UNIVERSIDAD DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL PIRHUA

ESTUDIO DE LA METALURGIA DEL COBRE EN LA CULTURA VICÚS

Rosalba Guerrero Aslla

Piura, 1990

FACULTAD DE INGENIERÍA

Programa Académico de Ingeniería Industrial

Guerrero, R. (1990). *Estudio de la metalurgia del cobre en la cultura Vicús*. Tesis de pregrado no publicado en Ingeniería Industrial. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial. Piura, Perú.

Esta obra está bajo una licencia
Creative Commons Atribución-
NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA

Facultad de Ingeniería
Programa Académico de Ingeniería Industrial

"Estudio de la Metalurgia del Cobre en la Cultura Vicús"

TESIS

Que Presenta la Bachiller en Ciencias de la Ingeniería

ROSALBA GUERRERO ASLLA

Para Optar el Título de:
INGENIERO INDUSTRIAL

Asesor: Ing. Juan de Dios Saavedra Farfán

PIURA — PERU
1990

UNIVERSIDAD DE PIURA
BIBLIOTECA

A MIS PADRES Y
HERMANOS

PROLOGO

En 1987 se culminó en el Laboratorio de Metalotecnia y Corrosión un Proyecto de Investigación sobre los cobres arsenicales de las culturas peruanas Preincaicas, habiéndose estudiado en esa oportunidad la Cultura Lambayeque. En una de las conclusiones del mismo, se sugirió la conveniencia de continuar con este tipo de investigaciones y hacerlo sobre otras culturas para poder establecer semejanzas y diferencias. Fue así como nació la idea de realizar la presente tesis titulada: "Estudio de la Metalurgia del Cobre en la Cultura Vicús", cuyo objetivo principal es hacer una contribución al estudio de la metalurgia de Vicús, enfocando aspectos referentes a la metalurgia física (métodos de conformación) y a la metalurgia extractiva (posibles minerales empleados).

Son varias las razones que nos llevaron a escoger la cultura Vicús como objeto del estudio: en primer lugar, porque se trata de una cultura netamente norteña, piurana, que alcanzó un alto grado de desarrollo metalúrgico, como lo demuestran la gran cantidad y calidad de objetos pertenecientes a esta cultura; en segundo lu

gar, por que los pocos estudios que se han realizado sobre ella son referidos principalmente a su cerámica; y en tercer lugar por que esos estudios muestran que es una cultura inductora de nuevos estilos y formas siendo un factor esencial para la comprensión de la metalurgia del centro y sur del país.

Finalizado el trabajo de tesis, quisiera agradecer a todas las personas que de una u otra forma me apoyaron en la realización de esta tesis.

Especialmente, debo mi gratitud al Dr. Antonio Mabres quien me brindó su apoyo moral en la prosecución de este trabajo. Asimismo, a la Dra Luz Gonzáles, al Dr. Walter Alva y al Padre Esteban Puig quienes me facilitaron las piezas arqueológicas estudiadas, al Dr. J.A. Pero Sanz quien me alentó en la culminación de este trabajo, y a la Universidad, a través del Laboratorio de Metalotecnia y Corrosión, que me permitió elaborar la presente tesis.

RESUMEN

La presente tesis enfoca dos aspectos de la metalurgia del cobre practicada por los pobladores de la cultura Vicús.

El primero de ellos se refiere a la metalurgia física; estudiándose algunos de los métodos de conformación empleados en la confección de sus objetos, para esto, se han analizado química y metalográficamente seis piezas arqueológicas.

El segundo aspecto se refiere a la metalurgia extractiva, aquí se trata de identificar algunos de los minerales que pudieron usarse en la fabricación de las diferentes aleaciones, para esto, se han recogido y analizado varias muestras de minerales metálicos existentes en la región.

Como conclusiones de este trabajo se puede decir que los metalurgos de Vicús, dominaron las técnicas de deformación en frío, supieron ablandar las aleaciones mediante tratamientos térmicos de recocido, y por último, es bastante probable, que para producir sus aleaciones hayan empleado minerales propios de la zona dada la existencia de mineralización en los lugares aledaños.

"ESTUDIO DE LA METALURGIA DEL COBRE EN LA CULTURA VICUS"

PAG.

PROLOGO

INTRODUCCION

CAPITULO I

LA CULTURA VICUS

1.1. Ubicación Geográfica 1

1.2. Breve Reseña Histórica sobre la Metalurgia de la Cultura Vicús 7

CAPITULO II

ASPECTOS METALURGICOS DEL COBRE Y SUS ALEACIONES

Introducción 24

2.1. Estado en que se encuentra en la Naturaleza 27

2.2. Estructura y Propiedades 30

2.3. Diagramas de Fase Cu-As, Cu-O. Efecto de las Impurezas en el Cobre. 33

2.3.1. Diagrama de Fase Cu-As 34

2.3.2. Diagrama de Fase Cu-O 38

PAG.

CAPITULO III

MENAS DE MINERALES METALICOS EN LA REGION GRAU

3.1. Antecedentes: Investigaciones sobre la Recuperación del Cobre en el Perú Pre-Hispánico. 45

3.2. Investigaciones Realizadas sobre la Existencia de Minerales Metálicos en la Región. 47

3.3. Descripción de los Minerales Metálicos existentes en la Región Grau. 58

3.4. Investigaciones sobre la Posible Existencia de Minas o Actividad Minera Pre-Hispánica en la Región. 68

CAPITULO IV

PRUEBAS REALIZADAS: ANALISIS METALOGRAFICO Y MINERALOGICO

4.1. Análisis de Algunos Objetos de Cobre de la Cultura Vicús. 71

4.1.1. Procedencia y Características de las Muestras. 71

4.1.2. Análisis Químico 88

4.1.3. Análisis Micrográfico 89

4.1.4. Ensayo de Microdureza 102

PAG.

4.2. Análisis de Algunas Muestras de Minerales de la Región Grau 103

4.2.1. Métodos de Análisis Empleados 103

1. Instrumentos y Métodos de Ensayo más usuales 103

2. Ensayo y Diagnóstico de Elementos y Minerales Metálicos Existentes en la Región 127

4.2.2. Procedencia y Características de las Muestras 147

4.2.3. Resultados del Análisis Mineralógico 157

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 170

APENDICE 172

BIBLIOGRAFIA 179

INTRODUCCION

El alto grado de desarrollo metalúrgico alcanzado por la Cultura Vicús, se conoce por la serie de objetos pertenecientes a ella, que se han encontrado en diversas excavaciones; sin embargo, son muy pocos los estudios realizados sobre estos objetos, usando las técnicas de la metalurgia.

Con el presente trabajo se pretende dar a conocer las técnicas usadas en el proceso de conformación de los objetos realizados en aleaciones base cobre, usando para ello, técnicas metalográficas; y además investigar los posibles minerales empleados en la producción de sus materiales, realizando para esto, el análisis mineralógico de las menas de minerales metálicos existentes en la región, y que pudieron ser utilizados por los antiguos pobladores de la cultura Vicús.

La tesis consta de cuatro capítulos cuya descripción se da a continuación:

Capítulo I : Comprende la ubicación geográfica de la cultura Vicús y un resumen de las investigaciones realizadas hasta el momento acerca de la metalurgia de Vicús.

Capítulo II : Se estudian aspectos metalúrgicos del cobre y sus aleaciones, propiedades y el efecto del arsénico y oxígeno como impurezas en el cobre, analizando para ello los diagramas Cu-As y Cu-O.

Capítulo III : Se hace una investigación sobre los minerales metálicos existentes en la Región Grau, dándose una descripción de ellos, y se investiga también la presencia de minas prehispánicas en la zona.

Capítulo IV : Este capítulo tiene dos partes. En la primera se analizan los objetos reunidos, realizándose para ello: análisis químico, metalográfico y ensayo de microdureza. En la segunda parte, se realiza el análisis mineralógico de las menas encontradas haciéndose, además, una descripción de los métodos empleados para realizar el análisis.

Finalmente, se dan las conclusiones y se aportan sugerencias que podrían ser útiles en investigaciones posteriores sobre metalurgia arqueológica.

CAPITULO I

LA CULTURA VICUS

1.1. UBICACION GEOGRAFICA

Hacia principios de la década de 1960, en Chulucanas (capital de la provincia de Morropón del Departamento de Piura), algunos "huaqueros" descubrieron inmensos cementerios, con sepulcros de gran profundidad excavados en la tierra, y que contenían hermosas piezas de cerámica junto a las que aparecían objetos de metal en considerable cantidad, principalmente de oro y cobre dorado. Las tumbas más importantes se encontraron en el Cerro Vicús, situado a 7 km al S.O. de Chulucanas, razón por la cual a la nueva cultura se le dió este nombre.

Inicialmente, el estilo se llamó Ayabaca, porque los primeros hallazgos que se hicieron provienen de la provincia del mismo nombre; Ayabaca linda al Norte y Este con

Ecuador y al Sur con las provincias de Morropón y Huancabamba (fig. 1.1), De la cadena andina se desprende un ramal que se bifurca desde su origen con estribaciones hacia Huancabamba y Ayabaca. La agrupación de cerros en Ayabaca se llama Los Altos y en la cabeceras se ubica el distrito de Frías, famoso por el oro encontrado en tumbas excavadas en el lugar denominado Callingará (figura 1.2).

Dentro del estilo Vicús, hay dos variantes específicas que corresponden a las dos fisonomías geográficas de la región: una variante serrana cuyo foco está en Frías y que tienen similitudes con el "área del oro" (Ecuador, Colombia, hasta Centro América)(1), su expansión a la zona de Vicús se vería comprobada por el desarrollo de la orfebrería que revelan los hallazgos en esta zona, por ejemplo, el Idolillo de Frías; la otra variante es la costeña, cuyo foco está en Vicús y tiene similitudes con las culturas del sur y un posible entroncamiento con las Culturas Salinar, Gallinazo-Virú (2).

Desde el punto de vista geográfico, Vicús se ubica en un lugar que comunica a la costa con los Andes Septentrionales y probablemente se usó como paso obligado hacia la ceja de selva. Dada esta privilegiada posición debió y logró ser ente de transformación cultural, agente de intercambio y elemento de difusión.

Fig. 1.1. Departamentos de Piura y Tumbes

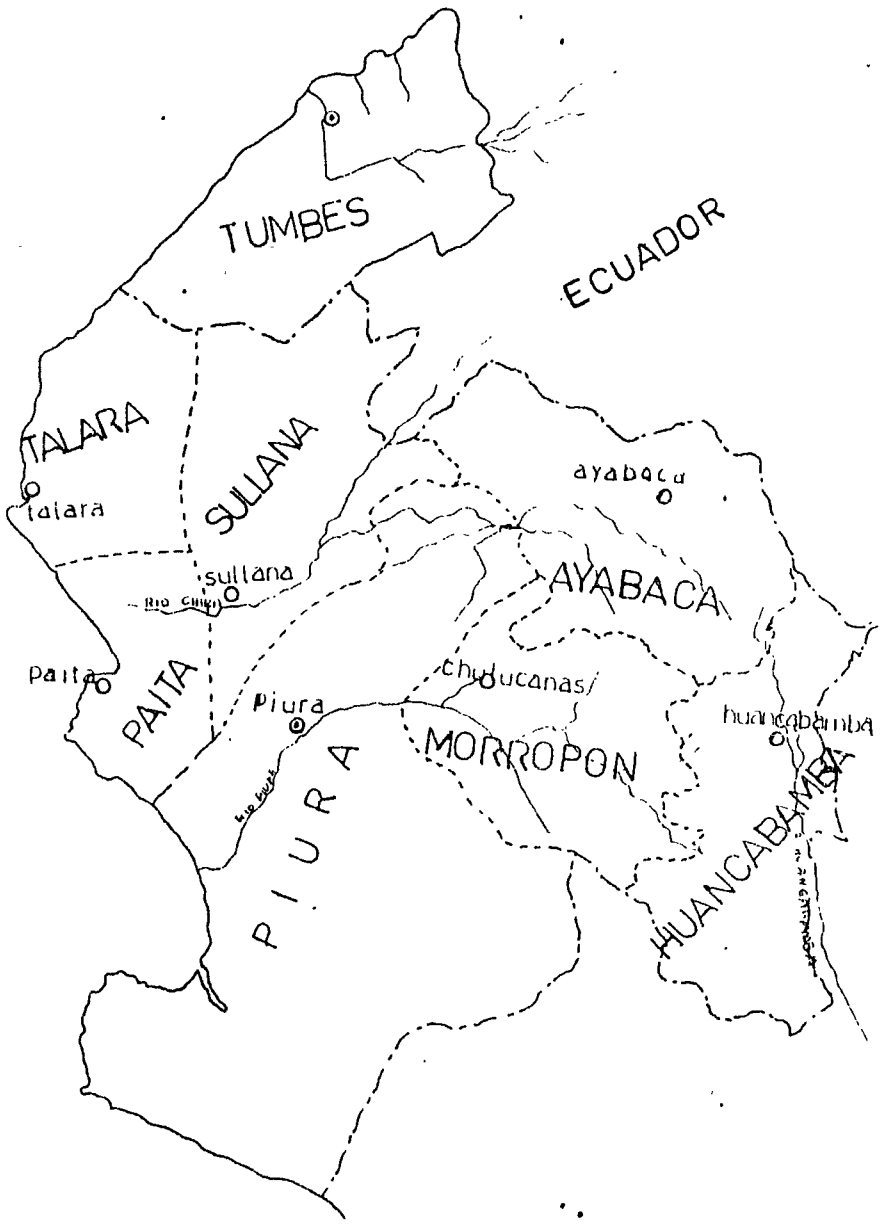


Fig. 1.2. Vista del Cerro Callingará (Ayabaca).

Una década antes de los descubrimientos en el Cerro Vicús, se habían realizado importantes trabajos de investigación en la costa desértica de Piura y en la parte baja del valle del mismo nombre, encontrándose en ésos momentos una cultura aislada bautizada como Sechura, que posteriormente fue llamada también Vicús. De esta manera, Vicús fue identificada como una cultura regional de Piura (3).

Vicús, pues, si bien corresponde a un pueblo neta y definitivamente piurano, tuvo un área de influencia que comprende un territorio muy extenso, que va desde los valles de Lambayeque por el sur, hasta la región de Cuenca, en la Sierra ecuatoriana, por el Norte (fig. 1.3), en ambos extremos se encuentran cerámica de estilo Vicús, aún cuando las culturas locales contemporáneas eran diferentes.

Según la bibliografía consultada se han encontrado restos arqueológicos de la cultura Vicús en lugares como: Cerro Vicús, El Ovejero, Hacienda Pabur, y Loma Negra, situados en el Distrito de Chulucanas, (provincia de Morropón) en territorio de la provincia de Ayabaca tenemos: Frías, Cerro Callingará; en el valle del Bajo Piura: Catacaos, Sechura; también se han encontrado restos en Sullana, Tumbes, etc.

Fig. 1.3. Area de Influencia de la Cultura Vicús

Además mediante viajes realizados a Chulucanas y Vicús, hemos podido recibir información de nuevos hallazgos en lugares como Yécala (a 72 km de Chulucanas), y en las Pampas Juárez y Valverde (que tuvimos la oportunidad de visitar) pertenecientes al caserío de Vicús. En la fig. 1.4, se muestra un mapa indicando estos lugares.

1.2. BREVE RESEÑA HISTORICA SOBRE LA METALURGIA DE LA CULTURA VICUS

La cultura Vicús sucedió a la cultura Paita aproximadamente en el año 400 A.C., aún cuando el Carbono 14 indica que podría prolongarse esa fecha hasta el año 500 A.C. La misma técnica de fechación indica además que Vicús tuvo una larga duración y que su existencia se prolongó hasta el siglo VI ó VII de nuestra era (4).

Sobre la fecha de iniciación y duración de la Cultura Vicús queremos anotar también los estudios hechos por Rafael Larco Hoyle, el arquéologo que más ha estudiado la cerámica de Vicús.

Larco Hoyle, divide la historia del Perú en épocas y períodos (ver cuadro Nº 1.1); como primera época considera la Pre-cerámica, luego la época inicial de la cerámica, don

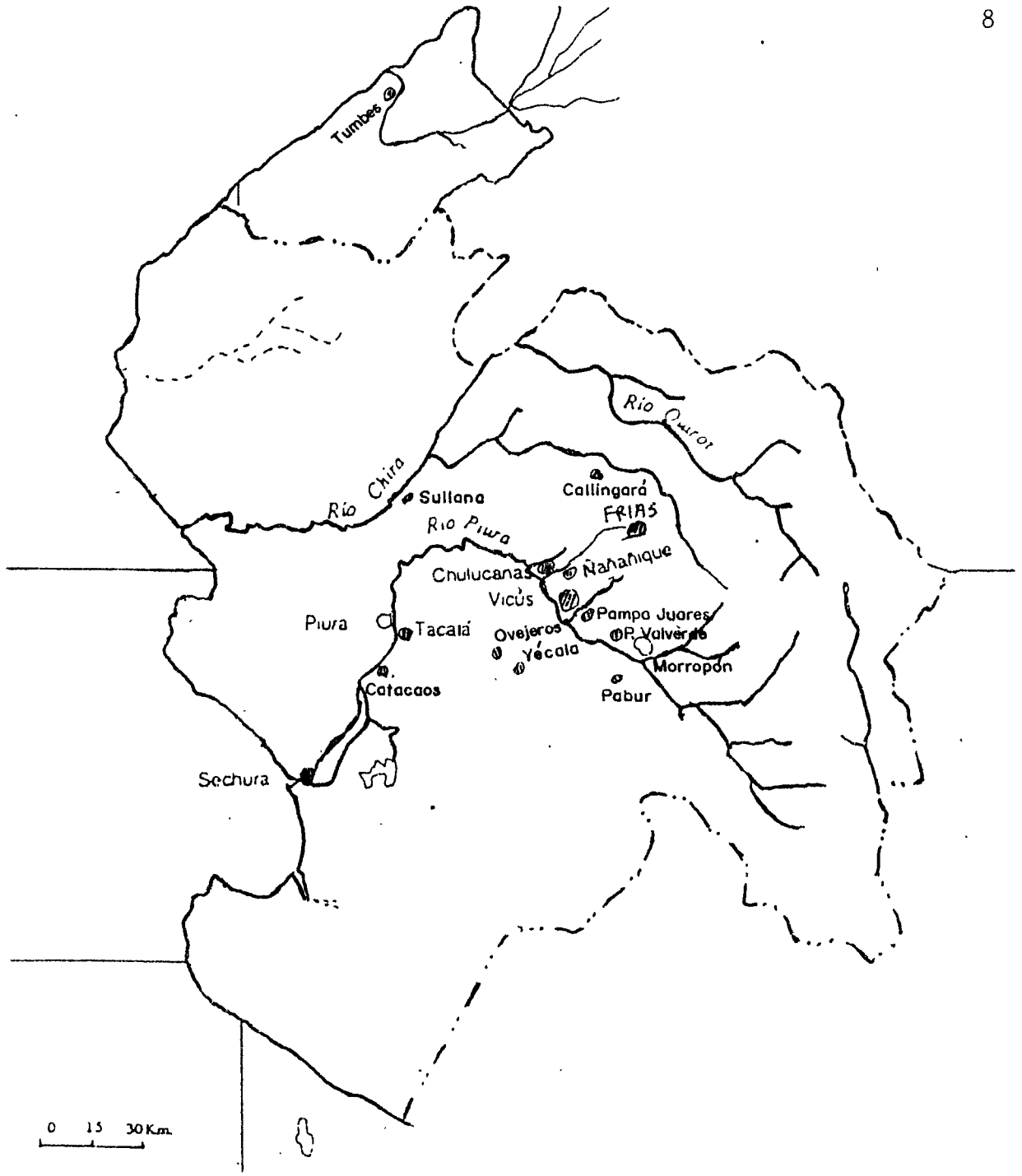


Fig. 1.4. Lugares donde se han encontrado Restos Arqueológicos de la Cultura Vicús.

de aparecen los primeros objetos de cerámica burda y tosca. Sigue la época Evolutiva o Formativa que considera la más interesante e importante pues es la época de la inventiva donde "no sólo surge en forma vigorosa la cerámica en sus motivaciones y formas, sino que aparece la metalurgia, toma fuerza la arquitectura, el arte textil se perfecciona con el dominio de la técnica se inventan los primeros implementos. Todo va adquiriendo forma para que en la siguiente época, la Epoca Auge, las culturas florezcan con personalidad propia" (5). Es en esta época Evolutiva en que Larco Hoyle sitúa a la cultura Vicús (ver cuadro Nº 1.2). Hoyle encuentra en la cultura Vicús, el origen de los estilos característicos de la cerámica de la Costa Peruana y por esto considera a Vicús "una cultura clave en cuanto a las formas que encontramos en el Norte como en el Sur del Perú" (6).

Los hallazgos realizados en las zonas mencionadas anteriormente en 1.1, especialmente los objetos de metal, demuestran que los pobladores de Vicús habían logrado dominar ampliamente todas las técnicas ligadas al manejo metalúrgico del oro, plata y cobre, así como una aleación de estos tres elementos conocida como "tumbaga" o "Champi", que más allá de darle mayor dureza al cobre y hacerlo más maleable, permitía el dorado final de las piezas por lo que, muchos objetos de cobre, lucían como bellas piezas de oro. Al respecto, investigadores, en su mayoría extranjeros, han estudiado diversos especímenes representativos sobre todo de la metalur

CUADRO Nº 1.1.

CUADRO CRONOLOGICO DE LA HISTORIA DEL PERU

En base a las fechas obtenidas por la prueba del carbono 14, Hoyle elaboró el siguiente cuadro en el que figuran las fechas de cada una de las épocas en que divide el proceso cultural peruano. Según Hoyle la mayor parte de estas fechas concuerdan con los cuadros hechos por Masson y otros arqueólogos y también con las fechas obtenidas por la prueba del carbono 14 y dadas por Junius Bird.

Pre - Cerámica	(8,000 a.C. - 2,000 a.C.)
Inicial de la Cerámica	(2,000 a.C. - 1,250 a.C.)
Evolutiva o Formativa	(1,250 a.C. - 1)
Auge	(1 - 800 d.C.)
Fusional	(800 d.C. - 1,300 d.C.)
Imperial	(1,300 d.C. - 1,532 d.C.)
Conquista	(1532 d.C.)

CUADRO Nº 1.2.

CUADRO CRONOLOGICO DE LAS CULTURAS DESARROLLADAS EN LOS VALLES DE PIURA Y LAMBAYEQUE (7)

(Tomado de "Perú" Rafael Larca Hoyle)

EPOCAS		PERIODO	CULTURAS	CULTURAS
VII	Conquista	Ultimo Medio Inicial 1532 d.C.	Colonial	Ollería Colonial
VI	Imperial	Ultimo Medio 1438 d.C. Inicial 1300 d.C.	Chimú-Inca Inca Chimú	Chimú-Inca Inca Chimú
V	Fusional	Ultimo Medio 1050 d.C. Inicial 800 d.C.	Huari Norteño B Huari Norteño A	Huari-Lambayeque Huari-Norteño B Lambayeque Huari Norteño A
IV	Auge	Ultimo Medio 400 d.C. Inicial 1	Mochica II Lambayeque Mochica I - Morropón	Lambayeque II Cajamarca Mochica IV Lambayeque I Mochica IV Chongoyape Transitorio Chongoyape
III	Evolutiva o Formativa	Ultimo Medio 625 a.C. Inicial 1250 a.C.	Anaranjados Complejo Mochica Vicus Moldeada Blanco sobre rojo Vicús transitorio Vicús inciso Vicús a mano	Base Aérea
II	Inicial de la cerámica	Ultimo Medio 1625 a.C. Inicial 2000 a.C.	Paita inicial	
I	Pre cerámica	Ultimo 400 a.C.		

gia del oro.

Entre los diversos hallazgos queremos destacar el estudio realizado sobre siete jaguares de oro encontrados en el Valle de Chongoyape, y que actualmente se exhiben en diferentes partes del mundo. Las piezas fueron hechas uniendo mediante soldadura las diferentes partes que componen el cuerpo del jaguar (cabeza, patas, cuerpo, cola), partes que están hechas de láminas de oro; la composición química promedio es 75.9 % Au, 14.9 % Ag, 8.9 % Cu (7).

Estos objetos no están aún catalogados en forma fehaciente como pertenecientes a una determinada cultura, al respecto, del artículo "Siete Jaguares de Oro del Horizonte Temprano" publicado por Lechtman y otros investigadores (8), extraemos los siguientes párrafos en los que se discute este problema y además nos ilustra acerca de la historia metalúrgica de la Cultura Vicús:

> "... en nuestra opinión, en términos descriptivos estos jaguares de oro podrían ser "chavinoides", aunque es posible que culturalmente sean proto-Mochica o Vicús temprano, y por esto tienen una fecha aproximadamente entre 400 y 100 A.C. Su representación es naturalista, sin los característicos colmillos entrecruzados de los felinos chavín. El motivo del jaguar es general en muchas culturas perua

nas precolombinas y, como lo indica Kan, es común en muchos estilos norteños del Perú del período intermedio Temprano...". "... Parsons encuentra que lo más semejante en técnica y estilo a estos jaguares es un pequeño sapo de oro, hueco, martillado y soldado, hallado en la región de Vicús, en el Valle de Piura...". "Otros objetos similares en estilo, hechos con láminas de oro unidas metalúrgicamente, ahora son asignados a las culturas Vicús y Frías de la Costa Norte. De este grupo, la figura femenina de oro, hueca y con la cabeza separada, actualmente en el museo Arqueológico Bruning de Lambayeque, combina uniones metalúrgicas y mecánicas, mientras la llamada comadreja de la colección Mujica Gallo está ensamblada exclusivamente con uniones metalúrgicas al igual que los jaguares..."

"... La región de Vicús no ha sido explotada por los huaqueros sino a partir de 1962, después que una gran cantidad de objetos de este estilo aparecieron en el mercado. En base a un análisis de la cerámica se ha sugerido que: El estilo clásico de la cerámica Vicús está estrechamente relacionado de muchas maneras con el de los períodos tempranos de la Cultura Mochica, de los Valles de Chicama y Moche, unas 200 millas al Sur. La relación histó-

rica no está todavía bien definida y sabemos poco sobre los períodos tempranos de los extensos valles intermedios.

El Valle de Lambayeque, donde se presume fueron encontrados los siete jaguares, geográficamente está situado entre estos dos centros culturales, y es conocido principalmente por las tumbas Chavín del Horizonte Temprano halladas en Chongoyape, y las abundantes colecciones de cerámica tardía, principalmente las del estilo Lambayeque y Chimú. Sin embargo, arqueológicamente es una de las regiones menos exploradas. En esta área el período contemporáneo a Vicús y Mochica no está aún definido. Provisionalmente nuestro grupo de adornos ha sido asignado al comienzo de este período ..."

Como respuesta, en parte, a la cuestión planteada en este artículo por los investigadores de los jaguares, citamos a Larco Hoyle quien en su libro "Perú" (9) explica cómo las culturas de la época Auge, son producto de la evolución de las culturas de la Epoca Evolutiva o Formativa, así, Mochica, perteneciente a la época Auge, es el resultado de la fusión de los tres elementos representativos de la cerámica Vicús (perteneciente a la época Evolutiva). Esta transformación (de Vicús hacia Mochica), según Larco Hoyle, se da en toda la Costa norte, pero ocurre que al llegar al período

Mochica II, en el Valle de Chicama la evolución de Mochica continúa, en cambio en Piura, Mochica desaparece para dar lugar a la Cultura Lambayeque en el departamento del mismo nombre.

