

Estructuras sedimentarias de deformación (sismitas) inducidas por licuefacción con un simulador de terremotos

Soft-sediment deformation structures (seismites) induced by liquefaction with a digital shaking table

J.O. Caselles (*), M. Moretti (**), P. Alfaro (***), J.A. Canas (*) y J. Clapés (*)

(*) Departament d'Enginyeria del Terreny., U.P.C., C/ Gran Capitán s/n, 08034, Barcelona

(**) Dpto. di Geologia e Geofisica, Univ. degli Studi di Bari, via E. Orabona, 4, 70125 Bari, Italia

(***) Dpto. Geología, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Jaén, Jaén.

(****) Itto. Geográfico Nacional, C/ General Ibañez de Ibero, 3, 28003, Madrid

ABSTRACT

This study is a first attempt to reproduce seismites in laboratory using a shaking table and natural sediments. The deformation linked to liquefaction-fluidization processes has been analysed, continuously controlling the interstitial pressure and acceleration. Morphologically, two main types of structures have been observed: fluid escape and load. The morphological variety is primarily controlled by the type of sedimentary column.

Key words: *liquefaction, seismites, shaking table, soft-sediment deformation structures.*

Geogaceta, 21 (1997), 67-70

ISSN: 0213683X

Introducción

Las estructuras sedimentarias de deformación inducidas por licuefacción durante eventos sísmicos han sido definidas como sismitas (Seilacher, 1969). Este tipo de estructuras de deformación producidas por terremotos son relativamente frecuentes en el registro geológico (Weaver, 1976; Montenat, 1980; Hempton & Dewey, 1983; Leeder, 1987; Anand & Jain, 1987; Plaziat *et al.*, 1990; Plaziat & Poisson, 1992; Guiraud & Plaziat, 1993; Estévez *et al.*, 1994; Moretti *et al.*, 1995, etc.).

En relación a la modelización en laboratorio de este tipo de estructuras sedimentarias de deformación se puede encontrar una revisión histórica completa en Allen (1982). Kuenen (1958), McKee & Goldberg (1969) y Dzylinski y Walton (1965) reprodujeron *load casts* y almohadillas en columnas de arena sobre lutita añadiendo cargas localizadas o agitando la vitrina o contenedor del sedimento. Anketell *et al.*, (1969, 1970) utilizaron un motor eléctrico que movía regularmente la vitrina con el sedimento. Estos autores estudiaron la morfología de las estructuras en función de la densidad y viscosidad de los sedimentos utilizados. Recientemente, Owen (1996) ha utilizado una mesa vibradora que produce esfuerzos cíclicos regulares. Este autor obtiene un

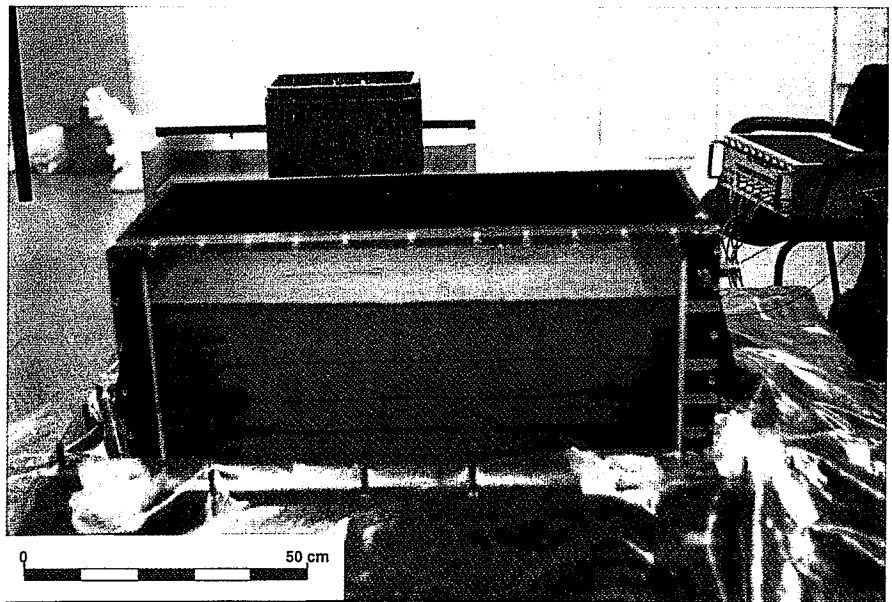


Fig. 1.- Plataforma vibradora triaxial Norgren Martonair.

