

3552

# ESTUDIO METALURGICO DE LOS ARTEFACTOS DE LA ANTIGUA EDAD DEL HIERRO HALLADOS EN COREA

Una introducción a la  
Metalurgia Prehistórica  
del hierro

DONG-SUK YOON, PH-D  
Instituto de Tecnología  
Industrial  
Universidad de Corea

EDICION DEL DEPARTAMENTO DE MECANICA del  
INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL



**ESTUDIO METALURGICO DE LOS  
ARTEFACTOS  
DE LA ANTIGUA EDAD DEL HIERRO  
HALLADOS EN COREA**

(Una introducción a la metalurgia prehistórica del hierro)

**DONG-SUK YOON, Ph.D**  
Instituto de Tecnología Industrial  
Universidad de Corea

Editor  
**JOON-SHIK KOH**  
Presidente  
Pohang Iron and Steel Co., LTD

SECRETARIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO  
EDICION DEL DEPARTAMENTO DE MECANICA  
del INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL

(INTI)

Traducción de la versión inglesa  
del libro coreano titulado:  
**"Metallurgical Study of the Early Iron Age  
Artifacts Found in KOREA"**  
Editado en 1984

Versión española:  
Carlos A. D'Orio e Ing. Massimo Bressan

Revisión técnica:  
Ing. Mario Quinteiro, Master en metalurgia

Departamento de Mecánica  
Instituto Nacional de Tecnología Industrial  
Miguelete, Buenos Aires, R. Argentina  
ISBN 950-532-095-7

## PROLOGO A LA PRIMERA EDICION

El acero es una de las dádivas más preciadas que la humanidad recibió de Dios. La invención del acero originó un renacimiento en la historia humana. Como una consecuencia de su desarrollo, hace varios miles de años, la tecnología de la producción del acero se propagó a través del globo desempeñando un doble rol de utilidad y lazo de unión entre los diferentes pueblos en una común aspiración de progreso para la civilización humana.

El pueblo de Corea usó el acero mucho tiempo antes de la era cristiana y lo exportó a China y a Japón. La temprana excelencia de la herencia de esta nación en la metalurgia estuvo también corroborada por la invención de una imprenta de tipos móviles dos siglos antes de Guttenberg y la aparición del primer barco recubierto de acero en el siglo XVI.

La industria coreana del acero entra en pleno desarrollo alrededor de 1960, emergiendo de un prolongado letargo, con la firme creencia de que el progreso histórico se puede acelerar sin omitir las etapas necesarias en el camino. La Pohang Iron and Steel Co. se comenzó a construir en 1970, floreció como una gran empresa integrada para la producción de acero en el breve tiempo de poco más de diez años. El logro de las actuales 9,1 millones de toneladas, sobrepasando la expectativa de la comunidad internacional del hierro y del acero, es consecuencia de las antiguas tradiciones y de un acuerdo nacional sobre el significado del acero para Corea.

Hoy existe un ferviente deseo de la industria del hierro y del acero para dar un nuevo impulso a su crecimiento y desarrollo. Con este fin la POSCO ha fomentado programas de investigación que incluyen el tema del presente volumen, "UN ESTUDIO METALURGICO DE LOS ARTEFACTOS DE LA ANTIGUA EDAD DEL HIERRO DESCUBIERTOS EN COREA", investigación realizada por el Instituto de Tecnología Industrial de la Universidad de Corea. El propósito de este estudio es dar más luz a la tecnología y a los métodos de producción usados por los antiguos fabricantes de acero de la península de Corea.

Como la diseminación del conocimiento en el campo de la fabricación del hierro y del acero se proyecta en el desarrollo de esta industria, nosotros hemos traducido al inglés los hallazgos de este estudio. En la modernización de su industria del acero, Corea ha tenido invaluable apoyo de la industria internacional del hierro y del acero. De aquí nuestro deseo de retribuir a través de nuestra contribución al desarrollo de la industria y al bienestar público en los próximos años. Este estudio limitado a las antiguas tecnologías, es únicamente un paso inicial hacia una más completa compilación histórica de la industria coreana del hierro y del acero.

Yo deseo que investigaciones de esta clase puedan contribuir a continuos logros en la industria del acero y plenitud en nuestras vidas.

En conclusión permítanme expresar mi sincero aprecio al Dr. YOON Dong-Suk y a su equipo de colaboradores del Instituto de Tecnología Industrial de la Universidad de Corea por su diligente esfuerzo.

1984

Tae Joon Park  
Director  
Pohang Iron and Steel Co., Ltd

## PROLOGO A LA EDICION ARGENTINA

Este libro, basado en investigaciones arqueológicas y metalúrgicas, describe el origen y el desarrollo de la metalurgia del hierro en la prehistoria coreana, si bien es cierto que el análisis histórico de ese proceso lo comienza el autor con estudios sobre la Edad del Hierro en China; no faltando tampoco la visión de Europa en esa fase de la historia.

Desde el hierro esponja, primer hierro producido por el hombre para su empleo en implementos de trabajo, pasando por el arrabio, las fundiciones, etc., el autor recorre el desarrollo de la producción del acero y otras aleaciones de hierro tomando como base el estudio de los artefactos de la Edad de Hierro encontrados en Corea.

Debido a la amabilidad de la P.O.S.C.O., tenemos la oportunidad de presentar este valioso trabajo al estudioso argentino y latinoamericano.

La obra, profunda y amena a la vez, no ha podido encontrar un mejor ambiente para su versión española que el del Departamento de Mecánica del INTI, Instituto reconocido mundialmente.

El estudio de la historia de los países contribuye al mejor entendimiento entre los pueblos, permitiendo de este modo el afianzamiento de los lazos de amistad entre las naciones. Creemos que esta traducción será el medio propicio para profundizar dichos vínculos entre Argentina y Corea, ampliando nuestras relaciones culturales.

Deseo expresar, finalmente, nuestro reconocimiento al señor Carlos A. D'Orio y al ingeniero Massimo Bressan del INTI por su valiosa iniciativa y esfuerzo para hacer realidad la publicación de esta obra.

Buenos Aires, 11 de febrero de 1992

HAYSON KIM  
Embajador de la República de Corea

## NOTA DE LOS TRADUCTORES

El mundo que estudia nuestra cultura difícilmente llega a conocer más allá de Europa y los Estados Unidos. Nuestros lejanos orígenes americanos se remontan sin embargo a esas regiones del Asia de las que habla este libro.

Hubo un tiempo en que se decía que fabricar caramelos o acero daba lo mismo. La república de Corea, con su impetuoso desarrollo, nos muestra todo lo contrario en su afán por alcanzar uno de los primeros lugares en la producción de acero en el mundo.

Por esa misma limitación del mundo de nuestra cultura es que estamos perdiendo junto a la universalidad, las raíces de nuestra propia nacionalidad. Si no reaccionamos a tiempo dejaremos de ser Nación. Corea busca también en este estudio profundizar más en sus propias raíces para proyectarse hacia el futuro. Es una buena lección.

El libro combina dos disciplinas en la búsqueda científica, la prehistórica y la de la metalurgia del hierro y a nuestro entender es una muy buena introducción, plenamente didáctica, a esas dos ciencias.

Para ayudar a una más fácil lectura hemos preparado un breve vocabulario y una cronología de Corea y China.

Pensamos que esta traducción será útil para nuestros compatriotas y para nuestros hermanos latinoamericanos.

Agradecemos a quienes facilitaron la edición del libro en su versión española, al Lic. Wan Su Park, a la Lic. Chong Ku Chun, a la Srta. Teresa Chun de la Embajada de la República de Corea, a todos los compañeros del INTI y amigos que nos alentaron y también, porque no, a los que nos pusieron piedras en el camino, "las piedras ayudan a saltar los charcos".

Los traductores



# I N D I C E

## PARTE I. ARTEFACTOS HALLADOS EN POBLADOS Y EN CONCHEROS

1. Prefacio.....	3
2. Desarrollo de la cultura de la Edad del Hierro.....	5
2.1 Una historia concerniente al nacimiento de los implementos de hierro.....	5
2.2 El hierro y su manufactura en la antigua China.....	6
1) Desarrollo del proceso metalúrgico.....	6
2) Desarrollo del arrabio.....	7
3) Hierro esponja y acero carburizado.....	11
4) Del hierro esponja carburizado al acero martillado.....	12
5) Desarrollo del acero "tostado" (parched steel) y del acero martillado.....	15
6) Metalurgia del acero de hierro sumergido hecho de arrabio.....	18
3. Características de los sitios excavados en la península de Corea.....	21
3.1 El valle del río Han.....	21
1) Sitios.....	21
2) Artefactos acompañantes.....	24
3) Restos metalúrgicos de hierro.....	27
3.2 El valle del río Naktong.....	30
1) Sitios.....	30
2) Artefactos acompañantes.....	33
3) Restos metalúrgicos de hierro.....	34
3.3 Sitios relacionados con la distribución de depósitos de minerales de hierro.....	34
1) El valle del río Han.....	34
2) El valle del río Naktong.....	35
4. Métodos analíticos de los artefactos de hierro.....	39
4.1 Características de los artefactos.....	39
1) El valle del río Han.....	39
2) El valle del río Naktong.....	39
4.2 Métodos de análisis químicos.....	42
4.3 Análisis microscópico.....	42
5. Análisis e interpretación.....	45
5.1 Cuchillo.....	45
5.2 Clavo.....	46
5.3 Punta de flecha.....	50
5.4 Hoz.....	53
5.5 Cincel.....	56
5.6 Otros objetos de hierro forjado.....	56
5.7 Hachas de hierro y fundición.....	59
5.8 Escoria de hierro.....	62
6. Proceso de producción de hierro.....	66
6.1 Desarrollo de la manufactura de hierro.....	66
6.2 Desarrollo de los procesos de producción del hierro.....	68
7. Conclusión.....	76

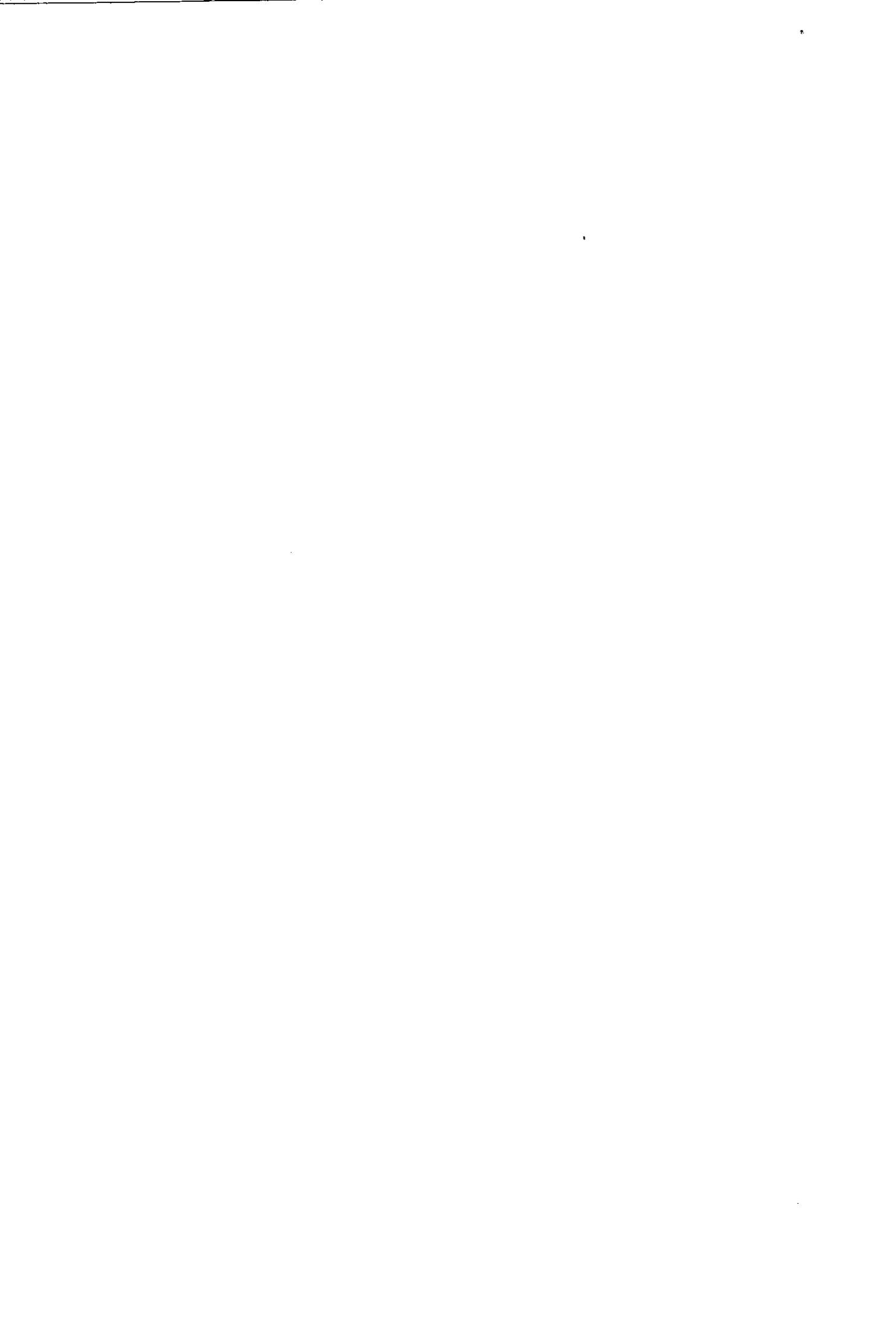
## PARTE II. ARTEFACTOS HALLADOS EN TUMULOS SEPULCRALES

1. Introducción.....	81
2. Fabricación del hierro en la antigua Europa.....	82
2.1 El advenimiento de la Edad del Hierro.....	82
2.2 Desarrollos en la fabricación del hierro.....	84
2.3 Endurecimiento del hierro.....	87
3. Sitios Coreanos de la Antigua Edad del Hierro.....	90
3.1 El valle del río Naktong.....	90
1) Características de los sitios de la Antigua Edad del Hierro.....	90
2) Artefactos obtenidos por excavación.....	92
3) Artefactos acompañantes.....	92
3.2 El valle del río Han.....	92
3.3 El área de Hwanghaedo y Hamgyongdo.....	92
1) Sitios.....	92
2) Artefactos obtenidos por excavación.....	94
3) Artefactos acompañantes.....	94
4. Análisis e interpretación.....	96
4.1 Fundamentos del muestreo.....	96
4.2 Análisis químico.....	100
4.3 Investigación metalográfica.....	105
5. Estudio sobre los procesos de manufactura.....	115
5.1 Fabricación de productos forjados.....	115
5.2 Procesos de manufactura de implementos de fundición.....	117
5.3 Proceso de manufactura de pequeñas barras laminadas.....	118
5.4 Proceso de endurecimiento del hierro.....	119
1) Método de endurecimiento del hierro reducido.....	119
2) Método de ablandamiento del arrabio.....	120
3) procedimiento de manufactura Kuan Kang.....	121
Apéndice:	
Cronología China.....	123
Cronología Coreana.....	123
Vocabulario arqueológico.....	124
Vocabulario metalúrgico.....	124

**PARTE I**

**ARTEFACTOS HALLADOS EN POBLADOS**

**Y EN CONCHEROS**



## 1. PREFACIO

---

El hierro ha ocupado siempre una importante posición en la historia del progreso humano. Desde el punto de vista histórico, puede decirse que el nacimiento de la fabricación del hierro ha hecho una gran contribución al desarrollo de la civilización. Esto es tan cierto que los implementos de hierro no sólo han influido en el desarrollo de poblados, sino que contribuyeron también grandemente al desarrollo territorial, a la rehabilitación y a la prosperidad nacional. El poder nacional depende principalmente de la cantidad de hierro manufacturado. Nuestro país ha alcanzado el 15º lugar en la producción mundial de hierro y acero y logrará el 10º en no mucho más tiempo. (\*)

El estudio del hierro tiene tanta importancia para la cultura histórica como para los aspectos científicos y tecnológicos. Hay que reconocer que la moderna industria se introdujo tan rápidamente en países avanzados como EEUU, los países de Europa y Japón, que la visión tradicional sobre la tecnología existente en esas regiones fue desapareciendo muy lentamente. Por el contrario, debería reconocerse que las raíces de la cultura de la Edad del Hierro en esta península deben consolidarse con el propósito de la formación espiritual para establecer nuestras propias bases y pasar a ser un país avanzado, pues también la cultura occidental fue introducida por la aptitud nacional apoyada en ese tradicional fundamento.

Se debería también analizar por que nuestro país se ha expandido tan rápidamente. En el caso de países extranjeros, el estudio de la cultura de la Edad del Hierro ha hecho firme progreso. Así por ejemplo, R. F. Tylecote publicó un famoso libro titulado "A History of Metallurgy", en 1976 y Li Chung, de China, hizo un libro llamado "El desarrollo de la tecnología del hierro y del acero en la antigua China", en 1975. En 1962 el informe de la excavación "El Sitio de manufactura del hierro de Kung-hsien", editado por la Academia Nacional de Ciencias China, señala que ya en la antigua China se había introducido la tecnología específica de la fabricación del hierro.

Aunque el comienzo de la Edad del Hierro japonesa es 1000 años más reciente que la coreana, a los escolares japoneses se los ha interesado mucho más en el estudio de la historia del hierro (1). Por ejemplo, el libro titulado "La arqueología del hierro", escrito por Kubota Kurao es no sólo uno de los libros favoritos que circulan entre los arqueólogos japoneses, sino también un libro de introducción acerca de la cultura coreana del hierro.

El resultado del estudio científico de la Edad del Hierro Coreana es pobre, con excepción de algunos estudios morfológicos. Hasta ahora han sido publicados artículos tales como "Investigaciones Metalúrgicas de artefactos de la antigua Edad del Hierro obtenidos por excavación en la cuenca del río Han" (Revista del Instituto Coreano de los Metales, Vol.19, Nº 8:1981) y en "Investigaciones metalúrgicas" en el artículo titulado: "El desarrollo de la tecnología del hierro y del acero en la antigua China" (Rev. de Estudios Arqueológicos Coreanos", Nº 10-11:1981) escrito por D. S. Yoon y "Un estudio de la cultura de la antigua Edad del Hierro en Sud Corea" por Lee, Nam-kyu (J. Estudios Arqueológicos Coreano, Nº 13:1982).

La parte I de este trabajo trata de los sitios excavados en Corea del Sud y artefactos de hierro de la antigua Edad del Hierro que comprende desde el período final de la Edad del Bronce al antiguo período de los Tres Reinos. Al principio he probado rastrear la fabricación del hierro durante los tiempos prehistóricos por medio de relatos con ella relacionados. La península de Corea no sólo está geográficamente rodeada por China continental y limitada por el archipiélago japonés, sino que forman tres áreas significativas, así tanto como la diferenciación cultural es posible.

Es común que la cultura difundida por China pase al Japón vía Corea. La difusión de la cultura del hierro se cree que siguió la misma ruta y por ello mencionaré la técnica de la fabricación del hierro de la antigua China

para ayudar a comprender su desarrollo en Corea.

Aquí voy a describir primeramente las características de los sitios excavados relacionados con la cultura del hierro y a examinar los depósitos de minerales de hierro que rodean esos sitios y después procederé a un análisis de los artefactos y a la interpretación de sus características metalúrgicas en términos de métodos científicos. Es mi propósito en este libro penetrar en el nivel tecnológico de esos tiempos a través del examen del proceso de la manufactura del hierro y su interpretación metalúrgica.

#### *Notas del capítulo 1*

*(1) Chong-bae Kim sostiene que el comienzo de la cultura de la Edad del Hierro en Corea surgió entre los siglos 3-4 a.C. ("On the Iron Age of Korea"). El "Study of Korean History" No 16, 197 y R.F. Tylecote aseguran que la cultura de la Edad del Hierro en Japón comenzó en los siglos 5-7 d.C. ("A History of Metallurgy, 1979:p.49).*

*(\*) En 1988 con la construcción de su segunda acería, Corea pasó a ocupar el décimo lugar en la producción mundial de acero. (Nota del traductor).*

## 2. DESARROLLO DE LA CULTURA DE LA EDAD DEL HIERRO

### 2.1 UNA HISTORIA CONCERNIENTE AL NACIMIENTO DE LOS IMPLEMENTOS DE HIERRO

Nosotros, tanto en el Este como en el Oeste no tenemos ningún dato arqueológico confiable acerca del origen del hierro, pero los relatos históricos podemos sintetizarlos en el diagrama de la figura 1.

Los relatos históricos podemos dividirlos en dos, aquellos relativos al hierro formado metalúrgicamente y los referidos al hierro meteórico. A su vez, el hierro formado metalúrgicamente pudo tener un doble origen. En un caso, la teoría es que el hierro es resultado de la prueba y del error en la producción del bronce, durante la Edad del Bronce anterior a la Edad del Hierro.

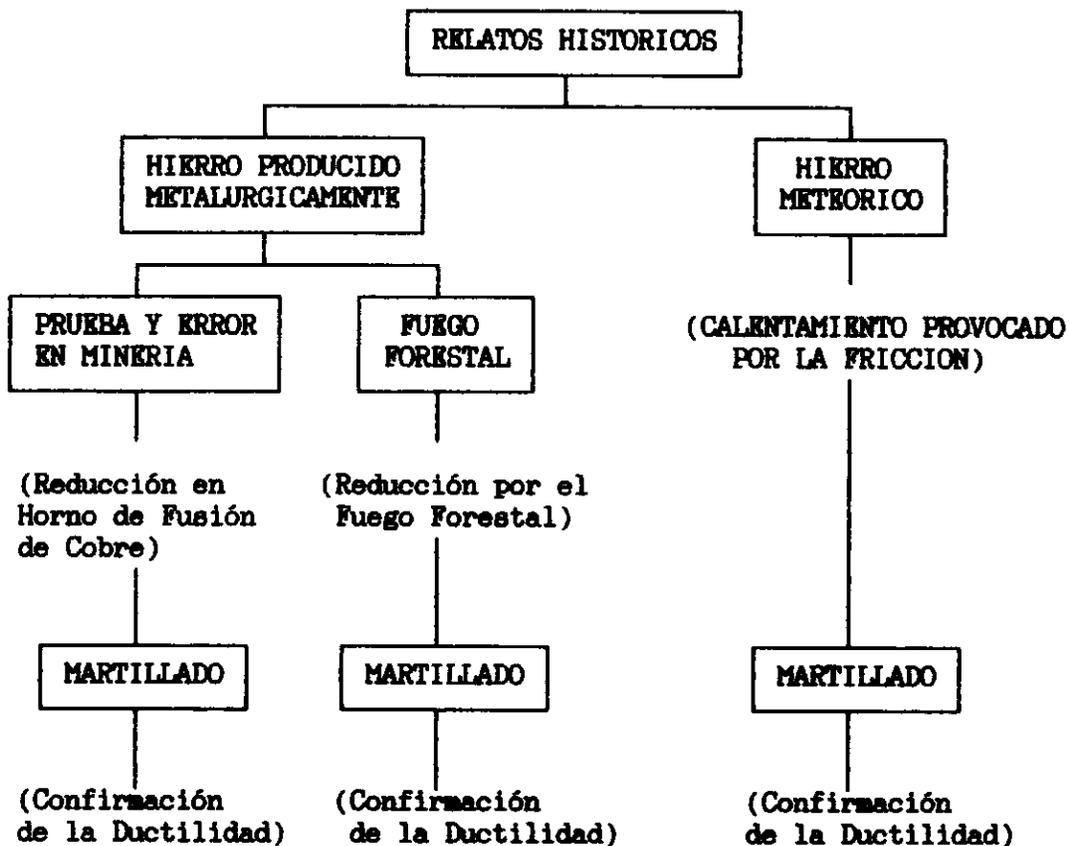


FIG.1. Diagrama sistemático concerniente al origen de los implementos de hierro.

Se dice que el metalúrgico durante la calcinación del sulfuro cuproso ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), puso hematita en el horno accidentalmente en lugar de óxido cuproso ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), que tiene el mismo color rojo de la hematita. A  $1000^\circ\text{C}$ , la temperatura de fusión del cobre, el hierro no funde pero si en cambio la ganga de los minerales de hierro se transforma en escoria fusible y el óxido de hierro parcialmente reducido se convierte en hierro esponja poroso que presenta ductilidad en caliente.

En el otro caso, la teoría supone que la ductilidad del hierro se conoció del estado plástico del hierro remanente de los afloramientos minerales después de un incendio forestal.

La teoría meteórica supone que se encontró la ductilidad por martillado del hierro calentado por la acción del rozamiento con la atmósfera terrestre.

Algún material encontrado en China da pié a la teoría del hierro meteórico. El hacha de cobre con hoja de hierro, conteniendo 2,5% de NiO y 0,25 de CoO, se encontró en el sitio de Kao ch'eng ts'un, China, pertenecía a la mitad de la dinastía Shang (alrededor del siglo XIV a.C.), particularmente al período de la antigua cultura Yin-hsu. Tales elementos como Ni y Co no se encuentran en la mayoría de los minerales de hierro existentes en la tierra excepto en el hierro meteórico. Presentan la misma composición química los útiles de cobre con hojas de hierro encontrados en Chun hsien, identificados como pertenecientes al período Chou occidental.

## 2.2. EL HIERRO Y SU MANUFACTURA EN LA ANTIGUA CHINA

### 1) DESARROLLO DEL PROCESO METALURGICO

Los antiguos metalúrgicos en China, durante el último período de Ch'un Ch'ie (alrededor del siglo VI a.C.), haciendo una masa de hierro que era pura pero no densa, crearon un proceso de reducción de los minerales de hierro usando carbón a relativamente baja temperatura (800-1000 °C). Posteriormente eliminaron las impurezas incluidas por medio del proceso de forjado. A este proceso se lo llamó proceso de reducción sólida a baja temperatura o proceso del hierro esponja y su resultado es el hierro forjado o el hierro esponja según el caso.

En este libro, el autor ensaya diferenciar el hierro forjado obtenido de este hierro esponja del hecho por "tostado" (parching) del arrabio conteniendo más de 2 % de carbono (por medio del llamado pudelado) y también puntualizar que esta clase de hierro esponja no es por completo diferente del moderno hierro esponja obtenido por reducción directa.

Los metalúrgicos en las postrimerías de la época de los Estados Combatientes de China se habían acostumbrado al método de manufactura de acero de 0,02-2,0 % de carbono por medio de la carburización del hierro esponja antes mencionada, pero no podían distinguir con bajo contenido de carbono los límites entre el acero forjado y el hierro puro. El hierro se transforma en acero, por sobre los 900 °C por medio del carbono difundido en él, cuando se le calienta y martillea repetidamente con carbón de leña. A mayor temperatura el carbono se difunde más rápidamente.

Durante uno o dos siglos, en aquel tiempo, el método de martillado de las "cien refinaciones" del hierro esponja mejoró el producto por repetidos martillados que originaban una mejor distribución del carbono y la disminución de las impurezas en el acero.

Antes y poco después del antiguo período de los Estados Combatientes de China, durante el habitual método de la manufactura del hierro esponja, el metalúrgico de la antigua China pasó a crear arrabio con más de dos por ciento de carbono, 1800 años antes que lo hicieran otras regiones y a producir herramientas con esta aleación casi en el mismo período de la fabricación de hierro esponja.

El uso de fuelles acompañando al desarrollo de la técnica de la fabricación del cobre permitió alcanzar los 1100 - 1200 °C. Esta temperatura es más alta que el punto de fusión del cobre (1083 °C). Cuando el hierro sólido hecho por reducción del mineral con carbón de leña absorbe carbono, el punto de fusión del metal cae lentamente.

Con 2% de carbono el acero comienza a fundir a 1380 °C, temperatura que es inferior que la de fusión del hierro puro (1537 °C), con mayor contenido de carbono el punto de fusión continúa decreciendo, llegando finalmente a 1146 °C con 4,3% de carbono. Sobre 1146 °C, la aleación hierro carbono con 2 % de contenido de carbono es parcialmente líquida (ej. 11 % sólida a 1200 °C) y finalmente aparece el arrabio con la rápida absorción de carbono.

Debido a la falta de calor y bajo contenido de Si (silicio) durante la metalurgia del arrabio en la antigüedad, la cementita (Fe<sub>3</sub>C) aparece en lugar del grafito durante la solidificación, resultando ledeburita a 1146 °C

constituida por austenita y cementita. La ledeburita es el microconstituente eutéctico y este arrabio duro y quebradizo se llama fundición blanca.

Para mejorar la calidad del arrabio, el metalúrgico de los antiguos Estados Combatientes logró una técnica de tratamiento térmico de ablandamiento, con la cual el hierro y el grafito se separan de la cementita en la fundición blanca.

Además de remediar los defectos de la fragilidad en la fundición blanca, la técnica de la manufactura de la fundición maleable (fundición dúctil) se difundió por todo el mundo.

Con el desarrollo de técnicas metalúrgicas para incrementar la temperatura durante la fusión y disminuir la velocidad de enfriamiento aparece la fundición atruchada con la dispersión del grafito laminar durante la solidificación de la fundición blanca, en la última parte del período de los Estados Combatientes.

La fundición gris aparece a mediados de la dinastía Han Occidental (antiguo Han) cerca de dos siglos a.C. Es un arrabio compuesto de grafito laminar con más de 2 % de carbono pero sin ledeburita.

Antes de la mitad de la dinastía de Han Occidental los artefactos martillados y fundidos se hacían principalmente de hierro esponja y arrabio.

La aplicación del horno de fosa y el desarrollo del proceso de fusión en crisol mejoró grandemente la productividad de arrabio y así se suministró rica materia prima para la manufactura de acero, además del avance de la tecnología en la producción de acero tanto como el acortamiento del tiempo de producción. La técnica de fabricación de acero pudelado o acero "tostado" (parching steel) aparece durante el período de tiempo que va desde la dinastía Han Occidental a la antigua dinastía de Han Oriental (Han tardío).

Este método es así: el arrabio por calentamiento vuelve al estado líquido y semilíquido luego se inyecta oxígeno o mineral molido de hierro para eliminar carbono. El hierro forjado o el acero con diferente contenido de carbono se usó para el acero forjado de las "cien refinaciones", reemplazando al hierro esponja. El acero pudelado conteniendo carbono se pudo usar para la manufactura de utensilios de hierro.

El arrabio así decarburado se usaba para la manufactura de objetos de hierro de forma complicada en el período Wei-Chin, no aplicándose tratamiento térmico, por no ser necesario regular la separación de grafito.

El método llamado de "reemplazo del martillado con fusión" era un método simple y económico para obtener objetos complicados de hierro y acero completamente similar al proceso de acero fundido con bajas impurezas. Para superar las dificultades en el control del contenido de carbono en el acero pudelado o tostado (parching steel), los metalúrgicos comenzaron a buscar un nuevo método para el acero, en el cual el hierro forjado se hacía por tostado (parching) del arrabio y luego a la masa fundida se agregaba arrabio para aumentar el contenido de carbono; durante el período de las dinastías denominado Nan Pei Chao.

A esta clase de acero se le llamó acero de hierro-sumergido y el proceso se explicaba en los libros de esa época. Después del siglo X d.C., en Europa, cuando los metalúrgicos habitualmente fundían arrabio, obtenían la materia prima para el acero, aumentando el carbono en el hierro esponja en forma completamente similar al método usado en China. Los metalúrgicos chinos tenían ya desarrolladas en un cierto grado todas las técnicas de fabricación de acero.

En la figura 2 se ve el diagrama sistemático de la tecnología del hierro y del acero estrictamente hablando, la explicación hasta ahora mencionada está en sus comienzos y necesitamos una mayor explicación para comprender más exactamente la metalurgia china del hierro y del acero.

## 2) DESARROLLO DEL ARRABIO

Los artesanos durante la época del Ch'ün Ch'ie y durante el período de

los Estados Combatientes habían desarrollado aceleradamente la técnica de la manufactura del hierro, basados en la técnica de la manufactura del bronce.

El pueblo chino usó artefactos hechos de arrabio por lo menos durante el antiguo período de los Estados Combatientes. Recientemente el Museo de Lo yang extrajo por excavación una azuela de hierro (1), el más antiguo (cerca del siglo V a.C.) entre los implementos hechos de arrabio, de una fábrica de cemento de la ciudad.

La azuela estaba completamente herrumbra con excepción de una pequeña parte que revela una estructura ledeburítica, peculiar del arrabio y una capa de perlita en la superficie. La capa de perlita encontrada en la superficie de la azuela mejoró la calidad de la fundición blanca dándole tenacidad. Tal estructura de capas, de ledeburita a perlita y de perlita a ferrita son tan finas que deben haber sido obtenidas por recocido de una estructura austenítica en un estrecho rango de temperatura (poco más de 727 °C.).

Con una temperatura un poco mayor y más tiempo era obtenida fundición dúctil creando grafito por recocido. La estructura mencionada antes revela que podía ser una antigua etapa de la fundición dúctil y es un ejemplo de el desarrollo del proceso de recocido.

Una azada acompañando a la azuela, en el mismo lugar, es completamente similar a la azada descubierta en la tumba N°24 de Ch'i-tsun, Han tan hsien, Hopei y también a la azada de la tumba N°5 de Ku wei-tsun, Hui-hsien, en forma y longitud.

De acuerdo al análisis estructural, este artefacto está compuesto de fundición dúctil obtenida por un tratamiento de ablandamiento de fundición blanca y una matriz de ferrita pura de la cual el carbono está eliminado.

Esto también revela que el carbono se ha transformado en grafito de recocido con forma de copos.

Debido a la profundidad de la herrumbre es difícil discriminar si se trata de ferrita en una matriz de fundición dúctil, pero si parece estar hecha de fundición dúctil. Si es así, la técnica de ablandamiento y tratamiento de recocido se aplicó en la fabricación de la azada para manufacturar fundición dúctil.

Una pala descubierta en el sitio N° 314 de Shih tzu ts'en, Chang shia(2), incluida en el período de transición de Primavera y Otoño al de los Estados Combatientes es casi igual a una encontrada en 1957 (3), incluida en el período de los Estados Combatientes y hecha de fundición blanca. Podemos asegurar que los dos objetos están hechos por igual tipo de manufactura.

Este resultado revela que no sólo los artesanos chinos estaban habituados al tratamiento térmico, en los siglos V-VI a.C., sino que también se aplicaba el proceso de recocido para obtener fundición maleable. Y que también tal tratamiento térmico jugó un importante rol para elevar la productividad durante el período de los Estados Combatientes de las dinastías Ch'in y Han.

La fundición dúctil se obtiene de la fundición blanca por el método de recocido a alta temperatura durante un período de tiempo prolongado (900 °C durante 3 a 5 días). Este tratamiento térmico descompone la cementita en grafito que luego, toma la forma de copos. La fundición dúctil se creó por ablandamiento por recocido para mejorar la calidad de la fundición blanca con el aumento de la temperatura y del tiempo de recocido.

Esta clase de fundición dúctil se aplicó ampliamente en la fabricación de implementos de labranza y armas en la última fase del período de los Estados Combatientes.

Los implementos de hierro descubiertos en Chang shia en 1957 (4), una azada escardadora de forma hexagonal de Tung lu shang incluida en el fin del período de los Estados Combatientes (5), una azuela, una azada escardadora hexagonal y una férula de arpón obtenidas por excavación del sitio N°44 de Yen hsia tu, I-hsien (6) presentan totalmente la misma clase de es-

estructura. Una cantidad de implementos de hierro desenterrados en Min ch'ih, Honan (7) y Nan yang (8) pertenecientes a la dinastía Wei-Han tienen similar estructura de fundición dúctil revelando la difusión de la técnica de la fundición dúctil.

De acuerdo a los análisis de las azadas escardadoras hexagonales de T'ung lu shan y Yen hsia tu, la superficie de esos implementos está hecha de acero de bajo contenido de carbono por recocido y también el interior está hecho de perlita y ledeburita para mejorar la calidad de los implementos de labranza.

Durante el uso la superficie de la hoja se fue gastando exponiendo su interior. Dos propiedades contradictorias, una con otra, dureza y flexibilidad se requerían en unos mismos instrumentos de labranza. Esta técnica se propagó extensamente del estado Yen al área de Ching Ch'ü durante el último período de los Estados Combatientes y también fue desarrollada en muchos implementos de acero obtenidos de fundición por tratamiento decarburante. La fundición atruchada se creó combinando la fundición blanca y la gris durante el uso de fundición.

Un martillo descubierto en T'ung lu shan perteneciente al último período de los Estados Combatientes revela la existencia de grafito laminar (9). Una pala de la tumba N°2 de Man ch'eng, Hopei perteneciente a la mitad del Han Occidental tiene la misma estructura (10).

Muchas piezas manufacturadas de hierro revelan una alta técnica uniformada sucesora de la tradicional fundición de bronce.

El paso de moldes de cerámica a metal, simples a dobles y del exterior al interior es buena evidencia de un continuo mejoramiento de la productividad, tecnología y formas de la fundición de hierro. A juzgar por la azuela fundida, recientemente descubierta en Lo yang, la azada escardadora, el hacha y el cincel del sitio de fundición de la ciudad de Yen, de Hsing lung hsien, en Hopei ellos muestran una alta tecnología uniformada en el diseño de los moldes y en la práctica de fundición en un breve tiempo que va desde el antiguo al reciente período de los Estados Combatientes, mostrando un avanzado nivel de las técnicas de fundición de hierro en el Han occidental (Han antiguo) (11).

La tecnología de la fundición de hierro fue altamente mejorada de acuerdo a la demanda de productos de hierro. Se debe pensar que el proceso metalúrgico del arrabio debe haber sido desarrollado con la aparición de artefactos de fundición durante el antiguo período de los Estados Combatientes.

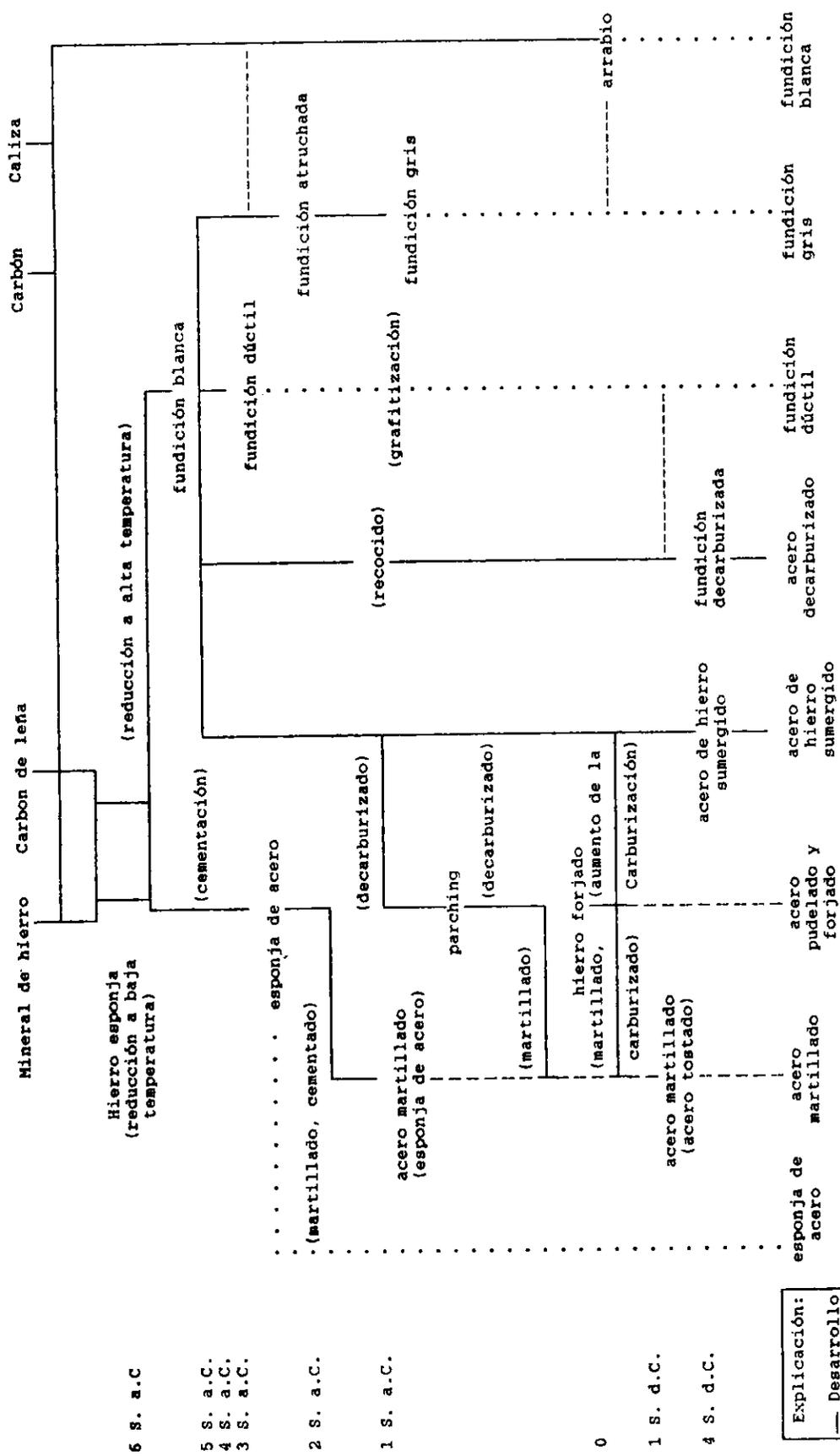
A juzgar por la abundancia de implementos de hierro fundido obtenidos por excavación, el proceso no es difícil de imaginar, podemos inferir el uso del horno de alimentación superior con fuelle con el propósito de la producción en masa de piezas fundidas.

Evidentemente, de acuerdo con la avanzada tecnología de la fundición de cobre en alto horno, fue posible hacer arrabio líquido y elevar la temperatura suficientemente para fundir en molde.

Correspondiendo al desarrollo de las materias primas, los combustibles y los refractarios deben haber seguido esta estandarización. Los hornos de crisol se usaron durante el Han occidental; esta clase de sitios de crisoles se excavaron en Ch'ing ho (12) y Nan yang, Honan (13).

El horno de fosa de fabricación de hierro fue desarrollado. Se desarrolló especialmente la facilidad de manipulación de las materias primas, el uso de fundentes y carbón, se avanzó en técnicas de soplado y se expandieron los hornos. La altura del horno de fosa descubierto en el sitio de fabricación de hierro de Nan yang-hsien, Honan es de 4 metros y su diámetro es de 3 metros. Hornos más pequeños se descubrieron en Lo p'u, Hsin Kang (14).

Esos descubrimientos coinciden con el documento histórico de Han shu. En relación al desarrollo de los hornos, los fuelles de cuero impulsados por fuerza humana se reemplazaron por equipos impulsados por caballos o vacas.



6 S. a.C.

5 S. a.C.  
4 S. a.C.  
3 S. a.C.

2 S. a.C.

1 S. a.C.

0

1 S. d.C.

4 S. d.C.

Explicación:  
 — Desarrollo tecnológico  
 --- Artes industriales  
 ... Objetos manufacturados

Fig.2 Diagrama sistemático del desarrollo de la tecnología y el acero en la Antigua China

Fig.2 Diagrama sistemático del desarrollo de la tecnología del hierro y del acero en la antigua China

Especialmente durante el primer período del Han oriental (Han tardío) se emplearon los fuelles propulsados por fuerza hidráulica 1200 a 1300 años antes que se usaran en Europa.

Este tipo de fuelles fue usado ampliamente durante el período de las dinastías de Wei-Chin (16), resultando así el desarrollo y expansión del horno de fosa, aumentando la productividad, elevando la temperatura y la estabilidad de los productos de hierro. Las toberas de tierra de la dinastía Han descubiertas en los sitios de Wa fang ya en Nan Yang y Ku meng chen, Cheng chou tienen un diámetro interior de 25 centímetros y la capa exterior es mezcla de hierba y arcilla.

La capa de arcilla después de la tobera revela que se calcinó a una temperatura de 1250-1280 °C.

De acuerdo al análisis de la estructura del horno, éste estaba constituido por un soplador de aire caliente con un primitivo intercambiador de calor que aún mostraba la posibilidad de utilizar el calor excedente (17). El uso de aire caliente logró un nuevo escalón en la historia de la fabricación del hierro por el aumento de la temperatura y ayudó no sólo a la producción masiva de fundición gris sino, que aumentó también la calidad del arrabio en la fabricación de hierro con antracita. El desarrollo de las técnicas en las operaciones del horno de fosa hizo posible una buena calidad de los objetos de hierro fundido y candelabros de fundición descubiertos en la tumba N° 2 de la dinastía Han en Man ch'eng y de la dinastía Wei-Han, Min ch'ih, Honan. Tienen similares dimensiones (14x14x10 cm) y casi los mismos componentes químicos.

Los implementos de hierro descubiertos en Yen hsia tienen únicamente 0,01-0,02% de fósforo, debido al hecho de que el contenido de fósforo en el hierro no excede el 0,1% cuando se usa carbón de madera en la reducción de los minerales. El relativamente alto contenido de fósforo de los implementos de hierro del período del Han occidental (0.15-0.35% de P) está probablemente originado por el uso de carbón de piedra como reductor. Los bajos contenidos de azufre son presumiblemente altos en relación al fundente básico desulfurante usado, el cual es generalmente empleado para lograr las pautas modernas de contenido de azufre en arrabio. Otros artefactos de hierro descubiertos, tienen similar composición química.

Trozos de carbón de piedra y piedra caliza encontrados en los sitios de manufactura de hierro de la dinastía Han como Kung hsien y Ku meng chen, Cheng chou permiten esta presunción, pero necesitamos mas datos para poder probarla (18).

Sintéticamente, la técnica de la manufactura del hierro en la antigua China hizo un rápido desarrollo durante el período que va desde el antiguo período de los Estados Combatientes a la primera parte del Han occidental, durante el cual los artesanos no sólo hacían fundición blanca, fundición atruchada y fundición gris sino también fundición dúctil como un resultado de la correcta familiaridad con el tratamiento térmico después de la aparición del arrabio.

La pericia en la aplicación de esas técnicas daba por resultado la calidad de los implementos producidos, armas o herramientas de labranza.

### 3) HIERRO ESPONJA Y ACERO CARBURIZADO

Basados en las técnicas cerámicas y conocimientos en la fabricación del cobre, los artesanos en la antigua China pudieron obtener hierro usando carbón de leña en el horno y creando la técnica del hierro esponja por prueba y error durante un largo período de tiempo. Los artefactos de hierro obtenidos por excavación revelan que los artesanos estaban ya antes habituados a hacer hierro puro durante las postrimerías del período de Primavera y Otoño (ca. de los siglos VI-V a.C.).

Los artefactos de hierro descubiertos en las tumbas N°1 y N°2 en Liu ho ch'eng Kao, Chiangsu (19), y los cuchillos en las tumbas N°52 y 826 en Lung tung p'ao, Chang shia (20) muestran la evidencia del martillado en la

fabricación del hierro. El análisis de la estructura del artefacto de hierro y el alambre de la tumba Nº 2 de Liu ho Ch'eng Kao revela que está hecho de ferrita con menos de 0,04% de carbono y contiene mucho óxido de hierro estirado, como impureza. Las impurezas de silicatos ocupan alrededor del 10% de la matriz en la microestructura. El ancho de la mayoría es pequeño y está en el rango de los 0,3 y 0,4 milímetros y su reconocimiento muestra que parte de su superficie esta agrietada. Es posible que los alambres de hierro sean productos de forja de la esponja como también es posible que los otros implementos tengan su origen en el hierro esponja.

Los implementos de hierro se extendieron universalmente durante la parte media del período de los Estados Combatientes. Buriles, anzuelos, hachas, y candiles se obtuvieron por excavación en las tumbas Nº 1 y Nº 2 de Ku wei-tsun, Hui-hsien, Honan (21). En el sitio de la vieja mina de hierro de Tung lu shan, Ta chih-hsien, Hopei fueron obtenidos un martillo, un hacha, un cincel y un rastrillo (22). La estructura de esos implementos revela que el hierro esponja era la principal materia prima para el hierro martillado aún después de la invención del arrabio al final del período de los Estados Combatientes. En Panp' o, Sian (23) fue encontrado un cincel de formas alargadas que contenía 0,06% de C, 0,05% de Mn, 0,06% de Si, 0,009% de S, 0,01% de Cr, 0,01% de Ni y 0,17% de Cu.

