

DETERMINACION DE LA HUMEDAD DE LOS SUELOS POR ENFRIAMIENTO DE UN TERMISTOR

Por: MARONE, V. J. y M. L. GELLON¹

SUMMARY

The purpose of this work is to introduce the possibilities given by a method based on the cooling of a previously heated thermistor for the detection of humidity in soils.

The steps followed are given to show the results which are considered favorable for the application of this method in field conditions.

INTRODUCCION

El contenido de humedad de un suelo es uno de los parámetros de valor decisivo para fijar las condiciones culturales, amén de su importancia en otros campos de la ingeniería.

Su determinación se realiza, clásicamente, por gravimetría, pesando una muestra, secándola a estufa y volviéndola a pesar. El resultado se expresa comúnmente en porcentaje de humedad en peso (o en volumen).

Si bien se considera que ningún otro método es más preciso, el expuesto tiene dos principales inconvenientes: necesita de aparatos no siempre presentes (balanza analítica y estufa), y su aplicación insume mucho tiempo (varias horas).

Por ello han sido propuestos y desarrollados muchos métodos, procedimientos y aparatos que eliminen aquellos inconvenientes sin perder la necesaria precisión.

METODOS DESARROLLADOS

Una revisión de la bibliografía sobre el tema demuestra la existencia de ocho métodos fundamentales, obtenidos por clasificación según el tipo de fenómeno puesto en juego:

1 Profesor Titular y Auxiliar de 1ª, respectivamente, de la Cátedra de Física de la Fac. de Ciencias Agrarias (U. N. de Cuyo).

Métodos Químicos: Están basados en una interacción entre el agua del suelo y una sustancia agregada. Entre ellos se encuentra el fundado en la relación entre la humedad de una muestra y la presión generada por el acetileno proveniente de la reacción entre el agua presente y un exceso de carburo de calcio agregado a la misma, y el basado en la densidad de una muestra hidroalcohólica proveniente de la dilución del agua en alcohol absoluto.

Métodos Eléctricos: Consisten en relacionar una magnitud eléctrica (se ha hecho con resistencias y capacidades) con el contenido de humedad, colocando en el suelo electrodos adecuados.

Métodos Gravimétricos: Se fundan en el cambio de peso de una muestra de suelo, antes y después de remover el agua contenida. A este tipo pertenece el procedimiento expuesto al comienzo.

Métodos Nucleares: Consisten en contar el número de neutrones desacelerados por el hidrógeno del agua contenida en el suelo, provenientes de una fuente de radio berilio.

Métodos de Tensión: Se fundan en el aumento de tensión con la que el agua es retenida por el suelo al decrecer el contenido original de ésta. El agua es llevada al suelo por un medio poroso, creando un vacío parcial en el depósito de reserva.

Métodos Térmicos: Están basados en la variación de la conductividad calórica y del calor específico de una muestra con el contenido de agua. La experiencia que se describe en este trabajo tiene este fundamento.

Métodos Lisimétricos y Métodos Penetrométricos: Utilizados en otros campos de la ingeniería, su aplicabilidad en agronomía es muy limitada.

METODO PROPUESTO

Principio del Método: Consiste en detectar la temperatura de equilibrio que un elemento sensible (termistor), previamente calentado en forma adecuada, alcanza al ser colocado en contacto con el suelo, admitiendo una relación entre la temperatura de equilibrio y el contenido de humedad, ya que éste modifica la capacidad calorífica y la conductividad térmica del suelo.

Descripción del Aparato y Forma de Trabajo: El elemento sensible es un pequeño termistor de 5 ohm a 25°C, dispuesto en uno de los extremos de una varilla que puede introducirse en el suelo. Va conectado a una de las ramas de un puente de Wheatstone alimentado con una tensión superior a la máxima permitida por el termistor, a los efectos de producir su calentamiento. Este se controla

con el mismo instrumento del puente, hasta que la temperatura del termistor en el aire sea de 80°C .

Dadas estas condiciones, se introduce la varilla en el suelo, cuidando de mantener un íntimo contacto termistor - muestra. Puesto que la temperatura inicial del elemento era mayor que la del suelo, se producirá una caída de temperatura en el termistor. Durante el proceso, éste sigue recibiendo energía, por lo que el equilibrio se conseguirá cuando la potencia recibida se iguale con la disipada por el medio. Esta temperatura de equilibrio es, obviamente, mayor que la temperatura original del medio, dependerá del contenido de humedad del mismo y no se mantendrá constante, sino que, después de haber sido alcanzada, comenzará a producirse un lento calentamiento debido a las condiciones dinámicas existentes entre el elemento y el medio.

