

Calibración teórica y experimental de un humidímetro neutrónico

L.Pérez T., L.Méndez P. y P.Mariño C., Facultad de Física Matemática, Universidad de Oriente. A.Batista L., A.Vega, Dpto. de Física Matemática del ISCAB. F.Guerrero Z., Dpto. de Física Matemática del ISMMM

RESUMEN

En el presente trabajo se reportan los cálculos teóricos realizados mediante un programa de computación en idioma BASIC, de las longitudes de difusión y moderación, coeficiente de difusión y flujo de neutrones térmicos en el suelo cubano del tipo vertisuelo a diferentes valores de humedad, partiendo de la composición química del mismo y empleando la teoría de los tres grupos. Para un rango entre el 28 - 50 % de humedad volumétrica se comparan los valores calculados del flujo de neutrones térmicos con los resultados obtenidos en la calibración experimental de un humidímetro neutrónico de profundidad obteniéndose una excelente concordancia teoría-experimento.

INTRODUCCIÓN

La determinación de humedad en los suelos puede realizarse con gran confiabilidad, rapidez, etcétera, empleando humidímetros neutrónicos, los que se basan en la moderación de los neutrones rápidos emitidos por una fuente isotópica al sufrir colisiones elásticas con los núcleos de hidrógeno que constituyen parte de las moléculas de agua.

El uso efectivo del humidímetro exige su calibración previa (dependencia

de la velocidad de conteo de neutrones térmicos con la Humedad) para cada suelo en particular, por depender ella además de la composición química y de la densidad del suelo. La calibración puede realizarse tanto experimental como teóricamente. La primera es más representativa pero exige un volumen grande de trabajo y la segunda aunque más complicada por no conocerse siempre todas las variables necesarias, es más rápida al usarse las MEC.

En este trabajo se presenta el cálculo teórico de la curva de calibración de un humidímetro para el vertisuelo cubano partiendo de su composición química y se compara con la curva obtenida por vía experimental.

CALIBRACIÓN TEÓRICA

Los cálculos teóricos se realizan partiendo de la teoría de los tres grupos cuyos resultados son los que mejor concuerdan con los experimentales y consiste en dividir el espectro de los neutrones rápidos emitidos por la fuente en dos grupos. La moderación de los neutrones del primer grupo al segundo y los de este al grupo de los neutrones térmicos, que es el tercero, se caracterizan por las longitudes de moderación L_1 y L_2 respectivamente y la moderación total por la longitud de moderación L_m , cumpliéndose que:

$$L_m^2 = L_1^2 + L_2^2 \quad (1)$$

La posterior difusión de los neutrones térmicos se caracteriza por su longitud de difusión L y el coeficiente de difusión D .

El algoritmo de cálculo empleado se toma de /1/ adaptado a lenguaje BASIC en el programa "Humedad /2/, apropiado para una MCE NEC, partiendo de la composición química del vertisuelo, la que se da en la tabla #1.

Las secciones eficaces se toma de /2/ el cálculo se hace para una densidad media del suelo de $1,23 \text{ g/cm}^3$, dividiendo el espectro energético de los neutrones rápidos de una fuente de Am-Be en dos grupos, el primero entre 5,0 y 3,0 MeV y el segundo de 3,0 MeV a 1,44 eV, correspondiendo al tercero a un rango entre 1-0,025 eV.

TABLA No.1

Compuestos	SiO ₂	Fe ₃ O ₂	Al ₃ O ₂	CaO	MgO	Na ₂ O
	58,9	12,9	14,5	4,4	7,5	0,8
Concentración %	59,6	11,9	14,3	2,9	8,1	1,4

En la tabla #1, la primera fila corresponde al vertisuelo gleysoso y la segunda al gleysado.

Los valores calculados de los parámetros que caracterizan la moderación y la difusión de los neutrones se dan en la tabla #2 para diferentes humedades W en % de volumen suponiendo una densidad de $1,23 \text{ g/cm}^3$, y de valores

semejantes para los dos tipos de vertisuelo estudiados, lo que era de esperar debido a la similitud de sus composiciones químicas.

W (% Vol)	D cm ⁻¹	L cm	Lm cm	L ₁ ² cm ²	L ₂ ² cm ²
10	0.92	11.9	15.6	116	128
20	0.60	8.6	12.5	79	78
40	0.35	5.7	9.8	51	46
50	0.29	4.9	9.1	44	39
60	0.25	4.2	8.5	39	33
70	0.22	3.8	8.1	36	29

De acuerdo con la teoría de los tres grupos, el flujo de neutrones térmicos que llega a un detector puntual situado en el lugar donde se encuentra una fuente también puntual (lo que representa de manera muy aproximada la geometría de un humidímetro neutrónico de profundidad) viene dado por la fórmula /1/.

$$\phi(o) = \frac{q_0}{4 \pi D} \frac{L}{L_1^2 + L_2^2} \left[\frac{L_1}{L_1 + L} + \frac{L_2}{L_2 + L} \right] \quad (2)$$

q_0 - Salida de la fuente (n/s).

