

## Tesis de Posgrado

# Contribución al estudio de los feldspatos y arcillas : algunos datos sobre materiales arcillosos y silíceos de la República Argentina

Bernaola, Víctor J.

1911

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:**

Bernaola, Víctor J.. (1911). Contribución al estudio de los feldspatos y arcillas : algunos datos sobre materiales arcillosos y silíceos de la República Argentina. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

[http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_0067\\_Bernaola.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0067_Bernaola.pdf)

**Cita tipo Chicago:**

Bernaola, Víctor J.. "Contribución al estudio de los feldspatos y arcillas : algunos datos sobre materiales arcillosos y silíceos de la República Argentina". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1911.

[http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_0067\\_Bernaola.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0067_Bernaola.pdf)

**EXACTAS** UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



**UBA**

Universidad de Buenos Aires

*Tesis* 87

UNIVERSIDAD NACIONAL DE BUENOS AIRES

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

---

## CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO

DE

# LOS FELDESPATOS Y ARCILLAS

---

ALGUNOS DATOS SOBRE MATERIALES ARCILLOSOS Y SILÍCEOS  
DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

---

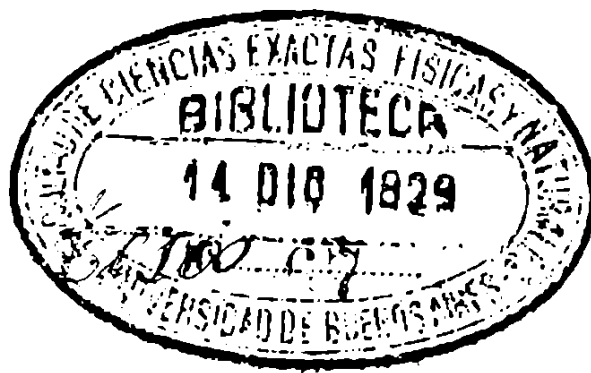
TESIS

Presentada para optar el grado de Doctor en Química

POR

VICTOR J. BERNAOLA

---



BUENOS AIRES

IMPRESA Y CASA EDITORA «JUAN A. ALSINA»

259, ALBERTI, 259

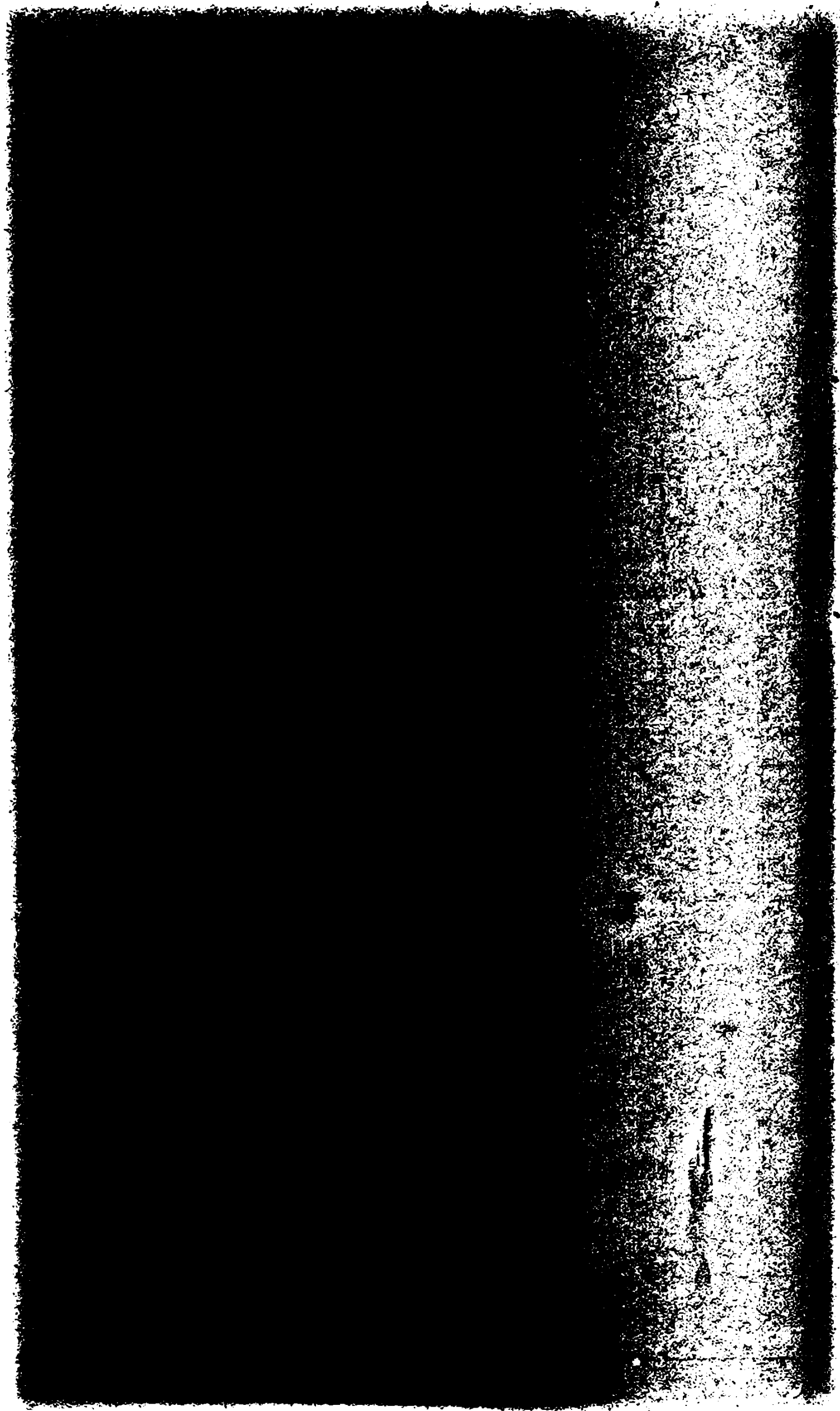
—  
1911

*La Facultad no se hace solidaria de las opiniones vertidas en las Tesis.*

PADRINO DE TESIS

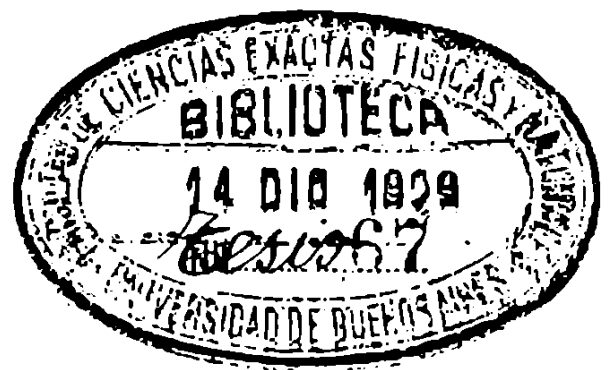
*Doctor Eduardo L. Holmberg*

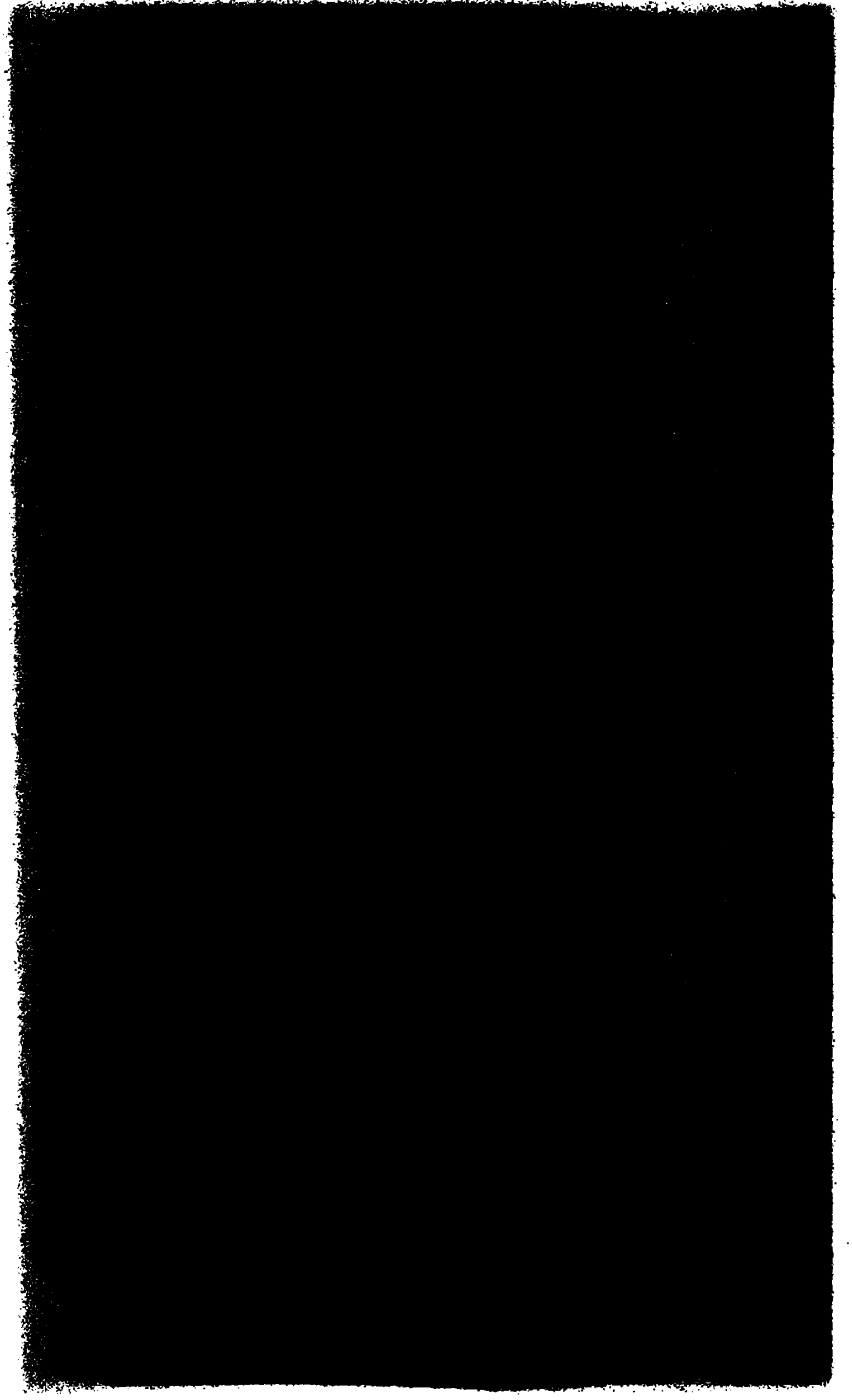




*A la memoria de mis hermanos*

*Pedro Cirilo y María*

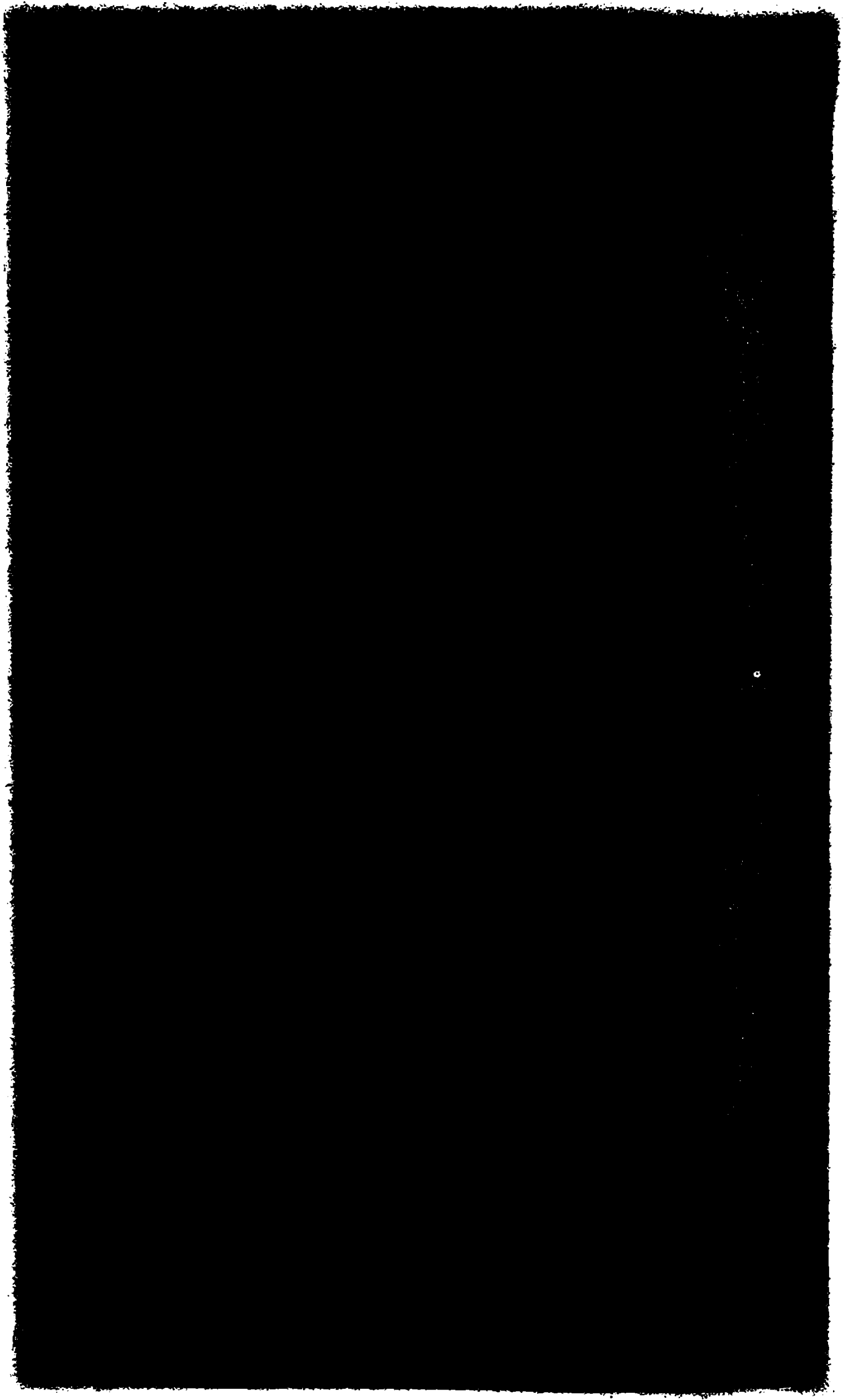




*A mis padres*

*A mis hermanos*





SEÑORES CONSEJEROS:

SEÑORES PROFESORES:

Siguiendo el ejemplo de la mayor parte de los que me han precedido y siendo un convencido de que se debe propender por todos los medios á nuestro alcance al estudio y conocimiento de la extrema variedad de productos que encierra nuestro país, he elegido como tema de la tesis que debo presentar para optar el grado de Doctor en Química, el estudio de algunos materiales arcillosos y silíceos de la República Argentina.

Mi trabajo presenta tal vez, deficiencias que espero sabreis disculpar, si teneis en cuenta las dificultades del tema y sobre todo la falta de experiencia que acompaña siempre al que ejecuta por vez primera una labor de la índole de la que os presento.

Reconozco que con justicia podriais exigirme mucho más, pues grandes han sido y son los sacrificios que realizais día á día en la augusta y noble tarea de enseñar; pero si mi modesto trabajo no consigue, en cierto modo, recompensarlos, creedme que lo han logrado, en parte, mi dedicación así como los esfuerzos y preocupaciones que me cuesta.

Las conclusiones á que llego, no tendrán quizá mayor importancia, serán acaso incompletas, pero me satisface la convicción

de que puedan servir como estímulo para emprender el estudio completo que merecen todos estos productos naturales tan descuidados á pesar de su gran importancia industrial.

---

Si las sabias lecciones que he recibido siempre de parte de mi querido y admirado maestro doctor Eduardo L. Holmberg, no me obligaran en este y todos los momentos á recordarlo con cariño y gratitud, bastara para ello, el alto honor y la satisfacción que me proporciona el verme acompañado en este acto por uno de hombres de ciencia que más honran á la Universidad Nacional de Buenos Aires.

Agradezco al Señor Agustín Barbagelata, Director de la Oficina Química Nacional de la Capital, las facilidades que me ha proporcionado para efectuar este trabajo; además, bajo su dirección me inicié en la práctica del título profesional á que aspiro.

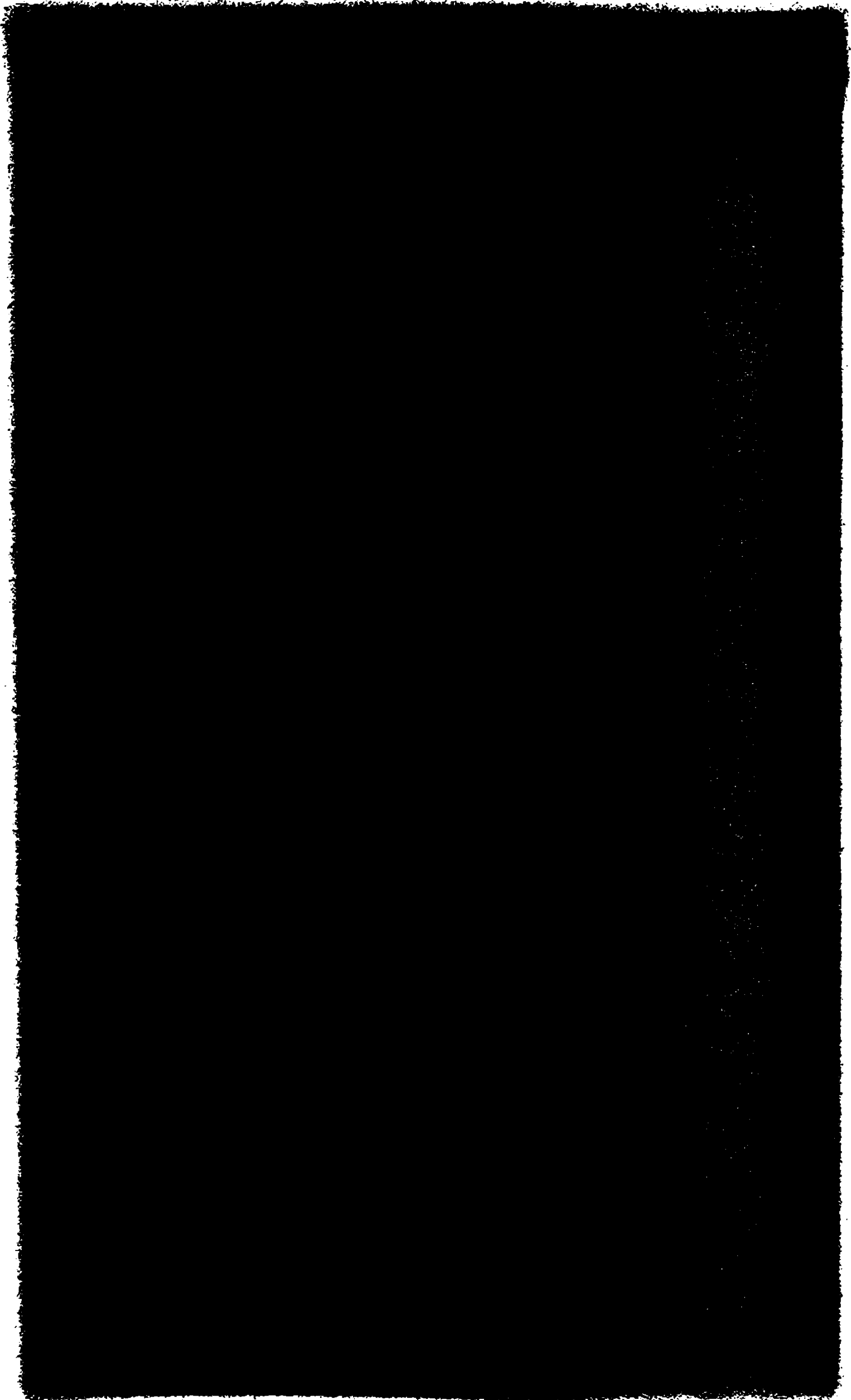
A vosotros los que fuisteis mis profesores y á quienes tantos beneficios debo, á mis amigos y compañeros que me alentaron con su ejemplo y sus consejos en momentos de duda y vacilación y á cuantos en una ú otra forma han contribuido á que lleve á feliz término este trabajo, mi mayor agradecimiento.



## INTRODUCCIÓN

Al iniciar este trabajo, el entusiasmo me llevó á formular un programa vasto, pero las dificultades, algunas insalvables, con que tropezara desde el momento en que empecé á desarrollarlo, me han impuesto la limitación del mismo.

En primer lugar me ocupó del estudio de los feldspatos en general; paso luego á estudiar el fenómeno de la caolinización de los mismos, para ocuparme después de la composición y clasificación de los caolines y arcillas de ellos derivados, así como de sus propiedades más importantes desde el punto de vista industrial; expongo el resultado de los análisis químico y racional de los materiales estudiados y finalmente termino mi trabajo con las conclusiones que me sugiere el estudio de todas estas cuestiones.





## FELDESPATOS.

---

El grupo de los feldespatos es, entre los minerales, uno de los que ha sido objeto de mayor atención por parte de los investigadores debido á su interés científico, muy grande, si se tiene en cuenta el papel importante que desempeñan sus diversos representantes en la constitución del globo terrestre.

Son minerales universalmente difundidos, forman parte esencial de las mayores masas de rocas silíceas y se hallan también al estado de fragmentos en las arcillas y pizarras arcillosas.

Las diversas especies, de composición y propiedades muy vecinas, están constituidas por silicatos dobles de aluminio y un metal alcalino (sodio ó potasio) ó alcalino térreo (calcio, rara vez bario).

Se presentan en forma de cristales muy pequeños, á veces microscópicos y sin caras, pues estas son enmascaradas por otros minerales; pero otras veces se encuentran en grandes cristales y en masas considerables. Al Este del Ontario y de Quebec existen ejemplares de una pureza notable que alcanzan un tamaño de varios metros; se encuentran también en estas regiones, cristales de cuarzo purísimo que llegan á tener más de diez pies de diámetro (1).

---

(1) G. A. YOUNG.— *Geology and Economic Minerals of Canada*, pag. 15 y 102.

En cuanto á su forma cristalina, algunos son monoclinicos, pero la mayor parte cristalizan en el sistema triclinico.

Se caracterizan por tener una dureza de 6 á 7, una densidad comprendida entre 2,40 y 2,85 y dos clivajes fáciles, rectangulares ó vecinos de 90°.

Por acciones y agentes no bien determinados, que estudiaremos más adelante, tienen la propiedad de transformarse en caolín, materia prima de la industria cerámica.

### **Diversas especies.**

Durante la mayor parte del siglo pasado predominaba en mineralogía la escuela encabezada por WERNER y MOHS, sucesivamente profesores de la Academia de Minas de Freiberg, escuela que se preocupaba exclusivamente de las llamadas *propiedades naturales históricas*.

Los trabajos y publicaciones de WERNER están consagrados al estudio de los caracteres externos de los minerales, por medio de los cuales se podía, según sus ideas, identificarlos sin recurrir á los ensayos químicos.

