

SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



CONACULTA



INBA



INBA Digital

Repositorio de investigación y educación artísticas
del Instituto Nacional de Bellas Artes

ESCUELA DE ARTESANÍAS

TÉCNICAS ARTESANALES BÁSICAS PARA EL TRABAJO
DEL HIERRO

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

TÉCNICO ARTESANAL EN METALES

PRESENTA

JORGE LUIS ÁLVAREZ BLANQUET

MÉXICO, D. F.
2011

www.inbadigital.bellasartes.gob.mx

Formato digital para uso educativo sin fines de lucro.

Cómo citar este documento: Álvarez Blanquet, Jorge Luis . Técnicas artesanales básicas para el trabajo del hierro, Escuela de Artesanías/INBA/CONACULTA, México, D.F., 2011. (El original se encuentra en la Biblioteca de la Escuela de Artesanías).

Descriptores Temáticos: Técnicas de trabajo del hierro en frío y técnicas de trabajo del hierro en caliente.



**INSTITUTO NACIONAL DE BELLAS ARTES Y LITERATURA
ESCUELA DE ARTESANÍAS**

**TÉCNICAS ARTESANALES BÁSICAS PARA EL TRABAJO
DEL HIERRO**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
TÉCNICO ARTESANAL EN METALES

PRESENTA
JORGE LUIS ÁLVAREZ BLANQUET

MÉXICO, D. F.

2011



i
INSTITUTO NACIONAL DE BELLAS ARTES
ESCUELA DE ARTESANIAS
BIBLIOTECA
"JOSÉ CHÁVEZ MORADO"

OF/DIR/SA/161/11.

México, D.F., a 04 de abril de 2011.

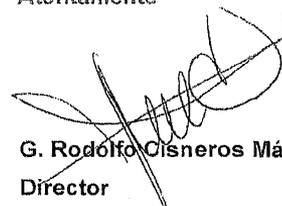
C. Jorge Luis Álvarez Blanquet,

Presente.

Con el gusto de saludarle, me permito informar a usted que su proyecto de titulación en modalidad de tesis "**Técnicas Artesanales Básicas para el trabajo del Hierro**", ha sido aprobado por los asesores asignados y por el Consejo Académico en funciones, por lo cual le notifico que procede su culminación de egreso profesional.

Asimismo le expreso mi beneplácito y felicitación por la conclusión de sus estudios técnicos profesionales en nuestra institución, exhortándole a que con ese mismo trabajo constante y sostenido, concluya su proceso de titulación como Técnico Artesanal en Metales, en la Escuela de Artesanías del Instituto Nacional de Bellas Artes y Literatura.

Atentamente



G. Rodolfo Cisneros Márquez
Director

"...la experiencia nace de muchos recuerdos acumulados, y en cambio la técnica nace cuando a partir de un conjunto de nociones empíricas, se logra unificar un juicio..."

Aristóteles, Metafísica.

"...el deseo de algo es la fuente del conocimiento, y el deseo es tanto más ferviente cuanto más cierto es el conocimiento..."

Leonardo da Vinci, cuaderno de notas.

"...Cuando creamos la EDA, buscábamos soluciones y técnicas modernas para las artesanías urbanas contemporáneas; abrir un espacio creativo y social para la clase media, tan desligada entonces y aún ahora de la producción, sea esta artesanal o industrial..."

José Chávez Morado

Del catálogo exposición-homenaje al arte popular, EDA 1988.

AGRADECIMIENTOS

Dedico esta tesis a mi familia.

Al apoyo incondicional de mi padre el maestro Antonio Álvarez Portugal;

Mi madre Rosa Esther Blanquet y mi hermano Antonio Paul, a Kenneth y

Leonardo por su amor y su presencia.

Y a Karina por los instantes vividos.

Contenido

INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO 1	17
1 NOTAS SOBRE EL TRABAJO DE LOS METALES	17
1.1. El trabajo de los metales en Europa	17
1.2. El trabajo de los metales en México	50
CAPÍTULO 2	71
2. TÉCNICAS DE TRABAJO DEL HIERRO EN FRÍO	71
2. 1. Técnicas de corte con herramientas manuales	71
2.1. 1.Corte con sierra de arco	71
2.2. Corte con tijera, pinzas y cizalla	77
2.3. El corte con limas	83
2.4. Corte y desbaste con abrasivos.....	88
2.5. Corte con máquina herramienta	97
2.5.1 El uso artesanal de las máquinas	97
2.5.2 Corte con sierra ingletadora.....	100
2.5.3. Corte con esmeril.....	101
2.5.4. El uso del taladro	103
2.5.5 Técnica de repujado en plano y en volumen	109
2.5.6. Técnica de lámina ensamblada	115
Capítulo 3.....	118
3. TÉCNICAS DE TRABAJO DEL HIERRO EN CALIENTE	118
3. 1. Fuego y hierro como materiales de trabajo.....	118
3.1. 1. Herreros, metalurgistas y fundidores	120
3.1.2. ¿Por qué el hierro es un material plástico?.....	133

3.2. Técnica de forja	136
3.2.1. El equipo mínimo para forjado: La fragua, el yunque y las herramientas.....	140
3.2.2. Movimientos básicos de forjado: doblado, aplanado y estirado.....	157
3.3. Técnica de soldadura de arco eléctrico.	158
3.3.1. ¿Cómo funciona una soldadora?	159
3.3.2. Los electrodos	169
3.3.3. Posiciones básicas de soldadura de arco.....	175
3.3.4. Defectos de soldadura y medidas de seguridad.....	179
3.3.5. Medidas de seguridad en el trabajo de soldadura.	189
3.4. Técnica de soldadura con oxiacetileno.	193
3.4.1. El equipo de oxiacetileno.	193
3.4.2. El ajuste de la flama oxiacetilénica.	204
3.4.3. La seguridad en el manejo del equipo oxiacetileno.	206
Conclusiones.....	208
BIBLIOGRAFÍA	211

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Hoja de cuchillo forjada con "Acero de Damasco".	29
Ilustración 2 Pilar de Delhi.....	31
Ilustración 3 Peineta de hierro.....	32
Ilustración 4 Taller de herrería Hitita.	33
Ilustración 5 Campanas para ganado del s.XVIII	37
Ilustración 6 Campana de hierro del s. XVI.....	37
Ilustración 7 Taller de herrería del s. XIX.	47
Ilustración 8 Mapa de las principales zonas mineras en el México mesoamericano.....	51
Ilustración 9 Los documentos sobre la metalistería mesoamericana son pocos, pues mucho fue destruido. Pero algunos relatos novohispanos describen ciertos procesos artesanales.....	55
Ilustración 10 Taller artesanal del s.XIX Se observa en la foto el uso de maquinas-herramientas. Consecuencia directa de la revolución industrial.	64
Ilustración 11 Lentes de protección.....	71
Ilustración 12 Arcos con segueta.	72
Ilustración 13 Números de dientes por pulgada	73
Ilustración 14 Inclinaciones de la segueta al cortar	75
Ilustración 15 Inclinaciones de la segueta al cortar	76
Ilustración 16 Al iniciar un corte sobre superficie curva conviene inclinar la segueta.	76
Ilustración 17 Tijera curva, para cortes redondos.....	79
Ilustración 18 Tijeras para lámina de diferentes tamaños	79
Ilustración 19 Tijera para usos múltiples.	79
Ilustración 20 Tijeras tipo aviador.....	79
Ilustración 21 Tijeras descentradas para hojalata.	79
Ilustración 22 Tijeras tipo Bulldog para hojalata.....	79
Ilustración 23 Diferentes tipos de pinzas.....	81
Ilustración 24 Cizalla de base.....	82

Ilustración 25 Cizalla de palanca de mano.....	82
Ilustración 26 Partes de una lima.....	83
Ilustración 27 Forma de la hoja de las limas.....	85
Ilustración 28 Picado horizontal y picado diagonal.....	86
Ilustración 29 Picado entrecruzado.....	87
Ilustración 30 Esquema general de un abrasivo.....	93
Ilustración 31 Esquema de medidas de seguridad.....	99
Ilustración 32 Sierra ingletadora.....	100
Ilustración 33 Brocas.....	104
Ilustración 34 Diferentes tipos de cinceles.....	117
Ilustración 35 Trabajo de forja del s. XV.....	121
Ilustración 36 Esquema de un horno de Reverbero.....	124
Ilustración 37 Esquema de un alto horno.....	126
Ilustración 38 Esquema de un alto horno (vista frontal).....	127
Ilustración 39 Laminado en caliente.....	130
Ilustración 40 Laminación por colada continua, de hojas de lámina metálica (lámina negra).....	131
Ilustración 41 Una forma de laminado.....	132
Ilustración 42 Perfiles metálicos (acero para construcción).....	133
Ilustración 43 Estructura cristalina del hierro.....	135
Ilustración 44 Fuelle de pie.....	143
Ilustración 45 Posición del fuelle.....	143
Ilustración 46 Yunque antiguo.....	148
Ilustración 47 Partes del Yunque.....	149
Ilustración 48 Martillo-tajadera.....	151
Ilustración 49 Martillos.....	152
Ilustración 50 Tenazas.....	153
Ilustración 51 Tenazas ligeras para forja.....	153
Ilustración 52 Tenazas antiguas.....	153
Ilustración 53 Cinceles.....	154
Ilustración 54 Diferentes tipos de cinceles.....	155

Ilustración 55 Soldadora de arco eléctrico.....	158
Ilustración 56 Esquema de un circuito eléctrico.....	161
Ilustración 57 La soldadura.....	162
Ilustración 58 Flujo de la corriente.....	163
Ilustración 59 Flujo de electrones.....	164
Ilustración 60 Esquemas de corriente directa (CD) y corriente alterna (CA).....	165
Ilustración 61 Soldadura.....	167
Ilustración 62 Formación del arco voltaico.....	168
Ilustración 63 Trabajos de soldadura.....	168
Ilustración 64 Esquema del arco eléctrico.....	170
Ilustración 65 Siglas de la clasificación AWS.....	172
Ilustración 66 Electrodo.....	173
Ilustración 67 Diferentes tipos de portaelectrodos.....	173
Ilustración 68 Equipo de soldadura.....	174
Ilustración 69 Posición correcta para soldar.....	175
Ilustración 70 Avance de un cordón de soldadura.....	176
Ilustración 71 Velocidad de avance del cordón;.....	177
Ilustración 72 Fenómeno del soplo de arco:.....	180
Ilustración 73 Inclusión de escoria.....	180
Ilustración 74 Sección transversal de la soldadura.....	181
Ilustración 75 Defectos de soldadura.....	182
Ilustración 76 Porosidad lineal.....	183
Ilustración 77 Porosidad uniformemente distribuida.....	185
Ilustración 78 Porosidad globular.....	185
Ilustración 79 Agrietamiento debajo del cordón.....	186
Ilustración 80 Agrietamiento en soldadura.....	185
Ilustración 81 Grietas en un cordón.....	194
Ilustración 82 Esquema de los diferentes tipos de grietas en soldadura.....	187
Ilustración 83 Equipo para soldadura de Oxiacetileno.....	194
Ilustración 84 Corte transversal de los cilindros de acetileno y oxígeno.....	197
Ilustración 85 Diferentes tamaños de los cilindros de oxígeno.....	197
Ilustración 86 Diferentes tamaños de los cilindros de acetileno.....	197
Ilustración 87 Esquema de un regulador sencillo.....	201

Ilustración 88 Manómetro.....	201
Ilustración 89 Tuercas invertidas en equipos de oxígeno y acetileno.....	202
Ilustración 90 Soplete de oxiacetileno.....	203
Ilustración 91 Diferentes tipos de flama oxiacetilénica.....	204
Ilustración 92 Temperaturas de la flama oxiacetilénica.....	205

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de pinzas	80
Tabla 2 Tipos de limas	86
Tabla 3 Clasificación de abrasivos naturales.	90
Tabla 4 Tipos de lija	94
Tabla 5 Tipos de abrasivos	95
Tabla 6 Materiales abrasivos	102
Tabla 7 Tipo de malla.....	103
Tabla 8 Tipo y número de grano en abrasivos.	103
Tabla 9 Relación entre el material a trabajar, ángulo de la punta de la broca y cantidad de extracción de viruta al corte.	105
Tabla 10 Defectos en el uso de taladro.....	108
Tabla 11 Tipos de martillos y mazos	112
Tabla 12 Diferencias entre hierro y acero.	136
Tabla 13 Tonalidades y temperatura del hierro	144
Tabla 14 Defectos de enderezado.	157
Tabla 15 Técnica de soldadura de arco	178
Tabla 16 Grietas más comunes.....	188

INTRODUCCIÓN

Este trabajo trata sobre las técnicas que aprendí como alumno del taller de metales. El tema lo elegí por dos motivos: siendo el primero, un interés personal por transcribir mis conocimientos prácticos en un documento; el segundo, porque el tema de la técnica es un tópico necesario y previo para cualquier estudio de la pieza artesanal. Este tema me interesó una vez que, como artesano tenía ideas, bocetos e intuiciones de proyectos por realizar; pero me di cuenta que si no conocía previamente los componentes básicos del oficio técnico difícilmente podía llevar mis ideas y mi sentido estético en un objeto artesanal.

La dificultad de dominar el oficio técnico artesanal, se debe a que todo el proceso de proyección, diseño y ejecución técnica del trabajo está enfocado a un solo fin: la producción de un objeto. Es decir la producción de un objeto artesanal; de forma que se debe orientar todas estas etapas a un solo fin, pero considerando y partiendo de la técnica y el material como "un principio de realidad", donde se confronta todo proyecto e idea que uno se plantea. Puesto que, ¿de qué sirve ser una persona con gran sensibilidad, imaginación o grandes ideas si no se sabe cómo resolver un problema técnico? Pero al hablar de la técnica realmente no existe la técnica en abstracto. Más bien, cada técnica como caso particular impone sus propios problemas y sus propios efectos o resultados.

Realmente, si se desconocen los materiales y las herramientas adecuadas para trabajarlos; así como la naturaleza de cada material y sus reacciones, difícilmente se podrá concretar un proyecto. Con esta tesis expongo una parte de lo que llamo el saber práctico artesanal a partir de una exposición metódica de las técnicas básicas para trabajar el hierro.

Si como artesano me interesaba describir y analizar los momentos de cómo se trabaja en una técnica, mi tema no podía ser completamente teórico, sino que debía ser una investigación que tuviera una aplicación directa al taller. Resultando un texto que me ayudara a comprender mejor el proceso creativo

desde sus partes materiales: las herramientas y los materiales; que funcionan como elementos básicos del trabajo técnico artesanal.

La metodología de investigación que utilicé para esta descripción y análisis de los tres elementos de la técnica: el material, la herramienta y el proceso; es una analítica *descriptiva*. Es verdad que los procesos creativos no siempre responden a una estructura lógica como la que uso en el texto, pero didácticamente el conocimiento debe tener una estructura ordenada y coherente, por la cual se puede ver una unidad epistemológica comprensible (no fragmentada), esto no anula la experimentación ni la imaginación directa insertada en el propio conocimiento. Una *analítica descriptiva de las técnicas*; parte de analizar o descomponer racionalmente (lógicamente), la totalidad de un fenómeno en cada una de sus partes. La analítica (como método y actitud racional), supone entonces que el objeto estudiado es un "todo" complejo, y su descomposición en partes simples, evidentes y sencillas; lleva al investigador a comprender la estructura del todo.

La totalidad del trabajo sigue el mismo orden analítico. Construyendo la información de modo sistemático, a partir de una descripción razonada de los elementos básicos de las técnicas de metales. Este orden expositivo, es el mismo que se enseña en el taller de metales; y que parte de la comprensión de operaciones sencillas como cortar un alambón a las más complejas y de mayor responsabilidad, como puede ser el uso de un equipo de soldadura.

Ya que se trata de técnicas básicas o fundamentales, he incluido únicamente las técnicas más generales, que son:

1. Técnica de corte.
2. Técnica de repujado.
3. Técnica de forjado.
4. Técnica de soldadura con arco eléctrico.
5. Técnica de soldadura con oxiacetileno.

Cada una de las cinco técnicas es descrita según su orden progresivo de dificultad. De las más sencillas (técnicas de corte, repujado y forja en frío) a las más complicadas (técnicas de forja en caliente y los dos tipos de soldaduras).

La descripción trata sobre los tres elementos materiales que son necesarios para el trabajo artesanal del hierro, éstos son:

El material.

Las herramientas.

El proceso (las normas prácticas mínimas para hacer uso de la herramienta y el material, así como la seguridad que exige cada técnica).

Debo aclarar que esta tesis se centra solamente en una descripción de los componentes técnicos y materiales para trabajar el hierro. No incluyo otros factores que suelen ser complementarios al trabajo técnico, como son: sensibilidad, imaginación, educación visual y el diseño artesanal. Aunque estos apartados son igual de importantes como el tema de la técnica, debido a su profundidad se deben tratar de forma independiente. Como he mencionado, el análisis descriptivo parte de mi propia experiencia como artesano que domina de cada una de las técnicas. Sin embargo, muchas de mis afirmaciones las he apoyado en información documental, que proviene de áreas como la historia de la cultura, historia de la tecnología, manuales de herrería y de la ingeniería metalmecánica; con esto pretendo que mi trabajo no sea solo una enumeración de experiencias personales, sino que esté fundamentado en información más objetiva. También he incluido imágenes y tablas gráficas, que ayudan a una comprensión didáctica.

El contenido de los tres capítulos es el siguiente:

Capítulo 1: *Notas sobre el desarrollo artesanal del hierro*. Consta de dos apartados: *De los yunques de piedra a los altos hornos*, y *El trabajo de los metales en México*. Este capítulo aborda el desarrollo histórico del trabajo de los metales en diferentes culturas. El objetivo es servir como marco histórico y cultural, para comprender la evolución técnico-tecnológica que sufrió el hierro para convertirse en acero - lo que actualmente trabajamos como aceros o

perfiles comerciales-. La metodología que utilicé fue cotejando la información de diversas fuentes con ayuda de las técnicas de investigación documental.

Los capítulos 2 y 3 tratan específicamente de la técnica. El método que manejé es el de la *descripción analítica* (razonada), complementado por técnicas de investigación documental.

El capítulo 2: *Técnicas de trabajo del hierro en frío*, consta de tres partes. La primera se titula: *Técnicas de corte con herramientas manuales*. En ella explico cinco técnicas para cortar hierro y/o acero con herramientas manuales, como son: la sierra de arco (segueta), las tijeras, pinzas y cizalla, las limas, los abrasivos y el corte de hojalata.

La segunda parte se llama *Técnicas de corte con máquina-herramienta*. En este apartado explico el uso de cuatro máquinas que sirven para cortar, perforar y esmerilar hierro o acero. Incluyo las máquinas de sierra ingletadora, el esmeril de mano, la rectificadora, el taladro de mano y de base. También incorporo notas sobre la seguridad que se debe tener con cada máquina.

La tercera y última parte de este capítulo trata sobre el repujado de lámina, la llamada lámina negra o lámina de acero.

Capítulo 3: *Técnicas del trabajo del hierro en caliente*. Expongo las tres técnicas principales con las que se trabaja el hierro calentándolo. Está dividido en cuatro partes. La primera, cuyo nombre es *Introducción al trabajo de la forja* explica el desarrollo que tuvo el conocimiento técnico del hierro, para volverse un material industrial: acero. Y cómo en un origen, los herreros eran también metalurgistas y fundidores. De ahí que el trabajo de forja siempre se encuentre íntimamente relacionado con problemas de metalurgia. También explico en qué consiste la estructura del hierro, que le permite ser un material plástico y maleable.

La segunda parte titulada: *Técnica de forja*, y es la exposición de esta técnica. Primero explico *El equipo mínimo para forjado: La fragua, el yunque, herramientas*. Y posteriormente comento sobre los *movimientos básicos del forjado: doblado, aplanado y estirado*.

En la tercera parte: *Técnica de soldadura con arco eléctrico*, explico cómo funciona una soldadora, los tipos de electrodos, las posiciones básicas para soldar, los defectos de una soldadura (que pueden ser por varias razones), y las medidas de seguridad en el trabajo de soldadura.

En la cuarta: *Técnica de soldadura con oxiacetileno* comento en tres partes, los componentes del equipo oxiacetileno, el ajuste de flama y las medidas de seguridad para manejar este equipo.

CAPÍTULO 1

1 NOTAS SOBRE EL TRABAJO DE LOS METALES

1.1. El trabajo de los metales en Europa.

Hace más de tres milenios que se utiliza el hierro. Inicialmente se usaba el hierro de rocas meteóricas, éstas caían del espacio exterior atravesando la estratósfera e incrustándose en la tierra hasta que alguien las descubría. Por esto, algunos estudiosos como Mircea Eliade relacionan el hierro con un origen celeste, según el vocablo griego "*sideros*"¹, equivalente a *Sidus-eris* o *estrella-brillante*. Aunque el hierro es uno de los materiales más abundantes de la naturaleza, su uso evolucionó de forma lenta; ya que los primeros trabajadores no sabían cómo reducir sus contenidos de carbón, ni mucho menos se tenían técnicas seguras para fundirlo. Los primeros trabajadores del hierro meteórico, recorrían las laderas de los montes tras las lluvias, buscando alguna piedra de este metal.

Era sin embargo, un material difícil de trabajar, primero porque no se hallaba "a pie de tierra" o tirado en el suelo, y segundo por su dureza extrema que resiste al martilleo al grado de ser muy pocas las rocas meteóricas forjables. En aquellos tiempos las técnicas que se conocían venían del paleolítico, siendo la más usada la de "piedra sobre piedra", consistía en golpear el mineral sobre una loza de piedra rígida. Era precisamente con este golpeteo de ambas piedras chocando, que simulaban la función de martillo y yunque para deformar el material. Con esta técnica se crearon pequeñas hachas mano, mazos, punzones, puntas de lanza y agujas de costura, entre otros objetos.

Todas las técnicas de la Edad de Piedra antigua fueron mejoradas, así como los objetos, que si bien seguían siendo de piedra, ramas y fibras, su "diseño" era más elaborado y presentaban las primeras muestras de ornamentación. En estos inicios del desarrollo técnico surgen armas básicas

¹ MARTINEZ, Gómez. *Acero*. México, editorial FCE, 2003. p.11.

como el arco, la flecha y la rueda. Surge también la alfarería, el cultivo de la tierra y la domesticación de animales. Todos estos avances son muy relevantes para el desarrollo del trabajo de los metales, pues fueron generando el ambiente cultural para una metalurgia antigua. Por ejemplo, las técnicas alfareras de cocido a la leña fueron adaptadas en un primer momento al desarrollo de un horno para metales recocidos (mucho después vendrá el fundido).

El establecimiento de un horno, así como el desarrollo de la extracción de minerales metálicos, sólo fue posible cuando el ser humano se vuelve sedentario gracias al cultivo de la tierra y la ganadería. Después de que el sedentarismo triunfa la construcción de los primeros asentamientos sugiere a los investigadores² que se tuvo cierto tiempo libre; ya no era necesario recolectar frutos de monte a monte ni trabajar horas y horas buscando alimento a pie; sino que el alimento se cultivaba y se guardaba un excedente importante en graneros. El trabajo entonces se fue asignando a una sola actividad por persona. Así, los que araban la tierra se dedicaban sólo a arar, los constructores a construir, otros al cultivo del ganado y los artífices a producir objetos útiles como hachas, picos, puntas, ruedas, vasijas y piezas de barro cocido.

El trabajo artesanal nace en este contexto, pues ante los trabajos repartidos por niveles sociales muchos artífices comenzaron a perfeccionar sus piezas ante la demanda. Así mismo y por el contacto con otras piezas traídas de lejanos lugares el diseño se perfecciona y las técnicas se difunden de un lugar a otro y de taller en taller. El mismo mineral era traído de otras partes, pues las reservas no eran explotadas a profundidad, se trataba de una minería a cielo abierto que apenas si se rascaba la superficie del terreno para extraer el material. A estas asociaciones mineras, donde un grupo de hombres se juntaban para trabajar la tierra y extraer materias primas es lo que suele identificar como el nacimiento de la metalurgia³.

² BROM, Juan. *Esbozo de Historia Universal*, México, editorial Grijalbo 1965. p.24.

³ BRINKMANN, Donald. *El hombre y la técnica*. Argentina, editorial Galatea 1955 p.18

Esta actividad ya se hacía en el Paleolítico, pero era más bien el trabajo en actividades mineras asociadas al sílex o la obsidiana, piedras muy valiosas para la hechura de armas. Podemos decir entonces que si en el Paleolítico nace la minería con la extracción del sílex y la obsidiana, en el Neolítico estas técnicas mineras son desarrolladas con la extracción de nuevos minerales como el cobre, el oro, la plata y el trabajo del ya citado hierro meteórico. Naciendo así la metalurgia, como una especialización histórica de la minería. Bajo la clasificación del trabajo entre hombre y mujer, la metalurgia y la metalistería nacieron como una actividad aparentemente exclusivamente de los hombres. Esta forma de trabajo propició que algunos se dedicaron a organizar, contar y administrar estas extracciones; naciendo así, las castas administradoras del trabajo.

Estas castas administradoras del trabajo de otros y son precisamente los que desarrollan las ideas religiosas, las ciencias y las artes (música y poesía). El desarrollo especulativo de ideas religiosas y mítico-literarias sirvió para interpretar el mundo y terminó por reflejarse en el trabajo de los metales, gracias también a un sentimiento cosmológico innato en el ser humano, especialmente en los artesanos, pues muchas de sus piezas eran para uso ritual. El artesano como el antiguo pintor rupestre, podía tener atribuciones mágicas por medio de su trabajo, pues el material y el oficio mismo es obra de los dioses, o representa a los dioses. Esto sucedió con el oro y la plata, fueron metales divinos, elegidos por las castas sacerdotales-administrativas. Todas estas piezas metálicas fueron hechas con interés estrictamente mítico y religioso. Sólo muchos siglos después se llegaron a considerar "artísticas" o artesanales, pero en aquel entonces el término "*artesanía*"⁴ no existía como tal.

⁴ Desde el inicio del hombre han existido ciertos objetos que podemos llamar "artesanales". Pero, históricamente el término nació con la raíz griega "*τεχνη*" (*techne*) o técnica, que hacía alusión a un tipo de trabajo consciente y regulado, reproducible y enseñable. Esta definición puede resultar muy amplia y hasta ambigua, pero precisamente, nombraba muchas actividades productivas (no solo lo que hoy llamamos arte o artesanía). Sin embargo, con el curso de la historia la definición se fue haciendo más específica, y la *techne* (o *Ars*) relacionarse con los objetos artísticos y artesanales.

Cuando el vocablo "*τεχνη*" (*techne-técnica*), pasó a nombrarse "*Ars*" (arte- saber hacer) en la época latina. "*Ars*" seguía designando "el oficio que ejercía una persona", pero

La elaborada concepción de lo que actualmente entendemos por objeto artesanal, debe quedar anulada, para lograr ver estas piezas antiguas con la mirada del contexto que las vio nacer. Decir entonces que estos objetos son artesanía, es conveniente siempre y cuando se tenga conciencia de que muchos de sus valores estaban en función de otras necesidades, como la ritual.

Un ejemplo de este valor extra-utilitario atribuido a algunas piezas es en "...la producción metálica de Vinča en Yugoslavia, cuenta con hallazgos de gran cantidad de herramientas, adornos y distintas armas. Cuando los arqueólogos

puesto que existían muchos oficios, había entonces muchas artes: existía el *ars medica* (el arte del médico), *ars orandi* (el arte del orador), *ars secreta* (arte del mago), *ars poetica* (arte del poeta), y las artes de los artesanos entre otras más; el término era amplio pues cubría una amplitud de actividades productivas. Precisamente, un logro conceptual de los latinos fue que diferenciaron el *artifianus* (artesano) como el conocedor de un oficio distinto de los demás oficios, lo que hace ver que notaron una importancia en el trabajo de estos hombres; esta importancia era: la especialización.

A partir de la idea de artesano como especialista en un modo de trabajo, se reelabora la definición de *artesanía* en el S. XVII; definiéndose entonces, "lo artesanal" como el trabajo opuesto a "lo artístico". El Arte (las Bellas Artes) eran un trabajo técnico-manual igual que la artesanía, pero se diferenciaba por el uso de facultades intelectuales: el razonamiento, la imaginación, la geometría, la perspectiva, el estudio de la anatomía, el dibujo proyectivo, etc. Todas estas técnicas usadas por las bellas artes eran de "origen" mental (no manual). Así que *la definición de artesanía se hizo como la negación del Arte*: esto es, que si el arte procede intelectualmente, igual que algunas ciencias, es superior a la artesanía pues participa más del espíritu (arte es cosa mental), mientras que lo que no es Arte es un oficio meramente mecánico, esto es artesanía. Del S. XVII a mediados del S. XIX la artesanía se consideró el "*alter ego*" de las artes. Su valoración y definición venía determinada no por sus valores internos, sino por un criterio externo: el arte como "bello", una artesanía no podía (oficialmente) ser "bella" pues no era arte. Y sólo el arte era bello.

A partir del S.XX, con las vanguardias artísticas dotan a la reflexión estética nuevas categorías, como "*lo primitivo*" o *Naif*, *lo onírico*, *lo surreal*, o "*lo Folk*" o *popular*, etc. Que terminan por poner en crisis la idea hegemónica de "belleza" artística, ahora si el arte puede no ser bello. Diversos objetos del amplio universo de la estética pueden entrar, en un nuevo ideal estético.

Ápud. SORIAU, Etienne. Trad. Grasa I. *Diccionario de estética*. Madrid, editorial. Akal, 1990. p. 135-139

*estudiaron el uso de estas armas, descubrieron que no tenían una función utilitaria. Eran más bien objetos rituales, que nunca se usaban en condiciones cotidianas...*⁵

La concepción mítica, cosmológica y religiosa, es una realidad expresada de los materiales y las técnicas artesanales antiguas. De ahí que no sólo los metales lleguen a ser divinos, si no que el mismo artífice, se asocia por su trabajo a un don o iluminación, un "*saber hacer*" que es parte de la misma cosmovisión, un modo de "ser-estar"; y por ello su papel en la sociedad es altamente valorado. Por ejemplo, en el libro del Éxodo de la Biblia (Ex. 31, 1-11), se relata como Dios ilumina y prepara a Besalel, como artífice para la construcción y decoración de su templo; el tabernáculo de Dios. Su preparación inicia desde una tradición familiar de artesanos, al madurar el joven recibe dones para trabajar el oro, la plata, el bronce, la madera, distintas piedras y pieles curtidas. De suerte que salga de sus manos una pieza exquisita e incomparable al trabajo de cualquier otro artífice de su ramo.

La historia del artífice Besalel, constructor del primer Templo de Dios, es un relato que ejemplifica esta visión trascendente de los materiales y el oficio, y que exige para el artesano moderno una comprensión distinta. También en el libro del Génesis se habla de la espada reluciente del ángel que expulsa a Adán. Se entiende que esta espada era de un metal que producía fuego por sí mismo, cosa absolutamente imposible para un material ordinario, así que el metal conserva en este relato un vínculo directo con Dios. El metal es un material de origen divino. El pueblo Israelí - los miembros de la tribu de Judá - es también el que modela el becerro de oro, a partir de técnicas aprendidas durante su cautiverio en Egipto; con los oficios de textilera y orfebrería que Moisés supervisaba. Lo que los artesanos antiguos sitúan como parte de su trabajo, estaba fundamentado en dos realidades: la naturaleza y la técnica. Naturaleza como una cosmovisión; un modo de "ser y estar" en el cosmos. Esta actitud es la fuente originaria del trabajo artesanal, desde el material que

⁵ Metalurgia prehistórica (Documento en línea). Disponible en:

<http://www.anthropos.galeon.com/html/mealurgia.htm>. Consultado enero de 2009.

se elige para trabajarlo (materiales naturales y contexto geográfico), hasta la ideación o diseño de las piezas, determinadas por este conjunto de cosmovisiones interrelacionadas en los diferentes mitos. El conocimiento artesanal era así fruto de la experiencia del oficio, bajo la directriz del sentido cósmico, expresado físicamente en el trabajo de las materias primas y la consecuente producción de un objeto simbólico. A partir de este rico legado de creencias sobre el origen mítico del trabajo de los metales, tanto en Egipto, como en el pueblo Israelí y en otros pueblos antiguos; se llegaría a la Edad Media con los trabajos de alquimia, y las especulaciones sobre las propiedades mágicas y físicas de los metales y el fuego.

No se sabe exactamente cuál fue el primer metal fundido; aunque se cree que se trató de la "malaquita"⁶, que es un derivado de cobre color verde, y se usó como pigmento cosmético-ceremonial.

Lo que sí se sabe es que el cobre nativo o cobre mineral, se fundió y se introdujo en moldes ya en el s. V a C., tal como aparece en la antiquísima ciudad Persa de Susa. A causa de estas evidencias puede parecer indudable asegurar que el trabajo de los metales nació en Oriente, en Persia. Pero gracias al ajuste de las fechas por radiocarbono y al mejor conocimiento de varios registros arqueológicos, se sostiene mejor una posición *poligenista*. Es decir; que el nacimiento geográfico del trabajo de los metales fue un fenómeno que comenzó en distintos lugares a la vez.

"Primeramente, se dio en el Próximo Oriente (Persia), en un segundo momento en la Europa Balcánica donde aparecen "chapas" de cobre martillado en frío. Y finalmente, en el sur de la Península Ibérica. En todos los casos el trabajo del metal se dio de una manera independiente, de un lugar a otro".⁷

⁶ TREVOR, Williams. Trad. C. Caranci y otros. *Historia de la tecnología*. Vol. I, México editorial. S. XX p.166

⁷ Metalurgia prehistórica (Documento en línea). Disponible en: <http://www.entropos.galeon.com/html/mealurgia.htm>. Consultado enero de 2009.

Con las únicas características compartidas socialmente de que en todos los pueblos se hallaban zonas ricas en cobre de fácil explotación, con al menos cierto grado de complejización social, lo que denota un tipo de trabajador (minero y metalistero a la vez). También se contaba con relaciones comerciales; por las cuales se difundían objetos de prestigio, creados primeramente para los grupos privilegiados (las clases sacerdotales), objetos cuyo fin era mágico-religioso pero que poco a poco fueron emulados en versiones y adaptaciones a objetos utilitarios, destinados a otros sectores crecientes de la sociedad. Otros metales trabajados de esta manera fueron el oro, el platino, el plomo y la plata nativa, muy escasa en estado natural.

El cobre natural fue el primer metal que se aceptó como sustituto de la piedra por su durabilidad y maleabilidad, la cual era dada por la misma técnica de martilleo "*piedra sobre piedra*". En esta época se sabía también pulimentar, esmerilar e incluso taladrar, a partir de piedras duras afiladas en punta. Con el tiempo el cobre natural escaseó y se tuvo que buscar nuevos materiales que se adecuaban al trabajo. Por ejemplo, los antiguos habitantes de Anatolia (hoy Turquía), descubrieron que era posible extraer cobre líquido si calentaban un mineral compuesto principalmente por óxido de cobre: la malaquita⁸. Además, notaron que el metal líquido extraído presentaba una gran facilidad de ser vaciado en moldes con formas variadas. De esta manera, se fueron haciendo descubrimientos y mejoras en las técnicas ya conocidas. De estas épocas proceden inventos como: el forjado, el recocido, la fundición y moldeo de metales "blandos" y la extracción no profunda de minerales.

Materiales como la malaquita o la azurita (ambos minerales de cobre), y en otros por su capacidad para utilizarlos en la decoración del cuerpo, tejidos o diversas superficies. Este último caso es del ocre, palabra genérica que designa diferentes óxidos de hierro usados como pigmentos, del que se verifica su utilización desde hace 300.000 años a.C. Otra técnica de decoración era el granulado y las incrustaciones para esculturas. En todas se usaba el metal laminado en forma de hoja e hilo. Por ejemplo, en Sumeria y Egipto se hacían tapetillos de oro laminado con incrustaciones de piedras preciosas.

⁸ TREVOR, *Op. Cit.*, p. 170

Se conocía también el recalentado, y la fundición a bajo punto; pues muchas técnicas de la cerámica se habían adaptado a la metalistería. En aquel tiempo la cerámica estaba bien desarrollada, existía el torno a mano, el pastillaje y la cocción con leña. Este modo de trabajo del cobre se considera la primera metalurgia por método de reducción de mineral; a una temperatura de 200°C a 300° C. Sin embargo, la fusión del cobre requiere de una temperatura de 1083°C. Esta transformación de mineral en metal, pasaba por dos momentos: separar el metal de la escoria y la reelaboración del metal para obtener objetos, ya que los yacimientos "a pie de tierra" (sin explotarse a profundidad) son muy variados, y nunca ofrecen el metal puro, sino revuelto en una sola piedra; la fusión de la misma a altas temperaturas hace que visiblemente en su estado líquido, el metal pueda ser separado de la escoria.

En lo que respecta a las técnicas de trabajo, existían el colado y la laminación de hojas sobre yunque de piedra; así como el martilleo en el mismo yunque. Estos no eran yunques tal y como ahora los conocemos, si no lozas de piedra que fueron sustituidas por barras de bronce tiempo después. A medida que el oro y la plata se volvieron metales de las castas sacerdotales sirvieron para proclamar una mayor demanda de objetos metálicos, lo que generó una rápida difusión de la metalistería. La plata y el oro se extendieron para uso de adorno personal; surgieron utensilios de mobiliario tales como vasijas, copas, espejos, candelabros, incensarios, sillas y hasta camas, así como la acuñación de monedas, pequeños discos de oro y plata con una estampación especial. Esta concepción de acuñar metales también provino de Asia Menor y se difundió hacia todo el Oriente Próximo, llegando hasta Grecia.

Los metales no preciosos fueron bien recibidos por la antigua cultura de la guerra. El bronce era el más apreciado para la hechura de armas, debido a que algunas armas de hierro eran más difíciles de hallar, por la alta temperatura que exige este metal y su difícil extracción. El cobre, el estaño y el plomo empezaron a emplearse para objetos de cocina, almacenamiento o para reforzar todo tipo de construcciones de madera. Se descubrió rápidamente que los metales tenían la propiedad particular de poder mezclarse o alearse en diversas combinaciones y proporciones para conseguir materiales mejores para fines diversos. De la mezcla de cobre y estaño se obtenía bronce, y de la

mezcla de estaño, cobre, antimonio y plomo surge el peltre; que era un metal blanco similar a la plata. No siendo éste el peltre actual que conocemos.

El ingenio y el conocimiento científico cada vez mayor han explotado esta propiedad de los metales durante los últimos 2.000 años, de tal forma que, aunque todavía es común el uso de las denominaciones hierro, cobre, plomo, plata y oro, casi todos los productos metálicos son en realidad el resultado de aleaciones muy complejas. Sin embargo, dentro de las bellas artes y las artes decorativas los metales se han utilizado en su estado natural o en aleaciones sencillas. Igualmente la fundición de metales blandos no requería una tecnología excesivamente más compleja que la llamada vasija-horno⁹, especie de mortero capaz de soportar hasta 1.250° C, esta técnica de vasija-horno fue una adaptación del horno para cerámica para la fundición de metales blandos.

La tecnología de fundición, era hecha en moldes de arcilla, piedra y después bronce. Alcanzaba temperaturas de 700°, 800° e incluso 1,000° C lo que hace creer a algunos teóricos que se tenía piro-tecnología suficientemente avanzada como para reducir óxidos y carbonatos de cobre, que exigen alcanzar los 1,000° C. Esta temperatura sólo era posible con un fuelle de cuero, que servía como ventilador, con él se podían alcanzar temperaturas de 1,100° C, agregando un fundente de óxido de hierro. Según Trevor Williams,¹⁰ la tecnología de minería más practicada en esta época era la de enfriamiento repentino. Ésta consistía en excavar trincheras a cielo abierto de 10 a 80 metros de longitud y de 2 a 20 metros de profundidad. Se colocaban enseguida grandes hogueras que calentaban la superficie a explotar. Una vez caliente la superficie se derramaba grandes cantidades de agua, esto causaba un choque térmico por el enfriamiento brusco del agua, lo que hacía que se desprendieran trozos de mineral o surgieran grietas. En ellas se introducían picos de hueso o madera con los que se desgajaban los bloques de mineral. Después estos bloques se desmenuzaban mediante martillos de piedra y morteros, para vaciarlos en la vasija-horno.

⁹ TREVOR, *Op. Cit.*, p 173

¹⁰ *Ibid.*, p 180

Según el historiador T. Wertime¹¹ el modelo más aceptable del desarrollo de las técnicas metalúrgicas de la época antigua, es el siguiente:

- Descubrimiento del metal nativo.
- Martilleo en frío (yunques y mazos de piedra).
- Descubrimiento del recalentado y la "plasticidad térmica" de los metales.
- Primera fusión (cobre) en horno de vasija.
- Desarrollo de unión por martilleo (soldadura por fusión).
- Primer colado de un metal (cobre) en un molde abierto o a la arena.
- Desarrollo del molde en dos piezas y molde con núcleo (a la cera perdida).
- Descubrimiento de la aleación de metales fundidos (arsénico o estaño).
- Mejora de la técnica de cera perdida.

El uso de las aleaciones se popularizó hasta la Edad de Bronce. En este tiempo se mejoró gran parte de la extracción minera, así como el desarrollo y hechura de distintas herramientas aleadas (muchas todavía están hoy en uso). Por ejemplo: el cuchillo de mango, las hachas, las espadas y puñales, la escofina, las puntas de lanza y las puntas como buril y perforadores.

En esta época los pueblos estaban apartados, tenían que caminar la distancia que separaba a los artesanos y necesitaban planear una larga expedición sorteando rutas comerciales llenas de bandidos, ansiosos de robar metales preciosos, acuñados en monedas o engarzados en finas piezas. La belleza de los objetos hechos de metal, seguían siendo motivo de disputas y hasta de guerras entre los pueblos, pues eran el máximo símbolo social de riqueza y poder. El auge de los metales preciosos se unió con este espíritu bélico propio de la época. Y dio como origen la contradictoria situación de hacer armas de metales finos. Sin embargo, las primeras armas que se fundieron en metales preciosos, eran sumamente suaves, impropias para el combate. Así, el bronce vino a convertirse en el metal ideal para esta doble necesidad: la utilidad del arma guerrera y la belleza de sus ornamentos. Naciendo así la Edad de Bronce. Tanto en Europa como en Oriente Próximo el bronce se utilizó sobre

todo para armas y herramientas cortantes (espadas, lanzas, puntas de flechas, escudos, azuelas y hachas) aunque también se utilizaba para cuencos y calderos. Durante el primer milenio, el bronce fue especialmente apreciado en Grecia y, más tarde, en Roma, para producir mobiliario y objetos elegantes, como trípodes, armazones de camas y mesas, pequeñas lámparas de aceite y altos pies de lámpara, que se decoraban con elaborados motivos en relieve de animales u hojas.

El bronce aleación de cobre y estaño es más fácil de fundir, podía fluir mejor dentro de los moldes sin que se produjeran burbujas de gas. Además, se endurecía más rápidamente después de ser vaciado, y podía ser endurecido aún más mediante el martilleo. El bronce se trabajaba con el método de aleación que consistía en fundir el estaño y el cobre por separado, y después fusionarlos en proporciones controladas. Los griegos conocieron el horno, la fragua y el crisol de Creta;¹² eran famosos los bronceístas cretenses, por sus trabajos de armas (lanzas, yelmos, etc). En la Hélade (Grecia continental), el hierro se repujaba y se bruñía hasta lograr escudos que no sólo les cubrían el cuerpo en la batalla sino que les servían de féretro para cuando llegaban muertos de la guerra. Según Hesíodo, el escudo era el lecho de honor del héroe, aquel donde el guerrero muerto era reconocido como grande y memorable.

Los griegos perfeccionaron la técnica de herrar caballos y produjeron material para espadas, cuchillos, clavos para las tablas de los barcos y desarrollaron un sistema de forja para trenzar el hierro y hacer tornillos excavadores para el drenaje de agua. También supieron hacer arados, palas, picos y otros objetos hermosos como pulseras, anillos, copas y vajillas. El hierro tuvo su auge del año 1000 a.C. al 1950 d.C, era comúnmente utilizado para facilitar la obtención de cobre a partir de la malaquita. Durante el proceso de fusión del cobre se obtiene un subproducto de escoria porosa que consiste mayormente en hierro puro y dióxido de silicio (sílice). Al martillar esta escoria, era posible separar la sílice del hierro. Sin embargo, por ser más suave que el bronce, el hierro puro se utilizó primordialmente en ornamentos y objetos

¹¹ Metalurgia prehistórica (Documento en línea). Disponible en:
<http://www.antropos.galeon.com/html/metalurgia.htm>. Consultado enero de 2009.

¹² TREVOR, *Op. Cit.*, p.177

ceremoniales.

Por lo anterior podemos ver que el trabajo de los metales se fue dividiendo en especializaciones, por ejemplo: el caldero, el orfebre y el armero. Los tres se especializaban en su área aunque para ciertas piezas intercambiaban técnicas similares. Un determinado tipo de trabajo del herrero se fue desarrollando más junto al armero, pues le ayudaba a forjar lingotes de hierro martillado para hojas de espada y cuchillos. En este proceso era tanta la extensión que tomaba el hierro al rojo, que se plegaba y es por este pliegue final donde se soldaba (también por martillado) un mango para sostener la hoja. Si bien las definiciones son siempre imprecisas, podemos identificar cinco oficios en esta época: *mineros, herreros, calderos, orfebres y armeros*¹³.

Los mineros eran también metalurgistas, extraían y purificaban el hierro. Con ellos a manera de comunidad trabajaban los herreros. Pero éstos no eran herreros tal como hoy los conocemos. Su trabajo se enfocaba estrictamente a martillar el hierro; hacían una labor de laminado de hojas. Otro oficio era el de *caldero*, que hacía recipientes de uso doméstico. El orfebre, también hacía objetos de uso doméstico pero mucho más refinados que el caldero, ocasionalmente también hacía herrajes. Finalmente tenemos al *armero* cuyo trabajo era muy importante, pues las relaciones entre los pueblos eran mediadas por la guerra y todos los ejércitos tenían su propio taller de armería, en el que forjaban espadas, escudos y otros objetos bélicos.

Los armeros más célebres de la antigüedad fueron los hititas (actualmente turcos), ellos elaboraban un forjado especial conocido como *hojas de Damasco*. Los hititas mantuvieron por unos 200 años el secreto de las hojas de Damasco, su *hierro bueno* consistía en calentar el material dentro de un horno de carbón, martillar la pieza para compactarla y remover el óxido producido, repitiendo el procedimiento varias veces. Durante el calentamiento en el horno, los átomos de carbono se difundían hacia el interior del hierro, produciendo acero de bajo carbono. Nunca se descubrió que el carbono era el

¹³ TREVOR, Op. Cit., p 177 - 187

responsable del hierro bueno, sino hasta el año 1774 d.C. (casi 3 mil años después)¹⁴.

Pero, ¿por qué cambiar el bronce por el hierro? En primer lugar, el hierro es más abundante sobre la superficie terrestre en comparación con el cobre y el estaño, en segundo lugar, el comercio del estaño se había interrumpido, dificultando así la producción de más bronce y facilitando la transición hacia lo que llamamos la era del hierro.

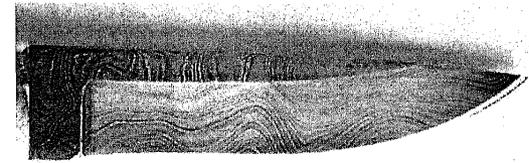


Ilustración 1 Hoja de cuchillo forjada con "Acero de Damasco".

Disponible en <http://conocimientosonline.com>

Los primeros intentos de producción de acero nacieron en Oriente, especialmente en China, India y Persia. Los chinos imitaron la tecnología de los hititas, hasta llegar a desarrollar sus propios métodos, entre los cuales destaca la invención del alto horno. El hierro líquido extraído del mineral era vaciado en moldes, con lo cual nace el hierro fundido. Esta aleación, con mayor contenido de carbono que el acero, se funde a una temperatura menor y puede llegar a poseer una mayor dureza. Sin embargo, debido a su relativa fragilidad, los chinos tuvieron que idear técnicas para brindarle ductibilidad al hierro fundido. Esto lo lograban sometiendo el hierro a un proceso de calentamiento por debajo de su punto de fusión por un determinado tiempo. Es decir, los chinos de aquellos días no sólo inventaron el alto horno, el hierro fundido y la tecnología para producirlo, sino que también inventaron los tratamientos térmicos de los metales.

¹⁴ GÓMEZ, Lorenzo. Op Cit. p.19-25.

