

Tesis de Posgrado

Estudios de algunas tobas volcánicas argentinas : su aplicación como material hidráulico

Edo, Juan Manuel

1913

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. 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. It should be used accompanied by the corresponding citation acknowledging the source.

Cita tipo APA:

Edo, Juan Manuel. (1913). Estudios de algunas tobas volcánicas argentinas : su aplicación como material hidráulico. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0097_Edo.pdf

Cita tipo Chicago:

Edo, Juan Manuel. "Estudios de algunas tobas volcánicas argentinas : su aplicación como material hidráulico". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1913. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0097_Edo.pdf

EXACTAS UBA

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



UBA

Universidad de Buenos Aires

o claret

ESTUDIO
DE
ALGUNAS TOBAS VOLCÁNICAS ARGENTINAS
SU APLICACIÓN COMO MATERIAL HIDRÁULICO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

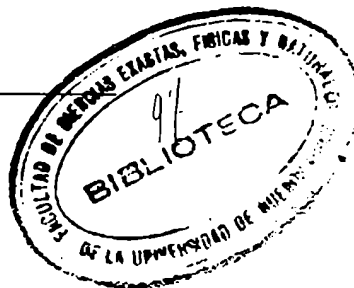
ESTUDIO
DE ALGUNAS
TOBAS VOLCÁNICAS
ARGENTINAS

SU APLICACIÓN COMO MATERIAL HIDRÁULICO

TESIS PRESENTADA PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR EN QUÍMICA

POR

JUAN MANUEL EDO



BUENOS AIRES
COMPAÑÍA SUD-AMERICANA DE BILLETES DE BANCO
CALLE CHILE 263 Y CANGALLO 559
1913

PADRINO DE TESIS
DR. FRANCISCO P. LAVALLE

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A LOS MIOS

SEÑORES CONSEJEROS:

SEÑORES PROFESORES:

Vengo ante vosotros a presentar este modesto trabajo, para cumplir la última disposición reglamentaria y optar el título de Doctor en Química, con el cual nos arméis caballeros para poder realizar con éxito la cruzada que debemos emprender.

No es éste, como suponemos, el término de nuestros estudios, sino que desde ahora nos habilita para comenzar a estudiar y trabajar solos.

He elegido este tema, en virtud de la predilección que siempre he tenido hacia la parte práctica y aplicada, no por esto descuidando la teoría, y por lo tanto he deseado contribuir con mi modesto grano de arena a la obra colosal, cual es, el conocimiento completo de todas las riquezas que encierra nuestro precioso suelo.

Es esta una obra imperfecta, debido a mi poca experiencia, por lo cual os ruego la juzguéis con vuestra reconocida buena voluntad.

Al retirarme de la Facultad, quizás con tristeza, porque dejo en ella un caudal de recuerdos juveniles, quiero dar un adiós de agradecimiento a mis profesores y discípulos.

Al doctor Francisco P. Lavalle, mi antiguo y querido pro-

fesor, a quien tanto aprecio y el cual tiene la amabilidad de apadrinarme en este acto, uno de los más solemnes de mi vida, le renuevo en este momento toda mi gratitud.

Al amigo y profesor doctor Atilio A. Bado, quien con su amabilidad característica, puso a mi disposición el Laboratorio de ensayos mecánicos, de la Sección Química de las Obras Sanitarias de la Nación, y que me ha ayudado con sus consejos en la realización de este trabajo, le quedo siempre agradecido.

Al doctor Federico Bade, agradezco el haberme dado las bases para la realización de mi trabajo, como así también todas las amabilidades y la amistad con que siempre me ha distinguido.

Al doctor Enrique Herrero Ducloux e ingeniero Enrique Hermitte quedo reconocido por los consejos que desinteresadamente me han facilitado.

Antes de terminar, quiero dedicar un recuerdo cariñoso a mi primer profesor de Química, el doctor José Popolizio, quien supo conducirme como guía a través de los senderos oscuros, que para el neófito representan, hasta mostrarme la claridad perfecta y poder apreciar las ventajas enormes que encierra el campo de la química.

Y al doctor Orsini F. F. Nicola y señor Alberto A. Soulignac, mis antiguos compañeros de estudios y mis mejores amigos, a los que me unen lazos inseparables, con quienes he compartido los sinsabores y alegrías de estudiante, y a los cuales al terminar mi carrera, les ofrezco mi mayor afecto.

DIVISION DEL ESTUDIO

He dividido el estudio del presente trabajo en cinco capítulos. En el primero, considero el origen y caracteres generales de las tobas; en el segundo, doy un resumen de los caracteres geológicos y petrográficos de estos minerales en general, y en particular de las que son el objeto del presente trabajo; en el tercero, expongo los diferentes métodos de análisis aplicados a esta clase de productos y a continuación presento los resultados de análisis de tobas ya estudiadas y de las tobas de Tucumán; en el cuarto, hago un estudio de aplicación como cemento hidráulico y expongo los resultados obtenidos con el trass, la puzzolana y escorias, y a continuación los resultados que obtuve con las tobas que he ensayado; en el quinto, resumo las diferentes hipótesis emitidas para explicar el fenómeno del fraguado y endurecimiento de las materias puzzolánicas.

La sinopsis de la página siguiente, resume con mayor claridad los diferentes capítulos que constituyen el presente trabajo.

CAPÍTULO I Generalidades.

CAP. II. — *Estudio geológico y petrográfico* { A) Datos geológicos.
B) Datos petrográficos. { a) Generalidades.
b) Estudio microscópico de las tobas ensayadas.

CAP. III. — *Análisis físico y químico*.. { A) Métodos de análisis. { a) Físicos.
b) Químicos.
B) Resultados de tobas conocidas (trass, puzzolanas).
C) Resultados de las tobas ensayadas.

CAP. IV. — *Estudio de aplicación* { A) Generalidades.
B) Ensayos mecánicos y resultados obtenidos con el trass.
C) Ensayos mecánicos y resultados obtenidos con la puzzolana.
D) Preparación y resultados del cemento a base de escorias.
E) Resultados de los ensayos mecánicos obtenidos con las tobas de Tucumán.

CAP. V { Hipótesis emitidas para explicar el fenómeno del fraguado y endurecimiento de las materias puzzolánicas.

CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFÍA.

CAPITULO I

Generalidades

"...dalla roccia, alla roccia..."

G. SYLVA.

Se conocen con el nombre de tobas, ciertas rocas de origen volcánico que están formadas por fragmentos o *lapillos* de piedra pómez y cenizas silíceas o traquíticas, proyectadas por los volcanes y cementadas luego en conjunto y que se encuentran más o menos modificadas por la acción prolongada del aire y del agua.

Se presentan compactas, más o menos friables, de color gris, amarillento o terroso, con cristales de mica, sanidina, etcétera. En Italia se encuentran yacimientos de tobas volcánicas en los distritos mineros de Firenze, y en mayor abundancia en Roma y Nápoles. El yacimiento abierto en la falda del Vesubio, cerca de Pozzuoli, da grandes bloques, que se emplean para empedrar caminos, hacer gradas, umbrales y piezas de revestimiento.

Una especie de toba volcánica es la llamada Peperino, que se encuentra en la provincia romana y sirve como piedra de construcción y de corte.

Comúnmente, las tobas de los alrededores de Nápoles se sacan de dos zonas distintas: la superior de color amarillo claro, compacto, pesado, muy resistente a la compresión y que se emplea en las construcciones que deben soportar mucho peso, y la inferior de grano fino, color amarillento, homogéneo, ligero, y por consiguiente de fácil trabajo.

Los yacimientos de los alrededores de Roma, son yacimientos de tobas volcánicas litoides, de fractura concoidea, de color variable, que va del gris oscuro al amarillento o rojizo, que tiene un peso específico de 1,22 y se usa generalmente como pedrisco de construcción para formar el cuerpo de los muros, y en algunos casos como piedra de talla.

Otras veces se da este nombre a algunas rocas calcáreas (tobas calcáreas) semejantes al Travertino. En Italia, se produjeron en los últimos años cerca de 2.530.000 toneladas de tobas volcánicas, casi exclusivamente de los yacimientos del Lazio y de Nápoles, y en 1910 se obtuvieron 12.335 toneladas de Peperino.

Las tobas están constituidas por las partículas de pulverización de la lava en finas gotas. Las corrientes de vapor que a gran tensión atraviesan la masa de lava fundida y escapan por los cráteres de los volcanes, arrastran a cientos de metros de altura partículas de esas rocas en fusión, que se transforman en espuma y, sometidas en el aire a un enfriamiento rápido, se solidifican y pulverizan, produciendo un polvo gris.

Estas cenizas pueden ser trasportadas muy lejos, según la influencia del viento que las empuja y el grado de división que hayan adquirido. Las cenizas de los volcanes de Islandia han caído en las calles de Estocolmo después de un recorrido aéreo de 1.900 kilómetros. Durante la famosa erupción del

Krakatoa, en 1883, sus cenizas han recorrido el mundo, produciendo fulgores crepusculares.

Las cenizas volcánicas, pueden mezclarse con la lluvia que procede de la condensación del vapor de agua y convertirse en un lodo, que al solidificarse producirá una roca desigualmente estratificada, que puede ser muy delgada en los lomajes y prominencias del terreno por efecto del escurrimiento o lavaje de las aguas, como puede también no sedimentarse allí y formar acumulaciones sólo en los huecos y partes bajas, o también formar estratos de grueso espesor que se elevan a las desigualdades del terreno, constituyendo los depósitos de tobas tan comunes en ciertas zonas volcánicas.

La exploración submarina del Challenger ha constatado el hecho interesante de que el fondo de los mares profundos está tapizado de detritos volcánicos microscópicos.

Constituyen también las cenizas volcánicas, los productos de la fina disgregación de las rocas eruptivas, que se han consolidado en la chimenea del cráter y son arrastradas por las corrientes de vapor. Las cenizas vidriosas, proceden de las lavas líquidas que no han tenido tiempo de cristalizar en el aire.

Las lavas de nuestros volcanes, lanzadas a cientos de metros de altura, pulverizadas y transportadas por la impetuosa corriente de los vientos del S. O. a muchas leguas de distancia, han caído, según su densidad, impulso y dirección, en la zona comprendida dentro de una superficie terrestre que comprende al mismo tiempo una zona bastante grande del Atlántico, y estas cenizas flotantes en el mar, son arrojadas a la costa por las olas durante el flujo, igualmente como pasa con la resaca. Es un hecho que viene a explicar en parte las acumulaciones locales de una cantidad de cenizas y otros materiales volcánicos que se notan en las costas.

Al depositarse las rocas eruptivas, se puede notar en ciertas partes una superposición de elementos diferentes que proceden de erupciones distintas y separados por estratos intermedios de arenas, gravas, arcillas y aun substancias vegetales fosilizadas.

Las lluvias que se producen después de las erupciones acarrearán una porción de la ceniza en su caída y aglomeran mucha de la que ya ha caído, dando lugar a las lluvias de lodo que en algunos casos constituyen buena parte de los depósitos finales.

Estas lluvias de lodo se acumulan principalmente en los flancos inferiores del volcán próximos a la base, y dan origen a los conos algo chatos, designados a veces como conos de tobas (tufa-cones) para distinguirlos de los conos de escoria (cinder-cones) formados por la caída directa del material fragmentario. Porciones de material menudo son llevadas por el aire a distancias más o menos grandes, formando las rocas o depósitos de tobas muy extendidos.

Clasificación de los materiales volcánicos.

Todos estos materiales volcánicos se pueden clasificar, según su origen, en tres grupos, a saber:

I. — Materias puzzolánicas volcánicas. Que comprende las puzzolanas propiamente dichas, las tobas volcánicas y el trass, que para ser empleadas deben ser pulverizadas finamente.

II. — Materias puzzolánicas debidas a acciones metamórficas sobre rocas naturales, por metamorfismo de los agentes exteriores o producidas por el mismo calor volcánico.

III. — Materias puzzolánicas artificiales. Que comprende las arcillas cocidas, escorias de altos hornos, etc.

Dada la similitud de composición e igualdad de aplicación

con las tobas, daré someros datos sobre las materias correspondientes al primer grupo.

Puzzolana.

Se encuentra constituida por deyecciones volcánicas, alteradas por el tiempo y los agentes atmosféricos y compuesta esencialmente por sílice, alúmina, óxido de hierro, cal, y accesoriamente magnesio, álcalis, etc. Se encuentran depósitos importantes en los alrededores de Roma y en la regiones vecinas (de las lagunas Pontinas hasta Viterbo), en los alrededores de Nápoles (especialmente en Pozzuoli), como en otras regiones de la Italia central y meridional y en algunas localidades de Francia (Auvernia, Vivarais, Ardennes).

La puzzolana de tal origen (puzzolana volcánica) está formada por masas de color gris, amarillo pardo hasta pardo rojizo, o violáceo y negro, porosa, de fractura granular o terrosa, con un peso de cerca de 1.200 a 1.300 kg. por m³, soluble en parte en HCl sin efervescencia.

Se encuentra también “puzzolana no volcánica” constituidas por rocas anfibólicas, arcillosas, provenientes de desagregaciones de rocas feldespáticas, “psammiti”, etc., que mezcladas con cal pueden fraguar. Se encuentran en Toscana y en muchos lugares de Francia.

Estos materiales contienen en general 40 a 60 % de sílice y 20 a 30 % de alúmina, son muy ricos en óxido férrico, 8-22 %, y pobres en cal. En general, este género de puzzolana no tiene gran precio.

Además, se tienen las llamadas “puzzolanas artificiales”, que son mezclas de materiales arcillosos cocidos (arcilla, esquisto, basalto, etc.) con escoria, cal, arena, o puzzolanas naturales mezcladas con dichos materiales. Actualmente se

emplea de preferencia para la puzzolana artificial, la escoria de los altos hornos.

Trass.

Es una especie de toba traquítica, que se encuentra en gran cantidad a lo largo de la ribera derecha del Rhin, especialmente en los valles de Brohl y de Nethe, cerca de Bonn, bajo forma de bancos de conglomerados amarillos o grises, friables, bastante blandos y de fácil desmenuzamiento. Encuéntrase también en Hungría, en Baviera y en Irlanda septentrional. Se vende en el comercio finamente molido (wilder trass), pudiendo estar mezclado con cenizas volcánicas sin valor, o sinó en bloques (echter trass, trass tein), trass noble; en este caso se puede estar seguro de que no hay falsificaciones; deben estar privados de substancias extrañas, con bordes ásperos al tacto, muy duros, que se dejan romper con trabajo. Un hectolitro de trass reducido en fragmentos debe pesar cerca de 90,6 kg.; el trass en polvo pesa cerca de 1.200 kg. el m³.

Travertino.

Es también una toba, pero más calcárea (Kalktuff), que se deposita de las aguas surgentes que contienen en solución bicarbonato de calcio, cuando de éstas se elimina el anhídrido carbónico. Es compacto, con cavidades más o menos grandes y contiene plantas y animales fósiles, es ligero y de color blanco amarillento a grisáceo. Como lugares de producción, son principalmente conocidos: el yacimiento de la provincia de Roma (importante el situado sobre la derecha del Aniene, entre Tívoli y Roma) y el de Rapolano, en la provincia de Siena.

El travertino de la campaña romana es generalmente com-

pacto y útil para dar piedra de talla o de decoración, y se le encuentra a cada momento en monumentos antiguos y aun modernos de Roma.

. Se emplea a veces para falsificar las tobas de verdadero origen volcánico, por lo que debe tenerse presente.