Como se desprende del artículo de Lechtman, aunque las piezas fueron halladas en un Valle Chiclayano, lo que se sabe con mayor certeza es que pertenecen al Horizonte Medio I, Lechtman revocó la fecha dada inicialmente como pertenecientes al Horizonte Temprano (10), en cualquiera de los casos son períodos en los que la cultura Vicús estaba en su apogeo (ver cuadro 1.3).

CUADRO Nº 1.3.

TABLA CRONOLOGICA que refleja las fases más importantes de la Prehistoria andina (tomada del artículo "Metalurgia Superficial Pre-Colombina por Heather Lechtman).

AÑO	CRONOLOGIA RELATIVA	ACONTECIMIENTOS
1534	Período colonial	Imperio Español
1500	HORIZONTE TARDIO	Imperio Inca
1476	Periodo Tardío	Reino Chimú — Cultura Chimú
1000	Intermedio	
500	HORIZONTE MEDIO	Imperio Huari
d.C. / a.C.	Período Intermedio Temprano	INFLUENCIA NAZCA — Cultura Moche
500	HORIZONTE TEMPRANO	Tradición Paracas-Nazca; Influencia Chavín
1000		
1500	Periodo Inicial	
2000		

Otros hallazgos se han hecho en el lugar denominado Loma Negra donde se han encontrado muchas piezas de oro y cobre batido y presentaban una capa superficial de oro y plata. Los orfebres de la Cultura Vicús conocían procedimientos para cubrir objetos de cobre con una delgada capa de metal precioso (11). Como puede verse, existen muchas pruebas suficientes como para decir que los Vicús alcanzaron un alto grado de desarrollo en la metalurgia principalmente en las técnicas de conformación de metales y recubrimiento superficial; sin embargo no se puede decir mucho acerca de las técnicas de extracción y fabricación de aleaciones, esto es debido principalmente a que aún no se han encontrado restos arquitectónicos, lo que se ha encontrado hasta ahora son tumbas, pero no restos que demuestren haber sido el centro donde se desarrolló la vida de los hombres de Vicús y donde pueden ubicarse, por ejemplo, objetos para trabajos metalúrgicos, residuos de fundición, etc., que ayuden a dilucidar la interrogante acerca del lugar donde obtuvieron la materia prima para hacer sus aleaciones.

Sin embargo, recientemente un grupo de estudiosos de la Universidad Católica, encabezados por el alemán P. Kauliche y el polaco C. Makoswky, encontraron en la zona arqueológica de Yécala situado a más de 6 km y medio del Cerro Vicús, en el distrito de Chulucanas, un área de producción metalúrgica que dataría del año 210 d.c. Entre los descubri-

mientos se encuentra un peculiar horno (fig. 1.5) construído en arcilla con cámara elipsoidal, provista de un canal central en su bóveda, con cuatro hendiduras para igual número de cañas, soplando a través de ellas se lograba elevar la temperatura del fuego a unos 1000 °C. La hipótesis de los investigadores, a juzgar por el tamaño del horno y por las características del conjunto de instalaciones, como hoyos de diferentes formas para almacenaje y producción de carbón vegetal, es que el horno servía para elaborar productos finales a partir de lingotes de metal de cierta pureza (12).

Estos mismos investigadores, excavando en las Pampas de Juárez y Valverde (juridicción del pueblo de Vicús, y que tuvimos la oportunidad de visitar cuando se estaban haciendo las investigaciones), encontraron un objeto que luego fue identificado como una tobera (instrumento de forma tubular que se usaba para elevar la temperatura del horno y mantener el fuego mediante una corriente de aire).

Es importante anotar también los descubrimientos ocurridos en el Cerro Ñañañique porque ellos nos dan una información acerca de la historia y tiempo en que apareció la cultura Vicús. El cerro del que mostramos un plano, fig. 1.6, se encuentra situado en plena ciudad de Chulucanas. Las investigaciones en esta, zona están a cargo del arqueólogo francés Dr. Jean Guffrey mediante el convenio ORSTOM, en el que también trabajan los Drs. Kauliche y Makowsky, firmado

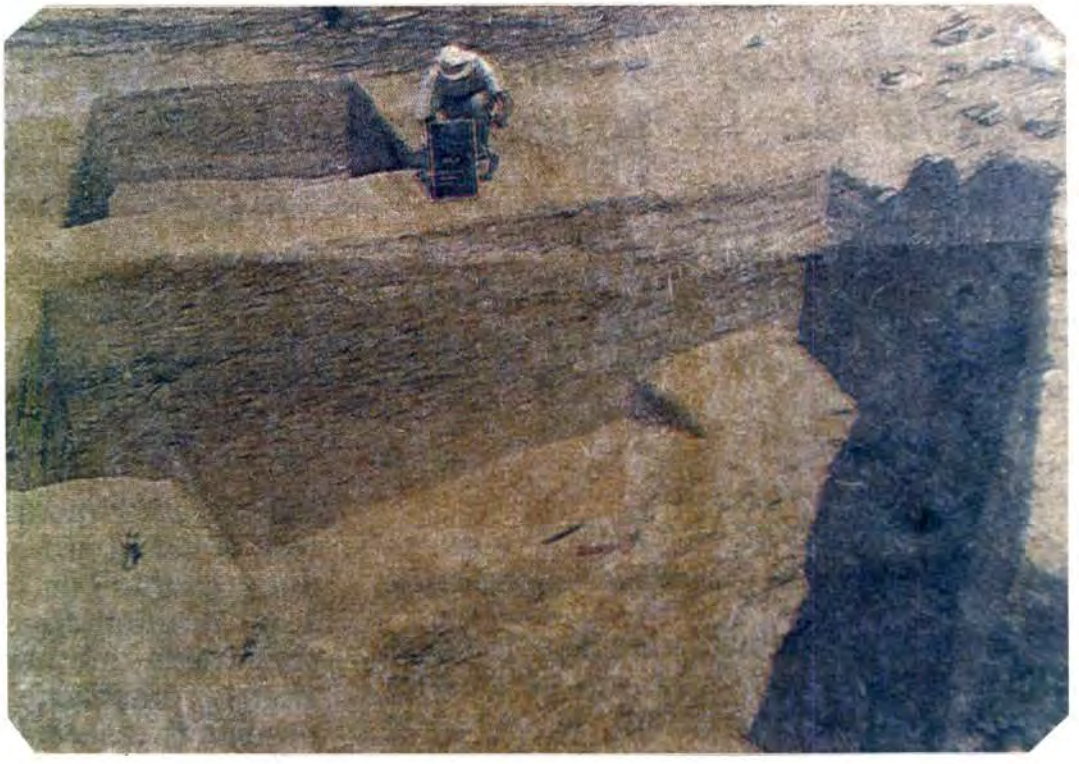


Fig. 1.5. Construcción Arqueológica en Yécala, donde se descubrió un Horno Metalúrgico.

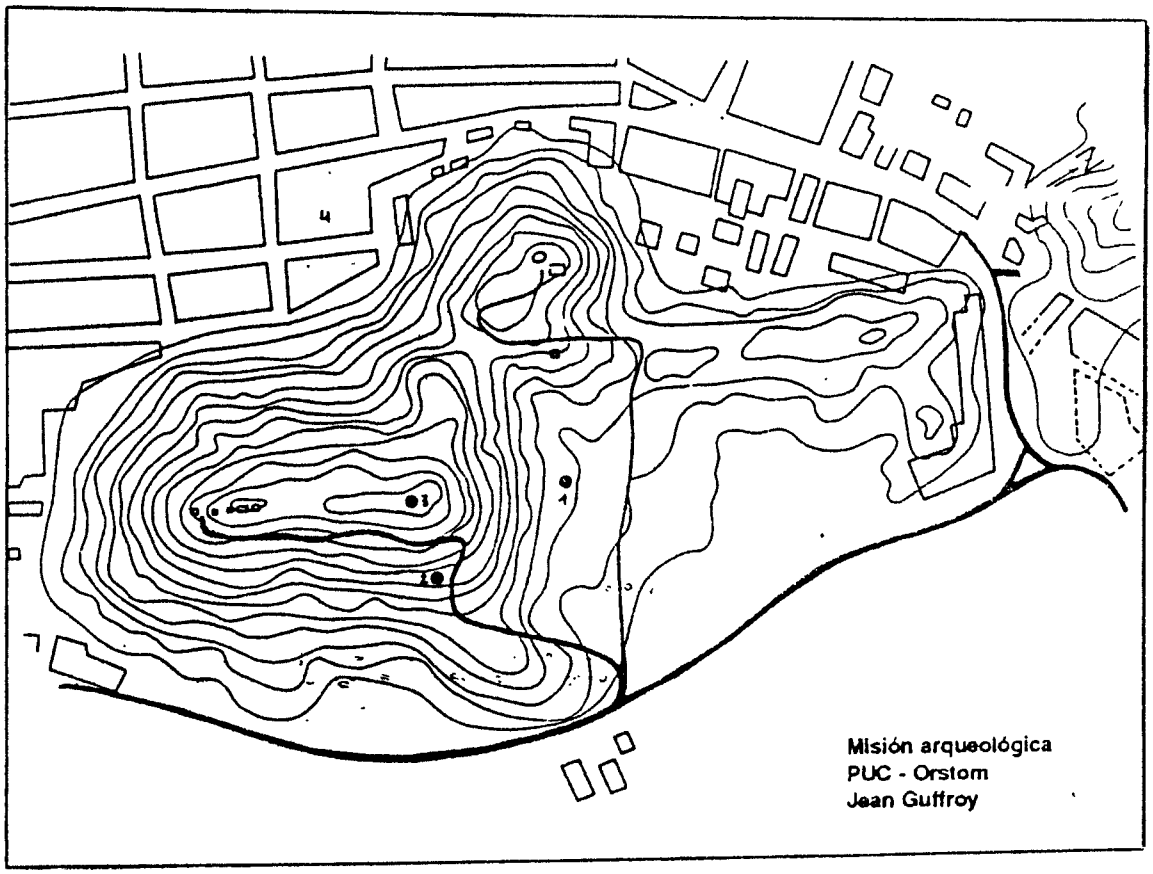


Fig. 1.6. Plano del Cerro Ñañañique.

1. Estructura del Periodo Inicial: Construcciones
2. Estructura (paredes) del intermedio tardio Tallán
3. Estructura: Construcción compuesta de 6 compartimientos rectangulares. Periodo: Tallán o Tallán-Inca.
4. Ciudad de Chulucanas.

entre el Perú y Francia para realizar estudios de investigación arqueológica en el departamento de Piura.

Las ruinas encontradas en el cerro Nañañique, tienen una antiguedad aproximada de 2700 ó 2500 años y pertenecen a una cultura pre-inca anterior a la conocida cultura Vicús; la nueva cultura ha sido bautizada por su descubridor como "cultura Chulucanas". El Dr. Guffroy afirma que la cultura Chulucanas se desarrolló aproximadamente en el siglo VII ó V A.C., es decir que es dos o cuatro siglos anterior a la Cultura Vicús (13).

El hallazgo es una construcción de base rectangular hecha en piedra y barro arcilloso con paredes que presentan dos hileras de piedra. En el interior de la base se presentan restos de cerámica de buena calidad y fragmentos de huesos de peces, la construcción tiene aproximadamente 30 cm de altura y abarca unos 80 cm^2 de superficie (14). Si bien las ruinas descritas anteriormente corresponden al período formativo, es importante señalar que posteriores hallazgos en la cumbre del cerro Ñañañique han dado a luz una construcción de 40m de largo dividido en cinco recintos con cimientos de paredes de 80 cm de ancho y con el suelo cubierto de cerámica. Estas nuevas ruinas pertenecen según Dr. Guffroy al siglo XIV de nuestra era posiblemente. (15).

Actualmente estas ruinas se encuentran enterradas (se hizo esto para evitar saqueos de huaqueros del lugar). Dado que en el Cerro Ñañañique existen construcciones de distintas épocas, este tiene interés para nuestro estudio por la cercanía del lugar con Vicús y porque pueden encontrarse restos de construcciones pertenecientes a la época Vicús.

NOTAS AL CAPITULO I

(1) Se conoce como "área del oro" a una zona extensa comprendida entre Ecuador, Colombia y Centro América (México), donde se han encontrado gran cantidad de objetos de oro de similares características metalúrgicos. Bússe, Hernán. "Introducción al Perú", 1965. Lima-Perú.

(2) Idem.

(3) Museo del Banco Central de Reserva del Perú "Vicús Colección Arqueológica". 1987, Lima - Perú.

(4) Idem. pág. 12.

(5) LARCO HOYLE, Rafael. "Perú". 3era edición, 184; pág. 49.

(6) LARCO HOYLE, Rafael. Idem ; pág. 91.

(7) LARCO HOYLE, Rafael. "La Cerámica de Vicús", 1965. Lima-Perú

(8) LECHTMAN H. Parsons ; Young W. "Siete Jaguares de Oro del Horizonte Temprano"; Separata del Tomo XLI (1965) de la Revista del Museo Nacional. Lima - Perú; pág. 294.

(9) Idem. Págs. 279 a 281.

(10) OEHM , Víctor. "Investigaciones sobre Minería y Metalurgia en el Perú Pre-Hispánico"; pág. 50-51

(11) LECHTMAN H. "Metalurgia Superficial Precolombina". Investigación y Ciencia; 1986.

(12) Diario "El Comercio", Marzo 1988. Lima-Perú.

(13) Semanario "El Pregón". Domingo 1 de marzo de 1987, pág. 10, Biblioteca Municipal de Chulucanas.

(14) Idem, pág. 12.

(15) Semanario "El Pregón", domingo 2 de agosto de 1987, pág. 6. Biblioteca Municipal de Chulucanas.

CAPITULO II

ASPECTOS METALURGICOS DEL COBRE Y SUS ALEACIONES

INTRODUCCION

El cobre es quizá uno de los primeros metales que fue usado por el hombre; 6,000 A.C. ya se conocía el arte de fundirlo y trabajarlo para la confección de instrumentos y artículos domésticos. Su nombre deriva del término latín "ciprium" por Cyprus (Chipre), isla de donde fue obtenido por los romanos, denominándosele "Cuprum".

Es un metal de color rojizo, de superficie brillante, lustrosa, dúctil, maleable, flexible, buena resistencia a la corrosión, buen conductor de calor, su propiedad física más importante es su alta conductividad eléctrica.

Pertenece al grupo de los metales nobles junto con el oro y la plata, elementos que se caracterizan por su escasa reactividad

por lo que es corriente encontrarlos libres en la naturaleza.

Asimismo, existe en cantidades considerables formando diversos compuestos con azufre, fierro, oxígeno y carbonatos.

El cobre forma aleaciones con la mayoría de los metales; estas aleaciones se caracterizan por su resistencia mecánica moderada unida a una elevada ductilidad, esta circunstancia hace que sean especialmente adecuados para tratamientos mecánicos en frío, con lo cual, debido a la acritud, se confiere al material mayor dureza y resistencia mecánica, aunque disminuye su ductilidad. Para muchas aplicaciones este estado puede ser de interés, pero igualmente podemos volver al estado primitivo de ablandamiento mediante un recocido adecuado, permitiendo de esta manera tratamientos en frío posteriores, tales como el hilado, prensado, estirado, acuñado y otros procesos de conformación que transforman al material en productos acabados.

Se producen también gran número de productos por tratamiento mecánico en caliente por estampación, forjado y extrusión; y en muchos de estos materiales se ajusta la composición para incrementar su fácil mecanizado.

Igualmente se emplean con gran extensión los productos moldeados no sólo por la facilidad con que se obtiene en la mayoría de los casos, sino también por sus óptimas propiedades mecánicas que

les caracterizan, tales como la resistencia y la tenacidad.

En el vasto campo de las aleaciones de cobre encontramos materiales que cumplen muy variados requisitos respecto a las propiedades mecánicas a las que hay que añadir las características propias del cobre como elevada conductibilidad térmica y eléctrica, buena resistencia a la corrosión y al desgaste, etc.

2.1. ESTADO EN QUE SE ENCUENTRA EL COBRE EN LA NATURALEZA

En la naturaleza el cobre se encuentra en dos formas: en estado nativo (al igual que el oro y la plata), y en forma de compuestos, que es lo más frecuente, especialmente formando óxidos y sulfuros.

El cobre nativo está extensamente presente en venas de cobre, pero normalmente en pequeñas cantidades. La mayor cantidad, de cobre nativo en la naturaleza se forma en el límite entre las zonas de oxidación y cementación, donde sulfuros enriquecidos de cobre, previamente formados (principalmente digenita-calcosina) son afectados por procesos de oxidación. Por esta razón el cobre nativo se encuentra casi siempre acompañado de cuprita y digenita-calcosina (15). También se encuentra frecuentemente junto a malaquita y azurita (16).

La mayor cantidad de cobre que se comercializa en el mundo se extrae de sus minerales, de éstos los más importantes son (17):

- CALCOSINA: Es un sulfuro de cobre de fórmula SCu_2, es una de las minas de cobre más importante.

- DIGENITA: Es una especie muy parecida a la Calcosina y se encuentra asociada a ella, su fórmula es: S_5Cu_9.

- COVELLINA: Es un sulfuro de cobre de fórmula: SCu, puede contener pequeñas cantidades de hierro.

No es un mineral muy abundante, pero se halla en muchos depósitos de cobre, asociado con otros minerales de cobre, principalmente calcosina, calcopirita, bornita, enargita, de las que deriva por alteración.

- CALCOPIRITA: Es un sulfuro de cobre y hierro: $CuFeS_2$ el mineral de cobre más corriente y una de las fuentes más importantes de este metal. Está asociado con la pirita pirrotina, blenda, galena, cuarzo, etc.

- BORNITA: Al igual que la calcopirita es un sulfuro de cobre y hierro de fórmula: S_4Cu_5Fe. Es una mena general de cobre.

- ENARGITA: Es un sulfoarseniuro de cobre: S_4AsCu_3. Es una mena de cobre muy empleada, pero relativamente rara.

- CUPRITA: Es un óxido de cobre: Cu_2O. Normalmente se encuentra puro, pero puede estar el óxido de hierro como impureza. La cuprita es una importante mena de cobre. Aparece asociada con limonita y otros minerales secundarios de cobre como el cobre nativo, la malaquita, la azurita, y la crisocola.

- MALAQUITA: Es un carbonato básico de cobre de fórmula: $CuCO_3Cu(OH)_2$. La malaquita es una mena muy importante de cobre y es muy frecuente. Se halla asociada a la azurita, cuprita, cobre natural.

- AZURITA: Al igual que la malaquita es un carbonato básico de cobre: $2CuCO_3Cu(OH)_2$. La azurita tiene el mismo origen y paragénesis que la malaquita, pero es mucho más frecuente que ella en cristales.

- TETRAEDRITA: Esencialmente es un sulfoantimoniuro de cobre, hierro, zinc y plata de fórmula: $S_{13}Sb_4(Cu, Fe, Zn, Ag)_{12}$. El Cu es siempre el elemento principal, pero le sustituye abundantemente el Fe y Zn. Es el mineral más corriente del grupo de las sulfosales, normalmente se encuentra asociado con la calcopirita, pirita, blenda, galena y otros minerales de plata, plomo y cobre. Puede contener suficiente cantidad de plata para convertirse en una importante mena de este metal.

- TENANTITA: Es una variedad de la tetraedrita en la que el arsénico sustituye al antimonio en todas sus proporciones teniendo como fórmula: $As_4S_{13}(Cu, Fe, Zn, Ag)_{12}$.

2.2. ESTRUCTURA Y PROPIEDADES

La unidad o celdilla fundamental de la red espacial de un grano cristalino de cobre es cúbica centrada en las caras o f.c.c. (ver fig. 2.1), es decir consiste en un cubo con un átomo de cobre en cada vértice y otro en el centro de cada cara, conteniendo, pues, cada celdilla cuatro átomos. El parámetro de la red a 20 °C es 3.61 A°. Este tipo de estructura es el responsable de las características físicas y mecánicas del cobre.

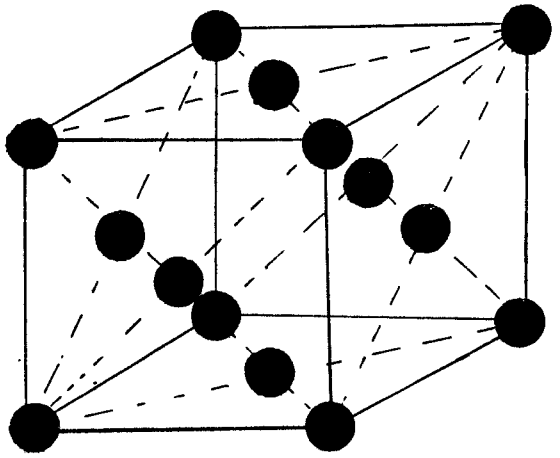


Fig. 2.1. Estructura cristalina del cobre

PROPIEDADES GENERALES DEL COBRE (18)

El cobre presenta las siguientes propiedades físicas referidas a 20 °C:

Densidad	894 gr/c.c
Conductibilidad térmica	0.934 cal/cmseg°C
Coeficiente de expansión térmica lineal	16.6×10^{-6}
Punto de fusión	1085 °C
Punto de ebullición	2310 °C
Calor latente de fusión	48.9 cal/gr
Calor latente de vaporización	1150 cal/gr
Calor específico	0.092 cal/gr°C
Resistencia específica en estado de recocido	1.724 $\mu\Omega$ cm
Conductibilidad	0.58001/$\mu\Omega$ cm

DEFORMACION PLASTICA DEL COBRE

El cobre presenta excelentes cualidades de deformación plástica en frío y en caliente, si bien el cobre con elevada acritud.puede recristalizar a temperatura ambiente, en realidad no empieza a notarse un ablandamiento hasta temperaturas próximas a 200 °C. Las temperaturas de recocido prácticas oscilan entre 375 y 650 °C, con tiempo de duración desde 30 minutos a varias horas. Las temperaturas de forja usuales oscilan entre 750 y 785 °C (19).

PROPIEDADES MECANICAS

Existe poca diferencia entre los diversos tipos de cobre, por lo que respecta a sus propiedades mecánicas, si bien para un mismo estado los cobres al arsénico presentan una resistencia mecánica ligeramente superior y los cobres exentos de oxígeno o desoxidados son algo más dúctiles que los otros. En general las propiedades mecánicas representativas son las siguientes:

TABLA Nº 2.1. PROPIEDADES MECANICAS GENERALES DEL COBRE (20)

ESTADO	Kg^R/mm	Kg^E/mm	A%	DUREZA ROCKWELL F	B	30T	DUREZA VICKERS
Recocido	23	6	33	45	-	38	50
Semiduro	29	25	12	83	35	50	95
Duro	33	30	7	89	51	58	115
De Colada	15	3	20	-	-	-	40

COMPORTAMIENTO FRENTE A LA OXIDACION Y A LA CORROSION

El cobre muestra una excelente resistencia a la acción de muchos productos químicos, salvo ciertos ácidos minerales fuertes y el amoníaco, lo cual unido a su elevada maleabilidad y su conductibilidad térmica (superior a 0.92) hace que este material sea especialmente apropiado en los sistemas de transmisión del calor en las plantas químicas.

Cuando está expuesto a la acción atmosférica, se forma en su superficie una pátina verde mate agradable a la vista que protege al metal inferior. Debido igualmente a su elevada resistencia a la corrosión en distintos tipos de terreno, se emplean con frecuencia tuberías de cobre para la distribución subterránea del agua y el gas.

2.3. DIAGRAMAS DE FASE Cu-As y Cu-O. EFECTO DE LAS IMPUREZAS EN EL COBRE

Cuando un elemento se introduce en la red espacial del cobre formando una solución sólida, como por ejemplo el Zn, Sn, As, Ag, etc; da lugar a cierta distorsión en dicha red y su efecto se traducirá, en general en un endurecimiento del material, aumentando su resistencia mecánica a expensas de su ductilidad. De esta manera, las aleaciones de cobre son generalmente más duras y resistentes que el cobre puro. La distorsión de la red puede lograrse también mediante deformaciones mecánicas, tal como, por ejemplo, se logran en los procesos de laminado y estirado en frío. Sin embargo, en este caso podemos volver a restaurar la ordenación cristalina primitiva, como sabemos, mediante un recocido, es decir calentando el material a una temperatura suficientemente elevada para dar lugar a la recristalización del mismo.

Los elementos que no entran en solución sólida en el cobre, tales como: el plomo, hierro y bismuto, los cuales reteniendo su propia red cristalográfica, permanecen más o menos uniformemente distribuidos dentro de la matriz del cobre; si bien confieren ciertas características beneficiosas al material, por otra parte pueden en algunos casos producir un efecto contrario como por ejemplo, el bismuto, que tiende a precipitarse en los contornos de grano a manera de una película intercristalina dando lugar a fragilidad en el cobre desoxidado.

Otros elementos, tales como el Oxígeno, Azufre, Selenio que forman compuestos químicos estables con el cobre, muestran sin embargo una solubilidad muy reducida con este elemento, además aparecen en las aleaciones generalmente como impurezas, producto del proceso de recuperación del cobre a partir de sus minerales.

2.3.1. DIAGRAMA DE FASE Cu - As

El cobre y el arsénico se combinan para formar el "cobre arsenical", aleación también llamada por algunos autores "bronce arsenical" debido a que sus propiedades físicas son similares a las del bronce estañado.

Del diagrama de fase Cu - As, total (fig. 2.2) para el estudio de la aleación Cu - As, hemos tomado la parte correspondiente a aleaciones que contienen entre 0 y 28% de As, (fig. 2.3), debido a que los objetos con que contamos para el análisis tiene una composición química comprendida en ese rango.

Según se observa en el diagrama de fase de la figura 2.3, el cobre puede retener en solución sólida aproximadamente 7.25% de arsénico y esta solubilidad cambia muy poco cuando desciende la temperatura. Entre 7.25 y 21% las aleaciones están formadas por granos de solución sólida α en una matriz de eutéctica $\alpha + \delta$; entre 21 y 28% presentan el componente δ (posiblemente como $AsCu_3$) embebido en la eutéctica.

El diagrama de constitución indica la existencia de una extensa zona de solidificación entre el líquido y el sólido. Esto produce en las piezas fundidas una estructura "nucleada", en la cual los centros de los granos primarios se componen de cobre casi puro circundados por bordes o límites de unión de solución sólida rica en arsénico, que en casos de enfriamiento muy rápido puede contener algo de eutéctica. Al recocer este material hay una difusión y la estructura muestra solución homogénea.

