

Estudio teórico y experimental del Oficio Metalúrgico

Este desarrollo surge a partir de la “Charla introductoria a los Oficios”, dada por Silo en 1974, en el Centro de Estudios “El Mirador” en Córdoba.

*“Estos oficios pueden conocerlos todos los que se interesen, mientras más se extiendan entre la gente, mejor para todos. La experiencia social en esa línea se enriquece y desarrolla, porque la difusión de los oficios no ha quedado en pocas personas o en núcleos cerrados... El planteo es libre y amplio. Trasmitiéndose según el gusto de cada uno. Allí donde uno se siente como “pez en el agua”, digamos, es tal vez el terreno fértil a desarrollar... Para empezar, vemos que sólo tenemos por ahora cuatro oficios, y que en el cuadro general de oficios se mencionan doce. Eso implica que no sólo habrá trabajo en los conocidos, **sino en los por desarrollar**. (Ver material adjunto de Oficio de Metalurgia)*

Un equipo de Maestros de la Disciplina Material, se propuso, sin grandes conocimientos previos, el desarrollo del Oficio de la Metalurgia, armando un taller y experimentando durante casi dos años, con una periodicidad quincenal, para luego presentarlo en dos materiales: uno con un formato similar al de los Oficios desarrollados que se encuentran en la “Carpeta Naranja” (1974) y un segundo material que describe en detalle el desarrollo y las conclusiones de sus experiencia en el taller junto con una síntesis histórica del Oficio. Se incluyen además ilustraciones y comentarios que permiten una mayor comprensión del Oficio en sí mismo y su relación con la Disciplina Material.

Reseña histórica del Oficio de la Metalurgia

La confrontación con el medio y la experiencia social provocaron la necesidad en el hombre de trabajar los metales para poder sobrevivir y más adelante para hacerse sedentario. El primer metal que se trabajó, fue sin duda el cobre nativo, ya que se podía trabajar en frío, por martillado, pero también calentar para aumentar su maleabilidad y disminuir su fragilidad. Para esto último basta una temperatura de 200 a 300° C, lo que sin duda no era difícil de conseguir para los hombres de aquella época. Otros metales trabajados de manera “premetalúrgica” son el oro, a partir de las pepitas; el platino y la plata nativa.

Las aleaciones cupríferas de la antigüedad se realizaban con elementos como el antimonio, el plomo o el arsénico, sin embargo la aleación más importante fue y es sin duda la del cobre con estaño, es decir el bronce. Añadiendo estaño al cobre se obtienen varias ventajas; una disminución de la temperatura de fusión, la obtención de un metal fundido de gran fluidez y, por supuesto, la mayor dureza del bronce que del cobre.

El bronce se origina en la actual Armenia, en torno al año 2800 a.C., pero también simultáneamente en la India, Irán, Sumeria y Egipto.

Metalurgia Inca

La metalurgia inca estuvo influenciada por la orfebrería de los Chimú y la metalurgia del altiplano. Los artesanos incas utilizaron intensivamente el bronce (aleación de cobre y estaño) como principal material en la manufactura de los objetos utilitarios y militares. El oro y la plata, por otra parte, fueron utilizados para la confección de objetos rituales.



Los metales fueron fundidos en pequeños hornos de barro conocidos como huairas (viento, en quechua), que eran los hornos de fundición del antiguo Perú.

Como yunque usaban unas piedras amarillas y verdes, muy duras, las aplanaban y alisaban unas con otras. Los martillos no tenían mango, eran cubos de diferentes tamaños, el más grande abarcaba toda la mano, para golpes más grandes, otros medianos, otros chicos y otros alargados para martillar formas cóncavas.

Fundían a poder de soplos con unos canutos largos. Al sacar el metal del fuego lo agarraban con unas varas de madera o de cobre, y lo colocaban en un recipiente con tierra humedecida, y lo iban dando vuelta a medida que se enfriaba para poder agarrarlo con la mano. Se dieron cuenta muy fácilmente que el humo era tóxico y por eso hacían las fundiciones en lugares destechados.

Las Huayrachinas

Eran unos hornos prehispánicos utilizados por los indígenas también en la zona que comprende el sur de Bolivia y el norte de Argentina. “Huayra” hace referencia al viento, mientras que “china” significa mujer, en lengua quechua. Las Huayrachinas eran unos hornillos portátiles de barro, accionados por los vientos, eran pequeños cilindros de arcilla, iguales a chimeneas, de alrededor de un metro de alto aprox., más amplios en la parte superior, 45 de ancho y 30 de base, con agujeros de ventilación en su cuerpo. Por estas perforaciones penetraban las corrientes de vientos naturales para avivar la combustión y alcanzaban una temperatura de hasta 1,000 grados, por lo que les permitía fundir unos tres kilos de metal muy puro con muy poco combustible. Al pie del horno, a modo de contenedor, se recogía el metal fundido y la escoria. Su combustión era con estiércol o carbón vegetal.