Una fuente directa de la extracción de hierro se reporta en el libro más antiguo de la religión hinduista, el Rig Veda (1200 a.C.). Los pobladores de la India eran especialistas en la producción del acero conocido como Wootz, el cual era utilizado en la elaboración de espadas de una calidad altamente valorada en aquella época, particularmente en el Medio Oriente. Esta técnica de fabricación de espadas de acero fue posteriormente adoptada por los sirios, que lo renombraron como *acero de Damasco*. Aunque el trabajo del hierro es el más difícil de realizar de entre todos los metales, las posibilidades que ofrece, su mayor eficacia y la dificultad de abastecerse de cobre y estaño hicieron que el hierro substituyera a las labores asociadas al cobre de manera bastante rápida.

En aquel tiempo el hierro se elaboraba por el llamado *procedimiento directo*, que se obtiene en *horno de cubeta*.¹⁵ La reducción se realizaba a una temperatura menor que la de fusión (1536° C). Obteniéndose una mezcla de hierro y escoria que tras un insistente martillado resultaba un metal más homogéneo, muy parecido al *hierro dulce*. Para la época era un hierro muy puro (con menos de un 0'02 % de carbono), pero a la vez excesivamente dúctil y por ello de una dureza "relativa". Faltaba en esos hierros aumentar sus niveles de carbón a golpe de martillo, lo que aumenta la dureza. Este proceso daba al hierro un temple superficial, se necesitaba mayor temperatura para añadir alto contenido de carbono (de un 1'7% a un 6'7%), y endurecer la estructura metálica. Un proceso que llegaría con los llamados "altos hornos", después de la Revolución Industrial.

El hierro de Damasco era un adelanto extraordinario. Servía para hacer armas, yunques de varillas de hierro unidas entre sí, hasta formar un volumen sólido y compacto.¹⁶ También se hacían mazos, cinceles, punzones y por supuesto navajas y espadas. El ejemplo más conocido de la forja oriental fue el *pilar de hierro de Delhi*, forjado en el s. IV dentro del complejo arquitectónico de *Qutab* (India). Se trata de una columna de hierro con 7 metros de altura y 6 toneladas de peso, tiene un 98% de hierro puro, recalentado con carbón

¹⁵ Metalurgia prehistórica (Documento en línea). Disponible en:

<http://www.antropos.galeon.com/html/mealurgia.htm>. Consultado marzo de 2009.

¹⁶ TREVOR, *Op. Cit.*, p 183

vegetal. Causa asombro a metalurgos y trabajadores del hierro, pues fue forjado a mano (hoja sobre hoja) y a sus 1600 años de estar expuesto a la intemperie, no presenta oxidación alguna.

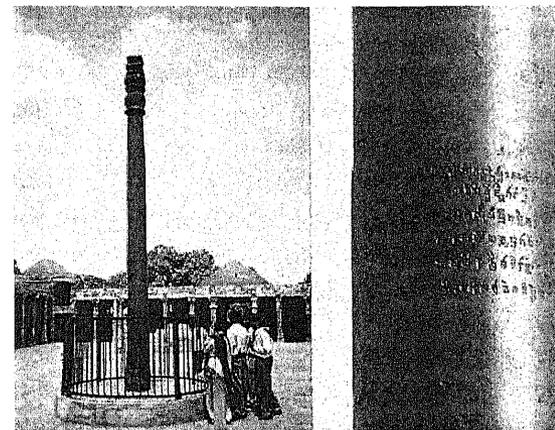


Ilustración 2 Pilar de Delhi

Disponible en <http://www.elviajedeargos.com>

A pesar de que el hierro substituyó al bronce, éste se siguió usando con fines decorativos: campanas, espejos, armas y vasijas rituales, todos estos objetos decorados con lineales y motivos abstractos. En un principio los diseños de bronce se copiaron al hierro, pero poco a poco fue surgiendo una tradición de diseños originales en hierro, y con ello un tipo de trabajo netamente herrero: cofres, aldabas, argollas, vasos y jarrones, etc. Es muy probable que la forma de decoración más antigua surgiera de la *técnica de batido* que se empleaba para dar forma al material golpeando el hierro sobre un molde del mismo metal. Con esta técnica se hacían surcos o aristas de la pieza, golpeándola contra el molde. Después se fue dejando el molde y se hizo el batido a golpe directo del martillo sobre la hoja caliente. Como un *repujado en caliente o forja*; por este modo de trabajo se lograban ornamentos de tipo *nervaduras*, así como diseños geométricos. Mediante un martilleo más controlado y específico puede realizarse todo tipo de relieves, desde sencillas protuberancias hasta acabados de efecto pictórico.

Esta técnica, conocida actualmente como *repujado*, se ha utilizado durante más de 4.000 años y alcanzó su apogeo en los utensilios religiosos y de uso doméstico realizados en oro y plata en la Europa de los siglos XVI y XVII. Sin embargo, el fundido y la separación de escoria aún no se lograban a plenitud. Fue hasta la Edad Media que se lograría purificar el hierro con los altos hornos y obtener lingotes mas dúctiles y maleables para el repujado martillado. Previo a esta época, los artesanos repujaban el hierro precariamente (por las impurezas de éste), usando pequeños hornos y fuelles de cuero que daban muy baja temperatura al metal, así que tenían que pasarse al golpe de yunque para extraer la escoria de la barra de hierro; y posteriormente darle la forma definitiva.

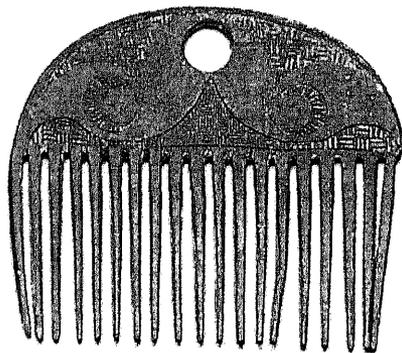


Ilustración 3 Peineta de hierro
Disponible en <http://www.biblioteca2.uclm.es>

El alto contenido de carbono en el hierro era el problema más frecuente para el herrero antiguo, esto impedía que se lograra una excelente plasticidad del metal repujado o forjado. Una solución parcial llegó cuando se desarrolló la *técnica de cementación*. Ésta consiste en calentar la pieza y ponerla en contacto con otro material (como el carbón), a alta temperatura y en tiempo prolongado. Con la cementación, sólo se “endurecían” las orillas del metal, sin afectar el núcleo; el carbono iba penetrando en la superficie de la pieza, según las horas empleadas de tratamiento para endurecerlo. Posteriormente se podía

dar un segundo temple o recocido. Se cree que la cementación se inició en el Imperio Hitita, con la tribu de los Chalibes, en el año 1400 a.C. Se acercaban barras de hierro a fraguas alimentadas por carbón vegetal; luego, tras intentar golpearlas se encontraban más duras, a medida que se reintroducían al rojo en el carbón.

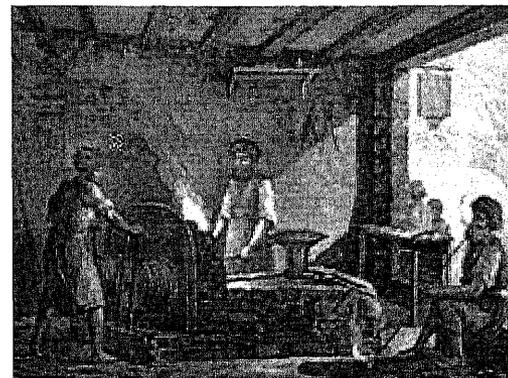


Ilustración 4 Taller de herrería Hitita.
Disponible en <http://www.esgrimaantigua.com>

La tribu de los Chalibes desconocía que el carbón se extendía por el hierro, y químicamente afectaba la consistencia física del hierro.¹⁷ Un proceso derivado fue el de endurecer (*temple*) o ablandar (*recocido*) el hierro. De ambos procesos surgió el *atemperado*; mismo que sirvió para manipular el material a voluntad. De este descubrimiento se inventó el *yunque sólido de hierro*; que es un tipo de yunque como actualmente lo conocemos. Así como las *pinzas de forjador* y los *martillos de hierro* (o macetas, como le decimos actualmente); también se mejoraron las *hileras*, posteriormente llamadas *trefilas*, las cuales servían para estirar metales y fueron popularizadas por los joyeros medievales.

Se inventa también la sierra de bastidor para corte de metal y las limas de hierro; aunque todavía no se obtenía un hierro fundido puro, completamente libre de carbono. Cuando el Imperio Romano absorbe gran parte de la cultura Griega, se logró hacer de los metales objetos más livianos y afinaron las

¹⁷ *Ibid.*, p 190

espadas, los pectorales (muchos de ellos obras de arte, como el de Julio César y Augusto), las cabezas de ariete, balsas de catapulta y espolones de barcos, catapultas, flechas, lanzas y muchas piezas más. Es en esta época que se separa del herrero el oficio de armero y junto con los armeros españoles, se inventaría la *forja catalana* que se alimenta de corriente continua de aire, impulsada por dos fuelles interconectados. Una vez que se extraía el mineral, se lanzaba éste a una cazuela donde se trituraba. Ya triturado se metía a la boca de la forja, alimentada por un sistema de carbón y en capas sucesivas, más el metal a fundirse (hierro o cobre).

Esta forja era una variación de los antiguos modelos de forja manual; su diseño se diferenciaba en un sistema mecánico hidráulico que contaba con una conexión doble, que tomaba fuerza y agua del mismo río; aprovechándose el agua como la energía hidráulica. El agua llegaba a unas toberas o tubos respiraderos que oxigenaban las brasas de la forja con la humedad del río, de modo que la oxigenación era continua e invariable sin necesidad de impulsar oxígeno con fuelles. Esta combustión, generada en las brasas mantenía "al rojo" las piezas de hierro, que a su vez eran golpeadas por grandes martillos-martinetes de madera, movidos con la misma corriente del río (energía hidráulica). Este tipo de forjas se mantuvo vigente hasta mediados del s. XIX en los lechos de los ríos de la zona catalana.

Para fundir chatarra de cobre, y hacer otros trabajos de hierro se inventó la forja catalana. Era un gran adelanto tecnológico para la época, pues se reciclaba mucho material sin esfuerzo humano. Otro invento de esta época es el latón (aleación de cobre y zinc), que nombraron *bronce blanco* y fue muy popular como ornamento de uso cotidiano. Tiempo después se usó para acuñar monedas.

Otra innovación fueron las redes de gladiador, que estaban tejidas con hilos de hierro, hechos en laminadoras impulsadas por poleas de cuero, dentro de talleres militares, contrataban herreros "civiles" para enseñar a los militares. En los límites del Imperio Romano se reunían los herreros para intercambiar piezas de metal como clavos, herraduras, hojas y pomos para espadas, cuchillos y medallones, para usar contra el mal de ojo, las enfermedades, la virilidad, etc.

En muchas obras de arquitectura romana, como puentes, acueductos, anfiteatros y murallas, los constructores se ayudaron de máquinas de madera y hierro forjado. Para los trabajos de construcción ya existían el *palustre* y la *plomada* de medición, ambos eran de hierro, y en algunos casos cobre fundido. Por ser el plomo un metal muy blando y fácil de trabajar se utilizó en los tejados, para ataúdes, cisternas de agua, conductos e instalación de cañerías. Durante la época Romana se expanden los conocimientos de minería, y se ve más al minero como un especialista que como un artesano. Sin embargo, muchos mineros comenzaban su enseñanza bajo condena, pues solían ser criminales y esclavos condenados a trabajos forzados (*damnati in metallum*). Pero había también mineros libres, ciudadanos romanos que enseñaban a los mineros condenados.

Estos mineros libres eran ingenieros y humanistas a la vez, perfeccionaron el tornillo de desagüe y la rueda de achicar (rueda de Arquímedes) para drenar el agua de mina.¹⁸ Los romanos también usaban el estaño, y lo extraían de dos de sus provincias, la península Ibérica y las islas Británicas. Aunque se trataba de un ingrediente importante para la obtención de bronce a partir del s. III d.C. comenzó a mezclarse con plomo para conseguir *peltre fino*, usado para platos, cubiertos y otros utensilios de cocina. Y el *peltre comercial* (estaño, bronce y plomo), para uso de construcción en acueductos y cañerías. Roma desarrolló notablemente el trabajo del armero en hierro; de ahí que inaugurara el uso artístico del hierro al copiar pequeñas piezas de escultura provenientes de la orfebrería fina persa: repujados de plata, medallones de oro y el esmalte sobre metal.

El coloso de Rodas¹⁹ es un ejemplo del vidriado y otras técnicas combinadas al hierro. Esta obra tenía una altura de unos 40 metros y fue hecha con técnica de repujado ensamblado sobre una estructura de columnas de piedra. Resulta curioso que después de que el hierro sustituyera al bronce para la elaboración de armas, éste continuó utilizándose como un material artístico.

¹⁸ TREVOR, *Op. Cit.*, p185

¹⁹ *Ibid.*, p.190

Pues desde las estatuas de bronce griegas, así como sus vasos para el vino, jarras, figurillas de dioses, escudos, cuencos, hebillas, broches para la túnica, peinetas y otras piezas; gozaron de tal admiración en Roma, que fueron perpetuadas por artífices y orfebres romanos. Hasta el día de hoy el bronce es un material clásico para el arte, seguramente por su tradición histórica pero también por sus cualidades de baja oxidación y acabado (patinado) que lo hace un material altamente estético.

A diferencia del hierro, la pátina del bronce se puede aplicar en ocre, verde, negra, o marmoleado de dos a tres tonos, los antiguos ya manejaban estas gamas de pátina. Del desarrollo de técnicas innovadoras surgió el interés por investigar los principios del trabajo de los metales, manifestándose así la época de los primeros tratados de metalurgia. Entre los textos más importantes destacan el de *Georgius Agricola*, metalurgista extractivo alemán, sintetizó toda la información disponible en cuanto a las prácticas mineras y técnicas metalúrgicas del siglo XVI en su libro "*De res metálica*", publicado en 1532. Poco después, en 1540, el metalurgista italiano Vannoccio Biringuccio escribió otra obra titulada "*De la pirotecnia*", en la cual presentaba y discutía aspectos prácticos relacionados prioritariamente con la fundición en bronce y hierro.

Una tercera obra importante fue "*Della Scienza Mecánica*", que escribió Galileo en 1593 y abordó por primera vez el tema de la resistencia de los materiales metálicos desde un punto de vista científico. Estas publicaciones se distribuyeron progresivamente cuando se inventa la imprenta en 1450, y repercutieron fuertemente para la expansión de los conocimientos de metalurgia y herrería.²⁰ A partir de estas obras se fue perfilando una serie de convenciones sobre el trabajo minero, ciertas técnicas como el uso de los malacates para extraer hierro, el uso de sistemas de ruedas dentadas y fuerza animal (caballos que tiraban de poleas). Se discernió científicamente el peligro explosivo y venenoso de las minas, para lo cual se desarrollaron los primeros *fuelles-ventiladores*, movidos por paletas gigantes de madera y poleas de cuero. También se diseñó la boca de las minas y se perfeccionaron máquinas extractivas del mineral, con los conocimientos de ingeniería aplicada a la extracción mineral.

²⁰ TREVOR, Op. Cit., p 188-193

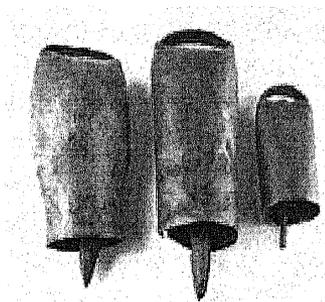


Ilustración 5 Campanas para ganado del s.XVIII
Disponible en <http://www.cgi.ebay.es>.

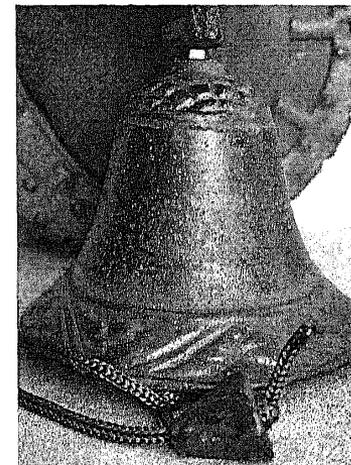


Ilustración 6 Campana de hierro del s. XVI
Disponible en <http://www.cgi.ebay.es>

El gremio de los trabajadores del metal se vuelve a dividir en: extractores, inventores de extracción, herreros, metalisteros, armeros, fundidores y orfebres, que trabajaban metales finos. Además del la naciente figura del ingeniero extractor de minas, en la Edad Media se consolidó el oficio de *fundidor de campanas*, éstas eran hechas en bronce y decoradas con diseños cincelados y grabados al ácido. En el s. VIII el gremio de los campaneros estaba en auge, con el tiempo se convertirían en fundidores de cañones. Con los tratados de minas y estudio de los metales surgieron especialistas en estos campos. Si antiguamente el herrero preparaba su propio material, ahora se iría separando el trabajo de extraer y purificar el hierro del oficio artesanal. Resulta aventurado citar una definición precisa de los oficios del metal en esta época, sin embargo, se puede distinguir un aproximado de siete oficios distintos, dedicados a lo que venía siendo un sistema del trabajo de los metales.²¹ Primero tenemos al grupo de los mineros, éstos se dividían en inventores de extracción y extractores. Los inventores de extracción diseñaban

²¹ *Ibid.* Op Cit. p. 193-204.

sistemas y máquinas de excavación, desagüe y ventilación de la mina; eran lo que actualmente se conoce como *ingenieros de mina*. Los extractores eran trabajadores que físicamente se adentraban horas enteras a las minas, su trabajo era el más pesado. Una vez que el mineral había sido extraído de la tierra, era purificado en horno por los *herrereros*, éstos forjaban las barras de hierro, compactándolas a golpe de yunque y martillo. También dominaban la soldadura a golpe de martillo, por lo que muchos herreros trabajaban el forjado de ventanas, balconería, cerrojos y aldabas.

Otro tipo de oficio era el de los *metalisteros* y *armeros*. Los primeros trabajaban todo lo referente a las armaduras, tanto en su composición básica (yelmo, peto, faldón, guantes, perneras y rodilleras), como el diseño de aditamentos agregados (por ejemplo: el peto "aguileño", que portaba unas amplias hombreras). Junto con los metalisteros trabajaban los *armeros*, en primera instancia se dedicaban a completar la armadura de los caballeros, elaborando la espada, lanza, daga, maza, hacha, cinto de hierro y escamas metálicas, que eran unas mallas de arillos metálicos engarzados y templados, montados a una chaqueta de cuero para proteger las partes vitales (pecho y espalda) del caballero.

Muchos armeros también elaboraban ballestas, competían entre sí, en precisión del tiro y ornamentación. Esta arma duró vigente casi 100 años, y se solía decorar con grabados.

Algunas armaduras se decoraban con hueso calado de animales, o incrustaciones en bronce, para ello el armero se relacionaba con el *fundidor* (o *broncero*), éste elaboraba ornamentos, incrustaciones para muebles y remates de portones o balconería. Los *orfebres* trabajaban metales finos, en piezas de uso doméstico. Junto con ellos se hallaban los cinceladores o repujadores. Los *calderos* trabajaban piezas de uso doméstico: cubiertos de mesa, tazones, palanganas, ollas, calderas, etc. Otros oficios eran el de *herrero blanco* que trabajaba el plomo; el *herrador*, que se especializaba en herrajes para caballo; y el *eslabonero* que trabajaba en eslabones de cadenas, clavos y grilletes. También había un trabajo dedicado a la *forja de objetos eclesiásticos*, que como otras especialidades del trabajo herrero, este artesano solía trabajar con el carpintero o el lapidario.

Todos estos oficios trabajaban por gremios. El gremio era una sociedad creativa y mercantil fundada por los mismos artesanos, con reconocimiento institucional, dado en las ordenanzas. Cada gremio se regía por los maestros de taller o autoridades gremiales, éstos cuidaban el equilibrio laboral de los agremiados, eliminando factores de competitividad interna. Buscaban una igualación entre sus miembros y tendían a crear un marco de seguridad y estabilidad, evitando la competencia interna entre artesanos de un mismo oficio. Ningún agremiado debía enriquecerse a costa del empobrecimiento de otro. A pesar de ello, y aunque no era lo más frecuente, algunos maestros de los oficios más solicitados amasaron grandes ganancias. Las principales técnicas para fundir el hierro seguían siendo la forja catalana y el horno alimentado por carbón vegetal.

Este sistema se llamó con el tiempo *ferrerías*, y fueron el antecedente directo de las actuales siderurgias. En ellas se trataba el mineral extraído para hacer hierro. El proceso era similar a los antiguos hornos romanos, la diferencia era en que a manera de la *fragua catalana*, los *hornos de Ferrería* tenían fuelles que calentaban la masa de hierro y carbón, mientras en otro extremo se usaba un gran martillo o mazo movido hidráulicamente para extraer la escoria de la masa de hierro y dejarlo listo para la forja. A los trabajadores se les conocían como *ferrones*. Su trabajo consistía en abrir las compuertas del río para dejar caer el líquido a las ruedas hidráulicas que hacían girar el sistema del mazo, a la vez que la humedad del río soplaba oxígeno a las brasas. Según la cantidad de agua que caía sobre la rueda, ésta giraba rápido o lento, modificando así la frecuencia de golpeteo del mazo o la cantidad de aire que se inyecta al horno.

El sistema de los hornos de Ferrería, era una adaptación al de la fragua catalana. La energía se sacaba del agua de río, o era agua almacenada en toneles, y la energía para el calentamiento del mineral se extraía del carbón cercano al lugar de trabajo. Es por esto que las ferrerías siempre se asentaban a las orillas de los ríos y cerca de los yacimientos de hierro. Este modelo de horno permitía aumentar la temperatura gradualmente y acumulaba mucho carbón, también se usaban martillos hidráulicos movidos por molinos de agua que trituraban el mineral antes de fundirlo. El cobre tuvo

también gran importancia como base de las placas de esmalte a partir de la Edad Media, ya que al ser tan blando permitía horadar con facilidad pequeñas zonas que luego se rellenaban con pastas de vidrio coloreadas, combinándolo con el zinc, se obtenía el latón.

Durante la Edad Media, en la ciudad de Dinant (hoy en Bélgica) se fabricaron grandes platos de latón con decoración en relieve que se exportaban en considerables cantidades. En el este islámico el latón se utilizaba de forma parecida para grandes platos y braseros; los artesanos de esa zona emigraron a Venecia en el s. XV, elaboraron cuencos, platos y candelabros.

Los métodos de trabajo que usaron estos artesanos llegaron a Europa y sus diseños se incorporaron a los estilos decorativos renacentistas en la segunda mitad del s. XVI. Durante el s. XVII los Países Bajos e Inglaterra fabricaron grandes candelabros de latón con esta influencia estilística.

En el s. XX el latón continúa siendo utilizado para accesorios como aldabas y umbrales de puertas, buzones, candelabros y atizadores para chimeneas. De la Edad Media se siguió usando el plomo para decorar los exteriores de las construcciones: tejados, ornamentos, canalones para desagüe del agua de lluvia, pilas bautismales y candelabros con relieves calados²².

Muchos fundidores vaciaban figuras religiosas en este metal, trabajo que se continuó hasta el s. XVII, cuando se pasó a fundir figuras no religiosas sino costumbristas y animales de la naturaleza, para decorar los jardines.

Sobre la platería en la Edad Media, destacan las piezas de uso eclesiástico: cálices, custodias, remates para Biblia y salterios, entre otros; igualmente las monedas acuñadas en plata.²³ Se utilizaron grandes cantidades de plata para la acuñación de monedas y más tarde para uso privado, como fondos de reserva o en una gran variedad de utensilios de uso doméstico. Las cucharas de plata o las vasijas de madera con borde de plata eran objetos comunes que muchos poseían, pero las personas acaudaladas hacían ostentación de sus riquezas con saleros, bandejas, platos, copas y elaboradas jarras con tapa, todo ello en plata.

²² *Ibid.*, p 207

²³ *Ibid.*, p 208-210

En la Europa del s. XVII las vajillas de este metal adquirieron gran prestigio y durante un breve periodo a finales del siglo, las lámparas, las bañeras y los muebles de plata tuvieron tal éxito que comenzó a escasear. En el siglo s.XIX se popularizarían objetos como soperas, juegos de té y café, candelabros y centros de mesa. En la actualidad estos utensilios ya no son de plata sino de acero inoxidable. En esa época, la mayor parte de este mineral provenía de las minas de Austria y Alemania, pero en 1550 las existencias aumentaron gracias a la plata que llegaba de las minas de los virreinos españoles de América. Por este motivo, durante este periodo España destaca, de forma notable, en el arte de la orfebrería y se realizaron sobre todo custodias monumentales de plata, como la de la catedral de Toledo. Como sabemos en distintos lugares de América, como México, Perú y Ecuador, la plata es muy abundante por lo cual se sustraía para mandarla a los plateros de Europa.

Un error frecuente al mirar la historia, es creer que la Edad Media es oscurantista, llena de dogmas e ignorancia. Realmente esta imagen nos viene como herencia de la visión positivista (cientificista) de la cultura. Pero, si consideramos la historia de la cultura, como una totalidad de eventos conectados causalmente uno después del otro, se verá que la Edad Media (tardía), generó una serie de movimientos netamente científicos, que precedieron ideológicamente a la Época Moderna. Por ejemplo, algunas corrientes como el Nominalismo (primer realismo empírico), o visiones lógicas y metodológicas del conocimiento. Nombres como del Fraile *Guillermo de Okcam*, *Duns Escoto*, *Santo Tomás* o *Roger Bacon*, por nombrar solo los más estudiados.²⁴ Ellos fundaron dentro de los espacios clericales lo que serían las bases de la visión moderna del conocimiento. Este paso de la fe a la razón, es el paso de la Edad Media a la Edad Moderna. Y se dio de forma paulatina; a partir de distintos eventos que generaron socialmente un cambio en la visión de la cultura y por ende, un cambio en el modo de concebir la artesanía y el trabajo artesanal, llevado hasta su culmen con el advenimiento de la Revolución Industrial. Es importante comprender que este giro cultural en la

²⁴ XIRAU, Ramón. *Introducción a la historia de la filosofía*, México, editorial UNAM. 2001. p. 182.

forma de concebir el trabajo artesanal; tiene como hilo conductor un nuevo ideal de conocimiento. El conocimiento moderno apoyado en la ciencia experimental, para finalmente aplicarse a manera de técnicas en la Revolución Industrial, que afectaría el modo de producción de las piezas artesanales.

Las definiciones actuales de artesanía, parten precisamente de esta oposición entre técnica manual- técnica industrial.

La artesanía se definiría desde estas épocas como lo *no industrial*. Este tipo de objetos de la estética industrial (o cultura de consumo masivo) serían definidos en oposición a la pieza artesanalmente elaborada. Así, la Edad Moderna ve nacer el *alter ego* de la pieza artesanal: el objeto industrial.

El giro moderno de conocimiento-ciencia-tecnología es una larga brecha, formada con distintos sucesos históricos que poco a poco van tejiendo esa nueva concepción del trabajo artesanal. La invención de la imprenta (1443), el descubrimiento de América (1492), el cisma de Martín Lutero (1517) y la contrarreforma del *Concilio de Trento* (1545), entre otros eventos más,²⁵ influyen en la formación del *Humanismo Renacentista*. A grandes rasgos el recorrido de la Edad Media a la Edad Moderna, se fundamenta en un cambio de la visión de lo humano y su cultura.

Cuando se inventa la imprenta el conocimiento se disgrega, sale de los monasterios o bien muchos textos guardados por el clero son puestos en la imprenta y en las primeras universidades laicas. Este fenómeno abrió las puertas a una visión crítica de las verdades bíblicas sobre la visión del mundo y la naturaleza, lo que prepara la cultura durante los siglos XIV y XV para la llegada del *humanismo renacentista*, que fusiona el antiguo espíritu del cristianismo con la visión antropocéntrica del humanismo greco romano. Ahora el hombre es centro del quehacer cultural, y tanto Dios como el mundo de la naturaleza se vuelven motivo de investigación.

Pico Della Mirándola redacta su *Discurso sobre la dignidad de hombre* que fue una abierta reivindicación de las obras humanas; Leonardo da Vinci diría que la naturaleza es digna de imitarse, pues en ella se encuentra el arte como se encuentra la perfección de Dios. Copérnico inventa el método experimental de

la ciencia natural, a base de observación y reflexión, para concluir que el Sol y no la Tierra es el centro del sistema planetario.

Tanto la filosofía con Pico, el arte con Leonardo, y la ciencia con Copérnico amplían la idea de *ser humano* y la noción de *mundo*. Si el mundo era amplio y redondo, ahora era necesario explorarlo. En 1418 los portugueses descubren las *Islas de Madeira* y las *Azores*, halladas por Enrique el navegante en 1427; el cabo Buena Esperanza, descubierto en 1486 por Bartolomé Díaz y el descubrimiento de América por Cristóbal Colón en 1492²⁶. Si antes los gremios medievales por estar cerrados dentro de los feudos, carecían de comercio, ahora los descubrimientos geográficos ampliaban el comercio de distintos productos, entre ellos la artesanía y las materias primas. A partir de 1500 a 1750, todas las *técnicas herreras* llegaron progresivamente al Nuevo Mundo²⁷. Por ejemplo, en Perú se descubrieron yacimientos importantes de mercurio, mismos que facilitaron la extracción por amalgamación de la plata en todo el continente.

Con esto muchos herreros europeos tendrían deseo y curiosidad de explorar los recién descubiertos yacimientos del Nuevo Mundo, lo que facilitaría un intercambio de técnicas. En los siglos VI y XVII como resultado de las riquezas atracadas del Continente Americano, España y Francia se vuelven potencias mundiales, y los metales se revaloraron no como regalos de los dioses, sino como riqueza material con una estructura mecánica y leyes físicas propias; dando por resultado su comercio pero también el estudio de los metales a la luz de los avances de la ciencia natural. Surgen así las primeras escuelas de metalurgia y los tratados como el "*Pirotecnia*" de Biringuccio, o el "*L'art de convertir le fer forgé en acier et L'art d'adoucccir le fer fondu de Reaumur*", primera obra especializada en estudiar el proceso de fabricación del hierro y acero.

Se practicaron distintas aleaciones: plomo, estaño, peltre comercial, latón (hecho con chatarra de cobre y cinc), laminado de plomo y hojalata laminada y en barras. También se desarrolla un criterio de grosor para hierros forjados; estos sin duda son el primer proyecto de establecer los que

²⁵ BROM, Juan. *Esbozo de Historia Universal*. México, editorial Grijalbo, 18ª edición, 1973 p107

²⁶ XIRAU, *Op. Cit.*, p 193

²⁷ TREVOR, *Op. Cit.*, p 220

conocemos hoy como perfiles comerciales. En España se desarrolla las *fargues* (forjas) y las herrerías vascas. Con estas se popularizaron las rejas de hierro forjado con hermosos trabajos que intercalaban barras de hierro de distintos calibres. El diseño de forja artística había nacido desde el s. XV con las formas de estilo gótico, pero para el s. XVI los diseños habían aumentado, y se distribuían como pasquines impresos con técnicas de grabado, entre los artistas y artesanos. Otras veces se tenían que dibujar a mano los diseños para poder copiarlos, entre un taller y otro. Estos diseños eran generalmente adaptados a la construcción, siguiendo patrones de medida y simulando los diseños de grecas y volutas tipo floral de la madera calada.

Muchas piezas pequeñas eran caladas en lámina de hierro y soldadas a un trabajo de forja simulando ornamentos florales. También el hierro colado fue muy utilizado en cañerías, coladeras y algunas piezas de máquinas, como cortadoras de metal. Otra innovación fue el uso de coque en lugar de carbón vegetal, y la sustitución de los fuelles por un diseño mejorado, las llamadas "trompas" que expulsaban dos veces más aire. También se hacían diseños incrustados de un metal en otro a modo de piezas repujadas y ensambladas, así como incrustaciones de hilos de plata, oro, bronce y latón. Este estilo de ornamentos fue exportado de países árabes durante la Edad Media, llamado *damasquiado*, pues provenía de la ciudad Siria de Damasco famosa por este tipo de trabajo.

El damasquiado evolucionó hacia la *filigrana* y el *granulado*, ambas técnicas se utilizan todavía en joyería. Por ejemplo, en el caso de la granulación se sueldan pequeñas perlas de oro, previamente moldeadas sobre una superficie de otro metal, generalmente del mismo oro. La filigrana, un invento etrusco, se volvió muy popular en los siglos XVII y XVIII para decorar piezas de uso cotidiano como jarras, teteras, vasos y copas, sobre todo en Italia, España, Escandinavia y Alemania. En América, la filigrana se usaba como complemento ornamental a distintos metales, algunas piezas de hierro oxidado (patinado) se les soldaba previo a la patina un motivo de filigrana, otras se combinaba el *calado* y hasta técnicas de repujado de lámina de hierro con motivos de tipo filigrana soldada. Unas de estas piezas fueron las llamadas

ajoré, que se logran cortando y perforando el metal para obtener el diseño deseado.

Durante el s. VXIII se incrementó el comercio entre los pueblos, lo que trae consigo un cambio de la sociedad medieval a la sociedad mercantilista. Surgiendo con ello la sociedad capitalista²⁸, que implicaba dejar el comercio entre feudos, para entrar a una época de comercio entre estados o naciones, con una fuerte base tecnológica e industrial para la producción de las mercancías. Estamos así ante la Revolución Industrial. Surgen también las primeras armas de mano fabricadas en serie, éstas eran de hierro colado. También se hicieron instrumentos de medición, como balanzas, compases, relojes y otros. En Inglaterra el ingeniero Abraham Darby descubrió que el coque podía ser utilizado en lugar del carbón para la obtención del hierro en alto horno. Este descubrimiento trajo como consecuencia que los costos de producción de hierro disminuyeran considerablemente, y por lo tanto facilitó su producción a gran escala.

Esto no sólo impactaría en la forma de producir hierro y acero en los años venideros, sino que cambiaría la manera de vivir de la sociedad para siempre: eran los albores de la Revolución Industrial. Hacia finales del s. XVIII se inventa la máquina de vapor y la mano del hombre trabajador se vio desplazada por la tecnología. Este hecho empujó los límites de la metalurgia hacia nuevos horizontes. El extensivo desarrollo de la minería dio origen a los medios más prácticos de transporte, como el ferrocarril y los barcos impulsados por vapor. El hierro y el acero comenzaron a utilizarse como materiales estructurales en la construcción de puentes, lo cual, aunado a la invención del cemento Portland, facilitó las travesías comerciales entre las sociedades a lo largo de nuevos canales de navegación y carreteras.

La Revolución Industrial sustituyó el uso del vapor y la fuerza física del herrero como fuente de energía. Del mismo modo la soldadura eléctrica sustituyó gradualmente al fuego y al yunque como medios de unión entre dos hierros. El trabajo del herrero siempre estuvo supeditado a la utilidad y a las necesidades históricas y contextuales de cada comunidad. El herrero era una parte importante en la vida de una comunidad, primero por la importancia de su

²⁸ BROM, *Op. Cit.*, p 169

oficio y segundo por la vinculación de que su trabajo se derivaba de otras áreas artesanales (como la ebanistería o la vidriera), se daba entonces una relación entre distintas técnicas u oficios. El herrero dependía del ebanista, el ebanista consultaba al vidriero, etc. Cada oficio se relacionaba con otro, ya sea por necesidades propias de la especialización, o bien, por el diseño de alguna pieza, que imponía usar distintos materiales. Uno de los muchos impactos que tuvo la revolución industrial, fue esta manera de concebir y relacionarse entre un oficio y otro.

Gran parte de los suplementos materiales y técnicos que usaban los antiguos herreros, fueron fabricados poco a poco por tecnología industrial. Hasta que finalmente, muchas actividades u operaciones del trabajo en hierro serían absorbidas por la industria, y un tanto como consecuencia de lo anterior el hierro como material estético contemporáneo ha devenido en *material industrial*, (no material manual-artesanal) y su uso prácticamente se ha reducido a la fabricación de herramientas, piezas de maquinaria, etc. Dejando de lado su valor estético-artesanal, por debajo por su valor utilitario. Previo a la industrialización, el conocimiento artesanal se compartía dentro del taller (o gremio) prácticamente a puerta cerrada por tradición oral y experiencias compartidas. El tiempo y la experiencia eran necesarios para que el aprendiz de un oficio artesanal se fuera depurando (humana y artísticamente) hasta finalmente llegar al desarrollo de un oficio especializado.

Esta especialización artesanal suponía que algunas piezas necesitaran la intervención de otros materiales u otras técnicas. Dándose así, una especie de interdependencia técnica entre todos los oficios artesanales de una región. Previo a la industrialización esta interdependencia técnica entre distintos materiales y distintas formas de trabajo artesanal era (y es) evidente en zonas rurales. Por ejemplo: el artesano de redes para pescar dependía del cosechador de lino, que a su vez dependía del astillero para adquirir el arado, pero a su vez el astillero necesitaba en sus trabajos piezas de hierro, que encargaba al herrero a pago por trueque de utensilios. Y el herrero dependía del carbonero, éste del ebanista que hacía recipientes para carbón, etc.

Con la llegada de la industrialización se afecta no sólo a un oficio en particular; sino a la totalidad de un sistema de producción local artesanal, lo que obliga a

los artesanos a modificar su trabajo o en los peores casos a abandonarlo definitivamente. En el s. XVIII se desarrolla el alto horno que incrementaba la fuerza de las inyecciones de aire caliente en su interior. También se utilizaron las ruedas hidráulicas y hornos de más de nueve metros de altura que podían estar fundiendo hierro hasta cuarenta semanas de forma continua; con estos procesos surgen las primeras formas de perfiles comerciales; y con el impulso del diseño surgieron los primeros catálogos y folletos de herrería artística. Algunos tan notables como el del Sr. Chippendale o el arquitecto Jean Bijou.

Bijou no sólo era diseñador y arquitecto, también se dedicaba a la herrería desde joven, de ahí que sus diseños siempre fueron apegados a la práctica, igual que sus prácticas de herrería tenían nociones de orden geométrico, equilibrio formal y hasta reflexiones sobre la estética del hierro. Casi todos los herreros en México, usaron de modelo los diseños de Bijou, pues fueron exportados debido al éxito que tuvo en la publicación de sus catálogos en 1963.

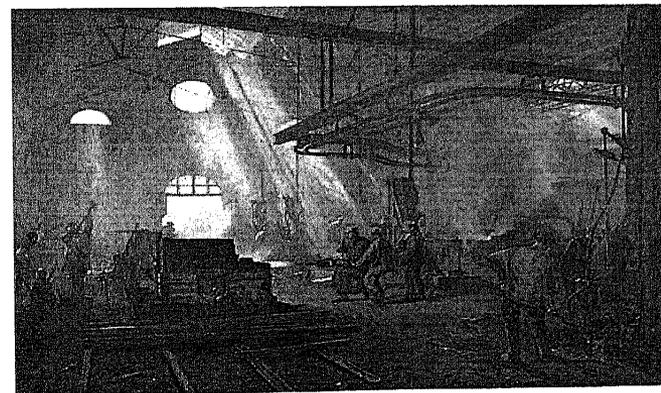


Ilustración 7 Taller de herrería del s. XIX.

Disponible en <http://www.revolucionessigloxyxx.blogspot.com>

Otro invento del s. XIX, fue la oxidación artificial de la superficie de hierro. Esto consistía en aplicar azufre sobre una superficie pulida, con lo que

se obtenía un sutil efecto de oscurecimiento. Este proceso fue también muy usado en las armas, vendría siendo lo que hoy conocemos como patina. El actual efecto de patinado fue un viejo sueño entre los herreros-armeros del medievo; pero sólo en el s.XIX las armas se decoraban con este patinado en distintos tonos e incrustaciones de metales preciosos, como la plata, el oro. Y en algunos casos el bronce dorado total o parcialmente.

El ajoré era más bien una técnica joyera, que consistía en incrustar materiales de distinta naturaleza en una pieza de metal fino. Esta técnica se llegó a copiar a gran escala en piezas de hierro durante el siglo s. XIX, aplicándose con pequeños motivos recortados o calados sobre una superficie plana para obtener una decoración en relieve con patinas de distintos tonos.

Otra forma de decorar los metales (mayoritariamente metales preciosos) era y sigue siendo imprimir un diseño repetitivo de líneas, creando así zonas rayadas o mates que contrastan con las que mantienen su brillo y reflejos. Una variación de esta técnica consiste en oscurecer algunas zonas del objeto aplicándole un ácido o aguafuerte; bloqueando una zona con algún material resistente al ácido. Esta técnica actualmente se usa como técnica de *grabado* al ácido, que deja un diseño en bajo relieve sobre la superficie. También pueden realizarse diseños sobre la superficie, bien sea eliminando una franja angosta de metal con una herramienta de corte o presionando la superficie con una punta roma y martillando a lo largo de la línea del dibujo sin eliminar metal. A la primera opción se le llama *grabado* y a la segunda *cinzelado*; ambas técnicas son reservadas principalmente para el trabajo de los metales preciosos.

Actualmente el cinzelado se sigue utilizando, sobre todo en metales blandos y finos, como el oro, plata y cobre martillado. Pero lo que hoy se entiende por *grabado* suele ser más bien una técnica usada en artes.

Durante los siglos XIX y XX, el hierro pasó de ser un material artesanal a uno industrial. Su uso fue acaparado por las nacientes industrias metalúrgicas cuyos satisfactores inmediatos fueron las industrias del urbanismo (comunicación, construcciones, etc.) Muchos de los antiguos herreros como otros gremios artesanales tuvieron que adaptarse al proceso modernizador nacido en la Inglaterra del s. XIX, que se convirtió en un nuevo modelo

económico-social.²⁹ Las políticas industrializadoras de las ciudades se extendieron más allá de sus límites y la conciencia de urbanización sobrepasó a la noción de "lo rural".

El gremio artesanal absorbido por el crecimiento de la urbe se transformó en formas sociales más eficientes al nuevo modelo de producción industrial, que era por supuesto una competencia superior. Los gremios se fueron transformando en cooperativas, organizaciones (más de tipo obrero que artesanal) y otras formas de resistencia económica y social. El artesano estando dentro de ese mismo proceso urbanizador sólo tuvo dos opciones: incluir uso de máquinas (máquinas herramientas) o bien desaparecer; abandonar su trabajo artesanal e integrarse como obrero. Ante esta contradicción algunos artesanos lograron adaptarse a las exigencias de los tiempos y surge en las ciudades una nueva personalidad de artesano: *el artesano urbano*, opuesto geográficamente y culturalmente al artesanado rural, y al artesanado étnico. Durante estos siglos surge también el *modernismo*, que culturalmente asimiló y encausó las contradicciones sociales nacidas del proceso modernizador.

Especialmente en el diseño y arquitectura, el *modernismo* entendido bajo las ideas de W. Morris, J. Ruskin y otros más (*Arts and Crafts movement*) demostró al mundo industrializado la posibilidad de reivindicar las formas y diseños artesanales con las técnicas y tecnologías modernas, en un intento de unificar así el arte aplicado con la cultura de masas; el distanciamiento cultural entre técnicas artesanales (artísticas) y técnicas industriales. A partir de estas ideas, los usos contemporáneos del hierro (incluyendo el uso artesanal), se fueron aplicando en dos sentidos: Su uso *estructural* (arquitectura e ingeniería) y su uso *simbólico-funcional y estético* (artesanía, arte y diseño).

²⁹ ILLADES, Carlos. *Estudio sobre el artesanado urbano del S. XIX*, México, editorial UAM, 2001

Por ejemplo, un análisis recurrente es el del contenido de plomo en vestigios arqueológicos.

“El plomo aparece en concentraciones bajas en todos los metales. Cuando se analiza la proporción de isótopos de plomo en artefactos y luego en minerales de cobre provenientes de minas conocidas, podemos determinar si el metal del artefacto provenía de determinadas minas. Aparte de los datos de laboratorio, las evidencias arqueológicas, históricas y lingüísticas permiten reconstruir aspectos del contexto histórico en que surgió y floreció esta tecnología.”³³

Todo este trabajo de fina y rigurosa investigación es necesario para conocer bien a bien las técnicas y la simbología usada en las piezas. Según las investigaciones, la minería en México era prácticamente a cielo abierto. Se profundizaba muy poco, con pequeñas galerías, usando un sistema de madera que sostenía el interior de la mina. Mientras otros hombres se metían dentro de la gruta, iluminando el interior con teas de ocote untadas de resina. Extrayendo el mineral a base de desgajar la roca con cuñas y herramientas de piedra y hueso, cucharas de barro y navajas de obsidiana.

Casi todos estos trabajos extractivos se hicieron a baja profundidad, y una vez que la mina quedaba debilitada se abandonaba y se buscaba un nuevo yacimiento. En todas las culturas antiguas, la minería se trabajaba a baja profundidad. Y una vez agotada la profundidad límite se buscaba un nuevo yacimiento en la misma zona. Los minerales que se extraían del llamado *cinturón de cobre mexicano* eran: la calcopirita, malaquita, azurita, bornita, arsénico, arsenopirita y plata. La arsenopirita se fundía para producir los bronce de cobre- arsénico, diferentes al bronce cotidiano de cobre-estaño, pues no había estaño en la zona Michoacana sólo en Zacatecas al noroeste.

Las evidencias actuales de yacimientos (aún activos) provienen de zonas en el occidente de México. Fue allí donde ocurrieron algunos de los avances más complejos en la metalurgia mesoamericana, en la denominada *Zona Metalúrgica de Occidente*, cuya mayor riqueza es el cinturón de cobre en

³³ HOSLER, Doroty. Los orígenes andinos de la metalurgia del Occidente de México (en línea). Mayo 2005. Disponible en <http://www.lablaa.org/blaavirtual/publicacionesbanrep/bolmuseo/1997/enjn42/enjn01a.htm>. Consultado abril de 2009.

Michoacán, en este lugar aún existen yacimientos de plata, oro y otros minerales, entre ellos el zinc cuyo uso servía para alear finas hojas de latón.

Según Fray Bernardino de Sahagún, una de las más grandes minas de Moctezuma³⁴ era la de Zacatula, entre Michoacán y Guerrero, de la que se extraía el oro de río con jícaras de bule. Por fuente de Sahagún, también se tiene la lista de los 33 oficios artesanales más importantes de la ciudad de Tenochtitlán,³⁵ de los cuales se nombran los más practicados: trabajo de orfebrería general (*Teocuitlatzinque*); trabajo de fundidor, posiblemente bronce (*Tlepizque*); trabajo de fundición de metal (*Tloatiliani*), trabajo de batido o repujado de cobre (*tepuzteca*), trabajo de fundidor de cobre (*tepuzpitzque*), trabajo de fundidor de oro (*Teuquiltlapitzque*), trabajo de *dorado* o *enchapado*, tal vez en oro y plata (*Teucuitlavaque*). De esta lista notamos que se trabajaba la orfebrería básicamente con tres metales y una aleación (oro, plata, cobre y aleación bronce) y cuatro técnicas primordiales: *fundición, batido o repujado, laminado, dorado o enchapado*. Seguramente estas técnicas se complementaban por variaciones en sus procedimientos.

También se extraía oro en pepitas, de Oaxaca y Michoacán (según Vasco de Quiroga), así como cobre del pueblo de Churumuco, Michoacán. Y las minas de obsidiana en la Sierra de Navajas en Hidalgo. El caolín para hacer la arcilla cerámica, de uso común y para hornos, se traía de las minas del río Balsas entre Colima y Michoacán³⁶.

En Mesoamérica no se conocía el trabajo del hierro, pero se trabajaron otros metales, lo que dio una experiencia preparatoria para la mejor asimilación de las técnicas herrerías. Los metales usados eran el oro y la plata. El oro era usado por reyes y nobles; era un metal tan valioso como las piedras preciosas, la plumaria, y los textiles finos. Seguía el cobre, como suplemento del oro, que se usaba por los grupos trabajadores. Había también una aleación de oro y cobre, nombrada por los españoles como *tumbaga*. Este metal tenía bajo punto de fusión, por lo que su maleabilidad era excelente para enchaparlo martillándolo con finas capas de oro. La técnica de dorado se hacía

³⁴ DE LA BORBOLLA, *Op. Cit.* P 34

³⁵ *Ibid.*, p 69

³⁶ *Ibid.*, pp 34-40

sumergiendo el metal caliente en mercurio para hacer resaltar la capa de oro, ya sea para recubrir una pieza (enchapado) o para hilar finos alambres (dorado) en trabajos de joyería. Las técnicas más comunes eran: extracción de minerales, fundición de los mismos en lingotes, moldeo a la cera, laminado, corte, repujado, soldadura, filigrana, trefilado y dorado (chapeado); además se empezó a utilizar un tipo de bronce poco después del año 1000 d.C. Los hornos de fundición eran construidos de arcilla, y su tecnología era una labor de varias etapas. Primero se extraía el mineral, se molía y se seleccionaba. El fundente (hematina o limonita; óxido de hierro) se molía y se colocaba dentro del horno. Junto con una gran cantidad de carbón vegetal, procurando que el carbón quedara debajo del fundente. A un costado del horno, se introducían varias varas de caña, que servían como "toberas" cuya función era potenciar el aire sobre el carbón y elevar la temperatura. Con el mineral y el fundente juntos, los sopladores debían elevar la temperatura, haciendo turnos entre uno y otro. Unas 3 o 4 horas, era sin duda un trabajo agotador.

