PRINCIPIOS DE CLASIFICACION Y COMPARACION DE ROCAS MACIZAS (IGNEAS). por el Sr. Dr. Pablo Waitz.

Desde que el microscopio ha adquirido un uso tan importante para el estudio de las rocas, se ha cambiado completamente el carácter de la petrografía: antes un ramo poco importante y puramente descriptivo de la Geognosia, se ha transformado la petrografía en una ciencia seria, que en unión de la mineralogía, la química y la física intenta darnos una explicación sobre la composición del globo, sobre las fuerzas y los acontecimientos y reacciones en el interior y en la costra de la tierra.

Antes de que se usara el microscopio sirvieron como principios de la elasificación petrográfica, además de la edad geológica, el peso específico y la composición química aproximada, las propiedades de las rocas, que macroscópicamente se podía precisar, como color y composición mineralógica macroscópica. La petrografía moderna no descuida estas propiedades sino que las añade á la descripción de la roca y ha creado para estas propiedades una nomenclatura más concisa y métodos más precisos; pero para la clasificación, estas propiedades han perdido mucho en su valor. En lugar de estos principios de la clasificación antigua, la moderna tiene ahora el modo del yacimiento de las rocas (independiente de la edad relativa) y su composición química, propiedades que se revelan con mucha precisión en la estructura y en la composición mineralógica hajo el microscopio.

El estudio microscópico condujo la petrografía á las preguntas, de cómo se han formado las rocas (su génesis), de dónde vienen y que fuerzas causaron su variedad en composición química y mineralógica y en su estructura. Del conjunto de todos estos problemas, en parte todavía no resueltos, resultaron los principios de la clasificación moderna de la petrografía, que, como es de esperarse, no puede ser un sistema natural, pues las rocas no son enerpos homogéneos, más bien entre todas hay transiciones.

Denominamos según Rosenbusch "Rocas aquellos elementos geológicos de una composición química y mineralógica más ó menos

constante, que forman la costra de nuestra tierra' (1), y tenemos que anadir, que por "elementos geológicos" comprende Rosenbusch partes de la costra terrestre que por su forma, su materia y su génesis forman una unidad.

Dividimos las rocas en rocas sedimentarias ó estratificadas ó sedimentos y en rocas macizas, ígneas ó eruptivas. Entre estas dos clases quedan las pizarras cristalinas y las tobas volcánicas. Las primeras forman casi para todos los petrógrafos una tercera clase, mientras que se unen las tobas volcánicas con las rocas macizas, si aún en el caso, que estén en unión con sedimentos ó más aún si contienen fósiles, deben ser tomadas como sedimentos. Dejando á un lado los sedimentos, las pizarras cristalinas y también las tobas sedimentadas y clásticas nos limitaremos en estos apuntes á la clase de rocas macizas.

Aunque cambia el carácter de las rocas que pertecen á esta clase, no es difícil precisar las propiedades que son comunes á todas estas rocas y que caracterizan su clase. Sobre todo son características: la forma en que se presentan en la naturaleza, su modo especial del yacimiento, perforando otras rocas cruptivas ó sedimentarias, su homogeneidad relativa, sin estratificación y sin cambio de composición en diferentes estratos, etc., es decir su carácter macizo y su génesis de un magna ígneo, que se nota en la estructura, en la composición química y mineralógica y en los efectos de metamorfismo que causaron en las rocas que las rodean.

El modo del yacimiento (Lagerungsform, mode de gisement) puede ser diferente, pues puede solidificarse el magma al ascender de los focos ya en grandes profundidades, resultando entonces ROCAS ABISMALES ó hasta que haya llegado hasta la superficie de la tierra resultando ROCAS EFUSIVAS. Es fácil comprender, que en los dos casos el magma se solidifica en diferentes condiciones físicas y que estas diferentes condiciones deben tener una influencia sobre el aspecto de la roca. Por lo regular esta diferencia ya es perceptible macroscópicamente, pero lo revela mejor el estudio microscópico.

Sobre todo la estructura de una roca y el orden de la cristalización de los diferentes minerales son el efecto de estas fuerzas físicas y á los diferentes modos de yacimiento de las rocas maeizas corresponden diferentes estructuras.

⁽¹⁾ Rosenbusch "Elemente der Gesteinslehre" 2. Aufl. Stuttgart 1907 p. 4.-

Además de la estructura, el microscopio revela la composición mineralógica y con esta conseguimos nuevos principios para la elasificación.

Correspondiendo á una cierta composición mineralógica, una composición química más ó menos determinada y constante, por otra parte no pudiendo darnos el microscopio datos químicos cuantitativos con la exactitud que el análisis químico, éste nos proporciona primeramente una comprobación para la clasificación mineralógica y en segundo lugar una nueva posibilidad para la clasificación.

Fijamos ahora las fuerzas que como consecuencia del yacimiento geológico, en el cual el magma se solidificó, pueden tener influencia sobre el aspecto de la roca.

Los tres factores físicos que pueden tener tal influencia son:

La presión, que se ejerce sobre el magma,

La temperatura y

El grado de viscosidad del magma.

Estos tres factores físicos obran en parte independientes, en parte se modifican mutuamente.

La presión depende naturalmente, sobre todo de la profundidad en que se solidificó el magma, pero parece que la presión por sí misma no tiene gran influencia sobre la estructura (más bien sobre la combinación mineralógica) de la roca, sino que su acción es indirecta, porque bajo una gran presión no pueden desprenderse los gases que contiene el magma y además se conserva mucho mejor la temperatura debajo de las grandes masas que causan la presión.

La influencia de la temperatura es de gran importancia, porque, mientras mayor es su elevación las acciones químicas más fácilmente se producen y se aceleran, y en segundo lugar la acción química del magma sobre el material que lo envuelve y rodea es más enérgica y por último disminuye la viscosidad del magma. Pero es de gran importancia además la marcha del enfriamiento, porque no puede ser igual el resultado, cuando un magma cristaliza á grandes profundidades lentamente por completo, ó cuando se solidifica una parte en la profundidad y el resto en la superficie de la tierra ó por fin, cuando el magma se solidifica rápidamente como roca efusiva (Factor del tiempo).

El grado de la viscosidad depende, como ya lo hemos visto, en parte de la temperatura. Menos influencia tiene sobre ella la presión misma, pero esta es de mucha importancia, porque una gran presión impide, que se desprendan los gases, que tienen tanta importancia para el grado de viscosidad del magma. Pero además de la temperatura y de la cantidad de gases que contiene el magma, su viscosidad depende en primer lugar de su composición química.

Vemos que, por todas esas condiciones físicas, la profundidad relativa en que se solidificó el magma tiene una importancia grandísima y podemos aceptarla como primer principio de la clasificación, separando la clase de Rocas Abismales de la clase de Rocas Efusivas.

Entre estas dos clases coloca Rosenbusch la clase de Rocas Intrusivas en Filones, que en parte tienen la estructura de rocas abismales ó de rocas efusivas ó por lo menos sus caracteres de estructura se asemejan á los de estas clases; pero también parte ofrecen estructura que únicamente son peculiares á ellas y que se pueden explicar solamente por su modo de yacimiento, es decir, su apariencia en filones. Por esto parece aceptable esta clase de rocas intrusivas en filones (Ganggesteine); pero también otras propiedades se encuentran solamente en esta clase de rocas. Ha influído mucho la separación de esta clase de las otras en el adelanto de la petrografía moderna y ha ayudado notablemente á la solución de varios problemas petrográfico—genéticos.

