

# Nuevos datos sobre la escoria de Getafe caída en un vehículo en 1994

## *New data on the Getafe slag used for stoning a vehicle at 1994*

J. Garcia-Guinea <sup>(1)</sup>, B. Sanchez-Chillón <sup>(1)</sup>, A. Mazo <sup>(1)</sup>, L. Tormo <sup>(1)</sup>, R. Gonzalez-Martin <sup>(1)</sup>, V. Correcher <sup>(2)</sup> y J.M. Pardillo-Mayora <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Museo Nacional de Ciencias Naturales. Jose Gutierrez Abascal 2. Madrid. 28006 España

<sup>(2)</sup> Departamento de Dosimetría Radiaciones. CIEMAT. Av. Complutense 22. Madrid 28040 España

<sup>(3)</sup> ETSI Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid 28040 España

### ABSTRACT

*This work studies the characteristics of the steel slag heaps that have accumulated in the vicinity of the Andalusia motorway from km-11 to km-22, and throws new light on two traffic accidents attributed to meteorite impacts. Samples were collected from 13 sites at the side of this section of the Andalusia motorway, from the Aristrain and Varosa (Madrid) smelting factories and from the two cars inside BMW-1994 and LADA-1999. The magnetic susceptibility, specific gravity, X-ray diffraction and ESEM analyses of samples were determined and the photographs of the 'meteorite-impacted' cars studied. The composition, textures and structures of these samples and the trajectories of the projectiles that hit the cars (circa 25° from the horizontal) together suggest that these accidents were caused not by falling meteorites, but by slag thrown either from the roadside or from overpasses.*

### RESUMEN

*Este trabajo estudia las características de las escorias que están acumuladas junto a la autopista de Andalucía entre el km-11 y el km-22, y explica lo que probablemente sucedió en dos accidentes de tráfico atribuidos a impactos meteoríticos. Se recogieron muestras en 13 puntos diferentes de este tramo de la autopista de Andalucía, en las fundiciones de Aristrain y Varosa de Madrid y del interior de los dos coches impactados, BMW-1994 y LADA-1999. Se realizaron medidas de susceptibilidad magnética, peso específico, difracción de rayos X y observaciones y análisis en el microscopio ambiental ESEM, de las muestras y se estudiaron las fotografías de los impactos en los vehículos. Las composiciones, texturas y estructuras de estas muestras y las trayectorias de los proyectiles que golpearon los vehículos (unos 25° respecto de la horizontal) sugieren que estos accidentes no fueron causados por caídas de meteoritos sino por escorias arrojadas desde los lados de la autopista, o desde los puentes.*

**Key words:** *Steel slag, wüstite, calcium silicates, Getafe.*

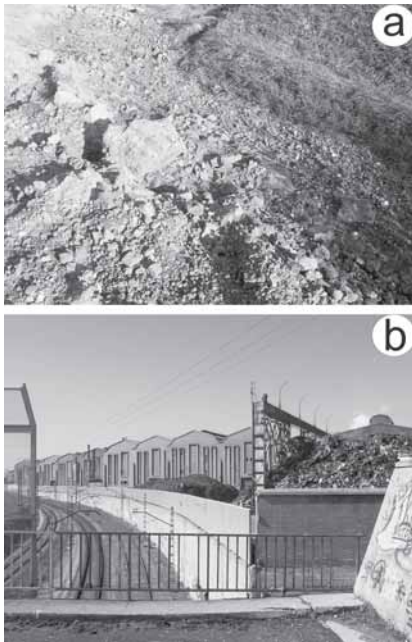
*Geogaceta, 37 (2005), 159-162*  
ISSN:0213683X

