

## Tesis de Posgrado

# Estudio de algunos suelos argentinos : análisis químico comparado con algunas propiedades físicas

Repetto, Juan Carlos

1941

Tesis presentada para obtener el grado de Doctor en Química de la Universidad de Buenos Aires

Este documento forma parte de la colección de tesis doctorales y de maestría de la Biblioteca Central Dr. Luis Federico Leloir, disponible en [digital.bl.fcen.uba.ar](http://digital.bl.fcen.uba.ar). Su utilización debe ser acompañada por la cita bibliográfica con reconocimiento de la fuente.

This document is part of the doctoral theses collection of the Central Library Dr. Luis Federico Leloir, available in [digital.bl.fcen.uba.ar](http://digital.bl.fcen.uba.ar). It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

**Cita tipo APA:**

Repetto, Juan Carlos. (1941). Estudio de algunos suelos argentinos : análisis químico comparado con algunas propiedades físicas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. [http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_0268\\_Repetto.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0268_Repetto.pdf)

**Cita tipo Chicago:**

Repetto, Juan Carlos. "Estudio de algunos suelos argentinos : análisis químico comparado con algunas propiedades físicas". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1941.

[http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_0268\\_Repetto.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0268_Repetto.pdf)

**EXACTAS** UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



**UBA**

Universidad de Buenos Aires

ESTUDIO DE ALGUNOS SILLIOS AMBITALES

**Estado químico comparado con algunas propiedades físicas**

Trabajo de Tesis  
Presentado por

Juan Carlos Napetto

A la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

Para optar al grado de Doctor en Química

Buenos Aires, diciembre de 1941.-

*Tesis: 268.*

---

Este trabajo ha sido realizado en el Laboratorio de oficina del Departamento de Investigaciones Técnicas y Materiales de la Dirección Nacional de Ferrocarriles.

Hay que constatar el agradecimiento!

A las autoridades de este Departamento que facilitaron la realización de este estudio.

Al Jefe del Laboratorio de Suelos Dr. Lorenzo Hervet y personal a sus ordenes por las determinaciones físico-mecánicas,

Al Prof. Dr. Arnaldo Lupini por la lectura y críticas previas a su redacción definitiva.

Y al Jefe del Laboratorio de Química Dr. Juan F. D'Alessio por sus constantes sugerencias de carácter teórico y experimental.-

## INTRODUCCION

---

El objeto del presente trabajo es el de contribuir al conocimiento de nuestro suelo.

Hemos creído de interés, iniciar nuestro estudio, con la utilización del método internacional de análisis químico con el fin de comparar sus resultados con el método de análisis físico-mecánico que se emplea para clasificarlos desde el punto de vista caminero, en un intento de encontrar semejanza o paralelismo de resultados para suelos clasificados en el mismo grupo. Estas semejanzas, darían fundamentos químicos a la interpretación de los ensayos de rutina.

Se desarrollarán los siguientes temas:

- a) Revisión sumaria de los métodos físicos, químicos y físico-químicos, utilizados en el estudio de los suelos.
  - b) Análisis químico de suelos por el método internacional
  - c) Análisis físico-mecánico de los mismos suelos por el método aconsejado por el Bureau of Public Roads de E.E.U.U. y clasificación de acuerdo con estos resultados.
  - d) Comparación de todos los resultados obtenidos, entre sí y con respecto al lugar que ocupan los suelos en la clasificación.
-

## GENERALIDADES

La diversidad de los métodos utilizados en el estudio del suelo, es una consecuencia de la complejidad del mismo material, que lo hace depender de todas las ciencias experimentales y de la importancia variable de sus propiedades según su utilización.

En Agronomía, son de mayor importancia las propiedades químicas, mientras que en la construcción de caminos, se le atribuye más importancia a las propiedades físicas, lo que da como consecuencia, que el estudio del suelo en estas especialidades haya dado origen a la Química Agrícola y a la Mecánica del suelo. Dieron impulso a estas disciplinas, Hissink y Sigmond a la primera y Tersaghi y Aterberg a la última.

Actualmente, se emplea siempre los resultados de esas dos ramas con el añadido de mediciones físico-químicas. Además para prever el comportamiento del suelo, se realizan sobre él ensayos empíricos de laboratorio, en los que no se miden magnitudes físicas, químicas o físico-químicas sino propiedades, que dependen de varias de dichas magnitudes a la vez, pero con las que se relacionan con un cierto porcentaje de inseguridad, al comportamiento dentro del uso a que se destine.

La plasticidad por ejemplo, es una propiedad pero no una magnitud física y su medida debe ser obligatoriamente empírica o standardizada para que los resultados sean comparables. Esto no impide que, conocida la relación entre este dato y otros análogos, como podrían ser el límite líquido, humedad equivalente de campaña, límite plástico, etc. y el comportamiento del suelo como sub-rasante, por experiencias anteriores, se utilicen estos datos para decidir si un suelo se puede emplear directamente, debe corregirse o desistirse de su uso.

En el mejor de los casos, existe siempre una inseguridad en los re-

sultados, porque en el ensayo intervienen muchas variables y no se puede asegurar en forma absoluta que las condiciones fijadas o "standard", sean suficientes. La mayor experiencia acumulada en cada zona de trabajo junto con la multiplicación de los ensayos, disminuyen aquella inseguridad, pero no la eliminan del todo. Algo análogo podría decirse en cuanto a las relaciones entre los resultados del análisis químico "standard" y las cualidades agronómicas del suelo.

En lo que se refiere al análisis químico, su objeto inmediato será el de establecer relaciones de sus resultados con propiedades importantes para sus distintos usos: en Agronomía, determinando las condiciones químicas (poder nutritivo) ya en los elementos que se encuentran en elevada proporción como en los más raros y como determinantes de las propiedades físicas y físico-químicas que rigen la arabilidad, formación de costras, erosión etc; en Construcción, con las propiedades ya citadas, estabilidad, elasticidad, permeabilidad y otras. Será útil, llegar a establecer, como se ha hecho con otros materiales de naturaleza química poco conocida, relaciones entre datos químicos por cualquier método de análisis y propiedades físicas.

El objeto final sería llegar a conocer por métodos de análisis en parte aún no experimentados, la naturaleza y proporción exacta de todas las especies químicas presentes en el suelo y en posesión de esos datos, explicar, calcular y corregir a voluntad sus magnitudes físicas y físico-químicas de acuerdo al uso a que se destine.

### Breve recopilación de los métodos utilizados en el estudio de suelos.

Nos referiremos solamente a los físicos, físico-químicos y químicos por ser los más inmediatos a la índole de este trabajo. La separación en grupos es de valor relativo, porque siempre

las propiedades resultantes dependen de acciones físicas y químicas.

### MÉTODOS FÍSICOS

#### Análisis mecánico o granulométrico .

Consiste en determinar la distribución de tamaño de las partículas presentes en el suelo en condiciones de tratamiento "standard", parte por tamizado y el resto por velocidad de sedimentación aplicando la ley de Stokes. Los resultados expresan el porcentaje en peso de partículas hasta o entre ciertos diámetros. Las fracciones más finas se pueden separar por supercentrifugación.

#### Constantes y caracteres físicos .

Se refieren a cambios de volumen o de consistencia con el contenido en humedad, determinación de densidad absoluta y relativa, fricción interna, ascenso capilar etc. Más adelante se describirán estos métodos con más detalle.

#### Diagramas de Rayos X .

Con los diagramas roengenográficos, se trata de caracterizar, especialmente en la fracción más fina del suelo, algunos de los tipos de arcillas de composición química definida, como las caolinitas, montmorillonitas y micas hidratadas, cuyas propiedades se conocen muy bien, (1) y (2).