CAPITULO II

Estudio geológico y petrográfico

A) Datos geológicos

Es muy interesante el estudio geológico y petrográfico de los materiales que forman las rocas volcánicas fragmentarias, por las deducciones que más adelante sacaremos; comprendiéndose en esta sección todos los depósitos que resultan de la pulverización de las rocas volcánicas y que abarca los formados por materiales fragmentarios arrojados por los volcanes en forma de cenizas y los producidos por la destrucción de las masas volcánicas eruptivas en la superficie terrestre. Esta segunda sección debería incluirse entre las rocas arenosas y arcillosas, pero muchas veces estas rocas detriticas no pueden distinguirse de las originadas por consolidación de los verdaderos polvos y arenas volcánicas.

A veces sus caracteres químicos son tan semejantes que, como las bombas, lapilli o escorias, se colocan en las series verdaderamente volcánicas, y guijarros volcánicos evidentemente desgastados por las aguas se colocan en las otras. El geólogo, con estos hechos, distingue unas de otras, siendo raros los casos dudosos.

Las *piedras volcánicas* son masas de lava de varios pies de diámetro, con textura uniforme en toda su masa en unos casos y compactas interiormente y celulares o escoriformes en su exterior en otros.

Las *bombas* son porciones de lava redondas, elípticas o discoidales de algunas pulgadas hasta uno o más pies de diámetro; celulares en su interior y de grano fino en su exterior. Hay veces en que es una corteza de lava que encierra un fragmento de otra roca.

Los *lapillos* tienen diversas formas, del tamaño de una nuez, y compuestos de la lava de que procede, porosos y finamente vesiculares.

Las *arenas y cenizas volcánicas* son detritus finos de fragmentos redondeados o angulares muy pequeños y tienen cristales, microlitos y vidrio volcánico, provenientes de la lava fundida. Si éstas caen al mar se mezclan con substancias extrañas, pasando a sedimentos ordinarios.

Los *conglomerados volcánicos* están formados por fragmentos de rocas volcánicas cementadas por una pasta de los mismos, que ofrecen una disposición estratificada y muchas veces se encuentran intercalados entre corrientes sucesivas de lava.

El *trass* está muy desarrollado entre los productos de los volcanes islándicos y sicilianos, presentándose también en el Eifel y Nassau, y corresponde a una de las formas características de las tobas de la edad carbonífera de la Escocia central.

No es raro encontrar en las numerosas aberturas, tobas finamente estratificadas en las aglomeraciones de relleno. Este hecho está de acuerdo con la presencia no rara de una toba estratificada y en capas fracturadas y levantadas que buzan

hacia el centro de la cavidad, para demostrar que los conductos han sido rellenos parcialmente por toba consolidada en capas hacia el cráter y en la parte superior del embudo.

Al mismo tiempo indican el carácter subaéreo de la toba, los abundantes fragmentos de madera de coníferas que encierran, los cuales deben proceder de los árboles que crecieron en la pendiente de los conos.

En los rellenos de toba, es frecuente encontrar numerosos diques, y venas de lava que ascienden a través de la toba y están generalmente confinados a ella. Otras veces son columnas hermosas que divergen de los lados de los diques y en ocasiones se encorvan.

Frecuentemente hay pruebas de haberse realizado un descenso en torno de las aberturas. Las rocas estratificadas, a través de las cuales se abrió el conducto volcánico, buzan por lo general hacia adentro en todo el contorno y reposan en el margen como si hubieran sido arrastradas por el descenso de los materiales en la abertura. De esto se encuentran ejemplos a lo largo de las costas del Firth.

Algunas tobas modernas se hallan a veces llenas de microlitos procedentes de lavas reducidas a polvo. Otras están formadas de pequeños granos angulosos o redondeados de diferentes lavas, mezclados con fragmentos de las varias rocas que atraviesa la chimenea volcánica.

Las tobas de los primitivos tiempos geológicos han sido tan alteradas, que es difícil conocer cual fuera su primitivo estado.

La falta de microlitos y vidrios en ellas no demuestran que no sean verdaderas tobas, porque la presencia de estos cuerpos depende de la naturaleza de las lavas, puesto que si éstas no son vítreas ni microlíticas, de ningún modo pueden serlo las tobas derivadas de ellas.

Las tobas de la región volcánica carbonífera de Escocia están formadas por restos y cantos de lavas basálticas, y del mismo modo que éstas no son microlíticas, aunque en algunos puntos pueden encerrar fragmentos de vidrio básico, llamado palagonita.

Unas veces las tobas se consolidan debajo del agua y otras en tierra seca.

Por regla general, están claramente estratificadas, y en la proximidad de las rocas eruptivas, presentan con frecuencia alternativas bruscas de detritos finos y gruesos; señales de las fases sucesivas de la actividad volcánica. Necesariamente se encuentran entre las formaciones sedimentarias de que son contemporáneas, encontrándose así, tobas que pasan insensiblemente a pizarras, calizas, areniscas, etc., llamándose las variedades intermedias cenizas pizarrosas, pizarras tobáceas, tobas pizarrosas, etc.

Como consecuencia de su formación, conservan frecuentemente las tobas, restos de plantas y animales, tanto terrestres como acuáticos. Las del Monte Somma encierran fragmentos de ciertas hojas de plantas y de conchas, y algunas de la edad carbonífera de la Escocia central y paleozoicas de Almadén, ofrecen ejemplares de crinoideos, braquiópodos y otros organismos marinos.

Del mismo modo que las demás rocas volcánicas fragmentarias, las tobas pueden subdividirse, según la naturaleza de la lava de cuya destrucción proceden, en felsíticas, traquíticas, basálticas, pumíticas, porfiríticas, etc.

El estudio geológico de un manto particular de lava, puede dejar duda respecto a si corrió por la superficie libremente o si fué consolidada en la profundidad y, por consiguiente, si debe o no considerarse como una prueba de volcanismo actual

de la localidad en que se halla; cuando se trata de las acumulaciones de las rocas eruptivas fragmentarias no sucede esto, pues éstas dan testimonio seguro de la acción volcánica producida en la superficie.

Los aglomerados hallados en los rellenos de materias eruptivas, suelen consistir en fragmentos de las rocas vecinas arrastrados por la corriente de materia fundida, al paso que una capa de toba o una serie de ellas interestratificadas en una formación geológica, sólo puede proceder de erupciones volcánicas contemporáneas a ellas.

Las expulsiones fragmentarias de un volcán o una corriente de lava enfriada, varían en dimensiones, observándose trozos muy gruesos y tobas de granos finos, encontrándose generalmente los primeros cerca del punto de descarga.

Difieren en su composición química según la naturaleza de las lavas que con ellas se asocian y de las que han derivado. Así, una región de lavas traquíticas proporciona, como es natural, tobas y brechas traquíticas y una obsidiana de tobas y brechas pumíticas.

Las materias fragmentarias que arrojan las aberturas volcánicas, caen, parte en los conductos de descarga y parte en la zona que los rodea, y esta segunda puede mezclarse más o menos con detritos sedimentarios ordinarios, pasando insensiblemente así a areniscas, calizas, arcillas y otras rocas estratificadas.

Se suele encontrar entre las tobas de muchos detritos volcánicos antiguos, grandes trozos de rocas de aspecto de lava, así como también de los estratos entre los cuales se produjeron las explosiones.

Algunas veces tales trozos y bombas se hallan entre capas arcillosas delgadas y otros estratos, los cuales ofrecen una

hojiosidad en torno de aquéllos, que muestran que las masas cayeron con una fuerza considerable en la arcilla o barro todavía pastoso y blando.

División de las rocas

Según su proporción en sílice, las rocas se dividen en ácidas, con más de 65 % de sílice; neutras, de 55 a 65 %, de las cuales tenemos en la serie moderna la traquita y la pómez; y por último básicas, de 40 a 55 % de sílice.

De acuerdo con la clasificación de Zirckel, se dividen en rocas Protogénitas, que dan para ciertas tobas los siguientes datos: rocas compuestas — en masa — feldespáticas — con feldespasto — plagioclásicas — con hornblenda (Dacita y Andesita); rocas Deutogénitas, que encierran tobas, cenizas y arenas volcánicas; rocas Dentríticas, son las semiclásticas, constituidas en parte por materiales dentríticos y en parte por individuos cristalinos de primera formación (tobas).

Danbrée, coloca en el grupo de las rocas feldespáticas el trass. Estas tobas tienen verdadera importancia en la Geotectónica terrestre, pues por su formación se da lugar a los llamados conductos rellenos, que abundan bastante en las regiones volcánicas y en las cuales cada serie de mantos volcánicos derramados a la superficie ha surgido por hendeduras u orificios abiertos en línea de fractura.

Al cesar las erupciones estos orificios quedan llenos de lava o de materias fragmentarias. Pero la denudación posterior que elimina el cono que reposa encima, deja enterrada la abertura bajo los materiales que vinieron sobre ella.

En muchas antiguas regiones volcánicas ha sido tan extensa la pérdida de materiales, que las aberturas han quedado

desnudas. El estudio de estos rellenos permite reconocer algunos profundos fenómenos de la acción volcánica que se ve en los volcanes modernos.

Estos rellenos pueden ser circulares o elípticos, frecuentemente irregulares, de diámetro de algunos metros hasta millones. Descienden perpendicularmente a la estratificación; al exterior aparecen como conos o colinas, pero producidos por denudación posterior.

Es común hallar en los rellenos de tobas venas y diques de lava que penetran los estratos cercanos. Cuando por accidente, muchas veces en los mares del Eifel, los fragmentos no volcánicos constituyen la mayor parte de la materia de relleno, se infiere de esto que después de las primeras explosiones gaseosas cesó la actividad del foco, sin llegar a alzar una columna de lava o proyectarla de otro modo al exterior.

La consolidación ulterior de los materiales fangosos antiguos y el de capas de cenizas, donde la caída ha sido acompañada de fuertes lluvias, da nacimiento a estratificaciones groseras de las tobas, pudiendo conservarse muy bien las impresiones de vegetales. Así, las tobas provenientes de las erupciones fangosas del Cotopaxi contienen detritos de las plantas arrancadas a la región de las hierbas y de las selvas, así como troncos de árboles y grandes fragmentos de césped.

Estas son las tobas fangosas, hoy día endurecidas y alternando con lavas que después de 18 siglos recubren a Herculano con una capa de 15 a 45 metros de espesor. Según los elementos constituyentes, la cantidad de agua que los ha cementado y las circunstancias de su caída, así como su desecación, dan las variedades más diversas.

Con el nombre de cineritas se conocen tobas de grano fino,

blancas o grises, con aspecto de plaquetas delgadas, que parecen formadas de cenizas feldespáticas aglutinadas que han debido caer en los lagos.

Pueden formarse también depósitos análogos por la caída de cenizas y lapillos en el fondo del mar; resultan tobas submarinas, conteniendo conchas; así se han constituido importantes depósitos de tobas con piedra pómez de la Italia, que los levantamientos posteriores han llevado a la superficie del suelo.

Hay también conos de tobas, o más bien napas cónicas que se forman por la consolidación de materias fangosas, ya son mezclas de piedras y detritos, que hacen erupción con los torrentes de agua caliente, ya son cenizas donde la caída ha sido acompañada por lluvias y desprendimiento de vapor de agua.

Los materiales se disponen en capas, donde la inclinación varía entre 15° y 30°, siendo su color dominante el pardo amarillento debido a la acción del agua en la oxidación de los elementos ferruginosos.

El término ceniza, que se aplica a los productos sin consistencia y más finos de los volcanes modernos, se emplea a veces en un sentido más amplio; los depósitos de estas materias "cenizas" más antiguas y que se han vuelto más compactas se las llama tobas. Una gran parte se acumula bajo el agua y la otra, la subaérea, ha estado a menudo bien protegida contra la destrucción; cuando los fragmentos angulares de rocas figuran en gran número, el depósito se llama brecha volcánica, y si los fragmentos son redondeados, conglomerado volcánico.

Según la naturaleza de las materias, se designan como toba riolítica, traquítica, etc., o bien brecha andesítica, conglomerado traquítico, etc., pero a causa de la mezcla de materias

diferentes las rocas no corresponden siempre exactamente, aun con las rocas contemporáneas que están distintamente asociadas con ellas. Además, cuando la roca se ha depositado bajo el agua, la materia volcánica está mezclada con detritos ordinarios o materia calcárea, teniendo así los tufos terrosos, calcáreos, etc., algunos de los cuales pueden ser fosilíferos.

Muchas tobas tienen un cemento calcáreo. En algunos casos la calcita ha podido provenir de la destrucción de silicatos que contenían cal, o bien ha podido introducirse de fuentes extrañas.

Hay sin embargo muchas tobas submarinas de todas las edades, en las cuales, los organismos calcáreos se han acumulado al mismo tiempo que la materia volcánica y han dado nacimiento a todas las transiciones, desde una toba hasta un calcáreo puro.

Esta clase de depósitos se forman, en la época actual, en la vecindad de las islas volcánicas, y tobas calcáreas consolidadas a menudo abundantes en foraminíferos, etc., están notablemente representadas en las capas recientes de las islas Tonga.

Referente a la presencia de fósiles en estas tobas, Lapparent indica que no es necesario que los animales o vegetales hayan sido previamente encerrados en un sedimento, pues la preservación de sus estructuras es completa cuando las fuentes calcáreas o siliciosas han servido de medio petrificador.

Si se trata de estas fuentes, se observa como sus elementos se depositan sobre los órganos de los vegetales o animales formando travertinos o tobas, y cuando más tarde la materia orgánica desaparece, queda el molde exterior de las hojas, flores u órganos que se aíslan, rompiendo la roca; a menudo

las cavidades representan el molde de los insectos que frecuentan los alrededores de estas fuentes.

Las tobas se distinguen en la vecindad de los centros de erupción por la alternancia de capas de elementos muy finos con otros más gruesos, correspondientes a las diversas fases de la actividad volcánica. Cuanto más antigua es una toba, tanto más difícil es de determinar los elementos, en razón de las alteraciones que han sufrido los microlitos y otros detritos menudos.

Diversas clasificaciones de las tobas

Se distinguen las tobas felsíticas (cenizas feldespáticas o felspathic ashes), las tobas basálticas, las tobas con piedra pómez, las tobas porfiríticas, etc. Estas últimas han jugado un gran papel en diversas épocas geológicas, sobre todo las de la formación de los terrenos hulleros. Las cineritas no pueden separarse de las tobas, pues ellas no son más que una variedad de grano muy fino.

Muchas tobas felsíticas engendran rocas compactas que a simple vista se muestran idénticas con los felsófiros. Es necesario el microscopio para comprobar que estas rocas están formadas de detritos.

A las tobas felsíticas deben agregarse los argilófiros o argilotitas, que a menudo acompañan a los felsófiros. Se observan todos los pasajes posibles, desde los felsófiros auténticos hasta las rocas enteramente detríticas. Estas tobas son a menudo brequiformes, arcillosas y de colores variados, dominando el rojo pardo, el violeta y el verde. Lo más a menudo, las aguas siliciosas han tenido un gran papel en su formación, como se demuestra por las numerosas venas e infiltraciones

de cuarzo, de calcedonia y de ópalo, o también por la presencia de vegetales silificados.

El nombre ha sido creado en 1841 por E. de Beaumont, para designar las tobas permianas de los Vosgos. M. Barrois ha descrito algunas análogas en Asturias.

Las tobas porfiríticas de la edad carbonífera abundan en Morvau y son, propiamente hablando, tobas ortofiricas, constituidas por fragmentos muy rotos de cuarzo, ortosa, oliglocasa y mica negra, cementadas por una pasta de calcedonia. A menudo las tobas porfiríticas se transforman por dinamometamorfismo en una roca esquistosa verde claro, casi enteramente constituida de clorita.

Las tobas basálticas están constituidas por fragmentos de basalto proyectado y cementadas en seguida, sea por carbonatos y limonita, sea por zeolitas, y más raramente por ópalo o calcedonia.