### Introducción

En España, el creciente interés social y mediático sobre la Geología del Espacio está impulsando estudios sobre meteoritos, y sobre sucedáneos de meteoritos, existiendo una cierta incertidumbre producida por publicaciones con títulos geológicos alusivos al Espacio junto con analíticas y fotografías de escorias (Díaz-Martínez *et al.*, 2001: *Evidencia de un pequeño impacto meteorítico en Extremadura: El "volcán" de El Gasco (Las Hurdes)* y Martínez-Frías y Madero 2004: *The Iberian fireball of 4 January 2004*). En esta trabajo se aportan nuevas pruebas y explicaciones racionales sobre el supuesto "meteorito" que en 1994 impactó contra un vehículo BMW en el kilómetro

17 de la autopista de Andalucía y que ha sido denominado "meteorito", posible meteorito, pseudo-meteorito, roca de Getafe, o roca terrestre, en mas de una decena de trabajos, informes y conferencias, manteniéndose la dudosa posibilidad de que la muestra pudiera ser un nuevo tipo de meteorito no aceptado internacionalmente (Martínez-Frías 1994: *La caída de la roca de supuesto origen meteorítico de Getafe*; Martínez-Frías 1996: *First contribution on the Getafe "meteorite"*; Martínez-Frías 1997: *Informe sobre la Roca de Getafe*; Martínez-Frías 1999: *La roca de Getafe: trayectoria de caída, efectos del impacto y marcadores morfotexturales de vuelo*; Martínez-Frías *et al.*, 1999: *The Getafe rock: Fall, composition and cosmic ray*

*records of an unusual ultrarefractory scoriaceous material*; Martínez-Frías 2004: *Meteoritos versus rocas terrestres: El pseudometeorito de Getafe*). En 1994, los actos vandálicos sobre vehículos en marcha trascendieron al gran público cuando una piedra compuesta por óxido ferroso y silicatos cálcicos rompió el parabrisas del vehículo, dobló el volante e hirió una mano al conductor. Diez años después, cualquier revisión detallada de las publicaciones existentes sobre esta muestra BMW-1994 ofrece serias dudas de su origen extraterrestre y crea la necesidad de corroborar la hipótesis-meteorito, por ejemplo, delimitando la elipse de distribución de impactos de fragmentación en Getafe. Por ese motivo, el mismo grupo de búsqueda que localizó y determinó con



**Fig. 1.- (a)** Escorias de fundición de hierro de Aristrain pavimentando caminos cercanos al km-16 de la carretera de Andalucía, **(b)** Factoría de fundición de chatarras de Aristrain, Arcelor (Villaverde, Madrid).

*Fig. 1.- (a) Iron slag heap and paving close to km-16 of the Andalusia motorway, (b) Aristrain -Arcelor smelting plant (Villaverde, Madrid).*

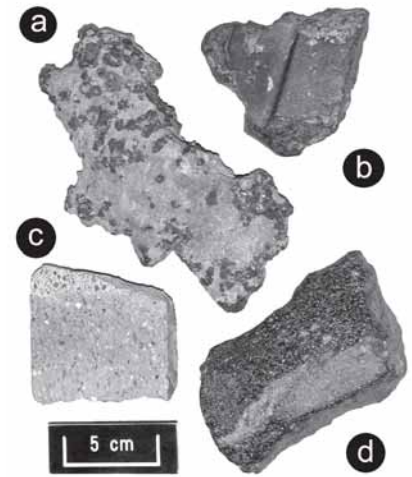
éxito la elipse de impactos de la Condrita L6 de Villalbeto (Palencia, 4 de enero de 2004), trasladó sus equipos de búsqueda y muestreo al entorno del km-17 de Getafe para aclarar las dudas. Los niveles arcillosos de las terrazas del río Manzanares producen caminos de barro intransitables que durante muchos años han sido estabilizados con escorias. En los alrededores del km-17 de la autopista de Andalucía existen miles de toneladas de escorias de hierro, compuestas fundamentalmente por óxido ferroso y silicatos de hierro; por hierro metal y por restos de ladrillos refractarios. Estos restos recubren pistas de tierra ubicadas entre los kilómetros 11 y 22 de la autopista de Andalucía estando algunos situados a menos de 10 metros de la propia autopista. En el presente trabajo, se vuelve a analizar la misma muestra BMW-1994, otra muestra inédita de óxido ferroso con silicatos cálcicos que impactó en otro vehículo en 1999 (LADA-1999), escorias recientes de dos fundiciones metalúrgicas de Madrid (Aristrain y Varosa) y una selección de muestras recogidas por los kilómetros 11, 14, 15, 16, 17, 20 y 21 de la autopista de Andalucía. El objetivo de esta nota es demostrar que la piedra que cayó en 1994 sobre el BMW tiene composición, texturas y estructuras de escoria de Aristrain.