Hay que hacer notar que no podemos separar estas tres clases de rocas completamente, sino tenemos que tener en cuenta, que debe haber transiciones entre ellas, no solamente porque el mismo magma, que forma aquí una roca abismal, puede pasar á una roca efusiva allá y viceversa, sino también porque las condiciones, es decir, las fuerzas físicas pueden influenciarse mutuamente de tal manera que resulten rocas de transición. Aquí debemos mencionar también la influencia que tiene la cantidad de un magma sobre las propiedades de la roca respectiva. Es claro que una cantidad pequeña de magma en su paso por las diferentes capas de la costra terrestre, subiendo del foco á la superficie de la tierra ó por lo menos á lugares más altos, se enfría más rápidamente que una cantidad grande, pero como lo prueban los experimentos sintéticos de Doelter y de otros, también siendo las otras condiciones ignales, la cristalización en una masa pequeña difiere de la que se opera en una masa grande. (1)

⁽¹⁾ También el enfriamiento lateral de una masa intrusiva es por lo regular más rápido que el de partes centrales de esta masa. El efecto de esta diferencia se nota en las diferentes estructuras y composiciones mineralógicas de las diferentes partes de la masa, p. e. en la formación de una zona porfírica marginal, "la facies marginal" de una masa intrusiva.

No nos detendremos en la descripción de las diferentes formas de estructuras microscópicas y mencionaremos solamente los dos tipos principales: la estructura granulosa y la porfírica, correspondiendo á las rocas abismales la primera y á las efusivas la segunda, y hacemos notar otra vez que el modo de yacimiento es de primera importancia para la clasificación.

Pero ese modo de yacimiento no coincide con la edad geológica de la roca; ésta que anteriormente era de tanta importancia para la clasificación antigua, hoy día no tiene ningún valor para la moderna. Hay que tomar en cuenta esto, porque todavía hacemos uso de la nomenclatura antigua, pero los nombres antiguos como p. e. Granito que antes han tenido una significación geológico-histórica no la tienen más (conocemos p. e. Granitos terciarios).

Es un gran mérito para Rosenbusch haber siempre trabajado por la idea de que la edad geológica de las rocas no tiene ninguna importancia para su clasificación, idea que actualmente es aceptada por todos. Dice Rosenbusch en la última edición de su "Mikroskopische Physiographie der massigen Gesteine" Bd. II. 1. Hälfte Stuttgart 1907 pág. 7: "Se ve que no es necesario, que las propiedades de los tipos de rocas abismales y efusivas sean funciones de la edad geológica, pero en todos los casos deben ser funciones de la profundidad, es decir, de la presión y de la temperatura. Las diferencias peculiares de estos tipos principales son más elevadas que verdades de experiencia y son condicionales, necesarias y deben ser por eso explicables y deducibles."

Estas condiciones físicas no tienen solamente una influencia sobre la estructura microscópica de la roca, sino también sobre su composición mineralógica y sobre el orden de la cristalización de los minerales. Pues es bien sabido que dos magmas de composición química idéntica en diferentes condiciones físicas pueden dar dos rocas completamente distintas. Por eso nos tenemos que fijar para la clasificación de una roca no solamente en su composición química, sino sobre todo en la composición mineralógica porque "las rocas macizas son el resultado por una parte de la composición química y por otra parte de las condiciones físicas, bajo las cuales el magma se solidificó." (1)

El microscopio, dándonos la calidad y aproximadamente la cantidad de los elementos mineralógicos de una composición química

⁽¹⁾ Weinschenk, "Specielle Gesteinskunde" Freiburg 1905, pág. 15."

más ó menos correspondiente á las propiedades ópticas y además el orden de la consolidación de esos minerales, nos proporciona un método bastante preciso para la determinación y clasificación de las rocas.

Para esta clasificación petrográfica es de primera importancia (después de la estructura) la cantidad de sílice, substancia que en todas las rocas predomina sobre las cantidades de los otros elementos. En la composición mineralógica entra la sílice en forma de cuarzo, en la de silicatos, y también el vidrio de la pasta puede contener una cantidad considerable de esta substancia. Entre los silicatos, los feldespatos son los más ricos en sílice y dan á la roca su carácter.

Clasificamos por eso las rocas macizas en Rocas feldespáticas y en Rocas sin feldespatos. El primer grupo está caracterizado por una cantidad de sílice que basta para la formación de feldespatos, mientras en las rocas del segundo grupo no alcanza para la formación de estos minerales. En este segundo grupo puede haber dos casos: 1). Si hubo bastante sílice para la formación de representantes de feldespatos ó feldespatoides menos ricos en sílice que aquellos, como sodalita, etc., leucita, nefelina y otros, se formaron estos minerales. 2). La cantidad de sílice no alcanzó ni para la formación de estos feldespatoides Muy raras veces encontramos rocas de estos últimos grupos en México y por eso no nos ocupamos aquí de ellas.

En las rocas feldespáticas se revela la cantidad de sílice bajo el microscopio de tal manera, que las más ácidas son ricas en feldespatos de potasio (ortoclasa) y muchas de ellas contienen además cuarzo; las más básicas contienen feldespatos de sodio y de calcio (plagioclasas). Entre estas rocas básicas los plagioclasas contienen tanto más proporción de anortita, cuanto más básicas son, y cuanto más básico es el feldespato tanto más importancia tienen los silicatos ferromagnesianos.

Pero aun en las rocas ácidas, la biotita, la amfíbola y la piroxena son elementos de clasificación. Una diferencia muy importante entre las rocas ácidas es la presencia ó ausenciá de cuarzo libre, y en las rocas básicas tiene la misma importancia el olivino. Doy en en el adjunto cuadro según Weinschenk (1) una clasificación en la cual están adaptados estos principios de la clasificación petrográfica moderna.

⁽¹⁾ l. c pág. 21.

