



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

FABRICACIÓN Y OBTENCIÓN DE BRONCES MESOAMERICANOS

TESIS DE LICENCIATURA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO METALÚRGICO

PRESENTAN

JUAN DEL PILAR LAGUNAS

ISAAC FUENTES CASTILLO



MÉXICO, D.F.

AÑO 2009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Profesora: MARÍA EUGENIA NOGUEZ AMAYA
VOCAL: Profesor: GUILLERMO FAUSTO SALAS BANUET
SECRETARIO: Profesor: CIRO ELISEO MÁRQUEZ HERRERA
1er. SUPLENTE: Profesor: JOSÉ GUADALUPE RAMÍREZ VIEYRA
2° SUPLENTE: Profesora: BALBINA RAMÍREZ OJEDA

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: EDIFICIO D FACULTAD DE QUÍMICA UNAM

ASESOR DEL TEMA: 
GUILLERMO FAUSTO SALAS BANUET

SUPERVISOR TÉCNICO: 
JOSÉ GUADALUPE RAMÍREZ VIEYRA

SUSTENTANTE: 
JUAN DEL PILAR LAGUNAS

SUSTENTANTE: 
ISAAC FUENTES CASTILLO

Agradecimientos

Agradecemos a nuestro asesor Guillermo Salas por su paciencia y entrega para que este trabajo saliera delante.

Agradecemos al profesor Ignacio Beltrán Piña por su disposición y consejos.

Agradecemos al Instituto de Investigaciones en Materiales, en especial al M en Ing. Gabriel Lara Rodriguez por la disposición que mostro para realizar la fusión ya que sin su valiosa ayuda no hubiera llevado a cabo este trabajo.

Agradecemos al STC en especial al Ing. Rodolfo Díaz Delgado por su entusiasmo y apoyo para la realización de esta tesis.

Agradecemos a Don José Gabriel Nieto Reséndiz por su ayuda y disponibilidad de tiempo

Agradecemos a Don Fermín Edgardo Ramos González por su atención y disponibilidad de tiempo

Agradecemos a nuestro amigo Braulio FV (*Braulius Maximus Perfectus del Corpus Critis*) por su valiosa colaboración en la realización de este trabajo.

Agradecemos a Iván Robles (Te-chan) por su disposición para viajar a Morelia de Improviso y enriquecer este trabajo

Agradecemos a todos los que nos dieron su muestra de amistad, son tantos que no cabrían en esta lista pero si hay espacio suficiente en nuestros corazones. Recuerda que cada vez que tomes, encuentres y leas esta tesis o la descargue, recuerda que te estamos agradeciendo a ti querido lector y amigo.

Dedicatorias Juan

Este trabajo se lo dedico a mi mamá **Amalia Lagunas** por haberme apoyado en todos mis estudios ya que sin su valiosa ayuda y consejos no hubiera concluido mis estudios.

Agradezco a todas mis hermanas y hermanos por todas las tardes alegres de risa y chisme.

También dedico este trabajo a todos mis amigos que me apoyaron en tiempos oscuros y difíciles especialmente a Oscar Rodríguez (azúcar) Bianca X (doña X) Lluvia (doña Amaranta), Braulio (Don Braulio), José Alberto Palacios (Pilis), Iván Robles (te-chan), Orlando (el abuelo) Adán (Mucha Lucha), Eudoxio (Don Euxodio), Isaac (Don risa), Rafael Ianda (Súper Rafa) a todos los demás que no están incluidos en la lista.

“Dark and difficult times lie ahead, soon we must all face the choice between what is right and
what is easy”

“Tendremos por delante tiempos oscuros y difíciles, pronto tendremos que elegir entre lo que es
correcto y lo que es fácil”

Albus Percival Wulfric Brian Dumbledore

Dedicatorias Isaac

Este escrito está dedicado a mi Familia; empezando por mis padres por el apoyo que me brindaron durante este período de mi vida pero sobre todo por dejarme ser libre en mis decisiones. También se lo dedico a mi hermana Jhazive por apoyarme en todas y cada una de las elucubraciones que mi mente concibe. Además a mi primo Alejandro por enseñarme con que pasión se debe apoyar a los pumas. Por último a mi tía Esther que me ha enseñado que la felicidad esta siempre en nosotros.

A mis compañeros del primer semestre con los que empecé esta aventura y éramos los condenados al fracaso por ser el grupo SADAPI 16: Alejandro, Jonathan, Ulises, Ángel, Lalo, Leonel, Tomas, Giovanni. A mis compañeros de la carrera que me hicieron sentir parte de la metalurgia y alguno otro que se me olvide.

"La enfermedad del ignorante, es ignorar su propia ignorancia."

Amos Bronson Alcott

"La mayoría de las ideas fundamentales de la ciencia son esencialmente sencillas y, por regla general pueden ser expresadas en un lenguaje comprensible para todos."

Albert Einstein

De mi madre aprendí que nunca es tarde, que siempre se puede empezar de nuevo; ahora mismo le puedes decir basta a los hábitos que te destruyen, a las cosas que te encadenan, a la tarjeta de crédito, a los noticieros que te envenenan desde la mañana, a los que quieren dirigir tu vida por el camino perdido. Ahora mismo le puedes decir basta al miedo que heredaste, porque la vida es aquí y ahora mismo.

Facundo Cabral

Índice.

I.	Resumen	1
II.	Introducción.....	2
III.	Métodos experimentales.....	6
IV.	Resultados y discusión.....	9
V.	Conclusiones.....	23
VI.	Apéndice A. Cálculos y descripción de las técnicas usadas.....	24
VII.	Apéndice B. Especificaciones de los equipos utilizados.....	27
VIII.	Apéndice C. Técnica para cuantificar el color y el brillo.....	28
IX.	Apéndice D. Instrumentos musicales.....	31
X.	Apéndice E. Diagramas de fases.....	32
XI.	Bibliografía	33
XII.	Bibliografía Adicional.....	34

I. Resumen

Los tarascos formaron parte de Mesoamérica y se destacaron por ser el único grupo en fabricar tres tipos de bronce: cobre-estaño, cobre-arsénico y cobre-plata, el más utilizado fue el bronce al estaño. Fabricaban composiciones en un rango entre 1 hasta 22% de estaño. Este trabajo está enfocado a resolver porqué fabricaron tres composiciones químicas principales, con contenidos de 5, 13 y 22% Sn. Se fabricaron y se les midieron sus propiedades de reflexión de la luz, proporción de los colores básicos, la intensidad y la frecuencia del sonido además de la resistencia a la penetración y sus parámetros microestructurales: espaciamiento dendrítico secundario, tamaño de grano y cantidad de fases. Usando el criterio ingenieril y con el apoyo del conocimiento antropológico se llegó a los comportamientos más importantes buscados por los tarascos: el color, el sonido y el brillo. Estos comportamientos estaban relacionados al pensamiento religioso de esta cultura, con lo que se explica el porqué de las composiciones químicas.

II. Introducción

Mesoamérica es un concepto cultural. Su temporalidad como civilización se considera desde el año 2500 a. C., aproximadamente, hasta 1521 d.C. a la llegada de los españoles. Geográficamente, abarcó desde el norte de México hasta Costa Rica (Salas, 2006). La integraban diversos grupos humanos que, aunque separados, estaban unidos por una gran cantidad de semejanzas culturales y una sola cosmovisión. Mucha información respecto a las comunidades que la integraban se perdió con la invasión española; sin embargo, gracias a esas semejanzas es posible extender y complementar el conocimiento de una comunidad respecto a otra.

Dentro de esta civilización se destacó el grupo de los tarascos, por ser el único que fabricó bronce. Este grupo prosperó en la zona occidental de Mesoamérica, desde el siglo III (Schöndube, 1994) de nuestra era hasta la invasión española en 1521, abarcando lo que ahora se conoce como el estado de Michoacán y partes de los estados de Colima, Guerrero, Guanajuato, Querétaro y Jalisco. (Grinberg, 1989).

El desarrollo de la metalurgia tarasca se divide en dos etapas. La primera inicia aproximadamente entre los años 600 y 700 d. C. y termina en el 1,200 d. C; en este periodo los tarascos trabajaron el oro, la plata y, principalmente, el cobre. La segunda etapa, que abarca del año 1,200 d. C. hasta la conquista española, se caracteriza por la fabricación de los bronce al estaño, al arsénico y a la plata. La metalurgia del Occidente de México tomó y adaptó dos diferentes técnicas de fabricación la cera perdida y la forja -tanto en frío como en caliente- exportadas desde Centro y Sudamérica. El bronce al estaño era la aleación más fabricada. Los tarascos utilizaban tres composiciones principales: alrededor de 5, 13 y 22% Sn; sin embargo el rango total de aleaciones fabricadas reportado está, aproximadamente, entre 1 y 22% Sn (Hosler, 1994).

