (4.9)	0-2.8
	Caolinita (%)	6.3-3.2 (4.7)	7.4-1.1 (4.3)	10-5
	Mica (%)	17-12 (14)	12.0-10.1 (11)	-
	Esmectita (%)	2.6-0.7 (1.4)	1.8-0.7 (1.2)	-
	Montmorillonita	-	-	39-3 (15)
Fracción < 2 µm	Esmectita	82-38 (58)	7.4-1.1 (4.3)	-
	Illita	34-6 (20)	13.5-0.2(4.9)	-
	Clorita	11-0 (5.2)	1.8-0.7 (1.2)	-
	Caolinita	27-8 (17)	12-10 (11.3)	-

Tabla 1. Resultados de la difracción de rayos X en Ospringe y comparación con los resultados obtenidos en Essex (Northmore *et al.*, 1996). Entre paréntesis aparecen los valores medios

Table 1. X-ray diffraction results from the Ospringe samples and comparison with soil data from Essex (Northmore *et al.*, 1996). Mean parameters in brackets

Propiedades físicas del nivel *brickearth* carbonatado

Las principales características de estos depósitos calculados a partir de los ensayos edométricos se resumen en la Tabla 2. Las densidades calculadas varían entre 1.81 y 1.72 Mg/m³, las porosidades iniciales se han calculado entre 45.4 y 42.4 % y el índice medio de vacíos inicial es 0.81%, y definen materiales de consistencia media. Además el índice de densidad informa de la fragilidad de la microestructura, y en estos depósitos varía entre 1,33 y 0,44 %, próximos a 0 %, lo que determina suelos muy flojos. Por otro lado los valores de densidad seca permiten clasificar estos depósitos como blandos.

Metodología

El criterio de muestreo responde al intento de diferenciar las características específicas de cada unidad definida, así como sus variaciones verticales. Los

diferentes parámetros geotécnicos calculados para las distintas muestras, se han realizado en el Laboratorio del *British Geological Survey* siguiendo los criterios establecidos en las normas *British Standard* (BS) 1377:1990 (Anon, 1990). El contenido en humedad natural se ha obtenido mediante el método de secado en la estufa, para la densidad de las partículas se ha seguido el método de los pequeños picnómetros, mientras que para la obtención de las granulometrías se han seguido dos métodos. Para la fracción gruesa se utilizó el tamizado seco y para la fracción fina se empleó el método de sedimentación. La determinación de los índices de los límites líquido (LL) y plástico (LP), se realizó mediante el método del penetrómetro siguiendo las recomendaciones recogidas en la parte 2 de la BS 1377. Los límites líquidos se obtuvieron a partir de muestras con mezcla en agua en exceso y permitiéndoles secar de modo natural hasta que el contenido en agua fue óptimo para su ensayo, ya que se observó que un exceso en la mezcla incrementaba significativamente los valores del

Ospringe	ρ_b (Mg/m ³)	ρ_d (Mg/m ³)	Sr (%)	e_o	n_o (%)	v (%)	I_b (%)
Media	1.75	1.48	59.15	0.81	44.26	17.53	0.97
Máx	1.81	1.53	63.5	0.88	45.47	19.71	1.00
Mín	1.72	1.45	54.70	0.74	42.49	16.08	0.44

ρ_b : densidad, ρ_d : densidad seca, e_o : índice de huecos inicial, n_o : porosidad inicial, Sr: contenido en saturación de humedad, v: deformación volumétrica en los estados inicial y final de carga entre 0 y 1600 kPa (cargas máximas y mínimas), I_b : Índice de densidad

Tabla 2. Propiedades físicas a partir de los ensayos edométricos en el *brickearth* de Ospringe
Table 2. Main soil physical properties calculated from oedometric assays with *brickearth* samples at Ospringe

límite líquido. Este fenómeno también se ha observado durante el análisis de la plasticidad en muestras de suelos volcánicos (González de Vallejo et al., 1981).