LAS ROCAS FELDESPÁTICAS (según WEINSCHENK). CUADRO DE

Con cartidad disminuyente de silice Sumentando Carl y sosa. Por la regular augita.		ROC	ROCAS DE ORTOCLASA:		ROCAS	HA HA	PLAGIOCLASA:	ASA:	RO H	ROCAS SÓDICAS:	:
recuente: con cantidad disminnycnte de silice———————————————————————————————————	Mineral predominante:	feldes	pato de lasa.	feldes)	pato de y cal.	feldest cal y	pato de sosa.	mineral básico, por la regular augita.		feldespato sód	sódico.
recuente: biotita mitbola auntibola auntibola auntibola piroxena plagioclasa rico piroxena neral con sin con sin con cuarzo pivino olivino sin con con general: Ligera y clara / cuarzo Ligera y clara / de Diorita Gabbro Trapp Syenita de Diorita Gabbro cuarzo cuarzo Diorita Andesita Resaalto Porlita Fonolita cuarzo Pórfido de Pórfido de Pórfido de Porfirita	Mineral de segunda importancia:		Son cantidad canti	disnijnuyente dad de minera	de sílice——		mtando ta, amífbol	а ó piroxena.	. can	cantidad pequeña do	i ia de
neral con sin con sin con sin con con con con cuarzo Diorita Diorita Diorita Gabbro Trapp de Cranita Cranita Traquita Dacita Andesita Andesita Relafira Porfiido Porfiida	May frecuente:	biotita (muscovita)	amíibola	biotita, amfibola	amffbola	biros	xena	plagioclasa rico en cal	рігожен	a sódica	amfibola sódjca
general: Ligera y clara de Diorita Gabbro de Diorita Cuarzo cuarzo Cranito Gabro de Diorita Catura Gabro de Diorita Cuarzo Cikhyoita) Traquita Dacita Andesita Porfirita de Porfiido de Porfiinta de Porfiita de P	Mineral distintivo:	сон	sin	cuarzo	sin cuarzo	sin ofivino	con	olivino	con	sin cuarzo	cuarzo
Granito Syenita de Diorita (Babro de Diabasa Cuarzo (Rhyolita) Liparita Traquita Dacita Andesita Porfido de Porfiirita de Porfiirita de Porfiirita de Porfiirita Diorita de Porfiirita de Porfiirita de Porfiirita Gabbro de Diorita Gabbro de Diorita de Porfiirita Gabbro de Diorita Gabbro de Diorita de Porfiirita Gabbro de Diorita de Porfiirita de Porfiirita de Porfiirita Gabbro de Porfiirita de Porfiirita de Porfiirita			Ligera y	clara \			Pesada y	obscura.		Ligera y clara	
Liparita Traquita Dacita Andesita (Basalto) Fonolita Fonolita Porfido de Porfirita	Estructura gra- nulosa:	Granito	Syenita	Diorita de cuarzo	. Diorita	Саррто	Gabbro de olivino	Trapp Diabasa	Syenita de nefelina	Syenita	Granito
Pórfido de Porfirita de Porfirita de Porfirita de Porfirita de	Estructura	Liparita (Rhyolita)	Traquila	Dacifa	«	ndesita	 !	(Basalto)	Fonolita	Traquita	Liparita
ortoclasa cuarzo diabásica i ne	porfírica:	Pórfido de cuarzo	Pórfido de ortoclasa	Porfirita de cuarzo	<u>т</u>	orfirita		Melafira Porfirita diabásica	Pórfido de nefelina	Keratofira	ofira

Naturalmente hay entre las rocas típicas, es decir, las rocas típicas de las diferentes familias, transiciones también relativamente á su composición mineralógica y encontramos muchas veces rocas, que, por sus caracteres mineralógicos deben ser clasificadas como rocas de transición entre diferentes familias, pues las rocas no sou -como ya lo bemos dicho antes-cuerpos homogéneos. (2) Si aún en la mineralogía encontramos ejemplares del mismo mineral pero de distintas localidades, que no son de la misma composición química, con mayor razón debe haber tales diferencias en una roca que es un conjunto de minerales! Además, sin tomar en cuenta las acciones exogenéticas, á las cuales han estado sujetas las rocas, como inelusiones de otras rocas, invecciones de un magma nuevo, infiltraciones de nuevas substancias por pneumatolisis ó infiltración, ó por fin alteración química posterior, hay que pensar en las acciones endogenéticas, es decir, acciones peculiares del magma mismo, que pueden cambiar la composición química y mineralógica del magma. Tales acciones son p. e. mezcla incompleta (Schlieren), diferenciación magmática á causa de separación magmática, separación por cristalización y por el peso específico de minerales ya solidificados, y los efectos de todas estas acciones dificultan naturalmente mucho la clasificación. Es por eso muchas veces un trabajo en vano, inútil y desagradable para el petrógrafo, clasificar una roca, teniendo solamente un fragmento y una lámina de ella sin conocer su yacimiento, y se comprende, que diferentes pedazos de una masa eruptiva pueden ser clasificados de diversos modos por diferentes ó aun por el mismo petrógrafo.

Sin entrar en más detalles sobre la clasificación mineralógica, que se encuentra fácilmente en muchas obras sobre petrografía, nos ocuparemos de la clasificación química, que completa la clasificación petrográfica y nos dedicaremos sobre todo á la explicación de una de ellas.

Como hemos visto, la composición química de una roca se revela cualitativamente y también (aunque no de un grado muy exacto) cuantitativamente por la composición mineralógica. Para comprobar esta clasificación mineralógica y para completarla sirve el análisis químico.

Según lo que dijimos antes sobre las condiciones físicas y su influencia sobre la forma en que el magma se solidificó, no se puede

⁽²⁾ La nomenclatura indica en este caso la transición: andesita basáltica, basalto andesítico, etc.

esperar que el análisis químico sólo puede servir como principio de clasificación. Una clasificación puramente química debe separar necesariamente rocas, que por su composición mineralógica y otras propiedades estén íntimamente relacionadas, y debe agrupar por otra parte rocas muy diferentes. Tal clasificación nunca puede descubrir las relaciones genéticas de las rocas. Por eso dice F. Becke (1) en una revista crítica sobre el sistema de clasificación de Cross, Iddings Pirsson y Washington (2) con mucha razón, que "esta clasificación sistemática está muy lejos de ser un sistema natural de las rocas, y parece más bien un archivo (Registratur) bien arreglado."

Desde que Roseubusch en el año 1889, por primera vez, (3) ha hecho la tentativa de obtener por el análisis químico, ciertos "núcleos petrográficos" que se encuentran en las rocas, los petrógrafos modernos han estudiado estas relaciones con mucho empeño. Sin entrar á una descripción y á una crítica de estas ideas de Rosenbusch, que él mismo más tarde ha modificado, sin entrar tampoco á las ideas de Michel-Lévy, Brögger, Löwinson-Lessing y otros sobre este asunto vamos á limitarnos solamente al método de una clasificación química, que en el día es el más usado, sin embargo de que no faltan objeciones no injustas contra él y no obstante que tampoco este método ofrece un sistema natural.

Este método fué formado por Osanu en su "Versuch einer chemischen Klassifikation der Eruptivgesteine," (4) trabajo en que el autor trae un vasto é intéresante material sobre el asunto. Pero antes de describir el método de cálculo de Osanu tenemos que decir unas palabras sobre la base de todos estos métodos de cálculo.

Como lo ha mostrado Rosenbusch (l. c.) el análisis químico no sirve directamente para la comparación de las rocas, y todos los que han tratado estos problemas (con excepción de Michel-Lévy.) son de la opinión de Rosenbusch.

⁽J) Tschermaks mineralog, und petrogr, Mitteilungen. Wien, 1903. Bd. XXII p. 208.

^{(2) &}quot;Quantitativ Clasification of Igneous Rocks based on chemical and mineral characters, whith a systematical nomenclature by Whitman Cross, Joseph P. Iddings, Louis V. Pirsson, Henry S. Washington. With an introductory review of the development of systematic petrography in the nineteenth century by Whitman Cross." The University of Chicago Press Chicago, William Wesley & Son, London 1903.

⁽³⁾ T. M. P. M. Wien. 1890. Bd. XI, p. 144, "Ueber die chemischen Beziehungen der Eruptivgesteine,"

⁽⁴⁾ T. M. P. M. Wien, XIX pag. 351., XX, pag. 399., XXI, pag. 365., XXII. pags. 322 y 403.