Los tipos característicos de arcillas aceptados actualmente son:

Caolinitas : ( Al<sub>2</sub> ) ( Si O<sub>2</sub> ) O<sub>5</sub> ( O H )<sub>4</sub>

Montmorillonitas: ( Al<sub>2</sub> ) ( Si<sub>4</sub> ) O<sub>10</sub> ( O H )<sub>2</sub>

Mica hidratada: K ( Al<sub>2</sub> ) ( Al Si<sub>3</sub> ) O<sub>10</sub> ( O H )<sub>2</sub> x H<sub>2</sub>O

Los diagramas de rayos X, permiten fijar la ubicación y las distancias entre los distintos átomos y sus modificaciones por el tratamiento

permitiendo explicar bastante bien el mecanismo de hidratación y de intercambio de bases como se verá más adelante al hablar de esta propiedad

### MÉTODOS FÍSICO-QUÍMICOS

#### Análisis térmico .

Se basa en el estudio de las temperaturas características a las cuales pierden su agua de constitución las arcillas puras.

Se efectúa un diagrama de pérdida de peso en función de la temperatura para la fracción "arcilla" perfectamente lavada y se compara con el diagrama correspondiente a las arcillas puras y a distintas mezclas de las mismas, (2).

#### Calor de mojado .

El desprendimiento de calor durante el humedecimiento del suelo, hasta un cierto porcentaje de humedad, es hecho conocido desde muchos años, pero sólo recientemente (3) se emplearon sus resultados para calcular espesores de films líquidos entre partículas. Sus resultados concuerdan en el orden de magnitud, con los calculados a partir del valor T (capacidad total de intercambio iónico) y demuestra que la alta viscosidad de las pastas acuosas de arcilla no se pueden explicar por un aumento de viscosidad del agua en espesores sumamente delgados. Esto ha invalidado la teoría que explica la plasticidad de estos materiales, en base a ese fenómeno, porque los espesores de films son muy grandes en este caso.

#### Intercambio iónico .

Tiene gran importancia para determinar el



comportamiento de los coloides del suelo los llamados iones intercambiables. Por intercambio de iones hidrógeno la partícula de arcilla, toma cantidades relativamente grandes de cualquier catión presente en la solución del suelo,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  y estos iones pueden a su vez intercambiarse con otros que se hallen presentes en la solución.

La cantidad de cationes intercambiables o capacidad total de intercambio T, expresa el número de miliequivalentes de cationes para 100 gr de arcilla seca.(5).

Varias propiedades físicas muy importantes de las arcillas como la plasticidad, contracción etc. están relacionadas con el valor T. Sin embargo es de hacer notar que importa mucho la naturaleza de los iones adsorbidos.

Es evidente que cuando aumenta el área específica de las partículas, debe crecer el valor de T, pero un cálculo del área disponible ha llevado a establecer que la fijación de cationes no se produce únicamente en la superficie, sino también dentro de la red cristalina de las arcillas. El estudio roengenográfico del mecanismo del intercambio de bases, y de la hidratación de las arcillas, ha conducido al mismo resultado. Se ha estudiado (4), la adsorción por arcillas de cationes de gran volumen molecular y comprobado que la distancia entre algunos planos reticulares de las del tipo montmorillonitas, aumenta cuando adsorben dichos cationes. La adsorción de agua también modifica la distancia reticular y por el mismo tipo de estudio, se ha explicado la mayor hidratación de la montmorillonita que de la caolinita, pues en la primera la distancia al estado seco entre dos de los planos del reticulado, es alrededor de tres veces mayor.(6) y (7)

Se explica así, también, las relaciones entre el valor de T y la resistencia a la tracción de arcillas secas.

Además de la capacidad total de intercambio, tiene importancia, la

cantidad de cationes adsorbidos (es decir el grado de saturación de esta capacidad) y la naturaleza de los cationes. Así, una cierta arcilla saturada con iones  $\text{Ca}^{++}$ , adsorbe trescientos por ciento de agua, referido a suelo seco; en cuarenta minutos, mientras que la misma arcilla saturada con sodio adsorbe setecientos por ciento en diez horas.

### Electrodialisis.

Se efectúa sobre la fracción arcilla y permite llevarla al estado hidrogenado total (homoiónico) y por otra parte determinar el estado de saturación para cada ión adsorbido, pues los cationes difundidos son recogidos y dosados.

En la electrodialisis del complejo coloidal del suelo (8), se ha probado que la movilidad de los iones es fundamentalmente función del pH; después de un cierto tiempo de electrodialisis los coloides quedan "no saturados" y llegan a un definido pH, conocido como pH "último". Así los cationes de base insoluble,  $\text{Al}^{+++}$ ,  $\text{Fe}^{+++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$  se movilizan después que el pH ha disminuído a un cierto valor. Arriba de ese valor las bases están muy poco disociadas.

Esto explica el hecho de que en condiciones de humedad natural, las bases fuertes junto con el ácido silíceo que se ioniza a pH alto, son arrastradas con el agua de drenaje, mientras que el Al y el Fe se movilizan debajo de un cierto valor del pH, hecho que se admite hoy ser el mecanismo del proceso de "podsolización" de ciertos suelos. Este proceso consiste en el empobrecimiento de cationes de base fuerte, acidulación y descenso del Al y Fe hasta cerca de la roca madre; característico en bosques de coníferas con bajo contenido de sales en sus hojas cuya caída y descomposición podrían impedir el proceso.

### Absorción de agua.

Consiste en medir el aumento de peso de los suelos o arcillas en presencia de vapores. Se comprueba así, que

dicho fenómeno (9), es dual: 1) aumento debido a condensación y llenado de poros que se mide con tolueno por ejemplo, y que es igual al de agua en materiales como arena pura y 2) un aumento mayor para el agua que para el tolueno en el caso de las arcillas; esta diferencia proviene de la naturaleza química del agua y está relacionada con la estructura cristalina de la arcilla, capacidad de intercambio, hidratación de los óxidos de Fe y Al etc.

Se ha comprobado así, que los coloides minerales del suelo con bajo contenido en sílice sorben cantidades de tolueno y agua similares, mientras que los que tienen relación alta de sílice a sesquióxidos, sorben mucha más agua que tolueno.

### MÉTODOS QUÍMICOS

La característica principal de los datos de cualquier tipo de análisis químico de suelos, es la dificultad de interpretación. Esta es la razón porque, habiendo varios no sean suficientes a pesar a veces de utilizar los resultados de dos o más tipos de ellos. Sólo en pocos casos se determina una especie química definida, pues, en general, se dosa cationes y aniones puestos en solución por ataque de varios compuestos a la vez y que resisten distintamente la acción del reactivo. Sin embargo, en muchos casos presta utilidad porque controla deducciones hechas por otro camino y porque, en caso de métodos empíricos de ataque o solubilización, la comparación de sus resultados para muchas muestras con el comportamiento en Agronomía por ejemplo (10) permiten prever condiciones de trabajo mucho más económica y anticipadamente, de lo que resulta con el ensayo biológico.

Podemos clasificarlos así:

### Métodos de disgregación total.

Se disgrega el suelo con  $C O_3 Na_2$  o  $C O_3 K_2$  o la mezcla de ambos (11) y (12), dosando luego  $Si O_2$ ,  $Al_2 O_3$ ,  $Fe_2 O_3$ ,  $Ti O_2$  etc. y sobre la muestra total  $H$ , materia orgánica,  $C O_2$  y humedad. En este grupo se incluyen los análisis de fracciones separadas mecánicamente, con el objeto de caracterizar las distintas especies químicas: cuarzo, feldespatos, arcillas etc. Debe citarse la utilidad del análisis por disgregación de las fracciones obtenidas en la supercentrifugación del complejo coloidal (15).