La determinación de la temperatura mínima se consigue con el puente, equilibrándolo por variación de las resistencias graduadas de dos de sus ramas y tomando como valor de equilibrio el leído en una escala arbitraria que indica la posición del cursor sobre la resistencia variable. Este valor será función, según lo dicho, del contenido de humedad del suelo.

Circuito: Después de distintos ensayos, se optó por un circuito como el de la figura, que se presenta como el más promisorio. F es una fuente de corriente continua de tensión variable y 2 amp. aunque se utilizan 8V e intensidades no mayores de 200 mA. R₁ y R₂ son

1 2

resistencias fijas de 5000 ohm. R₃ es una

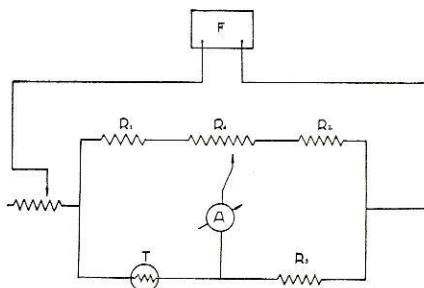
3

resistencia de constan-
tán del orden de la re-
sistencia del termistor

T.— R₄ es una resis-

4

tencia variable y la po-
sición del cursor que
queda indicada en la
escala de lecturas. Co-
mo galvanómetro se
utiliza un amperímetro

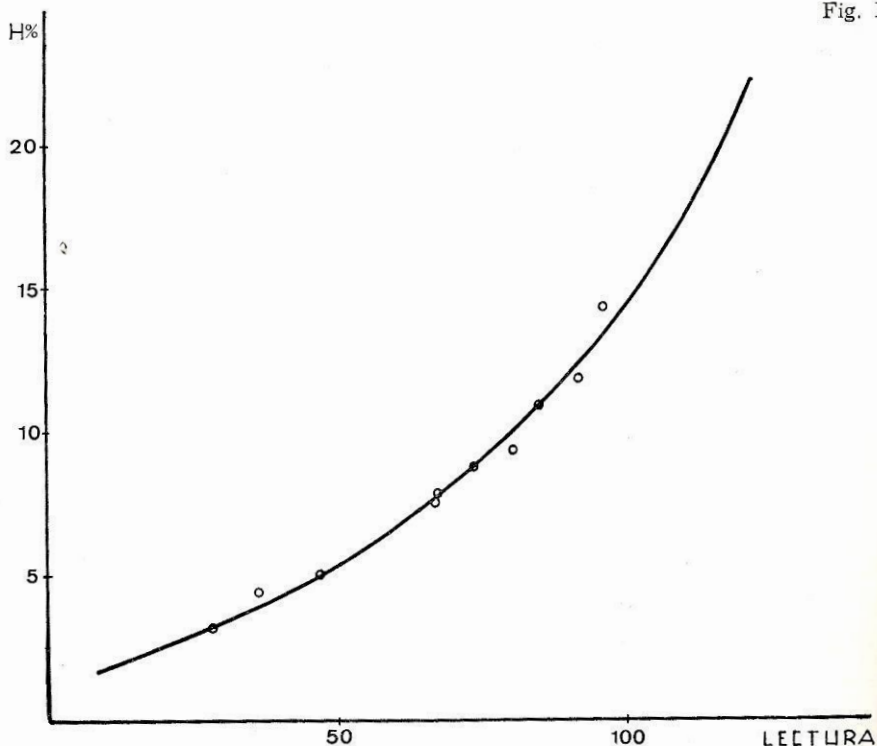


cuyo alcance es de 250 microamperios.

Método de Trabajo: Como era de esperar que la temperatura inicial del suelo influyera en los resultados, aún sin saber en que medida, los primeros ensayos se hicieron cuidando que aquella per-

maneciera en el entorno de los 25°C , pero no constante. Entonces se trabajó con un termistor de 10 ohm y una tensión de 5 V.— Las operaciones realizadas, que coinciden esencialmente con las repetidas en los ensayos posteriores, fueron las siguientes:

Fig. 1



a) Partiendo de una muestra de suelo secado a estufa y previamente homogeneizado, se prepararon muestras de distinta humedad, controladas gravimétricamente.

b) Se conectó la fuente y se esperó que el termistor, en el aire, alcanzara la temperatura de 80°C , lo que se controló con el mismo puente, previamente calibrado.

c) Se introdujo el termistor en una de las muestras y se equilibró el puente cuando la temperatura del termistor dejó de disminuir.

d) Se hizo la lectura en la escala de la resistencia variable.

e) Se repitió el proceso para cada muestra.