Mohs en su tratado de Mineralogía se preocupa sobre todo de las *propiedades históricas* que define como «aquellas con que la naturaleza ha dotado á los cuerpos que produce con tal que estas propiedades, así como los cuerpos mismos, permanezcan inalterados durante su examen».

Esta manera imperfecta de encarar el problema mencionado, fué aplicado al estudio de los feldespatos y se emprendieron investigaciones que dieron por resultado la diferenciación de diversas especies en las que solo se tenían en cuenta los caracteres cristalográficos y las propiedades físicas.

BREITHAAPT, en 1823, empleó por primera vez el nombre de *ortosa* para designar un feldespato con clivaje rectangular, es decir, monoclinico, y subsiguientemente se designó con el nombre de *plagioclasas* á los feldespatos triclinicos cuyo ángulo de clivaje no era de 90°. El mismo autor introdujo el nombre de *oligoclasa* para un feldespato sódico de Estocolmo que poseía un clivaje mal definido y que había sido distinguido por BERZELIUS como mineral nuevo. Las investigaciones de este sabio indicaron un nuevo camino á seguir en el estudio de los minerales.

Bajo su influencia y la de otros químicos suecos, no tardó en producirse una reacción contra las ideas predominantes en virtud de las cuales la química encontraba poca ó ninguna aplicación en el estudio de los minerales.

Investigaciones más completas y profundas efectuadas sobre diversas especies mineralógicas, demostraron que el estudio practicado hasta entonces había sido incompleto, por no decir erróneo, pues se había prescindido de una cuestión fundamental: la composición y constitución química de los minerales estudiados. Se emprenden entonces, estudios basados sobre un criterio más racional y científico, dando tanta importancia á la composición y constitución, como á la forma cristalina y propiedades físicas.

Los estudios practicados sobre los feldespatos siguiendo este nuevo criterio, demostraron que si bien el feldespato potásico debía considerarse como una especie definida perteneciente al sistema monoclinico, existían otros (plagioclasas) que contenían á la vez óxido de sodio y de calcio que presentaban una composición extremadamente variable y por consiguiente debían distinguirse entre ellos diversas especies.

Vinieron entonces las diversas denominaciones aun empleadas. Las especies más ricas en CaO fueron llamadas *anortita*, nombre ya empleado por ROSE (1823) para los cristales vítreos encontra-



dos en los bloques lanzados por el Vesubio; los más ricos en  $\text{Na}_2\text{O}$  *albita* usada por primera vez por BERZELIUS para distinguir un feldespato de Fahlun en Suecia.

Estas especies de feldespatos, que ofrecen numerosas variedades, suelen asociarse entre sí más ó menos íntimamente (1).

### Composición de las plagioclasas.

Entre las plagioclasas, el único feldespato sódico puro es la *albita* y el único cálcico puro la *anortita*; los demás son mezclas de *albita* y *anortita*. En estos últimos se ha observado que á medida que el  $\text{Na}_2\text{O}$  aumenta, la sílice aumenta y la alúmina disminuye y al contrario, á medida que la proporción de  $\text{CaO}$  se hace mayor, la sílice disminuye y la alúmina aumenta.

Los estudios fisico-químicos (2) de estas mezclas, basados en las relaciones que existen entre sus propiedades y su composición, parecen confirmar en un todo las ideas de TSCHERMAK (3) quien, ya en 1864 en su teoría del grupo de los feldespatos, admitía que las plagioclasas eran mezclas isomorfas de *albita* y *anortita* cuya composición podía sea representada por la fórmula:



En efecto, á pesar de su diferencia aparente de composición, estas sustancias forman soluciones sólidas en las proporciones más variadas cuyas propiedades físicas son funciones continuas.

---

(1) L. BOMBICI.—Corso di Litologia.

(2) DAY y ALLEN.—Bull. Soc. Chim. Paris, tom. 34, pág. 393.

(3) G. TSCHERMAK.—Mineralogía.

de su composición y por consiguiente pueden ser representadas por una curva continua.

Las determinaciones practicadas en este sentido sobre una serie de feldspatos intermediarios entre la albita y la anortita, han dado los resultados que pueden observarse en el cuadro siguiente, donde se expresa la composición de algunos miembros del grupo que estudiamos como mezcla de un cierto número de moléculas de albita y anortita (1):

---

(1) HENRY A. MIERS.—Manuel pratique de Mineralogie.—Introduction à l'étude scientifique des minéraux.

Plagioclasas	Ab <sub>n</sub> An <sub>n</sub>	Composición química				Peso específico	Extinción		Índice medio de refracción	Angulo de la sección rómica
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O		Sobre C	Sobre B		
Albita.....	Ab	68.6	19.6	0.0	11.8	2.624	+ 4° 30'	+ 19°	1.534	+ 27°
Oligoclasa-Albita.....	Ab <sub>0</sub> An	64.9	—	—	—	2.645	+ 2° 45'	+ 12°	—	+ 10°
Oligoclasa.....	Ab <sub>3</sub> An	61.9	24.2	5.2	8.7	2.659	+ 1° 4'	+ 4° 36'	1.542	+ 3°
Andesita.....	AbAn	55.4	28.6	10.4	5.7	2.694	— 5° 10'	— 16°	1.558	— 1°
Labradorita.....	AbAn <sub>3</sub>	49.1	32.8	15.3	2.8	2.728	— 17° 40'	— 29° 28'	1.570	— 9°
Bytownita.....	AbAn <sub>6</sub>	46.6	—	—	—	2.742	— 27° 33'	— 33° 29'	—	— 10°
Anortita.....	An	43.0	36.9	20.1	0.0	2.758	— 37°	— 36°	1.582	— 16°

Si se comparan entre sí los diversos datos consignados en este cuadro, puede constatarse la variación gradual y regular de composición y de algunas propiedades importantes de las mezclas que estudiamos. Si hiciéramos la representación gráfica de los valores expuestos para su composición, peso específico, índice de refracción, etc., obtendríamos una serie de curvas continuas que nos permitirían preveer los caracteres análogos de una mezcla cualquiera.

Muy interesantes son también las investigaciones recientes de DAY y ALLEN (1). Estos autores han determinado por vía piroeléctrica los puntos de fusión de los principales tipos de feldespatos y sus mezclas, obteniendo como puntos de fusión de la anortita pura ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ )  $1532^\circ$  y para la albita ( $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{10}$ )  $1220^\circ$ . Las mezclas de anortita y albita dan una curva de fusión descendiente y regular desde el punto de fusión de la anortita hasta el de la albita (más ó menos  $1220^\circ$ ) de una manera casi rectilínea sin dar lugar á ningún máximo, á ningún mínimo ni á ningún punto anguloso.

Además la experiencia muestra que en cada punto de esta curva, la fase sólida proporciona una fase líquida de la misma composición. Fundándose en estas observaciones, concluyen que «los feldespatos de esta serie (feldespatos triclinicos) son soluciones sólidas que forman una serie de mezclas isomorfas, para las cuales las dos curvas de fusión y solidificación se encuentran muy próximas».

El hecho de que puedan existir soluciones sólidas, entre los minerales, como parece comprobarse en el caso citado, tiene una importancia enorme, pues, es más que probable que las dificultades encontradas en las tentativas para explicar la composición

---

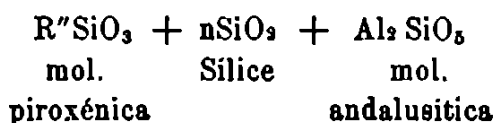
(1) Bull. Soc. Chim. Paris.—Lugar citado.

complicada de muchos minerales y las variaciones á la vez de composición y caracteres físicos, puedan explicarse por la suposición de que sean habitualmente soluciones sólidas (1).

### Constitución y clasificación de los feldespatos.

De las consideraciones que acabamos de exponer, se deduce que los feldespatos son silicatos dobles de aluminio y un metal alcalino ó alcalino terroso (generalmente Ca, muy raramente Ba) ó mezclas isomorfas de ambos.

Todos pueden derivar de la forma general siguiente (2):



ó sea



Esta fórmula hace resaltar la constitución mineralógica de los feldespatos como dependientes de la asociación de dos moléculas esenciales de silicato piroxénico y de silicato andalusítico y de  $n$  moléculas de sílice que intervienen como si fuera agua de hidratación. En ella el valor de  $n$  es variable, pudiendo también ser igual á cero, y R representaría Ca en feldespatos tales como la anortita, Na en la albita y en parte en la nefelina, K en la ortosa y en sus variedades (adularia, sanidina, microlina,

---

(1) HENRY A. MIERS.—Obra citada.

(2) L. BOMBICI.—Obra citada.

etc.), Li en los feldespatos litiniferos como la petalita, Ba en la celsiana, etc.

La constitución química de los feldespatos, y aun más, la de los silicatos en general, se halla muy lejos de estar determinada. La importancia de este problema á resolver es enorme, pues como con razón se ha dicho, la mineralogía es en gran parte la química de los compuestos del silicio; más de la mitad de los minerales conocidos son silicatos. Su estudio desde este punto de vista está lleno de dificultades, hoy por hoy insalvables, no es posible aplicar en el estudio de su constitución, los métodos tan fecundos en resultados en investigaciones de la misma índole de los compuestos del carbono; sus constituyentes no pueden ser reemplazados por radicales orgánicos, ni se puede preparar toda la serie de derivados; no es posible determinar su densidad de vapor, ni tampoco la manera como se comportan en solución.

Dado, pues, la imposibilidad de establecer la verdadera constitución química de los feldespatos, y por consiguiente la clasificación química basada en este hecho que sería la más racional y científica, se ha recurrido para establecerla á las analogías que presentan con otros cuerpos mejor conocidos y á las relaciones que se han encontrado entre ellos.

F. W. CLARKE ha ensayado expresar todos los minerales del grupo de los silicatos, como derivados de sustitución de compuestos tales como el ortosilicato normal de aluminio  $Al_4(SiO_4)_3$  en el cual uno ó varios átomos de aluminio pueden ser reemplazados por radicales trivalentes ó por grupo de radicales bi ó monovalentes.

Según esta manera de ver, la anortita tendría por fórmula  $Al_6Ca_3(SiO_4)_6$  y la albita  $Al_3Na_3(Si_3O_8)_2$ , es decir, debe ser considerada como derivada de otra sal normal cuya fórmula sería  $Al_4(Si_3O_8)_2$ ; de modo que es menester introducir un segundo ácido en esta concepción. Ahora bien, como la anortita

y la albita deben estar en relación química íntima, los ácidos  $H_4SiO_4$  y  $H_4Si_3O_8$  deben ser considerados como análogos y el radical ácido  $SiO_4$  como reemplazable y equivalente al  $Si_3O_8$  (1).

GOLDSCHMIDT ha indicado que todos los silicatos pueden ser considerados como derivados de sustitución de dos ó más moléculas condensadas de anhídrido silícico. Así por comparación con el cuarzo,  $SiO_2$ , que puede considerarse como  $8 SiO_2$ , es decir,  $Si_8O_{16}$ , la albita sería  $Si_6(NaAl)_2O_{10}$  y la anortita  $Si_4(CaAl_2)_2O_{10}$ .

Otros los consideran como sales normales de los ácidos silícicos posibles siguientes:

$H_4Si_4$ .....	ácido ortosilícico
$H_2SiO_3$ .....	▸ metasilícico
$H_6SiO_7$ .....	▸ ortodisilícico
$H_2SiO_5$ .....	▸ metadisilícico

La albita sería la sal normal (metasilicato ó metadisilicato?)  $NaAlSi_3O_8$ , proveniente de la sustitución de  $H_4$  en el ácido  $H_4Si_3O_8 = (H_2SiO_3 + H_2Si_2O_5)$ ; la anortita sería un ortosilicato normal.

Otros, por fin, y esta es la clasificación que adoptaremos siguiendo á GUARESCHI (2) y otros autores, clasifican los silicatos por la relación atómica del O de la sílice al de las bases.

Cualquiera que sea el tipo del ácido al cual pueda referirse un silicato, este puede siempre ser considerado como la combinación de ciertos óxidos metálicos ó bases, con una cierta proporción de  $SiO_2$ .

(1) A. H. MIERS.—Obra citada.

(2) GUARESCHI.—Nouva Enciclopedia di Chimica, t. 9, pág. 252.

Así un ortosilicato puede ser considerado como  $2 R''O \cdot SiO_2$ , en el cual la base contiene 2 átomos de O y la sílice igual número de átomos de este elemento; la relación del O es entonces de 1 : 1 y semejantes compuestos pueden ser denominados *unisilicatos* ó *monosilicatos*.

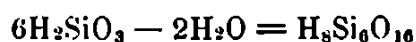
Un metasilicato  $R''SiO_3 = R''O, SiO_2$  tiene por relación de O, 1 : 2 y puede ser denominado *bi* ó *disilicato*. Los silicatos en los cuales dicha relación es superior, se clasifican en conjunto como *polisilicatos* y aquellos en que es inferior á 1, como *subsilicatos*.

Esta clasificación que expresa pura y simplemente el resultado del análisis bajo una forma muy cómoda (si se quiere) no deja de tener también sus inconvenientes (1).

Desde este punto de vista los feldespatos en general, pueden referirse á dos fórmulas que denominaremos tipos, si se nos permite, puesto que no podemos aún hablar de constitución.

Estos tipos serían:

*Polisilicatos*.— $R''R'''_2Si_6O_{16}$  que derivarían del ácido  $H_8Si_6O_{16}$ , el que á su vez puede considerarse como derivado del ácido metasilícico por pérdida de agua.



*Ortosilicatos* (Monosilicatos).— $R''R'''_2Si_2O_8$  que derivarían del ácido ortosilícico ( $2 H_4SiO_4 = H_8Si_2O_8$ ) fórmulas en las cuales  $R'' = K_2, Na_2, Ca$  ó  $Ba$  y  $R''' = Al_2$ .

Las especies cuya composición química no corresponde á estas fórmulas típicas sino que tienen una composición intermediaria, basándonos en consideraciones expuestas anteriormente, las con-

---

(1) H. A. MIERS.—Obra citada.



sideraremos con TSCHERMAK (1) y otros autores como mezclas isomorfas de los dos silicatos típicos:



Dejando por un momento á un lado la composición química y teniendo tan solo en cuenta los caracteres cristalográficos, pueden dividirse los feldespatos en *monoclínicos* y *triclínicos*; la mayor parte pertenecen á este último sistema, habiendo solo dos especies monoclinicas; á estos se les llama también feldespatos *ortoclásicos* (ortosa) y á los triclínicos *plagioclásicos* (clinoclase).

Finalmente teniendo en cuenta en primer término los caracteres cristalográficos de las diversas especies y luego el tipo químico á que pueden referirse, podríamos clasificar los feldespatos como sigue (2):

---

(1) GUARESCHI.—Obra y lugar citados.

(2) Indicamos al mismo tiempo las relaciones en que se mezclan los tipos fundamentales para dar las diversas mezclas isomorfas.

feldespatos	Monoclinicos F. ortoclásicos	{ <p>Ortosilicatos.  <math>R''R_2''' Si_2 O_8</math></p> <p>Polisilicatos—Ortosa . . . . . <math>K_2 Al_2 Si_6 O_{16}</math></p> <p><math>R''R_2''' Si_6 O_{16}</math></p> <p>Mezclas isomorfas-Hialofana . . <math>2K_2 Al_2 Si_6 O_{16}</math>. <math>Ba Al_2 Si_2 O_8</math></p> <p><math>mR_2' R_2''' Si_6 O_{16}</math>. <math>nR''R_2''' Si_2 O_8</math></p>					
	Triclínicos F. plagioclásicos	<table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: middle;">           Ortosilicatos <math>R''R_2''' Si_2 O_8</math> </td> <td style="vertical-align: middle;">           {           <p>Anortita <math>Ca Al_2 Si_2 O_8</math>.</p> <p>Celsiana <math>Ba Al_2 Si_2 O_8</math>.</p> </td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: middle;">           Polisilicatos <math>R''R_2''' Si_6 O_{16}</math> </td> <td style="vertical-align: middle;">           {           <p>Microlina (1) <math>K_2 Al_2 Si_6 O_{16}</math>.</p> <p>Albita <math>Na_2 Al_2 Si_6 O_{16}</math>.</p> </td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: middle;">           M. Isomorfas (Albita + Anortita)         </td> <td style="vertical-align: middle;">           {           <p>Anortoclasa <math>(K, Na)_2 Al_2 Si_6 O_{16}</math>. <math>Ca Al_2 Si_2 O_8</math> siendo <math>K_2 O : Na_2 O :: 1 : 2 : 3</math>, etc.</p> <p>Oligoclasa <math>mNa_2 Al_2 Si_6 O_{16}</math>. <math>nCa Al_2 Si_2 O_8</math> siendo <math>m : n :: 6 : 1 :: \dots 2 : 1</math>.</p> <p>Andesita <math>mNa_2 Al_2 Si_6 O_{16}</math>. <math>nCa Al_2 Si_2 O_8</math> siendo <math>m : n :: 2 : 1 :: 1 : 1</math>.</p> <p>Labradorita <math>mNa_2 Al_2 Si_6 O_{16}</math>. <math>nCa Al_2 Si_2 O_8</math> siendo <math>m : n :: 1 : 1 :: \dots 1 : 3</math>.</p> <p>Bitownita <math>mNa_2 Al_2 Si_6 O_{16}</math>. <math>nCa Al_2 Si_2 O_8</math> siendo <math>m : n :: 1 : 3 :: \dots 1 : 6</math></p> </td> </tr> </table>	Ortosilicatos $R''R_2''' Si_2 O_8$	{ <p>Anortita <math>Ca Al_2 Si_2 O_8</math>.</p> <p>Celsiana <math>Ba Al_2 Si_2 O_8</math>.</p>	Polisilicatos $R''R_2''' Si_6 O_{16}$	{ <p>Microlina (1) <math>K_2 Al_2 Si_6 O_{16}</math>.</p> <p>Albita <math>Na_2 Al_2 Si_6 O_{16}</math>.</p>	M. Isomorfas (Albita + Anortita)
Ortosilicatos $R''R_2''' Si_2 O_8$	{ <p>Anortita <math>Ca Al_2 Si_2 O_8</math>.</p> <p>Celsiana <math>Ba Al_2 Si_2 O_8</math>.</p>						
Polisilicatos $R''R_2''' Si_6 O_{16}$	{ <p>Microlina (1) <math>K_2 Al_2 Si_6 O_{16}</math>.</p> <p>Albita <math>Na_2 Al_2 Si_6 O_{16}</math>.</p>						
M. Isomorfas (Albita + Anortita)	{ <p>Anortoclasa <math>(K, Na)_2 Al_2 Si_6 O_{16}</math>. <math>Ca Al_2 Si_2 O_8</math> siendo <math>K_2 O : Na_2 O :: 1 : 2 : 3</math>, etc.</p> <p>Oligoclasa <math>mNa_2 Al_2 Si_6 O_{16}</math>. <math>nCa Al_2 Si_2 O_8</math> siendo <math>m : n :: 6 : 1 :: \dots 2 : 1</math>.</p> <p>Andesita <math>mNa_2 Al_2 Si_6 O_{16}</math>. <math>nCa Al_2 Si_2 O_8</math> siendo <math>m : n :: 2 : 1 :: 1 : 1</math>.</p> <p>Labradorita <math>mNa_2 Al_2 Si_6 O_{16}</math>. <math>nCa Al_2 Si_2 O_8</math> siendo <math>m : n :: 1 : 1 :: \dots 1 : 3</math>.</p> <p>Bitownita <math>mNa_2 Al_2 Si_6 O_{16}</math>. <math>nCa Al_2 Si_2 O_8</math> siendo <math>m : n :: 1 : 3 :: \dots 1 : 6</math></p>						

(1) TSCHERMAK y otros autores colocan esta especie entre los feldespatos monoclinicos miméticos rque si bien los cristales están formados por laminillas de carácter triclinico, su forma difiere poco la ortosa.

Observando el cuadro de clasificación se nota el hecho curioso de que el Ba y el Ca se encuentran siempre al estado de ortosilicatos, mientras que los metales alcalinos se hallan bajo la forma de polisilicatos.

No vamos á entrar en detalles sobre los caracteres generales de estas diversas especies mineralógicas y sus variedades, pues sería extendernos demasiado; nos ocuparemos solamente de una nueva variedad de ortosa y de un feldespato sódico monoclinico isomorfo de la ortosa recientemente observado.

M. L. DUPARC (1) estudiando las rocas graníticas de Troitsek (Urales del N.) y sus alrededores, ha tenido ocasión de observar tanto en tipos francamente graníticos como en los granitos porfiroideos, una curiosa variedad de ortosa anómala, para la cual propone el nombre de *isoortosa*. Por observaciones microscópicas, el autor citado, ha constatado que los cristales están formados por la asociación de dos feldespatos diferentes de desigual refringencia, de los que el más refrigente constituye gruesas masas brillantes irregulares en la masa del que lo es menos.

BARBIER y PROST (2), estudiando la composición química de algunas ortosas y microlinas, han comprobado en ellas la presencia de  $\text{Na}_2\text{O}$  en cantidad variable, en algunos casos considerable; este hecho confirmado por los resultados analíticos mencionados en el «Handbuch der Mineralogie de Hintze», llevó á los mencionados autores á efectuar un estudio más profundo con el fin de investigar bajo que forma el  $\text{Na}_2\text{O}$  se introduce en la molécula de ortosa, en cantidad algunas veces superior á la del  $\text{K}_2\text{O}$  sin modificar sensiblemente la forma cristalina de este mineral, así como también en que proporción el silicato sódico desconocido,

---

(1) Bull. Soc. Chim. Paris.—Tom. 138, pág. 714.

(2) Bull. Soc. Chim. Paris.—Tom. 3 pág. 894, IV Serie, Año 1908.

se asocia al feldespato potásico monoclinico y la naturaleza de ese silicato.

Sus investigaciones están basadas en el estudio de una serie de feldespatos cuyos análisis han dado los siguientes resultados:

Procedencia	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	P. Rojo
Ortosa de Fredrikswarm	65.18	19.99	0.63	7.03	7.88	0.48	0.38
» » Puy de Montadon.....	66.83	19.20	—	6.29	6.80	0.60	—
Ortosa de d'Irigny....	67.09	19.02	—	5.36	7.81	0.46	—
» » Baunand ...	67.10	19.09	—	4.31	8.71	0.54	—
Ortosa de Puy-de-Dôme	66.92	19.15	—	3.75	9.67	0.48	—
» » Francheville-le-Bas.....	67.11	19.13	—	3.61	9.62	0.39	—
Ortosa de Kragerö (Noruega) .....	67.00	19.12	—	1.15	11.74	0.78	—

Haciendo el cálculo y admitiendo provisoriamente que el silicato que aporta el Na<sub>2</sub>O posee la misma estructura que la ortosa, observaron que estas diversas especies resultarían de la asociación del feldespato potásico (ortosa) y este nuevo feldespato sódico en las proporciones siguientes:

Ortosa	1	1	molécula de ortosa y	1 1/2	de feldespato sódico
»	2	1	»	y más de 1 1/2	»
»	3	1	»	y 2	»
»	4	1	»	y 3	»
»	5	1	»	y 5	»
»	6	1	»	y 5	»
»	7	1	»	y 10	»

La observación microscópica no ha revelado en estos feldespatos la presencia de albita bajo ninguna forma, si se exceptúa el d'Irigny.