Este cincel contiene una gran cantidad de inclusiones de óxido de hierro y silicato alargados, en el sentido de la elongación muestra una estructura característica del hierro esponja con irregular distribución de óxido de hierro en la matriz. La espada y la azada escardadora obtenida por excavación de la tumba de Pan p o, Sian del último período de los Estados Combatientes contenían inclusiones alargadas y desigual contenido de carbono, pero su estructura es completamente similar al cincel anteriormente mencionado, presumiblemente hecho por absorción de carbono durante el martillado.

El análisis de algunos implementos de hierro, espada y lanza, descubiertos en la tumba Nº 44 de Yen hsia tu, I-hsien muestra que se han hecho de acero con una irregular distribución de Carbono. Las grandes inclusiones de forma irregular en estas muestras se originaron probablemente del hierro esponja hecho por reducción directa de mineral de hierro en lugar de la reducción en estado líquido.

Las inclusiones de gran tamaño con una estructura eutéctica de  $FeO$  y  $2FeO.SiO_2$ , significa que ese material estuvo en estado líquido durante la reducción o arriba de la temperatura eutéctica ( $1145\text{ }^{\circ}C$ ) cuando lo forjaron.

La irregular distribución del  $O_{Fe}$  en el hierro parece ser debida a la baja ley del mineral o irregular porosidad.

Se reconoce que el hierro puro carburizado fue primero plegado en medias hojas y otra vez con muchos pliegues (no se indicó la dirección del plegado, pero si que fue plegado en muchas hojas después del primer plegado). La sección de la espada presenta cerca de diez capas compuestas de 4 a 5 pedazos de acero pero debido a la corrosión de la superficie, el total de capas no se pueden reconocer fácilmente.

Debido al tratamiento no homogéneo a alta temperatura (más de  $900\text{ }^{\circ}C$ ) o a la falta de martillado repetido, después de la carburización, la superficie de cada pieza contiene mayor porcentaje de carbono que la parte media.

#### 4) DEL HIERRO ESPONJA CARBURIZADO AL ACERO MARTILLADO

La calidad de los implementos de acero de la dinastía del Han occidental tuvo mucho desarrollo con la aparición del acero martillado de "cien refinaciones" (más adelante nos referiremos solo como acero martillado).

En una antigua etapa, el acero martillado se originó directamente de las técnicas relativas al acero carburizado del hierro esponja y ambos aceros se hicieron de la misma clase de materia prima con similar proceso de

carburización, teniendo inclusiones relativamente grandes, eutéctico de óxido de hierro y silicato de hierro.

La cantidad de martillados repetidos se incrementó en el último período.

Por martillado, el número y el tamaño de las inclusiones decrece y la composición se homogeneiza con un más fino tamaño de grano, resultando un adelanto considerable en la calidad del acero. Un cierto efecto carburizante se puede esperar cuando el hierro puro se calienta en el carbón de leña.

El análisis estructural de la propia espada de Lui sheng y del cuchillo descubierto en la tumba N01 de Man ch'eng de la dinastía de Han son completamente similares al análisis de una de Yen hsia t'u hecha de acero carburizado. Sin embargo, el acero de Man ch'eng tiene no sólo bajo contenido de fósforo (alrededor de 0,1%), sino también alta calidad con pocas inclusiones eutécticas de pequeño tamaño. El número de capas plegadas con diferente contenido de carbono en el interior de la espada decrece y la estructura de cada capa es completamente uniforme. Pero aparecen distintas capas en la espada de Yen hsia t'u y no se observan restos de plegado.

El espesor de las capas de bajo carbono de la espada de Yen hsia t'u es aproximadamente 0,2 mm y la misma espada de Liu sheng tiene finas capas del rango de 0,05 a 0,1 mm, lo cual es el resultado de repetidos martillados, mostrando un proceso de desarrollo del acero martillado. A juzgar por la distribución de las grandes inclusiones de cada capa carburizada la capa media de la hoja fue plegada en cinco a siete capas y forjada. Las partes altamente carburizadas contienen 0,15-0,4% de carbono y las de menor carburización 0,05%. No se observan inclusiones entre las zonas de baja o alta carburización.

De acuerdo a los hechos arriba mencionados y a una serie de inclusiones en la capa de alto contenido de carbono, el alto contenido de carbono de esta clase de espada se logró por carburización y es completamente seguro que las capas de alto y bajo contenido de carbono se hicieron separadamente, pero no por martillado repetido, plegando el material. Es de notar que se observan pequeñas inclusiones de óxido de hierro en las capas de alto contenido de carbono cerca de mas grandes inclusiones y pequeñas cantidades de sílice están contenidas en inclusiones pequeñas, de acuerdo al análisis con el microscopio electrónico de barrido (SEM).

Durante cerca de 2 siglos a.C. (Liu sheng fue sepultado en 113 a.C) se reconoce que las armas forjadas, tales como espadas chinas, se hicieron con acero fabricado por martillado repetido de el hierro esponja carburizada con muchas capas plegadas.

Hay dos posibilidades para aumentar el contenido de carbono:

- 1) El método de carburización sólida que es completamente similar al moderno proceso de endurecimiento por carbón.
- 2) Se reviste la superficie del hierro esponja con arrabio fundido o, es vertido el arrabio en la parte hueca de la pieza de hierro esponja forjado con el fin de aumentar el contenido de carbono.

El segundo método desarrollado después es por completo similar al proceso de fabricación de acero de hierro sumergido.

La distribución de los elementos contenidos en las inclusiones del cuchillo con una incrustación de oro, encontrado en la tumba N01 de Manch'eng, muestra muchas mejoras. Este cuchillo está compuesto por muchas capas con 0,1 a 0,4% de C y su superficie está templada.

La distribución de las inclusiones de óxido de hierro y silicatos en el acero refleja el alto desarrollo de la técnica metalúrgica, se reconocen grandes inclusiones dentro de la hoja. El OFe en los artefactos, es posible que se haya formado en la superficie durante el martillado de las capas plegadas. El análisis con el SEM muestra que la gran inclusión ( su máxima longitud es 2.5 mm) en la parte media de la hoja es diferente de las inclusiones de sílice en las capas de menor contenido de carbono, de tamaño un tercio menor, y contiene, calcio, aluminio (aprox. 0,3%) y fósforo (aprox. 1%).

Sin embargo, las inclusiones en la zona de bajo contenido de carbono contienen menor cantidad de calcio. Bajo contenido de Ca significa que no fue agregada una sustancia conteniendo Ca, como  $\text{CaCO}_3$ , durante la fabricación del hierro esponja.

La existencia de grandes inclusiones en un borde de las capas plegadas revela que se usaron cenizas de hueso como un agente auxiliar antes del martillado repetido en capas plegadas, en consecuencia las inclusiones que se formaron en la superficie contienen considerable cantidad de P y Ca.

Durante la carburización en un moderno tratamiento térmico se agregan sustancias auxiliares conteniendo carbonato de bario o carbonato de calcio para incrementar tanto la relación de carburización como para acortar el tiempo de carburizado.

En la antigua área de Honan, se usaron cenizas de huesos como sustancia auxiliar durante la carburización del hierro. Por ejemplo en Lu shan-hsien, de la provincia de Honan, el agente carburizante consistía en 4% de carbón de leña, 20% de cenizas de huesos de vaca y 5% de aserrín (25).

Durante mucho tiempo esta clase de procesos fueron bien conocidos pero no suficientemente estudiados. Las inclusiones en la espada hecha de hierro esponja aparecen por el uso de cenizas de hueso como auxiliar para el martillado repetido.

El Ca y el P de las cenizas de huesos penetran en el óxido y en el silicato formados en la superficie de la espada.

La espada y el cuchillo obtenidos por excavación de la tumba de Manch'eng tienen la misma característica distribución de inclusiones.

Sin embargo es completamente peculiar el gran contenido de calcio de la gran inclusión pero las inclusiones interiores contienen poco calcio. La superficie de la espada de Liu Sheng y el cuchillo con incrustación de oro tienen un relativamente alto contenido de carbono (0,6%) y han sido templados.

La microdureza HV 570, del filo del cuchillo de estructura martensítica, revela el empleo de una técnica de temple.

La dureza en el núcleo de la punta del cuchillo, de estructura perlítica es de HV 260 y la dureza del cuerpo del cuchillo de bajo contenido de carbono es HV 140 revelando una gran habilidad en la fabricación de cuchillos en la antigua China. La dureza interior del acero alcanza HV 200-300 y el filo HV 900-1170 lo cual está estrechamente relacionado con la longitud del cuchillo, la velocidad de temple y el alto contenido de carbono.

Los metalúrgicos chinos durante el final del siglo II a.C. obtuvieron el aumento de la dureza del filo de las hojas de cuchillos y espadas usando técnicas de temple y carburizado y mantuvieron la flexibilidad de las armas por normalizado y aumentaron la ductilidad aplicando procesos de recocido decarburizante.

El desarrollo de métodos de tratamientos térmicos durante la dinastía de Han occidental no parece que haya sido completamente accidental.

Como mencionamos antes, la azada escardadora de forma hexagonal se usó ampliamente desde Tung lu shan en Ch'u a Yen hsia t'u durante la parte media a la última de los Estados Combatientes; esas herramientas de labranza tienen una estructura casi similar a las producidas por técnicas de recocido.

Se decarburó la superficie de la fundición blanca para darle más ductilidad con una estructura ferrítica, quedando ledeburita en su interior. La ferrita superficial tiene un desarrollo dendrítico del interior hacia la superficie.

Durante la decarburación la temperatura de recocido debe estar exactamente controlada en un rango de 727 a 910°C., temperaturas de coexistencia de la ferrita y la austenita y manteniendo una atmósfera apropiada del horno, la ferrita se puede desarrollar desde la superficie al interior de los implementos.

Oportunamente se obtuvieron productos finales para la función apropiada con la estructura arriba indicada, aunque los metalúrgicos de ese tiempo

no buscaban tal estructura intencionalmente, pero la experiencia obtenida de la prueba y el error por mucho tiempo, les había permitido, no únicamente obtener estructuras por una excelente técnica de tratamiento térmico, sino también controlar la atmósfera y la temperatura del horno con seguridad. Esa es la razón por la cual la técnica continuó y se propagó extensamente.

## 5) EL DESARROLLO DEL ACERO TOSTADO (PARCHED STEEL) Y EL ACERO MARTILLADO

Con el desarrollo de la producción de arrabio, este se usó ampliamente para fundir objetos de hierro, pero limitado a algunos artículos específicos debido a su fragilidad.

Aunque el hierro esponja se usó para hacer acero carburizado, la productividad era baja.

Desde el último período de la dinastía del Han occidental se desarrolló la nueva técnica para producir hierro forjado o acero por "tostado" (parching) con arrabio, lo que permitió superar muchas dificultades debido al crecimiento de la población, al rápido desarrollo de los productos agrícolas y a las grandes demandas de la vida diaria.

Se puede decir que el uso del arrabio con una gran capacidad de producción fue un avance revolucionario en la historia de la metalurgia. De aquí, el hierro martillado pudo entrar en una nueva etapa. El hierro forjado se pudo hacer por "tostado" de arrabio y entonces pasar a acero por carburización y martillado.

El "tostado" del arrabio se empleó para obtener la cantidad apropiada de carbono en el acero. El acero "tostado" se transformó en acero por martillado repetido y fue posible así abreviar el complicado y lento proceso de carburización.

De acuerdo a este nuevo proceso, la estructura del acero se hace uniforme, eliminando las grandes inclusiones las cuales tienen generalmente notable influencia en la calidad del hierro esponja, consecuentemente se mejoró mucho la calidad del acero. Una espada descubierta en 1974, en una tumba de la dinastía Han en Ts'ang shan, Shan tung, de 111,5 cm de longitud tenía una inscripción de oro que decía: "una gran espada fue hecha por el nieto de Chi yang hsuan en mayo, sexto año de Yung ch'ü (112 d.C.). (26)

El filo de esta espada hecha de acero martillado de las "treinta refinaciones" está compuesto de una estructura uniforme de perlita fina y pequeña cantidad de ferrita.

El contenido de carbono está entre 0,6 y 0,7 %. El filo, hecho por templado, muestra una pequeña porción de martensita que se puede reconocer en la parte corroída de la hoja. Se observa un gran número de inclusiones finas y alargadas de silicatos con gran deformación, de 2,5 a 5 micrones de espesor y 25 a 40 micrones de largo y un pequeño número de 60 micrones; esta deformación se realizó junto con la matriz de acero en el martillado. Además de las inclusiones de silicato, se observa una pequeña cantidad de inclusiones de óxido de hierro transformado de color gris, no muy diferente de la inclusión que aparece en el filo de la espada o del cuchillo datado antes de la mitad del período de la dinastía del Han occidental.

La espada antes mencionada, hecha en el período de Yung ch'ü, contiene inclusiones del eutéctico  $2FeO \cdot SiO_2$  no muy grandes. Predominan en esta estructura únicamente finos y alargados silicatos, pero aparece también otra cantidad de inclusiones finas, con gran deformación, uniformemente distribuidas. La alineación de las inclusiones permite ver con nitidez la existencia de capas subdivididas.

Esos grupos de inclusiones entre las capas están localizadas en la parte exterior de la espada y las inclusiones en la parte media, largas y gruesas con una homogénea distribución de carbono muestran una diferente tendencia en relación con los antiguos implementos.

La estructura del acero no es similar a la estructura de los artefactos de hierro de la dinastía de Wei-Han, encontrados en Min ch'io, los cua-

les se hicieron de acero decarburizado de fundición en estado sólido.

Las inclusiones en los artefactos mas recientes son muy pequeñas y no tienen direcciones preferidas como las observadas en la espada de Yung ch'u y presentan una heterogénea distribución del carbono.

Sin embargo las inclusiones en la espada de Yung ch'u son por completo similares a las del moderno hierro forjado, siendo tan pequeñas que ocupan solamente el 1% del volumen total. Comparando con el hierro forjado, ellas alcanzan solamente 1/3 o 1/2 de todo el volumen y tienen finas capas plegadas de claras subdivisiones. De acuerdo al análisis de las inclusiones, esta espada es posible que haya sido hecha por martillado repetido usando acero "tostado" como materia prima.

En primer lugar, el arrabio semifundido eleva su temperatura por la oxidación del carbono en el aire.

A 1200 °C. el acero con 3% de C está compuesto por 60% de austenita con 1,7% de C y 40% de hierro líquido con 3,7 % de C. El carbono en el líquido se oxida elevando la temperatura, queda retenido el más bajo contenido de carbono de la austenita. Las inclusiones de silicato pueden aparecer después de la oxidación del Si y Mn. Por ejemplo el hierro forjado de bajo contenido de carbono puede obtenerse por continua oxidación en estado semi-sólido y es aún posible obtener acero de medio o alto contenido de carbono aún en el caso de una imperfecta decarburización. Similar estructura a la de la espada de Yung ch'u puede observarse en la fabricación de esta clase de acero por martillado repetido.

Comparando con el hierro forjado de bajo contenido de carbono, el número de inclusiones tanto como su tamaño es pequeño debido al alto contenido de carbono y bajo grado de oxidación. De acuerdo a la investigación metalográfica de la espada de hierro descubierta en la tumba llamada Hsu mei yen, en Lo yang construida en la dinastía de Chin (229 d.C.) se puede reconocer muchas mejoras en la técnica de la fabricación del hierro. (27)

Esta espada con 22 cm de longitud se hizo por el método del martillado usando hierro forjado con menos de 0,17% de C y la superficie se templó después de carburizar. La punta del filo tiene una capa martensítica de 1,5 mm.

Algunas espadas de hierro dos siglos más viejas que la espada hecha en el período de Yung ch'u y dos siglos mas viejas que la aparición del acero de hierro sumergido tienen una cantidad de silicatos similar a las inclusiones del moderno hierro forjado, su espesor es de 40-50 micrones, el largo de 3 a 10 veces el espesor y alrededor de diez veces superior a las encontradas en la espada de Yung ch'u antes mencionada. Hay que comprender que tales resultados se originan en pequeñas cantidades de fabricaciones y falta de repetidos martillados.

La espada de la familia Hsu tiene una heterogénea distribución de muchas inclusiones en su sección y la mayor parte ocupa el 8% del volumen total y una pequeña parte el 2% con un promedio de 3-4% cuya estructura es completamente similar al moderno hierro forjado que tiene 3-4% como la espada de Yung ch'u.

Los hechos anteriores coinciden con los de la espada de la familia de Hsu la cual tiene bajo contenido de carbono.

Las inclusiones de silicatos formadas con el acero "tostado" no decrecen en el curso de la carburización y esto aclara que no haya cambio de inclusiones en la zona carburizada de la espada de la familia Hsu. Así, la distribución de las inclusiones muestra que en el principio la materia prima se oxidó muy poco durante el período de decarburación y revela que nada del hierro forjado se carburizó, ni el carbono aumentó de acuerdo al proceso de acero de hierro sumergido.

Se excavaron hornos para el "tostado", para hierro esponja, para arrabio, implementos de forja y baño de templado en el sitio de fabricación de hierro de Kung-hsien (28) y se encontraron también en otras partes muchos hornos de "tostado".

De acuerdo a los análisis, uno de los artefactos de hierro contiene

0,35 % de carbono. Se descubrió también acero de alto contenido de carbono originado a partir del hierro esponja y acero forjado del llamado de "alta calidad". En el siguiente cuadro se ven los resultados analíticos:

	Composición química %				
	C	Si	Mn	S	P
Acero de alto C	1,288	0,231	0,017	0,022	0,024
Hierro forjado	0,048	2,35	trazas	0,012	0,154

El alto contenido de silicio en el hierro forjado puede tener su origen en la gran cantidad de inclusiones de silicato sin haberse martillado suficientemente.

Con la modificación del acero "tostado" se puede obtener un acero de alto contenido de carbono similar al de la espada de Yung ch'u.

Un libro histórico, T'ai ping (vol.72) escrito durante el último período del Han oriental describe esto: "Obtengan los artesanos el hierro de los minerales, vuelquenlo en estado líquido y martíllenlo 10000 veces para eliminar todo mal". De acuerdo al análisis de las inclusiones de acero de alto contenido de carbono con similar composición al acero "tostado" obtenido por excavación en los sitios de producción de hierro mencionados antes y ateniéndose a los documentos históricos, es completamente seguro que la espada de Yung ch'u se fabricó por repetida forja del acero "tostado".

Antes de hacer una espada llamada "Chou lien tao", Wang ch'ung (27 -97 d.C.), mencionó en su libro titulado "Lun heng" que la calidad de la espada dependía del martillado en caliente, calentando bien se hace uniforme el filo. Esta clase de procesos también se los comparó a la remodelación del carácter personal.

Liu k'un de la dinastía Chin comparó en su poesía el martillado repetido al comportamiento humano en su poesía.(29)

Una espada introducida desde China que se encontró en una tumba en el templo de Todaiji, en Yamato, Japón, en la parte superior y en la superficie tiene caracteres incrustados que dicen que fue hecha por martillados repetidos durante los años 184-189 d.C.(30). Suponiendo que el término "cien refinaciones" signifique repetidos martillados, esto puede representar una cierta normalización del nivel de los procesos después de "Chou lien" y "cien refinaciones".

La espada "Chou lien tao" tiene nítidas capas en las inclusiones de silicato. Cuando una capa de inclusiones se identificó en la superficie tanto continuas como separadas, tres informes de observaciones microscópicas con 100 aumentos, en la espada, dieron un promedio de 31, 31 y 25 capas. De acuerdo a los anteriores resultados, "Chou lien" se puede suponer que se forjó con acero "tostado", plegada y martillada otra vez hasta la aparición de treinta capas. El martillado final origina una lámina de 30 capas de acero "tostado". O bien, pudo haber sido hecha por 30 plegados y calentamiento por 5 o 6 horas. Nosotros necesitaríamos mas datos para poder dar mas información metalúrgica sobre esta espada.

El acero forjado usando el proceso de acero "tostado" (parching o puledado) se hizo a mediados del siglo XVIII en Inglaterra y se usó hasta 1930. La composición química usada en esos tiempos es la siguiente: 0,06 0,08 % de C, 0,01-0,05 % de Mn, 0,1-0,2 % de Si, 0,08-0,16% de P y, 0,01 0,035% de S (31).

Las inclusiones ocupan el 2-3% y un típico análisis es 14,6 % de SiO<sub>2</sub>, 70,5 % de FeO, 1,5% de Mn, 2,7 % de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 2,7 % de CaO, 0,8 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 0,08 % de S (31).

Este proceso ya existió alrededor del siglo I a.C. en la antigua

China, cerca de 1600 años antes que en Europa e implica que la fabricación de arrabio fue inventada comparativamente mucho antes a fin de satisfacer las demandas de ese tiempo.

Marx ya habló de la importancia de la fabricación de hierro forjado a partir del arrabio en su libro "El Capital", escrito en francés.(32)

Cuando la industria en gran escala se desarrolló en Europa el arrabio hecho con coke se refinó para producir hierro forjado.

El proceso llamado pudelado (o parching) se llevó a cabo usando grandes sopladores que inyectan un chorro de aire caliente en un horno especialmente diseñado.

En resumen, este proceso originó un gran aumento de la producción de materia prima para la fabricación de herramientas y el hierro más barato producido se encontró con un aumento de la demanda sustituyendo así a la madera y a la piedra.

El carbón y el hierro son los mas importantes elementos en la industria moderna y se puede decir sin mucha exageración que establecieron una innovación.

La invención del acero "Tostado" (parchig steel) en la antigua China jugó un gran rol en el desarrollo de la agricultura, la irrigación y el transporte durante la antigua y la última dinastías Han.

De acuerdo al análisis fractomecánico realizado en el año 1960 en una espada encontrada en la tumba de Liu sheng, el crecimiento de las fisuras se produjo durante la carburización del acero de bajo contenido de carbono por la existencia de una gran inclusión en el interior de la espada.

Debido al desarrollo técnico del acero "tostado" y del forjado, la espada de Yung ch'ü del Han oriental tiene pocas y pequeñas inclusiones.

La mayor inclusión de la espada de Lieu sheng tiene 2,5 mm de longitud y la más grande de la espada de Yung ch'ü es de 0,05 mm, 50 veces más pequeña que la anterior.

La propagación de la fractura fue prevenida y la tecnología del temple del acero de alto contenido de carbono se desarrolló también con una considerable normalización.

Debido a la acción cohesionante de las pequeñas inclusiones, la superficie de la espada de Yung ch'ü, no se descascara fácilmente y es por completo resistente a la corrosión, aún después de la oxidación de la superficie, no como las espadas hechas antiguamente a mediados de la dinastía de Han occidental.

En este período se desarrolló la técnica del temple y la espada de Yung ch'ü tiene una estructura martensítica aumentando sobre todo la dureza. En los volúmenes 3 - 4 y 5 de T'ai p'ing yu chih se dice que P'u yuan hizo 3000 espadas usando la técnica del temple durante el período de los Tres Reinos.

Ellos tenían ya conocimientos magistrales del proceso de temple y distinguían para el temple, el agua de río del agua de mar, así dependiendo de la calidad del agua clasificaron la capacidad de temple y mostraron habilidad para reconocer la regla sistemática en la operación de temple.

## 6) METALURGIA DEL ACERO DE HIERRO SUMERGIDO HECHO DE ARRABIO

La técnica de martillados repetidos para la manufactura del acero, aunque fue una técnica de forjado que prevaleció durante la dinastía de Han, fue usada con ciertos límites porque es complicado el proceso de carburización y mucho el tiempo requerido. Es muy difícil llegar a tener práctica en la técnica controlando el contenido de carbono durante la fabricación del acero "tostado".

El desarrollo de la productividad está siempre basado en la simplicidad de las técnicas, calidad obtenida y bajo costo de producción.

El desarrollo del acero de hierro sumergido fue un resultado necesario del acero "tostado" para satisfacer la demanda producida durante los pe-

riodos de las dinastías Wei y Chin. Esta técnica de producción de acero consiste en que al principio el hierro forjado se hacía por "tostado" del arrabio (parching) y luego, arrabio fundido era sumergido en hierro forjado para incrementar el contenido de carbono.

Una mezcla bien proporcionada de arrabio y hierro forjado da un buen control del contenido de carbono en el acero e hizo posible la obtención de un material uniforme por martillado repetido. La facilidad del dominio de esta técnica y el mejoramiento de la productividad ha hecho de este proceso de manufactura el más importante desde el período de Wei-Chin.

Nosotros necesitamos más datos de análisis científicos para completar la información sobre el proceso de acero de hierro sumergido prevaeciente durante el período Wei-Chin.

T'ao hung ying, un taoísta y físico (452-536 d.C.) menciona que el acero de hierro sumergido se hacía por fusión del arrabio y del hierro forjado (33). Ch'í mu huai wen en Pei ch'í fue una de las personas que fabricó acero de hierro sumergido decía que la espada de hierro estaba hecha de espíritu de arrabio quemado dentro de la blanda masa de acero y que entonces el acero aparecía varias noches después.(34)

La técnica de temple de las espadas empleó orina o grasa de animales domésticos. Para obtener acero templado de alta calidad se usó recientemente un proceso similar. La espada hecha por el método de Ch'í mu huai wen pudo cortar 30 trozos de madera a la vez.

Las espadas se fabricaban por repetido martillado con varios plegados y técnicas de carburización en la dinastía de Ch'u. En estado líquido, el hierro sumergido se pudo usar como materia prima. De acuerdo a la documentación existente la tecnología sobre acero de hierro sumergido prevaleció durante el período Wei-Chin. Creemos que T'ao hung ying y Ch'í mu huai wen pudieron estudiar y resumir los conocimientos usados en la antigua China y que el acero de hierro-sumergido había sido desarrollado durante la fabricación de acero "tostado".

Era natural que el arrabio fundido fuera agregado al acero de comparativamente más bajo contenido de carbono obtenido por "tostado" para dar acero de más alto contenido de carbono debido a la dificultad en el control del tiempo y contenido de carbono durante el "tostado" del arrabio.

Debido a la acumulación del conocimiento, bien establecida regulación, correcta y controlada aplicación a través de una larga práctica, los metalúrgicos de la antigua China pudieron avanzar más desarrollando la técnica del acero de hierro sumergido durante la manufactura del acero "tostado". Fue un gran logro del proceso de la fabricación de acero en la antigua China y desde entonces fue usado ampliamente.

## *Notas del Capítulo 2*

- (1) Esta azuela fue obtenida por excavación por el Museo de Loyang, un artículo apareció en "Kaogu".
- (2) Informe de la excavación de la tumba de Ching shia p.66. Fig.35-37. La fecha de esta tumba puede tener la antigüedad de la antigua Primavera Otoño de acuerdo al análisis de los artefactos.
- (3) Fue informada como plana en Kaogu Hsüepao ( 1960. 1pp. 75-76 ).
- (4) Informe preliminar sobre el análisis metalúrgico de los implementos incluidos en la dinastía de Han Occidental. Kaogu Paokai 1960 NQ1 pp 75-76.
- (5) Inspección de los implementos de hierro y cobre descubiertos en T'ung lu shan, Ku ching I chin, Wen Wu 1975 NQ2 p.21.
- (6) Informe de la excavación de la tumba NQ44 de Yen hsa tu I hsien, Hopei, Kaogu 1975 NQ4 pp.233-4.
- (7) Excavado por el Museo de la provincia de Honan.
- (8) Informe de la excavación sobre el sitio de fabricación de hierro de Nan

- Yang, Wen Wu 1960 N°1 pp.58-60.
- (9) Wen Wu 1975 N°2 p. 24 fig. 7.
  - (10) Material obtenido por excavación del Instituto Arqueológico.
  - (11) Molde de un implemento de labranza del período de los Estados Combatientes descubierto en Hsing lung, Jsho, Kaogu T'unghsun 1965 N°1.
  - (12) Artefacto de hierro recientemente descubierto incluido en el período de los Estados Combatientes, Kaogu Hsüepao, 1957 N°3 p.99.
  - (13) Wen Wu N°1 p.60.
  - (14) Ensayos sobre los artefactos descubiertos en Sinkang, Wen Wu 1960 N°6 p. 24-28.
  - (15) Tu shih chuan, Hou Han Shu.
  - (16) Han chi chuan, San Kuo Chih.
  - (17) Los datos de esos análisis y el material fueron provistos por los museos de Honan y Chen Chou.
  - (18) Sitio de manufactura de hierro de Kung hsien, Wen Wu 1962. La información sobre Ku meng chen, Cheng chou fue provista por el Museo de Cheng chou.
  - (19) La tumba del Chou oriental de Liu ho ch'eng kao, Chiangsu, Kaogu 1974 N°2 p 119.
  - (20) Algunos problemas arqueológicos acerca de las tumbas N°52 y 826 de Chiang shia, Wen Wu, San Kao Tzu Liao, 1954, N°10 p. 69.
  - (21) Informe de la excavación sobre el sitio de Hui-hsien. 1969 p.95 Fig.56, 57, 58.
  - (22) Wen Wu 1975 N°2 p.6-10.
  - (23) Kaogu Hsüepao 1957 N°3 p.85 y Kaogu Hsüepao 1960 N°1 p.79.
  - (24) Kaogu 1975 N°4 p.p. 230 - 236.
  - (25) Historia de la técnica metalúrgica del hierro, Shanghai Jenming Pb.Co. 1960 p. 196.
  - (26) Espada de hierro inscripta con caracteres descubierta en Ts'ang shan, Shantung, Wen Wu, 1974 N°12 p.61 Fig. V.
  - (27) Excavación de la tumba construida durante la dinastía Chin en Lo yang, Kaogu Hsüepao, 1957 N°1, Fig.12 y 5.
  - (28) Sitio de manufactura de hierro en Kung-hsien, Wen Wu Publishing Co., 1962.
  - (29) Wen Hsüan N° 25.
  - (30) Espada de hierro descubierta en Todaiji Yama, Nara-ken, Kokogaku Vol. 48 N°2 1962.
  - (31) Confer: Metals Handbook, 1948. The American Society for Metals. p.504.
  - (32) Capital, traducción inglesa por D. Torr 1938 Allen & Unwill Ltd. p.818.
  - (33) Ch'ung hsiu cheng, Hua ching shin cheng ch'in hsu yüing mu ts'ao, Vol.4.
  - (34) Pei ch'i shu, Fang chi lieh chuan.

### 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS EXCAVADOS EN LA PENINSULA DE COREA.

---

De acuerdo a los documentos arqueológicos e informes de excavaciones, los sitios de la antigua Edad del Hierro están concentrados en las grandes áreas de los valles de los ríos. Los sitios en Corea del Sur están principalmente localizados en las áreas de los valles de los ríos Han y Naktong. (fig.3)

Los artefactos de hierro y restos de fabricación de hierro descubiertos en sitios de aldeas del río Han y en concheros del valle del río Naktong serán examinados en este capítulo.

Antes que el análisis químico de los artefactos, los elementos más notables de la cultura deben conocerse. Yo aspiro en este libro a examinar los rasgos comunes y peculiares entre las características de los sitios, los restos de fabricación de hierro y los artefactos acompañantes basado en el análisis científico de los artefactos de hierro.

#### 3.1. EL VALLE DEL RIO HAN

##### 1) SITIOS

Los sitios de la antigua Edad del Hierro encontrados hasta ahora cerca del área del valle del río Han son: cuatro sitios de asentamientos (Machang-ni, Igong-ni, Chung-do y Sodum-dong), dos capas culturales (Taesim-ni y P'ungham-ni), un depósito de turba (Kogu-ri) y una sepultura en tierra (Karak-dong). Estos sitios se ven en la tabla 1 y en las figuras 4 a 10.

El sitio de Machang-ni fue encontrado en 1951-1952 cuando el mayor MacCord construyó una trinchera cerca del campo localizado en Machang-ni, Kap'yong-gun, provincia de Kyonggido (1). El profesor Kim, Won-yong, basado en el informe de la excavación del mayor MacCord y fotografías tomadas por el Dr. E. L. Knez, clasificó estas ruinas como un sitio de producción de hierro, con datación de radiocarbono realizada en Corea peninsular (2).

El sitio de Igong-ni se encontró entre 1977 y 1978 por el descubrimiento de ruinas de un horno en el campo de un arrozal a 500 m de distancia del vivero, propiedad de Pyon, Yong-sop (3). Este sitio está compuesto de dos estratos culturales I y II, la capa II con artefactos de hierro está relacionada con el lugar de fabricación de hierro de la antigua Edad del Hierro.

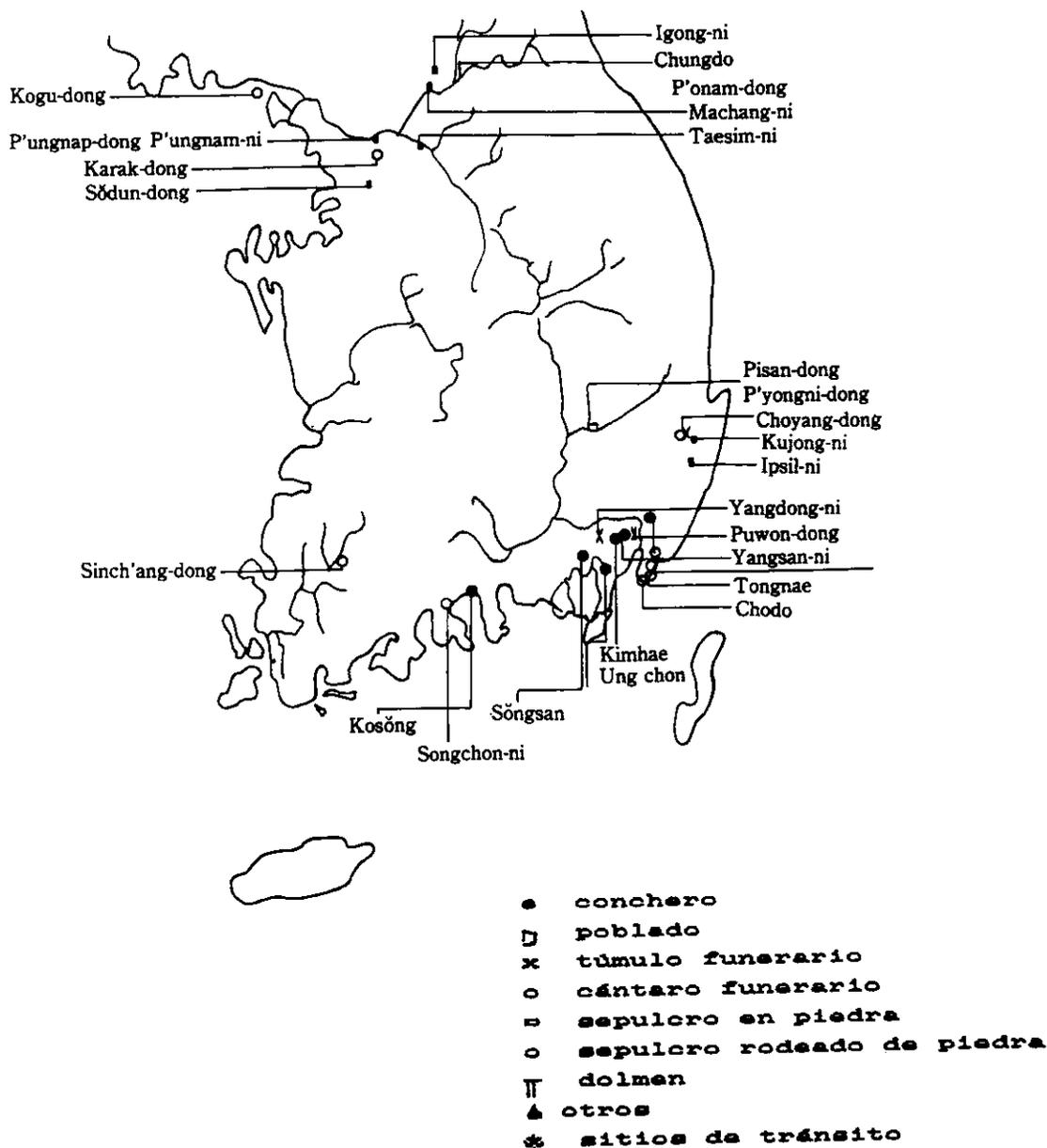
Chungdo es una pequeña isla arenosa que persistió en el lago Uiam en Hoban-dong, ciudad de Ch'unch'on, provincia de Kangwondo (4). El equipo del Museo Nacional ha venido excavando este bien conocido sitio de la antigua Edad del Hierro desde 1977.

Este sitio fue excavado por el equipo arqueológico del Museo Nacional de Seul durante julio y agosto de 1974. Acompañando a la rápida extinción de la Edad de Piedra van apareciendo armas e instrumentos de producción mostrando la generalización de los artefactos de hierro. Este representativo sitio de la antigua Edad del Hierro fundamenta por completo a los más próximos sitios de fabricación de hierro de Machang-ni.

El sitio de Taesim-ni, localizado en Taesim-ni, Yangp'yong-gun, produjo en 1973 fragmentos de alfarería, pero debido a la falta de distintos estratos culturales fue difícil establecer el orden cronológico. Sin embargo se le consideró como uno de los sitios de la vieja Edad del Hierro localizados cerca del valle del río Han.

El sitio de P'ungham-ni fue excavado por el equipo arqueológico de la Universidad Nacional de Seul (6).

Este sitio conocido como el castillo de tierra fue construido durante la dinastía Paekje, en su interior se encontraron gran cantidad de fragmentos de alfarería y agujas de hierro usados durante el periodo de la antigua dinastía Paekje, en el castillo estaban establecidos un cierto número de residentes. El equipo arqueológico de la Universidad de Corea excavó en



**Fig 3. Mapa de distribución de los artefactos de hierro**

1969 dos tumbas de la dinastía Paekje localizadas en el sitio de Karak-dong, Songdong-ku, Seul. Las excavaciones revelan que se trata de fosas fúnebres con ataúdes de madera en su interior recubiertas con montículos de tierra (7). Estas ruinas no son sitios de fabricación de hierro pero los artefactos de hierro obtenidos de la excavación serán objeto de investigación. El sitio del poblado Sodun-dong, localizado al pie del cerro a 100 m sobre el nivel del mar, fue excavado por el equipo arqueológico de la Universidad de Sunchon en 1979 y 1980. El sitio de depósito de turba de Kogu-ri, Kanghwagun fue descubierto en 1962 y produjo el único artefacto de hierro descubierto en la isla a lo largo del valle del río Han. Finalmente, el sitio de Kuui-dong, localizado en Songdong-ku, Seul, se da por sentado que el área originalmente estuvo incluida en la ciudad de la dinastía Paekje llamada Castillo de Wiryesong. (8).

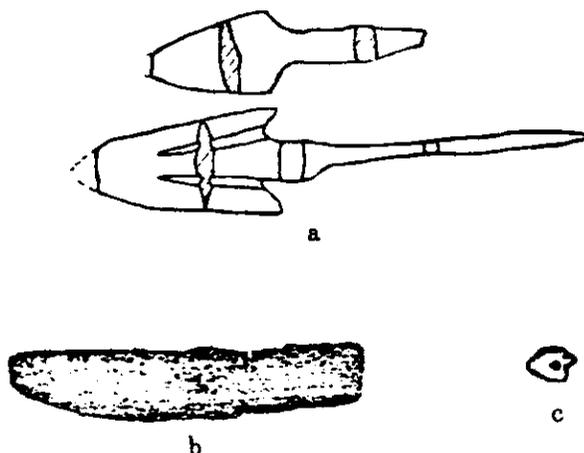
Tabla 1. Características de los sitios excavados en la región del río Han pertenecientes a la Edad del Hierro.

( ) Número de objetos

Sitio	Clase	Restos de fabricación de hierro			Artefactos acompañantes		Datación	Bibliografía
		Artefactos de hierro	Escorias	Tobetas	Cerámica estilo	de piedra		
Machang-ni	Poblado	Trozos (2)	Si	Trozos	Plana y tosca Cacharro(4) Kimhae(3)	Pulida (6)	2-0 a.C.	2)
Igong-ni	Poblado	Punta de flecha (2) Trozo de cuchillo.(2)	Si	---	Plana y tosca. Cacharr. Kimhae(20)	de Lascas(4) Pulida (32)	2-1 a.C. Tres Reinos	3)
Chungdo	Estratos culturales	Punta de flecha (2) Cincel (1) Trozo	Si	No	Plana y tosca Cacharro(12) Kimhae	Pulida (3)	2-1 a.C.	4)
Taesim-	" "	Trozo de cuchillo (1) Hacha(4) Trozo de hoz (1) Punta de flecha(7)	Si	No	Plana y tosca Cacharro(475) Kimhae(366)	Lascada (55) Pulida (17)	3-4 a.C.	5)
P'ungnam-ni	" "	Grampa(4) Anillo (1) Tozo de cuchillo(4) Rem.(1)	No	No	P'ungnam-ni Kimhae	Pulida (1)	0-2 d.C.	6)
Karak-dong	Tumba en tierra	Clavija, cuchillo, punta de lanza, grapa.	No	No	Plana y tosca Cántaro sepulcral	---	2-3 d.C.	7)
Sodun-dong	Poblado	Hacha, trozos de hierro.	No	No	Plana tosca Kimhae	---	No	Exc. por la U. de de Sunchon en 1979-80
Kogu-ri	Depósito de turba	Punta de flecha	No	No	Kimhae (trozo)	Pulida (2)	No	Saesedae News. 1962 N04-12
Kuui-dong	Tumba	Punta de flecha (300) Hacha(3), Cuchillo(3)	No	No	Principalmente plana, algo de P'ungnam-ni	Punta de flecha (1) Piedra pulida(1) otros	Tres Reinos	8)



**Fig. 4. Objetos de hierro encontrados en las ruinas de Machang-ni.**  
 a) Trozos de tobera de tierra. b) Escoria



**Fig. 5. Objetos de hierro encontrados en las ruinas de Igong-ni.**  
 a) Punta de flecha. b) Trozo de cuchillo.  
 c) Trozo de tobera de tierra

Cronológicamente hablando, se piensa que este sitio pertenece al período histórico después de la antigua Edad del Hierro. Se han investigado muestras para comparar la tecnología de fabricación de los artefactos de hierro para considerar cada etapa de desarrollo.

## 2) ARTEFACTOS ACOMPAÑANTES

Para entender el carácter de la cultura es necesario comparar y analizar los artefactos acompañantes descubiertos.

Particularmente el estudio de los artefactos acompañantes se aplica para la evaluación cronológica en caso de escasez de materiales arqueológicos desenterrados. Aquí voy a tratar con alfarería e implementos de piedra. Veamos tres sitios localizados cerca del área del valle del río Han. Se ve en la tabla 2 la comparación de alfarería e implementos de piedra .

Tabla 2. Comparación de alfarería e implementos de piedra descubiertos en el valle del río Puk Han

SITIO	Alfarería		Implementos de piedra		Fogón
	plana y tosca	estilo Kimhae	lascas	piedra pulida	
Machang-ni	4 piezas	3	--	6	De forma redonda De 1,2 m de diám.
Igong-ni Chung-do	28 12	20 7	4 -	32 3	64 x 50cm 95 x 120cm forma oval
(Taesim-ni)(*)(475)		(366)	(55)	(17)	
Total	44 (475)	30 (366)	4 (55)	41	(17)

(\*) El número entre paréntesis muestra los trozos de artefactos descubiertos en el área del valle del río Nam Han.

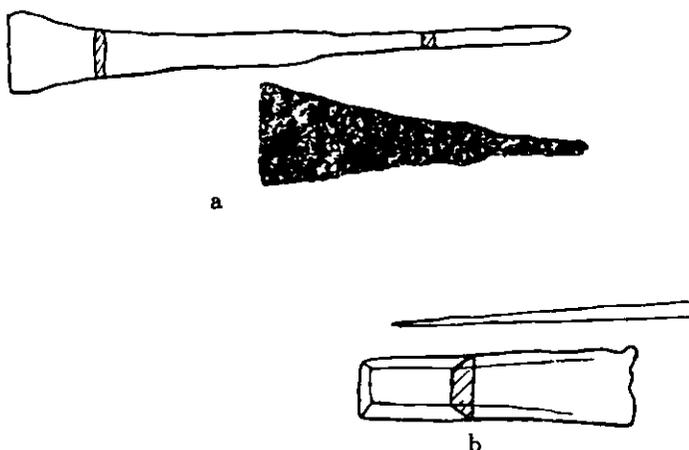


Fig. 6. Objetos de hierro encontrados en el sitio de Chang-do  
a) Punta de flecha. b) Cincel

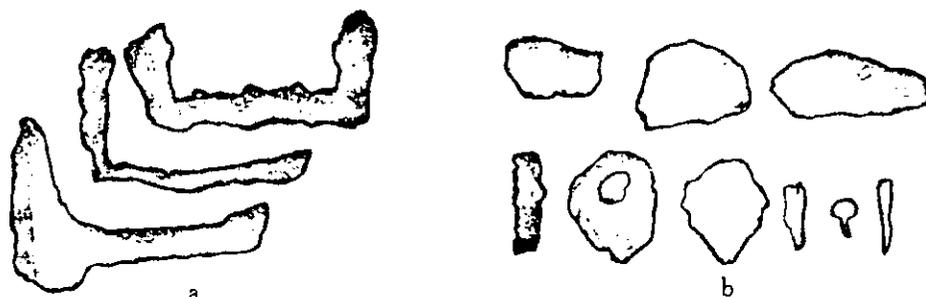
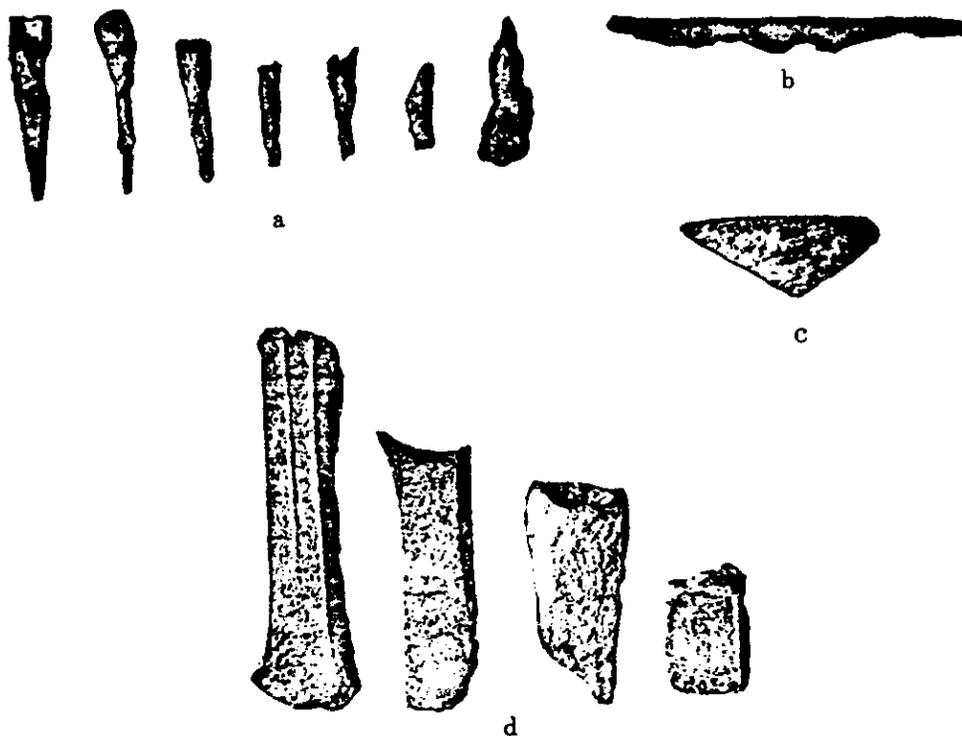


Fig. 7. Objetos de hierro encontrados en el sitio de P'ungnam-ri  
a) Grampa de hierro. b) Piezas de hierro



**Fig. 8. Objetos de hierro encontrados en el sitio de Taesim-ri.**

- |                       |              |
|-----------------------|--------------|
| a) Punta de flecha.   | b) Cuchillo. |
| c) Azada escardadora. | d) Hacha     |



**Fig. 9. Objetos de hierro encontrados en el sitio de Karak-dong.**

- |                      |            |
|----------------------|------------|
| a) Grampa de hierro. | b) Clavija |
|----------------------|------------|

En los cuatro sitios a lo largo de la cuenca del río Han la alfarería plana y tosca fue superior en un 30% a la del estilo Kimhae. Esto significa que la cultura de esta área estaba en la etapa de transición del período de la alfarería plana y tosca a la del estilo Kimhae.