El resultado de esta fundición era obtener lingotes de aleación oro y cobre, o bien cobre puro. Mismos que servían para martillar piezas de joyería y orfebrería; así como herramientas de cobre. Muchas piezas de arte funerario hechas en cobre se chapeaban con *dorado*.

La técnica de dorado es comparable a lo que actualmente conocemos como revestimiento electroquímico. Con ella se podía revestir el bronce de oro, y el cobre de oro o plata. El oro o la plata eran disueltos en una solución acuosa de minerales corrosivos. Luego se sumergía la pieza de cobre en la solución, que con calor lograba una adherencia óptima. El dorado por este método podía ser total, para piezas de formas caprichosas o irregulares, sumergiendo toda la pieza o bien con un revestimiento parcial, con el dorado de un sólo lado de la pieza. También se aplicaban mascarillas para el dorado, en base a una sustancia orgánica que cubría sólo cierta área de acuerdo al diseño. Este mismo proceso de dorado se hacía con plata, disolviendo el metal en una solución corrosiva.

El laminado es la técnica más recurrente de la metalistería mesoamericana; se hacía con finas laminillas adelgazadas a martillado sobre

yunque de piedra o de hueso (yunques pequeños). Casi nunca se dejaban las marcas del martillado, así que seguramente se alisaba la lámina a manera de acabado. Para unir las piezas se usaba la técnica de doblado (sistema ranura/lengüeta), aprovechando las cualidades flexibles del metal para hacer piezas cóncavas y (o) convexas que se unían y remachaban en los extremos de sus uniones.

Otro tipo de unión era con *soldadura*; una pasta de óxido de cobre, carbón y sal como fundente que se unían al calentarse ambos lados de la pieza y martillándolos o bien intercalando soldadura-fundente con incrementos de temperatura en una pequeña fragua.

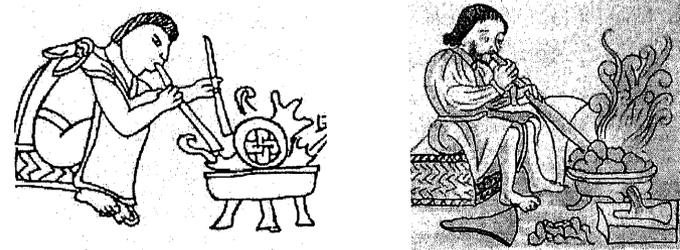


Ilustración 9 Los documentos sobre la metalistería mesoamericana son pocos, pues mucho fue destruido. Pero algunos relatos novohispanos describen ciertos procesos artesanales.

Disponible en

http://www.raulybarra.com/notijoya/archivosnotijoya8/8metalurgia_mexico_antiguo.htm

Otra técnica era la de embutido, en la cual se repujaban laminillas sobre un molde de piedra para hacer pequeñas piezas de joyería. Esta técnica se complementaba con aplicaciones de alambre dorado o plateado, trenzado de forma armónica, esta era la técnica de *trefilado*. El trefilado igual que el laminado es un proceso en que se fuerza al metal a tomar una forma distinta de

la que tiene, ya sea haciéndolo pasar por un agujero, o golpeándolo sobre una base (yunque). Técnicamente es un proceso de extracción, históricamente desarrollado con moldes, rodillos laminadores y hasta prensas o forjadoras hidráulicas. Sin embargo, en todas las culturas el inicio de esta técnica se hacía con métodos manuales o máquinas de tecnología básica, forja, laminadora y trefiladora. Contrario a esto, en América no se llegó a encontrar alguna máquina trefiladora³⁷, posiblemente el trabajo de trefila se hizo con grandes bloques de piedra, en cuyo cuerpo se perforaba un agujero cónico por el cual (afilándose) se hacía pasar el metal previamente deformado en forma de tubillo sobre un yunque, obteniendo los alambres de metal en distintos grosores ya sea para enroscados de ornamentación, anzuelos, ganchos, etc.

Cuando llegaron los españoles a Mesoamérica, llamaron al oro en pepitas "oro de los placeres", pues lo extraían sin mayor trabajo usando un bule en los lechos de río. Casi todos los yacimientos grandes o pequeños sufrieron una sobreexplotación. Pues si para los mesoamericanos el oro (como otros metales) tenía un valor divino, para los españoles su valor era eminentemente monetario. Así que poco a poco los metales preciosos se fueron agotando de las zonas accesibles y se tuvo que recurrir a yacimientos profundos. Sobre todo a la extracción y exploración de la plata, pues el oro había sido agotado.

Una de las tantas catástrofes del encontronazo desigual entre las dos culturas fue el saqueo de muchas riquezas nativas, como oro en lingote y hermosísimas piezas. "...Alberto Dureró, que vio el oro y los tesoros llegados del Nuevo Mundo durante su estancia en Amberes en 1521, quedó sorprendido ante las formas inusuales y el arte con los que estaba trabajado el oro; formas distintas a las entonces vistas en Europa..."³⁸

Además del saqueo de riquezas naturales, se importaron de Europa, Asia y África distintas materias primas, como el marfil, trigo, cebada, aceites, jabones, lejías, maderas, cretas, seda, aceites, lanas, corcho, pasta cerámica, vidrio, ganado y hierro. Con el hierro llegaron distintas herramientas en este

³⁷ DE DORA, Grinberg. *Los señores del metal, minería y metalurgia en Mesoamérica*. México, editorial Pangea, 1990. P 16

³⁸ Herrera, José. *Metalurgia en el México Antiguo* (en línea). Disponible en http://www.raulybarra.com/notiyoja/archivosnotiyoja8/8metalurgia_mexico_antiguo.htm. Consultado abril de 2009.

material como: martillos, mazos, cinceles, gubias, hachas, tijeras, recipientes y cubetas; punzones y herramientas para el campo. También se exportó el telar de pedales, la lana y otros colorantes. El impacto técnico y cultural de los españoles sobre la cultura artesanal indígena, obligó a los indígenas a una asimilación de la artesanía europea; a pesar de que las mismas instituciones novohispanas minorizaban el trabajo indígena por muy exquisito que fuera...

*"el artesano español introdujo las herramientas y las técnicas, los estilos, formas, símbolos y decoración del arte español que practicaba, pero fueron muy pocos los artesanos peninsulares que vinieron entre los conquistadores y posteriormente, muy pocos también los que inmigraron; a la larga se impuso el artesano nativo, con sus técnicas y experiencias, a pesar de lo cual no recibió iguales beneficios y tratos. Fue así como se inició el proceso de transplante de herramientas y técnicas..."*³⁹

Ya que el indígena siempre fue discriminado, tuvo que asimilar las técnicas españolas para integrarlas a su trabajo y competir con la artesanía peninsular, lo cual lo motivó a desarrollar un trabajo superior con miras a liberarse del trabajo gremial y de las encomiendas de indios, que eran siempre injustos, sin paga alguna, iniciándose un lento mestizaje. *"El artesano indígena que sobrevivió a todas las brutalidades de la conquista, fue el superviviente más capacitado para rehabilitar física, material, moral y espiritualmente a su comunidad, contando con la herencia cultural propia y la de todos los miembros de su comunidad."*⁴⁰

El hierro llegó a América como un material de primera necesidad. Su importación se debía a las necesidades de los españoles que requerían utensilios de hierro como: clavos, vigas para embarcación, cerrojos, herramientas agrícolas, etc.

La importancia del metal en la Nueva España radicaba en su composición; esta debía ser resistente y maleable (con la forja), así como fácil de conseguir y económico. Sin embargo, al no haber yacimientos féreos descubiertos por los pueblos nativos, los primeros españoles tuvieron que importar el hierro y los herreros desde Vizcaya. Después de un tiempo, los

³⁹ DE LA BORBOLLA, *Op Cit.*, p 120

⁴⁰ *Ibid.*, p137

españoles vieron que resultaba más fácil buscar yacimientos de hierro y enseñar el oficio a los artesanos mesoamericanos. Esta labor educativa fue en un inicio encomendada a los misioneros católicos, que se encargaron de administrar la enseñanza de nuevos oficios dentro de los gremios.

La idea de fundar los gremios artesanales vino primero del s. V con el gobierno Romano, luego fueron retomados por la Iglesia bajo el nombre de *officium ministerium* (ministerio del oficio). La función de los gremios era tener empadronados a los talleres en activo y poderlos asistir en necesidades espirituales y sociales. En tal medida, los gremios nacieron como una idea revolucionaria similar a lo que hoy en día son los sindicatos.

Los mismos clérigos realizaban labores de educación y colaboraban en darles razón jurídica y social a los agremiados. También participaban en la educación de los agremiados (maestros) para garantizar un éxito económico y social; se disponía el gremio como una entidad social, jurídica y económica fundamentada en la doctrina social de la iglesia.

Con todo y sus ventajas, el sistema gremial siempre fue excluyente para los indígenas, negros y asiáticos; se trataba de no difundir las técnicas, y estaba prohibido que un indígena u otro no español, llegara al grado de maestro. Indios, negros, mulatos, mestizos y uno que otro asiático, eran tratados como mano de obra calificada, sin derecho a sueldo ni reconocimiento social de su trabajo. El mismo gremio de herreros solo podía ser ocupado por maestros de nacimiento español.

La labor educativa de misioneros fue de gran importancia; Fray Pedro de Gante, "*fundó la primer enseñanza de artesanías españolas en América, con herramienta, técnicas y estilos artísticos españoles*"⁴¹.

La jerarquía educativa dentro de un taller agremiado era: *aprendiz, oficial y maestro*. Este último resultaba el nivel más alto al que se aspiraba dentro de un taller, y era también el puesto de mayor responsabilidad; encargándose de observar el equilibrio entre precio y demanda. El maestro también gestionaba los recursos materiales y técnicos, supervisaba la producción y los contratos (los encargos), así como labores extra artesanales relacionadas con la ayuda

social a cada artesano. Era práctica común colaborar en la vida espiritual de los agremiados por vía del culto al santo patrono, los consejos evangélicos y la acción caritativa (apoyo entre los agremiados).

Muchos gremios se organizaban extraordinariamente en cofradías, esta función era de tipo religioso para compartir el calendario litúrgico y organizar las fiestas patronales. El gremio se encomendaba a un santo patrono, asignado según la fecha de su ordenanza. El trabajo por cofradías fue evolucionando hacia distintos oficios. Básicamente de tres tipos: los que elaboraban objetos artísticos como los plateros, pintores, escultores; quienes hacían bienes utilitarios como: carpinteros, zapateros, latoneros, sastres, etc. y aquellos artesanos de servicio como albañiles, barberos, peluqueros, cereros, etc. Para mediados de los siglos XVI y XVII había más de 200 cofradías registradas que fungían además como centros formativos para nuevos artesanos.

A principios del s. XVI quedaron establecidos los principales gremios registrados: alfarería, arquitectura, aristología (recetas y herbolaria), bizcochería, cestería, carpintería, cartonería, cerería, cestería, confitería, curtiduría, ebanistería, encuadernación, escultura, florería, grabado, huarachería, indumentaria, jarciería, juguetería, licorería, panadería, papelería, pirotécnica, repostería, tapicería, tejidos, zapatería, licorería, ladería, mueblería, pintura, literatura y música popular.

En lo respectivo al trabajo de los metales, existía: la metalistería, que efectuaba un trabajo fino de influencia española; platería, que era trabajo de joyería principalmente religioso, en plata, oro y cobre. La hojalatería, utilizada en la elaboración de trabajos finos de juguetes y objetos útiles de casa, en estilos afrancesados o italianos; la plomería, destinada al vaciado de juguetes en plomo; la fundición, cuyo oficio se especializaba en cera fundida; y la herrería cuyo trabajo era totalmente español, exportando técnicas, diseños y a veces hasta materiales.

La cofradía de herreros se fundó el 6 de abril de 1568 en la Ciudad de México; sus miembros se dedicaban a la hechura de trabajos de uso cotidiano. En ocasiones su trabajo se llegaba a relacionar con otros oficios de metalistería, desde paileros hasta peroles. Bajo este impulso de formalizar los oficios existentes, se buscó detener la crecida de los talleres mestizos que

⁴¹ *Ibid.*, p138

superaban en mucho a los españoles, así como la formalización del trabajo artesanal como sector económico propio de la corona española. Se recurrió entonces, a imponer una serie de impuestos obligatorios para los artesanos (indígenas, criollos y españoles). Sin embargo, dicho impuesto beneficiaba a la artesanía de importación (principalmente de Sevilla) y empobrecía al artesano indígena, que se le cobraba hasta por la materia prima extraída de sus propias tierras. Ellos debían pagar por: a) Materias primas; b) Artesanía indígena, c) Artículos artesanales hechos con materia prima indígena o española, y de consumo interno o de exportación, de técnicas y obrajes indígenas o españoles, d) Artículos de diseño español elaborados por indígenas y para indígenas, e) Exploración y recolección de materias primas propias de la Nueva España: minerales, plantas y fibras, algodón, cochinilla y pigmentos.⁴²

La corona española también decretó la prohibición a los artesanos indígenas de producir ciertas artesanías exclusivas de España, así como llegar al grado de maestro dentro de los gremios.

“...en lo legal y en la práctica, el indígena se convirtió en un artesano de segunda clase; aun cuando era un competente elemento técnico dentro de la comunidad. Esta posición se debió al sentido de superioridad del conquistador y al temor de que el indio lo desplazara en muchas actividades.”⁴³

Si el trabajo artesanal, venía enseñándose por muchos clérigos para equilibrar el mercado y hacer más justa la supervivencia del artesano indígena, con los impuestos obligatorios sólo se incrementó la injusticia y propició la conciencia de autonomía artesanal del mestizo. El mestizaje propiamente estaba instituido y sintetizado en las prácticas mismas de los distintos oficios.

Los gremios fueron decayendo lentamente por su administración excluyente, injusta, burocrática y conservadurista. Así mismo influyó el impacto de la Revolución Industrial en Inglaterra y la labor educativa de algunas

⁴² DE LA BORBOLLA, *Op Cit.*, p 113

⁴³ *Ibid.*, p115

órdenes religiosas que buscaron siempre enseñar los oficios sin restricción para todas las clases desequilibrando el monopolio de algunos gremios.

Finalmente se abolió el sistema gremial en 1814 (decreto de la corte de Cádiz), estableciendo la libre producción artesanal y la abolición de impuestos en insumos de importación. Durante el s. XVI al s. XVIII se crea gran cantidad de modelos en hierros forjados, barrotes, balconería, ventanales, y otros elementos arquitectónicos forjados en hierro, principalmente por el crecimiento de ciudades como Cholula, Huejotzingo, Tepeaca, Zinacantepec. Las ciudades de Oaxaca, Puebla, Michoacán y Ciudad de México destacaron como máximos ejemplos de trabajo herrero.

El origen de la balconería forjada viene desde el Románico⁴⁴, cuando se modificaron los tamaños de las ventanas en las construcciones, por lo que las herrerías tuvieron que acortarse en tamaño y diseños. Bajo la protección y ornamentación de las ventanas acabadas en *volutas* y *hojas de acanto*, se comenzó la tradición de piezas forjadas para proteger conjuntos arquitectónicos. También el repujado en lámina y soldado al fuego se usaba desde el Románico, pero es sustituido por formas más sobrias, originando un trabajo más fino en sus ornamentos. La forma general de los ventanales consta de un zócalo o base, el cuerpo de la reja (barrotes) y el remate u ornamentación. Estos barrotes eran cilíndricos, cúbicos, prismáticos o bien retorcidos. Muchos balcones eran retocados por esferas de bronce, así como clavos de distintas formas (aplanados o martillados) para lucir las puertas; estas dos costumbres fueron exportadas de Arabia a España.

Todo este arte de herrería en formato grande se complementaba por herrería en pequeño formato, como piezas de cerrajería, clavos, cerrojos, verjas, bisagras, goznes y aldabas para tocar la puerta. En lo que respecta al mobiliario, también se produjeron candelabros, cerraduras, llaves, baúles, azadones, armas y otros utensilios. Todos estos eran resultado más del mestizaje, pues respondían a necesidades locales de costumbres. Mientras el trabajo en forja era más bien un oficio exclusivo de España, resistente de primera mano a la asimilación del indígena. El forjado a gran escala tomaba todos sus modelos de España, así como casi todos los maestros herreros, que

⁴⁴ GARCÍA, Islas. *Hierros forjados*, México, 1949. p. 17

llegaban encomendados para enseñar el oficio. En cuanto al material, se exportaba principalmente de las herrerías de Vizcaya. Esto se debía a que la industria de la herrería estaba bien desarrollada en España, mientras aquí, en la Nueva España no había hornos fundidores tan grandes, de modo que el hierro bruto no podía separarse de la escoria, a lo mucho se alcanzaba un hierro purificado a golpe de martillo, hasta extraer un tanto de escoria, pero la temperatura era tan baja que muy poco se comparaba en consistencia y tenacidad al hierro de horno.

Los hierros que llegaban tenían la forma de lingotes cuadrangulares y redondos, con un largo de unos 3 a 2 metros. Pero si se necesitaba uno más largo se mandaba a pedir por encargo, como las herrerías de la catedral de Puebla o la reja de la capilla del Santo Cristo en Tlacolutla, Oaxaca.

Puebla, Querétaro, Tlaxcala, Morelia y la Ciudad de México fueron otras ciudades donde se costeó bellísimas piezas herreras para ornamento de la arquitectura.

Durante el s. XIX, se comenzó a sustituir los forjados artesanales por perfiles maquinados y se sustituyó gran parte de las ornamentaciones por vaciados en hierro fundido. Dando como resultado hermosas piezas de forja con añadiduras de hierro fundido o fundidos en bronce y hasta cobre. Las primeras piezas de hierro fundido, fueron exportadas a México bajo influencia de los hierros franceses del s. XIX. Estos fundidos afrancesados, abarcaron y sustituyeron la forja tradicional al grado que actualmente la industria produce hierros forjados mecanizados, en grandes máquinas y fuertes cantidades,

"...paradójicamente, el artesano inglés fue el creador de la revolución industrial y el destructor del propio destino del artesano mundial".⁴⁵

Sin embargo, lo relevante aquí es considerar esta transición técnica-tecnológica para la artesanía, en la cual las piezas en hierro fundido (propias de la modernidad) hacen su aparición en el universo de la estética del hierro; vislumbrándose con esto un uso *artístico-urbano* del hierro; algo completamente opuesto a la función *artesanal-comunitaria* del antiguo trabajo de forja. El trabajo de hierro fundido con el único fin de ornamentar y

⁴⁵ DE LA BORBOLLA, Op Cit., p 268

embellecer la arquitectura de las ciudades, se expresó en mobiliario urbano de temas escultóricos.

A partir del s. XIX comienzan a fundirse diseños que simulaban el trabajo de forja; de estos, tal vez el más conocido (y aún persistente) es el diseño de bancas y sillas de jardín.

"...en todos los países, el mercado estaba dominado sólo por algunas cuantas empresas: Barnard & Bishop y Coalbrookdale en Inglaterra; Einsiedel, Launchhammer, Stolberg y las fundiciones de Berlín en los países germánicos; Réquillé & Cía. En Bélgica; Zuloaga en España; Truker en Estados Unidos. Sin embargo, a fines del Siglo XIX el número de empresas de todo el mundo parece disminuir".⁴⁶

Los estilos escultóricos de las fundiciones solían retomar motivos alegóricos o reminiscencias de distintos artistas como Miguel Ángel, Germain Pilon, Puget Alegrain, Coustou, Bouchardon, Houdon Canova y otros artistas que en su momento exponían en los salones de arte de la época.

Muchas piezas se complementaban en su aspecto figurativo con alguna intención funcional, como luminaria, faroles y maseteros. Todos ellos de marcada influencia francesa.

El siglo de los vaciados en hierro fundido, impulsó también grandes herrerías y siderurgias como la de Apulco en Hidalgo y la de Monterrey. El excelente equilibrio entre la tradición escultórica similar a los vaciados en bronce y la ornamentación de influencia arquitectónica, hizo que del s. XIX al s. XX se difundiera este arte por todo el mundo y desentronizara la estética del hierro forjado.

El trabajo herrero con y sin incrustaciones de fundición, así como el trabajo de fundición (estatuaria en hierro fundido) fue un fenómeno propio de las ciudades modernizadas. Pero también en comunidades menos urbanizadas, como poblados y pequeñas urbes, se siguió requiriendo de los diversos oficios de *metalistería: chapistería* (hechura de "chapas" laminadas), hojalatería, cuchillería, y otros trabajos de formato pequeño.

⁴⁶ CHEVILLOT, Catherine; "Escultura de hierro colado en la Francia del siglo XIX", en *El arte del hierro fundido*. México, ediciones Artes de México, 2004 p10

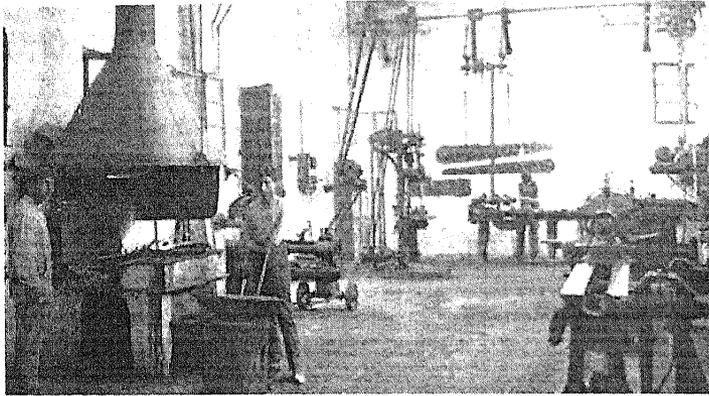


Ilustración 10 Taller artesanal del S.XIX Se observa en la foto el uso de maquinas-herramientas.
Consecuencia directa de la revolución industrial.
Disponible en <http://www.esgrimaantigua.com>

Un último rasgo importante del s. XIX fue la autoconciencia de la artesanía como valor estético-artístico. La artesanía se revaloró como objeto cultural-estético autónomo en todos sus aspectos: tecnológico, estético, económico y social. La autoconciencia moderna que pugnaba por buscar nuevos ideales estéticos pudo reconsiderar formas estéticas distintas al viejo ideal de belleza. Se reconsideró no bello, sino *expresivo* al objeto artesanal. En una reacción análoga a los artistas europeos que buscaron en el arte primitivo (*naïf*) nuevas concepciones de lo estético. Una reacción contra la tradición estética euro centrista y su ideal de belleza universal y canónica, expresada en un "arte bello" (bellas artes).

Para formular una estética del objeto artesanal se debe recorrer la historia del s. XX buscando las raíces teóricas del ideal hegemónico de "*bello arte*" y someter a crítica sus conceptos, buscando nuevas categorías estéticas y nuevas experiencias de hacer y admirar la artesanía. Esta revisión crítica fue iniciada por los mismos *artesanos-artistas*, Roberto Montenegro, Jorge Enciso

y Gerardo Murillo (Dr. Atl); con un interés primeramente estético-formal, que posteriormente deviniera como valoración etnológico-social.

La conciencia moderna por "lo nacional" vino como consecuencia del movimiento de Independencia y se manifestó con un exacerbado sentimiento de búsqueda de la identidad cultural propia de lo mexicano, expresado en diferentes áreas de la cultura. Sin embargo, en las artes, la artesanía fue considerada como un arte: es decir, un arte popular. A partir de la exposición de *Arte Popular* en 1921, se editó la primera investigación sobre el tema bajo el título "*Las Artes Populares en México*".

Las premisas nacionalistas del Dr. Atl fueron variadas, por ejemplo, en la introducción al catálogo de la exposición, incluía la concepción griega de *techné* (saber hacer o saber trabajar algo). Esta noción como fundamento de la reconsideración de la artesanía igualó el valor entre oficio artesanal y oficio artístico, ya que como se ha mencionado este concepto no hace distinción entre trabajo manual y trabajo intelectual. Sólo así la artesanía pudo ser valorada como un arte de estética autónoma, cuyo rasgo distintivo era ser un arte "popular". Tiempo después se logró la distinción entre artesanía y arte popular.

En 1922 cuando estas ideas estéticas se extendieron, surgió el Sindicato de Pintores, Escultores y Grabadores Revolucionarios de México, los cuales en su manifiesto mencionan:

"No sólo el trabajo noble, sino la más mínima expresión espiritual y física de nuestra raza, brota de lo nativo (y particularmente de lo indio).

Su admirable y peculiar talento para crear belleza hace que el arte del pueblo mexicano sea la más sana expresión espiritual que hay en el mundo y su tradición, nuestra posesión más grande... Proclamamos que toda manifestación estética ajena o contraria al sentimiento popular es burguesía y debe desaparecer porque contribuye a pervertir el gusto de nuestra raza, ya casi completamente pervertida en las ciudades...⁴⁷".

La idea latente del valor de *lo popular*, es signo espiritual de una pureza estética espontánea y original. Ésta es una idea originaria del Romanticismo,

⁴⁷ PEÑALOZA, Martínez Porfirio. *Tres notas sobre el Arte Popular en México*. editorial Porrúa, México 1980, p 45

que reivindicó cómo la obra artística siempre nace del espíritu popular, el espíritu del pueblo se manifiesta en una identidad nacional a través de sus obras. La originalidad de estos pioneros en la revaloración de la artesanía y el arte popular fue precisamente asumir estas ideas y argumentarlas dentro de un contexto histórico específico (el nacionalismo) a favor de un sector cultural olvidado. Artistas como Diego Rivera, Ramos Martínez, José Clemente Orozco, Saturnino Herrán y otros, evidenciaron este vínculo entre arte y artesanía como dos valores de un mismo fenómeno: lo popular-nacional. Surgen también colecciones como la de Jorge Encino, Roberto Montenegro, Federico Starr, Carl Lumholtz, entre otras, nacionales e internacionales. Además como exigencia intelectual surgen las primeras generaciones de investigadores como el Dr Atl, pionero y abuelo del arte; la revista de crítica plástica *Forma* (1926-1927) bajo la dirección de Gabriel Fernández Ledesma, Salvador Novo, Justino Fernández y Manuel Toussaint, así como la revista *Mexican Folkways* (Nueva York, 1947) editada por Frances Toor.

Con esta nueva visión totalmente moderna de la artesanía, se institucionalizaron centros de educación como el Museo Nacional de Antropología y el Museo Nacional de Artes e Industrias Populares. Así como diversos centros de formación e investigación en varios oficios artesanales. Escuelas, misiones rurales, departamentos de difusión e investigación artesanal, exposiciones y concursos para creadores artesanales. Conjuntamente, el incremento de una modernidad urbana, expresado en la industrialización de las ciudades, acentuó la identidad de lo artesanal (la pieza artesanal y el trabajo artesanal) así como otros valores extra-artesanales, como la idea de lo nacional, lo folklórico y lo indígena. Sin embargo, es también en la Edad Moderna de la artesanía mexicana que se agudiza la identidad y valores del arte popular; así como el objeto artesanal frente a la producción del objeto industrializado. Con el paso del tiempo algunos talleres artesanales ubicados en zonas urbanas fueron incluyendo en su modo de producción máquinas y herramientas, seducidos por una simplificación del proceso de trabajo en la relación de menor esfuerzo laboral y un mayor rendimiento. Sin embargo,

algunas investigaciones⁴⁸ han nombrado a esta incursión de la industrialización capitalista en la producción artesanal, como un fenómeno de *producción manufacturera*.

El modo de producción manufacturera oscila entre la producción artesanal preindustrial y la producción plenamente industrial. Si antiguamente el artesano producía con materias primas, la producción manufacturera usa materiales industrializados. También la relación artifice-material no necesariamente se da como un proceso transformador e íntimo entre hombre y material de principio a fin. Sino que muchos artesanos manufactureros transforman sólo una parte del material o la pieza y prefieren mandar a hacer con un técnico especializado ciertas partes de la pieza. Este giro en el modo de producción artesanal puede presentarse con diferentes intensidades en cada taller, tanto así que en la Edad Moderna y Contemporánea surgen talleres plenamente manufactureros, con elevada administración técnica y mercantil para producir piezas pseudo artesanales distribuidas en gran volumen y a bajo costo, imponiendo un reto desigual a la producción artesanal.

Además el fenómeno de la producción artesanal manufacturera, reta al público consumidor a que identifique que no todo objeto autonombrado como artesanía es o ha sido producido artesanalmente. En este contexto surge la polémica sobre la definición de la artesanía y el arte popular, que pese a la complejidad de encontrar una definición unívoca, algunas de las definiciones más ortodoxas son:

Arte Popular tradicional sería, el conjunto de manifestaciones estéticas de carácter plástico que proceden de estratos sociales económicamente débiles y cuyo uso, función, forma y significado obedecen a pautas de cultura tradicional. Tales expresiones son producto de una actividad individual o familiar que se lleva a cabo de forma complementaria a la actividad básica de subsistencia. La enseñanza de su técnica no es académica y se transmite espontáneamente de generación en generación.

⁴⁸ ORTIZ, Angulo Ana. *Definición y clasificación del arte popular México*. Ediciones INAH, México. 1990

El productor de arte popular generalmente utiliza las materias primas que le brinda su medio ambiente y la elabora con herramientas no especializadas. Su producción por lo general limitada, se destina al consumo local en un medio predominantemente rural.⁴⁹

La diferencia con artesanía sería la siguiente:

"...cuando el arte popular tradicional se comercializa tiende a convertirse en artesanía, esto es, a desarrollar la organización de un taller con jerarquías y salarios, en que se persigue la producción en serie, mediante la aplicación de una técnica más elaborada que sustituye a la tradicional.

Así mismo se reemplazan los viejos patrones estéticos y por lo tanto se altera el uso, la intención y el significado de los modelos originales. El aprendizaje se realiza a través de un proceso sistematizado y dirigido. Por otra parte el taller artesanal sirve a un medio social de consumo más extenso.⁵⁰

Conjuntamente a ambas definiciones se incluye la definición de Industrias Artesanales, éstas pueden identificarse con el modo de producción manufacturera antes citado. Dice:

"Reciben este nombre (industrias artesanales) las artesanías que corresponden al tipo económico de la producción en serie y en las cuales se utiliza una maquinaria especializada donde los artesanos se vuelven obreros y perciben un salario fijo, organizados dentro de la gran industria. Su producción está sujeta a las fluctuaciones que impone el mercado nacional y el internacional, y su uso, función y significado ya no guarda relación con los tradicionales."⁵¹

Una definición complementaria es la de Jas Reuter, citado también por Porfirio Peñaloza en la distinción entre arte popular y artesanía. Reuter propone:

"La obra de arte popular es siempre una interpretación individual, personal de una determinada idea o tema tradicional en una sociedad; es decir, a través de infinitas variantes (tantas como hay obras) reflejan la imaginación creativa del autor.

⁴⁹ PEÑALOZA, Op Cit., p 65

⁵⁰ *Ibid.*, p 66

⁵¹ *Ibid.*, p 67

La obra artesanal en cambio, es la repetición invariada, rutinaria y mecánica de esa idea, de esa forma o de ese tema."⁵²

También distingue entre artesano y artista popular. El artista popular generalmente crea obras para consumo propio o para su comunidad, se mantiene fiel a su tradición local sin importarle el tiempo de elaboración de su obra ni el reconocimiento social de su nombre como *autor*, es por ello un trabajo anónimo. Además de que el artista popular usualmente no tiene una formación académica ni especializada en su oficio, sus conocimientos y aprendizaje provienen directamente de su comunidad a través de los modelos tradicionales que repite, imprimiéndoles su expresión individual como rasgo propio que evita una reproducción esquemática.

En cambio el artesano sí parte de un trabajo más estructurado, en el sentido que genera su pieza como un modo de vida (vive de vender su obra) en tal situación debe preparar la producción de su obra, adaptándola a las necesidades del mercado, lo que implica una planeación de cada pieza, desde la concepción o diseño hasta el proceso y la búsqueda de un mercado en dónde dar salida a sus piezas.

El artesano puede caer en cierta repetición invariada y mecánica de sus diseños con tal de seguir en el mercado. Igualmente al aspirar a un tipo de enseñanza más estructurada y sistemática, puede buscar una formación académica en escuelas de artesanías, diseño artesanal o empresas artesanales. Es posible entonces que haya una artesanía popular y una artesanía académica. Seguramente se trataría de piezas artesanales distintas en cuanto a su modo de producción y morfología, sin embargo, compartirían el título genérico de artesanía. El arte popular bajo ciertos objetos creados entraría en este título genérico de artesanía.

La alteración de los modos de producción hecha por la industria del s. XIX al s. XX ha generado la polémica sobre la identidad del objeto artesanal. Todo este proceso complejo y riquísimo de *la artesanía como forma estético-cultural* en el s. XX, debe ser motivo de estudio, por parte del artesano a partir de sus fuentes directas (textos, museos y exposiciones) para concebir una

⁵² *Ibid.*, p 73

tradición artesanal moderna, con identidad técnica-material y estético-cultural, propia y bien definida; capaz de generar formas artesanales innovadoras, fundamentadas en el pasado histórico de la artesanía, es decir, retomando la tradición para reconfigurarla en el presente.

CAPÍTULO 2

2. TÉCNICAS DE TRABAJO DEL HIERRO EN FRÍO

Se conocen como técnicas de trabajo en frío los procesos en que no se requiere calentar el metal; el trabajo se da de forma instantánea con el uso de herramientas que pueden ser manuales o industriales (máquinas-herramientas). En este capítulo expongo los tipos de *corte en frío* en los que se usan herramientas manuales y máquinas-herramientas.

2. 1. Técnicas de corte con herramientas manuales

2.1. 1. Corte con sierra de arco

Hay dos tipos de corte, *como incisión* y *como desbaste*. En el primer tipo sólo se marca el material, mientras que en el segundo se divide un trozo del mismo.

Otra clasificación del tipo de cortes es según los medios que se usan, ya sea *corte por aserrado*, que es cuando se corta con una herramienta que tenga dientes, por lo que desprende viruta o limadura, tal como ocurre al cortar con segueta o taladro (que desprenden viruta al avance del corte). Y *el corte por cizallado* que es cuando se corta con alguna herramienta o medio que tenga una sola hoja o filo, cuya acción cortante sea rápida y certera, sin desprender virutas ni limaduras del metal; por ejemplo: la cizalla y las tijeras.

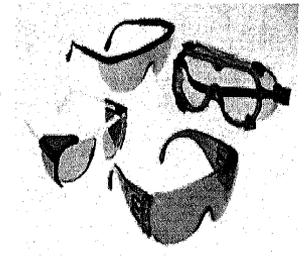


Ilustración 11 Lentes de protección
Disponible en
<http://www.lasingonline.com/images>

La seguridad.

Al aserrar con segueta se puede prescindir de usar *lentes de protección* para los ojos. Pero si se hace con esmeriladora, las gafas son imprescindibles; o bien puede usarse una *careta de esmerilar*. Al cortar se debe cuidar una tensión eficiente de la hoja (ni muy tensa, ni muy holgada) sólo bien sujeta, firme y recta; sin forzar el corte. El arco que sostiene a la segueta debe estar recto; se verifica a nivel de ojo que no esté torcido pues desalinea la hoja y puede hacerla quebrar al momento del corte. Algo muy peligroso, pues si la hoja de segueta se rompe al momento del corte puede volar un trozo afilado hacia la cara u otra parte del cuerpo.

Técnica de aserrado con segueta de arco.

Al cortar el hierro en frío se usan tres herramientas distintas: *el arco y seguetas; las limas y las tijeras de corte para lámina de hierro.*

Los arcos de segueta se venden en una medida estandarizada, y son de diferentes diseños.

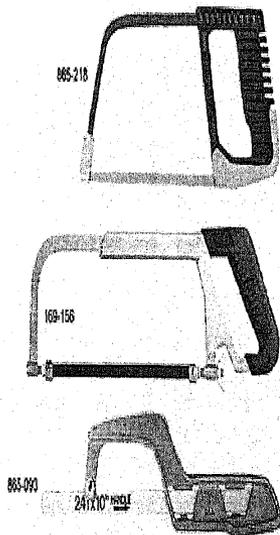


Ilustración 12 Arcos con segueta.

Disponible en

<http://www.stanleysupplyservices.com/imag>

es

Un buen corte se logra si el arco está bien alineado y si se ha desarrollado experiencia en cómo dirigir el corte, se debe cuidar el equilibrio correcto del cuerpo, tener un arco con mango cómodo, por ejemplo, el tipo de pistola cuyo contorno facilita su manipulación.

Los pasadores o espárragos que sujetan los extremos de la hoja deben ser ajustables para poder colocar el filo de ésta por lo menos en cuatro posiciones, y hacer cortes no sólo verticales si no también horizontales y hasta diagonales.



Ilustración 13 Números de dientes por pulgada

Disponible en <http://www.mimecanicapopular.com>

Las hojas de segueta son intercambiables y tienen un diseño en sus dientes de forma alternada, para que al cortar abran un surco más ancho que la misma segueta y no queden atorados sus dientes en el material, desarrollando una velocidad *de corte*⁵³. Las hojas suelen tener 1/2" de ancho, .025" de grueso, y se suministran en largos de 10" y 12" se coloca de forma que los dientes apunten en dirección opuesta al mango. Las hojas de acero rápido son más resistentes al desgaste y permiten cortar metales mucho más duros. La hoja flexible que es la más usual, aunque existen también hojas duras de diferentes calibres con dorso rígido. Aún cuando estas hojas permiten efectuar cortes uniformes en metales muy duros, son frágiles y se rompen fácilmente en materiales con tendencia a la flexión. Una buena hoja debe combinar flexibilidad al uso y dureza en sus dientes, que no se enchueque a los primeros movimientos.

El desgaste de las seguetas depende del material en que está elaborada. Generalmente todas son de acero al alto carbono, aunque hay otras de acero a alta velocidad, que tienen menor desgaste y más flexibilidad. Al aserrar es importante considerar que debe haber por lo menos tres dientes que hagan contacto simultáneamente con el material; esto impide que los dientes se rompan y prolonga la vida útil de la segueta.

Medidas de dientes que tienen las seguetas:

El grosor de los dientes⁵⁴ de arco tipo pistola es de: 14, 18, 24 y 32 por pulgada. Si tiene entre 24 y 32 estamos ante una segueta fina, para cortes precisos y limpios; las de tipo más grueso o diente tosco se recomiendan generalmente para cortar trabajos de acero suave, hierro vaciado, latón, bronce, aluminio, cobre, caucho duro, fibra, resina poliéster y otros materiales que requieren un espacio amplio para las virutas.

⁵³ WIECZOREK, Leben. Tecnología fundamental para el trabajo de los metales. editorial. G. Gili. p 12

⁵⁴ WIECZOREK, Op Cit., p 20

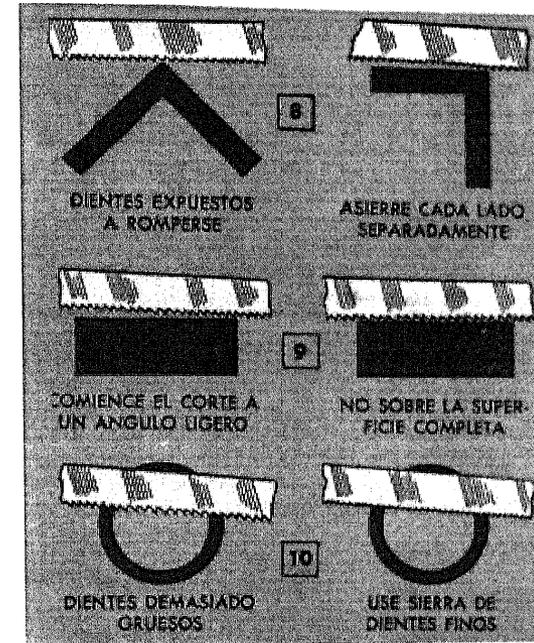


Ilustración 14 Inclinações de la segueta al cortar
 Disponible en <http://www.mimecanicapopular.com>

Las hojas con espaciamento de 18 *dientes* se recomiendan para cortar acero de herramienta, bronce, brocas de taladro, y hierro acerado. Éstas son prácticamente las más comunes en el trabajo de materiales ferrosos. Las de 24 y 32 por pulgada se usan para trabajo duro en cortes como secciones de tubos y otros tipos de perfil. Siempre conviene asegurar la pieza a ser cortada en una prensa, tornillo de banco u otro medio. Ya que la presión del corte suele flexionar la pieza agarrada, lo que puede atorar la hoja y romperla, o que el corte falle.

Los cortes exactos se pueden iniciar marcando una muesca como guía, con la segueta o un lado anguloso de una lima; esto sirve como marca de extremo a extremo para facilitar el corte exacto.

Algunas veces al cortar una superficie plana, la hoja se derrapa y resbala; aquí se puede iniciar el corte con tres dientes apoyados angularmente, para luego serruchar el material con toda la hoja. Siempre se debe serruchar pasando la hoja completa para tener un desgaste uniforme de todos los dientes.



Ilustración 15 Inclinaciones de la segueta al cortar
Disponible en <http://www.mimecanicapopular.com>



Ilustración 16 Al iniciar un corte sobre superficie curva conviene inclinar la segueta.
Disponible en <http://www.mimecanicapopular.com>

Se debe desarrollar un ritmo de corte hacia adelante y hacia atrás, de manera que los dientes muerdan hacia delante y descansen en su regreso; la segueta irá avanzando en su velocidad de corte. El ritmo del aserrado es importante para observar la dirección del corte y también para no destemplan los dientes, pues algunas hojas cuando se les somete a un aserrado forzado, el calor de la fricción hace que se destemple el filo de los dientes, lo que repercute en el tiempo de vida útil de la segueta (duran menos por un mal uso). Cuando en un corte una segueta se rompe, y se sustituye por otra nueva; los dientes de la segueta nueva tienen un triscado más ancho (pues están nuevos); y van a dejar un surco de corte más profundo que una segueta vieja. Al cortar piezas angulares, con aristas o piezas redondas conviene hacer una muesca que sirva de guía, y aserrar cada lado individualmente.

2.2. Corte con tijera, pinzas y cizalla.

Los cortes que no desprenden limadura se llaman cortes tipo cizalla. Hay tres herramientas que hacen este corte:

- La tijera para corte de metal.
- Las pinzas.
- La cizalla o guadaña para lámina.

La herramienta (tijeras de corte).

El corte de lámina metálica se hace con tijeras, llamadas comúnmente *tijeras de hojalatero* o *tijeras para lámina*. La efectividad de una tijera depende del filo de sus hojas y la sujeción exacta de ambas (ni apretadas, ni holgadas); igualmente conviene seleccionar una tijera con mango largo, pues así se puede hacer palanca y potenciar más fuerza manual en el corte de la lámina. Existen muchos modelos de tijeras para corte de lámina. Hay por ejemplo: tijeras curvadas; tijeras con un resorte interno para corte de lámina de cobre u plomo y tijeras para cortes circulares muy prolongados.

La seguridad.

Debido al uso constante se deben revisar las hojas de las tijeras, éstas tienen que estar bien afiladas y ajustadas; capaces de cortar sin atascarse o morder el material. El mantenimiento básico de las tijeras depende de revisar estas características: buen filo y ajuste de hojas. También se debe tener cuidado en los filos que deja la tijera en el material, es necesario usar guantes de carnaza.

La técnica.

Como se ha dicho, un buen corte depende del estado de las tijeras; sin embargo, básicamente al cortar se debe considerar que: el corte de lámina siempre es un trabajo duro; donde la hoja avanzará lento pese al esfuerzo. Por eso conviene desarrollar un estilo de trabajo pausado y relajado, sin sobreesfuerzos.

Se debe tener una mesa bien firme; pues una forma efectiva de corte es apoyándose sobre la mesa. El corte comienza con una breve incisión y apoyándose en la mesa, se ejerce más presión en la tijera para avanzar lentamente y separar en dos partes la lámina. Conforme se avanza el lado izquierdo se irá doblando ligeramente hacia un extremo, abriendo paso al cuerpo de la tijera. Mientras el material sea más grueso, el doblado extremo es más necesario para abrir paso al corte. Los bordes que resultan del corte suelen ser filosos, por eso desde el principio de la jornada se debe formar el buen hábito de trabajar con los guantes puestos.

Existen diferentes tipos de pinzas. De corte frontal, corte lateral, corte de terminales, plegables, corta varillas, etc. Una amplia variedad que en un caso u otro se adapta al corte del hierro ya sea en frío o en caliente. Aunque hay una amplia variedad de tipos de pinzas, básicamente todas se dividen en *pinzas sujetadoras* y *pinzas cortadoras*, que como su adjetivo indica, las primeras están diseñadas para sostener o sujetar y las segundas para cortar.

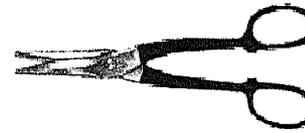


Ilustración 17 Tijera curva, para cortes redondos.
Disponible en <http://www.leonweill.com.mx/catalogo>

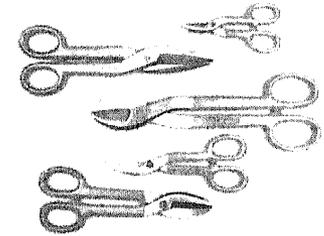


Ilustración 18 Tijeras para lámina de diferentes tamaños
Disponible en <http://www.leonweill.com.mx/catalogo>

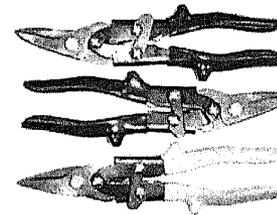


Ilustración 20 Tijeras tipo aviador.
Disponible en <http://www.leonweill.com.mx/catalogo>



Ilustración 19 Tijera para usos múltiples.
Disponible en <http://www.leonweill.com.mx/catalogo>

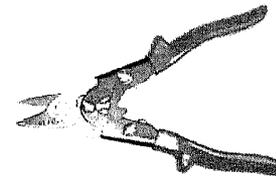


Ilustración 22 Tijeras tipo Bulldog para hojalata.
Disponible en <http://www.engagemachinery.com>

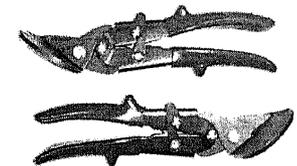


Ilustración 21 Tijeras descentradas para hojalata.
Disponible en <http://www.engagemachinery.com>

El corte con pinzas o alicates.

Tabla 1 Tipos de pinzas

Tipo	Características
Pinzas sujetadoras	Pinzas de presión: con punta recta de 6" y de punta curva de 9".
	Pinzas de punta redonda y de punta plana, punta larga encorvada.
	Pinza universal o de mecánico.
	Pinza electrónica (estuche de varios tamaños).
	Pinzas electrónicas de miniatura.
Pinzas cortadoras	Pinzas corta pernos.
	Pinzas de electricista: para corte diagonal, de corte transversal.
	Pinzas electrónicas de miniatura.

Para el trabajo con alambres se usa la pinza cortapernos y otras sujetadoras como las pinzas de presión. Pero al trabajar con alambres recocidos, galvanizados u otros más delgados se puede necesitar pinzas que dejen un corte más fino, usando distintas pinzas de corte.

En cuanto a cortes en alambre, hay unos cuatro tipos de cortes finos con pinzas, estos son: pinzas de corte diagonal estándar, pinzas de corte diagonal semi al ras, pinzas de corte diagonal al ras y pinzas de corte transversal.

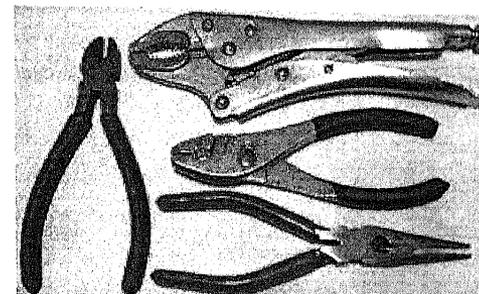


Ilustración 23 Diferentes tipos de pinzas.

Disponible en

<http://www.laresina.files.wordpress.com/2009/09/pinzas>

La seguridad.

Las herramientas siempre se deben utilizar para la función con que se han hecho. Se deben mantener las hojas bien limpias y aceitadas; igualmente conviene tener un estante especial para guardarlas; en caso de estar oxidadas sus hojas se pueden limpiar con petróleo o aguarrás.

Al cortar o sujetar una pieza metálica hay que cuidar de no poner los dedos entre las hojas, ni entre las partes de presión. Se debe procurar que las tenazas no muerdan materiales duros, ya que se desafilan los dientes y pronto perderán agarre.

Corte con máquina cizalla.

La herramienta.

Generalmente los modelos de cizalla tienen dos hojas; una móvil que desciende por la acción de la palanca y corta el material. Y otra fija, que recibe a la hoja descendiente de forma similar a una tijera. Es por eso que se le llama también *guillotina*. Aunque realmente la guillotina es una máquina más grande cuya navaja es horizontal y uniforme en su corte (corte de caída, no de palanca). La cizalla se usa para corte de láminas metálicas de espesores

hasta 25 mm. Éstas son de tipo mecánico o hidráulico, las más comunes actualmente son las hidráulicas. Las que se operan manualmente cuentan con una larga palanca que al bajarla ejerce presión a las hojas y corta. Los tipos de cizalla son: cizallas de guillotina y cizallas de palanca.