Fig. 1.- Norgren Martonair Shaking table.

gran número de estructuras sedimentarias de deformación, independientemente de su mecanismo genético, usando diferentes *driving force systems* como carga diferencial, gradientes de densidad invertidos, etc.

En este estudio ha sido utilizado un simulador de terremotos con el propósito de reproducir, lo más fielmente posible,

las condiciones «in situ» de los procesos de deformación de sedimentos naturales saturados durante sacudidas sísmicas.

Metodología

La parte experimental de este estudio se ha desarrollado en el Laboratorio de Geofísica Aplicada de la U.P.C. de Barcelo-

The table structure is largely obscured by redaction. Visible fragments include:

- Row 1: [Redacted]
- Row 2: [Redacted]
- Row 3: [Redacted]
- Row 4: [Redacted]
- Row 5: [Redacted]
- Row 6: [Redacted]
- Row 7: [Redacted]
- Row 8: [Redacted]
- Row 9: [Redacted]
- Row 10: [Redacted]
- Row 11: [Redacted]
- Row 12: [Redacted]
- Row 13: [Redacted]
- Row 14: [Redacted]
- Row 15: [Redacted]
- Row 16: [Redacted]
- Row 17: [Redacted]
- Row 18: [Redacted]
- Row 19: [Redacted]
- Row 20: [Redacted]
- Row 21: [Redacted]
- Row 22: [Redacted]
- Row 23: [Redacted]
- Row 24: [Redacted]
- Row 25: [Redacted]
- Row 26: [Redacted]
- Row 27: [Redacted]
- Row 28: [Redacted]
- Row 29: [Redacted]
- Row 30: [Redacted]
- Row 31: [Redacted]
- Row 32: [Redacted]
- Row 33: [Redacted]
- Row 34: [Redacted]
- Row 35: [Redacted]
- Row 36: [Redacted]
- Row 37: [Redacted]
- Row 38: [Redacted]
- Row 39: [Redacted]
- Row 40: [Redacted]
- Row 41: [Redacted]
- Row 42: [Redacted]
- Row 43: [Redacted]
- Row 44: [Redacted]
- Row 45: [Redacted]
- Row 46: [Redacted]
- Row 47: [Redacted]
- Row 48: [Redacted]
- Row 49: [Redacted]
- Row 50: [Redacted]

cia de barreras impermeables (niveles delgados de arcilla) ha producido estructuras de tipo *transient water filled voids* (Nichols *et al.*, 1995) (Fig. 2A-I). Estas estructuras están caracterizadas por una forma pseudo-cónica, con base plana y una morfología de cúpula del nivel superior de arcilla. Se trata de estructuras transicionales (en ocasiones permanecen durante más de diez minutos) que desaparecen cuando el agua rompe el delgadísimo nivel de arcilla. En este momento, el agua contenida en estos «*filled voids*» se filtra rápidamente en el estrato superior arenoso transportando parte del sedimento fino. En la zona de escape de agua se forman estructuras tipo *pillar* mientras que entre *pillars* adyacentes los niveles arcillosos presentan una morfología cóncava hacia arriba (estructuras tipo *dish*) (Figura. 2A-II).

En otras columnas sedimentarias constituidas por arena con un nivel suprayacente de arcilla de espesor variable (máximo 5 cm) se han reproducido pequeños volcanes de arena (Fig. 2B). Durante el proceso de licuefacción el aumento de presión intersticial provoca la ruptura del nivel impermeable superior formando típicos volcanes de arena de reducidas dimensiones (2 cm de altura máxima por 2-15 cm de diámetro). Mientras el proceso de ruptura, que se ha producido siempre después de finalizar la «sacudida sísmica», es instantáneo y violento, por el contrario, el ascenso de sedimento es lento y regular (Fig. 3B) (ha durado más de 30 minutos cuando se ha utilizado sedimento poco seleccionado).

