

## ENSAYO DE DIRECCIÓN DE ARRIBO AL METEORITO CAÍDO EL 15 DE SEPTIEMBRE DE 2007 EN CARANCAS-PERÚ

Ricaldi Yarvi Edgar<sup>1</sup>, Miranda Pedro<sup>2</sup>, Vallejos Victor<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones Físicas, UMSA

<sup>2</sup>Planetario Max Schreier, UMSA

La Paz-Bolivia

### RESUMEN

El 15 de septiembre de 2007 a horas 16:40(UT) se produjo la caída de un meteorito. El impacto ha creado un cráter de 13 m de diámetro y 5 m de profundidad. Sus coordenadas son 16°39'52" S y 69°02'39" W, la elevación del lugar es de 3825 msnm, y se sitúa en el municipio de Carancas, territorio peruano, cerca la frontera con Bolivia. En el presente artículo se realizan dos ensayos posibles para determinar la dirección de arribo del meteorito. Para un cálculo numérico se recurre a la información proporcionada por el Observatorio San Calixto que ha registrado el evento en su estación de infrasonido en territorio boliviano.

*Descriptores:* meteoritos — registro y procesamiento de datos

### ABSTRACT

On September 15, 2007, at 16:40 (UT) 2007 a meteorite impacted Earth producing a crater of 13 m - diameter and 5 m - depth. Located at the coordinates 16°39'52" S and 69°02'39" W, and local altitude of 3825 m asl in the municipality of Carancas in Perú, close to the border with Bolivia. In the present article two possible tests were carried out to determine the direction of precedence of the meteorite. Data of the event registered by the San Calixto observatory's infrasound station in Bolivia was obtained to carry out numerical calculations.

*Key words:* meteorites — observation and data reduction techniques

### 1. INTRODUCCIÓN

Los meteoroides son materia rocosa o ferrosa que caen del cielo, los cuales, cuando impactan en la tierra se llaman meteoritos. Éstos formaban parte del cinturón de asteroides, o de una de las nubes de asteroides llamados "Trojanos más alejados" y que están cercanos a Júpiter. El cambio de órbita puede ser provocado por choques o impactos entre ellos. Los meteoroides orbitaron muchos años (miles o millones) antes de encontrarse con la tierra que órbita a una velocidad de 30 Km/s alrededor del sol. El ingreso puede ser por cualquier dirección.

Las tres cuartas partes de asteroides visibles desde la tierra pertenecen al tipo C, conocidos como condritos carbonáceos. Se considera que son los materiales más antiguos del sistema solar, con una composición que refleja a las primitivas nebulosas solares. Así, a diferencia de la Tierra y de la Luna,

nunca se han reblandecido o recalentado desde que se formaron [4].

Cuando un meteorito ingresa en nuestra atmósfera tiene una energía inicial  $E = mv^2/2$ . El choque con el aire provoca su deceleración (disminuye su velocidad). La fricción con el aire (además de que la presión atmosférica se incrementa al disminuir la altura) provoca un incremento de su temperatura hasta alcanzar puntos de evaporación. En consecuencia, la masa disminuye y crea un frente de onda llamada onda de choque de alta presión. Según [1] se estima una velocidad mínima crítica  $v_k$  de 10 Km/s y la masa evaporada de tierra durante el impacto es mayor que  $M_k = m(v/v_k)^2$ . El límite de energía requerido para pulverizar el terreno es menor que la de su vaporización y la masa expulsada excede a la pulverizada, y se produce el cráter. En consecuencia, los meteoritos sobrevivientes que impactan la tierra tienen velocidades altas,