**Metodos analiticos**

Se realizaron difractogramas de rayos X (método del polvo), medidas de peso específico en balanza hidrostática y de susceptibilidad magnética, de las 16 muestras (BMW-1994, Lada-1999, Aristrain-actual, Varosa-actual, y el resto recogidas entre los kilómetros 11 y 22) (Tabla I). Las muestras originales BMW-1994 y Lada-1999 fueron analizadas en un Microscopio Electrónico ESEM. También se analizaron y calcularon las trayectorias de vuelo de los objetos a partir de las fotografías de los daños producidos en los coches. Las susceptibilidades magnéticas (c) fueron medidas sobre secciones de escorias de hierro de 5 mm con un susceptibilímetro Bartington MS2F para estimar las relaciones Fe/FeO y FeO/Silicatos, asumiendo que la susceptibilidad magnética es un indicador de las concentraciones de fases ferromagnéticas. Las fases estructurales fueron identificadas y cuantificadas con un difractómetro Phillips PW1710/00 con radiación CuKa (Tabla II). Los difractogramas fueron obtenidos barriendo desde 2° hasta 64° (ángulos 2 en escalones de 0.020° a 4 s cada uno) y fueron comparados con las fichas del JCPDS con ayuda del programa Xpoder del Prof. Martín-Ramos de la Universidad de Granada.

**Resultados**

Los granjeros locales declaran que estos materiales proceden de la fundición de chatarras de Villaverde y que los camiones de Aristrain los trajeron para reforzar pistas de tierra del sur de Madrid (Fig. 1a). En la planta de Arcelor (Aristrain) los técnicos explican que las escorias de fundición recientes ahora se reciclan para hierro, cromo y cobre y que el residuo final termina en vertederos homologados (Fig. 1b). La heterogeneidad de las muestras de silicatos cálcicos y wüstita analizados es muy elevada, por ejemplo: silicatos claros casi puros (km-14), masas de hierro metal (km-15), wüstitas muy puras (km-17), pumitas de pseudo-wollastonita (km-21), etc. (Tabla I), esta variedad se aprecia en las medidas de susceptibilidades magnéticas y de pesos específicos. Por difracción de rayos-X (DRX) se identificaron las siguientes fases estructurales (mineral/ficha ASTM/fórmula): Wüstita 6-615 FeO; Larnita 29-371 Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>; Gehlenita 35-755 Ca<sub>5</sub>Al<sub>2</sub>SiO<sub>7</sub>; Chromita 34-140 FeO.(Cr,Al)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; Magnetita 19-629 FeO.Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; Kirschsteinita 34-98 CaFeSiO<sub>4</sub>; Monticellita 35-590 CaMgSiO<sub>4</sub>



**Fig. 2.-** Muestras recogidas en los puntos km-16 y km-17: (a) masas de hierro metal con estructuras globulares, (b) estructuras externas de desmoldeo de escorias de wüstita, (c) restos de ladrillos refractarios, (d) escorias de pavimentos pulidas por las ruedas de los vehículos.