Las llamadas palagoníticas se encuentran sobre todo en Sicilia y en Islandia; están compuestas de lapillos, vidrio basáltico (sideromelane), que cementan diversas sustancias derivadas del vidrio mismo por transformación hidroquímica. Estas tobas son muy básicas.

Parecen ser el producto más o menos alterado de explosiones sucesivas; no es necesario que estas explosiones hayan tenido lugar al aire libre, pues fragmentos de estas tobas son frecuentes en el centro de las "nobules" de manganeso, recogidas en las grandes profundidades del Pacífico.

La época pleistócena habiendo sido atravesada por muchas fases de gran humedad, es natural que haya visto producirse, en la desembocadura de las fuentes, incrustaciones o tobas de una cierta importancia, siendo las tobas así formadas terrosas y sin cohesión, o su estado compacto permite em-

plearlas en las construcciones. Los ejemplos son numerosos en el Sena, siendo uno de los yacimientos más importantes el de Celle, cerca de Moret.

Estudiada primero por Tournoüer, que había apreciado muy bien sus caracteres, esta toba ha sido recientemente objeto de mayores investigaciones, que han dado a M. Munier-Chalmas la ocasión de un estudio de detalles muy profundo.

La toba de Celles reposa sobre los aluviones antiguos del fondo del valle del Sena y comprende de arriba hacia abajo sobre un espesor de 8 a 15 metros, una capa de toba concrecionada con *Ficus carica* y una toba con Zonitas, y huesos de castor, ciervo, etc.

Otra toba calcárea muy célebre es la de Cannstadt, en Würtemberg, cuyos estudios hechos por M. Heer han encontrado 24 especies de vegetales, comprendiendo castaño, álamo, nogales y otros árboles que viven todavía en la región; estos restos están asociados a conchilla terrestre.

Se encuentran también en Roquevaire, cerca de Marsella, en Montpellier, en Toscana y cantidades notables en Argelia, particularmente en Tlemcem y hasta en el Sahara, y en fin, en Trípoli.

La Irlanda ha sido el teatro de erupciones en la época de Llandeilo de Bala y de Wenlock.

Se han encontrado felsófiros, cineritas, brechas y tobas muchas veces muy finas y que se encuentran aún, en muchos casos, alternando en el sudeste con las capas fosilíferas de Bala.

B) Datos petrográficos

a) Generalidades

Pasando al estudio petrográfico, compréndese bajo el nombre genérico de tobas a varios tipos de rocas, pertenecientes todas ellas al grupo de las clásticas o detríticas, formadas siempre por el producto de la alteración, unas veces "in situ" y otras con arrastre y sedimentación posterior de las rocas primitivas, pudiendo distinguirse dos grupos: uno formado por tobas de un proceso químico y constituye las tobas calizas y silíceas, o sea de rocas sedimentarias, y otro por tobas de proceso puramente mecánico, muy heterogéneas, comprendiendo las tobas procedentes de las rocas y formaciones eruptivas o de origen interno, que a su vez se subdividen en verdaderas rocas eruptivas, como las tobas diabásicas porfídicas, y otro comprende las tobas volcánicas, que tienen muchas variedades y que encierran las tobas fonolíticas, la pumítica, llamada puzzolana, la basáltica, peperino, etc.

Esta segunda categoría, o sean las tobas eruptivas y volcánicas, son aglomeraciones de variable importancia de las deyecciones y las cenizas volcánicas que han resultado más o menos coherentes por la interposición de un cemento de formación ulterior y secundaria, y que se hallan más o menos alteradas en su composición mineralógica y forman bancos bien estratificados.

La toba pumítica contiene fragmentos de pumita, traquita, greywacka, basalto, leños carbonizados, etc.

La toba palagonítica es un agregado guijarreño de polvo y fragmentos de lava basáltica con trozos angulosos de un

vidrio basáltico amarillo pálido, verde, rojo o pardo. Parece no haber sido expulsado en corrientes, sino mediante explosiones gaseosas, sufriendo después alteraciones.

Hay materiales que, como las cenizas y tierras cocidas, para el sabio profesor Ameghino, son restos que pueden ser atribuídos al hombre fósil y a su precursor, y que para el señor Outes son escorias volcánicas y tobas eruptivas, clasificándolas como escorias de lavas andesíticas.

En el trabajo del doctor Juan Keidel, sobre la composición y estructura geológica del cajón del Cadillal, se encuentra el estudio de las tobas por él entrevistas, hallándose una de pórfido cuarcífero silificada, donde en los cortes observa: cuarzo, feldespató (ortoclasa), biotita, pedazos de pórfido, margas, areniscas arcillosas, filita y cuarcita, predominando el cuarzo, que se destaca en la masa de granos de cristales, viniendo luego el feldespató.

El cuarzo es transparente; el feldespató en la mayor parte está bastante descompuesto; a simple vista se destaca en la masa parda como granos blancos; al microscopio se ven todos los estados, desde el mineral casi intacto hasta el cristal opaco.

Los granos de cuarzo y ortoclasa son casi siempre fragmentos angulosos de contornos irregulares en contraposición a los cristales idiomorfos, comunes en los pórfidos cuarcíferos; y por sus caracteres la clasifica dicho autor como toba de un pórfido cuarcífero.

Menciona también minerales secundarios que por infiltración entran en la roca y rellenan grietas, sobre todo el cuarzo y el espató de cal.

Encontramos más o menos la misma composición petrográfica en todas las tobas, con algunas variantes, según de

la roca de que provienen. Acerca de la relación existente entre el color y los elementos minerales tenemos el cuadro de los minerales primitivos esencialmente blancos (comprendiendo elementos alcalino térreos) y coloreados (elementos hierro-magnesíferos) los cuales se encuentran en las partes más o menos conservadas del polvo volcánico que dió el depósito. Va en seguida la enumeración de los minerales secundarios, y para éstos como para los primitivos, no se indican los accesorios.

ELEMENTOS ESENCIALES

<i>Blancos</i>			<i>Coloreados</i>	
	1 Cuarzo.			11 Mica negra.
	2 Mica blanca.			12 Piroxeno.
<i>Feldespatos ...</i>	3 Ortosa.	<i>Bisilicatos</i>	{	13 Anfíbol.
	4 Microlino.			14 Ipersteno.
	5 Albita.			15 Peridoto.
	6 Oligoclasa.			
	7 Labradorita.			
	8 Anortita.			
	9 Nefelina.			
	10 Leucita.			

b) Estudio microscópico de las tobas ensayadas

En la preparación microscópica se estudia: a) la parte netamente cristalina o vitrosa, y este examen puede hacer posible el asignar una denominación litológica del mineral; b) la masa más o menos alterada para la cual la función del microscopio se concreta a aumentar.

Las observaciones de las muestras estudiadas dieron los siguientes datos tomados sobre las muestras 1, 2, 3 y 5 sobre el polvo directamente observado al microscopio, por ser

fácilmente desmenuzables por los dedos y por lo tanto no ser posible hacer cortes; la muestra 4, de consistencia más dura y presentarse la roca con estratificaciones o diferentes capas de sedimentación, observables a simple vista por las distintas coloraciones, se pudo hacer un corte para preparación microscópica, pero por falta de elementos el corte sale un poco grueso, pues si se trata de aclararlo más se rompe por falta de consistencia, lo que sin embargo no impidió la observación en el microscopio con la luz directa y con nicols cruzados. El resultado es como sigue:

Muestra N.º 1. (1)

La observación microscópica, permite encontrar feldespato, casi todo caolinizado y con aspecto más oscuro, algo de carbonato de cal, vidrio volcánico muy fino, plagioclasa (oligoclasa-andesina más fresca), augita sin líneas de clivaje y con relieve, hornblenda oscura de color verde aceituna con líneas de clivaje y restos de olivina. Es probablemente una roca andesítica.

Muestra N.º 2.

La observación del polvo investigado nos muestra que se encuentra compuesto de feldespato en gran parte caolinizado, plagioclasa, carbonato de cal, vidrio volcánico bastante fino, cuarzo, que con la luz polarizada se presenta brillante, y que haciendo girar la platina oscurece hasta quedar totalmente negro y volver a ser brillante; contiene además augita y un poco de biotita. Trátase seguramente de una roca dacítica.

(1) Los datos relativos a la procedencia se encuentran en la página 77.

Muestra N.º 3.

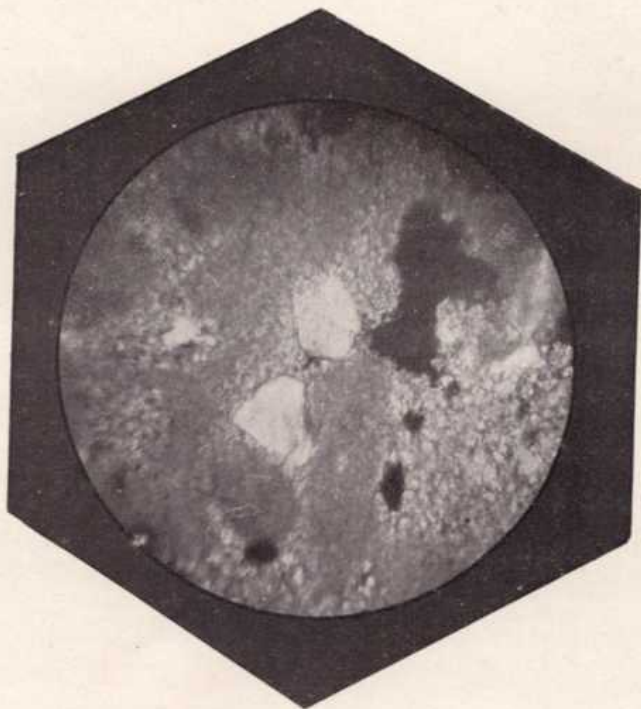
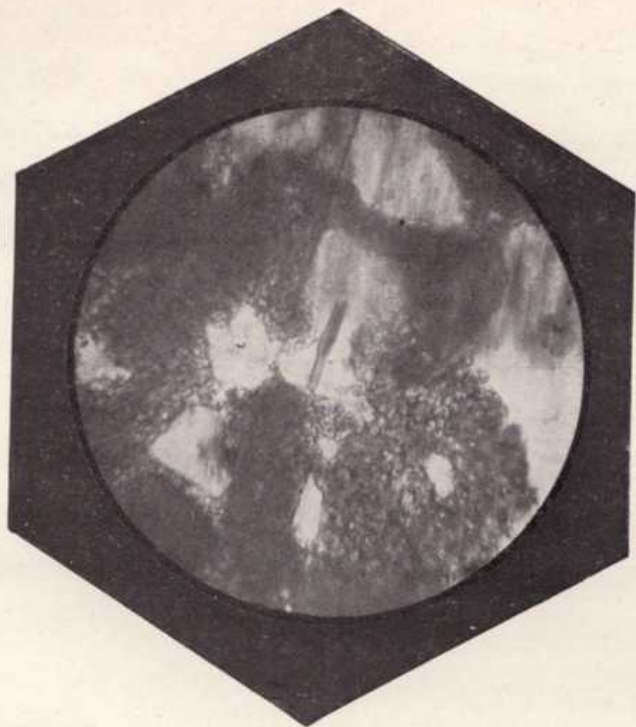
En esta observación son poco los elementos que se distinguen, por estar su masa constituída casi esencialmente por feldespato bastante alterado o caolinizado; se encuentra también caolín (?) y pedazos raros de plagioclasa. Otros elementos no se observaron. Se encuentra bastante alterada por acción de los agentes atmosféricos, al igual que las anteriores.

Muestra N.º 4.

La observación del corte nos muestra que está formada por feldespatos, que se encuentran caolinizados, originados estos últimos por desagregación de las rocas que constituyen una masa granulosa casi homogénea, en la cual se distingue el cuerpo de los antiguos cristales de feldespato, conservando aún una forma más o menos rectangular correspondiente al hábito prismático de los mismos. No se nota indicio de estratificación.

El cuarzo es bastante abundante en granos más o menos del mismo tamaño que los restos de los cristales de feldespato con los ángulos redondeados; son casi los únicos cristales que se observan, además carbonato de cal, siendo los demás insignificantes, encontrándose restos de hornblenda que se presenta con líneas de clivaje paralelas de color verde aceituna; augita de color verde azulado, con más relieve y sin líneas de clivaje, pequeñísimos granos de magnetita de color pardo opaco y muy escasos, plagioclasa en laminillas macladas. Los cristales del feldespato son simples y no maclados.

tin-
por
m-
le-
or
re-



Muestra N.º 5.

Esta muestra está constituida en su mayor parte por la masa de feldespatos casi todo caolinizado, carbonato de cal, vidrio volcánico muy fino, observándose algunos cristales maclados de plagioclasa, olivina muy rara, bastantes granos de cuarzo, augita y hornblenda oscura, estas últimas en poca cantidad.

Todas estas muestras se encuentran muy alteradas por la acción de los agentes atmosféricos (agua y anhídrido carbónico de la atmósfera) que alteran y caolinizan los feldespatos, constituyendo así materias inertes o no atacables fácilmente.

Las microfotografías adjuntas corresponden a la muestra N.º 4, tomada con 225 diámetros; la superior es tomada con nicoles paralelos y la inferior con nicoles cruzados, en las cuales se ven claramente los granos de cuarzo.

CAPITULO III

Análisis físico y químico

A) Métodos de análisis

a) Físicos

En esta parte trato lo concerniente al estudio físico y químico de estos minerales, las diversas clases de análisis que podemos realizar según el objeto que se persiga, los distintos métodos empleados y los resultados obtenidos con tobas conocidas y los realizados personalmente con las comparaciones que se deduzcan.

Preparación del mineral para su análisis.

Para efectuar los análisis se toma una muestra media de 20 gr. y se pulveriza en un mortero hasta que todo pasa por un tamiz de 5.000 mallas por cm^2 ; si la toba a investigar consiste en piedra no molida, entonces se debe tomar una muestra de 10 kg. que represente el término medio de la roca; estas piedras, del tamaño de un puño, hay que deshacerlas hasta que no quede residuo sobre un tamiz de 10 mallas; de esta cantidad se toma 1 kg., que hay que desmenuzarlo hasta que pase por un tamiz de 60 mallas; se toman 100 gr. y éstos

se pulverizan hasta que pase por un tamiz de 900 mallas y de esto se toman 20 gr., que deben pasar por tamiz de 5.000 mallas.

Fineza del grano.

Para este examen se emplean los tamices usuales para pruebas de cementos: uno de 324 mallas, otro de 900 y por último uno de 4.900 mallas; para la tamización se usan 100 gramos de polvo secado a 98° y se comienza con el tamiz más fino; se pesa el residuo y se continúa con los otros.

Peso específico.

Se determina por el método común del picnómetro, usando como líquido la bencina y relacionando después la densidad con la del agua, y en esta forma se evita que haya algún cuerpo que pase en solución.

Humedad.

Los métodos alemanes determinan la cantidad de agua higroscópica, tomando 10 gr. que se colocan en un pesa filtro, cuya superficie tiene por lo menos un diámetro de 4 cm., se calienta durante tres horas en una estufa de aire caliente a 98°, después cierra con la tapa y todavía caliente se pone en un secador y se pesa.

Mis determinaciones son hechas sobre 4 a 5 gr. en un pesa filtro llevado a la estufa durante hora y media a 100° - 105° y agitando de vez en cuando; después de enfriado se pesa.

Pérdida al rojo.

Corresponde al agua higroscópica, anhídrido carbónico, agua de combinación, materia orgánica, etc. Se efectúa sobre 1 a 2 gr. en cápsula de platino, calentando 5 a 10 minutos con corta llama para evitar proyección de partículas finas y luego al soplete, removiendo con un alambre de platino hasta constancia de peso. En el cálculo debe restarse el dato correspondiente al agua higroscópica.

b) Químicos

Preparado el mineral, pasemos a ver los distintos métodos analíticos.