Teniendo en cuenta los análisis expuestos y sus diversas investigaciones, los autores citados llegan á las siguientes conclusiones:

1.º Existen ortosas que contienen cantidades crecientes de  $\text{Na}_2\text{O}$ , pudiendo éste llegar hasta el reemplazo total del  $\text{K}_2\text{O}$ .

2.º El  $\text{Na}_2\text{O}$  es aportado por un silicato sódico particular que se une á la molécula ortósica sin cambiar su forma.

3.º Este silicato desconocido no es albita, pues la introducción de un mineral triclinico modificaría necesariamente la forma cristalina.

4.º En virtud de las innumerables investigaciones de MITSCHERLICH, sobre el isomorfismo, este silicato desconocido que se une en todas las proporciones con la ortosa sin cambiar su forma, es isomorfo con ella y por consiguiente no es solamente monoclinico sino que hasta debe poseer la misma constitución química.

Admitiendo para la ortosa la fórmula  $\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{10}$ , atribuyen al silicato sódico que estudian la siguiente:  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{10}$ ; por consiguiente el silicato estudiado, tendría la forma cristalina de la ortosa y composición química análoga á la albita la que por otra parte sería entonces polimorfa.

De las consideraciones que preceden, prosiguen los autores citados, «es lógico deducir la existencia de un *feldespató sódico monoclinico isomorfo de la ortosa*, el que posiblemente se descubrirá al estado puro y puede estar bastante bien representado por la ortosa de Kragerö».

Dada la analogía de composición entre estos diversos feldespatos y las plagioclasas, creemos que como estas últimas, *aquellos son mezclas isoformas de ortosa y el feldespató sódico isomorfo de esta última el que podría ser denominado pseudoortosa*. Esta supo-

sición puede comprobarse fácilmente haciendo el estudio fisico-químico de las diferentes muestras estudiadas por BARBIER y PROST, es decir, investigando, como en las plagioclasas, las relaciones que existen entre la composición y sus diversas propiedades.

En el cuadro de clasificación que hemos expuesto anteriormente, estarían entonces incluídas en el grupo de los feldespatos monoclinicos, sub-grupo de las mezclas isoformas y su composición podría de un modo aproximado estar representado por las fórmulas siguientes (1):

Feldespato d' Irigny.....	$K_2Al_2Si_6O_{16} + 2 Na_2Al_2Si_6O_{16}$
» de Baunan .....	$K_2Al_2Si_6O_{16} + 3 Na_2Al_2Si_6O_{16}$
» Gournay y Franche-ville-le-Bas	$K_2Al_2Si_6O_{16} + 5 Na_2Al_2Si_6O_{16}$
» de Krogerö .....	$K_2Al_2Si_6O_{16} + 10 Na_2Al_2Si_6O_{16}$

### Síntesis.

Las síntesis de los minerales y rocas ha aclarado mucho las condiciones de su formación natural.

La mineralogía sintética presenta, desde el punto de vista científico, un interés muy grande, pues aparte de que es una ayuda poderosa para investigar el modo de formación de las sustancias minerales, permite resolver ciertas cuestiones que el análisis químico deja amenudo indecisas. En las rocas cristalinas, para citar un ejemplo, los procedimientos analíticos han permitido y permiten fijar su composición, pero los datos que por ellos se obtienen son insuficientes; el análisis químico es impotente

---

(1) DAY y ALLEN.—Bull. Soc. Chim. Paris. Lugar citado.

para investigar los medios de recomposición de estos minerales con todas sus propiedades cristalográficas y ópticas.

El mineral que parece más puro, contiene, casi siempre, en forma de interposición, cuerpos extraños que se encontraban en el medio en que se ha formado; el análisis no puede entonces determinar la composición real del mineral, mientras que una reproducción sintética permite distinguir los elementos constitutivos esenciales de los que no son sino accesorios.

En estos últimos años se han realizado grandes progresos en investigaciones de esta índole, especialmente por las prolongadas y admirables investigaciones efectuadas por los profesores DAUBRÉE, FOUQUÉ y MICHEL-LÉVY (1). Un gran número de minerales han sido reproducidos artificialmente por vía seca ó húmeda y por los métodos tan ingeniosos de BECQUEREL. Las reproducciones sintéticas toman cada día una extensión mayor como lo prueban los descubrimientos realizados por HAUTEFEUILLE (2). Entre otros muchos, son muy conocidos los trabajos que han sido publicados sobre los diferentes modos de cristalización de la alúmina por EBELMEN de SÉNARMONT y en seguida por SAINTE-CLAIRE DEVILLE, CARON, GAUDIN, DEBRAY y otros (3). Son también muy interesantes y darán probablemente mucha luz en estas cuestiones las originales y modernas experiencias de SPRING (4).

A pesar de los grandes progresos realizados en la minerología sintética, durante mucho tiempo había sido imposible reproducir

---

(1) LAPPARENT.— Cours de Minéralogie, pág. 342 y sig.

(2) Compt. Rend. Ac. Sc., t. 85, pág. 952.

(3) Compt. Rend. Ac. Sc., t. 85, pág. 1029.

(4) La plasticité des corps solides et ses rapports avec la formation des roches. Revue générale de sciences pures et appliquées, año 1900, pág. 1036.

en los laboratorios ninguna de las especies de feldespatos en cristales bien característicos.

### Síntesis de la ortosa y la albita.

En ciertos hornos de cobre de Alemania, en Sangershausen y Mansfeld (1834) y más tarde en 1845, se habían observado cristales muy netos que por su composición química y su forma eran idénticos á los de ortosa; estos simples hechos aislados y completamente accidentales no se habían podido imitar y aun más, no habían sido encontrados nuevamente dichos cristales en las usinas donde fueron observados por primera vez.

Como la ortosa es fusible, se intentó hacerla cristalizar por enfriamiento lento, previa fusión (1) como BERTHIER lo había hecho para el piroxeno; pero no se había llegado así más que al esmalte muy conocido ya por sus aplicaciones en cerámica. Por otra parte, EBELMEN no había abordado aun el problema por sus métodos tan elegantes como fecundos, cuando la muerte vino á arrancarlo de manera tan prematura.

DAUBRÉE (2) haciendo actuar el cloruro de silicio sobre las bases de la ortosa calentadas al rojo, obtuvo unos cristales prismáticos, pero no podían considerarse como análogos á la ortosa.

Las primeras tentativas para reproducir sintéticamente la ortosa, no tuvieron, pues, éxito alguno.

HAUTEFEUILLE después de haber abordado con éxito la reproducción artificial de los principales minerales, ha llegado á un resultado no menos feliz para las dos especies principales de

---

(1) GUARESCHI.—Supp. Ann. Enc. Chim., año 1899, pág. 48.

(2) Compt. Rend. Ac. Sc. t., 39, pág. 135.



feldespatos: la albita y la ortosa (1). Ha obtenido esta última, calentando á una temperatura comprendida entre  $900^{\circ}$  y  $1000^{\circ}$  una mezcla de ácido túngstico y silico-aluminato de potasio muy alcalino, conteniendo un equivalente de alúmina por 6 de sílice. El ácido túngstico forma tungstato de potasio á espensas de una parte del silico-aluminato que es así llevado á la composición de la ortosa.

El análisis de los productos obtenidos de este modo, por HAUTEFEUILLE, muestra que las cantidades de oxígeno correspondientes á las de óxido de potasio, alúmina y sílice que entran en la composición de los feldespatos sintéticos, están entre sí como los números 1 : 3 : 12, relaciones que caracterizan los feldespatos naturales más silíceos: ortosa, microlina, etc. De una manera análoga á la ortosa y en los mismos límites de temperatura ( $900^{\circ}$  á  $1000^{\circ}$ ), reemplazando el silico-aluminato de potasio por el de sodio, el autor citado obtiene la albita (2).

Los caracteres químicos cristalográficos y ópticos de los cristales obtenidos por el procedimiento mencionado han sido estudiados por su autor de una manera profunda, que no deja ninguna duda sobre la identidad de los productos sintéticos y naturales. La orientación de los ejes de elasticidad óptica con relación á las aristas de la forma primitiva, es tal, que el examen de los cristales en la luz polarizada paralela no permite distinguir los cristales reproducidos artificialmente de los naturales.

E. BAUR (3) ha publicado también un interesante estudio sobre las condiciones de formación de la ortosa y albita.

FUQUÉ y MICHEL-LÉVY han obtenido artificialmente algunos

---

(1) Compt. Red. Ac. Sc., t. 85, pág. 952.

(2) Compt. Red. Ac. Sc., t. 84, pág. 130.

(3) Bull. Soc. Chim. Paris, t. 32, pág. 18.

feldespatos, tales como la ortosa, anortita (1), albita y oligoclasa (2), por un procedimiento sensiblemente idéntico al que ha dado nacimiento á la cristalización de los mismos minerales en las rocas eruptivas. Fundieron en el horno de Schlœsing en un crisol de platino y á una temperatura vecina de 1700°, los feldespatos naturales porfirizados ó mezclas artificiales de los compuestos químicos que los constituyen: sílice y alúmina al estado de precipitados químicos desecados, carbonatos de potasio y de sodio fundidos y carbonato de calcio calcinado. En ambos procedimientos los productos obtenidos son idénticos. Una vez la mezcla fundida y transformada en una masa vítrea homogénea, que por enfriamiento brusco da un vidrio isótropo, la transportan sobre un soplete y la dejan durante 48 horas á una temperatura próxima á la de su punto de fusión; finalmente dejan enfriar el crisol sin otra precaución.

La composición química, propiedades ópticas y aún la estructura de los productos obtenidos son análogas á las que ofrecen generalmente en un gran número de rocas eruptivas.

St. MENIER (3) afirma haber llegado á un resultado análogo sin partir del feldespato propiamente dicho ni de una mezcla artificial de sus constituyentes químicos; este autor somete á la desvitrificación las masas vítreas naturales conocidas con el nombre de retinitas.

Según FUQUÉ y MICHEL-LÉVY (4) los procedimientos de St. MENIER no son, como lo afirma este autor, comparables á las síntesis practicadas por ellos, pues aparte de que sus métodos son muy imperfectos, St. MENIER no ha estudiado de una manera completa

---

(1) Compt. Rend. Ac. Sc. t. 87, pág. 779.

(2) Compt. Rend. Ac. Sc. t. 87, pág. 700.

(3) Compt. Rend. Ac. Sc., t. 87, pág. 737.

(4) Compt. Rend. Ac. Sc., t. 87, pág. 831.

los productos que ha obtenido y por consiguiente no puede darse exacta cuenta de las analogías y diferencia de los mismos con los feldespatos naturales.

FRIEDEL y SARASIN (1) obtuvieron cristales de ortosa netamente determinados calentando al rojo oscuro en un tubo cerrado revestido interiormente de platino, una solución de silicato básico de potasio con silicato de aluminio.

En otras experiencias CARLOS y JORGE FRIEDEL (2) llegaron á obtener la ortosa, calentando á alta temperatura la mica potásica con silicato é hidrato potásico.

MOROZIEWICZ (3) ha obtenido cristales, que según sus observaciones deben considerarse como análogos á los de sanidina, fundiendo liparita porfirizada con ácido tungstico.

DÖLTER (4), en experiencias basadas sobre la descomposición de algunos silicatos por la acción de determinados reactivos químicos, haciendo actuar un silicato doble de aluminio y potasio sobre fluoruro y fluosilicato potásico, obtuvo cristales que pueden referirse á un feldespato potásico, pero este no puede considerarse como ortosa, sino como microlina pues tiene sus caracteres.

HAUTEFEUILLE y otros autores han obtenido, en sus diversas experiencias, diferentes productos cristalizados químicamente muy vecinos de los feldespatos, pero difieren de éstos por la distinta proporción de los componentes y porque no existen en la naturaleza.

Finalmente MICHEL-LÉVY y FUQUÉ, con el fin de completar artificialmente esta serie de minerales tan importante de que nos

---

(1) Guareschi. Supp. Ann. Enc. Chim., año 1899, pág. 49.

(2) Obra y lugar citados.

(3) Obra y lugar citados.

(4) Obra y lugar citados.

ocupamos, han tratado de obtener artificialmente feldespatos á base de óxido de bario estroncio y plomo (1).

---

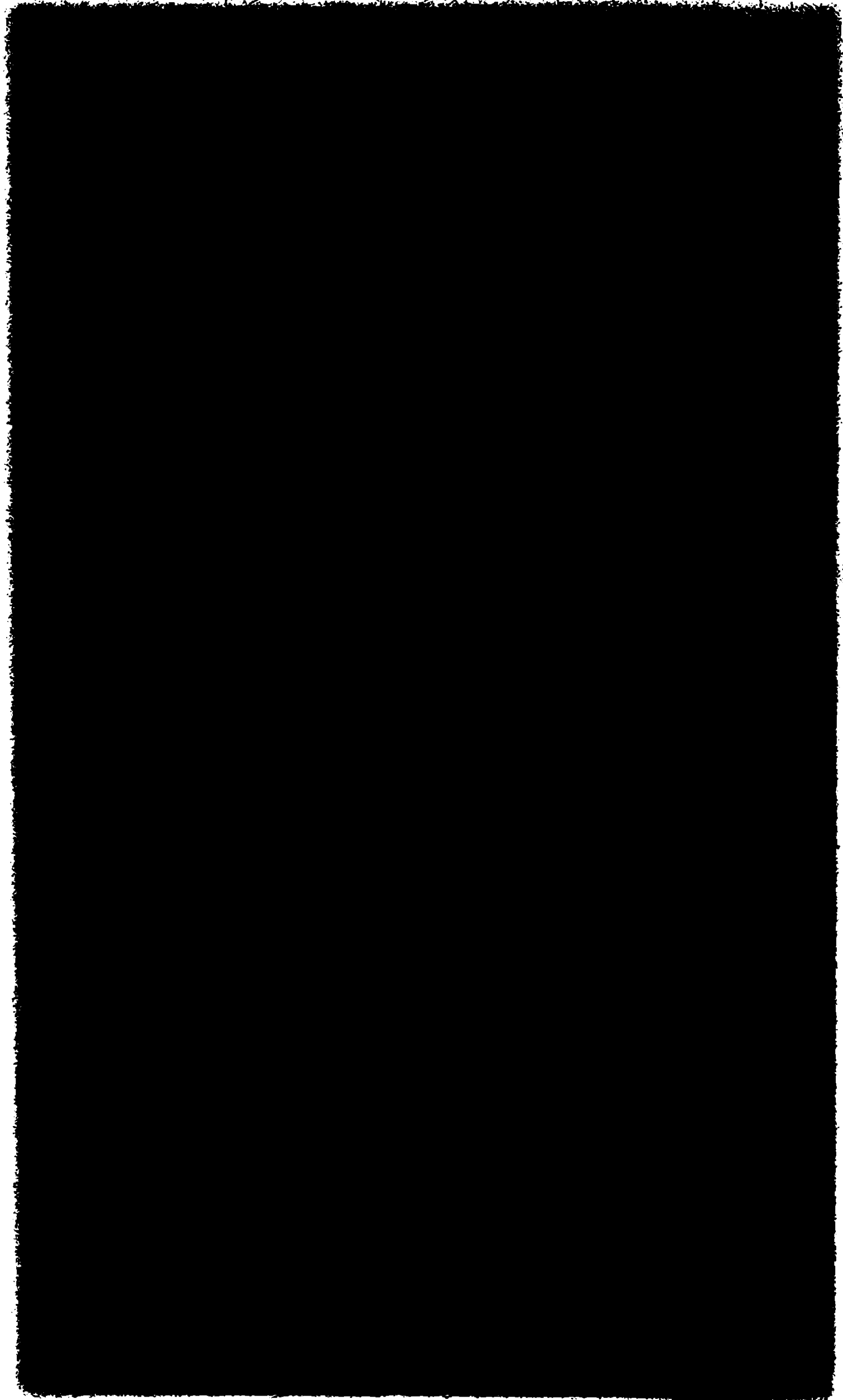
Ya hemos hecho resaltar la importancia que presenta para los mineralogistas y geólogos las síntesis en cristales bien netos y definidos de especies tan interesantes y difundidas como los feldespatos.

Refiriéndose sobre todo á las investigaciones de HAUTEFEUILLE, dice DAUBRÉE (2) que nadie puede suponer que los tungstatos alcalinos hayan intervenido en la formación del granito, otras sustancias habrán servido de mineralizadores. Al exponer los interesantes resultados obtenidos por vía seca, agrega el citado autor, «no pretendemos de ninguna manera negar que la vía húmeda haya podido intervenir en la formación de estas mismas especies; existen yacimientos que es muy probable se hayan formado por esta vía, pero la diversidad de procedimientos que permiten llegar al mismo resultado, no impide que la reproducción artificial de los minerales sea un método destinado á iluminar poderosamente la historia de numerosos fenómenos geológicos, hoy por hoy, muy oscuros.»

---

(1) *Comp. Rend. Ac. Sc.*, t. 90, pág. 620.

(2) *Comp. Rend. Ac. Sc.*, t. 85, pág. 1045.



## ORIGEN DE LOS CAOLINES Y DE LAS ARCILLAS.

---

### **Trasformación de los minerales.**

Una observación superficial del mundo mineral, produce la impresión de algo eterno é invariable; pero basta fijar algo la atención sobre la pseudomorfosis, para reconocer que la estabilidad de las múltiples sustancias, que al estado sólido, líquido ó gaseoso entran en la constitución del globo terrestre, solo es relativa y á veces aparente, estando siempre sujetas, en mayor ó menor grado, á la acción de causas naturales capaces de modificar su naturaleza y aspecto; muy limitado es el número de las que, como el cuarzo, resisten en gran parte estas acciones; la mayoría se alteran fácilmente como los feldespatos ó se disuelven como la calcita, etc.

A las múltiples acciones de naturaleza diversa, se une el transporte de fragmentos de rocas y de minerales diferentes hacia nuevos depósitos y la reconstitución de los mismos en depósitos sedimentarios, de donde resulta una mezcla muy variada de minerales, que pone en contacto sustancias muy diferentes que en su estado originario no se hallaban próximas y cuya mutua acción puede contribuir á aumentar la variación de formas minerales, incesante incremento que puede representar la evolución del reino de los minerales.

La historia del origen de cada mineral, pertenece realmente

á la historia de la evolución del reino mineral, sin que en ella se pueda establecer progreso alguno de lo simple á lo compuesto y á lo múltiple; en este sentido no existe verdadera evolución en cada mineral (1).

Muchos minerales tienen un origen directo ó primario, pasando su materia del estado fluido al sólido, otros se forman de los materiales de otros preexistentes y tienen por consiguiente un origen derivado ó secundario; por ejemplo, las numerosas *arcillas* derivadas de las diversas especies de *feldespatos*.

En algunos casos, los minerales formados se muestran como pseudomorfosis en las que ha desaparecido el mineral primitivo, en otros se presentan como parásitos del originario que lleva ó conserva las señales de las corrosiones ó descomposiciones de que ha sido objeto; por ejemplo: la *malaquita* sobre *calcopirita* y la *cerusita* sobre *galena*.

Las formaciones secundarias pasan á veces por diversos estados; así de una *siderita* ( $2 \text{FeCO}_3, 3 \text{H}_2\text{O}$ ) puede derivar primero una *hematita parda* ( $2 \text{Fe}_2\text{O}_3, 3 \text{H}_2\text{O}$ ) y de esta una *roja* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Una misma sustancia puede originarse de modos muy diversos y producir por lo tanto minerales de origen muy diferente, cada uno de los cuales puede mostrar el origen de su formación de un modo más ó menos marcado, por su forma, estructura, inclusiones, etc.

La importancia de estos fenómenos de transformación de que nos venimos ocupando, es bastante grande si se tiene en cuenta que los pequeños efectos, que se manifiestan en la pseudomorfosis y en la alteración superficial de los materiales terrestres, se agregan al gran complejo de manifestaciones endodinámicas que

---

(1) TSCHERMAK.—Obra citada, pág. 209.

por un lado dan lugar al vasto grupo de los fenómenos del vulcanismo, por otro á la formación de los yacimientos metalíferos y minerales y por último á toda la gran serie de fenómenos de metamorfismo.

No vamos á entrar, ni siquiera someramente, al estudio de todas estas cuestiones tan interesantes, pues sería apartarnos del plan que nos hemos propuesto desarrollar; nos limitaremos á estudiar la alteración de las rocas en general, deteniéndonos en el estudio de la caolinización de los feldespatos y rocas análogas, fenómeno de muchísima importancia tanto desde el punto de vista teórico, como del de sus aplicaciones.

### **Consideraciones sobre la alteración de las rocas.**

La alteración de las rocas se produce por capas sucesivas, siendo la exterior la más profundamente afectada por este proceso, consecuencia natural de la acción más inmediata de los agentes de destrucción. A esta sigue otra menos alterada y así sucesivamente hasta llegar á la roca intacta.

En el caso de los feldespatos, para citar un ejemplo, se puede decir que generalmente se observan tres zonas de destrucción: la primera de la periferia al centro, es de color rosado ó amarillento debido á la hidratación y sobre oxidación del hierro que se encuentra en la inmensa mayoría de las rocas feldespáticas; la segunda es de color verde, igualmente debido á una oxidación del hierro pero en menor grado; la tercera, aún que al parecer intacta, presenta señales de alteración, pues los cristales de feldespato pierden su aspecto y transparencia, pudiendo, por otra parte, constatarse mecánicamente el estado de desagregación, y por último existe una cuarta zona en la que la masa mineral se halla intacta.



Varias circunstancias se oponen á la descomposición de las rocas, otras en cambio, la favorecen.

La total sumersión de una roca ó mineral en el agua, por ejemplo, puede y comunmente evita la acción de ciertos agentes de destrucción (agentes atmosféricos). En general la descomposición es mayor en aquellos puntos en que la penetración de los elementos atmosféricos es más fácil, como sucede en las grietas y hendiduras y en las superficies de contacto de rocas distintas.

La naturaleza y estructura de las rocas influyen en esta alteración. Una masa de roca ó mineral puede no ser relativamente atacada, mientras que un depósito adyacente, análogo mineralógicamente, puede ser completamente desintegrado y descompuesto debido á que las condiciones físicas de este último son favorables á la descomposición, permitiendo, por ejemplo, la entrada de filetes de agua entre los cristales grietas ó hendiduras (1).

Las rocas de textura homogénea resisten más que las heterogéneas, las de grano fino y estructura compacta no se descomponen ni destruyen con la misma facilidad que las compuestas de elementos de gran tamaño aunque sean cristalinas.

### **Diversas acciones.**

En la categoría de transformaciones que estudiamos, debemos distinguir principalmente dos acciones: una acción mecánica y otra química; esta es casi siempre precedida por aquella, hecho que facilita mucho la acción de los agentes destructores, pues la afinidad de las diversas sustancias aumenta á medida

---

(1) HOLLOWAY.—Journal of the Society of Chemical Industry, t. 29, pág. 55.

que la materia se presenta más dividida debido al mayor y más íntimo contacto que se establece con los agentes de destrucción.