Resultados

Clasificación de los materiales del *Brickearth*

Siguiendo las clasificaciones de suelos propuestas por la BS, se clasificaron los distintos niveles que constituyen este depósito cuaternario. Debido a la presencia aleatoria y con distinta proporción de gravas se incluyó esta fracción en el vértice correspondiente a la fracción arena. Los otros dos vértices del triángulo incluyeron la fracción arcillosa y la limosa. A partir de la representación triangular de los porcentajes granulométricos el nivel carbonatado del *Brickearth* se ha clasificado como suelos limos arenosos y arcillosos. Claramente diferentes, el nivel superior de *brickearth* no carbonatado, constituyen limos arcillosos y limos con arcilla y arena (Fig. 3). El nivel infrayacente de esta secuencia, constituido por el *brickearth* de gravas, se identificó como limo arcilloso y arenoso.

Parámetros de identificación geotécnicos y discusión

Los resultados obtenidos para el contenido en humedad natural y la densidad de las partículas se muestran en la Tabla 3 en donde las muestras están ordenadas de techo a muro de la secuencia. A la vista de estos valores pueden deducirse diferentes variedades litológicas para cada una de las unidades descritas, observándose variaciones y tendencias que pueden relacionarse con las distintas características geológicas o de composición mineralógica y granulométrica.

La humedad de las muestras es media (menor del 21%) y a partir del contenido en humedad natural se

ha observado una disminución de la misma con la profundidad, relacionado con la variación en el contenido de arcillas, mientras que el valor medio de la densidad de las partículas calculado para este tipo de material es 2.66 Mg/m³.

A partir de las gráficas granulométricas (Rodríguez-Sastre et al., 2006) se observa la principal diferencia entre los distintos niveles diferenciados en el *brickearth*. La principal diferencia entre el nivel carbonatado y el superior no carbonatado reside en la fracción limosa mientras que la principal diferencia con el nivel gravoso infrayacente a ambas unidades esta en el contenido en arena y grava.

El nivel superior de este depósito corresponde al *brickearth* no carbonatado y se caracteriza porque muestra un porcentaje medio de finos del 20,6 %. El límite líquido (LL) está comprendido entre 36 y 27 % aunque se ha observado una ligera disminución con la profundidad y el Índice de Plasticidad (IP) oscila entre 14 y 3 %.

La situación de las muestras en la carta de Casagrande es siempre próxima a la línea A, estando situados los valores por encima y debajo de dicha línea, dentro de los campos definidos para materiales tipo loess según Bell, 2000, como loess limosos. Este nivel se ha clasificado como un suelo del tipo MI y CI-CL (arcillas –limos de baja- intermedia plasticidad), para las muestras a mayor profundidad como suelos tipo ML (limos de baja plasticidad).

Los índices de actividad calculados varían entre 0,66 y 0,16, valores que indican arcillas no activas. A partir de la representación en el gráfico de actividad de Van Der Merwe (1964) (Fig. 4), este material puede ser clasificado como de expansividad media-baja, claramente baja para el nivel carbonatado donde el porcentaje de finos presente es el mas bajo de todo el registro. En el nivel de *brickearth* carbonatado el porcentaje medio de finos es 14.1 %. El límite líquido (LL) toma valores entre 25 y 27 % y el Índice de Plasticidad (IP) esta comprendido entre 7 y 2 %.

