

**COMPORTAMIENTO REOLOGICO Y DEPOSICION DE SEDIMENTOS FINOS EN
SUSPENSION
(RHEOLOGIC BEHAVIOUR AND DEPOSITION OF FINE SUSPENDED SEDIMENTS)**

Marcucci, E. (*) y Trujillo X. ()**

(*)INCOSTAS, Apdo. 5353, Caracas 1080 () NOUEL INGENIEROS CONSULTORES, C.A.**

RESUMEN

Los mecanismos de deposición de sedimentos finos suspendidos y de su transformación en sedimentos consolidados son de interés tanto para reconstruir procesos sedimentarios, como para prever sedimentación futura en canales de navegación, puertos, embalses y zonas costeras. El comportamiento reológico newtoniano de suspensiones de baja concentración y densidad (hasta aproximadamente 10 gr/l), cuya tasa de deformación es función lineal del esfuerzo aplicado, permite estudiar los fenómenos de asentamiento, resuspensión y comportamiento viscoso utilizado como parámetros la densidad total, la concentración de la suspensión, la granulometría del material y los esfuerzos cortantes causados por corrientes y oleaje. Por el contrario, el comportamiento reológico no newtoniano (plástico o seudoplástico) de suspensiones de alta concentración (hasta 300 gr/l) y con densidades de hasta 1.30 gr/cc, llamadas "fluff" en Venezuela, no permite relacionar los parámetros medibles "in situ" (concentración y densidad) con los parámetros de viscosidad y rigidez, necesarios para evaluar los procesos de asentamiento y resuspensión de sedimentos finos. Sin embargo, estudios recientes permiten cuantificar en laboratorio los valores de viscosidad y rigidez, requeridos para definir el comportamiento reológico de los fluidos no newtoneanos. De esta forma, se pueden establecer relaciones cuantitativas entre estos parámetros fundamentales y aquellos medibles directamente en el campo. Estas relaciones permiten determinar, por ejemplo, los valores límites del esfuerzo cortante necesario para resuspender el material sedimentado, pudiéndose así estudiar los procesos de transformación desde suspensiones a sedimentos y las tasas de sedimentación resultantes.

ABSTRACT

The mechanisms of deposition of suspended fine sediments and their transformation into consolidated sediments are of interest to study sedimentary processes as well as to know the amount of silting in navigation channels, ports, reservoirs, etc. While it is possible to use parameters which are measurable "in situ" to study the settling, resuspension and viscous behavior of suspensions with low concentration and density, because of their newtonian rheologic behavior, the non-newtonian behavior of high concentration suspensions up to 300 gr/l (called "fluff" in Venezuela) makes it impossible to relate their concentration and density, measurable "in situ", to the viscosity and yield stress values necessary to know the settling and resuspension of fine sediments under the effect of currents and waves. However, recent studies allow to measure in laboratory conditions viscosity and yield stress of non-newtonian fluids such as "fluff", so that quantitative relationships between these last parameters and the density and concentration, measurable "in situ", can be established. The knowledge of these relationships allow to determine the critical shear stress needed to resuspend fine material, so that the settling of suspensions and the rate of silting can be effectively studied.

INTRODUCCION

En ciertos canales de navegación, puertos marítimos, embalses y zonas costeras (estuarios), se encuentra cerca del fondo un material constituido por una suspensión de sedimentos finos con hasta varios metros de espesor, que en Venezuela se conoce con el nombre de "fluff", generada por un fenómeno de floculación. Los flóculos formados son muy ricos en agua, su densidad es del orden de 1.1 gr/cc, y se disponen en estratos con concentraciones de hasta 300 gr/l. Cuando este material se asienta, su peso contribuye a expulsar el agua de los poros y la estructura de los flóculos colapsa, aumentando así su densidad y su rigidez, es decir, su resistencia al corte y a la erosión y transformándose en sedimentos cohesivos debido a la consolidación por carga.

En Venezuela estos sedimentos han sido reportados en el Canal de Navegación del Lago de Maracaibo y Puerto Miranda, en el sector Boca Grande del Canal de Navegación del Río Orinoco, en el Río San Juan y en Pedernales (Edo. Delta Amacuro).