Método analítico { I. Completo. { a) Para determinar la composición mineralógica.
 { II. Racional. { b) Aplicado a un fin determinado.

I. — Para efectuar el análisis completo hay una serie de métodos desde hace mucho tiempo empleados y otros últimamente propuestos. El método generalmente empleado consiste en disgregar el mineral por fusión del mismo con un exceso de carbonato de sodio o con una mezcla de éste con carbonato de potasio. La ortoclasa por ejemplo, se descompone así:



formándose el silicato alcalino y los carbonatos u óxidos de las bases, que se disuelven por tratamiento con agua y ácido clorhídrico, mientras que se separa sílice. Los álcalis deben determinarse sobre otra muestra.

Para determinar el anhídrido silícico, bióxido de titano, óxidos de aluminio, hierro, manganeso, calcio y magnesio, se

pesa aproximadamente 1 gr. y se mezcla dentro de un crisol de platino con seis veces su peso de carbonato de sodio anhidro puro, mediante una espátula de platino, y se limpia con carbonato de sodio, el cual se agrega.

Dado su punto de fusión más elevado es preferible usar carbonato de sodio que la mezcla de los dos carbonatos de sodio y potasio, siendo así su acción más intensa.

El crisol cubierto, se calienta primero con corta llama durante 10 minutos y luego sobre un mechero Teclu y por último $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ hora al soplete, hasta que no haya desprendimiento de anhídrido carbónico o sea que el ataque haya terminado; hecho esto, y cuando la masa está en estado de fusión tranquila, se da por terminada la disgregación; se toma el crisol y se introduce el fondo en agua fría para facilitar la separación de la masa de las paredes del crisol. El producto de la fusión se echa en un vaso de precipitación; las partes adheridas se separan con agua caliente y ácido clorhídrico y se reúnen con el resto; sobre este líquido se insolubiliza la sílice y se separan las bases para determinar sus proporciones.

II-a. — Si efectuamos el análisis racional para determinar su composición mineralógica (pues podemos tener más interés en conocer su composición mineral que su composición química) obtenemos las proporciones respectivas de caolín, cuarzo, feldespato, etc. La separación de estos elementos se basa en que los dos últimos no son atacados por el ácido sulfúrico caliente, mientras que el caolín es disuelto.

Por el tratamiento sulfúrico es atacado el caolín, haciendo solubles las bases y un residuo compuesto de la sílice del caolín, feldespato, cuarzo, etc., que tratado con solución de carbonato de sodio da una parte soluble, que es sílice del

caolín, y un residuo formado por feldespato y cuarzo, que más adelante veremos su separación.

El análisis racional se efectúa del siguiente modo: se pesa en una cápsula de platino de 4 a 5 gr. de mineral, se agregan 50 cm³ de ácido sulfúrico concentrado, se agita bien y se calienta a fuego directo la cápsula cubierta con un vidrio de reloj. La calefacción se arregla de modo que la masa comienza a emitir vapores de ácido sulfúrico, prolongándose así durante una hora. Otras veces se calienta con el ácido sulfúrico un poco diluído, hasta que se concentra y comienza a dar humos blancos.

Este modo de operar es defectuoso, pues no lleva a una descomposición completa; es necesario calentar una hora a evaporación total. El caolín se transforma así en sulfato de aluminio y sílice hidratada; una calefacción más prolongada se considera inútil. En seguida se elimina la mayor parte de sulfato de aluminio por ebullición con HCl y decantación.

El residuo se neutraliza con soda cáustica y se pone a hervir con lejía de soda diluída (50 a 60 gr. de soda por 1.000 de agua) para disolver la sílice hidratada. Después de decantación se hace hervir el residuo con ácido clorhídrico, decantando después de cada tratamiento.

La sílice amorfa o hidratada, proveniente de la descomposición del silicato de aluminio, es completamente disuelta por este tratamiento, mientras que la sílice existente al estado de cuarzo y feldespato que quedan sobre el filtro es bien lavada con ácido clorhídrico, calcinada y pesada.

Para determinar la cantidad de feldespato, se humedece el residuo con ácido sulfúrico diluído y se adiciona ácido fluorhídrico, se evapora a baño maría, el sulfato de aluminio, de ese modo es disuelto por ebullición prolongada con

ácido clorhídrico, moderadamente diluido, después la alúmina es dosada por doble precipitación con amoníaco.

Se calcula la proporción de feldespato, teniendo en cuenta que una parte de alúmina corresponde a 5,41 partes de feldespato. El cuarzo se obtiene por diferencia. Es sin embargo un error querer juzgar el valor de estos minerales según los resultados de esta clase de análisis racional.

II-b. — Teniendo en cuenta la aplicación de las tobas y la forma en que va a reaccionar con los otros elementos para obtener un material de fragüe, cosa que veremos más adelante en la forma como se efectúa, debemos tener en cuenta los elementos de este mineral que son atacables por HCl, y del residuo que queda la parte que se solubiliza por el tratamiento de CO_3Na_2 y Na (OH), que son los elementos que prácticamente van a intervenir; y dejando aparte la porción no atacable, que es la que no intervendrá en las reacciones; por lo tanto debe hacerse un análisis racional aplicado al fin que perseguimos para tratar de colocarnos en las condiciones que van a suceder, o sea dentro de su fase práctica.

Residuo insoluble en HCl.

He seguido el procedimiento que consiste en pesar 5 gr. más o menos de mineral (mejor 5 gr. justos para la facilidad de los cálculos), los que se echan en una cápsula de platino y se le añaden con todo cuidado, más o menos, 20 cm^3 de agua, y luego 20 cm^3 de HCl concentrado; se mezcla el todo bien con una varilla de vidrio y se evapora a baño maría hasta sequedad completa.

Una vez seco, se le añade un poco de HCl concentrado, en cantidad suficiente para empapar bien el residuo. Se lleva nuevamente a sequedad, se vuelve a repetir el tratamiento

con HCl concentrado, y una vez seco se lleva a una estufa a 115° - 125° , cuidando que la temperatura no pase de ese límite para evitar la recombinación de la sílice. En esta estufa se mantiene de una a una hora y media, hasta que el residuo esté seco, con el objeto de insolubilizar bien la sílice. Se deja enfriar y se le añade 20 cm^3 de agua y 20 cm^3 de HCl puro y 5 - 10 gotas de ácido nítrico, se le calienta a corta llama, agitando continuamente durante una media hora y luego se filtra, lavando con agua caliente y dos o tres veces con HCl al 50 %; se lava este residuo hasta más o menos 350 cm^3 y se completa a 500 cm^3 enfriando primero.

El residuo se ataca con carbonato de sodio y soda cáustica, de lo que hablaremos luego, y el líquido se reserva para el dosaje de las bases.

Si queremos saber la cantidad de sílice libre y sílice combinada, sobre dos gramos de materia colocada en cápsula de platino se agregan 5 cm^3 de agua y $40 - 50\text{ cm}^3$ de ácido sulfúrico concentrado; se remueve y se calienta en baño de arena de 6 a 8 horas; no hay que llevarlo a sequedad. La evaporación debe ser lenta para que sea completa la descomposición de los silicatos. Después de enfriar se extiende con agua y se filtra, y el residuo, unas 10 veces con agua caliente y dos a tres veces con HCl al 5 % y por fin con agua caliente hasta el fin de la reacción ácida.

El filtro con el precipitado, puesto en una cápsula de platino, se le agregan 75 cm^3 de agua destilada, 2 gr. de soda cáustica y 10 a 12 gr. de carbonato de sodio seco, se remueve y lleva a baño maría. Se calienta una hora reemplazando el agua, se filtra, lava con agua caliente unas 10 veces, luego tres veces con HCl al 5 % y por último con agua caliente. Se calienta y pesa; el residuo pesado representa la sílice li-

bre que, restada de la sílice total, da la sílice combinada.

Kreiling aconseja lo siguiente: En una cápsula de platino deslíe con agua por agitación 5 gr. de mineral, agrega 50 cm³ de ácido sulfúrico concentrado y calienta fuertemente; finalmente agrega 50 cm³ de agua y remueve, tapa la cápsula con un vidrio de reloj y calienta a fuego libre hasta ebullición; continúa hasta la formación de humos, deja enfriar y toma con agua removiendo con un agitador.

Al cabo de un rato decanta sobre un filtro, el residuo lo humedece con HCl, agrega agua y calienta al baño maría; a los 15 minutos filtra; por medio de una piseta recoge en la cápsula la parte sólida que hubiera caído en el filtro. Este tratamiento lo repite hasta que el ácido clorhídrico no se colorea más. El residuo es ahora puesto sobre el filtro y lavado con agua caliente.

Se le pasa de nuevo a la cápsula y se diluye a 250 cm³, se agrega 25 gr. de carbonato de sodio cristalizado y 2,5 gr. de soda cáustica, calienta algunos minutos, deja reposar y decanta sobre el filtro. Este tratamiento se repite hasta estar seguro de la disolución completa de la sílice desagregada.

Finalmente el residuo que queda es lavado con agua alcoholizada o amoniacal sobre el filtro; se calcina y pesa el cuarzo restante. Se calcula la sílice combinada como anteriormente.

Tratamiento del residuo insoluble en HCl, por solución de CO₂Na₂ y Na (OH).

El residuo reservado primeramente, insoluble en ácido clorhídrico, se coloca en una cápsula de porcelana de 350 cm³ de capacidad y se trata con 15 - 20 cm³ de una solución acuosa de carbonato de sodio (con 10 moléculas de agua) al 50 % e hidrato de sodio al 2 %; se calienta a corta llama durante

5 a 10 minutos, agitando continuamente con una varilla de vidrio; se filtra decantando, se repite el tratamiento cinco o seis veces, hasta que no se observe blanco, poco denso, de aspecto coposo, indicio de que la sílice hidratada aun no se ha solubilizado completamente.

Debe seguirse palpando con la varilla hasta que sólo se sienta arena en el fondo de la cápsula. Se lava hasta que el líquido de lavaje no dé reacción alcalina, se calcina y pesa (cuarzo y silicatos insolubles) y por diferencia se tiene la sílice soluble.

ACIDO TITANICO

Este se encuentra en el residuo insoluble en ácido clorhídrico. Para dosarlo, en vista de las pequeñas cantidades que tienen estos minerales, adopté la determinación colorimétrica de Weller, basada en la coloración amarillo naranja que provoca el agua oxigenada sobre una solución ácida de sulfato de titano y que se debe a la formación de TiO_3 .

En presencia de cromo, vanadio y molibdeno no puede emplearse; el hierro en pequeñas cantidades no influye, la acción colorante de 0,1 gr. de sesquióxido de hierro en 100 cm^3 de solución sulfúrica al 5 % corresponde a gr. 0,0002 de TiO_2 , puede despreciarse en nuestro caso.

Se ataca el mineral con ácido sulfúrico concentrado y se evapora a sequedad en baño de arena, se toma con agua y se lleva a volumen.

La solución tipo se prepara con gr. 0,6003 de fluorotitanato potásico (corresponde a 0,2 gr. de TiO_2), se trata varias veces con ácido sulfúrico concentrado hasta evaporación, se funde con bisulfato de potasio, se disuelve en un poco de

ácido sulfúrico y se diluye con ácido sulfúrico al 5 % hasta 100 cm³. Cada cm³ contiene gr. 0,002 de TiO₂.

Para el dosaje se agrega a la solución a ensayar 2 cm³ de agua oxigenada al 3 % y se lleva con ácido sulfúrico diluído al 5 % hasta un volumen dado. Igual operación se efectúa con la solución tipo, llevándola al mismo volumen, y se compara la diferencia de tinte con un colorímetro. He empleado el colorímetro de Duboscq. Por un cálculo simple se obtiene directamente el porcentaje de TiO₂ en el mineral estudiado.

HIERRO Y ALUMINIO

Del líquido del ataque clorhídrico reservado anteriormente y llevado a 500 cm³, se toman 100 cm³, se colocan en un vaso de Erlenmeyer, se agrega un poco de clorato de potasio, y se lleva a ebullición para oxidar las bases; hecho esto, se agrega un exceso de cloruro de amonio para evitar precipitación de magnesio, y luego, amoníaco gota a gota hasta reacción alcalina, se evapora hasta débil olor amoniacal y se filtra lavando con agua caliente hasta que no dé reacción de cloruros; el líquido se reserva para dosar calcio y magnesio. El residuo que contiene los hidratos de hierro y aluminio se disuelve en ácido clorhídrico y se vuelve a precipitar con amoníaco, repitiendo la operación para tenerlos bien separados; se calcina el filtro con el residuo sobre mechero y se pesa, dando los óxidos de hierro y aluminio.

Sobre otros 100 cm³ del líquido primitivo se efectúa la misma operación, el residuo se disuelve en ácido clorhídrico y se echa sobre una solución de potasa hirviendo, precipita el hidrato de hierro, mientras que el aluminato de potasio queda en solución, se filtra y lava hasta que no haya reacción

alcalina, se disuelve el residuo en ácido clorhídrico y se precipita con amoníaco, se seca, calcina y pesa, dando el óxido de hierro, que restándolo de la suma anterior de los óxidos, nos da la cantidad de óxido de aluminio; más exacto es dosar el óxido de aluminio por precipitación con amoníaco; el líquido de primera filtración se reserva para el dosaje del anhídrido sulfúrico.

CALCIO

El filtrado reservado anteriormente se acidula ligeramente con ácido acético, se lleva a pequeño volumen y a la ebullición, se precipita con una solución concentrada e hirviendo de oxalato de amonio; cuando todo ha precipitado se deja enfriar y se filtra después de 12 horas de reposo. Se decanta y lava varias veces en el vaso, filtrando y lavando con agua amoniacal al tercio, hasta que no dé reacción de oxalato; se redisuelve el precipitado en ácido clorhídrico y este líquido se lleva a ebullición, se agrega oxalato de amonio y se precipita el calcio con amoníaco caliente; después de 4 a 6 horas se filtra y lava bien con agua caliente, se seca y calcina, se disuelve en gotas de ácido clorhídrico, se adiciona gota a gota ácido sulfúrico hasta que no precipite y se evapora en baño de arena hasta que no dé vapores, se calcina en el mechero y pesa al estado de sulfato de calcio; si es muy alta la temperatura pierde anhídrido sulfúrico.

MAGNESIO

El líquido obtenido al filtrar el oxalato de calcio es concentrado, acidulando previamente con HCl, se agrega luego

una solución de fosfato amónico sódico, se hace hervir y se agrega amoníaco ($1/3$ del volumen) agitando con una varilla; se deja depositar 12 horas. Se filtra y lava unas cuantas veces con amoníaco diluído ($2 \frac{1}{2} \%$) y sobre el filtro se disuelve en ácido clorhídrico.

Se lava el filtro y se agrega a la solución un poco de cloruro de amonio y unas gotas de fosfato sódico y se reprecipita agregando $1/3$ de amoníaco al 10% . Después de 4 horas se filtra, primero por decantación, y luego lavando con amoníaco al $2 \frac{1}{2} \%$; se termina lavando con agua amoniacal hasta eliminación de cloruros. Se seca el precipitado y calcina hasta que quede blanco; si fuera gris se humedece con ácido nítrico concentrado, se elimina con precaución y se calcina de nuevo.

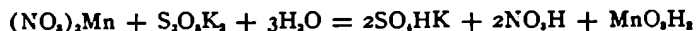
El residuo de $P_2O_7Mg_2$ se pesa, y se calcula en seguida el óxido de magnesio.