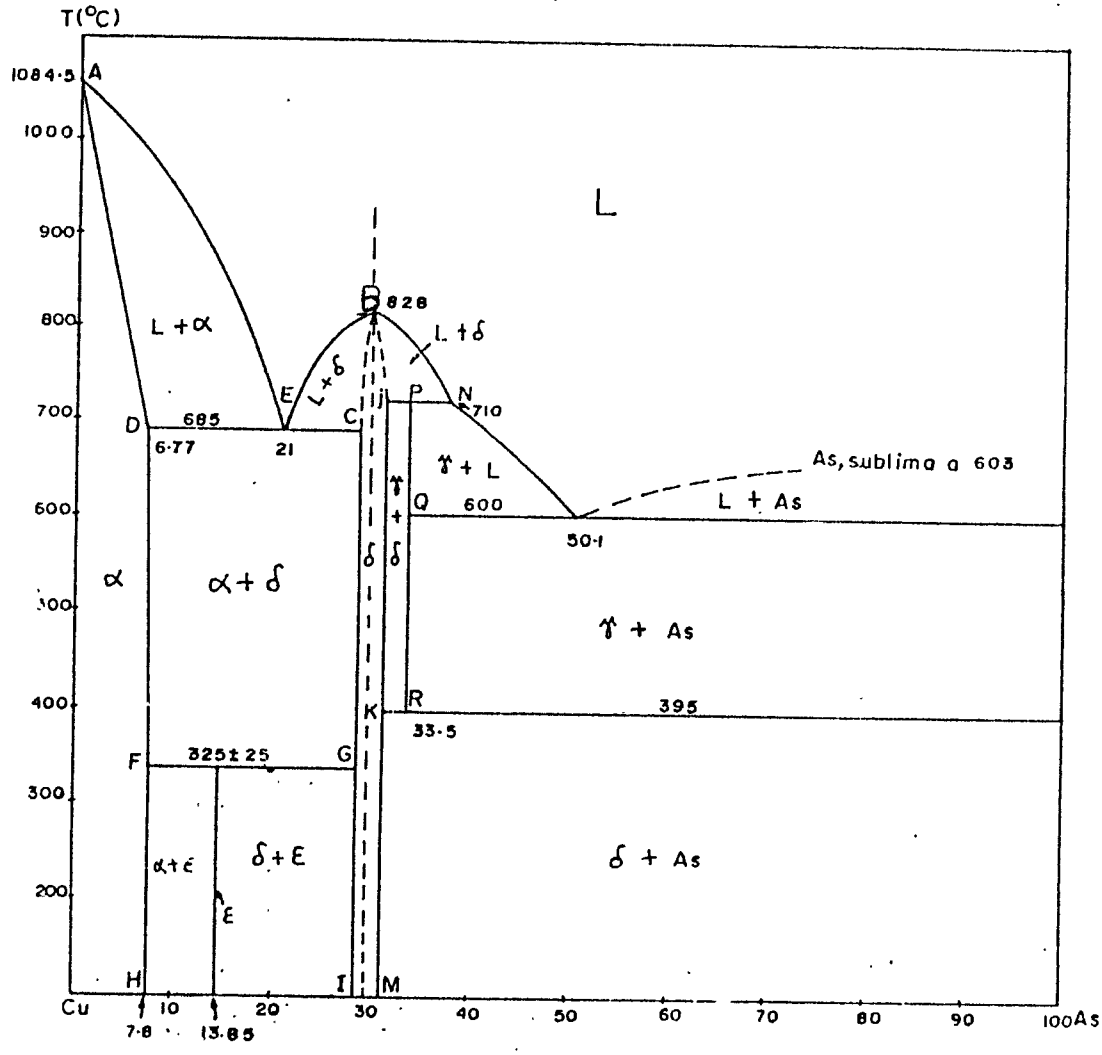


Fig. 2.2. Diagrama de Fase Total Cu-As

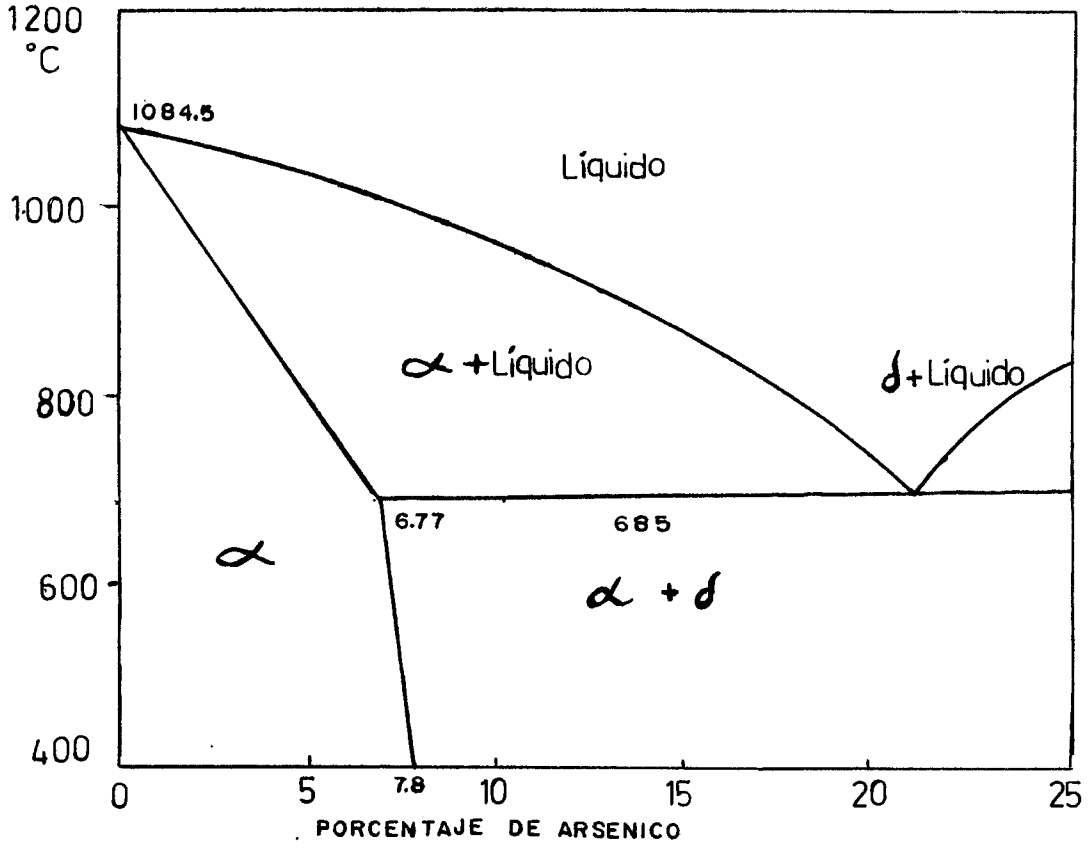


Fig. 2.3. Diagrama Parcial Cu-As

La laminación seguida de recocido mejora la uniformidad de la estructura.

El efecto más pronunciado del arsénico en el cobre es el de reducir su conductividad eléctrica y aumentar su dureza, a mayor porcentaje de As en Cu, mayor será la dureza de la aleación.

2.3.2. DIAGRAMA DE FASE Cu - O

Como se ha señalado anteriormente, el oxígeno forma con el Cobre compuestos químicos muy estables.

El Oxido cuproso (Cu_2O, que contiene 11.2% de Oxígeno) es soluble en el cobre líquido, pero muy poco soluble en el cobre sólido. Durante la solidificación se deposita como un eutéctico de Cu_2O y Cu, que contiene 3.5% de Cu_2O (es decir 0.39% de oxígeno) que solidifica a 1066°C,18 ° por debajo del punto de solidificación del cobre (ver diagramas de las figuras 2.4 y 2.5).

En el cobre fundido la eutéctica Cu + Cu_2O se sitúa en los límites de los granos y tiene estructura de puntos. Después del tratamiento por presión,

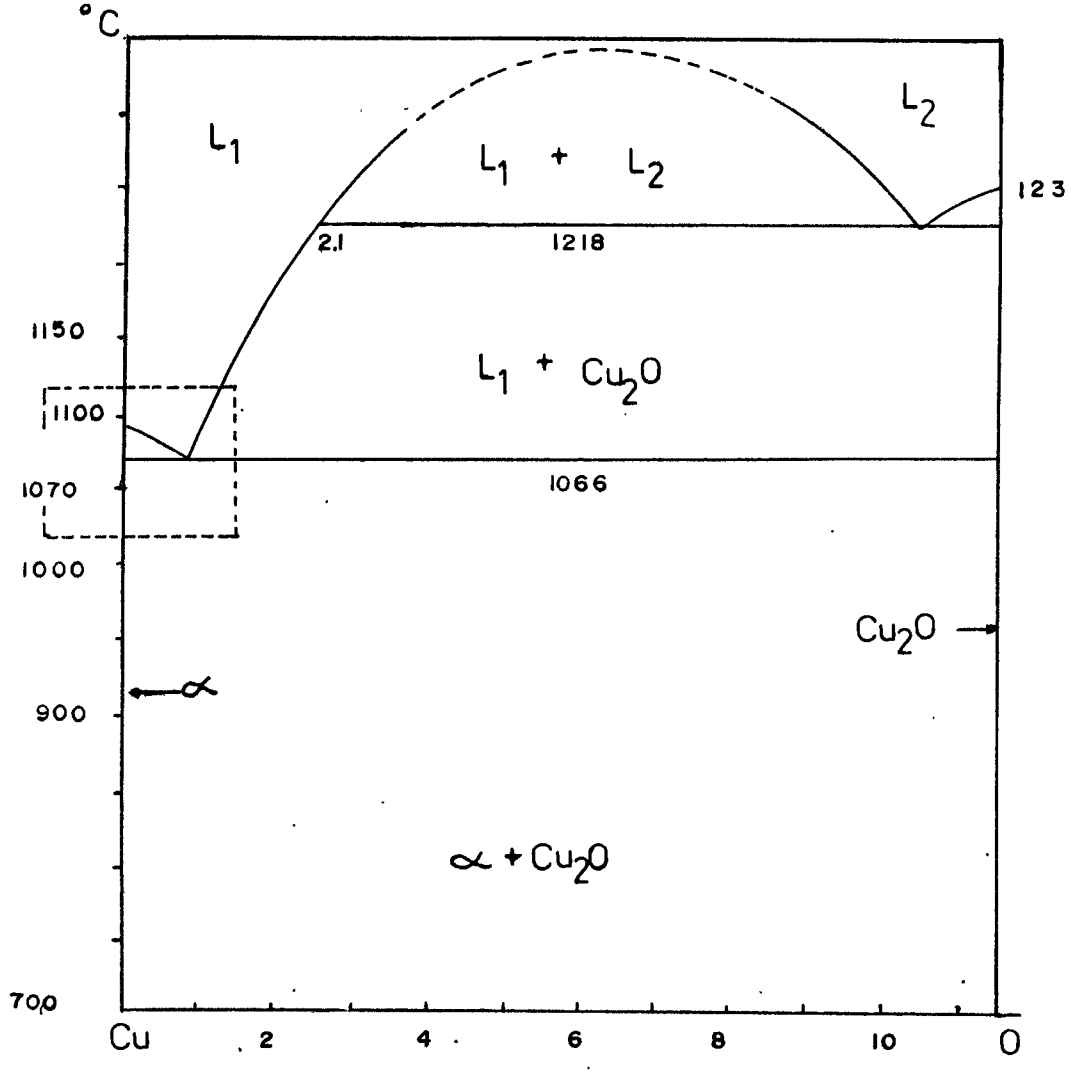


Fig. 2.4. Parte del Diagrama de Fase Cu-O.

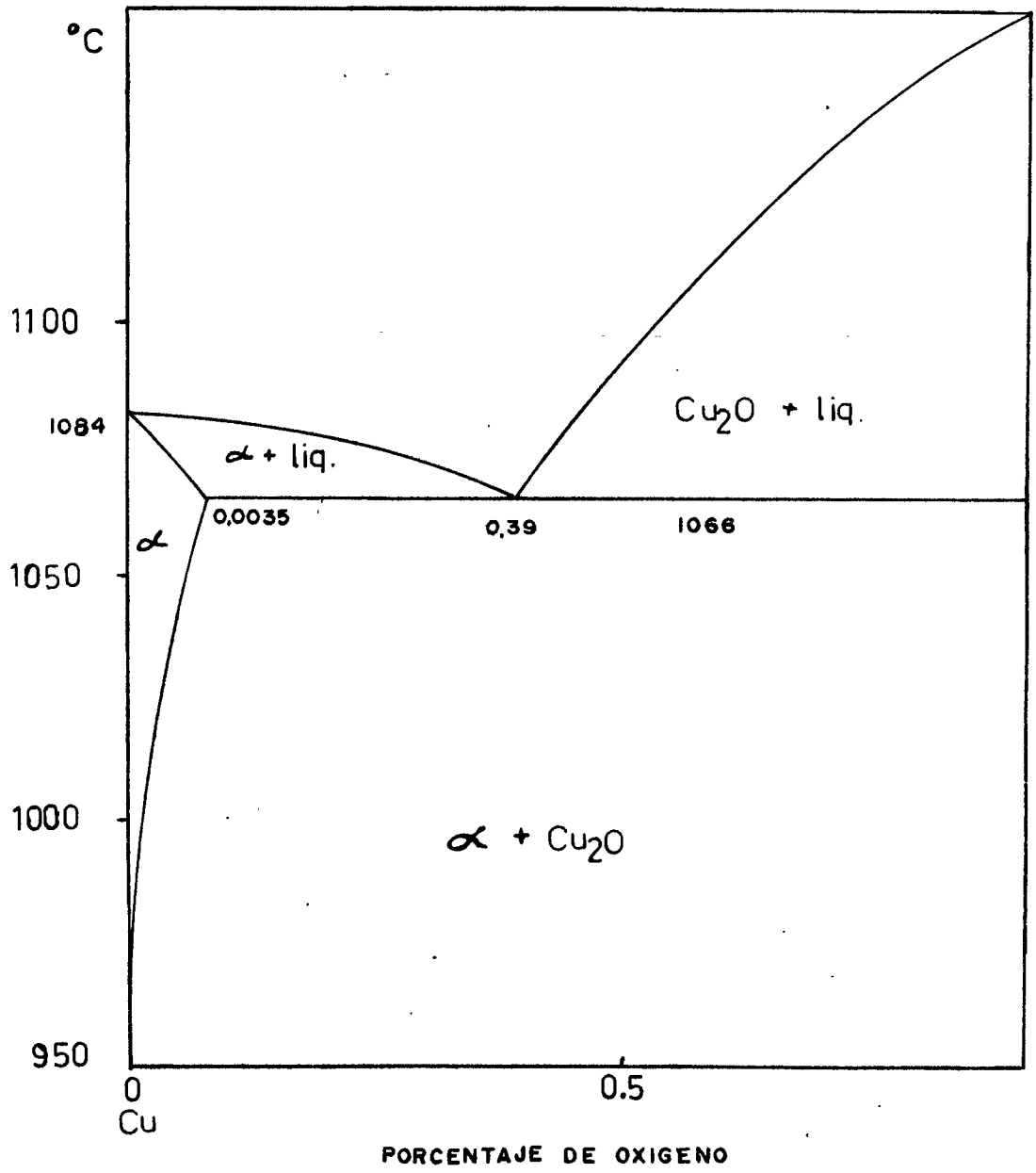


Fig. 2.5. Detalle del Punto Eutéctico en el Diagrama Cu-O

la eutéctica se destruye y en el cobre deformado está presente el oxígeno en forma de inclusiones aisladas de óxido cuproso.

El óxido cuproso es de color azul celeste y se reconoce con facilidad en la muestra sin atacar. El enfriamiento lento o el recocido hacen que el eutéctico granular forme por coalescencia glóbulos de Cu_2O.

La pequeña cantidad de oxígeno que el cobre contiene normalmente es origen de incovenientes para el metal cuando se le somete a recocido en atmósfera reductora. Los gases reductores se difunden en el metal y reaccionan con los glóbulos de óxido cuproso; por ejemplo:

$$Cu_2O + H_2 \longrightarrow 2Cu + H_2O :$$

El hidrógeno se difunde en el interior del metal con mucha más rapidez de la que emplea para difundirse al exterior, el vapor de agua formado, de este modo, origina presiones considerables que producen en el metal extensas grietas y desgarraduras y que se conoce como enfermedad del hidrógeno.

NOTAS AL CAPITULO II

(15) OEHM Víctor, "Investigaciones sobre Minería y Metalurgia en el Perú Pre-hispánico". Estudios Americanistas de Bonn, 1984 pág. 14.

(16) DANA-HURLBUT "Manual de Mineralogía" Editorial Reverté, Barcelona, 1960; pág. 237.

(17) Idem, págs. 254 a 293

(18) Samamé Boggio, Mario. "El Perú Minero", tomo V "Metales y Minerales" pág. 327. Editora Perú, 1981. Lima-Perú.

(19) CALVO RODES. "Prontuario Metalotécnico". INTA 1963; pág. 241

(20) Idem. pág. 239

CAPITULO III

MENAS DE MINERALES METALICOS EN LA REGION GRAU

3.1. ANTECEDENTES: INVESTIGACIONES SOBRE LA RECUPERACION DEL COBRE EN EL PERU PRE-HISPANICO

El cobre, al igual que el oro y la plata, se encuentra en la naturaleza como metal nativo, pero a diferencia de éstos, se da casi siempre en aglomeración con diversos minerales de cobre, como hemos visto en el apartado anterior.

Se han hecho investigaciones y propuesto varias teorías acerca de cómo recuperaron el cobre los pueblos antiguos de nuestro país, pero no se ha llegado a nada definitivo, a continuación del libro de Víctor Oehm, extraemos el siguiente párrafo que muestra en forma resumida todas las investigaciones realizadas hasta ahora y que nos ayudan en nuestro intento de esclarecer el problema de la recuperación del cobre en la cultura Vicus (21).

"... Al fundir minerales de cobre de diversos yacimientos, puede ser que la materia de fundición presente partes de arsénico, estaño, azufre y otros elementos procedentes exclusivamente de estos minerales. También pudiera ser que la materia de fundición contenga otras impurezas provenientes de otros minerales del yacimiento. El procedimiento de fundición ejerce gran influencia sobre el producto de fundición. La pregunta planteada hasta ahora ha sido si se empleó cobre nativo o minerales de cobre sulfurados u oxidados en la manufacción de objetos de cobre; además se ha preguntado si las aleaciones con estaño y arsénico se hicieron a propósito o no.

Para comprender estos problemas es necesario conocer los requisitos esenciales en la fundición de minerales de cobre: no presenta dificultad alguna la fundición de cobre nativo ni tampoco su procesamiento ulterior, como por ejemplo, el martilleo. . Oxidos de cobre pueden reducirse a cobre por medio del carbón; los sulfuros de cobre deben ser tostados al aire libre antes de reducirlos a cobre con ayuda del carbón. Para trabajar los óxidos de cobre y, sobre todo, los sulfuros de este metal, se requieren conocimientos técnicos adquiridos no por casualidad sino a través de prolongados intentos y experimentos.

Caley & Easby se ocuparon detalladamente de la recuperación de cobre a partir de sulfuros, teniendo en cuenta sus escasos datos, sus investigaciones son incipientes. Analizaron un lingote de cobre de 1 kg de peso, y encontraron un contenido de azufre de 0.18 %. Según la opinión de los autores, esto se debe a que el lingote de cobre es producto de la fundición de sulfuros de cobre.

Un contenido de azufre de menos de medio por ciento significan para Caley & Shank que en la mezcla por fundir estaban presentes minerales sulfurosos o minerales sulfurosos oxidados parcialmente.

Donnan supone, partiendo de los resultados de sus análisis, en los cuales no se presenta azufre alguno, que el pueblo Moche empleó o cobre nativo o mineral de óxido de cobre como materia prima y que probablemente no fundió nunca minerales sulfurados, no indica sin embargo si hizo análisis especiales del azufre o no.

Lechtman, descubrió en restos de escorias adheridas a un pedazo de cerámica probablemente del Período Intermedio Temprano de Ancón, un sulfuro de cobre (Covelina) y cree, por tanto, que hubo fundición de sulfuros en los Andes ya antes de la conquista española.

En relación al problema del arsénico, Lechtman observa que deben haberse fundido ya sea enargita o tennantita junto con cobre, con lo cual se obtuvo un contenido de arsénico más o menos alto. Sin embargo, tanto la tennantita como la enargita son minerales sulfurosos. Lechtmann cree haber encontrado con ello la prueba indirecta de que en la costa norte se fundieron sulfuros de cobre en el Perú Intermedio Tardío.

Patterson supone, que en el Norte del Perú, se obtuvo el primer cobre fundiendo malaquita y azurita. Se basa en que estos minerales se dan con frecuencia y son llamativos, por lo cual es fácil encontrarlos.

Otros investigadores han desarrollado un método estadístico para determinar las probabilidades del origen a partir de cobre nativo, óxido de cobre o sulfuros, basándose en los elementos traza; entre los objetos clasificados se encontraban 4 objetos peruanos datados entre 1200 y 1500 d.C. dando como resultado que dos de ellos se hicieron de cobre nativo y los otros de sulfuros, pero admiten que sus muestras son muy escasas para dar una conclusión. Friedman Olsen y Bird, intentaron aplicar el método para vasijas y sonajas clasificadas dentro de la cultura Moche. No parece ser que ninguna de ellas proceda de la fundición de sulfuros de cobre. Los autores proponen examinar los minerales de la región, los del Norte del Perú, antes de sacar

conclusiones acerca de la técnica del cobre.

Como puede deducirse de lo anterior, aún no hay nada definido acerca de la recuperación del cobre y los mismos investigadores recomiendan como primer paso antes de sacar conclusiones, examinar los minerales existentes en la región de la cultura que se quiere estudiar.

3.2. INVESTIGACIONES REALIZADAS SOBRE LA EXISTENCIA DE MINERALES METALICOS EN LA REGION

Como se planteó en el apartado anterior, para tratar de resolver una de las incógnitas que nos planteamos en este trabajo (la procedencia de los recursos mineros usados por los antiguos pobladores de la cultura Vicús) es necesario tener una idea acerca del potencial minero de ésta zona. Así sabremos, en primer lugar, si verdaderamente existen minerales de los metales estudiados y, en segundo lugar, podremos conocer los diferentes tipos de minerales de la zona.

En lo que se refiere a minerales no metálicos, Piura es reconocidamente rica, especialmente en la zona costera, prueba de esa riqueza son el petróleo y los fosfatos y diatomitas de Bayóvar.

En cuanto a minerales metálicos está considerada como región minera la sierra del departamento de Piura, como se puede ver en los mapas que muestran el Potencial de Recursos Mineros del Perú (fig. 3.1 a 3.3).

La minería metálica en el Departamento de Piura, no tiene antecedentes significativos en lo que a explotación se refiere, debido principalmente a la falta de apoyo técnico y sobretodo crediticio, necesario para llevar adelante prospecciones mineras a niveles que permitan tomar decisiones concretas de explotación.

Según un Boletín del Banco Minero del Perú (filial Piura), (22), en la Región se han detectado yacimientos de COBRE, MOLIBDENO, TUNGSTENO, POLIMETALICOS y en menor escala ORO y PLATA.

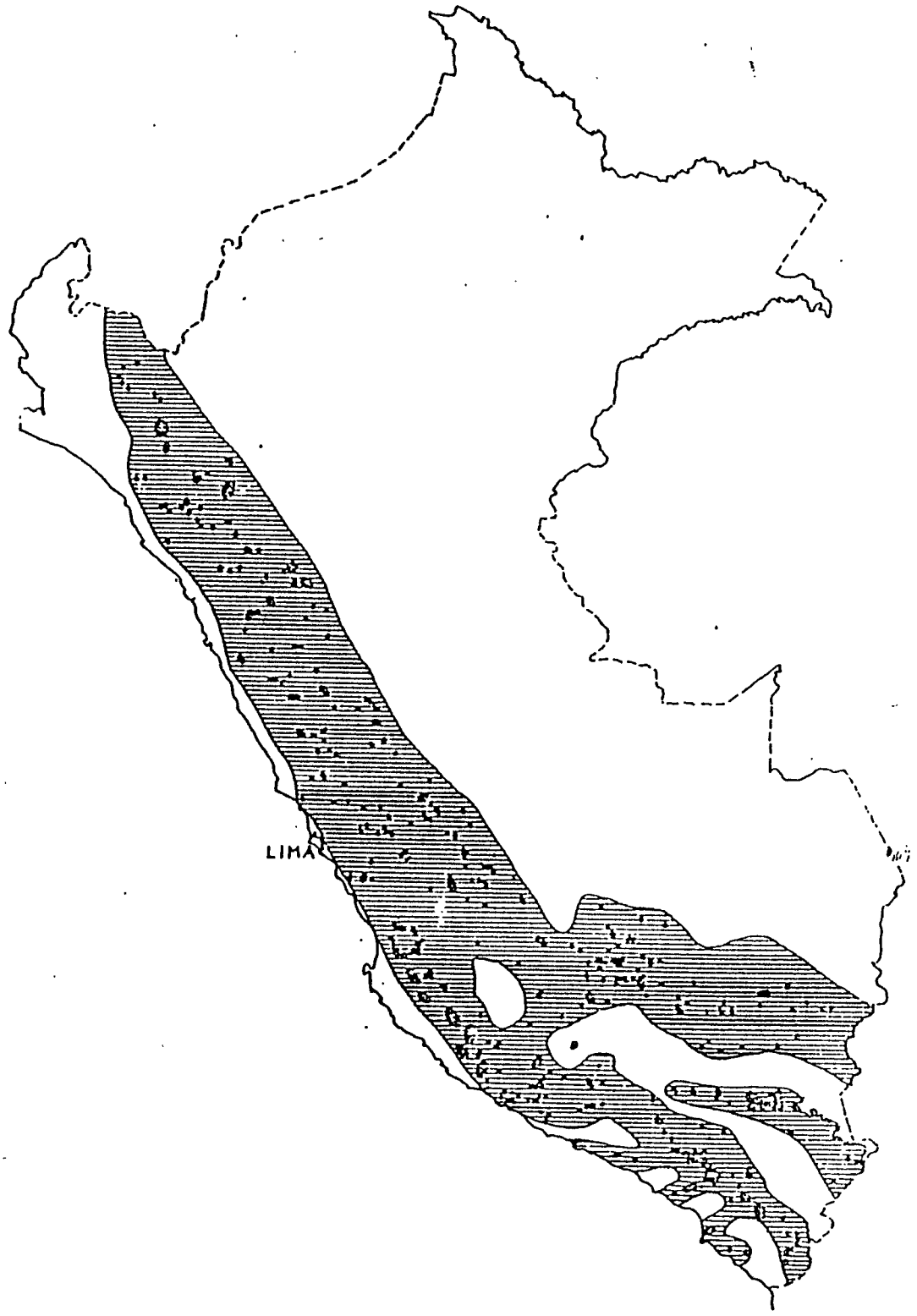


Fig. 3.1. Potencial de Recursos Mineros del Perú. COBRE
(Según VII Congreso Mundial de Minería de Lima, 1974).

