Tesis de Posgrado



Aleaciones: El bronce calchaquí



1909



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:

Sanchez Díaz, P. Abel. (1909). Aleaciones : El bronce calchaquí. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0064_SanchezDiaz.pdf

Cita tipo Chicago:

Sanchez Díaz, P. Abel. "Aleaciones : El bronce calchaquí". Tesis de Doctor. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 1909.

 $http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0064_SanchezDiaz.pdf$





Facultad de Ciencias Exactas y Naturales



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

ALEACIONES EL BRONCE CALCHAQUÍ

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR EN QUÍMICA

POR

P. ABEL SÁNCHEZ DÍAZ

Farmacéutico: profesor suplente en ejercicio de Química general en la Universidad Nacional de La Plata: Prosecretario del Museo de La Plata Ex químico ayudante de la Oficina Química Nacional

--- 1/04011

BUENOS AIRES IMPRENTA DE CONT HERMANOS 684, PERÉ, 684

1909

UNIVERSIDAD NACIONAL DE BUENOS AIRES

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

ACADÉMICO HONORARIO

ING. GUILLERMO WHITE.

ACADÉMICOS

Ing. Santiago Brián.

D' JUAN J. J. KYLE.

- » RAFAEL RUÍZ DE LOS LLANOS.
- » MANUEL B. BAHÍA.

Ing. Otto Krause.

- » JUAN F. SARHY.
- » Luis A. Huergo.
- » EDUARDO AGUIRRE.
- » Emilio Palacio.
- » Julián Romero.

D' EDUARDO L. HOLMBERG.

- » CARLOS M. MORALES.
- » Angel Gallardo.
- » ATANASIO QUIROGA.
- » Ildefonso P. Ramos Mejía.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE BUENOS AIRES

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

Decano: ING. OTTO KRAUSE

Vicedecano: Ing. Juan F. Sarhy

CONSEJEROS

ING. LUIS A. HUERGO.

- » Eduardo Aguirre.
- » EMILIO PALACIO.
- » Julián Romero.
- » Luis J. Dellepiane.
- » EDUARDO LATZINA.
- » Agustín Mercau.
- Dr Carlos M. Morales.
- » Atanasio Quiroga.
- » Ildefonso P. Ramos Mejía.
- » Angel Gallardo.

Ing. Julio Labarthe.

» LORENZO AMESPIL.

Secretario: Ing. Pedro J. Coni

		I

DOCTORADO EN QUÍMICA

PROFESORES TITULARES

Quimica Analítica	Dr Eurique Herrero Ducloux.
Físico-Química	Dr Horacio Damianovich.
Zoloogía	Dr Angel Gallardo.
Microbiología	Ingo Agro L. Hauman Merek.
Química Orgánica	Dr Julio J. Gatti.
Física General	Ingo José A. Medina.
Bolánica, Primer curso	Dr Eduardo L. Holmberg.
Botánica, Segundo curso	Dr Cristóbal M. Hickon.
Complementos de Química	Dr Enrique J. Poussart.
Complementos de Física	Dr Manuel B. Bahía.
Complementos de Matemáticas	Dr Ignacio Aztiria.
Dibuis lineal	Anno Dioundo I Munts

DOCTORADO EN QUÍMICA

PROFESORES SUPLENTES

Química Analítica	Dr Jacinto T. Raffo. Dr Angel Sabutini.
Físico-Química	Dr Federico W. Gándara.
Zoología	Sr Horacio Arditi. Sr Juan Nielsen.
Microbiología	Dr Pedro T. Vignau.
Química Orgánica	Dr Guillermo F. Schaefer. Dr Atilio A. Bado.
Física General	Ing. Agustín Delgado.
Botánica	Sr Eugenio Autran. Sr Augusto C. Scala.
Complementos de Química	Dr Francisco P. Lavalle. Sr Marcos M. Gutiérrez.
Complementos de Física	Ingo Guillermo E. Cock. St Juan N. Hubert.
Complementos de Matemáticas	Ingo Rodolfo Santangelo.
Dibujo lineal	Ingo Alfredo Oliveri.



PADRINO DE TESIS

\mathbf{D}^{p} ENRIQUE HERRERO DUCLOUX

Á LA MEMORIA DE MI PADRE

Á MI MADRE Y HERMANOS

Señores consejeros, Señores profesores:

Al dedicarme á investigar la naturaleza química de aleaciones indígenas, he tenido el propósito de cooperar á la aplicación científica de nuestra especialidad, á una ciencia que tiene entre nosotros numerosos y distinguidos cultores: la arqueología, tratando de dilucidar una cuestión que ha sido objeto de encontradas opiniones.

Los conocimientos de la química tienen constante aplicación en el dominio de las ciencias naturales, ya sea contribuyendo á estudiar las propiedades y composición de los principios que se encuentran formados en los reinos animal y vegetal, ó ya ayudando en la tarea de investigación científica en la que el mineralogista y el geólogo, secundados por el químico, obtienen la revelación de la naturaleza de los elementos que constituyen las rocas y determinan la constitución de los minerales ó de los productos originados por efecto de fenómenos geológicos diversos.

Con este trabajo, emprendido sin la pretensión de realizar una obra completa ni un estudio original, me propongo además demostrar que los conocimientos químicos no son menos eficaces cuando se aplican á la arqueología, rama de las ciencias naturales en la cual mis maestros Kyle, Arata, Herrero Ducloux y otros, por medio de investigaciones realizadas anteriormente en la República, pusieron en evidencia la importancia de esta cooperación, y en la que tanto campo de acción se ofrece al analista para el estudio de los numerosos objetos de alfarería, etc., que se hallan diseminados en los museos y colecciones particulares.

Presento mi tesis bajo el patrocinio del doctor Enrique Herrero Ducloux. Honor es este para mí, que obliga más aun mi gratitud hacia el querido profesor y consejero de todos los instantes, cuyo concurso ha sido mi mayor auxiliar y el más poderoso estímulo con que he contado para perseverar en el estudio.

Agradezco la gentileza con que los señores Samuel A. Lafone Quevedo y Juan B. Ambrosetti pusieron á mi disposición el material que pudiera interesarme, existente en los museos Nacional de La Plata y Etnográfico de la Facultad de Fisolofía y Letras, que respectivamente dirigeu.

Mi reconocimiento hacia mi distinguido amigo don Félix F. Outes que me suministró muchas informaciones de interés referentes al tema que desarrollo; como igualmente á don Agustín Barbagelata, director de la Oficina Química Nacional, quien ha facilitado mi tarea permitiéndome realizar en el laboratorio de la repartición á su cargo, la parte analítica de esta monografía.

Desco, también, consagrar en estas páginas un recuerdo á la memoria del que fué director de la expresada oficina, doctor Luis Ruíz Huidobro cuyo empeño en pro de la orientación práctica de nuestros estudios, no hemos de olvidar los que tuvimos el honor de trabajar bajo su dirección.

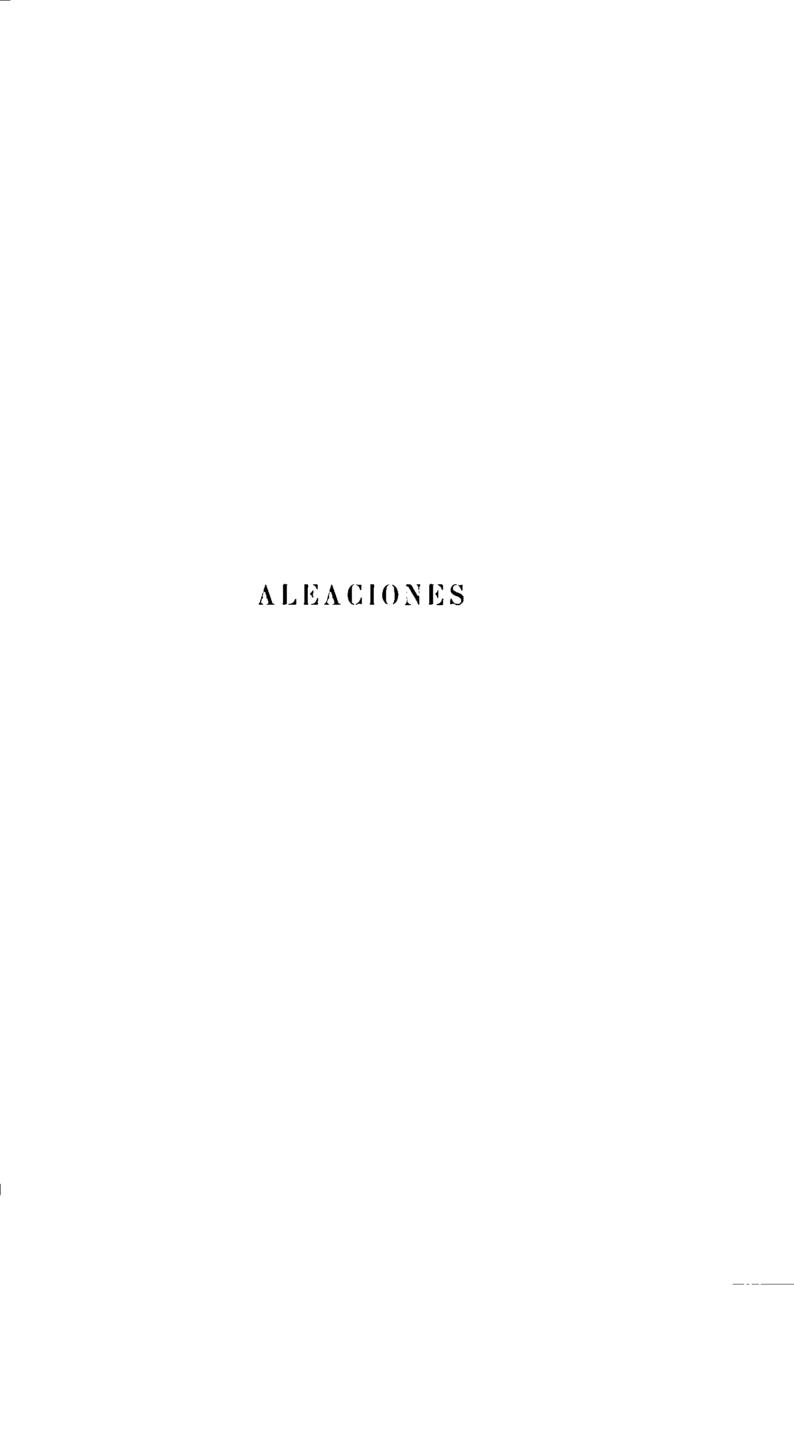
Unida á la satisfacción que experimento al obtener el diploma á que aspiraba, embarga mi ánimo la emoción inevitable con que me despido de los que en esta casa quedan dedicados á su noble tarea: mis maestros. Durante los años que fuí alumno, ellos han tratado de inculcar en mí el amor al estudio y al trabajo; hoy, al comenzar el recorrido del incierto camino de la profesión en que me inicio, siento la firme voluntad de inspirarme siempre en su constante ejemplo de laboriosidad, de abnegación y de cariño por la ciencia.

INTRODUCCIÓN

Al desarrollar el tema que estudié, he dividido el trabajo en dos partes.

En la primera he tratado de las aleaciones en general, de sus propiedades físicas y mecánicas más notables, relatando las investigaciones modernas hechas sobre el particular y he señalado también la importancia y progresos de la metalografía microscópica que de tan eficaz manera coopera al conocimiento de la estructura de los metales y aleaciones. El estudio de éstas, con sus últimos adelantos debidos á la físico-química por la aplicación de la « ley de las fases » que permite construir las curvas de fusibilidad, constituye sin duda uno de los capítulos más interesantes de la química inorgánica, y muy olvidado en general, en los tratados de química.

En la segunda parte, precedidos de algunos antecedentes sobre los habitantes de la región Calchaquí, transcribo los análisis efectuados hasta la fecha, de objetos pertenecientes á los indígenas de esa zona y agregando los que yo he realizado, reuno los elementos suficientes para poder deducir las conclusiones expresadas al final.



GENERALIDADES

Dentro de los cuerpos simples designados con el nombre de metales y que llegan al número de sesenta, muy pocos son los que solos, aislados, presentan un conjunto de propiedades necesarias para poder ser utilizados por la industria y que respondan á sus exigencias múltiples y variadas.

Pero á un metal se le pueden agregar otros cuerpos simples — metales también ó metaloides en muchos casos — que incorporados en proporciones diversas, modifican notablemente sus propiedades, obteniéndose productos homogéneos, de apariencia metálica, que constituyen las *aleaciones* y es sólo bajo esta forma que algunos metales como el bismuto, manganeso, eromo, vanadio, etc., son empleados en la industria metalúrgica.

Las aleaciones (1) son, por consiguiente, productos de aspecto metálico que contienen un metal y uno ó varios otros cuerpos simples, definición general que permite incluir entre ellas á los aceros y fundiciones (aleaciones de hierro y carbón) cuyo estudio y aplica-

(1) J. CAVALLER, Leçons sur les alliages métalliques, 17. París, 1909.

ciones tienen tanta importancia que constituyen la base de una ciencia nueva : la siderología, que á diario progresa de un modo muy notable.

Su número es considerable, puede decirse que ilimitado, considerando la cantidad bastante grande de metales utilizables para su producción, pero la preparación de una alcación sólo ofrece interés en el caso de que ella presente propiedades correspondientes á un uso determinado; en consecuencia, el número de aleaciones usuales está limitado por la naturaleza misma de las propiedades que ellas deben poseer desde el punto de vista de sus aplicaciones industriales : unas deben ser muy duras y otras han de tener una gran maleabilidad; muchas son empleadas á causa de su bajo punto de [fusión y otras deben poseer una notable clasticidad, todo lo cual sólo puede conseguirse por la unión de metales convenientemente elegidos y en proporciones determinadas experimentalmente, pues la acción de ellos entre sí varía dentro de muy separados límites: algunas veces un metal puede agregarse á otro en cualquier cantidad, sin modificar notablemente sus propiedades, mientras que en otras circunstancias, una pequeña cantidad de un segundo metal cambiará completamente los caracteres del primero (1).