El Hierro

El inicio de la metalurgia del hierro se podría situar en la zona de la actual Turquía, una tierra rica en este mineral. El pueblo hitita, que habitó el territorio de Anatolia fue, hacía el año 1.300 a.C., uno de los primeros en trabajarlo y lo utilizaban en ceremonias y rituales. El hierro era un metal mucho más duro y resistente que el bronce, pero también necesita mayores temperaturas para su fundición. En aquellas épocas, el paso a la metalurgia del hierro se habría producido por diversas razones, una de ellas quizá, fue debido a la escasez de yacimientos de cobre y estaño, lo que podría haber derivado en la búsqueda de nuevos materiales.

Meteoritos

“Antes que el hierro terrestre, el hombre primitivo conoció y utilizó el hierro meteórico. Los esquimales, que lo siguen empleando todavía en nuestro días, lo modelan sirviéndose de instrumentos de piedra. Los sumero-arcadios conocieron primeramente el hierro meteórico; el ideograma an-bar (compuesto de los pictogramas “cielo” y “fuego”) significa “metal celeste” y es la más antigua designación sumeria del hierro. En Egipto, donde el hierro local sólo fue explotado seriamente en el amanecer de la civilización faraónica; la palabra que lo designa trasluce el mismo origen meteórico: bi-n-pet, “metal celeste”. Cuando se comenzó a extraer el mineral, se distinguieron las dos especies de hierro y se creó una nueva palabra: “hierro de la tierra”. Según un texto hitita, los reyes del siglo XIV antes de J.C. obtenían “el hierro negro del cielo”. El hierro meteórico ya era conocido en Creta en la época minoica (hacia los años 2000 a.C.); se han encontrado nuestras del mismo en una tumba cercana a Cnossos.”¹

Extractos de algunas de nuestras Actas

¹ Mircea Eliade - “Cosmología y Alquimia Babilónica”

Relato descriptivo de las primeras coladas:

Apuntes de los primeros trabajos, iniciados el 7/3/2013.

Interés: desarrollo del oficio metalúrgico.

Se trabajó a la intemperie.



Componentes:

- Carbón vegetal, leña fina, papel, coque.
- Material a fundir: bronce (llaves, tiras de chapa), aluminio en tiras.
- Fragua con aire forzado en forma manual.
- Crisoles cerámicos comerciales, de dos tamaños.
- Moldes de arena con silicato de sodio.

Previo al comienzo de la fundición quedamos en realizar: una lectura doctrinaria, una experiencia con la Fuerza u otra experiencia interna y un pedido que nos predisponga al trabajo buscando el tono adecuado.

Tenemos el material a fundir, el crisol que lo contiene, la fragua con el coque y carbón, los moldes y las pinzas.

Fijado el interés, logrado el tono adecuado comienza la tarea. Encendemos el fuego con leña y carbón común, agregando de a poco coque, el cual es difícil de prender y despiden vapores de azufre amarillo-verdosos que desaparecen al intensificarse la temperatura y el coque pasa a tener un color rojizo. En forma continua damos aire en forma manual, el calor es intenso, el crisol toma un color rojizo. También el contenido del crisol sufre cambios: el plomo al fundir toma brillo, el aluminio y el bronce primero se opacan y luego toman brillo al fundirse.

Después de 3-4 horas nos parece que el bronce ya está fundido, agregamos vidrio molido para limpiar el metal sacando la escoria, mezclamos y sacamos tanta escoria que nos queda poco metal. Para mezclar usamos una varilla de construcción. En la segunda colada nos pasó algo parecido, cuando llegamos a la temperatura de fundición el bronce se licuó y en un momento se solidificó. Llegamos al punto y se desvaneció. Retomamos a darle a la manija de la fragua y fundió nuevamente. Al producir la colada nos dificultó no haber corrido o roto la superficie (escorias) del metal fundido que no caía y en un momento cayó de golpe desbordando el molde y desperdiciando parte del material.