Areas recursos Probados

Areas de recursos inferidos

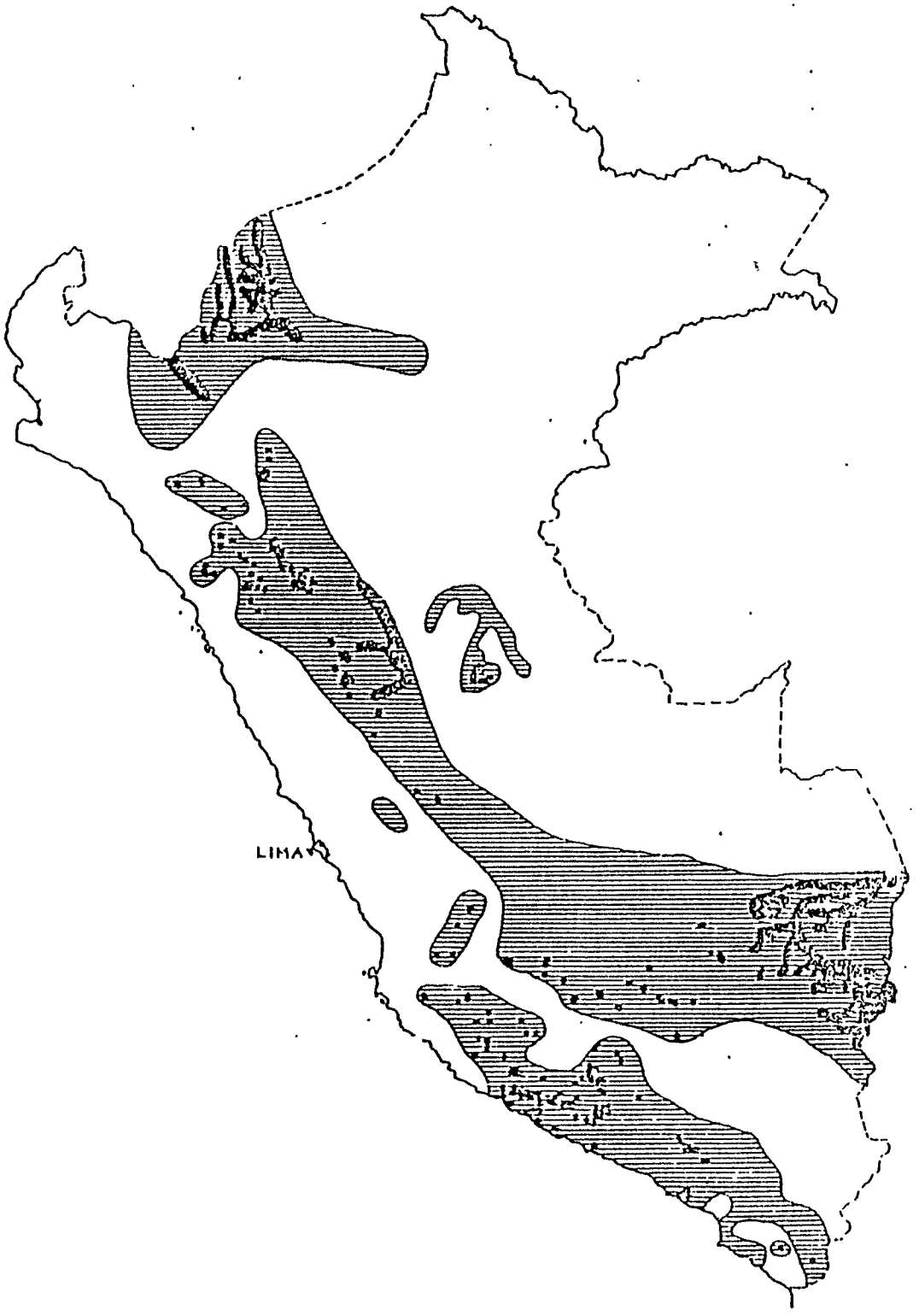


Fig. 3.2. Potencial de Recursos Mineros del Perú. ORO

Area de Recursos Probados

Area de Recursos inferidos

(Según VII Congreso Mundial de Minería de Lima, 1974).

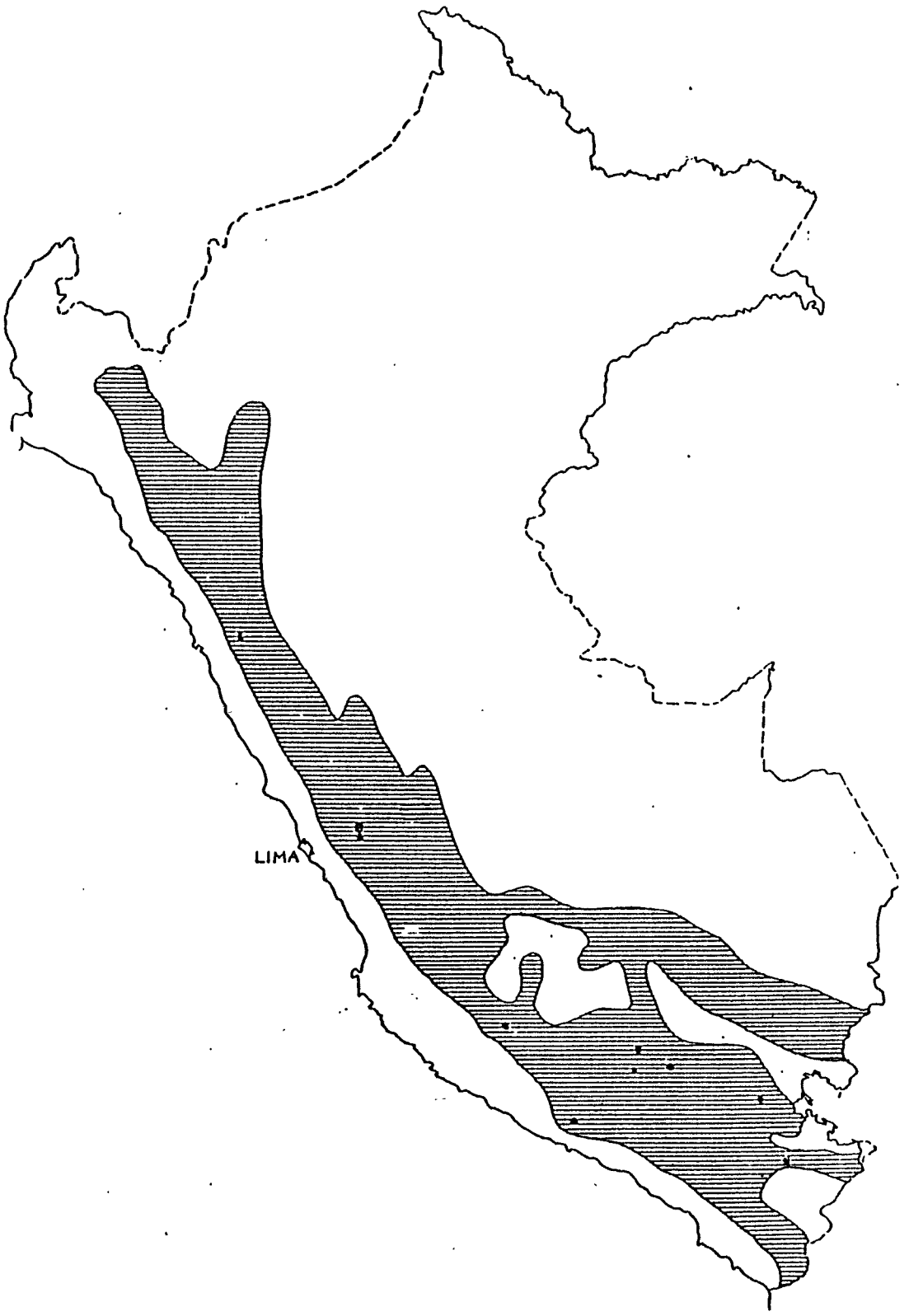


Fig. 3.3. Potencial de Recursos Mineros del Perú. PLATA

Area de Reçursos Probados

Area de Recursos Inferidos

(Según VII Congreso Mundial de Minería de Lima, 1974)

A continuación se hace una descripción de los lugares donde se han detectado estos minerales.

1. COBRE, MOLIBDENO, TUNGSTENO, PLOMO, ORO, PLATA

En el desierto de Canchaque, Provincia de Huancabamba se encuentran localizados los depósitos de cobre, molibdeno y tungsteno, con agregados de oro y plata.

Aparentemente este yacimiento se trata de una formación cilíndrica con cantidad aproximada del 10% del SULFURO de COBRE, molibdeno y tungsteno constatando que en los niveles inferiores del yacimiento la ley del molibdeno disminuye, aumentando a su vez la ley de COBRE, ORO y PLATA.

Se ha detectado también la existencia de reservas de mineral de cobre y otros agregados de minerales valiosos en la Provincia de Morropón.

También se han efectuado denuncios de COBRE en el tramo Piura - Sullana.

En la Provincia de Ayabaca, existen numerosos yacimientos de minerales metálicos, los cuales se localizan en Aragoto - Ollería (Suyo), Suyo - San Joaquín (Suyo) y

área aurífera de Ayabaca.

AREA DE ARAGOTO - OLLERIA

Esta área mineralizada está ubicada al Este de Ayabaca, se tiene referencia de existencia de afloramiento de COBRE, PLOMO, ORO y PLATA en forma de filones que se encuentran asociados a rocas volcánicas. Esta franja tiene una dirección NOR-ESTE entre los cerros de AYPATE y HUARA al norte de Aragoto.

Igualmente en el paraje denominado Asiayaca, localizado a 2 km al Sur - Este del pueblo de Aragoto, se ha encontrado un pequeño afloramiento de PIRITA, ARSENOPIRITA y CUARZO asociados con PLOMO, ORO y PLATA. Esta zona ofrece muy buenas posibilidades económicas para la explotación minera.

AREA DE SUYO - SAN JOAQUIN

Esta área está constituída por las vetas de COBRE y PLOMO de Suyo y por un depósito de COBRE en Tamapampa-San Joaquín. Uno de los filones, denominado Veta A, contiene mineralización de COBRE y PLOMO principalmente en forma de pequeñas manchas de CALCOPIRITA($CuFeS_2$), GALENA (Sulfuro de Plomo PbS), COVELITA (Sulfuro de Cobre CuS), PIRITA (Sulfuro de fierro FeS).

Las reservas probadas de esta veta son del orden de 16,000 TM. La otra veta, denominada B, aparentemente de menor magnitud, está localizada en la parte baja de la loma a 50m al norte de la primera. La mineralización es semejante a la anterior con mayor contenido de Plomo y otros minerales secundarios como PIROLUSITA y MAGNETITA. El estimado de reservas probables de esta veta es de 7,000 TM.

También se han detectado depósitos de COBRE en la margen izquierda del RIO QUIROZ.

AREA AURIFERA DE AYABACA

Antiguamente, posiblemente desde la época Pre-colombina se han lavado cantidades desconocidas de ORO en las siguientes lugares: RIOS CHOCAN y CHIRA (al norte de SICCHES) y la quebrada de Olleros, ubicada al sur de Ayabaca.

2. POLIMETALICOS O POLISULFUROS

Desde el año 1932 se ha detectado la existencia de hierro ubicado en el Cerro de TAMBOGRANDE al Nor-Oeste de la ciudad de Piura, con probables reservas de 17 millones de Tm, de mineral de Hierro con ley de 42.6% y

28% de óxido de sílice.

Posteriormente se declaró área de "Necesidad Nacional" ya que conviene a los intereses del país la exploración y la explotación de la misma, sin embargo las investigaciones establecidas por geólogos de la empresa francesa (BRGM), han concluido que se trata de un yacimiento polimetálico, más no una mina de hierro, que contiene: PIRITA, SULFURO DE COBRE, ZINC, OXIDO DE FIERRO Y SILICE.

Además de la información del Banco Minero, la Oficina del Ministerio de Energía y Minas en Piura, nos ha proporcionado la siguiente información sobre los denuncios de minerales metálicos efectuados en los Departamentos de Piura y Tumbes, en los últimos años (23).

Los lugares y los minerales (principalmente de Cobre) encontrados son los siguientes:

- Provincia de HUANCABAMBA : Oro, Plata
  - Canchaque (mina Turmalina): Galena, Enargita, Calcopirita, Pirita, Arsenopirita.
  - Otras zonas: Calcopirita, Enargita.

- Provincia de AYABACA: Oro, Galena
  - Paimas : Oro
  - Pacaipampa: Cobre

- Provincia de MORROPON: Malaquita, Enargita, Pirita, Cuarzo
  - Chalaco: Calcopirita, Pirita.

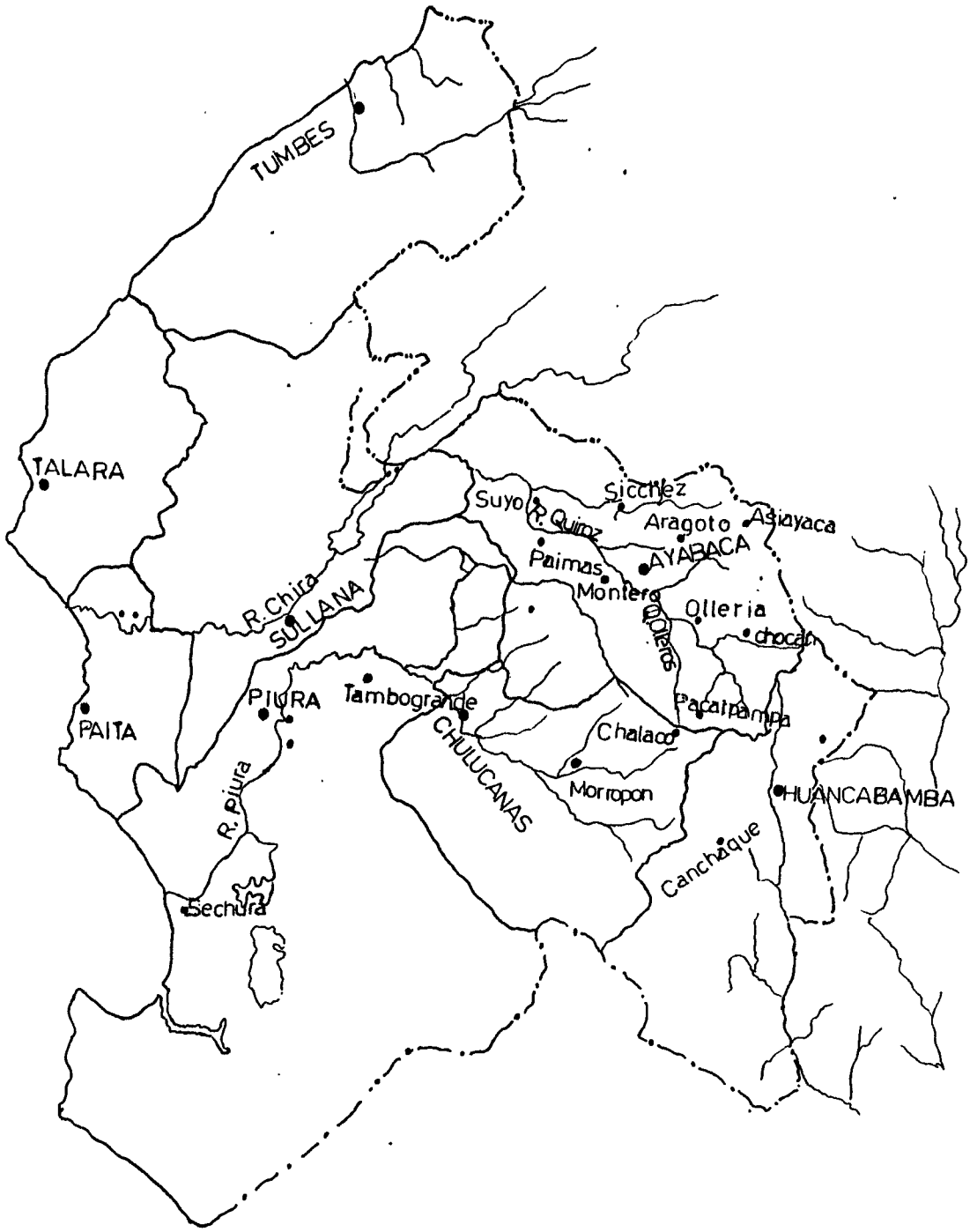
- Provincia de PIURA: (Distrito de Tambogrande): Oro

- Provincia de PAITA: Oro

- Departamento de TUMBES : Oro

Una exploración realizada por la Universidad Nacional de Piura (Facultad de Minas), encontró vetas de Calcopirita y Pirita en la localidad de Montero (Ayabaca).

En la figura 3.4., se muestran los lugares donde se han realizado hallazgos de minerales metálicos, y que se son mencionados en este capítulo.



3.4. Mapa de la Región mostrando los lugares donde se han encontrado minerales metálicos

3.3. DESCRIPCION DE LOS MINERALES METALICOS EXISTENTES EN LA REGION GRAU

En este apartado se hace un resumen y la descripción de los principales minerales metálicos existentes en la región Grau, según lo visto en 3.2.

ORO : Au

Cristalografía : Cúbico. Raras veces en cristales, normalmente en placas irregulares, escamas o masas.

Estructura : Red cúbica centrada en las caras.

Propiedades Físicas : Dureza H= 2 1/2; peso específico G= 19.3, cuando es puro. Muy maleable y dúctil. Varias tonalidades de color amarillo dependiendo de su pureza.

Composición : La mayor parte del oro contiene plata. Puede haber presente pequeñas cantidades de cobre y hierro, así como trazos de bismuto, estaño, zinc y metales del grupo del platino. La mayor parte del oro nativo contiene un 10% aproximadamente de otros metales

PLATA : Ag

Cristalografía : Cúbico. Comúnmente en cristales mal formados y en grupos ramosos, arborescentes y reticulados. Se le encuentra normalmente en masas irregulares, placas y escamas a veces granudo o en finos alambres.

Estructura : Isomorfo del oro, $a_o = 4,09$ Å

Propiedades Físicas : Dureza 2 1/2 a 3, peso específico=10,5 cuando está puro; 10 - 12 en los impurificados. Fractura astillosa. Maleable y dúctil. Brillo metálico. Color y raya blanco de plata, frecuentemente con pátina castaño o gris negro.

Composición : Frecuentemente contiene en aleación mercurio, cobre y oro; en casos menos frecuentes, platino, antimonio y bismuto. La "amalgama" es una solución sólida de plata y mercurio.

Yacimiento : La plata nativa está extensamente distribuida en pequeñas cantidades, principalmente en la zona de oxidación de los depósitos minerales. Los grandes depósitos de plata natural son problablemente el resultado de una deposición primaria de plata de soluciones hidrotermales, hay tres tipos: la plata natural con sulfuros y otros minerales de plata, con minerales de cobalto y níquel y con uranita.

COBRE : Cu

Cristalografía : Cúbica, hexaquisoctaédrica. Comúnmente con caras del tetraquishexaedro, también cubo, dodecaedro y octaedro. Los cristales normalmente mal formados y en ramas o grupos arborescentes. Generalmente, en masas, placas y escamas irregulares. En formas torcidas y en alambre.

Estructura : Isomorfo del oro, a_o = 3.61 A.

Propiedades Físicas : Dureza 2 1/2 - 3, peso específico=8,9 Muy dúctil y maleable. Fractura astillosa. Color rojo cobre en su superficie fresca, normalmente oscuro con brillo apagado por su pátina.

Composición : Cobre: contiene generalmente pequeñas cantidades de plata, bismuto, mercurio, arsénico y antimonio.

Yacimiento : El cobre nativo está extensamente presente en venas de cobre, pero normalmente en pequeñas cantidades. Frecuentemente se le encuentra en la zona de oxidación de los depósitos de cobre junto a cuprita, malaquita y azurita.

CALCOPIRITA (CHALCOPIRITA) : S_2CuFe

Cristalografía : Tetragonal. Normalmente en masa.

Estructura : Tiene estructura tipo blanda (parecida a la del diamante), a_o= 5.27 Å; c_o= 10.38 Å .

Propiedades Físicas : Dureza H= 3 1/2 a 4 (raya el vidrio); Peso específico G= 4.1 - 4.3; brillo metálico muy vivo. Color amarillo de oro o de bronce, con reflejos verduzcos e irisdiscente. Raya negra, verduzca, frágil.

Composición : Es un sulfuro de cobre y hierro de fórmula química S_2CuFe, contiene 34.5% de Cu; 30.5% de Fe; 35 % de azufre. Los análisis muestran a veces variaciones en los porcentajes debido a mezclas mecánicas de otros sulfuros, especialmente pirita. Como impurezas presenta pequeñas cantidades de Au, Ag, etc.

Yacimiento : La calcopirita es el mineral de cobre más corriente y una de las fuentes más importantes de este metal. Aparece en filones metálicos asociado con la pirita, pirrotina, blenda, galena, cuarzo. Corrientemente es de origen primario y por diversos procesos de alteración, derivan de ella muchos minerales de cobre secundarios. Puede contener oro y plata y convertirse en menas de estos metales.

Alteración : Frecuentemente se altera transformándose en Malaquita, Covelina, Calcosina y Oxidos de hierro.

MALAQUITA : $CuCO_3\ Ca(OH)_2$

Cristalografía : Cristales muy pequeños, mas bien acicular, agrupada en forma de pinacho o en roseta.

Propiedades: Dureza H= 4 (raya el vidrio); peso específico G= 4, color verde brillante, raya verde pálida. Brillo diamantino.

Composición : Es una sal de fórmula: $CuCO_3 . Cu(OH)_2$; contiene 71.9 % de óxido cúprico; 19.9 % de CO_2, 8.2% de H_2O; Cu= 57.4 %.

Yacimiento : Se halla en las zonas de oxidación de los filones de cobre, asociada a la cuprita, cobre nativo, óxidos férricos y diversos sulfatos de cobre y hierro.

COVELLITA : SCu

Cristalografía : Bipiramidal. En lámina muy delgada, transparente, con distintos matices de color verde. Normalmente maciza como revestimiento o diseminada en otros minerales de cobre.

Estructura : Celda hexagonal con a_o= 3.8 Å y C_o= 16.46 Å .

Propiedades Físicas : Dureza 1 1/2 - 2 (rasga la uña), peso específico G= 4.6 - 4.76. Brillo metálico color azul índigo intenso, raya gris plomo a negra.

Composición : Sulfuro de cobre: SCu; Cu= 66.4% , S= 33.6 % Puede contener pequeñas cantidades de hierro, más raramente Se, Ag y Pb.

Yacimiento : No es muy abundante, se halla en muchos depósitos de cobre, como un mineral supergénico, normalmente como recubrimiento en la zona de enriquecimiento de sulfuros. Asociada con otros minerales de cobre como calcopirita, bornita y enargita.

ENARGITA : S_4AsCu_3

Cristalografía : Rómbico, piramidal, macizo.

Propiedades Físicas : Dureza H= 3; peso específico G= 4.43-4.15, brillo metálico, color y raya negro grisácea a negro de hierro opaco.

Composición : Es un sulfoarseniuro de cobre de fórmula S_4AsCu_3, contiene 48.3 % de Cu; 19.1 % de As, 32.6% de S. El antimonio sustituye al As en un 6% y normalmente hay algo de Fe y Zn presente.

Yacimiento : Es un mineral relativamente raro, que se encuentra en filones asociado a la pirita, blenda, bornita, galena, tetraedrita, covelina, calcocina. Se emplea como mena de cobre.

ARSENOPIRITA (MISPIQUEL) : Fe As S

Cristalografía : Prismática; granular o compacta.

Propiedades : Dureza H= 6 (raya el cuarzo). Peso específico G= 6.2; color blanco de plata inclinándose al gris de acero. Raya negra grisácea. Brillo metálico. Frágil.

Composición : Es un sulfuro doble de Fe y As: FeAsS; presenta 46% As; 19.63% S; 34.35 % Fe.

Yacimiento : Aparece asociada a Pirita, tetraedrita, galena, calcopirita.

PIRITA : S_2Fe

Cristalografía y Estructura : Cúbica, generalmente en cristales.

Propiedades Físicas : Frágil. Dureza H= 6 - 6 1/2 , peso específico G= 5.02. Brillo metálico. Color amarillo latón pálido, puede ser oscuro debido a la pátina. Raya opaca color gris o pardo negra.

Composición : Es un bisulfuro de hierro de fórmula S_2Fe, Fe= 46.6 %, S= 53.4 %. Puede contener pequeñas cantidades de Níquel, cobalto y arsénico. Frecuentemente contiene pequeñas cantidades de oro y cobre como impurezas.

Yacimiento : Es un sulfuro bastante común, se encuentra asociado con calcopirita, bornita, galena.

GALENA : SPb

Cristalografía y Estructura : Cúbica, tiene estructura tipo NaCl con Pb en lugar de Na y S en lugar de Cl.

Propiedades : Dureza H= 2 1/2, peso específico G= 7.4 - 7.6 Brillo metálico. Color y raya gris plomo.

Composición : Sulfuro de plomo, SPb, con 86.6 % de Pb y 13.4 % de S. Los análisis dan casi siempre presencia de plata, probablemente como mezcla de minerales de plata (argentita, o tetraedrita). Puede contener también pequeñas cantidades de zinc, cadmio, cobre.

Yacimiento : Es un sulfuro muy corriente se encuentra en filones asociado con blenda, pirita, calcopirita, calcita, cuarzo, baritina. La galena se asocia a menudo con minerales de plata, convirtiéndose en este caso en una mena de este metal y toma el nombre de galena argentífera.

UNIVERSIDAD DE PIURA
BIBLIOTECA

3.4. INVESTIGACIONES SOBRE LA POSIBLE EXISTENCIA DE MINAS O ACTIVIDAD MINERA PRE-HISPANICA EN LA REGION

Una vez conocido el potencial de minerales metálicos en la región, se ha investigado sobre la posible existencia de minas pre-hispánicas en las zonas aledañas al lugar de desarrollo de la cultura Vicús. Por falta de recursos, la investigación no se realizó sobre el terreno, sino, conversando con los pobladores de las serranías de Piura (Morropón, Ayabaca, etc) que son los lugares donde se encuentran diversos tipos de mineralización.

Sobre la forma que tenían las minas que probablemente explotaban los pobladores preincaicos, Lechtman los describre como: "pequeñas excavaciones a manera de agujeros que le permitían la entrada a un solo minero" (24), esto es lo que se conoce comúnmente como "bocamina", de hecho lo que se observa al buscar una bocamina es un pequeño agujero en el suelo, que generalmente se encuentra tapado por las malezas, y que a primera vista no llama la atención, a no ser que la observe una persona conocedora del tema.

Hemos logrado recopilar los siguientes datos acerca de una posible explotación minera prehispánica:

- Es conocido por los pobladores de la provincia de Ayabaca que en el río de ese nombre, y en algunos de sus afluentes, existieron lavaderos de oro desde la época Precolombina, este dato también lo consigna el Boletín del Banco Minero que citamos en el apartado anterior, ahí se menciona a los ríos Chocán y Chira y la quebrada de Olleros, como posibles lavaderos de oro precolombinos.

- En un catálogo de los lugares donde se han hecho hallazgos de posible explotación minera (25) (mineralización y utensilios), se cita el lugar llamado RICAPLAYA (río Tumbes), en el departamento del mismo nombre, ahí se encontraron 60 quimbalates, utensilios encontrados en una cantera de obsidiana.

- El Presbítero, ya fallecido, P. Miguel Justino Ramírez, estudioso de la cultura Piurana, en su obra "Huancabamba" (26) dice, hablando al respecto a la minería: que en el camino a Canchaque, en lugar denominado MINAS, se ven bocaminas, de las que se afirma extrajeron oro y plata, primero los incas y luego los españoles.