Las alternativas de frío y calor, de humedad y sequedad y principalmente los tránsitos bruscos del estado líquido al sólido y vice-versa, la acción del agua al congelarse en el interior de las rocas, son los principales agentes de esta división mecánica. La acción destructora del hielo es una fuerza que se debe tener muy en cuenta, es comparable á la pulverización del oro antes del tratamiento químico; sin embargo, su efecto está limitado por las condiciones físicas de la roca misma.

A las acciones mecánicas citadas, agregaremos finalmente el poder mecánico de las raíces y la vida de las plantas que son también poderosas fuerzas de destrucción.

Una vez que las rocas han alcanzado cierto grado de división debido á las acciones mecánicas enumeradas, es cuando se hacen sentir con todo su poder y energía las acciones químicas, debido principalmente á los agentes atmosféricos.

El aire húmedo tiene un poder tal, que pocos silicatos (y aún los menos entre los minerales de los metales no oxidados) resisten á su acción; esta es debida en parte á su poder de oxidación, pero su influencia destructora es sobre todo debida al  $\text{CO}_2$  que contiene. Si consideramos que existen en el aire 0.0341 % gr. de  $\text{CO}_2$  y 21 % de oxígeno, el  $\text{CO}_2$  considerado en química como un ácido débil, muestra en la atmósfera notable poder y propiedades químicas (1); disuelto en el agua y sobre todo cuando simplemente absorbido por la humedad tiene el máximun de superficie de acción, posee poder suficiente para descomponer gradualmente la mayor parte de las rocas constituidas por silicatos.

---

(1) HOLLOWAY—*Journ. Soc. Chem. Ind.*, t. 29, pág. 57.

En las condiciones citadas, en cambio, la sílice es un ácido débil y expulsado de sus combinaciones es llevado en solución, como silicato alcalino ó en pseudo-solución como  $\text{SiO}_2$  libre coloidal, para reaparecer en una ú otra de sus numerosas formas (cuarzo, calcedonia, ágata, jaspe, ópalo, etc.).

En las profundidades y á las temperaturas á las que se han formado las rocas, el anhídrido silícico, es por el contrario, el más poderoso de todos los ácidos. Prácticamente no volátil á temperaturas á las cuales muchos otros se evaporan ó son descompuestos, el anhídrido silícico destruye é impide la formación de compuestos á base de otros ácidos y una vez satisfechas las afinidades de las bases en presencia, el exceso de anhídrido silícico se separa como cuarzo, etc.

Estos hechos, que nos explican el predominio de los silicatos en la constitución del globo terrestre y su fácil descomposición, pueden reproducirse experimentalmente por uno de los procedimientos analíticos más comunes: la fusión de anhídrido silícico ó materias silícicas con carbonato sódico. El cuarzo, la más densa y más inerte forma de sílice, así tratado, expulsa el anhídrido carbónico con formación de silicato sódico. Si disolvemos este en agua y tratamos la solución por una corriente de  $\text{CO}_2$ , se regenera el carbonato sódico y el anhídrido silícico se precipita en masa como sílice gelatinosa.

A la acción del  $\text{CO}_2$  se unen, entre otras, las debidas á los ácidos orgánicos producidos por la alteración de los vegetales, los que actúan como disolventes directos y, á la manera de otros agentes que tienen el mismo origen, son con frecuencia poderosos agentes de reducción; por su acción los peróxidos insolubles de las rocas y minerales son reducidas á protóxidos, los que combinados con el  $\text{CO}_2$  ó con los mismos ácidos orgánicos son fácilmente disueltos. De esta manera las rocas rojas son blanqueadas y las piedras coherentes y compactas se tornan menos

resistentes, son debilitadas y aún desmenuzadas y llevadas á un estado de división terroso. Las variaciones de temperatura, el agua, el aire, las plantas, etc., no son en general los únicos agentes de las acciones mecánicas, físicas y químicas que han producido ciertas transformaciones tales como la caolinización de los feldespatos y rocas análogas, ellos no son suficientes para explicar el origen de muchos yacimientos caolínicos y arcillosos, otros factores no menos importantes se han hecho intervenir para interpretar su formación. Para evitar repeticiones inútiles, trataremos de ellos en seguida exponiendo conjuntamente las diversas hipótesis propuestas para explicar la caolinización de los feldespatos.

### **Caolinización de los feldespatos.**

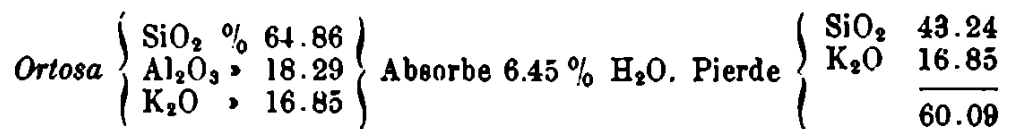
Se denomina caolinización, el fenómeno de la transformación de los feldespatos y rocas análogas en caolín ó productos semejantes.

La manera de producirse esta transformación es la siguiente: por acción de diversos agentes destructores, los feldespatos son descompuestos, los silicatos alcalinos y alcalino-térreos que forman parte de su composición, son disueltos y arrastrados por las aguas junto con el anhídrido silíceo producto de su misma descomposición y queda como producto final de esta destrucción, un residuo insoluble de silicato de aluminio más ó menos puro y análogo al caolín.

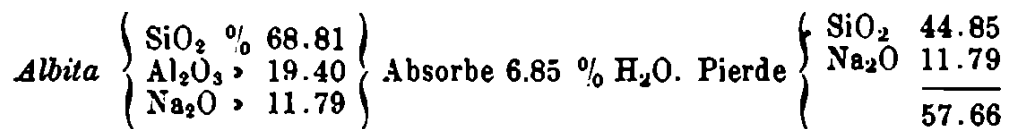
Considerando los feldespatos más importantes, puede esquematizarse fácilmente su transformación en caolín de la manera siguiente (1):

---

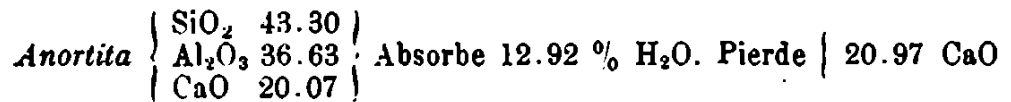
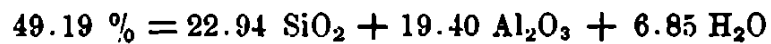
(1) CARL BISCHOF. Traducido por O. Chemin. *Argilles réfractaires*, pág. 19.



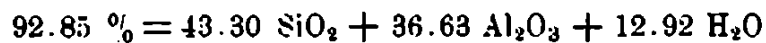
Caolín formado:



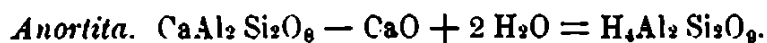
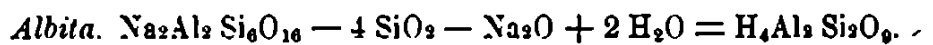
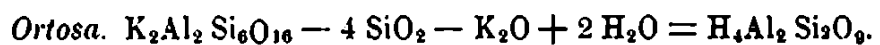
Caolín formado:



Caolín formado:



En fórmulas:



Es bajo esta forma, que representa la llamada atmosferización del feldespatos, como se expresa la concepción de la génesis del caolín por todos los autores que de ella se han ocupado.

### Diversas hipótesis.

Desde tiempos remotos se sabía que ciertas rocas expuestas al contacto del aire sufren cambios más ó menos profundos y se había observado la transformación de terrenos volcánicos en tierras aptas para el cultivo.

J. J. EBELMEN (1) después de innumerables trabajos muy metódicos, sentó como principio general que todas las rocas ígneas conteniendo alúmina, dejan por descomposición un residuo arcilloso más ó menos puro mezclado con cuarzo, óxido de hierro, etc., según la naturaleza de la roca y según las circunstancias en que dicha alteración ha tenido lugar.

En cuanto á los agentes de estas transformaciones, así como el mecanismo de las mismas, es una cuestión aun no resuelta de una manera general y satisfactoria.

GUETTARD, por primera vez en 1765, describiendo el caolín en el granito de Alençon, llamó la atención de los sabios sobre la alteración de los feldespatos. Seis años después lord HAMILTON, en una memoria presentada á la Sociedad Real de Londres, daba cuenta de sus observaciones sobre la alteración que experimentan las materias volcánicas sometidas á la acción del vapor de las solfataras (2):

FAUJAS DE SAINT-FOND (3) adoptando la opinión de lord HAMILTON sobre la alteración de las rocas volcánicas por los vapores ácidos sulfurosos, agrega, sin embargo, que no se debe

---

(1) *Chémie Céramique, Géologie, Metallurgie.*—J. J. EBELMEN. Tomo 2, pág. 70.

(2) M. E. CHEVREUL.—*Notice sur EBELMEN et sur ses travaux*, pág. 66.

(3) M. E. CHEVREUL.—*Obra citada.*

atribuir siempre ésta á la acción de dichos vapores; ella puede ser debido á causas más lentas y de otra naturaleza; circunstancias diversas tales como la acción del mar, aguas minerales frías ó termales cargadas de principios salinos ó fuertemente cargadas de *aire fijo* y quizá aun la nieve y la humedad constante pueden, en diversas épocas, haber ocasionado los cambios y transformaciones que se observan en estos basaltos.

Más tarde el análisis químico reveló en los feldespatos la presencia de potasa, hecho que llevó á ALLUAUD y VAUQUELIN (1) á formular, se puede decir, la primera hipótesis para explicar la transformación de los feldespatos en caolín.

Según esta hipótesis, dicha transformación era debida á una desagregación del feldespato seguida de la pérdida de su álcali, que puesto en libertad, era disuelto y arrastrado por el agua.

SELB objetó, que esta masa de potasa disuelta debería de producir lagos cuyas aguas estarían cargadas de esta base, pero, como muy bien lo hace notar FOURNET (2), la objeción de SELB no tiene razón de ser si se tiene en cuenta el número de siglos durante los cuales se efectúa la transformación, y por otra parte, la potasa dotada de afinidades enérgicas y arrastrada, por decirlo así, molécula á molécula, no tarda en entrar en nuevas combinaciones.

Este hecho fué observado por BERTHIER, quien hizo notar que la potasa solo desaparece acompañada de sílice; de manera que admitiendo que el feldespato estaba compuesto de silicato de aluminio y de potasio, el agua quitaría el silicato potásico dejando el caolín insoluble que estaría representado por el silicato de aluminio.

---

(1) FRÉMY.—Encyclopédie Chimique, t. 5, pág. 87.

(2) Obra y lugar citado.—FRÉMY.

GEILEN (1811), partidario de las ideas de BERTHIER, admite la influencia de una electricidad voltaica, en las capas diversas de un mismo terreno, como causa necesaria para la alteración de los minerales. Apoya su hipótesis principalmente en las observaciones de VOIGT, quien manifiesta no haber encontrado jamás en descomposición, sino el feldespato que se presenta en capas ó el granito de filones y que lo que tiene lugar en pequeño para el feldespato, puede también efectuarse en mayor grado entre bandas de rocas heterogéneas.

BRONGNIART y MALAGUTI (1), en un importante trabajo sobre el caolín, se declaran partidarios de las ideas de GEILEN, admitiendo que la transformación del feldespato en caolín puede haberse efectuado directamente por acciones eléctricas.

MALAGUTI se pronunció en favor de esta hipótesis, después de haber ensayado, sin resultado, la descomposición del feldespato por el vapor de agua pura á altas temperaturas y bajo presión.

En sus investigaciones, BRONGNIART ha observado que los yacimientos de caolín más considerables, están constantemente asociados á rocas ferruginosas igualmente descompuestas.

Las corrientes eléctricas resultantes del contacto de estas rocas heterogéneas han podido, para los autores citados, determinar y activar la alteración. En apoyo de su teoría citan experiencias, realizadas en sus laboratorios, en las cuales han conseguido descomponer el feldespato por la pila voltaica y aún por la electricidad á débil tensión.

Basado en sus cuidadosas investigaciones publicadas en 1761, EBELMEN hace serias objeciones á esta teoría: «Cuando las rocas se descomponen al aire sobre grandes extensiones como sucede á menudo con los granitos, basaltos y otras rocas, no son neces-

---

(1) FUSCH ET DE LAUNAY.—*Traité des Gites Minéraux et Métallifères.*—*Tom. 1.º, pág. 628.*



rias relaciones de contacto para que la descomposición tenga lugar. . . . .»

### Hipótesis de la atmosferización.

En 1833, FOURNET (1) propuso otra explicación para la descomposición de los minerales de origen ígneo y su transformación en caolín. Considera el  $\text{CO}_2$  como el agente principal de la formación del caolín; no admite la influencia de la electricidad que si existiera sería solamente en localidades particulares sin llegar á ser la causa determinante sino concurrente.

El objeto principal del trabajo de este autor, es mostrar que la alteración de los minerales comienza por una desagregación mecánica, consecuencia de una disposición molecular que se ha hecho inestable por la influencia de los agentes atmosféricos; á esta desagregación, sucede una alteración química de su composición: el oxígeno sustrae el  $\text{FeO}$  al estado de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , y el agua más ó menos cargada de  $\text{CO}_2$  actúa sobre el álcali y la sílice.

Como vemos, FOURNET, en esta última parte, concuerda con FAUJAS DE SAINT-FOND, atribuyendo al  $\text{CO}_2$  una acción semejante á la que atribuía este al *aire fijo* que no era sino el gas citado.

FORCKHAMMER ha conseguido descomponer el feldespato sometándolo á la acción del agua á  $150^\circ$  y compara la solución al agua de los geiseros de la Islandia, admitiendo que el agua cargada de  $\text{CO}_2$  actúa en frío sobre el feldespato como lo hace el agua á  $250^\circ$ .

---

(1) Ann. Chim. et Physique, 2ª serie, tomo 50, pág. 225.

EBELMEN adoptando las ideas de FOURNET, en lo que se refiere á la acción del  $\text{CO}_2$  en la descomposición de las rocas feldespáticas, emprendió muchas investigaciones químicas relacionadas con la alteración de las rocas en general y en su notable y ejemplar trabajo sobre estas cuestiones escribe (1): «Se puede admitir sin que esto contrarie en nada cuanto sabemos sobre las afinidades químicas de los cuerpos en presencia, que el O y el  $\text{CO}_2$  han producido la descomposición de casi todos los silicatos. La sílice es muy soluble en el agua conteniendo carbonatos alcalinos; es también sensiblemente soluble en el agua pura y en el agua cargada de  $\text{CO}_2$ ; la cal y la magnesia son también solubles en este último disolvente; se concibe entonces, fácilmente, que bajo la influencia prolongada de un líquido cargado de  $\text{CO}_2$ , como lo son las aguas que filtran en el interior del suelo hasta grandes profundidades, los silicatos puedan descomponerse y disolverse.»

A pesar de su simplicidad seductora, esta teoría es impotente para explicar la constitución de los grandes yacimientos de caolín en las granulitas, por lo que ha sido blanco de objeciones bastante graves.

*Objeciones á esta hipótesis.*— En primer lugar, la influencia de las lluvias es puramente superficial. Se ha argumentado que las aguas actúan algunas veces á una profundidad bastante grande (20 ó más metros), pero hay que tener en cuenta que en donde esto sucede, las aguas han arrastrado progresivamente un elemento, la arcilla, dejando en el lugar solo una especie de arena granítica y esto es lo que les ha permitido abrirse camino; mientras que en algunos yacimientos caolínicos, como los dos de Collettes, por ejemplo, el feldespato descompuesto está aún enteramente en el lugar y por consiguiente la roca no ofrece á las aguas

---

(1) EBELMEN.—Obra citada.—FREMY.—Enc. Chim., t. 5, pág. 89.

otros vacíos que los de la porosidad (1). No se explicaría, pues, por esta hipótesis, la continuidad de la formación caolinica bajo grandes profundidades, continuidad que parece estar bien comprobada en un gran número de casos. Se han encontrado en gneiss granulíticos, venas de caolín que persisten á 70 metros de profundidad con la misma intensidad que en la superficie (2).

Se ha sostenido que las aguas pueden haber intervenido al estado de fuentes termales, antiguas ó recientes, existiendo hechos bastante notables en favor de esta hipótesis (3); pero en la mayor parte de los casos están en desacuerdo con otros que se deben tener muy en cuenta, aun más, las tentativas efectuadas para explicar el origen de muchos yacimientos de caolín por una hipótesis semejante, no han alcanzado mayor éxito (4). Así, para el yacimiento de caolín de Karlsbad, KASAI admitió que á la erupción del basalto, el agua bajo la cual se encontraban los granitos ha sido fuertemente calentada y ha producido la descomposición de la roca granítica secundada por los agentes químicos que acompañaban al basalto. Esta opinión, así como la semejante de ROSINAL que supone una conexión del yacimiento con las fuentes termales de esta localidad, no ha sido establecida de una manera indiscutible por ninguno de sus autores.

KAUL, sin previo conocimiento del trabajo de KASAI, creía que aguas calientes conteniendo  $\text{CO}_2$  que acompañaban al basalto y provenían de fuentes situadas en las profundidades del granito, podían haber dado origen á la caolinización; pero las condiciones locales de la Bohemia y sobre todo las de Alta Franconia y Alto Patinat parecen no estar de acuerdo con esta suposición;

---

(1) FUSCH et DE LAUNAY.—Obra citada, t. 1, pág. 629.

(2) FUSCH et DE LAUNAY.—Obra y lugar citados.

(3) FUSCH et DE LAUNAY.—Obra y lugar citados.

(4) BISCHOF.—Obra citada, pág. 23.

por otra parte, esta explicación sería insuficiente para explicar el origen de yacimientos tales como los de las regiones de Halle, Limousin, Bornholm y otros en cuyos alrededores no se ha constatado ni basalto, ni erupción semejante.

Si bien la hipótesis de la atmosferización es pues, suficiente para explicar ciertos cambios y descomposiciones que han tenido lugar en la superficie, es impotente para explicar el origen de grandes é importantes yacimientos de caolín; las condiciones físicas de la descomposición material y la naturaleza de muchos de sus constituyentes secundarios de que nos ocuparemos más adelante, no pueden ser satisfactoriamente explicados sin atribuir al menos una parte de las acciones químicas á otras causas y agentes diversos.

### **Hipótesis de las Acciones Neumatolíticas.**

Se ha reconocido que manantiales calientes y emanaciones gaseosas de volcanes enérgicos extinguidos, han transformado grandes mantos de rocas volcánicas en depósitos de arcilla y caolín. Un ejemplo notable existe en la desembocadura del río Yellowstone (E. U.) donde la *riolyta* ha sido descompuesta á una profundidad de más de 1000 metros (1).

Desde hace mucho tiempo se había observado la asociación del caolín con los filones de estaño. La presencia frecuente del espato fluor en la mejor Cornish «China Stone», parece indicar que el FlH ha intervenido en esta formación. Se ha constatado también la presencia de minerales de estaño en conjunción con

---

(1) HOLLOWAY.—Journ. Soc. Chem. Ind., tomo 29, pág. 56.

el espato fluor en muchas minas de estaño de Cornish; este hecho ha sido atribuido á la acción del fluoruro de estaño que al pasar á travez de la masa, de abajo á arriba, ha sido descompuesto cerca de la superficie en óxido de estaño (casiterita) y ácido fluorhídrico (1).

DAUBRÉE ha señalado, sobre todo en Carglaze y Huelgoat, la sustitución de cristales de feldespatos, atacados por los agentes estaníferos, por cristales de casiterita y cuarzo.

Las rocas especiales que acompañan generalmente al estaño compuestas de cuarzo y mica, parecen ser antiguas granulitas cuyo feldespatos ha desaparecido bajo la acción de los agentes mineralizadores del estaño.

Las sales de los ácidos fluorhídrico, sulfúrico, clorhídrico, bórico, fosfórico y otros ácidos, con frecuencia presentes en grandes cantidades, justifican plenamente la creencia de que son en gran parte el resultado directo ó semi-directo de acciones químicas sobre las rocas ígneas, no obstante el hecho conocido de que minerales similares han derivado de otras fuentes.

Estas consideraciones han llevado á muchos autores á la conclusión de que estos diversos agentes, y especialmente el fluor, han tenido un importante papel en la caolinización y por consiguiente, la hipótesis emitida ya en 1801 por HAÜY y BUCH (2) (1824) y desarrollada más tarde por DAUBRÉE es bastante aceptable.

COLLINS (3), en 1874., sostuvo la misma teoría, sobre todo cuando en sus experiencias obtuvo, al atacar un granito por F<sub>2</sub>H, un producto análogo al caolín.

---

(1) Obra y lugar citados.

(2) BISCHOF.—Obra citada, pág. 23.

(3) A. E. TUCKER.—Journ. Soc. Chem. Ind. Año 1910, pág. 467.

DE LAUNAY (1) participa también de las ideas del autor citado atribuyendo el origen del caolín á fenómenos neumatolíticos, post-volcánicos subsiguientes á las erupciones del granito mismo.

Lo mismo RÖSLER, quien según BISCHOF, ha probado que la atmosferización más avanzada no conduce jamás á la formación del caolín y, aún más, que el granito semi-caolinizado por decomposición, no puede ser más caolinizado.

Otra observación muy importante que hace RÖSLER, es el hecho de encontrarse, en el caolín, un gran número de formaciones minerales nuevas y constituyentes accesorios cuya formación es típicamente neumatolítica, sobre todo turmalina, fluorina, topacio; otras formaciones tales como la siderita, pirita, grafito, casiterita, turquesas, galena y otros minerales conducen á la misma conclusión. Termina RÖSLER llegando á la conclusión que el origen del caolín se remonta á una época de gran actividad volcánica, esto es, á la subsiguiente á las erupciones de los granitos, pórfiros, cuarzos, etc., y la caolinización debe ser relacionada á fenómenos post- volcánicos, neumatolíticos y neumatohidatogénos.

Algunas de las afirmaciones de RÖSLER parecen estar en desacuerdo con experiencias realizadas por otros autores.

JOHNSON (2) sostiene que los minerales de la familia de la mica son atacados por el agua conteniendo  $\text{CO}_2$ , y finalmente SELLE estableció que la descomposición por los agentes atmosféricos y la caolinización son procesos análogos, la diferencia es solo cuestión de grados; en ambos casos se forma, como producto intermediario de la descomposición final del feldespato, mica que á su vez se transforma en caolinita.

---

(1) FUSCH et DE LAUNAY.—Obra citada, t. 2, pág. 628 y sig.

(2) TUCKER.—Journ. Soc. Chem. Ind. Lugar citado.