COMPORTAMIENTO REOLOGICO DE SUSPENSIONES

El comportamiento reológico de las suspensiones de sedimentos finos depende principalmente de la rigidez que es la resistencia que ofrece un fluido a la deformación provocada por un esfuerzo cortante y de la viscosidad, que es la relación existente entre el esfuerzo cortante y la tasa de deformación de un fluido (Ver Fig. No. 1).

En los fluidos newtonianos, la tasa de deformación es proporcional al esfuerzo aplicado, siendo este el caso de muchos líquidos (agua) y de suspensiones con baja concentración de sedimentos (menor de 10 gr/l), mientras que en los fluidos no newtonianos plásticos, se tiene que aplicar un esfuerzo crítico antes de obtener una deformación. Los fluidos pseudoplásticos, presentan un comportamiento intermedio entre los newtonianos y los plásticos y finalmente, en fluidos de comportamiento plástico "complejo", el valor del esfuerzo cortante es una función compleja de la tasa de deformación, de acuerdo a las características del material.

El comportamiento reológico de fluidos newtonianos (suspensiones de baja concentraciones y densidad) permite estudiar fenómenos de asentamiento, resuspensión y comportamiento viscoso utilizando como parámetro la densidad total, la concentración de la suspensión, la granulometría del material y los esfuerzos cortantes causados por corrientes y oleajes. Por el contrario, el comportamiento de los fluidos no newtonianos (plásticos o pseudoplásticos) de suspensiones con alta concentración y densidad, no permiten relacionar los parámetros medibles "in situ" (concentración y densidad) con los parámetros de rigidez y viscosidad, necesarios para evaluar el asentamiento de la suspensión y la resuspensión del material en presencia de esfuerzos cortantes por corrientes y oleaje.

METODOLOGIA DE MEDICION

Las mediciones directas posibles en el campo de parámetros relacionadas con el comportamiento reológico de las suspensiones, se limitan a la densidad total de la suspensión y a la concentración de los sedimentos.

Con excepción de estos dos parámetros (concentración y densidad), las otras variables que influyen en el comportamiento reológico de las suspensiones, tienen que ser medidas en el laboratorio (densidad, concentración, granulometría, tiempo de reposo y asentamiento, temperatura, porcentaje de materia orgánica, rigidez y viscosidad), no

presentando mayores dificultades para su determinación, con excepción de la rigidez y viscosidad. De hecho, la medición de estos últimos dos parámetros requiere el uso de micro-viscosímetros que permiten medir el esfuerzo cortante necesario para vencer la resistencia inicial del fluido a la deformación (es decir, la rigidez), así como la viscosidad del fluido, por medio de la relación entre el esfuerzo aplicado y la tasa de deformación obtenida. De esta forma, se pueden construir las curvas, presentadas en la Fig. 1, que definen el comportamiento reológico de las suspensiones.

RELACIONES ENTRE LOS DIFERENTES PARAMETROS Y REOLOGIA DE LAS SUSPENSIONES

Las mediciones de rigidez y viscosidad realizadas en laboratorio de la manera descrita anteriormente, han permitido establecer relaciones experimentales entre estos parámetros y las concentraciones de suspensiones de sedimentos finos (Migniot, 1989). Para la relación entre rigidez y concentración existen dos ecuaciones, una para el caso de fangos fluidos y otra para fangos plásticos. En el primer caso, el valor de la rigidez es proporcional a la 3ra potencia de la concentración, y en el 2do caso, a la 6ta potencia de la concentración, como se indica a continuación:

$$\text{Fango Fluido: } y = b C^3$$

$$\text{Fango Plástico: } y = b' C^6$$

$$y = N/m^2 ; C = gr/l ; b \text{ y } b' = \text{Coeficientes adimensionales}$$

Asimismo, existe una relación experimental entre viscosidad (μ) y concentración (C), siendo $\mu = K C^6$, donde:

$$\mu = \text{poises} = 0.1 \text{ Kg/m.s} ; C = gr/l ; K = \text{Coeficiente adimensional}$$

La tabla anexa muestra estas relaciones experimentales para fangos fluidos ecuatoriales (Migniot, 1989).