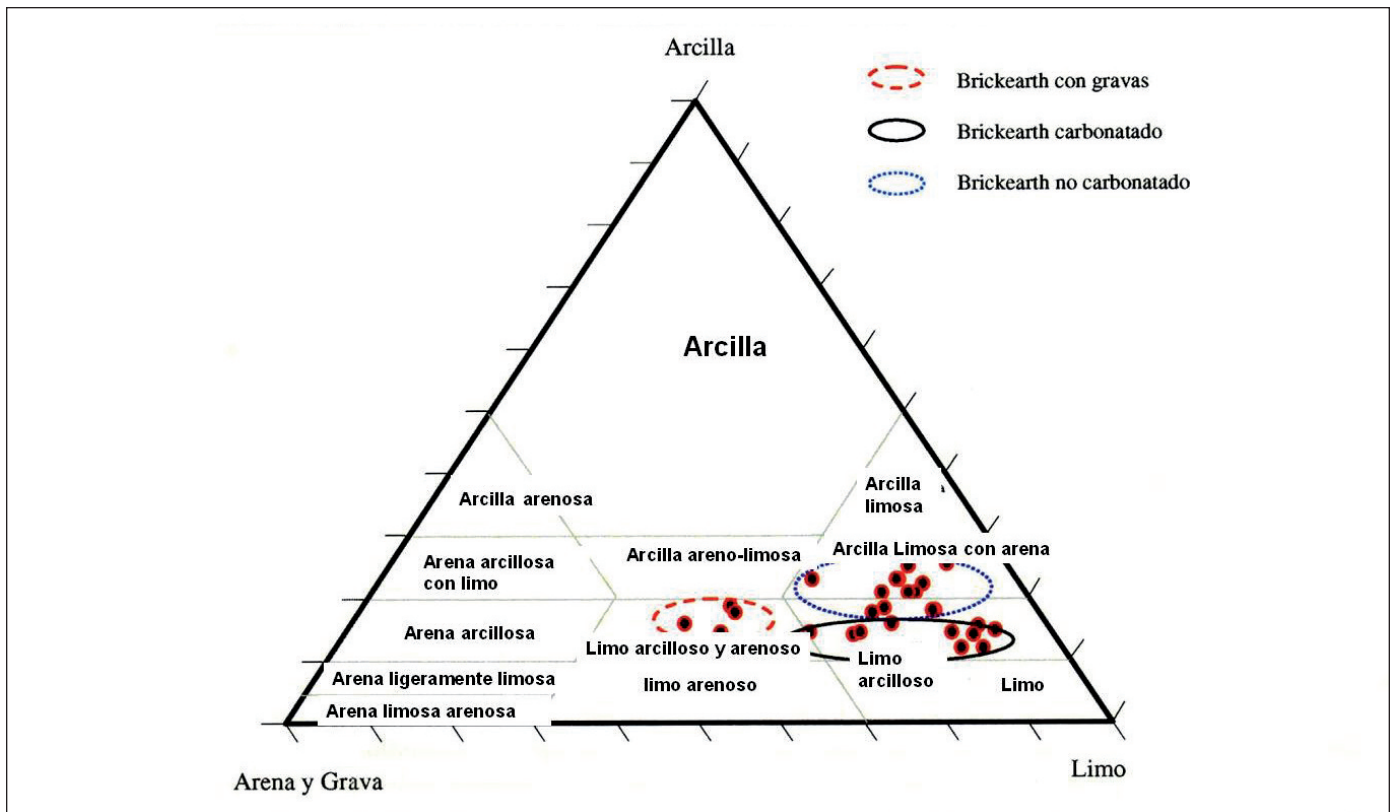


Figura 3. Clasificación triangular de los suelos según la composición en gravas + arenas, arcillas y limos
 Figure 3. Triangular representation of soil particle size according to their composition of gravel + sands, silts and clays

La situación de las muestras en el gráfico de Casagrande es por debajo de la línea A, estando dentro de los campos definidos para materiales tipo loess según Bell, 2000, como loess arenosos. Este nivel se ha clasificado como un suelo del tipo ML (limos de baja plasticidad). A partir del análisis por difracción de Rayos-X de muestras de este suelo el contenido en cuarzo varía entre 52,9 y 63 %, presentando contenidos en calcita comprendidos entre 12,8 y 8 %, además se ha detectado la presencia de minerales tipo esmectita, caolinita al igual que en el nivel superior. Los índices de actividad calculados comprenden un rango entre 0,45 y 0,12, estos valores indican arcillas no activas.

Los tres niveles diferenciados en este depósito cuaternario se caracterizan por presentar un índice de fluidez negativo, lo que indicaría que estos materiales presentan un contenido en humedad menor que su límite líquido. Siguiendo las clasificaciones recogidas en González Vallejo *et al.*, (2002), sobre las propiedades de estado de suelos finos, se pueden clasificar como suelos dentro de un amplio rango que varía de consistencia media a muy duros, en función de los

parámetros aplicados (humedad natural, densidad seca, índice de fluidez y de huecos). A partir del índice de consistencia calculado, que varía entre 6.1 y 0.6, este depósito de *brickearth* se caracteriza por clasificarse como suelos de tipo duros principalmente. La serie basal de *brickearth* con gravas se caracteriza por presentar el contenido en gravas más alto de toda la secuencia (7.56 %). El valor medio del LL en los finos de la matriz es de 25-30% y el IP oscila entre 11 y 2%. La clasificación de estos materiales finos dentro del nivel de *brickearth* con gravas es principalmente CL aunque algunos valores se aproximan al tipo ML.