- El señor Juan Amaru (27), ex alcalde de Chalaco (Morropón) y antíguo poblador de la zona, ha hecho ya varios denuncios sobre menas de cobre, plomo, oro y plata en esa zona, de dos de esos denuncios nos proporcionó dos muestras que

analizamos en el presente trabajo, al respecto de la actividad minera prehispánica, en las serranías de Piura, nos dijo haber descubierto dos bocaminas, en el lugar denominado Jalchipampa, eso es interesante sobre todo porque el lugar se encuentra cerca de CAXAS, que es zona arqueológica citada por los cronistas, esta bocamina no pudimos visitarla por ser muy difícil el acceso.

- Podemos agregar, en este apartado, el descubrimiento de un área de producción metalúrgica en la zona de Yécala, que mencionamos en el capítulo 1, estudiosos de la Universidad Católica, encontraron los restos de un horno y otros enseres usados en la industria metalúrgica.

NOTAS AL CAPITULO III

(21) OEHM, Víctor. "Investigaciones sobre Minería o Metalurgia en el Perú Prehispánico". Estudios Americanistas de Bonn, 1984; págs. 56-58.

(22) Banco Minero del Perú. Filial Piura. Boletín mes de mayo de 1988.

(23) Comunicación Personal. Oficina de Piura del Ministerio de Energía y Minas. Abril 1989.

(24) Idem (21). Pág. 28.

(25) Idem. Pág. 23.

(26) P. Miguel Justino Ramírez. "Huancabamba, su Historia, su Geografía, su Folklore". 1966, pág. 299.

(27) Juan Amaru. Comunicación personal de julio 1988.

CAPITULO IV

PRUEBAS REALIZADAS : ANALISIS METALOGRAFICO Y MINERALOGICO

4.1. ANALISIS DE ALGUNOS OBJETOS DE COBRE DE LA CULTURA VICUS

4.1.1. PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS

Se ha logrado reunir varios objetos de la cultura Vicús, encontrados en diferentes lugares de la región de Piura y cuya procedencia se conoce con exactitud; este dato es importante para el estudio que se está realizando.

Estos objetos son muy variados y comprenden herramientas, objetos ornamentales, funerarios y utensilios; tales como: cuchillos, lanzas, máscaras funerarias, pectoral, sonajas, agujas, etc. A continuación se da una descripción detallada de cada uno de ellos.

MUESTRA VO1

Esta muestra corresponde a un cuchillo, foto 4.1., encontrado en un lugar denominado "El Cucho", situado a una distancia de aproximadamente 2 ó 3 km de la Provincia de Sullana. Sus dimensiones son: 129mm de largo, 65 mm en su parte más ancha (base); 40 mm en la parte superior y 5.5 mm de espesor; el espesor desde la parte superior hacia la base o punta, aquí tiene 0.5 mm de espesor.

Su estado de conservación es bastante bueno, en la parte superior presenta unos dibujos lineales y geométricos hechos probablemente con cincel.

Foto 4.1. Muestra VO1. Cuchillo

MUESTRA V02

Es un cuchillo encontrado en Chulucanas, foto 4.2. Su estado de conservación es bastante bueno como se puede apreciar en la foto, presentando corrosión solo en una pequeña parte del borde lateral inferior; se observan asimismo restos de tejidos adheridos en toda su superficie. Sus dimensiones son: 20.5 cm de largo, 10mm en la parte más ancha de su base, 4.5cm en la parte superior; tiene un espesor de 2.2 mm que es casi constante a lo largo de toda la pieza.

Foto 4.2. Muestra V02. Cuchillo

MUESTRA VO3

Por la forma del objeto, foto 4.3, se puede pensar que se trate también de un cuchillo, con la diferencia que la forma de la punta (base inferior) es diferente a las encontradas normalmente. Fue encontrada en los alrededores de Chulucanas, probablemente se trate de un objeto en proceso de conformación.

Sus dimensiones son: 10.1 cm de largo, 2.4cm de ancho en la parte inferior y 0.25 cm de espesor como promedio; éste disminuye en la parte inferior y presenta un aspecto afilado característica por la cual se presume que haya sido utilizada como herramienta de corte.

Foto 4.3. Muestra VO3. Cuchillo

MUESTRA VO4

Esta pieza corresponde a una herramienta probablemente un cuchillo, foto 4,4, encontrado en Chulucanas.

Sus dimensiones son: 10.4 cm largo, 2.1 cm de ancho en promedio a lo largo de toda la pieza; su espesor es de 0.3 cm y disminuye en la parte inferior hasta aproxim. 0.5 mm en el borde.

Foto 4.4. Muestra VO4

MUESTRA VO5

Es una lanza, foto 4.5, encontrada en la Hacienda Pabur (Chulucanas). Dicha lanza consta de dos partes unidas mediante soldadura. La parte superior es de forma tubular hecha a partir de un pedazo de plancha de 1mm de espesor; esta parte servía para introducir probablemente un palo de madera con el fin de poder manejar la lanza. Unida a esta parte se encuentra el cuerpo en sí de la lanza, macizo de sección transversal cuadrada; su sección va disminuyendo hacia la parte inferior donde termina en forma de punta de sección casi circular; esta forma fue obtenida probablemente por martillado como se puede deducir por el aspecto que presenta su superficie.

Foto 4.5. Muestra VO5. Lanza

Las dimensiones de la lanza son: 59 cm de largo; la parte más ancha (tubular) mide aproximadamente 2.4 cm de diámetro, en la parte maciza la sección mayor tiene 1.95 cm de lado, valor que disminuye gradualmente hasta terminar en punta.

MUESTRA V06

Esta muestra pertenece a un pectoral de gran tamaño, encontrado en Chulucanas. De este objeto nos fue proporcionado por el Dr. W. Alva un trocito suficiente para nuestro análisis y que no significaba una destrucción en la pieza. Esta pieza se exhibe en el Museo Bruning de Lambayeque.

A diferencia de otros pectorales vistos éste no presenta ningún tipo de labrado y su espesor es superior a los conocidos que son obtenidos de láminas de metal y de espesor bastante pequeño. Se trata, en nuestra opinión de un objeto bastante burdo y sea probablemente de los primeros que fabricaron los antiguos orfebres de Vicús.

Otra característica del pectoral es que presenta dorado superficial y su estado de conservación es muy bueno. Fig. 4.6.

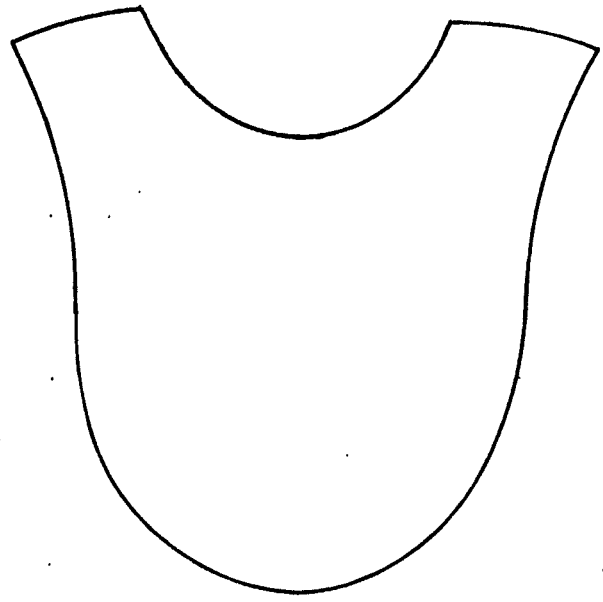


Fig. 4.6. Muestra V06. Esquema del Pectoral

SERIE DE OBJETOS METALICOS ENCONTRADOS EN EL BAJO PIURA

A continuación se describen una serie de objetos encontrados en el Bajo Piura, interesantes por la variedad de formas, tamaños y técnicas de fabricación. Estos fueron proporcionados por el Padre Esteban Puig.

MUESTRA VO 7

Es un adorno colgante en forma de disco, está hecho en una aleación base plata, es laminado y presenta una superficie lisa sin ninguna decoración. Presenta 3.5 cm de diámetro. Fig. 4.7.

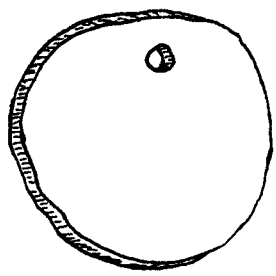


Fig. 4.7. Muestra VO7. Esquema de un Adorno Colgante en forma de disco.

MUESTRA V08

Es un adorno colgante (foto 4.8) hecho de una aleación de base plata, consiste en una lámina repujada con una figura en forma de felino.

Las dimensiones aproximadas son de 7 x 7 cm, debido a que se encuentra bastante deteriorado y no está completo, no se puede determinar con exactitud la figura hecha.

Foto 4.8. Muestra V08. Representación de un felino.

MUESTRA V09

Es un adorno colgante (foto 4.9), dorado superficialmente presenta tallados con figuras geométricas (triángulos concéntricos). El adorno tiene forma de una estrella estilizada de cuatro puntas, entre cada punta existe una distancia de 4cm y su espesor es de 1 mm.

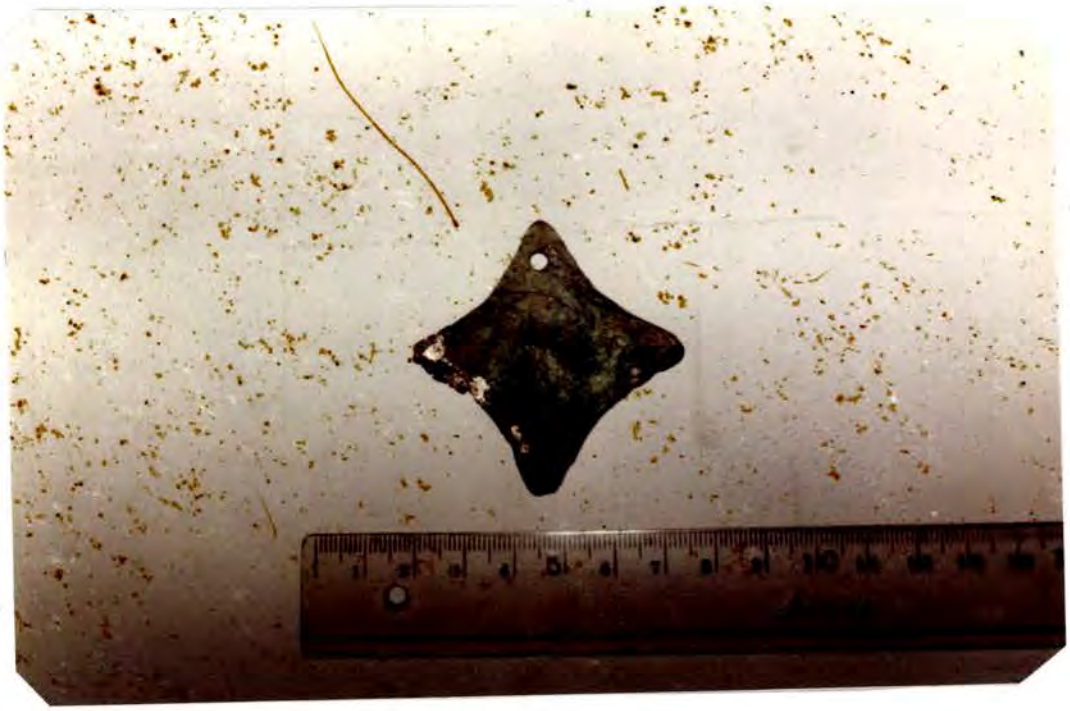


Foto 4.9. Muestra V09. Adorno en forma de Estrella

MUESTRA V10

Es un adorno colgante en forma de cuadrado (foto 4.10), con dos agujeros hechos en dos ángulos contíguos del cuadrado, su superficie es lisa y presenta vestigios de dorado.

Sus dimensiones son: 3 x 3 cm, espesor de 1mm.

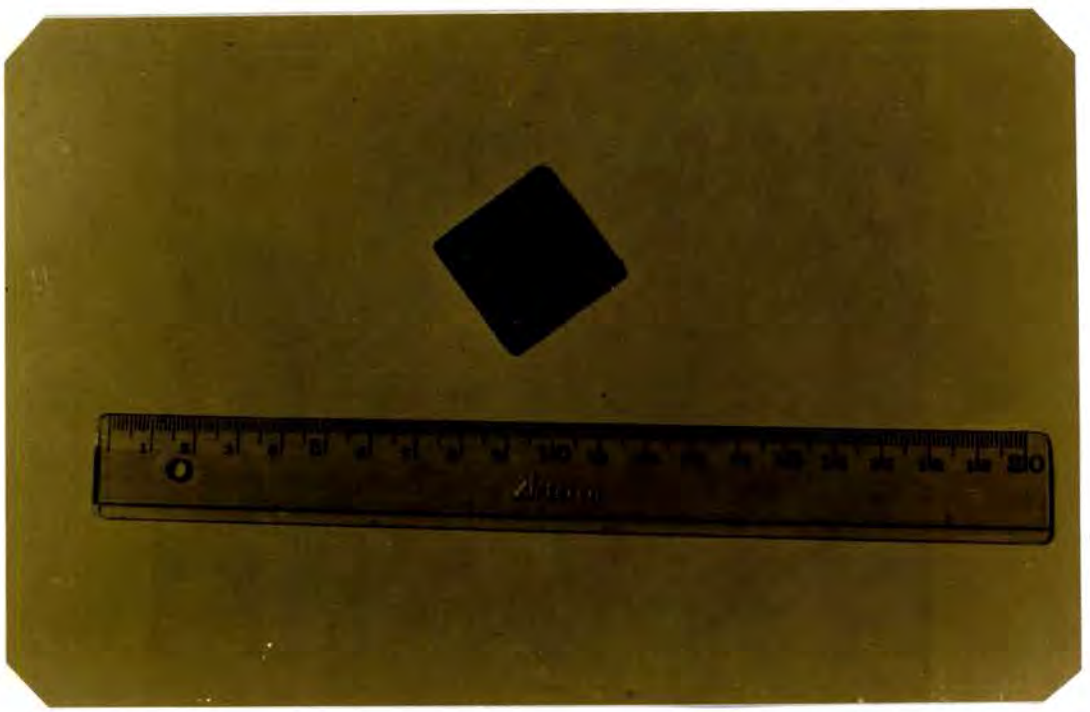


Foto 4.10. Muestra V10. Adorno colgante.

MUESTRA V11

Es un adorno colgante en forma de tumi (foto 4.11), con una superficie totalmente lisa, sin ninguna decoración.

Dimensiones son de: 10.1 cm de altura, 6cm de ancho en la parte inferior (de mayor dimensión) y 2.5 cm en la parte superior.

Foto 4.11. Muestra V11. Adorno Colgante.

MUESTRA V12

Es un adorno colgante (foto 4.12), en forma de un cuadrado, presenta vestigios de dorado, está decorada con cuatro huecos en forma de estrella a la altura de los vértices, realizadas por medio de técnicas de calado.

Sus dimensiones son: 5.5 cm de lado y 1 mm de espesor.

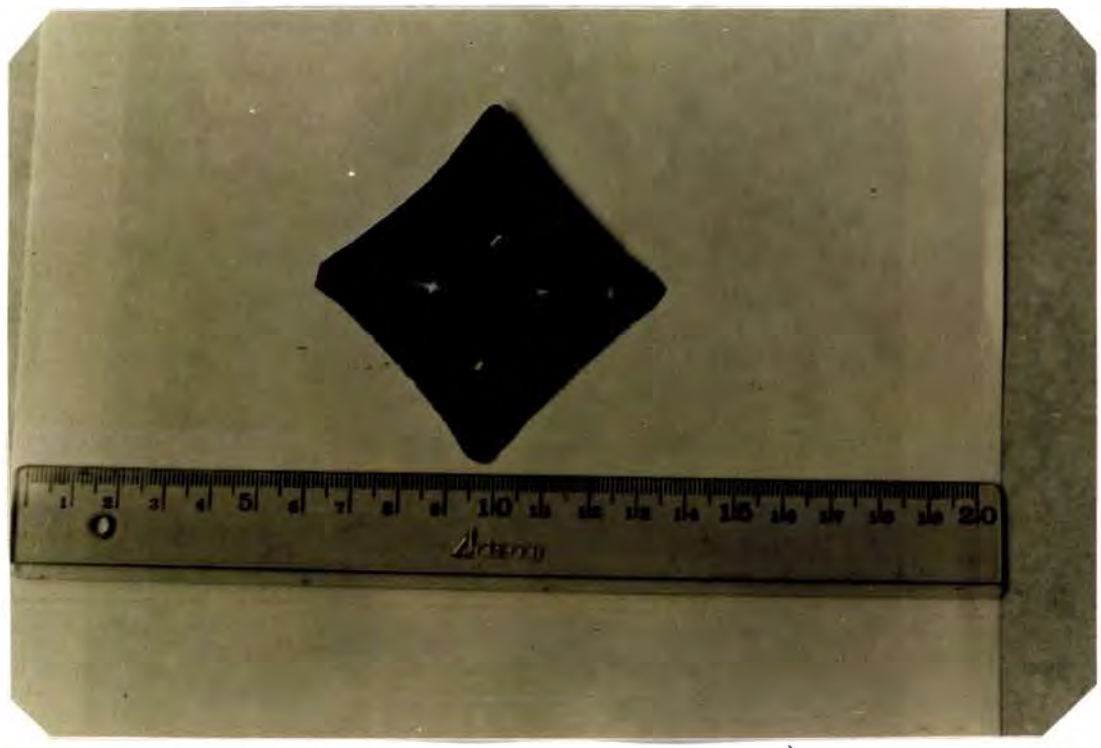


Foto 4.12. Muestra V12. Adorno colgante. Presenta calados.

MUESTRA V13

Corresponde a un adorno macizo en forma de gancho (foto 4.13). Esta pieza es probablemente una fundición de cobre; presenta un surco en forma longitudinal y en la parte superior presenta una saliente donde aún pueden verse las huellas de la envoltura de un hilo. Las dimensiones de esta pieza son: 4.5 cm de altura, 1cm de ancho y 0.5 cm de espesor.

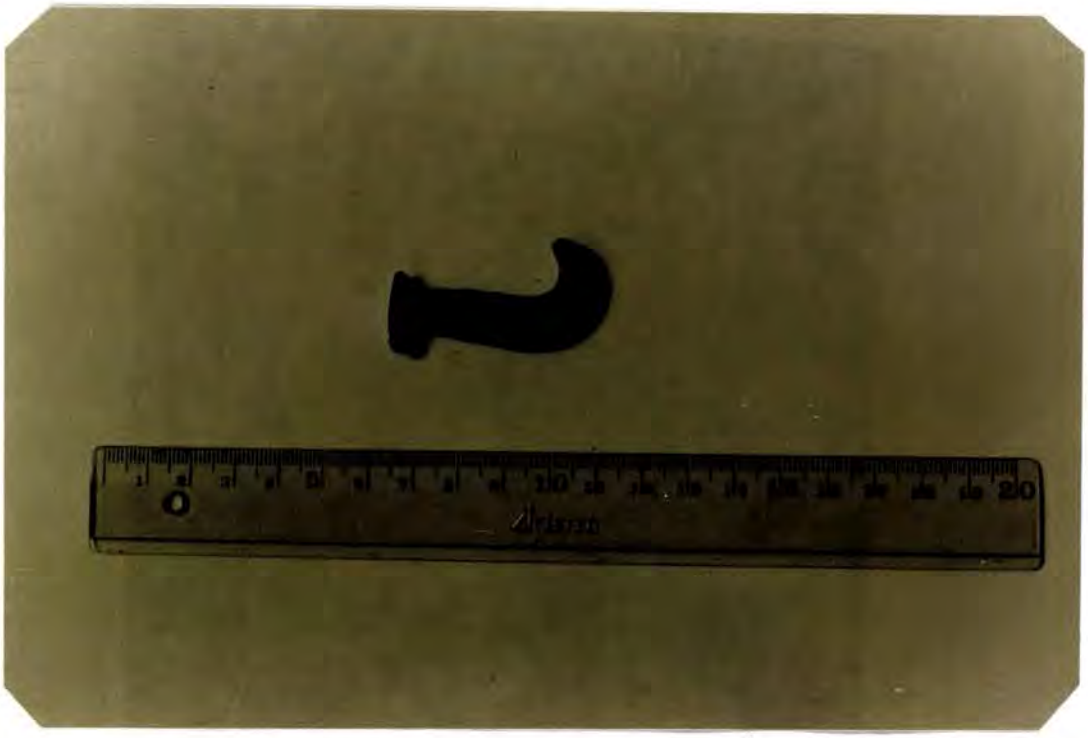


Foto 4.13. Muestra V13. Adorno en forma de gancho. Pieza fundida

Dado que no todas las muestras coleccionadas pudieron ser analizadas metalográficamente (algunos por tener muy poco espesor y otras por la imposibilidad de seccionar la pieza), sólo pudieron estudiarse 8 piezas, cuya descripción breve, se muestra en la tabla 4.1.1.

TABLA 4.1.1. DESCRIPCION BREVE DE LAS MUESTRAS ANALIZADAS METALOGRAFICAMENTE

MUESTRA	DESCRIPCION	LUGAR DE PROCEDENCIA	SECCION ANALIZADA
V01	Cuchillo	Sullana (El Cucho)	Longitudinal
V02	Cuchillo	Chulucanas	Longitudinal
V03	Cuchillo	Chulucanas	Longitudinal
V04	Cuchillo	Chulucanas	Longitudinal
V05	Lanza	Hacienda Pabur (Chulucanas)	Transversal y Longitudinal.
V06	Pectoral	Chulucanas.	Transversal
V07	Adorno	Bajo Piura	
V08	Adorno	Bajo Piura	

4.1.2. ANALISIS QUIMICO

La composición química de las muestras fue determinada en la Universidad "La Sapienza" de Roma (Italia), donde fueron analizadas con el Microscopio Electrónico de Barrido. Cabe aclarar, que el equipo en mención no toma en cuenta la presencia de oxígeno en las muestras, ya sea como óxido o en cualquier otra forma, dando resultados al 100% sin oxígeno.

Sin embargo, la presencia de este elemento en las muestras, se aprecia mediante Microscopía óptica en el Análisis Metalográfico.

En la siguiente tabla, se muestran en forma resumida los resultados obtenidos en el Microscopio electrónico de barrido, se ha adicionado una columna (*) que muestra el porcentaje de cobre en algunas de las muestras, determinado en el Laboratorio de Metalotecnia, mediante métodos electrolíticos.

TABLA Nº 4.1.2. COMPOSICION QUIMICA DE LAS MUESTRAS

MUESTRA	% Cu	% As	% Ag	% S	% Fe	% Cu(*)
V01	100					98.6
V02	98.23	1.77				93.00
V03	98.25	1.75				96.8
V04	98.56	1.44				96.7
V05 (parte super.)	97.35	2.57			0.08	96.8
V05(punta)	97.05	2.95				
V06	93.39	0.39				
V07 (superficie)	82.48	1.38		0.43		
V07(metal)	48.83	1.43	47.88	0.55		
V08	36.61		63.39			
V08	46.21		52.97			

(*) Realizado por métodos electrolíticos en el Laboratorio de Metalotecnia.

4.1.3. ANALISIS METALOGRAFICO

Antes de proceder al análisis metalográfico se embutieron en resina termoendurecible, trozos muy pequeños de las muestras. Luego del pulido se observó la microestructura de cada una de ellas, en el microscopio metalográfico NIKON. Se usó como reactivo de ataque una solución alcohólica de Clo-

ruro Férrico.

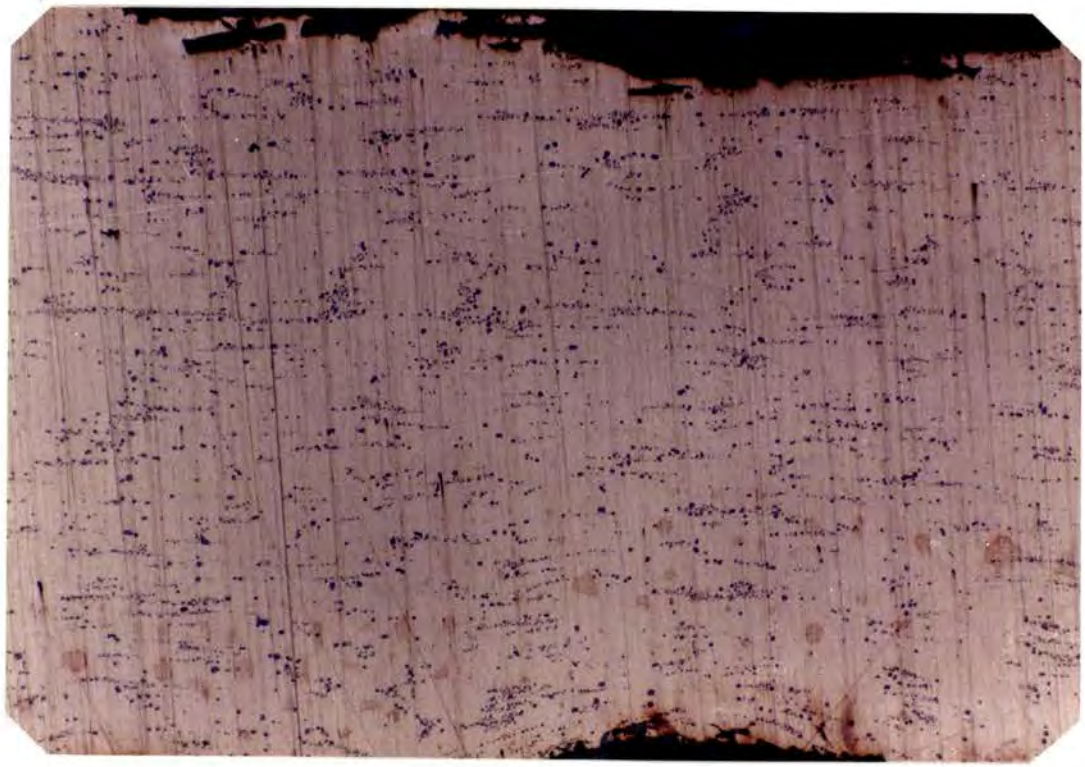
Los resultados obtenidos son los siguientes:

MUESTRA VO1

Se analizó una sección longitudinal de esta pieza. La muestra observada en el microscopio sin ataque, presenta gran cantidad de inclusiones, azuladas y de forma redondeada, correspondientes a oxídulos de cobre; como se puede ver en la micrografía 4.1. , las inclusiones se encuentran alineadas en la dirección de conformación del objeto.

Luego del ataque se observa una microestructura homogénea formada por granos de cobre totalmente recristalizados y que presentan maclas de origen térmico en su interior, como puede observarse en la micrografía 4.2.

La microestructura observada indica que el cuchillo fue sometido inicialmente a un proceso de deformación en frío y luego fue llevado a temperaturas que permitieron una completa recristalización de los granos deformados. (Recocido total de Regeneración).



Mic. 4.1. Muestra V01, sin ataque. 100x. Oxídulos de Cobre.