Fabricación de la fragua

Para la fundición de los metales optamos por utilizar una de las fraguas más antiguas, en la que se da aire manualmente a través de una manija, la que describe Silo en la Charla "La Piedra", del año 2003:

"...Respecto a la fragua de desecho que han conseguido, se necesita una chapa llena de perforaciones. El fuego, el calor, va a venir de la perforación para arriba así que no hay problema con que esté un poco frágil. De la perforación para arriba va a venir el fuego, siempre el fuego va arriba, igual que en las toberas; es a la distancia de donde sale el gas. Entonces acá se dispone todo: la parabólica y después se pone ladrillos refractarios en esa parábola, entonces aprovechas el calor para hacer una fragua que te sirva para fundir. ¿Para qué lo quieres a todo esto, acaso para forjar el hierro? Eso tiene gusto a poco. Lo quieres para fundir. Entonces acá el aireador. Un aireador chiquito, barato, que muchas veces se usa para sacar el humo de las cocinas, un extractor. Ese extractor lo pones al revés y le das aire. Todo al revés. 1200°, bronce fundido!, 1300 hierro fundido! Entonces esto: como tiene una buena distancia, se le deja el agujerito, se ponen las rejillas y luego empieza a forrárselo con refractarios para darle la forma. En la rejilla apoyas el crisol y pones el coke. De todos modos siempre se cuela algo y para eso tienes el cenicero acá abajo y cuando terminas el trabajo lo abres y descartas lo que

está adentro para que no se llene eso porque si está lleno no te llega el aire. Y ya está. Lo prendes y cuando empieza a arder el coke le das un poco de aire descorriendo la chapa de salida del motor. Un poco y luego sigues descorriendo la salida del aire y se empieza a incendiar el todo el coke hasta que al final le das todo el aire. Al coke lo has ido colocando en la periferia del centro ardiente. Lo que está adentro, al lado del crisol, es lo más caliente, entonces lo vas arrimando desde afuera y lo que está mas cerca es lo más caliente y entonces lo vas cargando desde afuera y siempre lo vas arrimando. Así, en media hora estas fundiendo hierro. Desde luego que para esto tienes que contar con un crisol que ya es otro tema. Algunos crisoles son de carburo de silicio hasta 1200°. También hemos hecho crisoles de grafito que se han puesto al rojo, los hemos tirado al agua y han aguantado el choque térmico. Buen material, apto para aguantar 1500 °C.

Armado de la fragua-horno

Como todo nuestro trabajo de fundición se realizó siempre a la intemperie, primero a cielo abierto después bajo techo, la temperatura del medio ambiente fue condicionando en parte las fundiciones, ya que las mismas requerían de un mayor grado de temperatura a la habitual cuando se trabaja en espacios cerrados, lo que nos llevó a ir perfeccionando poco a poco la fragua hasta convertirla en una "suerte de horno".



- Se encuentra en una *Chatarrería* una *Fraguita* con su correspondiente *Tobera*. Éstas fueron soldadas a una mesa de carpintería junto con una llanta de auto, que fue revestida por dentro con material refractario para cumplir la función de *Fragua*. Al costado de la mesa, se adjuntó una rejilla metálica para apoyar con comodidad los crisoles y las herramientas.

- Se utilizaron al principio crisoles refractarios demasiado grandes y altos en relación a la cantidad de metal a fundir y al tamaño de la fragua. El coque sólo los cubría hasta la mitad, por lo que no se alcanzaba la temperatura necesaria, cuyo indicador consistía en obtener el crisol al rojo. Se comenzaron a utilizar crisoles de mediano tamaño.



-Se agregó a la llanta (la fragua) una chapa de acero revestida también por dentro con cemento refractario. En el interior de la fragua, fueron adosados a las paredes algunos ladrillos refractarios, para conservar mejor el calor, hacer más presión, y utilizar una menor cantidad de coque.



- Se cubrió todo con una tapa metálica, lo que elevó más aún la altura de la fragua, protegió al crisol del frío del aire y se lograron superar los 900° y fundir el bronce.



Para fundir cobre, metal que requería de unos 1100° aprox. se decidió colocar en la parte de arriba de la fragua una suerte de chimenea para tener un mayor tiraje. Esto se había comprobado anteriormente al colocar en los bordes de arriba la fragua varios ladrillos refractarios, uno encima de otro y luego cubrirlos con la tapa.

- Se incorporó a la fragua un nuevo componente; un cilindro metálico que encajó perfectamente dentro de la fragua, que tenía varios agujeros a los costados por donde circulaba el aire y encendía con mayor intensidad las brazas. El cilindro venía junto con un ventilote o sombrero giratorio, algo combado en su parte más alta, por lo que el



calor circula regresando en parte al crisol y al metal a fundir, aportando una mayor temperatura, además de dar un buen tiraje.