Finalmente, en algunos experimentos se ha utilizado una columna sedimentaria constituida por la superposición de arena media-gruesa sobre arena limosa. En este caso, los procesos de licuefacción y fluidificación se desarrollan de forma muy diferente por la ausencia de barreras de permeabilidad. Estos procesos son más rápidos porque la presión intersticial se disipa fácilmente por filtración difusa y homogénea a través de toda la columna sedimentaria sin llegar a formar vías de escape localizadas. Al final de la «sacudida sísmica» aparece un nuevo nivel en el techo de la columna sedimentaria constituido por el sedimento fino fluidificado. En el caso de que haya sufrido deformación la columna sedimentaria, este nivel es claramente discordante (Fig. 2C). Este fenómeno, reproducido cualitativamente por Anketell *et al.*, (1969), es muy interesante si consideramos que gran parte de las estructuras sedimentarias del registro geológico están limitadas a techo por una superficie plana discordante a la deforma-

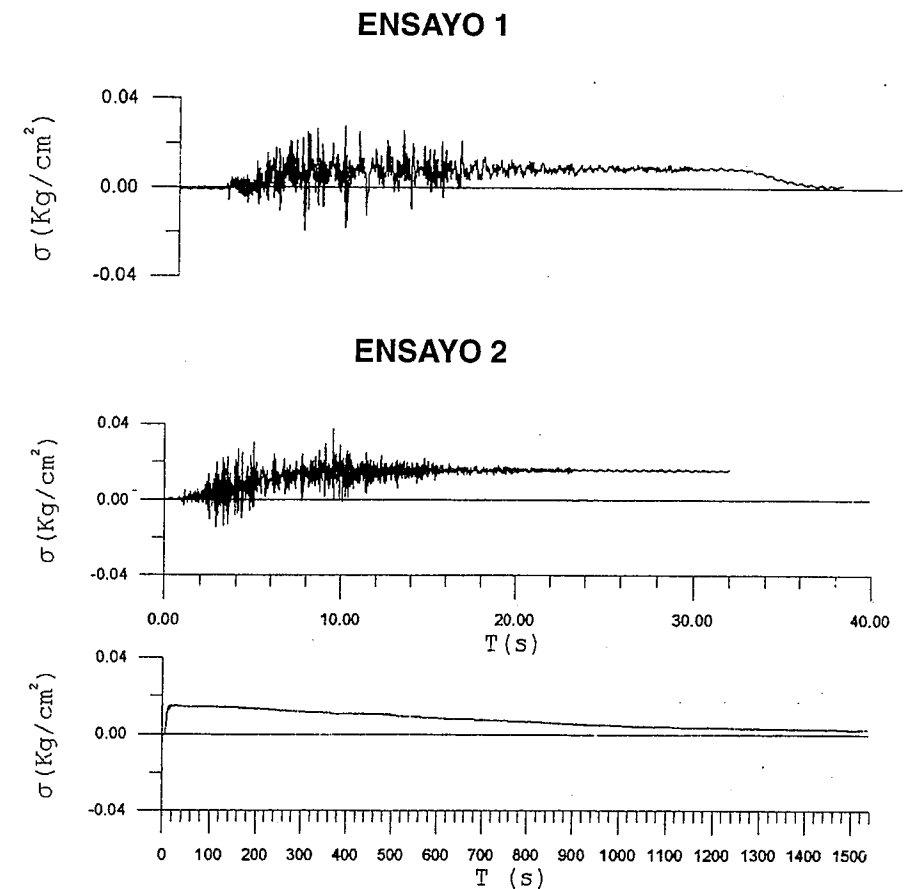


Fig. 3.- Variación de la presión intersticial. Ensayo 1: el presiómetro se encuentra en un sedimento arenoso muy bien clasificado que tiene una permeabilidad muy alta. Ensayo 2: el presiómetro se sitúa en un sedimento mal clasificado de baja permeabilidad.

Fig. 3.- Variation of pore pressure. Test 1: the pressuremeter is located in a homogeneous sandy sediment with high permeability. Test 2: in this case, the pressuremeter is placed in a heterogeneous sediment with low permeability.

ción. Esta superficie se interpreta normalmente como una superficie de erosión, pero experimentalmente se demuestra que puede tener otro origen muy distinto, sobre todo si existe una lámina de agua sobre el sedimento.

Estructuras de carga

En este grupo se han incluido las estructuras sedimentarias de deformación cuya formación está ligada a la presencia de *driving force systems* (sensu Owen, 1987) como la presencia de gradientes de densidad inestables o la existencia de carga diferencial.

Algunos experimentos se han realizado con una columna sedimentaria que presentaba la superposición de un estrato arenoso de mayor granulometría sobre otro de menor tamaño de grano. Este sistema inestable en el campo de la gravedad requiere una pérdida momentánea o reducción de la resistencia al corte del sedimento para que se desencadene un reajuste gravitatorio. Esta disminución de resis-

tencia se puede producir por licuefacción inducida por una sacudida sísmica. El reajuste gravitatorio genera una ligera ondulación de la interfase entre los dos términos de distinta granulometría o densidad (Fig. 2D). A mayor contraste de densidad más pronunciada es la deformación.