ANHIDRIDO SULFURICO

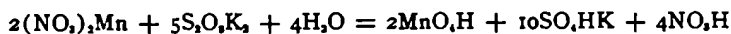
La otra porción de líquido reservada al precipitar el hierro y aluminio, se concentra a unos 80 cm^3 , se acidifica con dos a tres gotas de ácido clorhídrico y se precipita el ácido sulfúrico con cloruro de bario al 10% , a la ebullición, y gota a gota. Se hace hervir aún durante tres o cuatro minutos y se deja en reposo 24 horas; se calienta un poco a baño de arena y se filtra decantando primero, se lava hasta que el filtrado no dé precipitado ni enturbiamiento con nitrato de plata; se seca el filtro, calcina y pesa y el sulfato de bario obtenido se calcula en anhídrido sulfúrico.

MANGANESO

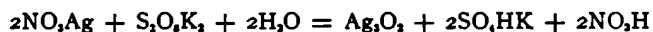
Se dosa directamente por colorimetría, por el método de Marshall con persulfato de potasio y nitrato de plata, siendo un método preciso, elegante y rápido de efectuar. Se basa en lo siguiente: Cuando se calienta nitrato o sulfato de manganeso en solución acuosa neutra o débilmente ácida con persulfato de potasio o amonio, todo el manganeso se precipita en focos pardo-negro de bióxido hidratado:



No pasa lo mismo si se agrega antes de calentar un poco de nitrato de plata, la oxidación va más allá y en vez de precipitar, pasa en solución al estado de ácido permangánico:



Esta reacción se debe a la formación intermedia de peróxido de plata. Si mezclamos soluciones de persulfato de potasio y nitrato de plata da un precipitado negro:



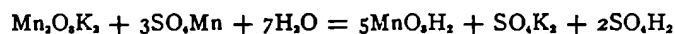
Este precipitado se reduce cuando se deslíe en una solución diluida de sulfato manganeso, mientras que el líquido se colorea en violeta.

“Mínimas cantidades de manganeso pueden ser reconocibles, calentando suavemente la solución con persulfato en presencia de ácido sulfúrico, con adición de una gota de nitrato de plata”.

La oxidación es más rápida cuando hay exceso de nitrato de plata y que el líquido es poco ácido; otros efectúan con poca plata y en medio muy ácido; es mejor hacer hervir al fin de la operación. La agregación de ácido nítrico al tiempo

que hace desaparecer el peróxido de plata, asegura la transformación completa en ácido permangánico.

El permanganato de potasio reacciona en seguida en medio neutro sobre las sales manganosas, precipitando todo el manganeso, tanto el de la sal manganosa como el del ácido permangánico:



Si la solución es ligeramente ácida, la reacción se produce también, pero más lentamente.

El líquido, que al principio tiene sólo sal manganosa, por la acción oxidante, se encuentra en presencia de una sal manganosa y ácido permangánico, pudiendo haber una precipitación y por lo tanto, pérdida al dosar.

Por esto debe operarse sobre solución muy diluída, siendo la precipitación muy retardada; agregar gran exceso de reactivo oxidante para obtener rápidamente la transformación, y por último, efectúese en medio muy ácido.

Marcha de la operación.

Se atacan 5 gr. de mineral con ácido sulfúrico, se evapora en baño de arena, se calcina un poco, se agota con ácido nítrico puro, previamente diluído de tres volúmenes de agua, se lleva a un volumen dado y de esto se toma una parte a la que se agrega un exceso de nitrato de plata y persulfato de potasio y se calienta en baño maría; primero da un color amarillo que da lugar a una coloración rosa que pasa a violeta. Se lleva el líquido a ebullición para destruir el exceso de persulfato, sinó el color desciende al amarillo; en este caso debe calentarse de nuevo para hacer desaparecer la coloración parásita; se

deja enfriar y se lleva al vaso del colorímetro donde se compara con una solución tipo, la que ha sufrido la misma operación anterior.

El líquido tipo se obtiene disolviendo una cantidad dada de sulfato de manganeso anhidro en agua. Debe recomendarse no operar la oxidación sobre más de un miligramo de manganeso, pues sinó da un color muy obscuro que varía fácilmente y no puede compararse.

COLORO

En vista que sólo podía haber cloruros alcalinos o alcalino térreos en el mineral, procedí tomando 2 gr. que fueron atacados con agua en un vaso y llevado a ebullición, dejado enfriar; el líquido no era claro, había una substancia en suspensión coloidal; agregué solución de nitrato de amonio, dejé 12 horas y filtré, el líquido claro llevado a volumen; sobre una parte de éste dosé la proporción de cloro con el método de Charpentier-Volhard titulando con nitrato de plata N/100.

ANHIDRIDO CARBONICO

Método Fresenius-Classen.

El aparato usado consta de un balón de 250 cm³ provisto de refrigerante ascendente y unido a tubos secadores de cloruro de cal y pómez con ácido sulfúrico; a continuación dos tubos de cal sodada y por último un tubo testigo con cal sodada y cloruro de calcio, el todo unido a un aparato aspirador que tiene, antes de entrar al balón, tubos para desecar el aire aspirado y absorber el anhídrido carbónico del mismo.

El mineral pesado, se coloca en el balón con un poco de agua y se hace pasar una corriente lenta de aire privado de anhídrido carbónico, para sacar toda traza de gas carbónico. Mientras pasa el aire, se pesan los tubos de cal sodada; después se unen al aparato, una vez montado se interrumpe la corriente de aire y se aspira solamente. Por medio de un tubo de bromo se hace caer en el balón ácido clorhídrico diluído (1:3) poco a poco, para descomponer los carbonatos; cuando no se desprende más gas, cerrando previamente una pinza inferior se saca el tubo de bromo y se une con frascos de cloruro de calcio y de lejía de potasa, se regula el pasaje del aire de modo que pasen 2 a 3 burbujas por segundo, se calienta el balón hasta que no haya más anhídrido carbónico. Se interrumpe la operación, se pesan los tubos de cal sodada y por diferencia de peso da directamente la cantidad de anhídrido carbónico.

B) Resultados de tobas conocidas

Composición del trass

La composición del trass varía dentro de los siguientes límites: sílice, 49-57 %; alúmina, 10-19; óxido de hierro, 5-12; óxido de calcio, 3-6; óxido de magnesia, 1-3; álcalis, 3-8; agua, 7-12; trazas de óxido de manganeso, cloro, ácido sulfúrico, etc. De las substancias que componen el trass cerca del 48 % son solubles en ácido clorhídrico.

El polvo de trass suele ser falsificado con arena, lo que se reconoce echándolo en un vaso con agua, en el cual el trass flota algunos instantes, mientras la arena va en seguida al

fondo; el trass solo, precipita todo al mismo tiempo, sin dar lugar a formación de diferentes capas.

Se fabrica un trass artificial con arcillas fuertemente calcinadas. Como la puzzolana y tierra de Santorin, el trass es una especie de cemento natural que se usa para construcciones, mezclándolo con cal, arena y un poco de agua.

Composición de las puzzolanas

Su composición es muy variable, pero en general se puede admitir que la puzzolana de distintas proveniencias suscita la composición siguiente:

PUZZOLANA DE	Pérdida al rojo	Silice %	Alúmina %	Oxido férrico %	Cal %	Magnesia %	Alcalis %
Roma (S. Pablo)	8,5	45,5	15,2	12,0	9,3	3,6	6,0
Id (puzz. roja)..	7,8	44,0	30,3	9,6	2,3	1,8	3,5
Terni.....	12,2	46,7	13,6	20,6	3,3	0,4	3,3
Abruzos.....	5-19	39-56	15-33	4-12	1-10	—	0-5
Nápoles.....	2-7	43-55	15-22	5-9	3-13	1-7	5-12
Francia.....	4-13	43-55	8-20	6-16	3-23	1-3	1-9

Por su composición la puzzolana representa una especie de cemento natural, pero muy pobre en cal, por esto no puede dar un buen cemento; pero mezclada con cal y aun con arena, da un cemento hidráulico de óptima calidad, generalmente para construcciones bajo agua, mezclando tres partes de puzzolana con una de cal.

Análisis efectuados sobre tobas puzzolánicas blanquecinas dan el siguiente resultado:

Sílice	%	89,04	97,00
Alúmina	"	6,56	1,52
Ox. férrico	"	V	V
Cal	"	5,59	1,15
Magnesia	"	0,00	0,00
Alcalis	"	0,59	0,25
Anh. sulfúrico	"	0,22	0,08
		100,00	100,00

Se ve la gran cantidad de sílice contenida en estos materiales volcánicos, los cuales llegan a estar casi constituidos exclusivamente por aquel elemento.

Estamos pues, frente a materiales volcánicos esencialmente silicios con propiedades puzzolánicas, pero en general la reacción volcánica tiene un desarrollo más complejo en el sentido que el ácido silícico se transforma en silicatos alcalinos en presencia de cloruros alcalinos y vapor de agua, con desprendimiento de ácido clorhídrico y formación de cloruros de aluminio, calcio, magnesio, que se transforman a su vez en silicatos, los que uniéndose a los primeros dan lugar a silicatos dobles o triples.

Basta deducir cómo el vapor de agua puede en el acto de la proyección de las cenizas imprimir a las partículas del mismo una condición molecular, por la cual adquiere una aptitud de ser más o menos atacable por la cal, o sea colocar las cenizas en condiciones de constituir materias puzzolánicas.

C) Resultado de las tobas ensayadas

Estos van consignados a continuación, encontrándose los datos procedentes a su ubicación y recolección en el capítulo IV, pág. 77.

MUESTRA N.º 1

DATOS FÍSICOS

Aspecto: Pulverulento, ligeramente aglomerado y fácilmente desmenuzable con los dedos.

Color: Gris, ligeramente pardusco.

Color del polvo: Gris pardusco claro.

Peso específico: 2,209.

Reacción: Ligeramente alcalina (casi neutra).

DATOS QUÍMICOS

Humedad a 100° - 105°	0,750 %
Pérdida al rojo	5,177 "
Residuo insoluble en HCl: 85,624 %..	{ Silice soluble en CO ₃ Na ₂ , Na(OH) 8,840 " Parte insoluble en CO ₃ Na ₂ , Na(OH) 76,784 "
Bióxido de titanio (TiO ₂)	0,107 "
Anhidrido carbónico (CO ₂)	3,250 "
" sulfúrico (SO ₃)	0,692 "
Cloro (Cl)	0,181 "
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃)	1,100 "
" alumínico (Al ₂ O ₃).....	1,270 "
" manganeso (MnO).....	0,053 "
" cálcico (CaO)	3,419 "
" magnésico (MgO)	0,492 "
Oxidos de sodio y potasio (Na,K) ₂ O (por diferencia)....	1,252 "

MUESTRA N.º 2

DATOS FÍSICOS

Aspecto: Térreo, irregular, con finos canaliculos en su masa, desmenuzable con los dedos.

Color: Gris claro mate.

Color del polvo: Gris pardo muy claro.

Peso específico: 2,144.

Reacción: Ligeramente alcalina (casi neutra).

DATOS QUÍMICOS

Humedad a 100° - 105°	1,492 %												
Pérdida al rojo	12,662 "												
Residuo insoluble en HCl: 70,630 %..	<table border="0" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">{</td> <td>Silice soluble en</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>CO₃Na₂, Na(OH)</td> <td>11,490 "</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Parte insoluble en</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>CO₃Na₂, Na(OH)</td> <td>59,140 "</td> </tr> </table>	{	Silice soluble en			CO ₃ Na ₂ , Na(OH)	11,490 "		Parte insoluble en			CO ₃ Na ₂ , Na(OH)	59,140 "
{	Silice soluble en												
	CO ₃ Na ₂ , Na(OH)	11,490 "											
	Parte insoluble en												
	CO ₃ Na ₂ , Na(OH)	59,140 "											
Bióxido de titano (TiO ₂)	0,155 "												
Anhídrido carbónico (CO ₂)	9,240 "												
" sulfúrico (SO ₃)	0,432 "												
Cloro (Cl)	0,362 "												
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃)	0,850 "												
" alumínico (Al ₂ O ₃)	1,440 "												
" manganeso (MnO)	0,070 "												
" cálcico (CaO)	10,745 "												
" magnésico (MgO)	0,761 "												
Oxidos de sodio y potasio (Na,K) ₂ O (por diferencia)....	0,556 "												

MUESTRA N.º 3

DATOS FÍSICOS

Aspecto: Terroso, capas que parecen sedimentadas, desmenuzable con presión por los dedos.

Color: Blanco grisáceo.

Color del polvo: Blanco sucio, ligeramente rosado.

Peso específico: 2,104.

Reacción: Neutra.

DATOS QUÍMICOS

Humedad a 100° - 105°	9,523 %
Pérdida al rojo	6,371 "
Residuo insoluble en HCl: 74,600 %..	{
Sílíce soluble en	
CO ₂ Na ₂ , Na(OH)	22,486 "
Parte insoluble en	
CO ₂ Na ₂ , Na(OH)	52,114 "
Bióxido de titano (TiO ₂)	0,149 "
Anhídrido carbónico (CO ₂)	1,730 "
" sulfúrico (SO ₃)	0,284 "
Cloro (Cl)	0,908 "
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃)	0,630 "
" aluminico (Al ₂ O ₃)	5,070 "
" manganoso (MnO)	0,064 "
" cálcico (CaO)	0,762 "
" magnésico (MgO)	1,069 "
Oxidos de sodio y potasio (Na,K) ₂ O (por diferencia)...	0,719 "

MUESTRA N.º 4

DATOS FÍSICOS

Aspecto: Presenta capas estratificadas de distinto color y estructura; bastante dura.

Color: Gris claro en unas capas y gris verdoso en otras.

Color del polvo: Gris amarillo verdoso.

Peso específico: 2,364.

Reacción: Neutra.

DATOS QUÍMICOS

Humedad a 100° - 105°	0,517 %								
Pérdida al rojo	30,541 "								
Residuo insoluble en HCl: 28,248 %..	<table border="0" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td style="border-left: 1px solid black; padding-left: 5px;">Sílice soluble en</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="border-left: 1px solid black; padding-left: 5px;">CO₃Na₂, Na(OH)</td> <td>6,808 "</td> </tr> <tr> <td style="border-left: 1px solid black; padding-left: 5px;">Parte insoluble en</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="border-left: 1px solid black; padding-left: 5px;">CO₃Na₂, Na(OH)</td> <td>21,440 "</td> </tr> </table>	Sílice soluble en		CO ₃ Na ₂ , Na(OH)	6,808 "	Parte insoluble en		CO ₃ Na ₂ , Na(OH)	21,440 "
Sílice soluble en									
CO ₃ Na ₂ , Na(OH)	6,808 "								
Parte insoluble en									
CO ₃ Na ₂ , Na(OH)	21,440 "								
Bióxido de titano (TiO ₂)	0,152 "								
Anhídrido carbónico (CO ₂)	30,520 "								
" sulfúrico (SO ₃)	0,185 "								
Cloro (Cl)	0,071 "								
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃)	0,730 "								
" alumínico (Al ₂ O ₃)	3,210 "								
" manganeso (MnO)	0,455 "								
" cálcico (CaO)	20,517 "								
" magnésico (MgO)	13,625 "								
Oxidos de sodio y potasio (Na,K) ₂ O (por diferencia)....	1,901 "								

MUESTRA N.º 5

DATOS FÍSICOS

Aspecto: Térreo, algo aglomerado, desmenuzable con presión por los dedos.

Color: Gris pardusco claro.

Color del polvo: Gris pardo claro.

Peso específico: 2,160.

Reacción: Ligeramente alcalina (casi neutra).