- En la parte inferior de la fragua, se instaló un secador de pelo adicionado con un caño de metal, pegado al cenicero de la misma, lo que aportó una constante cantidad de aire caliente. Esto en conjunto permitió fundir cobre en sólo 20 minutos y en un tiempo menor aún, en una segunda fundición.



De aquí se comprende la importancia que tiene la aplicación inteligente del aire en el manejo de la temperatura del fuego. Al dirigir una corriente de aire a la combustión de las brazas, se debe tener en cuenta que el volumen de aire que ingresa y su constante presión, tanto en forma manual como mecánica, debe ser constante y controlada.

Los moldes

Se utilizan 2 tipos de moldes: los de yeso-cuarzo para metales de baja temperatura de fusión y los de arena verde para los metales que funden a más de 800 °C aproximadamente.

Moldes de yeso-cuarzo:

- Se fabrican o ya se cuenta con moldes de caucho de siliconas.
- Se prepara la cera: 70% cera virgen, 15% parafina y 15% resina vegetal.
- Se funde todo en un calentador eléctrico o en hornalla de gas y se vuelca en el molde de caucho elegido.
- Cuando la cera se solidifica, se extrae del molde y si hubiera defectos se corrigen manualmente.
- Se pega el modelo de cera en la base de una cuna de cartón, para que no se levante cuando se vuelque el yeso y se cubre con vaselina.



- Se prepara la mezcla de 1 medida de yeso, 1 medida de cuarzo y 1 medida de agua. Es importante no excederse con el agua para que la mezcla no resulte muy líquida y el modelo se eleve de la base de la cuna, porque éste quedaría tapado por el yeso.

Es conveniente calcular la cantidad de yeso para un solo molde, porque fragua muy rápido.

Cuando el molde esté completamente seco, se introduce en el horno para que la cera se derrita.

Para cuando se cuele el metal, el molde debe calentarse previamente y estar totalmente seco, así se evita que sea inflamable.

Moldes de arena verde

Se parte de la mezcla de 84% de arena (tamizada lo más fina posible) con un 15% de bentonita y una cantidad moderada de agua. Es muy importante que no haya exceso de agua. Se puede ir agregándola con un rociador. Conviene que la bentonita se humedezca previamente y que quede totalmente incorporada a la arena. Para probar que la mezcla tiene la humedad necesaria, se toma un puñado y se parte en dos. La mezcla debe quedar firme y no debe adherirse a las manos.



Otras proporciones posibles:

90% de arena de sílice, 7% de arcilla y 3% de agua

84% de arena, 12% de bentonita y 4% de carbonilla, ésta última absorbe los gases de los metales. Es apropiada para el hierro, pero no es conveniente para el cobre, porque altera su color.

Para fabricar el molde, se espolvorea el modelo con talco, se cubre con la arena y se presiona con las manos para compactarla. Luego se lo incluye en un tasel de madera, que se va rellenando de a poco y se compacta lo máximo posible, puede ser con un palo de madera. Luego se invierte y se retira el modelo con mucho cuidado, evitando que la arena se desmorone.

La ventaja de los moldes de arena verde es que pueden volver a usarse, añadiéndole agua y además resultan más económicos. Con los moldes de yeso-cuarzo se obtiene un copiado mucho mejor.

Lingoteras

Son de hierro fundido, necesarias para verter el sobrante de metal, o para hacer lingotes con el propósito de obtener un metal purificado. También se pueden hacer con arena verde.



Crisoles

Pueden ser comprados o pueden fabricarse.

Se utiliza un horno para cocer los crisoles de carburo de silicio, utilizando recipientes de acero inoxidable para moldearlos y para que se mantengan firmes hasta su secado.

La composición es: 1 parte de caolín, 1 parte de grafito, 1 parte de carburo de silicio.

Se cocinan en atmósfera reductora. Primero a 400 °C, luego bajar temperatura del horno a 0 °C y nueva cocida hasta los 600 °C, apagar y luego llevar la temperatura hasta los 800 °C y allí dejar cocer un tiempo.

Después hay que hacer el engobe con silicato de sodio líquido y finalmente cocerlos a 1200 °C. Esta última cocción puede hacerse en la fragua cubriéndolo con las brazas. Para controlar la temperatura del horno, si no se cuenta con pirómetro, se utilizan conos pirométricos.