Algunos investigadores del campo de la arqueometalurgia, como Hosler (1994), han propuesto una clasificación de los objetos fabricados en Mesoamérica

como utilitarios o suntuarios. Sin embargo, la tesis de Salas et al (2006), considera como equivocada esta división. Ellos definen a los objetos metálicos como sagrados o hierofánicos, manifestaciones de lo sagrado, ya que esta sociedad se regía por un pensamiento totalmente religioso que abarcaba todas las actividades humanas, entre ellas la extracción, fabricación y uso de los metales que, a su vez, estaban determinados por mitos y ritos específicos.

La sociedad Mesoamericana estaba dividida en dos grupos, el de los dirigentes y el resto. Los primeros, los sacerdotes, se consideraban hijos de dioses, mientras que los otros habían sido creados usando la sangre de dioses (Salas, 2006). Los mitos y ritos permeaban absolutamente la vida del hombre mesoamericano; todo acto, cotidiano o no, era un rito especial ofrecido a los dioses, ya que era importante estar bien con ellos. Se entendía que los dioses no daban algo a cambio de nada y que para que la vida continuara de manera adecuada, se hacían necesarios sacrificios y ofrendas.

En otras culturas se concebía a los metales como manifestaciones de algo sagrado (New Enciclopedia Británica, 1974). En Mesoamérica los metales con colores similares al sol y la luna se consideraban como desechos de estas fuerzas superiores que con el tiempo llamaron dioses. El sol y la luna son los astros más grandes del firmamento y su influencia en la vida terrestre es determinante; por eso consideraban al oro y a la plata como elementos divinos. Las palabras náhuatl “*caztic teocuitlal*” significan literalmente “excremento amarillo de Dios” y las palabras “*iztac teocuitlal*” “excremento blanco de Dios” traducción basada en Rodríguez (2009).

Si un metal brillaba y expelía rayos como el sol, entonces ese metal era una representación física de la deidad solar, el mismo caso se aplica para la luna. No resulta difícil imaginar que los mesoamericanos podían pensar en utilizarlos como medio para acercarse a ellos o que quienes los manipulaban y portaban eran sus representantes en la tierra.

Las aleaciones del bronce tarasco presentan colores fácilmente relacionados a esos astros, por lo que es entendible que le extendieran el significado otorgado al oro y la plata.

Por otro lado, Hosler (1994) propone, específicamente para los bronce tarascos, que el sonido y el color de estos objetos metálicos simbolizaban el poder de dominio de la clase sacerdotal sobre la gente. Este argumento parece válido aunque incompleto. Primero, porque no considera al brillo como un atributo de valor para esa sociedad; el brillo es una característica intrínsecamente metálica y es seguro que importaba mucho. Segundo, porque tampoco se relacionaron los distintos comportamientos -colores, sonidos y brillos- que tienen los bronce, al pensamiento mesoamericano y, por lo tanto, a la fabricación de los objetos específicos y a su uso. Para lograr esta relación es necesario aplicar la empatía sobre esta sociedad y utilizar tanto el conocimiento científico de los materiales como el antropológico.

La pregunta a resolver es ¿Porqué los tarascos fabricaban principalmente tres tipos de bronce?

Las hipótesis que se plantean son: primero, que los tarascos buscaban comportamientos específicos de color, sonido y brillo para cada una de las aleaciones Cu-Sn, con la idea de fabricar objetos específicos; segundo, que esto se hacía en función de su pensamiento religioso; y tercero, que esos comportamientos deben de estar relacionados a la estructura de los bronce, específicamente a sus parámetros microestructurales.

Es bien sabido -en el campo de los materiales- que la composición química está íntimamente ligada a la estructura -en este caso a la microestructura- de la aleación. También se sabe que en el proceso de fabricación se puede modificar la microestructura y que esta determina ciertas propiedades de los materiales -principalmente las mecánicas-; y que las propiedades definen los comportamientos del material, ya sea durante su uso o fabricación.

Para responder la pregunta planteada, se decidió fabricar por fundición las tres aleaciones mencionadas, y así medirles los parámetros microestructurales: el espaciamiento dendrítico secundario (EDS), el tamaño de grano (TG) y la cantidad de eutectoide, como también sus propiedades: la reflexión de la luz, la proporción de los colores básicos y la intensidad y la frecuencia del sonido, además de la resistencia a la penetración.

Con esto se tiene la posibilidad de relacionar cada parámetro microestructural con las propiedades para encontrar a los que las determinan y entender cuál define a cada comportamiento; si la discusión se complementa con el conocimiento de la cosmovisión Mesoamericana, se entenderá el porqué de la composición química.

III. Métodos Experimentales.

Balance de carga.

Se decidió fabricar las tres aleaciones de estudio fundiendo barras cilíndricas de 11.9 cm de altura y 2 cm de diámetro; estas dimensiones facilitaron las mediciones de sus propiedades y su estructura. Basándose en las dimensiones se hizo un balance de carga con el que se obtuvo la masa necesaria de los elementos (Cobre y Estaño) para fabricar cada aleación¹. Los metales utilizados tenían pureza electrolítica.

Fusión y colada.

La fusión se llevó a cabo en un horno de inducción eléctrico² con atmósfera de argón, a una temperatura de 1200°C, perteneciente al Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM.

Las aleaciones fundidas se colaron en moldes de arena fabricados con la técnica Silicato de sodio CO₂¹.

Preparación de las muestras.

A cada barra se le cortó una sección transversal de 2cm. a la que se le realizó un maquinado con el objeto de obtener material particulado necesario para el análisis químico –realizado con un espectrómetro de emisión atómica² en el departamento de Ingeniería Metalúrgica, de la Facultad de Química de la UNAM-; las mismas muestras se utilizaron para el análisis metalográfico, las pruebas del color, del brillo y la resistencia a la penetración; las muestras grandes se utilizaron para la prueba de sonido.

¹ Ver Apéndice A. Descripción y cálculos de las técnicas usadas.

² Ver Apéndice B. Especificación de los equipos utilizados.

Análisis Metalográfico.

El análisis metalográfico¹ consistió en medir el TG y el EDS usando un microscopio óptico² y un objetivo graduado con una reglilla integrada.

Los microconstituyentes, en este caso el eutectoide (formado por las fases α y ϵ) y la solución sólida α , se cuantificaron utilizando la técnica de diferencia de peso¹

Evaluación de color, sonido y brillo.

La evaluación del sonido, el color y el brillo no es común en el dominio de un ingeniero metalúrgico. Por ello se buscaron en las Facultades e Institutos de la UNAM los métodos y equipos con los que se pudieran medir las propiedades que los determinan. Esta búsqueda resultó infructuosa, por lo que fue necesario recurrir a la inventiva. Los procedimientos usados no están normalizados, pero aseguramos que tienen un fundamento lógico y que son válidos a nivel cuantitativo y comparativo.

Medición del sonido.

El sonido se evaluó suspendiendo las barras con un hilo de nylon y golpeándolas con un martillo; para registrar la vibración producida se usó un software editor de audio².

Medición del color.

Para determinar el color, las muestras fueron pulidas con una lija 240 y se fotografiaron con una cámara digital. En cada fotografía se eligieron zonas representativas que se adquirieron con la ayuda de un software editor de

¹ Ver Apéndice A. Descripción y cálculos de las técnicas usadas.

² Ver Apéndice B. Especificación de los equipos utilizados.

imagenes²; éste las convirtió en valores de RGB³ (por sus siglas en inglés red, green y blue), que son los que identifican a cada color con una triada numérica.

Medición del brillo.

Se evaluó el brillo contabilizando la reflexión de la luz de las muestras. Estas se pulieron a espejo, se colocaron en un microscopio óptico donde se les hizo incidir un haz de luz que, al ser reflejado, se envió a una cámara fotoGráfica acoplada que cuantificó la cantidad de luz mediante un software². Para comparar y constatar los resultados se usó el software editor de imágenes² para convertir la escala RGB³ a la escala HSL³ (por sus siglas en inglés hue, saturation y *lightness*) que permite hacer también, a través de los valores de luminosidad, una evaluación del brillo.

Medición de la resistencia mecánica

La resistencia a la penetración se midió con un durómetro digital² en la escala Rockwell.

² Ver Apéndice B. Especificación de los equipos utilizados.

³ Ver Apéndice C Técnicas para cuantificar el color y brillo.