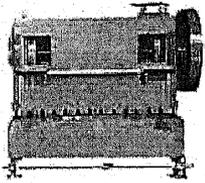


Ilustración 24 Cizalla de base

Disponible en <http://www.ifonline.com>

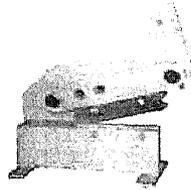


Ilustración 25 Cizalla de palanca de mano

Disponible en <http://www.ifonline.com>

La seguridad.

Una máquina debe mantenerse bien aceiteada y limpia. Sobre el uso de la cizalla, es de resaltarse que hay riesgo de cortes en la piel, atrapamiento del cuerpo entre las cuchillas, o hasta amputaciones, así como aplastamiento de las manos entre las cuchillas, si no se mantiene una distancia prudente respecto a las piezas móviles; la distracción y el exceso de confianza es un detonador de riesgo que debe evitarse. También debe utilizarse el equipo de seguridad adecuado: ropa, botas, guantes y si es necesario lentes de protección; todo ello depende de tipo de trabajo que se esté realizando.

La técnica

La técnica de corte de cizalla es como en otros casos aquí mencionados, es un trabajo de experiencia en el conocimiento de la máquina y precaución. No se debe forzar la máquina y se deben procurar hacer cortes breves y exactos cuidando el filo de las hojas.

2.3. El corte con limas

La herramienta (limas y lijas).

La lima en el trabajo de los metales es equivalente a la escofina para el carpintero y sirve para desbastar. El desbaste es un proceso correctivo hecho (en este caso) manualmente, a veces sumamente delicado; en el cual se hace la limpieza de la superficie o de material excedente. La forma de lima es una hoja de acero templado y texturizado con dientes pequeños. Tiene también, una punta en su extremo, donde se inserta el mango de madera para sostener la hoja.

El corte-desbaste puede ser con herramienta manual o máquina-herramienta y comprende tres etapas: *desbaste grueso*, *desbaste medio* y *desbaste fino* que propiamente se llama lijado. Casi siempre se trabaja de un desbaste grueso a uno fino. Cuando un corte queda con la orilla filosa se puede limar sus bordes por estética o utilidad, para hacer coincidir dos piezas "al ras".

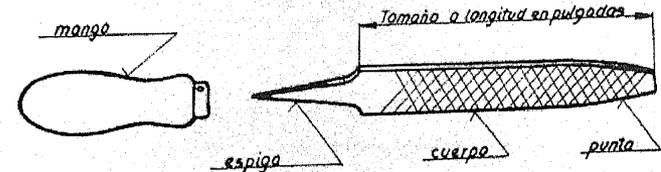


Ilustración 26 Partes de una lima.

Disponible en <http://www.cadcamcae.files.wordpress.com>

Tipos de limas.

Si bien la lima casi siempre es una hoja de acero clavada a un mango, la forma de esta hoja varía de acuerdo a la función de los dientes, que sirven para desbastar, pulir y alisar. De acuerdo al tipo de material para que ha sido templada su hoja. Básicamente podemos dividirlos en: limas para madera (llamadas escofinas) y limas para metal. La diferencia entre unas y otras radica en el tipo de acero que se usa y el *picado de dentado*, pero tanto las de madera como las de metal, están fabricadas en tamaños de *longitud de hoja* que va de: 3", 4", 5", 12", 14" y 16".

Esto corresponde al largo de la hoja y tienen las siguientes formas:

Las limas de **media caña** se utilizan para superficies curvas.

Las limas **planas** se utilizan para superficies planas.

Las limas **triangulares** son adecuadas para trabajar esquinas.

Las limas **redondas** se usan para limar superficies curvas e interiores.

Las limas **cuadradas** se usan para superficies angulosas.

Las limas **especiales** para trabajos delicados como: la cola de ratón, la lima de aguja, las limas diamantadas, limas curvas y limas para maquinaria industrial.

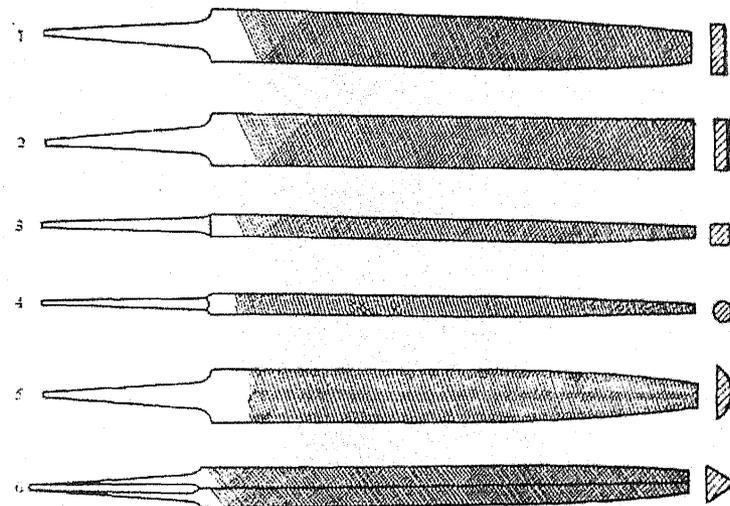


Ilustración 27 Forma de la hoja de las limas:
Carleta (1), Plana (2), Cuadrada (3), Redonda (4),
Media caña (5), Triangular (6)

Disponible en <http://www.cadcamcae.files.wordpress.com>

Los dientes de las limas.

Los dientes se clasifican según su número y la disposición de ellos. E indican si la hoja es para un corte grueso, semi-fino, fino o extrafino. En algunas ferreterías estos cuatro tipos de desbaste los reducen a tres llamándoles: bastas (para limas gruesas), entrebastas (medias) y fino. Según su cantidad de dientes (numero) es el tipo de corte, siempre y cuando se use la lima para el material que ha sido diseñada.

Tabla 2 Tipos de limas

Tipo de lima	Nombre comercial	Picado	No. De picado
Limas de desbaste	Limatón	Muy basto	00
	Lima basta	Basto	0
Lima bastarda	Lima bastarda	Medio	1
Limas de acabado fino	Lima entre fina	Semi-fino	2
	Lima fina	Fino	3
	Lima súper fina	Muy fino	4
	Lima extrafina o de pulido	Extra fino	5 a 10

Otra característica de la hoja es que sus dientes tienen cierta inclinación y diseño, llamado: *granulado de dientes*.

El granulado puede estar en cuatro direcciones: horizontal, diagonal y entrecruzado (combinado). Si la lima tiene un granulado entrecruzado pero redondo se le llama *fresado*.



Ilustración 28 Picado horizontal y picado diagonal
 Disponible en <http://www.cadcamcae.files.wordpress.com>

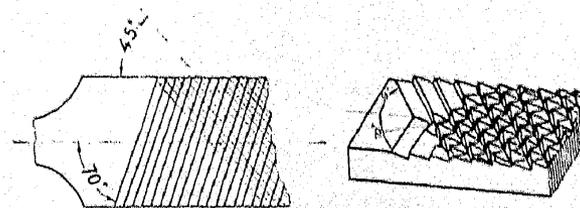


Ilustración 29 Picado entrecruzado.
 Disponible en <http://www.cadcamcae.files.wordpress.com>

Al escoger una lima se combinan dos elementos: *forma de la hoja* y *tipo de picado*; resultando de esto combinaciones como: hoja plana con picado fino, hoja cuadrada con picado grueso, hoja triangular con picado fino, hoja redonda con picado fresado, etc.

La seguridad.

Antes de usar una lima hay que asegurarse que esté bien fija la hoja al mango. Las limas deben limpiarse y lavarse en gasolina o aguarrás, luego polvearlas con un poco de talco; esto evita que se oxiden y se tapen sus dientes. A veces es necesario limpiarlas con un cepillo de alambre si tienen los dientes tapados. Incluso algunas limas muy finas o costosas, necesitarán un estuche especial para cuidarlas de algún golpe que pueda romper sus dientes.⁵⁵

Al usar la lima, como cualquier herramienta de corte, no se debe poner la mano delante de la navaja o hacer fuerza en dirección al cuerpo.

La técnica.

Casi siempre se debe utilizar la lima adecuada según la evolución del trabajo. Las etapas de desbaste son: desbaste grueso, desbaste medio y afinado (pulido fino), en todas estas etapas se debe fijar bien la pieza a un tornillo o cajón de arena (si es pieza chica), puede usarse también una bola de

⁵⁵ PEREY, Blandford. *Manual de herrería y metalistería*. México, editorial. Limusa 1986. p 48

plastilina, cera de Campeche y limadura de hierro; lo importante es tener una superficie donde la pieza se incruste, quede fija y no vibre al lijarla.

La lima se debe utilizar inclinada respecto del ancho de la pieza para que trabaje el mayor número de dientes en movimientos uniformes.

En piezas muy estrechas, el ángulo de inclinación lo recomiendan de unos 20°⁵⁶; en las piezas de anchura mayor que el de la lima, la inclinación debe ser de 45°, y en piezas muy anchas, de 70°. Se hace un giro de abertura en la inclinación de la lima a modo que tenga buen contacto de la hoja con el material y tenga un desgaste uniforme.

La presión que se hace contra la pieza, no debe de cansar; sólo se pide una presión media en dirección de avance. Nunca en retroceso, ya que en esta dirección los dientes no trabajan y se desgastan inútilmente. Esto es evidente en limas grandes como la bastarda, en la que un movimiento así es notoriamente inútil pues no corta. Otro error que debe evitarse es balancearla durante el limado, hay que limar horizontalmente con una velocidad entre 50 y 60 pasadas por minuto. Muchas limas tienen también dientes en sus dos cantos. Éstos sirven para hacer incisiones, aquí el desplazamiento es lateral, hasta un tercio de la anchura de la lima; más de ello causa mal desgaste.

Finalmente recordemos que para limar superficies planas se aplica un limado entrecruzado. Se comienza a limar por una dirección y se desliza en dirección opuesta formando un cruzado de líneas verticales.

2.4. Corte y desbaste con abrasivos.

La herramienta.

Un abrasivo es una sustancia material o artificial que se aplica por medios manuales (como la mano) o mecánicos (montada en una fresa u otro soporte), y por cuya aplicación se pretende transformar una superficie de forma controlada, previsible y segura. Un material puede ser abrasivo siempre y cuando sea más duro que el material a ser desgastado, ya sea para cortar, desbastar, pulir, afilar u otro. Los registros más antiguos del uso de abrasivos,

⁵⁶ PEREY, *Op. Cit.*, p 53

vienen del proceso de lijado.⁵⁷ El material lijante es la forma primera de abrasivo que se conoce y data de China, Persia y Egipto. En estas culturas se utilizaron⁵⁸ arenas, conchas y piedrecillas molidas, que se colocaban dentro de un costal pequeño de piel de oveja, untado en su interior con goma natural (en función de lubricante); el artesano frotaba el saco de cuero hasta desbastar y pulir la pieza. Si bien antiguamente se usaban técnicas de abrasión manuales y otras con una mecánica básica, fue hacia principios del s. XVI, cuando surgen las técnicas de abrasión con máquinas; por ejemplo. Las primeras de éstas eran movidas por poleas⁵⁹, cuya fuerza motriz venía de pedales que el mismo artesano movía. La superficie abrasiva era un disco de cuero cubierto por granos abrasivos pegados al disco. El esfuerzo humano al pedalear las poleas hacia girar el disco abrasivo. Estos mecanismos se mejoraron con el descubrimiento de la energía eléctrica, que sustituye en parte el uso de energía humana.⁶⁰

La primera clasificación moderna de materiales abrasivos data de 1820 cuando el mineralógico alemán Friedrich Mohs, hizo la primera escala de abrasivos naturales,⁶¹ misma que sirve de base para fabricar abrasivos montados. Tiempo después se fue aplicando este conocimiento de los materiales para generar abrasivos artificiales.

⁵⁷ *Ibid.*, p 58

⁵⁸ *Ibid.*, p 62

⁵⁹ *Ibid.*, p 68

⁶⁰ WIECZOREK, *Op Cit.*, p 95

⁶¹ TREVOR, *Op. Cit.*, p 204

Tabla 3 *Clasificación de abrasivos naturales.*
 Disponible en <http://www.cielosur.com/gerardo2.php>

ESCALA DE MOHS DE DUREZA DE LOS MINERALES		
Dureza	Mineral	Equivalente diario
10	Diamante	Diamante sintético
intermedio	Carburo de silicio	
9	Corindón	Rubí
8	Topacio	Papel abrasivo
7	Cuarzo	Cuchillo de acero
6	Feldespatos	Cortaplumas
5	Apatita	Vidrio
4	Fluorita	Clavo de hierro
3	Calcita	Moneda de bronce
2	Yeso	Uña del dedo
1	Talco	Polvos de talco

Las partes de un abrasivo.⁶²

Todo abrasivo se compone de tres partes: un soporte, un aglutinante y el mineral abrasivo. Veamos en qué consiste cada una.

El soporte.

Constituye la base del abrasivo, combinado con los distintos tipos de aglomerante, sostiene y mantiene fijo el material abrasivo. Las características principales de un buen soporte son *resistencia*, para poder soportar las distintas presiones de trabajo, y *flexibilidad* que garantiza la adaptabilidad a las múltiples formas a desgastar. Los soportes flexibles se usan para trabajos delicados y superficies caprichosas; y los soportes rígidos son útiles para superficies lisas o agresivas.

Los soportes son hechos de:

- **Papel:** Se emplea para una gran cantidad de operaciones, desde aquéllas del pulimentado a mano hasta las que se montan en esmeriladoras automáticas. Constituye el soporte más económico. Se clasifica en base a los gramos por cm². Algunos papeles de lija trabajan con un lubricante en seco.

- **Tela de algodón o tejido poliéster:** Es un soporte más resistente y duradero que el papel. Se usa principalmente en el trabajo con hierro y piedra. Se pueden encontrar dos tipos de tela: la de algodón natural en seco, o de algodón con poliéster. Igual que en los soportes de papel, los de tela se miden por su peso. También se tiene una clasificación de los soportes de tela: los de tipo "J" (hechos de mezclilla) que es un soporte ligero y flexible, lo que ayuda a entrar en zonas circulares o angostas de la pieza. Y el soporte tipo "X", que es más rígido y se usa en telas circulares para disco de esmeril o taladros.
- **Fibra vulcanizada:** Es un aglomerado de varias capas de papel resistente, similar al papel Kraft pero con mayor celulosa, lo que la hace un material muy flexible, resistente y reciclable. Uno de sus diferentes usos, es como soporte de lija para esmeriladora angular, y lijas de mano.

El aglomerante.

Son los adhesivos que mantienen en su lugar las partículas abrasivas. Generalmente se componen de dos capas superpuestas una sobre la otra, la primera tiene la función de adherir el gránulo al soporte, la segunda adhiere los gránulos de mineral entre sí. Ambos adhesivos pueden ser a base de resinas sintéticas o naturales (colas), y se combinan para obtener productos con características distintas: mayor flexibilidad, resistencia a altas temperaturas, resistencia a la fricción, a la humedad, etc.

El mineral abrasivo.

Es duro, resistente y filoso. Se usa en forma de granos. La uniformidad del grano es un requisito principal de un buen abrasivo, para evitar que el abrasivo raye la superficie, en vez de desgastarla de forma ordenada. Para esto se diseña el tamaño de grano deseado, así como el tipo de material del cual se extraen los granos.

El tamaño de grano y tipo de grano.

Cuando un abrasivo se monta sobre un soporte (papel, espárrago de hierro, etc.) se conoce como abrasivo revestido. Todos los abrasivos revestidos son fabricados bajo dos criterios: el tipo de grano y su tamaño.

⁶² WIECZOREK, *Op Cit.*, p 97 – 103

El tamaño de grano es lo que determina el desbaste del material. Si se espera un rallado muy uniforme, o una superficie muy pulida se debe tener un grano muy pequeño y fino, así como muy compacto. Así mismo, si se desea una superficie muy rallada se aglomeran granos grandes.

Los tamaños de grano pueden variar entre 16 (grosso) y 1200 (Súper Abrasivo), aunque varía por línea de producto. La selección de grano para las especialidades de Abrasivos Revestidos convencionales es: 16 (grosso), 24, 36, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 150, 180, 240 (medianos) y 320 (el más fino).

Se considera también en el tipo de grano sus cualidades térmicas, fragilidad y resistencia a la fricción, a esto le llaman su "friabilidad". Lo que los fabricantes buscan es un tipo de grano que soporte el desgaste, sin perder su filo y con suficiente poder de remoción o desbaste del material.⁶³

Por ejemplo, las lijas en la ferretería las llaman como "lija de grano abierto" y "de grano cerrado". Las de *grano abierto* tienen menos granos por unidad de superficie, se atascan menos y son adecuadas para materiales blandos como la madera. Mientras las de *grano cerrados* son muy compactas, y sirven para metales o algunas piedras duras como el mármol.

De 10 a 180 se consideran granos gruesos, medios y finos. Se obtienen mediante tamizado, la numeración del grano o tamaño del abrasivo se determina en base al número de mallas, contenidas en la tela.

De 220 a 1200 son granos muy finos o microgramos y se obtienen por sedimentación en el agua.

⁶³ NELLY, John. Traducido por Silva, Osvaldo. *Meturgia y materiales industriales*. México, editorial. Limusa, 1999 p 154

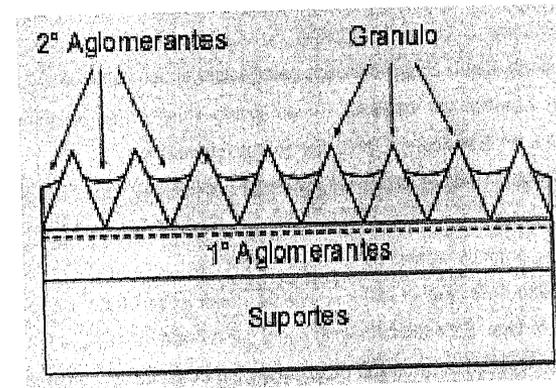


Ilustración 30 Esquema general de un abrasivo:
Están hechos de: soporte, aglomerante base, grano abrasivo y un aglomerante extra.

Disponible en <http://www.napoleon-abrasivos.com>

Los materiales⁶⁴ que se han empleado para fabricar granos abrasivos son:

- *Arena de sílice*: uno de los tipos básicos de material abrasivo en los procesos de lijado. Actualmente ya casi no se usa.
- *Granada (Garnet Sand)*: la arena de granada es muy usada en los trabajos de madera y para suministrar un acabado de alta calidad para mobiliario y pequeñas piezas.
- *Esmeril*: compuestos por una mezcla de minerales que lo convierten en un abrasivo muy potente. Estas sustancias son usadas casi exclusivamente para el lijado de metal.

⁶⁴ *Ibid.*, p160

- *Carburo de Silicio*: uno de los materiales abrasivos más variables. Puede ser encontrado en granulado bastante grueso. Es muy utilizado en aplicaciones en húmedo.
- *Óxido de Aluminio*: Adecuado tanto para el lijado de madera como de metales. También se encuentra en granulado bastante grueso, incluso en micro-granulado.
- *Cerámica de Óxido de Aluminio*: Se usa en abrasivos de cobertura o en soporte. Es un abrasivo creado para resistir el uso continuo.
- *De corindón de circonio*. Es un grano muy uniforme, tenaz y alta duración. Es excelente para lijar aceros inoxidables.

El recubrimiento.

Finalmente, algunos abrasivos son fabricados con un recubrimiento o capa aislante. Esto hace que el material evacúe mejor el polvo del lijado evitando que la lija se tape. Este recubrimiento suele ser a base de ceras, y lo tienen las lijas especiales para la remoción de pinturas, barnices, lacas y otros materiales untuosos.

Tabla 4 Tipos de lija

Tipo de lija	Numero de grano
Extra gruesa	De 40 a 50
Gruesa	De 60 a 80
Mediana	De 100 a 120
Fina	De 150 a 180
Extra fina	De 240 a 400

Cuadro de productos abrasivos adaptado del catálogo 2011 de "Austromex" de México.

Tabla 5 Tipos de abrasivos

Tipos de abrasivos	Presentación comercial
Abrasivos sólidos	Discos Ruedas abrasivas Puntas montadas Conos y copas Ladrillos y limas Fabricación especial.
Abrasivos de corte y diamantados	Discos de diamante Puntas y otros productos diamantados Súper abrasivos (de diamante) Cepillos de alambre Fresas(limas rotativas) Sierras metálicas Fabricación especial
Abrasivos de soporte blando "Lijas"	Productos de fibra Felpas y pastas Rectificado y repintado automotriz Accesorios de montaje Accesorios de empaque para autoservicio y otros
Aditamentos para pulido: pastas y fibras	Productos de fibra Felpas y pastas Rectificado y repintado automotriz Accesorios de montaje Accesorios de empaque para autoservicio y otros.

2.5. CORTE CON MÁQUINA-HERRAMIENTA

2.5.1 El uso artesanal de las máquinas

Una máquina (del latín *machīna*) es un conjunto de piezas o elementos móviles y no móviles, que por efecto de su sistema es capaz de transformar un material, empleando menor cantidad de energía humana en poco tiempo de trabajo.⁶⁵ Existen muchos tipos de máquinas para el trabajo metal-mecánico; pero las más usuales en los talleres artesanales son las llamadas *máquinas-herramientas*. Éstas están diseñadas para ser usadas en trabajos pequeños, son compactas, portátiles, fáciles de usar y no exigen mucho mantenimiento. Es conveniente ver que las *máquinas herramientas* funcionan como una extensión de las habilidades de trabajo, con ellas se puede lijar, perforar, esmerilar, etc.

El uso e incorporación de nuevas máquinas al instrumental de las herramientas, es una ganancia de *tiempo y precisión*. Al mismo tiempo, el uso de maquinaria básica, no anula la identidad de la pieza artesanal, ni la capacidad estética del material; el mismo proceso creativo exige que haya partes de una pieza que se trabajen con herramienta manual y otras con ayuda de máquina herramienta. Para que una máquina sea segura debe cumplir con lo siguiente:

Diseño ergonómico y de mecanismos seguros, diseño que evite salientes, aristas punzantes o formas incómodas, dispositivos de protección integrados (protegen puntos peligrosos descubiertos, o de muy fácil acceso al sistema mecánico de la máquina). Envolventes y resguardos. Se incluyen cuando el mecanismo de la máquina es riesgoso y no tiene partes móviles para retirarlo. Algunos resguardos si son móviles. Excelente sistema de alimentación que evite sobreesfuerzos eléctricos, calentamiento del motor y fatiga en el trabajo de los materiales.

⁶⁵ WIECZOREK, *Op Cit.*, p 103

La seguridad.

Se necesita el equipo de seguridad personal, guantes y peto de carnaza así como gafas de protección visual. Muchos accidentes ocurren no por el equipo mismo, sino por imprudencia del trabajador, por esto se debe asegurar firmemente la pieza a un tornillo. Nunca se debe forzar la máquina ni mantenerla cerca del cuerpo, tampoco debe estar a una altura superior al pecho. Tampoco se debe trabajar cansado o en otras situaciones de riesgo. Parte de los accidentes suceden por aplicar el abrasivo en condiciones o superficies que no son las propias de uso. Sólo cuando se elige el abrasivo acorde al tipo de material y superficie del mismo, es cuando se consigue un buen resultado.

La técnica.

El uso de un abrasivo es un proceso delicado, pues implica la remoción, ajuste y acabado del material. Ya sea que se usen lijas de papel o de disco, generalmente se debe trabajar de manera progresiva; intercambiando los abrasivos en relación a la superficie que se está desgastando. Así, los mismos abrasivos son fabricados en niveles de trabajo que corresponde al nivel de desgaste: bajo, medio y alto.

Muchas operaciones de afinado, pulido o desbaste en una pieza exigen trabajar por las partes más intrincadas. De ahí que se necesiten adaptar los utensilios o buscar aditamentos complementarios, algunos de éstos pueden ser: platos de lijado, esponjas para lijar, lijas en tejido de nylon, boinas de pulir, adaptadores para rectificador, y otros.

Medidas de seguridad.

Antes que todo se debe considerar que la persona que maneja una máquina debe estar adiestrada en su uso y conocer su funcionamiento. Estas pequeñas máquinas pueden cortar o causar un accidente fatal; por eso nunca se debe de confiar aquél que usa una máquina, a pesar de contar con mucha experiencia. Se debe trabajar con precaución, sin estar en estado inconveniente (cansancio, alcohol, etc.); portando la ropa de trabajo adecuada: ropa no flamable (de algodón, no poliéster, ni acrílica), bien ceñida al cuerpo; ya que muchos accidentes ocurren por el uso de ropa holgada que se atora en alguna parte giratoria de la máquina. También se deben usar los complementos de protección adecuados: zapato industrial o bota, gafas, protectores de oído, careta, etc.

Antes de iniciar la jornada se deben revisar las partes móviles de la máquina, que estén fijas y seguras; si presenta un desperfecto, lo recomendable es no reparar por uno mismo una máquina, ni usarla si una pieza está floja o rota; sin cable o con un cable desgastado. Es común que se desgaste el cable al ser arrastrado durante el trabajo; por eso deben mantenerse bien aislados. Siempre conviene comprobar el buen estado de las conexiones eléctricas, para evitar riesgos de electrocución, así como trabajar en lugares libres de humedad, agua o sustancias flamables. Por último, conviene considerar como anormal una máquina que se calienta demasiado o si sus piezas fijas se encuentran inestables, rotas, flojas, etc.

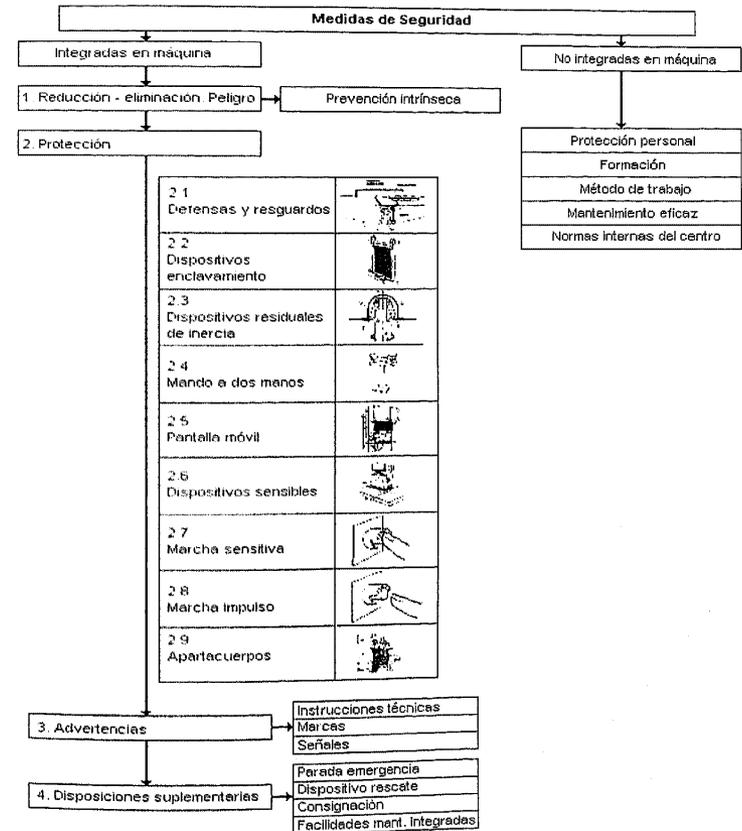


Ilustración 31 Esquema de medidas de seguridad

en el uso de máquinas-herramientas

Disponible en <http://www.cadcamcae.files.wordpress.com>

2.5.2 Corte con sierra ingletadora

La sierra para metal es una herramienta que consiste en tres partes, la base donde se fija el material a cortar, el soporte giratorio que sostiene el disco cortante y el mecanismo de graduación de cortes, que consiste en una escala graduada en centímetros y pulgadas, por la cual se mide la inclinación de los cortes.

La sierra ingletadora se usa en cortes exactos y potentes, sobretodo para corte de perfiles laminados.⁶⁶

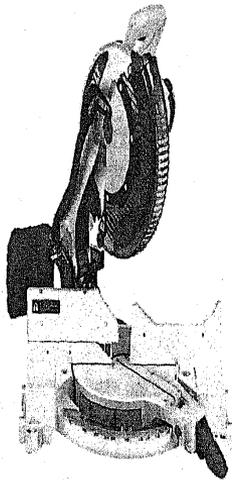


Ilustración 32 Sierra ingletadora.
Disponible en www.ferrovicmar.com

Cuenta con hojas intercambiables, puede cortar distintos materiales (piedra, cemento o madera) al intercambiar el disco de corte.

Para cortar el hierro se marca la zona del corte con una lima o crayón de cera y se desplaza el disco de corte sobre la pieza, con suavidad y firmeza.

Al descender el disco de corte se deben sostener los volantes de la máquina; y procurar que los dientes de la hoja estén en buen estado.

Originalmente, las hojas que se fabricaban con acero al carbono templado, lo que producía una hoja muy quebradiza. Luego se pasó a templar la hoja parcialmente, primero en lomo y más tarde en los dientes; esto dotó de cierta flexibilidad a la lima pero no solventaba el problema de la rotura.

Actualmente los discos suelen ser de acero

con carburo de tungsteno, para cortar hasta aleaciones metálicas sin problema alguno.

Hay también hojas de acero rápido (HSS). Esta tecnología de corte hace que la hoja sea prácticamente irrompible.

Los dentados de hoja, más recurrentes son el norteamericano y el universal. En el dentado norteamericano se alternan tres dientes rectos con uno terminado en curva cóncava, que tiene la función de desalojar el aserrín producido en el corte. El dentado universal consta de dientes terminados en punta angulada, van triscados de forma alterna y en diferentes números. Lo habitual es encontrar el triscado uno a uno, esto es, un diente a izquierda y otro a derecha y así sucesivamente, aunque también existen en el mercado triscados a dos y tres dientes. Actualmente los discos suelen ser de acero con carburo de tungsteno, para cortar hasta aleaciones metálicas sin problema alguno. Hay también hojas de acero rápido (HSS). Y guía laser para maximizar la visión de los cortes. Esta sierra facilita el corte con potencia y precisión en perfiles acanalados, angulares, o en "T"; también se puede cambiar al disco para corte de madera y cemento.

2.5.3. Corte con esmeril

El esmeril.

El esmeril puede ser lateral o de base. La tecnología de ambas máquinas consiste en una muela o piedra abrasiva fija a un mandril giratorio; y cubierta por una protección fija o coraza, por la cual el operario controle la acción giratoria de la muela. *La esmerilladora o amoladora* se emplea para la eliminación en cantidades reducidas de metal, logrando un buen acabado y un trabajo de precisión. Al esmeril se le adapta una piedra o disco, originalmente esta técnica se hacía con una roca, llamada *piedra de agua* por el lubricante que se le agregaba para mejorar la fricción y el afilado. Estas piedras de agua solían ser de granos naturales molidos, tiempo después la industria las empezó a elaborar a base de materiales cerámicos abrasivos como el carburo de silicio (carborundum) u óxido de aluminio (corundum).

⁶⁶ *Ibid.*, p109.

Existen dos versiones de esta herramienta: la pequeña, que utiliza discos de 115mm o 125mm, y potencias que oscilan entre los 500W, 700W, 800W. La grande, con discos de 230mm y potencias de 2000W y 2600W.⁶⁷ Con ciertos aditamentos, el esmeril puede trabajar como: lijadora, fresadora o ranurador para madera, así como pulidora, cortadora y rectificadora. Para todas estas funciones se debe utilizar los adaptadores o discos más adecuados.

En las piedras pueden tener abrasivos minerales o vegetales. Su dureza o flexibilidad depende de la composición de sus aglutinantes. Los abrasivos hechos con aglutinantes duros suelen ser de magnesita; resultan sensibles a la humedad y deben trabajarse en seco. Los abrasivos de aglutinantes medianamente flexibles están hechos de silicatos, y son óptimos para trabajarse en ambientes húmedos. Pero, si se desea una flexibilidad extraordinaria y resistencia a altas temperaturas, se debe recurrir a los abrasivos hechos con aglutinantes vegetales, hechos de caucho, goma y laca y bakelita.

Tabla 6 *Materiales abrasivos*

Material abrasivo	Nombre de los materiales
Naturales (minerales y vegetales)	Corundum, esmeril, cuarzo, caucho y goma laca.
Artificiales	Electrocorundum, corindón artificial, carborundum (carburo de silicio)

Todos los abrasivos tienen tres designaciones comerciales: según su *dureza, porosidad y tipo de granulado*.

La designación de su granulado se indica con números que van desde el 8 hasta el 600. Ya que muchos abrasivos se montan en una malla (como los discos de corte y desbaste), su catalogación es por letras según la dureza que alcanzan; considerando tres elementos: *la malla o soporte, el grano y el aglutinante*.

⁶⁷ *Ibid.*, p190

Tabla 7 *Tipo de malla.*

Tipo de malla	Catalogación
Muy blanda	E, F, G
Blanda	K, I, J, K
Media	L, M, N, O
Dura	P, Q, R, S
Muy dura	T, U, V, W
Extradura	X, Y, Z

Tabla 8 *Tipo y numero de grano en abrasivos.*

Tipo de grano	Número de grano
Muy basto	8 a 10
Basto	12 a 24
Medio	30 a 60
Fino	70 a 120
Extrafino	150 a 240
Pulido (grano pulverizado)	280 a 600

2.5.4. El uso del taladro

El taladro tiene la función de perforar ciertos materiales a partir de una broca helicoidal, cuyas aristas (cortes en el cuerpo de la broca) hacen un movimiento de corte y avance sobre el material. El desempeño del corte depende de estas aristas, si están afiladas en la inclinación correcta, así cómo el tipo de metal en que se empleen. Dichas aristas son maquinadas en el cuerpo de la broca, en inclinación de 12 grados, similar al filo que tiene una navaja. La punta no es propiamente lo que corta, sólo tiene la función de clavarse en el material para que el peso de la herramienta caiga y perfora el material en un paso normal de viruta, un paso reducido (sale poca viruta) o un paso alargado (sale mucha viruta).

Técnicamente todas las brocas pueden afilarse. Pero, si el afilado es a mano exige mucha experiencia para no dejar chueca la punta, y revisar la medida de los ángulos con una escuadra para afilado. Una broca mal afilada produce descentramiento al perforar, desgaste y trabajo excesivo de un solo lado (desgaste de una arista cortante). Se recomienda usar la broca simétricamente desde el principio hasta que se termina su vida útil, y cuidar las revoluciones adecuadas al tipo de hierro que se trate (hierro acerado, perfil comercial, hierro de fundición, etc.), cuanto más blando es el metal, mayor podrá ser el número de revoluciones que utilice el taladro y viceversa, esto evita fricción y desgaste (sobrecalentamiento) en la punta de la broca.

Engrasar periódicamente la broca con aceite lubricante, ayuda a formar una capa que evita el desgaste y la oxidación.

Cuando se hacen trabajos largos, conviene enfriar la broca. Pero cuidado, nunca debe enfriarse una broca al agua, pues pierde su temple. Por ello se recomienda dejarla reposar y contar con dos brocas iguales que se utilicen alternadamente. Mientras una se enfría al aire, la otra sigue perforando.

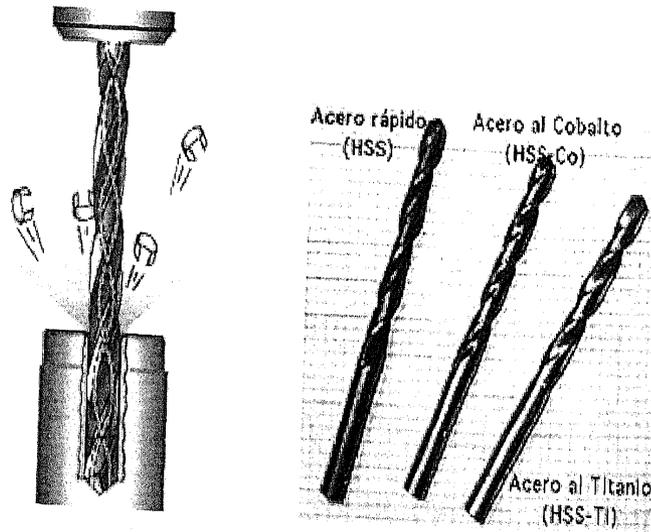


Ilustración 33 Brocas

Disponible en <http://www.todotrial.com>

Disponible en <http://www.hytonline.com.ar>

Tabla 9 Relación entre el material a trabajar, ángulo de la punta de la broca y cantidad de extracción de viruta al corte.

Tipo de material a taladrar	BROCAS HELICOIDALES	
	Medida de ángulo en sus aristas cortantes (punta)	Paso de material cortado por la broca (espiral cortante de la broca)
Acero	118	Paso normal de viruta
Fundición gris	118	Paso normal de viruta
Aleaciones de aluminio	118	Paso normal de viruta
Aluminio	140	Paso reducido de viruta
Aleaciones de Magnesio	100	Paso reducido de viruta
Cobre	118 a 125	Paso reducido de viruta
Latón	80 a 90	Paso alargado de la viruta
Algunos materiales plásticos	50 a 60	Paso alargado de la viruta
Maderas y Piedras	30	Paso alargado de la viruta

Al seleccionar un taladro, se debe tomar en cuenta su *potencia*, ésta viene en vatios de 400 a 600 ó más. Cuanto mayor sea la potencia mejor será su rendimiento sobre materiales ferrosos. El taladro tiene diferentes dispositivos para diversas funciones; los dispositivos más importantes suelen ser:

Portabrocas automático: Permite cambiar de accesorio de forma rápida y sencilla sin necesidad de realizar el apriete con una llave. Resulta muy útil cuando se utiliza algún soporte para fijar el taladro o se realizan trabajos que requieren frecuentes cambios de broca.

Percutor o rotomartillo: Las velocidades del *rotomartillo*, casi siempre vienen en dos o tres (1ª, 2ª y 3ª), función que hace girar y golpear al mismo tiempo, evitando que la broca se atasque cuando se necesita perforar materiales plásticos o arenosos. Algunos taladros cuentan con la función extra de *velocidad reversible*, para retrotraer la broca en caso de quedar atascada, o bien para agrandar un agujero.

Inversor de giro: sistema que permite que el eje del taladro gire de derecha a izquierda o viceversa. El taladro que lo lleva se denomina reversible y es capaz

de atornillar y desatornillar. También resulta muy útil para desbloquear una broca atascada.

Bloqueo del gatillo: Cuando se acciona, el gatillo queda apretado de manera continua, lo que facilita el trabajo en el caso de tener que realizar operaciones de larga duración o al utilizar algún soporte para fijar el taladro.

Regulador de velocidad electrónico: Cuando el taladro dispone de este regulador, el gatillo actúa como el acelerador de un coche, de manera que se puede adaptar la velocidad de giro al diámetro de la broca o a la dureza del material sobre el que se trabaja.

Tope de profundidad: Varilla regulable graduada en milímetros, con la que se puede determinar la profundidad del orificio que se va a realizar.

Empuñadura adicional: Facilita la sujeción de la máquina y permite trabajar con mayor seguridad y precisión. Su posición es orientable.

Finalmente, los discos adaptadores (para usar el taladro como esmeril, como *borla* o *cardas de acero*, etc.) son accesorios que se consiguen por separado.

Deben fijarse perfectamente (justo y bien centrado) al *portabrocas*, a fin de evitar accidentes y mal desgaste de la máquina o de los discos.

La seguridad.

Siempre se debe sujetar con firmeza la pieza. Posteriormente hay que seleccionar el accesorio adecuado en función del material y del trabajo a realizar. Es importante despejar la zona de trabajo de elementos combustibles, flamables o que resulten estorbosos. En el caso de que la máquina disponga de regulador electrónico de velocidad, conviene elegir la apropiada en función de la dureza del material. Como norma general, se trabaja con velocidades lentas cuando se trata de accesorios de diámetro grande o de material de gran dureza.

Nunca tocar la zona de trabajo y la broca, pues su temperatura suele ser muy elevada. Al cambiar de accesorio se debe desconectar el cable de alimentación eléctrica.

La técnica.

Al taladrar, la velocidad de corte depende siempre del diámetro de la broca y el filo que tenga. Las brocas delgadas son más rápidas que las

gruesas. Cuando es mayor el diámetro de las brocas menos será la velocidad de giro (r.p.m. revoluciones por minuto). Al inicio del corte conviene marcar el punto donde se está perforando, esto se hace con una guía o una broca menor, seleccionando la broca más adecuada al tipo de material. Siempre existe un tipo de broca específica para cada material.

Cuando se taladran orificios de gran diámetro, es recomendable hacerlo por aproximaciones sucesivas; taladrar siempre en perpendicular a la superficie del material, y extraer siempre la broca mientras esté girando sin parar el taladro. No se debe inclinar o angular la broca para profundizar un agujero, pues la inclinación y la temperatura aumentan la fricción en el cuerpo filoso de las brocas, y pueden destemplarse o enchucarse si son brocas muy finas. A muchas brocas se les añaden un lubricante para disminuir la fricción y el desgaste. El más accesible resulta ser agua jabonosa (no fría), para acero, cobre, aluminio y latón. El hierro fundido se trabaja sin lubricante dejando enfriar la broca a temperatura ambiente.⁶⁸

Al comprar una boca se puede preguntar si conviene añadir un lubricante.

⁶⁸ WIECZOREK, *Op Cit.*, p 99

Algunos defectos cuando se taladra con brocas son:

Tabla 10 Defectos en el uso de taladro.

DEFECTO	CAUSAS POSIBLES
El agujero taladrado no ha quedado limpio, sino lleno de astillas o viruta.	<ul style="list-style-type: none"> • La broca está deteriorada. • El lubricante se ha secado (es insuficiente). • La presión contra el material es excesiva.
El agujero taladrado ha resultado muy grande, más de lo previsto.	<ul style="list-style-type: none"> • La punta de la broca puede estar descentrada. • Los ángulos cortantes están desiguales. • El portabrocas no aprieta lo suficiente; puede estar desgastado y holgado, necesita desmontarse y llevarse a un taller de reparación.
Los cortantes de la broca se han roto, o la broca se ha roto al trabajarla.	<ul style="list-style-type: none"> • Los ángulos cortantes están desiguales. • Se ha avanzado muy forzosamente, mucha presión al cortar. • Se ha afilado mal la broca (se ha mellado su punta por mala inclinación de ángulo). • Puede haber inconsistencia en el material (zonas duras o porosas).
La broca no corta.	<ul style="list-style-type: none"> • La broca puede estar mellada. • El avance es lento por exceso de viruta (debe limpiarse la viruta, para abrirle paso a la broca).
El vástago de la broca está doblado.	<ul style="list-style-type: none"> • Las abrazaderas del portabrocas están desgastadas, ya no sujetan al vástago (deben cambiarse).

2.5.5 Técnica de repujado en plano y en volumen

Nota sobre los conceptos de repujado, bajo relieve y alto relieve

En el lenguaje artístico como en el artesanal⁶⁹ se usan los tecnicismos *plano* y *volumen* para referirse a una cualidad material y sensible en las piezas. Históricamente ambos términos fueron originados por el lenguaje de la geometría, por eso tienen connotaciones espaciales que hacen referencia a las cualidades de una forma en el espacio. Sin embargo, con el curso de los siglos terminaron por usarse en los antiguos tratados de arquitectura, para finalmente incorporarse al lenguaje de las artes en general. Al igual que muchos de los conceptos del lenguaje artístico, plano y volumen no tienen una definición estricta. Por tanto su uso es a veces ambiguo. Ambos conceptos son importantes para el trabajo del hierro, pues involucran la idea de *relieve* y *forma escultórica*; así como involucran respectivamente las técnicas de repujado de lámina y hierro modelado. Sea que hablemos de plano o volumen, nos referimos a las cualidades de una forma en el espacio; pero a diferencia de un geómetra que le interesaría medir esta forma en el espacio; tanto al arte como a la artesanía le interesa el sentido estético que pueden generar el plano y volumen en una obra artesanal, pero ¿cómo pueden combinarse plano y volumen para generar una forma estética?

Primero, debemos ver que el uso de plano y volumen involucran espacios virtualmente generados por la combinación de formas, ordenadas en función del desarrollo de cierta técnica (la técnica de repujado y la técnica de hierro modelado, básicamente). Este uso estético de *plano* y *volumen* se origina en el trabajo artesanal, con el tacto y la visión del artesano.

El cambio del plano al volumen, se hace entonces cuando se toca (se trabaja) la superficie. Pero conjuntamente al tacto se usa la visión áptica o visión de cerca, pues las formas (de plano al volumen) se construyen combinando el tacto y la visión. Así, lo que el trabajo manual forma, el "tacto" visual lo corrobora. Este proceso totalmente sensitivo y estético, es siempre

⁶⁹ SOURIAU, Op. Cit., p 180

subjetivo. Trabaja con criterios personales; de gusto o de diseño sobre la forma que necesita ser modelada. Sin embargo, existen tres elementos que intervienen en el modelado de la forma: la luz, la proporción y la textura (sea textura visual o táctil).

Luz, forma y textura son elementos externos (elementos materiales) para modelar una forma plana o volumétrica. Estos tres elementos tienen su propia historia ideológica en el arte, y cada uno ha sido estudiado y explicado en diversas épocas, así que no está por demás considerarlos como categorías importantes para una mejor comprensión de lo que puede ser el trabajo de relieve y modelado en hierro.

Es poca la explicación teórica que se puede dar de este proceso, pues responde más bien a un conocimiento vivencial y estético, que se asimila subjetivamente en la práctica de cierto arte u oficio. Sin embargo, un criterio orientador para entender cómo es que se repuja una lámina metálica de plano al volumen, consiste en tomar como referencia las nociones de *relieve*, *bajo relieve* y *alto relieve*; a su vez los conceptos de forma, luz y textura se combinan en las estrategias de relieve, bajo relieve y alto relieve.

Un relieve es una forma que sobre sale de un plano. Si esta forma excede el doble o más de la distancia del plano hacia fuera de sí misma, se trata de un *alto relieve*. Pero si en lugar de salir o excederse más allá del plano; esa forma es cóncava al plano, se trata de un *bajo relieve*. El efecto estético se logrará con la combinación de alto y bajo relieve en el plano de la lámina; creando ritmos visuales entre las formas (bajas o altas); así como enfatizarlas con texturas que reciban la caída de la luz y acentúen los ritmos visuales dados por el juego de planos y volúmenes.

Todas estas razones estético-visuales, están en función del tipo de diseño o tipo de pieza que se desea hacer. Ahora bien, la técnica y la sensibilidad del tacto en su doble forma de tacto y visión (tocar con las manos y tocar con la mirada); así como la luz, la forma y la textura.

En un primer momento, el repujado busca explotar este ritmo posible entre bajo y alto relieve. No importa lograr un volumen excesivo salido del

plano de la lámina, pues a mayor volumen el material exige ser más golpeado, lo cual reduce su grosor, y el riesgo de picar la lámina.

Siendo que la lámina tiene dos superficies debe escogerse el lado que vaya a ser visto, y trabajarse con cuidado. Es aquí donde entra la parte propiamente técnica.

Los materiales.

Al iniciar cualquier repujado hay que contar con tres elementos: proyecto, superficie de repujado y herramientas de trabajo.

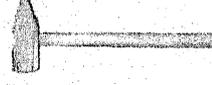
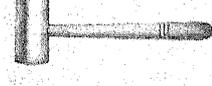
El proyecto: Éste puede trazarse en boceto a escala o en tamaño real (usando plantillas) para repujarse posteriormente cada pieza y luego unir las con soldadura.

Superficie de repujado: Sirve de mesa de trabajo y conviene usar una superficie blanda, como una caja de arena compacta o cama de plastilina; así como otra superficie dura, que puede ser un soporte de madera (un tronco ahuecado) o el yunque. Se necesitan ambas superficies pues el repujado trata de dar forma a una lámina a partir del golpeteo controlado de la lámina sobre una superficie; blanda al inicio y rígida al final o viceversa, o combinando libremente las superficies según se trate el diseño.