En los sitios históricos donde la estructura arqueológica esta confirmada, los implementos de lascas de piedra son muy pequeños, pero un gran número de implementos de piedra lascada encontrados en el sitio de Taesimni tienen generalmente el carácter de artefactos de piedra pulida.

### 3) RESTOS METALURGICOS DE HIERRO

Los restos metalúrgicos de hierro descubiertos en los sitios antiguos de fabricación de hierro son ruinas de hornos, toberas (tubos de aire), escoria y artefactos de hierro.

Ruinas de hornos fueron halladas en Machang-ni, Chung-do e Igong-ni a lo largo del valle del río Puk Han, esos hornos estaban contruidos con piedras del río unidas por arcilla.

Las formas de los fogones descubiertos en Igong-ni y Chung-do son ova-les de 64 cm. x 50 cm. y 95 cm. x 120 cm. respectivamente, pero el fogón de Ma-chang-ni tiene forma circular con un diámetro de 120 cm.. Las toberas de tierra situadas bajo el fondo del horno generalmente se hacen con el propó-sito de incrementar la temperatura por soplado de aire.

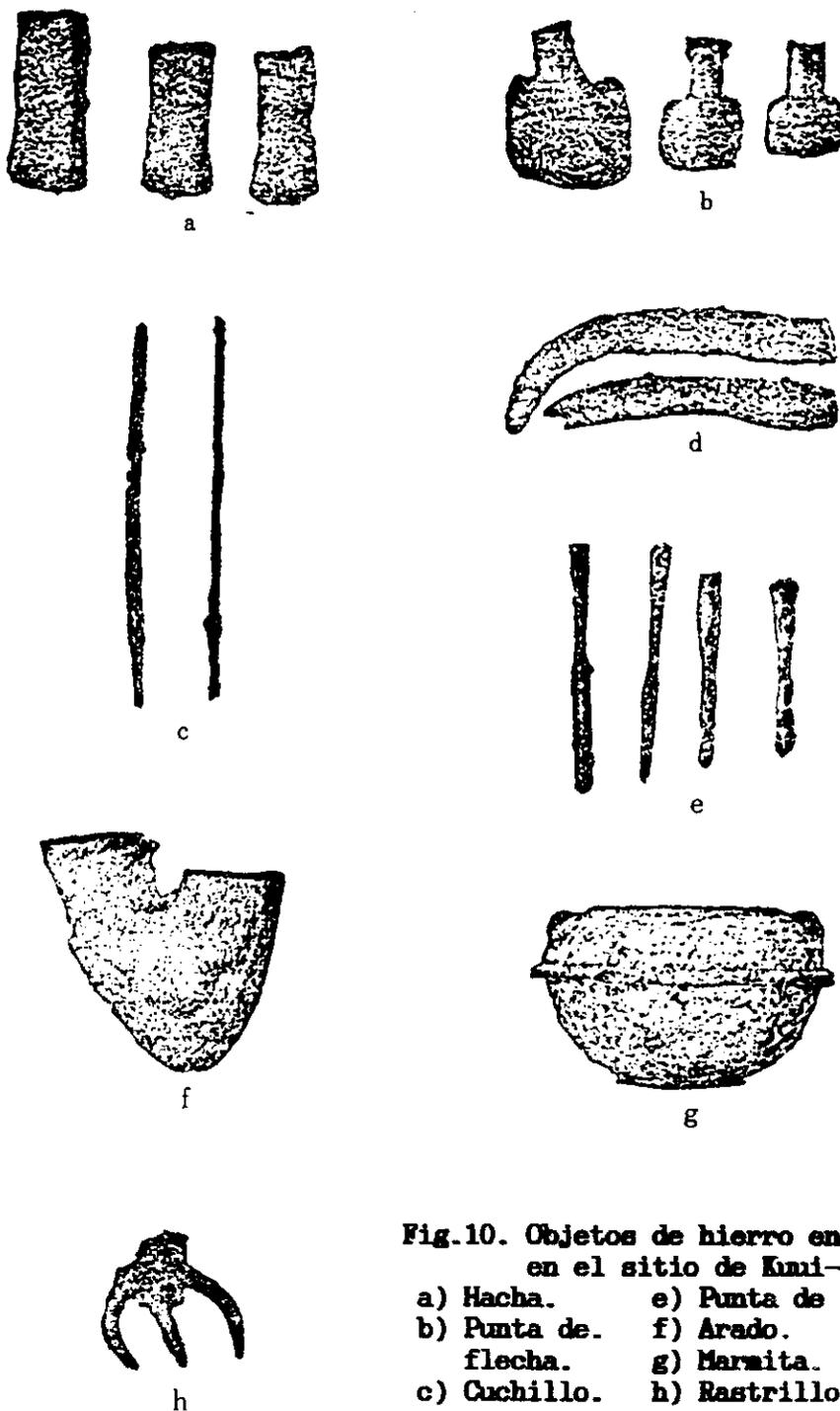


Fig.10. Objetos de hierro encontrados en el sitio de Kuni-dong.

- |                     |                   |
|---------------------|-------------------|
| a) Hacha.           | e) Punta de lanza |
| b) Punta de flecha. | f) Arado.         |
| c) Cuchillo.        | g) Marmita.       |
|                     | d) Hoz            |
|                     | h) Rastrillo      |



(1) Horno antes de desenterrar



(2) Restos del horno después de sacar la arcilla

Fig.11. Secuencia del desenterramiento de los restos de un horno

Esas toberas se encontraron en Machang-ni (varios tubos) y en el estrato cultural Nº 2 del sitio de Igong-ni (sólo un tubo).

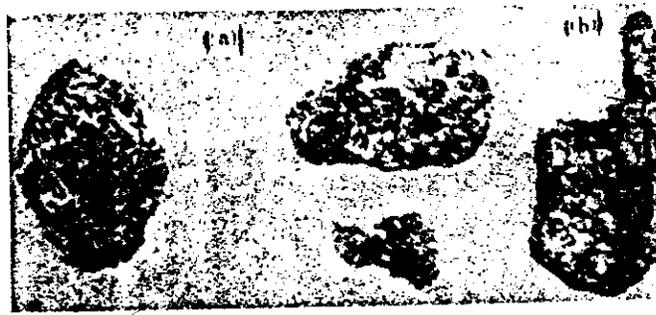
La escoria, un residuo que flota sobre el hierro fundido durante la fusión del mineral, es una buena evidencia del proceso de fabricación y se encontraron escorias en los sitios de Machang-ni, Igong-ni y Taesim-ni. A juzgar por tales evidencias, escorias, hornos y toberas es justo decir que los sitios de Machang-ni, Igong-ni, Chung-do y Taesim-ni del área del valle del río Han son relevantes lugares de fabricación de hierro, hay particular evidencia en los dos primeros sitios.

El área mas baja del valle del río Han como P'unghnam-ni, Karak-dong,

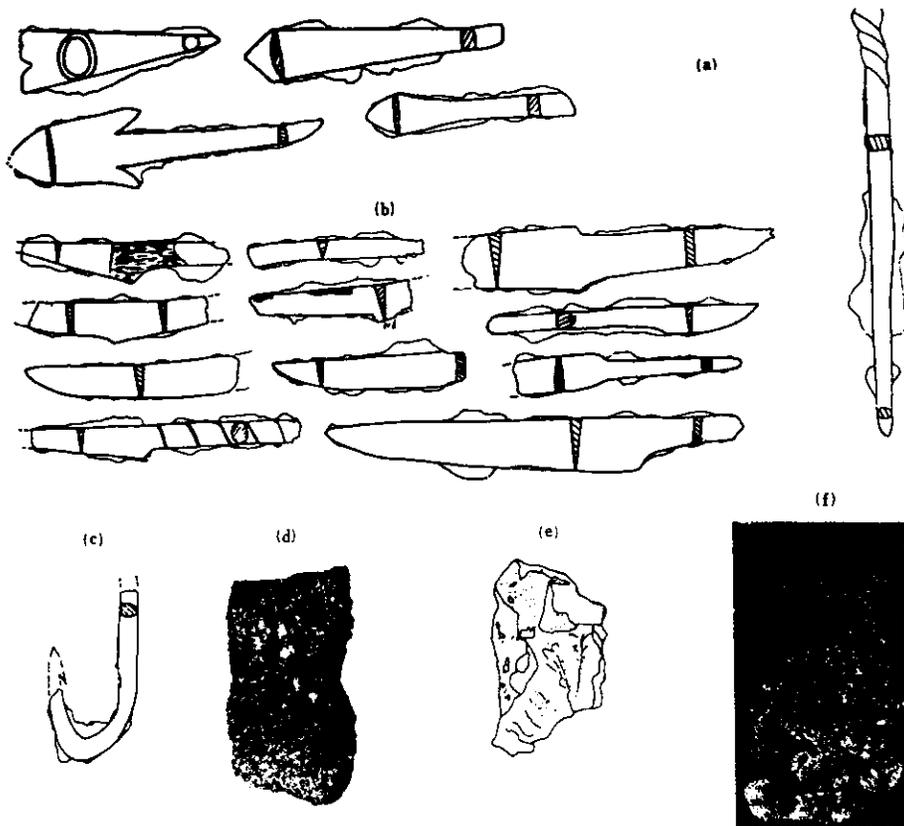
Tabla 3. Características de los concheros.

( ) No de objetos

Sitio	Estructura arqueológica		Sitio fabric.de hierro		Artefactos acompañantes			Cronología
			Objeto de hierro	Escoria	De tier. Estilo	De bronce	Otros	Referencias
Kimhae	Conchero		Hacha(2),cuch.(3),hoz(1),p. de flecha(1),trozo de hierro(1)	Si	Plana tosca, Estilo Kimhae	---	Hueso, piedra, moneda de piedra, arroz carb.	I d.C. Inf.expedic. 1920 Chosen Sodokufu
Yangsan	Conchero		Cuchillo	--	Estilo Kimhae	P. de flecha	De hueso, piedra pulida	I d.C. Inf.exp.1922 Sodokufu
Puwon-dong	Conchero (una región)		Cuchillo(11),p. de flecha(5),anzuelo(1),cincel (1)	Si	Estilo Kimhae	---	De hueso	Pwon-dong, Kimhae Museo de la U.de Tonga
Chodo	Conchero	C.alterada	Trozo de hoz(2)		Kimhae, Shil-La, Kogurio			I a III a.C. Conchero de Chodo 1976
		C.Nº1	Anzuelo(1)		Kimhae		De hueso	
		C.Nº2	Hoz(1),Cuch.(1)		Plana tosca		De hueso	
					Kimhae			
	Tumba piedra	Espada(1)punta de flecha(3)		Kimhae		De hueso		
Songsan	Conchero	A.este	Peq. hacha(1)		Kimhae			I a III a.C. Inf. exp. Conchero Songsa Oe., Masan
		Area sud-oeste	Cuchillo(1).p.de flecha(1),cincel(1) grapa, trozos(3)	Si	Plana, tosca Kimhae Shil-La		Ornamento Wu-shu-chien de hueso	
		Area Norte	Cuchillo(16),p.de flecha(14),hacha (2),cincel(1)	Si	Estilo Kimhae	Bronce	Ornamento de hueso	
Ungchon	Conchero	Cuchillo(27),hacha (10)p.de flecha(29) anzuelo(2),hoz(8), arpón(1),arado(1), trozo(4)	-	Estilo Kimhae	---	De hueso de piedra ornamento	I d.C. Estudio sob. Ungchon 1967	
Ko-song	Conchero	Cuchillo(3), otros(3)	Si	Plana, tosca, Kimhae	Arpón de cobre	de hueso hueso humano arroz carb.	No hay publicación	
Sugarri	Conchero (área N95)	Hoz, cuchillo, p. de flecha, etc.	Sitio horno	Kimhae	---	de hueso	Museo Newspapers 1979.9.1	
Nakmin-dong Suan-dong	Conchero	Cuchillo(1)	----	Estilo Kimhae	---	De hueso	No hay publicación	



**Fig. 12. Artefactos descubiertos en el conchero de Kimhae.**  
 a) Trozos de implementos de hierro.  
 b) Cabeza de hacha de hierro



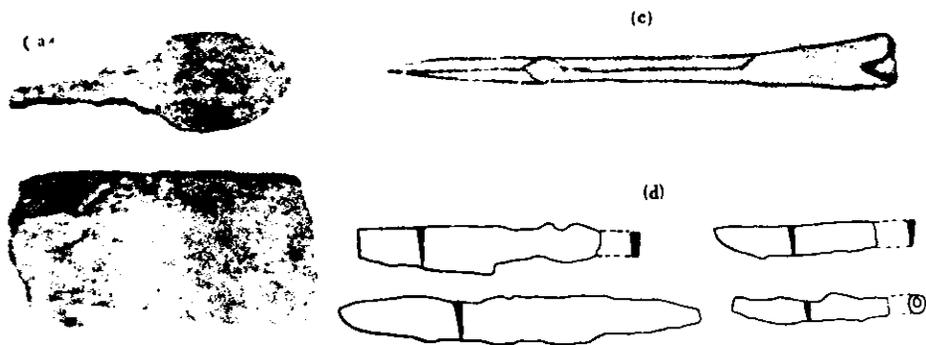
**Fig. 13. Artefactos descubiertos en el conchero de Puwon-dong.**  
 a) Punta de flecha.      b) Cuchillo.      c) Anzuelo.  
 d) Cincel.                e) Escoria.      f) Hacha

Sodun-dong y Kogu-ri no produjeron ninguna evidencia de producción de hierro. Describiré esos sitios a través del análisis químico y metalográfico de los implementos de hierro allí encontrados.

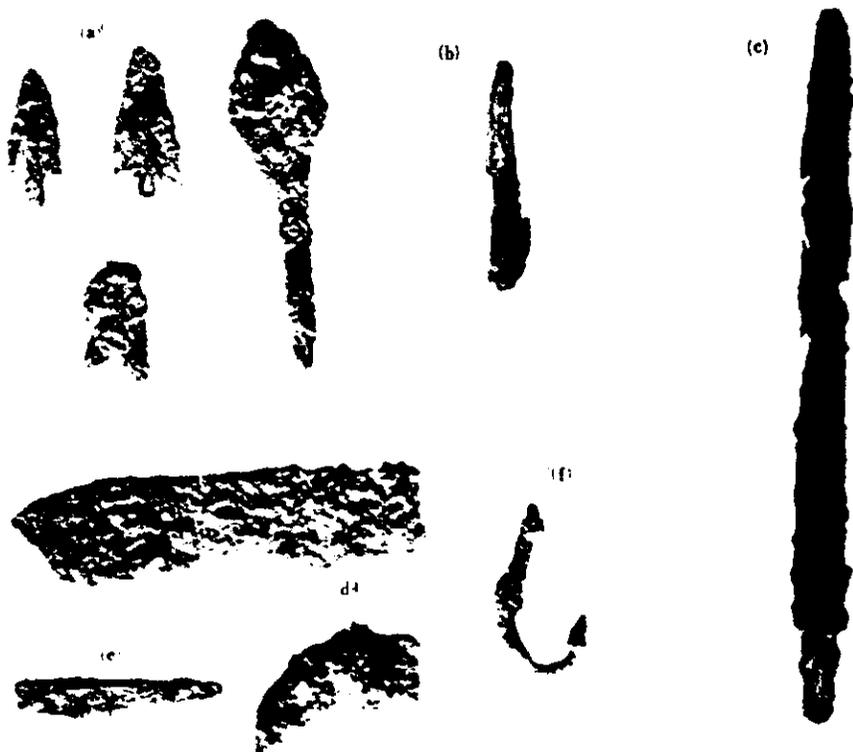
### 3.2. EL VALLE DEL RIO NAKTONG

#### 1) SITIOS

La región del valle del río Naktong está compuesta de nueve concheros como Yangsan, Tongnae, Chodo, Puwon-dong, Kimhae, Suga-ri (localizado en la región inferior del valle del río), Songsan, Ungch'on y Kosong (sud y oeste de la provincia de Kyong Sang).



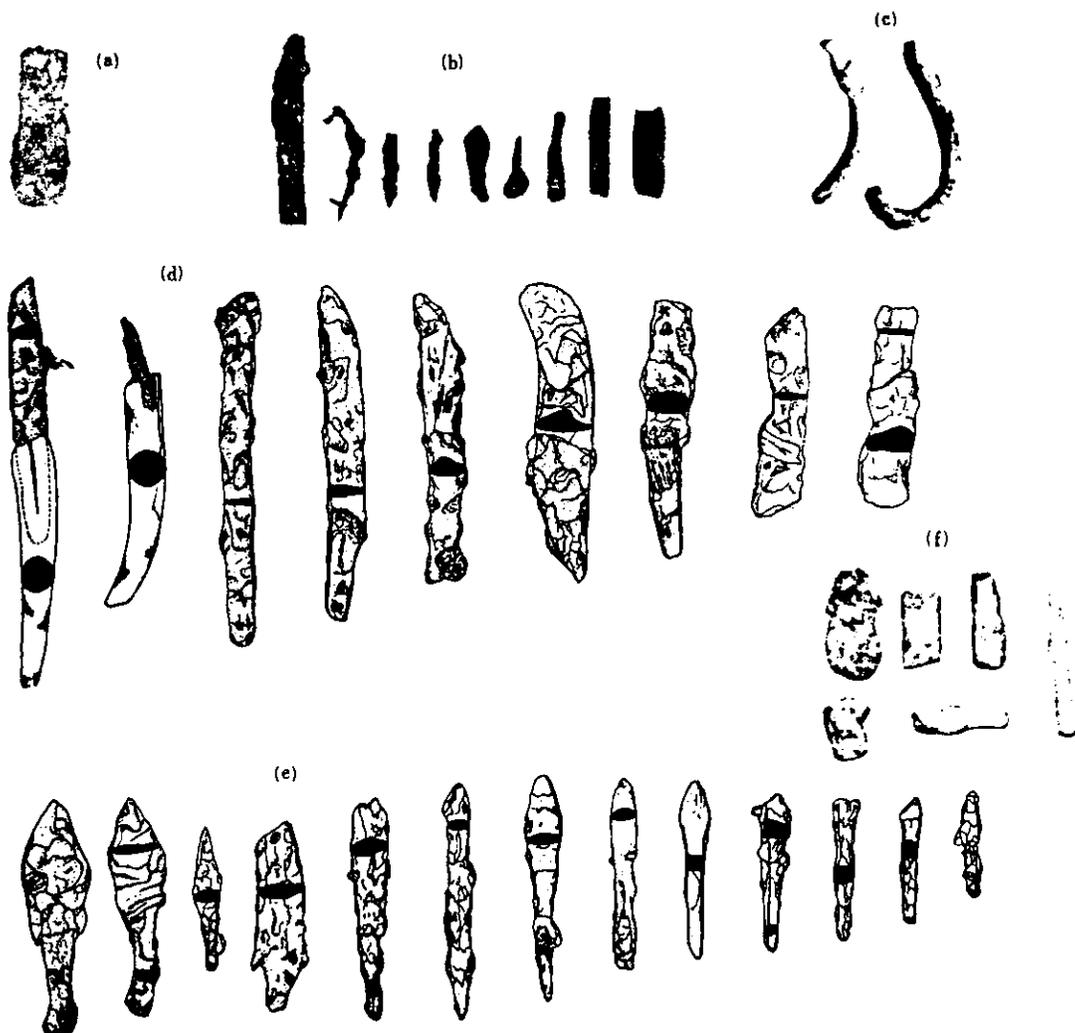
**Fig. 14. Artefactos de hierro descubiertos en el conchero de Ungch'on.**  
 a) Punta de flecha. b) Hacha. c) Punta de lanza. d) Cuchillo



**Fig. 15. Artefactos de hierro descubiertos en Chodo.**  
 a) Punta de flecha. b) Trozo de implemento. c) Espada.  
 d) Hoz. e) Cuchillo. f) Anzuelo

La característica general de estos sitios está bien representada en la tabla 3 y los implementos de hierro descubiertos en esos sitios se presentan en las figuras 12, 13, 14, 15, 16 y 17. El conchero de Kimhae (9) localizado en Bonghwang-dong, Kimhae fue excavado por los escolares japoneses Hamata y Umehara en 1920 y se ha convertido en un sitio típico de la edad protohistórica llamado período de la cultura Kimhae, representada por la alfarería de estilo Kimhae, completamente diferente de la alfarería plana y tosca.

De acuerdo a este sitio es posible establecer una norma en la evaluación de la cronología relativa de la arqueología coreana. El conchero de Yangsan (10) localizado en Nanbu-dong, Yangsan-gun fue presentado en el informe de la excavación publicado en 1924 pero produjo únicamente un cuchillo



**Fig. 16. Artefactos de hierro descubiertos en el conchero de Songsan.**

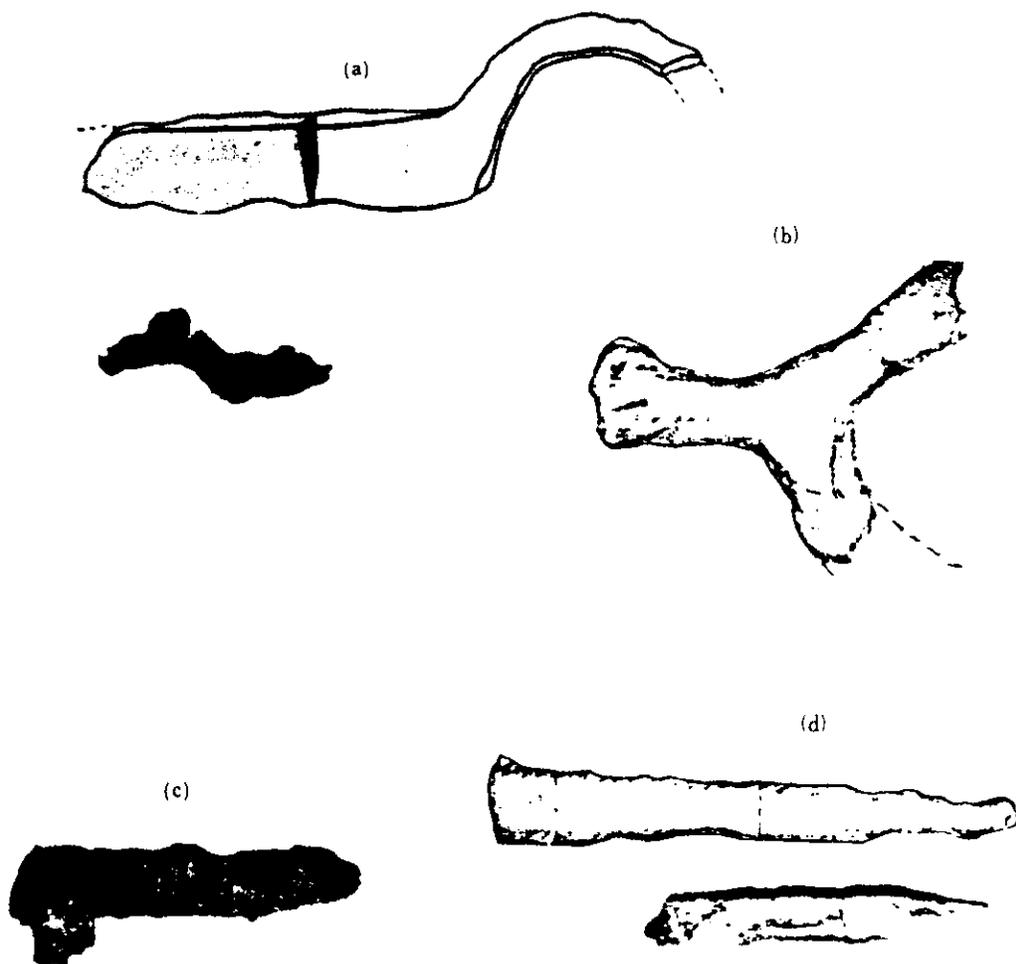
- |                                 |                             |
|---------------------------------|-----------------------------|
| a) Hacha del este de la región. | b) Cuchillo del sudoeste.   |
| c) Aguja del norte.             | d) Cuchillo del norte.      |
| e) Punta de flecha del norte.   | f) Hacha y punzón del norte |

llo de hierro, una punta de flecha de cobre, alfarería Kimhae e implementos de hueso.

El conchero de Puwon-dong, localizado en Puwon-dong, Kimhae-gun, fue excavado por el equipo arqueológico del Museo de la Universidad de Tonga y produjo no solo muchos implementos de hierro sino también escorias.

El conchero de Chodo, en una pequeña isla frente al puerto de Pusan, fue excavado en 1976, siendo el área Nº 1 de este sitio contemporánea con el período Kimhae.(12) Este sitio es famoso porque produjo un gran esqueleto humano, completo, descubierto en las capas de conchas.

El conchero de Songsan localizado en Oe-dong, ciudad de Ch'angwon, Kyongsang Namdo fue excavado por el "Cultural Property Bureau" en 1974 (13) y produjo no solamente una moneda de cobre incluida en piedra llamada Wu shu ch'ien, objetos de tierra e implementos de hueso, en diversos estratos, sino también pilas de escoria presentando así evidencia de fabricación de hierro y auxiliando a la datación relativa.



**Fig. 17. Artefactos de hierro descubiertos en el conchero de Kosong.**  
 a) Cuchillo con puño ornamental de forma redonda.  
 b) Implemento de forma redonda. c) Cuchillo. d) Clavo

El conchero de Ungch'on, localizado en la ciudad de Chinhae, Kyong-sang, Nando se formó en el bajo terraplén a 215-216 m sobre el nivel del mar y fue excavado tres veces por el equipo arqueológico del museo de la Universidad de Corea entre 1959 y 1964 (14), este sitio produjo cerca de 40000 artículos, incluidos 83 implementos de hierro siendo el resto implementos no metálicos.

El conchero de Kosong, localizado en Tongoe-dong, Kosong-up, Kosong-gun, fue excavado por el Museo Nacional, pero el informe de la excavación de este sitio aún no fue publicado. Este sitio produjo escoria y varios implementos de hierro dando evidencia de ser un sitio de fabricación de hierro.

Suga-ri, otro conchero fue excavado por el equipo del Museo de la Universidad de Pusan entre 1978 y 1979 (15).

## 2) ARTEFACTOS ACOMPAÑANTES

Es necesario examinar otros artefactos acompañantes para comprender la base cultural de un sitio que produce artefactos de hierro. Aquí, voy a establecer una cronología relativa en base a los artefactos acompañantes.

El sistema funerario y el estilo cerámico se utilizan generalmente pa-

ra la datación arqueológica. En el caso de concheros, la alfarería se utiliza para la datación. Todos los concheros tratados aquí están incluidos en el período Kimhae representado por la alfarería de estilo Kimhae, según se muestra en la tabla 3, cuatro sitios entre ellos, sin embargo, están acompañados por alfarería plana y basta. La excavación de los concheros del distrito sudoeste de Songsan revela que la alfarería plana y basta, la alfarería Kimhae y la alfarería Shil La están cronológicamente ordenadas de la capa inferior a la superior.

En relación a la alfarería descubierta en el sitio, estos concheros muestran un estado de transición de la alfarería plana y basta hasta la alfarería del período Kimhae. Puntas de flechas de bronce de Yangsan, cobre del distrito sudoeste de Wu shu ch'ien y artefactos de bronce del distrito norte de Songsan y un arpón de cobre en el conchero de Kosong están todos acompañados por muchos implementos de hierro, lo cual significa que estos sitios pertenecen a la Edad del Hierro.

Otros datos arqueológicos tales como muchas puntas de flechas entre implementos de hueso y hierro, hoz de hierro y arroz carbonizado representan la base económica de caza y agricultura de esos tiempos. Esto refleja también el estado de transición de la caza al cultivo.

### 3) RESTOS DE LA METALURGIA DEL HIERRO

Hornos, toberas (tubos sopladores), escoria, e implementos de hierro reflejan bien la etapa de fabricación de hierro en los tiempos antiguos, pero la falta de tales evidencias como hornos y toberas no permiten reconocer trazas arqueológicas de sitios de producción de hierro con excepción del conchero de Songsan donde se encontraron restos.

Fueron descubiertas escorias en Kimhae, Puwon-dong y en el sud-oeste y en el norte del conchero del distrito de Songsan, escorias y toberas se encontraron como una evidencia de la fabricación del hierro (16). Otras escorias descubiertas en los concheros del norte del distrito de Songsan, Kimhae, Puwon-dong y Kosong permiten suponer que son material de desperdicio de la población de los concheros de los antiguos tiempos.

Se pueden deducir los procesos metalúrgicos a partir de los análisis químicos de las escorias y se pueden confirmar detalles del proceso con la ayuda del análisis químico de los implementos de hierro como también con la investigación metalográfica.

### 3.3. SITIOS RELACIONADOS CON LA DISTRIBUCION DE DEPOSITOS DE MINERALES DE HIERRO

Es importante examinar los sitios de fabricación del hierro en relación con los depósitos de mineral de hierro como arenas ferruginosas y afloramientos después del ejemplo de Europa, China y Japón. De hecho, no es razonable relacionar directamente las arenas ferruginosas o los afloramientos con los sitios de la Edad del Hierro, sin embargo algunas veces pueden ayudar en casos de datación arqueológica no clara.

#### 1) EL VALLE DEL RIO HAN

Aquí examinaré los sitios localizados cerca del área del valle del río Han respecto a la distribución de los depósitos de minerales de hierro.

Se piensa generalmente que los afloramientos y la arena ferruginosa pudieron haber sido usados como materia prima en los antiguos tiempos y de allí que se de por sentado que los sitios están relativamente correlacionados con la distribución de los afloramientos y las arenas ferruginosas (fig.18).

Los sitios localizados cerca del área del valle del río Puk Han, tales

como Igong-ni y Machan-ni están rodeados por la mina de hierro Nº 36273 (Kap'yong-myon, Kap'yong-gun), la mina Chunchon Nam-myon (Nam-myon, Chunson-gun), la mina P'ochon (Ildong-myon, P'och'on) y la mina Kumkyu (Ildong-myon, P'och'on). Así, los sitios antes nombrados se surtieron de las minas de hierro cercanas.

En el caso del sitio Chungdo, localizado lejos de la mina Hongch'on (Tuch'on-myon, Hongch'on-gun), posiblemente, los antiguos metalúrgicos obtenían la arena ferruginosa de la existencia acumulada por flotación de minerales de malla fina, a lo largo de la costa del río, como un proceso de beneficio natural, de la mina Hongch'on y otras minas adyacentes.

El sitio Taesim-ni localizado cerca del valle del río Puk Han pudo haber obtenido los minerales de depósitos originados de concentrados del área de la mina de Chungchon-Pukto. En el precipicio de la aldea de Taet'an a 800 m de este sitio, como en el caso del sitio Chungdo, se encuentran capas ricas en arenas ferruginosas.

Los sitios P'unghnam-ni, Karak-dong y Kuni-dong pudieron obtener minerales de hierro de las minas circundantes tales como, Kwangju (Tongbu-myon Kwangju-gun), la mina Puch'ang (Pup'yong-myon), Unsong (Sorae-myon, Puch'on-gun) Kyongin (Kansok-dong, Puch'on-gun) y la mina Kumma (Sinhyon-dong, Puch'on-gun).

El sitio Sodun-dong está localizado cerca de la mina Wonkok (Kunja-myon, Sihung-gun). Carentes de restos metalúrgicos de esos sitios tratamos de formarnos alguna idea a partir de los implementos de hierro manufacturados posiblemente cerca del área de la mina. El sitio Kogu-ri tiene una gran ventaja geográfica para obtener mineral de hierro debido a que las minas Nº 54 Onsu-ri (Hwado-myon, Kanghwa-gun) y Soyonp'yong-do (Sodo-myon, Kangwa-gun) no sólo son adyacentes sino también ricas en magnetita ferrotitánica.

A juzgar por las minas de hierro o de arena ferruginosa que circundan los sitios, es posible suponer que los arcaicos fundidores de la antigua Edad del Hierro obtenían minerales fácilmente de los lugares localizados cerca de los sitios.

## 2) EL VALLE DEL RIO NAKTONG

La figura 19 es el mapa de la distribución de los concheros incluidos de la antigua Edad del Hierro y de las minas de hierro. El conchero de Kosong está localizado cerca de la mina Ch'ongsong, el sitio Songsan cerca de Ch'olsan y Ungch'on cerca de la mina Chungbong san.

Los concheros de Kimhae y Puwon-dong están rodeados por las minas tales como Chonbuk, Maery, Kimhae, Daebang y la mina Nº 52 de Kimhae.

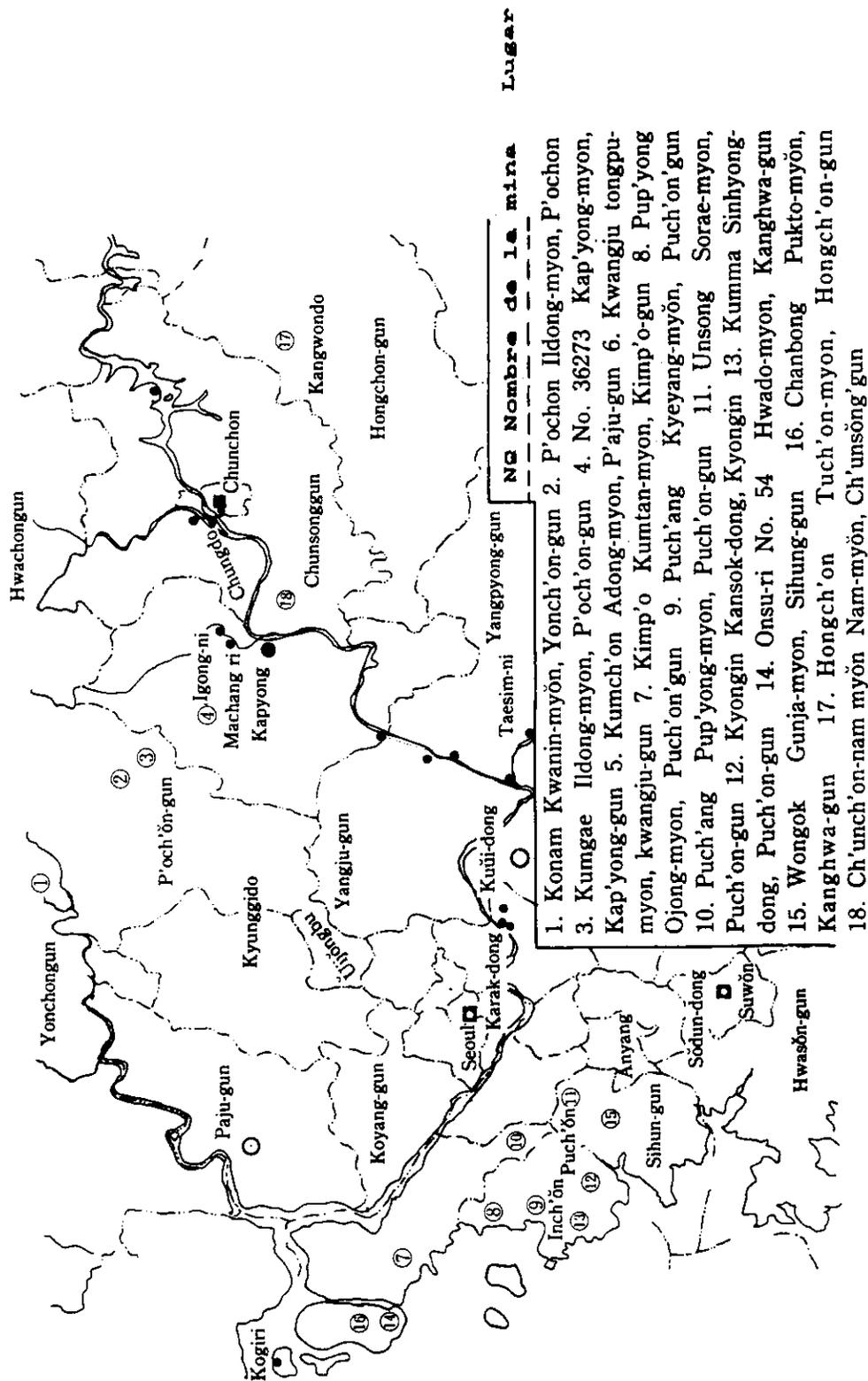
El conchero de Yangsan esta localizado cerca de las minas Kyungnam y Mulkm. El Tongnae esta rodeado por las minas Tongnae y Songji. El Chodo está estrechamente relacionado con las minas de Pusan y Kadok. Otros sitios de ruinas funerarias excluyendo los concheros muestran una similar situación accesible a las minas de hierro.

Por lo tanto es posible que los sitios de fabricación de hierro durante la antigua Edad del Hierro estuvieran cerca de las minas de hierro para explotar los recursos geológicos naturales.

Para clarificar la anterior descripción es por completo necesario llevar a cabo una investigación científica empleando microanálisis de los implementos de hierro descubiertos en los sitios de fabricación de hierro y los minerales de hierro de las minas circundantes.

Notas del capítulo 3

- (1) H. A. MacCord: *The Able site, Kap' Yong, Korea, Asian Perspective II* (1958) 128-138.
- (2) Kim, Won-Yong, *Able site al Machang-ni, Kap' Yong, Yoksa Hakpo* 50/51 (1971.9) p. 124-126.
- (3) Choi, Mu-chang, *Excavation Report on the Early Iron Age Settlement at Igong-ni, Kondae Inmun Kwahak Nonch'ong* No 12 (1979).
- (4) National Museum, *Excavation Report No12* (1980.12) p.17-27.
- (5) Cultural Property Bureau, *Excavation Report on the Taesimpni site, Yang P' Yong* (1974.12) pp.224-227.
- (6) Kim, Wong-yong, *Excavation Report on the P'unngnam-ni site, Seoul National University* (1967) p.36.
- (7) Yun se-yong, *Excavation Report on the Tombs No 1 and 2 at Karak-dong, Kogohak* No3 (1974) p.138.
- (8) Archeological Team for the *Excavation of Hawayang District. Excavation Report on the Sites Located in Hwayang District* (1977) p.21.
- (9) Hamata & Umehara, *Excavation Report on the Kimhae Shellmound. Chosen Sodo-kufu* (1920).
- (10) *Excavation Report of 1922 No 2, Chosen Sodokufu 1922.*
- (11) *Excavation Report on the Puwon-dong Site, Tonga University Museum,* (1976).
- (12) Han Byong-sam & Yi Gon-mu, *Excavation Report on the Chodo Shellmound* (1976).
- (13) *Excavation Report on the Songsan Shellmound, Cultural Property Bureau,* (1976).
- (14) Kim Chong-hak, "A Study of the Ungch'on Shellmound, *Asia Studies, Vol 10* (1967) No 4.
- (15) Chong Ching-won et al. *Excavation Report on the Sugari Shellmound* (1981).
- (16) Choi, Mong-lyong: *Excavation Report on the West-south District of Songsan Shellmound. Cultural Property Bureau* (1976).



**Fig. 18. Mapa de la distribución de los sitios de la antigua Edad del Hierro localizados cerca de la región del río Han y minas de hierro relacionadas con estos sitios**

mine	Lugar	mina	Lugar
1. Hadong	Akyang-myŏn, Hadong-gun	13. Mul Kum	Mulkum-myŏn, Yangsan-gun
2. Sanch'ong	Ch'ongam-myŏn, Hadong-gun	14. Taebang	Mulkum-myŏn, Yangsan-gun
3. Namhae gich'ol	Ch'angson-myŏn, Namhae-gun	15. Kimhae	Taedong-myŏn, Kimhae-gun
4. Cho'nsong	Kaech'on-myŏn, Kosong-gun	16. Maeri	Sangdong-myŏn, Kimhae-gun
5. Daegoksan	Naeso-myŏn, Ch'angwon-gun	17. Tongnae	Kimhae-gun, Mangmi-dong, Tongnae-ku
6. Kadok	Noksan-myŏn, Kimhae-gun	18. Songji	Songji-dong, Pusanjin-ku
7. Chŏnbuk	Ibuk-myŏn, Kimhae-up	19. Pusan	Sodaesin-dong, Pusanjin-ku
8. Dalch'on	Nongso-myŏn, Uiju-gun	20. Jungbongsan	Jangmok-myŏn, Kojae-gun
9. Ulsan	Nongso-myŏn, Uiju-gun	21. Kyŏngju	Kyongok-myŏn, Kyongju
10. Tongin	Tanjung-myŏn, Milyang-gun	22. Yonil No. 57	Och'on-myŏn, Yongil-gun
11. Kyŏngnam	Mulkum-myŏn, Yangsan-gun	23. Hongnam	Namch'on-myŏn, Kyongsan-gun
12. Kimhae No. 52	Sangnong-myŏn, Kimhae-gun	24. Okp'o	Koch'ang-myŏn, Dalsong-gun

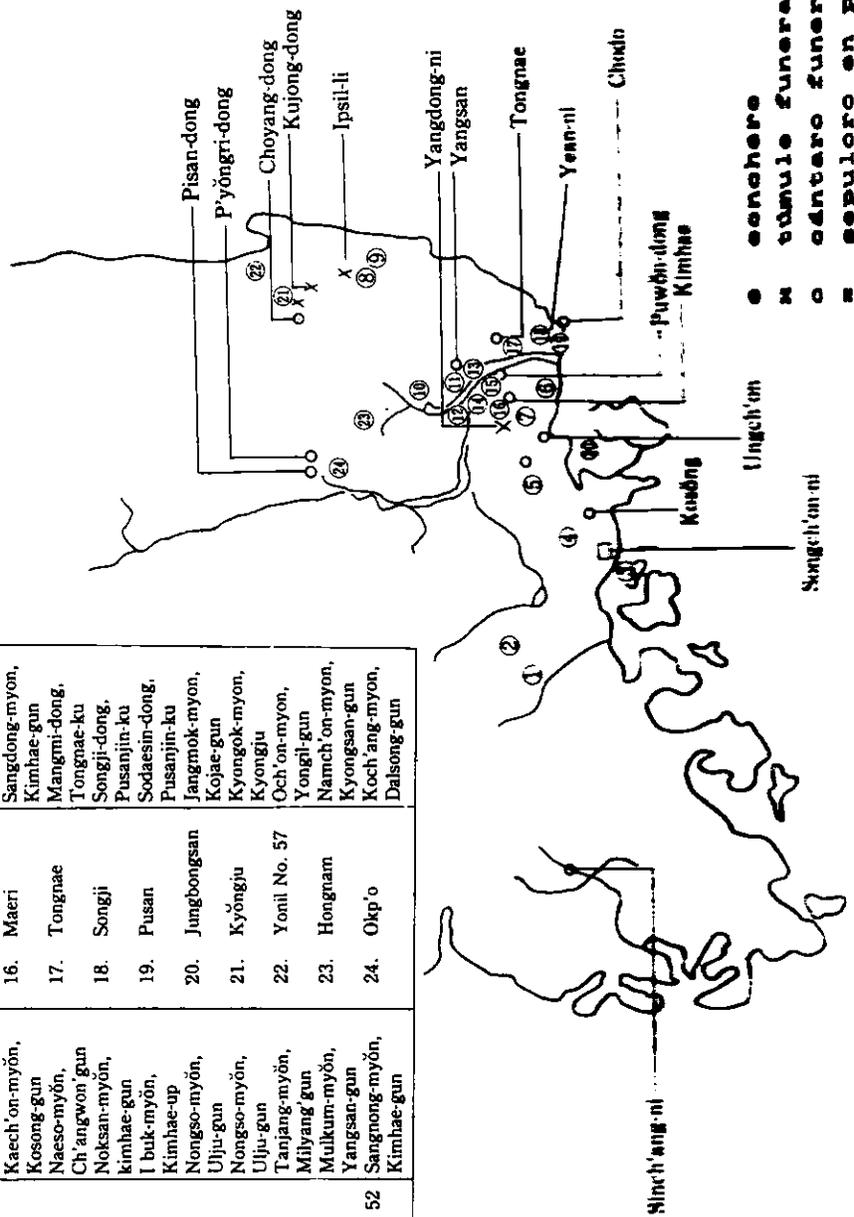


Fig. 19. Mapa de la distribución de los sitios de la antigua Edad del Hierro localizados cerca de la región del río Nakdong y minas de hierro cercanos a ellos.

## 4. METODOS ANALITICOS DE LOS ARTEFACTOS DE HIERRO

---

### 4.1 CARACTERISTICAS DE LOS ARTEFACTOS

En la elección de las muestras para el análisis de los artefactos de hierro es muy difícil tal clase de muestreo debido a la escasez del número de artefactos de hierro de la antigua Edad del Hierro y a su severa corrosión.

Por esto, de una a siete muestras de los artefactos se puede disponer en cada región. La característica de esas muestras las vemos en la tablas 4 y 5.

#### 1) EL VALLE DEL RIO HAN

Los cuatro trozos de artefactos incluida una punta de flecha de hierro se encontraron en el área del valle del río Puk Han, en el sitio de Chungdo. De ellos, la punta de flecha de hierro es plana y otra con forma de hoja de hacha, la punta de flecha corta se tomó como muestra. Hachas de esta clase han sido encontradas frecuentemente en el área de Mongolia, al noreste de la península. Recientemente se las encontró en la tumba de piedra de la antigua edad de Kogurio en el área del río Tokro en viejos cementerios en Yongung-ri, Sunan-gun y viejas tumbas de Shil La.

Únicamente dos fragmentos de hierro se encontraron en Machang-ni, este es otro sitio histórico de fabricación de hierro en el área del río Puk Han.

Un fragmento de un tubo soplador fue encontrado cerca del horno, como así también dos fragmentos de hierro y escoria en la excavación vertical del asentamiento.

Uno de ellos se tomó como muestra. Todas las trece piezas, incluidas cuatro hachas de hierro fueron encontradas en Taesim-ni donde sólo hay ruinas de producción de hierro en el área del río Nam Han en un sitio de producción en la temprana Edad del Hierro. De ellos, los pequeños fragmentos de hachas de hierro fueron analizados por el Instituto Nacional de la Industria y los resultados se tomaron para comparar.

Las diez piezas de hierro, incluidos cuatro fragmentos de hierro y cuatro grapas de hierro fueron encontradas en el sitio de Pungnap-ri, aguas abajo del río Han. De ellas una grapa de hierro con la hoja rota y una pieza de hierro se tomaron como muestras.

Es evidente que la grapa de hierro se usó en la construcción de edificios y es muy posible que el fragmento de hierro fue una especie de utensilio casero a juzgar por la naturaleza del sitio histórico.

El sitio de Kuui-dong en Sodong-ku, aguas abajo del río Han es una ruina de una manufactura de hierro en el antiguo período de los Tres Reinos.

Aunque este sitio es posterior a la antigua Edad del Hierro, se lo tomó a los efectos de hacer un análisis comparativo del proceso de desarrollo tecnológico de la cultura del hierro.

Las herramientas de hierro fueron extensamente usadas en el antiguo período de los Tres Reinos. Por ello se encontraron, en la vieja tumba de Kuui-dong, cerca de 340 piezas incluyendo 300 puntas de flechas de hierro, 10 puntas de arpones y 7 trozos de azadones de hierro. Entre ellas, se tomaron como muestras un trozo de reja de arado, un trozo de un objeto de hierro y una punta de flecha.

#### 2) EL VALLE DEL RIO NAKTONG

Se encontró cobre de Wu shu ch'ien y objetos de tierra de estilo Kimhae en las capas del sector sudoeste del conchero de Songsan, y se recolectó escoria como test de la superficie del sitio de fabricación de hierro

**Tabla 4. Características de los objetos tomados como muestras en el valle del río Han**

Nombre de el sitio	Estructura arqueológica	Muestra Nº	Clase de artefacto	Observaciones
Chung-do	Asentamiento	Hd-3-1	Punta de flecha	Flecha plana
Machang-ri	Asentamiento	Hf-1-1	Fragmento de hierro	Desenterrada de de la excavación vertical del establecimiento con escoria.
Taesim-ni	Estrato cultural	# 1	Hacha	Análisis del Laboratorio Nacional de la Industria.
Pungnam-ri	Estrato cultural	Hd-1-1 Hd-1-2	Fragmento de hierro Grapa de hierro	Utensilio Construcción de edificios
Kuui-dong	Antigua tumba	If-1-1 If-1-2 If-1-3	Arado Fragmento de hierro Cinzel	Ambos lados están proyectados  Tiene una agarradera. Proceso en madera.

(de una pila de escoria) en la cual se encontró un objeto de tierra plano y basto acompañado por implementos de piedra pulida en la capa amarillo bronceada de arcilla.