DATOS QUÍMICOS

Humedad a 100° - 105°	1,301 %
Pérdida al rojo	10,677 "
Residuo insoluble en HCl: 73,964 %..	{ Sílice soluble en CO ₃ Na ₂ , Na(OH) 10,713 "
	{ Parte insoluble en CO ₃ Na ₂ , Na(OH) 63,251 "
Bióxido de titano (TiO ₂)	0,142 "
Anhídrido carbónico (CO ₂)	7,639 "
" sulfúrico (SO ₃)	0,486 "
Cloro (Cl)	0,312 "
Oxido férrico (Fe ₂ O ₃)	0,892 "
" alumínico (Al ₂ O ₃)	1,296 "
" manganeso (MnO)	0,063 "
" cálcico (CaO)	9,712 "
" magnésico (MgO)	0,675 "
Oxidos de sodio y potasio (Na,K) ₂ O (por diferencia)....	0,622 "

n por

01 %
77 "
13 "
51 "
42 "
39 "
36 "
12 "
12 "
16 "
13 "
2 "
5 "
2 "

CAPITULO IV

Estudio de aplicación

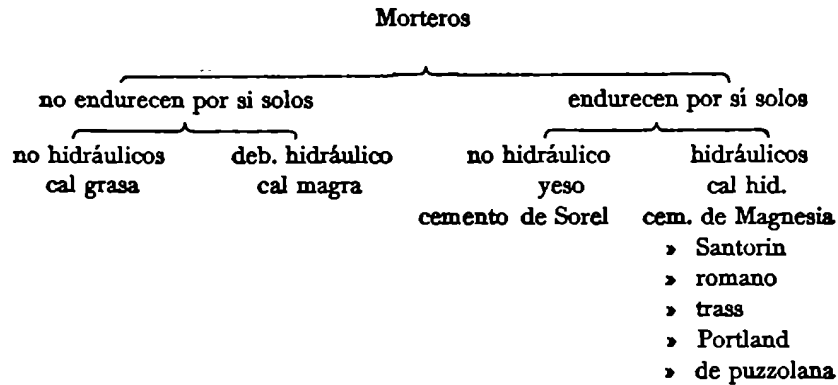
A) Generalidades

Estos materiales eruptivos, dada su composición química, algunas semejantes a los cementos, pero muy pobres en cal, pueden ser de mucho más valor cuando se les combina con este elemento y colocándolos entonces en condiciones de poder fraguar y ser utilizados como cementos.

Las proporciones en las cuales conviene mezclar la cal y las diferentes sustancias, arena, puzzolana, cemento, etc., dependen de la naturaleza de éstas y del uso que se debe hacer de los morteros. En forma general, puede decirse, que es preciso aproximar las cales grasas a las puzzolanas más enérgicas y las cales eminentemente hidráulicas con las arenas cuarzosas o materiales inertes, de modo que la potencia puzzolánica de la sustancia añadida aumente cuando la propiedad hidráulica de la cal disminuye.

Los cementos naturales no es menester calcinarlos y pueden emplearse directamente en la preparación de morteros hidráulicos tal como se encuentran en la naturaleza, porque han sido ya calcinados y desagregados por la acción volcá-

nica. La división de los morteros, según el profesor Tetmajer, es como sigue:



Los últimos de esta división son materiales artificiales o naturales que solos excepcionalmente endurecen, pero que poseen la cualidad de petrificarse en contacto de cal apagada y bajo el agua.

A estas gangas hidráulicas citadas pertenecen también las escorias básicas de los altos hornos, algunas arcillas cocidas, algunos preparados de aluminio y otros a base de ácido silícico.

Al lado de los morteros naturales hidráulicos encontrados en los últimos tiempos, los artificiales eran conocidos de los antiguos; ya los romanos veían la necesidad de poseer un material de mortero que tuviera estabilidad suficiente para construcciones bajo agua.

Bajo las verdaderas cales hidráulicas artificiales se comprenden solamente el cemento de puzzolana, trass y Santorin, y el cemento de escoria, que solamente ahora es más conocido.

Las cales artificiales hidráulicas forman siempre un producto de mezcla, cuyo componente integrante, la cal grasa, que por sí sola no es un mortero hidráulico, adquiere esta propiedad mezclándola con substancias que también por sí

solas no forman mortero, pero que según su composición dan los factores hidráulicos para este material.

Los dos componentes son entonces, cada uno, materia de mortero hidráulico no independientes; solamente debido a su unión se crean las condiciones que facilitan su endurecimiento en el agua.

Antiguamente se usaban como ganga hidráulica sólo las rocas volcánicas de Pozzuoli; más tarde se han encontrado otros dos materiales: la tierra de Santorin y posteriormente el Trass, que dan una ganga hidráulica valiosa.

En los últimos se han reemplazado estos materiales, que en parte se han agotado, o cuyo transporte era muy costoso, por productos artificiales, que son: arcilla cocida, polvo de ladrillo, cenizas de carbón, vidrio pulverizado y desperdicios de otras industrias importantes; por ejemplo, de la fabricación de alumbre y de hierro, conocidas como escorias básicas; sobre todo la fabricación de los llamados cementos de escoria han tomado un desenvolvimiento muy importante.

La distribución de los cementos hidráulicos artificiales resulta de lo dicho, como más natural, la siguiente:

- a) Cemento con gangas hidráulicas naturales.
 - Cemento de puzzolana.
 - " de Santorin.
 - " de trass.
- b) Cemento con gangas hidráulicas artificiales.
 - Cemento de escoria, etc.

Todos se preparan apagando primeramente la cal para obtener polvo de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, teniendo que observar que este proceso de extinción sea lo más completo para evitar que queden gránulos grandes de cal en la masa. Estos gránulos son tal vez debidos a calcinación excesiva o que no se han hidratado bastante; estos se apagan después en el mortero mismo,

pero le hacen sufrir deformaciones por falta de consistencia.

Se debe llamar mucho la atención sobre la importancia que hay en que los dos componentes tienen que estar al estado de polvo muy fino, para que puedan entrar en acción energícamente y con toda seguridad, mientras este fin se puede obtener con la cal bastante fácilmente por medio de una hidratación y separación cuidadosa; es necesario moler finamente las gangas hidráulicas y después mezclar los dos componentes en estado de polvo, íntimamente, por medio de máquinas mezcladoras, y llegan entonces al comercio en bolsas.

Para estas operaciones sirven los mismos aparatos que se usan en la fabricación del cemento Portland; la relación entre la cal y las gangas hidráulicas es de naturaleza individual y depende completamente de la composición de las gangas. Se desprende que no se pueden aplicar las llamadas “mezclas normales” con una relación fija.

Los molinos que se usan para pulverizar estas gangas son análogos a los usados para el yeso; pasa primero por pisadoras y de aquí a molinos especiales con piedras francesas, y luego por tamizadores y homogeinizadores con bolas de acero Hanetin's.

Un molino con dos piedras verticales de un diámetro de 1,46 m. y 290 mm. de espesor, da con 13 revoluciones por minuto, en una hora 3,3, hasta 4,4 hectolitros de ganga de grano fino, con sólo 5 a 6 HP.

El gasto para el molido de una tonelada, disponiendo de aparatos especiales y haciendo el trabajo de un modo continuo, puede disminuirse de un modo apreciable (en Alemania se ha obtenido una reducción de 3,5 Mcs. a 1,80 Mcs.).

El trass artificial de Holanda es fabricado en Amsterdam con arcilla fuertemente cocida, que proviene del fondo del mar.

Buenos morteros pueden obtenerse con una parte de pasta de cal, 2 partes de polvo de trass sin agua, en volumen; o una parte de cal viva, 2 partes de cal apagada al aire y 1 parte de trass con muy poca agua, o sinó, dos partes de cal apagada, una parte de trass y ocho partes de arena pura redondeada. Otra puede obtenerse con un volumen de trass, 2 volúmenes de cal y un volumen de polvo de ladrillo, dando el cemento rojo.

Un volumen de trass y uno de cal viva con 0,1 volumen de agua, da 1,6 volumen de mortero o 1,57 volumen de masa endurecida.

Dos volúmenes de trass con uno de cal viva y 0,5 volumen de agua da 2,54 volúmenes de mortero o 2,52 volúmenes de masa endurecida.

El mortero de trass con trozos de ladrillo y de piedra arenisca del tamaño de 4 mm. da un hormigón excelente.

B) Ensayos y resultados obtenidos con el trass

El trass se encuentra en profundidades bastantes grandes, generalmente bajo la línea de agua de la primera napa. Los yacimientos de Brohlthale se encuentran agotados.

La piedra amarilla de trass queda más próxima al nivel del agua, mientras que las más oscuras, que son las más duras y generalmente las mejores, quedan más abajo; una separación exacta entre las capas no existe, siendo insensible el cambio de color de una capa a otra.

El trass del comercio está compuesto de media parte de trass amarillo, una cuarta parte de trass gris y una cuarta parte de trass gris oscuro, que cambia según los yacimientos.

El trass vendido en los yacimientos vale, los 10 m³ en estado

molido, de 110 a 140 Mcs., y el cemento Portland en las mismas condiciones vale 280 a 300 Mcs.; así que depende de las distancias a que haya que trasportarlo, pudiéndose ahorrar hasta el 50 %.

Para el examen del trass y para conocer su valor técnico como mortero, la asamblea de Rüdersdorfer de la Sociedad Alemana para el Ensayo de los Materiales de Técnica, ha llegado a las siguientes conclusiones que rigen como norma:

Una clase buena de trass, es el producto molido de piedras tobas hidráulicas; la investigación de la pérdida al rojo da, en la mayoría de los casos, un dato de valor para saber si el trass proviene de buenas piedras tobas hidráulicas o no.

Una buena clase de trass debe tener por lo menos 7 % de pérdida al rojo, que es agua químicamente combinada o agua de constitución, pero este solo examen no es decisivo para el valor del trass. Trass de 5 ½ hasta 7 ½ % de pérdida al rojo se puede admitir para el uso, si las condiciones de resistencia son favorables.

Prueba de la aguja de Vicat.

Se usa el polvo de trass del comercio, pero se excluyen los granos que quedan sobre el tamiz de 144 mallas; se hace una mezcla de 2 partes de trass, 1 de cal apagada y 0,9 a 1 de agua, se mezcla a 15° - 18°, se ponen en moldes de ebonita sin fondo y se conservan inmediatamente bajo agua a 15° - 18°; las pruebas hay que hacerlas después de 2, 3, 4 y 5 días y se determina qué peso se necesita para que la aguja, que pesa 300 gr. y tiene una superficie de 1 mm², no deje impresión en la muestra.

Si el mortero de trass debe ser usado a temperaturas más bajas, en invierno o construcciones fundamentales bajo agua,

es
ter
va
ce

Re

3

se
d
n

c

P

c

J

1

es recomendable hacer una segunda serie de experimentos a temperaturas correspondientes; en todo caso hay que observar bien la temperatura del agua y del aire y hacerlo conocer; como cal hay que emplear una cal lo más pura posible.

Resistencia a la tracción y compresión.

Se hace una mezcla de 2 partes de trass, 1 parte de cal, 3 partes de arena normal y 0,9 a 1 de agua; con esta mezcla se efectúan las pruebas de tracción y compresión con los moldes que se usan para los ensayos de cementos, del mismo tamaño e igual figura.

Se dan 150 golpes con el martillo de Böhme; hay que sacarlo después de 20 minutos el ladrillo y las pruebas contra presión después de 24 horas.

Los ladrillos se dejan después 24 horas en un cajón de cinc que tiene aire saturado de humedad y después 6 días y respectivamente 27 días bajo agua a 15° - 18° . Las pruebas hay que hacerlas inmediatamente de sacados del agua (es usual exigir después de 28 días una resistencia a la tracción de 12 k./cm^2 y contra presión de 60 k./cm^2).

Para el cálculo del término medio se usan los resultados máximos de seis pruebas entre diez. Sobre la preparación y elaboración de los materiales del mortero hay que observar lo siguiente: el polvo de trass hay que usarlo en el mismo estado que llega al comercio; la cal empleada debe ser cal grasa, que se obtiene observando lo siguiente: 5 k. de cal viva hay que desmenuzarla del tamaño de una nuez y ponerla bajo agua sobre un tamiz metálico hasta que no desprenda más burbujas; después se pone en un cajón de madera forrado en cinc durante 8 días y cubierto; después de tamizado por un tamiz de 120 mallas se guarda; la parte

gruesa debe desecharse. Una cal bien apagada tiene alrededor de un 25 % de agua. Para ensayos posteriores se guarda la cal en vasos bien tapados.

Como arena normal se usa la arena empleada para ensayos de cementos.

Para la mezcla del mortero se usa el mezclador normal de morteros de Steinbrück-Schmelzer; primero se dan 20 revoluciones a la mezcla, que se ha mezclado antes ligeramente; después se agrega la arena en una cápsula aparte, fuera del mezclador, y a la mezcla total se dan 20 revoluciones de nuevo en el mezclador; durante la primera revolución se agrega el agua necesaria.

En la práctica la ejecución de la prueba de Vicat se hace de la siguiente manera: la mezcla de mortero se ensaya después de 2 y 4 días respectivamente a 15°, y no debe dejar impresión al dedo y la aguja de 1 k. de peso no debe penetrar más que 5 mm.; a temperaturas más altas se aumenta el peso proporcionalmente; así, para 19° se usan 2 k., a 22°,5 se usan 3,25 kg.

Se exige también del trass que su peso por hectólitro sea solamente hasta 94 kg., pero no más.

Las cales artificiales hidráulicas son sobre todo morteros hidráulicos y se prestan poco o nada para construcciones aéreas. El mortero de Santorin es exclusivamente hidráulico y da al aire resultados absolutamente negativos.

Resultados obtenidos.

Para morteros a base de trass, en diferentes series de ensayos para mezclas de 2 partes de trass y una parte de cal; 1 parte de este mortero normal con 3 partes de arena, después de 28 días dieron:

Resistencia a la tracción..... 10-16 kg/cm²
 " " " " compresión 50-90 "

Resultados semejantes dan los morteros hechos con tierra de Santorin y cal.

Estos ensayos deben hacerse con uniformidad en las mezclas, en el amasado y en los golpes dados al colocarlos en los moldes, pues de un estudio hecho con diferente cantidad de golpes del martillo de Böhme tenemos, sobre una mezcla de 1 volumen de trass, 1 volumen de cal y 1 volumen de arena y la cantidad de agua necesaria, los datos siguientes:

Martillo de Böhme	Resistencia a la tracción después de 28 días por cm ²	Resistencia a la compresión después de 28 días por cm ²
Con 150 golpes	15,94 kg.	77,50 kg.
" 100 "	15,48 "	73,06 "
" 50 "	15,01 "	63,67 "
" 25 "	14,98 "	57,41 "

lo cual prueba que la disminución de golpes trae aparejada la disminución de la resistencia, siendo en este caso de 1 kg. por cm² a la tracción y de 20 kg. a la compresión.

Ventajas que presenta.

El trass de buena calidad presenta sobre los cementos tipo Portland las siguientes ventajas: su precio; la supremacía en densidad y elasticidad; no forma barro cuando se hace el mortero bajo agua; su mayor rendimiento de mortero, dando 1 kg. de trass un volumen igual a 1,5 kilos de cemento Portland; su endurecimiento lento pero progresivo; su mayor adhesión; el mortero de trass puede dejarse 24 hasta 30 horas después de amasado, sin perder su poder hidráulico; su gran estabilidad de volumen; su resistencia al frío, y el hecho de que no se pierde en atmósfera húmeda.

Su gran elasticidad se comprueba en obras construídas que

han sufrido movimientos, en las cuales no se han observado rajaduras, como pasa con el cemento.

Debe tenerse el polvo bien fino y que no haya exceso de cal, lo mismo que la mezcla sea bien homogénea, para evitar ataques de la cal, que trae eflorescencias, produciendo tobas calcáreas. A esta causa es debido el mal resultado de algunas obras hechas en Bélgica, probablemente por tener el grano muy grueso y no haber podido actuar sus elementos.