Herramientas de repujado: Tales como mazos, martillos, equipo hojalatero y otros soportes. Los mazos pueden ser de goma y de madera; con pesos de 200gr, 500gr, o hasta 1Kg. Mientras más pequeños son es más fácil desarrollar un golpeteo ritmado, eficaz en repujar y sin cansarse. Los mazos deben tener un mango de madera para absorber los golpes, mientras el mango sea más largo, el golpe caerá con más peso y se puede avanzar más. Los martillos para alisado casi siempre son pequeños, por su tamaño se maltratan fácilmente, por esto deben taparse con una manta alrededor de su cabeza y guardarse. Solo usarlos para acabados.⁷⁰

⁷⁰ PEREY, *Op. Cit.*, p 79

Tabla 11 Tipos de martillos y mazos Fuente: Blandford Perey, *Manual de herrería y metalistería*. P.25

Diferentes tipos de martillos y mazos para repujar		
Martillo de mano Para todos los trabajos de doblado y alisado de piezas.	Martillo de peña	
	Martillo de cobre y plomo	
Martillos para metales ligeros	Martillo de peña en metal ligero	
	Martillo de metal ligero	
	Martillo de goma	
Fabricados de goma y de madera, para el doblado de chapas y perfiles de metales ligeros así como piezas sensibles a la presión.	Martillo de madera	

La lámina negra o lámina de hierro, es la materia prima más versátil y útil para el repujado. Tiene un recubrimiento de fosfatos para darle mayor resistencia a la corrosión y sus calibres varían del #10 al #30, con distintas formas, lisas o estriadas. A pesar de que todas las láminas pueden trabajarse por repujado no siempre se logra con la misma facilidad, pues los grosores varían; siendo para los calibres de número menor (#10) un grosor de 3mm aprox. y el calibre mayor (#30) unos 0.30mm, de manera que mientras menor es su calibre más gruesa será la lámina y viceversa, si su calibre es de alto número ésta será muy delgada.

También existe una línea de lámina que toma una coloración similar, y son las que se denominan láminas de acero refractario,⁷¹ son elaboradas con aleaciones especiales para soportar grandes temperaturas y empleadas para la elaboración de hornos industriales de hojalata.

Lo más común en cuanto al repujado es utilizar lámina de cobre o de metal dorado que es una hojalata de cobre y estaño, así como algunas hojas ultra delgadas para uso de repujado en manualidades; pero para fines de soldadura con oxiacetileno, se usa lámina negra o de hierro, para que pueda soldar el metal base con el metal de aporte. Se dice repujado cuando se ha trabajado una pieza de pequeño formato, en una hoja metálica delgada; si el repujado está hecho en una lámina más gruesa y grande (como el trabajo en lámina negra) entonces se conoce más bien como batido o ahuecado. Parte de aprovechar la naturaleza dúctil del metal es a través del martilleo constante sobre el material.

La técnica.

El repujado consiste en golpear de manera ordenada y progresiva, la superficie metálica, hasta obtener una deformación controlada de la misma, esta deformación puede ser en su forma de tipo artesanal o artística. Gracias a este control de la plasticidad de la forma, es que podemos realizar diseños o texturas a voluntad propia.

Antes de iniciar el repujado se debe recalentar el metal (la lámina) para ablandarlo y que esté suave al golpearlo.

Una vez que se traza el proyecto sobre la lámina, se inicia con un recalentado que suavice la lámina. Después de calentarla se enfría a temperatura ambiente, este cambio estructural por acción del recalentado vuelve maleable la lámina, lista para trabajarse.

El trabajo de repujado o batido, debe hacerse golpeando rítmicamente la lámina con martillo sobre una superficie adecuada. El golpeteo debe ir expandiendo la estructura del metal, se va abombando según se necesite formar el volumen; combinando las formas cóncavas y convexas. Como medida de seguridad se debe ir revisando el material con el tacto y la vista,

⁷¹ PEREY, *Op. Cit.*, p 80

para no romper la lámina por un exceso de golpeo. Lo principal de un repujado no es "sacarle la forma a golpes de martillo"; cada golpe cobra el precio de expandir la lamina y llega el punto que la estructura (muy golpeada) no puede expandirse más y termina por romperse. El golpeo entonces, debe ser controlado. En un sentido cóncavo y convexo intercambiando ambas direcciones según el diseño y el ritmo visual que se logre en la pieza: sea relieve, sea bajo relieve o sea un alto relieve, dependiendo del diseño específico de la pieza.

Al martillar siempre conviene partir del centro hacia fuera, expandiendo lo menos posible el material, del plano al volumen. En este proceso es normal que la lámina recocida esté blanda al inicio, pero al golpearla sucesivamente se endurezca. Cada que esto ocurre se debe recalentar de nuevo la pieza, dejándola enfriar a temperatura ambiente. Así, el trabajo se combina entre las operaciones de golpear y recalentar la lámina, tantas veces hasta que quede terminada la forma que se desea. Es importante enfatizar, el control en la cantidad de golpes sobre la lámina. Esta cantidad de estiramiento de la lámina en el repujado, varía según en grosor de esta, pero llega un punto en que la estructura puede romper al no soportar más el estiramiento. También, una pieza que ha recibido mucho trabajo de golpeo llega a adelgazarse tanto, que presenta fisuras o superficies disperejas (partes más delgadas que otras) imperceptibles a la vista, que bastará un pequeño golpe para hacerle un agujero. Al repujar no vale la fuerza del golpe sino el cuidado con que se da y la exactitud del mismo. Por eso se recomienda desarrollar un golpeo ritmado, no fuerte ni brusco, sino atento a observar el desarrollo de la forma.

Una vez que la pieza ha quedado terminada, siempre tiene un aspecto levemente irregular, como pequeñas ondulaciones en su superficie. Esto se puede corregir alisándola con un martillo más pequeño. El alisado o *allanado* puede ser un acabado final para el repujado, si se busca emparejar o alisar la pieza. Contrario a esto el repujado puede quedar manual o rústico. En el alisado se usan martillos pequeños de poco peso, que estén sin marcas o mellas en su cabeza para que no muerdan la superficie. También se puede usar un martillo de madera contra una mesa o tocón de madera, de modo que no lastime (muerda) la superficie. A medida que se avanza en el alisado se

debe ir puliendo la superficie, para ver a contra luz las irregularidades que faltan por trabajar

2.5.6. Técnica de lámina ensamblada

Cuando una pieza repujada no está unida al plano a manera de bajo o alto relieve sino que busca tener un volumen real y total; un volumen que "se vea por todos lados", se trata de una pieza *de influencia escultórica*. Es evidente que no por el hecho de emplear una técnica escultórica a la producción artesanal, se esté haciendo una "escultura" como tal. Más bien se está *aplicando una técnica artística* a la producción de otro objeto.

Esta aclaración es importante pues se deslinda de los compromisos formales y estéticos que se pueden atribuir a una pieza que tenga *influencias* escultóricas; o que se valga de una técnica artística en su elaboración. Una técnica escultórica es el *ensamblado* que consiste en crear volúmenes o formas a partir de distintas partes del mismo material o de materiales combinados. Una aplicación de esta técnica en el trabajo artesanal, es lo que se denomina técnica de lámina ensamblada. La lámina ensamblada, busca crear una pieza de influencia escultórica o volumétrica (independientemente del diseño o estilo) a partir de pequeñas piezas diseñadas, cortadas y unidas (ensambladas) por soldadura, remaches, clavos, etc.

Esta técnica es sumamente versatilidad, por la misma independencia del plano, hacia la generación de un volumen total, ya sea una forma figurativa o abstracta. Técnicamente, es un trabajo que requiere planos, bocetos y hasta maquetas modeladas en sus dimensiones reales; además del dominio de las *técnicas de unión*: soldadura de arco, de oxiacetileno y corte de lámina. Los diseños e intenciones estéticas que subyacen a un trabajo son variables, pero lo que se puede enumerar como momentos del trabajo de ensamblado son: diseñar y bocetar, trazar y cortar, repujar y modelar (confrontar unión entre piezas repujadas, fijarlas para su suelda) y trabajo de suelda.

Los materiales. Son los mismos que en el repujado, sólo se añaden materiales de soldadura: equipo de oxiacetileno y equipo de arco eléctrico; ambos se comentan en el capítulo 3.

Se debe añadir como material importante el uso de alambres de distintas medidas.

Existen muchos tipos de alambre (blandos, duros y semiblandos) así como de distintos tipos de metal (hierro, cobre, latón, aluminio, alambre de hierro, alambre de hierro galvanizado y bronceado) en calibres que van desde 0,2 a 4 mm. Y se adquieren en rollo o varilla.⁷² El alambre de hierro recocido es el más usual pues se puede usar como material de aporte en soldadura de oxiacetileno.

El cincelado. Es una técnica de corte muy usada en la lámina ensamblada, según la punta afilada o chata, el cincel puede servir para cortar o para repujar ciertas formas del volumen.

En el cuadro que se muestra a continuación aparecen los cincelos más útiles, para corte principalmente, pero pueden achatarse en su punta y servir también como repujadores.

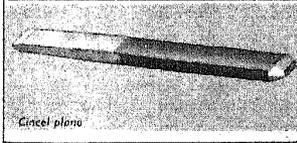
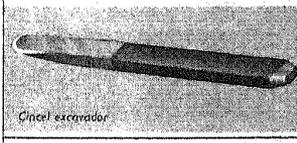
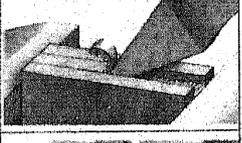
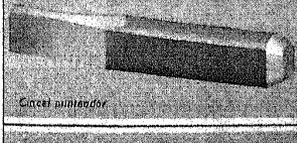
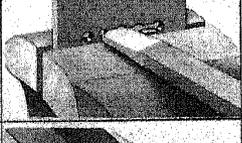
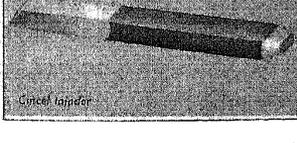
 <p>Cinzel plano</p>	<p>Sirve para trabajar las superficies, para secionar y para limpiar las piezas de fundición y las uniones soldadas</p>	
 <p>Cinzel excavador</p>	<p>Sirve para marcar y excavar formas en las chapas</p>	
 <p>Cinzel aguda</p>	<p>Sirve para efectuar ranuras o canales</p>	
 <p>Cinzel ranurador de forma</p>	<p>Sirve para efectuar ranuras en superficies cóncavas</p>	
 <p>Cinzel pulidor</p>	<p>Sirve para agrandar aberturas y efectuar ranuras en placas previamente taladradas</p>	
 <p>Cinzel tapador</p>	<p>Sirve para tajar piezas de chupa y perfiles</p>	

Ilustración 34 Diferentes tipos de cincelos.

Fuente: Blandford Perey, Manual de herrería y metalistería.

⁷² Ibid op cit. p. 109

Capítulo 3

3. TÉCNICAS DE TRABAJO DEL HIERRO EN CALIENTE

3. 1. Fuego y hierro como materiales de trabajo

Visiones poéticas del fuego.

De los cuatro elementos, sólo el fuego puede ser producido por el ser humano. Cuando el fuego fue descubierto todo se volvió distinto; ahora la carne se cuece al calor de las brasas, los animales salvajes son ahuyentados, el frío se aleja al calor de las fogatas, hasta el hollín de la quema sirve para decorarse el rostro. El conocimiento del fuego causó una verdadera revolución cultural. Casi todos los mitos y leyendas dicen que el fuego tiene un origen divino, y que los mismos dioses lo compartieron con el ser humano para mejorar su vida.

Siendo que el fuego transforma todo material, los mitos antiguos exaltan de forma paralela a este elemento, los únicos materiales que pueden resistir la acción calorífica son los metales. Desde entonces la relación entre el fuego y los metales ha sido inseparable.

La relación del fuego y el hierro inicio hace siglos con diferentes interpretaciones poéticas, que dieron las primeras referencias culturales sobre la importancia y especificidad de ambos materiales, prepararon el ambiente cultural para el desarrollo de distintas prácticas como la alquimia y la metalurgia antigua, que abiertamente se preguntaron por la naturaleza del hierro y el fuego. En Grecia por ejemplo, se relataba el mito de "Prometeo", el héroe que es castigado por robar el fuego a los dioses. Por otro lado, el filósofo Heráclito fue el primero que interpretó la realidad como un devenir, una dialéctica nacida del fuego; en la cual es *"el fuego que todo lo transforma y todo lo renueva,"* un principio transformador de la naturaleza que actúa dentro de todo ser, incluso del ser humano bajo la forma de calor.

En el pueblo Israelí se relata cómo Dios se revela ante Moisés, bajo la forma de "fuego en la zarza que arde sin consumirse". Y una vez que da las tablas de la ley, vuelve a mostrarse en forma de rayos igneos, llamas de fuego

que aparecen en la cabeza de los hombres de Dios, indicando que tienen el conocimiento divino. Esta imagen es la que se repite con los apóstoles en la tradición judeo-cristiana, el fuego como metáfora del poder transformador; así como la divinidad transforma al ser humano, el fuego transforma a la materia.

La asociación del fuego con la maldad infernal proviene del alquimista Paracelso, quien interpretó al fuego como un dualismo hermético, cuyo calor vital realiza el bien, pero también puede generar muerte. Más tarde la idea de Paracelso se popularizó bajo la idea de los fuegos fatuos, luces y estallidos repentinos en algunos cementerios, y que supuestamente provenían de espíritus infernales.⁷³

En la obra "Herreros y Alquimistas"⁷⁴ del teólogo Mircea Eliade, interpreta al fuego como origen de la forja y el herrero. Antes que ser una técnica o un oficio; la forja fue un ritual donde se asistía al parto de la tierra, que simbólicamente escupía de sus entrañas los hierros transformados. También Gastón Bachelard⁷⁵ comenta en su "*Ensayo sobre la imaginación de la materia*", que sólo ingresando en la Tierra el fuego, el ser humano se descubre y se define en calidad de creador, un creador más allá de todo arte, se asiste al descubrimiento de su naturaleza ante la naturaleza cósmica; su naturaleza como creador de cultura, su ser en el mundo que es eminentemente una creación cultural. El fuego es elemento que transforma la materia permitiéndole al herrero, al soplador de vidrio y al alquimista asistir a los cambios de la tierra, al paso de lo impuro a lo puro, de lo escondido a lo evidente, de la mentira a la verdad, de la oscuridad a la luz transformadora.⁷⁶

Actualmente la concepción del fuego y el hierro, corre cargo del conocimiento científico y suele carecer de toda interpretación mítica y simbólica. El fuego ya no es esa sustancia trascendente, ni es un encuentro cósmico o simbólico entre microcosmos y macrocosmos, no obstante, se sigue dando una relación especial; una *relación de tipo estética*, que viene determinada desde la naturaleza misma de ambos materiales.

⁷³ RIFFARD, Pierre; trad. Migués, Néstor, *Diccionario del esoterismo*. Madrid, editorial Alianza 1987 p 112

⁷⁴ *Ibid.*, p 114

⁷⁵ *Ibid.*, p 20

⁷⁶ *Ibid.*, p 119

Comprometiendo las técnicas de trabajo y los resultados estéticos posibles, mismos que se logran en parte con el conocimiento de la naturaleza de este material. Las mismas cualidades físicas de los materiales es lo que determina la forma de trabajarse. En el caso del hierro, sus cualidades son: *plasticidad, forjabilidad y maleabilidad*. Cualidades sólo accesibles por altas temperaturas del fuego transformador sobre los hierros.

Parece paradójico el hecho de que solamente controlando y aplicando altas temperaturas al hierro, éste puede ser transformado en una forma muy superior a como brota de su estado natural. Y es que desde la antigüedad, se ha tenido en cuenta la difícil relación entre el fuego y el hierro. La tarea de doblegar un hierro con altas temperaturas exige más que una buena intención estética, exige un conocimiento de las reacciones del material, es decir, de las propiedades de los metales y específicamente del hierro y sus reacciones con respecto al fuego.

3.1. 1. Herreros, metalurgistas y fundidores.

La Metalurgia "...es el estudio de los metales y aleaciones, desde su obtención, aplicaciones, tratamientos térmicos, mecánicos y químicos propios para su manipulación industrial..."⁷⁷ Esta ciencia-tecnología nació empíricamente de modo imperfecto desde la antigüedad, luego se ha venido perfeccionando a medida que se logran conocimientos más exactos de la estructura de los metales.

Hace apenas 200 años únicamente se conocían ocho metales: cobre, oro, plata, hierro, plomo, estaño, mercurio y cinc. También se conocían tres aleaciones (acero, latón y bronce). Actualmente se conocen 61 metales y 8 semi-conductores de los 118 elementos⁷⁸. Muchos de estos se descubrieron por accidente; el hierro por ejemplo, se descubrió cuando se metió una piedra de hierro meteórico a la fogata; luego, los metalurgistas vieron que esa piedra tenía cualidades distintas de otras, que al calentarla se hacía maleable y al enfriarse tomaba la forma que había sido modelada al calentarla.

⁷⁷ MORRAL, Francisco y otros autores. *Metalurgia general*. Ed. Barcelona. Reverte, 1982 p 86

⁷⁸ MORRAL, *Op. Cit.*, p 88

Los metalurgistas antiguos trabajaban en la búsqueda de minas para extraer el material. No existía aún una división entre el trabajador del metal (forjador) y el extractor (metalurgista). Esta división (especialización de oficios) vino con el paso del tiempo.



Ilustración 35 Trabajo de forja del S. XV alimentando el fuego con fuelle de cuero. Del libro "De res metallica" de Agrípa. Primer tratado sistemático de técnicas metalúrgicas. Disponible en <http://www.ccespadas.com>.

La metalurgia se convirtió en ciencia durante un largo proceso evolutivo, tuvo que separarse de su origen artesanal, con la figura del herrero forjador; para ceñirse al esquema del conocimiento científico dado por la física, química y la ingeniería. A mediados del s. XVIII llegó a consolidarse la división definitiva entre metalurgia y herrería. Durante años los forjadores y herreros eran también metalurgistas, si bien no tenían conocimientos exactos sobre las propiedades del hierro, formulaban suposiciones sobre el fuego ayudándose de la filosofía natural y experimentos alquímicos; para encontrar las formas más adecuadas de extraer el metal y trabajarlo. Aunque muchos procesos de purificación y combinación de aleaciones se hacían perfectamente, todavía no se sabía bien a bien por qué ocurrían los cambios en el metal.

Fue hasta el s. XVIII que inició una difusión bastante amplia sobre los secretos develados del fuego sobre el hierro. En 1781 se hizo el primer análisis sistemático sobre la influencia del carbono en el hierro, bajo el título: "*El arte de convertir el hierro en acero*", por el filósofo francés *René-Antoine Reaumur*⁷⁹, después el físico Galileo Galilei y los filósofos J. Luis Vives y Francis Bacon se interesaron por investigar cómo se podía endurecer el hierro y si era posible obtener un hierro irrompible y moldearlo a voluntad. Ellos no lo sabían, pero se estaban preguntando por la invención de los aceros, vislumbraron lo que sería la ciencia de la fabricación de aceros: la *siderurgia*.

En 1871 se establecieron las causas de la plasticidad del hierro gracias al microscopio metalográfico, se supo que bajo ciertas condiciones este material se puede templar debido a su peculiar *estructura cristalina*, naciendo así la técnica metalográfica, que estudia la estructura y características físico-químicas de un metal a partir del análisis de la estructura, la preparación, pulido y química de muestras de metales.

Estas técnicas culminarían con el descubrimiento de la *estructura perlítica* a unos 600 aumentos, estructura básica en el endurecimiento del acero. Frederick Abel en 1883 determinó la composición del carburo de hierro y estableció que no se podía aislar químicamente todo el carbono presente. Poco después J.A. Brinell demostró que con las operaciones de forja, laminación y temple, las texturas y estructuras se afinaban y el grado de resistencia aumentaba. Osmond y Werth determinaron los puntos críticos del hierro y acero. Con la ayuda de un pirómetro ideado por Chatelier, Osmond examinó directamente el comportamiento a alta temperatura, registrando las posiciones más altas dentro del *diagrama térmico del hierro* (diagrama Fe – C). En 1893 Osmond adoptó los nombres de ferrita, perlita y cementita para designar a los 3 constituyentes principales de los aceros ordinarios, también incorporó los nombres de austenita y martensita.⁸⁰

⁷⁹ MORRAL, *Op. Cit.*, p 94

⁸⁰ *Ibid.*, p 130 - 170

Con el tiempo se inventó el microscopio óptico que alcanza una capacidad de aumento de mil diámetros; y los estudios de cristalografía con rayos X para observar la estructura cristalina del hierro. Actualmente la metalurgia se divide en extractiva y de procesos. La primera se trata sobre el estudio de los yacimientos, la correcta explotación de las minas y la extracción específica de cada metal. Mientras que la metalurgia de procesos estudia el comportamiento, estructura y propiedades de cada metal. Desde la metalurgia antigua que hacían los herreros, hasta la metalurgia contemporánea siempre ha sido indispensable el uso de hornos medios para elevar la temperatura del hierro. En los inicios el *horno* nació de la idea de la *fragua*. Así como la fragua se inspiró en la *fogata*. Si la fogata era el espacio donde se iniciaba y controlaba el fuego, la fragua tuvo esa misma función, pero en relación a un uso específico; así el horno (primero el horno cerámico), fue la tecnología propicia para la transformación de un material.

En la antigüedad el metal se fundía en crisoles de arcilla, calentados por carbón y una corriente de aire impulsada con soplidos a través de un tubo de caña, mucho después se inventaron los fuelles de cuero para ventilar mejor el aire y avivar la temperatura. El metal líquido se vertía en moldes de piedra tallada. Luego se descubrió el método de vaciado a la arena y más tarde el de cera perdida. Actualmente los hornos de metalurgia⁸¹ tienen diferentes formas: verticales, horizontales, manuales, automáticos, etc. Muchas veces se diseñan en función del material y las instalaciones del taller. Se procura en todos ellos, un balance entre rango térmico y combustión eficiente. El horno más versátil, por su diseño y aplicación al fundir varios metales, es el de *reverbero*. Este horno sigue con la forma básica de los hornos de barro antiguos: cuenta con una boca para introducir la carga (metal y fundente), una abertura opuesta a la boca que sirve para introducir el combustible y dos respiraderos, uno para soplar aire y otro para expulsar los gases de la combustión.

⁸¹ *Ibid.*, p102

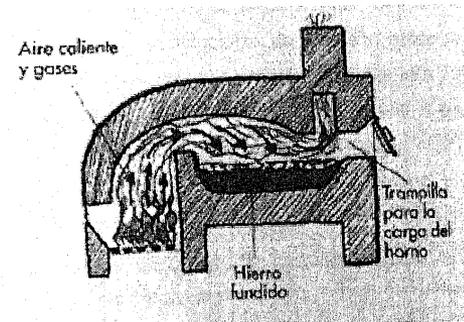


Ilustración 36 Esquema de un horno de Reverbero
Disponible en <http://www.educajob.com>

Todos los hornos usan materiales refractarios para concentrar el calor a temperaturas hasta de 1900°C, así como resistencia química a las sustancias corrosivas que se desprenden de la fundición. Con la ayuda de los hornos se puede limpiar el hierro, pues en su estado natural se encuentra revuelto con otros materiales (escoria), como el carbono, silicio, manganeso, fósforo y azufre. Las impurezas en la fundición de hierro de perfil son de tres tipos:⁸² impurezas que no son reducidas por el horno, pero que afectan la composición final del hierro laminado (perfiles); impurezas que sí son reducidas en la temperatura del horno (sílice, sulfatos, cromo, vanadio, cobalto, niobio, circonio y otros elementos) e impurezas resultantes de otros minerales añadidos al hierro.

Ya que el hierro es un mineral que casi nunca se encuentra en estado puro, sino que se halla revuelto con otros minerales; siempre se ha necesitado un proceso de purificación, para separar el hierro puro de los demás materiales, como también se puede necesitar alea o unir el hierro con otro elemento, para darle más resistencia o poder anticorrosivo. La *siderurgia* es la rama de la metalurgia que se dedica a purificar el hierro y convertirlo en acero.

⁸² *Ibid.*, p 200

El mineral más importante en la metalurgia del hierro es el carbono, pues si se le sobre añade le da extraordinaria dureza y evita su oxidación. También otros elementos importantes para alear el hierro son el manganeso y el silicio. Todos estos elementos se añaden al hierro por procesos de acidificación, sales y/o bases químicas preparadas especialmente.⁸³

Previamente a la fundición, todo mineral se debe preparar. Básicamente este proceso es el trabajo por el cual se extrae, tritura y funde el mineral ferroso de una mina; es un largo proceso que lleva a cabo la *metalurgia extractiva*. Siguiendo los criterios de: ubicación de la mina, riqueza o pobreza de la misma según el mineral que se busque; geografía del lugar y diseño de la mina, aplicación y seguimiento del trabajo de extracción del mineral.

La fundición depende en gran medida del tipo de los minerales que se deseen alear; así como del tipo de horno o instalaciones que se tengan. Pero suele procederse⁸⁴ en dos o tres etapas: la primera, fundición bruta, en donde se obtiene el llamado hierro de cochino, por la forma regordeta de las barras. Es un metal todavía muy impuro (95% hierro y 4% carbono, silicio, azufre y fosfato).

Después de la primera fundición se pasa a la fundición de alto horno, este es

*“...un horno de unos 30 metros. Está formado por una camisa de chapa revestida interiormente de ladrillos refractarios y fijados por una estructura de acero...
...la temperatura de fusión, aproximadamente 1800 °C, es obtenida quemando el coque sometido a una corriente caliente que tiene una temperatura de 700 °C obtenida por aparatos...”*⁸⁵

La elaboración de hierro y aceros es esencialmente una serie de reacciones químicas en la estructura del mineral; cuya repercusión deja alteradas las capacidades físicas del mismo. Tal vez lo más sorprendente es que esta alteración en la estructura del material es la misma que ocurre cuando aplicamos una tecnología de forja por sencilla que ésta sea.

⁸³ WIECZOREK, *Op Cit.*, p 99

⁸⁴ *Ibid.*, p12

⁸⁵ *Ibid.*, p 14 - 16

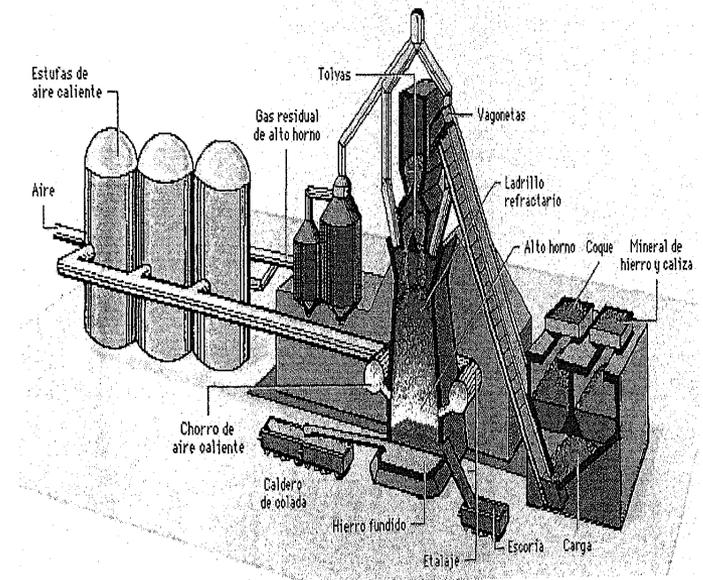


Ilustración 37 Esquema de un alto horno
(estructura interna)

Disponible en <http://www.fisicanet.com.ar/quimica/procesos/ap1/metalurgia01.gif>

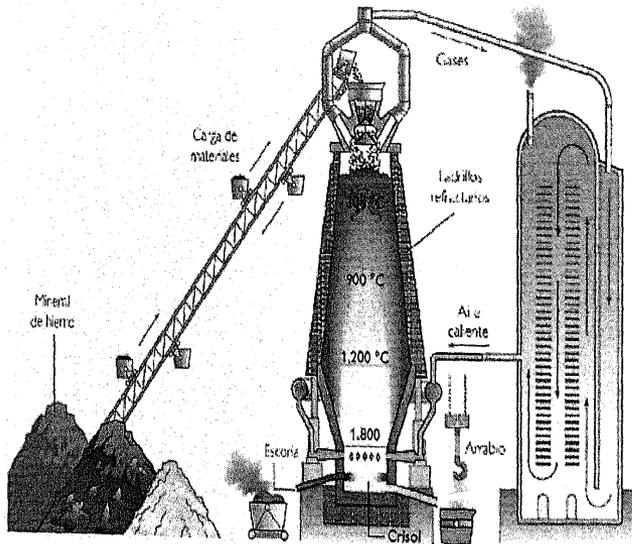


Ilustración 38 Esquema de un alto horno (vista frontal)

Disponible en

<http://www.kalipedia.com/kalipediamedia/ingenieria/media/200708/22/tecnologia/.png>

El hierro forjado se producía por el refinado del hierro de cochino con calentados progresivos. Es un hierro fibroso, maleable y relativamente resistente, razón por la cual se ha ido mejorando. A finales del s. XX se cambió el fundido por hierro dulce o *hierro de perfil comercial*, que actualmente tiene un uso generalizado (pero no exclusivo) para la industria de la construcción. De ahí, que se le llame también *hierro de construcción*.

Según la siderurgia⁸⁶, los materiales ferrosos más usados son: el acero, el hierro dulce o hierro de perfil, también llamado hierro de construcción; y el hierro colado o hierro de fundición. El perfil comercial se encuentra en la

⁸⁶ *Ibid.*, p 32

categoría de acero, sólo varía en su contenido de carbono, así como otros minerales incluidos en su fabricación. El acero siempre tendrá grano fino en su estructura interna, que es visible al romperlo; a diferencia del hierro colado, que tiene una estructura de grano grueso. Se suele decir que el acero es una aleación, pero en sentido estricto no lo es, pues aleación se aplica cuando se trata de dos o más metales. Y el carbono no es propiamente un metal.⁸⁷ Sin embargo, por simple consenso se acepta que el acero es una aleación.

Con tecnologías de metalurgia se agrega a los *aceros de aleación* otros metales, según el uso que tendrán, por ejemplo:

*"...el acero inoxidable se obtiene con un 18% de cromo y un 8% de níquel agregados al acero. Un calentamiento parcial produce aceros de alta velocidad, útiles para navajas y herramientas de corte, que mantiene su dureza aún a altas temperaturas, además de incluir en muchos algún otro metal como el tungsteno, cromo, molibdeno, vanadio o cobalto, que mejora las cualidades magnéticas del acero para piezas de aeronáutica espacial..."*⁸⁸

Una cualidad tanto del hierro como del acero es que son materiales más fáciles de reciclar; hasta se pueden vender como chatarra en tianguis o depósitos industriales. Gran parte de estos materiales de "reciclado y desperdicio" pueden servir para fabricar punzones, soportes de repujar, bases metálicas, entre otros usos. Finalmente una parte de la chatarra se vuelve a fundir, rescatándose el 20 % del hierro puro que se invirtió.

Los aceros.

Como se ha mencionado, el acero es una aleación moderna. Todas las aleaciones de hierro fabricadas hasta el s. XIV se clasifican en la actualidad como *hierro de forjador*. Este material se hacía artesanalmente, reduciendo el mineral metálico a golpe de martillo hasta separar el hierro de la escoria. Estos hierros solían tener un 3% de partículas de escoria y un 0,1% de otras impurezas; y sólo en algunas ocasiones, y por error, producían auténtico acero

⁸⁷ PEREY, *Op. Cit.*, p 56

⁸⁸ *Ibid.*, p 70 - 80

en lugar de hierro forjado. Con estos primeros trabajos, los artesanos del hierro acabaron por aprender a fabricar acero, calentando hierro forjado y carbón vegetal en un recipiente de arcilla durante varios días, con lo que el hierro absorbía suficiente carbono para convertirse en acero.

Hasta el s. XIV se aumentó el tamaño de los hornos para fundir. En éstos, el mineral colocado en la parte superior del horno se convertía en hierro metálico y a continuación absorbía más carbono debido a los gases que lo atravesaban. Como resultado daba arrabio, un metal que se funde a temperatura menor que el hierro y el acero. Posteriormente se refinaba el arrabio para obtener acero. El arrabio se refina mediante chorros de aire. Este invento se debe a un británico llamado Henry Bessemer, que en 1855 desarrolló este método siderúrgico.

Desde 1960 funcionan varios mini-hornos que emplean electricidad para la producción de hierro fundido a partir de chatarra, pero las instalaciones de altos hornos siguen siendo esenciales para producir acero puro.

La mayoría de los aceros se fabrican en hornos eléctricos. Con estos hornos se puede regular más estrictamente la temperatura, sea para fundir y para refinado. Además, por la tecnología de estos hornos se ha podido fundir chatarra metálica, previamente limpia y clasificada (que antes al s. XX no se podía fundir). Una vez que el mineral es preparado y fundido sale en forma de lingote, éste se somete al laminado, que es propiamente la fabricación de perfiles de acero comercial. El laminado en caliente es el método principal de fabricación de los aceros comerciales. En este proceso, el lingote colado se calienta al rojo vivo en un horno denominado foso de termo difusión. Estando el lingote caliente se hace pasar entre una banda metálica con una serie de gruesos rodillos templados, mismos que al girar y avanzar la banda van aplastando y dando forma definitiva al lingote. La distancia entre los rodillos va disminuyendo, igual que su presión. Se va reduciendo el espesor del lingote laminado, hasta que queda con la forma del perfil comercial deseado.

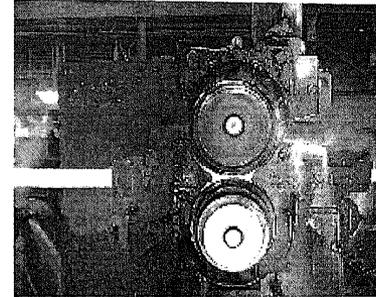


Ilustración 39 Laminado en caliente
(de lingote caliente a perfil comercial)

Disponible en <http://www.hierrossantander.com>

El primer par de rodillos por el que pasan los lingotes se conoce como tren de desbaste, para la eliminación de asperezas. Después del tren de desbaste, el acero pasa a trenes de laminado en bruto y a los trenes de acabado que lo reducen a láminas con la sección transversal correcta. Los rodillos para producir rieles de ferrocarril o perfiles en H, en T o en L tienen estrías para proporcionar la forma adecuada. Los procesos de fabricación modernos requieren gran cantidad de chapa de acero delgada. Los trenes o rodillos de laminado continuo producen tiras y láminas con anchuras de hasta 25cm. Estos laminadores procesan con rapidez la chapa de acero antes de que se enfríe y no pueda ser trabajada. Las planchas de acero caliente de más de 10 cm. de espesor se pasan por una serie de cilindros que reducen progresivamente su espesor hasta un 1mm. Y aumentan su longitud de 4 a 37m.

Otro sistema de producción de laminados es el de colada continua; que produce una plancha continua de acero con un espesor inferior a 5cm., lo que elimina la necesidad del sistema de laminado con rodillos.

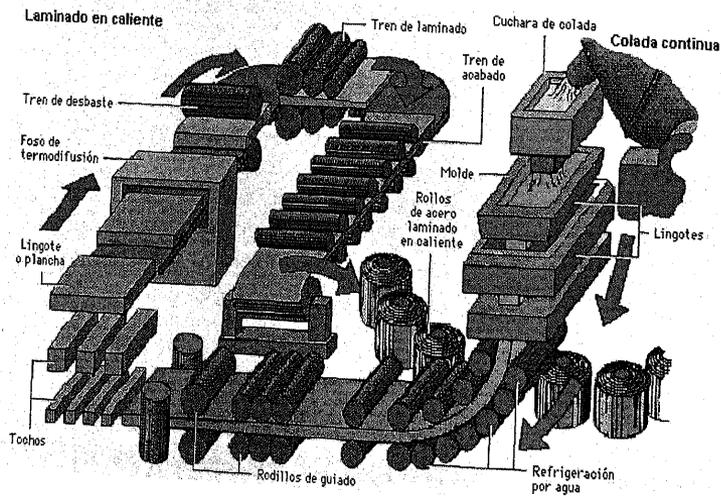


Ilustración 40 Laminación por colada continua, de hojas de lámina metálica (lámina negra)
 Disponible en <http://www.fisicanet.com.ar/quimica/procesos/ap1/meturgia01.gif>

También las chapas metálicas (lámina negra y galvanizada) se dividen en tres tamaños: chapa fina con espesor de 2,75 mm., chapa mediana de 3 a 4.75 mm. Y chapa gruesa de 5 mm o más. Los tubos más baratos se forman con una tira plana de acero caliente, que se amolda con presión sobre una forma cilíndrica y se sueldan los bordes para cerrar el tubo. En los tubos más pequeños, los bordes de la tira suelen superponerse y se pasan entre un par de rodillos curvados según el diámetro externo del tubo. La presión de los rodillos es suficiente para soldar los bordes. Los tubos sin soldaduras se fabrican a partir de barras sólidas haciéndolas pasar entre un par de rodillos inclinados entre los que está situada una barra metálica con punta que perfora las barras y forma el interior del tubo mientras los rodillos forman el exterior.

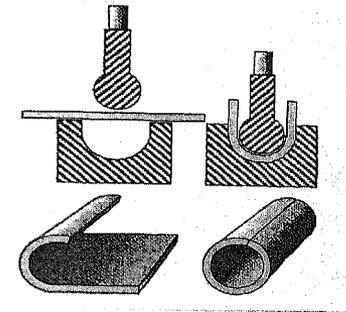


Ilustración 41 Una forma de laminado como se fabrican los tubos grandes.

Disponible en

<http://www.kalipedia.com/kalipediamedia/ingenieria/media/2007/32/tecnologia/.png>

Actualmente⁸⁹ se ha venido laminando tubos sin soldadura, desde pequeños formatos hasta los más grandes, éstos se laminan en caliente, pasando por la laminadora una tira según la circunferencia que se desea.

El acero como los principales materiales, reproduce en base a una serie de normas nacionales e internacionales. Estas normas son convenciones hechas entre científicos, técnicos e ingenieros de diferentes áreas, con la finalidad de regular la calidad de los materiales y procesos. Esto permite la universalidad de los usos del material, en función de su calidad y forma. Las normas más difundidas que se utilizan en gran parte de América latina y Norte América son: la American Society of Mechanical Engineers (ASME), la American Section of the International Association for Testing Materials (ASTM) y la American Iron and Steel Institute (AISI-SAE); y la NOM (Norma Oficial Mexicana) que diseña sus especificaciones en función de otras normas internacionales; a criterio de la exportación o importación de materiales, entre otros factores.

⁸⁹ *Ibid.*, p 18

Para el caso de la siderurgia Mexicana, la Norma se expide por recomendación de la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y el Acero (CANACERO), en conjunto con las principales empresas siderúrgicas.

metalurgia; hasta la más básica técnica de herrería comercial, se la debemos a esta cualidad *isomórfica* del hierro. Cualidad por la que su estructura se altera sin destruirse del todo; resultando un material maleable. La técnica para observar la estructura de los metales es la *metalografía*.

“...consiste en cortar una trozo de metal pequeño, pulir en acabado de espejo una de sus caras y tefirlo con una solución química para verlo al microscopio. En esta prueba se observa la forma de la estructura cristalina compuesta de granos metálicos, y en la unión o extensión entre grano y grano se observa con un detector de rayos X las diferencias químicas entre uno y otro...”⁹⁰

Se aplica la metalografía porque el tamaño de los granos es de milésimas de milímetro, de forma que no se ven a simple vista, por lo tanto tampoco se observan las reacciones que ocurren entre los granos, es decir las reacciones ocurridas en una estructura cristalina metálica. Así que, si al torcer una barra de hierro dulce ésta se dobla fácilmente, ahí está operando una compresión en su estructura cristalina, a pesar de que no lo veamos a simple vista. Igual si un hierro forjado se ha endurecido, se debe a una alteración en su estructura.

Una estructura cristalina “...se observa como una red de pequeños cubos”.⁹¹ Esta red cristalina sufre cambios según se modifique la temperatura u otra forma de energía aplicada al material.

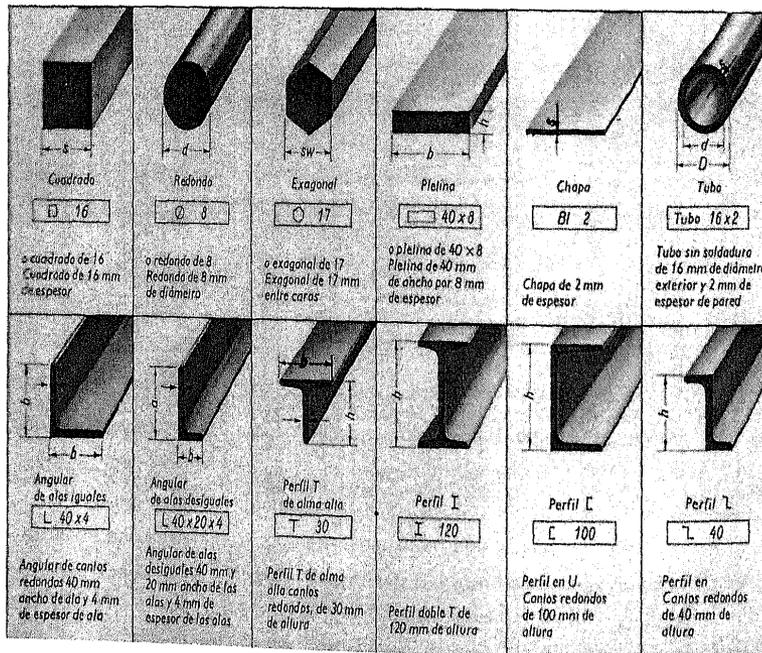


Ilustración 42 Perfiles metálicos (acero para construcción).

Fuente: Wiczeorek Leben, *Tecnología fundamental para el trabajo de los metales*, p.37

3.1.2. ¿Por qué el hierro es un material plástico?

De los muchos materiales naturales que existen sobre la tierra, algunos minerales tienen la característica de ser afectados en su estructura interna (en sus átomos) conservando ciertas cualidades; este fenómeno se llama *isomorfismo*. Toda operación desde las más especializadas técnicas de

⁹⁰ GÓMEZ, Martínez. *Acero*. México, editorial FCE. Colección. *La ciencia para todos*. 2003.

Cap. I p. 34

⁹¹ GÓMEZ, *Op. Cit.*, P 35

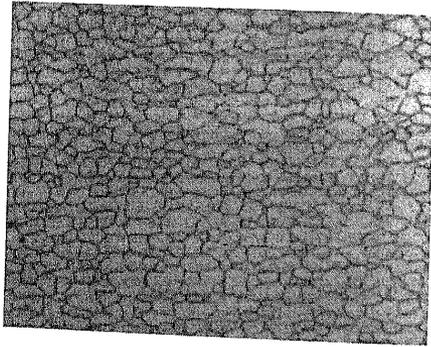


Ilustración 43 Estructura cristalina del hierro.

La disposición de estos cristales es lo que causa que el hierro sea maleable; ya que no es una estructura rígida como la de las piedras o el vidrio.

Disponible en <http://www.arcelormittal.com/images/large/Structure%20granulaire%20acier.jpg>

Así, la estructura de los metales está formada de pequeños cristales metálicos (granos), que a nivel molecular se componen de átomos enlazados por una nube eléctrica a su alrededor. Ésta hace la unión entre todos ellos; unión que es regular y firme, pero dotándolos a su vez de dinamismo (plasticidad) y conducción térmica y eléctrica. Cada metal tiene diferente ordenación de su estructura metálica; esto determina que el metal sea de grano fino o grueso. Cada tipo de hierro tiene distinta estructura, por eso reacciona diferente al temple, al forjado o a la suelta.⁹²

¿Cómo reconocer a simple vista el tipo de hierro que es?

Una forma práctica de identificar cada tipo de material consiste en observar sus cualidades externas e internas. Las externas es su aspecto, si es de superficie lisa y grisácea azulada es un acero, si es rugoso, áspero y gris opaco se trata de hierro fundido.

⁹² *Ibid.*, p 40

Las cualidades internas (la estructura granular) se observan cuando se rompe una parte del material. Si la parte rota tiene grano fino es un acero; pero si tiene grano grueso es un hierro fundido.

Lo anterior se resume en el siguiente esquema.⁹³

Tabla 12 Diferencias entre hierro y acero.

Tipo de hierro	Aspecto externo			Aspecto interno	
	Aspecto	Color	Sonido	Color	Aspecto
Acero	Liso	Gris azulado	claro y sonoro	Gris plateado y mate brillante	Grano fino
Hierro Fundido	Rugoso Áspero	gris a gris opaco	grave y sordo	Gris opaco	Grano grueso

3.2. Técnica de forja

Forjar es la operación que consiste en modificar la forma de los metales mediante la aplicación de distintos esfuerzos de *compresión* o de *tracción*, es decir de aplastamiento, alargamiento y doblado. En este caso, la forja caliente se hace aplicando calor intenso al metal por acción de una fragua u otro medio que eleve la temperatura del hierro. La forja antigua se practicaba a fuego directo. Esto producía en el mineral una masa blanca, esponjosa y porosa que era realmente escoria, pero muchos herreros no se percataban aún de que el hierro mejora si se le separa de esta masa. En aquella época se necesitaba expulsar por martilleo los glóbulos de hierro asentados en la base de la bola de escoria; con el tiempo se descubrió que golpe tras golpe se hacía desprender la escoria para dejar el hierro en forma de pequeño lingote. Era un hierro relativamente duro, resultaba frágil y poco tenaz, por el proceso de enfriado del

⁹³ WIECZOREK, *Op Cit.*, p 3

material, que era similar al temple. Estas técnicas se descubrieron en Asia menor 1300 a.C. y se extendieron a Iberia en el año 500 a.C. aproximadamente.⁹⁴

En estas épocas ya se conocía el hierro fundido, según describe el historiador antiguo Plinio,⁹⁵ pero extrañamente desapareció su práctica y resurgió hasta el s. XIII, aunque tuvo su auge hasta el s. XIX cuando el hierro se purificó en forma de lingotes alargados similares a lo que hoy son los perfiles comerciales, esto incrementó el trabajo de forja artesanal en oposición a la forja comercial.

Con el trabajo de forja se cumple una *tensión plástica en el metal* por compresión o tracción (aplastamiento o alargamiento).⁹⁶ Esta tensión sobre el material lo beneficia, pues hace que su estructura cristalina se contraiga, eliminando grietas, rechupes del fundido y otras tantas impurezas microscópicas, que el horno no puede eliminar.⁹⁷ Se llama *forjado superficial*, cuando el movimiento de forja es rápido y se aplica solamente en cierta zona del hierro.

En estos casos la estructura del hierro se desplaza bruscamente comprimiendo su estructura de forma desigual, lo que da rigidez a la pieza solamente en la parte que fue trabajada; pero en las zonas que no se aplicó ningún forjado, suelen quedar con la estructura normal (pues no hubo compresión de la estructura metálica), o bien son zonas que pueden quedar un tanto debilitadas por el mismo desfase de la estructura.

Por lo anterior, el forjado superficial siempre deja una inestabilidad en la estructura del hierro; zonas que se perciben más duras que otras, o incluso zonas muy rígidas y otras demasiado frágiles. Lo que puede ocasionar que una parte de la pieza se rompa súbitamente al manipularla. El forjado superficial se puede evitar recalentando la pieza completa, para reequilibrar las tensiones desiguales en la estructura del hierro.

⁹⁴ HOWARD, Cary. Traducción. Pozo, Virgilio. *Manual de soldadura moderna Vol. I y Vol. II*, México, editorial Prentice Hall 1992, p.58

⁹⁵ *Ibid.*, p19

⁹⁶ *Ibid.*, p 30 - 35

⁹⁷ *Ibid.*, p 40

Es importante recordar, que todo movimiento de forja implica una deformación caprichosa y desigual en la estructura cristalina del hierro; lo que hace a la pieza forjada inestable, con zonas muy duras y otras blandas. No obstante, este problema también puede ser por un choque violento de temperatura (como en el temple que se sumerge el hierro caliente en agua), o bien se puede deber a las impurezas, dislocaciones u otras imperfecciones venidas de la fundición. Por eso siempre conviene recalentar toda la pieza, para reacomodar su estructura.

Otro problema del forjado es cuando un perfil se convierte en hierro agrio. Se dice que un hierro se ha agriado cuando a partir de muchos dobleces cometidos contra el perfil este queda endurecido. Un ejemplo del hierro agrio, es cuando se pretende cortar un pedazo de alambre a base de torcerlo de lado a lado en la misma zona, pero los movimientos de doblez hacen que la estructura se compacte endureciendo al alambre, imposibilitando el corte. A la zona endurecida se le denomina hierro agrio.

No todos los hierros se agrian, unos están predispuestos porque tienen muchas impurezas de fabricación. Estas impurezas del fundido, recorren el perfil en sentido entrecruzado, de forma que la estructura cristalina no es uniforme. Así que, al doblar insistentemente esa parte llena de impurezas, éstas chocan entre sí, aglomerándose en una parte y "agriando" el hierro. Para evitar el agriado, también conviene recocer el perfil antes de trabajarlo (aun si será forjado en frío), además de cuidar de no doblarlo insistentemente.