De la sección norte del conchero de Songsan se tomaron como muestras dos trozos de objetos de hierro de forma no identificada.

Del conchero de Kosong se tomaron como muestras dos trozos de cuchillos de hierro con ornamentos de forma redonda en el mango, un trozo de un cuchillo de forma no identificada, un trozo de forma rectangular de una clavija de hierro severamente corroída no reconocible en su forma, un trozo de un anillo de hierro y un trozo de escoria. Del sitio de Ungchon se eligieron como muestras, un trozo de hierro de punta de flecha, de sección rectangular, con una muy ancha punta, un trozo de arpón de hierro de sección transversal romboédrica con un alveolo redondo a través del cual se puede introducir la mano en el cabezal y un trozo de hacha de sección transversal de forma trapezoidal con similar forma la sección transversal de la parte de la cabeza.

Del conchero de Puwon-dong se eligieron también como muestras un trozo de cuchillo de gran sección transversal y un bloque de escoria.

Una pieza de hoz de la segunda capa del conchero de Chodo, un pedazo de cuchillo, una punta de flecha de la primera capa de la tumba de piedra y dos trozos de objetos de hierro de la capa alterada se eligieron como muestras con el objeto de comparar con la isla de Chodo.

Tabla 5. Características de los artefactos tomados como muestras de los concheros del valle del río Naktong

Sitio	Estructura arqueológica	Muestra Nº	Objeto de hierro	Características
Songsan	área norte del conchero	Gp-1-1	Trozo de hierro	De forma imposible de definir
		Gp-1-2	Trozo de hierro	" "
	Area sudoeste del sitio de fabricación de hierro.	Gp-1-3	Escoria	Apilada bajo capas del conchero
Kosong	conchero	Gp-2-4	Cuchillo	Con un ornamento en el mango de forma redonda.
		Gp-2-6	Cuchillo	" "
		Gp-2-8	Trozo de cuchillo	
		Gp-2-1	Clavo	Sección rectang.
		Gp-2-7	Clavo	Simil. a Gp-2-8
		Gp-2-2	Hierro redondo	
		Gp-2-3	Escoria	
Ungch'ŏ	conchero	Gp-4-3	Punta de flecha	Chata
		Gp-4-1	Hacha	Con orificio en el puño
		Gp-4-2	Punta de arpón	""
Puwon-dong	conchero	Gp-5-1	Cuchillo	Símbolo(I 35)
		Gp-5-2	Cinzel	Símbolo(I 55)
		Gp-5-3	Escoria	
Chodo	conchero (capa Nº 2)	Gp-3-2	Cuchillo	
		Gp-3-6	Hoz	
	Tumba de piedra capa Nº 1	Gp-3-5	Punta de flecha	Plana
	Capa alterada	Gp-3-1	Trozo de hoz	
		Gp-3-3	Pieza de hierro	
		Gp-3-4	Pieza de hierro	

## 4.2. METODOS DE ANALISIS QUIMICO

El propósito principal del análisis químico y estructural de los artefactos de hierro es conocer las propiedades del artefacto investigando composición y estructura y también estimar el nivel tecnológico de esos días.

Para cumplir con este objetivo, primero realizamos un análisis químico y segundo buscamos como esa composición química afecta a las propiedades de los artefactos usando el método metalográfico.

Para el análisis químico con el cual determinamos la composición elemental usamos las normas de KS y JIS.

La superficie de la mayoría de los artefactos tiene siempre partes que no son de hierro debido a la severa corrosión. Por esto para buscar la parte de hierro de los artefactos debe hacerse el ensayo de chispa (KSD-0218).

Los implementos de hierro, confirmada su parte de hierro, se virutearon con una mecha de 3 mm. para obtener polvo de hierro.

Empleando este polvo de hierro el análisis químico se realizó como se ve en la figura 20.

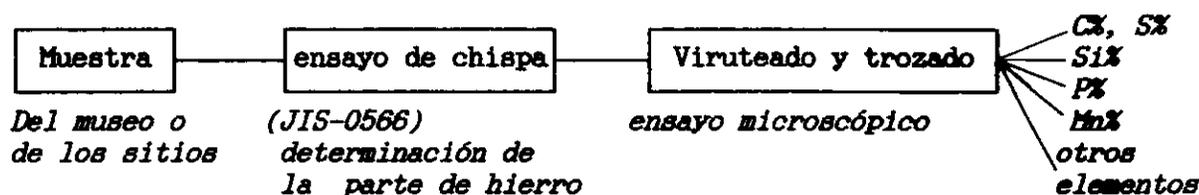


Fig. 20 Proceso del análisis

Aunque el método analítico está definido por la norma JIS E 1212-E 1232 se analizó principalmente C, Si, Mn, P y S para proteger el artefacto, si se creía necesario se analizaban los otros componentes.

En el caso de la escoria para la determinación de hierro total, óxido férrico,  $Al_2O_3$ , CaO, MgO y MnO se empleó el análisis por vía húmeda.

## 4.3 ANALISIS MICROSCOPICO

El análisis metalográfico es la parte esencial de la investigación de la estructura de los objetos metálicos para conocer las propiedades del material y detectar los defectos de origen.

Con este objeto se empleó el microscopio óptico para determinar el tamaño de grano, inclusiones no metálicas, tratamiento térmico de la estructura, capa descarburada y carburada y varios tipos de carburos. El proceso lo mostramos en la figura 21.

Confirmada la parte de hierro por el ensayo de chispa se realizó el ensayo metalográfico antes que el análisis químico para minimizar el daño del artefacto.

Eligiendo la parte más estable del hierro confirmado se procede a pulir la superficie.

La clase y distribución de las inclusiones no metálicas se confirman usando la muestra pulida. Después, la muestra se ataca con Nital al 3% (solución alcohólica de ácido nítrico). Investigándose en la muestra atacada el tamaño de grano, la capa carburada o descarburada, el tratamiento térmico de las estructuras, etc.

El tamaño de grano se determinó por la norma KSD-0205. De acuerdo a la norma JIS-G0555, el número de inclusiones no metálicas debe determinarse por el cálculo de puntos de la placa de vidrio, pero en este trabajo la clase de inclusiones, su forma y tamaño, se observó cualitativamente.

La capa descarburada significa que la profundidad del decrecimiento del contenido de carbono en la capa es debido al trabajo en caliente o al

tratamiento térmico.

La capa carburada indica que el aumento del contenido de carbono en ella es debido a la difusión de este elemento por recocido a más de 900 °C en polvo de carbón o en un medio ambiente de monóxido de carbono gaseoso usando acero de bajo contenido de carbono.

Para estudiar las capas carburadas o decarburadas hay métodos metalográficos y de medida de dureza.

En este trabajo después de determinar la existencia de la capa carburada o decarburada usando el método metalográfico, se podrá deducir el proceso de producción del artefacto.

En general los carburos en el acero son cementita ( $Fe_3C$ ) y la cantidad de cementita depende del contenido de carbono del implemento.

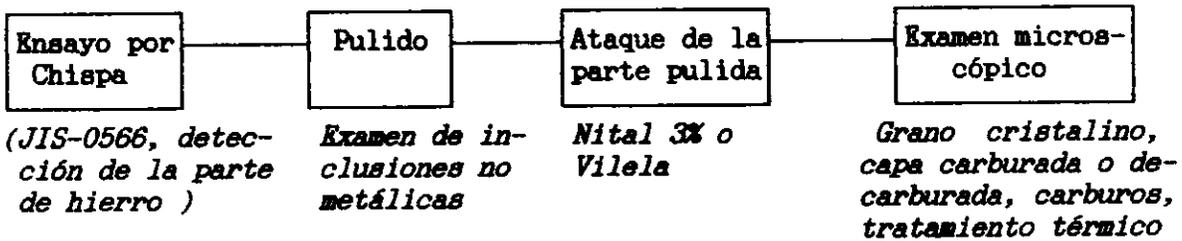


Fig. 21 Proceso de investigación microscópica

La dureza de la cementita pura es de alrededor de Hv 1340, lo cual es un valor muy alto. El acero de bajo contenido de carbono tiene una estructura ferrítica. La cementita aparecerá con el aumento del contenido de carbono.

La cementita precipita conjuntamente con la ferrita formando una estructura de perlita laminar.

Así, el mas alto contenido de perlita indica mayor contenido de carbono en el acero siendo también mayor la dureza obtenida.

La fundición con un contenido menor que 4,3% de carbono se llama fundición blanca hipoeutéctica.

A la temperatura eutéctica, 1148 °C., se produce la transformación eutéctica (Liquidus ---  $Fe \text{ gamma} + Fe_3C$  ) concluyendo la solidificación. La estructura final resulta constituida por austenita mas ledeburita.

A la temperatura eutectoide, 723 °C, la austenita se transforma en perlita (ferrita + cementita).

En la estructura de la fundición, se observa la cementita blanca y la perlita negra. La transformación eutéctica se produce con un contenido de carbono de 4,3% a la temperatura eutéctica.

Esta estructura transformada se llama ledeburita ( cementita + austenita ) o fundición blanca eutéctica.

La fundición con un contenido de más de 4,3% de carbono se llama fundición blanca hipereutéctica.

Durante la solidificación de la fundición precipita cementita primaria a temperaturas superiores a la eutéctica.

La cementita se observa blanca y en forma de agujas largas y quebradizas. Presenta gran dureza.

Debido a que la actual fundición contiene grandes cantidades de silicio es conveniente usar el diagrama Maure Holtz, utilizable con alto contenido de carbono y silicio simultáneamente.

En tiempos primitivos, aun cuando los objetos no eran tratados térmicamente en forma intencional, el objeto de interpretar la modificación térmica de la estructura es para conocer el método de enfriamiento usado después del trabajado en caliente.

En general, cuando se forja en caliente, la estructura del acero apa-

rece con perlita gruesa después de un lento enfriamiento o perlita fina después de un enfriamiento al aire.

La estructura del acero forjado en caliente es martensítica cuando se ha templado con agua. Como consecuencia es posible conocer los métodos de enfriamiento utilizados observando la estructura del objeto de acero.

Aunque la cementita libre forma grafito por tratamiento térmico, en los artefactos de fundición se puede producir grafito durante la solidificación controlando la velocidad de enfriamiento. Por esto es también posible determinar el proceso de producción empleando la investigación metalográfica.

## 5. ANALISIS E INTERPRETACION

La interpretación metalográfica del análisis químico y la observación microscópica nos permite hacer una clasificación la cual facilita el estudio de los procesos de fabricación de los diversos artefactos de hierro. Cuchillo, clavo, punta de flecha, hoz y cincel supuestamente de hierro forjado serán estudiados primero y las hachas que suponemos de fundición y las escorias las veremos después.

### 5.1 CUCHILLO.

Entre las muestras de implementos de hierro para el análisis, tres trozos del cuchillo de Kosong, un trozo del cuchillo de Chodo de la segunda capa y un trozo del cuchillo de Puwon-dong pertenecen a la clase de cuchillo.

De acuerdo al análisis químico esas muestras son aceros de un contenido medio de carbono. (tabla 6)

Esos artefactos de hierro pudieron mejorar sus propiedades debido a numerosos y repetidos martillados del hierro esponja en atmósfera carburizante.

El resultado de la microscopia de esos cuchillos está expuesta en la tabla 7 y sus micrografías aparecen en las fotos 1-11.

Una más detallada explicación es la siguiente. El cuchillo de Kosong (Gp-2-4) fue enfriado después de forjado en caliente (foto 1, Hv 250) y la hoja fue recocida (Foto 4, Hv 115-246). Debido a la decarburación de la hoja la dureza aumenta desde el filo de la hoja hacia el cuerpo.

Tabla 6. Análisis químico de cuchillos

Muestra Nº	Objeto de hierro	Composición química %					Posición del análisis
		C	Si	Mn	P	S	
Gp-2-4	Cuchillo de Kosong	0,46	0,18	--	0,009	0,010	Puño
Gp-2-5	Cuchillo de Kosong	0,30	--	--	--	--	Hoja
Gp-2-8	Cuchillo de Kosong	0,56	--	--	--	0,041	Hoja
Gp-3-2	Cuchillo de la capa Nº 2 de Chodo	0,21	--	--	--	0,061	Cuerpo

La sección de la empuñadura presenta un tamaño de grano grande igual al Nº 3 y la hoja uno más fino igual al Nº 6.

Tales resultados muestran que la hoja se hizo con más repetidos martillados que el puño.

La mala distribución de las grandes inclusiones no metálicas que aparecen en la parte superior derecha de la microfotografía NQ2 sugiere como origen el hierro esponja.

En el cuchillo de Kosong (Gp-2-6) la perlita aparece a lo largo de los límites de los granos en la matriz ferrítica y el tamaño de grano corresponde al Nº 7, este es el mismo resultado que el obtenido en la muestra (Gp-2-4) la cual está influenciada por repetidos martillados. Especialmente el ordenamiento laminar de las bandas de perlita en la matriz ferrítica se ve en la fig. 5, esto sugiere que la muestra fue forjada y martillada repetidamente y carburada en contacto con polvo de carbón de leña con el propósito de acerificar el material de hierro.

La sección transversal de la porción foliada del cuchillo de Kosong (Gp-2-8) se puede ver a simple vista.

La micrografía del cuchillo de Puwon-dong (Gp-5-1) muestra una estructura martensítica en forma de agujas por temple; esta muestra revela un gran número de inclusiones no metálicas, circulares, en el centro del área (foto No.8) y cerca de la superficie, sugiriendo su origen en el hierro esponja y la dispersión de estas inclusiones sugiere también que se hizo posiblemente un martillado repetido.

Tabla 7. Investigación microscópica de los cuchillos

Muestra Nº	Objeto de hierro	Investigación microscópica				Micro dureza Hv	Posición investi- gada
		Matriz	Grano	Carbu- ros	Inclu- siones		
Gp-2-4	Cuchi- llo de Kosong	Partes de fe- rrita y perlita	Mango Nº 3 Hoja Nº6	Hoja carbu- riza- da	Gran- des	Mango 250 Hoja 155-246	Mango y hoja
Gp-2-6		Perlí- tica.	Hoj Nº 7	Perlita formando bandas carburi- zadas	Pequeño número a lo largo de limit. de granos	--	Hoja
Gp-2-8		Soldado por forja	-	-	-		Sección trans- versal
Gp-3-2	Cuchillo, capa Nº 2 de Chodo	Ferrí- tica	Cuerpo Nº12	En los límites de grano	Casi in- visibles	Cuerpo 176 -165	Cuerpo
Gp-5-1	Cuchillo, Puwon- dong	Marten- sítica			Dispersas redondas		Sección trans- versal

En el cuchillo de la capa II de Chodo (Gp-3-2) se observan finos carburos en los límites de los granos de la matriz ferrítica e inclusiones dispersas.

El tamaño de grano es tan fino como el Nº 12 (foto No.12). Como resultado de los muchos y repetidos martillados, las inclusiones están incluidas en el interior de los granos.

## 5.2. CLAVO (o uña).

Dos piezas de clavos de Kosong pertenecen a la clase de clavos entre las muestras para analizar. El contenido de carbono de una pieza es de 0,05 % cerca del hierro puro, la otra pieza que contiene 0,58 % de carbono, pertenece a los aceros de contenido medio de carbono. Se puede considerar que esta fue carburada y endurecida por repetidos martillados.

De acuerdo a los resultados de los ensayos microscópicos en el cuchillo de Kosong (Gp-2-1) la perlita es laminar cerca de la superficie de perfecta matriz ferrítica ( foto 14, Hv 104; foto 12, Hv 187 ). La perlita se produjo por el efecto carburante durante la forja en caliente siendo el

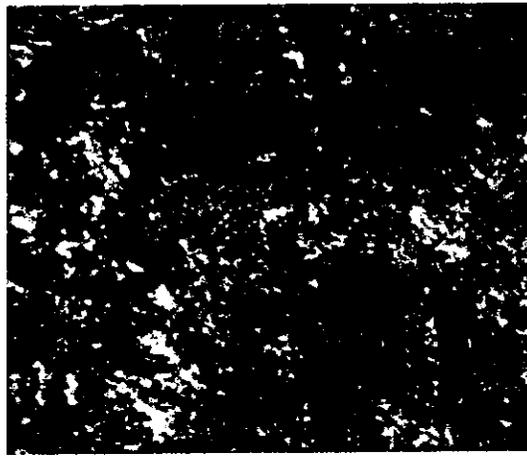
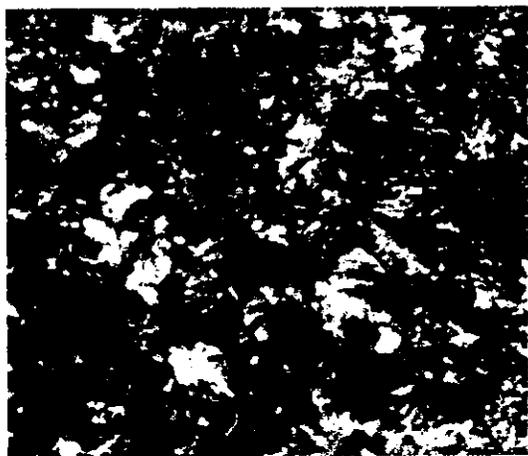


Foto 1 y 2. Cuchillo de Kosong (Gp-2-4) mango, lateral, sección trasversal 100x y ancho, sección transversal, 100x, respectivamente

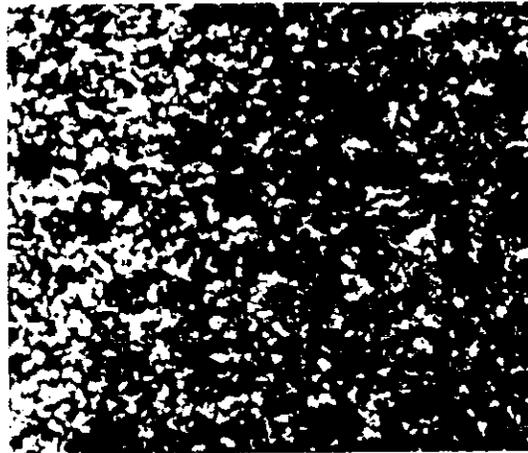
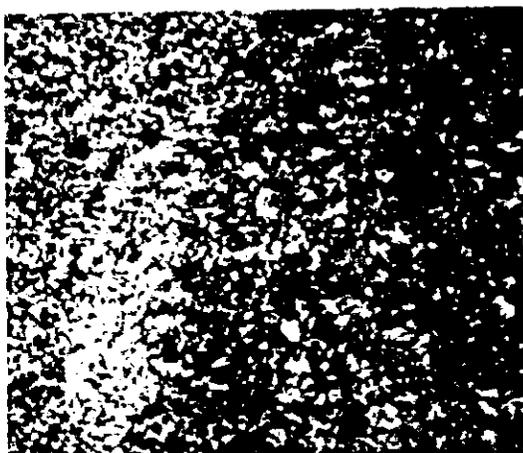


Foto 3 y 4. Cuchillo de Kosong (Gp-2-4), hoja, sección transversal, 50x y 100 x, respectivamente

\* Cambio de la dureza de acuerdo con la distancia de la hoja

Dist. hoja(mm)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Dureza, Hv	155	177	174	197	207	214	232	252	244	246

tamaño de grano mayor en la superficie que en el núcleo. (Foto No.13).

Por contraste, en el área central, aparece ferrita y mayores inclusiones. Como un resultado experimental, es razonable decir que esas inclusiones son de escoria y que tal estructura es típica del hierro esponja.

La observación por microscopía electrónica de barrido (SEM) de una gran inclusión muestra que no aparece la imagen del hierro (foto 16-(4) y sí las imágenes de Al, Ca, y Ti, Foto Nº16 -(1)-(2)-(3) respectivamente; sugiriendo que la gran inclusión está constituida por el óxido complejo:

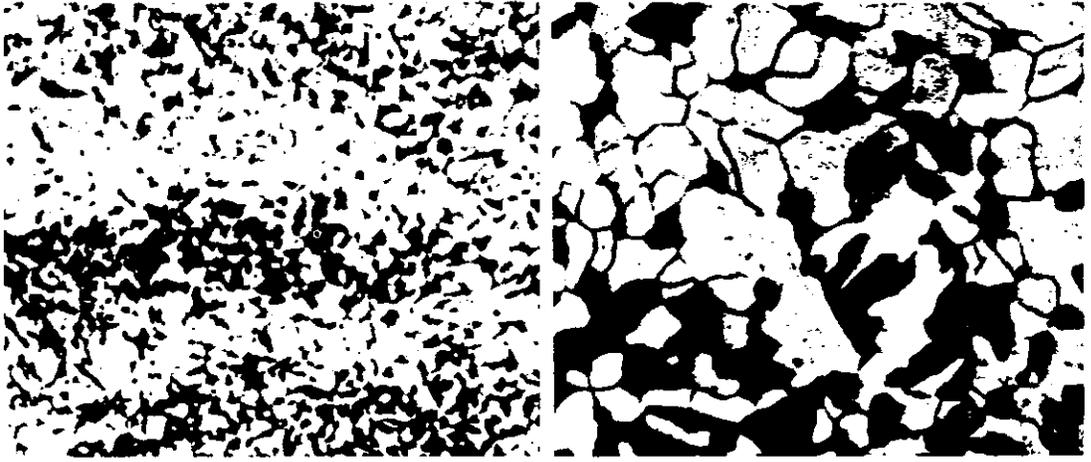


Foto 5 y 6. Cuchillo de Kosong (Gp-2-6), cuerpo, sección transversal, 100 x y 400 x, respectivamente.

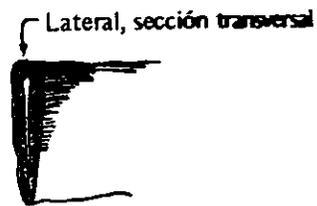


Foto 7. Cuchillo de Kosong, trozo, esquema de la sección transversal.

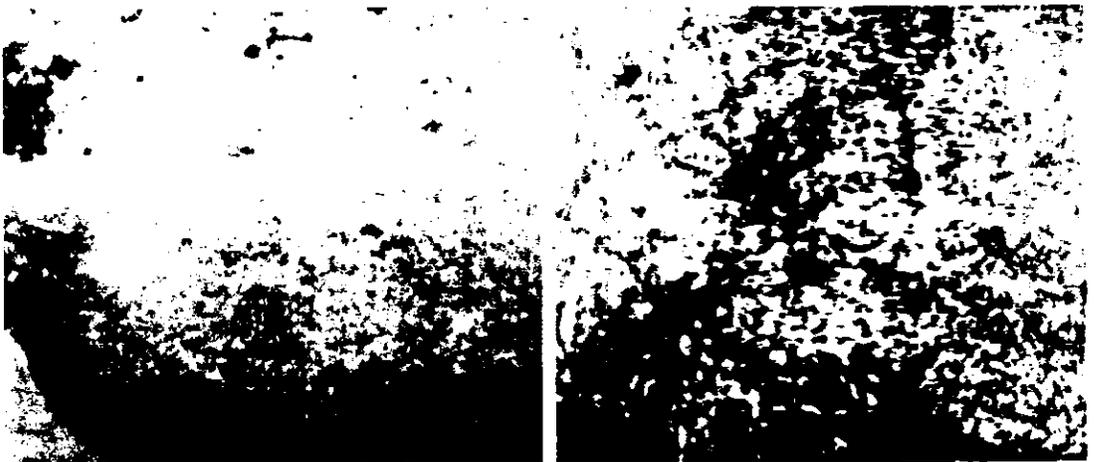


Foto 8 y 9. Cuchillo de Pusondong (Gp-5-1), cuerpo, sección transversal.

$Al_2O_3$ ,  $CaO$  y  $TiO_2$ ; el clavo de Kosong (Gp-2-7) está compuesto de ferrita y perlita en la relación 1:1 y la perlita corre a lo largo de los límites de grano (Foto N°18).

Esta muestra da una nota particular pues la estructura metalúrgica presenta no sólo claros límites de grano, sino también diferenciación entre el tamaño de grano de la superficie y del área central. En otras palabras,

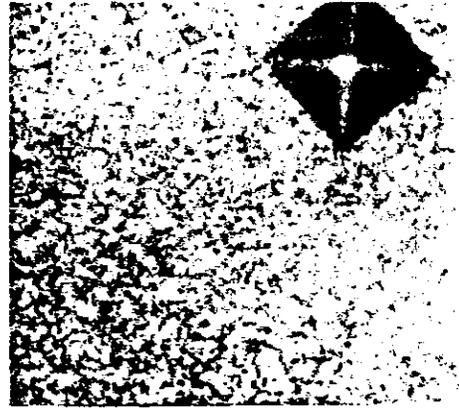
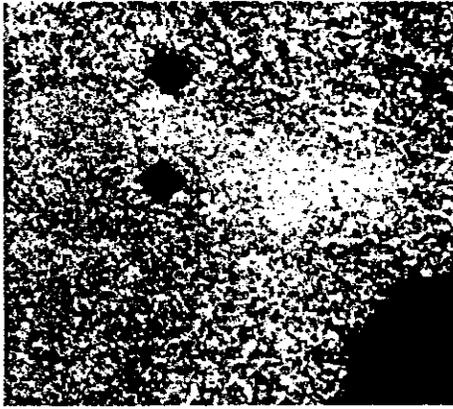


Foto 10 y 11. Cuchillo de la Capa Nº 2 de Chodo, sección transversal del cuerpo. 100 x y 400 x, respectivamente.

Tabla 8. Análisis químico de los clavos de hierro.

Mues- tra Nº	Objeto de hierro	Composición química					Posición analizada
		C	Si	Mn	P	S	
Gp-2-1	clavo de Kosong	0,05	0,16	0,18	--	---	lat., sec.transv.
Gp-2-7		0,58	2,42	0,03	0,005	0,075	cabeza del clavo

el tamaño de grano de la superficie ( tamaño de grano Nº5 ) es mucho más grande que el del área central. Esto sugiere que los artefactos han sido martillados y forjados continuamente en frío, lo cual hace que el grano sea más fino únicamente cerca del área central.

Tabla 9. Investigación microscópica del clavo de hierro

Mues- tra Nº.	Objeto de hierro	Investigación microscópica					Posición investi- gada
		Matriz	Grano	Carburos	Inclusión.	Hv	
Gp-2-1	Clavo de Kosong	Ferri- ta	Nº 5	Super- ficie carbu- rizada	Muchas grandes	Sup.187 med.126 int.104	Sección transver- sal, late- ral.
Gp-2-7		Ferri- ta + perlita	S.Nº5 cent. Nº 8	Bordes de grano y disp.	Finas y dispersas		Sección transver- sal

### 5.3. PUNTA DE FLECHA.

Entre las muestras para análisis pertenecientes a las puntas de flecha se encuentran una pieza de Chungdo, del valle del río Han, otra del conche-ro de Ungch'on y una pieza de la capa I de Chodo.

Las dos puntas de flecha de Ungch'on y Chodo pudieron ser hechas de hierro esponja por repetidos martillados y carburización, pero es muy posible que la muestra de la capa I de Chodo tenga su origen en arrabio.

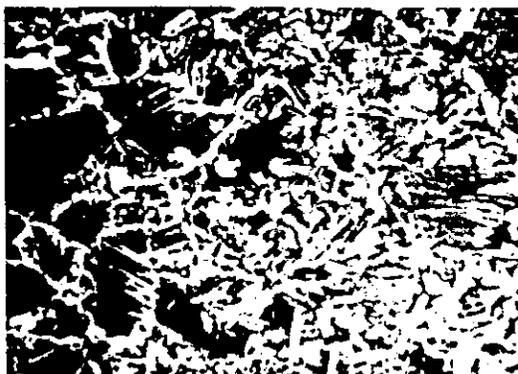
En el corte de la empuñadura de la muestra (Gp-4-3) de Ungch'on, se observa una matriz conteniendo perlita y ferrita en relación 1:1 y presenta una estructura resultante del enfriamiento en aire después de repetidos martillados (foto 20, Hv 218-194)

**Tabla 10. Análisis químicos de los clavos de hierro**

Mues- tra Nº	Objeto de hierro	Composición química					Posición analizada
		C	Si	Mn	P	S	
Hd-3-1	Punta de flecha de Chungdo	0,20	0,94	0,01	0,051	-	Hoja
Gp-4-3	Punta de flecha de Ungchon	0,44	0,67	--	0,054	0,010	Lado plano
Gp-3-5	Punta de flecha capa Nº1, Chodo	1,00	--	0,05	---	0,027	Hoja

La sección de la hoja sin embargo, presenta una estructura martensítica de temple. El grano es muy fino (Nº12, foto 21) y las inclusiones no metálicas son casi esféricas.

La muestra de Chodo de la tumba de piedra (Gp-3-5) esta severamente corroída lo que dificulta discriminar la estructura de la matriz pero, presumiblemente sea forjada debido a las muchas inclusiones dentro de los granos.



**Foto 12 y 13. Clavo de hierro de Kosong (Gp-2-1) parte media sección transversal, 100 x y 400 x, respectivamente**



Foto 14 y 15. Clavo de hierro de Kosong (Gp-2-1) parte media, ancho, sección transversal, 100 x y 400 x, respectivamente

Tabla 11. Investigación microscópica de las puntas de flecha

Muestra N°	Objeto de hierro	Investigación microscópica				Posición investigada.
		Matriz	Grano	Inclusiones	Hv	
Hd-3-1	P.flecha, Chungdo	Ferrita + perlita	NO6-7	Muchas en b. de grano	116-109	Parte de la base
Gp-4-3	Punta de flecha de Ungch'on	Base:perlita +ferrita. Hoja:martensita	NO12	Dispersas de forma redonda	Base:218-194 Hoja: 736-730	Hoja y base
Gp-3-5	P.flecha capa. NO1 de Chodo.	Forjada	NO6	---	---	Base

La punta de flecha de Chungdo (Hd-3-1, foto 19) muestra en la sección de la base una estructura dispersa de perlita fina en matriz ferrítica y posiblemente fue enfriada en aire después de forjada.

A juzgar por la dureza de la parte interna, Hv 116-119, la pieza no sufrió tratamiento térmico. También, el gran número de inclusiones dispersas a lo largo de los límites de grano sugieren que la muestra se originó de hierro esponja y fue plegada y martillada repetidamente, la punta de la hoja fue plegada dos veces.

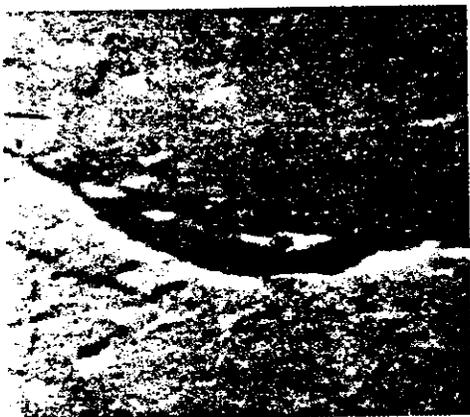


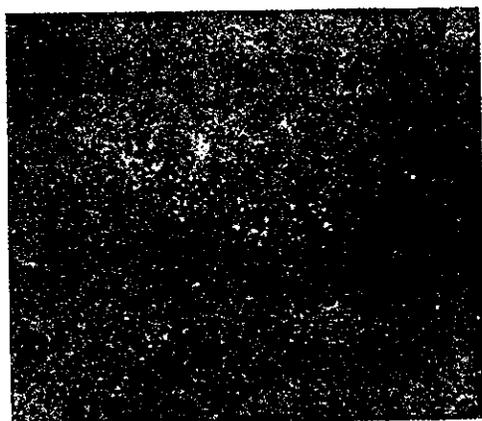
Foto 16. Clavo de Kosong  
(Gp-2-1)



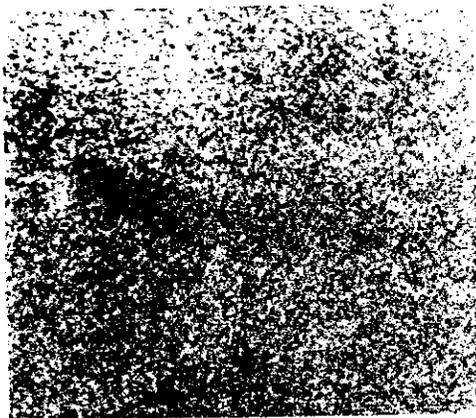
(1) Imagen de Al



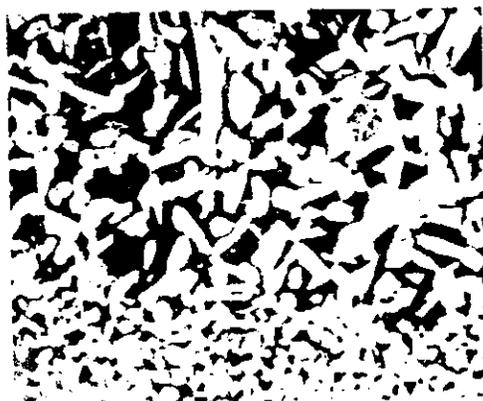
(2) Imagen de Ca



(3) Imagen de Ti



(4) Imagen de Fe



17 y 18. Clavo de hierro de Kosong (Gp-2-7), parte media, sección  
trasversal 100 x y 400 x respectivamente

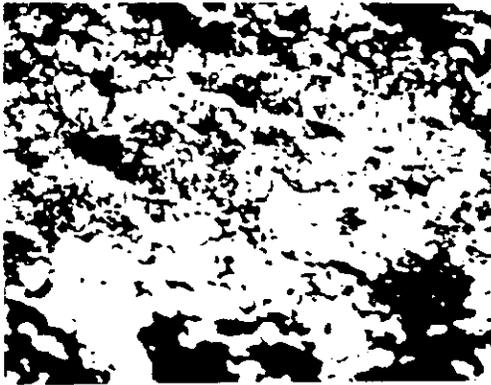


Foto 19. Punta de flecha de Chango (Hd-3-1). Lateral, sección trasversal, 100 x

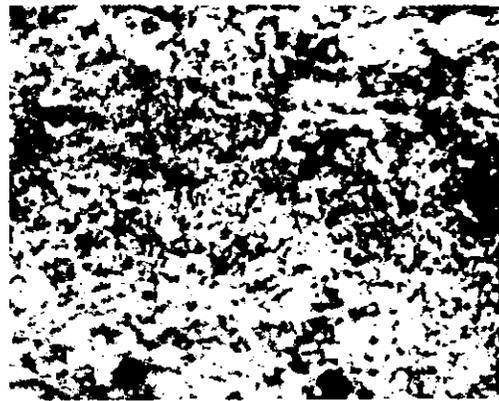
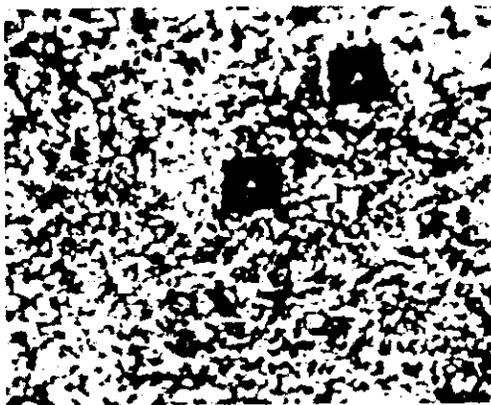


Foto 20 y 21. Punta de flecha de Ungch'on (Gp-4-3), parte lateral, sección trasversal 200x y hoja, sección trasversal, 200x, respect.

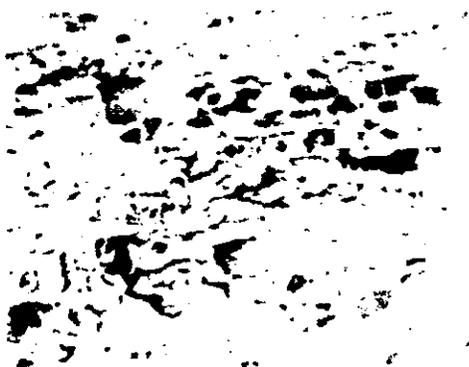


Foto 22 y 23. Punta de flecha de la tumba de piedra de Chodo (gp-3-5) sección trasversal, 200 x y 400 x, respectivamente

#### 5.4. HOZ.

Se tomaron dos hoces como muestras para análisis una de la capa II (Gp-3-6) y otra de la capa alterada del conchero de Chodo (Gp-3-1). La más antigua es hierro casi puro (0,01 % de C) y la última de alto contenido de carbono (0,89 %).

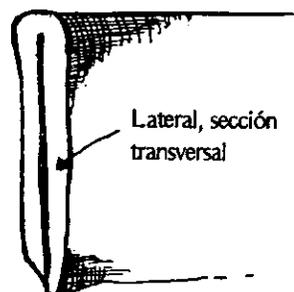
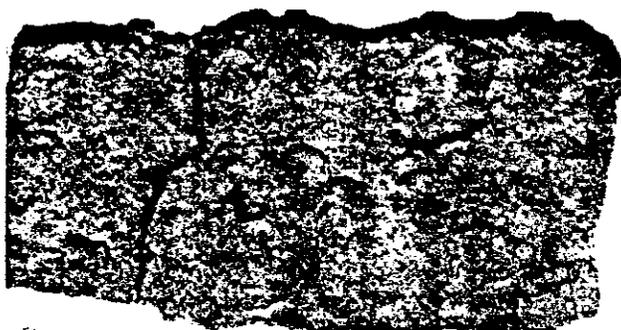


Foto 24. Hoz de hierro de la capa alterada de Chodo (Gp-3-1)  
Esquema de la sección transversal del lateral

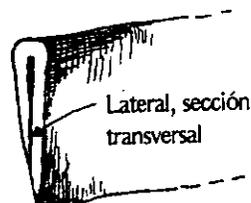
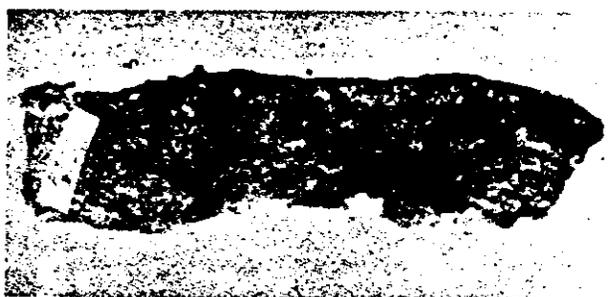


Foto 25. Hoz de hierro de la capa Nº 2 de Chodo (Gp-3-6)  
Esquema de la sección transversal del lateral

Tabla 12. Análisis de las hoces de hierro

Muestra Nº.	Objeto de hierro	Composición química					Posición analizada
		C	Si	Mn	P	S	
Gp-3-6	Hoz, capa II de Chodo	0,10	--	--	--	0,003	Cuerpo
Gp-3-1	Hoz, capa alterada de Chodo	0,89	--	--	--	0,058	Hoja

Tabla 13. Sección transversal de las hoces de hierro

Mues- tra Nº	Objeto de hierro	Estado de la sección transversal	Observacio- nes
Gp-3-6	Hoz, capa II de Chodo	Soldada por forja	--
Gp-3-1	Hoz, capa alt. de Chodo	Soldada por forja	--

**Tabla 14. Análisis químico de los cinceles**

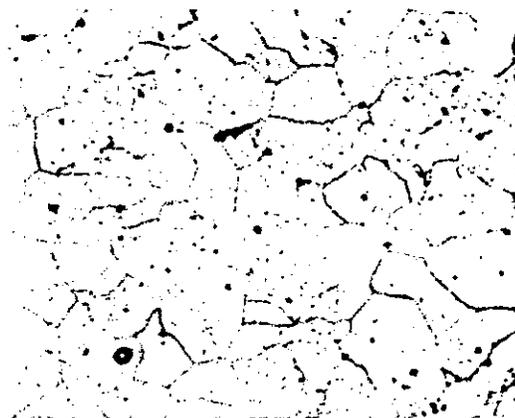
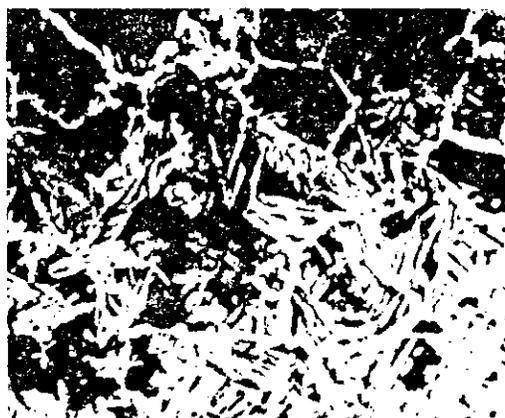
Muestra No.	Objeto de hierro	Composición química					Posición analizada
		C	Si	Mn	P	S	
Gp-5-2	Cinzel de Puwon-dong	0,81	6,31	0,05	0,163	0,055	Superficie
If-1-3	Cinzel de Kxui-dong	0,09	0,27	0,06	0,056	0,006	Núcleo



**Foto 26. Cinzel de hierro de Puwondong(Gp-5-2), parte media, 100 x**



**Foto 27. Cinzel de hierro de Kxuidong, Cabeza, sec. transversal, 100 x**



**Foto 28 y 29. Cinzel de hierro de Kxuidong (If-1-3), parte media, carburada, superficie, 100 x y núcleo 100 x**

La estructura de las hoces no se pudo identificar en ambas muestras debido a la total corrosión. De acuerdo a la observación a simple vista de la sección trasversal la muestra pudo ser expandida por martillado y luego refoliada (fotos 24 y 25).

De hecho, la hoz no necesita alta dureza, por esto no es necesario un particular tratamiento térmico.

## 5.5. CINCEL.

Se eligieron para el análisis dos artefactos de hierro, el cincel de Puwon-dong (Gp-5-2) y el cincel de Kuui-dong (If-1-3).

La estructura de la superficie del primero muestra alto contenido de carbono siendo el último, hierro casi puro.

De acuerdo al análisis microscópico de esas muestras, la de Puwondong presenta heterogeneidad química y metalográfica en el núcleo y en la superficie (foto 26), aunque se acercan al hierro puro y las inclusiones están ampliamente dispersas a lo largo de los límites de grano como en su interior.

Sin embargo, una capa de 3-5 mm de la sección superficial está cubierta con hierro de alto contenido de silicio.

Es de suponer que el hierro forjado (o hierro puro) fue sumergido en arrabio fundido para endurecer la superficie.

El cincel de Kuui-dong (Fotos 27-28-29) tiene una estructura originada por enfriamiento en aire, tiene una completa matriz ferrítica. El tamaño de grano corresponde al N° 5,5-6 debido al repetido forjado y las inclusiones en efecto están dispersas en la matriz.

Sin embargo, porque como toda la superficie está carburada tiene una gruesa capa de perlita en los límites de grano. Se puede considerar que este artefacto de hierro tiene su origen en el hierro esponja.

**Tabla 15. Examen microscópico de los cinceles de hierro**

Muestra N°	Objeto de hierro	Examen microscópico				Posición analizada
		Estructura matriz	Tamaño de grano	Carburos	Inclusiones	
Gp-5-2	Cincel de Puwon-dong	Centro: hierro puro superficie alto Fe-Si	Centro N° 3	Pequeña cantidad en bordes de grano	Finamente dispersas	Interior de la parte lateral
If-1-3	Cincel de Kuui-dong	Ferrítica	N° 5,5-6	Superficie carburada	Finamente dispersas	Parte media del mango

## 5.6 OTROS OBJETOS DE HIERRO FORJADO.

Los otros objetos de hierro forjado son una grapa de hierro de Pungnam-ni, dos fragmentos de hierro de Majang-ri, dos fragmentos de hierro de la capa alterada de Chodo, un arpon de hierro de Ungch'on y un fragmento de hierro de Kuui-dong.

Entre esos hierros forjados, la grapa de hierro de Pungnam-ni, el fragmento de hierro de Chodo (Gp-3-4), y la pieza de hierro de Majang-ri, tienen un contenido de carbono de 1,3%; 1,02% y 0,92% respectivamente, pertenecen a aceros de alto contenido de carbono y los otros a las de contenido medio de carbono.

Como la grapa de hierro de Pungnam-ri (Foto 30) estaba completamente corroída no se pudo identificar la estructura.

Pero, se puede pensar que pudo haber sido forjada de acuerdo a los restos estructurales.

El fragmento de hierro de Majang-ri (foto 31) tiene en el interior una dureza de Hv 396-385, lo cual es un valor intermedio entre la dureza del acero templado y el normalizado. Estos valores demuestran que ha sido templado en agua desde una temperatura de 800 °C. La matriz de la estructura muestra un rápido enfriamiento después de una forja a baja temperatura.

A partir del hecho de que las inclusiones no metálicas están finamente dispersas y el contenido de carbono es de 0,92 %, puede considerarse que ellas no se originaron del hierro esponja y si de arrabio decarburado.

Tabla 16. Análisis químico de otros objetos de hierro forjado

Muestra. N°	Objeto hierro	Composición química (%)					Posición anali- zada.
		C	Si	Mn	P	S	
Hd-1-2	Grapa de Pungnam-ni	1,32	3,92	Tr.	0,337	0,077	Sección transv.
Hf-1-1	Fragm. de Majang-ri	0,92	0,23	0,94	--	0,019	Medio
Gp-3-3	Fragmento de la Is. Chodo, capa alterada	0,37	--	--	--	0,059	Medio
Gp-3-4	" "	1,02	--	0,02	--	0,060	Medio
Gp-4-2	Arpón de hierro de Ungch'on	0,42	0,92	--	0,031	0,004	Medio
If-1-2	Fragm. de Kuui-dong	0,56	0,15	--	0,007	0,021	Medio

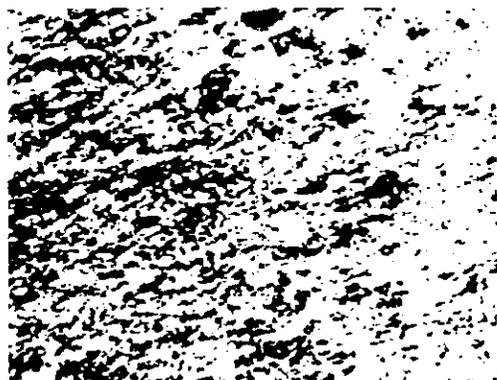


Foto 30. Grapa de hierro de Pungnam-ni (Hd-1-2). Sección interior, extremo. 100 x.



Foto 31. Pieza de hierro de Majang-ri (Hf-1-1). Sección transversal. 100 x

La estructura de la muestra de Chodo (Gp-3-3) es muy fina debido al repetido martilleo, tiene un tamaño de grano igual al N°10 y N°8 (foto 32) e inclusiones alargadas de sulfuros en la estructura. (Fot.33)

La otra pieza de hierro de Chodo (Gp-3-4) esta completamente contaminada y resulta difícil distinguir la estructura, sin embargo, se puede presumir que es de hierro forjado con un tamaño de grano N°3 (foto 35) con numerosas inclusiones globulares, distribuidas dentro de los granos.

El arpón de hierro de Ungchon (Gp-4-2) tiene matriz perlítica (Foto 36-37; Hv 221-223) en la cual dendritas de austenita primaria y ferrita coexisten a lo largo de los límites de grano.

El arpón posiblemente fue normalizado después de la operación de temple. El grano es muy grande igual al N°2, y la parte de la empuñadura está soldada por forja con la envoltura (Foto 38 #1)

El trozo de anillo de hierro de Kosong (Gp-2-2) está tan erosionado que no se puede reconocer la estructura pero, se puede deducir a la luz de restos de límites de granos que es un objeto forjado (Tamaño de grano N°5).

La pieza de hierro de Kuui-dong (Foto 40) tiene una estructura de templado rápido superficial (Hv 348), matriz perlítica con ferrita parcialmente dispersa.

El tamaño de grano es muy fino debido a severas y repetidas operaciones de forjado, las inclusiones no metálicas están tan finamente dispersas que ellas son casi invisibles.