Consolidación (Brickearth carbonatado)

Se han realizado ensayos de consolidación como consecuencia de la elevada porosidad observada en el nivel carbonatado del *Brickearth*.

Los ensayos de consolidación se han realizado en el nivel carbonatado, a partir de muestras inalteradas, tomadas a 2 m de profundidad y preservando la microestructura y humedad natural.

Muestra	Contenido en humedad natural (%)			Densidad de las partículas (Mg/m³)			Fracción granulométrica			
	Máx.	Min.	media	Máx.	Min.	media	Grava (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
<i>Brickearth</i> no carbonatado	21,76	12,14	19	2,69	2,63	2,66	0,09	13,76	65,49	20,64
<i>Brickearth</i> carbonatado	16,06	12,11	14,7				0,38	18,25	67,26	14,11
<i>Brickearth</i> con gravas	14,28	11,50	13,0				7,56	31,28	43,76	17,4

Tabla 3. Principales parámetros geotécnicos calculados para las muestras de *brickearth*
 Table 3. Main geotechnical parameters calculated for *brickearth* soil samples

A partir de una secuencia de ensayos de carga en el equipo edométrico: con 4 células, donde se ha seguido la metodología de carga con inundación, con el fin de determinar los episodios de colapsos en la muestra durante la secuencia de carga. Esta consiste en que para cada una de las células edométricas se produce la inundación de la muestra a distintos valores de carga.

Generalmente con la presencia de agua el suelo bajo carga produce la destrucción de forma repentina de la microestructura (representa el proceso de colapso). Este colapso se produce cuando tiene lugar el proceso de carga e inundación conjuntamente.

Se registraron episodios de colapso durante el

proceso de carga a continuación de la inundación para las cargas de 100, 200 y 400 kPa (Fig. 5), mientras que la muestra inundada a 0 kPa presenta una línea de carga continua sin saltos repentinos. Durante el ensayo las distintas muestras en las células fueron gradualmente sometidas a presiones mayores hasta alcanzar una máxima consolidación bajo cargas de 800 kPa, registrándose las variaciones continuas del índice de poros durante la carga y descarga.

El coeficiente de colapso calculado C_{col} varía entre 0.022 (2.2%) para la muestra bajo carga de 100 kPa y 0.007 (0.7%) bajo la máxima carga (800 kPa). Comparando estos resultados con la interpretación de otros ensayos realizados en este mismo material