# CRATER HUANOCOLLO

Victor Vallejos

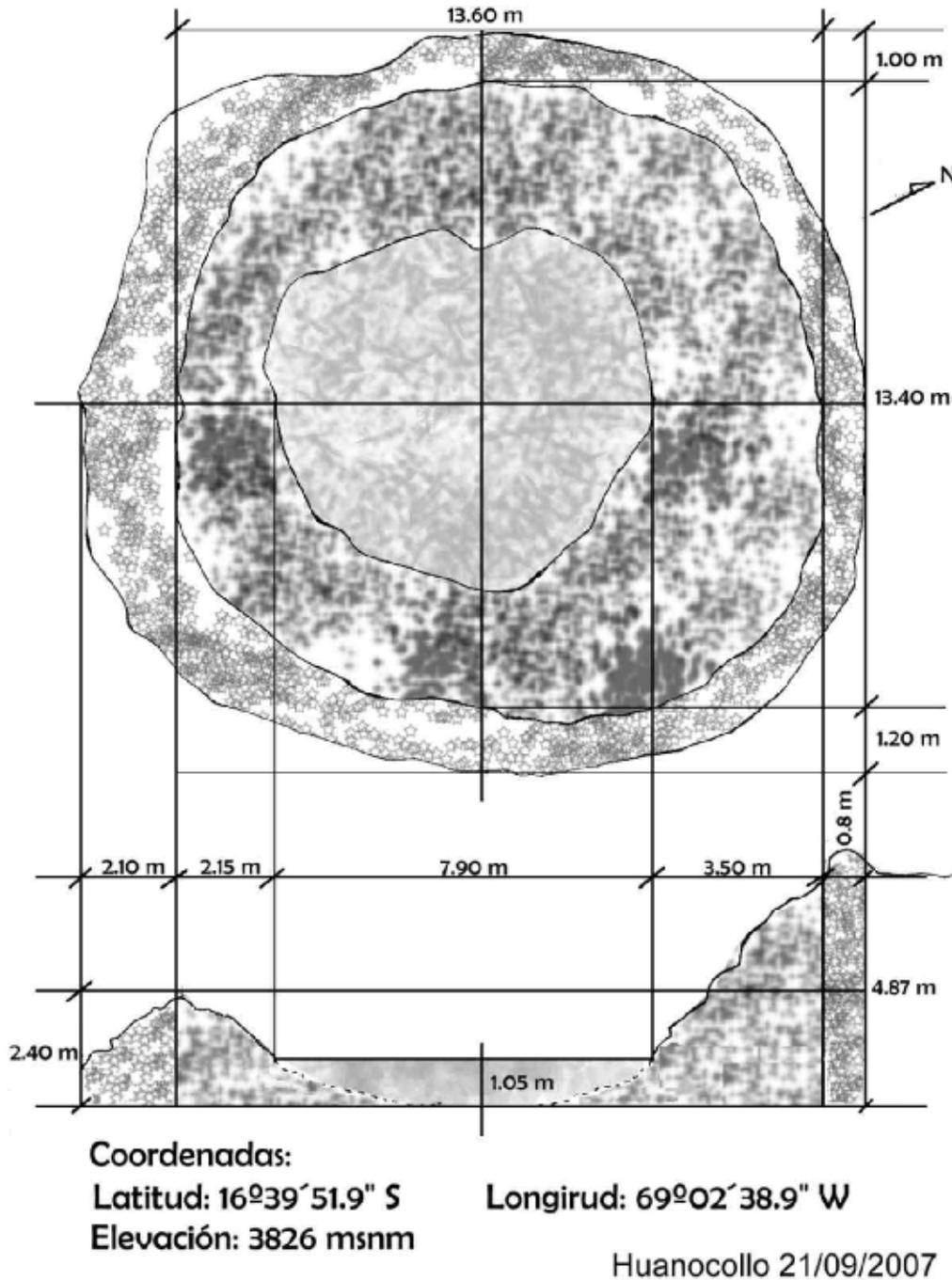


Figura 1. Dimensiones del Cráter Carancas, inicialmente identificado como Cráter Huanocollo.

de otro modo éstos se evaporarían en el aire, esto ocurre con los meteoroides.

La velocidad de ingreso del meteoroides varía entre 12 y 72  $Km/s$ , dependiendo de la dirección [3]. Muchos son frágiles y explotan en la superficie, otros, más consistentes, sobreviven hasta llegar a la tierra. Se clasifican en tres grupos: rocosos, fe-

rreros y la mezcla de éstos.

Como es de esperar durante su ingreso, las alteraciones en la atmósfera pueden ser varias: movimiento de viento, sonidos por fricción o explosión (pulverización), vaporización e incremento de temperatura.

## 2. DATOS DEL METEORITO

En fecha 17 de septiembre se ha visitado el cráter producido por el meteorito y se midieron sus coordenadas. Éstas corresponden a  $16^{\circ}39'52'' S$  y  $69^{\circ}02'39'' W$ . La elevación del lugar es de  $3825 \text{ msnm}$ . Su dimensión está entre 13 y 15 m de diámetro, la parte más elevada del labio está en el Noroeste, como se observa en la figura 1.

La información recabada de los medios escritos indica que los comunarios manifiestan haber visto una estela de humo e incluso fuego, la cual terminó en una explosión; luego verificaron la existencia del cráter. Una persona situada a trescientos metros del evento vio todo el fenómeno, mientras que otros, después del impacto, pudieron todavía distinguir la estela de humo.

## 3. LOS REGISTROS DE INFRASONIDO EN BOLIVIA

El Observatorio San Calixto (OSC) de la ciudad de La Paz, Bolivia, tiene instalada una estación de observación de infrasonido localizada en  $16,22^{\circ} S$  y  $68,46^{\circ} W$ , denominada I08BO. Los escasos datos proporcionados por su directora son: hora de un primer pulso, 16 : 44 : 22, y de un segundo a horas 16 : 44 : 42, ambos presumiblemente son del mismo evento.

### 3.1. Las fases de onda registradas

Las horas proporcionadas por el OSC corresponden a dos frentes de onda distintos, para nuestro análisis se les identificará por  $t_1$  y  $t_2$ . La diferencia de tiempo entre ambos resulta de 20 segundos. Tómese en cuenta que tanto ondas sonoras como infrasonicas se transmiten por el aire con la misma velocidad,  $340 \text{ m/s}$ , diferenciándose únicamente por sus diferentes bandas de frecuencia.