IV. Resultados y discusión

Análisis químico

Los resultados del análisis químico realizado a las aleaciones fabricadas, muestran que están prácticamente en la composición deseada (Tabla 1). Se sabe que los metales tienen impurezas, aunque sean de grado electrolítico; para estas aleaciones es de alrededor del 0.2% en peso. Se tiene el conocimiento de que las aleaciones fabricadas por los tarascos contaban con impurezas de alrededor del 0.6% en peso (Hosler, 1994). Se considera que este nivel de impurezas no afectan apreciablemente los resultados de las pruebas.

Tabla 1. Resultado del análisis químico de las aleaciones fabricadas obtenido mediante emisión atómica.

Composición buscada	Composición obtenida	
	%Cu	%Sn
Cu-5% Sn	95.25	4.75
Cu-13% Sn	86.07	13.93
Cu-22% Sn	77.51	22.49

Análisis microestructural.

Las líneas verticales marcadas en el diagrama de fases Cu-Sn (Figura 1) representan las transformaciones sufridas, desde el estado líquido hasta la temperatura ambiente, por las aleaciones utilizadas en este trabajo, si su enfriamiento hubiera sido al equilibrio.

De acuerdo con el diagrama de fases, la aleación con 5% Sn enfriada al equilibrio debería de estar constituida por la solución sólida α –solidificada entre 1070 y 1000°C, aproximadamente- y la fase ϵ –precipitada por la disminución de solubilidad indicada por la línea de solvus a 260°C. En el enfriamiento fuera del equilibrio, el líquido remanente debió sufrir una transformación peritética, a una

temperatura de 798°C, para posteriormente sufrir tres transformaciones eutéctoides que dieron como resultado final la solución sólida α y el eutécticoide.

Al enfriar al equilibrio, el bronce con 13% Sn comenzaría su solidificación en 960°C aproximadamente y terminaría en 798°C, formando la solución sólida α ; al llegar a una temperatura de 365°C precipitaría la fase δ indicado por la línea solvus, en los límites de grano; para que posteriormente ocurriera la transformación eutécticoide a 350°C. En la solidificación fuera del equilibrio de esta aleación, el líquido remanente debió enriquecerse también al llegar a la temperatura de la transformación peritética a 798°C, posteriormente dio como resultado la solución sólida α y el eutécticoide precedida de tres transformaciones eutéctoides.

La línea de enfriamiento al equilibrio para la aleación con 22% Sn, muestra que la solidificación comenzaría a una temperatura de 920°C aproximadamente y finalizaría en 798°C con una transformación peritética, donde el líquido remanente debió transformarse en β y la solución sólida α se transformaría en β , de la periferia de los granos hacia el centro; al continuar el enfriamiento sufriría una transformación eutécticoide, a una temperatura de 586°C donde se obtendrían las fases α y γ ; al llegar a la temperatura de 520°C ocurriría una segunda transformación eutécticoide y estarían presentes las fases α y δ . Se finalizaría con una transformación eutécticoide aproximadamente a 350°C que da por resultado las fases α y ϵ . En el enfriamiento real, fuera del equilibrio, el líquido remanente se debió segregar hasta la segunda transformación peritética, para continuar con las transformaciones eutéctoides y así obtener como resultado final solución sólida α y el eutécticoide.

Las Tablas 2 y 3 presentan los resultados de la medición de los parámetros microestructurales.

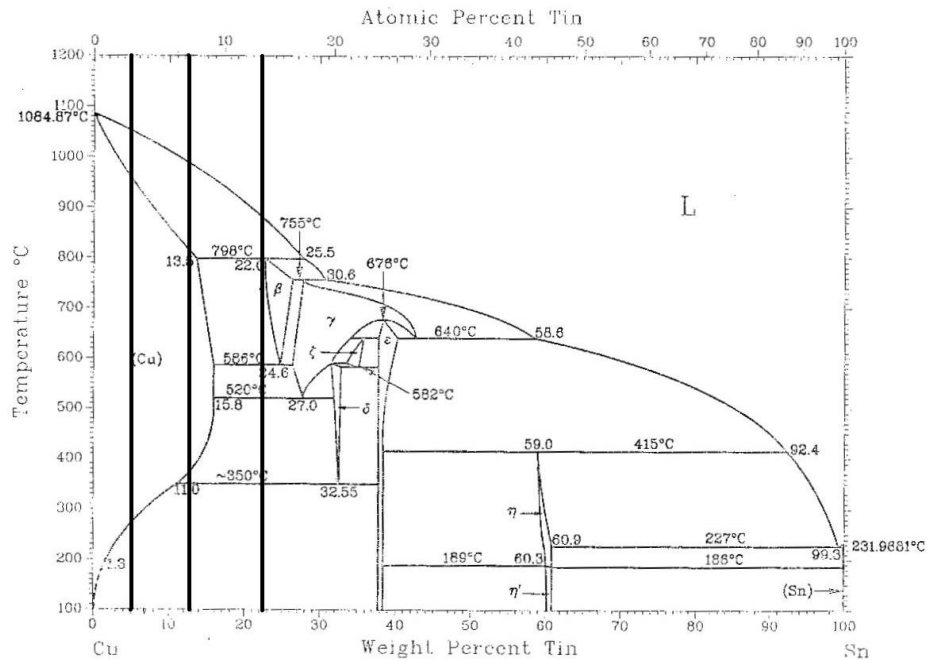


Figura 1 Diagrama al equilibrio de fases Cu-Sn (Massalsky, 1990). Las líneas verticales señalan las composiciones de las aleaciones utilizadas por los tarascos y fabricadas en este trabajo, enfriadas al equilibrio.

Tabla 2 Resultados de la cuantificación *teórica al equilibrio y la experimental de los microconstituyentes presentes en cada aleación.

Aleación	Resultado	% α	% eutectoide	% ϵ
Cu-5% Sn	Teórico *	88.81	-	13.19
	Experimental	99.43	0.57	-
Cu-13% Sn	Teórico*	90.70	9.30	-
	Experimental	88.35	11.65	-
Cu-22% Sn	Teórico*	48.96	51.04	-
	Experimental	6.58	93.42	-

Tabla 3 Resultados de la medición del espaciamiento dendrítico secundario (EDS) y del tamaño de grano (TG).

Muestra	EDS (mm)	TG (mm)
Cu-5% Sn	0.07	0.21
Cu-13% Sn	0.10	3.05
Cu-22% Sn	0.04	0.49

Sonido

Las unidades que se utilizan para medir el sonido son los hercios (Hz) que representan la vibración de los materiales en ciclos por segundo; el espectro audible abarca de 0 Hz a 20 kHz. Dependiendo de la vibración, el sonido será grave para valores pequeños y agudo para valores grandes. Para cuantificar la intensidad del sonido se utilizan los decibeles (dB) que indican que tan alto o que tan bajo se escucha un sonido dependiendo si su valor es grande o pequeño (Tabla 4).

La evaluación del sonido se basó en el espectro sonoro de las aleaciones: 5% Sn, 13% Sn y 22% Sn (Gráfica 1 a, b y c) respectivamente. En estas Gráficas el rango más importante es el de 3000 - 6000(Hz), que es donde se forma el pico más alto; en él se encuentra el sonido fundamental* (Jess, 1969), que es el que determina si el comportamiento es armónico o disonante, dependiendo de la forma de la línea; una con un trazo zigzagueante representa un sonido disonante y otra con un trazo continuo, un sonido armónico. Un pico alto indica un sonido fuerte y uno pequeño uno quedo (apenas perceptible); la mayor anchura del pico muestra que el sonido tiene larga duración y un pico angosto, advierte que es de lapso corto.