El análisis químico cuantitativo nos da el peso relativo por ciento P de los diferentes óxidos de los elementos que forman la roca. Este peso relativo P es el producto del número de moléculas N de estos óxidos por el peso específico molecular p del respectivo óxido:

$$P = Np$$
.

Implicitamente nuestras fórmulas químicas nos dan ya el peso específico de los átomos y de este modo también el peso específico molecular, pues Na₂O no dice solamente que dos átomos de Na se une con un átomo de O, sino nos dice también, que Na se une con O en la relación de peso 2×23: 1×16. Pero esta relación en las proporciones del análisis no es visible directamente, porque, como lo dijímos, las proporciones analíticas son el producto del número de moléculas por el peso molecular.

Para los cálculos químicos es preferible usar solamente el número de moléculas N de los diferentes óxidos que forman la roca, y obtenemos estos números dividiendo las proporciones, que nos da el análisis cuantitativo, entre los respectivos pesos moleculares:

$$N = \frac{P}{p}$$

De estos números de moléculas, cuya suma Z tiene, como lo ha encontrado Rosenbusch, una propiedad interesante, que es que en todas las rocas es de cerca de 1,5(1), se calculan los porcientos moleculares, es decir, las proporciones de los números de las diferentes moléculas por cien moléculas de la roca, dividiendo cada número de moléculas entre la suma Z y multiplicándolo por 100:

$$\%$$
 moleculares $=\frac{N}{Z}\frac{100}{Z}$

Rosenbusch y F. Becke hacen un cálculo más para tener la relación de los átomos metálicos de la roca, y de estas relaciones forma el primero sus "núcleos petrográficos," p. e. el núcleo foyaítico y de la fórmula R Al Si₂.

Osann se contenta para su método con el cálculo (2) de las proporciones moleculares por ciento, pero hace las siguientes simplificaciones:

⁽¹⁾ ó multiplicado por 100 la suma es cerca de 150. Esta suma de las moléculas de las rocas multiplicada por cien llama Rosenbusch "Zahl" (número).

⁽²⁾ Para obtener en corto tiempo y con facilidad los números moleculares, este autor ha publicado un libro que en forma de tablas de logaritmos da directamente los números que corresponden á los datos analíticos. Osann "Beiträge zur chemischen Petrographie." I. T. "Molecularquotienten zur Berechnung von Gesteinsanalysen." Stuttgart. 1903.

1) H₂O, es decir la humedad (agua que se separa á 110°) y agua de combinación (agua al rojo) se excluyen del cálculo. Contra esta supresión no hay nada que decir porque: a) una cantidad más considerable de H₂O en una roca indica siempre, que la roca está alterada; si esta agua entra en el cálculo, por el peso molecular muy bajo de H₂O (18) resulta siempre un número molecular por ciento muy alto, que altera en mucho el carácter de la fórmula de la roca fresca; b) la cantidad del hidrógeno, que en varios minerales es un elemento esencial (como en las micas p. e.), es tan pequeña, que se puede prescindir de ella en el cálculo de la roca, tanto más que c) muchos análisis químicos no nos dan ninguna seguridad, sobre la forma, en que esta agua se encuentra en la roca, es decir, si es de alteración ó de inclusiones, ó si es de combinación, ó es, en el caso peor, el conjunto de todas las substancias volátiles.

2) TiO₂ y ZrO₂ se unen con SiO₂; P₂O₅, Cl y SO₃, que siempre se encuentran solamente en cantidades muy pequeñas, no entran en el cálculo.

3) Fe₂O₃ lo convierte Osann (y también F. Becke) en FeO, es decir, que en esta forma de fierro al mínimo entra todo el fierro en el cálculo. Aquí tenemos una simplificación, á la cual podemos objetar. Osann dice sobre este asunto (l. c. XIX pag. 354).

"La experiencia ha mostrado que el cálculo de Fe₂ O₃ y FeO, es decir, de ambos óxidos separados, para nuestro objeto es solamente una complicación innecesaria, porque aún cuando se trata de las relaciones químicas de un grupo relativamente limitado de rocas, la separación de Fe₂O₃ y de FeO tiene objeto solamente, cuando el material es completamente fresco." Relativamente al primero de estos motivos podemos estar conformes con el autor, pero si aún él pudo hacer esta simplificación en el cálculo de los 900 análisis, calculados en sus trabajos, porque ha tenido que aceptar entre éstos análisis de rocas que estaban algo alteradas, no creo que debemos admitir esta simplificación cuando se trata de "un grupo relativamente limitado." No es tan injusta por eso la observación que hace Doelter sobre esta simplificación en su "Petrogenesis" (1) diciendo "(... es un retroceso si ahora se opina que está de sobra, puesto que hace algunos años que se ha tomado como absolutamente necesaria la separación de Fe₂ O₃ y de FeO)"

⁽¹⁾ Doelter "Petrogenesis" Die Wissenschaft, Heft XIII. Brannschweig, 1906 p. 63.

4) Si la roca tiene BaO y SrO se suman los porcientos moleculares de estos óxidos á los porcientos moleculares de CaO.

De este modo tenemos (si sumamos las moléculas de MnO que siempre son muy pocas con las de FeO) los llamados "7 elementos petrográficos": SiO₂, Al₂O₃, FeO, MgO, CaO, Na₂OS y K₂O en forma de porcientos moleculares y podemos unirlos de tal manera, como se encuentran unidos en la naturaleza, por lo menos en la mayoría de los casos. Para esto formamos los siguientes grupos moleculares:

1) El grupo molecular de SiO_2 con TiO_2 y ZrO_2 lo denominamos con la letra S y ponemos S igual á la cantidad de porcientos moleculares de sílice etc., colocando esta expresión al principio de la fórmula de la roca. $S = SiO_2$.

2) La suma de los álcalis $Na_2O + K_2O$ lo reunimos con la misma cantidad de Al_2O_3 , marcando la cantidad de porcientos moleculares de los álcalis con la letra A:

$$A = Na_2O + K_2O.$$

"No queremos decir con esta combinación de los álcalis con alúmina que debe haber esta combinación en todos los casos en las rocas; para saber cómo es la combinación, sería necesario conocer, no solamente la cantidad de los minerales respectivos, sino también su composición química respectiva; pero en un sistema, que debe aplicarse á todas las rocas, no es posible tener estos datos. Por otra parte es fácil comprobar, que tal combinación de Na₂O+K₂O: Al₂O₃=1:1 tiene lugar en la mayoría de los casos y que la inexactitud es muy pequeña" (Osann 1. c. XIX pág. 355). Este grupo molecular se encuentra sobre todo en los feldespastos y en los feldespatoides.

3) El resto de alúmina, que queda después de haber formado el grupo A se combina con CaO y designamos esta cantidad de CaO con la letra C. Corresponde esta combinación al grupo molecular CaO, $\mathrm{Al_2O_3}$, que encontramos sobre todo en la anortita, pero también en algunas pyroxenas y amfibolas: $C = \mathrm{Al_2O_3} + A$.

En el caso bastante raro que después de haber formado A y C queda todavía un resto de Al_2O_3 reune Osann con este MgO y FeO en la misma relación 1: 1, designando también en este caso $C = Al_2O_3 - A$. Es preferible en este caso el método de F. Becke, que no une el resto de Al_2O_3 con MgO y FeO, si no da este resto separadamente.