### Método llamado racional.

Trata de separar químicamente los componentes principales del suelo: cuarzo, feldespato y materia arcillosa. Uno de ellos (12), arrojada el ataque del suelo con  $S O_4 H_2$  1:1, en exceso, evaporando hasta humos de sulfúrico, deja enfriar, diluye, decanta y extrae el insoluble sucesivamente con álcali ( $C O_3 Na_2$ ,  $NaOH$ ) y  $Cl H$  diluidos y a ebullición. El insoluble remanente calcinado se da como cuarzo más feldespato. Una porción de este insoluble, se disgrega con carbonato de sodio y dosa sílice. El cálculo es el siguiente :

$$100 - (\text{cuarzo} + \text{feldespato}) = \text{arcilla}$$

$$(\text{Cuarzo} + \text{feldespato}) - \text{sílice} = Al_2O_3 + K_2O \text{ en feldespato}$$

Este dato por 2,85% es igual a feldespato % y de aquí se calcula el cuarzo.

De la fracción arcilla hay que descontar las sales solubles, carbonatos, materia orgánica y ácido silícico libre que se determina en muestra aparte.

Otros métodos de análisis racional (13), son el de ataque sulfúrico 1:5 en tubo cerrado a 220° y extracción con hidróxido de sodio al 2 % y el de Hallauer-Marejka, basado en la solubilidad en ácido clor-

hídrico del caolín que ha sido calentado a 500-700. y que tiene poca aplicación en suelos.

Merced a una serie de factores, se puede expresar los resultados del método por disgregación total del suelo, en términos del método racional.

### Método por obtención de extractos .

Se efectúan con distintos disolventes:

**Acuosos:** En estos casos existe la necesidad de clarificar los extractos sea por filtración a través de bujía Chamberland (14), por diálisis con membrana de colodio o por electrodiálisis. Citaremos también (16), la extracción por prensado y centrifugación de suspensiones de suelos húmedos en aceite de vaselina neutro y químicamente inactivo.

**Ácidos:** Entre éstos se encuentra el internacional empleado por nosotros en este trabajo y que se describe en detalle más adelante.

En estos métodos se extrae con soluciones ácidas, de naturaleza y concentración variables según el objetivo de comparación.

Así se utiliza el extracto cítrico (14), (solución de ácido cítrico al 1 %) a temperatura ambiente y durante 24 horas. En el extracto se dosifica especialmente fósforo y potasio, teniéndose así una idea de la cantidad de dichos elementos extraíbles por la planta. En el mismo caso se encuentra la extracción con ácido nítrico N/5.

Se utilizaron también, extractos clorhídricos de concentración y temperatura variables según los autores y los países, haciendo actuar el reactivo un tiempo también variable. La causa de estas variaciones en el método, se debe por una parte a que se trata de hacerlo más exactamente comparable con el comportamiento real del suelo y por otra, para obtener condiciones de trabajo fáciles de reproducir en cualquier laboratorio, lo que permite sacar provecho de la experiencia en otros países. Para una discusión detallada de estos métodos y de su evaluación, ver (17).

Método internacional.

Nosotros hemos empleado este método, aparte de las razones antes expuestas, porque creemos que sus resultados, podrían tener relación con los del análisis mecánico y determinación de constantes físicas, como comienzo de un amplio plan de trabajo, destinado a conocer mejor nuestro suelo.

Este método específico para la obtención del extracto (18), las siguientes condiciones:

a) Proporción: 10 ml. de  $\text{ClH}$  para 1 gramo de suelo y es muy rico en carbonatos u otros compuestos muy atacables por ácidos, de 25 ml. para 1 gr.

b) Concentración del ácido: Es la correspondiente a una solución de  $\text{ClH}$  de punto de ebullición constante e igual a  $110^\circ$  a presión atmosférica normal y que corresponde a una densidad  $15/15$  de 1,1.

c) Duración del ataque y temperatura: Una hora de ebullición a refluxo con un período menor de 15 minutos para iniciar la ebullición.

d) Para disolver la sílice llamada soluble, que resta en el residuo del tratamiento con clorhídrico, se utilizará  $\text{KOH}$  al 5 % densidad  $15/15$  de 1,05 durante 5 minutos a  $55^\circ$ .

En los detalles de obtención del extracto, nos hemos sujetado estrictamente al método internacional y en el análisis del extracto en parte al método aconsejado por Collán y Oruallas en un trabajo (19), en el que emplean este método.

Preparación de la muestra<sup>5</sup> :

El total de la muestra, 20 kilos, se desmenua a mano y se extiende en el suelo, dejando secar durante varios días al aire y mezclando, frecuentemente. La mitad de ella, se pasa por tamiz No. 10 (distancia entre mallas 2 mm.) desechando sólo las gravas que no pasan y sobre un kilogramo se efectúan todas las determinaciones

químicas.

Ataque clorhídrico:

10 gramos de suelo, más 250 ml. de ácido (preparado por dilución del ácido concentrado hasta densidad correspondiente controlando su punto de ebullición); en Erlenmeyer de 500 ml., unido a refrigerante a refluje por serbo hervido con el mismo ácido y luego con agua destilada. Utilizamos esta técnica por no disponer de aparatos con uniones esmeriladas. Se lleva a ebullición en las condiciones especificadas, se deja enfriar, diluye a 450 ml. y deja en reposo hasta el día siguiente. Se decanta el extracto lípido, y el resto se trasvasa a un recipiente de centrifuga de 250 ml. tarado, se centrifuga a 1800 revol./minuto, hasta líquido lípido, decanta y continúa lavando y centrifugando, primero con agua y luego con solución de nitrato amónico al 1 % hasta reacción neutra. Hemos preferido esta técnica, porque la filtración de estos extractos, es muy lenta.

Tratamiento del residuo insoluble :

Se seca al vaso conteniendo el residuo a 110° hasta constancia de peso. El peso de insoluble por 10 de el % de insoluble referido a suelo secado al aire y que contiene toda la sílice insolubilizada por el tratamiento.

2 gramos de este residuo, se trata con 200 ml. de HCl durante 5 minutos a 55° agitando continuamente, luego se enfría con agua corriente y diluye a 450 ml. dejando en reposo hasta el día siguiente. Se filtra por papel y lava hasta reacción neutra con solución de  $\text{U}(\text{NH}_4)_2$  al 1 %, que facilita la filtración.

El filtrado se diluye a 1.000 ml. y sobre 250 ml. se insolubiliza la sílice llevando a seco a baño maría. El residuo se adiciona de 25 ml. de  $\text{HNO}_3$  conc. para destruir la materia orgánica, lleva a seco, adiciona de igual volumen de  $\text{HCl}$  conc., lleva nuevamente a seco a baño maría y finalmente en estufa a 110° durante media hora. Se deja enfriar, se di-

giere el residuo con  $\text{ClH}$  conc. (pequeño volumen) (20), se desmenuza bien los gránulos y luego diluye con unos 100 ml. de agua. Se lleva a ebullición, deja sedimentar y filtra por papel lavando el residuo algunas veces con  $\text{ClH}$  1:100 caliente. El filtrado se lleva nuevamente a seco en la misma cápsula luego en estufa durante una hora y se opera igual que antes lavando la sílice al final con  $\text{ClH}$  1:100 frío. Se calcina en crisol de platino hasta constancia de peso, evapora la sílice con  $\text{PH}$  y  $\text{SO}_4\text{H}_2$  calcina hasta constancia de peso.

$\text{SiO}_2$  insol. % de suelo sec. al aire = peso de  $\text{SiO}_2 \times 2\%$  de insolub.

El % de insoluble verdadero ref. a suelo secado al aire es el % de insoluble calculado a partir del secado a estufa a  $110^\circ$  menos el % de sílice insolubilizada.