La aleación con 5% Sn (Gráfica 1a) presenta un pico alto, ancho y con una línea zigzagueante. En cambio, la aleación con 13% Sn (Gráfica 1b) presenta un

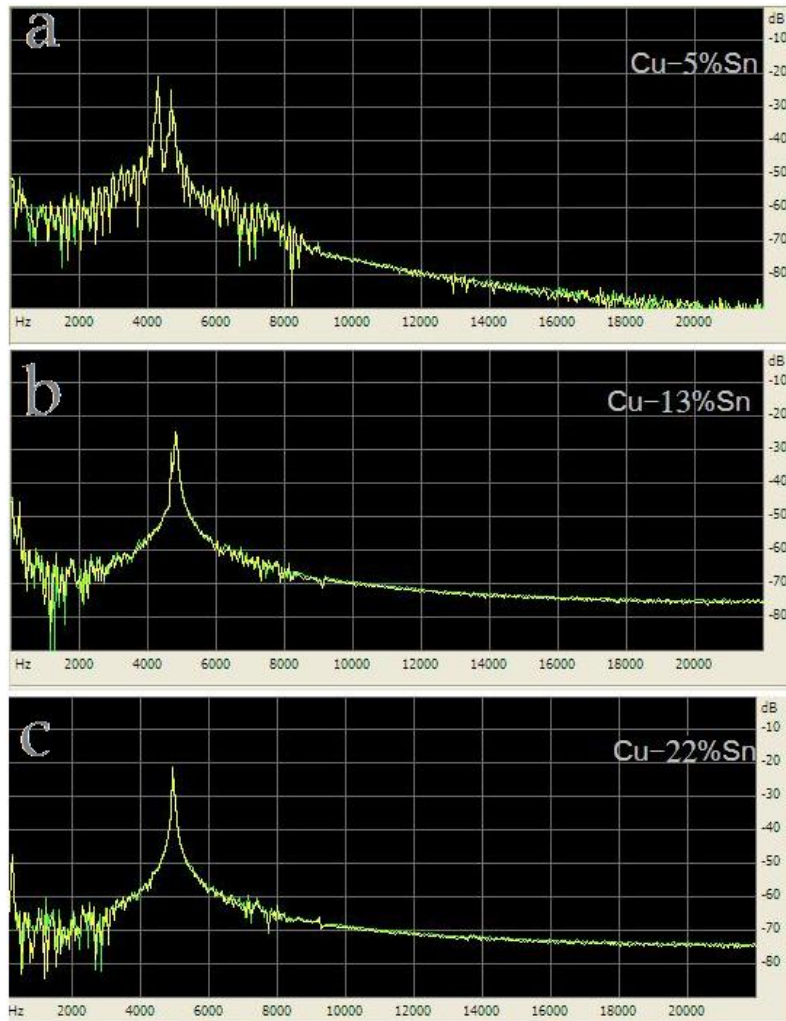
* Se refiere al sonido intrínseco del material

pico alto, estrecho y una línea menos zigzagueante. La aleación con 22% Sn (Gráfica 1c) tiene un pico alto y angosto, con línea continua.

Por lo tanto, la aleación que presenta un comportamiento más armónico, con un sonido fuerte aunque de menor duración es la de 22% Sn (Gráfica 1c y Tabla 4), la que presenta un comportamiento más cercano al armónico, queda y de menor duración es la de 13% Sn (Gráfica 1b y Tabla 4) y la de un comportamiento disonante fuerte y largo es la de 5% Sn (Gráfica 1a y Tabla 4).

Tabla 4 Resultados del sonido fundamental (Hz) e intensidad (dB).

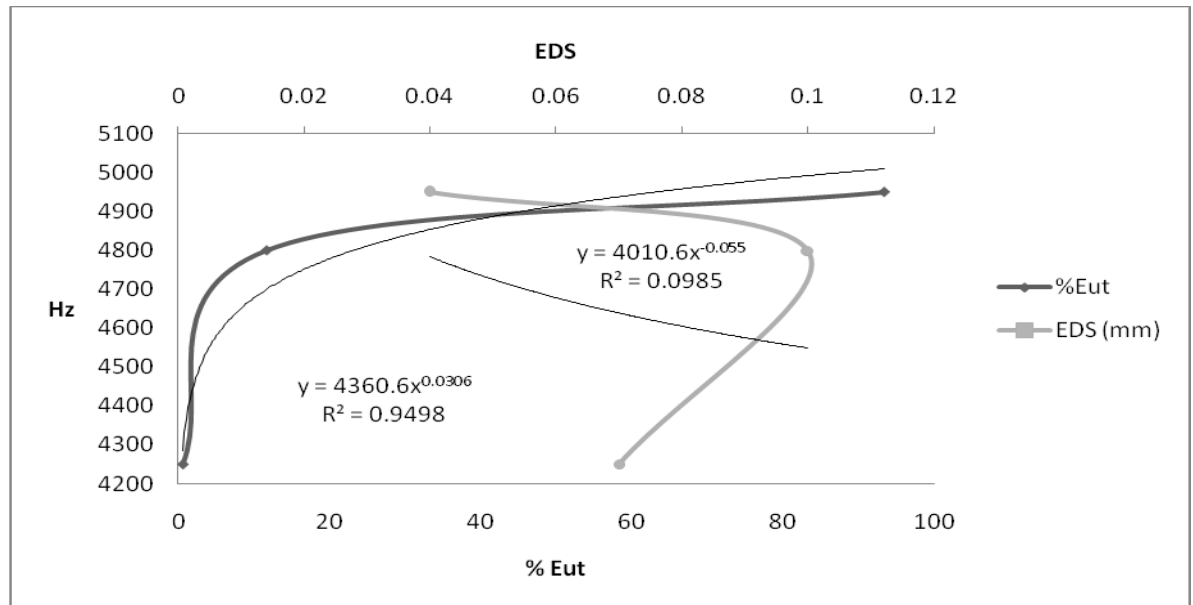
Muestra	Hz	dB
Cu-5% Sn	4250	-20
Cu-13% Sn	4800	-28
Cu-22% Sn	4950	-20



Gráfica 1 Espectros sonoros de frecuencia (Hz) vs intensidad de sonido (dB) para todas las aleaciones: (a) Cu-5% Sn, (b) Cu-13% Sn, (c) Cu-22% Sn. Se aprecia que todas las Gráficas tienen en común un pico y la diferencia en la forma del trazo zigzagueante en mayor o menor medida en un rango entre 3000 hasta 6000 Hz.

Se relacionó el EDS y el TG con el sonido fundamental para los valores de EDS y TG; la correlación fue mejor con el EDS por lo que se desprecio el valor del TG. Se obtuvo una correlación (Gráfica 2) entre los valores del EDS, la cantidad relativa de eutectoide y la frecuencia del sonido fundamental, para saber si alguno de estos dos parámetros microestructurales determina la intensidad del sonido. La mejor correlación, R^2 cercana a 1, es para la cantidad relativa de eutectoide, lo que nos permite decir que la presencia de este microconstituyente es

determinante para un sonido más agudo. Se busco una relación similar para los valores de decibeles sin encontrar correlaciones.



Gráfica 2 Muestra el resultado de relacionar las cantidades relativas de eutéctico y el tamaño del EDS con la frecuencia del sonido fundamental.

Color

El bronce con un contenido aproximado del 5% de Sn es rosado, el de 13% Sn es dorado y es plata amarillenta el que contine 22% Sn. A simple vista se aprecia la diferencia de coloración de las aleaciones fabricadas (Figura 2).



Figura 2 Fotografía (1.5X) de las muestras de los bronce colados (a) Cu-5% Sn, (b) Cu-13% Sn y (c) Cu-22% Sn.

A nivel microestructural (Figura 3) también se puede apreciar el cambio en la coloración; a pesar de que la solución sólida (α) tiene la misma composición química y por lo tanto el mismo color, en cada aleación parece diferente, desde rojizo hasta un amarillo pálido; esto se debe a la disminución de la cantidad relativa de alfa respecto al eutectoide y su contraste con su coloración gris.

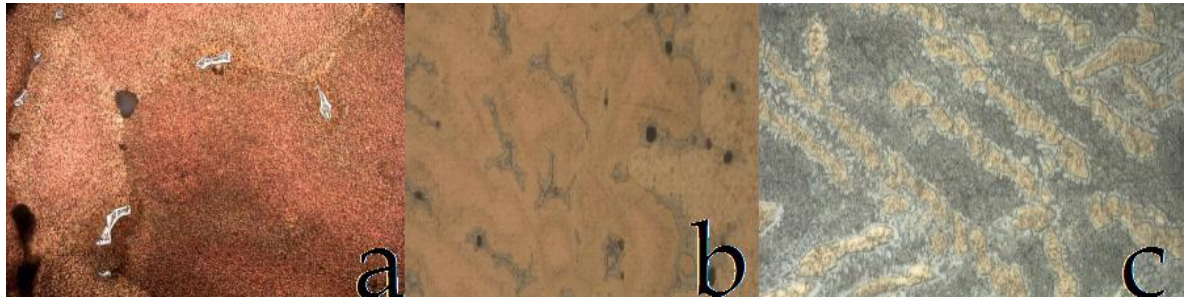


Figura 3 Fotomicrografía de las aleaciones (a) Cu-5% Sn (1000X) donde se puede notar el extremo de las dendritas rojizas de solución sólida (α) y entre ellas el eutectoide, en pocas y pequeñas zonas claras (fase ϵ), dentro de la que se puede distinguir la 2ª fase (fase α). (b) Cu-13% Sn (2000X) se aprecian los brazos dendríticos amarillos y en la zona interdendrítica el eutéctico grisáceo, al observarlo cuidadosamente es posible apreciar las dos fases, como en (a). (c) Cu-22% Sn (4000X) se distinguen dendritas amarillentas muy irregulares y eutectoide en la zona interdendrítica, más irregular que en (a) y (b).

