

# Caracterización Mineralógica y Química de Escorias de Ferrerías de Monte (“haizeolas”) en el Entorno de Galdakao (Vizcaya)

/ PEDRO PABLO GIL (1\*), IÑAKI YUSTA (1), XABIER ORUE-ETXEBARRIA (2), JOSE MIGUEL HERRERO (1), JUAN IGNACIO BACETA (2), JOSEBA ARTARAZ, EDUARDO MADINA, JOSE MARIA MINTEGUI

(1) Departamento de Mineralogía y Petrología. Universidad del País Vasco, Bilbao, Spain. Apdo 644. 48080 Bilbao (España)

(2) Departamento de Estratigrafía y Paleontología. Universidad del País Vasco, Bilbao, Spain. Apdo 644. 48080 Bilbao (España)

## INTRODUCCIÓN.

Recientemente Orue-Etxebarria et al. (2008) han descrito una serie de ferrerías de monte (de época altomedieval), conocidas en euskera como “haizeolas”, en la localidad vizcaína de Galdakao. El estudio de los materiales encontrados en el interior y en las proximidades de estas estructuras confirma la hipótesis de que se trata de hornos de reducción de mineral de hierro y no de hornos de calcinación de cal (caleros) como tradicionalmente se habían considerado.

## CARACTERÍSTICAS DE LAS FERRERÍAS DE MONTE.

Todas estas ferrerías presentan características semejantes en cuanto a forma y tamaño del horno (Orue-Etxebarria et al, 2008). Se trata de estructuras o cubetas de forma troncocónica excavadas en laderas. La pared de la parte anterior aparece reforzada por un muro de arenisca generalmente derruido.

En su parte más ancha tienen un diámetro de 3 a 4 metros y de unos 2,5 en la parte superior. La altura de la cubeta tiene alrededor de 4 m. y su superficie interna está revestida de una mezcla de arcilla y arena de 10 a 15 cm. de espesor. En el fondo, un estrechamiento de 50 de anchura y de unos 65 cm. de profundidad hace las funciones de “crisol”. Presentan, además, una abertura con forma de arco “o parábola” por la que comunica con el exterior a través de un canal excavado en la tierra, con una anchura de 35 a 45 cm., y una profundidad de 60 a 70 cm, que suele aparecer cubierto por losas de roca arenisca. Esta abertura serviría para evacuar las escorias producidas a lo largo del proceso de reducción (tipo C de Serneels, 1993).

Es fácil encontrar en las proximidades de las “haizeolas” labores de extracción de mineral de hierro (a cielo abierto o galerías). Los más de veinte indicios de hierro del área de Galdakao son masas y/o filones, de siderita ( $\pm$  ankerita) que se alteran a hematites y goethita y están asociados a materiales del Cretácico Inferior (Calizas Urganianas y Complejo Supraurgoniano, Aptiense-Albiense) similares a los del sector central de la provincia de Vizcaya (Gil, 1991).

## MINERALOGÍA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS ESCORIAS.

La caracterización de unas 50 muestras de diferentes áreas se ha abordado mediante microscopía de luz reflejada y transmitida, difracción y fluorescencia de rayos X. Hemos diferenciado dos grupos de muestras: restos ricos en minerales de hierro que forman las escorias del proceso de producción y materiales silíceos procedentes del calentamiento con fusión parcial y recristalización, de las paredes de los hornos.

### Muestras de Escorias.

En general, se trata de muestras de color oscuro o negras, a veces con brillo metálico y/o magnéticas. Presentan morfologías fluidales en superficie y están integradas por diversas capas de coladas irregulares soldadas. Además, se han encontrado otro grupo de escorias sin estructuras fluidales y de forma minoritaria un tercer grupo de aspecto irregular con texturas oquerosas y restos dispersos de carbón vegetal.