#### Tratamiento del extracto clorhídrico :

Este extracto se lleva a seco e insolubiliza y dosa la sílice en la misma forma que antes,; el % obtenido, se suma al anterior y da el % de sílice referida a suelo secado al aire. El filtrado de esta operación, se completa a 500 ml. (al que en adelante llamaremos líquido clorhídrico) y sobre él se determina  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{P}_2\text{O}_5$  como se describe a continuación:

#### Determinación de la suma: $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{TiO}_2$ y $\text{P}_2\text{O}_5$ :

100 ml. de líquido clorhídrico, se hierve con algunas gotas de  $\text{HNO}_3$  conc. hasta oxidación total del  $\text{Fe}$ , añade 10 ml. de  $\text{ClNH}_4$  al 20 %, unas gotas de rojo de metilo y ppta. a ebullición con  $\text{NH}_3$  diluido al  $\frac{1}{2}$  gota a gota hasta viraje (21). Deja sedimentar y filtra por papel, lavando con  $\text{ClNH}_4$  al 2 % algunas veces; se redissuelve con  $\text{ClH}$  dil. y reppta. para purificar, filtra lava y calcina en crisol de platino aléoplete hasta peso constante.

$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5$  % de suelo sec. al aire = peso ob-



tenido  $\times 50$

Determinación de CaO.:

Los líquidos reunidos de la separación anterior se acidulan con ClH añadiendo 5 ml. en exceso, se concentran a 200 ml. añade 50 ml. de solución saturada y caliente de oxalato de amonio, calienta a unos 80° y ppta. el oxalato de calcio, añadiendo NH<sub>3</sub> al  $\frac{1}{2}$  hasta viraje del rojo de metilo (22). Filtrar después de una hora, lavar con oxalato de amonio al 0,1 % 4 o 5 veces, disolver en ClH 1:4 y repptar., filtrando y lavando hasta reacción negativa de cloruros con la misma solución. El ppto. se calcina en crisol de platino a 1.200 hasta peso constante.

$$\% \text{ de CaO suelo seco al aire} = \text{peso de CaO} \times 50$$

Determinación de MgO.:

Los filtrados de la ppción del calcio, se adicionan de 75 ml. de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> conc. (23) y llevan a seco en baño maría, para eliminar las sales de amonio, especialmente el oxalato. Se extrae con 2 ml. de ClH conc. y 25 ml. de H<sub>2</sub>O, calienta filtra y determina en el filtrado el Mg. de la siguiente manera:

Diluir a 150 ml. añadir 10 ml. de PO<sub>4</sub>H<sub>2</sub> al 25 % recientemente preparado, algunas gotas de rojo de metilo, enfriar con hielo y pptar. con NH<sub>3</sub> conc. lentamente y agitando hasta viraje; seguir agitando y añadiendo NH<sub>3</sub> para mantener amarilla la solución y luego 5 ml. en exceso, agitando 2 o 3 minutos. Filtrar al día siguiente, lavar pocas veces con NH<sub>3</sub> 1:20 en frío, redissolver con ClH 1:10, diluir, repptar. y filtrar en la misma forma, lavando al final con la misma solución hasta reacción negativa de cloruros. Calcinar en crisol de platino, al soplete hasta peso constante.

$$\% \text{ de MgO suelo secado al aire} = \text{peso de P2O7Mg} \times 0,3621 \times 50$$

Determinación de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.:

50 ml. de líquido clorhídrico, se llevan a humos de sulfúrico con 3 ml. de SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub> conc. en baño de aire, se deja enfriar y diluye a 100 en Erlenmeyer de 250 ml. provisto de tapa esmerilada con dos tubos para hacer burbujear SH<sub>2</sub> por la solución, (24). Se pasa SH<sub>2</sub> lavado y durante media hora, luego otros 10 a 15 minutos a ebullición y se deja enfriar en corriente de gas. Se filtra por papel lavado con sulfúrico diluido y lava con agua sulfúrica acidulada con SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub>. Al filtrado contenido en Erlenmeyer análogo, se añade 15 ml. de SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub> 1:1 y hace pasar CO<sub>2</sub> durante 20 minutos a ebullición y luego deja enfriar en corriente de gas, diluye a 150 ml. añade unas gotas de PO<sub>4</sub>H<sub>3</sub> al 85 % y titula con MnO<sub>4</sub>K 0,05 N.

El CO<sub>2</sub> empleado es el que se expende comprimido y al que hicimos burbujear a través de 2 frascos lavadores con solución de pirogalato de potasio para librarlo de O<sub>2</sub>.

$$\frac{\% \text{ de Fe}_2\text{O}_3 \text{ suelo seco al aire}}{100} = \frac{\text{ml. MnO}_4\text{K} \times 0,003292 \times 100}{\text{ml. solución}}$$

Determinación de TiO<sub>2</sub>.:

La reducción del Fe con SH<sub>2</sub> permite el dosaje del Ti en la misma solución ya que no lo reduce a Ti<sup>+++</sup> y no introduce interferencias como con el Cl<sub>2</sub>Sn.

La solución resultante de la titulación del Fe se concentra, adiciona de 5 ml. de SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub> conc. enfría añade 5 ml. de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 3 % y lleva a 100 ml.; se prepara un testigo en forma semejante, pero antes de completar a 100 se añade, hasta aproximadamente igual color, solución standard de (SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Ti (preparada por disgregación con SO<sub>4</sub>H<sub>2</sub> del TiO<sub>2</sub> pro-análisis, 1 ml. - 0,001 gr. de TiO<sub>2</sub>), se completa a 100 y se compara al colorímetro. Del volumen de solución standard y de la lectura colorimétrica, se calcula el TiO<sub>2</sub> %.

Determinación de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

100 ml. de líquido clorhídrico se llevan a seco con HNO<sub>3</sub> conc. (25) para eliminar los cloruros y luego se calienta el residuo hasta color marrón, se extrae con 10 ml. de HNO<sub>3</sub> 1:3, hierve algunos minutos, filtra por papel pequeño en vaso de 150 ml. y lava el residuo con HNO<sub>3</sub> 1:3 caliente hasta completar 40 ml. Enfriar a cerca de 50°, añadir 17 ml. de NH<sub>3</sub> 3:7 y luego 38 ml. de molibdato de amonio (preparado por añadido de una solución de 25 gr. de MoO<sub>3</sub> en 68 ml. de H<sub>2</sub>O, más 36 ml. de NH<sub>3</sub> conc. a otra de 122 ml. de HNO<sub>3</sub> conc. más 287 ml. de H<sub>2</sub>O); agitar 5 a 10 minutos y dejar en reposo hasta el día siguiente. Se filtra por Gooch y lava con HNO<sub>3</sub>NH<sub>4</sub> al 5% acidulado con HNO<sub>3</sub>, (bastante a 50 ml.).

Se seca el crisol a 110° y luego gradualmente se calienta a 450°-500° hasta constancia de peso.

$$\% \text{ de P}_{2}\text{O}_{5} \text{ suelo seco al aire} = \text{peso de P}_{2}\text{O}_{5} \cdot 24 \text{ MoO}_{3} \times 0,03946 \times 50$$

Cálculo del Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

La suma de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiO<sub>2</sub> + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> % de suelo seco al aire - (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiO<sub>2</sub> + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> % suelo sec. aire

Determinación de Na<sub>2</sub>O.

Utilizamos el método de Kabane según la técnica propuesta por Wright y que nosotros tomamos de Gollan y Lachaga, (19). 50 ml. de líquido clorhídrico, colocados en una capsulita, se adicionan de una pequeña cantidad de creta lavada, se lleva a seco en baño maría y calcina ligeramente. Se agregan pequeñas porciones de agua caliente y se filtra recogiendo el filtrado en un matrazo de 50 ml.