La coloración puede verse afectada con la forma, la textura y el tamaño de la muestra. Para la aleación con 5% Sn en forma de barra maquinada (pulida) y de material particulado la coloración es rosa tenue, mientras que en la muestra pequeña es de un rojo similar al cobre. El bronce con 13% Sn en las tres formas presenta el mismo color amarillo oro. En cambio la aleación de 22% Sn presenta tanto en la forma de barra y como en el material particulado una coloración plata amarillenta y en la forma de muestra pequeña tiene un color plateado. Para resolver este problema en la medición del color se optó por utilizar el sistema RGB, ya que expresa la cantidad cuantitativamente.

Para realizar comparaciones con los colores obtenidos para los tres bronce de este trabajo y los metales puros (Cu y Sn), se utilizaron los colores reportados (Datta home, 2009) del oro antiguo y de la plata. Resultó que los valores de RGB (Tabla 5) entre el cobre y el bronce con 5% de estaño tienen la

diferencia más grande en el azul, lo que genera una coloración rosada parecida a la del cobre. La aleación con 13% Sn se comparó directamente con el oro antiguo, encontrándose sólo una pequeña variación en su triada de valores de RGB, por lo que se aprecian iguales. La aleación con 22% Sn se comparó directamente con el estaño, porque ambos, a simple vista, presentan un color de “plata amarillenta”, parecido al estaño. La triada de valores muestra que son dos colores diferentes; también se hizo la comparación con la plata pero la diferencia fue mayor que con el estaño.

Los valores del EDS y del TG parecen no determinar el color como puede apreciarse directamente en las Tablas 2 y 3.

Tabla 5 Valores de RGB y HSL de los colores obtenidos en cada una de las aleaciones y otros previamente reportados (Datta home, 2009). * Nombres sugeridos por los autores.

Nombre	Composición de la Muestra	# RGB	HSL	Color
Oro Antiguo	Reportada en RGB	221 196 136	28 142 179	
Oro tarasco*	Cu 13% Sn	216 189 136	28 129 176	
Cobre	Cu (puro)	198 134 116	9 107 157	
Bronce rosáceo*	Cu 5% Sn	196 135 133	1 89	
Bronce luna tarasca*	Cu 22% Sn	157 154 151	21 8 154	
Estaño	Sn (puro)	179 187 183	106 14 183	
Plata	Reportada en RGB	192 192 192	170 0 192	

Se procedió a buscar los sistemas binarios de aleación base cobre con metales relativamente plateados (Cu-Zn, As-Cu, Ag-Cu⁵) y las referencias a su coloración. Se encontró que las aleaciones también se van aclarando al aumentar

⁵ Ver Apéndice E. Diagramas de fases.

el elemento aleante. Para el diagrama Cu-Zn, al incrementar la cantidad de Zn sus aleaciones cambian de color desde el rojo (hasta 30% Zn), pasando por el amarillo (30%-47% Zn) el amarillo rojizo (47-60% Zn) hasta llegar al plateado cenizo (60%-100%) (CIDEAC, 1980); para las aleaciones Ag-Cu los colores van del rosa (75% Cu) al plateado (25% Cu), pasando por el amarillo (50% Cu) (Casabo, 1973); y para el sistema As-Cu se reporta que las aleaciones con concentraciones superiores al 10% As adquieren un color plateado brillante (Hosler, 1994). En estos tres diagramas el color más claro se encuentra alrededor del eutectoide o eutéctico, lo que sustenta nuestra apreciación.

Brillo

Además de evaluar el brillo de los tres bronce se incluyeron el del cobre y el del estaño. Como se observa en la Tabla 6, el bronce con 5% Sn tiene un brillo superior a la aleación con 22% Sn, al cobre y al estaño puros. La aleación más brillante es la de 13% Sn, mientras que la de 22% Sn es la más mate.

La triada de valores RGB se puede convertir a una triada de valores HSL mediante un software. Una vez obtenidos los valores de HSL el último valor se puede leer como la cantidad de brillo y así realizar una comparación cuantitativa en la Tabla 5. Como se aprecia, el bronce con 13% Sn es el más brillante con un valor de 176, la segunda aleación más brillante es el bronce con 5% Sn ya que su valor es de 165 y la aleación mate es el bronce con 22% Sn porque presenta un valor de 154; esto, comparado con el brillo obtenido mediante el software del microscopio, corrobora la tendencia encontrada.

Ni el tamaño del EDS, ni el TG parecen determinar el brillo, según las Tablas (3 y 4), lo que parece indicar que para obtener el mayor brillo en una aleación es necesaria la presencia de una mezcla óptima entre la fase α y el eutectoide (89% de α y 11% de eutectoide), la que tiene la aleación Cu-13% Sn.

Tabla 6 Cantidad de luz reflejada por las piezas. Representa el brillo de cada aleación.

Muestra	Enfoque	Luminosidad
Cu⁰	108	157
Cu 5% Sn	112	165
Cu 13% Sn	133	176
Cu 22% Sn	95	154
Sn⁰	109	183

Resistencia a la penetración

Como se aprecia en la Tabla 7, la resistencia presentada por los bronce obtenidos está en diferentes escalas de dureza Rockwell. Para comprender mejor esta diferencia, se buscaron en la literatura (Handbook, 1990), diferentes materiales con los mismos valores de resistencia a la penetración. La aleación con 5% Sn presenta una dureza similar a un aluminio puro, la aleación con 13% Sn puede ser comparada con la aleación de titanio grado 1 y la aleación con 22% Sn a la de un acero 4140. Esta aleación resultó ser la más frágil de todas, durante los preparativos de obtención de muestras se rompió presentando fractura frágil.

Tabla 7 Los resultados de la resistencia a la penetración en cada una de las muestras. La dureza aumenta con el incremento del contenido de eutectoide.

Muestra	Contenido de eutectoide (%)	No. Dureza	Escala de dureza	Metales con durezas similares
Cu 5% Sn	0.57	11.8	HR _A	Aluminio puro
Cu 13% Sn	11.65	63.2	HR _B	Titanio grado 1
Cu 22% Sn	93.42	22.6	HR _C	Acero 4140

La Cosmovisión Mesoamericana en la discusión.

La aleación de Cu-5% Sn. Tiene un color rosáceo. Este color puede representar el sol al amanecer o al atardecer cuando en la atmósfera se encuentran nubes o finas partículas de polvo o agua. También es similar a las partes interna y externa de las cavidades del rostro. Analizando los objetos que los tarascos fabricaron con ella encontramos bezotes, narigueras y orejeras principalmente; este color, podría ser ideal para representar una lengua (bezote) una boca (nariguera) y orejas (orejeras), todas estas zonas de la cara, simulando partes del cuerpo sagradas, que podían representar extensiones del Dios en la tierra. El buen brillo que presenta esta aleación, superior al cobre, debió contribuir a captar la atención de la audiencia durante ritos y actos públicos. Seguramente eran pulidos antes de cada ceremonia para que su brillo destacara. También se han encontrado algunos cascabeles fabricados con esta aleación (Hosler, 1994) aunque, como se discutió previamente, esta aleación tiene un sonido disonante que, en general, no es agradable al oído. Pero el sonido es subjetivo, para algunos puede resultar agradable un tipo de sonido y para otros no (Jess, 1969) Sin embargo, Both (2008) menciona que el uso dado a estos cascabeles fue en ritos especiales como en sacrificios humanos y durante los ataques sorpresivos, en la guerra, en donde seguramente se requería un sonido intimidante.

Otros objetos fabricados con esta composición, como agujas, anzuelos, hachas, alambre, azuelas, azadas, punzones y buriles no eran utilizados como herramientas; más bien pensamos que eran iconos de sus dioses; por ejemplo, una punta de flecha representaba al dios de la caza. Esto puede apoyar la tesis de Salas et. al. (2006), que la clasificación como objetos utilitarios u ornamentales no es válida; si se hubiese deseado fabricar herramientas o armas se hubieran seleccionado aleaciones con un contenido superior de estaño, porque estas son las que tienen mayores resistencias mecánicas (Tabla 7). Así se infiere que el uso dado a estas aleaciones era sagrado.

Lo más destacado del bronce con 13% Sn es su color amarillo dorado, similar al sol y al oro, además de que presenta el mayor brillo. Es lógico asociarla

a la deidad solar *Tiriperi** (Hosler, 1994), al astro rey y a su coloración durante la mayor parte del día. Por eso pensamos que se consideraba como la aleación más importante. Esta importancia se aprecia en la gran cantidad de cascabeles (Hosler, 1994); su sonido presenta un comportamiento armónico. Posiblemente estos cascabeles eran utilizados en los ritos más importantes (Both, 2008).