4) El resto de CaO que queda por lo regular, cuando toda la alúmina ha sido unida con los álcalis y la cantidad correspondiente de cal, en los grupos A y C, se reune con FeO, MgO y MnO para formar el grupo F de la fórmula de la roca:

$$F = \text{CaO} + C + \text{FeO} + \text{MgO} + \text{MnO}.$$

5) La relación en cantidad de Na_2O : K_2O se expresa, calculando la cantidad de moléculas de Na_2O en 10 moléculas de los álcalis, poniendo esta cantidad como índice de la letra n. De este modo

el índice de
$$n$$
 es $\frac{10}{A} \frac{\mathrm{Na_2O}}{A}$

6) Es de interés saber, qué relación hay entre el resto de CaO en F y la suma de las moléculas de FeO, MnO y MgO en F. Delmismo modo, que se ha hecho con los álcalis, se calcula esta relación para la suma de FeO+MnO+MgO : CaO, para 10 moléculas de F; poniendo la cantidad de los óxidos ferromagnesianos que hay en 10 moléculas de F como índice de la letra m:

indice de m es
$$\frac{10 (\text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO})}{F}$$
.

7) Se calcula el cociente de sílice k de la roca. Como hemos visto tenemos en A, en la mayoría de los casos, el grupo molecular R_2O Al_2O_3 de los feldespatos alcalinos con 6 moléculas de Si O_2 (ortoclasa K_2O , Al_2O_3 , $6SiO_2$, albita Na_2O , Al_2O_3 , $6SiO_2$) es decir en la relación R_2O : Al_2O_3 : $SiO_2=1:1:6$. En C tenemos la molécula CaO, Al_2O_3 , que es esencial para la anortita (CaO, Al_2O_3 , $2SiO_2$), en la cual este grupo molecular se une con $2SiO_2$, es decir en la relación molecular CaO: Al_2O_3 : $SiO_2=1:1:2$. En F por fin, las moléculas de FeO, MnO y MgO y el resto de CaO se unen con $1SiO_2$ formando el grupo molecular de ortosilicatos (en el olivino y en los micas) y de metasilicatos (en las piroxenas y amfíbolas, además en la titanita, apatita, etc.).

Calculando ahora la cantidad teórica de SiO_2 que corresponde según estas fórmulas á A, U y F en una roca tenemos 6A+2C+F moléculas de sílice y dividiendo S, es decir, la cantidad real de moléculas de SiO_2 de la roca entre 6A+2C+F, cantidad teórica, resulta el índice de k, del cociente de sílice:

El índice de
$$k$$
 es $\frac{S}{6A+2F+C}$

Si k es más grande que 1, podemos deducir que debe haber cuarzo libre en la roca ó una pasta vidriosa, rica en sílice; mientras que si k es mucho menor que 1, es probable que no encontremos en la roca feldespatos, sino feldespatoides que tienen menos sílice, ó amfibolas ó piroxenas alcalinas ó mucho fierro magnético, etc.; todo esto tiene que comprobar el estudio microscópico

Según el método de cálculo que acabamos de describir es

$$2A + 2C + F = 100 - S$$

Cambiando el valor de S entre límites muy amplios, es fácil comprender que también la suma de A+C+F cambia en las diferentes rocas. Para la comparación de las rocas no importa tanto esta suma (que ya tenemos indicada en S) sino la relación entre A, C y F y por eso es preciso expresar esta relación siempre para la misma cantidad de moléculas. Para la comparación y además para poder hacer una proyección comparativa de las diferentes rocas, Osann calcula esta relación de A: C: F para la suma de 20, es decir, para la cantidad de 20 moléculas de A+C+F y designa esta relación con las minúsculas a, c y f correspondientes á A, C y F.

$$A : C : F = a : c : f$$

 $a + c + f = 20$

y de este modo:.

y el valor está indicado como índice á la derecha de la minúscula correspondiente como p. e.: $a_5 c_6 f_9$.

La fórmula completa de una roca, p. e. de una andesita de hyperstena del volcán de Colima (1) es:

$$A = 5.07, \qquad C = 6.47, \qquad F = 9.50;$$

$$c_{67,4}; \quad c_{6}, \quad c_{6}, \quad c_{9}; \qquad c_{7}, \quad m_{9,5}; \qquad F_{1,27}.$$

⁽¹⁾ P. Waitz. "Le Volcan de Colima." Livret-guide du Xème Congrès Géologique Internacional. México. 1906. fasc. XIII. Análisis No. 2.

a corresponde como lo hemos visto, al grupo molecular (Na, K)₂ O,Al₂O₃ y c al grupo CaO,Al₂O₃. En las fórmulas de los plagioclasas (Ab, An), como por lo regular se escriben, y lo mismo en las del ortoclasa (Or) significa Ab la albita de la fórmula Na Al O₂, $(SiO_2)_3$ y Or el ortoclasa de la fórmula K Al O₂ $(SiO_2)_3$, mientras (An) la anortita tiene la fórmula CaO Al₂O $(SiO_2)_2$.

Si queremos darnos cuenta sobre el "Plagioclasa medio," que, según el análisis químico, contiene la roca (ó mejor dicho podría tener), es por eso necesario duplicar a de nuestra fórmula para tener la relación de los grupos moleculares (K) Al O_2 (Si O_2)₂ : Ca O_3 (Si O_2)₂ de los plagioclasas. En nuestro ejemplo de la andesita de hyperstena del Colima tendríamos de este modo 10 Ab : 6 An ó (Ab₆₂An₃₈), es decir una andesina como "plagioclasa medio."

Pero no es necesario que el plagioclasa ó los plagioclasas que se encuentran en la roca al estudiarla al microscopio sean de esta composición: hay que tomar en cuenta: 1) que la composición de los plagioclasas cambia en el mismo cristal, lo que se nota bajo el microscopio en la estructura zonal de estos minerales; 2) que los plagioclasas de la roca por lo regular no cristalizan de una vez, sino durante un espacio largo de la cristalización de la roca y los que cristalizaron al principio no tienen la misma composición que los últimos; 3) que en el caso en que se encuentre en la roca una pasta vidriosa, esta pasta por lo común contiene substancias feldespáticas regularmente más ácidas, que las que se encuentran en los feldespatos individualizados y 4) los álcalis como el óxido de calcio entran en algunos casos en conjunto con alúmina á la composición de otros minerales como en amfibolas alcalinas y en piroxenas.

Los casos 1), 2) y 3) se presentan sobre todo en las rocas efusivas y por eso el "plagioclasa medio" teórico corresponde con el que encontramos bajo el microscopio en las rocas granulosas más bien que en las porfíricas. En nuestro ejemplo de la andesita del Colima, el microscopio permite clasificar los plagioclasas como combinaciones de andesina, labrador y bytownita como fenocristales y oligoclasa y andesina como plagioclasas de la segunda cristalización.

Valiéndose de estas fórmulas de las rocas. Osann hace subdivisiones en las familias de las rocas de Rosenbusch, que se distinguen por su estructura y composición mineralógica, como hemos visto.

Osann reune rocas parecidas de una familia p. e. de las andesitas de augita ó hyperstena, formando grupos de estas rocas. De las fórmulas de un grupo de rocas, que en algo siempre se distin-

guen, calcula Osann el término medio, y la fórmula media que obtiene la llama "fórmula del tipo" p. e.