TUCKER (1) ha estudiado detenidamente la acción de los diversos agentes en discusión sobre el granito y los feldespatos; sus experiencias están completamente de acuerdo con las afirmaciones de JOHNSON y SELLE, pues llega á la conclusión que por la acción natural de los agentes atmosféricos, las rocas ígneas, como el granito y compuestos análogos constituidos especialmente de feldespatos, pueden haber sido caolinizados sin que sea necesario la intervención de vapores acuosos y ácidos emanados de las profundidades y que de estos últimos el FlH es el menos probable; sin embargo admite la posibilidad de que, en la caolinización del granito, hayan intervenido estos últimos factores emanados desde abajo y que los productos de la descomposición más ténues y más livianos llevados por las corrientes de agua á niveles más bajos, han formado arcillas estractificadas de variada composición y calidad. Cita como ejemplo, las capas de arcilla de Bovey Tracey (S. Devon) que han tenido su origen en los granitos más antiguos de Dertmoor, parte de los cuales persisten aún como el de Tors. El granito completamente desintegrado puede observarse en los distritos de Cornwall, junto con otros en diverso estado de desintegración.

Es en esta descomposición de los minerales alcalinos de las rocas más antiguas y sus detritus, donde puede observarse la acción de los agentes atmosféricos sobre las arcillas mismas. Es indudable que la mica, feldespato, etc., que forman tan considerable parte de su composición, continúan siendo atacados por el  $\text{CO}_2$  y el agua con formación de caolinita y pérdida de álcali por lavaje ó disolución, acciones que hacen que la arcilla llegue á obtener mucha resistencia al fuego y mayor plasticidad.

---

(1) Obra y lugar citados.

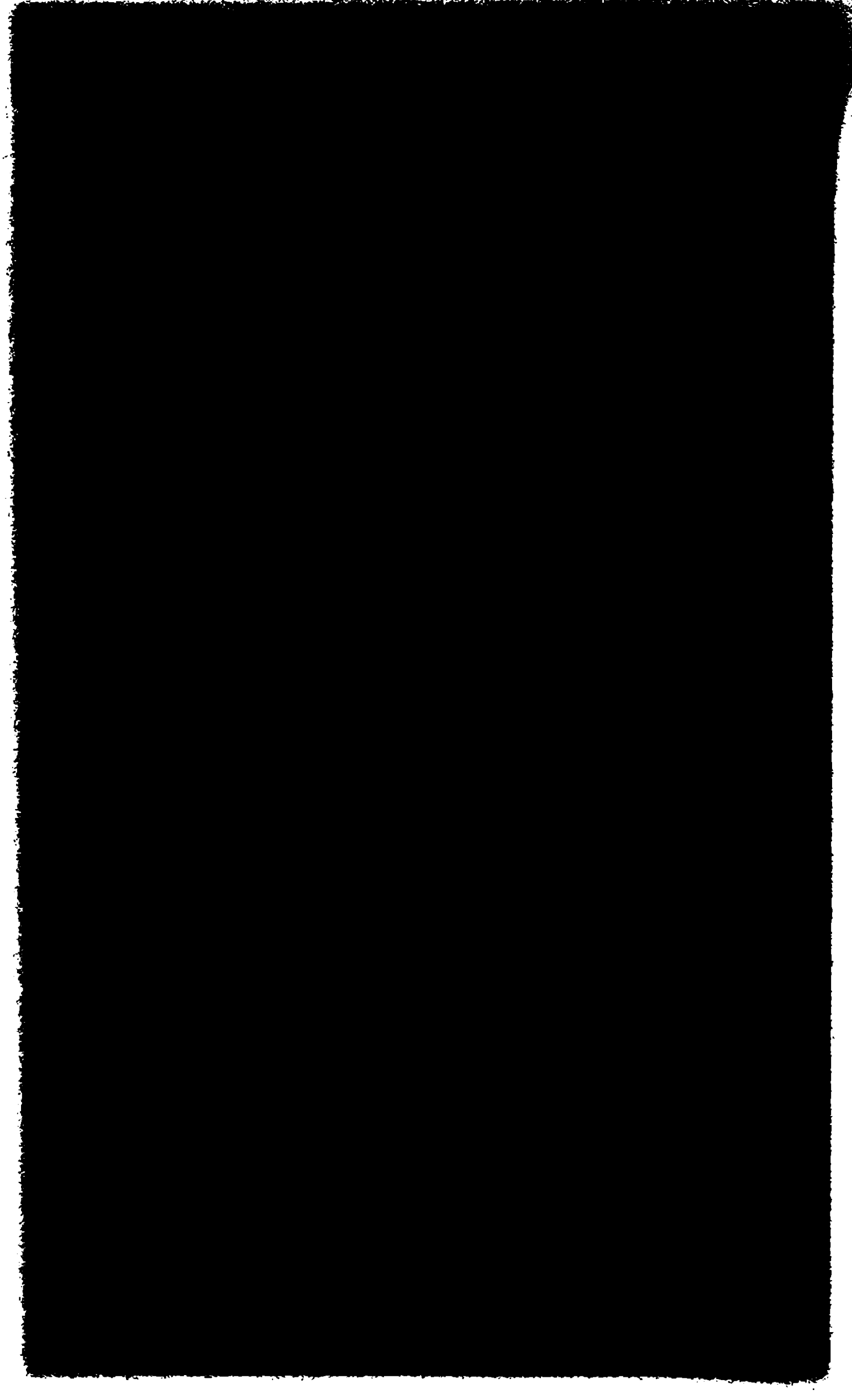
Las ideas de este autor, que cree posible la intervención de todos los agentes que venimos estudiando, nos parecen las más lógicas y aceptables.

Hay que tener muy en cuenta que la anarquía de opiniones puede explicarse muy bien si se considera que la mayoría de los autores cuya opinión hemos expuesto, han estudiado un número limitado de yacimientos y por consiguiente las observaciones y hechos que han podido acumular no permiten una generalización que pueda servir de base á una teoría universal sobre la caolinización.

Nos parece, pues, más conveniente atenernos á las observaciones de todos los que se han ocupado de la cuestión; lo que nos conduce á dar tanta importancia á los agentes atmosféricos como á los vapores y gases volcánicos, pues si bien en muchos casos la acción de los primeros es insuficiente para explicar el origen de tal ó cual yacimiento, su intervención en todos los casos nos parece innegable; en una palabra: *tanto los agentes atmosféricos como las acciones neumatolíticas, han intervenido en la caolinización; la intensidad é intervención de su acción transformadora puede variar mucho de un yacimiento á otro, dependiendo, entre otras causas, de las condiciones locales del yacimiento así como de la estructura y condiciones físicas de la roca originaria.*

---

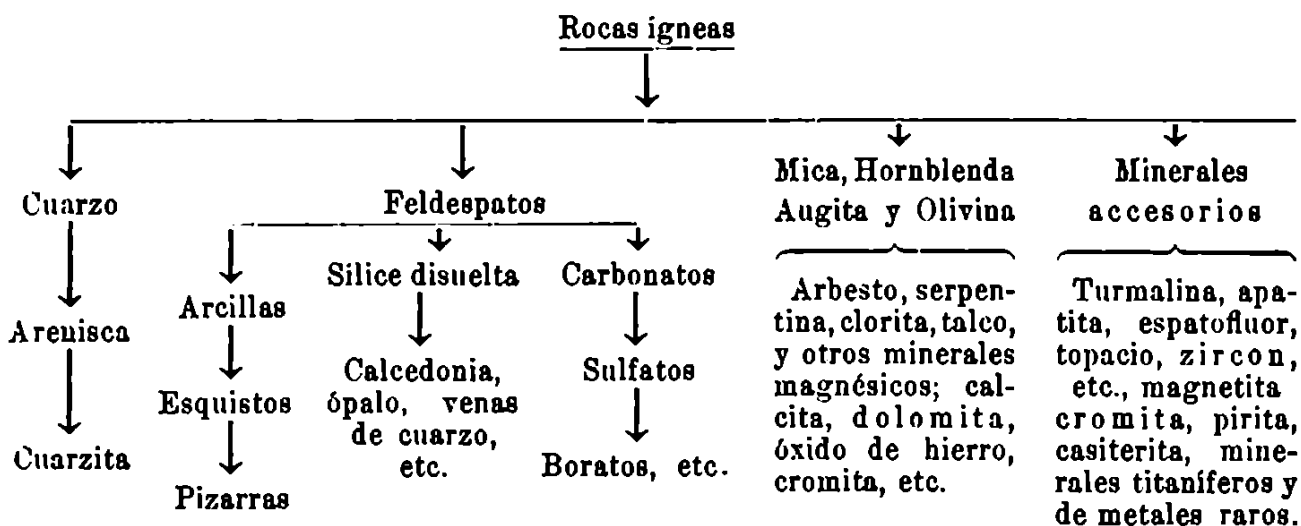




## PRODUCTOS DE LA DESCOMPOSICIÓN DE LAS ROCAS Y EN ESPECIAL DE LOS FELDESPATOS.

Por la acción continua y prolongada de los agentes atmosféricos, vapores volcánicos, gases y otros diversos factores estudiados en el capítulo anterior, las rocas son, pues, completamente descompuestas y desagregadas dando lugar á la formación de innumerables minerales cuyo estudio completo y detallado es del dominio de la Mineralogía.

Tomando como tipo las más ácida de las rocas ígneas, el granito, se puede sintetizar groseramente en el siguiente cuadro la formación de un gran número de minerales muy interesantes (1):



(1) HOLLOWAY.—Journ. Soc. of Chem. Ind., t. 29, pág. 55.

El granito está compuesto esencialmente de cuarzo, feldespato y mica, conteniendo además como indica el cuadro minerales accesorios diversos.

El cuarzo es muy poco afectado por los diversos agentes de destrucción, mientras que el feldespato puede ser y es en general completamente descompuesto.

Los constituyentes restantes son más ó menos alterados con producción de una gran variedad de nuevas especies minerales.

Los primeros productos sólidos de la descomposición de los feldespatos, son las arcillas en un estado mayor ó menor de pureza, hecho que depende, entre otras causas, de la naturaleza de la roca originaria. Al mismo tiempo que la arcilla, se forma un silicato alcalino que en parte es arrastrado por el agua y en parte descompuesto por el  $\text{CO}_2$ , separándose  $\text{SiO}_2$  que se deposita.

El residuo arcilloso que queda como producto de esta descomposición, es un silicato de aluminio más ó menos puro. Si este se encuentra junto al anhídrido silícico, depositado en el lugar mismo que ha sido originado bajo forma de un residuo que no puede ser descompuesto por los agentes atmosféricos, se denomina *arcilla primaria*, siendo la más importante de estas el caolín ó tierra de porcelana.

Cuando la arcilla es arrastrada por el agua y sometida así á una acción mecánica natural, los elementos extraños más voluminosos se separan y los verdaderos elementos de la arcilla se depositan en cierto estado de concentración y en un gran estado de división. De esta manera es como se forman las *arcillas secundarias*, muy importantes desde el punto de vista industrial porque dan con el agua una masa plástica (1).

---

(1) WAGNER, FISCHER Y GAUTIER. — Tratado de Química Industrial, tom. 2, pág. 86.

Los depósitos de arcilla, así formados, sujetos á presiones, suficientemente poderosas, productos de la superposición de otras capas ó producidas por otras causas, empiezan á endurecerse adquiriendo formas laminares, más ó menos duras, que han recibido el nombre de esquistos y pizarras. Por la intervención de masas ígneas ó por acciones puramente dinámicas, se producen ulteriores alteraciones en las arcillas, esquistos y pizarras y son así transformados en mica-esquisto.

Los cambios físicos son acompañados por reconstituciones moleculares, encontrándose de esta manera en los minerales mencionados, toda una nueva serie de minerales accesorios, tales como cristales de cuarzo, magnetita y muchos otros minerales en su más alto grado de perfección mineralógica tanto en su forma como pureza; granates y otras piedras preciosas.

Durante la degradación del granito, otro de sus constituyentes principales, el cuarzo, es también comunmente transportado para reaparecer finalmente en forma de depósitos tan conocidos como los de cristal de roca, gravas y arena, conteniendo también una gran variedad de minerales resistentes á los agentes de destrucción y que formaban parte de la roca originaria.

Estos depósitos, si bien formados originariamente por granito ú otras rocas, pueden, por la adición de materiales arcillosos, por la deposición de óxido de hierro, sílice, carbonato cálcico, etc., ó por infiltración de soluciones, llegar á ser consolidados en conglomerados ó piedras moldeadas.

Por procesos semejantes, depósitos de arena llegan á transformarse en conglomerados arenosos, en parte por infiltraciones de soluciones conteniendo sílice, en parte por presiones, etc.

En muchos casos, estas areniscas más ó menos puras, han sido transformadas en cuarzita (por la acción de intensas presiones) materia granular dura y compacta compuesta de granos adherentes de cuarzo recristalizado.

La sílice producida en la descomposición de los feldespatos, como hemos tenido ocasión de decir, se disuelve en parte y así es arrastrada para depositarse después de sus soluciones y reaparecer bajo la forma de depósitos de flints, ágata, jaspe, ópalo y todas las variedades de calcedonia.

En los feldespatos cálcicos se forma también carbonato cálcico que arrastrado en solución no tarda en depositarse dando lugar á formaciones tales como la piedra de cal, mármol, ónix y otras variedades ornamentales; otras veces forma depósitos estalactíticos ó interviene en la formación de los esqueletos de forminíferos, corales, mariscos, etc. El carbonato cálcico absorbido de sus soluciones por semejantes organismos, es de este modo purificado y por acumulación de sus cáscaras y cubiertas se forman depósitos de gran pureza.

DUMONT (1) atribuye el origen de los calcáreos de los terrenos jurásico y cretáceo á la acción de los carbonatos alcalinos, provenientes de la descomposición de los feldespatos y rocas análogas, sobre el cloruro cálcico contenido en las aguas de mar, admitiendo que en los primitivos mares era este el cloruro que predominaba.

Por procedimientos análogos á los citados, unas veces y otras mucho más complicados, se forman toda la serie de rocas y minerales citados en el cuadro expuesto al empezar este capítulo.

No vamos á entrar en detalles sobre los mismos, nos concretaremos al estudio de los caolines y arcillas.

---

(1) *Comp. Rend. Ac. Sc.*, tom. 149, pág. 1390.

### Caolines y Arcillas.

Los caolines son arcillas muy finas, generalmente blancas, amarillas ó rosadas que se encuentran casi siempre mezcladas con los elementos que contienen las pegmatitas ó granitos de que derivan, es decir, feldspatos no descompuestos, cuarzo, mica y otras rocas.

Los técnicos denominan arcillas á productos de composición diversa, en los que predomina el silicato de aluminio, que por absorción de una cierta cantidad de agua, adquieren un grado de plasticidad suficiente para ser moldeados; agua que pueden perder momentaneamente por desecación y de una manera permanente por cocción á temperaturas elevadas.

Desde el punto de vista químico y en el sentido más amplio, incluiremos bajo esta denominación al hidrosilicato de aluminio que contiene arcilla silícea hidratada y silicatos alcalinos, alcalinos térreos y de hierro; restringiendo el concepto, solo comprendería el hidrosilicato de aluminio ó silicato de aluminio hidratado.

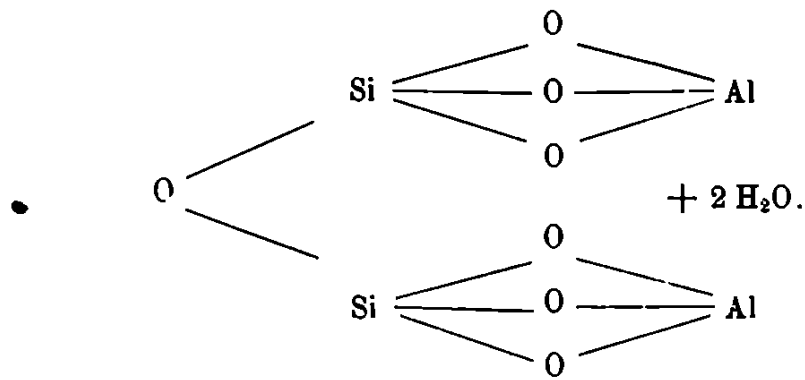
Es muy difícil encontrar en la naturaleza este producto puro, sólo se halla bajo forma de pequeños cristales de caolinita.

La fórmula más generalmente admitida, para esta especie mineral, por los químicos y mineralogistas es (1)  $2\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{H}_2\text{O}$ , ó sea  $\text{H}_4\text{Al}_2\text{O}_9\text{Si}_2$ . Algunos autores, yendo más lejos, la

---

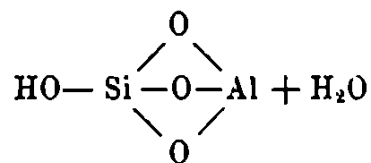
(1) M. G. VOGT.—De la composition des Argilles. Mémoires publiés par la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, pág. 203, año 1906.

consideran un disilicato de aluminio con dos moléculas de agua de hidratación, atribuyéndole la siguiente fórmula:



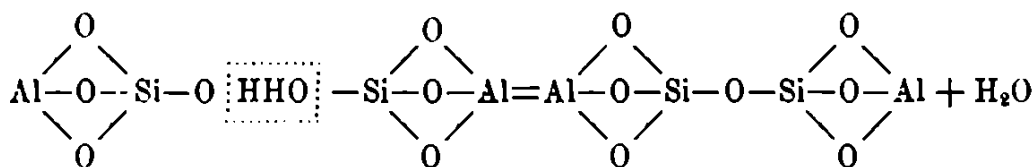
Creemos, con SESTINI, (1) que si esto fuera exacto, el silicato en cuestión debería perder totalmente su agua entre 110° y 120° lo que no sucede, pues el caolín contiene aún á esta temperatura cierta cantidad de agua que sólo pierde, en algunos casos, íntegramente á los 350°; esta no existe preformada, no puede ser indiscutiblemente agua de hidratación, se forma probablemente á expensas de oxidrilos que se encuentran en la caolinita misma.

Suponiendo entonces, que de las dos moléculas una sola sea en realidad agua de hidratación, la constitución química de la caolinita y arcillas análogas podría ser expresada, según SESTINI, así:



(1) F. SESTINI—Sulla composizione chimica delle argille. Guareschi. Supp. Ann. Enc. Chim., año 1898, pág. 250.

Según esta fórmula, la caolinita sería un hidroortosilicato, el que á 350° daría origen, por la reunión de dos moléculas, al disilicato de aluminio con eliminación de agua:



La hipótesis de que el agua que se elimina á 350° se origina á expensas de oxidrilos que forman parte de la constitución química de la arcilla y no es agua de hidratación ó cristalización, parecen confirmarlo los resultados obtenidos por LE CHATELIER (1).

No todas las arcillas responden á la fórmula  $2\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{H}_2\text{O}$ , algunas como lo ha comprobado este último investigador, responden á otras fórmulas de que nos vamos á ocupar en seguida.

### Composición y clasificación de las arcillas.

La composición química de las arcillas es muy variada. Haciendo abstracción de los cuerpos extraños que acompañan al silicato de aluminio hidratado (materia arcillosa propiamente dicha), este cuerpo presenta un cierto número de variedades en las cuales las relaciones de la alúmina, de la sílice, y del agua son diferentes; existe en efecto, un número considerable de combinaciones de estos tres elementos en proporciones variables.

(1) GUARESCHI.—Obra y lugar citados.



LE CHATELIER (1), teniendo en cuenta la composición de las arcillas y los fenómenos térmicos observados al someterlas á diversas temperaturas, ha clasificado las arcillas en cinco grupos ó categorías distintas:

1.º *Halloysitas*.—Son las más abundantes, comprende la totalidad de las arcillas sedimentarias y la mayor parte de las químicas.

Las sedimentarias son formadas, según SCHLESING, por una mezcla compleja de cuarzo, silicato de aluminio cristalizado y arcilla coloidal. Las químicas, al contrario, después de perder el agua higrométrica á 250º, tienen una composición muy regular, análoga á los caolines.

La halloysita típica es una arcilla poco plástica, blanco amarillenta de densidad 1,92 á 2,2 que responde á la fórmula  $2\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{H}_2\text{O} + \text{Aq}$ . En esta fórmula se designa por Aq, una parte del agua en cantidad indeterminada que desaparece por acción del calor á una temperatura superior á 200º. El agua combinada ( $2\text{H}_2\text{O}$ ) desaparece á 400º, temperatura á la cual el calentamiento de la arcilla sufre un descenso; á 1000º se produce un fenómeno inverso y una vez calentadas á esta temperatura se vuelven insolubles en los ácidos.

2.º *Caolines*.—Responden á la fórmula  $2\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{H}_2\text{O}$ . Se distinguen de las anteriores por la acción que sobre ellas ejercen los ácidos después de ser deshidratadas y por un desprendimiento de calor á 100º.

Su composición centesimal es más ó menos  $\text{SiO}_2$  % 46,4  $\text{Al}_2\text{O}_3$  % 39,7,  $\text{H}_2\text{O}$  % 13,9.

---

(1) AUSCHER et QUILLARD.—Technologie de la Céramique, pág. 29.—FUSCH ET DE LAUNAY.—Obra citada, t. 1.º, pág. 613.

El agua combinada desaparece á 700° y no se observa elevación de temperatura á 1000°.

Los caolines típicos son blancos, su densidad oscila alrededor de 2,2 y son infusibles á las temperaturas más elevadas de los hornos industriales.

Existen caolines que pierden el 19 % de agua (1), aproximándose así á la fórmula  $2 \text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, 3 \text{H}_2\text{O}$  y por consiguiente parecen proceder de la descomposición de una roca feldespática un poco diferente del feldespato ordinario. La composición del producto calcinado es, no obstante, análoga á la del de Limousin típico, cuando ha sido sometido á una acción análoga.

Las arcillas representantes de los dos grupos citados son las más abundantes; mucho más raras son las variedades de los grupos restantes.

3.° *Alofanas*.—Responden á la fórmula  $\text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2 + \text{Aq}$ .  
Comprenden un pequeño número de arcillas sin importancia desde el punto de vista cerámico.

Pierden su agua á una temperatura que varía de 150° á 400° y presentan como las del primer grupo una elevación de temperatura á 1000°.

4.° *Pirofilitas*.—Responden á la fórmula  $4 \text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{H}_2\text{O}$ .  
Se deshidratan á una temperatura que varía entre 700° y 850° y no ofrecen fenómeno térmico alguno á 1000°. Tienen una densidad vecina de 2,78, son bastantes friables y formadas por cristales bacilares.

5.° *Montmorilonitas*.—Difieren de las anteriores por contener un exceso notable de agua. Su fórmula es  $4 \text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3,$

---

(1) AUSCHER et QUILLARD.—Obra y lugar citados.

H<sub>2</sub>O + Aq. Son á menudo muy impuras, pudiendo una parte de la alúmina ser reemplazada por óxido de hierro. No tienen importancia en cerámica, por cocción adquieren un tinte amarillo ó rojo.

Se han propuesto otras muchas clasificaciones de las arcillas tales como la de SENFFT (1) basada en su pureza, la clasificación industrial de BOURSIS (2) que divide las arcillas en *caolines* y *arcillas propiamente dichas*, subdividiendo estas en *refractarias*, *vitrificables* y *fusibles*.