La mayor parte de las muestras, proyectadas (Fig. 1) en el diagrama FeO-SiO<sub>2</sub>-

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de Osborn y Muan (1960) como círculos llenos, están constituidas por fayalita (Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) y wüstita (FeO), con cantidades menores de una espinela tipo hercinita (FeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>). Las escorias de fayalita y magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), (triángulos en la Fig. 1), no contienen wüstita ni hercinita, mientras que las muestras más ricas en hierro están compuestas por fayalita y wüstita (representadas por cuadrados). Aunque en tres de las muestras estudiadas se observa hierro metálico, por difracción de rayos-X se ha determinado solamente en una de ellas ( $\alpha$ -Fe). Como minerales minoritarios podemos encontrar, cantidades pequeñas de hematites (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y/o cuarzo (SiO<sub>2</sub>). Estas asociaciones minerales sugieren temperaturas en los hornos superiores al eutéctico Wus-Fa-Hc (1148°C) y condiciones reductoras.

El estudio petrográfico muestra que los relictos de Fe exhiben formas ameboides o aparecen como microgránulos esféricos. Se observan dos texturas de wüstita, crecimientos dendríticos regulares extensos e intercrecimientos simplectíticos con fayalita o raramente en la matriz (microcristales y vidrio). La magnetita presenta hábitos subhédricos con texturas esqueléticas, dendríticos o en crecimientos vermiculares en la matriz. La fayalita forma cristales tabulares alargados de hasta 6 - 8 mm, a veces esqueléticos. La hercinita aparece en pequeños cristales entre los de fayalita.

Se caracterizan por su alto contenido en FeO (58,6-80%, Tabla 1), y cantidades inferiores de SiO<sub>2</sub> (13,2-32,9%) y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0-6,1%). El Ca, Mg, Na, K y Ti pueden ser incorporados a partir de: minerales accesorios en la mena, cenizas del carbón vegetal o como contaminación del suelo arcilloso o de las paredes del horno. Las

proporciones de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (<0,49%) son coherentes con los bajos contenidos de las menas (Gil, 1991).

La elevada proporción de hierro en estas escorias sugiere un proceso metalúrgico de baja recuperación del metal, por tanto un tipo de tecnología primitiva respecto a las ferrerías hidráulicas que se extendieron a partir del s. XIII.

**Materiales Silíceos Procedentes de las Paredes del Horno.**

Hemos encontrado mortero arcilloso con fragmentos de roca areniscosa, con el aspecto característico del calentamiento a altas temperaturas con vidrio silíceo tanto en superficie como en grietas irregulares. En este grupo (círculos hue-

cos en la Fig. 1), además de componentes vítreos, los minerales del grupo de la sílice (SiO<sub>2</sub>) son los más representativos (tabla 1). El cuarzo es predominante, aunque pueden aparecer cantidades menores de cristobalita y, con menos frecuencia, de tridimita. Otras fases que podemos encontrar, en cantidades pequeñas, son: mullita (Al<sub>6</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>13</sub>), hematites (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y excepcionalmente corindón (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). La aparición de estas fases no implica que se alcancen temperaturas de equilibrio ya que la presencia de mineralizantes (C, K<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>...) permitirían la aparición de fases metaestables a temperaturas menores de las teóricas.

Estas muestras son muy ricas en SiO<sub>2</sub> (61,8-88,6%) y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5,4-19,1%) y aparecen coloreadas con tonos rojizos, verde

oscuro o negro, probablemente dependiendo del contenido en Fe (por lo general inferior al 10% FeO). Finalmente, en uno de los hornos se ha encontrado un fragmento de escoria vítrea, de color azulado, baja densidad y con 6,4% en CaO, que interpretamos como indicio de la posible reutilización de la instalación como horno para obtención de cal.

**AGRADECIMIENTOS.**

Los análisis químicos y de difracción de rayos X han sido realizados en los Servicios Generales de Investigación de la UPV/EHU (SGIKER). Este trabajo ha sido financiado con la Ayuda del Gobierno Vasco (Grupo de Investigación del Sistema Universitario Vasco IT-446-07).