Como se puede apreciar, no se hacen correcciones por la geometría finita del detector lo que hace más sencillo el programa de cálculo.

CALIBRACIÓN EXPERIMENTAL

La calibración experimental se realizó para los dos subtipos de vertisuelo el gleysoso y el gleysado usando un humidímetro neutrónico de profundidad que consta de una fuente de Am - Be de actividad 30 mCi y un detector de centelleo, colocándose la fuente y el detector en su sonda a una profundidad de 30 cm de la superficie y sobre el eje de las muestras que estaban contenidas en un tanque cilíndrico de diámetro 56 cm y altura 90 cm.

La dependencia de la velocidad de conteo (N) en conteos /min. con la humedad volumétrica (W) para ambos subtipos del vertisuelo se muestran en la Tabla #3.

Tabla #3

W %	28	31	35	39	45,5	49
Gleysoso	10 300	10 500	12 1000	13 100	14 700	17 600
Gleysado	-	10 600	12 009	12 800	14 500	15 500

Como se observa de la tabla #3, la calibración obtenida es independiente del subtipo de vertisuelo, debido a la semejanza de su composición química, lo que era de esperarse, pudiéndose emplear la misma para ambos.

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS TEÓRICOS CON LOS EXPERIMENTALES

Con los valores calculados de D, L y Lm presentados en la Tabla #2, a partir de la Ec. (2), el Programa "Humedad" calcula el flujo de neutrones térmicos $\Phi(o)$ para diferentes humedades.

En la figura 1 se presentan las curvas calculadas teóricamente para el tipo de suelo estudiado, variando la densidad del mismo entre 0,87 - 1,54 g/cm³. Puede apreciarse la fuerte dependencia de las curvas de calibración teórica con la densidad.

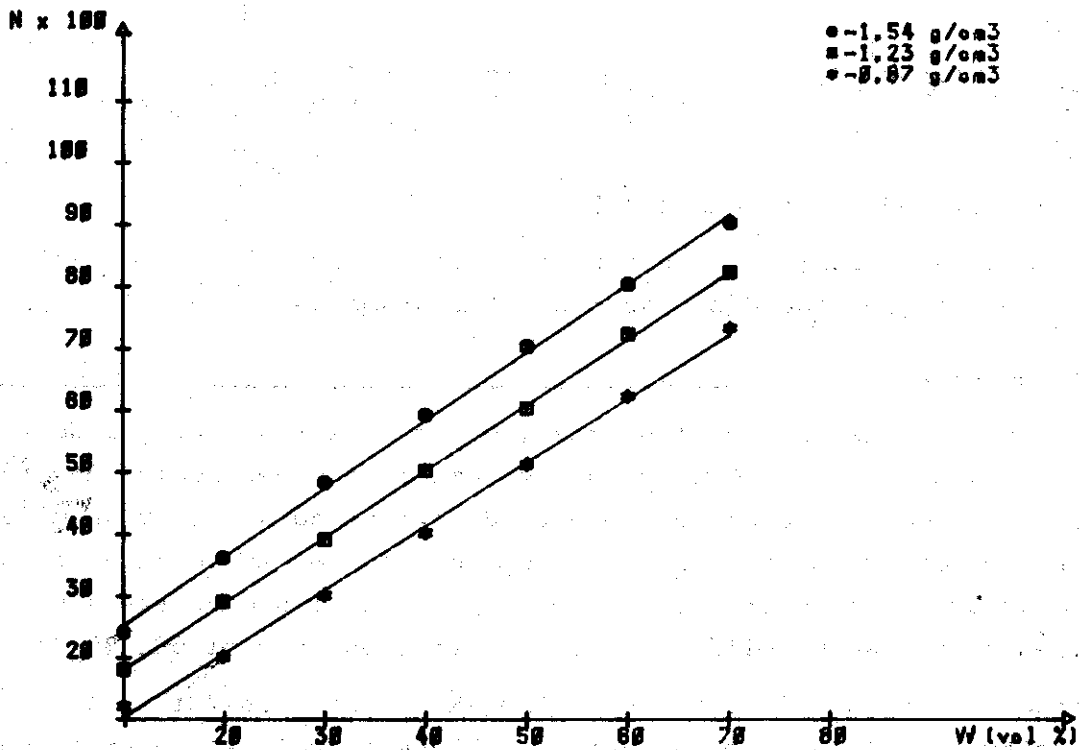


FIG.1 DEPENDENCIA DEL FLUJO NEUTRÓNICO CON LA DENSIDAD

Para la comparación de los resultados de la calibración teórica con las experimentales se tomó la carga correspondiente a $\rho = 1,23 \text{ g/cm}^3$, que es el valor de la densidad de suelo seco del vertisuelo estudiado.