Se conocen arcillas grasas, magras, plásticas, esquistosas, más ó menos coloreadas; se han dividido también teniendo en cuenta uno ó varios constituyentes en aluminíferas, ferruginosas, gipsosas, calcáreas, arenosas, saladas, bituminosas, marnosas, esteatíticas, limonosas, etc.

Según su aplicación reciben también diversos nombres (3), pero no insistiremos más sobre estas clasificaciones puramente empíricas y convencionales.

### Diferencia entre Caolines y Arcillas.

No es posible establecer una diferencia precisa entre caolines y arcillas. Se ha tratado de establecer esta distinción diciendo que los caolines son productos primarios y que las arcillas son productos de origen secundario, pero esta manera de diferenciarlas no es exacta por cuanto existen verdaderos caolines en yacimientos secundarios. Si bien se trata de materiales trans-

---

(1) GUARESCHI.— *Nouva Enciclopedia di Chimica.*, t. 5, pág. 18.

(2) GUARESCHI.— *Nouva Enciclopedia di Chimica.*, t. 5, pág. 91.

(3) BISCHOF.— *Obra citada*, pág. 10.

portados á pequeñas distancias y sobre los cuales las acciones químicas han hecho sentir poco su influencia en el desplazamiento, los llamados gres y arcillas caolínicas deben indiscutiblemente ser considerados como verdaderos caolines (1).

Las mismas dificultades con que se tropiezan al querer diferenciar los caolines de las arcillas por la categoría ó clase de formación, se encuentran al querer establecer una separación rigurosa, entre ambos, teniendo en cuenta su composición química. Sin embargo, generalmente casi todas las arcillas propiamente dichas, comparadas con los caolines, revelan un tanto por ciento mayor en álcalis, óxido de hierro y otras impurezas y, por el contrario, una menor proporción de agua.

La diferenciación basada en los constituyentes accesorios, presenta las mismas dificultades, pues se encuentran los mismos en ambas formaciones.

### **Constitución física.**

Existen diversas opiniones acerca de la constitución física de las arcillas. Los distintos autores que han observado con grandes aumentos arcillas de procedencia diversa, hallan formas y estructuras distintas.

«Las arcillas, según ORBIGNY (2), son rocas constituidas por partículas microscópicas independientes, mecánicamente mezcladas y cuyo volumen se reduce, en muchos casos, al de las moléculas químicas componentes.»

---

(1) BISCHOF.—Obra citada, pág. 25.

(2) FREMY.—Encyclopedie Chimique, t. 5, pág. 75.

ARON (1) observando con un aumento de 750 diámetros las partes más finas de diversas arcillas de Grunstadt, afirma que estas tienen forma esférica. En sus investigaciones (2) ha podido observar que el volumen de las cavidades que aun se encuentran en las arcillas después de su desecación completa, es constante é igual al 35 % del volumen de la arcilla. La misma proporción (exactamente 35,1 %) existe entre el volumen de las cavidades que se encuentran en un sistema de esferas en contacto mutuo, y el volumen ocupado por las esferas mismas.

BIEDERMANN, HERZFELD y otros afirman haber observado formas más ó menos cristalinas. Haciendo sus observaciones con aumento de 800, 1.200 y hasta 1.800 diámetros sobre diferentes arcillas y entre ellas las de Grunstadt, estudiadas por ARON, los autores citados, no han podido observar las pequeñas esferas cuya presencia dice haber constatado este último investigador. Algunas arcillas, prosiguen BIEDERMANN y HERZFELD (3), muestran formas cristalinas bien definidas, otras solamente fragmentos de estas formas, algunas formas completamente irregulares é indefinidas y finalmente otras partículas muy finas.

Estas diferencias de constitución, pueden explicarse por diferencia en el transporte (4), así como también pueden darnos, por comparación con arcillas bien conocidas, una idea aproximada de la distancia recorrida en el transporte, desde su origen (caolín) hasta su yacimiento actual. Las arcillas muy divididas, cuyos elementos cristalinos están destruidos en gran parte, han sufrido probablemente un gran transporte y por este motivo son

---

(1) BISCHOF.—Obra citada, pág. 5.

(2) M. B. ZSCHOKKE.—Recherchez sur la plasticité des argilles. Mem. Soc, etc. año 1906, pág. 256.

(3) M. B. ZSCHOKKE.—Obra y lugar citados.

(4) G. MOREAU.—Étude industrielle des gites metalifères, pág. 257.

más plásticas que el caolín puro que, por no haber sufrido transporte alguno, no ha sido transformado y fácilmente permite reconocer sus elementos cristalinos.

En regla general, pues, las arcillas son tanto más divididas cuanto mayor transporte han sufrido, existiendo una relación entre este y el grosor de sus granos, según unos, y el estado de los cristales, según otros.

JOHNSON y BLAKE concuerdan con los dos últimos investigadores citados, admitiendo en la arcilla la presencia de un mineral de forma cristalina y composición química determinada que denominan caolinita.

Lo mismo SCHUMACHER (1) quien estudiando la estructura de diferentes arcillas, ha reconocido que están formadas de partículas irregulares, de formas variadas y de acuerdo con los observadores citados de grosores diferentes que estarían en razón inversa de la plasticidad. En algunos casos se pueden reconocer en ellas una forma cristalina, en otras los fragmentos son deformes.

Admitida en general la presencia de formas cristalinas en la constitución de los caolines y arcillas, han surgido diversidad de opiniones en lo que se refiere al sistema cristalino de las mismas.

EHRENBER, KNOP, SAFARIK, CROSS y HILDEBRAN y HILLS (2), han constatado en ellas gran semejanza de formas con el sistema exagonal.

DICK y MIERS se pronuncian por el sistema monoclinico, mientras que REUSCH (3), cree que por sus propiedades ópticas la caolinita debe colocarse en el sistema triclinico.

---

(1) A. GRANGER.—Fabrication et emploi des matériaux et produits réfractaires, pág. 133.

(2) BISCHOF.—Obra citada.

(3) MOISSAN.—Traité de Chimie Minérale, t. 4, pág. 61.

HUSSAK (1), además de la caolinita, (caolín en su forma más pura) que había sido encontrada en cristales microscópicos y redondeados en el año 1887 en Denver, Colorado y en la National Belle Mine, ha estudiado varios caolines conocidos (China-clay inglesa, el caolín ordinario y más fino de Cornouailles, los de Bohemia, Limoges y alrededores, así como también una arcilla negra de Saxe), llegando á la conclusión, de que la caolinita es monoclinica, pero por sus ángulos los cristales se aproximan mucho al sistema exagonal, y que en los caolines citados como en la arcilla, la caolinita se presenta siempre bajo la misma forma en pequeñas escamas; en las muestras reducidas á papillas no ha podido constatar formas regularmente definidas. En la arcilla de Saxe las pequeñas escamas de caolinita son más pequeñas que en los caolines.

---

Hemos expuesto las ideas acerca de la constitución física de los caolines y arcillas, interesante y discutida cuestión aún no resuelta de una manera definitiva. Para unos investigadores el caolín tiene forma monoclinica, para otros cristaliza en el sistema triclinico y finalmente hay quien ha observado formas monoclinicas que por sus ángulos se aproximan mucho al sistema exagonal.

Nuestra opinión es que esta diversidad de formas observadas, puede muy bien ser debida á que los caolines son formas pseudomórficas de los feldespatos de que derivan y por consiguiente pueden existir en forma monoclinica ó triclinica.

Aparte de que los casos curiosos de formas prestadas ó derivadas son muy comunes en la naturaleza, robustece nuestra opi-

---

(1) BISCHOF.—Obra citada.

nión el hecho de que han sido señalados caolines pseudomórficos de ortosa, fenómeno atribuido en este caso á la acción de los agentes atmosféricos é interpretada como sigue (1):



Esta pseudomórfosis pertenece á la categoría de las llamadas *metasomáticas* ó de alteración, debidas á un cambio parcial ó total de los elementos del cristal sustituido, manteniéndose íntegra la forma de éste; por la acción en la mayoría de los casos, de circunstancias físicas y químicas.

Se han observado feldespatos íntegros en su superficie, transformados en su interior en una masa terrosa desagregada análoga al caolín (2).

En muchas pseudomórfosis existen casos en que se conserva la forma de los cristales del mineral originario, constatándose una variación en el valor de los ángulos (3). Algo análogo ha sido observado por HUSSAK, quien estudiando la constitución de muchos caolines y arcillas, ha comprobado la presencia de formas monoclinicas (como hemos tenido ocasión de decir en párrafos anteriores) que se apartan de este sistema por el valor de sus ángulos.

Estas observaciones aisladas unidas al hecho de que los investigadores han encontrado siempre formas mono ó triclinicas parecen justificar nuestras ideas al respecto. Sin pretensión alguna, puesto que no podemos citar en nuestro apoyo mayores datos que confirmen esta suposición, la emitimos, pues, aparte

---

(1) TSCHERMAK.—Obra citada, pág. 224.

(2) SANSONI.—Cristallografia, pág. 174.

(3) TSCHERMAK.—Obra citada, pág. 91.



de que no sería nada extraordinario que ella se confirmase, puede comprobarse con facilidad disponiéndose de caolines de origen seguro y observando si son seudomórficos y tienen la forma de los feldespatos de que derivan.

Resumiendo, cuanto hemos dicho al respecto nuestra opinión es:

*Que las formas cristalinas observadas en los caolines, pueden ser seudomórfosis de los feldespatos de que derivan y por consiguiente, los caolines derivados de feldespatos monoclinicos serian seudomórficos monoclinicos y los derivados de feldespatos triclinicos seudomórficos triclinicos.*

### **Plasticidad.**

La plasticidad, atribuida en las arcillas á diferentes causas, tiene mucha importancia industrial por la aplicación que se hace de estos materiales en las artes cerámicas.

Ha sido definida como la propiedad que tienen los cuerpos de formar, previa absorción de agua, una pasta grasa más ó menos tenaz y dúctil capaz de sufrir, bajo la acción de las fuerzas exteriores, grandes deformaciones sin que la masa pierda su cohesión ó cambie de forma después que cesa la acción deformadora. ZSCHOKKE, basándose en la teoría de REYRÖ, (1) define la plasticidad como «la propiedad que poseen ciertos cuerpos, dotados de una cohesión tan completa como es posible, de sufrir, bajo la acción de fuerzas exteriores, deformaciones permanentes muy

---

(1) M. B. ZSCHOKKE.—Recherches sur la plasticité des argilles.—Memoires publiés par la Société d'Encouragement, pág. 274.

considerables sin que el cuerpo deformado presente, con relación al cuerpo primitivo, un cambio en su cohesión.»

El elemento constituyente principal de toda arcilla, es la sustancia arcillosa propiamente dicha, el hidrosilicato de aluminio. Se denominan arcillas muy plásticas, grasas ó largas, las que siendo ricas en sustancia arcillosa se caracterizan por su gran deformabilidad y ductibilidad; se denominan, en cambio, arcillas magras ó cortas, las que debido á un tanto por ciento elevado de sustancia no arcillosa (arena, cuarzo, feldespato, óxido cálcico, etc.), tienen un carácter más ó menos arenoso y son poco plásticas.

La riqueza de una arcilla en sustancia arcillosa no puede servirnos de criterio para dar una medida absoluta de su grado de plasticidad. Esta noción íntimamente ligada á la estructura física de las arcillas, depende también de muchas otras causas que hacen que materiales del mismo origen puedan tener plasticidades muy diferentes. Las arcillas en efecto, pueden estar más ó menos mezcladas con la roca originaria, pueden igualmente haber arrastrado en su desplazamiento minerales muy diferentes; se comprende también que según la lentitud y naturaleza de las acciones mecánicas y químicas sufridas, se encontrarán en la naturaleza arcillas que aunque derivadas de un tipo general común, presentarán diferencias bastante notables en su plasticidad. Finalmente para los partidarios de la teoría coloidal de la plasticidad, ésta depende de la cantidad y calidad de la material coloidal contenida en la arcilla (1).

La propiedad de que nos venimos ocupando es, por otra parte, modificada por el agua empleada en los ensayos. Cuando esta es débilmente alcalina, las partículas son mantenidas en suspen-

---

(1) Proceedings of the Engineers' Society of Western Pennsylvania, año 1910, pág. 568.

sión y la plasticidad es menor; el agua ácida las precipita y hace que esta sea mayor. Estos hechos llevaron á SEGER (1) á explicar el aumento de plasticidad por putrefacción, admitiendo que, por esta acción, el agua adquiere acidez por la fermentación de las materias orgánicas contenidas en la arcilla.

La plasticidad en la arcilla seca existe, por decirlo así, al estado latente y solo se manifiesta cuando por adición de agua entran en juego toda una serie de fuerzas tales como la gravedad ó peso de la agua misma, la tensión superficial, debido á la atracción (cohesión) entre las moléculas de agua, la atracción molecular (adhesión) entre éstas últimas y las partículas de arcilla, etc. (2).

#### **Diversas hipótesis acerca de la plasticidad de las arcillas.**

ARON (3), atribuye á las partículas de arcilla forma esférica y explica la plasticidad por el fenómeno físico de la suspensión. Considera una pasta plástica, como un líquido en el cual las partículas de arcilla se encuentran en suspensión permanente; según la ley de la gravedad, esas pequeñas esferas se deberían depositar poco á poco y por consiguiente después de un cierto tiempo se formarían dos capas distintas; pero si el espesor de la capa de agua, entre las esferas aisladas, no pasa un cierto mínimo, esta separación es imposible puesto que el frotamiento entre el agua y las pequeñas esferas se opone á la acción de la gravedad sobre estas últimas.

---

(1) MOISSAN.—*Traité de Chimique Minerale*, t. 4, pág. 64.

(2) H. L. ASHLEY.—*The colloid matter of clay and its measurement.*—*Transactions of the American Ceramic Society*, año 1909, pág. 574.

(3) M. ZSCHOKKE.—*Obra citada*, pág. 236.

La forma atribuída por ARON á las partículas de arcilla está en contradicción con las observaciones de BIEDERMANN y HERZFELD, JOHNSON y BLACKE, HUSSAK y otros (1). Sin embargo, BISCHOF hace notar que en realidad una arcilla siempre contiene arena y que probablemente una parte de los granos cristalinos observados por los investigadores mencionados son restos de cuarzo.

Para BIEDERMANN (2), la cantidad de cristales es proporcional al grado de plasticidad y considera que esta es debido á las variaciones de la fuerza de cohesión y adhesión, las que relaciona á la ley de NEWTON según la cual las atracciones de dos cuerpos son proporcionales á las masas é inversamente á los cuadrados de las distancias. Se ha objetado, á esta hipótesis, que la mencionada ley se aplica solo en el caso de las grandes distancias, dejando de ser exacta para las pequeñas.

Basándose en que la mica, que al estado natural no es plástica, adquiere esta propiedad por desmenuzamiento, VOÛR (3) explica este hecho admitiendo que por dicha acción, la mica se transforma en laminillas muy finas que se entrecruzan á la manera de las escamas de un pescado y son mantenidas así por el agua que por capilaridad forma la ligadura móvil que permite á la pasta adquirir todas las formas posibles. En esta concepción, que se aplica también á la caolinita, la plasticidad será tanto mayor y más perfecta cuanto más pequeñas sean las laminillas. Esta teoría explicaría también la influencia de la reacción del agua interpuesta entre las mismas, la que modificando la adherencia capilar, que provoca entre ellas, modificaría la plasticidad.

---

(1) BISCHOF.—Obra citada, pág. 29.

(2) BISCHOF.—Obra y lugar citados.

(3) FUSCH et DE LAUNAY.—Obra citada, tomo 4, pág. 65.

En 1874 estudiando la naturaleza de los constituyentes de la arcilla, SCHLÆSSING (1) dejó sedimentar, durante 27 días, una muestra de caolín suspendida en agua y observó que una parte quedaba en suspensión y el resto se depositaba. La parte en suspensión precipitada por un electrólito, filtrada, lavada, puesta sobre un plato de porcelana y secada con cloruro de calcio, se transformaba en una masa quebradiza, brillante y traslúcida que se adhería fuertemente á la porcelana. Entre esta y el sedimento, casi sin cohesión, no había cambio gradual, sino, por el contrario, una completa diferencia de propiedades. Estos hechos lo llevaron á la conclusión de que la materia arcillosa, á que se debía la plasticidad, estaba constituida por coloides.

Participan también de las ideas de este investigador LUCAS (2) y ROHLAND (3). Según las investigaciones de este último todas las materias capaces de formar con el agua soluciones coloidales tienen una plasticidad más ó menos grande; como las arcillas poseen principios coloidales, sean orgánicos ó inorgánicos, son ellos los que comunican á la materia arcillosa y en particular al hidrosilicato de aluminio la propiedad de ser plástico. El grado de plasticidad estaría dado, para este autor, por la relación  $\frac{N}{M}$  entre los materiales coloidales (N) y el resto de constituyentes extraños. Una arcilla será, pues, según esta teoría, tanto más plástica cuanto más coloides contenga.

ROHLAND (4) da también mucha importancia á la cantidad de iones negativos (OH) existentes en el agua, pues admite que

---

(1) H. E. ASCHLEY.—Obra citada, pág. 531.

(2) FUSCH et DE LAUNAY.—Obra y lugar citados.

(3) Bull. Soc Chim. Paris t. 34, pág. 1163.

(4) Trans. Am. Ceram Soc., año 1909, pág. 536.—Bull. Soc. Chim. Paris, t. 34, pág. 1163.

la velocidad de coagulación de las soluciones coloidales de una pasta de porcelana, es función de la cantidad de iones H y OH que contiene (casi proporcional á su número), y puede ser acelerada catalíticamente por la adición de coloides tales como el tanino, dextrina, etc.

ASHLEY, partidario de estas ideas, tiene en cuenta la naturaleza y la cantidad de los constituyentes coloidales dependientes de su origen y otros factores tales como la presencia de sales y la cantidad y volumen de los granos de materia mineral no plástica, dados aproximadamente por el *factor superficie* de Jackson-Purdy (1).

SEGER y SCHUMAYER, explican las variaciones de la plasticidad en las arcillas, por diferencias moleculares de las más pequeñas partículas de la sustancia arcillosa.

OLSCHEWSKY (2), basándose en experiencias y conclusiones de DAUBRÉE, atribuye el origen de la plasticidad á la naturaleza porosa y esponjosa de los granos de arcilla que bajo la acción de fuerzas exteriores sufren una especie de unión. La plasticidad propiamente dicha y la deformación, se explicarían admitiendo que por un exceso de agua no solo se saturaría el sistema de canales capilares de las arcillas, sino que también quedaría envuelta su superficie. Esta capa de agua disminuye la cohesión de las partículas y actúa sobre ellas á la manera de un lubricante, permitiendo y favoreciendo su desplazamiento mutuo.

ORTEN (3), ha propuesto teorías que atribuyen la plasticidad al agua de constitución, al clivaje perfecto de las pequeñas escamas de caolinita y á la constitución de la superficie.

---

(1) Proc. of. the Eng. Soc. etc., año 1910, pág. 571.

(2) Mem. Soc. Enc. etc., pág. 237.

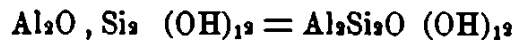
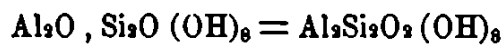
(3) BISCHOF.—Obra citada, pág. 30.

Para RÖSLER (1) la plasticidad es debida á varias causas: la movilidad de las pequeñas partículas, su adhesión, la presencia de un medio fluido interpuesto, la constitución de la superficie, el tamaño de las partículas, su propio peso, etc.

La plasticidad ha sido también atribuida á la acción de bacterios, hipótesis que no ha alcanzado mayor éxito y ha sido combatida por HECHT y KOSMANN.

BOURRY (2) atribuye la plasticidad, como BIDERMAN y HERZFELD, á la estructura laminar de las partículas de arcilla que se entrecruzan las unas á las otras; agregando una cantidad suficiente de agua, sus moléculas se colocan entre los granos de arcilla y permiten á estos desplazarse, obedecer á la atracción molecular y orientarse paralelamente los unos á los otros.

KOSMANN (3) considera la plasticidad como consecuencia de una especie de hidratación de la sustancia arcillosa que por este motivo sufre un hinchamiento. Se producen según su opinión las dos combinaciones siguientes:



ZSCHOKKE (4) últimamente basándose en sus propias observaciones, ha tratado de dar una explicación del origen de la plasticidad. A las objeciones hechas á la teoría de la suspensión de ARON, agrega que ha comprobado que existen otros cuerpos que no poseen ninguna plasticidad y sin embargo pueden permane-

- 
- (1) BISCHOF.—Obra y lugar citados.  
(2) Mem. Soc. En. etc., pág. 237.  
(3) Mem. Soc. En. etc., pág. 272.  
(4) Mem. Soc. En. etc., pag. 266 y 74.

cer en suspensión en el agua. Sus investigaciones lo llevan á una serie de conclusiones interesantes:

«La propiedad designada con el nombre de plasticidad, no es exclusiva de las arcillas, no es tampoco una noción física simple, sino una propiedad compleja que se compone de varias acciones físicas precisadas por la teoría matemática de REYÖ.

Las causas de la plasticidad de las arcillas están en relación íntima con el poder absorbente, muy marcado, de las sustancia arcillosa y la atracción recíproca, muy íntima, entre esta y el agua de imbibición. El poder absorbente procede en parte de las dimensiones reducidas de los granos de arcilla y en parte, de una afinidad química ó física de la sustancia arcillosa».

Por cuanto hemos dicho acerca de esta propiedad tan importante, puede deducirse que las opiniones relativas á su origen divergen aun considerablemente, se cumple todavía la frase de BROGNIART el eminente director de la fábrica de Sevres que al ocuparse de la plasticidad dice en su «Traité des arts ceramiques»: «Se ha hablado á menudo de esta propiedad, que nos parece conocer, cuando en realidad solo tenemos de ella una vaga idea».

### **Fusibilidad de las arcillas. — Influencia de sus diversos constituyentes.**

Otro factor que se debe tener muy en cuenta, en las arcillas, tan importante como la propiedad de que nos acabamos de ocupar, es la resistencia de estos materiales á las altas temperaturas, problema que ha preocupado mucho á los investigadores.

Si se encontrase en la naturaleza el elemento arcilloso solo, la caolinita, todas las arcillas tendrían propiedades refractarias



idénticas y su fusibilidad sería más ó menos la de la caolinita pura; pero como las arcillas contienen compuestos estraños muy variados, que ejercen una influencia marcada en lo que se refiere á esta y otras propiedades, resulta que cada arcilla da nacimiento á un verdadero problema industrial.

En general, casi todos los constituyentes accesorios tienden á disminuir el punto de fusión de las arcillas. Las rocas como la mica feldespática, que son más fusibles que la caolinita, disminuyen la resistencia de las arcillas á las temperaturas elevadas. La misma influencia ejercen las bases (carbonatos alcalinos y alcalinos térreos, oxido de hierro, magnesio y calcio) ó productos que las contienen, debido á la formación de silicoaluminatos.

La ley general según la cual «cuando dos cuerpos sólidos se unen, la combinación ó la mezcla formada tienen una temperatura de fusión inferior á la de los constituyentes» se cumple también en el caso de las arcillas.