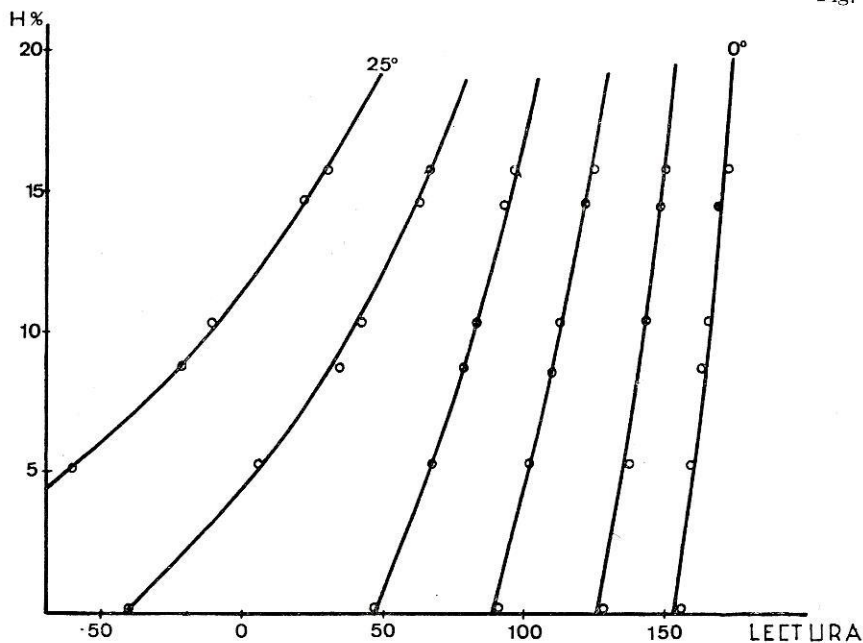
Los primeros resultados se muestran en la figura 1.

En ella se observa una buena dependencia entre las lecturas y las humedades, por lo que el procedimiento ofrece adecuada sen-

sibilidad, pero también se notan desviaciones que limitan su precisión.

Previendo que la posible causa de error podía residir en las diferencias de temperaturas del suelo, se hizo otra serie de ensayos, con lo que se descubrió que las lecturas, efectivamente, dependían decisivamente de las temperaturas iniciales del suelo.

Fig. 2



Se preparó otra muestra, se secó a estufa y se llevó a un refrigerador. Simultáneamente se cambió el termistor de 10 ohm por el de 5 ohm y se adecuó el circuito.

Cada vez que se sacaba la muestra del refrigerador se hacía una serie de lecturas, para distintas temperaturas que se controlaron con un termómetro cuya sensibilidad es de 0,1°C.

Después de cada serie se modificaba la humedad, se volvía la muestra al refrigerador y, producido el enfriamiento, se hacía otra serie de lecturas, controlando la humedad por gravimetría.

Interpolando los valores obtenidos se construyó el gráfico que muestra la figura 2.

Como se ve, el ajuste resulta ahora satisfactorio, pero la sensibilidad se hace insuficiente para bajas temperaturas y disminuye al aumentar la humedad.

Un control de la potencia consumida en el termistor mostró la existencia de una gran variación con la temperatura, por lo que se

incluyó una resistencia de 72 ohm en serie con la fuente y se aumentó la tensión de ésta a 18 V.

Para probar el nuevo circuito fueron preparadas nuevas muestras de suelos, eligiéndose dos arenosos (muestras 1 y 2), dos arcillosos (muestras 3 y 4) y dos francos (muestras 5 y 6) para ver si había diferencias de respuestas al método según el tipo de suelo. Las Tablas 1, 2 y 3 muestran los valores de las series de lecturas efectuadas. Estos valores aparecen graficados en las figuras 3, 4 y 5, con temperaturas-lecturas en los ejes coordenados, y líneas de igual humedad. Usando estas curvas fueron construidos los gráficos que se incluyen como figuras 6, 7 y 8, donde las humedades se encuentran en función de las lecturas, para cada temperatura.

Comparando los nuevos gráficos con la figura 2, se nota un apreciable aumento de sensibilidad para temperaturas bajas y humedades altas y, además, una menor dependencia de la sensibilidad con la temperatura. La desviación standard de los puntos obtenidos respecto de las correspondientes curvas fue de 1,7 divisiones de la