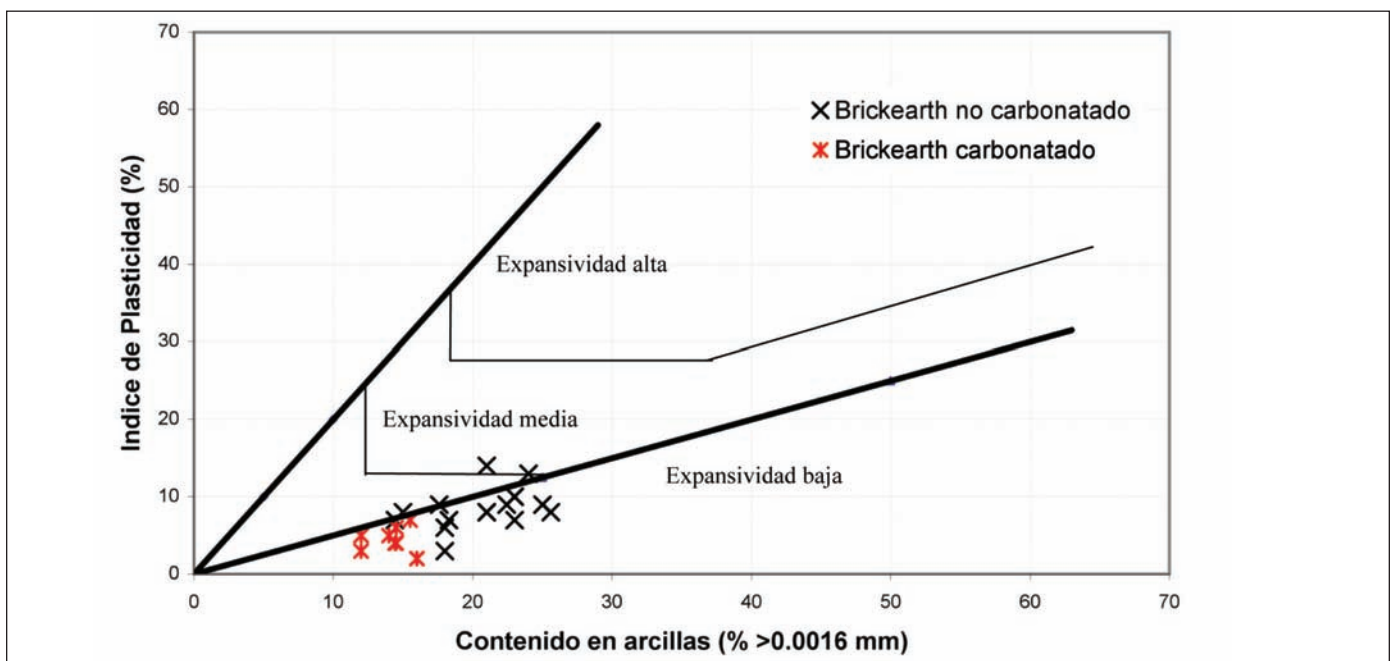


Figura 4. Clasificación de la expansividad de los suelos según Van der Merwe (1964)
 Figure 4. Classification of the expansivity of the soil samples, following Van der Merwe (1964)

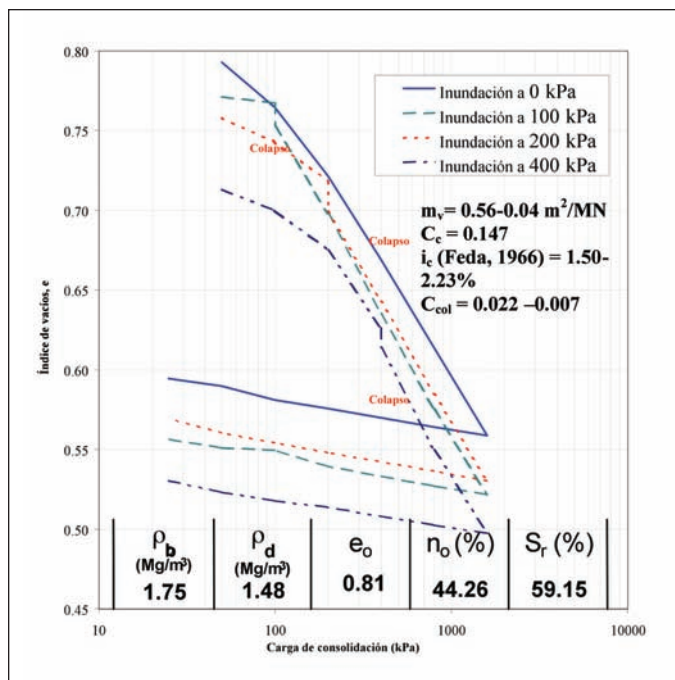


Figura 5. Curvas de consolidación para muestras de *brickearth* carbonatado. ρ_b : densidad del suelo con su humedad natural, ρ_d : densidad seca del suelo, e_0 : índice de vacíos, n_0 : porosidad inicial, S_r : índice de saturación, m_v : módulo de deformación, C_c : índice de compresión, i_c : índice de colapsabilidad (Feda, 1966), C_{col} : coeficiente de colapso

Figure 5. Consolidation curves for calcareous brickearth soil samples. ρ_b , bulk density; ρ_d , dry density; e_0 , initial void ratio; n_0 , initial porosity; S_r , saturation moisture content; m_v , coefficient of volume compressibility; C_c , compressibility index; i_c , collapse index (Feda, 1966); C_{col} , collapse coefficient

(Nelder & Entwisle, 2003), se obtuvieron valores similares del C_{col} de 0.0260 (2.60%), para los ensayos bajo una carga de 200 kPa, enmarcados dentro del campo de suelos metaestables. Para el *Brickearth* no carbonatado los valores de C_{col} obtenidos fueron del orden de 0.002 (0.20%) cuando se inundaron bajo cargas de 200 kPa e indicando criterios de no metaestabilidad (Zourmpakis *et al.*, 2006).