Tabla N°17. Examen microscópico de los otros objetos de hierro forjado

Muestra. N°	Objeto hierro	Examen microscópico					Posición analizada
		Matriz	Grano	Carbuos	Inclus.	Dureza	
Hd-1-2	Grapa de Pungnam-ni	forjada	---	----	Dispersas	----	Sección transv.
Hf-1-1	Fragm. Majang-ri	Temple en agua, baja temperat.	N° 6		Finamente dispersas	Hv-396 385	Centro
Gp-3-3	Fragm. de Is. Chodo capa alterada	-----	Sup: N°10 Inter. N° 8	Fuertemente dispersos	Grandes	Hv 252 250	Medio
Gp-3-4	'' ''	forjada	N° 3	----	Grandes, globulares		Sección transv.
Gp-4-2	Arpón de Ungchon	Perlita	N°15	En bordes de grano	----	Hv 223 221	Medio, sección tr. y l.
Gp-2-2	Aro, Kosong	Completa oxidación	N° 5	-----	----	Hv 614 543	Sección Transv.
If-1-2	Fragm. de Kuui-dong	Algo de ferrita en matriz perlítica	N° 9	Estruc. de enfriam. en aire	Pequeña cantidad	Hv 348 -348	Centro

## 5.7 HACHAS DE HIERRO Y FUNDICION.

Muchos de los artefactos de fundición obtenidos por excavación son hachas de hierro y otros son arados o sus fragmentos.

Las muestras sujetas al análisis químico son dos piezas de hierro de Songsan (norte), un hacha de hierro de Ungch'on, un trozo del hacha de Pungnam-ni, un hacha de Taesim-ri y un arado de Kuuidong.

Sus contenidos de carbono están entre los límites 2,30-5,63%, valores alrededor de la composición eutéctica.

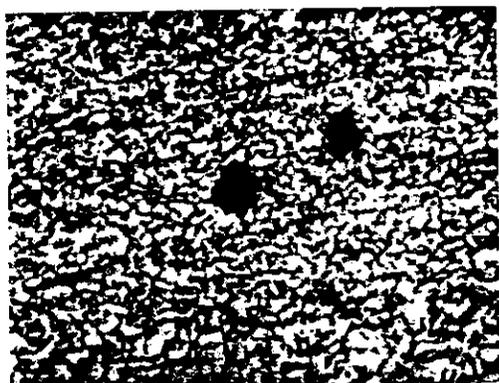


Foto 32 y 33. Pieza de hierro de la capa alterada de Chodo (Gp-3-3). Sección transversal, parte media, 100 x y 400 x, respectivamente.

Tabla 18. Análisis químico de las hachas de hierro y de fundición

Muestra NO.	Objeto de hierro	Composición química					Parte analizada
		C	Si	Mn	P	S	
Gp-1-1	Pieza de Songsan(norte)	2,30	0,62	0,08	0,07	0,016	Media
Gp-1-2	Pieza de Songsan(norte)	3,09	0,23	0,16	0,035	0,041	Media
Gp-4-1	Hacha, Ungch'on	4,75	0,35	0,08	0,126	0,082	Cavidad
* 1	Hacha, Taesim-ni	3,66	5,05	0,83	0,22	0,16	----
If-1-1	Arado, Kuui-dong	5,63	0,34	0,32	0,141	0,004	Céntrica

\* Datos analíticos del Instituto Nacional de Desarrollo Industrial.



Foto 34 y 35. Pieza de hierro de la capa alterada de Chodo (Gp-3-4) Sección longitudinal, y transversal, 400 x, respectivamente

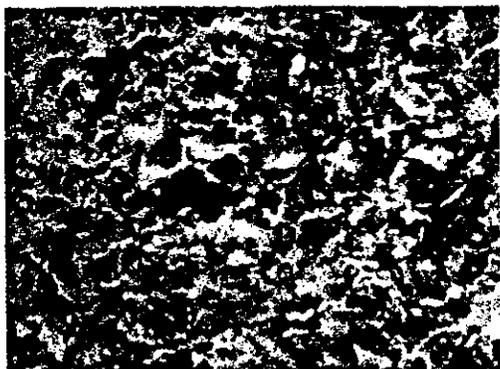


Foto 36. Arpón de hierro de Ungch'on, sección trasversal, parte media. 100 x. (Gp-4-2)

#1. Esquema de la parte del mango soldado por forja

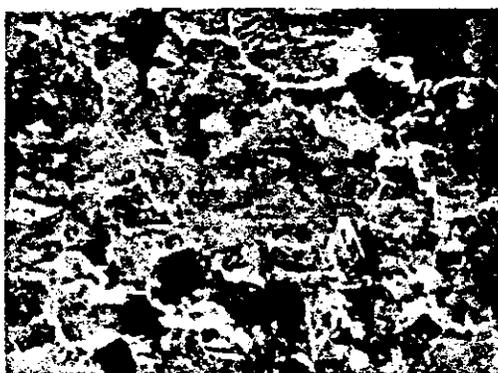


Foto 37. Arpón de hierro de Ungch'on, sección longitudinal, parte media. 100 x. (Gp-4-2)

De acuerdo al examen microscópico de las matrices ambas piezas de hierro de Songsam (norte) (Gp-1-1 y Gp-1-2) son fundiciones blancas hipoeutécticas (fotos 41-43) conteniendo carburos tales como cementita blanca y perlita gris, su estructura revela enfriamiento rápido.

Podemos también encontrar que la foto 42 (blanco: Hv 618, 950, gris: Hv 323) y la foto 44 (blanco: Hv 730, gris: Hv 315) todas indican la típica dureza de la fundición blanca de acuerdo a la dureza Vickers medida.

Por otro lado la matriz del hacha de hierro de Ungch'on (Gp-4-1) es fundición blanca hipereutética (foto 45), allí se observa gran cantidad de cementita primaria (Hv 635-710) y ledeburita eutética.

Por otro lado debido a la transformación eutectoide aparece perlita (Hv 462-398; foto 46). Es de suponer que la velocidad de enfriamiento fue mayor que la muestra de hierro de Songsam (norte).

Tabla 19. Examen microscópico de los artefactos de fundición

Muestra N°	Tipo de objeto de hierro	Estructura de la matriz	Examen microscópico		Micro dureza Hv	Posición examinada
			Carbuos	Inclusiones		
Gp-1-1	Pieza de Songsam(N)	Fund. bl. hipoeut.	Cementita perlita	Dispersas puntuales	B.618-950 G. 323	Parte media
Gp-1-2	" "	" "	" "	" "	B,730.G.315 Sup. 425	" "
Gp-4-1	Hacha de hierro de Ungch'on	Fundición blanca hipereutéc.	Cem. prim. eutec. ledeburita	" "	B.635-710 G.462-398	Parte del orificio
Hd-1-1	Pieza de Pungnam-ni	" "	Cementita perlita	Estructura porosa	B. 890-736 G. 496	Centro
If-1-1	Arado de Kuui-dong	" "	" "	Escasa cantidad	B. 790 G. 650-570	Centro



Foto 38 y 39. Trozo de anillo de hierro de Kosong (Gp-2-2), sección trans- de la parte redonda. 100 x y 400 x , respectivamente

La pieza de hierro de Pungnam-ni (fotos 47, 48) tiene la estructura hipereutética de la fundición blanca, la parte blanca de la estructura es cementita primaria (Hv: 890-736) y la parte de color gris es perlita (Hv: 496).

Considerando que la completa separación de la parte fundida y la escoria, tanto como el desgaseado fue muy difícil, entonces juzgando por la gran cantidad de poros y escoria en la estructura, es de suponer que la temperatura de fusión en el horno fue demasiado baja durante el proceso de fusión del hierro.

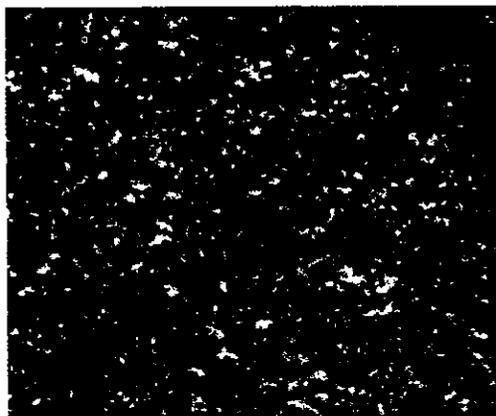


Foto 40. Pieza de hierro de Kuui-dong (If-1-2). Parte media. 100 x

El arado de Kuui-dong fotos 49-50 tiene la estructura hipereutética de la fundición blanca; la parte blanca indica la cementita primaria (Hv: 790) y la de color gris, la perlita (Hv 650-570).

Hay raras inclusiones en los límites de granos. En cinco piezas de las muestras mencionadas se encontró que las inclusiones en la estructura estaban casi uniformemente dispersas con forma puntual esto significa que los objetos de hierro se han fabricado por fusión.

Como ya se explicó, la matriz de fundición blanca sugiere un rápido enfriamiento significando más baja temperatura de fusión o fino espesor del material.

Siendo la fundición blanca quebradiza, no ha sido usada mucho tiempo y entonces gradualmente se pasó a objetos de hierro forjados (En la más baja capa de las reliquias de Ronam-ri, se desenterró un hacha de fundición, otra de hierro forjado se obtuvo por excavación en la capa superior del mismo sitio).\*

\* Chong, Chan-yong: "Estudios en el sistema de tumbas de Koguryo en el siglo 4 a.C." *Arqueología y Folklore ensayo* 5 p.54-60.

### 5.8. ESCORIA.

La escoria es la evidencia mas confiable junto a las toberas, que permite asegurar que se trata de minas de producción de hierro.

En este trabajo se pudieron elegir como muestras tres escorias, de Songsan, de Kosong y de Puwon-dong :

Tabla 20 Análisis químico de las escorias

Mues- tra Nº	Sitio	Composición química %								
		Fe t.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	P
Gp-1-3	Fabric.de hierro, Songsan	1,22	---	1,57	70,01	16,66	3,03	1,26	--	--
Gp-2-5	Capa, conch. de Kosong	8,23	11,78	--	48,00	18,40	2,59	0,90	3,15	0,61
Gp-5-3	Capa, conch de Puwon-dong	50,46	43,12	26,13	16,70	3,30	1,40	--	0,08	0,32

La escoria moderna está formada por una mezcla de óxidos flotando en la superficie del metal fundido, conteniendo  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$  y  $\text{FeO}$ .

En la antigua fabricación del hierro era difícilmente posible agregar piedra caliza en el horno, se considera que el principal componente era  $\text{SiO}_2$  y  $\text{FeO}$  originados del mineral de hierro y los otros componentes tales como  $\text{Al}_2\text{O}_3$  o  $\text{MgO}$  originados en las paredes de arcilla del horno.

Ambas muestras de escorias de Kosong y de Puwondong son todas originadas de la fabricación de esponja de hierro de acuerdo a los análisis químicos.

En un pequeño y primitivo horno a crisol el mineral de hierro es primero reducido con carbón de leña a baja temperatura (800 °C.) durante un largo período de tiempo, cuando la temperatura se eleva, una masa de cenizas (escoria) se forma por combinación de  $\text{FeO}$  no reducido,  $\text{SiO}_2$  del mineral de hierro y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  separado de las paredes del horno, la cual fluye hacia el fondo del horno, subiendo el hierro esponja reducido a la parte superior.

Entre esas tres escorias, la escoria del conchero de Songsan (sudeste) presenta dudas por lo cual se hacen necesarias otras investigaciones que aporten otras evidencias en la fabricación del hierro tales como toberas, sitios de hornos y minerales de hierro usados etc.

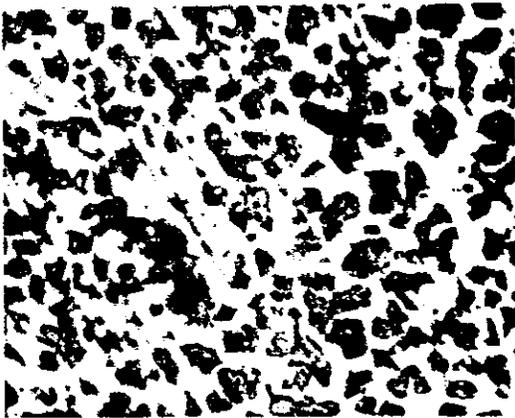


Foto 41 y 42. Pieza de hierro de Songsan (Norte). Sección transversal 100 x y 400 x, respectivamente. (Gp-1-1-)

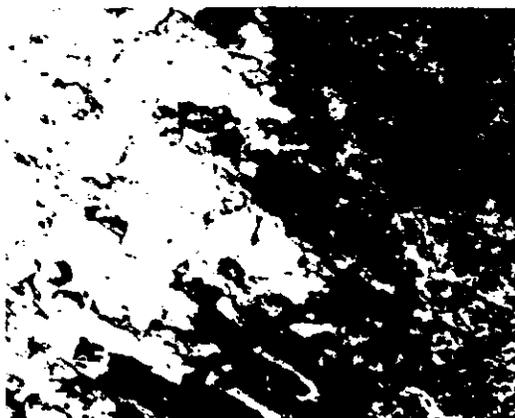


Foto 43 y 44. Pieza de hierro de Songsan (Norte). Sección transversal 100 x y 400 x, respectivamente. (Gp-1-2)



Foto 45 y 46. Hacha de hierro de Ungch'on (Gp-4-1) . Sección longitudinal, Parte del orificio. 100 x y 400 x, respectivamente

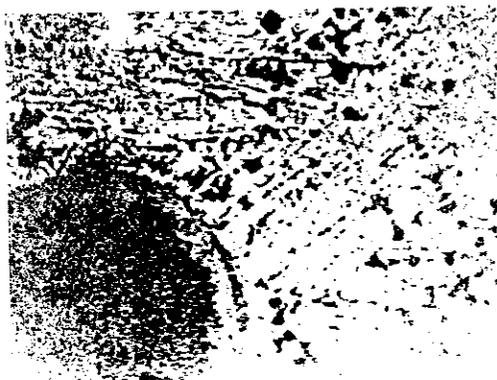
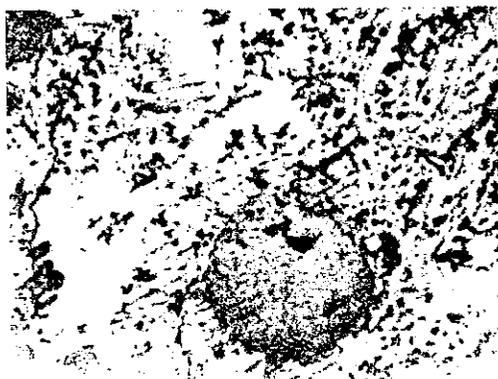


Foto 47 y 48. Pieza de hierro de Pungnam-ni (Hd-1-1), pulido, 50 x y sección transversal de la parte céntrica 100 x, respectivamente.

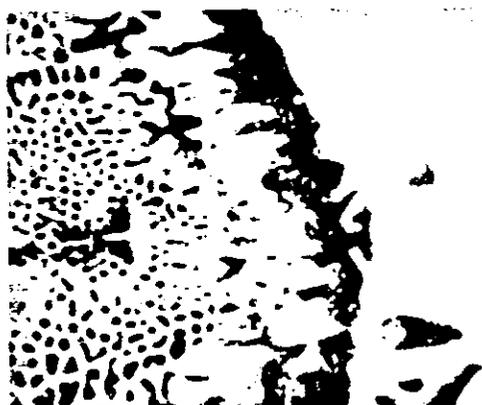


Foto 49 y 50. Arado de Knuidong (If-1-1), sección transversal, parte céntrica. 100 x y 400 x, respectivamente



Foto 51. Pila de escoria (Gp-1-3) de Songsan (Sud-Oeste)

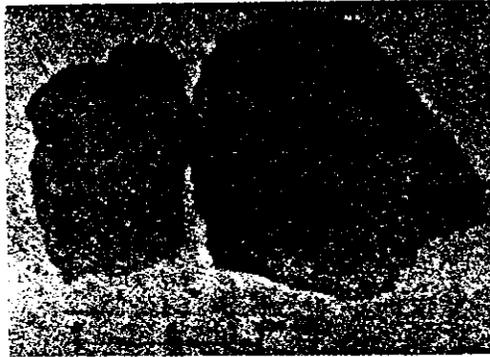


Foto 52. Escoria de Kosong (Gp-2-5)

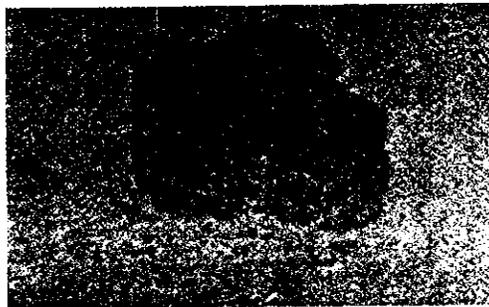


Foto 53. Escoria de Pwon-dong (Gp-5-3)

## 6. PROCESOS DE PRODUCCION DE HIERRO

---

El alcance de este capítulo radica en interpretar los datos de los análisis e investigaciones metalográficas anteriores de los objetos de hierro y entonces deducir el proceso de manufactura en la antigua Edad del Hierro a través de los anteriores estudios.

Se comprende muy bien que aún en la antigua sociedad no fue sencillo para el artesano prehistórico fabricar artefactos de hierro o de acero.

En el capítulo siguiente discutiremos: 1) Qué clase de mineral de hierro y combustible se usó para obtener hierro (desarrollo de la fabricación de hierro), 2) Qué proceso se empleó para fabricar implementos de hierro luego de hecha la materia prima, hierro reducido o hierro fundido (establecimiento del proceso), 3) como el material de hierro o de acero fue mejorado para usos prácticos (método de endurecimiento).

### 6.1 DESARROLLO DE LA MANUFACTURA DE HIERRO.

Se puede decir que minerales de alta ley se obtenían de afloramientos o de acumulaciones de arena ferruginosa a lo largo de los ríos; sin embargo el problema radica en cómo los minerales de alta ley se distinguían del resto.

Los minerales de hierro que aparecen en los afloramientos se obtenían en terrones luego se los trituraba finamente para separar la ganga del mineral de hierro.

En caso de ser duro para triturar, el mineral se tostaba con fuego de carbón de leña a 700-800 °C hasta el resquebrajamiento.

En el caso de la arena ferruginosa, durante la sedimentación de las aguas del curso superior el mineral de hierro se concentra naturalmente por gravitación y acumulación en pilas aumentando así la posibilidad de su descubrimiento.

Esto está corroborado por el hecho de que los sitios históricos donde se encontraron artefactos de hierro de la antigua Edad del Hierro están estrechamente relacionados con la distribución de las minas de hierro.

Y el hecho de que los antiguos objetos de hierro son descubiertos cerca de los afloramientos de minerales de hierro o de depósitos de arenas ferruginosas, revela estrecha relación entre los distritos residenciales fabricantes de hierro y la distribución de las minas de hierro.

Si, por necesidad, un sitio de fabricación de hierro debe ser excavado, se debe seleccionar un lugar entre los restos de hierro y el afloramiento de la mina de hierro para encontrar artefactos.

Es más razonable que la relación sea científicamente probada por el microanálisis de elementos raros en los artefactos originales y de los minerales de hierro usados.

Se considera un combustible conveniente aquél con el cual se puede obtener y mantener una temperatura superior a los 1000 °C. y generalmente la diferencia entre la fabricación de hierro y la fabricación de cobre radica en este rango aprovechable del poder calorífico del combustible. El Cu funde a 1000 °C y el bronce a 800 °C, mientras que el hierro puro funde a 1538 °C.

En el hierro la temperatura de fusión decrece con la mayor concentración de carbono, fundiendo a 1148 °C con 4,3 % de carbono.

Tomando esto en consideración, una fuente de calor de por lo menos 1200 °C se hace necesaria para la producción de hierro.

Un típico fuego de leña (800-900 °C) puede ser útil para producir coque pero no para fabricar hierro.

Por ello es concebible que se usara el carbón de leña con un mayor poder calorífico (1200 °C) que la madera. Como evidencia del uso del carbón de leña se encontraron muchos restos de carbonización en las minas de hierro excavadas.

La carburización no es posible en una atmósfera de fuego leñoso. Ella sólo es posible en una atmósfera de carbón de leña; esto revela la posibilidad del uso del carbón de leña.

En relación con el uso del carbón de leña en la antigua fabricación de hierro, Kurao Kubuta, en Japón, expresó su punto de vista, en el libro titulado: "Arqueología del hierro" (1973) pag. 41; que el fuego de leña para obtener carbón de leña para la fabricación de hierro era preparado por prisioneros de guerra en la dinastía Han, según descripción de los artículos de Yun sa chi en San kuo chi.

Este punto de vista parece completamente razonable.

Con el propósito de incrementar la temperatura se hizo necesario soplar aire.

En primitivas etapas para aprovechar las condiciones naturales el horno se colocaba para recibir la brisa y para aumentar aun más la temperatura se utilizaba una cañería unida a una bolsa (fuelle) de cuero.

Después, como los hornos eran cada vez mas grandes, en la antigua China se usó la fuerza animal y luego la hidráulica.

Permítanme echar una mirada para ver si el fundente fue usado o no. El hierro de los artefactos fabricados en la antigua China tiene un contenido extremadamente bajo de azufre, por esto se sugiere algunas veces la posibilidad del uso de fundentes (presumiblemente  $\text{CaCO}_3$ ).

Esto no puede corroborarse debido a la falta de sólida evidencia. En el proceso de fabricación de hierro, la piedra caliza se usa ahora ampliamente para desulfurizar y desoxidar, pero como esto tiene como resultado el aumento del punto de fusión del fundente, no es pues concebible el uso de piedra caliza en tiempos antiguos.

En el sistema fundente  $\text{FeO-SiO}_2$ , en el cual no se agrega piedra caliza, el punto de fusión es de alrededor de  $1100-1200^\circ\text{C}$ ; sin embargo cuando se usa piedra caliza se forma el sistema  $\text{CaO-SiO}_2$  o el sistema  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$  debido a la contaminación con la arcilla refractaria de las paredes del horno, elevando la temperatura de fusión de la escoria sobre los  $1400^\circ\text{C}$ .

Tenemos en cuenta también los resultados de los análisis de la escoria de Songsan con 3,3 % de  $\text{CaO}$ , del conchero de Kosong con 1,58-2,89 de  $\text{CaO}$ , del conchero de Puwondong con 0,74 de  $\text{CaO}$  y de la escoria de Tosong-ri (río Yalu) con 0,93-6,35 % de  $\text{CaO}$ .

Estos valores muestran que estas escorias comunmente tienen baja concentración de cal y los valores en el contenido de cal son casi los mismos que los minerales de hierro o arcillas comunes.

En lo que a esas regiones concierne, la piedra caliza no fue usada como fundente.

En cuanto al problema de los materiales refractarios en la construcción de los hornos, en la antigua alfarería (objetos de barro) fueron ampliamente usados.

La arcilla usada en productos de alfarería es el caolín ( $\text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{SiO}_2, 2\text{H}_2\text{O}$ ). La composición química del caolín oscila entre: 50-75 % de  $\text{SiO}_2$ , 20-45 % de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y 1-2,5 % de  $\text{FeO}_3$  y la capacidad refractaria está sobre SK28 ( $1600^\circ\text{C}$ ).

Para las temperaturas de fusión de aquellos tiempos este refractario es por completo suficiente. También, las diversas composiciones de las escorias (tabla 20), el alto porcentaje de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 3,3 %, 16,66 % y 18,40 %, considerando la alúmina de las paredes del horno, confirma el uso de la arcilla. A la temperatura del hierro fundido la arcilla forma un equilibrio de fases entre la sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y la mulita ( $3\text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{SiO}_2$ ), fundiendo silicato de aluminio amorfo.

Ahora examinaremos las bases del proceso de fabricación del hierro bajo el punto de vista fisicoquímico.

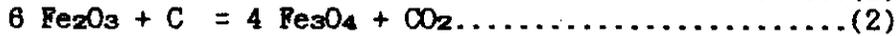
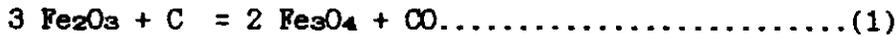
Primero comenzaremos por el encendido y el soplado de aire a la mezcla de mineral de hierro (hematita) y carbón de leña.

El mineral de hierro se reduce con carbón de leña. Este es llamado proceso de reducción directa, pues la reducción se produce directamente por

el carbón sólido.

Aceptemos que la reducción se ejecuta linealmente a lo largo de la dirección a, b, c, d, e del diagrama de fases en la figura 22.

La hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), del punto (a) hasta (b) forma magnetita de acuerdo a la ecuación (1) y (2).



La magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) del punto (b) a (c), forma wustita ( $\text{FeO}$ ) de acuerdo a las ecuaciones (3) y (4).



La wustita se mantiene a través del punto (c) a (d) y se transforma del punto (d) a (e) de acuerdo a las ecuaciones (5) y (6).



La wustita da hierro metálico a la temperatura de 1100 °C, bajo rango de temperatura, siendo física y químicamente forzoso que se origine hierro gamma (austenita).

Sin embargo, en el caso de hierro metálico de grano grande, aparecen capas de  $\text{FeO}_x$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , principalmente, y se puede decir que la reacción en estado sólido ocurre simultáneamente.

También en la figura 22, a lo largo de la dirección (e), (f) se produce la reacción de carburización y, para mejor entender esas reacciones se deberá utilizar el diagrama de fase de la figura 23, en la carburización y reducción del sistema Fe-CO.

De acuerdo a la reacción de Bourdourd, si la presión parcial del CO gaseoso es mayor que el valor correspondiente al equilibrio a la temperatura determinada, el carbono precipita por la reacción  $2\text{CO} \rightarrow \text{C} + \text{CO}_2$ .

Haciendo referencia a la reacción de Bourdourd, en la figura 23, otra vez la relación de equilibrio cambia rápidamente en los límites de las temperaturas 500-700 °C., considerando que la cantidad de CO aumenta y excede la composición de equilibrio, la tendencia a precipitar carbono aumenta rápidamente con el incremento de la temperatura.

La velocidad de la reacción de descomposición es baja si no se realiza en contacto con un sólido.

Sin embargo cuando el hierro metálico aparece la reacción se acelera catalíticamente. En la fig. 23, mas allá del área de estabilidad de la wustita, en BOC, la región AHB es una región donde el hierro metálico es estable.

Sin embargo el hierro metálico no sólo puede mantener una concentración de carbono con un grado de carburización debajo de 0,1% C, 0,1≈0,2% C, 0,2≈0,4% C y 0,4≈0,6% C, sino que también puede contener oxígeno y convertirse en la llamada oxiferrita u oxiaustenita, la cual irregularmente varía la concentración de carbono, aumentando la formación de hierro esponja.

No obstante, en el caso del hierro esponja de la antigua Edad del Hierro cuando en él existía mucho hierro no reducido, este tenía mayor cantidad de hierro con bajo contenido de carbono.

## 6.2 DESARROLLO DE LOS PROCESOS DE PRODUCCION DE HIERRO.

Como se observa en los análisis químicos y microscópicos de los objetos de hierro, los artefactos de hierro se pueden clasificar en dos grupos: fundición y hierro forjado (acero).

Los objetos de fundición contienen más cantidad de carbono (más del 2,0 %) que los objetos de acero forjado y también los objetos de fundición

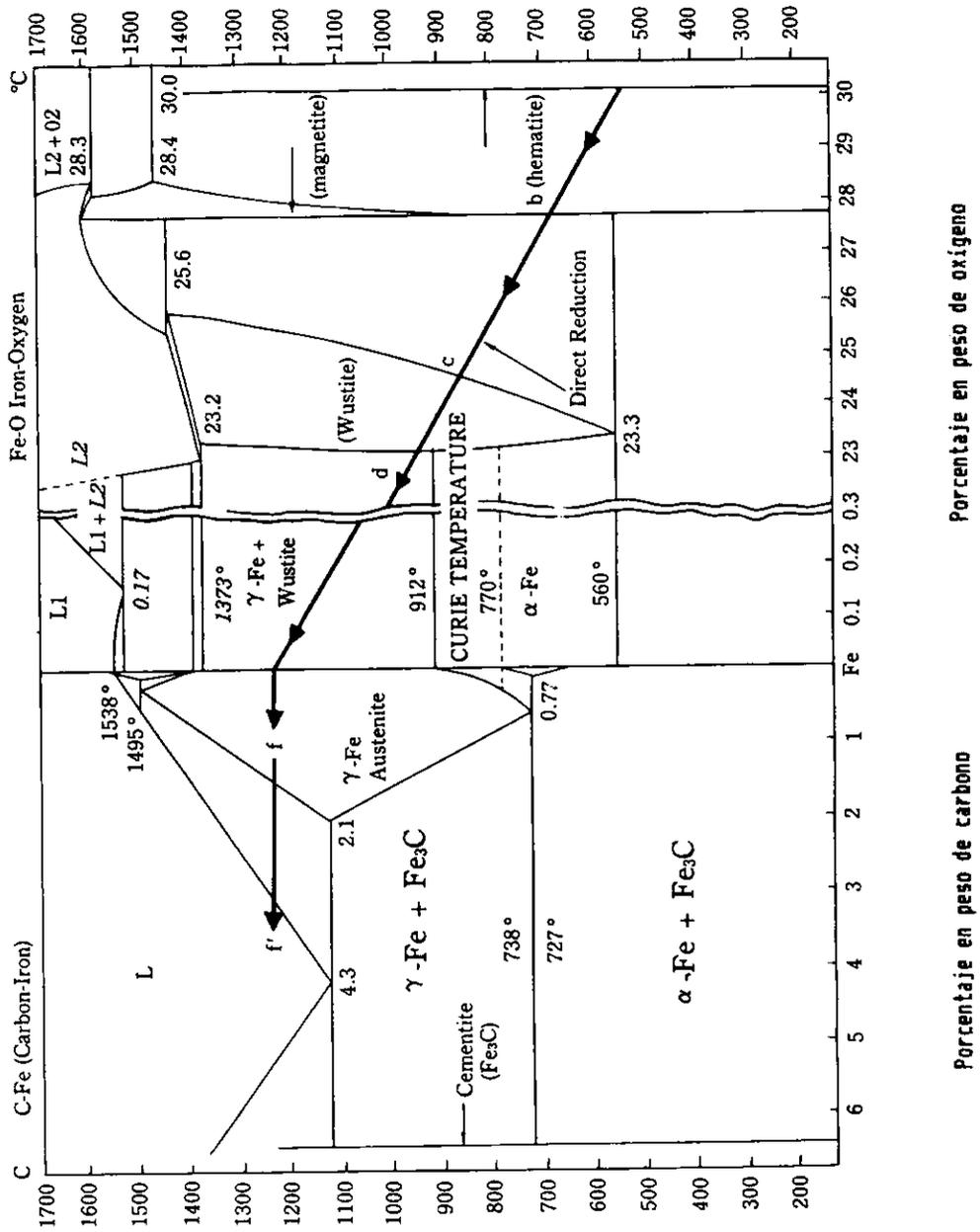


Fig. 22. Diagrama de fase del sistema Fe-C, Fe-O

se pueden fácilmente distinguir debido a que tienen una estructura microscópica de colada.

La metalografía muestra claramente el hecho de que las estructuras de colada se transforman en los objetos forjados, por martillado, en granos refinados y las inclusiones que son alargadas toman forma esférica por la repetida forja.

### 1) PROCESO DE MANUFACTURA DEL HIERRO MARTILLADO

En los tiempos antiguos era imposible hacer productos de hierro forjado debido a la relativamente baja capacidad calorífica. Así, sólo se pudo obtener hierro esponja en lugar de hierro fundido.

En el horno de fosa la materia prima, mineral crudo o arena ferruginosa, se cargaba capa a capa desde el fondo al tope comenzando por carbón de leña y siguiendo por mineral de hierro.

Después de la carga se hacía la ignición a través de la tobera y se soplaba aire varias horas (generalmente 3 a 9 horas).

Los minerales de hierro comienzan su reducción a relativamente baja temperatura, alrededor de los 570 °C. Cuando la temperatura se eleva crece la velocidad de reducción.

Cuando la temperatura excede los 1000 °C el óxido de hierro no reducido, el SiO<sub>2</sub> y el CaO de los minerales de hierro junto con el Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de la arcilla de las paredes del horno forman la escoria que fluye al fondo del horno quedando el hierro esponja en la parte superior del mismo.

Bajo improprias condiciones de reducción el polvo de hierro raramente se aglomera en masa esponjosa careciendo de maleabilidad.

En este caso se puede obtener una buena masa recalentando las partículas trituradas y mezcladas con carbón de leña. El mineral de hierro parcialmente reducido en el primer calentamiento es separado de la ganga o escoria por triturado. El uso de tal polvo triturado es como usar un mineral de hierro de alta ley.

El hierro reducido funde con dificultad (cerca de 1500 °C.) y queda como una masa porosa generalmente llamada hierro esponja. Debido a la gran cantidad de escorias e impurezas que contiene el hierro esponja es imposible transformarlo en un objeto de hierro.

Las escorias e impurezas dentro de la esponja de hierro se sacan y eliminan los poros por repetidos martillados después de calentar en un horno de forja.

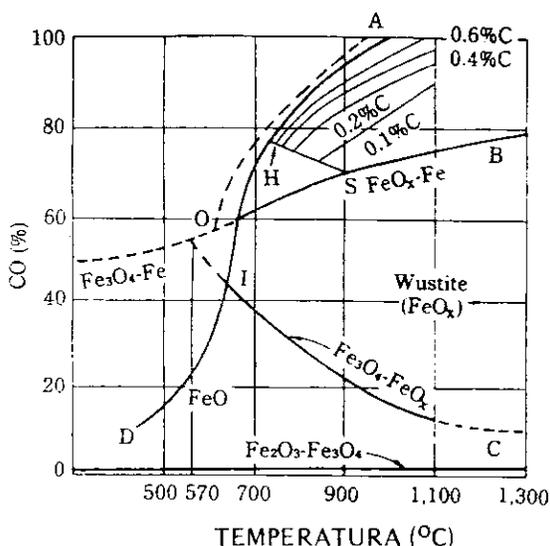


Fig.23. Carburización y reducción, diagrama de fase del sistema Fe-C-O

Por forja continua las propiedades mecánicas mejoran grandemente con el grano refinado y la disminución de impurezas.

El clavo de Kosong (Gp-2-1) y el cuchillo (Gp-2-6) muestran claramente su origen en el hierro esponja entre los artefactos ya investigados, el clavo contiene 0,5% de C y gran cantidad de grandes inclusiones de escoria (fig. 14 y 15).

De acuerdo con el análisis SEM se confirmó que esas escorias son de óxidos de Al, Ca, Ti ( $Al_2O_3$ , CaO,  $TiO_2$ ). Es de suponer que las inclusiones de escoria no fueron expulsadas debido al bajo grado de martillado.

Por otro lado en el cuchillo de hierro casi todas las inclusiones están dispersas finamente por un gran número de martillados (fotos Nº 5 y 6).

Durante el recocido las inclusiones penetran al interior debido al efecto carburante superficial. (foto 5)

Continuando con el forjado de la esponja de hierro, la óptima temperatura de forjado es entre los 800 y 1200 °C, temperatura obtenida presumiblemente quemando leña o carbón de leña. La diferencia básica entre los dos combustibles radica en que la temperatura obtenida quemando leña alcanza los 800 -1000 °C, en tanto que con carbón de leña se obtienen 1000-1200 °C.

En el primer caso la superficie queda decarburada debiendo ser la superficie del objeto carburada nuevamente.

Entre los objetos de hierro analizados, el cuchillo de Kosong (Gp-2-4, foto 4) pertenece al primer caso, otro cuchillo de Kosong (Gp-2-6, foto 5), el clavo de Kosong (Gp-2-1, foto 12, Gp-2-7, foto 17) pertenecen al último. Considerando la técnica del forjado es posible imaginar a los artesanos de la Edad del Bronce antes de la Edad del Hierro muy acostumbrados a las operaciones y técnicas del martillado, y entonces es posible imaginar que ellos hacían la unión o soldadura por forja o por repetidas forjas aún en la Edad del Bronce.

Pensando que podían hacer la estructura del material mas densa por la unión por fragua, podían también soldar diferentes materiales y hacer posible la carburización de la matriz.

Entre los objetos analizados fueron soldados por forja el cuchillo de Kosong (Gp-2-8, foto 7), la hoz de la capa Nº II de Chodo (Gp-3-6, foto 25), el arpón de Ungchon (Gp-4-2, foto 36 #1) y por repetidas forjas el cuchillo de Kosong (Gp-2-6, foto 17).

## 2) METODO DE ENDURECIMIENTO DE OBJETOS DE ACERO FORJADO

Los antiguos técnicos no tomaron simplemente las técnicas de manufactura de los objetos de bronce en la producción de implementos de hierro.

Ellos tenían conocimiento de las mejores cualidades de los objetos de hierro comparando ambos utensilios durante largos periodos de tiempo (bronce 60000 psi; acero 140000 psi. \*Robert Maddin, "How the Iron age Began", Scientific American Oct.1977.p.126.)

Sin embargo como hierro puro reducido el hierro no posee tal resistencia sin un proceso de endurecimiento.

Como la técnica de endurecimiento en la antigua Edad del Hierro se empleó supuestamente repetidos martillados, carburado, forja en frío y tratamiento térmico. Los repetidos forjados tienen doble efecto, no sólo para mejorar la resistencia del material por compactamiento de la estructura sino también por dispersión o expulsión de las grandes inclusiones del grano del hierro esponja.

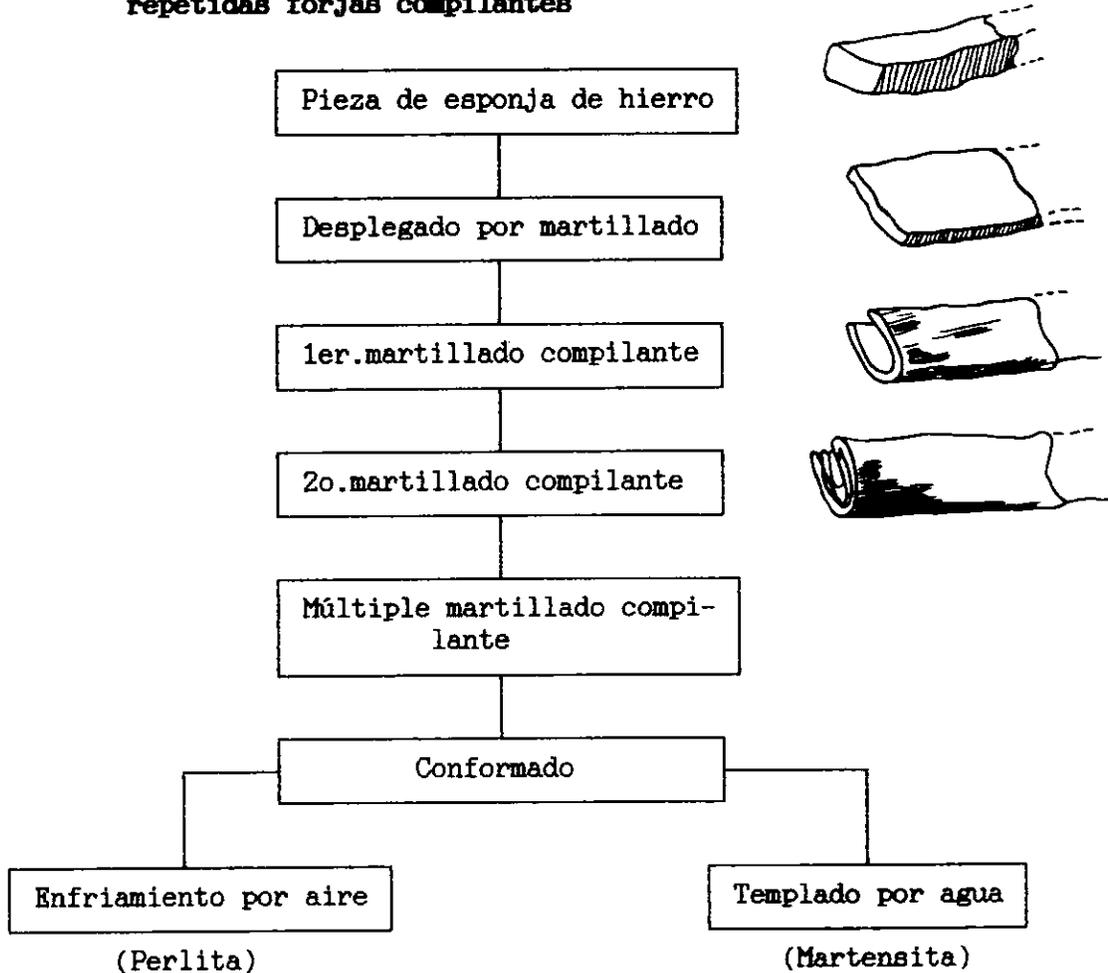
Todas las muestras investigadas de las fotos 1 a la 40 pertenecen a la categoría arriba mencionada con pequeñas diferencias.

El endurecimiento por carburado es para elevar la resistencia por aumento del contenido de carbono de la esponja o del acero de bajo carbono. La carburización se produce cuando el polvo de carbón de leña forma CO, alrededor del material, calentado a más de 1000 °C, se producen sólo pocos milímetros de zona carburada en la superficie.

Para reforzar la carburización se introdujo la técnica de repetidas uniones por martillado, la figura 24 muestra este proceso.

Entre las muestras analizadas, el cuchillo de Kosong ( Gp-2-6, foto 5) es un típico caso, muestra perlita penetrando a lo largo de los límites de grano en la matriz de ferrita formando varias bandas.

**Fig.24 Esquema de la técnica de carburización por medio de repetidas forjas compilantes**



Esto significa que la zona de la superficie carburada fue arrollada hacia adentro durante la unión por martillado. Repitiendo estas operaciones el contenido de carbono aumenta de tal manera que las propiedades se van homogeneizando.

Entre los objetos de hierro endurecidos por esta técnica están el cuchillo de Kosong (foto 3, Gp-2-4), el cuchillo de la capa Nº II de Chodo (foto 10, Gp-3-2), el clavo de Kosong (foto 17, Gp-2-7), la punta de flecha de Ungch'on (foto 20, Gp-4-3-), el arpón de hierro (Gp-4-2) y la pieza de hierro de Chodo (foto 32, Gp-3-3).

Aun cuando el acero esté carburado no puede esperarse un aumento de la resistencia si el material es recocido. Así la resistencia se mantiene únicamente cuando se aplica el tratamiento térmico correcto. Podemos con mucha dificultad imaginar que los tratamientos térmicos hayan sido populares en la antigua Edad del Hierro. De acuerdo a los resultados de las investigaciones el efecto de endurecimiento puede ser obtenido por incremento de la dureza por formación de perlita durante el enfriamiento al aire después de la forja debido al hecho de que casi todos los objetos de hierro se enfriaban al aire.

El endurecimiento por tratamiento térmico era tan raro en la antigüedad que este se reducía sólo a la operación de temple.

El cuchillo de Puwon-dong (fotos 8 y 9; Gp-5-1) y la punta de flecha (foto 21, Gp-4-3) pertenecen a esta categoría.

Es obvio que ambas muestras fueron templadas con agua a juzgar por la martensita acicular observada en la estructura metalográfica de ellas (Hv 730-736).

Especialmente en el caso de la punta de flecha de Ungch'on la parte de atrás tiene estructura perlítica por enfriamiento en aire y la hoja (punta) presenta una estructura martensítica por haber sido templada separadamente. Estos hechos revelan que el tratamiento térmico intentado se realizó para endurecer sólo la hoja.

¿ Ahora, como llegó el antiguo artesano a usar el agua como medio de temple ?

Para el trabajador, el lugar de fabricación de hierro o la forja del herrero eran lugares terriblemente calurosos y de tanta traspiración que el agua se hacía necesaria para enfriar el taller, para apagar la sed, lavar una y otra vez el sudor y también para enfriar sus herramientas.

Es razonable pensar que el concepto de endurecimiento de los objetos de hierro por templado en agua comenzó a partir de la época de los concheros de Ungch'on (estilo Kimhae de los objetos de tierra o protoperíodo de los Tres Reinos), mas bien que pensar que el herrero adquirió la tecnología del tratamiento térmico por evidencia teórica.

### 3) PROCESO DE FABRICACION DE ARRABIO

Suponiendo que el horno para fabricar arrabio es el mismo que el horno para fabricar hierro esponja, varias circunstancias lo tienen que diferenciar.

El área superficial del mineral de hierro en contacto con el carbón de leña debe ser extensa en estado pulverulento. La fusión del hierro comienza con la ignición en la tobera después de colocar bastante carbón de leña en el fondo del horno y cargando la mezcla de fino mineral de hierro y carbón de leña sobre él.

La reducción del mineral comienza a baja temperatura como en el caso de la fabricación de esponja.

Si la alta temperatura y las condiciones se mantienen como para aumentar la presión parcial del gas CO a más de 900 °C (en la figura 23, más del 60 % de CO), el metal reducido se carburiza y baja el punto de fusión como se ve en la figura 22, en la secuencia a-b-c-d-e-f.

El metal fundido fluye al fondo del horno absorbiendo carbón del carbón de leña y produciendo un charco de arrabio en el fondo del hogar. Presumiblemente el fabricante de hierro suministraba continuamente carbón de leña por la parte superior del horno.

Hay que reconocer que si bien él no comprendía el hecho de que el aumento del contenido de carbono bajaba el punto de fusión del hierro, él continuamente cargaba el carbón y enviaba una corriente de aire al horno para aumentar la temperatura hasta la formación del charco y su mantenimiento. El arrabio fundido era volcado en el molde ya preparado a través de un canal unido al horno.

Ambas piezas de hierro (Gp-1-1 y Gp-1-2) de Songsan (norte) y el hacha de Ungch'on presentan la estructura de la fundición blanca revelando que el grafito se formó escasamente debido al rápido enfriamiento después de la colada.

Estando la composición química del artefacto cerca de la composición eutéctica y también debido al poco espesor del objeto, el rango de solidificación del hierro fundido tiene un intervalo considerablemente estrecho.

La fundición blanca es tan dura y quebradiza que su empleo para utensillos de uso cotidiano es limitado y se empleó únicamente en antiguos periodos. El procedimiento de ablandamiento fue introducido en el último

período. En otras palabras, la matriz de cementita ( $CaFe$ ) de la estructura se descompuso en grafito.

El hacha de Yean-ri (fundición atruchada) \* y la punta de flecha de Ungchong (fundición gris) \*\* corresponden a esta categoría.

Algunas veces se encuentran artefactos de hierro con un contenido comparativamente alto de carbono (más de 0,7%) y parece imposible incrementar el contenido de carbono por forja y carburización.

Presumiblemente esta clase de implementos de hierro fue hecha por el procedimiento de fabricación de acero tostado (parcing steel). La punta de flecha de la capa N° 1 de Chodo (Gp-3-5) y la pieza de hierro de la capa alterada de Chodo (Gp-3-4) y el cincel de Puwon-dong (Gp-5-2) no parecen hechos por simple carburización y repetido martillado pues contienen considerable porcentaje de carbono. Es aceptable pensar que se hicieron por decarburización de arrabio fundido.

Tal juicio está reforzado por el pequeño tamaño de grano que corresponde a los números 3 a 6 de ASTM.

Basados en la tecnología de fabricación del acero tostado (parching steel), discutiremos el fundamento de la fabricación de acero de alto contenido de carbono.

El arrabio fundido a la salida del horno tiene un contenido de 3-5 % de carbono, 0,3-1,0 % de Si, 0,1-0,3 % de P como el indicado en los artefactos de fundición.

Quando se agrega polvo de mineral de hierro a este arrabio, la oxidación del metaloide se produce del modo siguiente:

- Oxidación del C :  $[C] + [FeO] = CO + Fe$  .....endotérmica-----(1)
- Oxidación del Si:  $2 [FeO] + [Si] = SiO_2 + 2Fe$ .....exotérmica -----(2)
- Oxidación del Mn:  $[Mn] + [FeO] = MnO + Fe$  .....exotérmica -----(3)
- Oxidación del P :  $2[P] + 5[FeO] + 3CaO = 3CaO.P_2O_5 + 5Fe$ ..exotérmica(4)

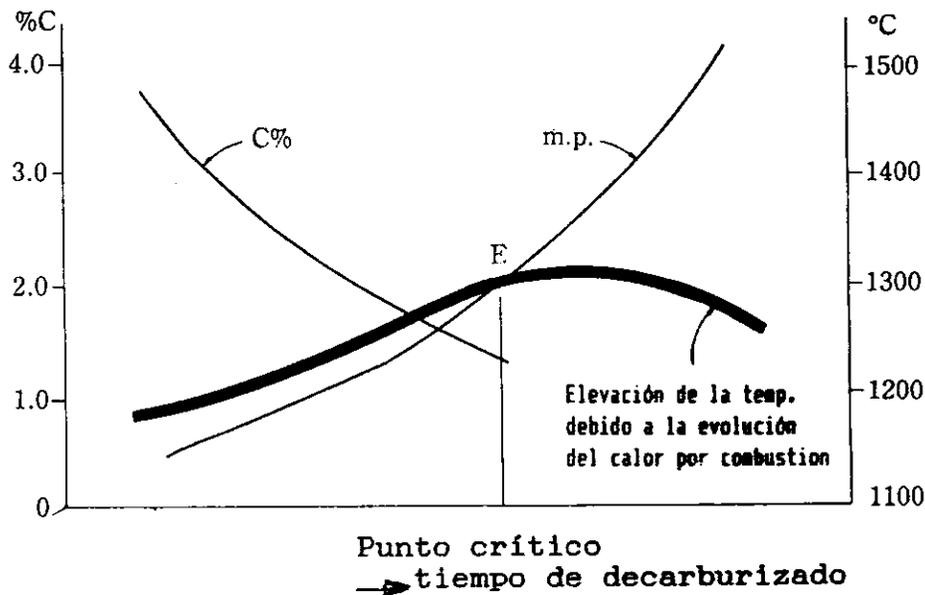


Fig 25 secuencia de decarburación de hierro y acero por mineral de hierro.