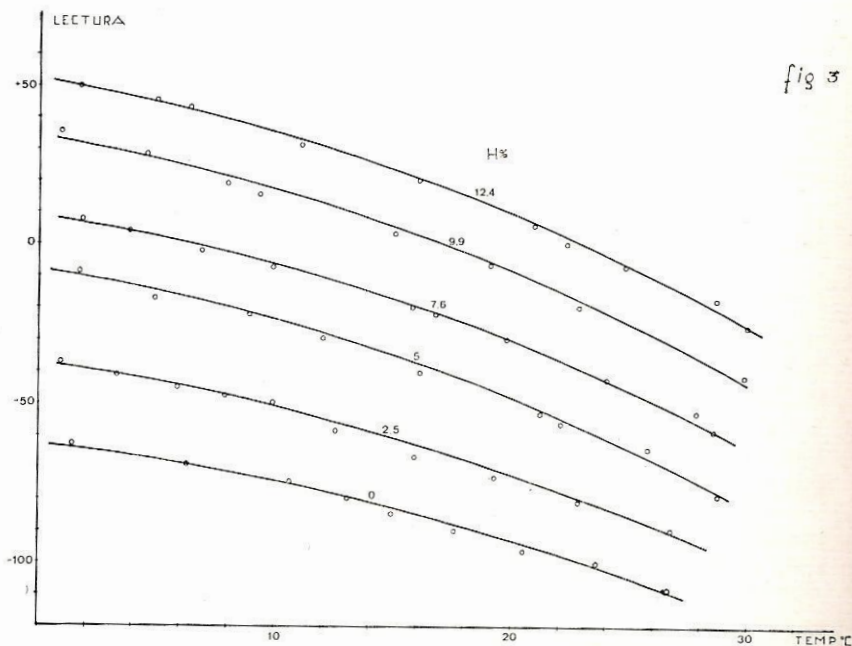


TABLA Nº 1

Muestr.	Temp. Cº	Peso gr.	Hum. %	Lect.	Muestr. Nº	Temp. Cº	Peso gr.	Hum. %	Lect.
1	13,5	226,5	0	- 80	1	17,0	280,7	7,6	-24
2	2,5	271,7	0	- 64	2	20,0	285,4	7,6	-32
1	16,0	266,5	0	- 85	1	2,0	280,7	7,6	+ 4
2	6,7	271,7	0	- 70	2	26,2	285,4	7,6	-44
1	21,0	266,5	0	- 97	1	4,0	280,7	7,6	0
2	11,0	271,7	0	- 75	2	28,0	285,4	7,6	-54
1	27,1	266,5	0	-108	1	7,2	280,7	7,6	- 6
2	18,1	271,7	0	- 70	2	28,8	285,4	7,6	-60
1	24,2	266,5	0	-100	1	10,0	280,7	7,6	-10
2	30,0	271,7	0	F. E.	2	16,1	285,4	7,6	-22
1	16,1	271,5	2,5	- 66	1	15,0	286,2	9,8	0
2	1,1	276,6	2,5	- 38	2	1,0	291,0	9,9	130
1	19,4	271,5	2,5	- 72	1	19,0	286,2	9,8	-10
2	3,6	276,6	2,5	- 42	2	4,6	291,0	9,9	+23
1	23,0	271,5	2,5	- 79	1	23,0	286,2	9,8	-23
2	6,1	276,6	2,5	- 46	2	8,2	291,0	9,9	+15
1	26,8	276,5	2,5	- 88	1	30,1	286,2	9,8	-44
2	10,3	276,6	2,5	- 50	2	9,4	291,0	9,9	+12
1	2,9	271,5	2,5	- 41	1	15,4	291,3	12,4	+15
2	12,6	276,6	2,5	- 60	2	1,8	296,7	12,4	+44
1	8,1	271,5	2,5	- 48	1	21,0	291,3	12,4	+ 4
1	16,2	276,6	5,1	- 42	2	4,9	296,7	12,4	+40
2	1,8	291,8	5,1	- 12	1	22,2	291,3	12,4	- 4
1	22,0	276,6	5,0	- 54	2	6,2	296,7	12,4	+38
2	5,6	291,8	5,1	- 20	1	24,8	291,3	12,4	-10
1	23,0	276,6	5,0	- 56	2	11,0	296,7	12,4	+26
2	9,2	291,8	5,1	- 24	1	28,8	291,3	12,4	-20
1	26,1	276,6	5	- 64	1	16,0	296,5	15,0	+18
2	12,1	291,8	5	- 32	1	30,0	296,5	15,0	-16
1	29,0	276,6	5	- 80					