C) Ensayos y resultados obtenidos con la puzzolana

La puzzolana, como hemos visto, posee la propiedad de convertirse en un material hidráulico cuando se le combina con cal grasa, comprendiéndose también como materias puzzolánicas no sólo a la puzzolana verdadera, sino a todas las materias capaces de producir idénticos efectos combinadas con la cal.

El empleo de las mezclas a base de puzzolana data de muchos siglos, habiendo aquéllas dado siempre resultados excelentes en todos los trabajos hidráulicos, especialmente en el mar. Rondelet, en su tratado del "Arte de Edificar" se expresa en los siguientes términos: "Los prodigiosos efectos de esta sustancia en las construcciones hidráulicas se pueden ver en el antiguo puerto de Caligola, en Pozzuoli, que después de tantos siglos, batido por las olas del mar, subsiste todavía."

Innumerables obras se han ejecutado en Roma, Nápoles, Messina, etc., no pudiendo dudarse sobre sus buenos resultados, cuando la materia proviene de regiones de experimentada bondad y no se encuentra deteriorada por los agentes atmosféricos ni alterada por mezcla de materias inertes.

Para emplear dicho material sin que hubiera sufrido la acción de los agentes atmosféricos, los antiguos romanos la

extraían del interior del suelo, a profundidades de 20 m., evitándose así que fuese mezclada con detritos de la superficie.

Un dato que interesa al industrial, es saber si la extracción ha sido profunda o superficial, por la lenta descomposición que los agentes atmosféricos pueden haber operado, perdiendo parte de los elementos que constituyen su valor hidráulico. La cantera de puzzolana debe ser excavada en galería y no a cielo abierto, para estar exenta de materias terrosas. En una misma zona presentan gradaciones de color y peso según las diversas estratificaciones, y poseen propiedades hidráulicas diversas.

Debe rechazarse la puzzolana blanquecina, que posee gránulos esféricos abundantes de piedra pómez, la cual es poco pesada y no da resultados satisfactorios.

Los cementos a base de puzzolana se fabrican mezclando hidrato de cal pulverulento o cal hidráulica con las gangas hidráulicas en estado de polvo fino.

Estas gangas, mezcladas con cal hidráulica, nos darán morteros que, según la naturaleza de aquélla, pueden llegar a las calidades técnicas importantes de los cementos más valiosos.

Algunas mezclas en la práctica han dado, según Tetmajer, los resultados siguientes:

Cemento de puzzolana 1 parte y 3 partes de arena normal (7 días al aire y 21 días bajo el agua).

Puzzolana	Cal	Resistencia (tracción)	Resistencia (compresión)
60	40	4,80 kg/cm ²	25 kg/cm ²
80	20	4,50 "	34 "
60	40	11,00 "	60 "
80	20	14,00 "	90 "
60	40	14,50 "	77 "
80	20	15,50 "	78 "

D) Preparación y resultados del cemento a base de escorias

Como material para la preparación de esta clase de cementos se prestan, entre las escorias de altos hornos, las básicas, granuladas, y en primer lugar las que provienen del proceso de la elaboración del hierro fundido bruto.

Su bondad depende sobre todo de que las escorias en estado líquido y al rojo blanco son echadas inmediatamente en agua bien fría.

La escoria de altos hornos granulada contiene, según su modo de preparación, una cantidad considerable de agua que pasa a veces del 60 %, que será muy difícil de separarla; solamente se puede sacar con aparatos especiales de movimiento giratorio donde entra aire seco y caliente por un lado y por el otro la escoria.

La escoria secada se muele con un proceso muy difícil y costoso. Entre los molinos se prestan mejor los a palas horizontales y giratorias; también en el cemento de escoria, la mezcla de escoria y cal es individual y depende del grado de basicidad de aquélla.

El cociente CaO a SiO_2 no debe ser más bajo de 1; también aumenta la capacidad de cal de una escoria con el aumento de la relación Al_2O_3 a SiO_2 ; tanto mayor este coeficiente, tanta mayor cantidad de cal se puede agregar para obtener el mayor poder del mortero.

La antigüedad de la escoria tiene un papel importante, pues pierde en su capacidad de cal, y da morteros menos fuertes.

Las mejores escorias se presentan de color gris blanco, que varía hasta el marrón claro. No son aceptables las escorias verdes, de hierro no bien fundido.

Endurecen muy despacio, pero tienen una estabilidad extraordinariamente grande; su peso específico es de 2,7.

Para un mortero normal, compuesto de una parte de la mezcla y tres partes de arena, dan los siguientes resultados:

Resistencias	7 días	28 días	365 días
Tracción.....	12 kg/cm ²	25 kg/cm ²	36 kg/cm ²
Compresión.....	108 » »	219 » »	345 » »

La relación entre la resistencia a la tracción y a la compresión es más constante que en los cementos Portland, siendo de 1 a 9 hasta 9,6, mientras que el Portland se eleva de 1 a 12 y aun más.

Los cementos de escorias se prestan para todas las construcciones hidráulicas, sobre todo cuando se hace hormigón en fundaciones donde luego va a tener lugar la acción del agua.

Debido a su preparación sencilla, resulta más barato que el cemento Portland y usándolo con un criterio adecuado, puede hacer competencia al mismo para ciertas construcciones.

E) Resultados obtenidos con las tobas de Tucumán

Los estudios hechos en este trabajo, fueron efectuados con tobas volcánicas de la provincia de Tucumán.

Ubicación de los yacimientos.

Estos se encuentran situados en una región pintoresca de nuestro suelo, a la cual se llega por fáciles medios de locomoción, hasta llegar a nuestro destino o sea la estación Benjamín Paz (F. C. C. N.) situada en el departamento de

Trancas, provincia de Tucumán, al Norte de la ciudad del mismo nombre y sobre la línea que va a Salta.

Los datos sobre ubicación de esta estación son los siguientes:

ESTACIÓN "BENJAMÍN PAZ"

Altura sobre el nivel del mar.....	766,66 m.
Distancia de Buenos Aires.....	1.348,00 km.
" " Santa Fe.....	860,00 "
" " Tucumán	63,00 "

Esta estación se encuentra situada dentro del campo del doctor Manuel Paz, a cuya gentileza y atenciones debo el haber podido recolectar las muestras y hacer los estudios correspondientes sobre el terreno.

Las tobas se encuentran en dos yacimientos correspondientes a dos lomadas, conocida una por "Loma del Ojito" (donde se recogieron las muestras 1, 2 y 5) ocupa toda una elevación que corre de N. O. a S. E. y que tiene una altura de 4 a 5 metros con ciertas variaciones o accidentes del terreno, poseyendo una extensión aproximada de 10 a 12 cuabras cuadradas; el otro yacimiento, conocido por "Loma del Paso Alto", ocupa una lomada que corre de N. a S. con una superficie como de unas 20 cuabras cuadradas y unos 4 metros de altura, que oscila por ligeras depresiones o elevaciones.

Estas lomadas se encuentran, la primera a unas dos leguas y media al E. de la vía férrea, de la casa principal (la cual está ubicada a 6 cuabras de la estación), y la segunda loma se encuentra a unas 2 leguas al S. de las casas.

El viaje hasta las lomas es accidentado y pintoresco, por estar cubierto casi todo el campo por monte de naturaleza casi salvaje, donde hoy generalmente solo hay la huella para el caballo, siendo el monte constituido en su mayoría por ar-

bustos bajos y algunos árboles, pero casi todos espinosos, por lo que es necesario el uso del guardamontes para protegerse. La temperatura aun en invierno es bastante calurosa, y el clima es seco, pues en invierno rara vez llueve, siendo su cielo, diáfano y perfectamente despejado.

La vegetación que domina en la región es poco variada, encontrándose: brea, algarrobo, tala, garabato, molle, jume, palo borracho, quebracho, cactus, tunas y diversas gramineas.

En la fauna se encuentra la propia de la región, con pumas, chanchos de monte, pavos y gallinas de monte, infinidad de pájaros, etc.

Recolección de las muestras.

Dada la clase de trabajo que me guiaba, he extraído las muestras sacándolas de distintas partes y a profundidades diferentes, haciendo luego una mezcla para obtener una muestra media y colocarme así en las condiciones de una posible explotación, pues los ensayos efectuados sobre muestras unitarias no me hubieran conducido a nada práctico, pues como lo he comprobado en mis experiencias, la composición de las muestras y sus resultados son muy variables.

Para extraer estas muestras, en las partes donde ha sido posible por su naturaleza, he hecho cortes para sacar distintas capas, y en otras partes, por medio de pala y pico, se han practicado excavaciones, las que no pueden ser muy profundas, porque cuanto más abajo se va, más sedimentadas se encuentran, y por lo tanto más duras, formando verdaderas capas. Para hacer excavaciones más profundas se hubiera requerido el auxilio de una sonda, de la cual no estaba provisto, y que sin duda hubiera dado mejor material, pues

cuanto más profunda es, menos posibilidad hay de que se encuentre alterada por los agentes atmosféricos.

La muestra N.º 1 (Tierra del Ojito) fué tomada en una región que mira al naciente; la N.º 2 (Tierra del puesto) y la N.º 5 (Tierra del corral) fueron todas extraídas de la "Loma del Ojito" a profundidades que varían desde la zona que termina la tierra vegetal y detritos hasta los 3,50 a 4 m.

La muestra N.º 3 (Tierra borato) y la N.º 4 (Piedra cemento) son extraídas de la "Loma del Paso Alto", en las mismas condiciones que las anteriores, hasta que por su dureza e inconvenientes impedían sacarlas.

Pero como dejo dicho anteriormente, se han hecho mezclando distintas porciones de una misma región para tener datos que puedan ser aplicables en la práctica.

Los datos relativos a sus caracteres y composición química quedan anotados en los capítulos correspondientes al estudio petrográfico y al estudio físico y químico.

La fotografía del frente da idea del aspecto de los yacimientos en que fueron recogidas las tobas, siendo tomada del pie de la barranca que ellas forman.

Ensayos mecánicos

Fueron ejecutados de acuerdo con trabajos anteriores y para poderlos comparar, haciendo mezclas compuestas de dos partes de toba finamente pulverizada con una parte de cal en polvo también muy fino y perfectamente mezclados, para los ensayos de cemento puro. Para los ensayos de mortero se hicieron mezclas normales de 1 parte de este cemento anterior mezclado intimamente con tres partes de arena normal.



Determinación del peso específico.

Se efectuó sobre el cemento preparado, con el aparato de Le Chatelier-Candlot, que es el usado para los cementos Portland. Se compone de un frasco de largo cuello, y de 120 cm³ de capacidad y de una altura de 30 cm. A la distancia de 20 cm. del fondo del cuello existe una bola de 20 cm³ de capacidad, limitada por dos enrasas. A partir del trazo superior, está graduado de 0 a 3 cm³, en fracciones de 1/10 de cm; el diámetro del cuello es aproximadamente de 9 mm.

Se llena de bencina hasta el trazo inferior de la bola, se seca el interior del tubo para que no se adhiera el polvo. Se pesan 64 gr. y se introducen en el frasco despacio para no tapar el tubo y mediante un embudo.

Se lee el nivel de la bencina y su graduación, y la densidad está dada por el peso de la sustancia, dividido por el número de c.c. ocupados por su volumen.

Estos datos, como los del peso del litro, agua para pasta de consistencia normal y el agua necesaria para el mortero, están dados en el cuadro siguiente:

N.º	Densidad	Peso del litro	Agua para pasta de consistencia normal	Agua para mortero
1.....	2,339	0,659	41,5 %	11,4 %
2.....	2,356	0,601	42,0 "	11,5 "
3.....	2,344	0,666	41,5 "	11,4 "
4.....	2,375	0,806	33,5 "	10,1 "
5.....	2,344	0,604	42,5 "	11,6 "

El agua a agregar a un kilo de la mezcla de cemento y arena, se determina en gramos, por medio de la fórmula de Feret

$$45 + 1/6 P$$

siendo P el peso del agua necesaria para reducir 1 kg. de cemento al estado de pasta de consistencia normal.

Fraguado.

Se efectuó, reduciendo el cemento a pasta de consistencia normal, llenando los moldes especiales y conservándolos en una atmósfera saturada de humedad a una temperatura de 18° - 20°; empleando la aguja de Vicat, metálica, cilíndrica, limpia y seca, terminada por una sección normal de 1 mm² (diámetro 1,13 mm) y de 300 gr. de peso.

Se anotó el principio del fraguado cuando, bajando normalmente la aguja sin adquirir velocidad, no pudo penetrar hasta el fondo de la caja, y el fin del fraguado cuando soportaba el peso de la aguja sin dejar impresión alguna sobre la pasta.

Los datos obtenidos van a continuación:

N.º	Principio del fraguado en horas	Fin del fraguado en horas	Tiempo total
1.....	26,11	392,19	16 días 8 h. 19 m
2.....	22,03	383,21	15 » 23 » 21 »
3.....	22,44	223,39	9 » 7 » 39 »
4.....	121,42	—	—
5.....	21,53	367,36	15 » 7 » 36 »

Resistencia a la tracción.

Se hicieron los ladrillejos en la misma forma que para el cemento, colocándolos bajo agua dulce y haciendo los ensayos a los 7 y 28 días respectivamente, dando los resultados siguientes:

N.º	1	2	3	5
7 días	2,1	1,8	1,7	1,2
	1,0	1,1	1,0	1,2
	—	1,2	1,2	—
k/cm ²	2,1	1,8	1,7	1,2
— 28 días —	3,0	1,2	4,2	3,2
	2,5	2,5	6,1	3,2
	2,9	3,2	4,0	3,5
	3,0	3,8	4,2	3,6
	2,9	3,1	4,5	2,7
k/cm ²	3,0	3,3	4,0	3,4
— 28 días —	1,4	1,1	1,9	1,6
	1,3	1,3	2,2	1,4
	1,1	1,5	2,0	1,3
	1,1	1,2	1,8	1,2
	k/cm ²	1,3	1,4	2,1

De la muestra N.º 4 no se pudieron hacer ensayos, pues a pesar de haber quedado sumergidos los ladrillejos con los moldes bajo agua, se desmenuzan al poco tiempo.

Las pruebas han sido efectuadas con la máquina de Michaëlis, tomando como término medio cuando había tres datos, el mayor; cuando había cuatro, la media de los dos mayores, y cuando eran cinco, la media de los tres mayores.

Los datos obtenidos a los 7 días no deben tenerse en cuenta, pues aun no se había obtenido el fraguado final, por lo cual la resistencia debe ser menor; debido a esto no se hicieron los ladrillejos de mortero para ensayar a los 7 días.

Resistencia a la compresión.

Las experiencias se hicieron con cubos de mortero hechos en la misma forma que se hacen para los cementos (los de

cemento puro no se hicieron por la cantidad que se necesita, de la que no disponía). Los cubos se rompieron, para obtener la resistencia, en la máquina de Richter, después de 28 días de estar bajo agua.

Los resultados fueron los siguientes:

N.º	1	2	3	5
<i>Mortero 1:3...</i> 28 días..	7.4	7.8	11,6	8,4
	7,2	7,0	11,8	8,6
kg/cm ²	7,3	7,4	11,7	8,5

De la muestra N.º 4, por lo dicho anteriormente, no se hicieron cubos, pues no fraguan y se deshacen bajo el agua.

Prescripciones técnicas para la aceptación de los materiales puzzolánicos.

En primer lugar, debe tomarse una muestra media, sacando porciones de distintas partes del yacimiento, para que responda así al conjunto del mismo.

Para la medida, tanto en peso como en volumen, no debe contener más del 10 % de humedad.