Proceso de la fundición.

El proceso que se va a describir es el de fundición con una fragua manual.

Se trató de ir progresivamente fundiendo metales de menor a mayor punto de fusión y de lograr mayor temperatura en menor tiempo y con menor consumo de coque.

- Se enciende la fragua primero con madera y carbón. Después se agrega el coque, que tarda más en ponerse al rojo. En el centro se coloca el crisol vacío rodeado de coque para ir calentándolo.



- A medida que los trozos de coque se van consumiendo, se arrian los que están a los costados a los bordes al crisol, y se va agregando en los bordes externos de la fragua una nueva cantidad de coque.

- Se coloca en el crisol el metal a fundir y se tapa. Más tarde se le agrega una cucharadita de bórax, que actúa como fundente.

- En las aleaciones, primero se coloca el metal de mayor grado de fusión.

- En los metales que funden a baja temperatura, es conveniente mantener la temperatura hasta que funden, porque si se la aumenta más allá de punto de fusión pueden evaporarse. Tal el caso del zinc y del antimonio ya que se convierten en óxidos/sales. En cuanto al magnesio, no resulta muy apto para ser colado en moldes, sino quizá para agregar en pequeñas cantidades en aleaciones.



- En los metales que funden a altas temperaturas, se dejan más tiempo en la fragua después de fundidos, para poder verterlos en los moldes sin que vuelvan rápidamente a endurecerse.



- Se cubre la fragua con una tapa para mantener la temperatura y acelerar el proceso.

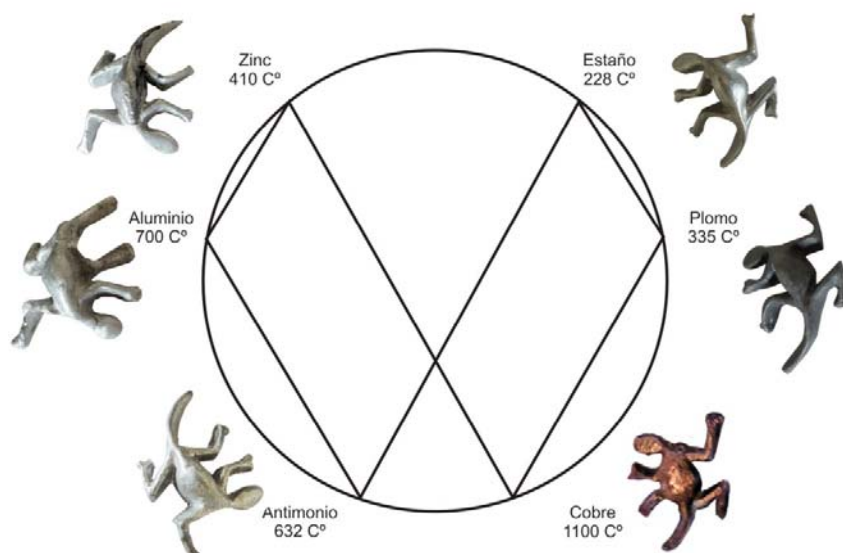
- Antes de verter el metal hay que retirar la escoria (por ej. en el bronce) con una herramienta apropiada que se calienta previamente, para no enfriar el metal.

- Las pinzas, con brazos largos, deben ajustarse firmemente al crisol, y el pico del mismo, debe quedar siempre dirigido hacia el lado en que están los moldes para llenarlos con comodidad.

- Al verter el metal fundido, los moldes y lingoteras tienen que estar calientes. Es importante la forma, el cuidado en que se vierte el metal para llenar el molde totalmente y también evitar que el metal desborde. Como en la fragua no se utiliza pirómetro para medir las temperaturas, hay que ir agudizando la observación de los colores, los vapores, etc., e ir graduando al dar aire con la fragua, para saber cuándo una temperatura requiere ser mantenida o aumentada. Un indicador de que el metal se está fundiendo es cuando el crisol está completamente al rojo.



Eneagrama con la figura de la salamandra que se hizo con cada uno de los metales para comprobar y cotejar sus propiedades.



Trabajo en equipo

El Oficio puesto en marcha por un equipo es el ámbito adecuado para la aplicación de todos los Principios de Acción Válida, tanto al tomar decisiones como en la relación entre los participantes, como ante el trabajo mismo. Se trata de crear un ámbito apropiado para que cada participante manifieste sus cualidades positivas, sus afinidades y así el conjunto puede llevar adelante un proyecto con mayor eficacia y permanencia. Uno de los aspectos más importantes a considerar es el desarrollo, la evolución que va teniendo un equipo de trabajo donde se toma en consideración el tiempo de comprensión y de acción que requiere cada uno de los partícipes, además de reconocer y apreciar aportes e iniciativas individuales.