⁽¹⁾ F. Tassilly, Étude des propriétés des alliages métalliques, 2. Paris, 1904.

Efectivamente, la presencia de uno por mil de arsénico en el cobre, altera su conductibilidad eléctrica al punto de no poder emplearlo en la fabricación de cables eléctricos; es suficiente uno por mil de arsénico, de bismuto, de antimonio, de cobalto ó de niquel, para modificar sensiblemente las propiedades mecánicas del cobre (1).

(1) J. BUÇHETTI, Les alliages métalliques et leur métallographie, 10. Paris, 1905.

CONSTITUCIÓN DE LAS ALEACIONES

Durante mucho tiempo se ha discutido la cuestión de saber si las aleaciones son combinaciones definidas ó simples mezclas de los metales que las constituyen, y la misma observación de los hechos ha contribuído en buena parte á mantener esta duda.

En efecto, mientras en muchos casos la composición de las aleaciones de dos ó más metales puede experimentar variaciones de una manera continua, estando en oposición á la ley de las proporciones definidas y siendo, por consiguiente, incompatible con la existencia de combinaciones, en otras circunstancias la aleación resultante de la unión de dos ó más metales, adquiere propiedades tan diferentes de las de estos últimos, que parece más lógico sostener la hipótesis de que ellas son verdaderas combinaciones y no simples mezclas.

De ahí, pues, que se haya tenido especialísimo interés en dilucidar tan importante cuestión, que no tiene absolutamente la simplicidad con que acabo de establecer los términos en que se plantea; es un asunto mucho más complejo.

En primer lugar, aunque existe una homogeneidad en las aleaciones, ella sólo es aparente y así debe ser sin duda, desde el momento que, considerándola como el resultado de la reunión de metales, su estructura debe, al menos en parte, reflejar la de estos últimos y bien sabido está que un trozo de metal, de cobre puro por ejemplo, es, en general, un conglomerado de cristales muy pequeños, microscópicos, frecuentemente mal formados, y que según sea la manera cómo se hallan agrupados, pueden hacer variar de modo diferente las propiedades, particularmente las mecánicas, del elemento simple que constituyen.

Pero si por el motivo señalado las aleaciones deben estar constituídas por pequeñísimos cristales, hay que hacer notar que, mientras que en un metal puro esos cristales son todos idénticos en cuanto á su naturaleza química y que sólo varían sus dimensiones y la orientación, en una aleación ellos tienen á menudo una naturaleza química diferente, lo que establece en las aleaciones y las rocas, en cuanto á su estructura, una estrecha analogía, pues si éstas resultan de la yuxtaposición de diferentes especies mineralógicas, aquéllas son el resultado de la unión de varios elementos dotado cada uno de su especial estructura.

Esta heterogeneidad de la naturaleza química de

los cristales y que en términos generales puede decirse que es común á todas las aleaciones, tiene una explicación sencilla. Fundiendo varios metales conjuntamente, se obtiene una masa líquida homogénea que con frecuencia se mantiene como tal, aun en el caso de variar como se quiera las proporciones de cada uno de ellos, de manera que hay una miscibililidad completa al estado líquido; ahora bien, por enfriamiento de esta solución líquida homogénea, salvo casos muy raros, los primeros cristales que se depositan no tienen una composición análoga á la de la solución madre que se conserva todavía fundida, y manteniéndose el enfriamiento y continuando la solidificación, cuando la masa se halle enteramente solidificada, estará formada por la yuxtaposición de cristales diferentes que se habrán producido á distintas temperaturas.

Es lo que sucede en el caso de una solución diluída de agua y sal común (conteniendo menos de 29%, de NaCl) que enfriada suficientemente, deja depositar en primer término cristales de hielo puro y después, una mezela (eutéctica) de hielo y sal, formada por granos muy pequeños; la masa sólida obtenida y que estará constituída por los dos enerpos puros, se ve que es heterogénea en la generalidad de los casos: los cristales de hielo que se han formado primero son más livianos que la solución y en consecuencia, se les encontrará en la parte superior, mientras que la mez-

cla eutéctica solidificada posteriormente y de mayor densidad, ocupará la parte inferior.

Análogo á esto es lo que acontece con las soluciones metálicas pero no de un modo tan notable; la separación mecánica de los cristales diferentes es mucho menos acentuada por la doble razón de que los granos cristalinos que se forman, son siempre sumamente pequeños y porque están además mezclados con un líquido que no tiene la fluidez de la solución anterior; ello hace que su desplazamiento sea mínimo, y especialmente cuando el enfriamiento es rápido, casi puede decirse que los cristales quedan en el sitio en que se han formado y repartidos bastante uniformemente en la masa de la aleación sólida, comunicándole una aparente homogeneidad.

Resumiendo, puede decirse que las aleaciones metálicas son agregados cristalinos constituídos por elementos muy pequeños, que pueden ser idénticos ó de varias especies diferentes.

Para realizar el estudio completo de una aleación es menester determinar su constitución química, es decir, la naturaleza y la proporción de los metales mezclados, la naturaleza de las combinaciones diversas y de las mezclas isomorfas que ellos forman y, en fin, el estado químico de esas distintas materias: estado cristalizado ó amorfo, con sus diferentes variedades alotrópicas; y su estructura ó constitución físi-

ca ó sea la forma, dimensiones y disposición de los diversos cristales, de las diferentes aglomeraciones elementales cuya reunión constituye la masa sólida y compacta del metal (1).

Como se ve, es un estudio complejo análogo al que se hace con otros productos que son también agregados sólidos, tales como las rocas, y que por consiguiente, no puede llevarse á cabo aplicando solamente los métodos comunes del auálisis químico, si no con ayuda de otros procedimientos de investigación: el examen microscópico y el estudio de las propiedades físicas (solidificación, calor específico, densidad, dilatación, conductibilidad, etc.) y mecánicas (resistencia, dureza, etc).

⁽¹⁾ II. LE CHATELIER, Les alliages métalliques, en Revue générale des sciences pures et appliquées, V1, 530. Paris, 1895.



METALOGRAFÍA MICROSCÓPICA

En las usinas metalúrgicas, para seguir la marcha de las operaciones y efectuar la clasificación de los productos obtenidos, se toma como guía el examen de la fractura de las aleaciones, cuyo aspecto depende de la estructura física y corresponde á ciertas propiedades mecánicas, y cuando tales observaciones son hechas por prácticos especiales, pueden obtenerse buenos resultados; pero el método, aun en el mejor de los casos ó practicado en las mejores condiciones, no pasa de ser aproximado, no pudiéndose hacer descripciones exactas ni definiciones precisas, como tampoco es posible fijar sobre papel el resultado de la observación, lo que impide la realización de estudios sistemáticos y, en consecuencia, no permite la deducción de conclusiones generales de orden científico.

La aplicación del miscroscopio, hecha por primera vez por Sorby en 1864, resolvió de modo admirable dichos inconvenientes, creándose entonces la « metalografía microscópica », sobre la cual se ha publicado hasta la fecha tan gran número de memorias relatando los incesantes progresos que realizara, que no permiten dudar de su importancia como medio de investigación y de control.

La metalografía microscópica se basa en el siguiente principio (1): Cuando se pouen en presencia al estado fundido dos metales, pueden producirse diferentes casos:

- 1° Los dos metales pueden disolverse;
- 2" Los dos metales pueden combinarse y dar nacimiento á un compuesto perfectamente definido;
- 3º Los dos metales pueden mezclarse mecánicamente;
- 4º Los dos metales pueden originar una combinación química, que á su vez puede disolverse en uno de los metales.

Ahora bien, las propiedades mecánicas de las diferentes aleaciones dependen esencialmente del estado en que se encuentran los diferentes elementos que las constituyen; y es el metalográfico, seguramente, entre todos los procedimientos, el que permite el estudio de la constitución de las aleaciones más rápidamente y quizá el más preciso, teniendo por objeto mostrar los diferentes constituyentes de un producto metalúrgico.

⁽¹⁾ L. Guillet, Étude théorique des alliages métalliques, 66. Paris, 1904

El nuevo método de investigación, que tiene estrecha relación con la petrografía ó estudio de las rocas, por los procedimientos que en ambos se emplean, como muy bien lo hace notar Hiorns en su libro sobre Metalografía (1), en síntesis consiste en preparar una superficie plana y pulida del metal ó aleación á examinar, dando luego distintas apariencias á los diferentes elementos que la constituyeu, utilizándose con tal objeto su variable resistencia á la acción que sobre ellos tienen ciertos reactivos químicos ó agentes de ataque, convenientemente elegidos; finalmente se examina con el microscopio la superficie así preparada y, en la mayoría de los casos, se saca una fotografía empleando aumentos diversos, sin entrar á describir aquí la técnica operatoria que se emplea para efectuar dichas manipulaciones.

Osmond, según cita Jüptner (2), ha establecido en una forma muy curiosa el objeto de la metalografía, diciendo que en el estudio de los metales deben establecerse varias subdivisiones muy análogas á las de la ciencia médica, hablando así de metalografía auátomo-histológica, biológica y patológica. La primera se propone distinguir y definir los diversos

⁽¹⁾ ARTHUR II. HIORNS, Métallographie, Introduction à l'étude de la structure des métaux, principalement à l'aide du microscope, 6. Paris 1902.

⁽²⁾ Hanns Baron von Jüptner, Éléments de sidérologie, 1, 69. Paris, 1905.

constituyentes que puede contener una aleación, valiéndose de sus caracteres físicos (color, brillo), químicos (resistencia á los reactivos ó formación de patinas), mecánicos (resistencia al desgaste y al rayado); describir las formas, cristalinas ó no, medir sus dimensiones absolutas ó relativas y examinar las superficies de fragilidad (junturas ó clivajes) que dividen los cristales ó que separan unos de otros.

La segunda subdivisión tiene por objeto investigar cómo se relacionan la composición, las formas y las dimensiones de los diversos constituyentes, determinadas en una muestra dada, con las condiciones del tratamiento calorífico ó mecánico que ha podido sufrir la aleación considerada, durante el curso de su fabricación ó de su empleo.

La tercera subdivisión estudia la influencia de los defectos ó fallas del tratamiento y la de la presencia de las impurezas que constituyen, por así decirlo, una diátesis particular. Y concluye manifestando que después de haber estudiado las diátesis y las enfermedades de los metales, es menester perfeccionar en cuanto sea posible, los medios de evitarlas ó curarlas para asegurar así la conservación y estabilidad de nuestras construcciones, á cuyo fiu nos ofrece la metalografía un nuevo método de diagnóstico, por procedimientos que se perfeccionan de día en día y cuya utilidad se hace cada vez más manifiesta.

El procedimiento metalográfico es el único que

permite conocer con precisión la estructura de una aleación: el tamaño de los cristales y su entrecruzamiento, lo que tiene la más grande importancia desde el punto de vista de sus propiedades mecánicas, que pura y exclusivamente depende de la estructura.

Además, y es otra de las grandes ventajas de este método de investigación, puede revelar la composición química elemental (1), es decir, que, realizado el análisis inmediato de una aleación, ó sea la investigación de la naturaleza y de las proporciones de los cuerpos simples contenidos en ella, y que con los progresos de la química constituye ahora un problema que puede resolverse fácilmente y con gran exactitud, por los excelentes métodos generales de dosajes que posee, particularmente tratándose de productos metalúrgicos, la metalografía microscópica permite hacer el estudio elemental de la misma, determinando la manera cómo esos elementos simples se hallan asociados en el complejo metálico ó estableciendo los compuestos definidos que éste contiene; estudio que

⁽¹⁾ Merece citarse aquí el método analítico ideado por MAX BERMANN de Budapest (Revue générale des sciences, XX, 655. París, 1909), y reivindicado por M. E. Demozay (Revue générale des sciences, XX, 728. París, 1909) que utiliza los caracteres de las chispas producidas por el pulimento de las piezas, con esmeril 6 carborundum. El método, aplicado á productos siderúrgicos complejos, es de una notable sensibilidad y de una precisión admirable; es de esperar que alguna modificación feliz permita utilizar este método en el análisis de las aleaciones en general.

en su mayor escala se ha hecho con los aceros ó aleaciones de hierro y carbón, conteniendo de 0 á 2 por ciento de carbono, alcanzando notables progresos, pues ha sido posible descubrir y caracterizar, por simples ataques con ácido pícrico y con picrato de sodio en solución alcohólica, la existencia de la perlita, ferrita y cementita que son verdaderas combinaciones de Fe y C en proporciones diferentes.

Aplicando este procedimiento de análisis á determinadas clases de aleaciones y estableciendo luego, como resultado de observaciones sistemáticas y comparadas, conclusiones exactas, puede dar datos analíticos cuantitativos muy aproximados; por ejemplo, si se trata de un acero del que se sabe que sólo contiene hierro y carbón, y se hace de él un exameu micrográfico, al revelar su observación la existencia de cementita, puede deducirse que el acero contiene más de 0,85 por ciento de carbono; la presencia de ferrita denotaría al contrario, que tal proporción es inferior á la expresada, lo que constituye un dosaje muy rápido y bastante seguro, especialmente si se considera desde el punto de vista industrial.

En el caso de su aplicación al estudio de los bronces, ha dado eficaces resultados, como lo expresan Giolitti y Tavanti en un artículo (1) publicado á

⁽¹⁾ F. GIOLITTI y G. TAVANTI, Sulle leghe di rame e stagno, en Gazzeta chimica italiana, 11. fascículo 111, 210. Roma, 1908.

fines del año pasado, en el que hacen un estudio importante interpretando la estructura de la aleación binaria fundamental de cobre y estaño, y dando la explicación de algunos fenómenos que acompañan su formación, al refutar en parte un trabajo sobre el mismo asunto hecho en 1904 por Heycock y Neville; manifiestan aquellos autores, que les prestó gran ayuda la aplicación del método de la metalografía microscópica y que en varios casos los resultados obtenidos por este procedimiento, permitieron corregir las deducciones erróneas á que hubieran sido conducidos inevitablemente por el empleo de los métodos térmicos, aplicados aisladamente.