*Fig. 2.- Samples collected close to km-16 and km-17: (a) Iron metal samples with cooling globular structures, (b) moulded slag compose by wüstite and calcium silicates, (c) remains of alumina refractory bricks welded to iron slag (c) polished slag by the passing vehicles from a paved path (km-15).*

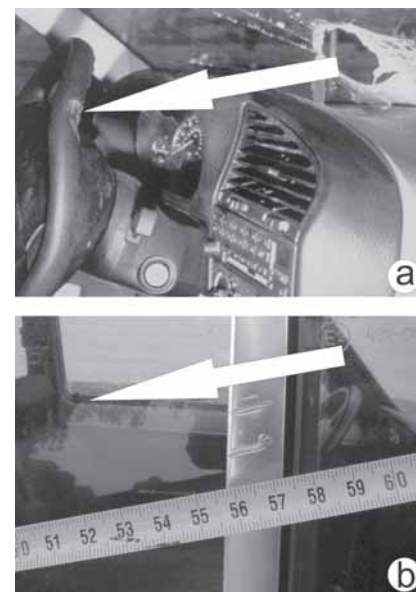
Akaganeita 34-1266  $\alpha$ -FeOOH; Bredigita 36-399 Ca<sub>7</sub>Mg(SiO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>; Bustamita 26-1066 (Mn,Ca)<sub>3</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub>; Grafito 25-284 C; Mayenita 9-413 Ca<sub>2</sub>Al<sub>14</sub>O<sub>33</sub>; Cuarzo 33-1161 SiO<sub>2</sub>; Calcita 5-586 CaCO<sub>3</sub>; Sillimanita 38-471 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.SiO<sub>2</sub>; Goethita 29-713  $\alpha$ -FeOOH Pseudo-wollastonita 31-300 CaSiO<sub>3</sub> Anandita 19-78 (Ba,K) (Fe,Mg)<sub>3</sub> (Si,Al,Fe)<sub>4</sub>O<sub>10</sub> (O,OH)<sub>2</sub>. En la tabla II se muestran los análisis semicuantitativos, por DRX, de las proporciones relativas de estas mismas fases contenidas en las muestras analizadas. Las muestras presentan texturas dendríticas, esféricas y fibrosas características de rápidos enfriamientos y crecimientos cristalinos. Existen masas de hierro metal sin níquel con estructuras globulares (Fig. 2a), estructuras externas de desmoldeo de escorias de wüstita (Fig. 2b), restos de ladrillos refractarios (Fig. 2c), o pulidos parciales por ruedas de vehículos, exactamente iguales a la muestra BMW-1994 (Fig 2d). Revisando la foto del BMW-1994 impactado (Fig. 3a) es muy probable que el ángulo de entrada pudiera haber sido de unos 20° o 25°. En el caso del Lada-1999, el ángulo no admite dudas porque la piedra dejó una raya en la chapa de la puerta del vehículo de unos 20° o 25° respecto a la horizontal (Fig. 3b). En el caso del km-11 (Lada-1999) existe un puente justo en-

cima y en el caso del km-17 (BMW-1994) hubo registros de agua y paramentos de cemento. En el tramo km-11 a km-22 se observan numerosos agujeros en las vallas, puentes, muretes de cemento y restos de construcciones cercanas a la autopista.

### Discusión

Los análisis semi-cuantitativos de proporciones de fases (minerales artificiales) en los 16 ejemplares analizados muestran fases características de escorias de hierro como wustita-larnita-gehlenita-cromita (BMW-1994), wustita-larnita-cromita (LADA-1999), wustita-gehlenita-magnetita (Arcelor-actual), gehlenita-kirschteinita (Varosa-actual), escorias de pistas de caminos en kms-9-10-11 con wustita, gehlenita, larnita, cromita. Aparecen muchas fases diferentes (wustita, larnita, gehlenita, cromita, magnetita, kirschteinita, monticellita, akageneita, bredigita, grafito, mayenita, cuarzo, calcita, sillimanita, wollastonita), todas ellas son silicatos y óxidos de hierro, calcio y menos magnesio con cromo y cobre accesorios. Estas fases tienen una explicación siderúrgica muy sencilla porque en la pri-