Los valores del módulo de compresibilidad (m_v) obtenido es alto (0,56 m²/MN) cuando se inicia la secuencia de carga (0-50 kPa) en cada una de las células, mientras que al final del ensayo (800-1600 kPa), este parámetro alcanza valores clasificados como muy bajos (0,04 m²/MN). Por otra parte los valores del coeficiente de consolidación (C_c) están comprendidos ente 2-62,5 m²/a o para los rangos de 0 a 1600 kPa, mientras que el índice de compresión (C_c) es menor a 0,2 y que se enmarca dentro de las características definidas para un tipo de suelo de baja compresibilidad (Head, 1982). El coeficiente de compresibilidad,

a_v , calculado varia de 0.018, para intervalos de carga de 0-50 kPa, a 0.034 m²/kN para cargas de 800-1600 kPa.

Dentro de los índices empíricos de colapsabilidad (i_c) más utilizados se encuentra el criterio de Feda (1966), según el cual valores mayores al 1% indicarán suelos problemáticos. Los valores de i_c obtenidos para el *Brickearth* carbonatado varían entre 1.50 y 2.23 %.

El índice de colapsabilidad, i_c , se define como:

$$i_c = \left(\frac{\left(\frac{W}{S_o} \right) - LP}{IP} \right)$$

donde W es la humedad natural de la muestra, S_o es el grado de saturación inicial y LP es el limite de plasticidad y IP es el índice de plasticidad.

En la Tabla 4 se recogen los principales índices empíricos que cuantifican la colapsabilidad de estos depósitos. En general se han clasificado como colapsables según los principales criterios (Handy, 1973; Denisov, 1963; Feda, 1966; Fookes & Best, 1969; Prilonski, 1952 y según el código de edificación soviético), con la excepción del índice propuesto por Clevenger (1958) y que esta basado en los valores de la densidad de los suelos y que clasifica estos materiales como no colapsables.

Para determinar los asentamientos se han seguido los cálculos y aproximaciones propuestos por Craig (2004) a partir de la variación en la vertical del grosor de la muestra durante el ensayo edométrico y para un espesor conocido de la capa en el campo.

Generalmente el asentamiento de una capa de espesor H, viene dado por la ecuación

$$s_c = \int_0^H m_v \Delta \sigma' dz$$

donde, m_v es el coeficiente de compresibilidad volumétrica y σ' es el incremento de la carga aplicada, siendo z el espesor conocido de la capa del suelo. Para cargas de 200 kPa los valores de m_v calculados a partir de los ensayos edométricos es 0.24 m²/MN, y considerando que el espesor de la capa colapsable es 0.9 m y se sitúa a nivel superficial, los asentamientos calculados para este nivel son de 4.3 cm. Si se tiene en cuenta que los márgenes de asentamiento para las construcciones superficiales convencionales en el Reino Unido son de 2 cm, este nivel se puede clasificar como no apto para las cimentaciones convencionales y se tendrán que adoptar las mejoras técnicas

Muestra /anillo	Clevenger (1958)	Handy (1973)	Denisov (1963)	Feda (1966)	Fookes y Best (1969)	Código de edificación soviético	Priklonski (1952)	Índice de colapso absoluto	
Pit 3	A	1.45	0.82	0.83	1.87	2.33	0.07	-0.97	9.35
	B	1.46	0.78	0.78	2.23	2.78	0.10	-0.58	11.15
	C	1.49	0.88	0.88	1.50	1.87	0.05	-0.80	7.51
	D	1.53	0.93	0.93	1.56	1.44	0.05	-0.87	5.78

Nota: NC: no colapsable, C: colapsable, AC: altamente colapsable

Tabla 4. Valoración empírica del criterio de colapso en el material *brickearth* en Ospringe (Faversham)
 Table 4. Empirical evaluation of the collapse criterion calculated for *brickearth* soil at Ospringe (Faversham)

oportunas. Considerando m_v y σ' constantes con la profundidad, se puede estimar el asentamiento producido sobre esta capa según la ecuación

$$s_c = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} \times H$$

donde e es la variación del índice de huecos inicial y para una carga dada y H es la potencia de la capa. El asentamiento calculado mediante esta ecuación para cargas de 200 kPa y una potencia de capa de 0.9 m situada en la superficie es de 5.5 cm.