25 ml. de esta solución, se concentra hasta 6 o 7 ml. agrega 15 ml. de reactivo de Kabane (solución acética de acetato de magnesio. acetato de uranilo en alcohol al 90% y filtrado después de varios días), a-

gita durante  $\frac{1}{2}$  de minuto y deja en reposo 1 y  $\frac{1}{2}$  horas. El ppdo. de  $\text{Na}(\text{UO}_2)_3 \text{Mg}(\text{OH})_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$  se filtra por vidrio poroso (10 G3), se lava 2 veces con 2 ml. de reactivo, luego con 5 porciones de alcohol previamente saturado de uranil acetato de sodio y magnesio y finalmente con 3 porciones de éter. Se pesa después de 20 minutos de permanencia a temperatura ambiente.

$\frac{1}{2}$  de  $\text{Na}_2\text{O}$  suelto sec. aire peso de acetato triple 2.022

#### Determinación de $\text{K}_2\text{O}$ .:

10 ml. de la solución del matracito de 50 obtenida anteriormente, se colocan en tubos de centrifuga graduado de 15 ml. y se añade gota a gota y agitando 1 ml. de reactivo preparado según (19).,  $\text{Co}(\text{NO}_2)_6\text{Na}_3$ . Se tapa, deja 45 minutos a temperatura ambiente y agrega 1 ml. de  $\text{H}_2\text{O}$ ; se agita con varilla, se lava ésta y las paredes del tubo con otro ml. de  $\text{H}_2\text{O}$ .

Se centrifuga a 2.000 rev/minuto durante 10 minutos, decantando el líquido claro. El ppdo. obtenido cobaltinitrido de potasio, se lava con 1 ml. de alcohol al 70% en volumen, se agita con varilla y lava ésta y las paredes del tubo con otro ml. de alcohol, se centrifuga durante 10 minutos, decanta el alcohol claro y repite el lavado 3 veces. Después de volcar el líquido del último lavado con alcohol, agrega 1 ml. de  $\text{H}_2\text{O}$ , se agita y lava como antes la varilla y las paredes con otro ml. de  $\text{H}_2\text{O}$  y se coloca el tubo al baño maría hasta disolución total. Una vez disuelto, se lleva el volumen a 4 ml. con agua y luego a 10 con solución de volúmenes iguales de acetona y sulfocianuro de amonio al 46,84%. Se forma  $(\text{Co}(\text{SCN})_4(\text{NH}_4)_2)$  de color verde azulado y cuyo coeficiente de extinción se determina con el fotómetro de Pullfrich usando el vidrio verde N: 50 y cuba de 10 mm. de espesor. El cálculo es el siguiente:

$\frac{1}{2}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  suelto sec. aire =  $500 \times 0.00127 \times$  lectura fotométrica

El factor 0,00127 es el valor del coeficiente de extinción, determinado para este método.

#### Determinación de SO<sub>3</sub>.

Sobre un volumen conveniente de líquido clorhídrico, aconsejado por un ensayo cualitativo, se separa Fe, Al, Ti y Ca como se describió antes y se destina a la determinación de SO<sub>3</sub> como SO<sub>4</sub>Ba. La solución ligeramente acidulada con ClH se lleva casi a ebullición y ppta. con Cl<sub>2</sub>Ba al 10 % agitando continuamente, se deja sedimentar y prueba la ppeión. completa con algunas gotas de la misma solución de Cl<sub>2</sub>Ba y se mantiene cerca de la temperatura de ebullición durante 2 a 3 horas. Se filtra por papel, lava con agua caliente hasta reacción negativa de cloruros y calvina en crisol de porcelana al rojo, hasta constancia de peso.

$$\% \text{ de SO}_3 \text{ suelo secado al aire} = \frac{\text{peso SO}_4\text{Ba} \times 0,343 \times \text{dilución}}{\text{peso muestra}}$$

#### Determinaciones no incluidas en el método internacional.

Con el objeto de tener una idea más completa sobre los suelos, hicimos otras determinaciones sobre los mismos que consideramos de utilidad, a los efectos de comparación, empleando siempre los mismos métodos para todos.

Se llevaron a cabo determinaciones de materia orgánica total, CO<sub>2</sub>, Cl<sup>-</sup> y pérdida por calcinación para obtener con esta última un dato aproximado de H<sub>2</sub>O combinada.

#### Determinación de CO<sub>2</sub>.

De entre los varios métodos propuestos hemos preferido el aconsejado por la A.O.A.C. (26), con algunas modificaciones que venimos utilizando en este Laboratorio con resultado muy satisfactorio.

Consiste en atacar el suelo con ClH recogiendo en exceso de solu-

ción normal de NaOH (torre de absorción alrededor de 40 cm. de alto, llena de trozos de varilla de vidrio) y titulando por retorne; la operación se efectúa así:

5 a 50 gramos de suelo, según el contenido en carbonatos, pulverizados y pasados por tamiz N.º 60, se introducen en un Erlenmeyer de 250 ml. provisto de tubo de desprendimiento, unido a la torre de absorción a través de un refrigerante de aire y de ampolla de decantación. Cerrado el aparato, se hace pasar aire desprovisto de CO<sub>2</sub> para librar de éste al aparato durante 5 minutos. Se carga la torre con 25 ml. de NaOH 1 N, se ataca el suelo haciendo caer sobre él 60 ml. de ClH 1:9 conteniendo 5 % de Cl<sub>2</sub>Sn, se aplica succión al extremo superior de la torre para recoger el CO<sub>2</sub> y para arrastrar a éste con aire libre de aquél, calentándose el recipiente hasta que cese el desprendimiento después de lo cual se sigue pasando aire durante 20 minutos. El líquido de la torre se recoge en un Erlenmeyer de un litro, provisto de tapón con tres agujeros: uno para unirle a la base de la torre, otro para dirigir la corriente de aire al interior del frasco y el último para una válvula de Bunsen. En el Erlenmeyer de litro, se introducen 10 ml. de solución de Cl<sub>2</sub>Ba. 2 H<sub>2</sub>O, al 25 % (neutro), reemplaza el aire por aire libre de CO<sub>2</sub> y recoge la solución de la torre, lavando hasta completar 500 ml. con agua hervida y fría. Se separa el frasco de la torre, añade unas gotas de fenolftaleína e inserta en el agujero correspondiente a aquella una bureta de 25 ml. con ClH 1N y se titula el exceso de NaOH.

$$\% \text{ de CO}_2 \text{ suelo sec. aire} = \frac{\text{ml. de NaOH N} \times 0.022 \times 100}{\text{gr. muestra}}$$

#### Determinación de materia orgánica.:

Se efectúa en el mismo aparato anterior (27), porque se dosa CO<sub>2</sub> proveniente del carbono orgánico del suelo oxidado por medio de ácido crómico.

Cantidad de suelo : 1 a 5 gramos según el contenido

Líquido de ataque:

a) 85 gr. de  $\text{CrO}_3$  en 100 de  $\text{H}_2\text{O}$  y llevados a 250 ml. con ácido fosfórico al 85 %.

b) Mezclar volúmenes iguales de  $\text{PO}_4\text{H}_3$  al 85 % y  $\text{SO}_4\text{H}_2$  conc. y previamente hervido.

Se ataca con 10 ml. de solución a y 40 de solución b, manteniendo la ebullición durante media hora, En este caso es necesario, hacer un ensayo en blanco con los reactivos solamente.