Los estudios de la microestructura de los bronces son numerosos y han sido realizados por eminentes especialistas. Así Behrens (1) dice que las aleaciones que contienen de 2 á 6 por ciento de estaño, están constituídas por una red de hilos amarillentos implantados en un fondo ó metal de color rojo; los bronces de 8 á 15 por ciento de estaño contienen grupos dendríticos y cruciformes de cristales cúbicos, de un color que varía del naranja al amarillo y diseminados en una pasta homogénea de un color amarillo claro. Con 15 á 20 por ciento de estaño la pasta es casi blanca, los cristales están coloreados de amarillo claro, dispuestos según líneas que se cruzan

⁽¹⁾ HIORNS, Ibid., 143.

unas á otras en ángulo recto, y son muy pequeños. La pasta es siempre más dura que los cristales; cuando es blanca, su dureza es superior á cuatro y presenta también mayor resistencia á la acción de los disolventes.

PROPIEDADES FÍSICAS

El estudio de las propiedades físicas de las aleaciones presenta frecuentemente un interés práctico inmediato para las aplicaciones industriales que de ellas se hacen (para conductores eléctricos, resistencias, imanes; aleaciones livianas, no dilatables, de bajo punto de fusión, etc.).

Dicho estudio tiene aún otro interés señalado (1): el conocimiento de las propiedades físicas puede servir ó ayudar á determinar la constitución de las aleaciones. Desde este punto de vista y de una manera muy general, toda propiedad puede dar lugar á dos series de investigaciones: 1º Estudio de las aleaciones de « composición variable, á una temperatura fija » (la temperaturas ordinaria, por ejemplo); si la curva que representa la propiedad en función de la composición unuestra cambios bruscos de dirección, estos pueden indicar una alteración de la estructura, la aparición de un constituyente, haciendo prever la exis-

⁽I) CAVALIER, Ibid., 159.

tencia de combinaciones; 2º Estudio de una aleación de « composición determinada, á diferentes temperaturas »; en general, una propiedad cualquiera varía regularmente con la temperatura, pero si por el contrario, la curva representativa posee pliegues ó puntos angulosos, se puede deducir la existencia de transformaciones que se efectúan á las temperaturas correspondientes.

De lo que antecede puede deducirse la importancia que tiene la determinación de las propiedades físicas de las aleaciones; indicaré en general algunas de ellas.

Conductibilidad eléctrica. — Parece a priori que en el caso de las aleaciones constituídas por la yuxtaposición de cristales de los dos metales que las forman, la conductibilidad debe ser la suma de las conductibilidades propias de las cantidades de los dos metales que entran en la aleación (1). Esta consecuencia se verifica, según las experiencias de Mathiessen, para un cierto número de aleaciones cuya curva de conductibilidad está formada por la recta que une la de los dos metales tomados al estado de pureza, como es el caso de las aleaciones Zn-Cd; Cd-Sn; Sn-Pb; etc.

Pero en general la conductibilidad de las aleaciones es muy inferior á la que podría calcularse por la regla de las mezclas y además, basta la adición de muy pe-

⁽¹⁾ LE CHATELIER, Les alliages, etc.

queñas cantidades de un metal á un exceso de otro para producir un notable descenso en la curva representativa de esta propiedad; y en otros casos se observa una irregularidad mayor aún, pues para una cierta composición se nota un aumento de la conductibilidad y en tales circunstancias, la curva presenta un máximo anguloso que parece corresponder á una combinación definida, como acontece con los bronces.

Según Le Chatelier, el estudio de las conductibilidades eléctricas permite aún caracterizar de una manera clara las transformaciones alotrópicas que sufren los metales bajo la influencia de una elevación de temperatura; cada variedad alotrópica posee en efecto, una curva de conductibilidad distinta en función de la temperatura, y el punto de intersección de las curvas dos á dos, da la temperatura de transformación de esas variedades.

En general, la conductibilidad eléctrica de un metal disminuye cuando la temperatura aumenta y la curva representativa de la propiedad sube regularmente: es el caso del platino puro, la curva es una recta ascendente pues la variación es continua porque el metal conserva la misma constitución. Pero si por el contrario, á una cierta temperatura se produce una transformación en la aleación, á la nueva constitución debe corresponder otra rama de curva formando un ángulo con la primera, de manera que todo cambio brusco de dirección en la curva de las resistencias.

indicará una temperatura de transformación. Tal es lo que se desprende de los estudios de Le Chatelier y publicados en 1901 (1).

Fuerza electromotriz de disolución. — Está basada en el siguiente principio general: Sea una pila, uno de cuyos polos es una aleación de dos metales A y B y el otro polo es uno de los metales puros A, utilizando como electrolito una solución conteniendo el ión A (una sal de A); mídese entonces la fuerza electromotriz de la pila así formada:

Aleación A-B Electrólito A Metal A

y construyendo la curva cuyas coordenadas son la fuerza electromotriz y la composición de la aleación, se observa que ella depende de la constitución de ésta última.

El estudio de la fuerza electromotriz de disolución de las aleaciones da en esa forma indicaciones bastante exactas sobre la existencia de las combinaciones definidas, contribuyendo así á completar el conocimiento total de la estructura de las mismas. En efecto, si los cristales de los diferentes metales están simplemente yuxtapuestos, sin ninguna mezcla química, la fuerza electromotriz observada es, para todas las com-

^{(1) 11.} LE CHATELIER. Sur la résistance électrique des alliages, en Contribution à l'étude des alliages, publicada por la Société d'encouragement pour l'industrie national, 414. Paris, 1901.

posiciones, la del metal más fácilmente atacable; si se forma una combinación definida, la fuerza electromotriz del metal más fácilmente atacable no se observa nada más que para las proporciones de ese metal en la aleación, superiores á la que corresponde á la combinación definida: para esta composición se produce un cambio brusco en el valor de la fuerza electromotriz (1).

Es un procedimiento que ha dado hasta ahora resultados no muy satisfactorios porque su aplicación presenta dificultades que pueden explicar las discordancias obtenidas por autores diferentes.

el principio siguiente: Si se sueldan por sus extremidades dos hilos metálicos y se llevan las dos soldaduras á temperaturas diferentes, en el circuito así constituído se origina una fuerza electromotriz que depende de esas temperaturas; si se forman entonces circuitos semejantes asociando un mismo metal puro y aleaciones de composición variable, operando á idénticas temperaturas, por ejemplo, manteniendo una de las soldaduras á 0° y la otra á 200°, la fuerza electromotriz varía de una manera considerable con la composición; y puede construirse entonces la curva que da á aquella en función de la temperatura, midiéndose por medio de galvanómetros la fuerza elec-

⁽¹⁾ LE CHATELIER, Les alliages, etc., 533.

tromotriz que corresponde á las temperaturas crecientes y diferentes que se hace sufrir á una de las solduras, manteniendo constante la temperatura de la ofra.

Este método, que ha sido sobre todo aplicado á los aceros, es relativamente muy reciente, de manera que no ha sufrido aún una experimentación suficiente y generalizada para poder deducir de él, datos de interés para el estudio de la constitución química de las aleaciones y las transformaciones alotrópicas que son capaces de experimentar los metales que las constituyen.

Algo análogo sucede con las propiedades magnéticas de las aleaciones, de las que sólo han sido estudiadas las de los tres metales fuertemente magnéticos (hierro, niquel y cobalto) y sus aleaciones.

Densidad. — Desde el punto de vista de su ayuda para estudiar la composición de la aleaciones, la determinación de la densidad no ha producido hasta ahora resultados interesantes. Ella puede calcularse teóricamente del siguiente modo: supongamos una aleación formada por dos metales M_1 y M_2 que contiene las cantidades p_1 y p_2 , respectivamente, de cada uno de ellos y cuya suma $p_1 + p_2$ fuese igual á 100; se puede escribir que el volumen del cuerpo compuesto es igual á la suma de los volúmenes de los componentes:

$$\frac{p_1}{d_1} + \frac{p_2}{d_2} = \frac{p_1 + p_2}{\Delta} = \frac{100}{\Delta}$$

y en consecuencia, siendo Δ la densidad teórica calculada:

$$\Delta := \frac{100 d_1 d_2}{p_1 d_2 + p_2 d_1}$$

El resultado obtenido es exacto si los dos metales no dan ninguna combinación; pero suponiendo que al determinar las densidades se hallasen diferencias grandes con las calculadas teóricamente, ellas podrían indicar la existencia de combinaciones que se forman con contracción ó con aumento de volumen.

Pero el procedimiento no es eficaz porque las variaciones de densidad que resultan de las combinaciones entre enerpos semejantes, son siempre pequeñas; en las aleaciones metálicas, efectivamente, las diferencias entre las densidades observadas y las calculadas por la regla de las mezclas, no pasan, en general, de 3 por ciento, es decir, son del orden de las variaciones de densidad que puede experimentar un metal puro, pues Marchand da para el cobre al estado de completa pureza, una densidad que puede oscilar entre 7,7 y 8,94.

Por otra parte, según se desprende de las experiencias de Riche sobre aleaciones de cobre y de estaño, la densidad varía según que se determine sobre barras ó limaduras de una misma muestra, diferencias debidas á vacuidades que ellas contienen, sea por burbu-

jas de gas desprendidas durante la solidificación del metal fundido ó sea por soluciones de continuidad producidas por la desigual contracción de los cristales yuxtapuestos que no tienen el mismo coeficiente de dilatación; empleando las limaduras que evitarían los inconvenientes anteriores, se agrega una nueva causa de error pues los fenómenos de la licuación hacen que ellas no tengan la misma composición y por consiguiente, la misma densidad según el punto donde hayan sido tomadas.

Dilatación. — Determinándose las variaciones de volumen que una aleación experimenta á diversas temperaturas, es decir, estudiando su dilatación, se puede obtener alguna referencia sobre las combinaciones de los elementos que la forman; en efecto, una mezcla mecánica de cobre y estaño tiene que dar necesariamente una curva continua y regular, pero si se encuentra un pliegue ó ángulo, sólo puede explicarse por la existencia de una combinación definida, como lo ha demostrado Crace-Calvert para los bronces puros.

Como la medida en este caso tiene que hacerse sobre una misma barra llevada á diferentes temperaturas, se evitan las causas de error indicadas más arriba á propósito de las densidades; pero la comparación de los coeficientes de dilatación para diferentes composiciones y sobre todo, la variación de la composición con la temperatura, aunque han dado resultados

interesantes aplicadas al estudio de los hierros y aceros, no constituyen aún un método importante para contribuir al mejor conocimiento de las combinaciones producidas entre los metales.

PROPIEDADES MECÁNICAS

No voy á detenerme en el estudio de las propiedades mecánicas de las aleaciones porque es particularmente importante desde el punto de vista de sus aplicaciones industriales. Las piezas empleadas, en los ensayos diversos que con ellas se hacen, se someten á un esfuerzo que tiende á deformarlas: tracción, compresión, flexión, choque, etc., y es de verdadero interés asegurarse de que ese esfuerzo puede ser soportado sin inconveniente. Por eso es que con estos ensayos mecánicos, el consumidor trata de apreciar la calidad de un metal ó aleación, pero científicamente tienen relativa importancia.

Sólo voy á hacer notar la influencia de la temperatura sobre las propiedades mecánicas, que ha sido objeto de investigaciones especiales por parte de Le Chatelier y Charpy.

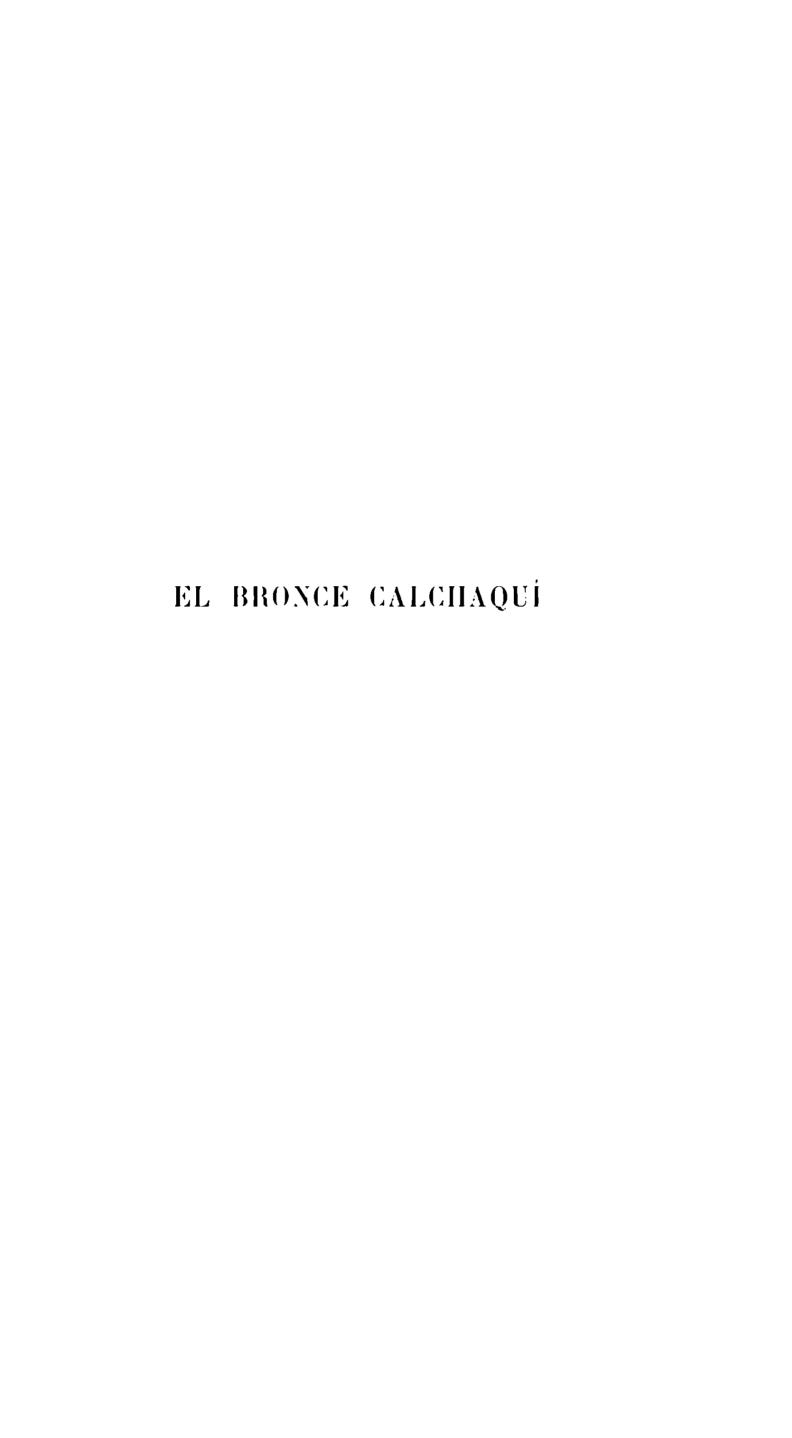
La variación de las propiedades mecánicas de las aleaciones para temperaturas comprendidas entre 0° y 100° es en general muy pequeña cuando se trata de esfuerzos lentos; las más grandes diferencias de temperatura ambiente (30° á 40°) producen en la re-

sistencia á la tracción ó el alargamiento, cambios muy pequeños comparables á los errores de experiencia. De manera que cuando se trata de metales usados ó ensayados á la temperatura ordinaria para esfuerzos lentos, no hay que inquietarse por el factor temperatura; pero ya interviene y debe considerarse, cuando se producen choques ó esfuerzos rápidos, dentro de los mismos límites de temperatura indicados: la fragilidad en esas circunstancias, aumenta notablemente á medida que disminuye la temperatura, y es más sensible cuando se llega á las temperaturas inferiores á 0°.