Relación entre los Oficios Espagíricos y la Disciplina Material

Los tres oficios espagíricos, Jardinería, Medicina Natural y Metalurgia proponen a quienes van a llevar o ya llevan adelante un trabajo disciplinario una actividad donde el operador adquiere conocimientos, formación y experiencia práctica. Estos tres oficios coinciden entre sí, ya que en todos **se trabaja manualmente con cosas, con determinados objetos.**

En *Jardinería*, el operador debe atender básicamente al factor tiempo. A los tiempos estacionales, a los ciclos diurnos y nocturnos, pero sobre todo a los tiempos que requieren la formación y el desarrollo de una determinada planta, desde el sembrado de la semilla en la tierra, la que a su vez debe anteriormente estar convenientemente preparada, hasta el crecimiento definitivo de la planta o árbol y la recolección de sus flores, frutos y semillas.

En *Medicina Natural*, el operador trabaja con plantas medicinales, con sus raíces, tallos, hojas, frutos, cortezas, flores, etc., y a través de diversos procedimientos, extracciones y preparados, se obtienen las sustancias madres que luego son utilizadas para la ponderación de su acción sobre el cuerpo humano. Además el operador se va familiarizando y adquiriendo pericia en el manejo del instrumental de laboratorio.

En *Metalurgia* se trabaja con minerales y metales, lo cual hace que este oficio esté quizá más directamente relacionado con la Disciplina Material, ya que allí se trabaja con las mismas materias primas con las que después se ha de trabajar en dicha Disciplina, que además se encuentran también como componentes químicos en gramos y miligramos en todo cuerpo humano, tales como, Plomo, Cobre, Estaño, Mercurio, Antimonio, Plata, Azufre, Potasio, Cloro, etc.

Observaciones finales

En la antigüedad se consideraba a los minerales y metales como seres vivos que la Naturaleza iba procesando en el interior de la Tierra. Desde el momento en que el hombre pudo producir, dirigir y regular el fuego, intentó acelerar los tiempos de la Naturaleza extrayendo los metales de los minerales para luego producir una gran diversidad de objetos con los mismos.

La Naturaleza siempre fue la mayor enseñanza para el desarrollo de todas las actividades humanas. En este caso es válido comparar los minerales y metales con la experiencia en la vida. El metal se encuentra en general confundido en un mineral junto con otros metales. Debe ser extraído y debidamente valorado para que adquiera su identidad. Además el hombre fue descubriendo que era necesario alejar un metal con otro u otros para hacerlos más efectivos en sus aplicaciones. Lo más interesante del Oficio fue comprobar esas propiedades en los metales utilizados y comprender que la proporción que se establece en esas aleaciones es fundamental para optimizar su función y también cada metal requiere un tratamiento diferente en cuanto tiempo, temperatura y afinidad con otros metales para que sus propiedades puedan aprovecharse al máximo.

Una ampliación de este Oficio podría consistir en la extracción y fundición de metales a partir de los minerales como también el trabajo con el hierro, que requiere de una temperatura muy elevada. Sin embargo consideramos que el grado de desarrollo del Oficio al que llegamos hasta aquí, es suficiente para preparar y orientar al operador en la dirección de una Disciplina de Escuela.

Pedro Calderón – Eduardo. Cicari – Alberto. Garcia – Alicia Lejtman

Buenos Aires, Septiembre 2014

Bibliografía

- 1.- *Charla “La Piedra”* - Silo, 19 de noviembre de 2003 – Santiago, Chile
- 2.- *Cosmología y Alquimia Babilónicas* – Micea Elíade – Ediciones Paidós – 1ª edición 1993
- 3.- *Tratado práctico de Fundición y Moldeo de los Metales y Aleaciones* – J. Duponchelle – Casa Editorial Araluce – Barcelona – Ed. 1930
- 4.- *Bronces sin nombre: la Metalurgia Prehispánica en el Noroeste Argentino* – Luis R. González – Ediciones Fundación Ceppa – 1ª edición 2004 – Argentina
- 5.- *Metalurgia* – E. L Rhead – Editorial Labor – 2ª Edición 1938 – Barcelona
- 6.- *Herreros y Alquimistas* – Micea Elíade – El libro de Bolsillo – 2ª Ed. 1983