El mayor brillo se presentó en este bronce. Probablemente los tarascos hicieron varias pruebas hasta encontrar esta, ya que no se han reportado objetos con composiciones entre 13 y 22% Sn, las cuales tendrán, con seguridad, mejor sonido, pero menor brillo.

La aleación con 22% Sn muestra un color de plata amarillenta. La coloración podría estar asociada a la deidad lunar, especialmente después de un eclipse lunar, en la fase de luna llena, al estar cerca del horizonte, y cuando parece un círculo incompleto con forma de una hoz, fase de cuarto menguante o creciente. Otro factor que completa esta suposición es el de que esta aleación presenta el menor brillo, como el de la luna respecto al sol. Los objetos que se han encontrado con esta composición son aros delgados con diferentes formas semicirculares y redondas, simulando las diversas fases lunares (Figura 4).



Figura 4 Comparación de las fases de la luna con la forma de los aros tarascos.

* La Raíz *tiriperi* quiere decir oro en tarasco, *Tireperi* fue el nombre dado al Dios asociado a una manifestación individual del sol.

Aunque presenta el sonido más armónico no se han reportado cascabeles que tengan esta composición. Una posible razón para ello es que tiene un color plateado amarillento, además de que posee una dureza excesiva -su dureza se puede comparar a la de un acero- comparada con las otras aleaciones esto se debe que solidifica en forma de "plumas" lo cual genera puntos de tensión que fragilizan a la aleación. Debido a la fragilidad que presenta esta aleación, los aros se cree que fueron fabricados por forja en caliente y así evitar las fracturas en el material.

En la actualidad se sigue utilizando esta composición para fabricar campanas (Brady, 1989) y otros instrumentos musicales que ayudan a alcanzar el mismo tono de las campanas⁴. Si los Tarascos hubieran buscado el mejor sonido para los cascabeles hubieran utilizado esta aleación, pero deseaban el color.

La obtención de los diferentes bronce y la manipulación de los objetos fabricados con ellos, siendo hierofanías, se restringió a los sacerdotes. Esto impidió su acceso a la sociedad con las implicaciones de que no hubiera avance tecnológico.

⁴ Ver Apéndice D. Instrumentos musicales.

V. Conclusiones

Ingenieriles

- El aumento del contenido del eutectoide en la aleación proporciona una mayor armonía sonora, hasta llegar a un límite de 93%.
- A mayor cantidad de eutectoide en la aleación base cobre, se va obteniendo un color más claro.
- El máximo brillo se obtiene con un porcentaje de 88.35% de fase α y 11.65% de eutectoide.
- Ni el EDS ni el TG influyen en alguna de las propiedades medidas y en los comportamientos determinados.
- A mayor contenido de eutectoide en la aleación mayor dureza.
- La forma del eutectoide en la aleación con 22% de Sn la fragiliza.

Sociales

- La actitud de los tarascos respecto a los broncees estaba determinada por su cosmovisión, específicamente por su pensamiento religioso.
- Los tarascos trabajaron básicamente tres aleaciones buscando comportamientos de color, brillo y sonido específicos y no de resistencias mecánicas.
- Los colores, brillos y sonidos buscados determinaban el tipo de objetos que se fabricaban con cada aleación.
- El pensamiento totalmente religioso de la sociedad tarasca centralizó el uso de los broncees en la clase sacerdotal.
- Al no permear el conocimiento metalúrgico hacia la sociedad, se impidió el avance tecnológico.
- Los tarascos conseguían las propiedades y los comportamientos específicos buscados en las aleaciones fabricadas, controlando la composición química.

VI. Apéndice A. Descripción y cálculos de las técnicas usadas.

Balance de carga.

Una vez conocidas las densidades del cobre y estaño, se calculó una densidad promedio para cada aleación.

Posteriormente se calculó el volumen con las dimensiones de cada barra: 2 cm de diámetro y 11.9 cm de altura.

Con la densidad y el volumen se calculó la masa.

A continuación se presenta un ejemplo.

$$\rho_{\text{sn}} = 7.29 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{\text{cu}} = 8.93 \text{ g/cm}^3$$

Fracción de estaño ($\chi_{\text{sn}} = 0.05, 0.12 \text{ y } 0.22$)

Fracción de cobre ($\chi_{\text{cu}} = 0.95, 0.88 \text{ y } 0.78$)

Por lo tanto la densidad promedio es:

$$\rho_{\text{prom}} = \rho_{\text{sn}} \chi_{\text{sn}} + \rho_{\text{cu}} \chi_{\text{cu}}$$

$$\rho_{\text{prom}} = (7.29)(0.05) + (8.93)(0.95) = 8.85 \text{ g/cm}^3$$

Volumen de la pieza

$$v = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

$$v = (3.14)(1)^2(11.9) = 37.38 \text{ cm}^3$$

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Posteriormente se calculó la masa total a pesar

$$m = (\rho)(v)$$

$$m = (8.85 \text{ g/cm}^3)(37.38) = 330.86 \text{ g}$$

Para compensar las pérdidas durante la fusión se agregó un 15% de excedente.

$$m_{\text{Adicional}} = (330.86 \text{ g})(0.15) = 49.62 \text{ g}$$

$$m_{\text{Total}} = 374.48 \text{ g}$$

Técnica Silicato de sodio CO₂.

Tabla A1 Material y equipo necesario.

Material	Equipo
5kg de arena silica	Molde para fabricar barras redondas
175 ml de Silicato de sodio	Mezcladora Hobart

1 Espátula	Accesorios para el gaseado
Gas CO ₂	Apisonador para arenas

Se arma la caja de fabricación de probetas, se llena con la mezcla de arena silica y silicato de sodio, se apisona la arena de cada uno de los moldes. Después de tener la probeta formada se hace pasar un volumen de CO₂ de 3 litros/min.

Análisis microestructural.

Reactivos de ataque.

Debido a que la estructura dendrítica no se revelo con facilidad se recurrió a una serie de ataques especiales (Kehl,1949) los cuales se enumeran a continuación.

1. 1g de Na₂Cr₂O₇, 1g de NaCl, 4mL de H₂SO₄, 250mL de H₂O.
2. 5 partes de NH₄OH, 5 partes de H₂O, 2-5 partes de H₂O₂(3%).
3. 1 parte de NH₄OH, 1 parte de H₂O, 2 partes de (NH₄)₂S₂O₈ (2.5%).
4. 2g FeCl₃, 5mL HCl, 30mL H₂O, 60mL de etanol o metanol.

Las muestras se sumergieron unos cuantos minutos.

Medición del EDS

Para medir el EDS se usó una reglilla integrada a un ocular 10X. La reglilla mide 1mm dividido en 100 líneas, cada raya equivale a una micra o 1×10^{-6} m.

La reglilla se calibra dependiendo del número de aumentos, para este caso a 100X se abarcan las 100 rayas. Por lo tanto si la distancia entre brazos dendríticos a 100X son 6.63 rayas aproximadamente entonces equivaldrá a: 0.0063mm

100 rayas → 1mm

6.63 rayas medidas → x mm

$$\text{EDS } 100\text{X} = 6.63 \left(\frac{1\text{mm}}{100} \right) = 0.00663\text{mm}$$

Debido a la forma de las dendritas de la aleación con 22% Sn fueron las más complicadas de medir.

Cantidad de eutectoide.

Experimental.

De una serie de fotografías se identificaron tanto la fase α como el eutectoide, estos microconstituyentes se recortaron, se pesaron; con los pesos se calculó la cantidad relativa de cada uno.

Técnica de diferencia de pesos.

Peso inicial peso final (sin fase α)

1.405g 1.397g

%Eutectoide = $1.397/1.405 \times 100 = 99.43\%$

Teórico.

Se utilizó la regla de la palanca, en el diagrama de fases (Cu-Sn) se marco el punto de la composición deseada a temperatura ambiente, se reviso si la composición sufrió transformaciones (líneas horizontales) para identificar el tipo de cálculo si eran fases o microconstituyentes, se marcaron los límites correspondientes en forma de líneas verticales, se escogió el extremo opuesto de la fase o microconstituyente que se quería conocer su cantidad relativa haciendo una sustracción entre este extremo y la composición seleccionada, se dividió entre el total de la distancia abarcada entre los límites (líneas verticales) multiplicando el resultado por cien para así obtener el porcentaje presente de esta fase o microconstituyente

Ejemplo para la fase α en la aleación de 5% Sn.

$$\alpha = [(37.9-5) / (37.9-0)] * 100 = 86.81\%$$

$$\epsilon = [(5-0) / (37.9-0)] * 100 = 13.19\%$$

VII. Apéndice B. Especificaciones de los equipos utilizados.

Marca y modelo.