Para temperaturas superiores á 100°, su influencia sobre las propiedades de las aleaciones tiene mayor importancia y se manifiesta de modo diverso para los diferentes ensayos.

Finalmente, en el estudio que hiciera al respecto (1), Charpy publica las fotografías que reproduzco en las láminas XI y XII donde muy bien puede observarse la influencia de la temperatura sobre el grano de dos aleaciones; ellas corresponden á la fractura de dos bronces diferentes aunque de composición parecida, habiendo obtenido unas (a) á 15° y las otras (b) á 250 : hay una diferencia evidente.

⁽¹⁾ G. Charry, Étude sur l'influence de la température sur les propriétés des alliages métalliques, en Contribution à l'étude des alliages, 262. Paris 1901.



LA REGION CALCHAQUÍ

Se designa con el nombre de región Calchaquí á un extenso territorio de la República que, en épocas anteriores á la conquista española, estaba ocupado por tribus pertenecientes á un gran grupo de pueblos indígenas sudamericanos que forman un vasto complejo conocido bajo la designación de raza andinopernana.

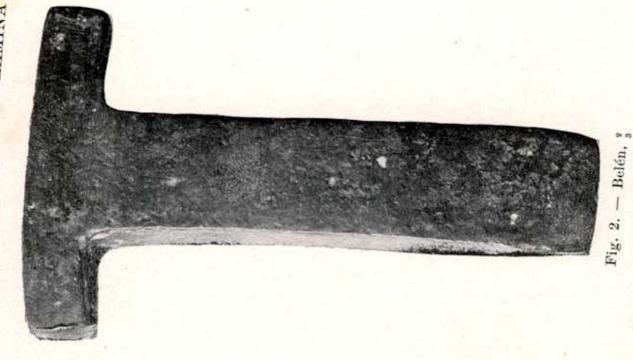
Según datos sacados de un mapa publicado por Boman en su importante obra editada en París, como resultado de un viaje de estudio que realizara en 1903 en el carácter de miembro de la misión científica francesa G. de Créqui Monfort, E. Sénéchal de la Grange (1), abarca la parte montañosa del noroeste argentino limitada por los paralelos 22° y 33° sur aunque la fijación de sus contornos no puede hacerse más que aproximadamente, pues teniendo en enenta que la limitación geográfica en este caso se efectúa por los documentos históricos y las investi-

⁽¹⁾ ERIC BOMAN, Antiquités de la région andine de la République Argentine et du désert d'Atacama. Mission scientifique G. de Créqui Monfort, E. Sénéchal de la Grange, l, figura 10. Paris, 1908.

gaciones contemporáneas que son del dominio de la arqueología y de la antropología física, hay que admitir que los límites dados como tales no pueden ser suficientemente exactos y precisos. Comprende la totalidad de las provincias de Catamarca y La Rioja, gran parte de la de Salta y la actual Gobernación de Los Andes (Puna de Atacama); igualmente á ella pertenecen en parte las provincias de Jujuy, su zona sur, la oeste de Tucumán y algo de la de Córdoba, extendiéndose hacia abajo hasta San Juan, y parece que la provincia de Mendoza no formaba parte de esta civilización andina, de modo que vendría á constituir su límite meridional, pudiendo considerarse que su límite este lo formaban las vertientes orientales del sistema montañoso del Aconquija (1).

En la época de la conquista de esa zona por los españoles, es decir en el siglo XVI, casi toda la región estaba ocupada por un pueblo llamado de los *Diaguitas* comprendiendo tribus diversas poseídas de análogas costumbres y ello hace que Boman designe á esa región con el nombre de región diaguita, separando á los Diaguitas de los Atacamas que ocupaban el desierto de Atacama, y á unos y otros de los Omaguacas que habitaban la quebrada de Humahuaca y

⁽¹⁾ JUAN B. AMBROSETTI. La civilisation Calchaqui, en Congrès International des Américanistes 12°, session tenue à Paris en 1900, 293. París, 1902.



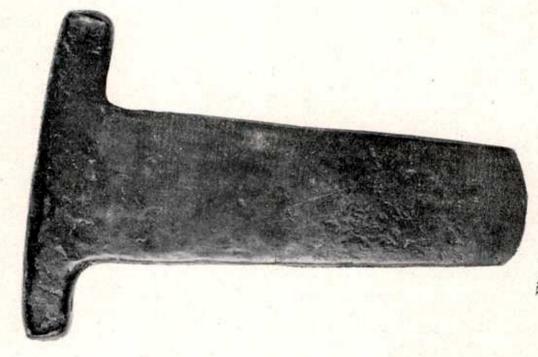


Fig. 1. — Andalgalá, 👱



montañas que la rodean. El mismo autorhace notar(1) que los Calchaquies no constituian más que una de las tribus de los Diaguitas y que se bizo célebre y llamó más que ninguna la atención de los historiadores, por su espíritu de independencia y por la extraordinaria resistencia que opusieron á los españoles y que duró más de un siglo después de la llegada de los conquistadores primeros; ellos ocupaban la parte sur del valle Calchaquí, que corre de norte á sur cerca de la provincia de Salta — los actuales departamentos de San Carlos y Cafayate de la referida provincia — y el valle de Yocavil que es la prolongación del auterior hacia el sur. Del nombre de esta importante tribu indígena, se ha sacado, por generalización, el que se da á la extensión ocupada por los diagnitas, llamándola región calchaquí mucho más usado, y en especial por los arqueólogos argentinos (2), que el anteriormente indicado, de la región diaguita que emplea Boman; aquél es el que yo he de usar en el curso de este trabajo.

⁽¹⁾ BOMAN, Ibid., 21 y 95.

⁽²⁾ El profesor don Juan B. Ambrosetti, que entre nosotros ha hecho importantes publicaciones sobre estudios arqueológicos de esos indios, menciona con el nombre de Calchaquíes no solo á los habitantes del valle Calchaquí y á los Diagnitas en general, sino también á los de la Puna de Jujuy y de la quebrada de Humahuaca, etc., sin establecer la separación que hace Boman, lo que hago notar para que se vea la generalización que de dicho nombre se ha hecho y la importancia que tiene tal designación.

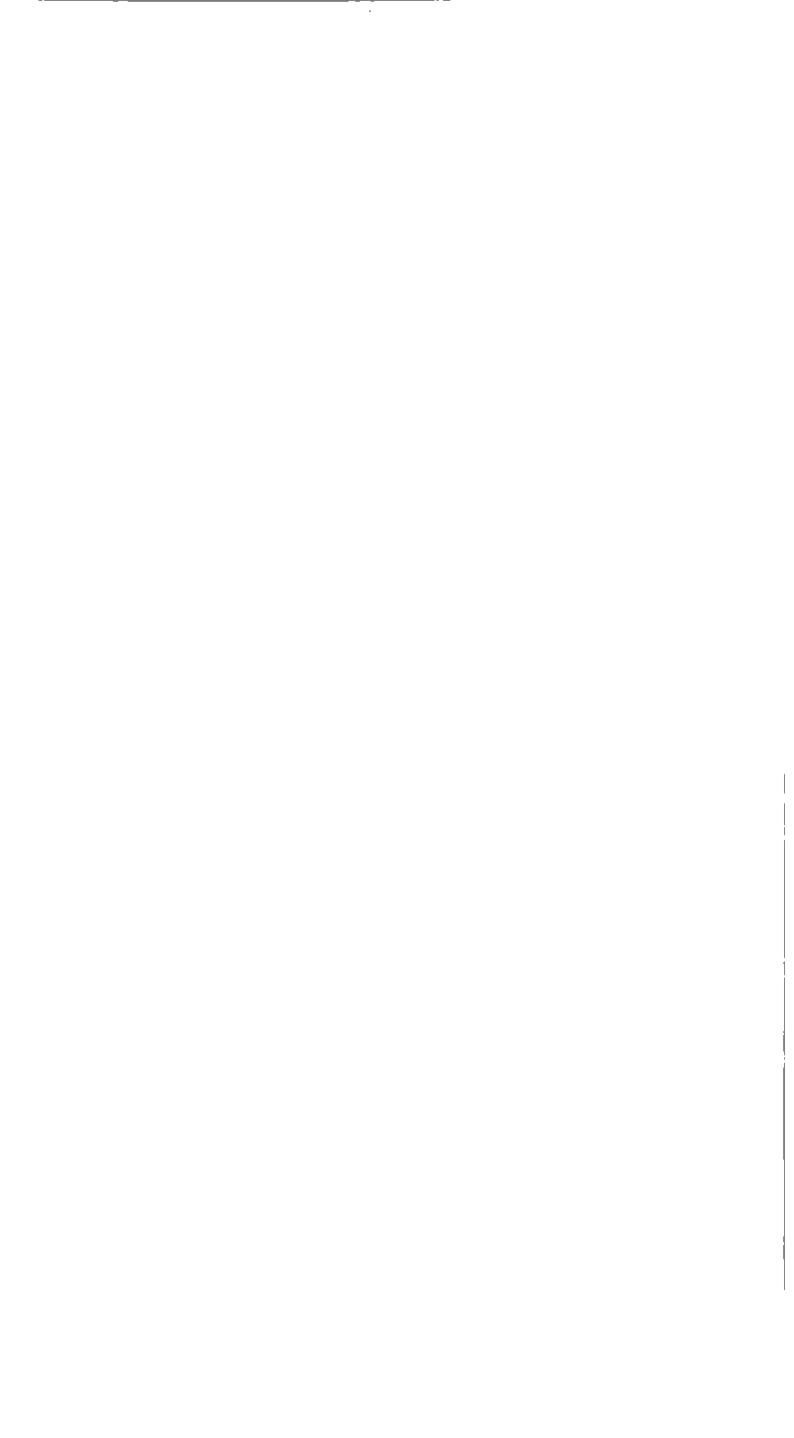






Fig. 3. — Calchaquí, *

ANTECEDENTES SOBRE EL LABOREO DE MINAS Y FABRICACIÓN DE OBJETOS DE BRONCE POR LOS CALCHAQUÍES

Muchas constancias existen que prueban de una manera evidente que los habitantes de la región Calchaquí, en la época prehispánica ó anterior á la conquista y dominación españolas, eran hábiles indios y conocedores de yacimientos mineros que explotaron para la fabricación de objetos de metal. Tales datos, por cierto muy numerosos, se encuentran en muchas obras antiguas de carácter histórico, mencionadas frecuentemente en los estudios arqueológicos realizados en nuestro país por autores diversos.

En 1904, el profesor don Juan B. Ambrosetti « á fin de poder presentar un trabajo de conjunto, cuya utilidad he reputado indispensable para fijar ideas y rumbos á propósito de los hechos tan singulares que encontramos á cada paso en nuestros estudios arqueológicos », como dice en su introducción, escribió una monografía sobre El bronce en la región Cal-

chaquí (1) que es sin duda la más importante de las publicadas hasta la fecha sobre capítulo tan interesante de la arqueología argentina; dicho estudio que consta de dos partes, destinada la segunda y más extensa á la Descripción del material arqueológico y tratando en la parte primera de La minería y metalurgia de los calchaguíes, contiene en esta última, citas importantes sobre el laboreo de minas y métodos de fundición empleados por los indígenas de la región expresada, algunas de las cuales voy á transcribir, y cuya publicación ha facilitado mucho mi tarea bibliográfica en esta parte del presente trabajo, destinada á establecer que los objetos que he analizado, formando una pequeña parte de la rica colección calchaquí distribuída en varios museos, han sido fabricados por los naturales de la región empleando los minerales que en ella existían y valiéndose de procedimientos de fundición que, aunque muy primitivos, les ha permitido la obtención de piezas muy sólidas y duras, algunas de ellas artísticas, según fuese el uso á que estaban destinadas, revelando de ese modo su cultura.