En esta determinación se obtiene  $\text{CO}_2$  correspondiente a la materia orgánica más el proveniente de carbonatos ya determinados; la diferencia es el  $\text{CO}_2$  correspondiente al carbono orgánico. El pasaje de carbono orgánico a materia orgánica se efectúa por factores variables según los autores, nosotros utilizamos el siguiente cálculo:

$$\% \text{ de materia orgánica suelo sec. aire} = \frac{\text{Carbono orgánico \%}}{0,64}$$

#### Determinación de Cloro de cloruros.:

Una cantidad de suelo conveniente, aconsejado por ensayo previo, en extracto nítrico, se hierve con  $\text{HNO}_3$  2 N, deja sedimentar, filtra y lava con agua caliente acidulada con el mismo ácido hasta reacción negativa de  $\text{Cl}^-$ . En el filtrado, se determina  $\text{Cl}^-$  por el método de Volhard, añadiendo 5 ml. de  $\text{HNO}_3$  1:1 y titulando hasta pequeño exceso con  $\text{HNO}_3\text{Ag}$  0,1 N. Se agita con 2 ml. de nitrobenzene puro para coagular el ppdo. y se titula el exceso de  $\text{HNO}_3\text{Ag}$  con  $\text{SCN}^-$  0,1 N, utilizando 2 ml. de solución saturada de alumbre de hierro como indicador.

$$\% \text{ de } \text{Cl}^- \text{ suelo sec. aire} = \frac{100 \times \text{ml. } \text{HNO}_3\text{Ag. 0,1 N} \times 0,003545}{\text{gramos de muestra}}$$

#### Determinación de humedad y pérdida por calcinación.:

Efectuamos ambas determinaciones sobre

la misma muestra. 3 gr. de suelo secado al aire se lleva en cápsula de platino hasta peso constante en estufa a 110°. Como el residuo resulta muy higroscópico, es conveniente dejar poco tiempo en el desecador y pesar muy rápidamente; la pérdida de peso se expresa como humedad a 110°.

Cuidadosamente, para evitar proyecciones se lleva la cápsula a 800-900°, durante una hora para volatilizar toda la materia orgánica y el agua combinada, se deja enfriar, humedece con solución saturada de carbonato de amonio y después de secar a baño maría se mantiene a 200°, hasta constancia de peso, repitiendo la recarbonatación hasta que no aumente de peso lo que asegura que la operación es completa.

En estas condiciones, sólo se volatiliza la materia orgánica y el agua combinada, a temperaturas mayores de 800 a 900° hay peligro de pérdida de cloruros y aún de SO<sub>3</sub>; de la pérdida por calcinación recarbonatada % menos la materia orgánica % se obtiene el agua combinada, (todos referidos a suelo secado al aire).

---



## ANÁLISIS MECÁNICO Y DETERMINACION DE CONSTANTES FISICAS

Describiremos someramente los métodos utilizados en la obtención de los datos que figuran en el cuadro final. Para una descripción detallada, ver (28), Gollan y (33).

### Análisis mecánico.:

Tiene por objeto clasificar las partículas elementales constituyentes de los conglomerados que se encuentran en el suelo, determinando también su proporción. Con ese objeto habrá que separar esas partículas por métodos que deben ser necesariamente estándar, en el modo y reactivos utilizados.

Según el Bureau of Public Roads se efectúa con un juego de tamices y un areómetro. Por densimetría se establece, el peso de partículas pequeñas, determinando la concentración de la suspensión del suelo dispersado, a medida que se sedimenta y por tamizado las partículas mayores; la clasificación por tamaños es la siguiente:

Material grueso o gravas	Partículas mayores de	2 mm.
Material fino o mortero	" menores de	2 "
Coloides	" " "	0,001 mm.
Arcilla	" " "	0,005 "
Limo	" de	0,005 a 0,050 "
Arena fina	" de	0,050 a 0,420 "
Arena gruesa	" de	0,420 a 2 mm.

Prácticamente se procede así: 100 gr. de suelo, si es arenoso o 50 gr. si es arcilloso o limoso, se dispersa en un agitador especial, mezclándolos con agua a la que se añade según los casos solución N de SiO<sub>2</sub>Na<sub>2</sub> 5 ml. agitando durante 5 minutos para índice de plasticidad entre 0 y 5 y 10 ml. durante 10 minutos para índice de plasticidad entre 5 y 20. En el caso de índice de plasticidad mayor de 20, se efect

túa un tratamiento con 100 ml. de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 6 %, luego a baño maría 1 hora y se agita al día siguiente, durante 15 minutos.

Finalizada la agitación, se trasvasa a una probeta de litro y se completa. Se controla la temperatura, se agita la probeta e inmediatamente se comienzan las lecturas con el areómetro de Bouyocous (29), (30) y (31) a los 1, 30 y 1.440 minutos. Este aparato se gradúa en densidades o directamente en concentraciones de la suspensión al nivel del bulbo.

Finalizado este ensayo, se separa por tamizado las fracciones gruesas, se secan y pesan.

El porcentaje de suelo en suspensión, correspondiente a cada lectura se calcula por la fórmula siguiente:

$$\% = 100 \frac{1.604,5 (d - S - 1) C}{P}$$

Siendo P la cantidad de muestra empleada, d la densidad lida en el areómetro, S corrección por temperatura y C la corrección según el peso específico del suelo analizado.

El diámetro de las partículas se calcula en base a la ley de Stokes, según Bouyocous, por la fórmula:

$$E = \sqrt{\frac{30 \text{ m l}}{980 (D_s - D) T}}$$

Donde E es el diámetro en mm.,  $\eta$  la viscosidad en poises del agua, l la distancia o altura de sedimentación en cm., T el tiempo en minutos  $D_s$  densidad ~~de la suspensión~~ del suelo y D la densidad del agua a 20

Es de hacer notar, que los valores de diámetros se refieren a diámetros medios, además las partículas no son esféricas y por lo tanto, sólo es aplicable aproximadamente la ley de Stokes.

#### Constantes Físicas:

Son ensayos empíricos (32), realizados

en condiciones "standard", que se emplean con fines de clasificación, relacionándolos con el comportamiento como sub-rasante de camino. Esto ha sido posible, gracias a la enorme experiencia acumulada por el Bureau of Public Roads en la construcción de caminos de todo tipo.

Nos referiremos aquí, al límite líquido, límite plástico, humedad equivalente de centrifuga, humedad equivalente de campaña y límite de contracción, obtenidos por medidas directas. Además se utilizan:

El límite de plasticidad, razón de contracción y peso específico.

Todos estos datos, se efectúan en la fracción de suelo que pasa por el tamiz N.º 40, después de ser desmenuado en condiciones controladas; describiremos la técnica abreviada de estas determinaciones.

#### Límite líquido .:

"Es el contenido en humedad expresado en % de suelo secado a la estufa con el cual comienza a fluir cuando se le golpea suavemente 10 veces "

Se efectúa añadiendo agua en pequeñas porciones al suelo secado al aire contenido en cápsula de porcelana "standard" y mezclando bien después de cada adición. Se extiende la pasta en el fondo 1 cm. de espesor se hace una muestra con una espátula especial y se golpea suavemente la cápsula 10 veces con la mano y si al cabo de esos golpes, no se unen los bordes de la muestra, se añade más agua, mezcla y repite la operación hasta lograrlo. Sobre una porción se determina humedad a 110° y se refiere a 100 gr. de suelo secado a estufa. El factor personal influye mucho, pero la práctica hace que una misma persona pueda obtener resultados muy coincidentes.

#### Límite Plástico .:

"Es el contenido de humedad expresado en % de suelo secado a estufa el cual puede aún ser conformado en barritas de 3mm. de diámetro sin romperse en pedazos".

Se procede así:

Se adiciona agua al suelo, en cantidad suficiente para que se pueda moldear una pelotita y esta se cilindra entre la mano y una superficie lisa (vidrio o papel satinado), hasta un diámetro de 3 mm., obteniéndose este, se mezcla, se repite la operación hasta que el desmenuamiento de la pasta impida la formación de la barrita. Se reúnen los trozos y se determina humedad.