Conclusiones

Los materiales que constituyen el sustrato infrayacente, en las proximidades al oeste de Ospringe, muestran diferencias en las características litológicas en cada uno de los niveles identificados de los depósitos cuaternarios objeto de esta investigación. El material de *brickearth* esta relacionado con los depósitos periglaciales asociados al Würm.

Se han diferenciado tres niveles claramente diferentes, en cuanto a sus fracciones granulométricas y mineralogía: *brickearth* no-carbonatado, *brickearth* carbonatado y *brickearth* con gravas.

Desde el punto de vista geotécnico se pueden clasificar como limos arcillosos de baja plasticidad. Su actividad se ha clasificado como media-baja, a pesar de la presencia de minerales arcillosos tipo esmectitas, cuyo contenido aumenta con la profundidad en estos depósitos.

Desde el punto de vista geomecánico los tres niveles de *brickearth* establecidos presentan diferencias en los parámetros característicos de los suelos y su fábrica, siendo reflejo de las diferencias geológicas y

el comportamiento geotécnico frente a los fenómenos de colapsabilidad.

Durante los ensayos de consolidación fenómenos de repentinas compresiones fueron registrados cuando las muestras del nivel carbonatado de *brickearth* fueron inundadas durante distintas etapas de carga durante el ensayo edométrico. Los asentamientos estimados son importantes y a tener en cuenta a la hora de planificar obras de tipo civil en estas áreas de nuevo desarrollo, estimándose asentamientos que varían entre 4,3 y 5,5 cm según el método de cálculo empleado.

Agradecimientos

Esta investigación fue desarrollada durante una estancia postdoctoral en el British Geological Survey financiada por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Por último, expresar mi agradecimiento a los revisores de este trabajo.

Referencias

- Anon, 1990. *British standard methods for soils for civil engineering purposes*. British Standards Institution, London.
- Bell, F. G., 2000. *Engineering properties of Soils and Rocks*. Blackwell Science, London, 496 pp.
- Bell, F. G. & Culshaw, M. G., 2001. Problem soils: a review from a British Perspective. En: Jeffersonl., Murray E.J., Farangher E. & Fleming P.R. (Eds), *Problematic soils*. Thomas Telford, Nottingham, 130 pp.
- Bell, F. G., Culshaw, M. G. & Northmore, K. J., 2003. The metastability of some gull-fill materials from Allington, Kent, UK. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 36, 217-229.
- Clark, M. L., Milodowski, M. L., Bouch, L., Leng, M. J. & Northmore, K. J., 2005. Evidence of pulsed late glacial dust accretion in England: OSL dating of Kentish