--- \* Kim, Chong-hak: "Informe preliminar de las antiguas tumbas de Yean-ri, Revista de Estudios Arqueológicos Coreanos (Hanguk Kogo Hakbo) No.2 (1977.4) p. 5.

----- \*\* Choi, Sang-jun: "Análisis de artefactos de hierro fabricados en el período prehistórico y en antiguos tiempos. Arqueología y Folklore 1966.3

El mineral de hierro reacciona con el C en el fundido desprendiéndose gas, sucediendo la " ebullición del mineral "

La reacción (1) es endotérmica en tanto que la oxidación del Si, Mn y P son exotérmicas, aumentando la temperatura.

El calor de oxidación del C a CO es de 2299 Kcal/Kg C y el calor de oxidación del Si es de 7423 Kcal/Kg Si.

Se puede decir que el acero alcanzó cierto punto crítico (punto E en la fig 25) continuando después la decarburación del hierro hasta que el calor de oxidación del metaloide en el fundido es suficiente para mantener el estado fundido mientras el punto de fusión del hierro se elevaba debido a la disminución del contenido de carbono por adición de mineral de hierro.

Podemos agregar mayor explicación del punto crítico de la fig. 25. Como en la carburización representada por f-f' en el sistema Fe<sub>3</sub>C-Fe-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (fig.22) el punto de fusión se eleva de 1146 a 1538 °C como se ve en la figura 25. Representando el aumento de temperatura contra el tiempo de carburización, los elementos Si, Mn y P producen primariamente calor reaccionando con el óxido de hierro.

Debido a la disminución de la cantidad absoluta de metaloides en el hierro fundido la temperatura cae, resultando un déficit de calor para compensar el aumento del punto de fusión debido a la decarburación y finalmente la operación de fusión debe darse por terminada.

Así, en cierto umbral optimizado la decarburación debe ser terminada y ese punto se define como punto crítico E, en la fig. 25.

## 7. CONCLUSION.

---

La mayoría de los sitios de antiguas ruinas de fundiciones están localizados a lo largo de grandes ríos. En el caso del río Han, a lo largo del río Puk-Han, hay asentamientos de producción de hierro de la antigua Edad del Hierro como Igong-ni, Chung-do, Majang-ni. Y están Pungnam-ni, Karaktong, Sodun-dong a lo largo de la desembocadura del río Nam-Han.

Los concheros que quedan de la antigua Edad del Hierro están localizados en las playas del sur de la península o restringidos a sus inmediaciones.

Aunque en la actualidad tales concheros están localizados en el interior, a varios miles de metros de la costa, sin embargo se considera que en tiempos pasados el agua del mar llegaba a esos depósitos.

Otra razón por la cual los sitios de ruinas se extienden alrededor de la costa sud es que ella tiene muchas islas y es más habitable que la del este u oeste por la pesca y la recolección de moluscos para la vida. Los concheros nos dicen que en esos tiempos el hombre procuraba su sustento no sólo por el cultivo sino también por la caza y la pesca.

De allí el hecho que los sitios de fabricación del hierro estén localizados en los valles a lo largo de las cuencas de los ríos, donde estaban radicados los poblados de la antigua sociedad y cerca de los afloramientos de minas de hierro y acumulaciones de arena ferruginosa.

En vista de la estructura de la antigua sociedad, los instrumentos necesarios para la vida eran manufacturados por el trabajo manual en pequeña escala. Con el propósito de la más fácil recolección de los materiales debían localizarse alrededor de las minas.

Se han llevado a cabo estudios cronológicos de los sitios de las antiguas fábricas de hierro a lo largo de la cuenca del río Han con referencia a artículos ya publicados.

Sin embargo es imposible conocer exactamente la cronología de los sitios de las antiguas fabricaciones de hierro a lo largo de la cuenca del río Han, pero es posible únicamente presumir la edad relativa a través de los artefactos acompañantes.

Sin duda, la edad absoluta de algunos lugares históricos se conoce exactamente por medio de la datación del carbono radioactivo, teniendo a veces errores de más o menos 100 años. Como se mencionó antes y a juzgar por los artículos acompañantes, esos artefactos de hierro se hicieron en el período de transición de la alfarería plana y basta a los objetos de tierra del estilo Kimhae. De acuerdo a dataciones absolutas se encontró que estos artefactos pertenecen a los siglos II a III a.C.

Otra vez juzgando la escala del horno, su estructura es la de un horno de fosa con un diámetro interior de 40 a 80 cm.

El tamaño del horno era tan pequeño porque en ese tiempo la fuerza del hombre para sacar pesadas piezas y forjarlas estaba naturalmente limitada.

Por esto, hay que considerar que el tamaño de las piezas de hierro que podían controlar uno o dos hombres estaba relacionado con el volumen interior del horno.

Varios antiguos estudios en Europa o China revelan que la razón por la cual los objetos de bronce se habían desarrollado antes que los de hierro era debida a la falta de poder calorífico necesario para fabricar hierro.

Aun en la Edad del Hierro, el poder del fuego no aumentó mucho. Sin embargo, alrededor de los 900 °C, la cual es la temperatura de fusión del bronce, se hacían constantemente nuevos métodos de carga añadiendo carbón de leña o mejorando el aprovechamiento del calor; pudiendo al fin mantener la temperatura de fusión del arrabio, 1200-1300 °C o arriba de los 1000 °C, la cual es la temperatura activa de reducción del hierro.

Este hierro, así producido a esa temperatura con esa capacidad calorífica, tenía muchas ventajas bajo el punto de vista de su producción.

Por esto, al principio, era imposible producir hierro fundido y era

sólo posible producir una masa de hierro reducido (hierro esponja).

El hierro reducido en forma de esponja contiene mucha escoria y polvo no reducido de hierro o de carbón de leña y es imposible usarlo como materia prima en su forma original.

Por esto para hacerlo más duro, lo cual es la característica del hierro, se llevaron a cabo repetidas forjas del hierro esponja justo a la salida del horno o repetidos calentamientos en el horno de recocido.

Debido al martillado las inclusiones de la parte interior se eliminaron y entonces el grano cristalino se refinó y homogeneizó hasta obtener las propiedades del acero (hierro forjado).

El hierro forjado está principalmente compuesto por matriz ferrítica tan blanda que no era conveniente para ser usado. Para superar los defectos se empleó el proceso de forja carburante. Este proceso consiste en calentar por mucho tiempo el hierro forjado y luego forjarlo arriba de 1000 °C en polvo de carbón de leña.

Debido a las repetidas operaciones el carbón penetra a través de la superficie del material, aumentando la dureza del hierro forjado y formando una estructura perlítica.

El aumento de la dureza superficial no mejora la resistencia del material.

Conforme a lo dicho arriba, se aplicó la compilación con repetidos martillados.

Se comprende que no hay comprensión acerca de la carburización. Por prolongados calentamientos los artesanos encontraron que era necesaria mucha cantidad de carbón de leña y que para un acero más duro se requería mucho martillado.

En base a tales experimentos ellos aplanaron el bloque de acero, doblaban y repetían otra vez la misma operación.

Repetiendo el martillado era de esperar algún endurecimiento con el enfriamiento al aire aun después de la forja. En este caso se alcanzaba la resistencia del actual normalizado. Otro método para elevar la dureza es el tratamiento térmico.

Indudablemente la técnica del tratamiento térmico fue aplicada a los artefactos de hierro encontrados en los sitios de ruinas. El tratamiento térmico aquí es un simple método de enfriar el objeto de hierro después de forjado.

Posiblemente el uso del agua es por la razón antes mencionada. De acuerdo a esos experimentos los artesanos habían aprendido que la dureza se mejoraba con el uso del agua.

Esto requiere tiempo y son necesarios grandes esfuerzos para obtener acero del hierro esponja y tiene el defecto de que una gran producción de acero es imposible en un mínimo tiempo.

Para superar los defectos se introdujo el proceso de producción de arrabio. El arrabio no proviene del hierro esponja (reducido), pero puede obtenerse en estado fundido.

Para hacer metal fundido se requiere un horno en gran escala y mayor temperatura así que el calentamiento fue mantenido por muchas horas. Entonces agregando carbón de leña continuamente se logra alta temperatura de reducción tanto como la carburización durante la fusión del metal.

Debido al descenso del punto de fusión es posible obtener metal fundido a 1200 °C, colando luego el arrabio en moldes ya preparados. Así se hicieron muchos instrumentos para la vida cotidiana tales como hachas, cincel, rejas de arado etc.

Sin embargo un gran porcentaje de ellos están hechos de fundición blanca, quebradizos y son contemporáneos de otros implementos forjados, de fundición atruchada o de fundición gris obtenidos por excavación en otras ruinas o en algunos sitios del último período.

El mencionado hierro esponja o hierro de reducción directa y la fabricación del arrabio tienen procesos por completo diferentes. Dos procesos se pueden desarrollar paralelamente como técnicas ampliamente si los méritos

o inconvenientes de los dos procesos se compensan uno con otro.

En otras palabras, un nuevo proceso fue inventado en el cual el arrabio fundido era decarburado en lugar de solidificar como fundición blanca, quebradiza. Este proceso se llamó fabricación de acero por "tostado" (parching steel) o proceso de pudelado.

Concerniente a la fabricación de acero "tostado" (parching steel) algunos detalles se han descrito previamente. El acero de hierro-sumergido siguió desarrollándose.

En este nuevo proceso se volcaba alguna cantidad de arrabio fundido en hierro forjado de bajo contenido de carbono con el propósito de controlar el contenido de carbono y luego se forjó la masa repetidamente para homogeneizar la calidad de los objetos de hierro.

Un trozo de cincel encontrado en el sitio de Puxon-dong es un ejemplo de acero de hierro sumergido. Es tan duro como para justificar el nuevo proceso, sólo con un trozo de artefacto encontrado yo quisiera introducirlos simplemente en ese tipo de proceso.

Tal clase de estudios sobre artefactos de hierro de la antigua Edad del Hierro están en una etapa totalmente inicial y entonces pertenecen a investigaciones interdisciplinarias entre metalurgia y arqueología o historia.

Esta es la razón porque se encuentran muchas dificultades. Hasta donde concierne a los artefactos, la destrucción de las muestras no es permitida en el curso de la investigación y la cooperación de cada campo interesado es en extremo necesaria para llevar a cabo futuras investigaciones.

**PARTE II**

**ARTEFACTOS HALLADOS**

**EN**

**TUMULOS SEPULCRALES**



## 1. INTRODUCCION

---

El significado de los estudios metalúrgicos radica en su crucial conexión con el problema del origen y formación del Estado. El comienzo de la Edad del Hierro también involucra su transición desde la Edad del Bronce. El fin de la Edad del Hierro incluye la evolución del Estado en Corea.

Ya he discutido el nivel de la tecnología del hierro y la fabricación de los artefactos de hierro obtenidos por excavación en los poblados del río Han y en los concheros del río Nakdong de la antigua Edad del Hierro en la parte I. (1)

Los túmulos sepulcrales están distribuidos extensamente a través de la península de Corea en áreas como Pyongyang, Hwanghae-do, Hamkyongnam-do, en la cuenca del río Han, Kyongju y Chollanam-do en la costa y se han originado en el período de los Estados Combatientes en China. De allí que la importación de esta costumbre funeraria y el establecimiento del estado Choson de Wiman se puedan datar en el mismo período.

Paralelamente con esas cuestiones, la introducción de la tecnología de la fabricación del hierro desde China están naturalmente interrelacionados.

Los otros trabajos que fundamentan esta teoría son, "La producción de hierro en el período Chin-Han y el nacimiento del reino de Shil-La" (2) y "Un estudio del sistema funerario de Kogurio" (3). Esos artículos discuten la formación de los Tres Reinos tanto como el crecimiento del poder militar en conexión con la tecnología de la producción del hierro, intentando una explicación más científica de este acontecimiento histórico.

Este estudio investigará la tecnología de la fabricación del hierro en este período a través de análisis químicos y metalográficos de artefactos obtenidos por excavación en sepulcros o tumbas del período de los Tres Reinos.

Por otra parte, esta investigación examina el desarrollo de los artefactos de hierro y su consecuente efecto en la evolución del Estado en la antigua Corea.

Primeramente en esta segunda parte, algunos trabajos deben conocerse sobre la metalurgia y fabricación de artefactos de hierro en Europa como un material de referencia preliminar. Segundo, deben estudiarse informes de excavaciones y artículos sobre túmulos sepulcrales de Corea con objeto de describir las características culturales de las ruinas históricas para luego realizar el análisis científico.

El examen metalográfico y el análisis químico se hacen únicamente sobre artefactos de Corea del sur, mientras que la otra información se recoge de fuentes ya publicadas.

Así, comparando la tecnología coreana de la antigua Edad del Hierro con la tecnología de la antigua Europa yo quisiera mostrar una más definida evidencia en los estudios metalúrgicos de artefactos de Corea que hasta ahora han sido sólo meramente mostrados en informes o en observaciones exteriores.

Finalmente, siento decir que la mayoría de los sitios no poseen datación absoluta y únicamente han sido datados relativamente. Por esto he utilizado para todos los artefactos la información cronológica dada por los excavadores originales.

## 2. FABRICACION DEL HIERRO EN LA ANTIGUA EUROPA

### 2.1 EL ADVENIMIENTO DE LA EDAD DEL HIERRO

Los sitios de la Edad del Bronce (ca. 1200 años a.C.) en el este del mar Mediterráneo y en el sudoeste de Asia han producido cientos o miles de artefactos de bronce; en comparación con las 500 piezas de hierro encontrados en la misma área .

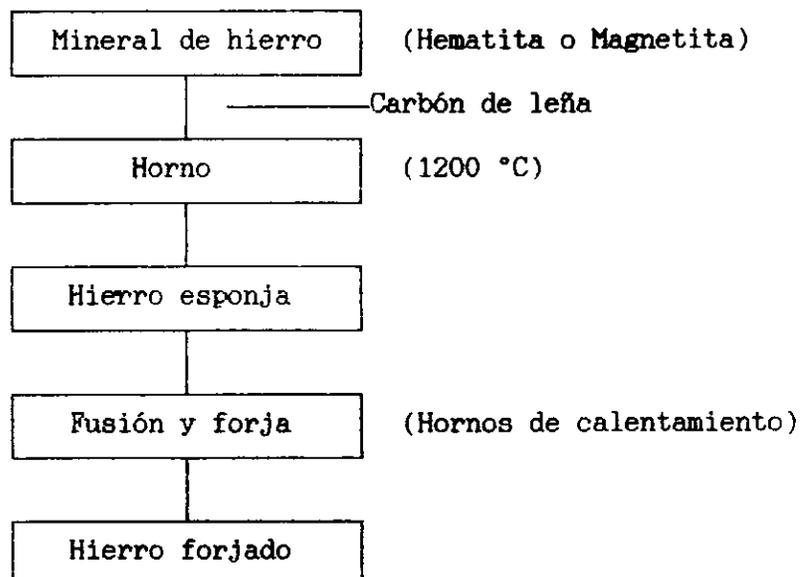
Los broncees son principalmente fundidos mientras que los artefactos de hierro son forjados a partir del hierro esponja, el cual es un proceso más difícil, tecnológicamente, comparado con el primero.

La tabla 1 es la lista de los artefactos de bronce y hierro de los sitios de Grecia ca. 1050-900 años a.C., mostrando que el predominio de los

**Tabla 1. Artefactos de Sitios de Grecia (1050-900 a.C.)**

Artefactos	Material	Cantidad
cuchillos	bronce	0
"	hierro	más de 15
espadas	bronce	1
"	hierro	más de 20
arpones	bronce	8
"	hierro	más de 30

artefactos cambia del bronce al hierro entre 1300 y 1000 a.C. De aquí podemos concluir que el uso del hierro empieza alrededor del 1200 a.C. y se extiende ampliamente por el 1000 a.C.



**Fig.1 Manufactura del hierro esponja en la antigua Europa**

De acuerdo a Tylecote (4), la expansión del trabajo del hierro es así:

" Si nosotros asumimos que el conocimiento del trabajo del hierro se fue incubando en alguna parte de la región Irano-Anatólica durante el período del 1500-1000 a.C., se puede explicar su despliegue en partes de Europa, Asia y norte de Africa en los siguientes cinco siglos. Poco después del 1000 a.C. penetró la costa de Palestina: los Filisteos tenían hierro en el siglo XI a.C. y vimos su aparición en Gerar, mientras Galilea y Egipto estaban en la Edad del Bronce. Existe poca duda de que los fenicios lo conocían y lo extendieron por el Mediterráneo occidental y Cartago.

Desde allí, se extendió probablemente a Nigeria donde la cultura Nok de la Edad del Hierro produjo hierro alrededor de 400-300 años a.C. Entró en Grecia alrededor del 900 a.C. y parece haber llegado a Egipto vía Grecia o por los comerciantes carios como hay real evidencia de fundición en el emporio de Naucratis, donde se encontró escoria de hierro en niveles de 700 años a.C.

En el Sudán, la fundición de hierro comenzó alrededor de 200 años a.C. y su conocimiento pudo haber llegado vía Grecia, sud de Arabia y Etiopía.

Africa central y oriental, probablemente recibieron su conocimiento de la fundición de hierro cerca del 500 d.C. de Nigeria con la migración de las tribus Bautu. Esta ruta terminó finalmente en Sud Africa cerca de 1000 años d.C. "

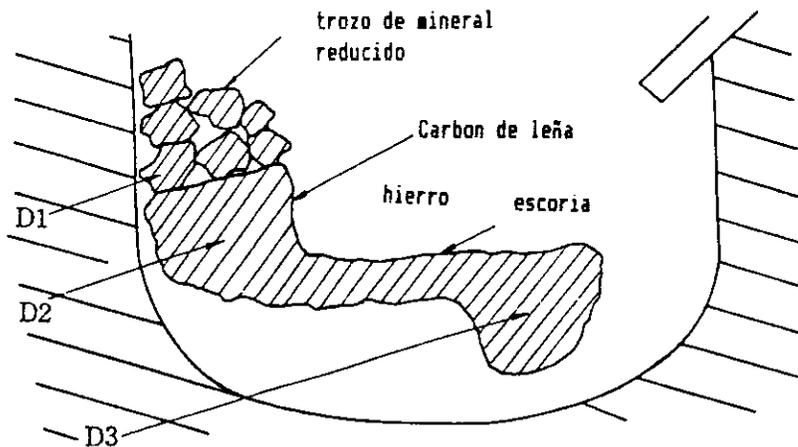


Fig. 2 Fusión de hierro en horno primitivo



Foto 1. Estructura de un lingote de hierro experimental forjado, mostrando el grano de ferrita (blanco) y inclusiones de escoria (negro).  
200 x

De acuerdo a Piaskowski, los artefactos de hierro encontrados en esta área tienen alto contenido de fósforo y no hay evidencia de tratamiento térmico, ni siquiera el filo de algunas hachas encontradas estaban carburadas.

El punto de fusión de la escoria encontrada en el sitio de cultura Hallstättica, Hloubetin, cerca de Praga era de 1335-1420 °C y se encontró un simple horno de fosa (Fig 1). Podemos suponer la posibilidad de la existencia del horno de alimentación superior y que por soplado en tal horno podían alcanzar alta temperatura.

**Tabla 2. Resultados experimentales de la fusión del hierro en el horno de Wynne ( diam. = 9" )**

Máxima temperatura requerida (°C)	1250
Aire requerido (cu.ft/min.)	2,5
% de Fe en mineral de hierro (%)	48
Fe producido / Fe en el mineral (%)	20 (refinado)
Carbón de leña requerido (lbs/lb.Fe)	16
Diámetro de la tobera (in)	0,5
Angulo de la tobera (°)	45
Temp. de escurrimiento de la escoria (°C)	1150
Tiempo total (horas)	5
Tamaño del mineral de hierro	- 1/2
Tamaño del carbón de leña	± 1/2

También damos por sentado que se había usado el horno de tiro durante el período de La Tène (ca. 400-600 años a.C). Inmigrantes de Hallstatt, en Inglaterra estarían familiarizados con hornos a fuelle.

Además ellos habrían conocido que el contenido de carbono en el hierro ayuda a la resistencia de los productos de hierro. Otros métodos tales como procesos de carburización y templado no fueron conocidos probablemente en esta etapa del desarrollo.

## 2.2 DESARROLLOS EN LA FABRICACION DEL HIERRO.

El hierro puro funde a 1539 °C y es de imaginar que el poder del fuego de la Edad del Hierro únicamente alcanzaba una temperatura de 1200 °C.

Afortunadamente el óxido férrico ( $Fe_2O_3$ ) se puede reducir a 800 °C y generalmente los minerales de hierro no son óxido puro sino que contienen ganga y otras impurezas.

Esa ganga e impurezas no son eliminadas únicamente por simple lavado, sino que también se pueden eliminar por fusión. La escoria está compuesta en general por óxido de hierro y sílice y funde alrededor de 1150 °C.

La temperatura de fusión de la escoria es mucho mas baja que la del hierro. Por eso, parte de la escoria fluye al fondo del horno quedando la masa de hierro en estado de esponja.

La masa de esponja conteniendo escoria fundida en el interior se puede forjar para expulsar las impurezas.

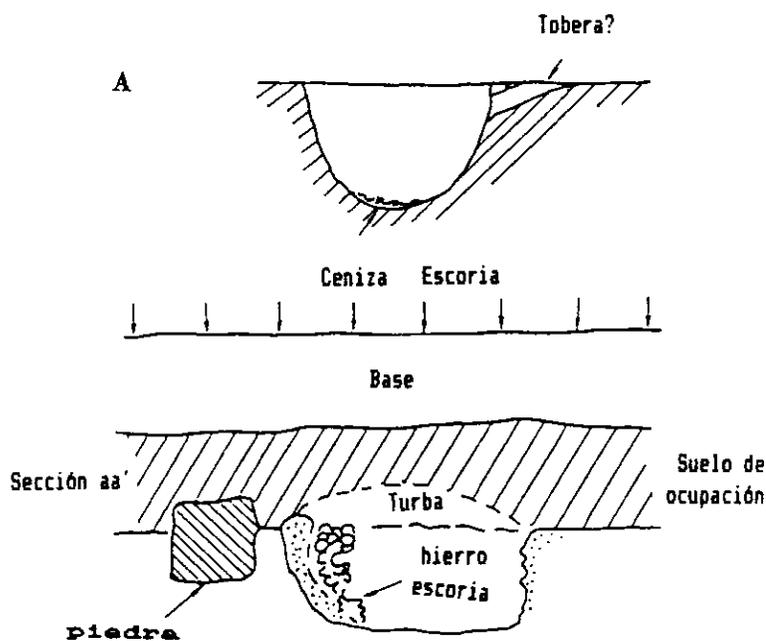
E. J. Wynne ha hecho experimentos simulando la antigua tecnología de la fabricación del hierro. Hizo primeramente un pequeño horno de crisol con paredes refractarias y le agregó una tobera inclinada para soplar aire en el horno.

El mineral de hierro de Northamptonshire conteniendo 5% de piedra caliza se fundió y se formó la escoria de hierro alrededor de 1050 °C.

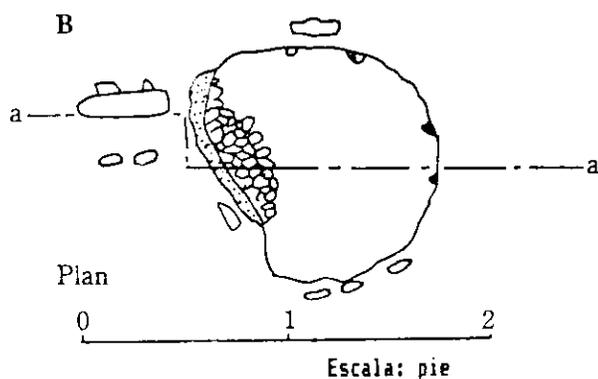
Si bien nosotros no sabemos como los antiguos europeos revestían sus hornos, los anteriores experimentos revelan que un horno revestido aumenta la producción de hierro y también revela que un pequeño horno de 9 pulgadas de diámetro requiere únicamente una corriente de aire de 2,5 cu.ft/min, la cual es posible suministrar usando un pequeño fuelle.

La temperatura alcanzada por ese método fue de 1150 °C y fue suficiente para producir escoria de hierro. Sin duda, se pueden alcanzar más altas temperaturas con un mayor suministro de aire.

El proceso de fusión en el horno de Wynne necesita alrededor de cinco horas y finalmente quedaban cenizas (escoria líquida y carbón, fig.2.D3) en el fondo del horno mientras que permanecía arriba el hierro (fig.2.D2) quedando la ganga como escoria.



(a) Condado de Chelms, Somerest (aprox. 250 a.C.)



(b) Kester, Devon (aprox. 400 a.C.)

Fig. 3 Hornos de la antigua Edad del Hierro

Arriba del horno quedó el hierro reducido conteniendo escoria. Después de la operación de fusión fue fácil extraer el hierro del horno pues los otros materiales se rompieron por martillado.

Este material fue repetidamente calentado y forjado eliminando toda otra impureza. En esta etapa la temperatura se mantuvo constantemente sobre los 1050 °C, hasta que el resto de la escoria e impurezas se eliminaron. La foto 1 muestra la estructura de un tocho experimental de hierro forjado fundido de esta manera, mostrando la matriz de hierro puro conteniendo una cantidad extremadamente baja de carbono y escoria dispersa debido al repetido forjado. Las condiciones experimentales se resumen en la tabla 2.

Hay muchos artículos referidos al uso de fundentes en la antigua fabricación de hierro. Los fundentes se emplearon para bajar la temperatura de fusión del óxido metálico o la escoria, tanto como para separar el metal y la escoria en el proceso de reducción. Los minerales de hierro que no contienen piedra caliza producen una escoria de fayalita ( $2FeO.SiO_2$ ) que funde a 1170 °C.

Si adicionamos 1,2% de piedra caliza a la fayalita decrece el punto de fusión de la escoria de hierro en 50 °C, sin embargo, un agregado superior a 1,2% eleva el punto de fusión.

Es más probable que no existiera el uso de fundentes tales como piedra caliza en la antigüedad pues no había un medio para medir exactamente la temperatura. Por esto es muy probable que los artesanos no hayan conocido tales hechos.

Sin duda, el mejor sitio de fusión de la Edad del Hierro se encontró en Kester, cerca de Changford en Devon, Inglaterra. Desafortunadamente este sitio no tiene exacta datación, pudo haber sido establecido algún tiempo después del año 400 a.C. (fig.3).

Aquí, en un oscuro lugar de la región, dentro de una cabaña se encontraron ruinas de un horno de 12-18 pulgadas de diámetro conteniendo una mezcla de cenizas y tierra.

El horno tenía 9 pulgadas de profundidad y parecía ser un típico horno de fosa.

Hay una piedra a un lado que podía servir como apoyo para el fuelle. La ceniza es un material típico de alto contenido de hierro, cuya composición se da en la tabla 3.

Un gran pozo se encontró a unos dos pies del horno conteniendo ceniza y carbón pero no escoria.

Esto pudo haber servido para recocer el tocho para la forja. Los restos de un pequeño horno de foso encontrados al abrigo de una roca en el condado de Chelm, Cheddar, se exhiben en el museo de Wells.

Este horno esta datado en cerca de 150 años a.C. a 50 años d.C. (fig. 3a). Parece tener los restos de una tobera semipermanente construida en el lugar, lo cual es un hecho inusual para los antiguos hornos de fosa.

En todos los otros aspectos es muy similar a los hornos de fusión de Kester.

**Tabla 3. Análisis químico de la ceniza de Kester, Devon**

Sitio	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	H <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
Kester, Devon	48,3	17,4	21,4	0,39	---	---	0,11	1,21	0,25
Chelm's Combe, Somerset	50-57	8-11	23-27	4,5-5,6	0,10	---	1,1	2,45	0,30

El único horno completo de la antigua edad del hierro es el de la cabaña de Rudh'an Dunain en Skye. Este horno está formado principalmente de laja.

Algo de escoria se encontró en el horno, pero fundamentalmente se encontró una pila en el lado norte. La escoria era una típica variedad de fayalita-magnetita. Carbón de leña y leña se encontraron en todos los niveles.

En el nivel de fusión de hierro había carbón de madera de abedul, sauce y álamo y alguna madera de espinillo. Se encontró también una pala de madera de pino la cual debe haber sido usada para palear el carbón de leña.

### 2.3 ENDURECIMIENTO Y PROCESADO DEL HIERRO.

Hay dos caminos para endurecer el hierro, químicamente o físicamente. El primero se logra adicionando carbón o fósforo. Ya que la adición de carbono es un método bien conocido, discutiremos aquí el efecto del fósforo.

**Tabla 4. Cambio de la dureza debido al contenido de fósforo**

P%	Resistencia a la tracción (tsi)	Dureza (DPN)
0	17	75
0,15	21	91
0,40	29	126
0,50	31	135
0,60	35	152
0,70	38	165

En la tabla 4 se observa que la resistencia a la tracción aumenta con el incremento de fósforo en el hierro.

Otro proceso de endurecimiento es una repetida forja o carburado, como se ve en la figura 4, la masa de esponja al salir del horno es tan porosa que se debe calentar a 1200 °C para licuar la escoria contenida en el hierro.

En este estado, el gas CO generado por la combustión del carbón de leña difunde en la superficie del hierro causando la carburización.

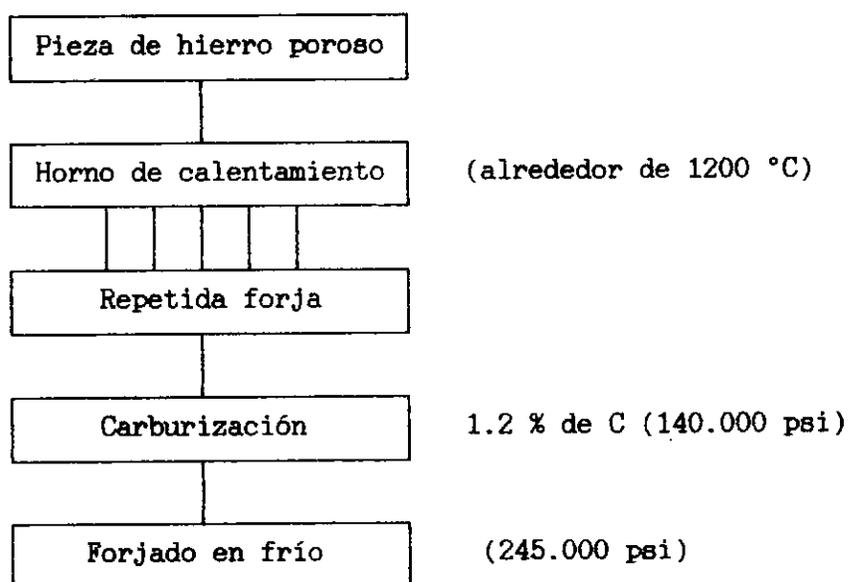
Por ejemplo, a 950 °C durante 9 horas, 0,5% de C se difundirá a una profundidad de 1,5 mm; a 1150 °C, durante 9 horas penetrará 2,0% de C a 1,5 mm. Comparando con la resistencia a la tracción del bronce, 60.000 psi, el acero con 1,2% de C tiene una resistencia de 140.000 psi.

Por otro lado cuando se forja en frío, el acero alcanza los 250.000 psi.

En la antigua Europa, la técnica de carburización era completamente diferente a la empleada hoy en día, repetidos martillados debían haber sido empleados para desintegrar el carbón atrapado dentro del hierro.

Tales técnicas son evidentes en el cuchillo que se encontró en Idalin, Chipre (ca. del año 1200 a.C.) la hoja del cual estaba endurecida por carburización.

Otro método físico de endurecimiento es el tratamiento térmico de los implementos de hierro y presumiblemente el proceso de templado se descubrió accidentalmente en este periodo (fig.5).

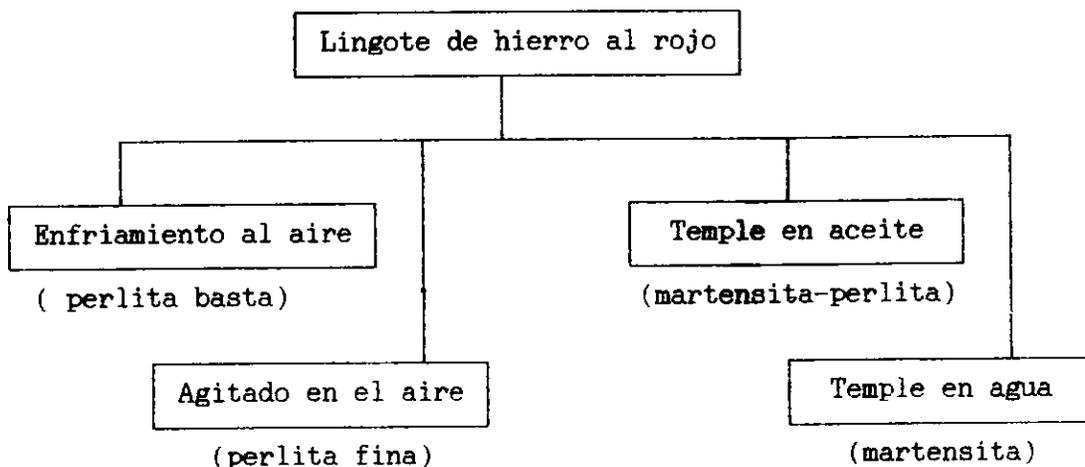


**Fig.4. Proceso de endurecimiento del hierro**

Otra evidencia lo fundamenta : se encontró que los herreros en el área este del Mediterráneo habían adquirido la técnica del temple en los siglos 8-7 a.C.

En la Odisea, Cap.9, cuando el gigante de un solo ojo cayó en la cueva Odiseo cuenta: "Así como el broncista, para dar el temple que es la fuerza del hierro sumerge en agua fría una gran segur o un hacha que rechina grandemente, de igual manera rechinaba el ojo del cíclope en torno de la estaca de olivo." Así, podemos inferir que el tanque de agua se usó ampliamente con el propósito de templar, como se emplea en el proceso moderno de temple.

Además hay alguna posibilidad de que el agua para el temple se haya descubierto accidentalmente, ya que el agua debía haberse empleado extensamente para enfriar las herramientas forjadas, enrojecidas en el fuego.



**Fig. 5. Cambios estructurales por el proceso de enfriamiento**

A pesar de la herrumbre y del uso, cinco de once artefactos de hierro de Nimrud, mostraron que habían sido templados y los restantes mostraban trazas de carburización.

El hierro templado, aunque su dureza es alta, es muy frágil y es necesario revenirlo.

Se supone que el revenido no se hizo simplemente porque este tratamiento se realiza a menos de 700 °C y a esta baja temperatura el color de la superficie no cambia, no pudiendo reconocer la temperatura el trabajador metalúrgico.

En un sitio de la colonia comercial de Grecia, Almira, Turquía, cerca del límite con Siria, se desenterró un cincel para el trabajado de la piedra datado en los comienzos del siglo 4 a.C.

De acuerdo al análisis microscópico de su filo mostraba una matriz martensítica con abundante perlita en la entalladura .

Hay que pensar que el cincel fue templado con el filo cubierto con barro y la pequeña cantidad de perlita apareció debido al lento enfriamiento de la porción cubierta con barro; sin embargo, es discutible que tal método haya sido empleado tan antiguamente como en la Edad del Hierro.

En Almira se encontraron un cincel y una azuela, la azuela se hizo con dos piezas de chapas foliadas y forjadas en caliente, carburados por lo tanto sólo un lado.

Esta azuela se enfrió al aire pero no sufrió tratamiento térmico. Si la misma persona hizo el cincel y la azuela, debemos reconocer que tenían diferente función, el cincel para trabajar la piedra, templado y la azuela para trabajar la madera, sin temprar.

A juzgar por la datación anterior, podemos inferir que alrededor de el siglo 7 a.C. el herrero del Mediterráneo oriental conocía las técnicas de carburización y temple en la elaboración de herramientas de trabajo y armas.

De hecho, 4 siglos a.C., el hombre fue capaz de emplear diferentes técnicas para diferentes implementos.

Presumiblemente, más fuertes y durables implementos de hierro y acero se hicieron en la última generación debido al hecho de ser necesario mucho desarrollo científico en los procesos.

Una interesante característica es que el registro de fundiciones en la antigua Europa es escaso. En general, la fundición de hierro se puede hacer por fusión a una temperatura de 1150 °C, relativamente baja (cerca de la temperatura eutéctica), así que es presumible que aún teniendo baja capacidad de producción de calor se fabricaron instrumentos de fundición de hierro en las antiguas fundiciones.

Podemos encontrar que se desarrollaron técnicas para hacer fundición en Europa en los siglos 13-14 d.C., apareciendo entonces su registro histórico.

La condiciones en las cuales se pudo hacer la fundición de hierro, una relativamente alta relación de combustible a mineral con un efectivo soplado de aire, fueron casi las mismas en Europa y en China.

China sin embargo, llevó a cabo la fabricación de fundición primero que Europa.

### 3. SITIOS COREANOS DE LA ANTIGUA EDAD DEL HIERRO.

Como se indica en la figura 6 de acuerdo a los informes de excavaciones y artículos arqueológicos ya publicados, los sitios de la Antigua Edad del Hierro se pueden dividir en cuatro áreas; la cuenca del río Naktong, el valle del río Han y las áreas de Hwanghaedo y Hamgyongdo. En esta parte presentamos varios informes de excavaciones y artículos definiendo la naturaleza de esos sitios, serán clarificadas además las características de los artefactos.

Otros artefactos de hierro obtenidos por excavación serán también investigados para buscar algunas similitudes entre los sitios por comparación de los artefactos acompañantes no hechos de hierro.

#### 3.1 EL VALLE DEL RIO NAKTONG.

##### 1) CARACTERISTICAS DE LOS SITIOS DE LA ANTIGUA EDAD DEL HIERRO.

Los túmulos sepulcrales del río Naktong están distribuidos en las

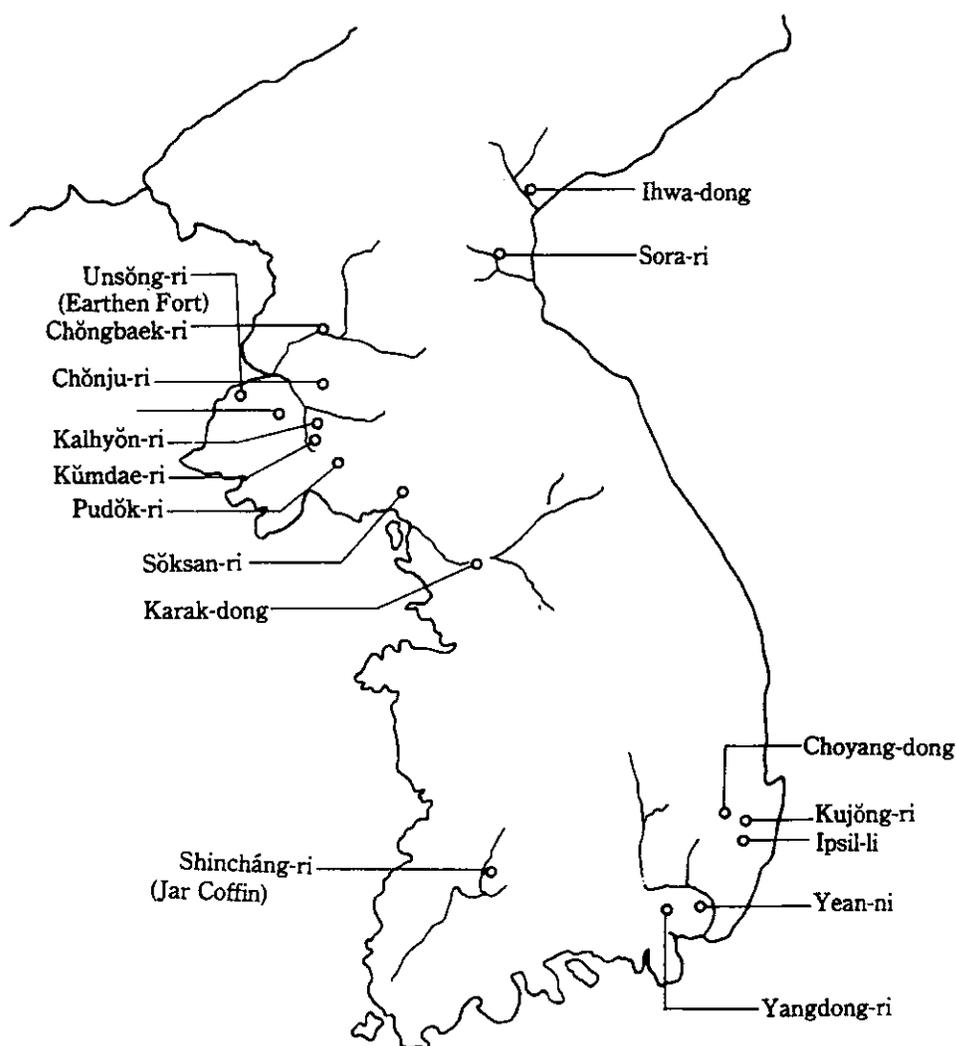


Fig. 6. Mapa de los túmulos sepulcrales de la antigua Edad del Hierro de Corea.

áreas de Kyongju y en el valle de la desembocadura del río Naktong. Kujong-ri, Ipsil-li y Choyang-dong son los sitios de la primera mientras que Yean-ri y Yangdong-ri, son los de la última.

**Tabla 5. Características de los sitios históricos de los ríos Nakdong y Han**

Sitios	Artefactos de hierro	Artefactos acompañantes		cronología	Fuentes
		de bronce	alfarería		
Kujong-ri	Hachas(1), hachas planas(1), espada de cabeza anular(1) hoces(4)	Espadas de cobre(1) Piezas(11)	Hacha de piedra (abalorio)	3 s.a.C- 1 s.d.C.	Yoksa Hakpo Vol.1, 1952.5
Ipsil-li	Espada(1) Hacha(1)	Espadas de cobre(6) Piezas(19)	Alfarería	-	Informe de reconocimiento de sitios históricos.
Yangdong-ri	Espada(2), Hacha(2)	Espada de bronce con puño ornamental(1) Otra pieza(1)	Alfarería (3)	2 -3 s. d.C.	Hankuk Kogo Hakpo V.4, 1978.4
Yean-ri	Gran cuchillo (2). Hacha(10) Cuchillo(4) Hoz(4), punta de arpón(2)	Muchos objetos de bronce	Objetos livianos, marrón-rojizos; objetos marrón rojizos pesados	2-3 s. d.C.	Hankuk Kogo Hakpo V.4, 1978.4
Karak-dong	Uña, pequeño cuchillo, arpón casco, grapa		Alfarería tosca	2-3 s. d.C.	Kogohak V.3, 1974

La tabla 5 muestra los sitios y artefactos obtenidos por excavación. Kujong-ri(5) fue un sitio descubierto en octubre de 1952 durante los trabajos de construcción de la carretera frente a la estación ferroviaria de Pulkuksa. Se informó en la edición del Yoksa Hakpo, Vol.1. Se piensa que fue un cementerio a juzgar por la variedad de artefactos obtenidos por excavación y ha sido datado entre la primera y la última dinastía Han.

Ipsil-li(6) está situado en Wolsong-gun, Oedong-myon (provincia de Kyongpuk). El sitio se descubrió en 1920 y se informó en febrero de 1925 en "The archaeological Survey of 1922".

Aunque produjo sólo dos implementos de hierro, se encontraron numerosos objetos de bronce y una espada de la misma aleación.

El sitio de Yangdong-ri (7) en Kimhae-gun, Chunchon-myon, aldea de Kugok se descubrió en setiembre de 1969 y se informó en la revista histórica Sa-rim Vol 56-3 en 1973. Hay un artículo más reciente sobre el sitio en la edición de 1978 de el Hankuk Kogo Nakpo (Revista de estudios arqueológicos coreanos) bajo el título "Un túmulo funerario en Kaya".

El sitio, Yean-ri en Kimhae-gun, pueblo de Taedong-myon Shiye se escavó entre 1976 y 1977 por el museo Nacional y el museo de la Universidad de

Pusan. Se informó en el artículo titulado, "Un estudio en los túmulos funerarios de Kaya en la desembocadura del Naktong" en el Vol.4 del Hankuk Kogo Nakpo(1978).

El sitio, Yean-ri junto con Pokch'on-dong son dos sitios representativos de las culturas Kayaguk y Kumkwangaya.

## 2) ARTEFACTOS OBTENIDOS POR EXCAVACION.

Aunque se desenterraron únicamente armas en Yangdong-ri, el resto de los sitios produjo tanto utensilios domésticos como de guerra.

Especialmente en Kujong-ri se encontraron tres hachas planas, forjadas junto con hachas de fundición, indicando que la tecnología de la fabricación de hachas estaba en transición. Los túmulos sepulcrales de Yean-ri (Nos.74, 86, 89, 90, 92, 93) tanto como de Pochon-dong y concheros de Chodo produjeron abundantes implementos de hierro reflejando la masiva producción en el último período.

## 3) ARTEFACTOS ACOMPAÑANTES.

Tanto Kujon-ri e Ipsil-li en el área de Kyongju, produjeron espadas de bronce, las cuales pertenecen a la Edad del Bronce entre los años 300 - 0 a.C., mostrando un significativo aumento de los objetos de bronce incluyendo fundiciones.

Este fenómeno se extendió por toda la región pasando a Kyushu, Japón, a través del estrecho de Corea para influir en el ascenso del período Yayoi, la cultura de la Edad del Bronce del Japón en el fin de la cultura neolítica.

Durante el mismo período, restos de granos de arroz encontrados en la superficie de los objetos de cerámica plana y tosca, desenterrados a lo largo de la cuenca del río, revelan que la plantación de arroz se hacía en el área húmeda.

En consecuencia, se ha interpretado que la tecnología de la fabricación del hierro fue trasferida de las técnicas de fabricación del cobre junto con las innovaciones de la agricultura. Tales desarrollos, sin duda, echaron las bases para el desarrollo del estado tribal.

Finalmente, las espadas de bronce se usaron como objetos rituales o funerarios y los utensilios domésticos y de guerra fueron sustituidos por objetos de hierro. Es de suponer que los materiales de las herramientas se encontraban en transición en esta etapa.

## 3.2 EL VALLE DEL RIO HAN.

Aunque muchos túmulos funerarios se esperaban encontrar en esta región, hasta ahora se encontró sólo uno en Karag-dong.

Este sitio esta formado por dos tumbas del antiguo período Paekche situadas en Songdong-gu, Karak-dong. Las sepulturas están hechas con montículos de tierra y los ataúdes de madera puestos en la fosa en posición horizontal. No se descubrieron artefactos acompañantes pero si algunas piezas de alfarería plana y tosca.

Los trabajos de investigación se llevaron a cabo por el Museo de la Universidad de Corea en agosto de 1969.

## 3.3 EL AREA DE HWANGHAEDO Y DE HAMGYONGDO.

### 1) SITIOS.

Introduciremos algunos artículos de referencia para los sitios de ruinas en esta área.

El arqueólogo japonés, T.Nishitani, publicó un artículo titulado "Tabla de sitios arqueológicos de alfarería plana y tosca y del protoperíodo

de los Tres Reinos de Corea" (Tadara Studies, No.22, marzo de 1978) y Kim Chong-bae "Cultura de la Edad del Hierro Coreana" (Hankuksa Yongu 16, abril 1977).