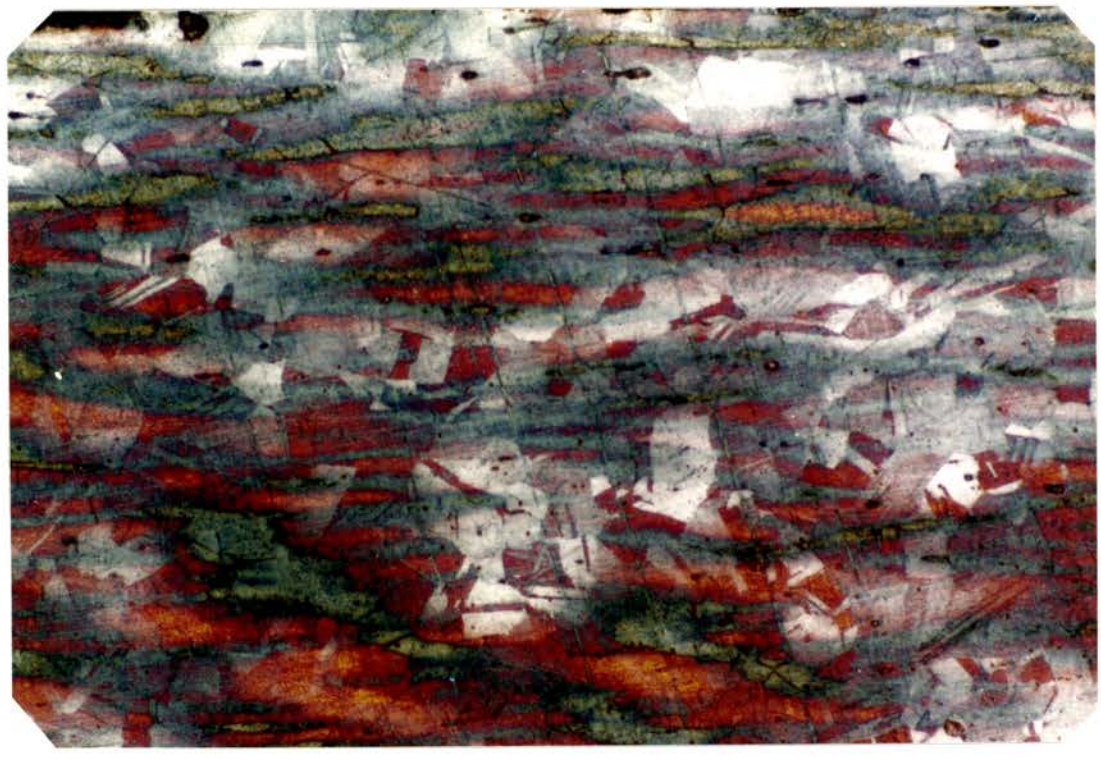
Mic.4.2. Muestra V01 atacado. Granos recristalizados. 100 x

MUESTRA VO2

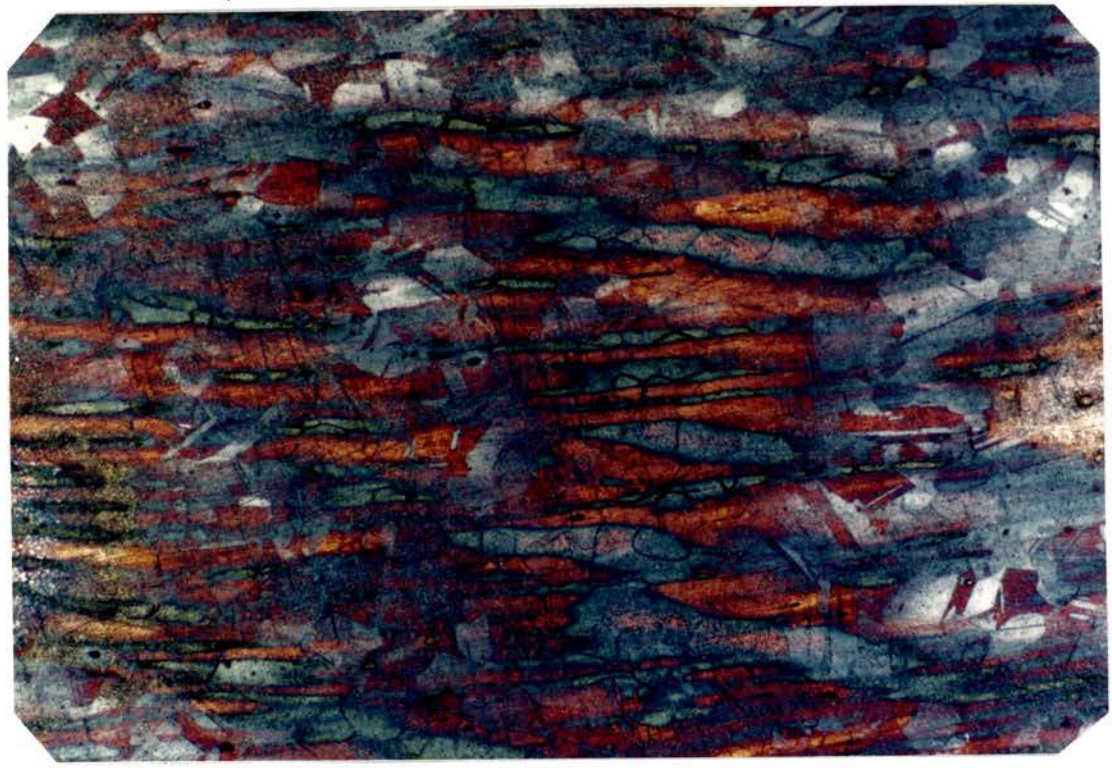
Se trata de una aleación Cu - As, con bajo As (1%), se analizó la sección longitudinal de la pieza, no se observan muchas inclusiones, como se puede observar en la mic. 4.3, la ausencia de oxídulos de Cu, revela que la aleación está casi exenta de oxígeno.

Luego del ataque, la microestructura observada presenta dos tonalidades: azulada en las zonas cercanas a los bordes de la sección y rojiza en la parte central como se ve en la mic. 4.4, la diferente coloración se debe a la diferente composición química en esas zonas, producto del fenómeno de segregación principal ocurrido durante la conformación de la aleación.

En la misma mic., se puede observar que en una zona la microestructura de la pieza presenta segregación dendrítica con dendritos de solución sólida α de As en Cu (según diagrama de fig. 2.3), alargados en la dirección de conformación y con granos recristalizados en su interior; el resto de material consta de granos recristalizados con maclas de recocido. En consecuencia se puede decir que el cuchillo fue trabajado en frío y luego sometido a elevadas



Mic. 4.3. Muestra V02. Con ataque. No se observan inclusiones. 100 x



Mic. 4.4. Muestra V02. Detalle de la segregación dendrítica. Granos recristalizados dentro de los dendritos. 200 x.

temperaturas que permitieron la recristalización de algunos de los granos, no lográndose homogenizar toda la estructura.

MUESTRA V03

Se analizó la sección transversal de esta pieza. La muestra sin ataque presenta gran cantidad de inclusiones de color verdoso y de forma redondeada, correspondientes a oxídulos de cobre, ver micrografía 4.5.

La estructura de la pieza está constituída por grandes granos de solución sólida α que presentan maclas de origen térmico en su interior.

Como se observa en la micrografía 4.6, la estructura está totalmente recristalizada, pero aún se advierte segregación principal.

La estructura que presenta esta pieza, puede indicar una deformación en frío inicial seguido de calentamientos a altas temperaturas que permitieron la recristalización de los granos deformados y a la vez, un crecimiento de los mismos.

Mic. 4.5. Muestra V03. Sin ataque. Presencia de inclusiones. 100 x

Mic. 4.6. Muestra V03. Con ataque. Estructura recristalizada. 200 x

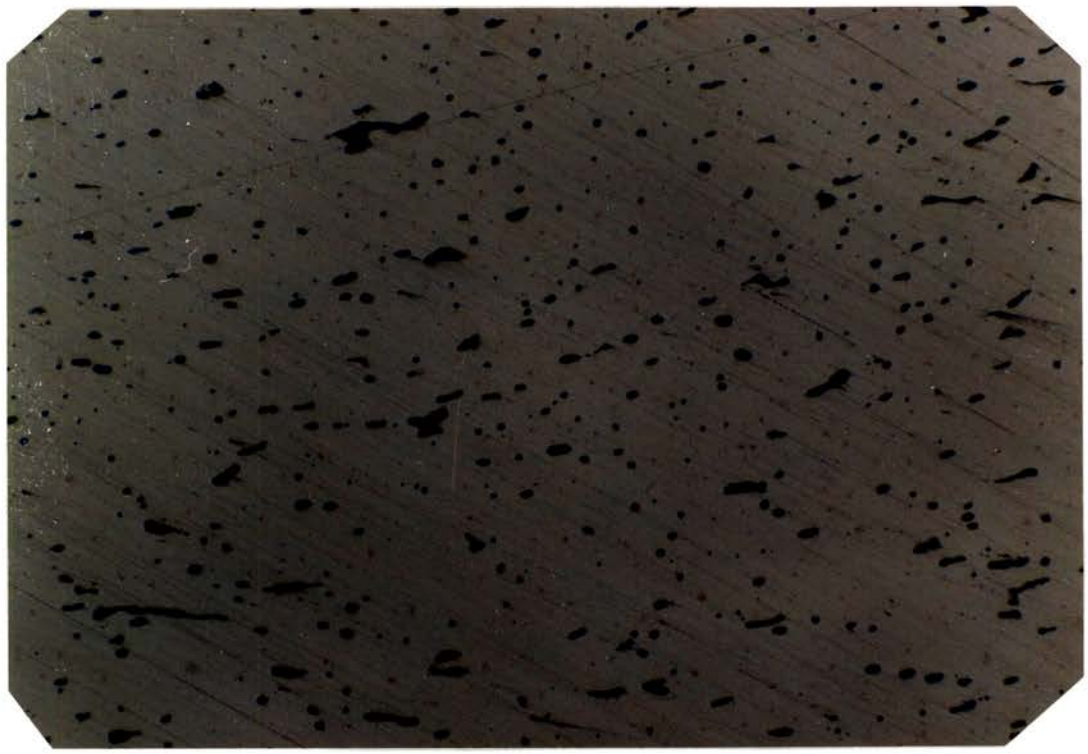
Otra posibilidad, es la deformación en caliente que también permite un crecimiento de grano.

MUESTRA VO4

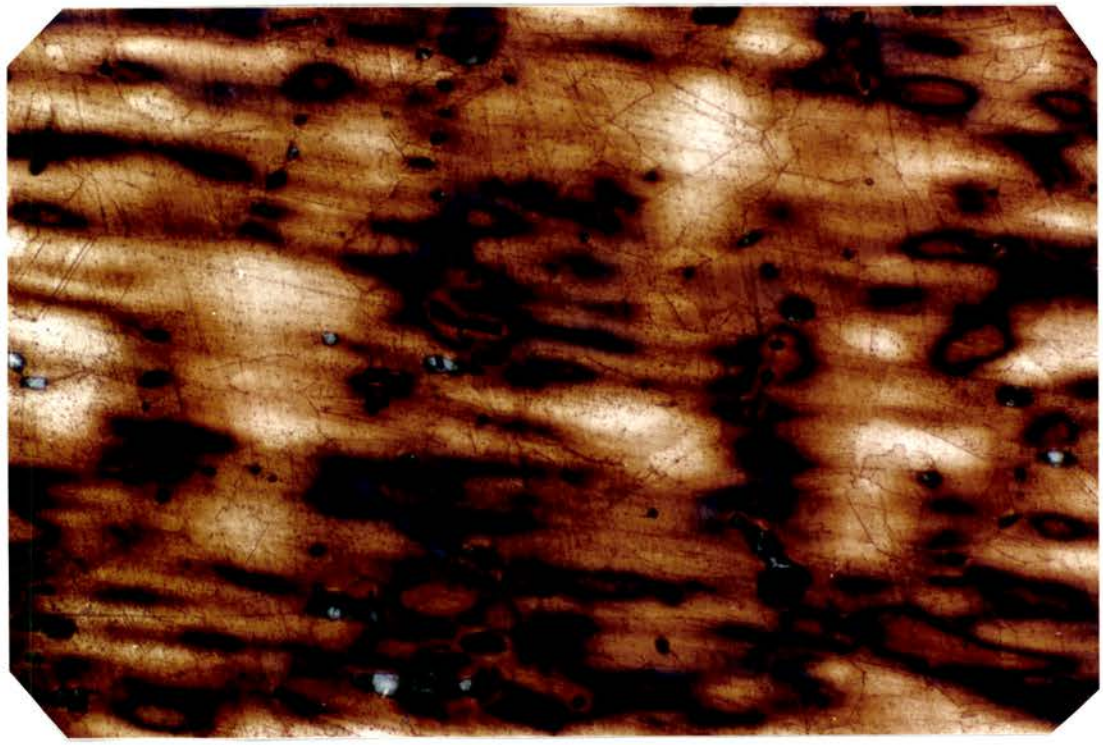
Esta muestra, analizada en la sección longitudinal, contiene inclusiones del mismo tipo que las observadas en la muestra VO3, como se puede apreciar en la micrografía 4.7.

Luego del ataque, se observa segregación principal y dendrítica, micrografía 4.8, en esta mic., se observan dendritos ricos en Arsénico, alargados en la dirección de conformación, en una matriz de granos de solución sólida α recristalizados y de tamaño grande.

La microestructura revela que esta muestra fue trabajada en frío y luego sometida a un proceso de recristalización, no llegando a recristalizarse toda la estructura.



Mic. 4.7. Muestra V04. Sin ataque. Oxídulos de cobre 100 x



Mic. 4.8. Muestra V04. Con ataque. Se observa segregación dendrítica. 200 x

MUESTRA VO5

De esta muestra, correspondiente a una lanza, se analizaron dos zonas: una, correspondiente al extremo superior, formada por una lámina unida en forma de tubo, y el otro extremo, la punta, que es maciza.

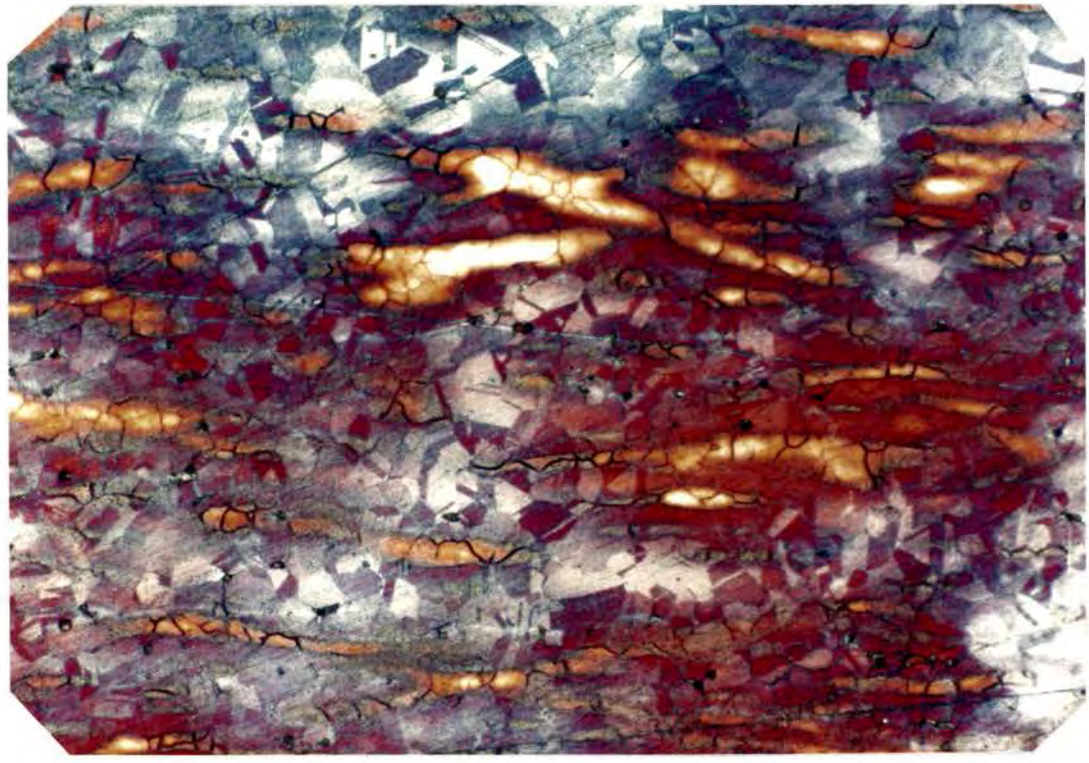
La micrografía 4.9, muestra la estructura de la parte superior, se advierte una fuerte segregación principal y segregación dendrítica, se observa granos recristalizados de tamaño pequeño, dentro de los dendritos de solución sólida alargados en la dirección de conformación.

En la micrografía 4.10, se observa la microestructura de la sección transversal de la punta de la lanza; esta consta de dendritos de herencia de solidificación, en algunas zonas se observan granos recristalizados que indican un proceso de deformación y recocido posterior a la fundición.

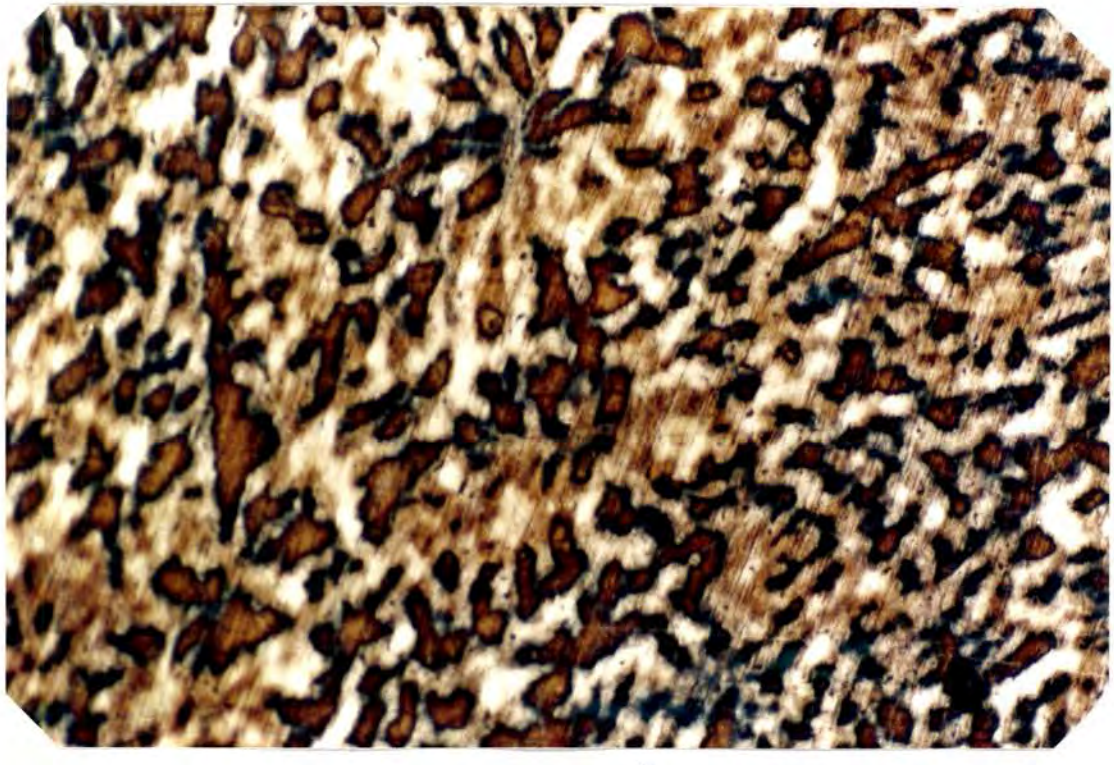
MUESTRA VO6

Se trata de una aleación de base cobre que presenta un recubrimiento superficial de oro.

La muestra analizada presenta un alto grado de



Mic. 4.9. Muestra V05. Estructura de la parte superior. 200 x.

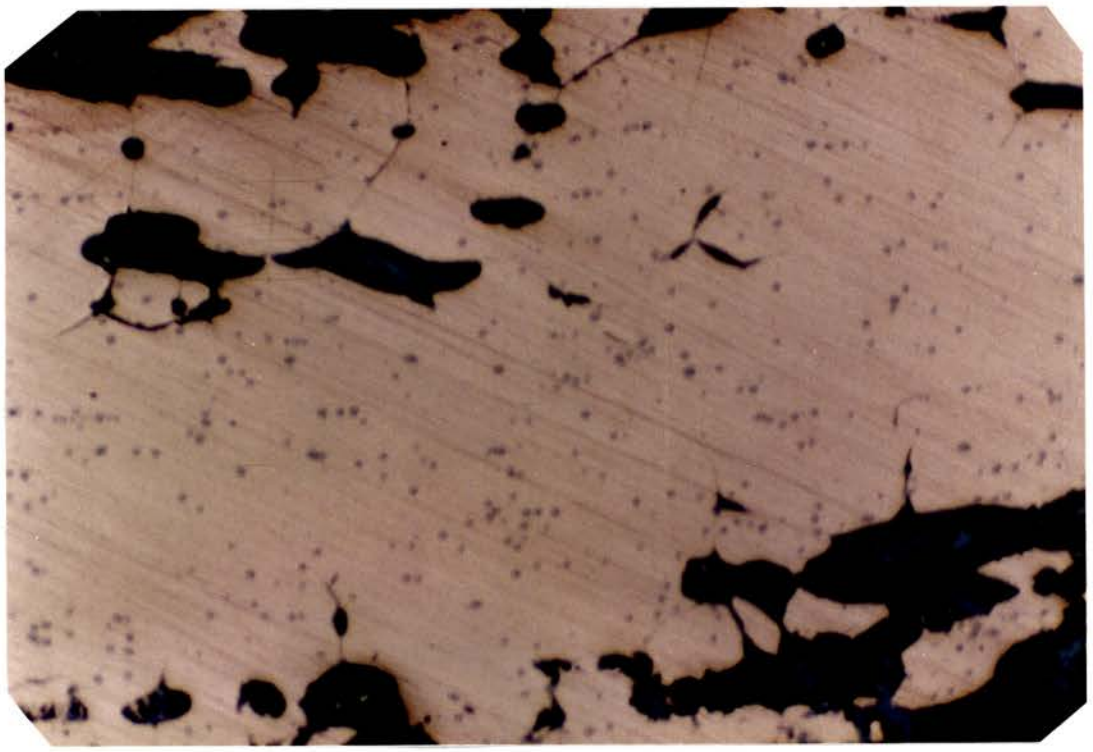


Mic. 4.10. Muestra V05. Estructura de la punta de la lanza. 100 x.

corrosión en la superficie, y por ello esta capa prácticamente ha desaparecido, aunque aún se logra ver una delgadísima capa de oro. Se observa gran cantidad de inclusiones de oxídulos de cobre y huecos en los límites de grano. Mic. 4.11.

Luego del ataque la estructura que se observa corresponde a granos de solución sólida α de cobre recristalizados con maclas de origen térmico, presenta un tamaño de grano grande como puede verse en la mic. 4.12, ello indica que el material fue calentado a elevadas temperaturas o que permaneció durante largos períodos de tiempo a la temperatura de recristalización. De lo visto anteriormente se puede deducir que esta pieza se obtuvo de una aleación de cobre con arsénico, la cual se deformó inicialmente mediante trabajo en frío, para darle la forma y espesor deseados; posteriormente se sometió a un calentamiento a una temperatura igual o superior a la de recristalización; es decir, recibió un tratamiento de recocido de homogenización.

Las muestras V07 y V08, no pudieron ser analizadas metalográficamente, por presentar un espesor muy pequeño y no contarse con suficiente cantidad de muestra.



Mic. 4.11. Muestra V06. Sin ataque. Inclusiones. 100 x

Mic. 4.12. Muestra V06. Estructura después del ataque: Granos recristalizados. 100 x

4.1.4. ENSAYO DE MICRODUREZA

Se efectuaron pruebas de dureza Vickers en las probetas realizándose medidas en diferentes zonas, como se señala en la tabla siguiente:

TABLA Nº4.1.3 Medidas de Dureza Vickers efectuadas en las Muestras.

MUESTRA	CARGA	ZONA	DUREZA VICKERS (Hv)
V01	50	centro	77.1
V02	50	centro	92.1
V03	50	centro	51.24
V04	50	centro	50.37
V05	50	superior	66.19
V05	50	punta	73.15
V06	50	periferia	63.5
V06	50	centro	66.3

4.2. ANALISIS MINERALOGICO DE LAS MUESTRAS ENCONTRADAS

Dado que es la primera vez que se realizan análisis de minerales metálicos en el Laboratorio de Metalotecnia, en esta sección se hace una descripción de los métodos de reconocimiento preliminar usados con mayor frecuencia, para orientarnos acerca de la constitución mineralógica de las diferentes muestras que hemos logrado reunir.

4.2.1. METODOS DE ANALISIS EMPLEADOS

1. INSTRUMENTOS Y METODOS DE ENSAYO MAS USUALES

A. PESO ESPECIFICO (G)

El peso específico o gravedad específica de un mineral, es un número que expresa la relación entre su peso y el peso de un volumen igual de agua.

El peso específico de un mineral de composición determinada es constante, y su determinación es con frecuencia, un valor importante en la identificación de un mineral.

Con el fin de determinar con toda exactitud el peso de un mineral deberán obser-

varse ciertas condiciones. El mineral deberá ser puro, requerimiento que resulta muchas veces difícil de cumplir. Debe ser también compacto, sin grietas ni cavidades dentro de las cuales puedan quedar aprisionadas burbujas o películas de aire. Para un trabajo mineralógico normal, la muestra deberá tener un volumen aproximado de 1 cm^3, es decir, un cubo de un cm de lado. Si estas condiciones no pueden reunirse, la determinación del peso específico por métodos sencillos y rápidos tiene poco valor.

El camino a seguir para hacer una determinación del peso específico ordinario, en líneas generales es el siguiente: el mineral se pesa, primeramente en el aire. Sea este peso "P". Se sumerge luego el mineral en agua y se vuelve a pesar. En estas condiciones pesará menos, ya que cualquier objeto sumergido en agua es empujado por una fuerza equivalente al peso del agua desplazada. Sea el peso en agua "P' ". Tenemos que P - P' es la pérdida de peso producida por la inmersión en agua, o el peso de un volumen igual de agua. La fórmula P/ P - P'

dará por lo tanto, un número que es el peso específico del mineral.

B. DUREZA (H)

Se llama dureza la resistencia que ofrece la superficie lisa de un mineral a ser rayada. El grado de dureza viene determinado por la observación de la facilidad o dificultad relativa con que un mineral es rayado por otro o por una lima o punta de acero. La dureza de un mineral puede entonces decirse que es su "rañabilidad".

Se ha elegido una serie de diez minerales como escala de dureza y por comparación con ellos puede determinarse la dureza relativa de cualquier mineral, estos diez minerales, dispuestos de menor a mayor dureza, se conocen con el nombre de "Escala de Dureza de Mohs". A continuación presentamos la escala práctica referida a la de Mohs cuyos términos son universalmente conocidos (28).

- TALCO : raya fácilmente la uña. H= 1
- YESO : raya con dificultad la uña. No raya a la moneda de cobre. H= 2. La uña

raya al yeso, no raya a la calcita. H= 2.5.

- CALCITA : raya al Cu y es rayado también por el Cu. H= 3.

  Cobre: raya a la calcita, pero no a la fluorita. H= 3.

- FLUORITA : no raya a la apatita y al vidrio. Raya al cobre. H= 4.