- Brickearth and climate implications. *11th International Conference on Luminiscence and Electron Spin Resonance Dating*, Cologne, 125 pp.
- Clark, M. L., Milodowski, A. E., Bouch, J. E., Leng, M. J. and Northmore, K. J., 2007. New OSL dating of UK loess: Indications of two phases of Late Glacial dust accretion in SE England and climate implications. *J. Quaternary Sci.*, Vol. 22 pp. 361-371.
- Clevenger, W. A. 1958. Experiences with loess as a foundation material. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 123, 151-160.
- Craig R. F. (2004). *Craig's soil mechanics*. 7th edition, Spon Press, London and New York, 447 pp.
- Denisov, H. Y. 1963. About the nature and sensitivity of quick clays. *Osnov Fundamic Mechanic Grant*, 5, 5-8.
- Derbyshire, E. & Mellors, T. W., 1988. Geological and geotechnical characteristics of some loess and loessic soils from China and Britain: a comparison. *Engineering Geology*, 25, 135-175.
- Ellison, R. A., Woods, M. A., Allen, D. J., Foster, A., Pharoah, T. C. & King, C., 2004. *Geology of London*. Memoir of the British Geological Survey, Sheets 256 (North London), 257 (Romford), 270 (South London) and 271 (Dartford) (England and Wales) British Geological Survey, London, 114 pp.
- Feda, J. 1966. Structural stability of subsident loess from Praha-Dejvice. *Engineering Geology*, 1, 201-219.
- Fookes, P.G. & Best, R. 1969. Consolidation characteristics of some late Pleistocene periglacial metastable soils of east Kent. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 2, 103-128.
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. 2002. *Ingeniería Geológica*. Pearson Education, Madrid, 744 pp.
- González de Vallejo, L. I., Jiménez Salas J. A. & Leguey Jimenez, S. (1981). Engineering geology of the tropical volcanic soils of La Laguna, Tenerife. *Engineering geology*, 17, 1-17.
- Gunn D.A., Nelder L.M., Jackson P.D., Northmore, K.J., Entwisle, D.C., Milodowski, A.E., Boardman, D.I., Zourmpakis, A., Rogers, C.D., Jefferson, I. & Dixon N. 2006. Shear wave velocity monitoring of collapsible loessic brickearth soil. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*; v. 39; issue.2; 173-188.
- Handy, K. H. 1973. Collapsible loess in Iowa. *Proceedings of the Soil Society of America*, Vol. 37, 281-284.
- Head, K. H. 1982. *Manual of soil laboratory testing: Permeability, shear strength and compressibility tests*, 2. Robert Hartnoll Limited, Cornwall, 747 pp.
- Holmes S.C.A. 1981. *Geology of the country around Faversham. Memoir of the British Geological Survey, Sheet 273*, British Geological Survey, London, 117 pp.
- Jackson, P.D., Northmore, K.J., Entwisle, D.C., Gunn, D.A., Milodowski, A.E., Boardman, D.I., Zourmpakis, A., Rogers, C.D., Jefferson, I. & Dixon, N., 2006. Shear wave velocity of collapsible loessic brickearth soil. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, Vol. 39, 173-188.
- Jackson, P.D., Northmore, K.J., Entwisle, D.C., Gunn, D.A., Milodowski, A.E., Boardman, D.I., Zourmpakis, A., Rogers, C.D., Jefferson, I. & Dixon, N., 2006. Electrical resistivity monitoring of a collapsing meta-stable soil. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 39 (2). 151-172.
- Jefferson, I., Tye, C. & Northmore, K. J., 2001. Behaviour of silt: the engineering characteristics of loess in the UK. In: *Problematic soils*, pp. 37-52.
- Lowe, J.J. & Walker, M.J.C., 1997. Reconstructing Quaternary Environments. Chapter 6: Approaches to stratigraphy and correlation, Departamento de Geografía, Universidad de Otago, 20/06/2006, http://geography.otago.ac.nz/Courses/283_389/Lectures/LectureNotes.html
- Nelder, L. M. & Entwisle, D. C., 2003. *Geotechnical index tests on Brickearth from Faversham*. Informe inédito. British Geological Survey Research Report, IR/03/163.
- Northmore, K. J., Bell, F. G. & Culshaw, M. G., 1996. The engineering properties and behaviour of the brickearth of south Essex. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 24, 147-161.
- Northmore, K.J., Jefferson, I., Jackson, P., Entwisle, D., Milodowski, A., Raines, M., Gunn, D., Boardman, D.I., Zourmpakis, A.N., Lavinia M.R., Christopher D.F., Dixon, N., Smalley, I.J., 2008. On-site characterisation of loessic deposits in Kent, UK. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Geotechnical Engineering*, 161 (1). 3-17.
- Prikлонski, V. A. 1952. Gruntovedenie Vitoraic Chast. Gosgeolozdat, Moscow. (En: Bell F.G., Culshaw M.G. & Northmore K.J. 2003. The metastability of some gull-fill materials from Allington, Kent, UK. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 36; issue 3, 217-229).
- Rodríguez-Sastre, M.A., Northmore K.J., Entwisle D.C., Jackson P.D. & Nelder L.M. 2006. Geotechnical characterization of loessic brickearth deposits at Faversham, Kent, UK. *5th European congress on Regional, Cartography and Information Systems, Earth and Water*, 1, 585-588.
- Van der Merwe, D. H. 1964. The prediction of heave from the plasticity index and percentage clay fraction of soils. *The Civil Engineer in South Africa*, 6, 103.116.
- Zourmpakis, A., Boardman, D. I., Rogers, C. D. F., Jefferson, I., Gunn, D. A., Jackson, P. D., Northmore, K. J., Entwisle, D. C., Nelder, L. M. & Dixon, N., 2006. Case study of a loess collapse field trial in Kent, SE England. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, Vol. 39, 131-150.

Recibido: octubre 2009

Revisado: enero 2010

Aceptado: marzo 2010

Publicado: julio 2010