Fórmula del Tipo "Crater lake" de las andesitas de pyroxena:

A = 5,24 C = 6,12 F = 9,77;

 $s_{67,5}$; a_5 , $c_{5,5}$, $f_{9,5}$; n_8 , $m_{\tilde{1}}$; $k_{1,28}$. Osann l. c. XX. pág. 441 á la cual se asemeja bastante la fórmula de nuestra andesita de hyperstena, del Volcán de Colima:

 $s_{67,4}$; a_5 , c_6 , f_{9} ; a_7 , $m_{9,5}$; $k_{1,27}$. Waitz 1, e.

Como se ve, esta fórmula, deducida del análisis químico de la roca sirve para la subdivisión en la familia á la cual la roca pertenece por sus caracteres microscópicos. La fórmula sola no bastaría para la clasificación, pues tenemos por ejemplo el tipo "Sta. Virgen" de las andesitas de amfibola, cuya fórmula es:

 s_{66} ; a_5 , c_5 , f_{10} ; a_7 , m_7 ; $k_{1,3}$. Osann I. c. XX. pág. 434 que se acerca mucho al tipo "Crater lake," pero la roca del tipo "Sta. Virgen" es una andesita de amfibola y la otra una andesita de pyroxena.

Que estos dos tipos tengan una fórmula parecida, no puede sorprender, pues hay mucha semejanza entre los dos también mineralógicamente, lo que se demuestra por el hecho de que las andesitas de amfíbola muchas veces contengan piroxenas y viceversa.

Pero al tipo "Crater lake" se asemeja también el tipo "Farsund" de las monzonitas con la fórmula:

 $s_{65,5}$; $a_{5,5}$, $c_{4,5}$, $c_{4,5}$, f_{10} ; $s_{5,5}$, $m_{\frac{3}{2}}$; $k_{1,11}$. Osann I. e. XIX. pág. 396.

Otro ejemplo da ei tipo "Keewenaw" de los Gabbros con la fórmula:

 s_{51} , u_1 , c_5 , f_{14} ; $h_{7,5}$, $h_{7,5}$, $h_{9,88}$. Osann I. e. XIX. pág. 423 y el tipo "Royat" de los Basaltos de Plagioclasa con la fórmula:

 $s_{53,5}$; a_1 ' $c_{5,5}$ ' $f_{13,5}$ '; $a_{7,5}$ ' $a_{7,5}$ ' $a_{7,5}$ ' $a_{8,5}$?; $a_{0,98}$. Osann I. c. XX. pág. 451, y observamos que, para distinguir estas dos rocas, mineralógia y petrográficamente tan diferentes, el análisis químico y la fórmula solos no bastan.

Los nombres de los Tipos son tomados de localidades más conocidas ó de la localidad de donde la roca corresponde más al tipo.

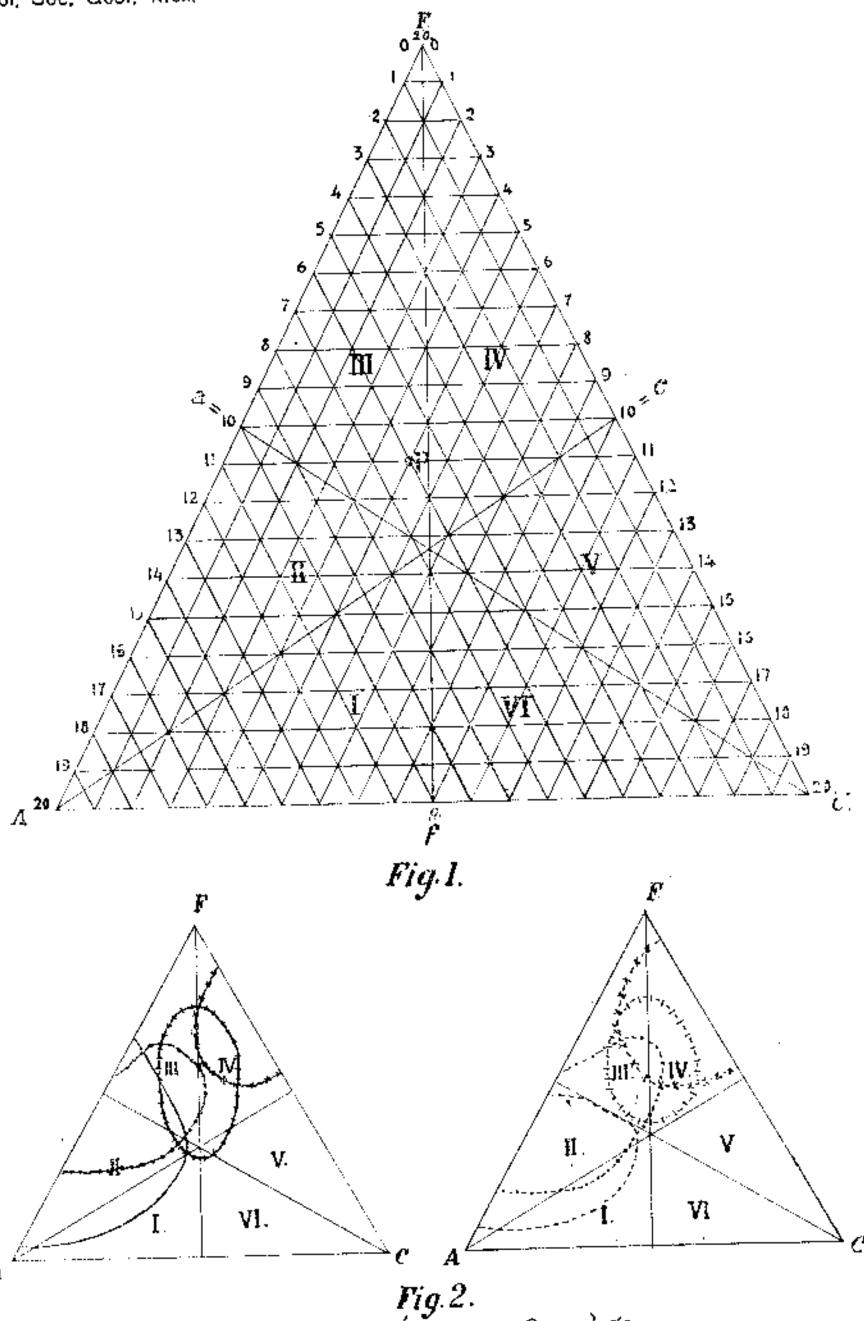


Fig. 2.

Areas aproximadas (según datos de Osann) de

— granito ---- syenila +++ diorita. ++-- gabbro.

— liparila ----- traquita ----- andesita ----- basalto.

En resumen podemos decir que para la clasificación moderna petrográfica sirve en primer lugar:

El modo de vacimiento y respectivamente la estructura; en segundo lugar la composición mineralógica y, en tercer lugar la fórmula de la roca, calculada por el análisis químico.

Nos queda por explicar el método de proyección que usa Osann para la comparación de las rocas.

De tres cantidades de una suma constante se puede hacer una proyección en el triángulo equilátero, porque en este triángulo la suma de las tres perpendiculares de cualquier punto del triángulo á sus lados, es igual á la altura. Dividiendo cada una de las tres alturas del triángulo equilátero en 20 partes iguales, trazamos en estas divisiones líneas paralelas á los lados correspondientes y designamos los vértices del triángulo con A, C y F de tal manera que Adesigna el vértice izquierdo, C el derecho y F el superior (fig. 1).