mera fase reductora se añade carbón para de-fosforilar el fundido de hierro, en este ambiente reductor se produce abundante wustita (FeO). En la segunda fase (oxidante) se añade arena y caliza-dolomía para de-sulfurar el fundido de hierro y se forman los silicatos cálcicos-magnésicos y/o de hierro. La gran variedad de fases se explica por la compleja composición de las chatarras y de los fundentes y minerales añadidos (carbón, calizas, arenas) en procesos de altas temperaturas. Los elementos minoritarios cobre y cromo refuerzan el origen-chatarras por su probable procedencia de conducciones eléctricas y aceros cromados. La ausencia del níquel, característico en meteoritos, en las muestras también es un dato muy significativo. Las texturas dendríticas, esferulares y fibrosas de las muestras son muy características de rápidos enfriamientos y rápidos crecimientos cristalinicos que pueden haber tenido lugar en fundiciones de hierro. Las masas de hierro metal, sin níquel, con estructuras globulares indican enfriamientos sub-aéreos (Fig. 2a). Las estructuras de desmoldeo de algunas muestras de wustita y silicatos cálcicos indican que ha existido moldeo



**Fig. 3.- Impactos de escorias de Aristrain en vehículos circulando por la autopista de Andalucía: (a) Caso del BMW en 1994, obsérvese una trayectoria de unos 25° respecto a la horizontal, (b) Caso del Lada-Niva en 1999, obsérvese la misma trayectoria de unos 25° respecto a la horizontal.**

*Fig. 3.- Stoned cars with steel slag in the Andalusia motorway: (a) at 1994, on a BMW car in Km-17 and (b) at 1999, on a Lada-Niva car in Km-11. Note the near-horizontal stone trajectories, circa 25° in both cases, as follows: (a) screen-steering wheel, and (b) scratches in the window frame.*

en caliente sobre cubetas refractarias de geometrías curvas (Fig. 2b), los restos de ladrillos refractarios están asociados físicamente a las escorias (Fig. 2c). La observación detallada de las pistas actuales indica pulidos parciales por ruedas de vehículos exactamente iguales al que tiene la muestra BMW-1994 (Fig. 2d). Las estrías desorientadas de las muestras pulidas tienen ángulos agudos que son imposibles en pulidos de vuelo con la sencilla explicación alternativa de que se han podido producir por fricción de granos abrasivos. La existencia de vidrios blancos de silicatos cálcicos y negros de silicatos de hierro en la muestra BMW-1994 también se explica mejor dentro de una fundición de hierro a temperaturas superiores a los 1600°C que durante un vuelo de meteorito. En el caso del BMW-1994, por la fotografía (Fig. 3a), parece que hay un probable ángulo de entrada de unos 20° o 25° o incluso se puede admitir como correcto los 30° propuestos por Martínez-Frías (1999). En el caso del Lada-1999, el ángulo de trayectoria de caída de la piedra no admite dudas porque marcó una raya en la chapa de la puerta del vehículo, a unos 20° o 25° respecto a la horizontal

Nº de muestra	Descriptiva de las muestras	Susceptibilidad Magnética $\chi$ ( $10^{-6}$ CGS)	Peso Específico $g/cm^3$
1	Caida en 1994 sobre un coche BMW en marcha (km-17). Color negro, grandes poros	595	1.67
2	Caida en 1999 sobre un coche Lada-Niva en marcha (km-11). Color negro, grandes poros, hierro e inclusiones silicatadas.	828	3.47
3	-Aristrain (Villaverde, Madrid), Color negro y grandes poros.	646	2.98
4	negro, por	530	3.28
5	Escoria recogida a 200 metros de la N-IV a la altura del km-11,	316	1.55
6	Escoria recogida a 300 metros de la N-IV a la altura del km-14. stales fibrosos.	201	3.01
7	Escoria recogida a 300 metros de la N-IV a la altura del km-14	105	3.14
8	Escoria recogida a 300 metros de la N-IV a la altura del km-14. os grandes, gotas de hierro.	327	2.93
9	Escoria recogida a 300 metros de la N-IV a la altura del km-14.	296	2.97
10	Escoria recogida a 600 m. de la N-IV, recogida a la altura del km-15. Col	715	3.27
11	Escoria recogida a 500 m. de la N-IV, recogida a la altura del km-	647	2.96
12	Escoria recogida a 100 m. de la N-IV, recogida a la altura del km-	654	1.47
13	Escoria recogida a 2000 m. de la N-IV, recogida en una cantera de arena a la altura del km- irregulares y con gotas de hierro.	497	3.32
14	Escoria recogida a 8 m. de la N-IV, recogida a la altura del km-20.	69	1.53
15	Escoria recogida a 20 m. de la N-IV, recogida a la altura del km-21. con goats de hierro.	322	1.13
16	Escoria recogida a 20 m. de la N-IV, recogida a la altura del km-	166	2.61
17	Escoria recogida a 200 m. de la N-IV, recogida a la altura del km- roximadamente de un 90% de hierro y 10% wustita (FeO).	956	4.66