### **Influencia de la sílice.**

BISCHOF (1), haciendo mezclas de sílice y alúmina en diversas proporciones con y sin fundente, ha llegado á conclusiones muy interesantes.

Mientras que para fundir el ácido silícico precipitado es menester la temperatura de fusión del platino y para la alúmina (criolita) una temperatura aun más elevada, tanto la mezcla como la combinación de estos cuerpos funden á una temperatura mucho más baja. Sometiendo á una temperatura elevada una

---

(1) BISCHOF.—Obra citada., pág. 71 y sig.

mezcla de sílice y alúmina en la proporción de dos moléculas de sílice por una de alúmina, mezcla que se encuentra en la naturaleza como constituyente principal de las arcillas muy refractarias, se observa que la mezcla es algo más fusible que sus componentes, pues su punto de fusión es vecino al del acero (1).

Aumentando la proporción de sílice, en general, la fusibilidad se hace mayor hasta cierto límite.

El grado refractario de mezclas de sílice y de alúmina, según SEGER, disminuye hasta la proporción de 17 moléculas de sílice por 1 de alúmina, pues á partir de este límite es difícil fundir mezclas de esta naturaleza que contienen mayor proporción de sílice.

Como lo ha observado BISCROF, la influencia de la sílice al estado libre, no es la misma que al estado de combinación; en el primer caso, por la acción del calor, se producen combinaciones más ó menos complejas seguidas de disoluciones recíprocas de las unas en las otras que pueden producir perturbaciones y aun aumento en el punto de fusión en presencia de un gran exceso de sílice. La fusibilidad no está tampoco solamente ligada á la composición de la masa sino también á la resistencia que el estado de la materia opone á la formación de combinaciones químicas entre sus diversos componentes.

### **Influencia de la alúmina.**

La alúmina en general disminuye la fusibilidad y es, por decirlo así, la reguladora de esta, pudiendo destruir influencias

---

(1) A. GRANGER.—Fabrication et Emploi des matériaux et produits réfractaires utilisés dans l'industrie. 1910, pág. 138.

contrarias, por ejemplo, la de un gran exceso de fundente. Sin embargo existen excepciones, pues, en determinadas condiciones, la alúmina aun en pequeñas cantidades puede facilitar la fusión. SEGER, al establecer su cono normal, ha observado que muchas mezclas con alúmina fundían más fácilmente que algunas desprovistos de este elemento.

Estos hechos observados con mezclas artificiales se constatan también en muchas arcillas arenosas. En arcillas de composición muy semejante, ricas en óxido de hierro, se ha podido comprobar que las que contienen más alúmina son las más fusibles.

Las investigaciones de WEBER (1) comprueban los resultados de SEGER.

Esta contradicción aparente del papel de la alúmina, se explica si se tiene en cuenta que este compuesto puede actuar como ácido y como base y por consiguiente favorecer la formación de combinaciones dobles.

Desde el punto de vista práctico y en lo que se refiere al mejoramiento de las arcillas por adición de alúmina, preparada artificialmente, para elevar el punto de fusión, se deben también tener en cuenta circunstancias físicas que juegan un papel importante: las grietas y hendiduras que se producen en los materiales al ser cocidos, el poder absorbente, la avidez de la alúmina por las sustancias fluidas, etc., hacen que se produzca una absorción de las escorias del horno que puede anular completamente su influencia favorable y aun hacer que actúe en sentido contrario.

---

(1) BISCHOF.—Obra citada, pág. 79.

### **Influencia de los fundentes.**

Hasta ahora nos hemos ocupado del comportamiento de las mezclas de sílice y alúmina y de la influencia de uno ú otro compuesto, descuidando factores importantes como los óxidos alcalinos y alcalino-térreos conocidos con el nombre general de fundentes, los que tienen muchísima importancia por su influencia marcada en el punto de fusión.

Vamos, pues, á ocuparnos de las mezclas en que intervienen todos estos compuestos, acercándonos más así á la verdadera composición de las arcillas naturales, sin olvidarnos que estas contienen á menudo, en cantidades predominantes, combinaciones químicas ya efectuadas.

Si se parte de la mezcla íntima que hemos citado anteriormente (2 moléculas de  $\text{SiO}_2$  por 1 de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y se calienta al rojo vivo hasta que se produzca la fusión y por consiguiente la combinación (formación de silicato) y una vez provocada esta se pulveriza y se agregan cantidades iguales, por ejemplo, 4 % de fundentes, sea  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , después de una calefacción prolongada se obtienen resultados muy interesantes; en todos los casos la fusibilidad aumenta y tanto más cuanto menor es el peso molecular del fundente; la mezcla con  $\text{MgO}$  es la más fluida, la que contiene  $\text{CaO}$  lo es menos, viene en seguida la con  $\text{FeO}$ , y la menos fluida es la que contiene  $\text{K}_2\text{O}$  que es la base que tiene entre las citadas el mayor peso molecular.

Según RICHTER «cantidades moleculares de estas bases tienen la misma influencia sobre la fusibilidad de las arcillas, en la hipótesis de que todas las bases, así como el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  estén combinadas al  $\text{SiO}_2$  ó que hayan sido calentadas previa y suficientemente largo tiempo y á un grado de temperatura necesario

para producir dichas combinaciones»; es decir, «que según esta ley, 40 gr. de MgO, 56 gr. de CaO, 72 gr. de FeO, 94 gr. de K<sub>2</sub>O, etc., tienen la misma influencia sobre la fusibilidad.

Las investigaciones de este mismo autor, publicadas en su trabajo «Recherches sur les causes de la refractairité des argilles», lo han llevado á la conclusión de que la acción simultánea de los diversos fundentes no exalta la influencia de cada uno de ellos separadamente; es decir, que la fusibilidad no aumenta ó lo hace de una manera poco sensible, sólo se hace mayor con el aumento de la suma de los equivalentes de las materias mezcladas.

CRAMER (1), usando para la determinación de los puntos de fusión los conos de SEGER, ha repetido las experiencias del autor citado y ha comprobado que su ley fundamental, acerca de la equivalencia de los fundentes, es exacta en conjunto.

En sus experiencias, en lugar de partir de la mezcla de RICHTER (2 equivalentes de SiO<sub>2</sub> por 1 de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), ha usado caolín levigado, estudiando la influencia que ejercen sobre su fusibilidad los diversos fundentes solos y mezclados y no ha encontrado grandes diferencias en el descenso del punto de fusión.

Agregando además á las mezclas arena, en la proporción de 0,5 de esta última por 1 de caolín, ha observado variaciones mucho más netas, pero en todos los casos él ó los fundentes favorecen tanto más la fusión cuanto más bajos son sus pesos moleculares.

El óxido de hierro se comporta de una manera muy particular, diferente de los demás óxidos, hecho que puede explicarse porque durante las experiencias actúan simultáneamente otras acciones más ó menos reductoras, que hacen que la fusibilidad

---

(1) A. GRAMER.—Obra citada, pág. 292.

varie. Es de observar también que, según CRAMER, éste como el CaO y los álcalis pueden volatilizarse á altas temperaturas.

---

BISCHOF (1) resume los resultados de sus experiencias, así como los de los diversos autores, acerca de la fusibilidad, en las siguientes conclusiones:

Entre los constituyentes de las arcillas, difícilmente fusibles,  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , esta última es la menos fusible.

La combinación de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , que es como se ha dicho más fusible que cada uno de sus constituyentes, es tanto más infusible cuanto más se aproxima al bisilicato puro y tanto menos cuanto más predomina la sílice.

A temperaturas relativamente bajas ó en circunstancias y condiciones determinadas, el  $\text{SiO}_2$  puede aumentar la infusibilidad de una arcilla.

Si al silicato de aluminio se agregan fundentes, se forman combinaciones dobles que son más fusibles.

Son los fundentes en combinación con el  $\text{SiO}_2$ , los que en presencia del  $\text{Al}_2\text{O}_3$  determinan la fusión, siendo esta debida á la formación de silicatos dobles de aluminio y otra base que puede ser cualquiera de los fundentes ( $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ ).

Entre los diversos constituyentes de las arcillas, la alúmina es el más importante puesto que es el que mayor influencia ejerce en la fusibilidad; no es solamente el compuesto más infusible, sino que en las arcillas naturales disminuye también la fusibilidad, actuando en sentido opuesto al  $\text{SiO}_2$ . Ciertas circunstancias, no obstante, pueden limitar y aún anular esta acción.

---

(1) BISCHOF.—Obra citada, pág. 83.

Aparte de la influencia de la composición, factores puramente físicos tienen marcada influencia en la fusibilidad de las arcillas.

### Cuociente refractario ó de fusibilidad.

Si una vez conocida la composición química de una arcilla fuera posible deducir su fusibilidad por medio de fórmulas generales que nos dieran tal constante en función de aquélla y por consiguiente se pudieran corregir las arcillas desde el punto de vista de su fusibilidad, agregándoles tal ó cual elemento, se habría resuelto un gran problema industrial; pero aun no ha sido posible llegar á ello, pues de la composición de un producto refractario, solo es posible sacar deducciones á menudo vagas é indecisas.

Muchos han sido los investigadores que han estudiado este problema. Uno de los primeros ha sido BISCHEFF, quien fundándose, entre otros hechos, en que el grado refractario de una arcilla depende de la cantidad de óxidos que juegan el papel de fundentes y de su relación al  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y la  $\text{SiO}_2$ , que aquellos se comportan según sus pesos moleculares, que si el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  predomina con relación á los fundentes, la fusibilidad es menor, y por otra parte, si el  $\text{SiO}_2$  aumenta con relación al  $\text{Al}_2\text{O}_3$  la fusibilidad es mayor, ha propuesto para determinar lo que denomina cuociente refractario  $QR$  (Feuerfestigkeits-quotient) ó de fusibilidad (Schmelzbarkeits-quotient) la siguiente fórmula:

$$QR = \frac{A}{B} = \frac{a : c}{b : a} = \frac{a^2}{b \cdot c}.$$

Siendo  $a$  el número de equivalentes de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $b$  el número de equivalentes de  $\text{SiO}_2$  y  $c$  el de los fundentes (Flusmittel); esto para el caso de las arcillas poco arenosas, en las muy arenosas,  $a$  representa la arcilla levigada tan privada de arena como es posible y  $b$  el residuo de la levigación ó arena propiamente dicha (1).

Como puede observarse, la fórmula citada satisface á la condición de que el  $QR$  se hace mayor aumentando el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y disminuye cuando aumenta la proporción de  $\text{SiO}_2$  y fundentes. Esta fórmula ha sufrido transformaciones y la manera de interpretarla no es igual por todos los autores (2).

SEGER es uno de los que ha modificado la fórmula anterior, agrega un término corrector  $\left(\frac{a}{c}\right)$ :

$$QR = \frac{a^2}{b \cdot c} + \frac{a}{c}$$

En otro trabajo más reciente, en el que hace una severa crítica á la fórmula del autor anterior, creé que se debe adoptar la siguiente:

$$QR = x \left[ (a + b) + y \frac{b}{a} \right]$$

En esta fórmula  $a$  y  $b$  designan las relaciones del  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y del  $\text{SiO}_2$  al fundente tomado como unidad;  $x$  es un coeficiente

---

(1) BISCHOF.—Obra citada, pág. 87.

(2) GRANGER.—Obra citada.



que representa la influencia que ejerce el número y la naturaleza de los componentes del fundente é  $\alpha$  un segundo coeficiente destinado á dar un valor más exacto á la influencia del  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; las investigaciones practicadas hasta la fecha en que ha publicado sus memorias, no le han permitido aun fijar el valor de estos coeficientes.

DUMMLER ha adoptado para el  $QR$  el triple de la fórmula de BISCHOF, es decir,  $3 \frac{a^2}{b \cdot c}$ . Para las exigencias de la práctica, este autor aconseja sustituir el cuociente refractario por lo que denomina *número proporcional*, que no es otra cosa que el cuociente obtenido dividiendo la suma total de los elementos no volátiles por la riqueza en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , sin transformar estas cantidades en valores moleculares.

KOCHS y SEYFERT han propuesto la fórmula siguiente para determinar el cuociente refractario (1):

$$(1) \quad q = \frac{\frac{T : 102}{\left(\frac{A}{M_a} + \frac{B}{M_b} + \frac{C}{M_c}\right) + \dots + \frac{N}{M_n}}{K : 60}}{T : 102}$$

Siendo

$q$  = cuociente refractario.  
 $K$  = tanto por ciento de  $\text{SiO}_2$   
 $T$  = " " " "  $\text{Al}_2\text{O}_3$   
 $A, B, C, \dots N$  = % de materiales que juegan el papel de fundentes.  
 $M_a, M_b, \dots M_n$  = pesos moleculares correspondientes.

La fórmula (1) es análoga á la de BISCHOF siempre que se haga el cálculo como lo hace su autor y no como lo hace GRAN-

---

(1) GRANGER.—Obra citada.

GER; este hecho puede observarse comparando detenidamente ambas fórmulas.

Si para abreviar hacemos en la (1)

$$\left(\frac{A}{M_a} + \frac{B}{M_b} + \frac{C}{M_c} + \dots\dots\dots \frac{N}{M_n}\right) = F$$

se tiene

$$q = \frac{T : 102}{F} : \frac{K : 60}{T : 102}$$

efectuando operaciones

$$q = \frac{T}{102 F} : \frac{102 K}{60 T} = \frac{60 T^2}{102^2 F \cdot K} = \frac{60 T^2}{10404 F \cdot K}$$

Dividiendo ambos términos por 60 se tiene finalmente

$$(2) \quad q = \frac{T^2}{173,4 F \cdot K}$$

Esta fórmula nos permite calcular la cantidad ( $x$ ) de alúmina á agregar á un silicato para tener un valor dado de  $q$ . En efecto se tiene:

$$q = \frac{(T + x)^2}{173,4 F \cdot K}$$

$$T + x = \pm \sqrt{173,4 \cdot q \cdot F \cdot K}$$

$$x = \pm \sqrt{173,4 q \cdot F \cdot K} - T.$$

Supongamos ahora que se tratase de hallar la cantidad ( $y$ )

de  $\text{SiO}_2$  á agregar para obtener un silicato cuyo cuociente refractario se desea tenga un valor  $q$ . Se tendría

$$q = \frac{T^2}{173,4F \cdot (K + y)}$$

despejando  $y$  se tiene

$$y = \frac{T^2}{173,4q \cdot F} - K.$$

Si se desean conocer simultaneamente los valores de  $x$  é  $y$ , aplicando la misma fórmula tendríamos:

$$q = \frac{(T + x)^2}{173,4F(K + y)}$$

Llamando  $V$  la relación del  $\text{SiO}_2$  al  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , la segunda ecuación necesaria sería:

$$\frac{(T + x) : 102}{(K + y) : 60} = \frac{1}{V}$$

Resolviendo este sistema se llega á las siguientes fórmulas para los valores de  $x$  é  $y$ .

$$x = 102 q \cdot V (F - T)$$

$$y = 60 q \cdot V^2 (F - K).$$

Como lo ha observado SEGER, estas fórmulas no pueden ser exactas sino á condición que todos los componentes estén químicamente unidos en una sola y única combinación.

No hace mucho tiempo JOCHUM y posteriormente sobre todo LUDWIG, ha tratado esta cuestión con más detalles y precisión.

Como los anteriores se basa, para determinar la fusibilidad, en la relación de la  $\text{Al}_2\text{O}_3$  á la  $\text{SiO}_2$  y en la cantidad y naturaleza de los fundentes.

La primera influencia se nota netamente comparando la fusibilidad de los diversos relojes fusibles, la de los fundentes es más compleja. Para deducir la fusibilidad de la composición química, expresa las cantidades en moléculas; para el óxido de hierro en lugar de dividir como para los otros cuerpos las cantidades encontradas en el análisis por el peso molecular, lo hace por la mitad de este, pues no interviene como  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sino como  $\text{FeO}$ . Para mayor comodidad, los números así encontrados, incómodos para hacer los cálculos, se relacionan á la  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tomada como unidad.

Según una ley fisico-química, «un número igual de moléculas de elementos diferentes disueltos en la misma cantidad de un mismo disolvente, producen el mismo descenso en el punto de solidificación de este».

Basándose en esta ley, suma todas las cifras que representan las cantidades de fundentes en valores moleculares. Procediendo de esta manera reduce la composición de la arcilla á tres constituyentes:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y fundentes que designa  $\text{RO}$ .

Llamando  $x$  el coeficiente encontrado para el  $\text{SiO}_2$ , é  $y$  para los fundentes, representa la composición global de las arcillas así:  $x\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + y\text{RO}$ .

Como según su sistema todos los análisis se reducen á dos variables,  $x$  é  $y$ , LUDWIG ha ideado un sistema de representación gráfica, muy cómodo para comparar entre sí las diversas arcillas.

Toma un sistema de coordenadas; sobre el eje de las ordenadas toma longitudes proporcionales á las cantidades de los fundentes y en el de las abscisas á las de la sílice, con la convención

de que como los primeros valores son muy pequeños, les da un valor 10 veces mayor que el real.

Cada arcilla se encuentra así representada por un punto que nos ilustra sobre su composición. El  $\text{Al}_2\text{O}_3$  puro se encuentra colocado debajo á la izquierda; cuanto más  $\text{SiO}_2$  contiene una arcilla, tanto más se desplaza el punto representativo hacia la derecha y á medida que aumentan los fundentes el punto se eleva.

Los puntos que representan arcillas de composición análoga, se encuentran siempre muy próximos.

El autor en su trabajo original ha agrupado 85 arcillas con las que ha formado un cuadro, determinando para cada una el punto de fusión por medio de los relojes de SEGER.

Para correlacionar la fusibilidad deducida teóricamente de la composición química y la determinada experimentalmente, ha inscripto en su gráfico los puntos correspondientes á los relojes fusibles. Por otra parte ha determinado el descenso producido en el punto de fusión del caolín, por adiciones de 0,05 moléculas de fundentes.

Obtiene así para cada punto de fusión, dos puntos fijos que reunidos por un trazo continuo que denomina *línea isotéctica*, dan los materiales que tienen teóricamente el mismo punto de fusión. Representando según su sistema un gran número de análisis, encuentra que estas son rectas ó casi rectas.

Haciendo una representación análoga de los coeficientes de BISCHOF y uniendo los puntos obtenidos, se obtienen hipérbolas cuyas asíntotas serían las líneas OX del  $\text{SiO}_2$  y O de los fundentes.

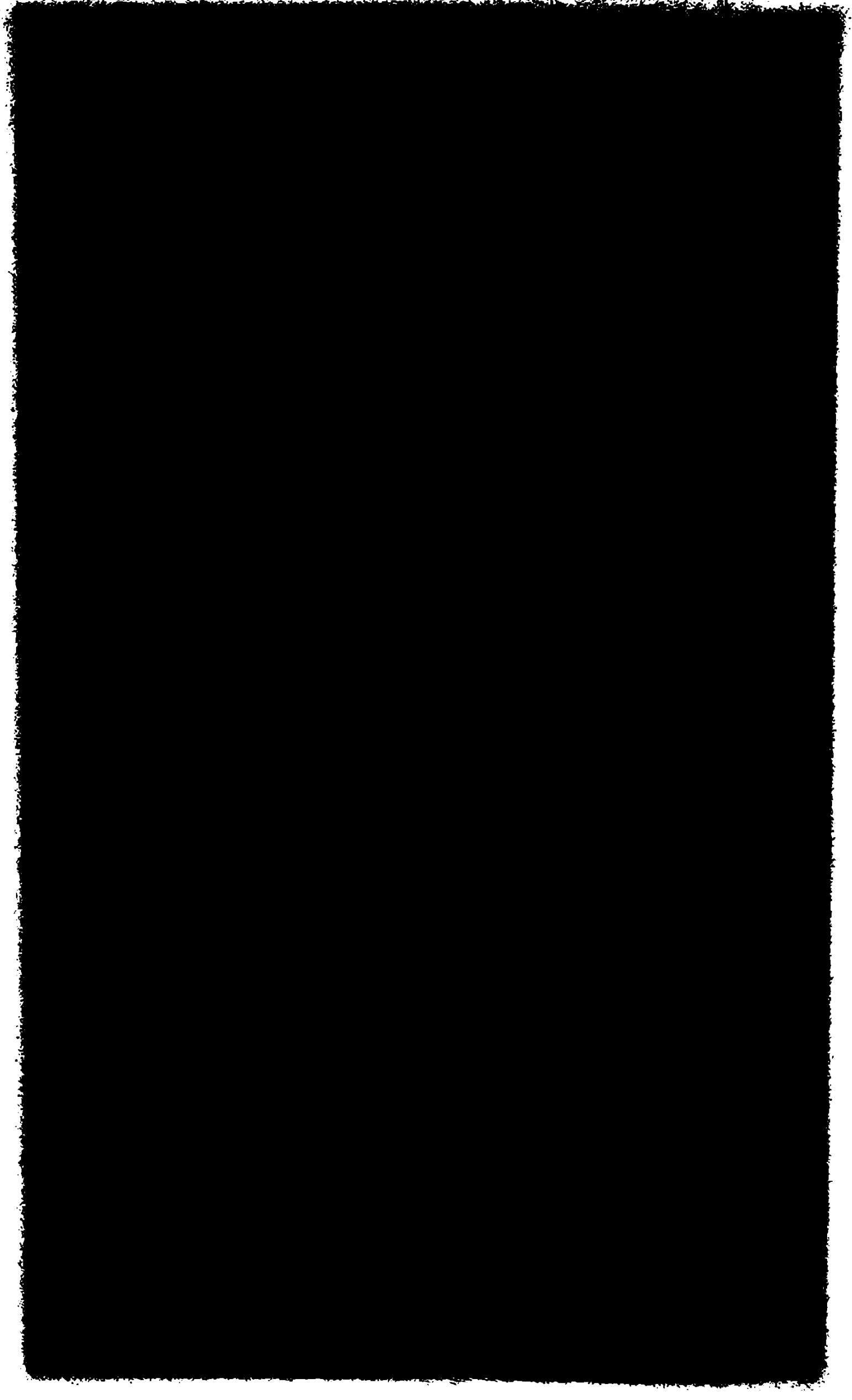
Para arcillas de composición intermedia, estas hipérbolas son casi idénticas á las líneas que LUDWIG ha establecido, pero para arcillas muy ricas ó muy pobres en  $\text{SiO}_2$  ó fundentes, las diferencias son muy grandes.

Las investigaciones de LUDWIG parecen comprobar la ley de RICHTER enunciada antes. En su acepción más estricta, esta ley no se aplica sino á disoluciones muy estendidas; en el caso de que nos ocupamos no es exacta sino para cantidades mínimas de fundentes. Su exactitud disminuye con el aumento de los fundentes; con una proporción elevada de estos, no es posible aplicarla puesto que entonces nos encontramos en presencia de soluciones concentradas en lugar de diluidas.

Sin embargo, la cantidad de fundente, en muchos casos, no es suficiente para explicar diferencias muy sensibles por lo que se han propuesto otras explicaciones: los diferentes grados de oxidación del hierro, las combinaciones de los fundentes, etc.; pero parece que las diferencias encontradas no dependen de la composición química de los fundentes, sino más bien de su repartición mecánica en la masa arcillosa.