Cuando una parte del hierro se ha agriado, las zonas cercanas que la rodean quedan frágiles y quebradizas, hasta romperse. La rotura del hierro agrio pasa por tres momentos: 1) inicio de la deformación o torsión inicial; 2) arriamiento⁹⁸ que es el endurecimiento del metal por una mala yuxtaposición de la estructura granular y la aparición de pequeñas grietas; 3) la rotura de la pieza. Estos tres momentos pueden identificarse al momento de trabajar una pieza, y observar cual es el rango máximo de un hierro antes de romperse. Por ejemplo, si se tuerce la pieza y al volverla a torcer se presenta muy endurecida; está en la fase de arriamiento. Hay que detener el trabajo y recocerla para ordenar su estructura, evitando que llegue a la rotura.

⁹⁸ *Ibid.*, p 42

El recocido⁹⁹

El recocido es una técnica que se aplica para reordenar la estructura cristalina de un hierro que se encuentra notoriamente endurecido o que está a punto de quebrarse (arriado), ya sea por impurezas o por la dinámica del trabajo. Con el recocido siempre se deja enfriar la pieza a temperatura ambiente. Se recomienda una temperatura de 500° a 600°C. (Rojo encendido), distribuyendo el calor del centro hacia los extremos de la pieza, para que la temperatura se mantenga uniformemente. Si una pieza es recalentada desde sus orillas, el calor se extenderá desordenadamente y puede dejar tensiones térmicas, es decir, zonas recalentadas y zonas que enfriaron rápido o ni siquiera calentaron. Esto debe evitarse, pues la finalidad de recalentar es *nivelar la tensión surgida en los cristales*. Una pieza mal recalentada siempre tiene inconsistencias granulares en su estructura, puede ser doblada o hasta rota, debido a una débil unión entre sus cristales.

Metales como el hierro, acero, cobre y latón pueden recalentarse. Pero si la pieza tiene un fin funcional (balconería, herrería comercial, sillas, mesas, pequeños módulos, etc.), el recalentado es muy conveniente para asegurar la firmeza de la pieza. Casi todos los aceros son difíciles de recocer por el alto contenido de carbono; tan fuerte y concisa es su estructura que algunos autores recomiendan no recocerlos ni forjarlos¹⁰⁰. Por ejemplo, los aceros de *cementación* (usado en piezas de maquinaria), igual que el *acero para herramientas*, tienen un 0.6% a 1.5% de carbón respectivamente. Mientras más alto es el contenido de carbón más uniforme es su estructura y ofrece más resistencia al trabajo. Aunque comúnmente ninguno de los dos aceros anteriores se forja. Algunos gustan de elaborar herramientas forjadas en estos aceros: estiques, gubias, hachuelas, punzones y formones.

Sólo el acero de construcción (perfil comercial) reacciona al forje en frío, al forje en caliente se vuelve mucho más suave. Es un acero blando y versátil por su contenido de carbón bien equilibrado (0.45%), no lo hace ni muy blando

(quebradizo) ni muy duro. No obstante, como se ha mencionado, siempre conviene recocerlo para normalizar su estructura y evitar roturas o dobleces.

El hierro fundido (hierro gris) no puede forjarse pues se quiebra al doblarlo, además debido a su bajo punto de fusión se funde al recalentarlo o soldarlo.

3.2.1. El equipo mínimo para forjado: La fragua, el yunque y las herramientas.

Una de las habilidades del artesano es adecuar su visión cotidiana a un tipo de visión estética, conocida como visión áptica. La visión áptica, viene del término griego *Hapthai* (relativo al tacto), y se refiere a la experiencia sensitiva por la que la mirada observa, toca y siente con las cualidades más finas de un material; de ahí que esta forma de mirar sea un *tocar con la mirada*, cuyo fin es que todas las sensaciones táctiles, sean percibidas y calibradas por una observación fina. Se trata entonces, de la *visión estética* por excelencia capaz de recorrer detalles, texturas, formas y colores, sin necesidad de tocar el material con las manos. Tocar el material sólo con la vista, algo que es muy útil al momento de forjar, pues la elevada temperatura que alcanza el hierro, no permite tocarlo directamente, como pasa con otros oficios artesanales. Mientras el ceramista o ebanista calibran las formas tocando directamente el material, en los metales no es posible acariciar directamente el hierro al rojo vivo. De ahí que una mirada aptica, complementa la sensibilidad de las manos, sin exponerse a tocar el material caliente.

Siempre se debe desarrollar el hábito de trabajar con el equipo de seguridad adecuado, con mayor cuidado, si se trabaja con fuego o maquinas. Usualmente, se cree que una herramienta puede ser sustituida en su función por cualquier otro objeto, pero no es así. Las herramientas de trabajo como el equipo de seguridad personal, están específicamente diseñadas para tal o cual función, y ya que en el trabajo de hierro caliente no se puede "tocar" el material ni a veces tener un contacto cercano como con otros materiales. Las herramientas, como el equipo de seguridad personal vienen a ser una mediación sensitiva entre el material transformado y la visión estética que se

⁹⁹ *Ibid.*, p 50

¹⁰⁰ *Ibid.*, p 60

pretende transmitir a la pieza. Tan exacta debe ser la visión aptica (visión estética) como exacto sea el uso de la herramienta correcta; pues se trata de una interrelación estética-productiva entre la mirada y la herramienta, en función de que las herramientas sustituyen a las manos.

Parecería que una herramienta y un utensilio son dos cosas iguales, pero realmente son cosas diferentes. Una herramienta es un objeto diseñado para facilitar un trabajo manual-mecánico, a partir del cumplimiento exacto de esa función para lo que está diseñado. por ejemplo: un martillo tiene un diseño para tomarlo con la mano e impulsarse a golpear más fuerte y sin esfuerzo, mientras su mango sea más largo, el efecto de golpeo será mejor; debido al diseño previamente manufacturado para cumplir cierta función. Mientras que los utensilios, son objetos (cualquier tipo de objeto) que esté a la mano e improvisadamente sirva para ese momento. Pero como no tienen un diseño ni un uso específico, suelen ser inexactos en sus resultados, incómodos de usar y hasta peligrosos para uno mismo o para la calidad que se busca lograr en un trabajo.

En la forja es imprescindible emplear cada herramienta según su correcto uso; primeramente porqué, la herramienta sirve como una mediación entre la sensibilidad manual y el material candente. Cada herramienta con su uso adecuado colabora en la seguridad personal; además que contribuye a un resultado estético que se desea. Si tradicionalmente en el trabajo artesanal se establece una íntima relación estética y sensitiva, entre el material y las manos del artesano, en la forja, como en la soldadura es imposible tocar, acariciar y hasta calibrar manualmente la pieza que se está trabajando. Las herramientas y los utensilios deben sustituir sensitivamente a las manos, igual que la visión aptica –tocar el fuego, como tocar las zonas calientes del material, sus colores, dilataciones, etc.-

La forja artesanal.

Existen tres tipos de trabajo de forja: la forja industrial, la forja comercial y la forja artística.

La forja industrial trabaja a grandes cantidades, con máquinas automatizadas que dan seguridad y gran volumen de producción a hierros comerciales forjados. Por ejemplo, se usa en perfiles o laminados.

La forja comercial, popularmente conocida como herrería; es un trabajo orientado primeramente a resultados prácticos, no se preocupa tanto por la estética de la pieza o el uso de la técnica, sino por solucionar problemas concretos y puntuales que el cliente necesita (colocar enrejado, asegurar una puerta, soldar un balcón). A este tipo de trabajo se le llega a nombrar genéricamente como trabajo de pailería (si es soldadura) o trabajo de herrería. Por forja artesanal se entienden diferentes objetos elaborados con más diseño, previsión y sentido estético que el trabajo comercial. Por eso su producción y consumo es relativamente más específico, orientado más a la calidad, que a la cantidad, usando módulos, figuras o volutas rematadas en dobleces combinados de barras de hierro (redondas, cuadradas), generalmente de diseños funcionales y estéticos.

El calificativo de artístico o artística no indica que sea en sentido moderno un arte, sino más bien un arte aplicado; asumiendo el significado de arte desde su antigua noción grecolatina: arte, como el conocimiento práctico de un oficio; resuelto con ingenio, experiencia y virtuosismo. Todo el trabajo de forja depende de cinco movimientos básicos: *doblado, aplanado, estirado, perforado y recortado*. Estos movimientos del hierro en caliente, se ejecutan en función de un diseño previo. Ayudándose por el equipo y herramientas para el forjado.

Equipo mínimo para forjar: fragua, yunque, herramientas.

La fragua

Se desconoce el origen de la fragua, sin embargo, tal vez los primeros herreros que calentaban el mineral en una fogata de madera, notaron que la madera quemada, convertida en carbón; daba una temperatura más alta al hierro. Tal vez mucho después se observó que el calor emanado de una fuente como el carbón, debía ser resguardado en un pocillo de barro (la primera fragua) y que al soplarle (o ventilarlo) incrementaba el calor en las brasas. En los inicios de la fragua, el aire se administraba soplando por un tubo hueco, que

conectaba con la base de las brasas, donde ardía el fuego. Pero tiempo después se inventó el fuelle de madera con cuero, hasta el desarrollo del fuelle doble en la Edad Media, controlado por un pedal.

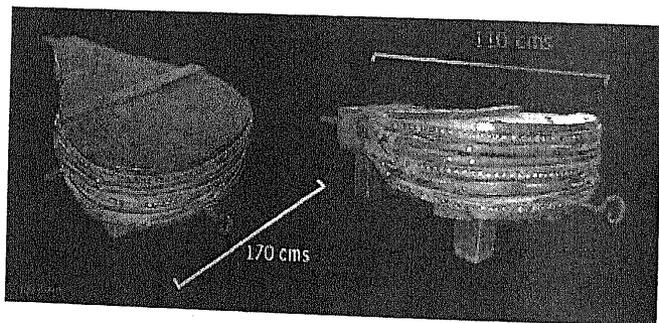


Ilustración 44 Fuelle de pie.
Disponible en <http://www.picasaweb.google.com>

A través del tiempo se desarrollaron fraguas portátiles impulsadas por dos fuelles redondos de cuero y madera controlados por un pedal, de manera que los brazos quedaban libres para trabajar el metal.

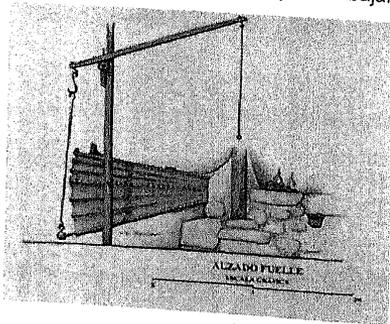


Ilustración 45 Posición del fuelle en una fragua.
Disponible en <http://www.patrimoniointerindustrialensegovia.blogspot.com>

Con el tiempo se pasó del uso de fuelle al uso de ventiladores de mano o sopladores, impulsados por una manija de operación que al darle vuelta lanzaba una ráfaga de aire por un conducto hacia la base de la fragua. Estas fraguas con ventilador de mano integrado son las más recurrentes en los pequeños talleres. La fragua no es una herramienta, sino un utensilio. Por esto no tiene un diseño específico. Sino que cada diseño de fragua está en función

de las necesidades y recursos que se tiene. Así, hay fraguas grandes, pequeñas, portátiles, fraguas con y sin ventilador o alimentadas por gas o por carbón vegetal. Lo más recomendable, es diseñar la propia fragua en función al espacio de trabajo. Así también se puede tener una pequeña fragua portátil, como complemento de una fragua fija bien equipada.

El propósito de la fragua es mantener una temperatura constante y controlada al hierro; sea para forjarse, recalentarse o soldarse por golpeo. El problema de las distintas temperaturas de la fragua radica en que si la temperatura es muy alta, el acero puede perder sus propiedades y si la temperatura es muy baja se producen tensiones superficiales en el hierro, sin alterarse a profundidad la superficie, lo cual puede llevar al material a volverse frágil ("fragilidad del azul", por el color azulado que toma el hierro).

El proceso de observar y controlar las temperaturas del hierro dentro de la fragua se llama *caldeo*. El caldeo de un hierro depende de las necesidades del trabajo y el diseño mismo de la fragua, que puede ser una fragua portátil, fragua fija (estacionaria) o fragua tipo horno (con una cámara de ladrillo refractario). Cuando se caldea el hierro pasa por ciertas tonalidades, éstas pueden dar una idea de la temperatura a la que se encuentra el material. Según la obra consultada¹⁰¹, las tonalidades del hierro caldeado serían las siguientes.

Tabla 13 Tonalidades y temperatura del hierro.

Color del hierro	Temperatura aproximada
Rojo incipiente	525° C
Rojo oscuro	700° C
Rojo cereza incipiente	800° C
Rojo cereza	900° C
Rojo cereza claro	1000° C
Naranja oscuro	1100° C
Naranja claro	1200° C
Blanco	1300° C
Blanco candente	1400° C

¹⁰¹ LESUR, Esquivel. *Manual de herrería*. México, editorial. Trillas. p.59

El diseño de las fraguas varía según las necesidades personales. Todas tienen dos partes importantes: la parte del fogón, que es la parrilla o soporte donde se coloca y enciende el combustible; así como el hierro a recalentar; y la parte de ventilación, que es un ventilador (manual o eléctrico) que oxigena las brasas. Un fogón mal oxigenado, implica más gasto de combustible y menos temperatura. Por eso la ventilación de la fragua debe ser tan buena como su fogón (fuente calorífica de la fragua).

Puede parecer preferible trabajar con un tanque de gas, en vez de preparar la fragua con carbón vegetal o coque, pues estos minerales producen mucho hollín y ceniza al quemarse. Sin embargo, son minerales que alcanzan el doble de temperatura de lo que puede alcanzar un soplete; además el soplete tiene una abertura (boca) restringida y angosta, lo cual evita que la temperatura se extienda uniformemente en una pieza al calentarla. Siendo que el calor debe no sólo extenderse sino mantenerse constante en una pieza, el soplete como tecnología, es incapaz de mantener la temperatura constante en una superficie amplia. Cosa que sí se logra con una fragua extendida, retacada de brasas de carbón al rojo.

La fragua extendida puede hacerse sobre diseño; cuidando que esté a la altura de la cintura, y que tenga buena oxigenación del abastecimiento de mineral (carbón, partido en pedazos pequeños). También es importante dotarla de una buena superficie para recalentar el hierro. Esta superficie debe recubrirse con dos pequeños muros de ladrillo refractario, formando una "L" para que conserven la temperatura.

La fragua es esencialmente una mesa de trabajo, donde se genera y conserva la temperatura; por eso la base o soporte de una puede ser de cemento, madera o hierro. La parte del fogón es donde se concentra el combustible y la flama, para extender la temperatura. El fogón puede ser cóncavo o plano (como una mesa de trabajo), según la fragua sea portátil o fija. Si el fogón es cóncavo (como un recipiente) debe limpiarse de no tener basura. Pero si el fogón es cuadrado o está ubicado sobre la misma plancha de la fragua (fragua plana) se puede revestir de ladrillos refractario; muy bien acomodados, para que no escape la temperatura entre un ladrillo y otro. Por regla general no debe usarse una fragua más grande que el tamaño de su fogón, pues la temperatura

no se extiende bien sobre la plancha de la fragua. El tamaño del fogón debe ser igual al tamaño de la plancha sobre la que se recose el metal.

Algunos fogones presentan una concavidad en el centro, como si fuera una fragua cónica. En este centro tienen una puertecilla para retirar la ceniza que se aloja a través de una malla metálica. Otras fraguas tienen en su centro un tapón para desalojar la ceniza que se concentra en el fogón; el carbón calcinado se convierte en hollín que debe removerse constantemente para que no apague las brasas. Igualmente, si el carbón enciende demasiado conviene rociarlo con agua (una regadera) levemente, para controlar el calor. Sobre la ventilación, algunas fraguas tradicionales tienen un ventilador manual. Otras cuentan con uno eléctrico; o puede ser que en la base de la fragua se encuentre una tubería con pequeños orificios que sirven de ventilación. La ventilación nunca debe golpear directamente al carbón pues lo enfría. La corriente de aire siempre es indirecta, dirigida por ejemplo debajo de las brasas, solo para oxigenarlas no para soplarlas. Otros modelos de fraguas combinan la tubería de ventilación, alimentada por un ventilador manual que al hacerlo girar con una palanca, lanza una ráfaga de aire entre los ladrillos refractarios e incrementa la temperatura.

Hace muchos años se usaban fuelles de cuero, posteriormente el sistema de tubería debajo de la fragua se inventó en Francia (s. VIII). Estos herreros inventaron una ventilación que usaba vapor caliente. El sistema era el siguiente: primero, colocaron una tubería perforada interna debajo de la plancha de la fragua, misma que estaba conectada a un amplio recipiente con agua caliente y un ventilador, de modo que el ventilador soplaban el aire caliente a través de la tubería. A este sistema le llamaron *fragua tuyere* (del francés *tuir* o vapor). La fragua de vapor caliente, permitía una mejor temperatura constante e invariable en los hierros, haciéndolos mucho más maleables, y logrando las formas más caprichosas. Este sistema de fragua por vapor caliente duró hasta mitad del s. XIX, luego fue sustituido por el hierro fundido. Finalmente, como parte de la ventilación de una fragua, algunas de ellas cuentan con una campana o extractor eléctrico para sacar los gases que genera la quema de combustibles. La función de alcanzar y mantener una buena temperatura, se debe a que los hierros con más de 5 o 6 mm de espesor

muestran resistencia al trabajarlos en frío. De manera que sólo es posible manipular al máximo su ductibilidad cuando se les somete a altas temperaturas.

El yunque

El yunque es una herramienta que se ha venido perfeccionando. Muchos siglos antes ya existían técnicas de aplanado y estirado pero se hacían sobre grandes y gruesas lajas de piedra, con otra piedra como martillo. El yunque como una gran barra de metal nació en la Edad Media, pero de forma muy imperfecta; ya que consistía en varias barras de hierro fundido unidas a golpe de martillo. El inconveniente de estos yunques es que se terminaban desgajando con el uso y no contaban con ninguna forma o curvatura como hoy los conocemos, eran simplemente un gran bloque de hierro unido por varias barras pequeñas, que con el uso se desprendían y se oxidaban entre las uniones.

En el s. XVIII se popularizó el diseño del yunque. Existían dos tipos yunques: unos fundidos de una sola pieza, que eran costosos; y otros fundidos en un bloque al cual se le unía por soldadura las partes laterales (el cuerno). Estos yunques tenían el inconveniente de que sus cuernos terminaban por desprenderse con el golpeteo.

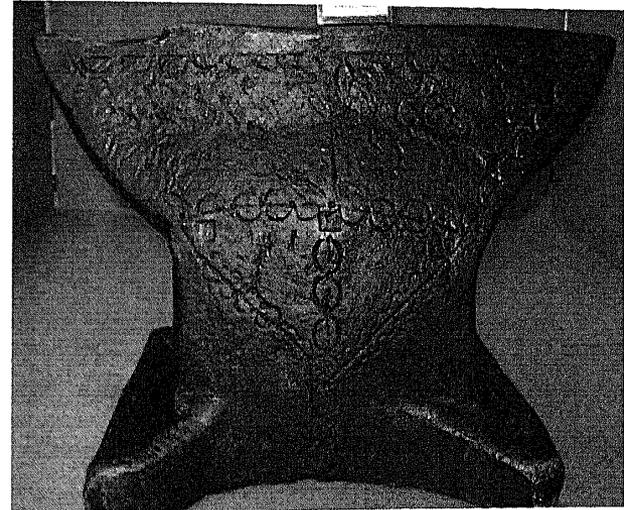


Ilustración 46 Yunque antiguo

Disponible en <http://www.todocolección.net>

Fue hasta el s. XIX, cuando se desarrolló la fundición de hierro y surgieron los primeros yunques modernos fundidos de una sola pieza, tal y como los conocemos actualmente. Al paso del tiempo los fabricantes de yunque fueron añadiendo distintas formas como: orificios centrales, partes curvas, planas y otras más. Todo esto en función de un uso específico.

Los usos de estas partes de un yunque son: 1) cola: Para doblar formas en ángulo recto; 2) mesa: para aplastar, aplanar, alargar, cortar, etc. 3) cuerno o bigornia: para curvar y repujar; 4) base: sostiene y da estabilidad al yunque. También sirve como soporte para curvar; 5) ojo cuadrado: para colocar triscadores, pobladoras pequeñas, bigornias de mano, contra estampas, y otras herramientas. También sirve para doblar. 6) ojo redondo: también para doblar

varillas o para operaciones de punzonado. De esta manera el punzón tiene salida por la parte inferior, introduciéndose en el agujero.

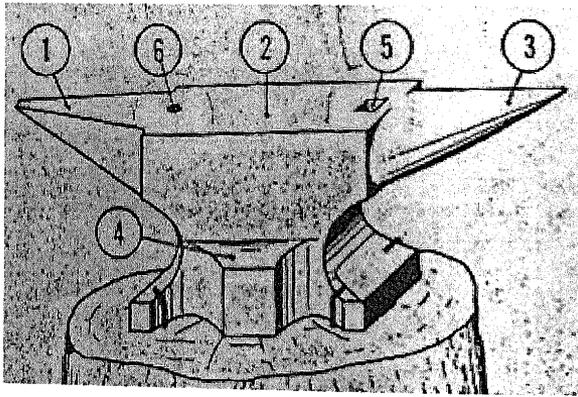


Ilustración 47 Partes del Yunque
Disponible en <http://www.tallerdemetal.blogspot.com/>

Un yunque se debe elegir según el peso y tipo de trabajo para que sirva. Así hay yunques grandes, de 500 Kg., 300 Kg., 200 Kg. y chicos 200 a 50 gramos. Y deben montarse en una base preferentemente de madera, para que absorba los golpes. La base siempre debe tener forma de trapecio y superar o al menos igualar el peso del yunque para evitar que quede inestable. Al montarlo a la base hay que calcular que quede a altura entre el pubis y el ombligo. No debe estar ni muy alto, ni muy bajo para evitar lesiones en la espalda. Se puede medir poniendo el brazo hacia abajo y con la mano cerrada, el yunque debe llegar a la altura de los nudillos.

En caso de no tener un yunque se puede usar un trozo de metal de desecho (chatarra industrial), durmientes de tren, muelles de camión o pedazos de maquinaria. Sirven como soporte para forjar. Se puede incluso esmerilar una punta (cuerno) y montarlo incrustado, dentro de una base de madera o cemento.

Herramientas y utensilios para el trabajo de forja.

Martillos de forja.

Cuando un hierro alcanza cierta temperatura su ductibilidad se incrementa. Este fenómeno sólo dura unos minutos; si es que se retira el hierro de la fragua. Es en esos breves minutos que se le somete al forjado. Razón por la cual se debe aprovechar al máximo esos breves minutos en que el hierro está forjable a alta temperatura. Para aprovechar al máximo la temperatura y el combustible quemado que la genera, se debe colocar el instrumental de herramientas cerca de uno antes de trabajar el forjado.

Los mazos de forjado son de dos tipos: para golpear y para corte o perforado. Estos segundos nunca se usan para golpear, pues se deteriora su punta y terminan por aflojarse del mango.

Mazos para cortar y perforar.

En los mazos de perforación o corte tenemos la tajadora o martillo tajador. Es igual que un martillo normal sólo que varía en su mango más largo y su mazo más esbelto, termina en un extremo con un pico angulado, con el cual se golpea el hierro caliente para cortarlo de una sola tajada.

También hay martillos para punzonar. Estos tienen un extremo alargado (como punzón) para perforaciones circulares o cuadradas.

La seguridad que se tiene con cualquier martillo consiste en observar que su maza esté bien sujeta y firme al mango. Casi siempre, por el uso y golpeteo, la maza de los martillos se afloja y llega a salir volando y puede golpear a alguien que esté cerca. Para evitar lo anterior se debe colocar una cuña (pasador) de madera o hierro en la ojiva del mango.

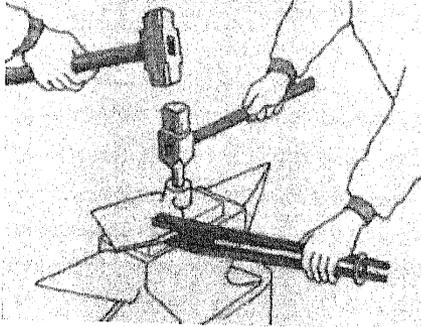


Ilustración 48 Martillo-tajadera,
para cortar o perforar.
Disponible en
<http://www.gupostseguro.com>

Mazos pequeños para forja.

Los hay de distintos pesos (200 g, 500 g, 1 kg y hasta 2 kg), esto incrementa el poder del golpeo al forjar, dotando la forma forjada (sea aplanar, torcer, repujar, etc.) con mayor rapidez, sin que se pierda la temperatura del hierro al sacarlo de la fragua. En las grandes empresas forjadoras se utilizan martillos mecánicos, diseñados para dar un golpe certero a un peso controlado. Sin embargo, en la forja artesanal, el procedimiento debe también esperar un golpe certero y eficaz. Para esto es importante observar el rojo del hierro, colocar cerca de la forja el yunque y previamente elegir los martillos que se utilizarán.

Existen mazos o macetas de 200 g a 2 kg. También el martillo de punzonar y el martillo de calderero (antes martillo para hacer calderos), éste tiene un extremo acabado en forma de cincel achatado, y sirve para repujar lámina o sacar golpes o superficies.

El martillo de punzonar tiene en un extremo un alargamiento que acaba en cono trunco, como punzón. Con la ventaja de tener más peso y mejor agarre que un punzón o cincel de la misma forma. Además que evita acercar la mano al hierro caliente y poderlo trabajar a distancia en un solo golpe.

Para los acabados se puede usar un martillo suave. Hay tres tipos: martillo de cobre, martillo de madera y el martillo de goma. Existen también martillos para alisado (acabado) que son martillos de poco peso. Algunos con un extremo

aplanado cuadrangular; que sirve para aplastar y aplanar grandes superficies con poco esfuerzo. A este martillo se le llama abatanador o alisador.

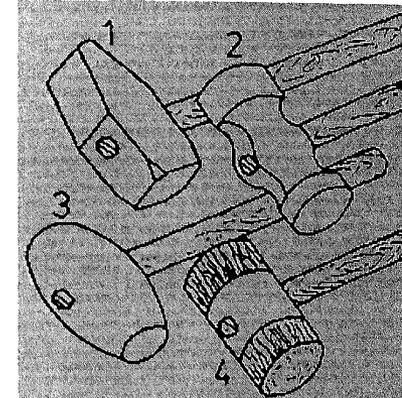


Ilustración 49 Martillos

1) martillo de peña, 2) martillo de forja, 3) martillo de metal ligero, 4) martillo de goma.

Disponible en

<http://www.nzdl.sadl.uileth.ca/cgi-bin/library>

Tenazas de forja.

Usualmente muchas piezas de hierro se sujetan con la mano y guantes de carnaza, o bien sujeto el hierro por una pinza de presión; siempre y cuando el hierro no esté muy caliente o largo. Como muchas de las herramientas que complementan un buen equipo de forjador, las tenazas se pueden llegar a hacer, con dos barras de hierro forjado unidas por una rosca atornillada.

La norma general requiere que las pinzas de forja entren muy poco en contacto con el fuego y no deben ser calentadas con la pieza, pues el calor puede agriarlas y hacerlas frágiles. Las pinzas pueden terminar en diferentes tipos de agarre. Sea para barras redondas, cuadradas, soleras, etc.

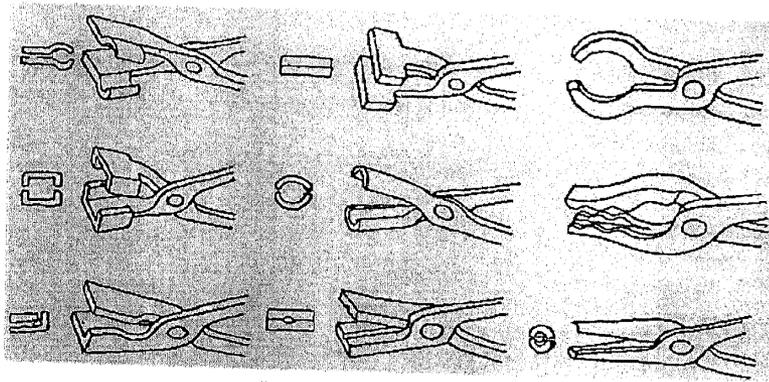


Ilustración 50 Tenazas para forja
Las tenazas tienen diferentes puntas o terminaciones.
Disponible en <http://www.geocities.com>

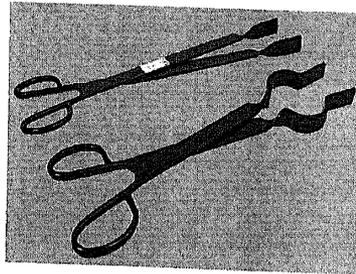
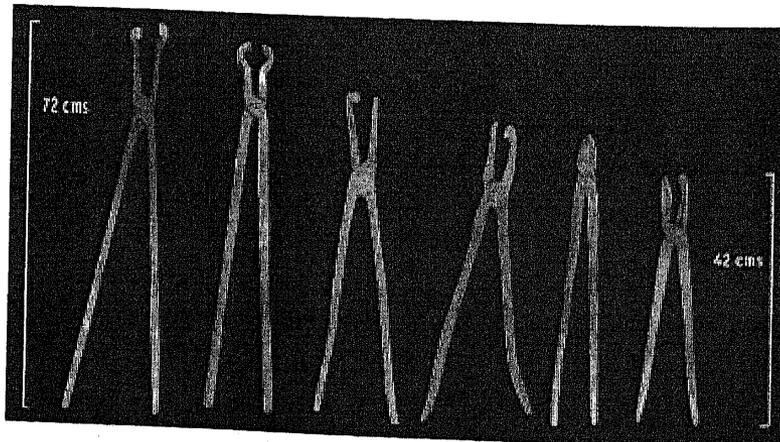


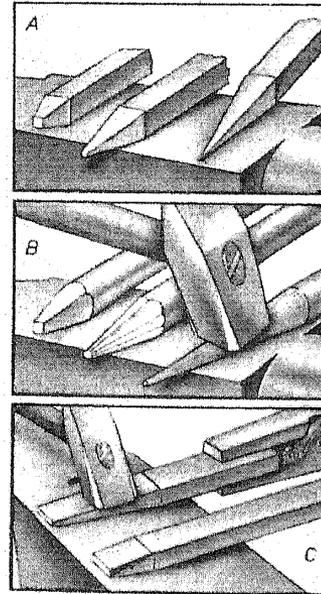
Ilustración 51 Tenazas ligeras para forja.
Disponible en <http://www.llardobonmercader.com>

Ilustración 52 Tenazas antiguas.
Disponible en <http://www.fargadebanyoles.blogspot.com/>



Los cinceles.

Los cinceles sirven para cortar, punzonar (perforar), repujar o desbastar virutas en una pieza metálica. El cincel opera como una cuña, que empuja con



su peso y golpeo la punta sobre la superficie metálica. Mientras la punta del cincel sea más angulosa, no afilada y su cuerpo a modo de cuña sea más delgado, la penetración sobre el material es mayor. La punta de los cinceles (llamada ángulo de corte) varía según la dureza del material. Mientras los metales son más duros el ángulo será más grueso, como de unos 60° a 70° . Y para materiales medios como el bronce, latón o lámina será un ángulo medio, de unos 50° a 60° . Dejando las cuñas finas (30° a 40°) para metales muy blandos, como el plomo, cobre, aluminio y lámina de bajo calibre. Conviene elegir un cincel largo cuando se trata de desbastar o cortar, para eficientar el agarre de la herramienta. Así como inclinar sesgadamente la herramienta, no clavándola sino entremetiéndola de forma acostada.

Ilustración 53 Cinceles

Fuente: Wiczorek L.
Tecnología fundamental para el trabajo de los metales. P.70

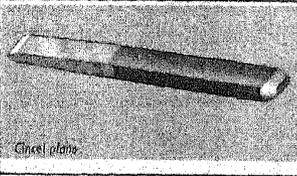
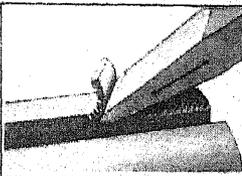
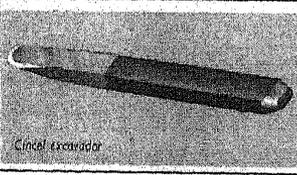
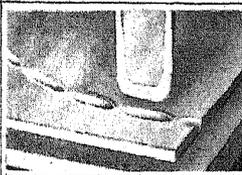
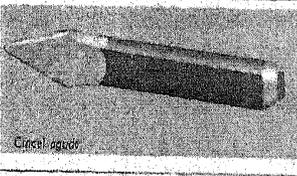
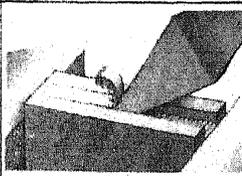
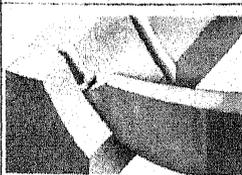
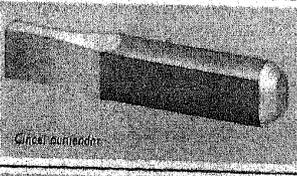
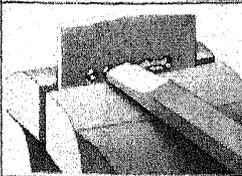
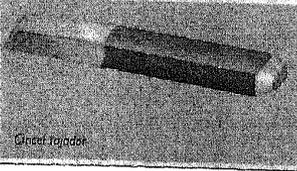
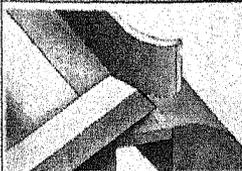
 <p>Cinzel plano</p>	<p>Sirve para trabajar las superficies, para secionar y para limpiar las piezas de fundición y las uniones soldadas</p>	
 <p>Cinzel excavador</p>	<p>Sirve para marcar y excavar formas en las chapas</p>	
 <p>Cinzel agudo</p>	<p>Sirve para efectuar ranuras o canales</p>	
 <p>Cinzel rebarrador de torbita</p>	<p>Sirve para efectuar ranuras en superficies cóncavas</p>	
 <p>Cinzel cuadrado</p>	<p>Sirve para agrandar aberturas y efectuar ranuras en placas previamente taladradas</p>	
 <p>Cinzel ranador</p>	<p>Sirve para tajar piezas de chapa y perfiles</p>	

Ilustración 54 Diferentes tipos de cinceles.

Fuente: Wiczorek L. *Tecnología fundamental para el trabajo de los metales*. P.65

Todos los cinceles para forja deben estar hechos de acero al alto carbono y tener la punta templada. Cuando se afila un cinzel se debe conservar su ángulo de corte, haciendo un afilado superficial (no desbastar la herramienta), cuidando el temple con un trapo húmedo y sin dejar que alcance altas temperaturas por el esmeril, si se afila con éste. Se debe distinguir entre el corte en frío (usando cinzel) y corte en caliente, usando la tajadera. El ángulo de corte de las herramientas para este fin debe de ser de 60° en frío y de 20° en caliente. El corte se hace directamente sobre el yunque, evitando que la tajadera golpee su punta y se melle o marque. Para esto se puede intercalar una plancha de acero dulce de unos 5 mm, evitando que la punta de la tajadera golpee sobre el yunque. Cada golpe del corte debe darse por los dos lados, por arriba y por abajo, como si se tratara de una mordida.

Si la pieza es gruesa, no se romperá fácilmente. Y quedará unida por una parte del centro. Esa parte puede partirse con algunos golpes de martillo de mano.

Otra herramienta de corte es el punzón, éstos cuentan con una transversal elíptica que hace de filo triangular. La anchura cortante es variable y depende del ancho del agujero, que debe ser 1,3 veces la dimensión del agujero que se quiere obtener. Cuando los agujeros son demasiado pequeños, provocan un estirado del metal y dan al trabajo un aspecto poco agradable. Por el contrario, los agujeros demasiado grandes pueden quedar inutilizados más tarde para el recalado o estampado. La última herramienta para estampado o recalado es la clavera; ésta es una pieza de un solo bloque de metal fundido, que cuenta con diversas formas de ranuras, que sirven para doblar, enderezar, repujar y recalcar el material.

3.2.2. Movimientos básicos de forjado: doblado, aplanado y estirado.

Sea forja en frío o en caliente, siempre se aplican dos principios básicos: compresión (aplastado) o tracción (alargamiento). Todos los movimientos de forja dependen de esta combinación entre aplastar o alargar¹⁰² el material.

Muchas veces antes de la forja, se inicia por enderezar las piezas, perfiles o lamina sobre el yunque, esto se hace con el fin de corregir torceduras y otros maltratos que pueda tener el material, y dejar su superficie lisa para el forjado. Los defectos¹⁰³ al enderezar un hierro son:

Tabla 14 Defectos de enderezado.

Defecto de enderezado	Causa posible
Si el material presenta fisuras o grietas.	El material es demasiado rugoso en sus granos o demasiado duro y ha sido enderezado en frío sin recalentarlo, el metal se ha agriado.
Si el material presenta abolladuras.	Las piezas han sido enderezadas con martillazos demasiado fuertes o usando dobleces repentinos y pronunciados.
Si una abolladura se ha agrandado y llega a perforar el material.	Las abolladuras son extensiones delimitadas y localizadas en la estructura del hierro; de modo que no deben golpearse sin orden o solamente se extenderán. Se debe proceder de las orillas de la abolladura hacia su centro y siempre regulando el golpe y delimitando el contorno de la abolladura.

¹⁰² WIECZOREK, *Op Cit.*, p. 80

¹⁰³ *Ibid.*, p 93

3.3. Técnica de soldadura de arco eléctrico.

La soldadura de arco o soldadura con electrodo revestido se inventó en el s. XVIII, con electrodos de carbón alimentados por baterías.¹⁰⁴ Estas máquinas se perfeccionaron entre 1880 y 1912; fecha en que aparecieron en el mercado los electrodos consumibles, impulsados por un generador eléctrico, hecho por la compañía Lincoln Electric. Parte de la gran aceptación que fue teniendo este método de unión se debe a que utiliza un sistema sencillo, económico, portátil y controlable. Es decir que es una soldadura manual, por lo que puede adaptarse a diferentes oficios y trabajos, desde los más estrictos hasta los más creativos e ingeniosos. La tecnología que utiliza esta soldadura parte de un circuito eléctrico que se establece entre la fuente de poder, el arco eléctrico, la varilla electrodo y la pieza de trabajo.

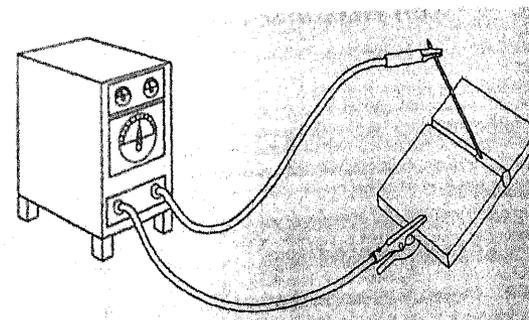


Ilustración 55 Soldadora de arco eléctrico.

Fuente: Galvery Williams. *Guía de soldadura para el técnico profesional*, p105

¹⁰⁴ GALVERY, William y Frank Marlow, Traducción: Torres, Esteban. *Guía de soldadura para el técnico profesional*. México. Editorial Limusa 2007, p102.

El circuito eléctrico que fluye por estas partes, es continuo y debido a los electrones que fluyen en el pequeño espacio entre el electrodo y el metal base, genera una reacción física de incremento de la temperatura de ambos metales; al grado que llegan a fundirse, sobrepasando los 3300°C, es a esta temperatura la parte más caliente del electrodo (la punta) se derrite en gotas (glóbulos de hierro fundido), que caen y se mezclan con el charco (también derretido) de la pieza de trabajo, ambos metales (metal aporte del electrodo y metal base de la pieza de trabajo) se mezclan y solidifican por completo, quedando así la soldadura. *"Solo el cincuenta por ciento de la energía calorífica suministrada por la fuente de poder calienta la soldadura; el resto se pierde por radiación alrededor del metal base y del penacho de la soldadura."*¹⁰⁵ Sin embargo, el calor producido por la corriente eléctrica alcanza a unir (soldar) por fusión la varilla del metal electrodo y la superficie.

La superficie soldada no siempre queda pareja, sino que resulta con distintas impurezas que se deben al recubrimiento del electrodo, conocido como fundente. Se puede decir que el fundente es un mal necesario, pues se necesita para derretir la varilla, a la par que protege con una nube de gases el charco de soldadura. No obstante, esta nube de gases resulta tóxica y el fundente se encresta, ensuciando la solución fundida una vez que solidifica. De lo anterior se entiende que cuando se suelda, se debe tener dominio sobre los dos fenómenos: la nube de gases tóxicos (atmósfera protectora del revestimiento) y la escoria solidificada (revestimiento-fundente).

3.3.1. ¿Cómo funciona una soldadora?¹⁰⁶

No todos los materiales tienen buena conducción eléctrica. Algunos como la porcelana, el vidrio, la mica, la ebonita, las resinas, gomas y parafinas son materiales aislantes, no permiten el flujo de electricidad. Otros materiales son semiconductores, éstos reaccionan eléctricamente bajo condiciones especiales. Un tercer tipo de materiales, son los conductores que permiten el paso de la electricidad. Dentro de los materiales conductores, los más

¹⁰⁵ *Ibid.*, p.109

¹⁰⁶ *Ibid.*, p.13

importantes son: los metales y algunas sustancias orgánicas. Sin embargo, ésta misma capacidad de conducción eléctrica varía en un metal y en otro. Siguiendo un orden de mejor conducción, en éstos tendríamos: el cobre, la plata, el aluminio, el hierro, el estaño, el plomo y el mercurio.¹⁰⁷

La conducción eléctrica se debe al desprendimiento y movilidad de los electrones en los átomos de un material. De manera que para poderse generar un *flujo de corriente eléctrica*, dicho material debe ser *buen conductor* (como lo son los metales). La conducción del flujo eléctrico debe iniciarse con facilidad y mantenerse constante.

El estudio de la electricidad y los materiales conductores; ha sido un largo trabajo para los científicos. Pero a partir de estos conocimientos se han podido inventar dispositivos que controlan la electricidad y la transforman en energía útil. Con el fenómeno del flujo de corriente eléctrica se han llegado a diseñar circuitos eléctricos de las más variadas aplicaciones. Esto es importante, pues la tecnología de la soldadura de arco, parte de estos principios: un flujo de corriente eléctrica que recorre el circuito y en cierta parte del mismo se genera un "arco eléctrico" (o puente eléctrico) que funde (suelta) las dos partes metálicas. En cualquier circuito eléctrico se complementan los materiales conductores con los aislantes. Así que un circuito como la soldadora necesita materiales conductores y materiales aislantes (cableado de cobre que guíe la electricidad y partes de plástico que aislen). Ya que la electricidad tiene que fluir sin variaciones ni interrupciones, el circuito debe estar cerrado. Por esto siempre se delimita un material conductor con uno aislante, tal y como se observa en un cable eléctrico. Donde el forro plástico (material aislante) delimita, envuelve y potencia el flujo de corriente e el material conductor, y evitando que la energía (electricidad) escape.

La electricidad necesita correr por un camino aislado del mismo modo como corre el agua dentro de una tubería. La tubería contiene la potencia del chorro de agua y esto hace que el agua incremente su velocidad de flujo, así como se puede cerrar o abrir este flujo conectando un grifo a la tubería del

¹⁰⁷ *Ibid.*, p 311

agua; la corriente eléctrica en un circuito puede manipularse cerrando o abriendo el flujo por un dispositivo, que une o separa el contacto entre los conductores.

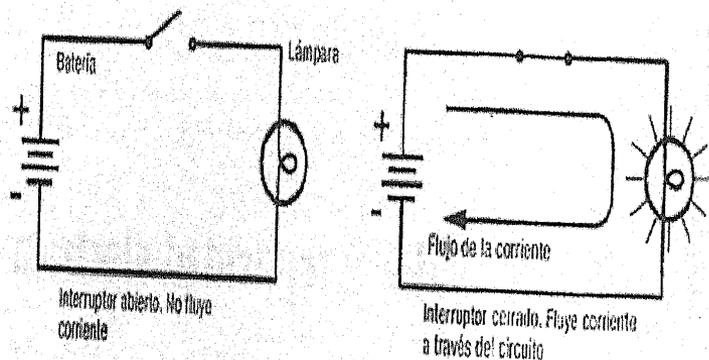


Ilustración 56 Esquema de un circuito eléctrico.

Fuente: Galvery Williams. *Guía de soldadura para el técnico profesional*, p312.

El flujo de corriente eléctrica (flujo de electrones) siempre genera una fricción en el metal conductor. Y esta fricción se convierte en calor. Un calor que puede desequilibrar el circuito, causar lesiones y pérdidas de energía (fuga de energía eléctrica). Por todo lo mencionado, cualquier circuito eléctrico necesita estar bien aislado, y que sus materiales conductores, como cables metálicos, sean de baja resistencia a la fricción. Para la soldadura se necesitan cables gruesos de cobre, para que no se sobrecaliente el circuito.

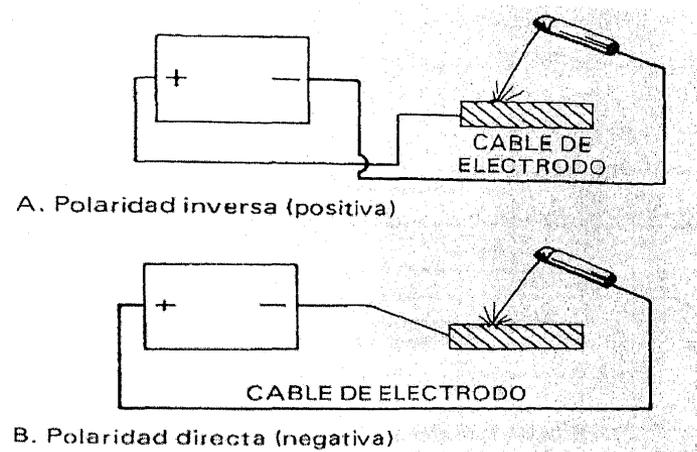


Ilustración 57 La soldadura

Vista esquemática de la soldadora como circuito eléctrico. La única diferencia entre ambas imágenes es la conexión del electrodo en positivo o negativo. Esto se aplica al usar corriente alterna (CA), y según las recomendaciones del tipo de electrodo que se adquiriera, así como el metal base que se suelde.

Disponible en <http://www.construsur.com.ar>

Para que la corriente eléctrica fluya a lo largo de todo el circuito necesita presión. Esta presión eléctrica se mide en voltios, simbolizada por el signo "V". Así, cuando se pregunta por "voltaje" se está preguntando por la presión eléctrica que se necesita en un circuito.

Hace unos siglos cuando se iniciaban las investigaciones sobre la electricidad, se llegó a afirmar que la corriente eléctrica en un circuito siempre iniciaba de un punto de más alta presión al de más baja, o sea que el voltaje en un circuito siempre corría de mayor a menor, de polo positivo (+) a polo negativo (-).

Esta explicación sobre la electricidad se le llama *Teoría del flujo convención*, pues en aquel tiempo se creyó por mera convención científica, que la electricidad corría de esa forma.

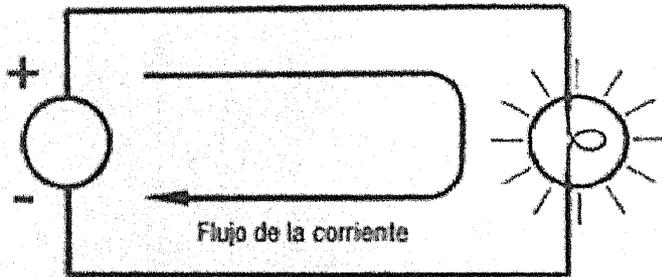


Ilustración 58 Flujo de la corriente

En el S. XVIII se determinó que el flujo de la corriente eléctrica siempre corría de polo positivo a negativo.

Fuente: Galvery Williams. *Guía de soldadura para el técnico profesional*, p312.

Cuando esta *teoría* convencional del flujo fue descubierta, todavía no se conocían los electrones. Así que se asumió por convenio entre científicos, que éste era el sentido de circulación de la corriente eléctrica. Con el paso del tiempo se descubrirían los electrones, y se llegó a desarrollar una segunda explicación sobre el flujo eléctrico: la *teoría del electrón*, que afirma que la corriente eléctrica fluye por electrones y éstos se mueven de carga negativa a positiva (- a +). Desde entonces, ambas teorías no se anulan si no que se complementan.

La teoría convencional dice que el flujo eléctrico se da de (+ a -); y la teoría del electrón afirma que el flujo es contrario o sea de (- a +). Actualmente se identifica que el flujo de corriente puede ser de (+ a -), mientras sus electrones se mueven de (- a +).