**Tabla I.- Tabla con datos físicos de las 17 escorias analizadas: Número de muestra, descripción, susceptibilidad magnética  $\chi$  ( $10^{-6}$  CGS) y peso específico ( $g/cm^3$ ).**

*Table I.- Physical data of the analysed samples: Code number, description, magnetic susceptibility  $\chi$  ( $10^{-6}$  CGS) and specific gravity ( $g/cm^3$ ).*

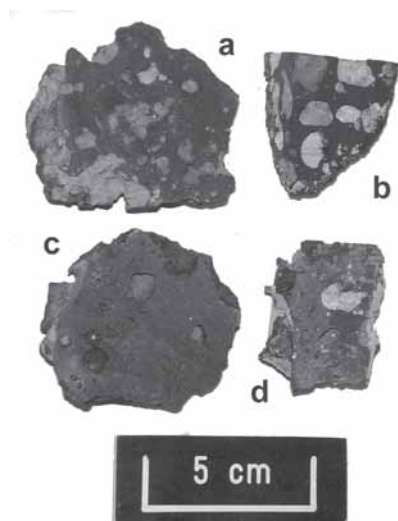


Fig. 4.- (a) Escorias de fundición de Villaverde (Madrid): (a) ejemplar LADA-1999 recogido dentro del propio coche; (b) ejemplar BMW-1994 recogido dentro del propio coche; (c) Escoria análoga a LADA-1999 recogida en el mismo km-11; (d) Escoria análoga a BMW-1994 recogida en km-15.

Fig. 4.- (a) Iron slag from the Aristrain factory: (a) sample LADA-1999 taken from the car inside; (b) sample BMW-1994 taken from the car inside; (c) Analogous slag to LADA-1999 collected from km-11; (d) Analogous slag to BMW-1994 collected from km-15.

(Foto-Fig. 3b). Ambas trayectorias corresponden probablemente a piedras impulsadas desde posiciones parecidas. Haciendo un sencillo cálculo de cinéticas de vuelo, se puede saber que la velocidad de los proyectiles pudo estar entre 8 y 16 m/s, y que los objetos fueron lanzados entre 3 y 13 metros por encima de los puntos de

impacto. Se puede concluir que todas las muestras analizadas en este trabajo presentan composiciones y texturas de escorias de hierro con diferentes porcentajes de wustita (FeO), hierro metal y silicatos de calcio y hierro, junto con cantidades accesorias variables de cobre y cromo. En ambos casos, las trayectorias de vuelo son de unos 20° a 25° respecto de la horizontal lo que cinéticamente concuerda más con un impulso humano que con una caída de meteorito. En los kilómetros 11 (Lada-Niva) y 17 (BMW) existen suficientes escondrijos para personas, como pozos, paramentos o puentes. En los entornos de estos puntos K-11 y K-17 también existen toneladas de escorias de fundición de hierro muy próximas a la autopista con características muy parecidas a las muestras voladoras (Fotos-Fig. 4). Todos estos datos apuntan inequívocamente que la muestra BMW-1994 es una escoria de la fundición de chatarras de Aristrain (Villaverde, Madrid). Entre las apreciaciones incorrectas observadas sobre estas muestras en la bibliografía (por ej. Martínez-Frías, 1999 y Martínez-Frías *et al.*, 1999) destaca el uso de un tratamiento para meteoritos, tanto por el léxico geológico utilizado (geoquímica, rocas, minerales, paragénesis, meteoritos, etc.), por las denominaciones de la propia muestra (meteorito, roca, pseudo-meteorito, posible-meteorito, supuesto-meteorito, etc), por las técnicas utilizadas (<sup>14</sup>C, isótopos, microsonda, gases nobles) y por las descripciones de estructuras y cinéticas (trayectoria de vuelo, efectos del impacto, marcadores morfo-estructurales de vuelo,