Tomando, á partir de la base, C F en la altura correspondiente de la perpendicular que pasa por el vértice A tantas divisiones como indica el índice de a, y en la altura correspondiente (que pasa por el vértice F) la cantidad del índice f, las dos paralelas que pasan por estos dos puntos, deben cortarse en el punto que es la proyección de la roca, (en Fig. 1 p es la proyección de la andesita del Colima) pues por él debe pasar también la paralela que corresponde á c.

Como se ve, no tenemos en cuenta en esta proyección la cantidad de sílice de la roca, pero también ésta podemos proyectar de un modo especial que indicó F. Becke y el cual describiremos más adelante.

Es de esperarse de antemano, que las proyecciones de rocas semejantes quedarán muy cerca ó coincidirán en el diagrama.

Designando con Osann los 6 triángulos rectangulares en los cuales las tres alturas dividen al triángulo equilátero, con I-VI en el sentido de las manecillas del reloj (fig. 1) principiando con el triángulo izquierdo sobre la base, observamos que p. e. las proyecciones de los granitos se acumulan sobre todo en el triángulo II, las de las syenitas en II y III, las de las dioritas en III y IV y las de los gabbros en IV. Del mismo modo encontramos reunidas la mayoría de las proyecciones de los pórfidos con cuarzo de las liparitas (rhyolitas) en II, de los pórfidos sin cuarzo, y de las traquitas en II y III, de las andesitas de piroxena en III y IV y de los basaltos de

plagioclasa en III y IV, pero más cerca al vértice F del triángulo, como las proyecciones de los gabbros (fig. 2).

Pero notamos igualmente las posibilidades de transiciones de rocas en este diagrama, pues ninguna familia de rocas según Rosenbusch está separada de las otras familias por límites fijos.

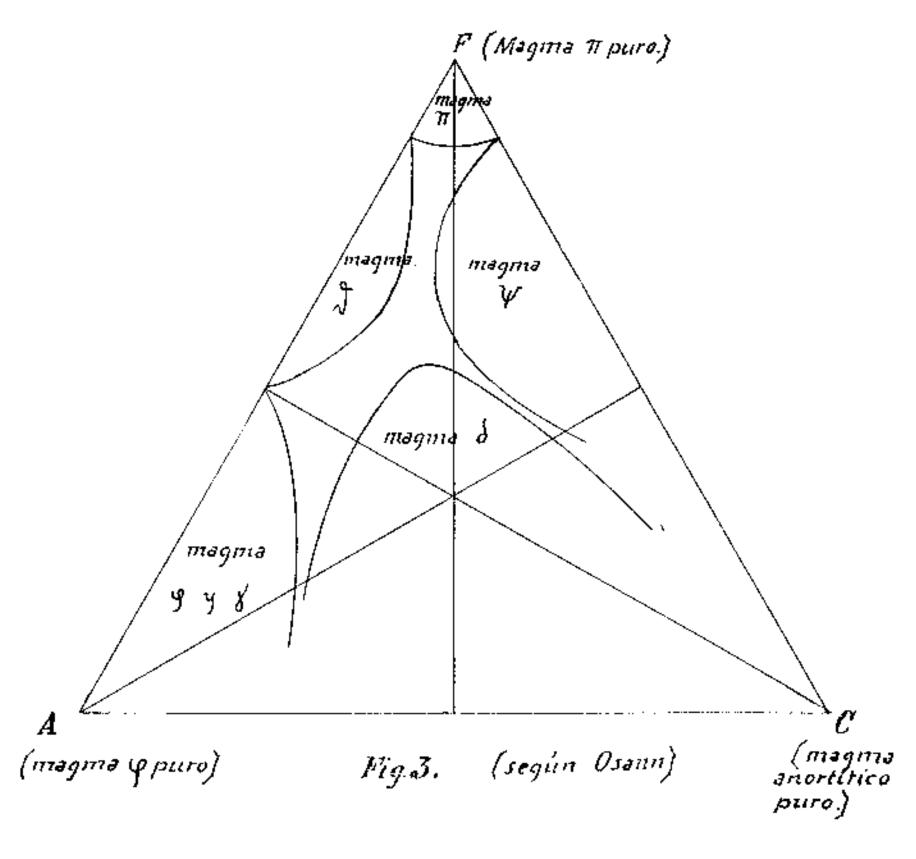
Si comparamos en el conjunto de proyecciones de Ossan el lugar y el área de las diferentes combinaciones, reconocemos naturalmente también las áreas que corresponden á los "núcleos petrográficos" de Rosenbusch, porque el cálcuto de Osann está fundado por lo menos en parte, sobre estos núcleos y Osann mismo anota estas relaciones y las demuestra con la figura adjunta (fig. 3). Osann l. c. XXII pág. 341.

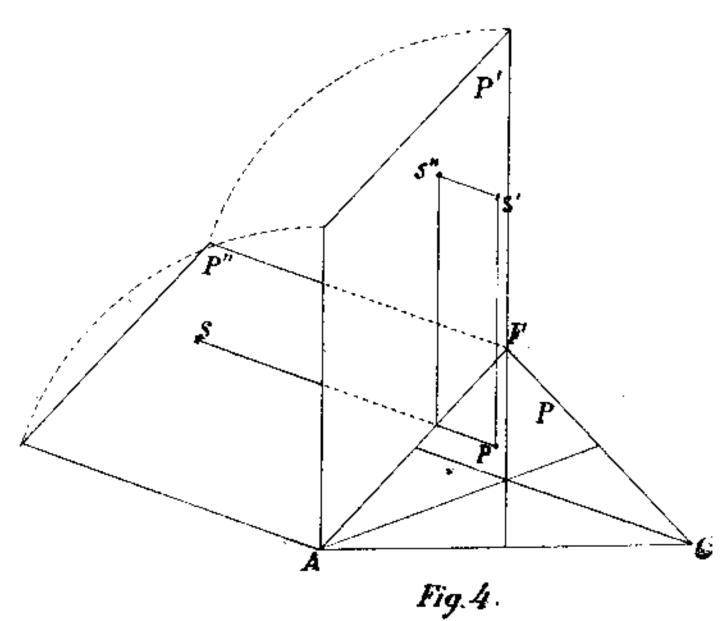
Explicaremos por fin algunos otros métodos de proyección, que también pueden dar una buena idea sobre la composición químico-mineralógica de las rocas. No entrando en la descripción de unos métodos especiales, que usó F. Becke con tan buen éxito en su trabajo "Die Eruptivgebiete des böhmischen Mittelgebirges und der amerikanischen Andes," (1) tenemos que mencionar y describir el método de este autor para la proyección de la sílice de las rocas.