- APATITA : se rayan mutuamente con el vidrio, pero con dificultad. H= 5.

- Vidrio: raya a la apatita, pero no a la ortoclasa. H= 5 - 5.5

- ORTOCLASA : raya al vidrio fácilmente; es rayado con dificultad por la navaja. H= 6.

  Navaja: no raya al cuarzo. H= 5.5 - 6.

- CUARZO : no es rayado por la navaja; pero si con dificultad por la lima triangular, H= 7.

  Lima: raya al cuarzo con dificultad; no raya al topacio, H= 7.

- TOPACIO : raya al cuarzo, no raya al corindón. H= 8.

- CORINDON : raya al topacio. H = 9.

- DIAMANTE : no es rayado por ningún mineral conocido. Raya a todos ellos. H= 10.

Con el fin de determinar la dureza relativa de cualquier mineral de acuerdo con esta escala, es necesario determinar si los minerales de la escala pueden ser rayados o no por el ejemplar en estudio. Al efectuar esta determinación deberá tenerse muy en cuenta lo siguiente: Ocurre muchas veces que, cuando un mineral es más blando que otro, porciones del primero dejan una huella sobre el segundo, huella que puede ser confundida con una raya. Deberá entonces borrarse y sólo cuando sea una raya verdadera permanecerá. Muchos minerales se alteran frecuentemente en su superficie, pasando a materiales que son mucho más blandos que el mineral original. Deberá emplearse por lo tanto, una superficie fresca del ejemplar en estudio. La naturaleza física de un mineral puede evitar muchas veces una determinación correcta de su dureza. Por ejemplo si un mineral es pulvurulento, granular o astilloso., puede romperse y quedar aparentemente rayado por un mineral mucho más

blando que el mismo. Cuando se efectúa la prueba de dureza es siempre recomendable confirmarla, repitiendo la operación alterando el orden de ejecución; esto es, no tratar siempre de arañar el mineral A con el mineral B, sino también tratar de hace lo sobre el B con el A.

C. ENSAYOS POR VIA SECA

I. EQUIPOS

Estos ensayos llamados también "Pyrognósticos" constituyen un método general de investigación mineralógica y orientan en forma rápida y segura sobre la naturaleza del mineral de que se trata. Para realizarlo se necesita disponer de un foco calorífero y una corriente de aire procedente de un soplete.

Como foco calorífero se puede usar la llama del mechero Bunsen, que es de gran potencia calorífera, su combustión es completa y no deposita hollín.

ZONAS DE LA LLAMA

Cualquiera que sea la naturaleza del combustible usado, la llama obtenida consta de 4 zonas más o menos concéntricas, cuyas propiedades son distintas. Ver fig. 4. 14.(a)

1. Zona Interior : oscura, de temperatura relativamente baja; por ser insuficiente la combustión, las materias carbonosas sólo están al estado gaseoso, depositándose como una película negra, si introducimos en dicha zona un tubito de vidrio.

2. Zona Media : muy brillante y luminosa, aquí el hidrógeno arde completamente, no así las partículas de carbono, que sólo se ponen incandescentes. La combustión es incompleta por falta de aire, está ávida de oxígeno y si introducimos un mineral oxidado lo reduce, por eso se llama "Zona Reductora".

3. Zona Externa : poco luminosa, la combustión es completa y por lo tanto de temperatura muy alta. Por estar en contacto con el aire, existe en ella exceso de oxígeno, que lo cede a las sustancias que carecen de él, se denomina "Zona Oxidante".

4. Zona Azul : forma la base de la llama, de temperatura muy alta representa la mezcla del carbono con el oxígeno.

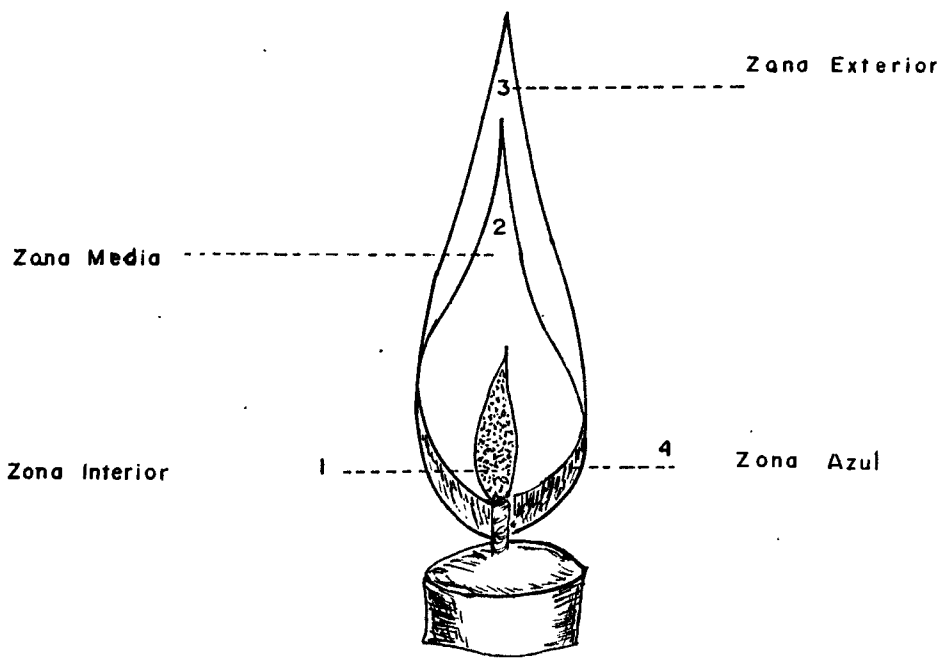


Fig. 4.14.(a) Zonas de la llama

EL SOPLETE

El soplete es un tubo de latón de unos 22 cm de longitud, por donde se hace pasar la corriente de aire necesaria para la obtención de los diferentes tipos de llama.

La corriente de aire puede ser producida por los pulmones del ensayista, pero este procedimiento tiene el inconveniente de que la corriente de aire producida no es uniforme, siendo esto muy necesario para obtener una buena llama, por esto lo más conveniente es usar corriente de aire comprimido, asi disponemos de una corriente de aire seco y constante y que además es regulable.

OBTENCION DE LA LLAMA

La obtención de los diferentes tipos de llamas, depende de la forma en que se coloque el soplete y el caudal de aire que se envíe mediante él a la llama.

- LLAMA REDUCTORA (Ll.R.) : Se obtiene colocando la punta del soplete en la parte externa de la llama casi tangente a la base y soplando con suavidad. El aire se mezcla incompletamente con los gases de aquella y se produce una elevación de temperatura sin llegar a arder el carbono; en este caso el cono brillante ocupa casi la totalidad del dardo y toma el nombre de "LLAMA REDUCTORA". Para obtener una buena reducción es indispensable que la llama se mantenga durante algunos minutos en contacto con el mineral que se ensaya en la zona "m" que es bastante limitada. Ver fig. 4.14.(b)

- LLAMA OXIDANTE (Ll.O.) : Si se introduce la punta del soplete hasta 1/3 de su longitud en el interior de la base de la llama y se sopla con energía, se producirá una mezcla completa del aire con los gases de aquella. El dardo así obtenido será mucho más agudo que el anterior y aunque el cono azul está también bastante desarrollado, el cono exterior 3 es mayor y de gran potencia calorífica, te-

nemos en este caso la "LLAMA OXIDANTE". Si no hay necesidad de obtener temperatura muy alta, la mejor oxidación que se consigue es manteniendo el mineral al rojo en la parte luminosa nn' del dardo, región donde está saturada de Oxigeno.

Para temperaturas aún más altas se coloca el mineral en n ligeramente fuera de la punta azul.

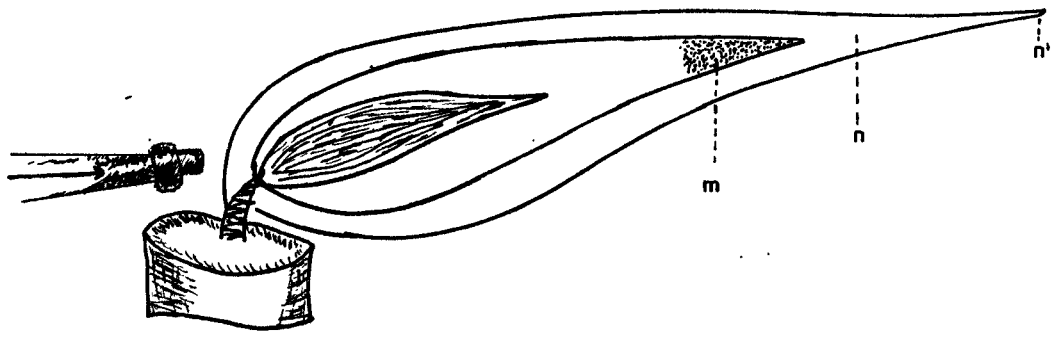


Fig. 4.14.(b) Zonas de los diferentes tipos de llamas

- LLAMA DE VOLATILIZACION (Ll.V.) : Sirve para producir la coloración de los elementos volátiles de un mineral. Para conseguirlo, se introduce la punta del soplete hasta la 1/2 de la base de la llama y se sopla fuertemente, se formará así un pequeño dardo azul poco luminoso de muy alta temperatura. La materia a ensayar se coloca en el vértice del cono azul.

PRECAUCIONES

Para que un dardo sea perfecto debe reunir las siguientes condiciones:

- No producir ruido y ser cónico de forma, depende del orificio de salida del soplete que debe ser circular y de 0.5mm de diámetro, caso de obstrucción de dicho orificio, se utilizará para su limpieza una cerda resistente, nunca alfileres o instrumentos metálicos.

- Se debe evitar que el dardo forme crestones, para ello es suficiente regularizar su tamaño.

- La longitud del dardo (3 a 4 cm) debe ser constante, lo que se consigue cuando la corriente de aire tenga una alimentación contínua.

OXIDACION Y REDUCCION

- OXIDACION : Es la unión de un metal con el oxígeno. Muchos minerales cuando se someten al soplete toman el oxígeno del aire y se "oxidan". Así, un pedazo de Cu y la pirita (FeS_2) pueden permanecer sin transformarse en condiciones ordinarias del ambiente por mucho tiempo, pero si se caliente intensamente con acceso del aire, el primero se convierte en CuO y el segundo en Fe_2O_3 con desprendimiento del SO_2, según las ecuaciones:

$$Cu + O\ (aire) \longrightarrow CuO$$

$$2FeS_2 + 110\,cal \longrightarrow Fe_2O_3 + 4SO_2$$

- REDUCCION : Significa la eliminación del oxígeno, con la liberación del metal de uno de sus componentes; también, la transformación de una combinación de alta valencia a otra más baja.

Por medio del dardo del soplete, se lleva a cabo la reducción con la eliminación del oxígeno, puesto que al calentar la sustancia es atacada por el monóxido de carbono (CO) gas reductor energético, que al tomar el oxígeno el aire se convierte al estado de bióxido. En consecuencia cuando se calientan ciertos óxidos con CO, ceden su oxígeno y son "reducidos", sea a metal, o a otro compuesto de menor valencia.

$$CuO + CO \longrightarrow Cu + CO_2$$

$$Fe_2O_3 + CO \longrightarrow 2FeO + CO_2$$

Muchas veces es imposible extraer el metal de ciertos minerales por el medio ordinario del soplete. Otros pueden ser reducidos por medio de un fundente, y unos pocos calentados en el carbón vege-

tal. La mezcla de carbonato de sodio y carbón vegetal en proporciones iguales, conocida con el nombre de"mezcla reductora"; sirve como un buen fundente en muchas reducciones.

EMPLEO DEL CARBON VEGETAL CON EL SOPLETE

En gran número de ensayos con el soplete, se emplea como soporte, pequeños bloques de carbón vegetal de unos 10 cm de longitud, 3cm de ancho y 1 cm de espesor. El carbón debe ser de grano fino y uniforme, ni tan blando que se deshaga fácilmente entre los dedos, ni tan duro que no se pueda cortar ni raspar con un cuchillo. En estas condiciones el carbón es perfectamente infusible, tiene la propiedad de combinarse con el oxígeno del aire para cooperar eficazmente en las operaciones de reducción y oxidación. Para realizar el ensayo se hace una pequeña cavidad semiesférica en la superficie del bloque, sobre la que se deposita el mineral a ensayar.

TABLETA DE YESO

En algunos casos es necesario usar como soporte una tableta de yeso, en lugar del carbón vegetal. La tableta de yeso, se prepara con yeso de París y agua. La facilidad con que se prepara y lo económico que resulta cada tableta, hace que se considere como uno de los más importantes soportes para los trabajos al soplete tanto con reactivos sólidos como líquidos.

II. METODOS DE ANALISIS CON EL SOPLETE

Bajo la denominación de análisis con el soplete, se entiende los diversos procedimientos que se siguen para caracterizar los elementos de que consta la especie mineral, estos son :

ESCALA DE FUSIBILIDAD (29)

Las especies minerales se funden a diferentes grados de temperatura; unas son extremadamente fusibles a la simple llama de la lámpara de alcohol, otras presentan trazas de fusión sólo bajo la acción de la llama V (llama de volatili-

zación) del soplete, las hay también que son completamente infusibles.

Esta propiedad se aprovecha para el reconocimiento de los minerales con el auxilio de la ESCALA DE FUSIBILIDAD que consta de 7 términos elegidos como grados de fusión. Presentamos la escala comenzando por el más fusible:

- ESTINNITA: aún en grandes fragmentos es fusible a la simple llama del fósforo o lámpara de alcohol; también en tubo cerrado. Punto de Fusión F: 525 °C G.F.= 1.

- CALCOPIRITA: funde como la anterior pero en astillas delgadas. En tubo cerrado funde con dificultad. Funde fácilmente a la llama de un mechero Bunsen (F: 800 °C) GF = 2.

- ALMANDITA: funde fácilmente a la llama V, aún en astillas gruesas, pero no en tubo cerrado, es infusible a la llama del mechero Bunsen (F: 1050 °C) G.F. = 3.

- ACTINOLITA: los bordes de una esquirla se redondean fácilmente, cuando es muy delgada toma la forma de cabecita de alfiler. (F: 1200 °C) G.F. = 4.

ORTHOCLASA : los bordes de una esquirla muy delgada, se redondean difícilmente en vidrio vesiculoso (F: 1300 °C) G.F= 5.

BRONCITA : los bordes y puntas de astillas extremadamente delgadas, dejan percibir trazas de fusión (F: 1400 °C) GF= 6.

CUARZO : infusible. Los bordes y astillas muy delgadas, después de ignición prolongada, no muestran trazas de fusión (F: 1710 °C) GF = 7.

Si un mineral se funde con facilidad en el grado 4, pero con dificultad en el 3er su fusibilidad es 3.5, se aumenta de esta manera los términos de la escala, en medios grados.

Para que los fragmentos sean comparables, es de importancia capital, que tengan aproximadamente el mismo diámetro (1.5 mm).

La fusibilidad bajo el punto de vista investigador, presta útiles servicios para el reconocimiento de silicatos y mi-

nerales de bajo punto de fusión, pero es sólo de interés secundario para los de punto de fusión alto, por ser muy difícil diferenciar los grados 5 y 6, razón por la cual, algunos autores preconizan la limitación sólo a tres grados:

1. Cuando el mineral se funde a la llama del alcohol. su fusibilidad es menor que 2.
2. Si el mineral presenta a la Ll.V. trazas netas de fusión, su fusibilidad está comprendida entre 2 y 5.
3. Si es difícil o completamente infusible a la misma llama, su fusibilidad es mayor de 5.

TRATAMIENTO SOBRE EL CARBON VEGETAL

Sobre el carbón vegetal puede hacerse dos tipos de pruebas:

a) Tratamiento sobre el Carbón sin Flujos

El mineral a examinar debe ser del tamaño de un perdigón, el que se coloca en una pequeña cavidad hecha con una fresa, sobre el soporte de carbón o ta

bleta de yeso y a la distancia de 1 a 1.5 cm del borde.

Al calentar el mineral con la Ll. O., durante un minuto, puede presentarse uno de los casos siguientes:

- decrepitar, deflagrar o fundirse tranquila o tumultuosamente.
- ser absorbido por el carbón parcial o totalmente.
- desprender gases de color y olor característicos,
- volverse magnético.
- depositar sublimado cuyo color puede variar tanto en caliente como en frío.
- formar botón metálico maleable o friable (botón agrio).

Si no se observa ninguno de los casos citados repetir la operación con la Ll.R.

Para los efectos de un buen ensayo, la cavidad hecha en el soporte, debe tener sólo unos 5 mm de profundidad, de lo

contrario será difícil que se deposite el sublimado. También hay que tener en cuenta que el carbón deja ceniza cuando se somete a una temperatura bastante elevada, que no debe confundirse con el sublimado.

No solamente es necesario anotar el color del sublimado obtenido, sino la "volatilidad" del mineral. Unos son muy volátiles a la Ll.O., en fracción de segundos, mientras que otros no lo son sino después de mucho tiempo.

b) Tratamiento sobre el Carbón con Flujos

Esta prueba se ejecuta cuando se desea reducir un mineral o sal, al estado metálico usando la Ll.R.

La muestra por examinar se pulveriza finamente y se mezcla una parte con triple volumen de soda (1:3) y granitos de bórax, mezcla que se presiona en una cavidad hecha sobre el carbón o yeso. Es recomendable agregar también una

pequeña porción de "mezcla reductora" para que la reducción se efectúe con mayor rapidez.

PRUEBAS EN EL TUBO DE ENSAYO

Para estos ensayos se utilizan tubitos especiales de vidrio cuyas dimensiones son 60 x 3 mm, 80 x 5mm, 100 x 7mm, los cuales están cerrados por un extremo. El mineral dentro del tubo, experimenta el fenómeno de tostado.

El fondo del tubo con su carga se calienta lentamente, observando los fenómenos que se desarrollan.

Muchas veces es conveniente tratar el mineral sin la intervención de los flujos, mientras que para otras pruebas es menester mezclar con 4 - 5 veces de CO_3Na_2 o $HKSO_4$.

PRUEBAS EN EL TUBO ABIERTO .

Se hacen en tubitos de vidrio de 100 x 6 mm o más, abiertos en sus extremos, acodados de un ángulo de 120°, de manera que uno de sus ramas tenga el triple largo de la otra.

En este caso, no se utiliza ningún flujo. El mineral por reconocer se pulveriza finamente, una pequeña porción de él se introduce por la rama corta hasta el codo, procurando no ensuciar la pared, luego se calienta lentamente el codo en posición horizontal con relación al dardo, cuidando de no perder la carga, así se enviará una corriente de aire que produce la oxidación del mineral.

Debe emplearse de preferencia la llama del alcohol, pero algunas pruebas requieren la temperatura concentrada con la ayuda del soplete.

ENSAYOS A LA LLAMA

Ciertos elementos pueden volatilizarse cuando los minerales que los contienen son calentados intensamente y así dan colores característicos a la llama que con frecuencia sirve para su identificación. Un somero ensayo a la llama se efectúa calentando un pequeño fragmento del mineral sosteniéndolo con una pinza, pero la prueba definitiva se realiza introduciendo polvo fino del mineral en la llama de un mechero Bunsen en un alambre de platino.

D. ENSAYOS POR VIA HUMEDA

Bajo este rubro se comprende cierto número de ensayos que por la simplicidad de su ejecución, prestan grandes servicios en el reconocimiento preliminar de minerales.

La muestra, previamente porfirizada, es introducida en un tubo de prueba y tomada por agua destilada o ácido, según sea su aspecto físico, observándose si

hay reacción en frío o en caliente. Los fenómenos que se desarrollan se manifiestan sea porque el mineral es insoluble, disolverse total o parcialmente, desprender gases de color y olor característicos, etc.

2. ENSAYO Y DIAGNOSTICO DE ELEMENTOS Y MINERALES METALICOS MAS COMUNES

En esta parte se da una descripción breve de los ensayos más importantes, tanto químicos como con el soplete, de los elementos que interesan para este trabajo, como son: As, Ag, S, Cu, Au, Pb y Fe (30).

En una primera parte se han agrupado los ensayos que permiten identificar un elemento dentro de un mineral, en la segunda parte se describen los ensayos que permiten identificar un mineral metálico específico.

A. ENSAYO DE ELEMENTOS

ARSENICO

Los ensayos de arsénico varían si el mineral contiene o no oxígeno. La mayor parte

de los compuestos de arsénico no son oxigenados, y en este caso sirven los ensayos 1, 2, 3, 4 y si, por el contrario, es un compuesto oxigenado deberá emplearse el ensayo 5.

1. Aureola en Carbón Vegetal : Cuando se calienta un mineral de As en la llama oxidante sobre carbón vegetal, se produce una aureola blanca de óxido de arsénico (As_2O_3) a cierta distancia del mineral acompañado de un fuerte olor a ajos. La aureola es muy volátil. Tratada con la llama reductora se volatiliza coloreando la llama de color azul pálido.

2. Aureola en Bloque de Yeso :

   Sin Reactivos: al ser atacado por la llama oxidante, aparece un sublimado blanco sobre un fondo castaño, muy volátil, si es As metálico, y un sublimado amarillento a rojizo si es un sulfuro (cuando se calienta rápidamente se vuelve negro castaño).

Con Reactivos: cuando se han mezclado los minerales de As con una mezcla de Yoduro Potásico y azufre, dan origen en la llama oxidante a una aureola (sublimado) de color anaranjado amarillento de I_3As.

3. Prueba en el Tubo Abierto : Si un mineral de As se calienta en el tubo abierto, se forma un anillo de sublimado cristalino blanco o incoloro de óxido de arsénico (As_2O_3), en las paredes internas del tubo a considerable distancia de la muestra. Es muy volátil. Cuando se examina conuna lupa el revestimiento, se mostrará normalmente cristales octaédricos bien formados. Si el mineral se calienta rápidamente, no se formará el óxido pero en cambio el arsénico metal puede sublimarse como en el ensayo siguiente:

4. Ensayo en Tubo Cerrado : Muchos minerales de Arsénico producen un sublimado de arsénico metálico en el tubo cerrado, conocidos con el nombre de "espejo de arsénico". Este sublimado presenta dos bandas, una negra amorfa superior, y otra cristalina gris plata inferior. Si la parte inferior

del tubo se rompe y se volatiliza por el calor el arsénico metálico, se obtendrá el característico olor a ajos. Los sulfuros dan este resultado sólo con la intervención de la soda.

5. Ensayo del Arseniato en Tubo Cerrado:

Cuando el arsénico aparece como un compuesto oxigenado, debe ponerse el mineral con un poco de carbón vegetal en un tubo cerrado y calentarse. El carbón vegetal actuará como un agente reductor y dejará libre el arsénico metálico, que se condensará en la pared del tubo como un espejo de As similar al descrito en el ensayo anterior.

AZUFRE

El azufre aparece tanto en minerales no oxidados como los sulfuros, como en los que contienen oxígeno, como los sulfatos. Estos dos tipos de compuestos de azufre requieren en general, de ensayos diferentes, pero la reacción del Hepar que se explica a continuación sirve para ambos casos indistintamente.

Reacción del Hepar (Prueba General del Azufre

. Cuando un mineral que contiene azufre se funde en carbón vegetal con la mezcla reductora tiene lugar la llamada reacción del Hepar, produciendo una masa fundida color castaño oscura característica. El carbonato sódico reacciona, produciendo sulfuro sódico soluble, tanto con los sulfuros como con los sulfatos. Si se coloca la masa fundida con unas gotas de agua, sobre la superficie limpia de una moneda de plata, aparecen manchas castaño oscuro de sulfuro de plata. Este ensayo es muy sensible y debe realizarse sobre un bloque de carbón nuevo.

ENSAYO DEL AZUFRE EN SULFUROS

1. Ensayo en Tubo Abierto : Los sulfuros al calentarlos en tubo abierto dan un gas (anhídrido sulfuroso SO_2), cuya presencia puede ser detectada por su olor acre e irritante. Un trozo de papel azul de tornasol humedecido, puesto en el extremo superior del tubo, se volverá rojo, debido a la formación de ácido sulfuroso.

Produce un sublimado amarillo o anaranjado, arde con llama azul.

2. Ensayo en Tubo Cerrado : Los sulfuros que contienen gran porcentaje de azufre (por ejemplo la pirita) dan azufre líquido, que es rojo en caliente y amarillo limón cristalino en frío; si el azufre se encuentra en poca cantidad, el líquido es casi blanco.

3. Ensayo en Carbón Vegetal : Al calcinar un sulfuro en carbón vegetal se percibe el olor sofocante y picante característico del SO_2, arde con llama azul.

ENSAYO DEL AZUFRE EN SULFATOS

Si el sulfato es soluble, disuélvase en ácido clorhídrico, y a la solución resultante añádase un poco de cloruro de Bario. El resultado es un precipitado blanco pesado de sulfato de bario. Si el sulfato es insoluble debe hacerse el ensayo general del azufre.

ENSAYO DE ARSENICO Y AZUFRE EN FORMA DE SULFUROS

1. Prueba sobre el Carbón Vegetal

Aparece un sublimado amarillo, inclinándose al anaranjado en caliente, con franja blanca exterior muy volátil. Humos amarillentos con olor característico. Este resultado se obtiene cuando el sulfuro de As se volatiliza muy rápidamente como para permitir su oxidación. Parte de la aureola volatilizada y depositada de color amarillo, es sulfuro de As.

2. Prueba en el Tubo Cerrado

Aparece un sublimado rojo-líquido intenso casi negro en caliente, anaranjado-sólido en frío.

3. Prueba en el Tubo Abierto

Sublimado amarillo inclinándose al anaranjado o rojo en caliente, con borde exterior blanco muy volátil. Humos amarillentos y olor a ajos. Este resultado se opera cuando el mineral que contiene As y S, se calienta muy rápidamente que permite su completa oxidación.

COBRE

1. Prueba sobre el Carbón Vegetal

Cuando se mezcla una pequeña parte de mineral de cobre con la mezcla reductora y se calienta intensamente bajo la llama reductora, se forman glóbulos metálicos de cobre difícilmente fusibles y brillantes en caliente, pero pierden el brillo al enfriarse por cubrirse de una capa de óxido. Son maleables y presentan el color característico del cobre.

Si el mineral es un sulfuro, debe primero ser tostado en la llama oxidante para eliminar el azufre antes de mezclarlo con la mezcla reductora.

2. Ensayo en la Llama

Los compuestos oxigenados de cobre cuando se introducen en la llama, le dan un color verde vivo debido al óxido de cobre volátil. Humedecido el mineral con ácido clorhídrico y calentado a la llama, se obtiene un color azul intenso, matiza-

do de verde; si el mineral es un sulfuro, deberá tostarse en la llama oxidante antes de humedecerlo con el ácido.

3. Ensayo por Vía Húmeda

Por la acción del HNO_3, los minerales de este metal toman color verde azulado. Con gotas de Amoníaco forma un precipitado blanco, muy soluble en exceso de reactivo, comunicando al licor un tinte azul celeste (diferencia con el Ni que es azul violeta).

El $K_4Fe(CN)_6$ es el mejor reactivo para reconocer aún trazas de Cu; en solución diluída da un precipitado rojo oscuro si sólo hay trazas el licor toma color rojo. El Cu es insoluble en los ácidos diluídos y soluble en Amoníaco.