- La fusión de los metales se hizo en un Horno eléctrico marca LEYBOLT-HERAEUS Tipo IS1/EM
- Para el análisis químico se usó un Espectrómetro de Emisión Atómica Con Plasma Acoplado, Perkin Elmer, Modelo 4300 OPTIMA DV
- Para medir el EDS y TG se utilizó un Microscopio metalográfico marca Olympus PM3 rejilla graduada marca Union Tokyo y un ocular reglilla WF10X-MTM,
- Para cuantificar el brillo y fotografiar las microestructuras se usó un Microscopio metalográfico marca Olympus modelo PMG, con un sistema de captura Media Cybernetics modelo PL-A642 y software Image-Pro Plus versión 4.5.6.19.
- Para la evaluación del sonido se utilizó el Software Music Editor Free acoplado a un micrófono marca GE.
- La medición del color se hizo con el Software VCW VicMAN's photo editor versión 8.1.
- Para medir la dureza se utilizó un durómetro marca Buehler modelo Macromet 3.

VIII. Apéndice C. Técnica para cuantificar el color y el brillo.

Sistema RGB

El Color es la capacidad reflejar una longitud de onda, y no es una propiedad intrínseca del material porque depende de varios factores como: forma, tamaño, fuente de luz, distancia del objeto y la experiencia del observador (Murch, 1987).

Para hacer una determinación y comparación cuantitativa del color de las aleaciones fue necesario utilizar un sistema de colores denominado RGB (Red – Green – Blue). El código RGB, **rojo - verde - azul**, se basa en la mezcla sustractiva de los 3 colores primarios (los referidos a la luz) para conseguir toda la gama completa de colores. Cada color toma valores desde 0 hasta 255, haciendo un total de $256 \times 256 \times 256 = 16,776,216$ millones de colores distintos aunque el ojo humano solo es capaz de captar 7 mil.

Para indicar con qué proporción se mezcla cada color, se le asigna un número; si se le da el valor de 0 a uno de los colores del código en una mezcla, significará que este color no aportará nada y que, a medida que ese valor va aumentando, aporta más intensidad. Una prueba sencilla que se puede hacer -si se tiene a la mano una computadora- es abrir un programa que contenga una paleta de RGB; para obtener el color rojo solo se escribe (255,0,0), para el verde (0,255,0) y el azul (0,0,255).

La combinación de dos colores con un valor de 255 y un tercero con valor de 0 resulta en tres colores intermedios: el forma el amarillo es (255, 255, 0), el cian (un tipo de verde turquesa), es (0, 255, 255) y el magenta (un rosa chicle) es (255, 0, 255).

Obviamente, el color blanco se forma con la saturación de los tres colores primarios (255, 255, 255) y el negro con la ausencia de color (0, 0, 0).

El conjunto de todos los colores se puede representar en forma de un cubo (Figura A1) donde los ejes principales (x, y, z) representan los tres colores primarios en porcentaje de rojo (1, 0, 0), verde (0, 1, 0) y azul (0, 0, 1), la combinación intermedia (1, 1, 0) da amarillo, (0, 1, 1) da cian y (1, 0, 1) da magenta. La escala de grises estaría situada en la diagonal que une al color blanco con el negro en este caso los ejes (0, 0, 0) y (1, 1, 1).

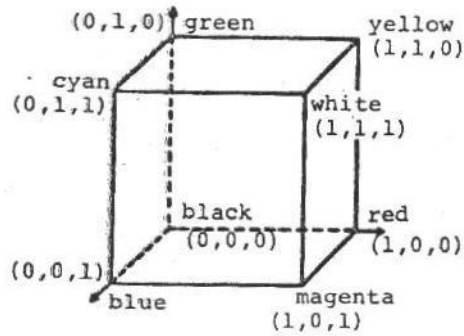


Figura A1. Representación grafica de RGB en porcentaje 0 a 1.

Sistema HSL

El sistema HSL Matiz Saturación y Luminosidad está enfocado en cómo el ser humano, percibe varios tonos del mismo color. El matiz significa las graduaciones que puede presentar un color, por ejemplo (rojo escarlata, rojo carmesí, rojo sangre) esto quiere decir que es el mismo rojo solo que con diferentes tonos. La saturación es qué tan fuerte o tenue percibimos un color; Un sencillo experimento que se puede hacer es partiendo a la mitad, de forma transversal, una sandia; si se ve del centro hacia la orilla se puede notar que el color va perdiendo intensidad, se va amortiguando, hasta volverse muy claro. Por último, la luminosidad es una variación de la brillantez, esto es a mayor luminosidad más brillantez y a menor intensidad más mate o amortiguada.

Un sencillo ejemplo que se puede hacer con la ayuda de una computadora es abrir un programa que contenga una paleta de colores RGB. (Como se menciono en la técnica anterior) colocar los valores para obtener un verde (0, 255, 0) luego seleccionar la opción HSL y el programa, automáticamente, convierte los valores RGB a valores de HSL donde el primer valor significa un ángulo radial (matiz), el segundo valor es una distancia radial (saturación) y el ultimo valor es una distancia axial (luminosidad).

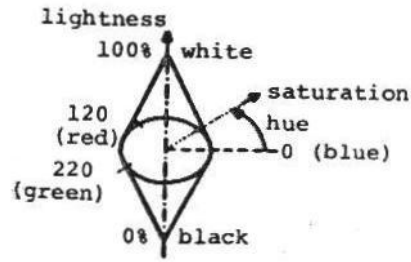


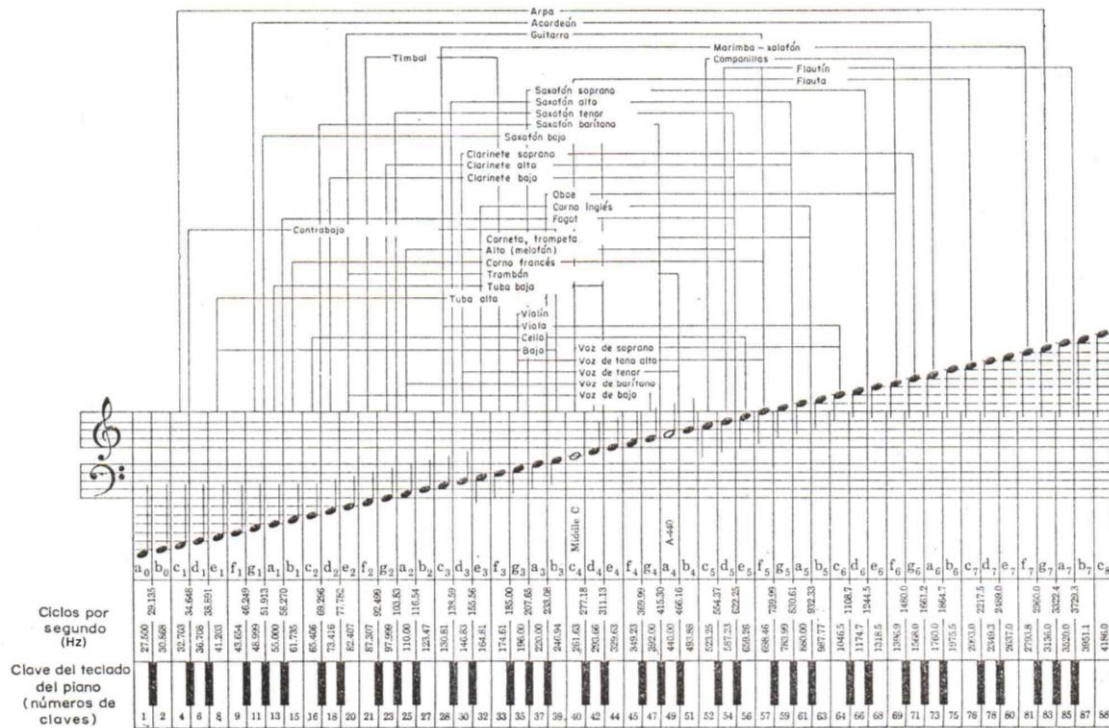
Figura A2. Representación del sistema HSL.

Como se había dicho, los valores de RGB pueden ser representados en un cubo y para el caso de HSL se representan en dos conos unidos por la base (Figura A2). Entonces lo que hace el sistema es convertir las coordenadas cartesianas a coordenadas cónicas, para ello es necesaria una serie de ecuaciones. Para los objetivos de esta tesis no son relevantes.