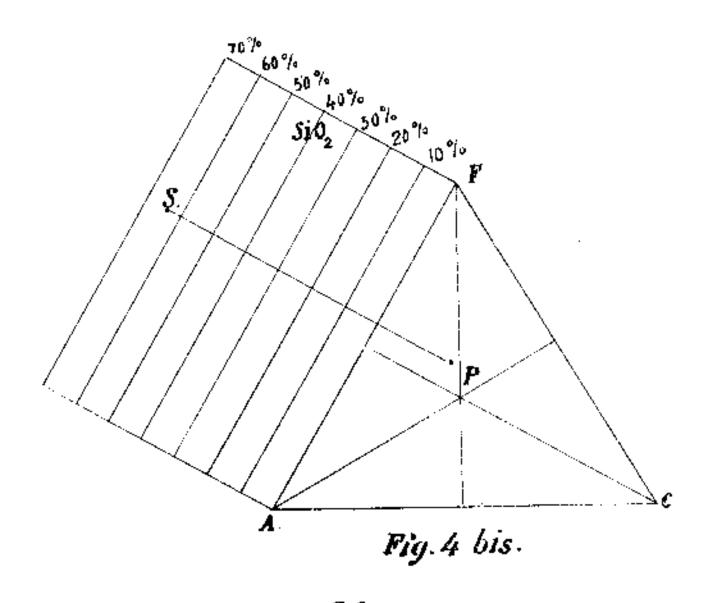
En el interior del triángulo de Osann no puede ser proyectado otro cuerpo más. Sería necesario una proyección estereográfica para este objeto, pero eso tiene sus dificultades para el dibujo y para la vista del conjunto de un número mayor de proyecciones. El método de Becke es el siguiente: Levantando en el triángulo P en el punto p de la fig. 4, que es la proyección de una roca según el método de Osann, una perpendicular de una longitud en milímetros, correspondiente á la cantidad de porcientos moleculares de SiO₂ (pS') y proyectando esta línea sobre el plano perpendicular P' sobre el lado AF del triángulo, obtendremos el punto S''. En seguida, haciendo girar 90° este plano P' sobre el lado del triángulo como eje, de manera que el plano P'' quede en el plano del triángulo P, pero fuera de éste, resulta la proyección definitiva de la cantidad de SiO₂ en el punto S.

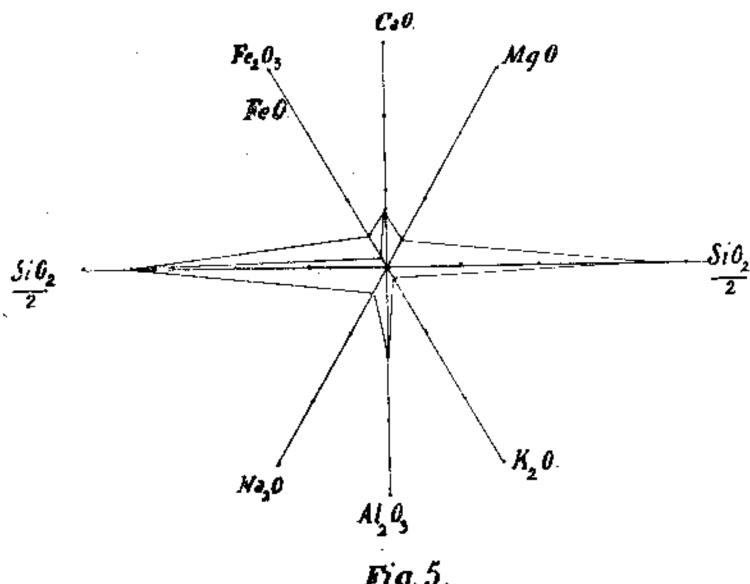
Una vez conocido este modo de proyección se ve que no hay necesidad de seguir la construcción anterior, sino solamente basta construir la perpendicular de la proyección de la roca p en el triángulo de Osann sobre el lado AF y partiendo de esta base AF, que prolonga la perpendicular hacia fuera en milímetros correspondientes

^{·(1)} T. M. P. M. Bd XXII. Wien, 1903, pág. 209.









á la cantidad de porcientos moleculares de SiO₂ de la roca. (Fig. 4 bis.)

Podemos naturalmente dar estas dos proyecciones juntas ó separadas según el tamaño del triángulo de Osann que se publique y el tamaño de la página de la publicación.

Michel-Lévy inventó otro método de proyección y Brögger lo modificó. En esta proyección se hace uso de un sistema de coordenadas rectangulares con 4 radios con inclinación de 60° con respecto al eje (ordenada) vertical fig. 5.

Se distribuyén los porcientos moleculares de SiO₂, en milímetros, en el eje horizontal (abscisa) por partes iguales á uno y otro lado del centro y los porcientos moleculares de los otros "elementos petrográficos" del modo que indica la figura. Uniendo todos estos puntos con líneas rectas, resultan diagramas característicos de las diferentes rocas. Respecto á este método dice Doelter (l. c). "Esta proyección ofrece una vista clara de conjunto, porque demuestra al momento la relación de la cantidad de ácido silícico (Acidität) de la roca: Un diagrama alargado en dirección horizontal es típico para una roca ácida, uno corto en esta dirección para una roca básica; Las rocas sálicas (leucócratas) tienen figuras con la parte superior baja, las fémicas (melanócratas) una parte superior alta. Las rocas que contienen mucha sosa y alúmina resultan con diagramas que están alargados en la parte inferior; en suma, por estas figuras se puede ver y valuar con facilidad la composición química y, si la proyección es exacta, se puede directamente leer la composición por ciento." (1)

La andesita del Volcán de Colima, que ya varias veces nos ha servido como ejemplo, tiene el diagrama que presenta la fig. 5.

La desventaja de esta proyección típica es, que ocupa mucho lugar en el caso que hay que comparar un número crecido de rocas, y por eso pierde mucho en claridad y en vista de conjunto. Pero para la comparación de tipos extremos será siempre este método muy característico, lo mismo que para la comparación de una serie limitada de rocas, que estén intimamente relacionadas, para enseñar el paso lento de unas á otras.

Nos hemos ocupado en este corto estudio sobre todo del método de Osann, no solamente porque este método, muy práctico, es el más usado actualmente y ofrece por eso y por el número enorme de análisis que sirvió á Osann como base para el desarrollo de su método,

⁽¹⁾ Doelter, "Petrogenesis" p. 66.

un vasto material de comparación, como ningún otro, sino también porque es hasta ahora el único método que ha servido para la comparación de las pizarras cristalinas. (1) U. Grubenmann (2) adoptó el método de Osann en este sentido, haciéndole solamente unas pocas modificaciones. Su modo de calcular es en pocas palabras el siguiente:

S. porcientos moleculares de SiO₂,

A suma de los porcientos moleculares de los álcalis, que se unen con la alúmina en relación 1:1,

C porcientos moleculares de CaO, que se unen con el resto de la alúmina,

S suma de los porcientos moleculares de FeO, MnO, MgO y del resto de CaO, que queda después de haber formado C.

a, c, f, n y k tienen como los anteriores la misma significación que las de Osann.

M resto de CaO que después de haber formado Centra en F.

T resto de la alúmina, que después de la formación de A y C puede sobrar.

"Die kristallinen Schiefer," Berlin 1907. If Teil påg. 12 y siguientes.



⁽¹⁾ Compárese: Osann I. c. T. M. P. M. XXII. Wien. 1903. pág. 352.

⁽²⁾ U. Grubenmann: "Principien und Vorschläge zu einer Klassifikation der kristallinen Schiefer" Compte rendu de la Xème. Session du Congrés Géologique International. México 1907. Hème. fasc. pág. 961.