TABLA Nº 2

Muestr. Nº	Temp. °C	Peso gr.	Hum. %	Lect.	Muestr.	Temp. °C	Peso gr.	Hum. %	Lect.
3	13,5	226,5	0	-80	4	6,3	290,1	8,1	- 12
4	2,5	274,6	0	-110	4	28,2	314,7	8,1	- 78
3	16,8	288,5	0	-118	4	14	290,1	8,1	- 30
4	5,0	274,6	0	-91	4	18,0	290,1	8,1	- 38
3	22,0	298,5	0	-126	4	18,6	322,5	12,0	- 4
4	11,2	274,6	0	-102	4	2,4	298,5	12,0	+ 40
3	28,0	298,5	0	F.E.	4	20,0	322,5	12,0	- 8
4	1,5	274,5	0	-82	4	6,0	298,5	12,0	+ 28
3	15,8	298,5	0	-112	4	24,0	322,5	12,0	- 26
4	8,3	274,8	0	-98	4	10,4	298,5	12,0	+ 20
3	18,1	303,3	2,4	-98	4	29,6	322,5	12,0	- 54
4	2,2	298,5	2,4	-64	4	11,6	298,8	12,0	+ 16
3	22,0	303,3	2,4	-106	4	31,0	322,5	12,0	- 62
4	5,8	298,5	2,4	-72	4	16,6	298,5	12,0	0
3	24,0	303,3	2,4	-112	4	28,0	322,5	12,0	- 47
4	10,6	298,5	2,5	-80	4	18,0	333,3	16,4	+ 40
3	28,0	303,3	2,5	F. E.	4	1,4	307,1	16,4	+ 81
4	14,0	298,5	2,5	-99	4	22,0	333,3	16,4	+ 22
3	20,1	303,3	2,5	-103	3	4,6	307,0	16,4	+ 72
4	16,4	298,5	2,5	-93	3	26,8	333,3	16,4	- 2
3	17,9	308,9	5,2	-64	3	9,0	307,1	16,4	+ 66
4	12,4	284,7	5,2	-32	3	30,2	303,3	16,4	- 22
3	22,2	308,9	5,2	-77	3	13,6	307,1	16,4	+ 52
4	5,0	284,7	5,2	-38	3	31,8	303,3	16,4	- 36
3	29,4	308,9	5,2	-104	3	15,0	307,1	16,4	+ 48
4	9,4	284,7	5,1	-46	3	17,0	334,9	18,2	+ 54
3	12,9	308,9	5,1	-58	3	3,0	310,7	18,2	+ 92
4	1,0	284,7	5,1	-28	3	20,4	334,9	18,2	+ 42
3	26,1	308,6	5,1	-90	3	6,8	310,7	18,2	+ 86
4	8,2	284,7	5,1	-44	3	24,1	334,9	18,2	+ 26
3	17,0	314,7	8,1	-34	3	8,4	310,7	18,1	+ 78
4	20,6	290,1	8,1	-20	3	27,2	334,9	18,1	+ 13
3	20,6	314,7	8,1	-46	3	10,6	310,7	18,1	+ 72
4	1,8	290,1	8,1	-2	3	32,0	334,9	18,1	- 14
3	25,1	314,7	8,1	-62	3	14,4	310,7	18,1	+ 64

TABLA Nº 3

Muestr. Nº	Temp.	Peso gr.	Hum. %	Lect.	Muestr. Nº	Temp. Cº	Peso gr.	Hum. %	Lect.
5	13,5	281,6	0	- 88	5	18,8	295,0	7,2	- 23
6	2,0	303,7	0	- 57	6	3,8	317,0	7,2	+ 26
5	17,0	281,6	0	- 96	5	23,0	295,0	7,2	- 35
6	5,0	302,7	0	- 62	6	5,8	317,0	7,2	+ 15
5	19,9	281,6	0	- 102	5	27,4	295,0	7,2	- 52
6	13,4	302,7	0	- 88	6	11,0	317,0	7,2	6
5	24,1	281,6	0	- 112	5	16,0	303,6	11,0	22
6	16,9	302,7	0	- 92	6	2,1	324,6	11,1	+ 64
5	28,0	281,6	0	F. E	5	18,6	303,6	11,0	16
6	6,8	302,7	0	- 70	6	7,8	324,6	11,1	+ 44
5	17,1	286,4	2,4	- 68	5	21,8	303,6	11,0	0
6	1,6	307,4	2,4	- 31	6	11,9	324,6	11,1	40
5	20,4	286,4	2,4	- 78	5	25,0	303,6	11,1	- 18
6	5,4	307,9	2,4	- 36	6	13,8	324,6	11,1	+ 28
5	23,8	286,4	2,4	- 90	5	30,0	303,6	11,0	- 42
6	9,7	307,4	2,4	- 50	5	17,2	309,2	13,8	+ 40
5	28,2	286,4	2,4	- 108	6	0,6	333,1	13,8	+ 92
6	14,0	307,4	2,4	- 60	5	20,4	309,2	13,8	+ 28
5	17,9	291,4	4,9	- 41	6	3,8	333,1	13,8	+ 84
6	2,8	311,6	5,0	- 2	5	24,0	309,2	13,8	+ 12
5	21,6	291,4	4,9	- 52	6	6,2	333,1	13,8	+ 78
6	7,1	311,6	5,0	- 12	5	30,4	309,2	13,8	- 26
5	24,4	291,4	4,9	- 62	6	10,1	333,1	13,8	70
6	9,9	311,6	5,0	- 22	5	32,0	309,2	13,8	- 30
5	28,0	291,4	4,9	- 80	6	13,2	333,1	13,8	+ 56
6	13,8	311,6	5,0	- 28					
5	29,6	291,4	4,9	- 84					
6	12,0	311,6	5,0	- 27					
5	16,4	295,0	7,2	- 11					
6	1,0	317,0	7,2	+ 32					