La tabla 6 es el sumario de los anteriores artículos mostrando el bronce y alfarería acompañantes de los sitios de Hwanghaedo y Hamgyongdo.

**Tabla 6. Características de los sitios históricos de Hamgyongdo y Hwanghaedo.**

Sitios	Artefactos	Artefactos acompañantes		Fuentes
		Bronce	Alfarería	
Yihwa-dong	Espada con mango ornamentado(1) hacha de hierro(1)	Espada de bronce(2) y 4 piezas más	Cascos de alfarería (2)	Kogohak Chapji 53-4-1968
Sora-ri	Hacha de fundición(2) Cuchillo curvo(1) Hacha plana(2) espada(1) y 3 piezas	Objeto de cobre(2) y 7 piezas más		Kogohak Choryojip (1974.4)
Chongbaek-ri	Espada(4), Cuchillo(1), arpón(1), hacha(1) máscara de caballo(1) y 7 piezas más.	Espada de cobre(1) y 76 piezas	Numerosa alfarería	Kogohak Yongu 14-4-1968
Chongju-ri	Hacha(1) olla redonda (1)	Espada de cobre(1) y 11 piezas más	Alfarería(2)	Kogohak Charyojip 1959
Poksa -ri	Cuchillo(1) espada(1),hacha (1),cincel(1)	--	Alfarería(2)	Kogohak Charyojip 1969.3
Kalhyon-ri	Espada(1),Hacha (1), brida(1) uña(4)	Espada de cobre (1) y 25 piezas	Alfarería(2)	Kogohak Charyojip 1959.2
Kumdae-ri	Espada con ornamento redondo en el tope de mano (1),hacha(2),cincel(1),Hoz(1) olla redondo(1)	---	Alfarería (12)	Kochoson Munjae-Yongu Nonmunjip 1977
Pudok-ri	Espada(1),cincel (1),hacha(1)	Espada,puñal y 4 piezas más	-----	Kogohak Charyojip 1963.3
Soksan-ri	Hacha(1)	Daga(1) y dos piezas más.		Kogohak Charyojip 1974.4

El sitio de Yihwa-dong (10) en la sección de Hamhungshi Hoesang se excavó en julio de 1965 y se publicó en la edición de abril de Kogohak Chapji Vol. 53. Un sitio cercano a Sorari (11) Hammam, Yonghung-gun Yongkang-ri se supone que sea un túmulo funerario. Este sitio se excavó también en octubre de 1956 y se publicó en el número de abril de Kogohak Charyojip (1974).

El sitio de Chongbaek-ri (12) está en Pyongyang-si, sección de Nakrang y es el cementerio de Pujo Changun. Se excavó en noviembre de 1956 y se informó en el número de abril de Kogohak Yongu, Vol.14.

Se encontraron en este sitio numerosos artefactos de hierro, máscaras de caballería, objetos de bronce y un sello de plata.

El sitio de Chonju-ri (13), situado en Hwangjugun, Chonju-ri se descubrió en junio de 1955 y se informó en el número de febrero de Kogohak Charyojip 1959.

Se encontró un féretro de madera una espada de bronce y dos implementos de hierro. El sitio Poksa-ri(14) está en Hwanghaedo, Anakgun, Poksa-ni, Mangamdong. Se excavó en marzo de 1959 y se informó en el número de marzo de Kogohak Charyojip(1963). Se encontraron artefactos de hierro en dos túmulos funerarios y no se encontraron artefactos de bronce.

El sitio de Kalhyon-ri(15) en Hwanghaedo, Unpagun se excavó en mayo de 1956 y se informó en el Kogohak Charyojip de febrero de 1959. Se descubrió vidrio y una espada de bronce. El sitio Kumdae-ri (16) se informó en 1967 en la edición de Kogominsok. .

El sepulcro N21 era sólo equivalente a un túmulo funerario y el número 3 se excluyó de este libro pues era una tumba de piedra.

El sitio de Pudok-ri (17) de Hwanghaedo, Chaeryong-gun, Sayok-dong se excavó en 1959 y se informó en el Número de marzo de Kogohak Charyojip, 1963.

En este sitio se encontró una espada de bronce.

El sitio de Soksan-ri (18) de Hwanghaedo, Paekyong-gun se excavó en 1963 y se informó en la edición de abril de Kogohak Charyojip, abril 1974.

Se encontró una hacha de hierro y la acompañaba una espada de bronce en este túmulo sepulcral.

## 2) ARTEFACTOS OBTENIDOS POR EXCAVACION.

Los sitios con abundantes artefactos de hierro son Sora-ri, Chongbaek-ri, Poksa-ri, Kalhyon-ri y Kumdae-ri. De ellos, los sitios de Sora-ri y Kujong-ri se pueden distinguir por el hallazgo de hachas de fundición y dos hachas aplanadas simultáneamente.

Las hachas laminadas revisten especial interés pues fueron hechas por técnicas de forjado en contraste con el proceso anterior dominante de fundición.

En el sitio de Chongbaek-ri, similar a Pokch'on-dong se obtuvo por excavación una armadura de caballería.

A partir del hecho que la armadura de caballería requiere delicadas técnicas de fundición, los artesanos de la antigüedad ya eran maestros en alto nivel de las técnicas de fabricación tanto como eran diversificados los implementos según su función y consecuentemente una numerosa cantidad de productos de hierro se hicieron en este período.

Es muy probable que el alto nivel de las técnicas de producción de hierro mejoraran paralelamente con el incremento de las necesidades de armas e instrumentos esenciales para la guerra de conquista imperial a fin de extender su territorio.

## 3) ARTEFACTOS ACOMPAÑANTES.

Seis de los sitios excavados produjeron espadas de bronce, en tanto que en el resto se encontraron algunos objetos rituales de bronce.

Este fenómeno se puede interpretar como una constante declinación del bronce como artículo funcional y su paso a objetos ornamentales que no requieren resistencia.

Esto sin duda refleja el crecimiento de la popularidad del uso del hierro y también de la variedad de objetos funerarios sugeridos por el aumento de la complejidad de la organización social de la antigua Edad del Hierro coreana.

#### 4. ANALISIS E INTERPRETACION

##### 4.1. FUNDAMENTO DEL MUESTREO.

En el muestreo de los artefactos de hierro es conveniente seleccionarlos bajo el aspecto de región y clase. Pero es casi imposible para nosotros analizarlos todos, pues más de la mitad de los sitios de túmulos funerarios están localizados en Corea del Norte.

Los artefactos desenterrados en Corea del Sud están seriamente corroídos y no podemos analizarlos fácilmente considerando su estado de conservación.

Por eso el análisis se llevó a cabo en las muestras disponibles y esos resultados analíticos fueron interpretados bajo el punto de vista metalúrgico con referencia a artículos previos o informes de excavación (Tabla 7).

Tabla 7. Características de los artefactos muestreados

Sitio	Estructura del Sitio	Muestra Nº	Implemento de hierro	Observaciones
Kujong-ri	Túmulo sepulcral	Gt-1-1 Gt-1-2 Gt-1-3	Hacha Hacha plana Pala plana	Cabeza de hacha Tipo cincel Tipo de azuela
Yangdong-ri	" "	Gt-5-1	Hacha	Tipo de puño insertado
Yean-ri	" "	Gt-4-1 Gt-4-2	Hoz Hacha	Nº 95-12 tipo de puño insertado. (Y 10D 13)
Pokchondong	" " (DB 11)	Gb-1-2	Pequeña barra laminada	Marcada como C-1
Jongbaek-ri	" "	Dt-2-1	Roblón	Roblón para construcción
Sokam-ri	Nº9	Dt-1-1 Dt-1-2	Trozo de cuchillo Pequeño trozo de hierro	Restos de madera en el agujero del mango. Material intermedio.
Yakmok-ri	Gran féretro de alfarería	Gy-1-1 Gy-1-2	Arpón Punta de flecha	Parte de urna sepulcral
Shinchang-ri	Jarrón féretro	Jo-1-1	Pieza de hierro	Trozo de azada probablemente

Los artefactos analizados son los siguientes: en el sitio de Kujong-ri seleccionamos un trozo de hacha (foto 2) casi similar a las obtenidas en los concheros de la Antigua Edad del Hierro, un trozo de hacha plana tipo cincel (foto 3) y también otro artefacto que corresponde a las formas de una pala plana (foto 4).

Un hacha del tipo de empuñadura insertada (foto 5) se encontró en los sitios de Yangdong-ri la cual se tomó también como muestra. Analizamos



**Foto 2. Trozo de hacha de el sitio de Kujong-ri (Gt-1-1)**



**Foto 3. Hacha plana tipo cincel del sitio de Kujong-ri (Gt-1-2)**



**Foto 4. Pala del sitio de Kujong-ri (Gt-1-3)**



**Foto 5. Hacha del sitio de Yangdong-ri (Gt-5-1)**

un trozo de hoz (foto 6) de 152 mm de largo y 32 mm de ancho desenterrada en la tumba N<sup>o</sup>3 de Yean-ri.

También se tomó como muestra una de las hachas con hoja muy desarrollada designada como Y10D-13, foto 7, que mostraba alta probabilidad de alguna operación de forjado.

Además se seleccionó una pequeña barra laminada (foto 8) obtenida por excavación en el sitio de Pokchon-dong perteneciente al túmulo sepulcral de la dinastía de Kaya. En el sitio de Sinchang-ri, un área de sepulturas se excavó obteniéndose solamente una pieza de hierro y un guijarro aplanado se supone que sería un antiguo artefacto de hierro. Para la comparación se

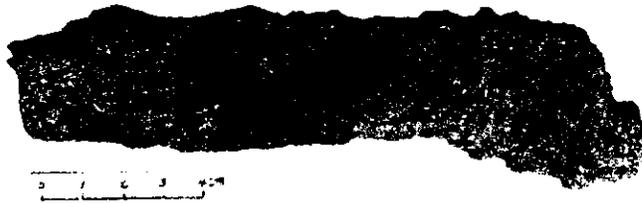


Foto 6. Hoz del sitio de Yean-ri (Gt-4-1)



Foto 7. Hacha del sitio de Yean-ri (Gt-4-2)



Foto 8. Pequeña barra laminada del sitio de Pokchong-dong (Gb-1-2)

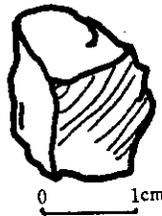


Foto 9. Una pieza del sitio de Shinchang-ri (Jo-1-1)

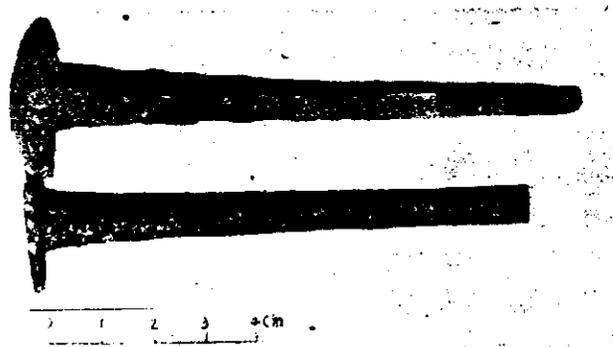


Foto 10. Roblones del sitio de Jongbaek-ri (sección A)(Dt-2-1)

analizó también el trozo de hierro (foto 9). También se seleccionaron dos trozos de roblones desenterrados en el sitio de Jongbaek-ri (foto 10), se supone que por su apariencia son clavos de construcción.

Si bien el sitio Nº 9 de Sokam-ri es anterior al período de los túmulos funerarios, se seleccionaron un trozo de cuchillo (foto 11) y un pequeño trozo de hierro (foto 12) para investigar las secuencias del desarrollo de la tecnología de la fabricación de los artefactos de hierro.

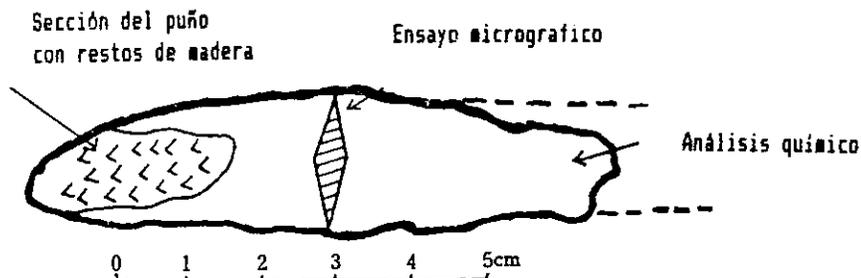


Foto 11. Trozo e hierro del sitio Nº9 de Sokam-ri (Dt-1-1)



Foto 12. Pequeño trozo de hierro del sitio Nº9 de Sokam-ri (Dt-1-2)

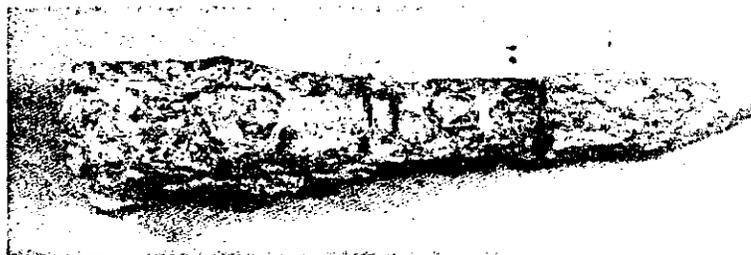


Foto 13. Arpón del sitio de Yakmok-ri (Gy-1-1)



Foto 14. Punta de flecha del sitio de Yakmok-ri (Gy-1-2)

Además, se hicieron análisis comparativos de dos artefactos, un arpón (foto 13) y una punta de flecha (foto 14) datados antes del siglo 3 a.C. Estaban acompañados por cántaros sepulcrales.

#### 4.2 ANALISIS QUIMICO.

Planeamos analizar todas las muestras, pero inevitablemente excluimos la pequeña barra laminada de Pokchon-dong (Gb-1-2) y la punta de flecha de Yakmok-ri (Gy-1-2) debido a la profunda corrosión y fractura.

También debemos aclarar que entre los artefactos analizados el trozo de cuchillo (Dt-1-1) y el pequeño trozo de hierro del sitio N09 de Sokam-ri (Dt-1-2) y el roblón de Jongbaek-ri (Dt-2-1) se analizaron por espectrometría (tabla 8).

De acuerdo a los resultados de los análisis la mayor parte de las hachas tales como una de Kujong-ri (Gt-1-1), una de Yangdong-ri (Gt-5-1), una de Yean-ri (Gt-4-2) tanto como el trozo de hierro de Sinchang-ri pertenecen a los implementos hechos de fundición.

Los otros artefactos incluidos el hacha plana tipo cincel (Gt-1-2), el hacha plana de Kujong-ri (Gt-1-1), la hoz de Yean-ri (Gt-4-1), el roblón de Jongbaek-dong (Dt-2-1), el trozo de cuchillo (Dt-1-1) y el pequeño trozo de hierro (Dt-1-2) del sitio N09 de Sokam-ri y el arpón de Yakmok-ri (Gy-1-1) se suponía que eran implementos forjados.

Esas muestras conteniendo 0,6 a 2,0% de C son sin embargo implementos intermedios entre el hierro forjado y el acero tostado.

Por lo tanto es difícil determinar el origen sólo por el análisis químico. Y entre ellos, la pala plana (Gt-1-3) y el pequeño trozo de hierro (Dt-1-2) de Sokam-ri son de particular interés.

Tabla 8. Composición química

Muestra Nº.	Implemento de hierro	Composición química %					Posición analizada
		C	Si	Mn	P	S	
Gt-1-1	Hacha de Kujong-ri	3,42	0,34	0,10	0,075	0,035	Hoja
Gt-1-2	Pala plana (cincel)	0,11	0,05	0,03	0,044	0,010	Medio
Gt-1-3	Pala de Kujong-ri	0,60	0,25	0,04	0,051	0,009	Concavidad
Gt-5-1	Hacha de Yangdong-ri	3,28	1,14	0,19	0,305	0,114	Parte de la cavidad
Gt-4-1	Hoz de Yean-ri	1,70	1,76	0,03	0,015	0,005	Mango
Gt-4-2	Hacha " "	3,75	4,20	0,03	0,153	0,020	Parte de la cavidad
Jo-1-1	Pieza de hierro de Shinch'ang-ri	3,05	0,45	tr.	0,246	0,035	Medio
Dt-2-1	Roblón de Jongbaek-ri	0,87	0,23	0,04	0,014	0,010	Cuerpo principal
Dt-1-1	Trozo de cuchillo de Sokam-ri	0,87	0,04	0,02	0,036	0,008	Hoja
Dt-1-2	Pequeño trozo de hierro de Sokam-ri	0,68	tr.	tr.	0,023	0,008	Cuerpo principal
Gy-1-1	Arpón de Yakmok-ri	0,32	0,71	0,10	0,020	0,054	Agujero de inserción del mango

Tabla 9. Investigación metalográfica de la muestra

Mues- tra NO	Objeto de hierro	Investigación metalográfica					Parte ensayada
		Matriz	Grano NO	Carburos	Inclu- siones	Dureza HV	
Gt-1-1	Hacha de Kujong- -ri	fund.blan- ca hipoeu- téctica		perlita y cementita	muchas dispersas	331 334	del agu- jero, me- dia, hoja
Gt-1-2	Cinzel de Kujong- -ri	ferrita	centro NO1 Sup. NO7	en bordes de grano	tipo escoria	cuerpo 96-109 hoja 93-95	del agu- jero, me- dia, hoja
Gt-1-3	Pala de Kujong- -ri	perlita,	hoja, 7 cuerpo, 4		tipo escoria	hoja, 202-206 cuerpo, 214-226	del agu- jero, hoja
Gt-5-1	Hacha de Yang- dong-ri	fund.blan- ca hipoeu- téctica		cementita y perlita	abigarradas y orificios de gases	429	del agu- jero, hoja
Gt-4-1	Hoz de Yean-ri	forjada	8				sección transv.
Gb-1-2	Pequeña barra de Pochon- dong	ferrita	10	en bordes de grano	muchas, dispersas		parte media
Jo-1-1	Pieza de Sin- cháng-ri	fundición blanca hipoeutéc- tica		cementita y perlita	muchas, dispersas	cemen. 930 perlit 280	parte media
Dt-2-1	Roblón de Jong- baek-dong	perlita	2	martensi- ta y aus- tenita retenida	innumera- bles	261 251	cabeza hoja
Dt-1-1	Trozo de cuchillo Sokam-ri	perlita	11	ferrita y austenita retenida	pocas	314 331	hoja cuerpo
Dt-1-2	Pequeño trozo de Sokam-ri	perlita	1	austenita retenida	pocas	198 198	parte media
Gy-1-1	Arpón de Yakmok- dong	perlita	11	perlita	innumera- bles, dispersas		parte media
Gy-1-2	Punta de flecha de Yak- mok-dong	como en estado fundido	1	austenita retenida	pocas		hoja

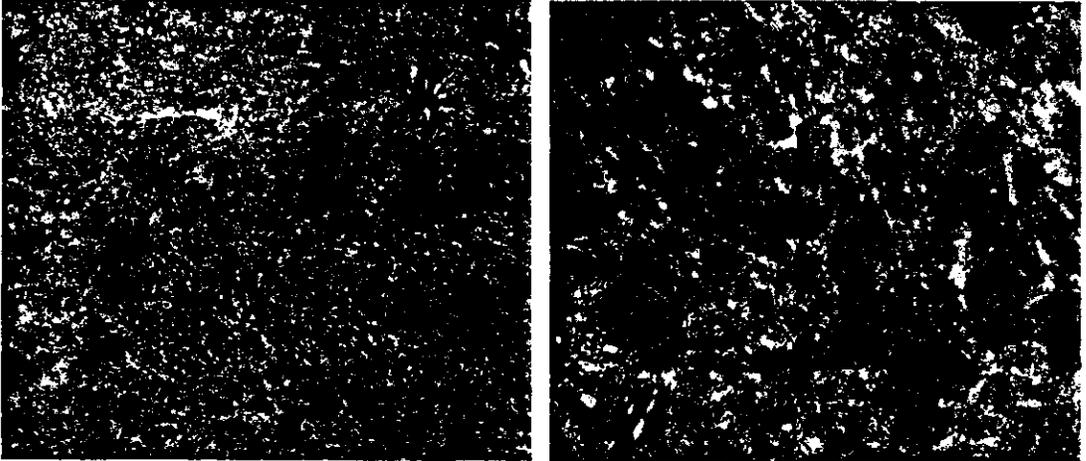


Foto 15. Sección longitudinal de la parte del agujero del  
hacha de Kujong-ri (Gt-1-1)

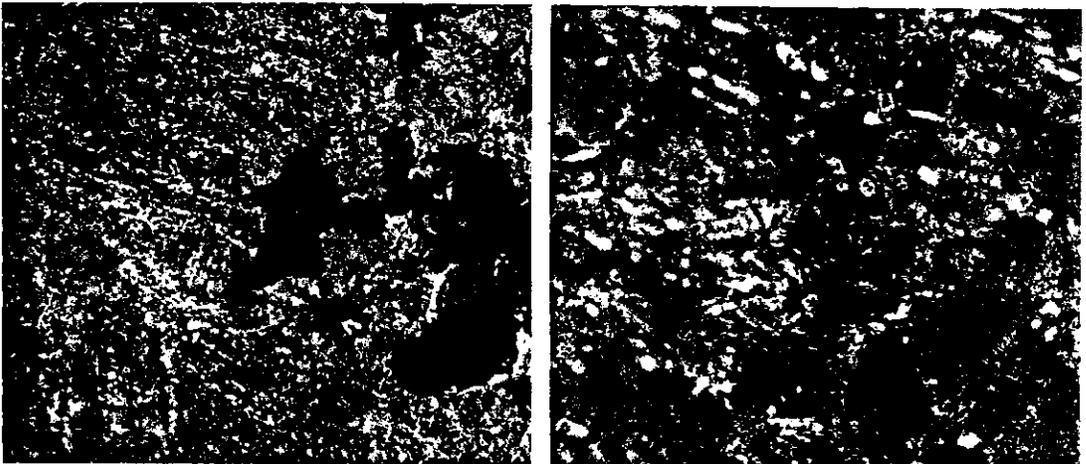
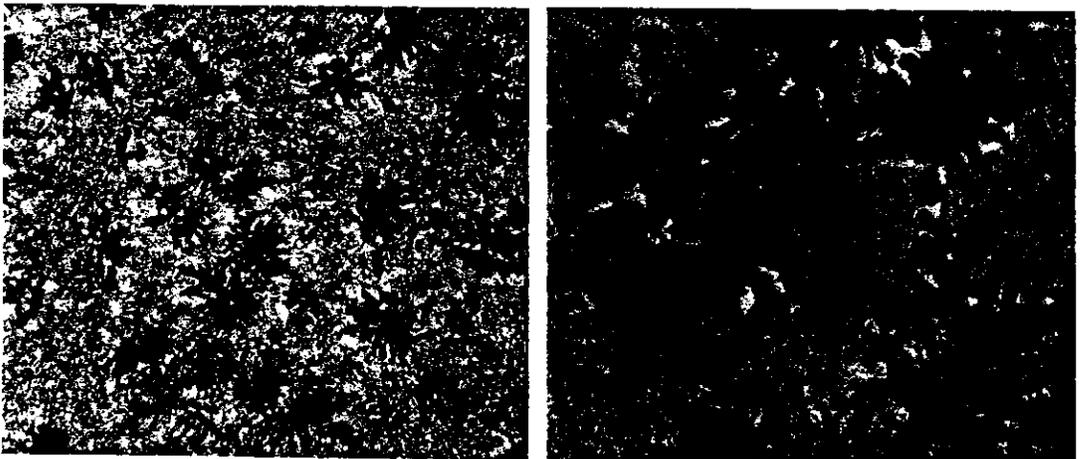
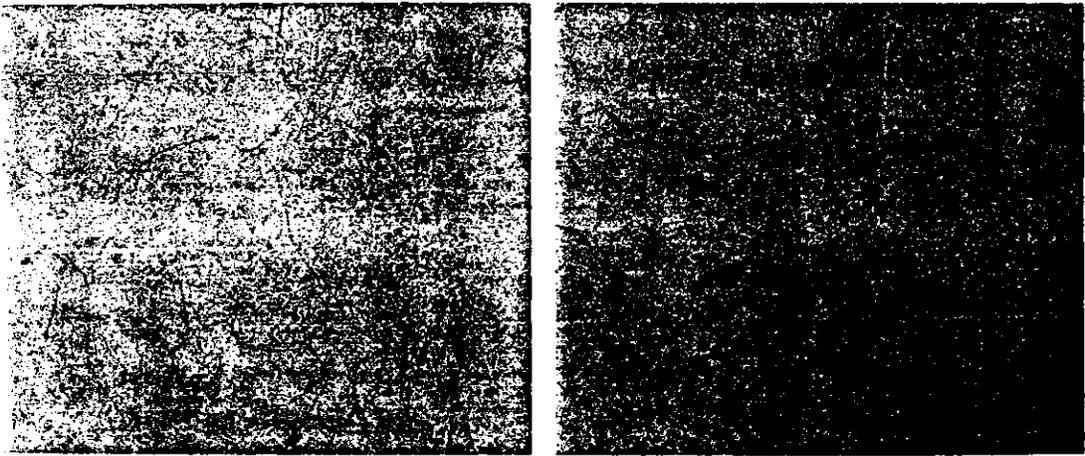


Foto 16. Sección transversal del hacha de Kujong-ri (Gt-1-1)



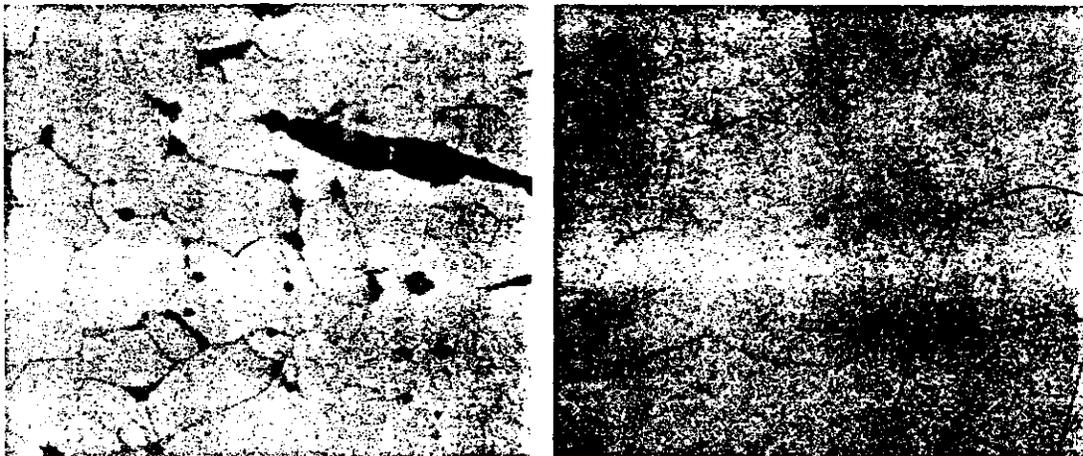
(a) X 100 (b) X 400  
Foto 17. Sección longitudinal de la hoja del hacha  
de Kujong-ri (Gt-1-1)



(a) X 100 (b) X 400  
Foto 18 sección longitudinal de la parte del agujero  
del cincel de Kujong-ri (Gt-1-2)



Foto 19. Sección límite entre la hoja y el cuerpo de el  
cincel de Kujong-ri(Gt-1-2) X 100



(a) Parte exterior (X 400) (b) Parte interior (X 400)  
Foto 20 Cincel de Kujong-ri (Gt-1-2)

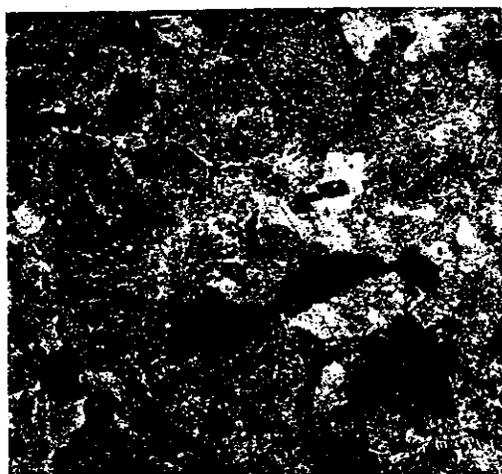


(a) 100x



(b) 400x

Foto 21. Sección transversal de la espada plana de Kujong-ri(Gt-1-3)

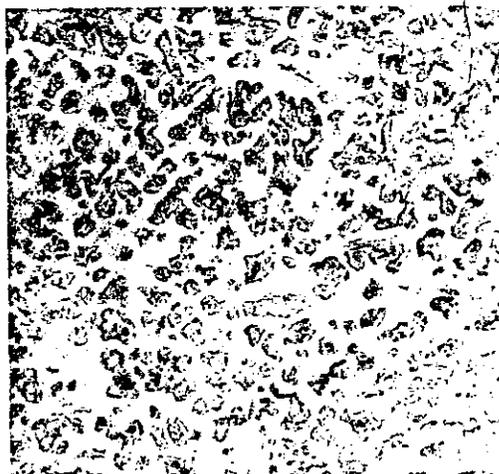


(a) 100x

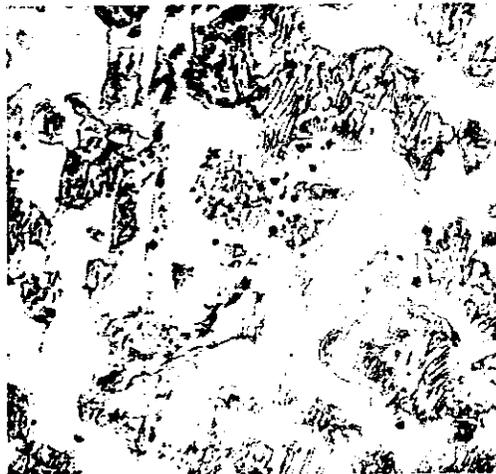


(b) 400x

Foto 22. Sección longitudinal de la cavidad de la espada plana de Kujong-ri (Gt-1-3).



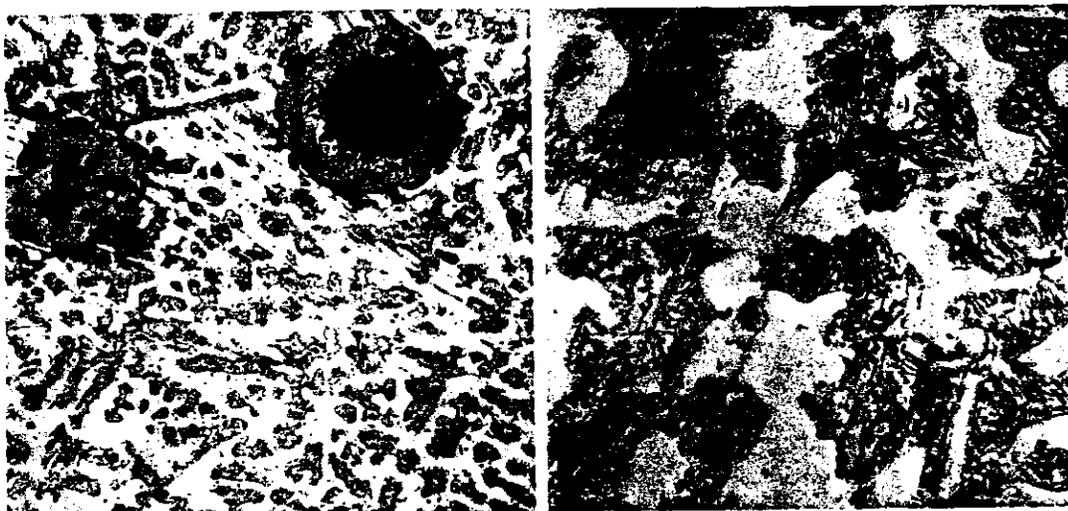
(a) 100x



(b) 400x

Foto 23. Sección longitudinal de la parte del agujero del hacha de Yangdong-ri (Gt-5-1)

Mientras el hacha obtenida por excavación en el mismo sitio y del mismo tiempo es un implemento de hierro forjado, por otro lado, la pala plana es de presumir que sea un artefacto de fundición. Sus análisis químicos muestran muy bajos contenidos de Si, Mn y S, los que supuestamente se originaron en la reacción de decarburación durante el proceso de "tostado". Esto debe ser esclarecido por el consiguiente examen metalográfico.



(a) 100x (b) 400x  
Foto 24. Sección longitudinal de la hoja del hacha de Yangdong-ri (Gt-5-1).

#### 4.3-INVESTIGACION METALOGRAFICA.

El propósito de la investigación microscópica es el estudio de las propiedades del material y del origen de los defectos por observación metalográfica.

En este estudio, el microscopio óptico se empleó para detectar el tamaño de grano, inclusiones no metálicas, profundidad de decarburación y forma de los carburos. Cuando fue necesario se empleó el análisis EPMA para investigar el origen de las inclusiones. También intentamos aclarar mejor la microestructura de los artefactos realizando medidas de microdureza de las muestras (Tabla 9)

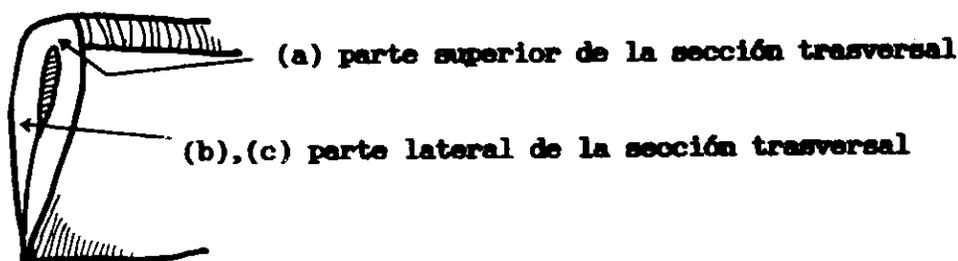


Foto 25. Esquema de la sección transversal de la hoz de Yean-ni (Gt-4-1)

Como mencionamos arriba, el hacha de Kujong-ri es de fundición hipocentética de acuerdo a su composición química, por ello es difícil la formación de grafito debido a su bajo contenido de silicio.



**Foto 26. Sección transversal de la hoz de Yean-ri (Gt-4-1)**

**(a) Parte superior de la de la sección transversal pulida, 50 x.**



**(b) Parte lateral de la sección transversal, 50x.**



**(c) Parte lateral de la sección transversal, 100x**

De acuerdo a la investigación micrográfica la estructura de la matriz de la parte de la cavidad del hacha (foto 16) es principalmente perlita y parcialmente cementita.

El ensayo de microdureza de la matriz da por resultado HV 331-334 valor más bajo que el de una estructura de este tipo. Tal bajo valor parece que esta originado en la dispersión al azar de la cementita.

Por el contrario, la sección longitudinal de la hoja (foto 17) muestra la estructura del grafito en forma de roseta que es característica al de una fundición dúctil. La fundición dúctil se obtiene por tratamiento térmico después de la colada. En otras palabras, el recocido para la grafitización se realiza a 900 °C y se debe hacer un enfriamiento relativamente rápido en el intervalo de transformación A1.

El hacha plana tipo cincel (Gt-1-2) de Kujong-ri pertenece a los aceros de bajo contenido de carbono de acuerdo a su composición química. Su micrografía (foto 18) también muestra una típica matriz ferrítica y la microdureza es de HV 100 - 96,3 - 109 en la parte de la cavidad y HV 93,6 - 94,8 - 92,8 en la hoja, lo cual es una dureza típica en una estructura ferrítica.

La microestructura de la sección de la hoja (foto 19) presenta un tamaño de grano igual al N91 en el núcleo, mientras que el tamaño de grano en

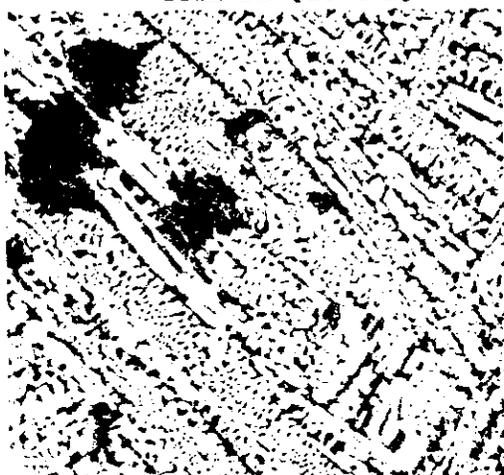


(a) 100x

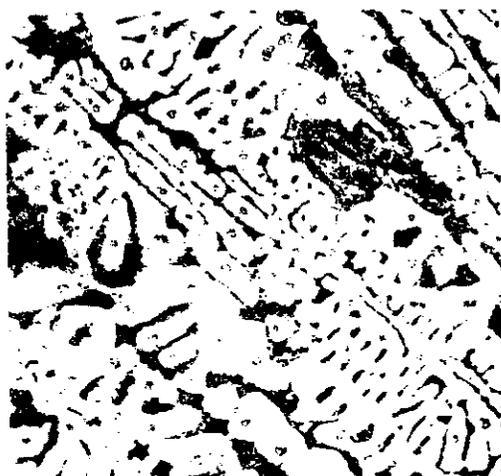


(b) 400 x

Foto 27. Sección longitudinal de la parte del agujero del hacha de Yean-ri (Gt-4-2).



(a) 100x



(b) 400x

Foto 28. Sección longitudinal de la hoja del hacha de Yean-ri(Gt-42)

la superficie es igual al N°7. Tal resultado sugiere que este implemento fue martillado y forjado.

La micrografía ampliada (foto 20) indica que la estructura perlítica está desarrollada a lo largo de los límites de grano debido al fenómeno de carburización. Por otro lado en la parte interior de la estructura hay muchas inclusiones grandes similares a escorias que pueden haberse originado en el hierro esponja.

La espada plana de Kujong-ri pertenece a los aceros de medio contenido de carbono a juzgar por la composición química. La micrografía (foto 21) muestra que el grano en la hoja era relativamente fino, comparable con un tamaño de grano N°7, teniendo una microdureza de HV 202-204. Por el contrario el tamaño de grano en la parte de la cavidad (foto 22) era más grueso que el correspondiente al N°4 y su dureza de HV 226-214.

En esta foto, la región blanca es ferrita y la gris perlita. El grano de la hoja pudo haber sido refinado por medio de repetidos martillados y operaciones de forjado (en la parte de la cavidad) de manera que las inclusiones no metálicas se dispersan tanto en la hoja como en la parte de la cavidad por la misma operación.

Especialmente, esta espada plana como un hierro forjado, presenta un notable contraste con el hacha de fundición previamente hecha.

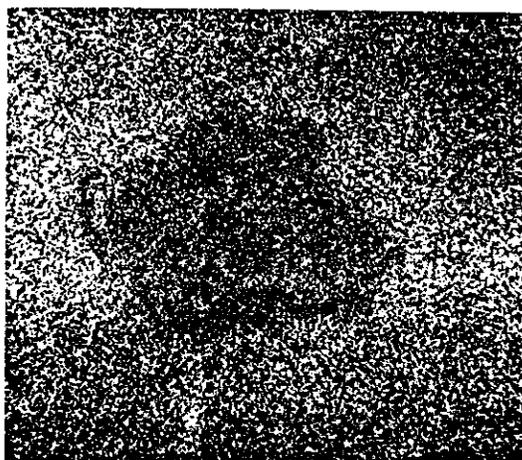
El trabajador metalúrgico pudo haber sustituido gradualmente el hacha fundida por implementos forjados ya que fue conociendo los defectos de los



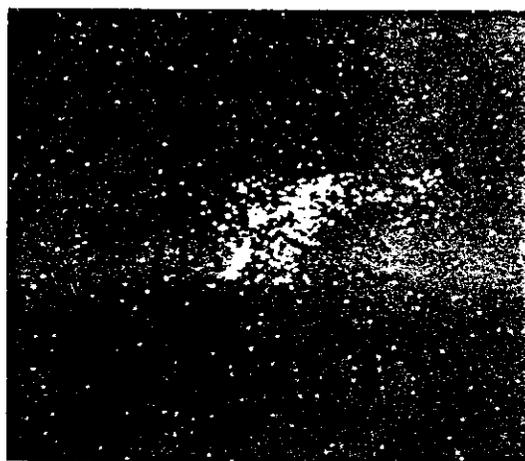
Foto 29. Imagen SEM de los poros de gas del hacha de Yean-ri (Gt-4-1).

a) Imagen SEM.

(b) Imagen de hierro



(c) Imagen de aluminio



productos de fundición tales como la fractura causada por la fragilidad de la fundición en vista de su composición química y de su estructura, como se ve en la micrografía (foto 23) que muestra la sección longitudinal de la parte de la cavidad consistente en cementita primaria ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Su microdureza es de HV 429, lo cual es más bajo que el valor normal de la fundición blanca con una dureza de HV 540, también aparecen innumerables poros en la sección pulida de este artefacto.

Se presume que los objetos de hierro en estado fundido tenían impurezas que quedaron sin reducir (foto 24).

En la foto 24 se muestra la sección longitudinal de la hoja, donde el agujero negro en (a) es la cavidad alrededor de la cual están las inclusiones de escoria en gris.

La hoz de Yean-ri (Gt-4-1) pertenece a los aceros de alto carbono de acuerdo a su composición química y tiene un tamaño de grano equivalente al N08. Este artefacto pudo haber sido fabricado por plegado y martillado y la evidencia del plegado se ve en la foto 26 (a) y es visible a simple vista como se ve en la foto 25.

El hacha de Yean-ri (Gt-4-2) se puede considerar como una fundición blanca hipoeutéctica únicamente de acuerdo al contenido de carbono; es sin embargo también considerada como una fundición blanca hipereutéctica en base al alto contenido de silicio de acuerdo al diagrama de Mauer-Holtzmann, la foto 27 es una sección longitudinal de la estructura de la parte de la cavidad del hacha. Las franjas blancas son cementita primaria y la estructura de la matriz consiste de (perlita + cementita) a temperatura ambiente, transformada de (austenita + cementita) y se llama ledeburita.

La microdureza en el núcleo (HV 500) es aproximadamente igual a la típica fundición blanca (HV 540), pero esta cementita primaria es demasiado quebradiza para el uso en instrumentos. Los puntos grises redondos son silicato de hierro y grafito laminar (foto 27).

Comparando la estructura de la parte de la cavidad del puño, foto 27, con la de la hoja, foto 28, la cementita primaria desaparece, sugiriendo que fue calentada y enfriada lentamente a la temperatura ambiente. Esto mejoró su resistencia al impacto.

Tales resultados se suman con el hecho de que la hoja del hacha mostrada en la foto 7 fue estirada por operaciones de calentamiento y forja. Existen innumerables poros de gas en la sección transversal del agujero del mango en este artefacto y las imágenes SEM del hierro y aluminio se ven en la foto 20 a, b y c, respectivamente. Los poros se pudieron formar por el gas que quedó atrapado en el metal fundido después de la solidificación y hay relativamente alta cantidad de alúmina cerca de los poros.

La pequeña barra laminada de Pokchon-dong (Gb-1-2) es un material intermedio para hacer algunos implementos. Explicaremos su microestructura. La foto 30 (a) ha sido tomada de la cara pulida, no atacada, de un corte longitudinal de la parte media. Allí se ve que el artefacto se hizo por múltiples martillados con muchos plegados.

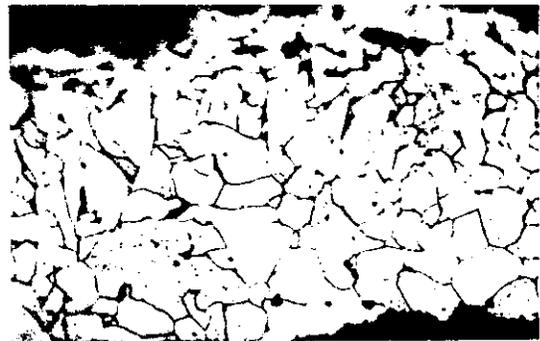
El grano bien refinado que aparece en la foto 30 (b) es una evidencia para la conclusión anterior. La foto 30 (c) ha sido tomada con 400 aumentos y en ella se observa la estructura totalmente ferrítica enteramente libre de carbono.



(a) Sección longitudinal de la parte media pulida, 50 x.

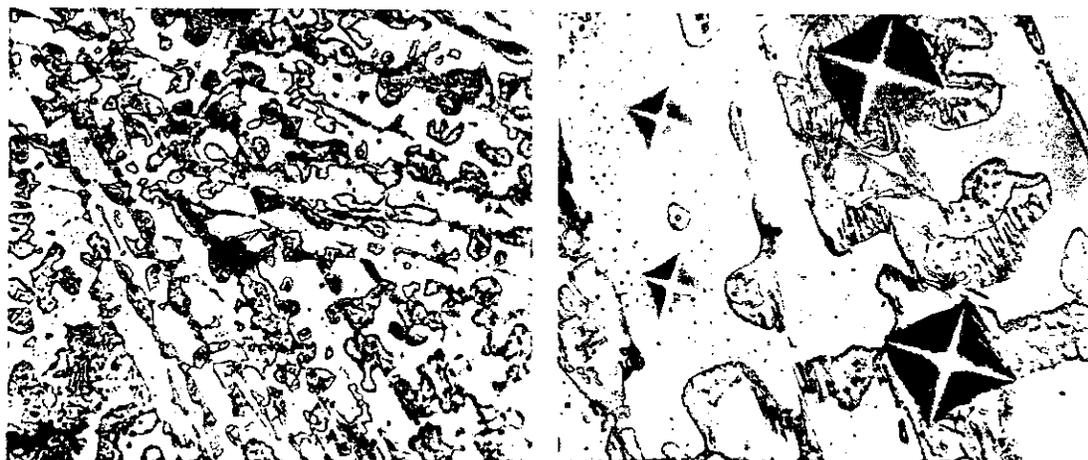


(b) Ataque con Nital 3%(100x)



(c) Nital 3% (400x)

Foto 30 Sección longitudinal de la pequeña barra laminada del sitio NODB 11 de Pokchon-dong (Gb-1-2)



(a) 100x (b) 400x  
 Foto 31 Sección transversal de la pieza de hierro del sitio de Shinchang-ri (Jo-1-1)



Foto 32. Sección transversal de la cabeza del roblón del sitio de Jongbaek-dong (Dt-2-1), 100x

Hay que suponer que con el objeto de producir en cantidad como para el almacenamiento, ellos hacían muchos materiales intermedios de pequeñas barras laminadas y, cuando era necesario terminaban convenientemente el implemento para obtener el producto final.

La pieza de hierro de Shinchang-ri (Jo-1-1) pertenece a las fundiciones blancas hipoeutécticas y su microestructura aparece en la foto 31. La microdureza de la superficie (HV 542) es la misma que la de una fundición blanca (HV 540). En la parte interior la HV de la región blanca es 930, mientras que la de la parte gris es 280.

La primera es pues cementita y la última perlita formada por la descomposición de la austenita primaria y el eutéctico, esta estructura es siempre frágil.

El roblón de Jongbaek-dong perteneciente a los aceros de alto contenido de carbono pudo haber sido fabricado por un proceso de forja repetida. La estructura del corte transversal de la cabeza, foto 32, tiene un tamaño de grano comparable al N02. Se ve también la austenita retenida dispersa a lo largo de los límites de grano en una matriz perlítica.

La forma del roblón permite pensar que fue fabricado por conformado en caliente. La estructura de la hoja presenta una matriz martensítica con

austenita retenida (foto 33).

La microdureza Vickers (HV 261-251) está de acuerdo con la apariencia metalográfica obtenida por templado en agua después de una forja a una temperatura final de 800 °C.

El trozo de cuchillo (Dt-1-1) de Sokam-ri pertenece a los aceros de alto contenido de carbono, de acuerdo a su composición química y pudo haber sido refinado por tostado (parching) de arrabio fundido de alto contenido de carbono pero no de hierro esponja pues tiene relativamente bajo contenido de Mn, Si y S.

La sección transversal de la hoja, foto 34, tiene un tamaño de grano comparable con el NQ11, el cual puede obtenerse por innumerables y repetidos martillados. En la matriz perlítica de la estructura están eventualmente dispersas austenita y ferrita.

La microdureza Vickers, de 314 -331, es el resultado de algún endurecimiento. La sección transversal del cuerpo del cuchillo, foto 35, tiene un grano un poco más grande que el de la hoja el cual se pudo originar por un severo forjado.