#### Índice de Elasticidad .:

Es por definición la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico

#### Humedad equivalente de centrífuga .:

"Es el porcentaje de humedad retenido por una porción de suelo, que después de haber estado sumergido en agua hasta saturarse, se ha dejado ocurrir en atmósfera saturada de humedad durante 12 horas y se ha centrifugado con una fuerza mil veces superior a la de la gravedad".

#### Humedad equivalente de campana .:

"Es el porcentaje de humedad de los suelos, para el cual una gota de agua colocada en su superficie alisada no es absorbida inmediatamente y que, desparramándose sobre ella la brillante".

#### Límite de contracción, Razón de contracción y Peso específico aproximado .:

Una sola experiencia suministra los datos para calcular estas constantes. Prácticamente consiste en determinar el volumen de una pasta de suelo y agua, con el contenido en esta última conveniente para que se pueda trabajar sin inclusión de burbujas de aire; y el volumen de esta misma pasta al secarla a 110° .

La razón de contracción o peso específico aparente, es numéricamente igual al cociente entre el peso de pasta seca sobre su volumen aparente. Significa la relación entre un cambio dado de volumen (expresado en % del volumen al estado seco) y el cambio correspondiente en el contenido de humedad, arriba del límite de contracción, expresado en % del peso de suelo secado a estufa.

Límite de Contracción.:

Es el contenido de humedad, expresado en % de suelo secado a estufa, para el cual una reducción en la humedad, no produce una disminución del volumen del suelo y para el que un aumento de la humedad contenida, provoca un aumento en el volumen del suelo. Se determina por la fórmula:

$$L. \text{ contracción} = 100 \left( \frac{1}{R_c} - \frac{1}{d} \right)$$

Donde  $R_c$  es la razón de contracción y  $d$  es el peso específico. También se utiliza la fórmula:

$$L. \text{ contracción} = H - 100 \frac{V_h - V_s}{P_s}$$

Siendo  $H$  la humedad de la pasta,

$V_h$  el volumen de la pasta húmeda

$V_s$  " " " " " seca

$P_s$  " peso del volumen de la pasta seca

Peso específico aproximado.:

Se obtiene de las fórmulas anteriores o por el método del picnómetro, utilizando como líquido el kerosene.

---

CLASIFICACION DE SUELOS DE ACUERDO CON SUS CONSTANTES FISICAS

Y ANALISIS MECANICO

Los valores de los ensayos descriptos, (34) y (35), sustituyen a los de propiedades importantes y de difícil medida que interesan en la elección de suelos para su utilización como sub-rasantes de caminos, que permiten gracias a la experiencia acumulada, clasificar los suelos desde ese punto de vista en 8 grandes grupos y cuyo comportamiento se puede preveer.

En la práctica, se toma varias muestras de las inmediaciones del camino en construcción y se las clasifica de acuerdo con sus constantes físicas y análisis mecánico. Hecho esto, se elige el más conveniente para el caso para su uso directo o se corrige el menos malo, con arena u otro suelo según su característica.

Transcribimos a continuación, el cuadro de clasificación empleado en nuestro país y basado en la del Bureau of Public Roads de E.E.U.V.. Las abreviaturas corresponden a las iniciales de las constantes descriptas. Los valores correspondientes al análisis mecánico se refieren a % de suelo seco a estufa lo mismo que los de las constantes físicas, cuyo significado se explicó antes.

Los tamaños son en mm.. El tamaño efectivo es el correspondiente al 10 % en la curva de porcentaje acumulativo en función del log. del diámetro; el coeficiente de uniformidad, es el cociente entre el valor correspondiente al 60 % en la misma curva, sobre el tamaño efectivo.

BUELOS	Clasi- fica- ción Ameri- cana	ANÁLISIS MECÁNICO			CONSTANTES FÍSICAS					
		ARCILLA	LIMO	ARENA	LL	IP	MC	W <sub>L</sub>	W <sub>P</sub>	U <sub>c</sub>
ARE- NOS	A <sub>1</sub>	5-10 Pen. efec. Cof. k. Un. > 5	10-20	70-85 A. gruesa 45-60	14 25	≤ 8	14 20	-	-	≤ 15
	A <sub>2</sub>	-	-	> 55	14 33	≤ 15	≤ 25	-	-	≤ 25
LI- MOS	A <sub>3</sub>	Pen. efec. > 0,1	> 90		≤ 35	0	-	-	-	< 25
	A <sub>4</sub>	-	-	< 55	20 40	< 17	≤ 25	-	> 17 < 30	12 50
	A <sub>5</sub>	-	-	< 55	> 35	BAJO	> 30	BAJA	Gen. = LL	> 12
ARCIL- LOS	A <sub>6</sub>	> 30	-	-	> 35	> 20	< 15	ALTA	BAJA	> 25
	A <sub>7</sub>	> 30	-	-	> 35	> 15	> 10	ALTA	> 25	> 25
FUNDOS	A <sub>8</sub>	SIN IMPORTANCIA			> 45	BAJO	ALTA	BAJA	> 35	> 30

Los suelos sometidos a estudio son los siguientes:

SUELO N.	ROTA	T R A M O	PROGRESIVA	HORIZONTE	ESPESOR
1	35	SANTA ROSA VALLE ARGENTINO	Km. 9 (Bajo Giuliani)	A	30 cm.
2	35	SANTA ROSA CASTEX	Km. 30 (Lag. el Guanaco)	A	30 cm.
3	35	SANTA ROSA VALLE ARGENTINO	Km. 32 (Parque Luro)	A	15 cm.
4	2	FLOR VARELA ETCHEVERRY	Km. 27	A	no establecido
5	2		Km. 32 (Lecho arroyo Conchitas)	Capa superficial debajo del pasto	20 cm.
6	3	CHILLAR JUAREZ	Km. 3,8		SUELO SELECCIONADO
7	3	CHILLAR JUAREZ	Km. 17,2		SUELO SELECCIONADO

Se resumen a continuación, todos los resultados encontrados en el análisis químico, mecánico, determinación de constantes físicas, lugar que ocupan en la clasificación y las relaciones de SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Todos los datos se refieren a 100 gramos de suelo secado en estufa a 110°.



- ANALISIS QUIMICO - METALURGICO DE UN MINERAL -

Grupo N° Clasificación	1 Al	2 Al	3 Al	4 Al	5 Al	6 Al	7 Al
Residuo Insoluble	59.17	60.26	49.20	50.40	63.69	65.75	62.04
solubles	40.83	39.74	50.72	42.60	36.31	34.25	37.96
silice SiO <sub>2</sub>	20.12	22.25	21.79	21.21	20.50	16.54	18.06
Hierro Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.74	4.71	2.94	4.75	3.31	4.54	4.49
Aluminio Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.41	6.30	4.67	6.70	5.45	5.73	5.61
Calcio CaO	2.07	1.70	5.08	0.87	1.47	1.24	1.24
Magnesio MgO	1.83	1.23	5.04	1.10	0.93	1.00	0.85
Sodio Na <sub>2</sub> O	0.75	0.19	1.50	0.22	0.32	0.27	0.13
Potasio K <sub>2</sub> O	0.42	0.44	0.49	0.52	0.57	0.50	0.50
Fósforo P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.134	0.13	0.12	0.07	0.04	0.05	0.096
Fósforo TiO <sub>2</sub>	0.14	0.15	0.10	0.09	0.17	0.22	0.13
Cloruros Cl	0.24	no tit	0.89	no tit	vest.	no tit	no tit
Sulfatos SO <sub>3</sub>	0.55	no tit	1.21	no tit	no tit	no tit	no vest.
Humedad	4.47	5.50	6.00	4.73	6.99	10.17	10.10
Agua combinada	4.12	3.44	6.00	3.70	3.43	3.07	5.05
Materia orgánica	1.76	1.74	2.02	2.47	2.49	4.47	5.59
anh. carbonico CO <sub>2</sub>	0.67	0.29	3.20	0.12	0.37	0.10	0.04
soluc. N. L. SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.70	5.44	7.91	4.10	6.45	4.91	5.45
* SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.74	4.16	5.61	3.05	4.60	3.25	3.61
* Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.01	2.70	1.44	2.09	1.86	1.07	1.95