También la existencia de carga diferencial produce deformaciones similares. Esta condición de carga diferencial se ha creado en la columna sedimentaria generando *ripples* y pequeñas dunas. El proceso de licuefacción produce la inversión del relieve, de forma que el techo de la columna sedimentaria queda completamente plano y las irregularidades se transmiten a la interfase entre los dos términos de la columna sedimentaria (Fig. 2E).

Una última consideración hace referencia a algunos experimentos realizados en columnas sedimentarias con arena bien seleccionada sin la presencia de *driving force systems* o barreras de permeabilidad. Durante la «sacudida sísmica» la li-

licuefacción ha producido una disminución de volumen y expulsión de agua, pero en este caso la laminación horizontal ha quedado completamente inalterada. Debido a la alta permeabilidad del sedimento la disipación de la presión intersticial ha sido muy rápida (Fig. 3A). Se puede concluir que en el registro geológico existen muchos episodios de licuefacción que pueden pasar completamente inadvertidos si no existen condiciones apropiadas del sedimento (*driving force system*, barreras impermeables, etc.) (Fig. 2F).

Conclusiones

En los experimentos realizados las estructuras sedimentarias de deformación ligadas a procesos de licuefacción-fluidificación durante "sacudidas sísmicas" (sismitas) se pueden agrupar en dos grandes grupos: estructuras de escape de fluidos y estructuras de carga. El tipo de columna sedimentaria controla la morfología de las sismitas y la intensidad de deformación de las mismas. No todos los eventos sísmicos llegan a deformar el sedimento si este no tiene unas características apropiadas

(presencia de *driving force systems*, barreras impermeables, etc.).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la Dirección General de Investigación Científica y Técnica (DGICYT), proyecto PB93-0972, y por el proyecto *Fondi M.U.R.S.T. 40% Pieri 1993*.

Referencias

- Allen (1982): *Elsevier, New York*, vol. II, 663 p.
 Anand, A. y Jain, A.K. (1987): *Tectonophysics*, 133: 105-120.
 Anketell, J.M., Cegla, J. y Dzulynski, S. (1969): *Geol. Rom.*, 8: 41-46.
 Anketell, J.M., Cegla, J. y Dzulynski, S. (1970): *Ann. Soc. Géol. Pologne (1)*, XL: 3-30.
 Dzulynski, S. y Walton (1965): *Elsevier, Amsterdam*. 274 p.
 Estévez, A., Soria, J.M. y Alfaro, P. (1994): *C.R. Acad. Sci. Paris*, 318, II: 507-512.
 Guiraud, M. y Plaziat, J.C. (1993): *Tectonophysics*, 225: 493-522.
 Hempton, M.R. y Dewey, J.F. (1983): *Tectonophysics*, 98: T7-T14.
 Kuenen (1958): *Trans. Geol. Soc. Glasgow*, 23: 1-28.
 Leeder, M. (1987): In: M.E. Jones y M.F. Preston (eds.): *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 29: 137-146.
 McKee, E.D. y Goldberg, M. (1969): *Geol. Soc. Am. Bull.*, 80: 231-244.
 Montenat, C. (1980): *Bull. Soc. géol. France*, (7), XXII, 3: 501-509.
 Moretti, M., Pieri, P., Tropeano, M. y Walsh, N. (1995): *Acad. Naz. Lincei*, 122: 211-216.
 Nichols, R.J., Sparks, R.S.J. y Wilson, C.J.N. (1995): *Sedimentology*, 41: 233-253.
 Owen, G. (1987): In: M.E. Jones y R.M.F. Preston, *Geol. Soc. Sp. Publ.*, 29: 11-24.
 Owen, (1996): *Sedimentology*, 43: 279-293.
 Seilacher, A. (1969): *Sedimentology*, 13: 155-159.
 Plaziat, J.C., Purser, B.H. y Philobos, E. (1990): *Bull. Soc. géol. France*, (8), VI, 3: 419-434.
 Plaziat, J.C. y Poisson, A. (1992): *Bull. Soc. géol. France*, 163, 5: 541-551.
 Weaver, J.D. (1976): *Geol. Magaz.*, 113: 535-543.