El criterio de aceptación es esencialmente dado por el éxito de la experiencia de resistencia sobre las pruebas, al terminar el período de estacionamiento de 28 días.

Resultados de las pruebas.

Se consideran como *puzzolanas enérgicas* aquellas que, al estado de granulación natural, satisfacen los siguientes requisitos: 1) La mezcla normal, después de 7 días en ambiente húmedo, no permite con un golpe suave una penetración mayor de 7 mm. de la aguja de Vicat del peso de 1 kg. dejada caer de una altura de 30 mm.

2) Las pruebas de mezcla normal, después de 28 días de estacionamiento, de los cuales los primeros 7 en ambiente húmedo y los restantes bajo agua, presentan:

- a) A la tracción, una resistencia a la rotura no inferior a 4 kg/cm².
- b) A la compresión, una resistencia a la rotura no inferior a 20 kg/cm².

Se consideran como *puzzolanas de débil energía* aquellas cuya mezcla normal, no alcanzando los coeficientes ante dichos, dan sin embargo lugar, después de 7 días de estacionamiento, a una penetración de la aguja de Vicat no mayor de 10 mm. y ofrecen a los 28 días de estacionamiento coeficientes de resistencia no menores de 2 kg. y 10 kg. respectivamente a la tracción y compresión.

No pueden considerarse como materias puzzolánicas aquellas que no alcanzan al menos los límites mínimos arriba indicados para la puzzolana de débil energía.

Por lo tanto podemos, dado que en esta clase de materiales, la resistencia a la compresión es cinco veces mayor que la resistencia a la tracción, lo cual es casi constante, clasificar las tobas estudiadas como sigue:

Muestra N.º 1.—Materia puzzolánica de débil energía (3,0 kg. a la tracción y 15,0 kg. a la compresión).

Muestra N.º 2.—Materia puzzolánica de débil energía (3,3 kg. a la tracción y 16,5 kg. a la compresión).

Muestra N.º 3.—Materia puzzolánica enérgica (4,9 kg. a la tracción y 24,5 kg. a la compresión) pero muy cerca de su límite inferior.

Muestra N.º 4.—No forma materia puzzolánica.

Muestra N.º 5.—Materia puzzolánica de débil energía (3,4 kg. a la tracción y 17,0 kg. a la compresión).

CAPITULO V.

Hipótesis emitidas para explicar el fenómeno del fraguado y endurecimiento de las materias puzzolánicas.

El fenómeno del fragüe de la materia puzzolánica, como en general de todos los materiales hidráulicos, forma un importante argumento de estudio, no estando aún aclarado definitivamente el modo de explicar tal fenómeno; no se conoce hasta ahora, qué elementos concurren efectivamente y cual es la acción ejercida por el agua, sobre la materia puesta en contacto.

En cuanto a las causas que determinan la formación de masa de los elementos volcánicos, las opiniones son todavía muy desacordes, habiendo algunos que sostienen que se debe a una combinación de la materia puzzolánica con la cal, por sustitución del hidrógeno de aquélla con calcio, y formarse así compuestos cristalizables.

Según tales vistas, en el cemento subsiste ya con sílice y alúmina, la cal, y falta sólo el agua para constituir el compuesto, al cual se debe el endurecimiento; en las materias puzzolánicas en cambio, está presente, con la sílice y alúmina, el agua químicamente combinada, y falta sólo la cal para determinar la formación de los compuestos que provocan el endurecimiento.

Teniendo en cuenta la acción que tiene el agua para efectuar las reacciones que se suceden, estos materiales deben ser usados para construcciones bajo agua, y si se quiere usar tales cementos en construcciones aéreas, conviene tener presente que deben mantenerse los muros constantemente húmedos hasta completo endurecimiento, y esto alrededor de 15 días.

Hipótesis emitidas para explicar el fraguado.

Entre las principales tenemos la de *Gadolín*, profesor de química de Abo (Finlandia), que explica el fenómeno del fraguado admitiendo que la sílice de la materia puzzolánica, en contacto con la cal y en presencia del agua, ejerce sobre la cal misma una fuerte atracción, asociándose a ella; análogamente *Collet-Descotils* (1813) atribuía el fenómeno del fraguado a un estado particular de alteración a cargo de la sílice, seguido de elevación de temperatura, por lo cual se hace apta para dar una unión íntima con la cal.

Guyton de Morveaux, encuentra también la alúmina contenida en la materia puzzolánica, como apta para entrar en combinación con la sílice, y atribuye por lo tanto el fenómeno del fraguado, a la acción electiva que tiene la cal, la sílice y la alúmina.

Vicat, al cual se atribuye el mérito de haber, en la primera mitad del siglo pasado, dado las bases de la teoría de la hidráulidad, y de haber indicado el camino a seguir en la fabricación de los aglomerados hidráulicos artificiales, reconoce que “el fraguado en todos los materiales hidráulicos, es debido a la acción química que los elementos de la mezcla ejercen los unos sobre los otros”.

Admite *Vicat* como factores del fraguado, la sílice, la alú-

mina y la cal, reteniendo como elemento esencial de hidraulicidad, la sílice, y no comparte el parecer expresado por otros a su tiempo, que intervengan también en el fraguado elementos como el magnesio, el hierro, los álcalis, etc. que se encuentran, los unos como impurezas en la cal, mientras que los otros son elementos constitutivos de la materia puzzolánica.

Fuchs, tratando del fraguado de las materias puzzolánicas, admite un comportamiento variable frente a la cal, dependiendo de su variada composición química, y sostiene que el fraguado de la mezcla tiene lugar por afinidad química y cohesión de las partes puestas en contacto.

Rivot y Chatoney, y sucesivamente *Fremy*, atribuyen el fraguado de la mezcla de cal con la materia puzzolánica, a la formación de silicato y aluminato de calcio, debido a la acción de la cal sobre la puzzolana.

A tales conclusiones, no faltaron algunos que hicieron oposición, negando la intervención de las reacciones químicas en el fenómeno del fraguado y admiten que debe considerarse solamente como físico y mecánico; p. ej. *Chevreuil*, trató de demostrar que la materia puzzolánica se une con la cal por un simple fenómeno de capilaridad, y *Knapp*, asegura que en el fraguado de los materiales hidráulicos en general, debe considerarse el fenómeno mecánico como mucho más importante que el químico, dependiendo éste de aquél.

H. Le Chatelier, dió a la investigación del fraguado de los materiales hidráulicos un nuevo rumbo, tratando de precisar la naturaleza de las combinaciones químicas que se forman en el acto de la hidratación.

Llama productos puzzolánicos aquellos materiales constituidos de materias síliceas, que tienen la propiedad de com-

binarse a la cal en presencia de agua, y son, por consiguiente, a menudo cotejados a las puzzolanas algunos cementos de rápida presa, cocidos a baja temperatura. Atribuye el fenómeno del endurecimiento a la formación de silicatos y aluminatos de calcio hidratados.

Precisamente, el silicato de calcio hidratado corresponde a la fórmula $\text{SiO}_2\text{CaO}, 2 \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$, derivado sea de la combinación directa de la sílice de la materia puzzolánica con la cal apagada, sea por descomposición del silicato tricálcico en presencia de agua; y el aluminato de calcio a la fórmula $\text{Al}_2\text{O}_3, 4\text{CaO}, 12\text{H}_2\text{O}$, que Michaëlis y el doctor Gallo indican en cambio que debe ser modificada así: $\text{Al}_2\text{O}_3, 3\text{CaO}, 10\text{H}_2\text{O}$.

Michaëlis, demuestra que ciertas modificaciones de la sílice son susceptibles de contraer endurecimiento con la cal, y reconoce en esta sílice el solo elemento de hidraulicidad, atribuyendo menor importancia a la alúmina y al hierro; observa al mismo tiempo que la acción de la cal sobre la materia puzzolánica, además de dar lugar a la combinación de la sílice con la cal, es también acompañada de fenómenos de filtración e hinchamiento de la sílice en la masa de la cal; excluye en absoluto la formación de combinaciones químicas definidas.

Rebuffat, acerca del fraguado de la mezcla a base de material puzzolánico, dice que, “en la acción de la cal, ésta se fija sobre la materia puzzolánica (es decir, sobre las partes activas de la misma, refiriéndose a los silicatos dobles de alúmina y álcali) poniendo en libertad los álcalis. El producto de la reacción es un silicato doble que cristaliza con agua de hidratación, y al cristalizar cementa tenazmente las partículas de la mezcla.”

No faltó quien, finalmente, como *Landrin*, concluye sus in-

vestigaciones dando una preponderante acción, directamente exclusiva, al ácido carbónico, como determinante del endurecimiento definitivo.

Sobre una clasificación de las materias puzzolánicas, basada en su actividad química y que permita dar útiles datos, de acuerdo con los factores que preceden al fenómeno del fraguado y del sucesivo endurecimiento, no tienen valor y tampoco tienen la pretensión de substituir las pruebas mecánicas, cuyo resultado depende de un complejo de fenómenos fisico-químicos, que es bien difícil querer indagar con un simple ensayo tecnológico.

De acuerdo a esto, Feret, habiendo clasificado 21 muestras de puzzolana, basado en los resultados mecánicos sobre la mezcla hecha con cal grasa, estacionada en agua dulce, encontró que ninguno de los ocho métodos químicos por él empleados en todas las muestras, ha dado resultados concordantes con la graduación de resistencia, y así comprobó divergencias considerables.

Se propone también juzgar el valor de un material puzzolánico mediante la determinación del agua de combinación, o simplemente de la cantidad de agua requerida para formar con la cal grasa un empaste de consistencia normal, cuya dosis de agua aumenta con la mayor bondad de la misma.

Se observa sin embargo en lo que se refiere al agua de combinación, que su porcentaje en la composición de las materias puzzolánicas es exigua (en general, alrededor del 5 %) y las diferencias que se encontraron comparando materiales notablemente diversos por su valor técnico, son muy pequeñas para poder tener este dato como una característica de la calidad del material, mientras por otro lado sería incierta

la cantidad de agua estrictamente necesaria para obtener una pasta de consistencia normal.

Las alteraciones que producen los agentes exteriores en las materias puzzolánicas volcánicas, merecen ser consideradas por su resultado práctico, pues las rocas eruptivas y volcánicas granitoides y porfiroides, los feldespatos sufren la alteración llamada caolinización, por lo cual se transforman en una materia amorfa arcillosa. Fenómeno análogo pasa en los feldespatos de los polvos puzzolánicos, que del estado celular y esponjoso, y por lo tanto activo, son transformados por el aire y la lluvia en materia arcillosa y por lo tanto inactiva.

CONCLUSIONES

1.ª Las tobas estudiadas, por su composición, por la presencia de vidrio volcánico producido por el enfriamiento lento de la masa y no por cristalización en el aire, y por su distribución en capas estratificadas, son indudablemente de origen volcánico.

2.ª La antigüedad de estas tobas es difícil de determinar en virtud de las alteraciones sufridas en su masa.

3.ª Con respecto a su composición química, se observa que los feldespatos se hallan bastante alterados, habiendo sufrido el fenómeno de caolinización por acción de los agentes atmosféricos, arrastrando el agua los silicatos alcalinos que se forman y quedando el silicato de aluminio muy impuro que las constituye.

4.ª Puede atribuirse la presencia del carbonato de calcio a la destrucción de silicatos que contenían cal, o bien ha podido introducirse de fuentes extrañas.

5.ª El hecho de encontrarse el feldespato caolinizado, disminuye el valor de este material, pues forma así una materia inerte que no es capaz de combinarse con la cal para dar el fraguado correspondiente.

6.ª El modo de endurecimiento de estos materiales difiere notablemente de los verdaderos cementos, en los cuales durante la cocción, la cal se une químicamente con los factores

de hidraulicidad y en éstos se combina gradualmente a los constituyentes del polvo, al estado de hidrato de calcio en solución. Y en efecto, si a este cemento se quita el exceso de agua, pierde la facultad de endurecer fuertemente.

7.º El endurecimiento final, que puede ser fuertemente elevado, es el resultado de un proceso, lento y continuo, íntimamente ligado a una absorción de agua.

8.º El grado de energía de estos materiales puede decirse, que depende de la cantidad de silicatos que se encuentran en condiciones de poder ser atacados fácilmente por la cal hidratada. Esta cantidad, para los materiales volcánicos, es más o menos grande según el grado de metamorfismo impreso a los silicatos originarios, el cual depende de las condiciones en que se efectúa la proyección eruptiva.

9.º Las muestras analizadas dan poco resultado práctico en virtud de su alteración, pero creo que no es aventurado asegurar que a mayor profundidad, por medio de sondajes, pueda sacarse un material que se encuentre menos alterado y, por consiguiente, en condiciones de poder dar un producto de mejor calidad.

JUAN MANUEL EDO.

Laboratorio de la Facultad,
Buenos Aires, Octubre 7 de 1913.

BIBLIOGRAFIA

- ARBORIO AGOSTINO. — Cementi Italiani.
- CHAMBERLIN AND SALISBURY. — Geology.
- FREMY M. — Encyclopédie chimique.
- FRESENIUS R. — Traité d'analyse chimique.
- GEIKIE ARCHIBALD. — Geology.
- GUARESCHI I. — Enciclopedia chimica.
- HAMBLOCH ANTON. — Der rheinische Trass als hydraulischer Zuschlag in seiner bedeutung für das baugewerbe.
- HARKER ALFRED. — Petrographie, introduction a l'étude des roches au moyen du microscope.
- HAUG L. — Traité de Geologie.
- HILLEBRAND W. F. — The analyses of silicate and carbonate rocks.
- LAPPARENT A. DE — Traité de Geologie.
- LE CHATELIER H. — Constitution des mortiers hydrauliques.
- LEDUC E. ET CHENU G. — Chaux, ciments, plâtres.
- LUIGGI L. E CARDI V. — Esperimenti sulli calci, sabbie, pozzolane, cementi, malte e murature eseguiti durante i lavori del Porto di Genova.
- LUNGE L. — Analyse chimique industrielle.
- MEURICE ALBERT. — Analyse quantitative des matières minérales.
- MICHAELIS. — Ueber der Portland cement.
- MUSPRATT'S. — Chemie technischen.
- NASKE CARL. — Die Portland cement fabrikation von oberingenieur.

POST ET NEUMANN. — Traité complet d'analyse chimique appliqué
aux essais industriels.

SCHOCH CARL. — Die moderne aufbereitung der Mortel materialien.

SYLVA GINO. — I cementi.

TREADWELL F. P. — Trattato di chimica analitica.

VILLAVECCHIA V. — Dizionario di Merceologia e di chimica applicata.

Anales de la Academia de Ciencias de Córdoba.

Anales de la Dirección General de Minas, Geología e Hidrología.

Anales del Museo Nacional de Buenos Aires.

Anales de la Sociedad Científica Argentina.

Annales des Ponts et Chaussées.

Associazione italiana per gli studi sui materiali da costruzione.

Bulletin de la Société Chimique de France.

Gazzetta chimica italiana.

Revista del Museo de La Plata.

Buenos Aires, Octubre 18 de 1913.

Pase a la Comisión examinadora N.º 22 para que se sirva estudiar la presente tesis.

JUAN F. SARHY,
Decano.

Pedro J. Coni,
Secretario.

Buenos Aires, Octubre 21 de 1913.

La comisión examinadora que suscribe ha estudiado la tesis presentada por el ex-alumno don Juan Manuel Edo y resuelve aceptarla.

Atilio A. Bado. — Horacio Danilovich. — Angel Gallardo. — Julio J. Gatti. — Enrique Herrero Ducloux. — Cristóbal M. Hicken. — Francisco P. Lavalle. — Martiniano Leguizamón Pondal. — Jacinta T. Raffo. — Angel Sabatini.