micro-cráter). Independientemente de la discusión científica, sigue existiendo un indiscutible problema de seguridad vial, aun no resuelto, debido a la presencia cercana a la autopista de proyectiles de hierro, con pesos específicos cercanos a cinco (por ej. km-15), de escondites, accesos y de población marginal cercana.

**Conclusiones**

Se concluye que la muestra BMW-1994 es una escoria de fundición de chatarras por los siguientes motivos: (1) esta compuesta por wustita, silicatos ferro-cálcicos y hierro sin níquel, (2) tiene cobre y cromo accesorios procedentes de hilos de cobre y aceros cromados de las chatarras, (3) tiene texturas fibrosas, dendríticas y globulares de enfriamientos rápidos desde temperaturas superiores a 1600°C, (4) tiene un pulido parcial y estrías de fricción mecánica con granos abrasivos en una parte de la piedra, por haber estado en la superficie de una pista de tierra, (5) en los alrededores del km-17 existen toneladas de escorias afines a la muestra BMW-1994, (6) en el entorno amplio del km-17 de la autopista de Andalucía hubo y hay numerosos registros de agua y muros que pudieron servir de escondrijos para personas, (7) las trayectorias de impacto (unos 25°C) corresponden a propulsiones terrestres.

**Referencias**

Díaz-Martínez, E., Sanz-Rubio, E., Fernandez y C., Martínez-Frías, J. (2001). En: *Geogaceta* 30, 47-50.  
 Martínez-Frías, J. (1994). En: *Internal Report*. Departamento de Comunicación y Prensa CSIC, Madrid 1-3.  
 Martínez-Frías, J. (1996). Conferencia en el Scotiabank Marine Geology Research Laboratory (SMGRS). Department of Geology, Earth Sciences Centre, University of Toronto, Canada.  
 Martínez-Frías, J. (1997). En: *Internal Report*, Dirección General de Investigación Científica y Técnica, Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid, 1-4.  
 Martínez-Frías, J. (1999). *Geogaceta* 26, 215-218.  
 Martínez-Frías, J., Weigel, A., Marti, K., Boyd, T, Wilson, G.H. y Jull, T. (1999). *Revista de Metalurgia* 35, 308-315.  
 Martínez-Frías, J., Benito, R., Delgado, A. y Rodríguez-Losada, J.A. (2004). *Macla* 2, 55-56.  
 Martínez-Frías y J., Madero J. (2004). *Interdisciplinary Science Reviews* 29(2), 1-6.

FASES DETECTADAS POR DRX (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Larnita	47	54	35		50			85		60	50		20			
Gehlenita	18	22							15		30					
Cromita	25		40	58	25				5			75		35		
Magnetita	9	12								25			15			
Kirschsteinita			20									25	30			
Monticellita				39	20								35			
Akaganeita					5											
Bredigita							95									
Bustamita								5								
Grafito																
Mayenita		12						15	80	10	15					
Cuarzo																3
Calcita															2	10
Sillimanita																90
Arcillas						5					5					
Goethita				3												
Pseudo-wollastonita														65	90	
Anandita %			5													

Tabla II.- Resultados de los análisis semi-cuantitativos de fases estructurales realizados por difracción de rayos X (método del polvo).

Table II.- Semi-quantitative analyses of structural phases of samples by X-ray diffraction (powder method).