**REFERENCIAS.**

Gil, P.P. (1991): *Las mineralizaciones de hierro del Anticlinal de Bilbao: mineralogía, geoquímica y metalogénia*, Tesis Doctoral. Univ. del País Vasco, 343 pp  
 Orue-Etxebarria, X., Yusta, I., Artaraz, J., Gil, P.P., Madina, E., Baceta, J.I. & Mintegui, J.M. (2008): *Primera descripción de hornos de reducción (tipo ferrería de monte) del País Vasco: hallazgos realizados en Galdakao*. Publ. electrónica, Euskonews & Media, n° 422, 6 pp.  
 Osborn, E.F. & Muan, A (1960): *Phase Equilibrium diagrams of oxide systems*. The American Ceramic Society.  
 Serneels, V. (1993): *Archéométrie des scories de fer. Recherches sur la siderurgie ancienne en Suisse occidentale Cahiers d'archéologie Romande*, 61, Lausanne, 240 p.

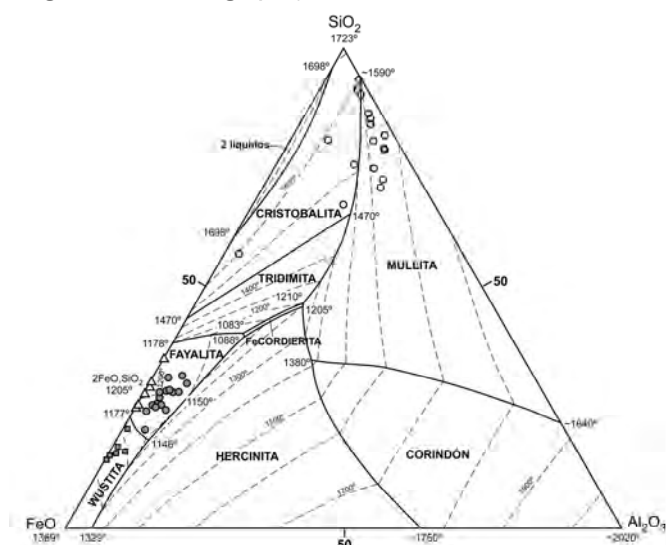


fig. 1. Posición de las muestras analizadas por FRX, en el diagrama FeO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Tabla 1. Valores medios, mínimo y máximo para los elementos analizados en escorias y materiales de pared de los hornos de reducción.

%	Escorias Fa-Wus-Hc (n=16) círculos llenos			Escorias Fa-Mgt (n=7) triángulos			Escorias Fa-Wus (n=6) cuadrados			Escorias silíceas de la pared (n=15) círculos huecos		
	media	mín.	máx.	media	mín.	máx.	media	mín.	máx.	media	mín.	máx.
SiO <sub>2</sub>	24.90	18.54	30.15	27.70	27.82	32.86	15.45	13.25	19.41	74.96	61.79	88.62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.58	1.91	6.05	0.07	0.00	0.45	0.75	0.00	2.29	12.94	5.40	19.05
FeOt	62.81	58.60	68.11	67.60	67.62	72.06	77.31	73.37	80.05	5.48	0.84	15.34
MnO	1.30	0.54	4.31	0.86	0.91	1.09	1.26	0.62	1.96	0.00	0.00	0.02
MgO	0.60	0.39	0.86	0.30	0.33	0.35	0.52	0.47	0.60	0.55	0.26	0.90
CaO	1.76	0.46	3.69	0.47	0.33	1.43	0.80	0.35	1.24	0.32	0.15	0.97
Na <sub>2</sub> O	0.20	0.08	0.49	0.07	0.07	0.15	0.14	0.04	0.25	0.59	0.15	1.56
K <sub>2</sub> O	1.10	0.38	1.73	0.10	0.09	0.16	0.45	0.13	0.68	3.06	1.00	4.70
TiO <sub>2</sub>	0.26	0.20	0.44	0.13	0.11	0.32	0.16	0.12	0.18	0.85	0.29	1.10
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.19	0.08	0.50	0.18	0.17	0.26	0.16	0.06	0.49	0.11	0.05	0.29

Mineralogía semicuantitativa por DRX (entre paréntesis, minerales con presencia anecdótica dentro del grupo descrito.)

Fayalita	****	****	****
Wüstita	****		****
Magnetita		***	(*)
Hercinita	**		(*)
Cuarzo	*	*	****
Tridimita			*
Cristobalita			***
Otros			(Fe, hematites) (mullita, hematites, corindón, cordierita)