Eu una importante Memoria que, por encargo del Ministerio de Agricultura y para su envío á la Exposición de San Luis (Estados Unidos), publicó en 1904

⁽¹⁾ JUAN B. Ambrosetti, El bronce en la región Calch**a**quí, en Anales del Museo Nacional de Buenos Aires, X1, 163 á 321. Buenos Aires, 1904.





el ingeniero civil y de minas II. D. Hoskold (1), que hizo numerosas exploraciones mineras en el noroeste de la república, su autor hace una descripción detallada de las minas de oro, plata y cobre existentes actualmente en las provincias que ahora abarca la antigua región calchaquí (en especial las de La Rioja y Catamarca) y en diversas ocasiones hace mención del laboreo que de ellas hacían los habitantes anteriores á la conquista, que considera contemporáneos de los Incas que habitaban el Perú, y hace notar también el hallazgo de numerosos objetos arqueológicos que atribuye á una industria local; en uno de sus párrafos que transcribo traducido, dice (2): « Durante el tiempo empleado en mis diversas expediciones al interior del país, he descubierto en varias partes de la provincia de Catamarca, muchos instrumentos de cobre endurecido, fabricados y usados por los indios, y algunos de ellos son capaces de recibir un tilo cortante, muy tino y duradero, poco inferior al del acero.

Algunos anticuarios son de opinión que los indios poseían un procedimiento secreto para producir este efecto, pero otros aseveran que esta propiedad del cobre, es debida á su mezcla con algo de estaño. Humboldt, por ejemplo, dice que un instrumento de

^{(1) 11.} D. HOSKOLD, Official report upon the mines, mining, metallurgy and mininglaws, etc., etc., of the Argentine Republic. Buenos Aires, 1904.

⁽²⁾ Ibid., 5.

esta clase que llevó á Francia, se componía de 0,94 por ciento de cobre y 0,06 por ciento (1) de estaño. Sin embargo, yo no he querido destruir mis instrumentos indios sometiéndolos á un ensayo análogo, pues no soy de opinión que la presencia del estaño sea una explicación suficiente. Posiblemente, estos instrumentos no datan de una época anterior á la de los Incas.»

Análogas afirmaciones hace Martin de Moussy (2), quien al referirse á la actual provincia de La Rioja, dice : « Parece que en la época de la conquista los indios del valle de Famatina tenían ya conocimiento de los metales que encerraban las montañas, pues acabamos de ver que en su falda oriental, habían muy probablemente extraído cobre por una simple fusión, industria que no nos debe extrañar, pues los quichuas del Perú, sabían trabajar el oro y el bronce y que el imperio de los incas se extendía hasta estas regiones. » « En el Potrero Grande hay minas de cobre que se han explotado desde tiempos remotos. Parece que antes de la conquista, los indios las explotaban extrayendo el metal para fabricar sus armas é instrumentos de agricultura. En una pequeña quebrada cerca del Jagüé se hallan montones de escombros y

⁽¹⁾ Mal representadas así estas cantidades, sus cifras significan sin duda 94 por ciento de cobre y 6 por ciento de estaño.

⁽²⁾ Martin de Moussy, Description géographique et statistique de la Confédération Argentine, II, 395, París, 1860.

ruinas de hornos groseros que fueron construídos por los antiguos habitantes; hállanse también escorias producidas evidentemente en fundiciones hechas en este lugar. »

El doctor Adán Quiroga en una de sus publicaciones (1), dice: « En Anillaco se hallan frecuentemente numerosos y bien trabajados objetos de cobre, indicándonos á las claras que los indios que habitaban este lugar, eran habilísimos artistas » y hace mención del hallazgo de los restos de un horno en Cachiyuyo, cerca de Tinogasta, que parece haber sido de fundición.

En uno de sus numerosos trabajos (2), el doctor Francisco P. Moreno manifiesta que: « En San Fernando y Corral Quemado (provincia de Catamarca) tuvo pruebas de que los objetos de bronce que se hallan con frecuencia en las tumbas calchaquíes, no eran extranjeros, sino que habían sido fundidos y modelados en el lugar. » « Descubrí algunos moldes y el fondo de un horno de fundir. »

« Entre las ruinas de Antofogasta (Punata de Atacama) descubrí fundiciones y pequeños hornos y moldes rotos de hermosos discos de bronce. »

⁽¹⁾ ADÁN QUIROGA, Excursiones por Pomán y Tinogasta, Valles de Abaucán, en Boletín del Instituto Geográfico Argentino, XVII, 507. Buenos Aires, 1897.

⁽²⁾ FRANCISCO P. MORENO. Notas sobre autropogeografía de la Argentina, en The geographical journal for december 1901.

Á estas citas podría agregar una serie de otras más probando todas ellas que las importantes colecciones recogidas en el terreno en las diversas expediciones arqueológicas, están formadas por ejemplares cuya construcción sin duda era local y de ninguna manera esos objetos debían proceder, por comercio é intercambio, del Perú, cuyos naturales igualmente trabajaban los metales aunque no beneficiaban tanto como los calchaquies, los minerales de cobre; pero para no dar mayor extensión á esta parte que trata de un asunto perfectamente aclarado, sólo indicaré lo expresado por el ingeniero Huniken (1) al referirse á una mina existente en el distrito de San Antonio de Los Cobres : « La mina de Los Cobres es tal vez la más antigua de todas aquellas comarcas; pruébanlo restos de hornos, escorias y otras señales en las canchas que demuestran que allí existía uno de los talleres donde los indios fabricaban sus armas y utensilios de cobre; porque el silicato de cobre (llanca de los chilenos), único mineral que produce la mina Los Cobres, es precisamente aquel que buscaban los indios en toda Sud América para la labranza de herramientas. »

Comprobado entonces que la fabricación de los objetos calchaquíes se llevaba á cabo en la misma re-

⁽¹⁾ EMILIO HUNIKEN, Provincia de Salta, industria minera y metalúrgica, etc.

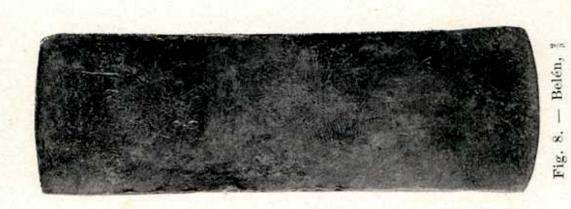




Fig. 7. — Calchaquí, #

•		

gión que habitaban los indígenas de ese nombre, y habiendo, por otra parte, revelado el análisis químico de algunos ejemplares que no sólo estaban constituídos por cobre sino que también tenían estaño en muy variables proporciones y haciendo de ellos verdaderos bronces, era muy curioso sin duda y al mismo tiempo interesante, investigar la procedencia de este último metal y la forma en que lo empleaban, especialmente por la circunstancia de que los yacimientos de estaño en la República Argentina son relativamente raros y de no muy grande importancia como para intentar su explotación industrial.

La cuestión fué estudiada por el señor Ambrosetti de quien mereció especial atención y en su trabajo ya citado (1) hace consideraciones que permiten llegar á la conclusión de que el estaño empleado procedía de yacimientos de la región. Refiere que el ingeniero Hoskold encontró una muestra de casiterita bien cristalizada en Copabanca, provincia de Catamarca, y menciona igualmente una muestra procedente de Córdoba que contiene estaño y cuyo análisis fué practicado en el laboratorio del Departamento nacional de minas y geología, publicándose en la memoria del mismo correspondiente á los años 1893 y 1894.

El doctor Bodenbender, al tratar de la casiterita,

⁽¹⁾ Ambrosetti, El bronce, etc. 182.

dice (1): « Este mineral lo conozco de una muestra bien cristalizada, procedente de la provincia de Catamarca. El nombre de la mina no he podido averiguarlo. El mineral se halla dentro de cuarzo poroso con hierro pardo. Pertenece al terreno granítico. » Posteriormente, el mismo mineralogista, en una comunicación publicada en el Bolctín de la Academia de Ciencias de Cordoba (2) habla detalladamente de un yacimiento de casiterita, el más importante de la república, situado en el cerro de las Minas, distrito de Mazán, departamento de Arauco, provincia de la Rioja casi en su límite con la de Catamarca, y según me dijo el doctor Schiller, jefe de la Sección de mineralogía del Museo de La Plata, tiénense noticias de su explotación desde muchos años atrás. « Sólo en este criadero para las necesidades de los calchaquíes, hay material de sobra y á la mano, sin que hayan tenido necesidad de hacer graudes trabajos para arrancar el estaño necesario para sus aleaciones » (3).

Además, y esta es una prueba que conceptúo de mucho valor, el señor Ambrosetti agrega aun el aná-

⁽¹⁾ GUILLERMO BODENBENDER. Los minerales, su descripción y análisis, con especialidad de los existentes en la República Argentina. 171. Córdoba, 1819.

⁽²⁾ GUILLERMO BODENBENDER, Comunicaciones mineras y mineralógicas, en Boletín de la Academia de Ciencias de Córdoba, XVII. 359 y siguientes. 1903.

⁽³⁾ Ambrosetti, Ibid., 181.

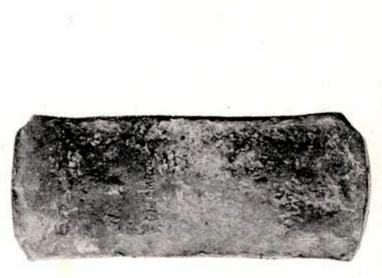


Fig. 10. — Fuerte Quemado, $\frac{\pi}{8}$



Fig. 11. — Belén, 🖁



Fig. 9. — Belén. 🖁

lisis practicado por mi ilustrado profesor el doctor Juan J. J. Kyle, de dos fragmentos de escoria cuya reproducción fotográfica acompaña, existentes con otras muestras análogas en la colección del Museo Nacional de esta ciudad, y procedente una de ellas de Fuerte Quemado, y la otra de Tolombón, que personalmente recogió en una ruina, en su expedición del año 1896.

En cuanto á los yacimientos y empleo del cobre ó de sus minerales, nada hay que decir, pues aquellos son sumamente abundantes en toda la región, conteniendo el metal al estado nativo ó más comunmente, aparte de otras muchas, en combinación oxigenada bajo la forma de óxido hidratado ó de hidro-carbonato, cuyo benelicio ha sido siempre de muy fácil realización; dichas minas se hallan bien descriptas en el informe de Hoskold á que hiciera referencia (1), acompañadas de numerosos análisis de diversas muestras sacadas de las mismas; algunos yacimientos fueron objeto de una importante explotación industrial con mucho éxito.

He tenido la oportunidad de analizar dos muestras recogidas por el señor Ambrosetti en su expedición á La Paya (valle Calchaquí, provincia de Salta) en los años 1906 y 1907; ellas pertenecen á la colección (números 3667 y 3675) del Museo Etnográfico de la

⁽¹⁾ Hoskold. Official report, etc.

Facultad de filosofía y letras, del que es director el referido profesor que tuvo la amabilidad de dármelas junto con otros materiales que indicaré más adelante. Al principio creí, y especialmente de una de ellas por su aspecto menos compacto, más esponjoso, que podría tratarse de escorias obtenidas en la fundición de los metales con que fabricaban los objetos que usaban, pero por su análisis que denota la ausencia de estaño y la elevada proporción de sílice, se ve claramente que no son más que dos de las muchas variedades de minerales que hay por esa región. El resultado analítico es el siguiente:

	_Por	ciento
	Nº 3667	Nº 3675
Óxido de cobre	11,65	69,82
Anhidrido silícico	62,82	21,48
» carbónico	rastros	rastros
Hierro y aluminio (Fe,O3, Al,O3)	19,29	4,32
Óxido de cálcio	2,51	2,00
» de magnesio	3,02	0,72
Humedad	0,80	1.95

En lo referente á los métodos de fundición empleados por los calchaquíes, hay pocos datos precisos, pero en cambio no faltan noticias en crónicas diversas sobre los procedimientos metalúrgicos usados por los peruanos; y considerando que durante mucho tiempo coexistían ambas civilizaciones permitiendo el contacto de unos y otros, y que realizasen sus in-



Fig. 12. — Musquín, $\frac{1}{2}$



Fig. 13. — Provincia de Catamarca, ½



Fig. 14. — Santa Lucía, $\frac{9}{3}$



Fig. 15. — Jujuy, 💡



tercambios y comercio, y que, por otra parte, hay una extraordinaria semejanza, que en algunos casos llega á ser identidad, entre muchos de los útiles de metal comunes á ambos — cinceles, hachas, etc. — (1), aunque hay objetos que como los discos, campanas, placas pectorales y frontales y otros, tienen un señalado carácter propio, exclusivo de los calchaquíes, sin parecidos ó semejantes entre los incas, no es nada aventurado y por el contrario, es lógico y natural que se apliquen á aquellos, los conocimientos que se tengan sobre los métodos utilizados por los naturales del Perú, máxime cuando todavía está en tela de juicio la cuestión de si los calchaquíes constituyeron una civilización independiente de los incas, como sostiene Ambrosetti, ó formaban parte de la cultura peruana como cree Boman (2) diciendo: « Para mí, mis estudios de las antigüedades de la República Argentina, me han llevado á la profunda convicción de que esta cultura diaguita forma parte integrante de la civilización andino-peruana que emana casi enteramente del antiguo Perú, sin más diferencia entre las dos civilizaciones que la que existe entre la etnografía de las diversas otras partes del imperio de los incas. »

« Aun más : las grandes invasiones que de Calchaquí se lanzaron hacia el Perú, y las contrarias que se

⁽¹⁾ Ambrosetti, Ibid., 161.

⁽²⁾ BOMAN, Ibid., 187.

debieron producir como consecuencia, han de haber llevado de un punto á otro, las nociones metalúrgicas más elementales » (1).

La pulverización del mineral, operación previa, la efectuaban empleando el maray, Hamándose así á grandes piedras que se hacían girar ó se les comunicaba un movimiento oscilante sobre otra gran piedra plana colocada sobre el suelo, sobrepasando algo su nivel, y designada con el nombre de conana; en su citado trabajo (2), el señor Ambrosetti publica la fotografía de un maray de 1^m20 de alto, con su correspondiente conana encontrados en Huasán, cerca de Andalgalá, provincia de Catamarca. El mismo autor hace notar su opinión personal como la del doctor Ameghino, de que no siempre los antiguos calchaquíes usasen ese sistema para pulverizar sus minerales. pues aparte de ser, sin duda, incómodo para manejar, se han encontrado numerosos morteros esparcidos por toda la región ; en el Museo Etnográfico de la Facultad de filosofía y letras he visto un espléndido ejemplar de estos últimos, recogido por el señor Ambrosetti en sus expediciones de 1906 y 1907 á que antes me he referido; es un mortero incompleto, de gruesas paredes, en cuyo fondo, en la parte cóncava se encuentra adherida una capa pulverulenta de color

⁽¹⁾ Ambrosetti, *Ibid.*, 173.