Es indudable que el estado físico, muy descuidado en estas investigaciones, tiene una marcada influencia, y por consiguiente ellas deben considerarse simples tentativas interesantes pero que no tienen aún valor práctico.

---



## ALGUNOS DATOS SOBRE MATERIALES ARCILLOSOS Y SILÍCEOS DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

---

Al empezar este capítulo sería lógico exponer, en primer término, el estudio geológico de los yacimientos de que nos ocupamos y dar cuenta luego de su estructura, potencia y rendimiento, pero nos vemos obligados á prescindir de estas cuestiones tan importantes, pues nuestras tentativas para obtener datos bibliográficos al respecto han sido infructuosas á causa de no haberse efectuado aún estas investigaciones y por otra parte nos hallamos en las imposibilidad de abordarlas.

En vista de estas dificultades insalvables, nos hemos concretado al estudio químico y en parte mineralógico de estos materiales, practicando su análisis químico y racional que tiene muchísima importancia tanto desde el punto de vista teórico, como desde el de sus aplicaciones industriales. En el primero hemos seguido los métodos y procedimientos generales admitidos por todos los autores (1) una disgregación con carbonatos alcalinos para determinar las cantidades de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  y  $\text{MgO}$  y otra con  $\text{HF}$  para determinar los álcalis; por tal causa no entraremos en mayores detalles. En cambio nos detendremos en el procedimiento seguido en el análisis racional sobre el que aún no existe uniformidad de opiniones.

---

(1) G. LUNGE.—Analyse chimique industrielle, t. 1, pág. 14.



Las conclusiones ha que han llegado los investigadores acerca de la acción de los diversos reactivos, empleados en este análisis, sobre los elementos de la arcilla (materia arcillosa propiamente dicha, cuarzo, feldespato, etc.), son muy diferentes (1); unos afirman que tal elemento es soluble en determinado reactivo, otros niegan esta solubilidad, difieren aún en la concentración que se debe dar á los reactivos á emplearse.

Ultimamente VOGT, debiendo estudiar algunas arcillas de Francia, dada la anarquía existente en las cuestiones de que nos venimos acupando, estudió previamente la acción de los diversos reactivos empleados sobre los diversos constituyentes de las arcillas; en muchos casos los resultados de sus experiencias están en desacuerdo con hechos generalmente admitidos como puede observarse por las conclusiones principales á que llega en sus investigaciones (1):

*Acción de los ácidos.* El caolín puro es totalmente descompuesto por el  $H_2SO_4$  caliente, así como por el  $HNO_3$  ( $d = 1,20$ ) en tubo cerrado á  $210^\circ$  durante 2 horas, y más lentamente (en 6 días) por el  $ClH$  de  $D = 1,1$  á  $90^\circ$ . El ataque es menos profundo y más lento, cuando se calienta previamente el caolín á  $1000^\circ$ .

La acción de estos ácidos sobre las diversas arcillas es análoga; en todos los casos se disuelve una mayor ó menor cantidad de arcilla.

De la misma manera se comporta la mica blanca; en cambio el feldespato ortosa y el cuarzo no son practicamente atacados por los ácidos en las condiciones expuestas.

*Acción del  $K(OH)$  en solución.* El caolín sometido, durante 10 minutos, á la acción de una solución de potasa cáustica hirvien-

---

(1) G. LUNGE.—Obra citada, t. 1, pág. 19.

te, es profundamente descompuesto; el líquido alcalino filtrado contiene el  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  procedentes de esta descomposición.

La cantidad de caolín, así descompuesto, no es proporcional á la duración de la ebullición, pues la acción de descomposición cesa cuando la solución contiene cierta cantidad de sílice y alúmina. Si una vez filtrado y lavado el residuo se efectúa un nuevo ataque en las mismas condiciones, se disuelve una nueva proporción de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y repitiendo varias veces esta operación, se consigue descomponer la mayor parte de la materia arcillosa.

Las diversas arcillas, así como la mica magnésica, se comportan de una manera análoga; en cambio la mica blanca, así como el feldespato ortosa y el cuarzo, son practicamente inatacables; en ambos casos la solución obtenida por filtración contiene menos de 1 % de  $\text{SiO}_2$  acompañado de rastros de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Como las arcillas contienen, mezclada á la materia plástica, arena cuarzosa, ha ensayado también VOGT, la acción de la solución de  $\text{K}(\text{OH})$  hirviendo sobre una mezcla de proporciones conocidas de arena y arcilla sometida previamente por separado á este ataque, y ha comprobado que la relación de la  $\text{SiO}_2$  al  $\text{Al}_2\text{O}_3$  obtenidos en la parte soluble, es análoga en ambos casos; la arcilla parece, pues ser atacada antes que el cuarzo por el reactivo mencionado.

En resumen:

1.º La arcilla, el caolín y la mica blanca son atacados por el ácido sulfúrico hirviendo; el feldespato y el cuarzo resisten su acción disolvente.

2.º La arcilla, el caolín y la mica magnésica, son descompuestos por una solución hirviendo de potasa cáustica ( $D = 1,08$ ); el cuarzo es débilmente atacado y la mica y el feldepasto resisten casi completamente esta acción.

LAVEZARD (1) encargado por la Société d'Encouragement, del estudio de las arcillas de Francia, ha seguido en su análisis racional, un procedimiento basado en las conclusiones de VOGT, procedimiento que por otra parte empieza ya á ser recomendado por los autores modernos (2).

Como nosotros hemos seguido estrictamente, en el análisis racional de las arcillas que estudiamos, el método adoptado por LAVEZARD, pasamos á describirlo con todo detalle.

### Análisis racional.

Se toman en una cápsula de porcelana alrededor de 3 grs. de arcilla finamente pulverizada, se tratan por 250 cm<sup>3</sup> de agua y se hace hervir media hora. Se agregan luego, 25 cm<sup>3</sup> de ácido sulfúrico diluido al 1/2 y se evapora hasta que éste se haya desprendido casi completamente. El residuo se trata por HCl diluido y caliente; se decanta la parte límpida, se repite aún dos veces este último tratamiento y los productos de las decantaciones, que contienen las bases procedentes de la desagregación de los silicatos atacados, se filtran para recoger las pequeñas cantidades de sílice y cuarzo que pueden haber sido arrastrados mecánicamente.

El residuo que queda sobre el filtro, se agrega al de la cápsula y se trata la masa dos veces con 50 cm<sup>3</sup> de solución hirviente de Na(OH) al 10 %, filtrando la solución obtenida en cada tratamiento. Se lava el filtro con una solución débil y caliente de

---

(1) Mem. Soc. Enc. Ind. Nac.—Año 1906. Contribution à l'étude de argilles de France, pág. 113.

(2) A. GRANGER.—Año 1910. Obra citada.

soda cáustica; los residuos insolubles que quedan en éste y en la cápsula se lavan varias veces con HCl diluído; se incinera el filtro y las cenizas se agregan al contenido de la cápsula. La masa se trata de nuevo con la solución de Na(OH) y por último la parte insoluble, libre de la sílice y de las bases, procedentes de la descomposición de la arcilla propiamente dicha, se lava á fondo con HCl diluído.

El residuo así obtenido se pesa y luego se disgrega con HF para determinar las cantidades de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CaO,  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{Na}_2\text{O}$ . Se resta del residuo insoluble obtenido, la suma de los pesos de estas bases y se tiene así la suma de los pesos del cuarzo y de la sílice de los silicatos contenidos en la parte insoluble; la diferencia entre la sílice encontrada en el análisis total y esta última, da la sílice combinada á las bases de la parte soluble en el ácido sulfúrico. Estas últimas se determinan restando el peso de cada base de la parte insoluble del correspondiente obtenido en el análisis total.

Hechas estas determinaciones, hemos deducido en cada caso la naturaleza de la materia arcillosa, estableciendo para ello, en la parte soluble, las relaciones moleculares del  $\text{SiO}_2$  al  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y del agua de combinación á esta última.

Si partiendo de la fórmula del caolín ( $\text{H}_4\text{Al}_2\text{O}_6\text{Si}_2 = 2\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{H}_2\text{O}$ ). establecemos su composición centesimal tenemos:

$$\text{SiO}_2 \quad \% = 46,641 \text{ gr.}$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \quad \% = 39,459 \quad \text{»}$$

$$\text{H}_2\text{O} \quad \% = 13,90 \quad \text{»}$$

Estableciendo las relaciones moleculares del  $\text{SiO}_2$  al  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y del agua al  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se tiene:

$$\frac{46,641 : \text{SiO}_2}{39,459 : \text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{46,641 : 60,4}{39,459 : 102,2} = 2$$

$$\frac{13,90 : \text{H}_2\text{O}}{39,459 : \text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{13,90 : 18}{39,459 : 102,2} = 2.$$

Haciendo el mismo cálculo para las diversas arcillas, se observa que en unas estas relaciones son análogas, mientras que en otras son muy diferentes.

Teniendo en cuenta estas observaciones, LAVEZARD divide las arcillas en dos grandes grupos (1): «las primeras responden á la fórmula  $2\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{H}_2\text{O}$ . Cuando la relación molecular del agua á la alúmina es inferior á 2, se puede concluir que contiene muscovita, pues en la mica blanca ( $6 \text{SiO}_2, 3 \text{Al}_2\text{O}_3, \text{K}_2\text{O}, 2 \text{H}_2\text{O}$ ) esta relación es inferior á 2 y en estas arcillas se constata la presencia de cantidades notables de álcalis en las que predomina el  $\text{K}_2\text{O}$ .»

«En las arcillas en que la relación del  $\text{SiO}_2$  al  $\text{Al}_2\text{O}_3$  es superior á 2, se constata que todas contienen  $\text{MgO}$  y álcalis, hecho que podría explicarse admitiendo que la parte arcillosa contiene además de la caolinita, uno ó varios silicatos aluminicos y magnésicos en los cuales esta relación es muy superior á 2».

«En ciertos casos se podría interpretar el valor de la relación  $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  superior á 2, atribuyendo este hecho á la presencia de  $\text{SiO}_2$  hidratado libre; pero los procedimientos analíticos empleados

---

(1) ZSCHOKKE.—Mem. Soc. Enc. etc., pág. 150.

hasta hoy, no permiten establecer netamente la presencia de esta sílice».

Los resultados que hemos obtenido en las investigaciones practicadas en los materiales que estudiamos, son los que exponemos en las páginas que siguen (1):

---

(1) Agradezco á los Doctores Adolfo Moutier y Carlos F. Gómez, así como á mi amigo y compañero Bartolomé S. Danieri por haberme facilitado las muestras que motivan este estudio.

MUESTRA NÚMERO I.

	Análisis químico		Análisis racional		
	Disgregación con carb: alcalinos y HFl.	Composición % de la arcilla supuesta seca á 120°	Parte soluble	Composición % de la parte soluble supuesta seca á 120°	Parte insoluble
SiO <sub>2</sub> .....	65.97	68.53	12.96	37.67	53.01
SO <sub>3</sub> .....	0.78	0.81	0.78	2.26	—
TiO <sub>2</sub> .....	0.57	0.59	0.57	1.66	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	14.41	14.97	9.75	28.33	4.66
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	3.22	3.34	3.22	9.36	—
CaO.....	1.61	1.67	1.27	3.69	0.34
MgO.....	0.96	0.99	0.96	2.79	—
K <sub>2</sub> O.....	3.70	3.85	0.80	2.32	2.90
Na <sub>2</sub> O.....	3.01	3.13	2.06	5.99	0.95
H <sub>2</sub> O (p. al rojo)....	2.04	2.12	2.04	5.93	—
H <sub>2</sub> O (higroscóp):...	3.85	—	3.85	—	—
	100.12	100.00	38.26	100.00	61.86

MUESTRA NÚMERO II.

	Análisis químico		Análisis racional		
	Disgregación con carb: alcalinos y HFI	Composición % de la arcilla supuesta seca á 120°	Parte soluble	Composición % de la parte soluble supuesta seca á 120°	Parte insoluble
SiO <sub>2</sub> .....	53.70	56.29	25.74	41.85	27.96
SO <sub>3</sub> .....	0.98	1.03	0.98	1.59	—
TiO <sub>2</sub> .....	1.39	1.46	1.39	2.26	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	22.69	23.78	19.69	32.02	3.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	2.92	3.06	2.92	4.75	—
CaO .....	1.08	1.13	1.02	1.66	0.06
MgO .....	0.99	1.04	0.99	1.61	—
K <sub>2</sub> O .....	2.69	2.82	0.40	0.65	2.29
Na <sub>2</sub> O .....	3.08	3.2`	2.49	4.05	0.59
H <sub>2</sub> O (p. al rojo) .....	5.88	6.16	5.88	9.56	—
H <sub>2</sub> O (higroscóp:) .....	5.11	—	5.11	—	—
	100.51	100.00	66.61	100.00	33.90



MUESTRA NÚMERO III.

	Análisis químico		Análisis racional		
	Disgregación con carb: alcalinos y HFl	Composición % de la arcilla supuesta seca a 120°	Parte soluble	Composición % de la parte soluble supuesta seca a 120°	Parte insoluble
SiO <sub>2</sub> .....	55.98	60.49	13.82	32.18	42.16
SO <sub>3</sub> .....	0.69	0.74	0.69	1.60	—
TiO <sub>2</sub> .....	0.71	0.77	0.71	1.65	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	14.84	16.03	10.70	24.92	4.14
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	6.66	7.20	6.66	15.50	—
CaO.....	2.82	3.05	2.39	5.56	0.43
MgO.....	2.34	2.53	2.34	5.45	—
K <sub>2</sub> O.....	2.19	2.36	0.97	2.26	1.22
Na <sub>2</sub> O.....	2.45	2.65	0.80	1.86	1.65
H <sub>2</sub> O (p. al rojo).....	3.87	4.18	3.87	9.01	—
H <sub>2</sub> O (higroscóp:.)....	7.91	—	7.91	—	—
	100.46	100.00	50.86	100.00	49.60

MUESTRA NÚMERO IV.

	Análisis químico		Análisis racional		
	Disgregación con carb: alcalinos y HFI	Composición % de la arcilla supuesta seca á 120°	Parte soluble	Composición % de la parte soluble supuesta seca á 120°	Parte insoluble
SiO <sub>2</sub> .....	57.56	61.97	12.69	33.11	44.87
SO <sub>3</sub> .....	0.52	0.56	0.52	1.36	—
TiO <sub>2</sub> .....	0.65	0.70	0.65	1.70	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	16.05	17.28	10.43	27.21	5.62
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	3.86	4.15	3.86	10.07	—
CaO .....	2.22	2.40	2.01	5.24	0.21
MgO .....	1.88	2.02	1.88	4.90	—
K <sub>2</sub> O .....	2.48	2.67	0.61	1.59	1.87
Na <sub>2</sub> O .....	2.97	3.20	0.99	2.58	1.98
H <sub>2</sub> O (p. al rojo) .....	4.69	5.05	4.69	12.24	—
H <sub>2</sub> O (higroscóp.) .....	7.36	—	7.36	—	—
	100.24	100.00	45.69	100.00	54.55

MUESTRA NÚMERO V.

	Análisis químico		Análisis racional		
	Disgregación con carb: alcalinos y HF1	Composición % de la arcilla supuesta seca á 120°	Parte soluble	Composición % de la parte soluble supuesta seca á 120°	Parte insoluble
SiO <sub>2</sub> .....	77.88	81.08	5.75	27.58	72.13
SO <sub>3</sub> .....	2.31	2.40	2.31	11.08	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	5.98	6.22	4.28	20.53	1.70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	3.75	3.91	3.75	17.98	—
CaO .....	1.85	1.93	1.65	7.92	0.20
MgO .....	0.95	1.00	0.95	4.55	—
K <sub>2</sub> O ..	1.58	1.64	0.60	2.88	0.98
Na <sub>2</sub> O .....	0.30	0.31	0.11	0.58	0.19
H <sub>2</sub> O (p. al rojo)....	1.45	1.51	1.45	6.95	—
H <sub>2</sub> O (higroscóp:)...	4.27	—	4.27	—	—
	100.32	100.00	25.12	100.00	75.20

Si teniendo en cuenta los datos suministrados por los análisis químico y racional calculamos su composición mineralógica tenemos:

			<u>Materia arcillosa</u>	<u>Cuarzo</u>	<u>Feldespato</u>
Muestra	N.º	1	38.26	36.65	25.21
»	»	2	66.61	17.67	16.23
»	»	3	50.86	27.21	22.39
»	»	4	45.69	24.15	30.40
»	»	5	25.12	66.01	9.19

Si para darnos cuenta de la naturaleza de la materia arcillosa establecemos en la parte soluble las relaciones moleculares del  $\text{SiO}_2$  al  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y del  $\text{H}_2\text{O}$  al  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se tiene:

		$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	
Muestra	N.º	1	2.25	1.99
»	»	2	2.20	1.69
»	»	3	2.18	2.07
»	»	4	2.06	2.55
»	»	5	2.26	1.90

Como vemos, en general, teniendo en cuenta estas relaciones, la materia arcillosa de los productos analizados se aproxima bastante á la caolinita; pero en cambio su tanto por ciento es poco elevado y por otra parte como lo comprueban la presencia de  $\text{MgO}$  y álcalis tanto en la parte soluble del análisis racional como en la insoluble, las arcillas estudiadas contienen mica y cantidades notables de feldespatos así como también un exceso de cuarzo, elementos muy perjudiciales desde el punto de vista de su fusibilidad. El tanto por ciento de este, es tan elevado en la Muestra N.º 5, que más que arcilla es una simple arena arcillosa.

La relación molecular del  $H_2O$  al  $Al_2O_3$ , algo elevada en la Muestra N.º 4, se puede atribuir á la presencia de materias orgánicas que aumentan el agua combinada calculada por la pérdida al rojo.

Todas las arcillas analizadas contienen también cantidades bastante apreciables de óxido de hierro y titano, lo que constituye un inconveniente grave para ser usadas como materia prima en las artes cerámicas.

Por consiguiente, *las arcillas estudiadas son de mediana calidad y poco apropiadas para ser usadas en la industria cerámica, pudiendo solo emplearse en la fabricación de objetos de calidad inferior.*

Las Muestras N.º 1 y 2 proceden de Salagasta, departamento de Las Heras (Mendoza), las N.º 3 y 4 de Arrecifes (Buenos Aires) y la N.º 5 de Puerto Yerúa, departamento de Concordia (Entre Ríos). Pensábamos también estudiar algunas arcillas de Córdoba y San Juan, pero no nos ha sido posible conseguir muestras de las mismas.

Del Yerúa nos fué también enviada una sílice bastante pura obtenida por pulverización de trozos de cuarzo de los que existen grandes cantidades en aquella región en diversos estados de pureza. Su análisis nos ha dado el resultado siguiente:

Humedad á 120° . . . . .	%	0.20 gr.
Pérdida al rojo . . . . .	»	0.53 »
$SiO_2$ . . . . .	»	95.49 »
$Al_2O_3$ } . . . . .	»	1.55 »
$Fe_2O_3$ }		
$CaO$ . . . . .	»	0.73 »
$MgO$ . . . . .	»	Rastros
$K_2O$ . . . . .	»	0.82 »
$Na_2O$ . . . . .	»	0.07 »

En esta región existen muchas de las variedades de minerales que hemos enumerado al ocuparnos de los productos de la transformación de las rocas. Entre las allí existentes, hemos determinado la composición de una roca metamórfica que es muy posible haya contribuido con sus productos de desagregación á la formación de los numerosos materiales silíceos y arcillosos allí existentes.

La roca de que nos ocupamo, fragmento redondeado encontrado aislado, pero que procede probablemente de las masas de rocas existentes en aquella localidad, ofrece dos zonas completamente diferentes separadas por una de aspecto y propiedades intermediarias. La zona interior, intacta, es una roca compacta, muy dura, de color pardo rojizo obscuro y contiene en su interior cristales de aspecto vítreo.

La zona exterior, alterada, de un espesor de 7 á 8 mm., es una masa más ó menos terrosa, de color blanco sucio que hemos podido desagregar fácilmente con un cuchillo; su dureza aumenta progresivamente de la periferia al centro y reducido á polvo, este es ligeramente rosado.

El análisis de estas dos zonas nos ha dado el siguiente resultado:

	Zona intacta	Zona alterada
Humedad á 120° %	0.70 gr.	0.94 gr.
Pérdida al rojo . . . »	0.59 »	1.88 »
SiO <sub>2</sub> . . . . . »	59.98 »	72.86 »
SO <sub>3</sub> . . . . . »	1.26 »	1.17 »
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . . »	14.03 »	14.29 »
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . . »	14.01 »	2.57 »
CaO . . . . . »	1.95 »	0.70 »
MgO . . . . . »	0.87 »	0.51 »
K <sub>2</sub> O . . . . . »	5.45 »	4.57 »
Na <sub>2</sub> O . . . . . »	1.90 »	1.01 »

Los análisis que preceden, demuestran que hay una gran diferencia de composición entre la roca intacta y el producto de su alteración.

El agua, la alúmina y sobre todo la sílice, se encuentra en una proporción mucho mayor en la roca alterada que en la intacta; en cambio la proporción de los otros elementos y sobre todo el óxido de hierro es mucho menor. Si la alúmina ha sido arrastrada, por el hecho de la descomposición, esto no ha tenido lugar sino en débil proporción con relación á las otras bases; ha quedado pues casi intacta.

Es muy probable que una desagregación ulterior de esta roca, durante la cual persista y se haga sentir la acción de los diversos agentes que la han alterado, unida á la acción disolvente del agua, pueda producir su descomposición completa y como consecuencia se separarán el resto de las bases diferentes de la alúmina, así como también parte del exceso de sílice, aproximándose así los productos residuos de la alteración, más y más, á la composición de la arcilla. En cambio, los productos arrastrados se depositarán por concentración dando origen á materiales de naturaleza diversa.

Por las consideraciones que acabamos de exponer, *creemos que la alteración sufrida por la roca de que nos ocupamos puede relacionarse con los fenómenos de caolinización.*

## CONCLUSIONES

---

Los feldespatos analizados por BARBIER y PROST, son posiblemente mezclas isomorfas de ortosa y un feldespato sódico isomorfo de esta que podría denominarse pseudo-ortosa.

---

En la caolinización debe darse tanta importancia á la acción de los agentes atmosféricos como á las acciones neumatolíticas; su grado de intervención é influencia dependen, entre otras causas, de las condiciones locales de los yacimientos, así como también de la estructura y condiciones físicas de la roca originaria.

---

Es muy probable que las formas cristalinas observadas en los caolines, sean pseudo-mórfosis de los feldespatos de que derivan y por consiguiente los caolines serían, según su origen, pseudo-mórficos, monoclinicos ó triclinicos.

---

Las arcillas estudiadas son de mediana calidad y apropiadas solamente para la fabricación de productos cerámicos de calidad inferior.

---

La transformación sufrida por la roca que estudiamos, puede considerarse como una verdadera caolinización.

Buenos Aires, Marzo de 1911.

VÍCTOR J. BERNAOLA.