CONCENTRACION (gr/l)	RIGIDEZ(N/m ²)	VISCOSIDAD (Poises)
150		0.2
200	2.2	1.1
250		5.0
300	21.0	17.0

Además, datos obtenidos por Migniot (1989) indican que para una cierta concentración se obtienen valores siempre más bajos de rigidez a medida que aumenta el porcentaje de arena presente en la suspensión. Adicionalmente, los valores de rigidez y viscosidad disminuyen a medida que aumentan los valores de temperatura y contenido de materia orgánica, de forma que el comportamiento reológico de los distintos fangos depende de manera compleja del conjunto de los parámetros descritos.

Finalmente, los resultados de ensayos realizados en Venezuela sobre suspensiones del Río San Juan, confirman el efecto del tiempo de reposo de una suspensión sobre los parámetros que afectan el comportamiento reológico. De hecho, la Fig. 2 muestra el incremento de la densidad a medida que aumenta el tiempo de reposo para fangos de distintas densidades iniciales (Marcucci y Trujillo, 1992). Asimismo, la Fig. 3 presenta el efecto del asentamiento diferencial del material por carga. En el caso de una columna

de 116 ml, el asentamiento resultante después de 1000 horas es inferior al de la columna de 450 ml, debido a la mayor carga de esta última. Por lo tanto, se puede inferir que el gradiente de cambio de densidad y de asentamiento no es constante en el tiempo, causándose así variaciones no lineales en las características reológicas del "fluff":

APLICACIONES PRACTICAS DEL CONOCIMIENTO DEL COMPORTAMIENTO REOLOGICO DEL "FLUFF"

La Fig. 4 muestra un caso típico de aplicación práctica del conocimiento reológico del "fluff" (Migniot, 1989). Si una suspensión de sedimentos finos tiene concentraciones que aumentan con la profundidad, dado que estas concentraciones están relacionadas con ciertos valores de rigidez inicial, se puede calcular este último parámetro, obteniéndose la distribución de la rigidez con la profundidad. Conociendo las velocidades existentes en la columna de agua, se puede calcular la velocidad de corte en el fondo y el esfuerzo cortante. Si este último es superior o igual a la rigidez inicial se obtiene erosión, mientras que si por ejemplo, se realizara un dragado a profundidades superiores a la de equilibrio, tiene necesariamente que ocurrir sedimentación hasta esta profundidad.

CONCLUSIONES

El conocimiento de las características reológicas de los sedimentos finos en suspensión, obtenido por medidas de laboratorio de la rigidez y viscosidad, permite, en conjunto con las mediciones en el campo de concentración y densidad de la suspensión y velocidad del fluido, estudiar y determinar los procesos y tasas de sedimentación y erosión en puertos marítimos, canales de acceso, embalses y estuarios, pudiéndose así optimizar los volúmenes y tiempos de realización de los dragados de mantenimiento. Asimismo, el conocimiento de la viscosidad del "fluff" y de los procesos y tasas de asentamiento y consolidación, pueden ser utilizadas para la determinación de las profundidades navegables, definidas por los efectos de fricción de los cascos de los buques sobre las suspensiones, siendo estos una función directa de la viscosidad y del grado de consolidación de dichas suspensiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- MARCUCCI, E. (1991). El "Fluff". Características, Importancia para la Navegación y Metodología para su estudio. Conferencia al INC. Puerto Ordaz, Venezuela.
- MARCUCCI, E. y TRUJILLO, X. (1992). El "Fluff": Características, Comportamiento y Efectos sobre la Navegación con Canales Dragados en Venezuela. XLII Convención Anual ASOVAC, Caracas, Venezuela.
- MIGNIOT, C. (1989). Tassement et Rheologie des Vases. -La Houille Blanche 1, 2 - 1989. París, Francia.