⁽²⁾ Ibid., 179.

verde, rastro indudable de que ha servido para la trituración de minerales de cobre.

Preparado entonces el mineral llevándolo seguramente, en todos los casos, al estado de polvo, lo introducían para su fusión en hornos especiales llamados huairas ú hornos de viento descriptos con frecuencia en obras que tratan de las costumbres, vida, etc., de estos indígenas; son hornillos redondos de forma de cazuela, con sus paredes agujercadas para permitir el acceso del aire que había de facilitar mucho la reducción, operada ésta por la mezcla de los minerales con carbón vegetal obtenido por combustión de plantas diversas (yareta, Azorela madreporica y leña de churqui, *Mimosa farinosa*, leguminosa abundante en la región Calchaquí, según datos suministrados al señor Ambrosetti por don Moisés Lozano, minero de Salta, quien le comunicó también el hallazgo de numerosos restos de *leuairas* de pequeño tamaño, de un diámetro no mayor de un metro, y cuyas paredes eran de pirca de piedra, una arenisca y el fondo, en forma de taza, de una mezcla de ceniza y huesos machacados) (1).

Realizada así la fusión y reducción de la mezcla de minerales, efectuábase la colada del producto obtenido, en moldes de tierra cocida de los que el Museo de La Plata posee un espléndido ejemplar, y el señor

⁽¹⁾ Ambrosetti, *Ibid.*, 188.

Ambrosetti ha recogido en La Paya, varios fragmentos de un molde plano que cree sirvió para la confección de placas pectorales (1); en algunos casos se han encontrado objetos que en su masa presentan vacuidades ocupadas durante el enfriamiento, por burbujas de aire ó gas cuyo escape no pudo efectuarse, pero en otros muchos útiles como las hachas que he analizado, su estructura es perfectamente compacta y maciza, haciendo de esos objetos unos excelentes elementos para el trabajo á que estaban destinados; también en otros ejemplares se hallan señales de un martilleo y pulido posteriores á la fundición, lo mismo que figuras diversas hechas en relieve.

⁽¹⁾ JUAN B. AMBROSETTI, Exploraciones arqueológicas en la ciudad prehistórica de La Paya. Campañas de 1906 y 1907, en Revista de la Universidad de Buenos Aires, VIII, 135 y figura 72. Buenos Aires, 1907.



Fig. 16. — Santa María, 🖁

Fig. 17. — Belén, ½

Fig. 18. — Musquín, !



EL BRONCE CALCHAQUÍ

El conocimiento y la explotación de diversos metales y minerales, muy especialmente el oro, la plata y el cobre, por los indios que en la época anterior á la conquista y dominación españolas, ocupaban el costado este de la cordillera de los Andes, desde la provincia de Mendoza hacia el norte, es un hecho perfectamente establecido y estudiado basándose en las numerosas citas que al respecto existen en muchas obras de carácter histórico; pero no se tenía hasta hace poco tiempo, un concepto claro sobre el empleo que del bronce ó aleación de cobre y es año hacían esos habitantes. La cuestión fué objeto de publicaciones importantes; entre nosotros, la ya tantas veces mencionada del señor Ambrosetti ocupa preferente lugar, y en Francia, en 1905, Adrien de Mortillet (1) presentó al congreso prehistórico de ese

⁽¹⁾ Adrien de Mortillet, Le bronze dans l'Amérique du Sud avant l'arrivée des européens, en Congrès préhistorique de France. Première session, 1905, 443 à 449. París, 1906. Ha sido reproducido en inglés bajo el título: Bronze in South America before the arrival of europeans, en Smithsonian report fort 1907; 261-266. Washington, 1908.

país, una memoria sobre el bronce en Sud América, en cuya primera página, dice: « Á pesar de las afirmaciones frecuentemente reproducidas, se ha podido conservar, hasta este último tiempo, dudas respecto al conocimiento de una verdadera aleación de cobre y estaño en la América del Sur antes de la conquista europea. »

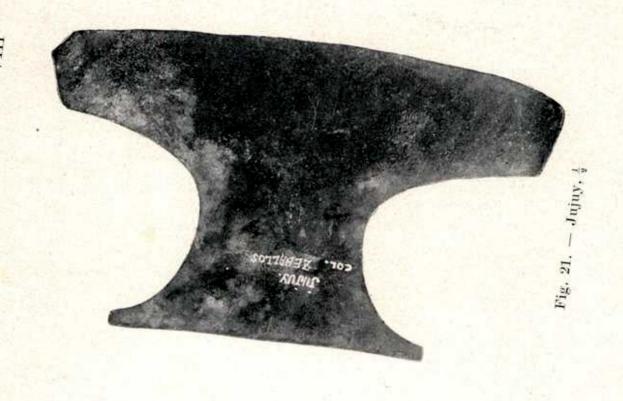
« Estas dudas, inspiradas por una muy legítima prudencia, se basaban sobre todo en la falta de datos precisos relativos á la composición del metal de que estaban hechos los objetos recogidos por los arqueólogos y sobre la ausencia de indicaciones respecto de la existencia, eu esas regiones, de yacimientos estanníferos muy ricos, yacimientos hoy día activamente explotados.

« Los análisis químicos, solamente, ofreciendo serias garantías de exactitud, podían permitir resolver de una manera definitiva la cuestión. »

En la República Argentina, el primero que escribió sobre antigüedades Calchaquíes (1) fué don Juan Martín Leguizamóu, oriundo de Salta, quien en 1875, junto con unos discos de los Calchaquíes de esta provincia, enviaba al doctor Ángel Justiniano Carranza unas cartas sobre antigüedades americanas (2) en uno de cuyos párrafos decía: « Del mismo

⁽¹⁾ Ambrosetti, El bronce, etc., 172.

⁽²⁾ JUAN MARTÍN LEGUIZAMÓN, Carta sobre antigüedades america-







modo se cree también que hasta la venida de los españoles, no fué conocido en América, ni el hierro ni el acero y que los indígenas daban consistencia al cobre para reemplazar estas materias por un procedimiento que hoy nos es desconocido.

- « Quizá analizando las rodelas que les envío, se pueda descubrir aquel procedimiento, y en tal caso habremos rendido á las ciencias, según creo, un positivo servicio.
- « Casi treinta años después (1) se han cumplido los deseos del ilustrado erudito salteño; hoy no son sólo dos rodelas las analizadas, sino un número mucho mayor que nos permite asegurar que todas ellas son de bronce como lo son también casi todos los objetos que se hallan en la región Calchaquí y que hasta hoy se han supnesto de cobre endurecido. »

En lo que sigue, voy á indicar, resumidamente, los análisis efectuados hasta la fecha y publicados con anterioridad al presente trabajo.

En una conferencia que sobre antropología y arqueología, leyó en 1881 el doctor Francisco P. Moreno en la Sociedad Científica Argentina (2), dió á conocer el resultado del análisis de un disco de metal

nas, en Anales de la Sociedad Científica Argentina, 1, 327 y signientes. Buenos Aires, 1875.

- (1) Ambrosetti, Ibid., 180.
- (2) FRANCISCO P. MORENO, Antropología y arqueología, en Anales de la Sociedad Científica Argentina, XII, 198. Buenos Aires, 1881.

hallado en la provincia de La Rioja, que fué practicado por mi distinguido profesor, el doctor Pedro N. Arata; era el siguiente:

	, Por ciento
Cobre	80,55
Estaño	16,53
Y el resto de óxido de cobre	2,92
	100,00

Luego publicó el señor Ambrosetti los análisis que por su encargo efectuaron los químicos doctores Kyle y Herrero Ducloux y señor Eduardo Suárez cuyos resultados se encuentran en el cuadro que acompaño, juntos con los obtenidos en los ensayos efectuados en París por los señores Morin frères, químicos ensayadores del Banco de Francia, sobre muestras recogidas durante la expedición efectuada por la Mission de Créqui Montfort et Sénéchal de la Grange, y que procedían:

- 1º De las antiguas ruínas de Tialiuanaco, cerca del lago Titicaca;
- 2º De viejos cementerios explorados en los alrededores de Yura, entre Uyuni y Potosí;
- 3º De diversas localidades del norte de la República Argentina, entre Salta y la frontera boliviana;
 - 4º De la República del Ecuador.

Todos ellos constituyen la base de la publicación de Mortillet ya citada, cuyo cuadro de análisis trans-

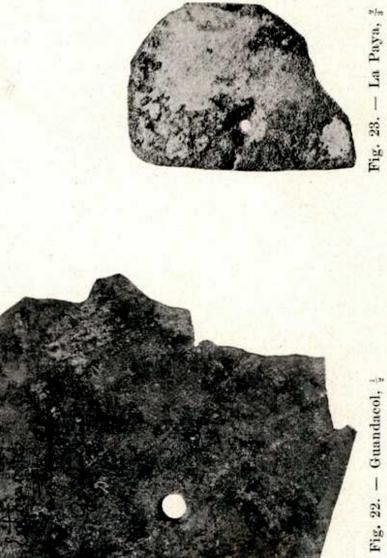


Fig. 24. — La Paya, 3

cribo, correspondiendo los números 1 á 26 á los realizados por Morin frères, y los restantes (nº 27 á 48) son los publicados por Ambrosetti:

Posteriormente los químicos profesor Juan A. Domínguez y doctor J. A. Sánchez realizaron el análisis de unas muestras que les proporcionara el señor Ambrosetti de las recogidas en su expedición á La Paya; esos objetos como igualmente los que tuvo á bien facilitarme á mí, se encuentra en muy mal estado de conservación, presentando muchos de ellos una fuerte costra adherente de color verdoso, debido á la oxidación sufrida por el metal y que se atribuye (1) á que el agna de lluvia arrastrando gran cantidad de sulfatos y nitratos del terreno del lugar, penetraba en los sepulcros ó tumbas indígenas y depositando en su fondo esas substancias salinas se operaba la destrucción del material en ellas contenido, atacando por igual á los objetos á base de cobre como á las piezas de alfarería, de hueso ó madera y á los tejidos.

Debo hacer notar que en dichos análisis (2) que á continuación transcribo, me ha llamado mucho la atención la elevada proporción de estaño encontrada por sus autores en algunas de las muestras ensayadas, en especial en dos fragmentos de cincel cuyo tanto

⁽¹⁾ Ambrosetti. Exploraciones arqueológicas, etc., 89

⁽²⁾ JUAN B. Ambrosetti, Exploraciones arqueológicas en la ciudad prehistórica de La Paya Campañas de 1906 y 1907, Segunda parte (descripción del material arqueológico), 412 y 413. Buenos Aires 1908.

L	-		<u> </u>	10															<u> </u>
oaguzy			0.87	2,55	l	1	1	1	1	1	1	1			1		ĺ	l	1,46
osinserA			1	l	1	1	ı	1	l	1	1	ı	ı		i		1	ı	5,20
оттоіП	_		0,43	1,63	0,36	0,13	0,21	0,41	0.37	0.13	0,2%	0.37	1.33		110.27		0,17	0,46	2,51
ոյոլ•[Í	l	l	1	l	ı	1	l	i	I	!		1		ı	1	I
[ənpîZ	_		!	I	ı	ı	ļ		ı	١		1	1		l		1	1	_
otumsia			1	1	i			1	1		1	ı	l		1		1	-	1
sinomita A	_		1	×	90.0	90.0	0.06	0,11	0,16	0,17	0.06	80.0	ţ		1		1		1
oniO				ı	1	1	-	ı	1	i	1	- <u>-</u>	39,38		<u> </u>	ina	1		
ontol4	_	ria	ı	0,12	0.63	~	0,17	0.30	0.12	0,11	0,1.1	0,2x	-	Ecuador	0,22	República Argentina	0,08	0.30	~
OffatsA	_ ; 	Bolivia	1	ı	5,83	6,05	6,71	7,70	2.10	7,50	9,30	10,72	<u> </u>	Eeuc	<u> </u>	ública	1	1	 I
भ्यतंच्()			98.6.1	95,65	93,10	93,76	92,80	91,41	97.23	91,97	90,15	7. xx	59,20		199,431	Rep	99,70	99,10	90,75
Ohjetos			Grampa	*	Cuchillo	Disco	Cuchillo	Alfiler	Hacha	Disco	Alfiler	Placa	*		Hacha		Cincel	Hacha	Fragmento
Pracedencia			Tiahuanaco			*	*	*	Yura	*	***	*	Cobrizos		Ecuador		Tastil	Región Calchaquí	La Poma
отэшйХ			1	21	က	-	10	ဗ	ţ~	œ	6:	10	11		12		13	1:1	15