fig 4

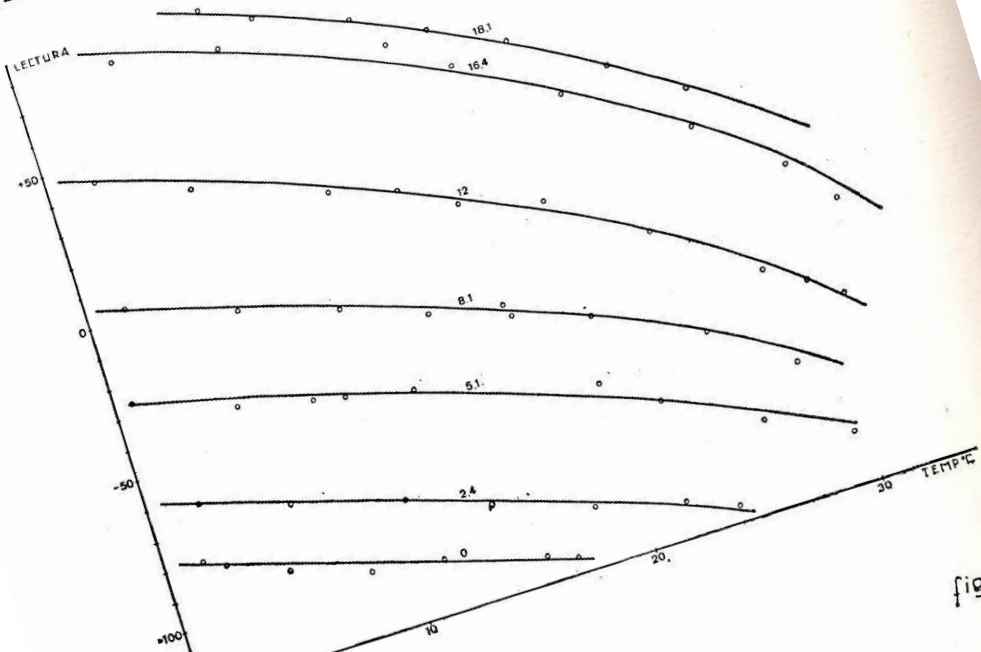
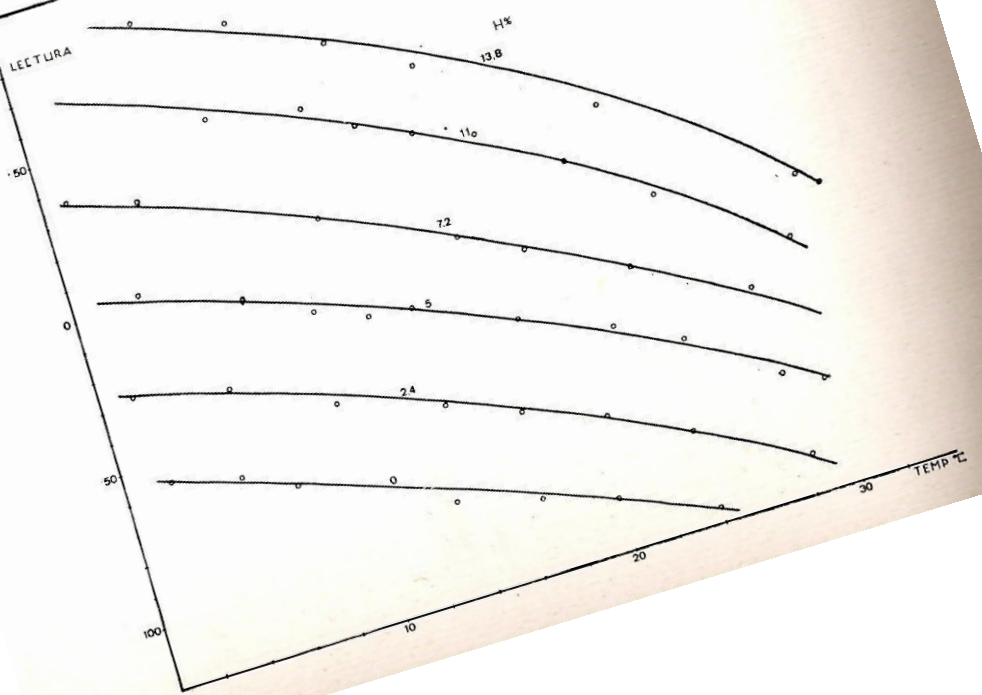