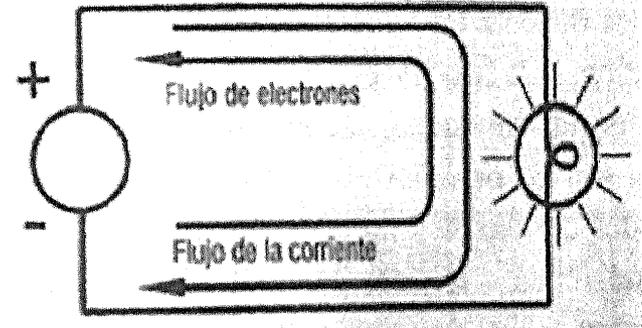


Ilustración 59 Flujo de electrones

El flujo de la corriente es de (+ a -), mientras el flujo de electrones es de (- a +), esto se debe a que cuando se formularon las teorías básicas de la electricidad, todavía no se observaban los electrones. Desde entonces ambas teorías se complementan, y en la práctica tenemos dos tipos de corriente: corriente directa (CD) o corriente alterna (CA).

Fuente: Galvery Williams. *Guía de soldadura para el técnico profesional*, p314.

Como efecto de ambas teorías se acordó que había dos tipos de corrientes: la corriente continua o *corriente directa* (CD) que es lineal, estable e invariable en su voltaje; circulando de (+ a -), se aplica en circuitos de solamente 2 polos, como: baterías, generadores y algunas soldadoras (casi en desuso).

Y finalmente la *corriente alterna* (CA), que tiene un flujo no lineal, sino con ondulaciones o cambios de corriente en sus polos de (- a +) y (+ a -), lo específico de la CA son estas ondulaciones de flujo. "cada segundo la corriente alterna revierte su polaridad 120 veces, produciendo 60 semiciclos (+) y 60 semiciclos (-)..."¹⁰⁸ Un semiciclo es una especie de fragmento de onda la cual curva (vibra) en el tiempo de (+ a -) o de (- a +); de modo que no es una onda estable como la CD, sino una onda "adaptable" a diferentes voltajes. Razón de sobra para que casi todas las soldadoras tengan esta corriente.

¹⁰⁸ *Ibid.*, p 318

Para fines prácticos, la CD es estable y proporciona una soldadura más pareja. Es ideal para piezas delicadas o hierro fundido. Y la CA, sirve muy bien para trabajos pesados donde se necesite un voltaje fuerte y calibrar gran amperaje para corte con electrodo o resane si se está trabajando el hierro modelado.

Casi todos los modelos de soldadoras se arman para trabajar en estas dos corrientes (CC y CA).

Antes de conectar la soldadora se debe verificar el tipo de instalación eléctrica que se tiene, si es monofásica o trifásica, así como los voltios que resiste la soldadora. Esto se especifica en casi todos los modelos de soldadoras, sea que viene impreso en la tapa posterior, o en el recuadro de graduación de amperaje. Además de usar cables de cobre gruesos, que soporten las caídas de voltaje del suministro local. En casi todos los suministros de electricidad local se ofrece CA, en un sistema monofásico y trifásico. La corriente *Monofásica* es un tipo de corriente eléctrica que cuenta con una sola fase de caudal de energía, la cual es de 110 a 220 voltios, dependiendo de la zona. Esta corriente se utiliza para sistemas eléctricos domésticos, de oficina y de pequeños talleres. La corriente "*trifásica*" tiene energía de 575 voltios o más (dependiendo del país o zona urbana). También existe la corriente "*bifásica*" de 220 a 380 V. Precisamente una de las funciones más importantes que hace la soldadora, es nivelar el voltaje que llega del suministro local, adaptándolo al voltaje que necesite el soldador. Este voltaje se manifiesta en amperes (amperaje). El amperaje de cada soldadora es variable. Y se calibra según el tipo de electrodo, capacidad del cableado y voltaje del suministro eléctrico donde se conecte la máquina.¹⁰⁹

Debido a esta importante función de la soldadora, se le llama también *fuerza de poder*. Por *fuerza de poder* se entiende una máquina que con ciertos dispositivos (generador, transformador, resistor, inductor, capacitor y ventilador) puede recibir grandes cantidades de energía eléctrica, transformarla y estabilizarla en un circuito eléctrico que se "abre y cierra" en una zona específica, llamada zona de arco, pues se forma un arco eléctrico o arco voltaico. El arco eléctrico o arco voltaico, es un fenómeno eléctrico que se forma en dos electrodos de diferente voltaje, además de que ambos tienen un voltaje altísimo, se deben encontrar inmersos en una atmósfera gaseosa que colabora en la descarga eléctrica formada entre ambos electrodos. El arco eléctrico fue descubierto en 1800 por Humphry Davy, un químico británico, que buscaba explicaciones sobre la conducción electrostática

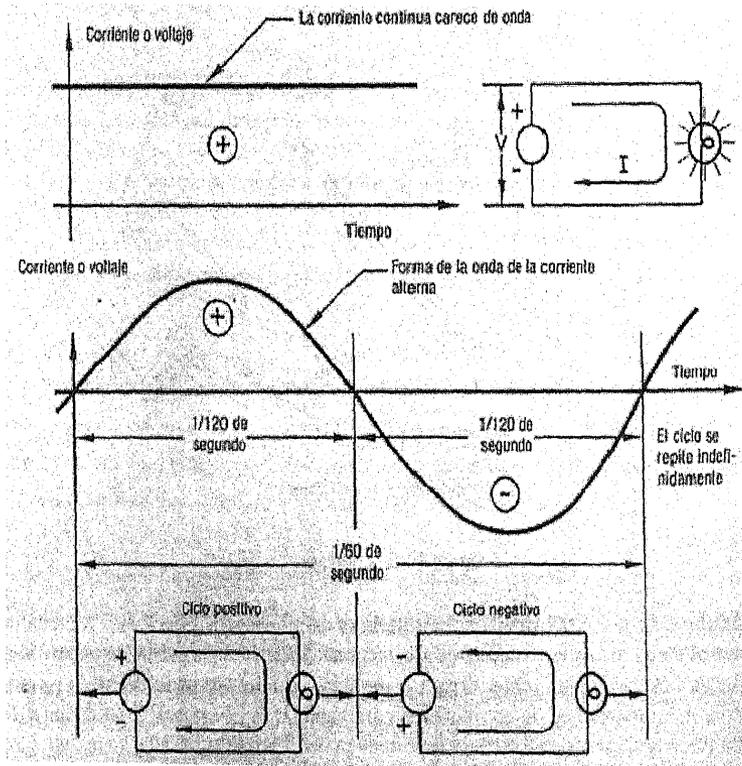


Ilustración 60 Esquemas de corriente directa (CD) y corriente alterna (CA).

Fuente: Galvery Williams. *Gula de soldadura para el técnico profesional*, p314.

¹⁰⁹ *Ibid.*, p114

El arco eléctrico se produce por los electrones del electrodo negativo al positivo, pero también, en parte, por iones positivos que se mueven en sentido opuesto. El choque de los iones genera un calor intenso en los electrodos, calentándose más el electrodo positivo debido a que los electrones que golpean contra él tienen mayor energía. Esta descarga es de unos 3.500°C , desprende luminosidad y calor que es la que funde el metal base y el electrodo.

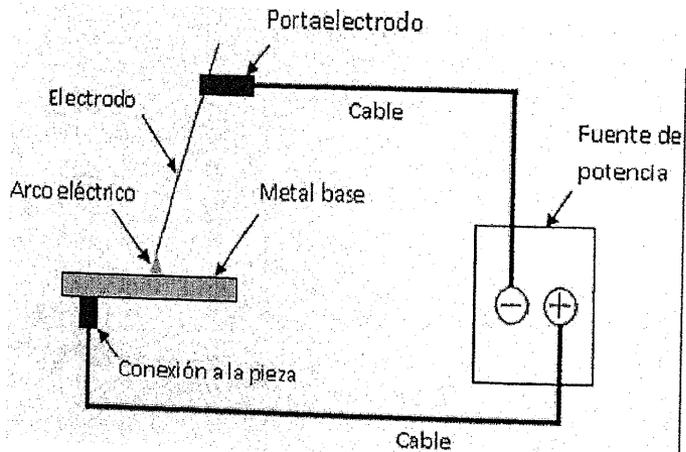


Ilustración 61 Soldadura

La soldadura parte de un circuito eléctrico, que inicia en la fuente de poder. Ésta recibe, transforma y gradúa la energía eléctrica (voltaje y amperaje) para mandarla a la zona del circuito, donde se forma el arco eléctrico. La tecnología de electrodo es la que potencializa el arco voltaico, para soldar, cortar u otra operación que sea necesaria en el trabajo de los metales.

Fuente: Galvery Williams. *Guía de soldadura para el técnico profesional*, p310.

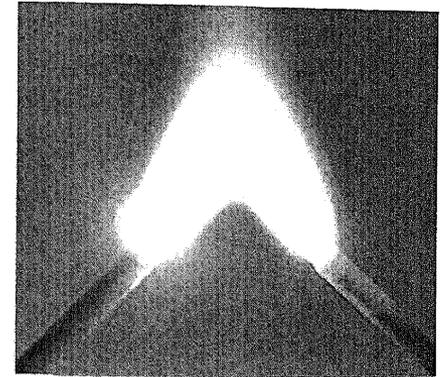


Ilustración 62 Formación del arco voltaico en dos electrodos.

Disponible en cagmorantelectricida.blogspot.com

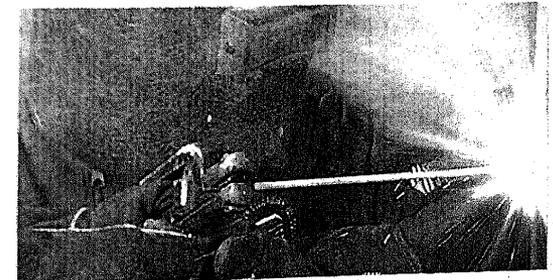


Ilustración 63 Trabajos de soldadura.

3.3.2. Los electrodos

El arco voltaico se forma gracias a las características de los electrodos. El electrodo es una varilla de metal sólido recubierto con una gruesa capa de sustancias químicas llamadas fundentes. Este revestimiento sirve para producir una nube de gases que protegen al charco de soldadura del oxígeno, hidrógeno y nitrógeno atmosféricos que circulan en el ambiente; mientras el metal fundido se enfría y solidifica. También proveen de sustancias limpiadoras, desoxidantes y químicos que evitan la formación de gránulos (basuras) en la estructura del cordón. Además de que añaden materiales aleados al charco de soldadura, mejorando sus propiedades. Las sustancias que se añaden a los revestimientos pueden ser polvo de hierro, que mejora la temperatura de fusión entre los dos metales; y potasio, que facilita al ionización de los gases y el reinicio del arco eléctrico varias veces sin agotarse la atmósfera electromagnética. Finalmente el gas de protección y los desoxidantes, evitan la absorción del oxígeno y nitrógeno del aire, en el charco de soldadura, formando la capa de escoria, que también ayuda a controlar el enfriamiento del cordón.¹¹⁰

El revestimiento genera la combustión del núcleo del alambre y crea una nube de gases que protege la punta del electrodo y el charco. Mientras las gotas de soldadura caen por impulso del electromagnetismo del arco. El revestimiento envuelve cada gota con escoria, y la protege de la atmósfera. La escoria protege las gotas de metal fundido en su viaje de caída del electrodo al charco de soldadura, y casi siempre queda flotando en la superficie del charco fundido, una vez que se enfría y aparece como una gruesa capa que envuelve la soldadura; sin embargo, en otras ocasiones la escoria queda atrapada dentro de la soldadura, alterando su composición, resistencia y propiciando una rápida oxidación. La escoria siempre se debe limpiar.

¹¹⁰ *Ibid.*, p 116

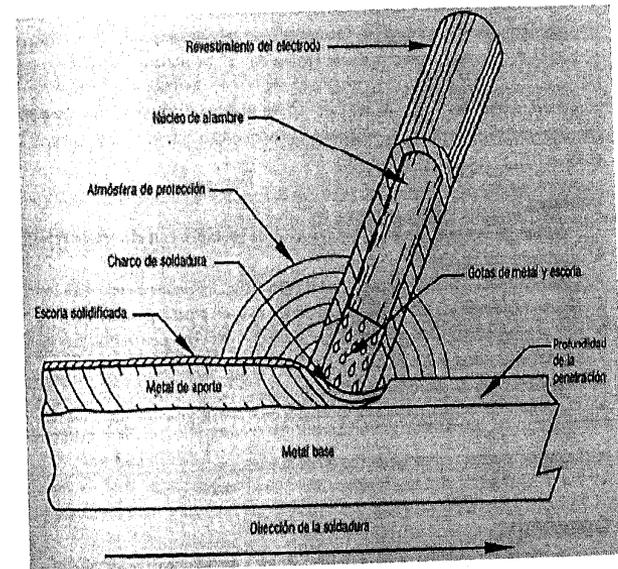


Ilustración 64 Esquema del arco eléctrico.

Fuente: Galvery Williams. *Guía de soldadura para el técnico profesional*, p316.

Clasificación de los electrodos.

Al elegir los electrodos conviene usar el más pequeño, para un manejo cómodo, sin embargo, la elección de los electrodos debe ser en función de la polaridad que cada electrodo tiene, así como su uso y efectividad del cordón de soldadura. Esta información se puede obtener consultando a los fabricantes sobre la composición de sus electrodos, o bien, visitando los sitios de internet de cada instancia normativa del trabajo metal mecánico.¹¹¹ Además de consultar la tabla de clasificación "AWS" para electrodos de núcleo metálico y revestimiento.

¹¹¹ *Ibid.*, Cap. 10 y 14

La clasificación "AWS" (*American Wheeling Society*) para electrodo consumible, nació en Estados Unidos entre los años 1943 y 1944 tras la Segunda Guerra Mundial, al incrementarse la demanda mundial de procesos de soldadura efectivos. Desde 1958 hasta 2008 esta norma es actualizada año con año, por medio de un comité científico formado por institutos y colegios de especialistas.

Otras de las instancias normativas para el trabajo de soldadura son:

- Organismo Nacional de Normalización (ONN)
- Dirección Nacional de Normas (DGN)
- Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME)
- Sociedad Americana de Pruebas de Materiales (ASTM)
- Organización Internacional de Estándares (ISO)
- Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE)
- Sociedad Americana de Soldadura (*American Wheeling Society, AWS*)
- Instituto Americano del Hierro y el Acero (*American Iron and Steel Institute, AISI*)

Las clasificaciones más frecuentes son la ASME y la AWS¹¹². La clasificación ASME, se considera más bien para trabajos de soldadura industrial, y divide los electrodos en cuatro grupos: el F1- electrodos de relleno rápido, F2-electrodos de solidificación lenta, el F3- electrodos de solidificación rápida y el F4- electrodos con bajo contenido de hidrógeno.

La clasificación AWS, se considera más para uso comercial, es la que se sigue para la fabricación de electrodos nacionales, comprende electrodos consumibles para acero al carbón y acero de baja aleación. Está ordenada por una letra y una serie de cuatro o cinco dígitos. Cada uno indica una propiedad del electrodo, por ejemplo: si el electrodo soporta tanto esfuerzo (resistencia en libras), o el tipo de posición para usarse, si conviene para soldadura en plano, en diagonal, elevada, etc. Este número se imprime en el revestimiento del electrodo en forma abreviada o extendida.

E 60 10

Electrodo _____
 Resistencia mecánica en kpsi _____
 Posición _____
 Tipo de recubrimiento y de corriente _____

E 8018-B1H4R

Electrodo _____
 80,000 lb/pulg² mínimo _____
 Todas las posiciones _____
 Para corriente alterna o corriente continua, electrodo en positivo _____
 Composición química del depósito de metal de aporte _____

La cifra que designa la resistencia a la tracción indica la capacidad del electrodo para soportar ciertos límites específicos de absorción de humedad en pruebas controladas de humedecimiento.

La cifra que designa al hidrógeno difusible indica el nivel máximo de hidrógeno difusible obtenido con el producto.

Posición

1. Plana, horizontal, vertical, en posición elevada
2. Sólo plana y horizontal
3. No está designada la posición número 3
4. Plana, horizontal, vertical hacia abajo, en posición elevada

Constitución química del depósito de soldadura

Surfijo	%Mn	%Ni	%Cr	%Mo	%V
A1			1/2	1/2	
B1			1/2	1/2	
B2			1-1/4	1/2	
B3			2-1/4	1	
C1		2-1/2			
C2		3-1/4			
C3		1	.15	.35	
D1 a D2	1.25-2.00			.25-.45	
G ⁰¹		.50	.30 min	.20 min	.10 min

* Sólo es requiere uno de los elementos enlistados.

Tipos de recubrimiento y de corriente

Dígito	Tipo de recubrimiento	Corriente de soldar
0	Celulosa-sodio	DCEP
1	Celulosa-potasio	AC o DCEP o DCEN
2	Titanio-sodio	AC o DCEN
3	Titanio-potasio	AC o DCEP
4	Pulvo de hierro-titanio	AC o DCEN o DCEP
5	Con bajo contenido de hidrógeno-sodio	DCEP
6	Con bajo contenido de hidrógeno-potasio	AC o DCEP
7	Pulvo de hierro-óxido de hierro	AC o DCEP o DCEN
8	Pulvo de hierro con bajo contenido de hidrógeno	AC o DCEP

DCEP = corriente continua, electrodo en positivo
 DCEN = corriente continua, electrodo en negativo

Ilustración 65 Siglas de la clasificación AWS para electrodos.

Fuente: Galvery Williams. *Guía de soldadura para el técnico profesional*, p119.

¹¹² *Ibid.*, p120

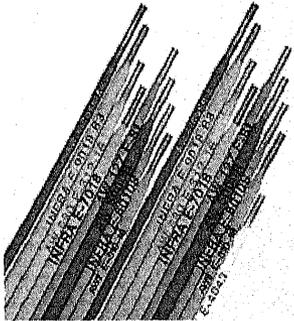


Ilustración 66 Electroodos

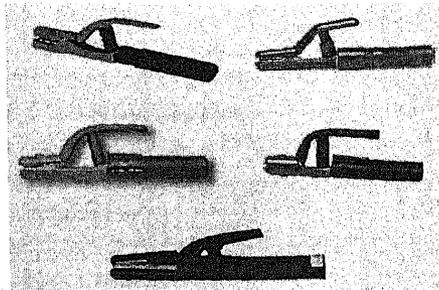
Electrodos con su número de clasificación AWS, impreso en un extremo de forma abreviada.
Disponible en <http://www.infra.com.mx>

Los electrodos se sostienen por una pinza cableada que conecta a la maquina, esta pinza se llama *portaelectrodos*, y tiene la función de aislar a la persona de la corriente eléctrica y las altas temperaturas, así como mantener un voltaje constante entre la pinza y la varilla electrodo. Es necesario que la pinza portaelectrodo sujete firmemente la varilla, que hagan buen contacto, sin que se deje escapar energía, también debe estar perfectamente bien aislada, con cables gruesos (de cobre) para soportar el voltaje y hacerlo correr libremente de la pinza a la varilla electrodo.

Un buen portaelectrodo también debe ser ligero y compacto, para facilitar la visibilidad del cordón de soldadura.¹¹³

Ilustración 67

Diferentes tipos de portaelectrodos.
Disponible en <http://www.cimex.cl.com.mx>



¹¹³ *ibid.*, p116

Al igual que en el trabajo de forja, el trabajo de soldadura necesita otras herramientas complementarias, como:

Martillo y cincel. Sirven para desprender partes de la escoria. También se usan para enmendar torceduras que sufre el hierro al calentarse por la soldadura.

Cepillo de alambre. Sirve para limpiar la superficie de trabajo; mejorando la visión de las zonas de soldado

Pinzas sujetadoras. Se utilizan para detener algunas partes de los hierros a soldar. Se suele emplear pinzas de presión de diferentes medidas.

Pinzas de corte. Son la llamadas "corta pernos", son utilizadas para corte de alambón y otros alambres de diferentes grosores.

Equipo de seguridad personal. Protege la cara y el resto del cuerpo de quemaduras y radiación que se desprende de la suelda. El equipo de seguridad consta de *careta de soldador*, *pelo*, *guantes* y *polainas* (opcional) de *carriaza*, así como, *botas con punta de casquillo* (para evitar caídas de objetos pesados en los pies) y *lentes de seguridad*, para usarse dentro de la careta (si se hace limpieza de escoria)



Ilustración 68 Equipo de soldadura
Disponible en <http://www.promocionalesrr.blogspot.com>

3.3.3. Posiciones básicas de soldadura de arco.

La posición básica para aprender a soldar es sosteniendo el portaelectrodo con la mano derecha y la mano izquierda debajo de ésta. Se sostiene el portaelectrodo con ambas manos, y se apoya el codo al cuerpo, a la altura del ombligo. Con esta forma posición, se evita que el pulso tiemble; una vez que se domina esta postura básica, se puede tomar el portaelectrodo a una mano. La forma correcta para iniciar el arco consiste en frotar suavemente el electrodo sobre el metal base. Las chispas iniciales deben ser pequeñas y al despegar levemente el electrodo se establece el arco. Si no se despega a tiempo el electrodo se queda pegado y si se desprende rápidamente o se inicia el arco frotando con movimientos rápidos y violentos se desprenderá el revestimiento.

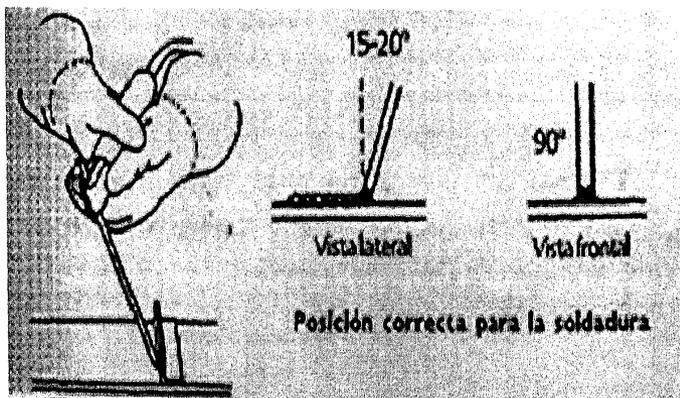


Ilustración 69 posición correcta para soldar. Al aprender a soldadura se sostiene el electrodo con las dos manos, para tener estabilidad en el pulso y un cordón lo más parejo posible. Fuente: *Guía del soldador Lincoln Electric*, p.15

Cuando se está aprendiendo a soldar, se deben observar dos conceptos: la longitud del arco y la velocidad de avance. La longitud del arco es la distancia que el soldador controla manualmente, desde la punta del electrodo hacia el metal base, ya que el electrodo nunca se "deja pegado" al metal base (sino que la soldadura se hace cuando existe cierta distancia entre electrodo y metal base). Esta distancia entre ambos metales es lo que se llama *longitud del arco*. La recomendada es de unos 1.6mm. A 3.2 mm,¹¹⁴ dependiendo del grosor del electrodo.

Cuando la longitud es demasiada, la soldadura penetra poco, salpica y se rompe el arco. Si la longitud es muy poca el arco se quedará pegado o calentará demasiado el metal base, hasta deformarlo o perforarlo.

La mejor manera de identificar que se está usando el arco adecuado, es escuchar el sonido que éste hace. El sonido que debe hacer es como un "chisporroteo", similar al sonido que hacen los huevos cuando se fríen en un sartén. Un arco largo tiene un sonido zigzagueante, y fluye sin interrupciones.

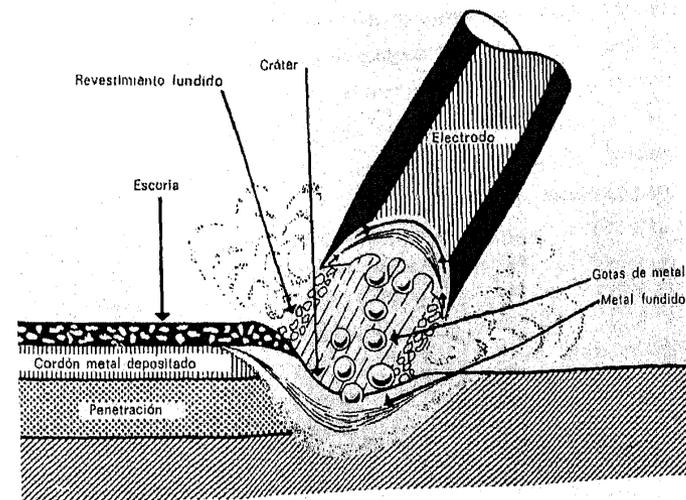


Ilustración 70 Avance de un cordón de soldadura. Fuente: Galvery Williams. *Guía de soldadura para el técnico profesional*, p209.

¹¹⁴ *Ibid.*, p 203

Velocidad de avance: A medida que el arco se ha establecido, inmediatamente sin romper el arco se inicia el avance hacia trazar el cordón de soldadura. Este movimiento de avance requiere que se mantenga la distancia del arco, pero también exige que haya un avance estable, para que la soldadura (el cordón) no resulte defectuosa. La velocidad de avance no debe ser lenta ni rápida; si es lenta habrá exceso de soldadura y si es rápida la soldadura no penetrará o no fusionará ambos metales. Todos estos son defectos de soldadura que se deben evitar. Una buena velocidad de avance se logra observando que el charco de soldadura y la gota de electrodo fundido, vayan cayendo uno a uno en una línea; este goteo del electrodo debe fundirse con el charco, acumulando la soldadura gota sobre gota a velocidad estable, gota tras gota hasta hacer un cordón de soldadura.

Un cordón bien hecho tiene un aspecto similar a una "oruga plana" (ni muy delgada, ni muy gruesa). Pero esta velocidad de avance (velocidad de goteo electrodo) se logra educando la vista a observar el charco y el reborde de la gota. Jamás se observa la chispa del arco (no tiene sentido hacerlo), se observa el resultado de la gota: la línea de rebordes de ambos metales fusionados, es decir el cordón que se va dejando.

No es necesario mover el arco en varias direcciones (hacia atrás, hacia delante, en zigzag, rellenando, etc.); el arco se mueve en línea recta, dejando caer gota sobre gota.

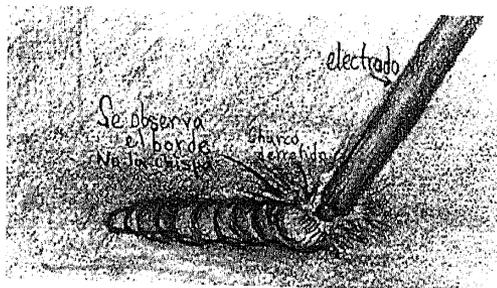


Ilustración 71 Velocidad de avance del cordón;
se observa el borde no la chispa.

Tabla 15 Técnica de soldadura de arco

Técnica inicial de soldadura de arco	
<p>Primer paso:</p> <p>Posición correcta de soldar</p>	<p>Sostener el portaelectrodo con las dos manos (izquierda sobre derecha, la derecha sostiene el portaelectrodo).</p> <p>Los codos pegados al abdomen, para educar un pulso firme.</p>
<p>Segundo paso:</p> <p>Buen inicio de arco</p>	<p>No se debe frotar el electrodo, ni golpearlo contra el metal base. Se inicia suavemente, con una distancia (3mm. aprox); esta distancia es la longitud del arco.</p>
<p>Tercer paso:</p> <p>Mantener la longitud del arco</p>	<p>Es la distancia entre el electrodo y el metal base. Esta longitud del arco no debe ser ni muy corto (el electrodo se queda pegado), ni muy largo (se rompe el arco).</p> <p>Una buena longitud, se escucha como un chisporroteo, similar a un huevo frito.</p>
<p>Cuarto paso:</p> <p>Mantener la velocidad del arco</p>	<p>La velocidad del arco, ni muy lenta, ni muy rápida; se controla moviendo el electrodo en línea recta. Cada gota de soldadura fundida cae y se traslapa una sobre otra, de forma regular (lineal). Observando los rebordes solidificados del charco de soldadura, se observa el cordón, no la chispa.</p> <p>El cordón debe tener aspecto de "oruga plana", de tamaño regular, ni grueso, ni delgado o cortado.</p>

La soldadura está diseñada básicamente para trabajar de forma lineal, así que al curvarse se necesita mayor experiencia en mantener el arco a velocidad lenta o rápida según se trate la pieza; más bien, estos trazos de cordones curvos se logran después de mucha experiencia y dominio en los cordones básicos (los lineales). En la posición horizontal o plana, la transferencia de soldadura se realiza por su propio peso, por la gravedad de

caída la gota cae suave y fácilmente, ayudada por la tensión electromagnética que generan los gases envolventes del humo.

3.3.4. Defectos de soldadura y medidas de seguridad.

Los errores en la hechura de la soldadura van más allá de la inclusión de escoria. Los problemas se complican cuando otros fenómenos se presentan y ponen en riesgo la unión soldada.

Estas formas peligrosas de errores en la soldadura son: soplo de arco, inclusión de escoria, inadecuada penetración en una unión, fusión incompleta entre metal base-metal aporte, solape, rebaje y relleno deficiente, porosidad y grietas.¹¹⁵

Soplo de arco. Este problema se caracteriza por un sonido "burbujeante" del electrodo y un efecto de salpicado al soldar, como si el electrodo soplara aire, escupiendo la soldadura y dejando cordones inconsistentes. El soplo de arco se debe a un mal flujo de corriente eléctrica, donde se forma un campo magnético inestable entre los cables y la pieza a soldar. El exceso de corriente puede generar un campo magnético inestable que altera el goteo del electrodo derretido, llevándolo las gotas de un lado a otro, en efecto similar a las gotas de lluvia que son sopladas por ráfagas de viento. El soplo de arco se evita reduciendo el electromagnetismo en el circuito. En la práctica se hace acortando la longitud del arco (acercar el electrodo a la pieza), o nivelar el campo eléctrico de trabajo, punteando una esquina de la pieza como contrapeso electromagnético, o colocando un trozo grueso y sólido de hierro. También es muy conveniente usar corriente continua, que es estable y no genera soplo de arco, si se trata de trabajos muy precisos o delicados que exigen una soldadura bien elaborada.

¹¹⁵ *Ibid.*, Cap. 11

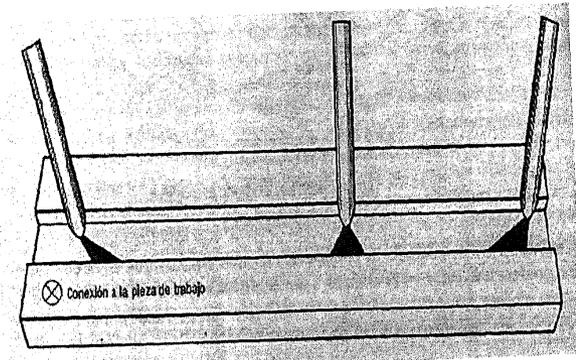


Ilustración 72 Fenómeno del soplo de arco: el goteo de soldadura no cae parejo sino ladeado. Deja una soldadura dispareja, salpicada y con poca penetración.
Fuente: Galvery Williams. *Guía de soldadura para el técnico profesional* p.314

Inclusión de escoria. Se presentan como partes granulares del revestimiento que queda atrapado dentro de la soldadura. Pueden deberse a falta de remoción de escoria durante el trabajo; un exceso de revestimiento en el electrodo, o bien, a que el cordón de soldadura se ha hecho deficientemente.

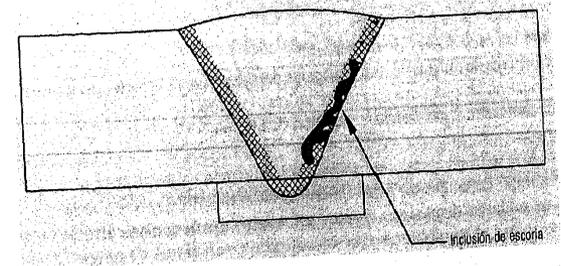


Ilustración 73 Inclusión de escoria en una soldadura.
Fuente: Galvery Williams. *Guía de soldadura para el técnico profesional* p.259

Inadecuada penetración de la unión. Se debe a un mal calentamiento del metal base, o bien que la zona a soldar tenga demasiadas impurezas; lo que impide que la soldadura escurra hasta las partes más profundas.

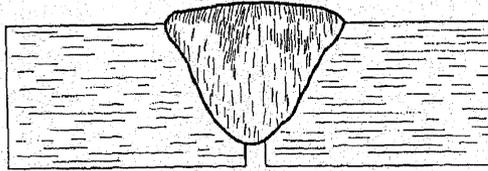


Ilustración 74 Sección transversal de la soldadura en la que se muestra una inadecuada penetración en la unión
Fuente: Galvery Williams. *Guía de soldadura para el técnico profesional*, p.259

Fusión incompleta entre metal base-metal aporte. La fusión incompleta es similar a la anterior, sólo que en ésta, alguna de las dos partes del metal base a unir, queda debilitado por la falta de profundidad de la soldadura. Ya sea por baja temperatura o por mala distancia del arco (no se acerca el arco y no alcanza a fundir ambos metales).

Solape, rebaje y relleno deficiente. El solape ocurre cuando se ha agregado demasiada soldadura en una unión; este exceso hace que la soldadura gotee hacia un lado, ensuciando o derritiendo un ángulo de la unión misma. Cuando la soldadura se ha precipitado a un extremo de las uniones y las derrite o derrite una parte, se le llama rebaje¹¹⁶. Contrario a estos casos, el relleno deficiente es una hendidura sobre la parte de unión. La soldadura ha sido muy poca y causa un adelgazamiento entre ambos metales. En estos tres casos el error de soldadura puede ocasionar una fractura o la oxidación prematura del metal.

¹¹⁶ *Ibid.*, p165

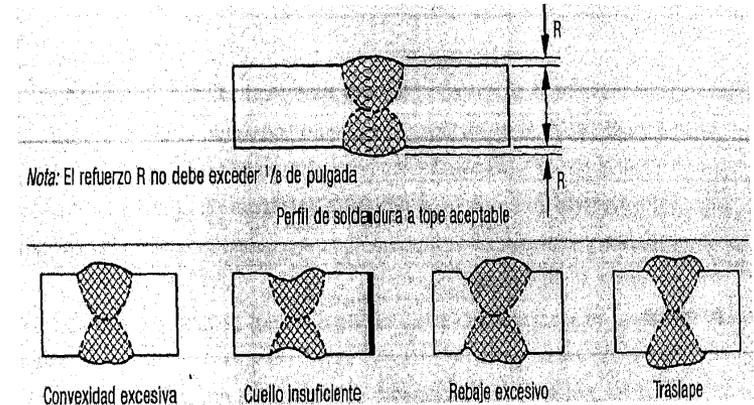


Ilustración 75 Defectos de soldadura.

Fuente: Galvery Williams. *Guía de soldadura para el técnico profesional*, p 256.

Porosidad. Tiene aspecto de pequeñas concavidades en la soldadura, que aparecen debajo de la escoria. La porosidad se encuentra en tres formas: *porosidad* uniformemente distribuida (en un extremo del cordón), *porosidad* globular (aparece como pequeños racimos de uvas, en cualquier parte de la soldadura) y *porosidad lineal* (en el centro del cordón). La porosidad se origina cuando una parte del hidrógeno se queda atrapado en la mezcla de metal fundido (soldadura). Este hidrógeno puede venir de distintas fuentes, ya sea de la atmósfera, o de un electrodo oxidado o que el revestimiento ha absorbido la humedad de la atmósfera. La porosidad también puede ser por un exceso de suciedad en el metal base, ya sea humedad o sustancias químicas, como pinturas y revestimientos. Cuando la porosidad es excesiva, se vuelve un riesgo, pues guarda polvo y suciedad en la soldadura, y puede derivar en grietas.

Para evitar la porosidad se debe limpiar perfectamente la pieza de trabajo, procurar soldar en atmósferas no húmedas, sino secas y bien ventiladas. Así mismo, los electrodos deben estar estrictamente secos, sin rupturas en su revestimiento, y con el núcleo libre de óxido.¹¹⁷

¹¹⁷ *Ibid.*, p 256

La humedad. Es altamente dañina para el revestimiento de los electrodos. La sola humedad atmosférica es absorbida por el revestimiento, e introduce hidrógeno a la varilla, "... un electrodo requiere de 30 minutos a 4 horas para absorber suficiente agua (hidrógeno) como para afectar la calidad de la soldadura..."¹¹⁸ por esto los electrodos se deben almacenar en recipientes herméticos. En algunos talleres de soldadura de alta precisión, los electrodos son mantenidos dentro de un horno secador hasta el momento en que se vayan a utilizar. Las siguientes imágenes muestran los tipos de porosidad.

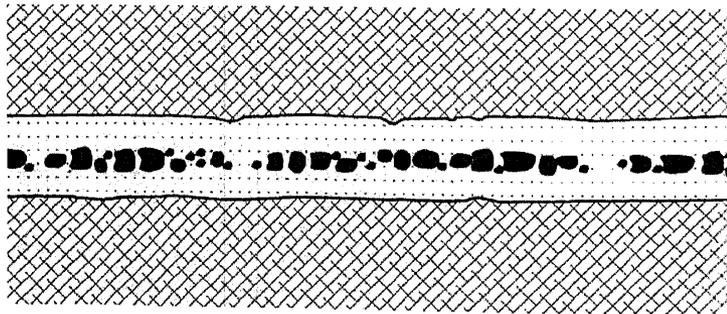
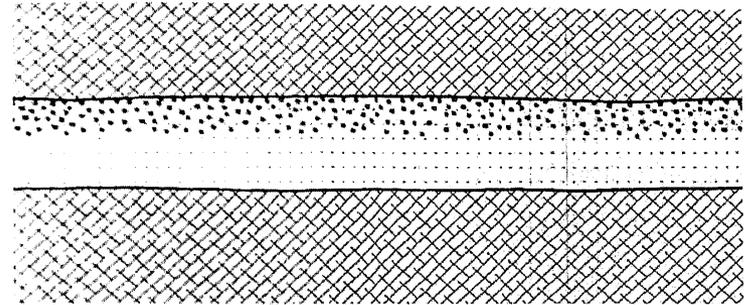


Ilustración 76 Porosidad lineal.

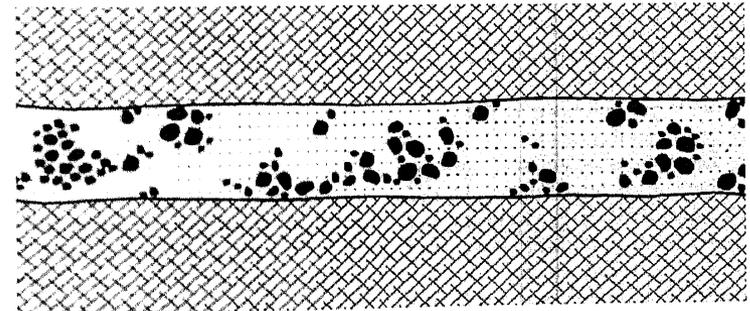
Fuente: Galvery Williams. *Guía de soldadura para el técnico profesional*, p 256.

¹¹⁸ *Ibid.*, p122



77 Porosidad uniformemente distribuida.

Fuente: Galvery Williams. *Guía de soldadura para el técnico profesional*, p 257.



78 Porosidad globular.

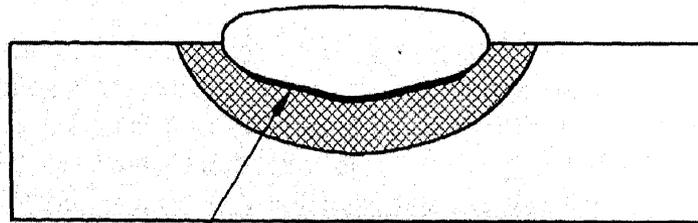
Fuente: Galvery Williams. *Guía de soldadura para el técnico profesional*, p 257.

Grietas en la soldadura. Son fisuras delgadas o gruesas que se pueden presentar indistintamente sobre el cordón de soldadura, en ciertas zonas de la pieza o en ambas. Las grietas son de muchos tipos, y resulta un problema no sólo por decremento del aspecto estético de una unión, sino que llegan a causar fractura de las piezas, o son una fuente de oxidación. Según la obra consultada¹¹⁹ se identifican 13 tipos de grietas. Pero para fines prácticos se pueden clasificar según su temperatura y ubicación.

¹¹⁹ *Ibid.*, p 124

Según su temperatura son: grietas en caliente (formadas durante el enfriamiento del metal) y grietas en frío (formas resultantes una vez que el metal se ha enfriado y persisten sus contracciones).

Según su ubicación son: grietas en el metal base (o sea en la pieza), y grietas en el metal aporte (en la soldadura). También se pueden presentar grietas internas y externas. Las internas se presentan dentro de la unión metal base y metal aporte, estas grietas no se pueden ver a simple vista, sino con un aparato de rayos X. En algunos casos las grietas internas sobresalen en el contorno del cordón. Las grietas externas son las que se observan a simple vista.



Agrietamiento debajo del cordón.

Ilustración 79

Agrietamientos debajo del cordón.

Fuente: Galvery Williams. *Guía de soldadura para el técnico profesional*, p 260

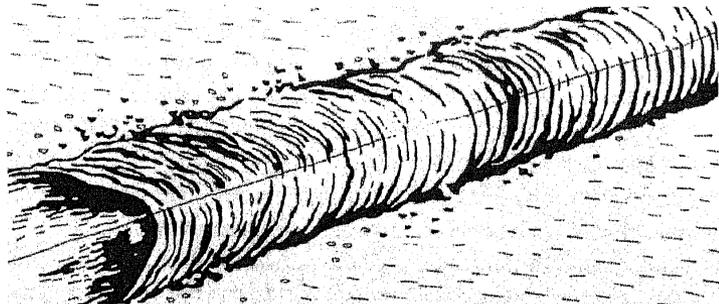
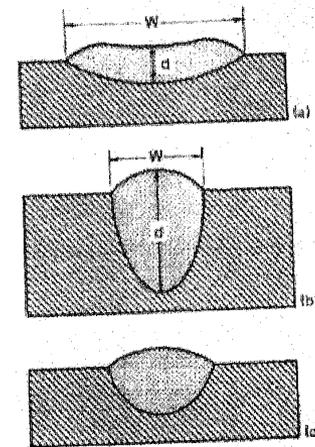


Ilustración 80 Agrietamiento en soldadura.

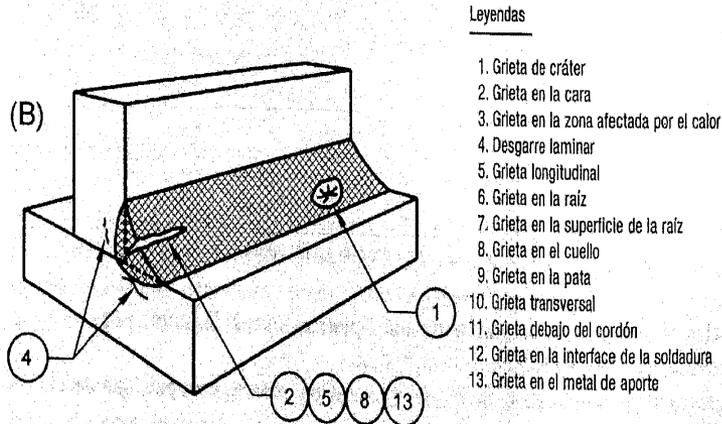
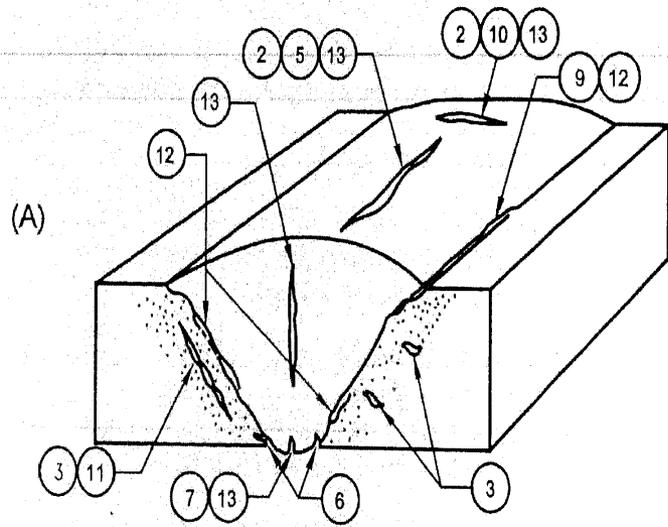
Fuente: Galvery Williams. *Guía de soldadura para el técnico profesional*, p.260



- (a) $W > d$: tendencia a las fisuras superficiales.
- (b) $W < d$: fisuras en caliente en el centro del cordón.
- (c) $W/d = 3/2$: cordones sanos.

Ilustración 81 Grietas en un cordón

Las grietas en un cordón pueden atravesar desde su superficie hasta la raíz, fracturando la soldadura en dos partes.
 Disponible en <http://www.frm.utn.edu.ar/.../image006.jpg>



Legendas

1. Grieta de cráter
2. Grieta en la cara
3. Grieta en la zona afectada por el calor
4. Desgarre laminar
5. Grieta longitudinal
6. Grieta en la raíz
7. Grieta en la superficie de la raíz
8. Grieta en el cuello
9. Grieta en la pata
10. Grieta transversal
11. Grieta debajo del cordón
12. Grieta en la interface de la soldadura
13. Grieta en el metal de aporte

Ilustración 82 Esquema de los diferentes tipos de grietas en la soldadura y alrededor de ella.
Fuente: Galvery Williams. *Guía de soldadura para el técnico profesional*, p 260.

Tabla 16 De las grietas más comunes (Confrontese con el esquema anterior).

Número de grieta en el esquema	Posible causa	Solución
Grieta de crater (No 1)	Aparecen al comenzar o finalizar un cordón, debido al enfriamiento súbito de un cráter de soldadura.	Se minimizan terminando un cordón no de golpe, sino pausadamente alejando el electrodo, y deteniendo el arco con suavidad.
Grieta en la cara (No 2 y 5)	Se deben a la tensión de la soldadura, y pueden aparecer horizontales o transversales, sobre el cordón.	Se evitan sobrecalentando el cordón, llevando un buen ritmo al trazarlo. Ni muy lento ni muy rápido.
Grietas en el cuello (No 8)	Surgen horizontalmente sobre el cordón (como si cortara su cuello). También suelen salir verticalmente como siguiendo el ritmo de la soldadura. Se deben al sobrecalentamiento que genera el electrodo sobre el metal base.	Dejar descansar la pieza, si se está trazando muchos cordones de soldadura en la misma zona.
Grietas en zona de calor (No 3)	Son exclusivas del metal base, cuando se "encoje" y fractura su micro estructura por el choque térmico.	Dejar descansar la pieza, si se está trazando muchos cordones de soldadura en la misma zona.
Desgarramientos laminares (No.4)	Surgen en el metal base, a veces debajo del cordón, por esto muy pocas veces se llegan a observar, sólo cuando emergen del cordón hacia afuera siguiendo el contorno del mismo. Se deben a fallas en la micro estructura del hierro, que al recibir la temperatura entra en tensión y se fractura.	Identificar previamente el tipo y calidad de hierro que se está soldando. Dejar descansar la pieza, si se está trazando muchos cordones de soldadura.

Grietas de raíz (No. 6 y 7)	Surgen desde la raíz de la unión de ambos metales. A veces visibles y otras veces ocultas. Se deben a tensiones entre ambos metales, por poco calentamiento del metal base.	Mantener el electrodo con un arco estable y a buena velocidad, para que caliente lo necesario (ni más, ni menos).
Grietas en la pata (No. 9)	Aparecen después de unos minutos de haber trazado el cordón. Son consecuencia de una tensión fuerte entre el metal base y el metal aporte, un choque térmico entre ambos.	No sobrecalentar el metal base, sobre todo si se trata de una lámina delgada. Graduar siempre el voltaje en proporción al tipo de trabajo. Dejar que la pieza se enfríe (darle descansos), para que la tensión térmica no sea abrupta.
Grietas debajo de la soldadura (No.9 y 11)	Aparecen horas o minutos después de haber trazado un cordón de soldadura. Se deben al cambio repentino de temperatura.	Usar electrodos de bajo hidrógeno o electrodos nuevos sin humedad. Procurar el trabajo en un espacio sin humedad.
Grietas en superficies de contacto (No. 7 y 11)	Posiblemente se deba a una fusión incompleta entre metal base y metal aporte. O el metal base está muy sucio.	Limpiar bien la superficie. Utilizar debidamente el electrodo a la distancia del arco que se necesite.

3.3.5. Medidas de seguridad en el trabajo de soldadura.

Riesgos directos e indirectos al usar el arco eléctrico.

Tras el desarrollo monumental que tuvo la soldadura a tan sólo dos siglos de existencia, en 1970, se convocó en Estados Unidos a un foro internacional sobre metalurgia y soldadura. Dando por resultado la publicación de la primer "Norma internacional de seguridad en soldadura y corte", que reconoce los riesgos directos e indirectos del trabajo de soldadura.