OBJETOS ANALIZADOS

ے
~
_
$\overline{}$
•
-
_
_
_
~
~
-
•
•
_
=
ō
0
• -
\sim
\sim
ANALIZADOS
OBJETOS

on)แรก	j	ı	ı	I	J	ı	l	ı	1	ı	١	1	<u>~</u>	ı	1	I	I	1	l
оэіпЭкт А		1	ı	ı	I	١	١	1	1	ı	1	ı	ı	1	1	١	ı	1	_
orroiH		0,31	0,24	0,21	0.29	0,37	0,27	0,44	0,39	0,41	0,17	0,33	0,28	1,05	1	0,91	١	ı	æ
ntn[4]		I	١	1	١	1	١	1	ı	ı	ı	١	ı	ı		١		ı	1
Kígnel		1	١	ı	1	J	١		1	ı	ı	١	١	,	1	١	1	1	ı
०)मातभांश		1		I	ı	ı	١	ı	1	1	1	ı	1		١	1	ı	1	ı
oinomitaA	[ii]	1	1	ı	ı	~	1	ı	ı	ı	1	~	1	ı	1	1	ı	l	ı
oniO	ontinuac	1	ı	ı	ļ	1	-	ı	ı	1		-	I	1	١	t	I		1
ontold	tina ce	0.11	0.07	0,13	0.14	0,12	×	0,32	0.24	0.32	0.64	0,00	1	l	¥	1,80	2	~	_
oùnsă	l Argen	2.48	3.0.1	3,65	3.92	4,43	00.9	6.91	7.68	9.40	13,52	13.69	3.80	7,38	90,9		3,34	5,73	6,00
ordo?)		97,02	96.62	95,97	95.60	95,06	93,70	92,20	91,65	89.85	85.60	85.77	95,90	(91,40	\$93,58	(92,67	99,96	94,26	91,20
Ohjetos	i d	Disco	Topu	Cuchillo	Campana	Cincel	Савирана	Disco	Fragmento	Bola	Cincel	Brazalete	Cachillo	_	Hachas	_	Hachas	Пасhа	Campana
Procedencia		Tastil	Pucara	San sana,	La Poma	Morolinasi.	Molinos	Couchas.	La Poma.	*	*	Golgota	Región Calchaquí					***	*
Zúmero		9	12	<u> </u>	<u> </u>	70	21	<u>:</u>		÷	15.	56	27	•	- 58 - 78	,	20 02	30	31

ognzy 0,50 0,50 0,2x 0,2x 0.37 0.75 0.11 Orroill թյուն 1.0.2 puptz 0,33 0,83 0,82 0,23 otumsist oinomitur*k* Republica Argentina (Conclusion) 0.94 1.15 oug 0.21 omold 98.42 1.57 97,41 2.00 97,40 2.12 96.00 2.43 97,25 2,52 94,98 2.58 97,25 2,90 94,95 2.58 94,00 3,07 96,85 3,14 93,55 3,46 91,80 5,66 97.40 2.12 96.00 2.43 95.49 2.43 94.98 2.58 97.25 2.90 94.95 3.03 94.00 3.07 96.85 3.46 94.57 5.43 91.80 5.66 91.79 6.64 90.06 8.67 ०० १४ १५ o.upo.) Objetos Procedencia o.təmiy X

OBJETOS ANALIZADOS (Conclusión)

R: significa rustros.



Fig. 25. — La Paya, # Fig. 26. — Incásico, #

por ciento de 55,60 por ciento y 30,15 por ciento de estaño calculado en 8nO₂, ó sea 43,81 por ciento y 23,76 por ciento de metal, respectivamente, acusan unas cifras que exceden notablemente á las más altas obtenidas hasta ahora (16,53 por ciento) y que corresponden al análisis del doctor Arata á que antes me he referido (1); lo que no puede dejar de extrañarme por cuanto la cantidad de estaño contenida en todos los objetos analizados, sólo en muy raros casos ha excedido de 10 por ciento, manteniéndose como normal una proporción inferior á esta cifra como muy bien lo hace notar el mismo señor Ambrosetti (2), cuando dice: « En estos análisis hallamos porcentajes de estaño que antes no fueron superados, 9,45 y 10,15 por ciento, porque el mayor porcentaje hallado hasta la techa fué de 8,67 » (3).

He aquí los análisis de referencia :

⁽¹⁾ Véase página 78 de este trabajo.

⁽²⁾ Ambrosetti, Ibid, 413.

⁽³⁾ Se refiere á los análisis que he numerado del 5 al 9 y considerando también los que antes publicara en *El bronce*, etc., efectuados por su pedido, sin reparar en los análisis números 2 y 3 4 que yo aludo.

	_	Fragi		
	muy oxidado	de cincel	do cincel	de placa
	1	2	3	4
Cobre en CuO	70,10	21.80	63,50	76,00
Estaño en SnO,	22,40	55,60	30,15	17,00
Hierro y alúmina (Fe $_2$ O $_3$, Al $_2$ O $_3$).	4,30	2,00	3,20	4,60
Residuo silíceo	rastros	7,60	rastros	0,55
Humedad	2,80	12,75	2,80	1,60
No dosado y pérdidas,	0,40	0,25	0,35	0,25

Análisis de otras piezas determinando cobre y estaño solamente, y realizados también por dichos químicos:

	5	6	7	8	9
Cobre metálico	63,89	44,65	58,46	69,40	75,22
Estaño	9.45	5,60	3,90	10.15	7.10

Á continuación voy á transcribir algunos análisis de diversos útiles peruanos en los cuales no se ha encontrado el estaño con la misma regularidad hallada para los calchaquíes, y debo manifiestar desde ya que he analizado cinco cinceles pertenecientes á los Incas y que forman parte de la colección existente en el Museo de La Plata, separados para cotejar sus resultados con los de los objetos que constituían el motivo principal de este trabajo, y sólo en dos de ellos hallé pequeñas cantidades de estaño que considero impurezas del mineral empleado, de manera que en términos generales puede decirse que están constituídos por cobre, exclusivamente; más adelante, al

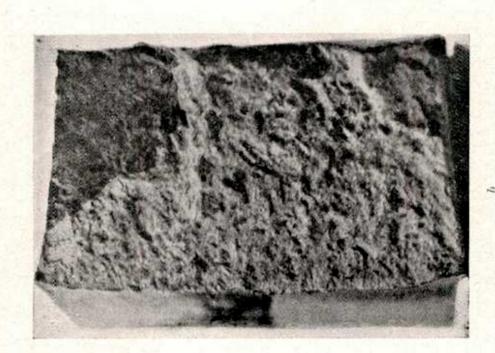


Fig. 31



tratar de los análisis efectuados por mí, volveré sobre esto mismo.

En una carta enviada-por el naturalista Terreil al doctor E. T. Hamy y publicada en la Revista Etnográfica que éste dirigía en París (1) comunica los resultados de los análisis practicados en cinco objetos de metal (bandeaux, adornos para cabeza), de los que suprimo dos : uno por tratarse de un objeto de plata y otro por ser un latón (65,90 por ciento de cobre y 32,04 por ciento de cinc) que el autor de la comunicación considera exótico, pues faltando el cinc en el Perú, sólo se justifica su existencia allí por su importación por los españoles; fueron encontrados en Ancón, cerca de Lima, en antiguas sepulturas peruanas, teniendo su superficie bastante alterada por la acción de la arena del marde que se compone el suelo de aquella población, á la que se debe el cloro revelado por los análisis. Los resultados de éstos, que al dar cifras que no corresponden á aleaciones definidas, hacen creer à Terreil que fueron fabricados con minerales en que coexistían los dos ó tres metales principales, sin que los metalurgistas peruanos sospechasen su presencia, son los siguientes:

Plata	33,35	17,27	rastros
Oro	5.42		_
Cobre	60.83	79.03	94.35

⁽¹⁾ Revue d'Ethnographie, I, 73. París, 1882.

Cloro	0.22	2.31	rastros
Oxígeno, azufre, arsénico, anhi-			
drido carbónico, etc., no dosados	0.18	1,39	5,53
Arena cuarzosa,,,,,,,,			0.12

Baessler (1) ha publicado un importante estudio sobre los utensilios metálicos de los antiguos peruanos, en el que hace mención del resultado obtenido en los análisis, algunos incompletos, efectuados sobre diversos objetos de oro, plata y cobre, ocupándome sólo de éstos últimos, cuya explotación, ó mejor dicho, fabricación cree dicho autor que fué anterior á la de los primeros (2).

Transcribe en primer término, los análisis conocidos hasta la fecha de su publicación y que son los seis que siguen, indicados en el cuadro número 1: el primero, ya citado por Hoskold (3), es de un cincel encontrado en Vilcabamba, cerca del Cuzco, y que llevado por Humboldt, fué analizado por Vauquelin (4); el segundo es el efectuado por don Mariano E. de Rivero, que figura en la obra de Rivero y Tschudi (5), curioso sin duda por la sílice que contiene y que debe atribuirse, más que á su agregación especial

⁽¹⁾ Arthur Baessler, Altperuanische Metallgeräte. 1904.

⁽²⁾ Ibid., 4.

⁽³⁾ Véase página 64 de este trabajo.

⁽⁴⁾ HUMBOLDT, Luc pittoresque des Cordillères, 17.

⁽⁵⁾ RIVERO Y TSCHUDI, Antigüedades Peruanas, 215.



Fig. 32





para comunicar mayor dureza al cobre, á una impureza del metal adquirida por su contacto con el molde empleado, pues la ausencia absoluta, en términos generales, del silicio en los demás utensilios analizados, permite creerlo así; los numerados con 3 y 4 corresponden á piezas encontradas en el río Maypa (Chile), determinándose solamente el estaño que contenían (1); el 5 es de un cincel analizado por Boussingault (2) y por último el señalado con el número 6 pertenece á una maza encontraba en una tumba de Sorata, en el lago Titicaca (3).

Publica además igual número de análisis que hiciera efectuar, de objetos pertenecientes á su colección, en los cuales se ha encontrado estaño y arsénico en variable proporción, como puede verse en el cuadro número 2 (4).

⁽¹⁾ Tomas Ewbank, U. S. Naval astromical expedition, 11, 114. Washington, 1855.

⁽²⁾ BRC111. Die Kulturvölker Alt-Amerika's, 300.

⁽³⁾ FORBES, On the Aymara Indians, 69.

⁽⁴⁾ BAESSLER, I bid., 7 y 8.

CUADRO NÚMERO 1

Número	Procedencia	Cobro	Estaño	Hierro	Plata	Stlice	Plomo
1	Vilcabamba	96	4	_	_	<u></u> -	_
2	Perú	?	_	_	_	5 á 6	_
3	Río Maypa	•	5	_	_	_	
4	»	7	6	-	_	_	_
5	»	95	4,50	rastros	rastros	-	rastros
6	Tumba de Sorata,						
	Lago Titicaca.	88,05	11,42	0,36	0,17	_	

CUADRO NÚMERO 2

Número	Procedencia	Objeto	Cobre	Estaño	Hierro	Arsé- nico
1 2 3 4 5 6	Lima	Azada Pinza Instrum ^{to} labranza Maza Disco Azada	95,22 97,17 95,95 91,76 90,64 98,41	2,75 - 8,05 9,38 -	0,21 0,06 0,05 0,13 rastros 0,03	4,43 - 4,03 - - 1,55

Finalmente, en una comunicación enviada por el doctor E. Seler (1) al Congreso de Americanistas ce-

⁽¹⁾ Eduardo Seler, Bericht über die chemische und physikalische untersuchung einer Mexikanischen kupferaxt; en Congrès International des Américanistes. Quebec, 1906. 11, 405. Quebec, 1907.

lebrado en Quebec en 1906, sobre la investigación química y tísica de una hacha mexicana de cobre, procedente de Tlaxiaso, Mixteca Alta, publica el análisis de la misma, constituída casi en su totalidad por cobre, con pequeñas cantidades de otros metales determinadas con exceso de prolijidad y demasiado minuciosamente, como puede verse por el siguiente resultado:

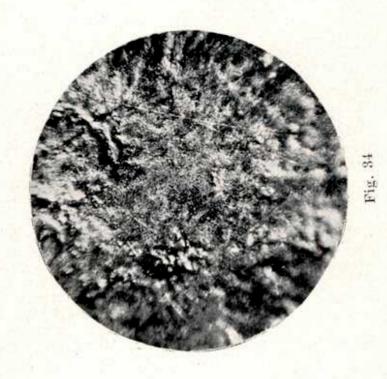
Cine	0,17
Plata	0,12
Niquel	0,02
Hierro	0,02
Bismuto	0,02
Azufre	0.01
Plomo, rastros, menos de	0.01
Arsénico	0,01
Antimonio	0.01
Estaño y fósforo, en cantidad no apreciable.	

En la misma nota, el autor refiere que se practicó también una investigación metalográfica del referido objeto, realizada lo mismo que el precedente análisis por la Comisión Real de ensayos de materiales de Gross-Lichterfeld, cerca de Berlín, y que se redujo á la observación microscópica de la sección del hacha, perfectamente pulida, pudiendo determinarse en esa forma la existencia de grandes cantidades de óxido de cobre.

Tales son los resultados analíticos de objetos calchaquíes ó incásicos que he podido reunir; entre ellos no ha sido posible incluir unos análisis que Boman (1) publica al final de su importante trabajo por no haber aparecido aún el tomo II de su obra, en el que deben estar contenidos.

Á continuación incluyo los análisis de los objetos que he ensayado, precedidos por una nónima de estos últimos.

(1) BOMAN, Ibid., 190.



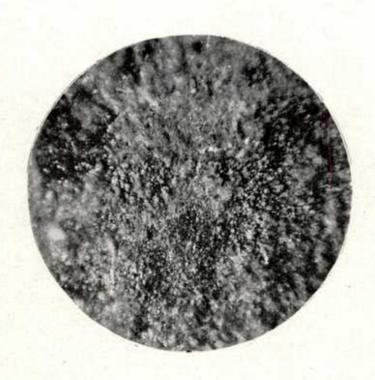


Fig. 33

ENUMERACIÓN DE LOS OBJETOS ANALIZADOS

Al hacer la separación de los objetos que he ensayado, procuré siempre que además de ser Calchaquíes, tuviesen la procedencia del lugar donde habían sido recogidos, como lo indicaré á continuación, pero einco hachas sólo tenían como inscripción « Calchaquí», de modo que ignoro el sitio preciso en que fueron halladas; he analizado también cinco objetos peruanos — escoplos y cinceles — para cotejar sus resultados con los obtenidos de los utensilios anteriores, pertenecientes á la colección del Museo de La Plata, pero sólo tenían la indicación de que eran « Incásicos », sin especificar el sitio ó población de origen.