- ANALISIS QUIMICO Y ORGANOLEPTICO DE COMESTIBLES LACTICOS -

Ciclo N° Clasificación	1 A1	2 A2	3 A3	4 A4	5 A5	6 A6	7 A7
Coloides	6	9	9	21	18	8	2
Arquilla	30	32	22	40	46	25	21
Lazo	39	40	53	45	42	44	57
Arene fina	31	20	24	15	12	31	22
Arene gruesa	0	0	1	0	0	0	0
Gravas	0	0	0	0	0	0	0
Líquido líquido	32,2	33,0	40,2	52,4	56,7	49	43,2
Incl. de plástico	0,4	7,4	9,4	29,0	26,7	21,0	11,4
Humedad equiv. con- trifuga	30,6	36,5	39,0	35,5	67,6	32,8	32,0
Humedad equiv. con- pasta	26,3	29,0	33,0	29,0	38,2	34,5	39,2
Límite de contrac.	21,0	19,3	25,5	17,5	22,1	19,3	26,6
Acid. de contrac.	1,62	1,63	1,52	1,84	1,61	1,62	1,47
Humedad	2,46	2,38	2,48	2,62	2,54	2,34	2,54

La observación minuciosa de los datos contenidos en los cuadros anteriores, no arroja ninguna semejanza general para los suelos clasificados en el mismo grupo. Si tomamos por ejemplo el caso de los suelos 1, 2 y 3 se ve que los índices de plasticidad están en relación con el contenido de sodio y agua combinada, pero esta semejanza, sólo se mantiene, para el agua combinada al considerar los suelos 4, 5 y 6, que pertenecen también a un mismo grupo. Los suelos 6 y 7 son ambos  $A_7$ , y tienen, salvo en el contenido de  $H_2O$  combinada y sodio, bastante semejanza, pero este mismo criterio, aplicado a los suelos 2 y 3 aparte de otras notables diferencias, los separaría en contra de la clasificación que los reúne en el mismo grupo, debido a la amplitud de los límites fijados.

Sin embargo, esos mismos suelos 2 y 3 se comportan muy distintamente en ensayos de estabilización (3C) con diversos materiales.

#### RESUMEN Y CONCLUSIONES

1.- Se realizó una exposición somera de los diversos métodos físicos, químicos y físico-químicos utilizados en el estudio de suelos.

2.- Se ha descrito el método internacional para el examen químico de los suelos, habiéndosele empleado en el estudio químico de varios tipos de suelos argentinos.

3.- Se ha llevado a cabo el análisis mecánico y determinación de constantes físicas de esos mismos suelos.

4.- Se ha comparado el total de los datos encontrados, por ambos métodos, en relación con el lugar ocupado por cada suelo en la clasificación aconsejada por el Bureau of Public Roads de E.E.U.U.

Como consecuencia de este estudio, se deduce que no existen paralelismos marcados, de carácter general, entre los datos del análisis químico de suelos por el método internacional y los del análisis mecánico

y determinación de, constantes físicas.

Suelos incluidos en el mismo grupo, muestran diferencias marcadas en su composición química.

Como método de análisis químico de suelos con miras a su utilización en sub-rasantes de caminos, consideramos que debe ser más informativo el racional unido al de disgregación de la parte coloidal, como ya se efectúa en otros laboratorios. Estos resultados, junto con los de intercambio iónico y medidas físicas de magnitudes definidas, pueden aclarar, por lo menos en parte, el comportamiento de este material en lo que se refiere a su valor soporte como sub-rasante, y como quía en la elección de métodos para estabilizarlo.

---

---

B I B L I O G R A F I A

- 1.- GRIM R. (1940) Proceedings of the Purdue Conference in Soils Me-  
chanics and its applications pág. 216
- 2.- HENDRICKS M.B. y ALEXANDER L.T. (1939) Soil Science 48 257
- 3.- MATTHEW S. (1931) Soil Science 33 301
- 4.- GIESSEKING J.E. (1939) Soil Science 47 1
- 5.- PURI A.N. y UPAAL H.L. (1939) Soil Science 47 245
- 6.- HOUWINK H. (1940) Elasticity, Plasticity and Ext. of Matter p.329
- 7.- ERLAV G.E. y GRIM R. (1936) Division of the State Geological Sur-  
ve Report of Investigations No. 42 Urbana (Illinois)
- 8.- MATTHEW S. (1933) Soil Science 36 149
- 9.- JEWETT T.H. (1940) Soil Science 50 163
- 10.- MITSCHERLICH K.A. (1937) Soil Science 43 253
- 11.- ROBINSON W.O. United States Department of Agriculture Washington  
D.C. Circular 139
- 1 ROBINSON W.O. U.S. Dpt. Agr. Bull. 122 (1914)
- 12.- RIES H. (1927) Clays Their Occurrence, Properties and Uses p.109
- 13.- ABEL A. y UTESCHER K. (1936) Z. Pflanzenernähr. Düngung und Bo-  
denk. 42 277 . Extr. C.A. 1936 Vol 30, 6905
- 14.- PRESCOTT J.A.G. y PIPER C.S. (1928) Australian Council Sci. Ind.  
Research Pamphlet Num. 8
- 15.- PIERRE W.P. y PARKER F.W. (1927) Soil Science 23 13
- 16.- GEDROIZ K.K. (1923) Comisariat of Agriculture Petrograd Sec. A  
Num. 3 1258 . Extr. C. A. 1925 Vol 19 pág. 371
- 17.- MAC INTYRE W.H. (1936) J. Assoc. Official Agr. Chem. 19 22
- 18.- SIGMOND A.J. (1927) First Intern. Congress of Soil Science 1 196
- 19.- GOLLAN J.(h) y CRUELLEAS J. Inst. Exp. de Investig. y Fom. Agr.  
Gen. Bol. Téo. Núm. 23
- 20.- KOLTHOFF I.M. y SANDALL E.B. (1937) Text-book of Quantitative

## Inorganic Analysis pág. 381

- 21.- KOLTHOFF I.M. y SANDELL E.B. (1937) *Text-book of C. I. An.* 699
- 22.- Id. Id. Id. Id. 337
- 23.- Id. Id. Id. Id. 359
- 24.- Id. Id. Id. Id. 701
- 25.- Id. Id. Id. Id. 716
- 26.- A.O.A.C. Official and Tentative Methods of Analysis of the Ass. of Official Agr. Chem. (1940) pág. 2 **F.O.F.H.A.**
- 27.- Id. Id. (1935) pág. 4
- 28.- GOLLAN J.(h) (1936) *Propiedades, Análisis y Clasificación de los suelos con miras al estudio de sub-rasantes y superficies de caminos D.E.V. Public. Técn. V Núm. 3*
- 29.- BOUYOUCOS G.J. (1928) *Soil Science* 25 365
- 30.- Id. (1927) Id. Id. 23 343
- 31.- THOREEN R.C. (1933) *Public Roads* Vol. 13 Núm. 8
- 32.- ATTERBERG A. (1911) *International Mitt. fur Bodenk.* Vol. 1
- 33.- CASAGRANDE A. (1932) *Public Roads* Vol. 13 Núm. 8
- 34.- ATTERBERG A. (1913) *International Mitt. fur Bodenk.* Vol.
- 35.- TERZAGHI C. (1927) *Public Roads* Vol. 8 Núm. 3
- 36.- ASTARLOA U.M. (1941) *La Ingeniería* Vol. 45 Núm. 803 p. 966  
Y D'ALESSIO J.T.

---

*Juan G. Repetto*  
93/12/41