La microdureza Vickers de HV 245-250 se pudo haber obtenido por enfriamiento al aire después del calentamiento. Aún la estructura es de grano fino, por lo tanto, esto también puede deberse al enfriamiento en aire después del calentamiento. Ella muestra también la imperfecta fase intermedia,

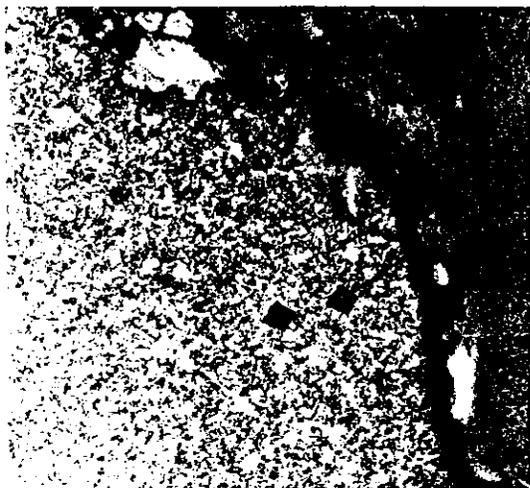


(a) 100x

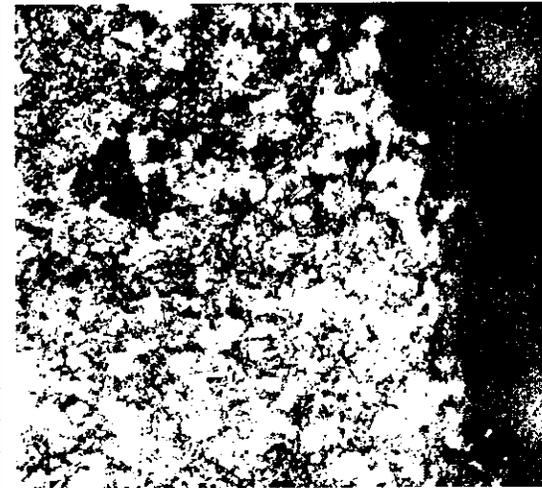


(b) 400 x

Foto 33. Sección longitudinal de la hoja del roblón de Jongbaek-dong (Dt-2-1)

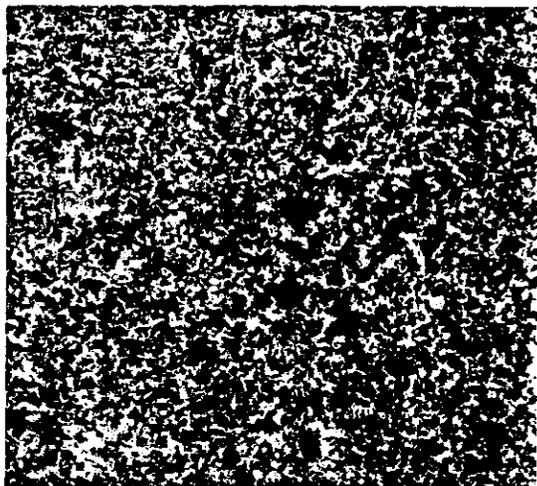


(a) 100x

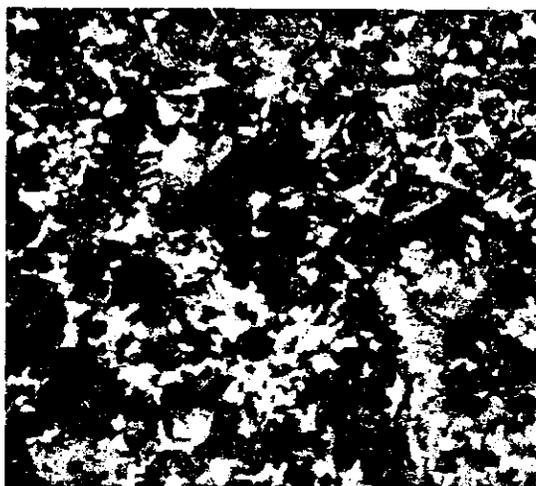


(b) 400x

Foto 34 Sección longitudinal del trozo de cuchillo del sitio N09 de Sokam-ri (Dt-1-1)



(a) 100x



(b) 400 x

Foto 36. Sección longitudinal del cuerpo del cuchillo del sitio N29 de Sokam-ri (Dt-1-1)



(a) x100

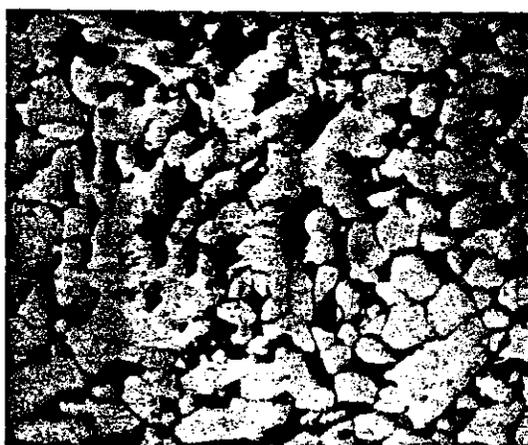


(b) x400

Foto 36. Sección longitudinal del pequeño trozo de hierro del sitio N29 de Sokam-ri.(Dt-1-2)

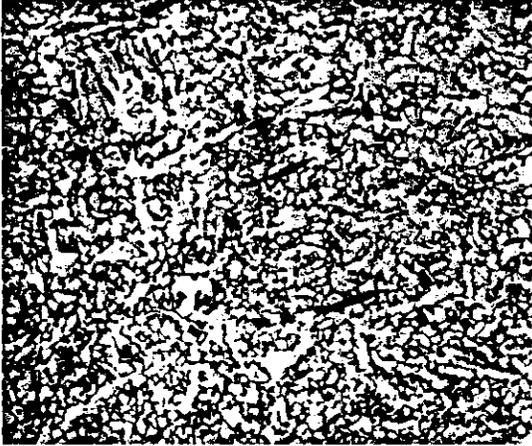


(a) 100x



(b) 400x

Foto 37. Sección longitudinal de el pequeño trozo de hierro del sitio N29 de Sokam-ri(Dt-12-)

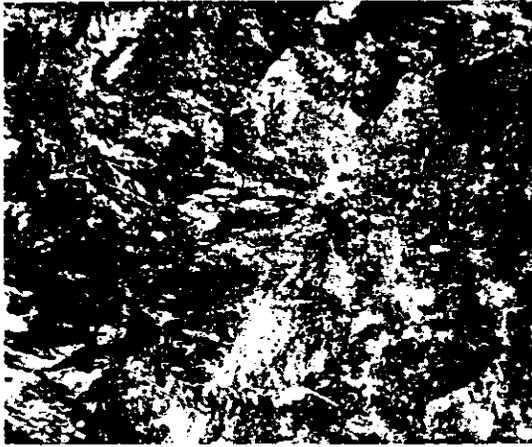


(a) 100x



(b) 400x

Foto 38. Sección longitudinal del arpón del gran cántaro sepulcral de Yankok-dong (Gy-1-1)

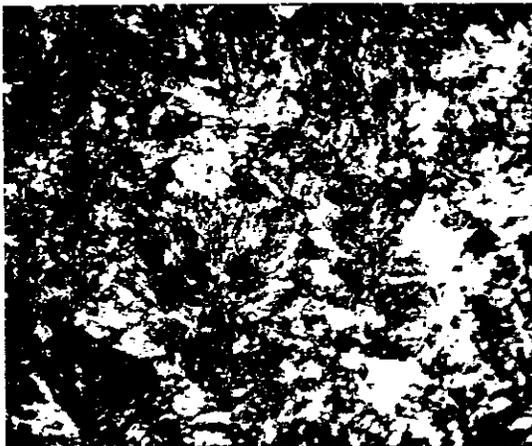


(a) 100x

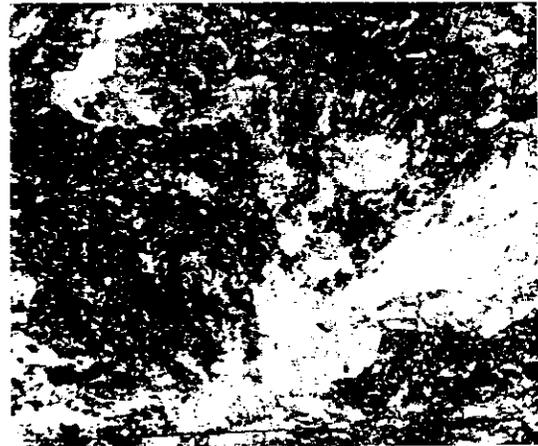


(b) 400x

Foto 39. Sección transversal de la punta de flecha del gran cántaro sepulcral de Yankok-dong (Gy-1-2)



(a) 100x



(b) 400x

Foto 40. Sección longitudinal de la punta de flecha del gran cántaro sepulcral de Yankok-dong (Gy-1-2)

por lo tanto esto hace posible pensar que la estructura afinada o endurecida se pudo obtener únicamente por continua o repetida forja a baja temperatura.

El pequeño pedazo de hierro (Dt-1-2) del sitio N09 de Sokam-ri pertenece a los aceros de alto contenido de carbono de acuerdo a su composición química. Como tiene muy bajo contenido de Mn, Si y S como los predominantes elementos oxidables, uno puede pensar que el artefacto se hizo por decarburización de arrabio fundido y no por carburización por forjado a juzgar por el hecho de que esos elementos son eliminados por oxidación simultánea en el proceso de fusión.

De acuerdo a la microestructura, foto 36, y al tamaño de grano igual al N01 debe ser producto de colada. La microdureza Vickers de este pequeño trozo de hierro es HV 189-197 y se puede considerar que este no fue especialmente forjado pero sí que es algún resto de la manufactura de alguno de los implementos anteriores.

Aunque el análisis químico de el arpón de Yakmok-dong no se realizó, por su estructura microscópica parece pertenecer al rango de los aceros de bajo contenido de carbono. La estructura de la sección transversal de la parte media, foto 37, y el tamaño de grano comparable al N010 se formó a través de innumerables forjados. En la foto el área blanca es ferrita y la gris perlita, generada por difusión de carbono a lo largo de los límites de grano durante el proceso de martillado.

Además, la foto 38, muestra la estructura del corte longitudinal revelando similar estructura que la sección transversal. El tipo alargado de las inclusiones de sulfuro en distribución al azar es similar a la inclusión de escoria frecuentemente observada en el hierro esponja.

La punta de flecha (Gp-1-2) de Yakmok-dong parece haber sido forjada a juzgar por su forma. No fue identificada químicamente.

Las metalografías presentadas en las fotos 39 y 40 son prueba de una estructura de fundición. A juzgar por la gran cantidad de austenita retenida, parece que el trabajador metalúrgico no pudo controlar exactamente la temperatura final durante la operación de forjado.

No siendo la operación de forjado necesaria para la función práctica destinada al objeto, el trozo de hierro posiblemente fue simplemente martillado para darle una forma simple y al azar.

## 5. ESTUDIO SOBRE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA

---

En el capítulo anterior las características metalúrgicas de los artefactos de hierro encontrados en las excavaciones de los túmulos funerarios se investigaron por medio del análisis químico y el estudio metalográfico.

Pero esos datos son únicamente una parte de la evidencia en la investigación del proceso de fabricación del hierro o de su manufactura. Como es en Europa y en China donde se pudieron hacer excavaciones de los sitios de hornos o de herramientas de forja de la antigüedad, parece mucho más fácil sacar de allí alguna conclusión. Por lo tanto en este capítulo el autor ensaya obtener algún elemento para la interpretación de los resultados de los ensayos con referencia a los precedentes métodos de fundición en China o en la vieja Europa los cuales resulten similares a los datos obtenidos en Corea.

También con los conocimientos de la profesión metalúrgica, hacer la descripción objetiva del artefacto. Este capítulo está también preparado para inspirar las investigaciones a quienes están ansiosos de obtener el conocimiento fundamental de los pasos del desarrollo pertenecientes a la Antigua Edad del Hierro en Corea.

### 5.1. FABRICACION DE PRODUCTOS FORJADOS

Es un relato predominante el que dice que las técnicas de producción de objetos de hierro, en la Antigua Edad del Hierro, se derivaron de la técnica metalúrgica de la Edad del Bronce, anterior a la Edad del Hierro.

Es un hecho objetivo, el mineral de hierro no funde alrededor de los 1000 °C, temperatura a la cual funde el bronce y entonces a esa temperatura el hierro reducido queda como esponja del metal en estado semifundido. La masa esponjosa no es dúctil aún en caliente debido a su porosidad. La ganga se puede eliminar fácilmente cuando el trabajador metalúrgico saca la masa de esponja reducida del horno y la pulveriza.

Repetiendo la anterior operación es posible producir briquetas más purificadas de hierro y por lo tanto obtener trozos de hierro reducido. De acuerdo a R. F. Tylecote, el hierro de características dúctiles se puede obtener directamente del horno, sin embargo esto sólo fue posible cuando la pureza del mineral de hierro era extremadamente alta y la relación entre la cantidad de carbón de leña y mineral alcanzó una proporción ideal.

Realmente fue difícil para el antiguo trabajador de los metales controlar esas complicadas condiciones. En cambio, pudo cumplir su propósito repulverizando el mineral reducido y cargándolo otra vez en el horno en caso de faltarle ductilidad.

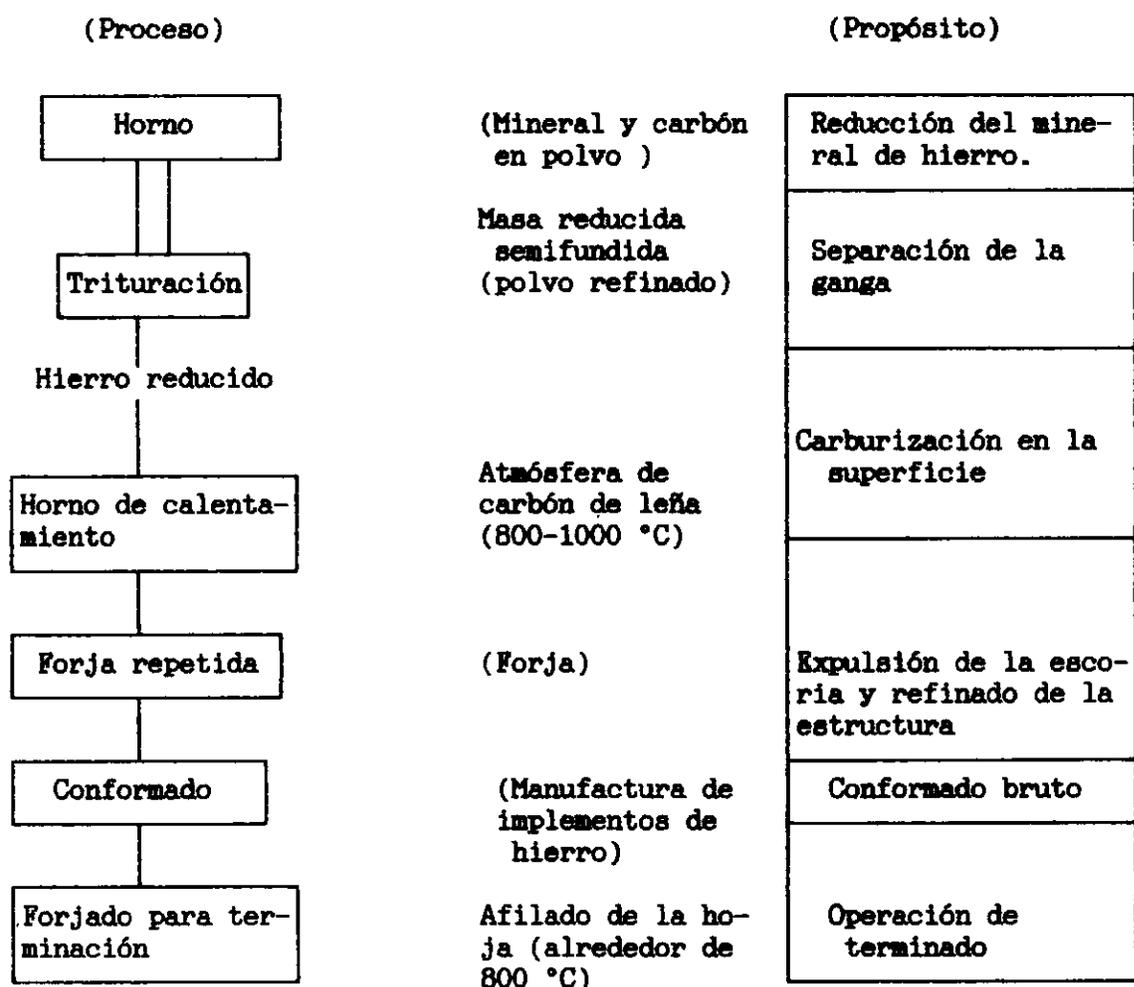
El hierro obtenido a través de ese proceso se calienta a la temperatura de trabajo (entre 800 y 1000 °C) para forjarlo y el efecto de carburación de la superficie puede esperarse por el calentamiento de la pieza de hierro en contacto con gran cantidad de carbón de leña en el horno de calentamiento.

El martillado una o dos veces puede no ser suficiente para hacer una pieza de hierro en el completo sentido estructural y además puede ser imposible eliminar las inclusiones similares a la escoria dentro del metal.

Como un resultado de la experiencia, una correcta estructura se puede obtener por un repetido calentamiento y martillado y también se puede predecir un cierto grado de efecto carburante en los materiales de hierro por un conveniente tratamiento térmico.

Posteriormente los materiales de hierro podían conformarse bajo el mismo calor de forja, llamado este formado preliminar.

El hierro parece haber sido forjado en el siguiente proceso de acabado a la más baja temperatura posible. En la figura 7 se muestra el proceso de manufactura de los implementos de hierro forjado.



**Fig 7. Proceso de manufactura de implementos de hierro forjado**

Las características de los artefactos desenterrados en relación con el proceso de manufactura es como sigue: primero se observó alguna masiva inclusión no metálica en la metalografía sugiriendo esto que las escorias de hierro originadas en la reducción no pudieron ser completamente eliminadas o dispersadas durante el proceso de repetido forjado y segundo las multicapas carburadas formadas. En otras palabras, la superficie carburada que se formó durante el calentamiento para la forja fue enrollada hacia adentro durante las siguientes operaciones de forja.

Repetiendo esas operaciones es posible formar alguna capa perlítica en la microestructura.

En tercer lugar, el tamaño de grano es extremadamente fino. Ese refinamiento del grano fue logrado naturalmente por repetido forjado en caliente. Además esto es acelerado por repetido calentamiento cerca de la temperatura de transformación.

En cuarto lugar, la estructura de la matriz era de ferrita porque la profundidad de la carburización formada a través de la forja repetida está limitada a una cierta extensión y por lo tanto, naturalmente, pertenece a los aceros de bajo contenido de carbono.

El hacha plana tipo cincel de Kujong-ri (Gt-1-2), el arpón de Yakmok-dong (Gy-1-1) y la pala plana de Kujong-ri (Gt-1-3) es de esperar que pertenezcan a la clase de implementos que han tenido el proceso arriba descrito.

## 5.2. PROCESO DE MANUFACTURA DE LOS IMPLEMENTOS DE FUNDICIÓN.

La técnica de manufactura del hierro forjado se desarrolló mucho antes que la de la fundición. Los artefactos de hierro forjado en Europa desenterrados en el área occidental del Mediterráneo pertenecen al siglo X a.C. mientras que los artefactos de fundición se fabricaron en el siglo XIII d.C.

Para la manufactura de los implementos de fundición fue necesario producir arrabio fundido. El arrabio se puede obtener por el un proceso en el cual el mineral de hierro escogido de alta calidad y el carbón de leña se cargan capa a capa en el horno, de esta manera el aire soplado hace obtener mayor temperatura (1200 °C).

El exceso de carbón en el horno se difunde dentro del arrabio fundido y consecuentemente baja el punto de fusión del hierro y por esto el hierro fundido se puede lograr con una relativamente baja temperatura de fusión (1200-1300 °C) a la composición eutéctica. El hierro fundido forma un charco en el fondo del horno y se derrama en el molde a través de un canal.

Primitivamente se usaron moldes de piedra, gradualmente fueron sustituidos por moldes de arcilla.

El hierro fundido sacado de los moldes fue recalentado en el horno y se trabajó en caliente martillando el borde para afilarlo. Este proceso se ilustra en la figura 8. Los implementos fabricados por este camino tienen las siguientes características:

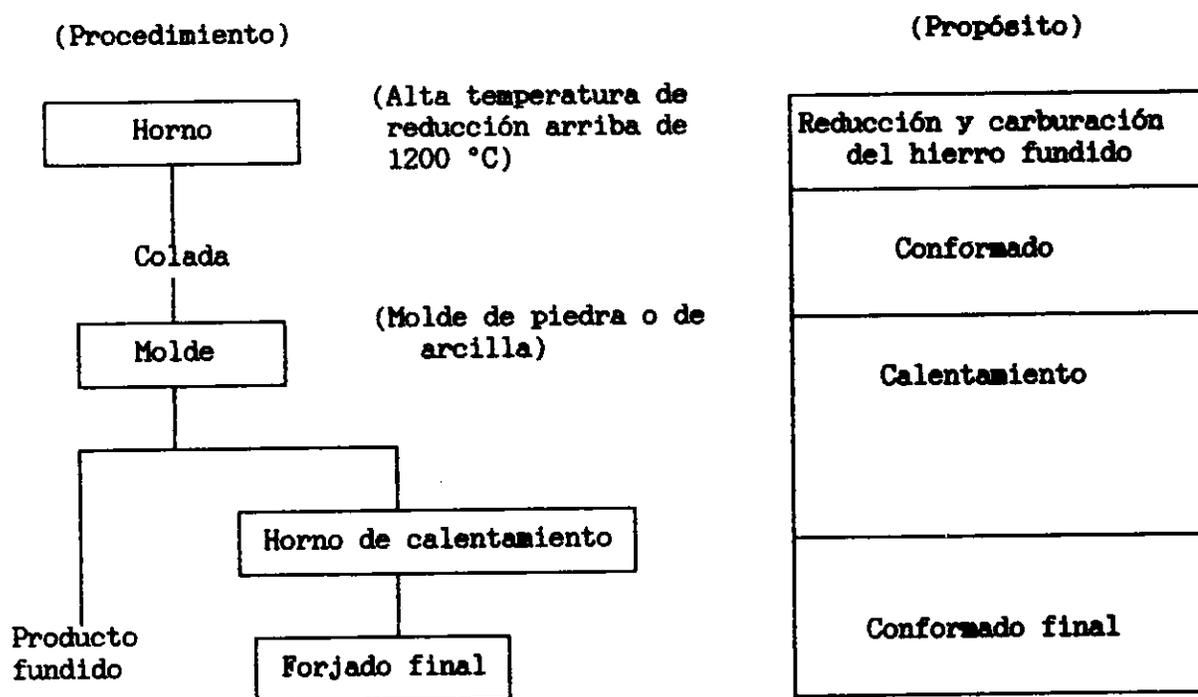


Figura 8. Proceso de manufactura de implementos de fundición

En primer lugar, su contenido de carbono está en el rango de 3 a 5%, este contenido hace que la fundición se pueda obtener fácilmente a una relativamente baja temperatura de fusión.

En segundo lugar, el producto tiene la estructura de la fundición blanca. Debido al hecho de que los objetos de hierro en los tiempos antiguos eran generalmente finos, la estructura estaba constituida, naturalmente, por cementita primaria debido al rápido enfriamiento.

En tercer lugar esto estaba limitado a los implementos de complicada forma. Los artefactos de forma sencilla se hicieron probablemente por forja mientras que los objetos complicados tales como el hacha, la pala o la pala

plana pertenecían a este tipo. El hacha de Kujong-ri (Gt-1-1), el hacha de Yangdong-ri (G-t-5-1) y el hacha de Shinchang-ri (Jo-1-1) están incluidos en la misma categoría. En el caso del hacha de Yean-ri (Gt-4-2) se aplicó a la hoja recalentamiento y forja y su estructura muestra la consiguiente transformación de fundición blanca a gris.

### 5.3. PROCESO DE MANUFACTURA DE PEQUEÑAS BARRAS LAMINADAS

En Corea las pequeñas barras laminadas se encontraron en los túmulos funerarios del sitio de Pokchon-dong, minas de Chodo y viejas tumbas de los sitios de Pokchon-dong, Chodo y Kaya.

La pequeña barra aplanada, uno de los materiales intermedios en vista al proceso de manufactura, debe tratarse como un artículo de valor considerando que fue uno de los artículos funerarios. También es muy significativa para nosotros en la investigación del proceso de manufactura de la barra laminada desde dos puntos de vista, del proceso de manufactura y de los valores estimados.

Como se ve en la figura 9, el arrabio se produjo en un horno de alimentación superior y el hierro fundido se volcó al canal, agregando durante la colada restos de hierro de la primera fusión.

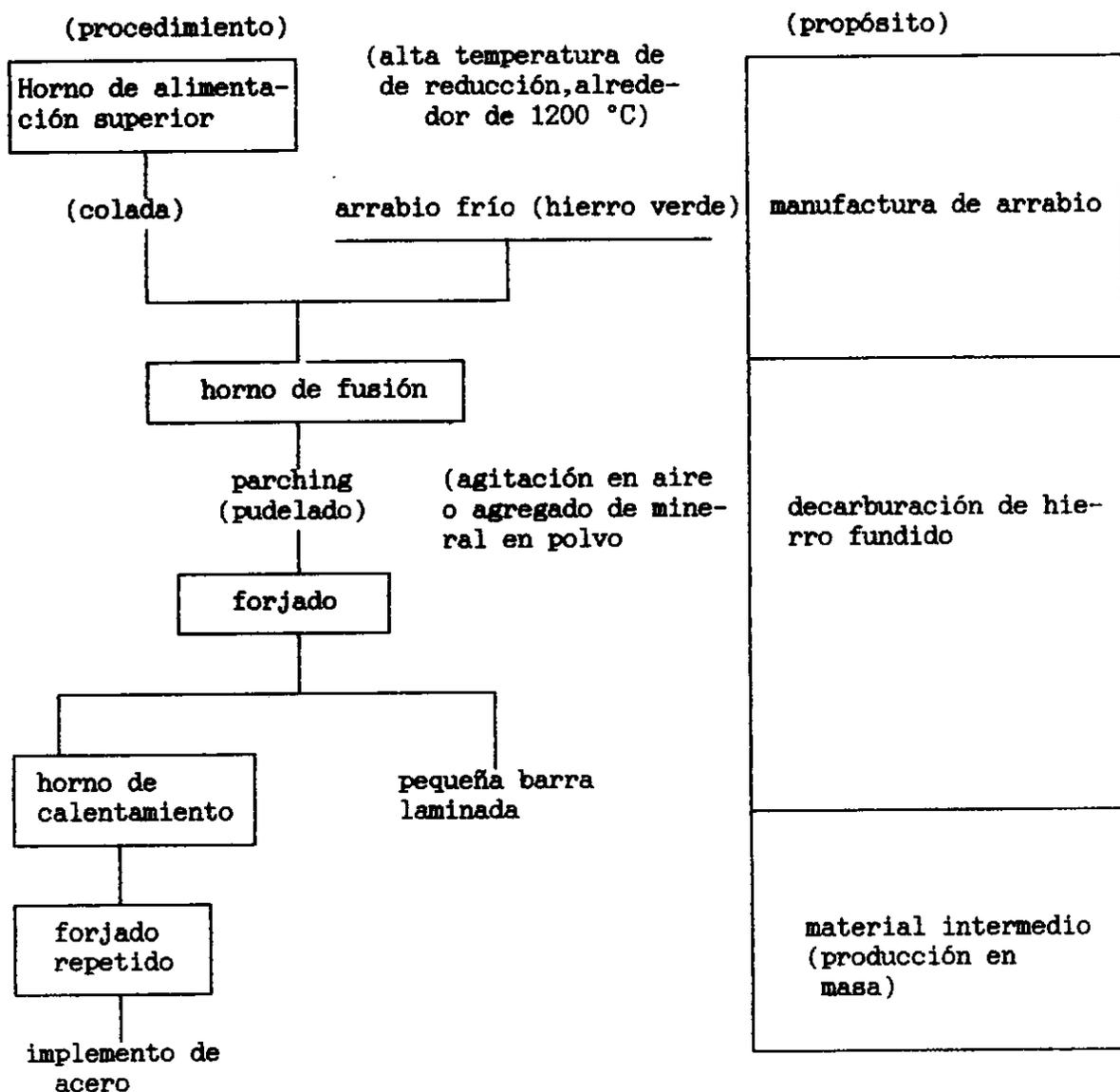


Fig. 9. Proceso de manufactura de la pequeña barra laminada

El arrabio fundido cargado en el horno de fusión contiene tan alta cantidad de carbono que los implementos hechos con este arrabio son quebradizos y pueden ser fácilmente rotos. Por esto, con el objeto de reducir el contenido de carbono se agrega dentro del arrabio fundido polvo de mineral de hierro con abundante agitación. A esta operación se le llamó "tostado" (parching) en oriente o "pudelado" en Europa.

En el proceso de pudelado, el oxígeno del mineral del hierro reacciona con el carbono del arrabio fundido causando la decarburación. Hablando físicoquímicamente tal decarburación es una reacción endotérmica y el horno puede mantener su temperatura por la reacción de oxidación exotérmica del silicio y manganeso contenidos en el arrabio fundido durante el proceso de fusión.

El fundido, después del pudelado, solidifica en varios pequeños trozos de hierro los cuales son completamente reformados por la operación de forja para tener una estructura de grano fino.

Seguidamente se les da la forma de placas y se guardan largo tiempo como una barra laminada. Si es necesario los trozos de hierro se pueden manufacturar directamente en implementos por repetidas forjas después de recocidos en el horno. Sin embargo como la manufactura de objetos de hierro generalmente necesita mucho tiempo, el metal fundido no puede mantenerse mucho tiempo a alta temperatura.

Es enteramente posible que la colada fuera hecha en pequeñas barras como material intermedio, después del pudelado por simple martillado. Las barras aplanadas producidas por el proceso mencionado tienen las siguientes características:

Primero, el contenido de C, Mn, Si y S es muy bajo debido a la disminución por oxidación de esos elementos durante el proceso de pudelado para decarburar.

Segundo, la cantidad de inclusiones de escoria es pequeña y finamente dispersa. En contraste con el hierro esponja, la escoria se separa por flotación durante el curso de la fusión y pudelado.

Tercero, a despecho del tamaño de grano grande, el contenido de carbono es relativamente alto. Si los artefactos de alto contenido de carbono se hacen por carburación del hierro esponja se forma un grano más fino a través de las innumerables operaciones de forja. Debe considerarse que se originaron por pudelado de arrabio si la anterior condición no se cumple.

La pequeña barra laminada de Pochong-dong (Gt-1-2), el pequeño trozo de hierro de Sokam-ri (Dt-1-2) se tomaron como ejemplo de este proceso y el hacha plana tipo cincel de Kujong-ri (Gt-1-2), el roblón de Jongbaek-dong (A) (Dt-2-1) y el trozo de cuchillo del sitio N29 de Sokam-ri se supone que no se hicieron por proceso de pudelado.

#### 5.4. PROCESO DE ENDURECIMIENTO DEL HIERRO.

El hierro no puede desplegar sus propiedades fundamentales estando sólo forjado o fundido. Aún en la antigua sociedad las ventajas y desventajas se experimentaron en el curso del uso de implementos de hierro y se hicieron constantes esfuerzos para remediar los defectos.

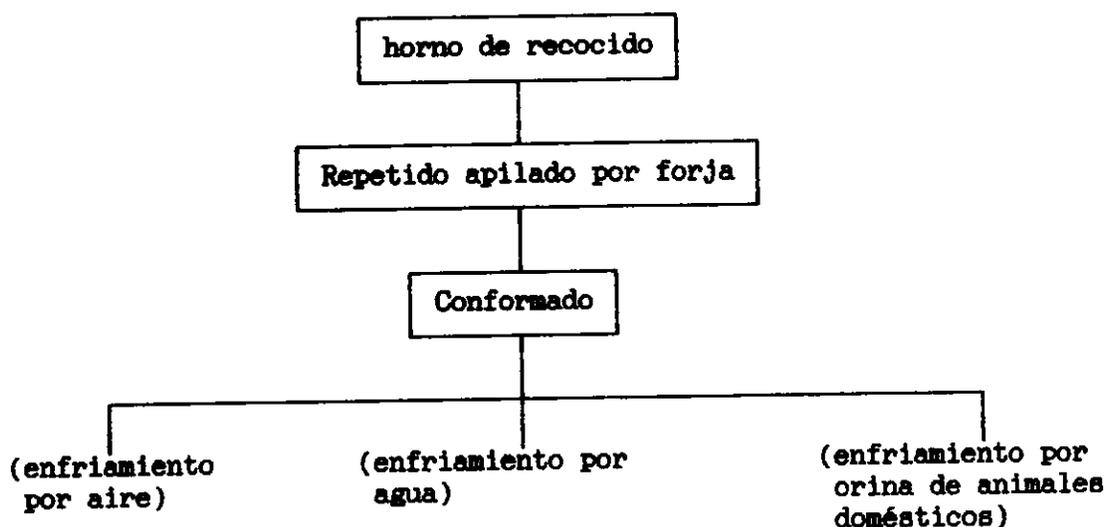
Por ejemplo, que el cuchillo se doblaba debido a su baja resistencia y que el hacha por quebradiza se podía fácilmente romper, eran defectos que se conocían desde la antigüedad por el pueblo.

Es completamente seguro que el fenómeno mencionado arriba y la técnica de controlar el contenido de carbono debieron ser tema de interés estrechamente relacionados con la vida diaria.

##### 1) METODO DE ENDURECIMIENTO DEL HIERRO REDUCIDO (hierro esponja).

El hierro reducido directamente sacado del horno no sólo contiene gran cantidad de inclusiones de escoria sino que también es poroso. Como se ve en la figura 10, el trabajador metalúrgico sacó la masa de esponja de hie-

rro del horno, la recoció en el horno de recocido, sacó las inclusiones de la escoria y expulsó el gas de los poros por martillado y forjado.



**Fig. 10. Métodos de endurecimiento de hierro reducido**

También el horno de calentamiento se rellena con una mezcla de hierro esponja y un exceso de carbón de leña para mantener la atmósfera carburante y todas las veces que sea necesario se calienta, la esponja carburante una y otra vez su superficie.

Cuando se martillea con plegado el área debe ser carburada y tal operación repetida hace posible producir un acero de medio o alto contenido de carbono debido al aumento del contenido de carbono.

Un implemento de hierro hecho por el procedimiento arriba indicado se le llamó "acero de cien refinaciones" en la antigua China, significando que había sido forjado más de cien veces y por lo tanto tenía una calidad extremadamente alta.

En una etapa primaria los objetos de hierro hechos por este proceso se usaron sin modificación, sin embargo, después de un tiempo el trabajador metalúrgico comenzó a comprender la necesidad del tratamiento térmico.

Se puede decir que el enfriamiento natural después de la forja es lo mismo que la normalización en el moderno tratamiento térmico y el sumergido en agua produce el mismo efecto que el temple en agua y el sumergido en orina de animales domésticos es un antecesor del actual temple en baño de sales.

Muchos de los implementos de hierro desenterrados tienen una estructura de enfriamiento natural después del forjado. Sin embargo, una punta de flecha del sitio del conchero de Ungch'on y el trozo de cuchillo del sitio del conchero de Powon-dong tienen una estructura de temple en agua.

En un antiguo libro de China titulado "T'ai Ping Yu Chin" el autor P'u Yuan, que había hecho 3000 espadas para Chu Ke Liang, sentenció: "Ellos ya pueden reconocer la diferencia del agua para el temple" indicando que la calidad del temple varía con la calidad del agua y la técnica del temple en la antigua China había alcanzado un alto nivel.

## 2) METODO DE ABLANDAMIENTO DEL ARRABIO.

Muchos de los implementos de arrabio sacados de los moldes mostraban el defecto de la fragilidad algo diferente debido al espesor de cada objeto de hierro. En referencia a los artefactos del sitio de Kujong-ri, un hacha fundida y tres hachas planas forjadas se desenterraron al mismo tiempo. Este hecho sugiere que los antiguos artesanos se habían dado cuenta de la

fragilidad de las hachas fundidas y a través de experiencias probaron superarla lo cual descubre este sitio y antiguos libros o literatura.

En el caso del hacha de Kujong-ri (Gt-1-1) la microestructura de su hoja presenta fundición gris, foto 17, lo cual se supone que es el resultado de un lento enfriamiento después de la forja.

Sin duda el proceso de lento enfriamiento no era bien conocido, sin embargo, se puede suponer que en la antigua China el enfriamiento se retardaba enterrando los artefactos en el suelo o bajo cenizas.

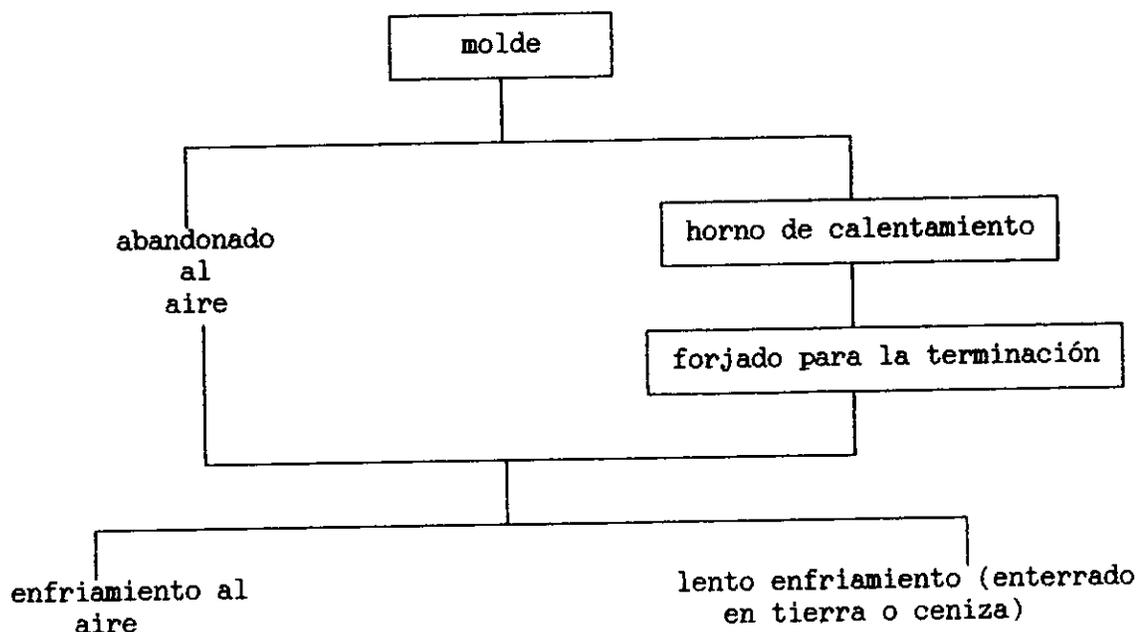


Fig 11. Método de ablandamiento del arrabio

### 3) PROCEDIMIENTO DE MANUFACTURA KUAN KANG (acero de hierro sumergido)

El proceso Kuan Kang (acero de hierro sumergido) parece que se hizo posible para resolver el problema surgido por la producción masiva en lugar del proceso del hierro esponja el cual había dejado de ser productivo y además para controlar la resistencia del material.

Hasta ahora no hay evidencia arqueológica del proceso Kuan Kang en Corea, pero en China hay clara evidencia por excavaciones de sitios de minas de hornos de hierro y en antiguos libros o literatura.

Nosotros no podemos sin embargo excluir la posibilidad de su transferencia a la península de Corea. Como un resultado de los hechos, es completamente razonable pensar que algunos artefactos de sitios de Corea estaban fabricados probablemente por este procedimiento.

Por esto ensayaremos explicar las características del proceso Kuan kan empleando ejemplos de China.

Este proceso se puede decir que es uno del sistema de producción avanzada del proceso de pudelado bajo un rápido crecimiento de la demanda en el período Norte-sud de ambas dinastías Chin. En el proceso Kuan Kang una parte del arrabio fundido se mezclaba (sumergía) con el acero de pudelado hecho por decarburación de hierro fundido con el oxígeno del aire o mineral de hierro en polvo.

La relación de mezcla entre arrabio y hierro de pudelado hace posible controlar el contenido de carbono del acero y consecuentemente se pueden obtener materiales homogéneos por repetida forja o martillado. En el período Sud de la dinastía Chin y Liang, Tao Hung Ying (452-536 d.C.), un desta-

cado pensador del Taoismo describió lo que sigue en su histórico trabajo: "el cuchillo o la hoz son hechos de hierro y acero, fuerte y blando". En esta oración fuerte significa arrabio (hierro verde) y blando significa hierro de pudelado (acero).

Además en la biografía de Chang Hsia se dice que la alta calidad de la espada de Ch'ü es lograda por martillado y fundido... así, para endurecer y suavizar el hierro debe tratarse mil "Pi" y mil "Kuan".

En esta frase, "Pi" significa foliado durante el repetido martillado y naturalmente "Kuan" significa hacer acero de hierro sumergido.

Sin duda el material usado debía ser metal fundido. En un histórico libro titulado T'ien-Kung K'ai-Wu y publicado por Sung Ying-Hsing, se incluye en detalle el informe perteneciente al proceso Kuan Kang.

Como materia fáctica, cuando se quería reducir el contenido de carbono del arrabio era posible controlar el carbono durante el proceso de pudelado del arrabio fundido.

Sin embargo es muy difícil controlar el contenido de carbono en este proceso. De allí que se considere mucho más fácil que al principio el fundidor de hierro bajara totalmente el contenido de carbono por pudelado y entonces lo mezclara con arrabio fundido de alto contenido de carbono hasta obtener el contenido deseado.

Sin duda es imposible que el control del contenido de carbono haya sido intencional en el proceso, pero, en cuanto a eso prevaleció la general consideración de que mezclando arrabio duro con hierro de pudelado blando se obtenía una resistencia media y entonces la única forma de perfeccionar el proceso era establecer sobre los fundamentos técnicos antes mencionados el sustento de muchas experiencias.

#### *Notas al libro II*

- 1) Yoon Dong-Suk: *A Metallurgical Study of the Early Iron Age Artifacts*, POSCO Research Institute, May 1982.
- 2) Mun Yong-hyon: *Iron Production in Chinhan and the Rise of Shilla*, Taegu Sahak Vol. 7 y 8, Dec. 1973.
- 3) Chong Chang-yong: *A Study of Koguryo Burials before B.C. 400*, Kogominsok, May 1973.
- 4) R.F. Tylecote: *A History of Metallurgy*, The Metals Society 1976 p.40-52.
- 5) Kim Won-yong: *Kujong-ri (Kyongju) Artifacts in the Period of Using Metal Together with Stone*, Yoksa Nakbo Vol.1, May 1952.
- 6) Fujita and Umehara: *Archaeological Survey of 1922, Part I*. Feb. 1925.
- 7-8) Im Hyo-taek: *Kaya Earten Pit Grave in lower Naktong River Basin*, Hankuk Kogo Hanbo. Vol.4, April 1978.
- 9) Yun Se-yong: *Excavation Report on Karakdong Paekche Tombs*, Kogohak Vol. 3, Dec. 1974.
- 10) Kogohak Chapji 53-4, 1968.
- 11) Kogohak Charyojip, 1974, 4.
- 12) Kogohak Yongu, 14-4, 1968.
- 13) Kogohak Charyojip, 1959.2.
- 14) Kogohak Charyojip, 1959.3.
- 15) Ibid. 1959.2.
- 16) Kochoson Munje Yongu Nonmunjip, 1977.
- 17) Kogohak Charyojip, 1963.3.
- 18) Ibid. 1974.4 Ibid.1974.4.

## APENDICE

### CRONOLOGIA CHINA

---- Dinastía Shang-Yin	1766 a 1122 a.C.
Se conoció la fundición del bronce. Alfarería tosca.	
---- Dinastía de los CHOU	
Chou temprana u occidental	1122 a 771 a.C.
Chou tardía u oriental	771 a 221 a.C.
(Debido a la ubicación geográfica de sus capitales)	
---- Período Ch'un - ch'ie, abarcado por las crónicas u	
anales con esa designación, "Primavera y otoño"	722 a 481 a.C.
---- Período de los "Estados Combatientes" o "Estados en	
guerra" (Chan - kuo)	481 a 221 a.C.
---- Creación del imperio unificado	221 a 1911 d.C.
Dinastía Ch'in	221 a 202 a.C.
Dinastía Han	202 a.C. a 220 d.C.
Han antiguo u occidental	202 a.C. a 42 d.C.
Han oriental	42 d.C. a 220 d.C.
---- Período de los "Tres Reinos" período de China	
que estuvo dividida en tres reinos, Wei al	
norte, Shu al oeste y Wu en el bajo Yantse,	
en lucha por el poder	220 a 280 d.C.
---- Período de unidad bajo la dinastía Chin	280 a 316 d.C.
---- Período Nan-pei-ch'ao (dinastías septentrionales	
y meridionales )	316 a 618 d.C.
-- Han shu, Historia de la primera dinastía Han,	
redactada por Pan Ku	siglo I d.C.
-- Lung-heng, "Ponderación de las doctrinas". Libro	
de Wang Ch'ung	27 a 100 a.C.

### CRONOLOGIA COREANA

---- Choson, antiguo o Ko Choson : Reino fundado por Tangun en	2333 a.C.
---- Chosun de Wiman	194 a 180 a.C.
---- Tres Reinos, período que comenzó en el siglo I a.C. a siglo VII d.C.	
Estos reinos que dominaron mas de 500 años	
a la península eran :	
KOGURYO en el curso medio del río Yalú,	
PAEKCHE, al sur del río Han y el de	
SHIL-La al sud-este.	
Shil-La expulsó a los chinos y unificó el territorio peninsular.	

## VOCABULARIO ARQUEOLOGICO

- Afloramiento:** Geol., parte de una estructura geológica o de una masa rocosa visible en la superficie terrestre. Mineral aflorado
- Artefacto:** Todo objeto hecho por el hombre.
- Hallstatt, cultura de:** Cultura del primer período de la Edad del Hierro en gran parte de Europa. Recibe su nombre de la localidad de Hallstatt (Austria) notable por una importante necrópolis de esa época. Años 1000 a 400 a.C.
- La Tène, cultura de:** Cultura de Europa céltica, del segundo período de la Edad del Hierro desarrollada en la segunda mitad del último milenio antes de Cristo. El nombre procede del yacimiento homónimo localizado en la orilla norte del lago Neuchatel (Suiza).
- Nok, cultura:** desarrollada al norte de Nigeria entre los siglos IX a.C y II d.C.
- Sitio :** una localidad ocupada o utilizada por el hombre y reconocida o excavada arqueológicamente.

## VOCABULARIO METALURGICO

- Acero:** Aleación de hierro con carbono, hasta aprox. 2 % de carbono.
- Arrabio :** Aleación de hierro con aproximadamente 4,5 % de carbono, silicio y manganeso. Es el resultado de la reducción de los óxidos de hierro en el alto horno.
- Austenita:** Solución sólida de hierro  $\gamma$  con carbono.
- Cementita:** Combinación de hierro con carbono (carburo de hierro). Es el constituyente más duro de los aceros al carbono.
- Ferrita:** Hierro alfa, libre con pequeña cantidad de carbono (0,008%) disuelto.
- Fundición blanca:** Hierro con mas de 2 % de carbono totalmente disuelto y cementita fundamentalmente como microconstituyente. La fractura es blanca.
- Fundición gris:** Hierro con mas de 2 % de carbono disuelto y gran parte precipitado como grafito. La fractura es gris.
- Grafito:** Estado alotrópico del carbono.
- Hierro:** Elemento químico número 26 del sistema periódico de los elementos. Comúnmente se denomina hierro a toda aleación de este elemento químico con otros metales , con carbono y con silicio.
- Ledeburita:** Constituyente eutéctico, constituido por cementita y austenita.
- Martensita:** Primer paso de la transformación de la austenita a una estructura de gran dureza, típica de los aceros templados.
- Perlita:** Eutectoide de hierro-carbono, constituido por el agregado de ferrita y cementita.

Impreso en abril de 1992  
en el sector de Ediciones del INTI, avda. Gral. Paz  
entre Albarelos y avda. de los Constituyentes,  
Miguelete, provincia de Buenos Aires  
Edición de 1000 ejemplares.