Los riesgos indirectos son los causados por la impericia, falta de seguridad personal o cualquier otro fallo directamente humano. La seguridad para evitar estos riesgos depende mucho de la prudencia, así como el buen uso del equipo

de seguridad personal. En cambio, los riesgos directos, son los que dependen plenamente de fallas técnicas de la instalación y zona de trabajo.¹²⁰ Estos riesgos si se pueden evitar y prever. De ahí que sea importante conocerlos para evitarlos; estos son:

Riesgo de descarga eléctrica Previo al trabajo, informarse sobre los riesgos específicos del método de soldadura con la que se trabaja, características del material a unir y el tratamiento de su superficie (limpia y sin grasa o agua). Comprobar que la tensión eléctrica sea constante y segura, no debe sonar extraña la soldadora. El voltaje de la instalación (sea casa o taller) no debe exceder al voltaje de entrada y salida de la máquina. Colocar la máquina de soldar lo más cerca posible de la toma de corriente. No dejar los cables sobre objetos calientes, superficies con bordes afilados o cualquier otro elemento que pudiera dañarlos. Nunca se debe dejar que las chispas de soldadura caigan sobre los cables. Supervisar que los terminales o enchufes estén en buen estado. No usar cables rotos, enmendados o resecos, pueden causar un choque eléctrico.

El voltaje debe correr libremente, dentro de los cables tensados sobre el suelo de forma horizontal; los cables nunca se enredan. Guardar siempre los cables y conexiones limpias y ajustadas. Las reparaciones eléctricas deben hacerlas electricistas profesionales.

Riesgo de radiación del arco eléctrico. La máquina genera radiación eléctrica de tipo ultravioleta e infrarroja, que se observa como un destello proporcional al voltaje y a la atmósfera en la que se está trabajando. El riesgo de quemaduras siempre está presente y es similar a una sobreexposición a la luz solar (quemaduras de piel y córneas), por esto se debe evitar la exposición directa al espectro del arco. A menor voltaje el espectro será menor y la potencialidad de quemadura queda minimizada. Contrariamente, si se suelda con temperaturas altas, el espectro será más potente y las quemaduras o irritaciones en la piel pueden ser mayores. Las quemaduras de piel suelen ser superficiales. Pero las quemaduras en los ojos (queratitis) se manifiestan entre 6 a 12 horas después de la sobreexposición; con un efecto similar a "tener

¹²⁰ PEREY, Op. Cit., p 287

arena o polvo en los ojos" e incapacidad para ver la luz de día (fotosensibilidad). Esta quemadura es muy frecuente, afortunadamente la mayoría de los casos de queratitis se solucionan con reposo de 48 horas mínimo, lavado y gotas oculares prescritas por un médico.

Para minimizar el espectro del destello se usa equipo de protección personal, pero también debe usarse un biombo protector, pintado con vinílica mate (no de aceite, pues refleja el espectro), en colores fríos (azul o morado), no blanco, gris o negro pues también refleja e incrementa el espectro. Se puede hacer un biombo translúcido con fibra de vidrio o plástico polivinilo suficientemente grueso. Un biombo translúcido facilita la comunicación dentro del taller.

También es obligatorio el uso de careta de soldador. Generalmente son de fibra de vidrio, con un cuadro visor de 50 X 108 mm. Aproximadamente, al cual se le cambian diferentes filtros según el número de opacidad-protección, para evitar el destello. También existen filtros de cristal líquido, con un censor fotosensible conectado a la careta, éste registra el espectro del destello, lo calcula y manda la señal eléctrica a una centésima de segundo para cambiar el tono del lente. Además cuentan con un templado especial para que el vidrio en caso de caídas no se rompa.

Riesgo de contaminación del aire. La contaminación del aire surge del humo que emana al fundirse la soldadura. Lo que se desprende al tirar un cordón de soldadura, es una mezcla de humo y gases. Este humo llamado "materia corpuscular" es una variada composición de diminutas partículas sólidas suspendidas por el aire, muy parecido al humo de polvo o de polen en el campo. El tipo de polvo y cantidad varía según el electrodo y tipo de metal base. Metales como el latón, bronce, cobre, plomo, cadmio, cromo, vanadio y otros; son altamente tóxicos en sus gases. Los metales revestidos de barniz, pintura o chapa electrolítica resultan tóxicos y hasta inflamables al soldarse. Sus humos son sumamente nocivos y peligrosos. Una sobreexposición dentro de un lugar cerrado y no ventilado puede ser nociva a la salud.

En caso de notar malestares, como dolor de cabeza, irritación de ojos y garganta, fiebre alta, es conveniente realizarse un chequeo médico. Preferentemente se recomienda soldar en un ambiente ventilado, o colocar

extractores y ventiladores, para renovar el aire constantemente sin que las impurezas gaseosas afecten las vías respiratorias.

¿Cómo diseñar un buen sistema de ventilación?¹²¹

El diseño de un sistema de ventilación no consta solamente de "ventilar" el humo flotante en el espacio. Pues muchas veces el humo sólo gira dentro del taller y no sale realmente. Una ventilación mal diseñada solo hace que el humo "vaya de un lugar a otro", pero no es desalojado y sigue ocupando el espacio del oxígeno, haciendo el ambiente irrespirable. Lo importante de la ventilación es que el humo salga del taller o la zona cerrada donde se está trabajando, para limpiar con aire nuevo y respirable la zona de trabajo.

Un sistema de ventilación se diseña como un circuito de extracción de aire contaminado. Debe tener un acceso de ventilación natural (ventanales, puertas, etc.) y ventilación mecánica (extractor o ventilador), así como una salida de gases, siguiendo la circulación de la ventilación natural (ventanal o puerta abierta), se coloca un ventilador que expulse la nube de humo nocivo.

Otra estrategia es combinar ventilación natural con ventilación local. Ésta consiste en colocar campanas extractoras solamente arriba de las zonas donde se está soldando; algo similar a un extractor para cocina. También este extractor debe conectar de adentro hacia fuera, y tener cierta potencia de extracción. La ventilación es tan importante para la salud y el buen desempeño del trabajo que en algunos talleres industriales usan un velómetro, aparato que sirve para medir el flujo de ventilación.

En algunos talleres grandes llegan a usar un exposímetro, aparato que mide la cantidad de gases explosivos; o un indicador portátil de oxígeno que mide la cantidad de oxígeno respirable. Cuando no se tiene necesidad de estos dos aparatos, basta con diseñar un buen sistema de ventilación.

También el equipo oxiacetileno, si se deja el soplete encendido por largo tiempo, puede generar un exceso de gases (acetileno); de ahí que también deben ventilarse las áreas de trabajo.

¹²¹ PEREY, *Op. Cit.*, Cap. IV

Riesgo de explosión. Nunca soldar recipientes que hayan guardado combustibles o piezas en las que se desconozca el material metálico de origen, superficies sucias, con pintura o con recubrimientos. Tampoco soldar en ambientes expuestos a temperaturas elevadas. Algunos sistemas de soldadura (como el oxiacetileno) generan gases causando una condensación altamente explosiva. Esto se evita ventilando muy bien la zona de trabajo.

Riesgos indirectos. Son causados por impericia, descuido o exceso de confianza al momento de trabajar. Es necesario mantener el área de trabajo bien ordenada y limpia, revisar el equipo antes de usarlo; supervisar que esté bien limpio (no aceites o agua) y sin cables rotos o quebrados. Nunca trabajar si se está cansado, evitar las posturas forzadas y los esfuerzos físicos. No soldar con lentes de contacto, aretes, cadenas o ropa holgada. Siempre usar el equipo de protección individual, éste protege zonas específicas del cuerpo expuestas a rayos ultravioletas, gases y salpicaduras de hierro fundido. El equipo de protección individual consta de ropa de algodón aislante, guantes y peto de cuero (o polainas); careta de soldar, y/o lentes para esmerilar, protectores auditivos (tapones de oídos); botas de soldador con punta de acero, y suela antiderrapante aislante de descargas eléctricas.

3.4. Técnica de soldadura con oxiacetileno.

3.4.1. El equipo de oxiacetileno.

La soldadura con oxiacetileno se utilizó por primera vez a comienzos del s. XX. En un principio se usó después de la Segunda Guerra Mundial, pero todavía tenía una tecnología deficiente.¹²² Tiempo después se mejoraron sus cualidades de corte, endurecimiento del charco, recalentado y otras más. Actualmente es un soldadura bastante eficiente, por el control que se puede tener de su flama y las temperaturas que de ella emanan; prácticamente se puede usar el soplete para recalentado, corte o suelda; además de ser un

proceso de bajo costo, facilidad de transporte y almacenaje del equipo (no necesita una fuente de poder externa, como estar conectado a la electricidad).

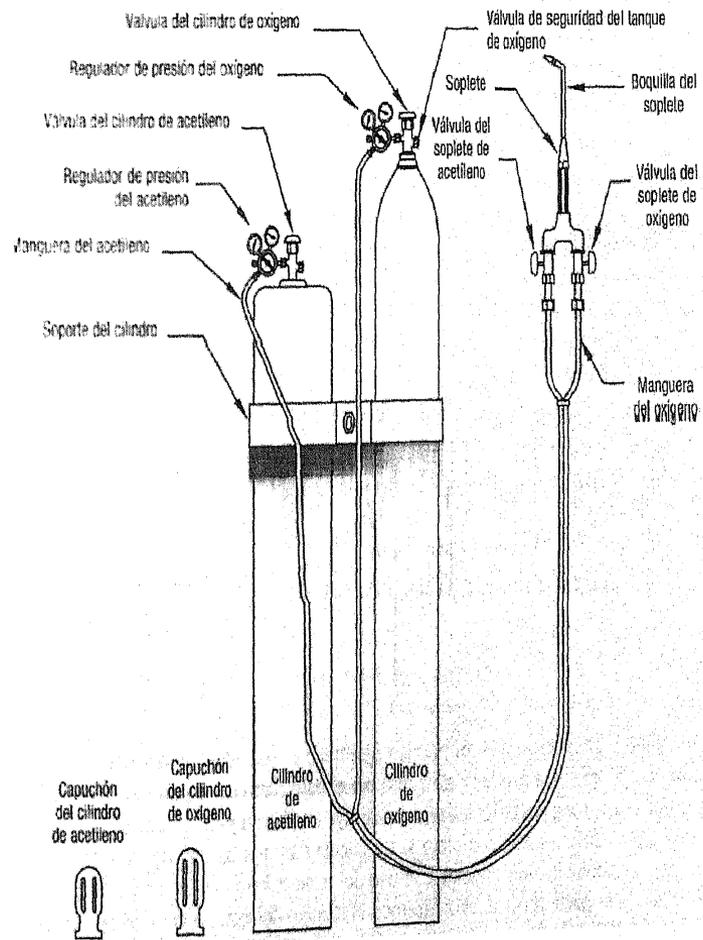


Ilustración 83 Equipo para soldadura de Oxiacetileno.

Fuente: Galvery Marlow; *Guía de soldadura para el técnico profesional*. P.2

¹²² GALVERY, *Op Cit.*, p 270

La soldadura de oxiacetileno conocida también con el nombre genérico de soldadura autógena, incluye todos los procesos en los cuales la fuente de calor es una flama de gas y la unión puede hacerse con o sin metal de aporte. El gas combustible puede ser acetileno, propano o natural (MAPP) que significa metil acetileno propadieno, el oxígeno puede estar en forma de aire comprimido, pero casi siempre se utiliza oxígeno puro.

En esta soldadura el gas combustible se debe mezclar uniformemente con el oxígeno, esta operación se hace en la cámara mezcladora que se encuentra integrada al soplete. Cuando estos gases combustibles y el oxígeno se combinan producen una flama de altas temperaturas; aproximadamente de 3000°C y alcanza a fundir el 98% de los materiales existentes.

Partes del equipo.¹²³

El equipo básico para soldadura con oxígeno y acetileno consta de: cilindros de oxígeno y acetileno, reguladores de presión y manómetros, mangueras, soplete y boquillas.

a. Cilindros de oxígeno y acetileno.

El oxígeno en forma gaseosa se vende en cilindros de acero. El aire atmosférico se recoge en grandes depósitos que se conocen como torres de lavado. A través de estas torres se hace circular una solución de sosa cáustica, que somete al aire a un proceso de lavado, eliminando el anhídrido carbónico. A la salida de la torre de lavado el aire se comprime y se hace a través de un depurador en los que se eliminan las partículas de aceite y el vapor de agua. De aquí el agua pasa a los cilindros de secado. Estos cilindros contienen potasa cáustica, que seca el aire y elimina cualquier residuo de anhídrido carbónico y vapor de agua. En el extremo superior de estos cilindros existen nuevos filtros de un algodón especial, que evitan que cualquier sustancia extraña pueda pasar a las líneas de alta presión. Una vez seco, limpio y

sometido a elevadas presiones, el aire pasa a las columnas de rectificación, en las que se enfría y se expande hasta presiones próximas a la atmosférica. Los cilindros de acero para uso normal se fabrican en una gran variedad de tamaños y el gas que contiene se comprime a distintas presiones de 15mPa (mega pascal, unidad de medida para la presión) y 21°C como la temperatura ambiente normal.

Los cilindros están hechos de acero de alta resistencia, en una sola pieza con un proceso de moldeo, estirando el acero a altas temperaturas sobre un molde. Sellados herméticamente una sola pieza. En su base tienen unos tapones de seguridad colocados dentro del tanque; en caso de un sobrellenado o exceso de presión, estos tapones se abren automáticamente y dejan escapar el gas evitando así una explosión. Otro dispositivo de seguridad es una válvula en el lado opuesto a la conexión del regulador.

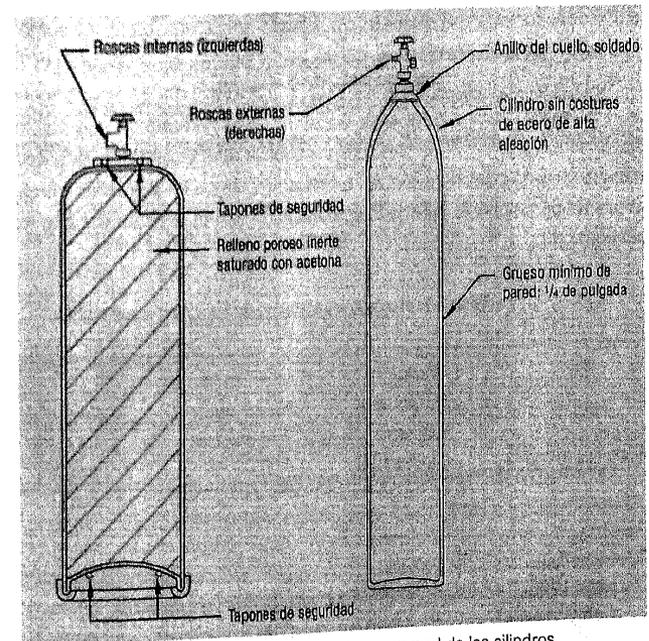


Ilustración 84 Corte transversal de los cilindros de acetileno y oxígeno, respectivamente.

Fuente: Galvery Martow; *Guía de soldadura para el técnico profesional*. P.2

¹²³ *Ibid.*, p 280

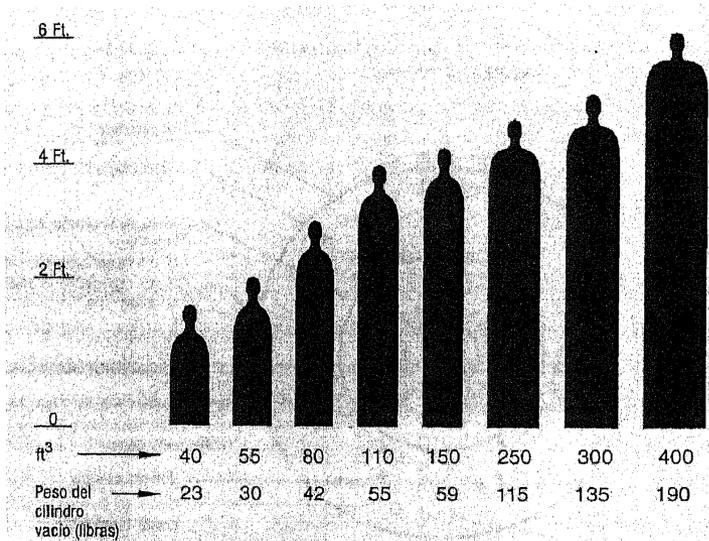


Ilustración 85 Diferentes tamaños de los cilindros de oxígeno
(Son más alargados y delgados)

Fuente: Galvery Marlow; *Guía de soldadura para el técnico profesional*. P.14

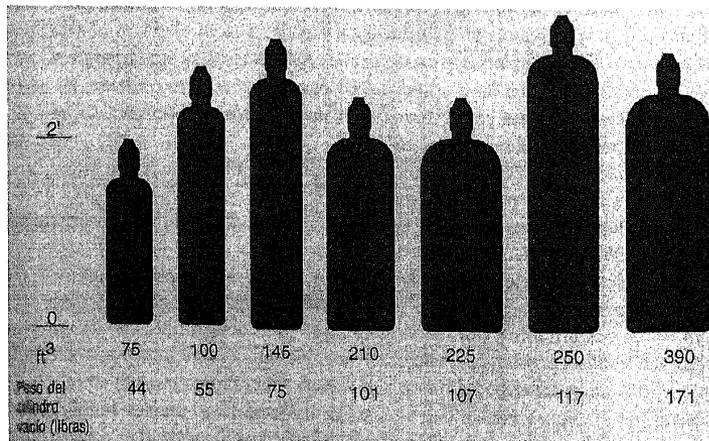


Ilustración 86 Diferentes tamaños de los cilindros de acetileno

(Son más regordetes, pequeños y anchos de la rosca donde sale el gas)

Fuente: Galvery Marlow; *Guía de soldadura para el técnico profesional*. P.15

El gas acetileno.

El acetileno es un gas incoloro, pero por su olor distinguible es similar al ajo. Además, como se envasa con acetona, llega a oler a esta sustancia, o bien se combinan ambas en un olor como a "ajo picante a la nariz". El acetileno se obtiene disolviendo carburo de calcio en agua. El carburo se obtiene bajo proceso de fundir cal y coque en un horno eléctrico. Es un gas más costoso que el oxígeno, y también el gas más explosivo de todos, cuando se mezcla con aire (oxígeno), generando una alta combustión. Muchos soldadores utilizan gas natural o propano para abaratar el costo. Pero estos gases no brindan la temperatura que alcanza la combustión del acetileno. Gracias a la temperatura que se obtiene de la flama de acetileno, es posible recalentar la lámina u otras técnicas que necesiten una temperatura uniforme en la flama. La buena flama del acetileno depende de su química al mezclarse: una parte de acetileno y dos y media de oxígeno lo que resulta una flama neutra, nombre técnico que designa una flama bien equilibrada.

El riesgo mayor del acetileno es que siendo un gas altamente flamable al mezclarse con oxígeno, puede acumularse en el ambiente y provocar una explosión, si no se tiene cuidado en su uso. El acetileno se envasa disuelto en acetona, con un tiempo de llenado de unas siete horas (aproximadamente), por la absorción que requiere. El cilindro de acetileno está recubierto en su interior de un material poroso, que es una mezcla de asbesto desmenuzado, cemento y carbón vegetal o una mezcla similar en forma de pasta. Cuando se seca la mezcla que hay en el interior del cilindro, queda en forma de panal. Se hace entrar a presión la acetona en las celdas de este panal. La acetona absorberá o disolverá hasta 25 veces su propio volumen de acetileno. El panal tiene la ventaja de que evita que se extienda cualquier descomposición que se podría iniciar si pasa una llama accidentalmente sobre la superficie del cilindro.

Los cilindros de acetileno tienen de uno a cuatro tapones elaborados con una aleación especial que se funde a los 212°F; si es que el cilindro se expusiera a altas temperaturas, los tapones se fundirían, evitando una explosión del cilindro. Si un cilindro de acetileno es transportado o colocado erróneamente de forma horizontal, no debe utilizarse sino después de una hora, ya que la mezcla de acetileno y acetona se revuelve y puede filtrarse por

la válvula hasta generar una fuga o una explosión. Las válvulas de acetileno siempre necesitan presiones bajas, en comparación con las presiones que necesita el oxígeno.

Los problemas comunes a todos los cilindros son:¹²⁴

- Roscas dañadas por uso brusco o cuerpos extraños en las roscas que imposibiliten el asentamiento correcto de las conexiones y permitan fugas de gas;
- Discos o tapones de seguridad, rotos o con fugas.
- Manijas de válvulas difíciles de abrir o cerrar, o atascadas por polvo o virutas de esmeril.
- El sistema de doble asiento en algunas válvulas no asienta en forma correcta y causa fugas de gas.

b. Reguladores de presión y manómetros.

Ya que los gases son envasados a diferentes presiones, algunos como el acetileno a muy alta presión; no es posible usar un gas sin que su recipiente (el tanque) tenga un sistema de regulación de la presión de entrada y salida del gas. Esta es la función de los reguladores y manómetros, que son sistemas de seguridad que incorporan tapones y válvulas en el cuerpo de los cilindros. Los tapones de seguridad son un tipo de refuerzo en la parte baja o alta del cilindro, por el cual es posible que al incrementar la presión del gas dentro del cilindro, los tapones se abran y dejen escapar el gas. Evitando así que estalle súbitamente el cilindro.

La ubicación de los tapones (también llamados válvulas de seguridad) depende del tipo de tanque: en tanques de oxígeno, se encuentran en la parte baja del cilindro (como un disco sobrepuesto en la base del tanque); y en tanques de acetileno, se encuentran ocultos dentro del mismo, en la parte alta donde embona el manómetro.

Toda la forma y confección de los cilindros, así como de sus tapones están diseñadas para abrirse automáticamente en caso de que la presión interna se incremente; ya sea por sobrecalentamiento, algún golpe o variaciones de la presión interna del cilindro; esto se debe a que al usar prolongadamente el soplete, los gases se agotan, causando variaciones en la presión interna del tanque. No es igual la presión de un tanque lleno que la de uno vacío. Conjunto a los tapones de seguridad, encontramos el regulador, que sirve como una llave de abrir y cerrar el flujo de gas. A la par del regulador, se encuentra conectado el manómetro, que mide cuánta presión de gas se tiene al abrir o cerrar la llave. Cada cilindro tiene su propio regulador, es este dispositivo el que regula la presión del cilindro (abriéndose o cerrándose) dejando escapar el gas hacia las mangueras. Pasando por supuesto por el manómetro. Gracias al manómetro es posible leer la presión y calibrarla abriendo o cerrando la llave del regulador.

Los cilindros tienen dos tipos de reguladores; básicamente ambos funcionan por el equilibrio que se guarda entre la presión interna del cilindro y la presión externa que se aplica al girar la llave. Misma que sirve como tornillo de ajuste. El regulador es como una "cámara" en la cual por medio de un dispositivo interno se cierra o abre la salida del gas, con este equilibrio de la presión interna (el gas) y la presión externa (el tornillo o llave), el manómetro mide la presión dentro del cilindro. Cuando se conecta el manómetro al regulador, se debe evitar que el gas se llegue a filtrar. El tornillo de ajuste del regulador (la llave), debe estar liberado, girándose en sentido contrario a las manecillas del reloj, cuidando que la válvula del cilindro no tenga rebabas de sellador o suciedad en su interior. El regulador no debe conectarse al cilindro si las roscas se encuentran sucias o gastadas. Estas piezas son de bronce, por lo que es frecuente que se desgasten; de ser así deben cambiarse, para evitar que llegue a filtrarse acetileno hacia fuera del cilindro.

¹²⁴ WIECZOREK, *Op Cit.*, p 40

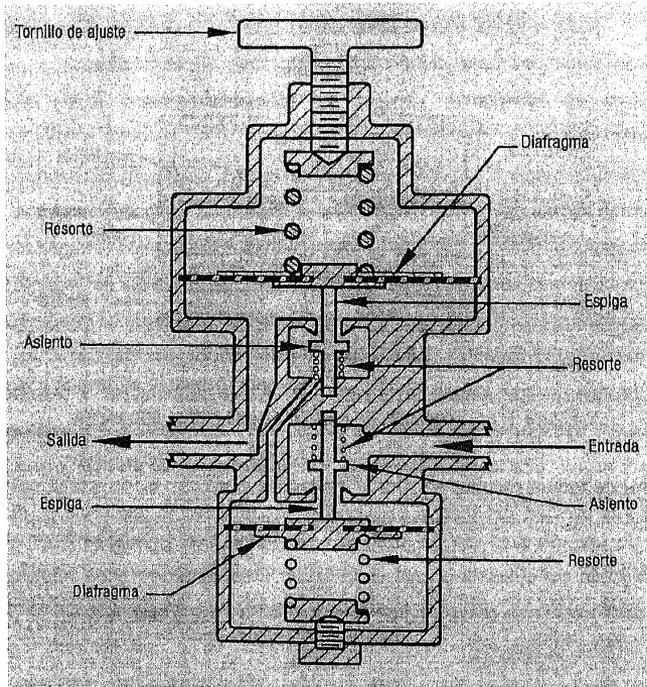


Ilustración 87 Esquema de un regulador sencillo.

Fuente: Galvery Marlow; *Guía de soldadura para el técnico profesional*. P.15

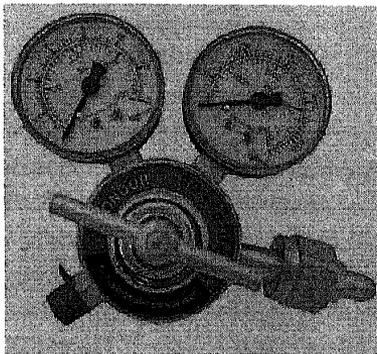


Ilustración 88 Manómetro

Disponible en <http://www.syhrep.com>

c. Las mangueras.

Ya que se abrió el regulador que viene a ser como la llave del gas, y que esta presión se ha medido con el manómetro, el gas viaja hasta el soplete a través de las mangueras. Las mangueras son necesarias para mantener una distancia segura entre la flama del soplete y la mezcla flamable del cilindro. Las mangueras son aditamentos de seguridad, por norma se asigna el color verde o negro para el oxígeno y el rojo para el acetileno. Así no hay forma de conectar el soplete o los tanques de manera invertida. La rosca que abre y cierra los gases en el soplete también se encuentra invertida, por ejemplo: las mangueras del oxígeno tienen su llave del lado derecho del maneral del soplete, y las del acetileno tienen la rosca de lado izquierdo. En todo momento los dos gases deben estar alejados y estrictamente separados. Únicamente se llegan a mezclar en la cámara interna del soplete. La mezcla de ambos gases dentro del soplete también tiene sus propios riesgos y procedimientos.¹²⁵

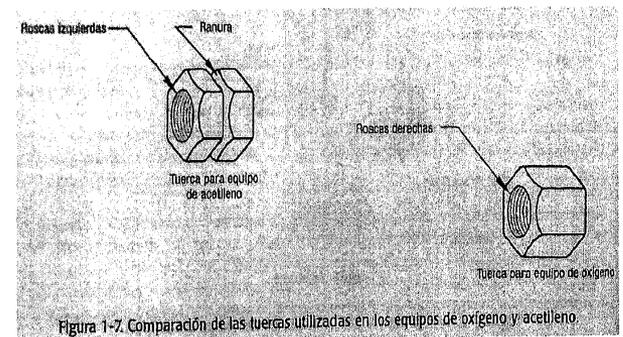


Figura 1-7. Comparación de las tuercas utilizadas en los equipos de oxígeno y acetileno.

Ilustración 89 Tuercas invertidas en equipos de oxígeno y acetileno.

Fuente: Galvery Marlow; *Guía de soldadura para el técnico profesional*. P.15

¹²⁵ GALVERY, *Op Cit.*, p 207

d. El soplete y las boquillas

El soplete está diseñado para dos fines: Primero, mezclar los gases sin riesgo alguno, y segundo, generar diferentes tipos de flamas por el intercambio de boquillas. Consta de tres partes: el mango, la cámara mezcladora y las boquillas intercambiables. El mango es la pieza mayor (la más pesada) de la que se sostiene el soplete, cuenta con dos roscas de posición invertida (aparecen en el esquema anterior), una para calibrar el acetileno y otra para el oxígeno. Solo y únicamente se mezclan cuando llegan a la cámara mezcladora del soplete. Esta cámara se encuentra dentro del soplete, entre el mango y la boquilla.

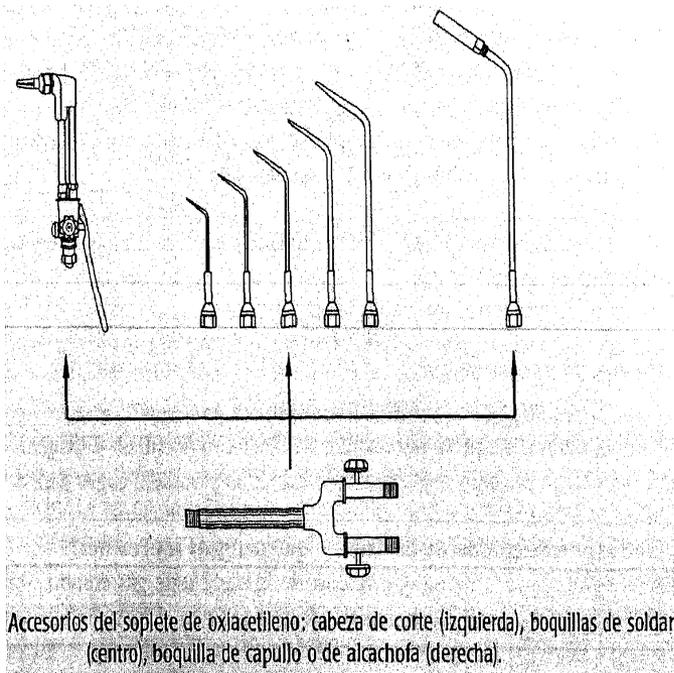


Ilustración 90 Soplete de oxiacetileno.

Fuente: Galvery Marlow, *Guía de soldadura para el técnico profesional*. P.19

3.4.2. El ajuste de la flama oxiacetilénica.

Una de las características de la flama oxiacetilénica consiste en sus propiedades químicas por lo que su acción sobre el metal fundido puede variar notablemente. Estas diferentes características, se obtienen combinando las proporciones relativas de oxígeno y acetileno en la mezcla de gases que arden en la punta del soplete.¹²⁶

El soplete se calibra en función de cuatro tipos de flama: A) flama humeante, B) flama oxidante (exceso de oxígeno), C) Flama carburizante (exceso de acetileno), y D) Flama neutra (oxígeno-acetileno bien equilibrados)¹²⁷

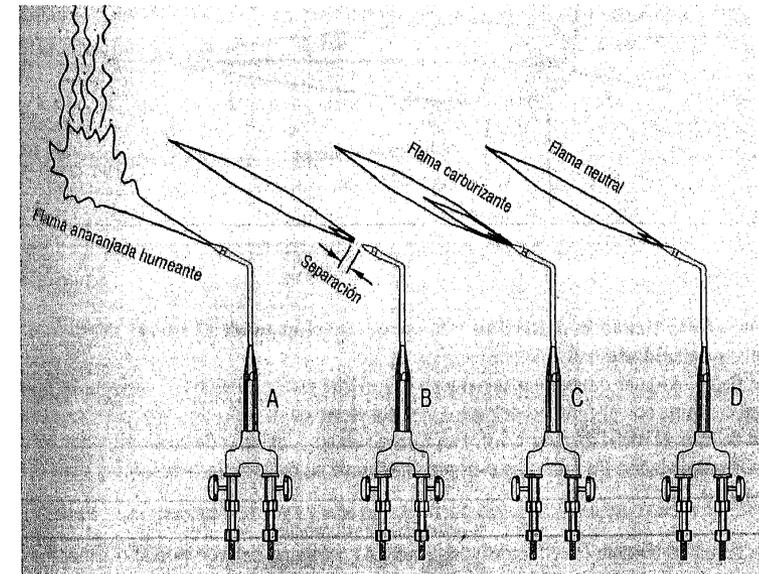


Ilustración 91 Diferentes tipos de flama oxiacetilénica.

Fuente: Galvery Marlow, *Guía de soldadura para el técnico profesional*. P.21

¹²⁶ *Ibid.*, p 5

¹²⁷ *Ibid.*, p12

Cuando la flama está bien equilibrada (flama D) se diferencian tres partes: ¹²⁸ el **cono interior**, que es la zona mas caliente, con unos 3100°C; la **pluma de acetileno**, que es la zona reductora o de combustión, con una temperatura de 2000° C y por último la **envoltura de la flama** (1200°C) que es la región de combustión secundaria en que tiene influencia el aire del ambiente. *"...es la región donde arde la porción del acetileno que no se quemó con oxígeno puro, por lo que es alimentada por oxígeno contenido en el aire del ambiente."*¹²⁹

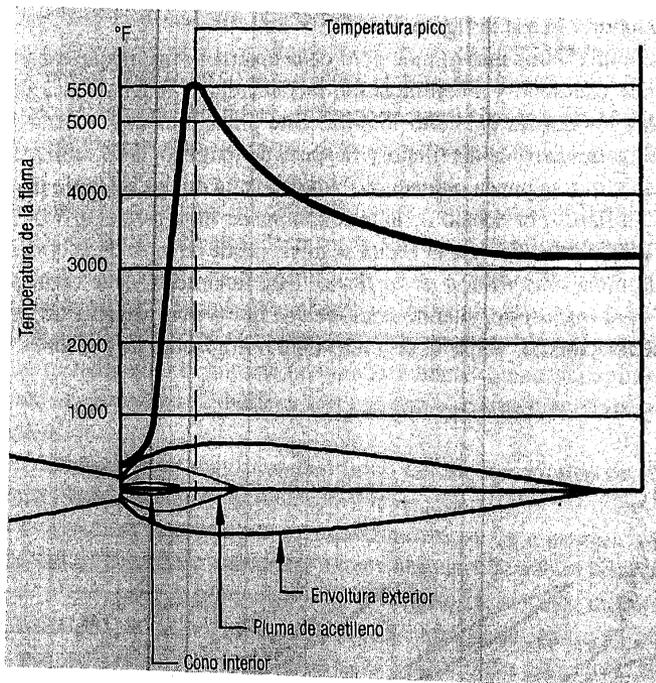


Ilustración 92 Temperaturas de la flama oxiacetilénica

Fuente: Galvery Marlow, *Guía de soldadura para el técnico profesional*. P.5

¹²⁸ *Ibid.*, p 6

¹²⁹ *Ibid.*, p 7

Cuando se hace un cordón de soldadura autógena se recomienda¹³⁰ observar la velocidad:

- a. Velocidad excesiva = cordón delgado.
- b. Velocidad baja = cordón ancho.
- c. Velocidad normal = cordón de dos veces el diámetro de la punta de la boquilla.

Medidas de protección para el ajuste de flama.

Siempre usar gafas, peto, guantes de carnaza y demás aditamentos, ajustar la presión de trabajo de acuerdo al tipo o calibre de boquilla que se utilice, abrir la válvula del acetileno girando 1 vuelta (o ½ vuelta). Encender el acetileno usando la chispa o encendedor de cazuela. Ajustar la llama del acetileno hasta que deje de producir humo, pero que no se separe de la boquilla. Abrir la válvula de oxígeno hasta obtener la llama carburante, neutra, oxidante que sea necesaria para el trabajo que se va a realizar. Durante el trabajo se desajusta la flama, por lo que es necesario reajustarla.

3.4.3. La seguridad en el manejo del equipo oxiacetileno.

Antes de soldar, se deben revisar las juntas y conexiones. No deben tener fugas o grietas. Mantener la zona de trabajo limpia y ordenada. Los cilindros de gas del equipo, se deben colocar verticalmente y fijos a una estructura firme, para en caso de una explosión o fuga, estos no salgan volando. Los cilindros nunca se aceitan, ni se golpean; se les debe colocar un capuchón de protección, para que la llave no se llene de polvo, se colocan en una zona bien ventilada para evitar acumulación de combustible en una posible fuga de gas.

Si un tanque con fuga se prende se debe cubrir con una manta húmeda, luego usar extintor y alejarlo del resto de los demás tanques. Hasta que el fuego se

¹³⁰ Galvery, *Loc. Cit.*

consume. La persona que mueva este tanque también debe humedecer su ropa para evitar que se propague la flama. El equipo de seguridad personal consta de ropa no holgada de algodón y aislante de temperaturas (tela gruesa). Uso de guantes y peto de camaza; goggles para oxiacetileno y zapatos de seguridad.

Es importante: nunca soldar sobre superficies flamables. No usar el acetileno a una presión alta. Nunca se abre la válvula de forma violenta y súbita. La postura de abrir válvulas es siempre de lado (no de frente al tanque) y de forma lenta. Nunca respirar los gases directamente. Y verificar los colores estandarizados (rojo para gas de acetileno y verde para gas de oxígeno). Nunca cambiar los colores de las mangueras.

Debe abrirse momentáneamente la válvula de cada cilindro para que descargue a la atmósfera el polvo y las impurezas que pueden estar en las mangueras. A esto se le llama desobstrucción de válvulas o "purgar el soplete". Las válvulas del cilindro de oxígeno siempre giran a la derecha. Y las del acetileno (válvulas y maneral) giran a la izquierda. Este arreglo evita que se conecte el maneral o las válvulas en un tanque equivocado. Al calibrar el cono puede ocurrir el fenómeno de *retroencendido* (la flama chilla y se apaga) o el de *fagonazo* (la flama se alarga y humea) esto es normal y se debe a la mala presión de la mezcla, boquilla obstruida o mangueras enroscadas que impiden el libre flujo de los gases.

Mientras se usa el soplete se libera un espacio de 2 metros en torno a la zona de trabajo. Pues las chispas llegan alcanzar lejos hacia materiales que pueden quemarse. La secuencia correcta para apagar el soplete es, primero la válvula de acetileno y después la válvula de oxígeno.

Conclusiones

Una de las hipótesis fundamentales de esta investigación fue el saber, *si el trabajo artesanal en sus aspectos técnicos podría describirse analíticamente*. Esta hipótesis representó la dificultad de comprobar, si el trabajo de taller es básicamente la producción de objetos particulares, según el diseño de cada pieza. Tal vez sería difícil describir características generales de una actividad eminentemente práctica, ya que un proceso de producción técnica siempre admite muchas variantes; así surge la pregunta: ¿Con cuánta fidelidad se podría describir algo que se conoce por la práctica y la experiencia, más que por su lectura? Y además, ¿qué tan claro y estructurado sería describir los materiales y herramientas empleados en un proceso inherentemente práctico?

Esta aparente división entre teoría y práctica, parecía imposibilitar la investigación de un proceso totalmente práctico, como lo es el desarrollo de una técnica. La solución que se dio ha sido la siguiente:

En gran parte del texto se menciona técnica o lo técnico como una entidad abstracta, cómo si existiera "la técnica" en general. Realmente en base a la investigación se puede concluir que no existe la técnica en un sentido abstracto. Más bien, cada técnica como caso particular impone sus propias herramientas y sus propias soluciones materiales. Esto se comprueba no sólo por la gran comunicación en el intercambio de asesorías o consultas técnicas, entre los distintos talleres de la escuela de artesanías. Sino que, cómo se menciona en el capítulo uno, históricamente los talleres como los antiguos gremios, siempre han dependido técnicamente unos de otros, siempre se ha dado una interrelación técnica, que afianza la identidad regional y cultural de una zona de producción artesanal. Así, las técnicas surgen, se actualizan y se suplantán unas a otras gracias a su propia interrelación. Donde cada una está desarrollada en función de un tipo de material y de resultado, sea un resultado estético o utilitario.

Si las técnicas emplean distintos medios y fines, el rasgo común que comparten radica en que todas son conocimientos. Siguiendo la definición

clásica de técnica artesanal como *techne* o "saber hacer"; éstas son conocimientos y debido a su enseñanza y transmisión se generan conocimientos poseen reglas y normas de acción que apuntan a una finalidad productiva, aunque admiten revisiones y actualizaciones, son susceptibles de enseñarse y transmitirse. Esto se pone de manifiesto ya que existen técnicas que datan de cientos o miles de años y han sufrido muy pocas variaciones.

El conocimiento técnico artesanal se ha venido transmitiendo por medios verbales y empíricos en el interior de una comunidad artesanal. Ésta es la doble cualidad del conocimiento técnico, posee su parte "verbal" y su parte empírica. Situación que es muy importante para comprender el estatus discursivo que puede tener la práctica técnica de tipo artesanal. Siendo que al transcribirse dicha práctica técnica en un saber discursivo, la transmisión de este saber no sólo basta con un medio verbal dado a modo de indicaciones prácticas, normas y reglas, como tampoco basta con un medio escrito, sino que necesita experimentarse con cierto número de casos prácticos sobre las soluciones (estéticas o utilitarias) que necesita resolver el aprendiz de dicha técnica.

Desde este contexto es claro ver que para lograr el aprendizaje de una técnica, existe una primacía del saber práctico (conocimiento técnico-operativo) sobre el saber teórico (conocimiento teórico-proyectivo), sin que el primero elimine al segundo, sino que ambos se complementan. Pero... ¿Cómo se corresponden los conocimientos técnico-operativos y los conocimientos teórico-proyectivos?, ¿Qué se entiende por conocimiento técnico-operativo y conocimiento teórico-proyectivo, y cuál es su relación con la hipótesis de las técnicas como un conocimiento discursivo?

En el caso de las técnicas para trabajar del hierro, *los conocimientos técnico-operativos* serían un conjunto de saberes sobre reglas, normas y medios que confrontados por la experiencia guían la acción productiva en un proceso trabajo artesanal. A pesar de que estos conocimientos se expresen discursivamente (como se describen en este trabajo, algunas normas y medios materiales o herramientas) son siempre un *saber práctico*; un "saber cómo..." (Saber cómo hacer tal o cual cosa). Mientras que los conocimientos teórico-proyectivos (saberes teóricos) vienen a ser *la información histórica, estética,*

de diseño y demás medios teóricos que sirven para idear conceptualmente un proyecto artesanal.

Si el aprendizaje del conocimiento técnico artesanal involucra saberes teóricos y saberes prácticos, el estudio de la artesanía, debe iniciarse desde sus fundamentos materiales. Ya que las técnicas siempre tienen por finalidad la creación de un objeto material, es decir un objeto físico. "La técnica y el material son el principio de realidad, donde se confronta todo proyecto, toda idea y toda estética artesanal que se plantee".

En base a la investigación, considero que sí sería posible profundizar más en una descriptiva analítica de los materiales, las herramientas y los procesos, de las diversas técnicas artesanales que se practican en los siete talleres de la escuela de artesanías. Este tipo de investigación sería un trabajo multidisciplinario, en donde se entienda a la técnica como un tipo de saber. Y en tanto saber, es posible sistematizarlo desde sus bases materiales y luego técnicas, pero siempre contrastando la información en la práctica de taller, con la participación activa de los docentes del mismo. Considero que una investigación así podría perfilarse para documentar y preservar el conocimiento técnico artesanal, además de formar una colección de manuales técnicos para uso didáctico, sujetos a revisión y actualización.

Finalmente, espero motivar a la comunidad artesanal, para que los alumnos que están próximos a titularse, consideren lo primordial que resulta realizar una investigación sobre el trabajo artesanal hecho en la escuela. Es de suma importancia generar un acervo de documentos sobre problemas y temas artesanales, hasta formar una tradición discursiva propia que reduzca la aparente brecha que a veces parece existir entre la teoría y la práctica.

Creo que una investigación que reúna ambas áreas debe estar basada en información científica y tecnológica, así como en el conocimiento dado por la experiencia que cada artesano desarrolla en el taller. Lo anterior no suprime de ningún modo la sensibilidad, la imaginación, o la pasión con que se resuelve cada pieza, sino que, lejos de hacerlo, coadyuva a ello brindando referencias epistemológicas y metodológicas, para acrecentar el potencial creativo que cada alumno se plantea en cada proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) BLANDFORD, Perey. Traducción Enrique Molina. *Manual de herrería y metalistería*. México, editorial Limusa 1986. 437p.
- 2) BRINKMANN, Donald. Traducción. José María Coco. *El hombre y la técnica*. Argentina, editorial Galatea 1955. 124p.
- 3) BROM, Juan. *Esbozo de Historia Universal*, México, editorial Grijalbo 18ª ed. 1965. 263p.
- 4) CHEVILLOT, Catherine; "Escultura de hierro colado en la Francia del siglo XIX". en *El arte del hierro fundido*. México, editorial Artes de México 2004. 11p.
- 5) DE DORA, Grinberg. *Los señores del metal, minería y metalurgia en Mesoamerica*. México, editorial Pangea -CONACULTA 1990. 60p.
- 6) DE BUEN, Oscar. *Nociones de metalurgia de la soldadura*. México, UNAM editorial Facultad de Ingeniería 1997.151p.
- 7) DE LA BORBOLLA, Daniel; *Arte popular mexicano*. México, editorial FCE 3ª 1974.302 p.
- 8) ECO, Humberto. Traducción Lucia Baranda y Alberto Claveria. *Como se hace una tesis*. Barcelona, editorial Gedisa 2003. 231p.
- 9) FERNANDEZ, García y otros autores. *El hierro y sus aplicaciones*. En Biblioteca de la cerrajería actual; Madrid, editorial Daly 1994, 160p.
- 10) GALVERY, William y Frank Marlow. Traducción Esteban Torres. *Gula de soldadura para el técnico profesional*. México, editorial Limusa 2007. 456p.
- 11) GARCÍA, Islas. *Hierros forjados*, México, editorial Anahuac, 1949 68p.
- 12) GÓMEZ, Martínez. Lorenzo. *Acero*. México, editorial FCE. Colección. *La ciencia para todos* 2003. 109 p.
- 13) GRINBERG, De Dora. *Los señores del metal, minería y metalurgia en Mesoamérica*; Ed. Pangea y CONACULTA, 1990 56p.
- 14) HERRERA, José. *Metalurgia en el México Antiguo* (en línea). Disponible en http://www.raulybarra.com/notijoya/archivosnotijoya8/8metalurgia_mexico_antiguo.htm
- 15) HOSLER, Doroty. Los orígenes andinos de la metalurgia del Occidente de México (en línea). Mayo 2005. Disponible en <http://www.lablaa.org/blaavirtual/publicacionesbanrep/bolmuseo/1997/enjn42/enjn01a.htm>
- 16) HOSLER, Dorothy. Traducción. Eduardo William, Jorge Feuchtwanger y Diego Mendez. *Los sonidos y colores del poder la*

- tecnología metalúrgica sagrada del Occidente de México*; México, editorial El Colegio Mexiquense 2005, 448p.
- 17) HOWARD, Cary. Traducción. Pozo, Virgilio. *Manual de soldadura moderna Vol. I y Vol. II*, México, editorial Prentice Hall 1992. 443p
- 18) ILLADES, Carlos. *Estudio sobre el artesanado urbano del S. XIX*, México UAM 2001. 179p.
- 19) LESUR, Esquivel Luis. *Manual de herrería, una guía*. México, editorial Trillas 1993. 151p.
- 20) MORRAL, Francisco y otros autores. *Metalurgia general*. Barcelona, editorial Reverte 1982. 693p.
- 21) NELLY, John. Traducido por Silva, Osvaldo. *Metalurgia y materiales industriales*. México, editorial Limusa 1999. P 481
- 22) ORTIZ, Angulo Ana. *Definición y clasificación del arte popular México*. Editorial INAH 1990. 150p.
- 23) PEÑALOZA, Martínez Porfirio. *Tres notas sobre el Arte Popular en México*. Editorial Porrúa 1980. 123p.
- 24) PEREY, Blandford. Traducción Enrique Molina García. *Manual de herrería y metalistería*. México, editorial Limusa 1986. 437p.
- 25) QUINTANILLA, Miguel Ángel. *Tecnología: un enfoque filosófico*. Madrid, editorial Fundesca, 2002, 135p.
- 26) RIFFARD, Pierre; traducción Néstor Migués, *Diccionario del esoterismo*. Madrid, Alianza 1987. 476p.
- 27) SOURIAU, Etienne. Traducción Grasa I. *Diccionario de estética*. Madrid, Akal, 1990. 1087p.
- 28) TREVOR, Williams. Traducción. C. Caranci y otros. *Historia de la tecnología*. Vol. I, Madrid edit. s.XXI 394p.
- 29) WIECZOREK, Erich y Leben Hugo. Traducción Federico J. Melber. *Tecnología fundamental para el trabajo de los metales*. editorial Gustavo Gili 1972. 347p.
- 30) XIRAU, Ramón. *Introducción a la historia de la filosofía*, México, UNAM. 2001. 572p.
- 31) Metalurgia prehistórica (Documento en línea). Disponible en: <http://www.antropos.galeon.com/html/mealurgia.htm>
- 32) Metalurgia prehistórica (Documento en línea). Disponible en: http://www.raulybarra.com/notijoya/archivosnotijoya8/8metalurgia_mexico_antiguo.htm
- 33) La hojalatería, arte oficio y realidad. cuaderno # 22, de la colección "cuadernos de cultura popular", CIDAP, Ecuador. Disponible en: <http://www.cidap.org.ec/aplicaciones/publicaciones/archivos/La%20hojalatería.pdf>