fig 5



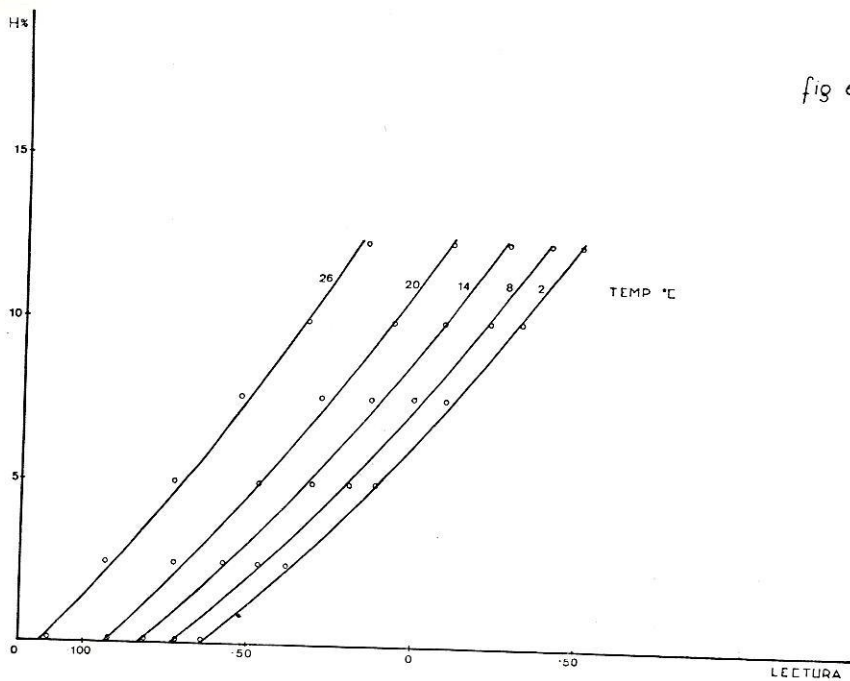


fig 6

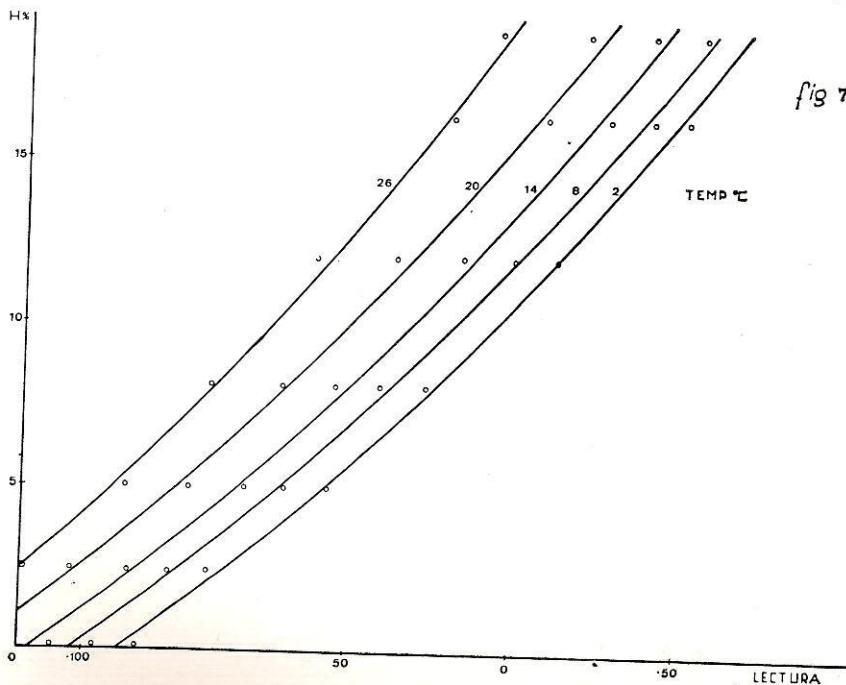
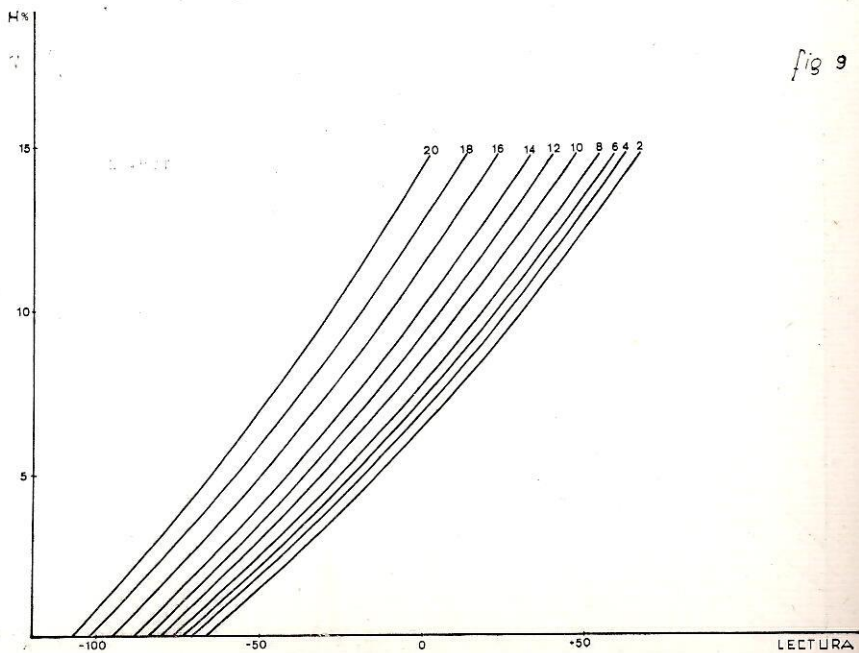
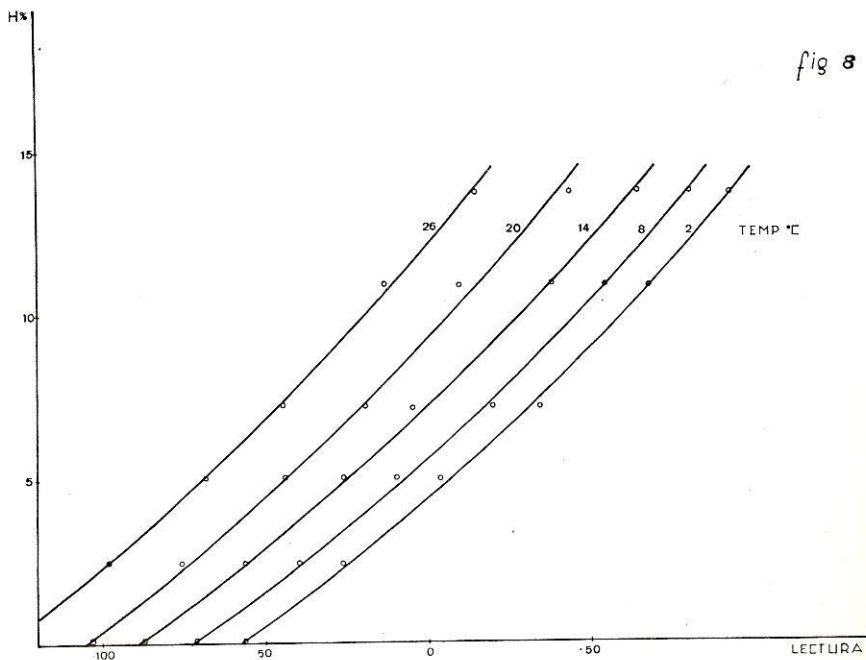


fig 7



escala en las curvas temperatura - lectura y 0,26 % en las curvas lectura - humedad, lo que se considera satisfactorio.

Por último, interpolando, se construyó el gráfico que se muestra como figura 9, con isolíneas cada 2°C, para suelos arenosos, como ejemplo de gráfico típico de trabajo.

CONCLUSIONES

- 1) El método tiene sensibilidad y precisión adecuadas para cualquier temperatura y humedad.
- 2) Es aplicable a distintos tipos de suelos.
- 3) Una ventaja importante es su rapidez, ya que una determinación no insume más de dos minutos.
- 4) Como todo método de laboratorio, debe probar aún sus posibilidades en condiciones de campo, estimándose que éstas son razonablemente promisorias.

RESUMEN

Este trabajo tiene por objeto dar a conocer las posibilidades que ofrece, para la determinación de la humedad de suelos, un método basado en el enfriamiento de un termistor previamente calentado. Se detallan los pasos seguidos y se dan a conocer los resultados, que se consideran promisorios para la aplicación en condiciones de campo.