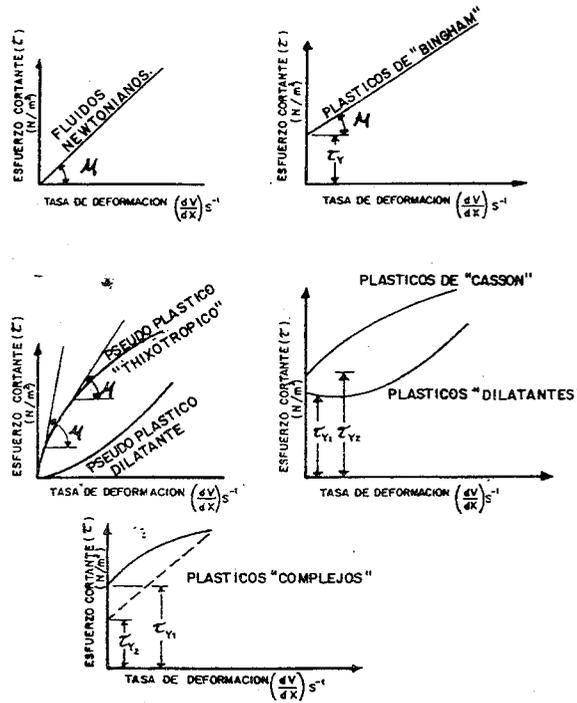


FIG. Nº 1 - COMPORTAMIENTO REOLOGICO DE SEDIMENTOS FINOS EN SUSPENSION (MIGNIOT, 1989)

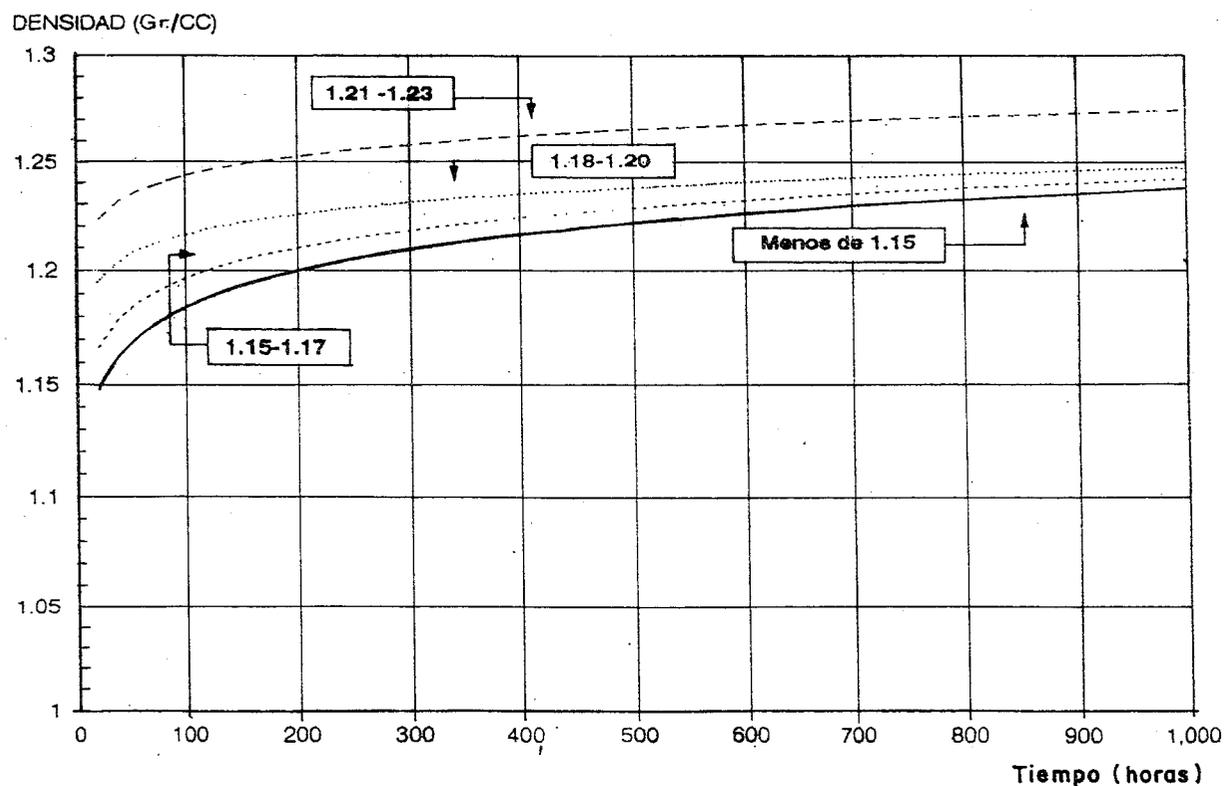


FIG. Nº 2 - COMPORTAMIENTO DEL FLUFF EN LABORATORIO VARIACION DE LA DENSIDAD CON EL TIEMPO (MARCUCCI, 1991)