Una aguja o clavo de Fe limpio, sumergido en solución de Cu ligeramente clorhídrico, se recubre de un depósito rojo del mismo metal. En caso de encontrarse el cobre en cantidad muy pequeña, no será visible el color, pero acercando el clavo a la llama del alcohol se puede constatar su presencia.

El Zn metálico precipita también el Cu, pero el color es castaño oscuro.

FIERRO

1. Prueba sobre el Carbón Vegetal

Pocos minerales de hierro son magnéticos en la naturaleza (por ejemplo la magnetita y pirrotita). Por lo general, todo mineral de Fe es infusible y magnético cuando se somete a la llama reductora del soplete; después de frío es atraible por el imán.

2. Precipitación con Hidraóxido Amónico

El hierro FERRICO es precipitado completa y rápidamente de una solución ácida en forma de hidróxido férrico, añadiendo un exceso de hidróxido de amonio. Es un precipitado en color pardo rojizo. Si existe duda sobre el estado de oxidación del hierro en la solución original deberán añadirse unas gotas de ácido nítrico calentando la solución para tener la certeza de que el hierro es férrico.

ORO

Si se encuentra en estado nativo; el oro se funde fácilmente a grado 3.

1. Reducción a Metal en Carbón Vegetal

Si el oro aparece en la forma de un telururo puede ser fácilmente reducido a glóbulo metálico calentándolo en carbón vegetal sin ayuda del fundente. El glóbulo resultante es blando, amarillo y brillante. Es muy maleable y puede ser transformado en una hoja fina por percusión. Acompaña a dicha reacción la aureola de teluro en el carbón vegetal.

2. Reacción por Vía Húmeda

Es insoluble en los ácidos ordinarios pero es soluble en agua regia.

DIAGNOSTICO : El oro se distingue de otros sulfuros amarillos (particularmente de la Pirita y Calcopirita), y de las pajuelas amarillas de mica alterada por su maleabilidad, su insolubilidad en el HNO_3 y gran peso específico.

PLOMO

1. Ensayo en Carbón Vegetal

Todo mineral de plomo, pulverizado y mezclado con carbonato sódico, produce un glóbulo metálico al calentarlo en carbón vegetal con llama reductora. El glóbulo es de un color plomo brillante caliente, pero al enfriarse se cubre con una pátina opaca de óxido. Es muy maleable y puede convertirse en hojas finas por percusión.

Se formará también, la aureola de óxido de plomo, PbO, cuyo color varía entre el amarillo, próximo a la masa fundida, y el blanco, lejos de ella. Se obtendrá mejor si se lleva el glóbulo de plomo a un trozo fresco de carbón vegetal y se calienta en la llama oxidante.

2. Prueba del Yoduro

Cuando el mineral de plomo se mezcla con yoduro potásico y azufre, y se calienta, ya sea sobre carbón vegetal o sobre yeso se produce una aureola amarilla de plomo.

3. Ensayo por Vía Húmeda (Reacción con Acido Clorhídrico)

Atacar el mineral finamente pulverizada con gotas de HNO_3 diluído. Después de filtrar agregar a una parte gotas de HCl o disolución de sal común, formará precipitado blanco (PbCl) que no ennegrece cuando se expone a la luz del sol. A veces desarrolla plumas blancas típicas de $PbCl_2$ en forma de X así como prismas de 6 lados de brillo metálico. Soluble en gran cantidad de agua caliente (diferencia con AgCl, HgCl); insoluble en amoníaco (diferencia con AgCl).

Reconocimiento del Pb en Sulfuros

Para reconocer el plomo de sus sulfuros debe usarse siempre un ácido muy diluído (1: 12). En este caso todo el plomo se obtiene como nitrato y el S flota en la superficie. Si se emplea ácido fuerte, por ejemplo: H_2SO_4, se obtiene polvo blanco insoluble ($PbSO_4$). Si el ácido es de fuerza mediana, parte del Pb se encuentra como nitrato y el resto se separa como sulfato insoluble con algo de azufre.

PLATA

1. Ensayo por Vía Húmeda

Si a una disolución de un mineral de plata en HNO_3 se añaden una gotas de HCl, se forma un precipitado gelatinoso blanco de cloruro de plata. El ensayo es muy sensible, y si existen tan solo vestigios de plata en la solución, su presencia se denota inmediatamente por unacoloración blanco lechosa. Al principio, el precipitado es blanco, pero al ser expuesto a la luz, se va oscureciendo.

Es soluble en hidróxido amónico. Ocurre con frecuencia que cuando un mineral de plata es tratado con HNO_3 se produce inmediatamente un precipitado que puede ser ácido metantimónico, sulfato de plomo, etc., y deberá filtrarse antes de hacer el ensayo de la plata.

2. Reducción del Metal en el Carbón Vegetal

Funde a escala 2, 960.5 °C. La plata puede ser reducida frecuentemente a un glóbulo metálico calentando el mineral en polvo sobre carbón vegetal mezclado con

carbonato sódico. El glóbulo resultante es brillante tanto en caliente como en frío. Es maleable. No se forma aureola característica alguna en el carbón vegetal. Este ensayo se complica frecuentemente, por la presencia en el mineral de plomo, arsénico o antimonio. Normalmente el mineral debe ser cuidadosamente calcinado en carbón vegetal con la llama oxidante antes de realizar su reducción, con el fin de eliminar el arsénico y antimonio; de lo contrario, el resultado sería un glóbulo frágil.

Cuando el mineral de Ag se encuentra combinado solamente con S, As o Sb, se obtiene el botón metálico por simple tostado y reducción sobre el carbón. Caso de encontrarse con Pb y Sb, se formará una aureola rojo-lila característica.

B. ENSAYO Y DIAGNOSTICO DE MENAS METALICAS

A continuación se da una relación de los ensayos y forma de diagnosticar las menas metálicas más comunes de la región.

CALCOPIRITA

Ensayos: Funde a grado 2; con producción de glóbulo magnético sobre el carbón.

- Da olor de anhídrido sulfuroso cuando se calienta en carbón vegetal o tubo abierto.
- Decrepita y desprende azufre en tubo cerrado.
- Calcinado y humedecido con HCl; da la llama azul de Cloruro de Cobre.
- Se descompone rápidamente con ácido nítrico da azufre; con solución amoniacal, un precipitado de color rojo castaño de hidróxido férrico y filtrado azul (cobre).

Diagnóstico : Se reconoce por su color amarillo de latón, raya negra verduzca y por ser frágil y se distingue de la pirita por su menor dureza, color, y dar chispas con el martillo; y del oro por ser más frágil y ser soluble en HNO_3.

COVELINA

Ensayos :

- Funde a 2 1/2, dando glóbulo de Cu insoluble en HCl.
- En carbón vegetal y en tubo abierto desprende olor de anhídrido sulfuroso y gran cantidad de azufre en tubo cerrado.
- El mineral tostado y humedecido con HCl, da a la llama color azul de cloruro de cobre, cuando se humedece con agua de color púrpura fuerte.
- Al soplete arde con llama azul.

Diagnóstico : Se caracteriza por su color azul añil, y por su asociación con otros sulfuros de cobre.

MALAQUITA

Ensayos :

- Funde a grado 3 con llama verde.
- Con fundente en carbón vegetal da glóbulo de cobre.
- Soluble con efervescencia en ácido clorhídrico, da una solución verde que se vuelve azul oscuro con exceso de amoníaco.

- Desprende mucha agua en tubo cerrado.

Diagnóstico : Se reconoce por su color verde brillante, se distingue de otros minerales verdes de cobre por la efervescencia con los ácidos.

PIRITA

Ensayos :

- Funde a 2 1/3 formando un glóbulo magnético. Da mucho azufre en el tubo cerrado.
- Produce anhídrido sulfuroso al ser calentado en el tubo abierto o en carbón vegetal.
- Insoluble en ácido clorhídrico.
- El polvo fino es completamente soluble en ácido nítrico, puede separse azufre si se descompone rápidamente.

Diagnóstico : Se distingue de la calcopirita por su color pálido y porque no puede ser rayado por el acero; del oro por su fragilidad, de la marcasita (S_2Fe) por su color más intenso y porque ésta no se descompone rápidamente en HNO_3.

ARSENOPIRITA

Ensayos :

- Funde a grado 2 con formación de glóbulo magnético.
- Calentado en carbón vegetal, da aureola volátil de óxido arsenioso y un olor característico a ajos.
- En tubo abierto, olor a anhídrido sulfuroso y un anillo volátil de óxido arsenioso. En tubo cerrado, da espejo de arsénico.

Diagnóstico : Se distingue de la Marcasita (S_2Fe) por su color blanco de plata.

ENARGITA

Ensayos :

- Funde a grado 1.
- En carbón vegetal da un sublimado blanco volátil de óxido de As y el característico olor a ajos.
- En tubo abierto sublimado cristalino blanco de óxido de As y olor a anhídrido sulfuroso.
- Humedecido con HCl, después de haber sido calcinado en el carbón vegetal y calentado nuevamente, da la llama azul celeste de clo

ruro de Cu.

Diagnóstico : Se caracteriza por su color negro grisáceo.

GALENA

Ensayos :

- Funde a escala 2.
- Reducida en carbón vegetal produce glóbulos de plomo con formación de aureola amarilla a blanca de óxido de plomo.
- Cuando se calienta rápidamente en la llama oxidante la aureola es más pesada y consta de óxido de plomo y azufre.
- Da olor de anhídrido sulfuroso cuando se tuesta sobre carbón vegetal.
- Al tratarla con ácido nítrico concentrado se oxida a sulfato de plomo blanco.

Diagnóstico : La galena puede reconocerse fácilmente, por su color, por su buena exfoliación, gran peso específico, por ser blanda y por la raya gris plomo.

4.2.2. PROCEDENCIA Y CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS

Se ha logrado reunir varias muestras de minerales metálicos, procedentes de diferentes lugares de la serranía de Piura.

Contamos con cinco trozos de mineral metálico, ya separados de la roca, y varios fragmentos de roca con incrustaciones de mineral metálico, procedentes de dos denuncios mineros efectuados en la zona de Chalaco, pertenecientes a la Provincia de Morropón.

A continuación se da una descripción detallada de cada una de las muestras.

MUESTRA M1

Se trata de un trozo de mineral (foto 4.15) procedente de Tambogrande. Es un mineral de color amarillo parecido al oro o al bronce, muy frágil y duro, de brillo metálico muy intenso.

Foto 4.15. Muestra M1. Tambogrande

MUESTRA M2

Es un trozo de mineral procedente de Ayabaca, como puede verse en la foto 4.16, se trata de un mineral de color gris, macizo, granular y alto brillo metálico.

Foto 4.16. Muestra M2. Ayabaca.

MUESTRA M3

Es un trozo de mineral de color gris, procedente de Ayabaca, como se muestra en la foto 4.17 es un mineral parecido al anterior, es más duro y frágil, tiene aspecto macizo, granular y alto brillo metálico.

Foto 4.17. Muestra M3. Ayabaca.

MUESTRA M4

Esta muestra procede de una exploración realizada por la U.N.P. en Montero (Ayabaca). Como puede observarse en la siguiente fotografía (foto 4.18), el mineral presenta color amarillo de bronce, muy pálido, tiene brillo metálico intenso y es muy duro.

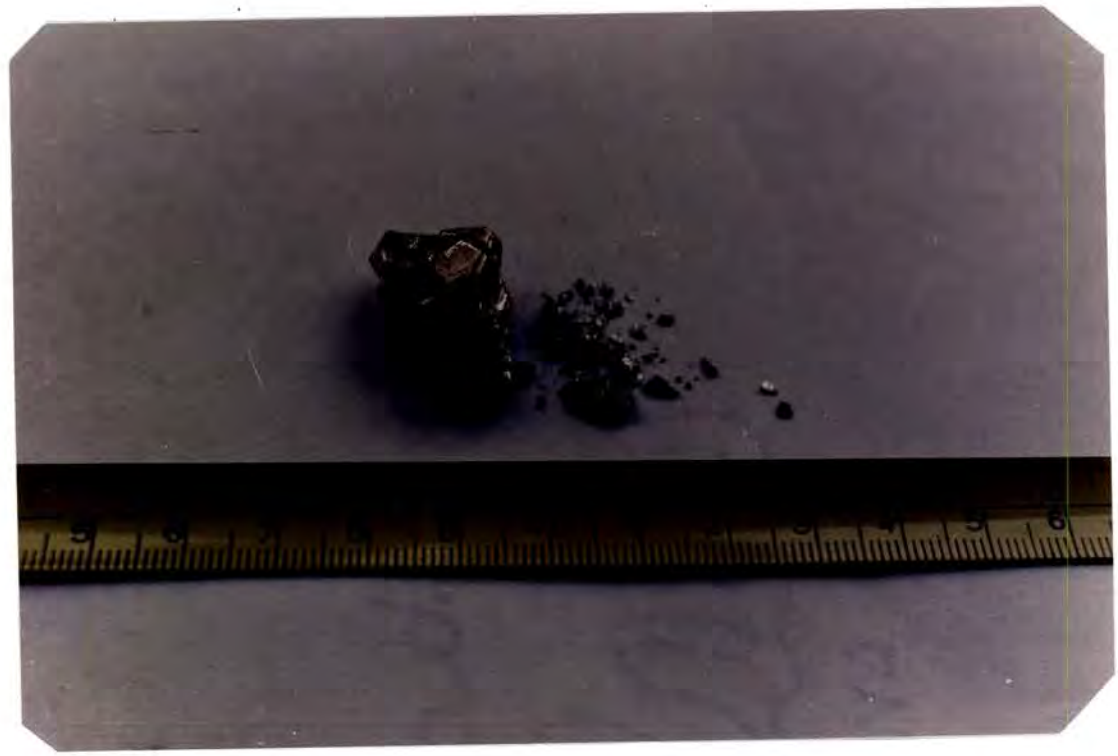


Foto 4.18. Muestra M4. Montero - Ayabaca

MUESTRA M5

Procede de la misma exploración que la muestra anterior. Presenta color amarillo intenso, parecido al bronce, alto brillo metálico. Presenta incrustaciones de color gris y rojizas pertenecientes, posiblemente a otro mineral. Esta muestra puede observarse en la siguiente fotografía. (Foto 4.19).

Foto 4.19. Muestra M5. Montero (Ayabaca).

MUESTRA M6

Es un mineral procedente de Morropón. Presenta intenso brillo metálico, color gris de plomo aspecto granular, macizo e impalpable. Es pesado y se disgrega con facilidad. La siguiente fotografía, foto 4.20, muestra este mineral.

Foto 4.20. Muestra M6. Morropón.

MUESTRA M7

Esta muestra corresponde a fragmentos de roca procedente de un denuncio minero, denominado CUMBRE MIN, efectuado en la localidad de Chalaco, Provincia de Morropón. Como puede observarse en la fotografía Nº 4.21, los fragmentos de roca presentan incrustaciones brillantes, de color amarillo intenso. En la siguiente foto 4.22, se observa el mineral ya separado de la roca.

Foto 4.21. Muestra M7. Roca de CUMBREMIN. Chalaco (Morropón).

Foto 4.22. Mineral separado de la Roca de CUMBREMIN.

MUESTRA M8

Estas rocas también corresponden a un denuncio minero efectuado en Chalaco, esta vez pertenecen a CUMBRE MIN 1. Las rocas presentan incrustaciones de mineral de color blanco o plateado, con alto brillo metálico, como puede verse en las fotos 4.23, y 4.24.

Foto 4.23. Muestra M8. Roca de CUMBREMIN 1. Chalaco (Morropón).

Foto 4.24. Mineral separado de la roca de CUMBREMIN 1.

4.2.3. RESULTADOS DEL ANALISIS MINERALOGICO

Las muestras una vez separadas de la roca (las que lo necesitaban) fueron inspeccionadas en forma visual para determinar su color, brillo, dureza; una vez realizada la inspección visual se pulverizó cada una de ellas para someterlas a los diferentes métodos de Examen Mineralógico, los resultados con cada muestra, son los siguientes:

MUESTRA M1

Por el color de la muestra (amarillo parecido al oro) podría tratarse de un sulfuro de cobre (calcopirita) o de hierro (pirita), se descarta que sea oro porque se trata de un mineral muy duro y frágil, al ser rayado con la punta de un cuchillo, se observa una raya negra verduzca.

Un gramo del mineral pulverizado, se atacó con ácido nítrico concentrado, tomando la solución un color verde azulado, que demuestra la presencia de Cobre en el mineral, tratándose por lo tanto del mineral calcopirita ($CuSFe_2$).

MUESTRA M2

Por la poca cantidad de muestra que poseíamos (un trozo muy pequeño), no se pudo determinar dureza y el color de la raya de este mineral.

Luego de pulverizar el mineral, se ensayó la presencia de plomo (debido al color gris de la muestra) en sulfuros, para esto se atacó el mineral con una solución de HNO_3, obteniéndose un precipitado blanco ($PbSO_4$) que demuestra la presencia de plomo y azufre. Se ensayó también la presencia de plata añadiendo, a una disolución del mineral en HNO_3, unas gotas de ácido clorhídrico, no se produjo ninguna reacción lo que demuestra la ausencia de plata en el mineral. Por estos resultados se puede decir que la muestra corresponde al sulfuro de Plomo PbS GALENA.

MUESTRA M3

Dado que este mineral presentaba parecido aspecto al anterior, se ensayó también la presencia de plomo en sulfuros, dando resultados positivo. El ensayo de la presencia de plata en esta muestra también dió resultados positivos, (al agregar unas gotas de HCl a la disolución del mineral en HNO_3), se obtuvo un precipitado blanco de Cloruro de Plata.

Por los resultados obtenidos, el mineral se trataba de un sulfuro de plomo y algo de plata, que se denomina GALENA ARGENTIFERA.

MUESTRA M4

Al atacar la muestra con ácido nítrico, no se detectó la presencia de cobre (la solución no tomó el característico color azulado). El mineral tampoco fue atacado por el ácido clorhídrico. Una parte del mineral triturado se ensayó en la tableta de carbón vegetal bajo la llama del soplete detectándose la presencia de azufre (liberación de SO_2).

Por los resultados obtenidos, la muestra se trata de un sulfuro exento de cobre, dada su dureza y color se trata del mineral PIRITA (S_2Fe).

MUESTRA M5

Triturado el mineral, se estudio la presencia de azufre calcinándolo en carbón vegetal. Al contacto con la llama, la muestra despidió un olor sofocante, característico del SO_2.

Una parte de la muestra pulverizada, se atacó con una solución de ácido nítrico, obteniéndose una solución de color verde azulado que demuestra la presencia de cobre en el mineral en estudio, por tanto la muestra se trataría del mineral CALCOPIRITA.

MUESTRA M6

Por las características físicas de esta muestra (color y peso), se le analizó el contenido de plomo, azufre y plata.

Una parte del mineral en polvo se atacó con una solución de ácido nítrico, obteniéndose un precipitado blanco (Sulfato de Plomo), que demostró la presencia de plomo y azufre en la muestra (este precipitado se obtiene cuando se trata de un sulfuro).

El ensayo de la plata, agregando a la solución anterior gotas de ácido clorhídrico, no dio resultados positivos, por tanto, el mineral estudiado es sulfuro llamado GALENA.

MUESTRA M7

Una vez separado el mineral de la roca, se hicieron varios ensayos:

- Una parte del mineral triturado se ensayó sobre el carbón vegetal bajo la llama del soplete, desprendiendo el olor sofocante característico del SO_2, por tanto la muestra se trata de un sulfuro.

- Humedeciendo la muestra con ácido clorhídrico, dio a la llama del soplete una coloración azul determinándose así, la presencia de cobre en la muestra (la coloración azul es característica del cloruro de cobre).

- Una parte del mineral pulverizado se atacó con solución de ácido nítrico obteniéndose una solución azulada característica de la presencia de cobre.

  El cobre de esta solución se recogió electrolíticamente en un electrodo de Platino, con lo que se pudo calcular el porcentaje de cobre presente en la muestra que fue del 60%.

- Una vez comprobado que la muestra era el sulfuro de cobre Cu_2SFe (calcopirita), se trató de reducir el cobre a metal; para esto la muestra previamente tostada (para oxidarla) se mezcló con igual canti-

dad de "mezcla reductora" (carbón vegetal pulverizado + carbonato de calcio), y se ensayó en la tablita de carbón vegetal bajo la llama reductora del soplete. Se obtuvieron pequeños trozos de cobre metálico que una vez fríos se cubrieron de una capa de óxido.

MUESTRA M8

En esta roca el mineral se encuentra en pequeña cantidad, luego de separar algunos pequeños trozos, se procedió a ensayar la presencia de azufre :

- Parte del mineral triturado se sometió a la llama del soplete sobre la tableta de carbón vegetal: se logró la liberación del gas SO_2, prueba de que el mineral es un sulfuro.

- Al atacar la muestra con HCl, no logró disolverse todo el mineral, en su mayor parte quedó intacto, disolviéndose solo una pequeñísima parte que dio a la solución un color azulado casi imperceptible.

Los resultados obtenidos indican por tanto, que se trata de un mineral sulfurado. PIRITA (sulfuro de hierro) con sulfuro de cobre (SCu_2Fe) en muy pequeña cantidad (como impureza).

- Se debe agregar que una muestra de esta roca se llevó a la "Universidad La Sapienza" de Roma (Italia) donde el mineral fue analizado en el microscopio electrónico de barrido; los resultados obtenidos (que se muestran enseguida) confirman que se trata de una muestra de Pirita, con trazos de calcopirita (presenta cobre).

COMPOSICION QUIMICA DEL MINERAL DE CUMBRENMIN 1

Fe	:	57.52 %
S	:	35.76 %
Si	:	3.13 %
Al	:	2.32 %
Cu	:	0.22 %

NOTAS AL CAPITULO IV

(28) RIVERA Plaza Gil, "Métodos de Examen Mineralógico". Lima, 1953; págs. 12-13.

(29) Idem. págs. 16-17.

(30) Idem págs. 34 a 66

DANA-HURLBUT. "Manual de Mineralogía. Editorial Reverté. Barcelona 1960.

UNIVERSIDAD DE PIURA
BIBLIOTECA

CONCLUSIONES

1. Con Vicús, comienza la Epoca de Auge del proceso cultural pre_ incaico. Esto indica que los adelantos alcanzados por esta cultura, en lo que a metalurgia se refiere, fueron creación propia y sirvieron de base para las culturas posteriores.

2. Los resultados del análisis químico muestran que los objetos analizados son, en su mayoría, aleaciones de cobre arsenical de bajo contenido de arsénico (menos de 2%); sin embargo, no podría decirse si estas aleaciones fueron hechas intencionalmente o en forma casual, aunque es más probable esto último debido al poco contenido de arsénico encontrado en las muestras.

El análisis químico revela también que los metalurgos de Vicús habrían obtenido el material para sus objetos, partiendo de minerales sulfurados y de metal nativo:

El primer caso lo demuestran los bajos contenidos de azufre y hierro (trazas) presentes en el material de algunas muestras (V05 y V09), que pueden ser restos de la mena beneficia-

da para obtenerlas; concretamente, restos de azufre y hierro en aleaciones que contienen cobre y arsénico podrían indicar el beneficio de sulfuros como pirita (S_2Fe), calcopirita (S_2CuFe) arsenopirita (FeAsS).

Habrían conocido, por tanto, la técnica de tostación de minerales sulfurados para poder hacer la fundición de las mismas.

El uso de metales nativos se puede deducir de la composición química de la muestra V01, que contiene sólo cobre y oxígeno; la presencia de oxígeno en forma de oxídulos de cobre puede deberse a que el material se fundió en una atmósfera altamente oxidante; o también puede deberse a los compuestos oxigenados (óxido de cobre) que, generalmente, acompañan al cobre nativo.

3. El análisis metalográfico revela que el método de conformación comúnmente empleado en Vicús, fue la deformación en frío, conociendo, además, métodos de ablandamiento como los recocidos de recristalización y homogenización.

Otro método de conformación empleado fue la soldadura, como lo demuestra la pieza V05 (lanza).

Varios de los objetos reunidos presentan decoraciones superficiales hechas mediante técnicas de repujado, tallado y

calado.

4. En las investigaciones realizadas sobre los minerales metálicos de la Región se ha detectadò la presencia de importantes menas de cobre, arsénico, plomo, hierro, plata; como son: pirita, calcopirita, galena, galena argentífera, arsenopirita, enargita que, probablemente, se emplearon para producir las aleaciones.

La presencia de estos minerales en las zonas cercanas al lugar de desarrollo de la cultura Vicús, deja abierta la posibilidad de que sus habitantes hayan empleado recursos propios de la zona.

5. Los descubrimientos realizados por los profesores Kauliche y Makowsky en la zona de Yécala, confirman la posibilidad de la existencia de un centro metalúrgico propio de Vicús.

6. Aunque no se ha logrado visitar una mina prehispánica, se ha tenido información de la existencia de bocaminas en la zona de Morropón.

RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS

Como se ha mencionado anteriormente la existencia de mineralización en la serranía de Piura deja abierta la posibilidad de encontrar bocaminas en esta zona; por esto, sugerimos continuar el estudio sobre las bases que se han sentado en este trabajo y con los descubrimientos que día a día se hacen sobre Vicús; investigando por ejemplo:

- Otro tipo de aleaciones, como las de base plata,
- reproducir aleaciones Cu- As, partiendo de las menas de minerales metálicos existentes en las serranías de Piura y compararlos con las aleaciones estudiadas,
- conformar diversos objetos a partir de las aleaciones producidas en el laboratorio.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN SOCIETY FOR METALS (A.S.M.) "Metals Handbook". Vol. 8. "Metallography, Structures and Phase Diagrams" 8th edition 1973. Ohio. E.E.U.U.

AMERICAN SOCIETY FOR METALS (A.S.M.) "Desk edition" 1985. Ohio. E.E.U.U.

Banco Central de Reserva, Museo "Vicús, Colección Arqueológica" 1987. Lima-Perú.

BUSSE, Hernán. "Introducción al Perú", 1965. Lima-Perú.

CALVO RODES. "Prontuario Metalotécnico" INTA. 1963

DANA-HURLBUT, Cornelius. "Manual de Mineralogía". Editorial Reverté. Barcelona 1960. España.

DANA-HURLBUT, Cornelus. 1974-1975.

GREAVES R. "Metalografía Microscópica Práctica". Ediciones URMO-BILBAO-ESPAÑA.

Investigación y Ciencia. Revista; 1986.

LARCO HOYLE, Rafael. "Perú 3era Edición. 1984. "La Cerámica de Vicús". 1965. Lima-Perú.

MUSEO DE LIMA, Revista. Tomo XLI. 1965. Lima-Perú.

OEHM, Víctor. "Investigaciones sobre Minería y Metalurgia en el Perú Pre-hispánico". Estudios Americanistas de Bonn. 1984.

RIVERA PLAZA, Gil. "Método de Examen Mineralógico". Lima 1953.

SAMAME BOGGIO, Mario. "El Perú Minero". Tomo V. Metales y Minerales. Editora Perú; 1981. Lima-Perú.

SAMAME BOGGIO, Mario. Tomo IV: Yacimientos. Editora Perú. 1981. Lima-Perú.

SUAREZ CARDOZA, Luis Enrique. "Estudio Metalográfico de los Cobres Arsenicales de la Cultura Lambayeque". Universidad de Piura. 1987.