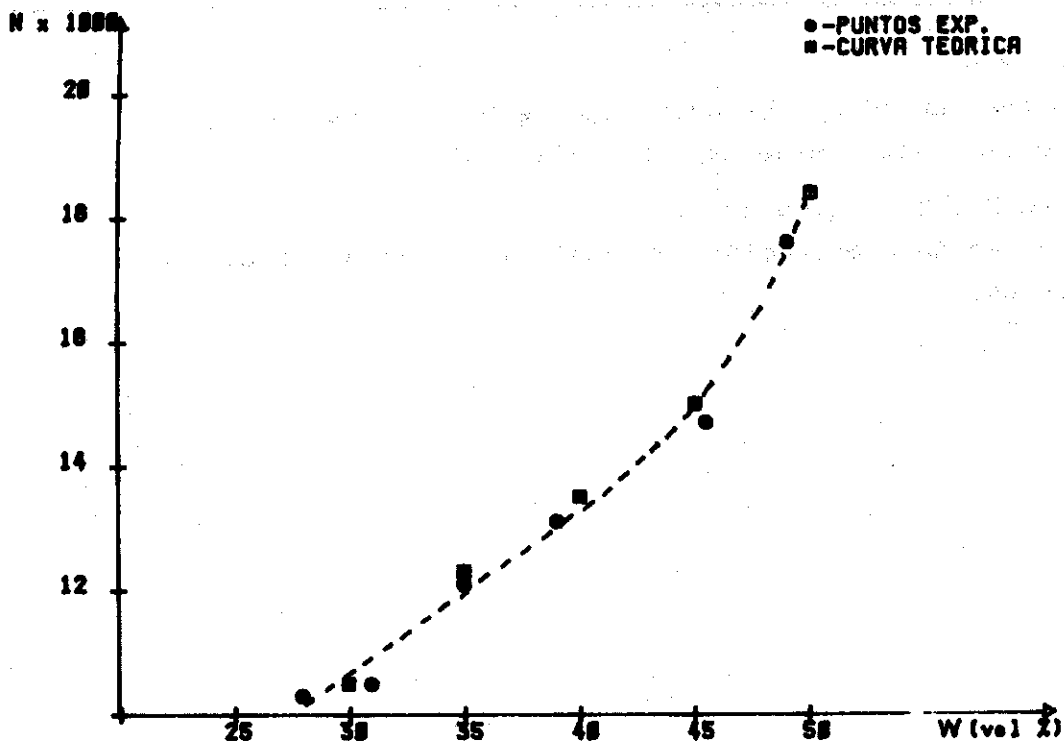


FIG. 2 COMPARACIÓN DE VALORES TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES

En la figura se muestra la composición de los valores experimentales con los teóricos, apreciándose una magnífica concordancia teoría-experimento.

Los valores calculados teóricamente se ajustan a los experimentales introduciendo un factor C, de forma que:

$$C N = \Phi \quad (3)$$

El factor C tiene en cuenta, la efectividad intrínseca del detector, el factor geométrico debido a las dimensiones finitas del mismo y la fuente real, así como la separación espacial de ambos, y en nuestro caso resultó igual a 2,7.

CONCLUSIONES

El algoritmo de cálculo desarrollado permite, conocida la composición química de un suelo, determinar la curva de calibración teórica de un humidímetro neutrónico tomando una densidad igual a $1,23 \text{ g/cm}^3$ e introduciendo un factor de corrección C que depende del humidímetro en particular, en este caso resultó ser igual a 2,7 lo que agiliza el proceso de calibración, ya que el programa "Humedad" empleado realiza el cálculo en 4-5 minutos.

Se puede emplear la misma curva de calibración para los subtipos gleysoso y gleysado del vertisuelo, por ser su composición química semejante en alto grado y obtenerse para ambas calibraciones experimentales similares.

BIBLIOGRAFÍA

/1/ Olgrad, P.L.

"On the theory of the neutronic method for measuring the water content in soil" Rise Rep. No. 97 (1965)

/2/ Guerrero F., Z., L. Pérez T.

Programa de computación "Humedad" (en idioma BASIC), comunicación Privada.