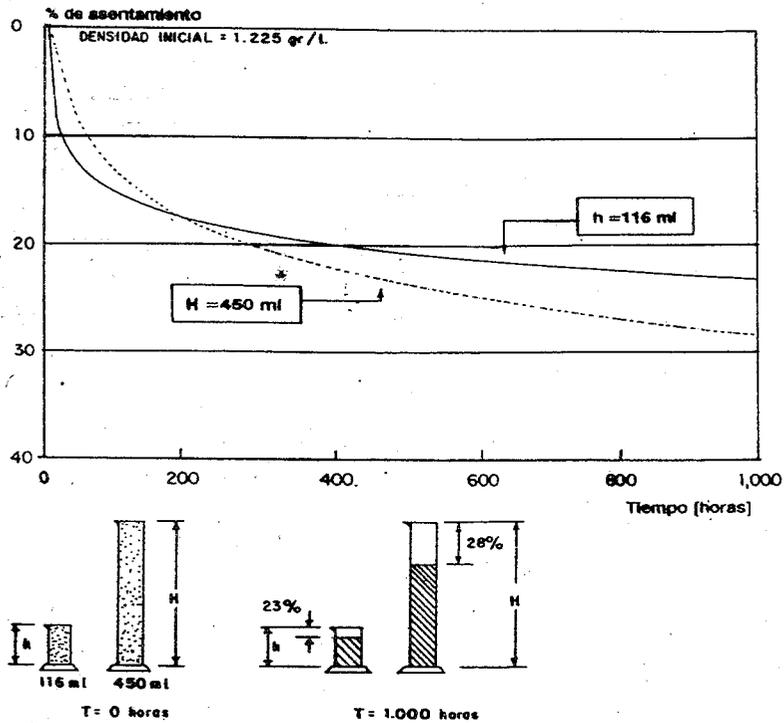


FIG. N° 3 - EFECTOS DEL AUMENTO DE CARGA SOBRE EL ASENTAMIENTO DEL FLUFF (MARCUCCI, 1991)

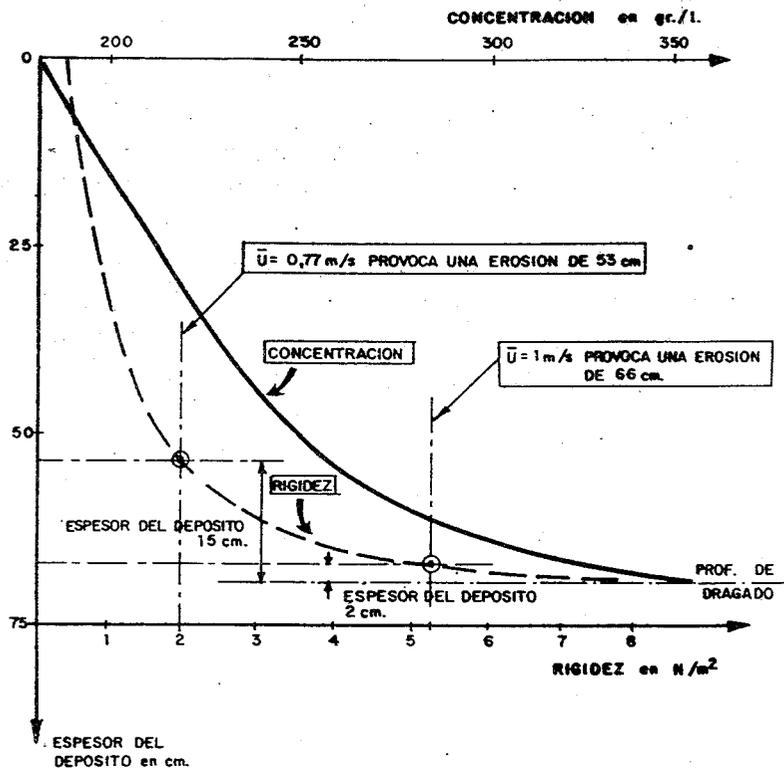


FIG. N° 4.- EROSION POR CORRIENTES Y SU VARIACION EN PROFUNDIDAD DEL DEPOSITO (MIGNIOT, 1.989)