IX. Apéndice D. Instrumentos musicales.

Tono

La frecuencia correspondiente al tono más bajo que el oído reconoce como un sonido es, aproximadamente es 30 Hz. Mientras que el piano puede llegar hasta una frecuencia de 4186Hz, hay algunos órganos con tubos de 1.90cm de largo que pueden llegar hasta 8372Hz. Las frecuencias referidas son aquellas de los tonos fundamentales. En los instrumentos orquestales la frecuencia mas baja es la producida por el arpa (32Hz). Sin embargo, el contrabajo está por debajo del nivel normal entre los instrumentos comunes con 41 Hz. El flautín con 3729Hz, tiene la frecuencia fundamental más alta entre los instrumentos de la orquesta (Jess 1969).



X. Apéndice E. Diagramas de fases.

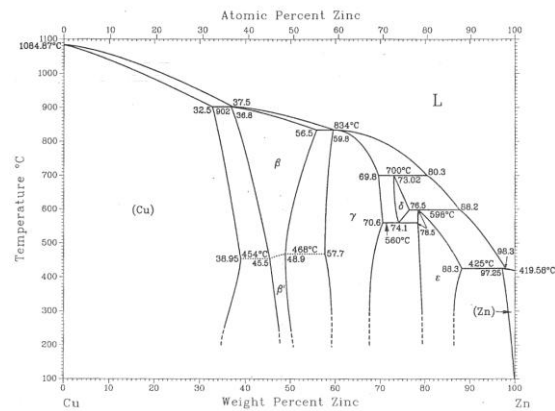


Diagrama Cu-Zn donde se observa que el eutectoide se encuentra en una concentración de 74.1% de Zn

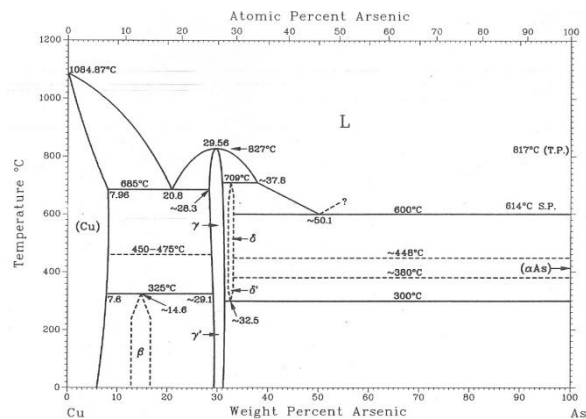


Diagrama Cu-As donde se observa que el eutético se encuentra en una concentración de 20.8% de As.

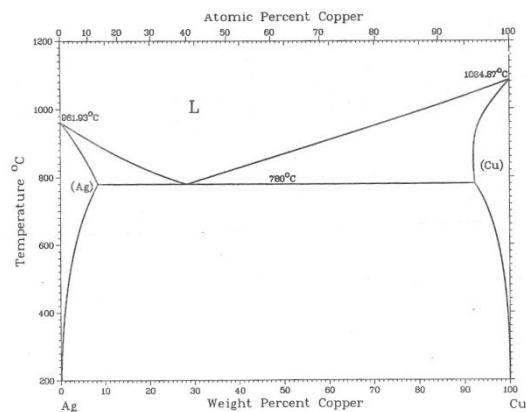


Diagrama Ag-Cu donde se observa que el eutético se encuentra en una concentración de 28% Cu.

XI. Bibliografía.

Both, A. A. La música prehispánica, sonidos rituales a lo largo de la historia. Arqueología Mexicana , año 2008, volumen XVI, p.p 28-37.

Brady, G y Clauser, H. Materials Handbook. New York. 1989. Mc Graw-Hill, 12a ed. p,p, 89-90

Casabo. J.. Manual del joyero. Albatros; Buenos Aires1973; p.p 63

Ceremonial and Ritualistic Objets. The New Encyclopedia Britanica in 30 volume Macromedia edition15th ;Helen Hemingway, London , 1974; Vol 3, p.p. 1174-1178.

Consei International pour le Développement du Cuivre. El cobre y sus aleaciones en la tecnología, Ginebra, CIDEDEC.1980. p.p 66-87

Datta home, "Paleta de colores": <http://dattahome.com/paleta-de-colores/>. 04-05-2009

Grimberg, D. Tecnología metalúrgica tarasca, Ciencia y desarrollo ,año 1989 volumen XV, p.p 37-52.

Hosler, D. Sound, color and meaning in the metallurgy of ancient West Mexico. World Archeology año 1995, volumen 27, No.1 p.p, 101-115.

Hosler, D. The sounds and color of power, the sacred metallurgy technology of ancient West Mexico. London 1994, The MIT Press.

Jess, Josephs. La física del sonido musical. México 1969; Reverte.p.p 59-73

Metals Handbook Vol. 2, 10 Edition ASM International . 1990 p.p 621,1153.

Murch, G. Color Displays and Color Science. in Color and the computer Wilsonville 1987; Academic Press, Inc. p.p 1-24.

Nicholas, K. The CO2-silicate process in foundriest. Alverchurch: British ,1972; cast iron research association.

Rodriguez, M. "Diccionario Nahuatl". <http://aulex.org/nah-es/>. 19-Junio-2009.

Salas. G, Ramírez. J, Noguez. M, The Sacred in Mesoamerican Materials. JOM,mayo 2006, p.p. 44-47.

Schöndube, O. El occidente de México. Arqueología mexicana, Agosto–septiembre 1994, volumen 2, p.p.18-25.

XII. Bibliografía Adicional.

Ingeniería.

1. Efront, A. Oído, lenguaje y música. El mundo del sonido. Editorial Bell, Argentina, 1969, p.p. 27-39.
2. Gage John. Colour and culture. Colour: art & science. Cambridge University; 1995, p.p. 175-193.
3. Jeans, J. Tuning-forks and pure tones. Science and music. Cambridge University. Great Britain, 1961, p.p. 17-21, 38-47.
4. Kehl, G. L. The principles of metallographic laboratory practice. New York. 1949; Mc Graw-Hill, 3a ed.
5. Meyers, P. Characteristics of casting revealed by the study of ancient chinese bronzes. The beginning of the use of metals and alloys. The MIT press. London, 1988, p.p. 283-295.

Antropología.

6. Cariño L y Del Olmo, G. Tzintzuntzan. México desconocido. Agosto 1999, No, 270.
7. Escalante, G. Sociedad y costumbres nahuas antes de la conquista. Arqueología mexicana, p.p. 14-19.
8. Graulich, M. El sacrificio humano en Mesoamérica. Arqueología mexicana, 2003, No.63, p.p. 18-23.
9. Grinberg, D.M.K. de. Metalurgia del México antiguo. Arqueología mexicana, p.p. 4-11.
10. Grinberg, D.M.K. de. Que sabían de fundición los antiguos habitantes de Mesoamérica parte I. Ingenierías. Enero-marzo. Vol. VII. No 22. 2004pp 64-70
11. Grinberg, D.M.K. de. Que sabían de fundición los antiguos habitantes de Mesoamérica parte II. Ingenierías. Abril-junio. Vol. VII no 23. 2004 pp 58-67
12. Hosler, D. Arqueología y metalurgia en el occidente de México. El bronce mesoamericano: orígenes, desarrollo y difusión. revista, 1994, p.p. 115-125.
13. Hosler, D. Copper tin bronzes in Mesoamerica. Anales de antropología, p.p.99-131.
14. Hosler, D. La metalurgia prehispanica del occidente de México: una cronología tecnológica. Arqueología del occidente de México, año, p.p.237-289.
15. Lechtman, H. Traditional and styles in central andean metalworking. The beginning of the use of metals and alloys. The MIT press. London, 1988, p.p. 344-377.
16. León-Portilla, M. Mitos de los orígenes en Mesoamérica. Arqueología mexicana 2002, No 56, p.p. 20-27.
17. López, A. La composición de la persona en la tradición mesoamericana. Arqueología mexicana 2004, No. 65, p.p. 30-35.
18. Méndez, J. Los minerales en la época prehispánica. Dpto. de química UAM – Iztapalapa, Contactos, 2002, pp 11- 18
19. Michelet, D. Reino y reyes tarascos. Arqueología mexicana, Julio-agosto 1998, Vol. VI, No.32, p.p.50-57.
20. Murray, G. Los tarascos para niños. Selector. México, 2006, p.p. 141.
21. Paredes, C. La estratificación social de los tarascos. Arqueología mexicana, p.p. 34-39.
22. Perez, T. Dioses mayas. Arqueología mexicana, año, p.p.57-65.
23. Steinman, S, Wolf, W y Podlousky. Color and optical properties. revista, año, volumen, p.p. 229-243.
24. Tylecote, R.F. A history of metallurgy. Second edition. The institute of materials. 1992 p.p. 205
25. Williams, E y Novell, R. Arqueología del occidente mexicano El colegio de Michoacán México 1994.