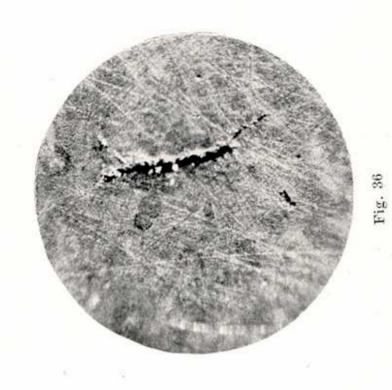
En general todos ellos se encuentran en muy buen estado de conservación debido á su patina ó capa del gada y adherente de óxido de cobre que al formarse evita la oxidación ulterior del metal, á diferencia de lo que acontece con los objetos de hierro, cuyo óxido — herrumbre ú orín — se forma y cae, dejando el metal al descubierto y expuesto así á una nueva oxi-

dación que concluye por abarcar á toda la pieza. Debo hacer mención especial de un cincel incásico (número 27) cuya masa toda está sumamente alterada, habiéndose vuelto muy frágil por causa de la misma oxidación profunda que ha sufrido, y de los objetos números 23, 24 y 25 pertenecientes á la colección del Museo etnográfico de la Facultad de filosofía y letras, que se hallan también muy oxidados como lo indiqué ya anteriormente dando el motivo de esa oxidación (1) y puede verse en las fotografías respectivas (2); el último de éstos, el número 25, está recubierto de una espesa costra irregular, con surcos y grietas, como muy bien se nota en su correspondiente reproducción fotográfica, constituída por óxido hidratado de cobre, parcialmente carbonatado, mezclado con pequeña cantidad de óxido de hierro, pero separada esa capa se encuentra el metal en bastante buen estado de conservación.

En las fotografías de algunos objetos (números 9, 10, 11, 26, 29 y 30) se observa con facilidad la capa, de color verdoso, que los recubre y constituída por óxido hidratado de cobre, pero ella es muy delgada, y sólo superficial la oxidación; abajo está siempre el metal completamente inalterado.

⁽¹⁾ Ver página 79 de este trabajo.

⁽²⁾ Quiero hacer constar aquí mis expresiones de gratitud á don Carlos Bruch, jefe de la sección zoología del Museo de La Plata, á quien debo las fotografías de los objetos analizados.







Excepción hecha de las tres piezas ya indicadas (números 23, 24 y 25) pertenecientes á la colección de la Facultad de filosofía y letras, todas las restantes (27) se encuentran en el Museo de La Plata.

- 1. Hacha. Colección Lafone Quevedo, 764. Andalgalá (Catamarca).
- 2. Hacha. Colección Lamas. Campo de la Cañada, Belén (Catamarca).
 - 3. Hacha.
 - 4. Hacha.
 - 5. Hacha. Colección Calchaquí del Museo de La Plata.
 - 6. Hacha.
 - 7. Hacha.
- 8. Hoja de azuela. Colección Museo de La Plata. Belén (Catamarca).
- 9. Hoja de azuela. Colección Lafone Quevedo. Belén (Catamarca).
- 10. Hoja de azuela. Expedición C. Bruch, 1907. Número 279. Fuerte Quemado (Catamarca).
- 11. Escoplo. Colección Lafone Quevedo. Puerta de Belén (Catamarca).
 - 12. Espátula. Musquín, 247 (Catamarca).
 - 13. Objeto supuesto de adorno. Colección Lafone Quevedo.
- 14. Fragmento laminar. Colección Lafone Quevedo. Potrero Santa Lucía (Catamarca).
 - 15. Manopla? Colección Zeballos. (Jujuy).
- 16. Fragmento de manopla? Colección Moreno. Santa María (Catamarca).
- 17. Hacha de mando ó para ceremonias. Colección Museo de La Plata. Carrisal Ciénega. Belén (Catamarca).
- 18. Hacha de mando ó para cercuronias. Número 243. Musquín (Catamarca).
 - 19. Campana. Colección Moreno. Tinogasta (Catamarca).

- 20. Fragmento de brazalete. Huasayaco (Catamarea).
- 21. Hacha. Colección Zeballos. (Jujny).
- 22. Fragmento irregular de un objeto desconocido. Estancia Santa Clara. Guandacol. Departamento General Lavalle (La Rioja).
- 23 y 24. Fragmentos de placas? Colección del Museo Etnográfico de la Facultad de filosofía y letras. Expedición Ambrosetti. 1906 y 1907. La Paya (Salta).
- 25. Fragmento de escoplo. Colección del Museo Etnográfico de la Facultad de filosofía y letras. Expedición Ambrosetti. 1906 y 1907. La Paya (Salta).
- 26. Fragmento de escoplo. Objeto peruano de la colección del Musco de La Plata.
- 27. Cincel. Objeto peruano de la colección del Museo de La Plata.
- 28. Escoplo. Objeto peruano de la colección del Museo de La Plata.
- 29 y 30. Cinceles. Objetos peruanos de la colección del Museo de La Plata.







Fig. 37

RESULTADO DE LOS ANÁLISIS

Los análisis fueron hechos sobre virutas metálicas sacadas con un aparato apropiado, evitando así el deterioro de las piezas cuya conservación era esencial. La determinación de los elementos fué realizada por los procedimientos analíticos generales aplicables á las aleaciones (1); el cobre, y el plomo cuando lo había, fueron dosados simultáneamente por electrolisis; el estado, al estado de SnO2 reduciendo por calcinación el ácido metaestánnico, obtenido por la acción del ácido nítrico sobre el metal; el hierro por el método común, precipitándolo con amoníaco y calcinando el hidrato correspondiente, tranformándolo así en sesquióxido (Fe₂O₃); el cine al estado del óxido (OZn) obtenido por la calcinación del sulfuro que precipitaba por la adición de sulfuro amónico al líquido amoniacal; la plata, en fin, al estado de cloruro (AgCl).

Como puede verse en el cuadro adjunto, solo cinco objetos — dos calchaquíes y tres peruanos — no contienen estaño, de modo que puede admitirse como

⁽¹⁾ F. P. TREADWELL. Trattato de chimica analitica, II. Milán, 1907.

general la existencia de este metal; excepto en los dos incásicos que lo contienen y en cinco de los restantes, en los que su proporción es inferior á 1, en todos los demás (18) el estaño se halla en una cantidad superior á 1 por ciento, en la forma siguiente:

		Objetos
Entre	1 y 2 por ciento	5
»	2 y 3 por ciento	0
»	3 y 4 por ciento	1
»	4 y 5 por ciento	1
»	5 y 6 por ciento	2
»	6 y 7 por ciento	.1
»	7 y 8 por ciento	2
»	8 y 9 por cieuto	3

Ilegando como cantidad máxima á 8,79 por ciento. De esa lista se deduce también que mientras sólo seis objetos tienen menos de 4 por ciento de estaño, hay doce en que este metal se halla por arriba de dicha proporción, lo que hace que el término medio de la riqueza de estaño en estas piezas sea la cifra 5,28 que es, por cierto, bastante elevada.

Con referencia á la pieza número 22, dada la cantidad de cinc que contiene haciendo de ella un verdadero latón, debe suponerse que no ha de ser calchaquí, pues en todos los objetos procedentes de la región estudiada se nota la ausencia de ese metal, y á este respecto constituye también una verdadera excepción el análisis número 24 que acusa una pequeña porción de cinc en un objeto sin duda calchaquí, procedente

de La Paya (Salta); es el único que contiene tal elemento.

Como trabajo complementario y con el único propósito de realizar un ensayo, he practicado también el análisis micro-metalográfico de ocho objetos escogidos con proporciones diferentes de estaño; ellos han sido los señalados con los números 1, 4, 8, 11, 14, 21, 22 y 30, atacando su superficie perfectamente pulimentada, con ácido nítrico durante un minuto y los resultados pueden verse en las fotografías de las láminas XIII á XVI (aumento de 45 diámetros).

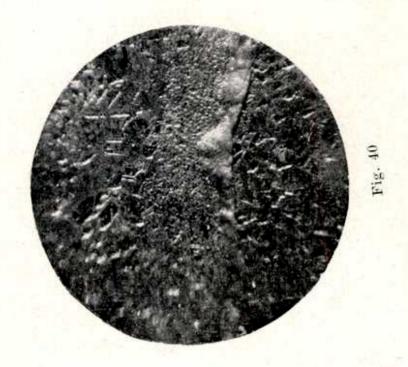
Naturalmente que experimentado así este método de investigación, de cuya importancia me ocupé en páginas anteriores (1), no permite deducir conclusiones de verdadero valor; pero la simple inspección de las fotogratías respectivas, sugiere desde luego algunas consideraciones; en efecto, las 33 y 35 corresponden á dos objetos muy diferentes (2) pero que contienen la misma proporción de estaño (6,55 por ciento) y ésto puede explicar la semejanza existente entre ambas, pues excepto la figura alargada que ocupa el centro de la número 35 y que quizá corresponde á una combinación ó á una zona de mayor resistencia al reactivo por ser de composición distinta, el fondo pre-

⁽¹⁾ Véase página 35.

⁽²⁾ Las figuras 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39 y 40 corresponden, respectivamente, á los objetos indicados por sus números más arriba, en esta misma página.

senta mucha analogía con su grano fino y bastante uniforme; en la número 38 se nota perfectamente un mayor ataque del reactivo, debido á que actuó durante dos minutos.

La observación de la fotografía número 39 revela que en la lámina á que corresponde, el ataque ha sido más profundo que en todas las demás, de acuerdo también con su composición química respecto al reactivo (HNO₃) usado, pues ella es de un latón mientras que en las otras hay estaño en proporciones variables. La número 36 es de un escoplo con 5,75 por ciento de estaño pero la fotografía no corresponde á la zona de mayor ataque por lo que se observa una malla irregular de hilos muy finos, debida solamente al pulido que se hace de la superficie para que el reactivo actúe sobre ella.







CUADRO DE ANÁLISIS

Número del objeto	Cobre	Estaño	Hierro	Plomo	Plata	Cine
						
1	93,02	6,45	_	_	_	-
2	98,43	0,72	_	0,42	_	_
3	91,98	7,53		_	_	
-1	97,19	1,92	0,46	rastros	_	_
5	96,53	3,21	_	_	<u> </u>	
6	98,45	<u> </u>	1,06	_	_	111111
7	93, 19	6,31	_	_	<u> </u>	_
8	92,87	6,45	_	<i>-</i>	_	-
9	96,85	1,78	0,92	_	_	
10	96,97	0,39	1,71	 -	_	
11	93,77	5,75	_	l –	_	_
12	97,32	0,17	_	_	1,83	_
13	97,29	1,65	0,42	_	_	
14	90,54	8,79	0,50	_		
15	93,56	5,58		_		_
16	91,06	8,87	_	_		
17	98,62	0,20	rastros	_	1,02	_
18	92,44	6,57	0,31	_	_	
19	95,09	4,83	_	_	_	<u> </u>
20	99,66	0,24	_	_		_
21	92,03	8.04	rastros			_·
22	80,55	_	0,78	0,72	_	15,16
23	90,42	1,60	rastros		_	_
24	92,96	1.80	1,36	–		0,56
25	90,93	7,97	_	-	_	_
26	98,19	0,21	0,35		_	
27	94,51	0,21	rastros		_	-
28	99,44	_	_	rastros	_	_
29	99,48	–]	_	_	rastros	_
30	99,78	-	_	<u> </u>		–
				,		<u> </u>

CONCLUSIONES

Del resultado de los análisis que dejo expresados en las páginas precedentes y de otras consideraciones igualmente establecidas, se deduce que, en términos generales, la existencia del estaño es constante en los objetos de metal fabricados por los Calchaquíes y que, por consiguiente, son verdaderos bronces en los que frecuentemente, junto con los dos elementos esenciales — cobre y estaño — se encuentran otros metales en pequeña proporción, impurezas explicables por la metalurgia primitiva de que hacían uso.

Respecto á si el estaño era agregado durante la fusión ó se hallaba asociado al cobre en los minerales que empleaban para la fabricación de los utensilios, me inclino á creer lo primero pues los análisis practicados en los minerales de la región por ellos habitada y que en número considerable figuran en el trabajo de Hoskold, no revelan la existencia del estaño, confirmado también por los mineralogistas, y no es posible suponer que hayan desaparecido totalmente especies mineralógicas que antes lo contuviesen unido al cobre.

La proporción relativamente elevada á que alcanza en algunos objetos dando para el término medio una cifra más bien alta, y el hecho conocido de que la explotación del yacimiento de estaño hallado en Mazán (La Rioja) data de muchos años atrás, son circunstancias todas que me inducen á afirmar que la adición de estaño era voluntaria, conociendo su propiedad de dar aleado con el cobre, un producto (bronce) de mayor resistencia.

La diferente proporción de estaño encontrada en muchos de los objetos, revela, sin embargo, que su adición se efectuaba de un modo empírico, pues mientras que se han analizado hachas que por el uso á que eran destinadas, debían poseer mayor dureza y sólo contienen de 1 á 4 por ciento del referido metal, llegando á faltar en algunas, en otras piezas que utilizaban como objetos de adorno alcanza á un 10 por ciento ó más; no obstante, hay excepciones pues una de las cifras más alta encontrada en los análisis hechos por mí (8,04 %) corresponde á una hacha, y nada raro es encontrar cinceles, hojas de azuela, etc., con cautidades mayores de estaño.

P. ABEL SÁNCHEZ DÍAZ.

Pase á la comisión examinadora número 24 para que sirva estudiar la presente tesis.

OTTO KRAUSE,

Decano.

Pedro J. Coni,

Secretario.

En la ciudad de Buenos Aires, á los seis días del mes de diciembre de mil novecientos nueve, los miembros de la comisión examinadora número 24 que subscriben, después de revisar la tesis presentada por el ex alumno P. Abel Sánchez Díaz para optar el título de Doctor en Química, resuelven aprobarla.

E. Herrero Ducloux, Eduardo L.
Holmberg, Julio J. Gatti, II.
Damianovich, Guillermo F.
Schaefer, Jacinto T. Raffo,
Pedro T. Vignau.

ÍNDICE

ALEACIONES

Int r oducción
Generalidades
Constitución de las aleaciones
Metalografía microscópica
Propiedades físicas
Propiedades mecánicas
La región Calchaquí
Antecedentes sobre el laboreo de minas y fabricación de ob-
jetos de bronce por los calchaquíes
El bronce calchaquí
Enumeración de los objetos analizados
Resultado de los análisis
Conclusiones