Surgen dos casos de análisis debido a suposiciones que se plantean:

Primero, que el meteorito ha viajado evaporándose hasta llegar al punto de impacto, donde se ha pulverizado definitivamente por explosión y ha formado un cráter.

Segundo, que el meteorito explotó mucho antes de llegar a la tropósfera y pocos segundos después el fragmento mayor se ha pulverizado al formar el cráter. Esta detonación, análoga a la de los truenos, se asemeja a la de los bólidos detonantes.

A continuación presentamos los siguientes ensayos:

### 3.1.1. Caso 1

Las primeras llegadas corresponden al cono del frente de onda de fuente supersónica (creado por el meteorito que se mueve a velocidades superiores a la del sonido), uno de cuyos puntos toca a los sensores infrasonicos en el tiempo indicado en el primer arribo  $t_1$ . Las segundas llegadas corresponden al frente de onda infrasonica producida por el impacto del meteorito con la superficie de la tierra (punto considerado como fuente de onda). En el sensor corresponde a  $t_2$ .

### 3.1.2. Caso 2

Los meteoroides, al contacto con la alta atmósfera, pueden explotar y hasta pulverizarse en el espacio [1][2] creando una gama de sonidos que viajan por el aire, las de alta frecuencia son absorbidas y las de baja frecuencia sobreviven hasta llegar al detector infrasonico. Como en nuestro caso la caída es casi vertical, tenemos:

Las primeras llegadas ( $t_1$ ) corresponden al frente de onda infrasonica producida por el impacto del meteorito con la superficie de la tierra (punto considerado como fuente de onda). Las segundas llegadas ( $t_2$ ) corresponden a la explosión en el espacio, aproximadamente a  $70 \text{ Km}$  de altura [2].

En las figuras 2 y 3 se muestran las ilustraciones para ambos casos.

## 4. DIRECCIÓN DE ARRIBO DEL METEORITO

Realizando las medidas de distancia con las coordenadas arriba indicadas y con la ayuda de *google earth* (disponible en internet), encontramos la distancia del punto de impacto al OSC.; la misma resulta de  $80 \text{ Km}$ , correspondiente a  $X$  en la figura 2.

### 4.1. Caso 1

Haciendo referencia a la figura 2, el tiempo que viaja la onda de impacto la distancia  $X$  es:

$$t_x = \frac{X}{v_s} = \frac{80}{0,34} \text{ s} = 235,29 \text{ s} = 0 : 3 : 55,29 \quad (1)$$

y el tiempo que le tomó a la onda producida en el aire es:

$$t_h = t_x - 20 \text{ s} = 215,29 \text{ s} \quad (2)$$

Por tanto la distancia  $h$  resulta:

$$h = v_s \times t_h = 73,2 \text{ Km} \quad (3)$$

En consecuencia, el ángulo de incidencia es:

$$\phi = \arcsen\left(\frac{h}{x}\right) = 66,2^\circ, \quad (4)$$

la distancia recorrida por el meteorito es:

$$m = X \times \cos(66,2^\circ) = 80 \text{ Km} \times 0,4 = 32 \text{ Km}, \quad (5)$$

y la hora verdadera del impacto resulta:

$$t_i = t_2 - t_x = 16 : 44 : 42 - 00 : 03 : 55 = 16 : 40 : 47 \quad (6)$$

Con la distancia  $h$  podríamos proyectar una altura  $Z$ , e incluso definir las coordenadas horizontales de acimut y altura, ésto no es posible por falta de mayores datos.

#### 4.2. Caso 2

Haciendo referencia a la figura 3, el tiempo que le tomó a la onda del impacto es la misma que el caso anterior  $t_x = 235,29 \text{ s}$ , mientras que el tiempo que le tomó a la onda de la primera explosión, que es ahora el segundo pulso, es:

$$t_H = t_x + 20 \text{ s} = 255,29 \text{ s}. \quad (7)$$

Por tanto la distancia  $H$  resulta:

$$H = v_s \times t_H = 86,8 \text{ Km}. \quad (8)$$

Para calcular el ángulo  $\phi$  usamos las recomendaciones de [2] y tomamos la distancia  $M$  aproximadamente a  $X$ , de donde obtenemos una altura aproximada de  $73 \text{ Km}$ . En consecuencia el ángulo de incidencia es:

$$\phi = 2 \times \arcsen\left(\frac{H/2}{x}\right) = 65,03^\circ. \quad (9)$$

Como se puede observar, este ángulo es aproximado.

La hora verdadera del impacto será, entonces:

$$t_i = t_1 - t_x = 16 : 44 : 22 - 00 : 03 : 55 = 16 : 40 : 23 \quad (10)$$

### 5. CONCLUSIONES

Observando los cálculos realizados para ambos casos, tenemos para el primero un ángulo de incidencia aproximado de  $66,2^\circ$  (visto desde el plano terrestre) y el impacto a horas  $16 : 40 : 47$ , no pudiendo ajustar los acimuts con certeza. Sin embargo, la dirección de arribo de las ondas de impacto son de Suroeste hacia Noreste.

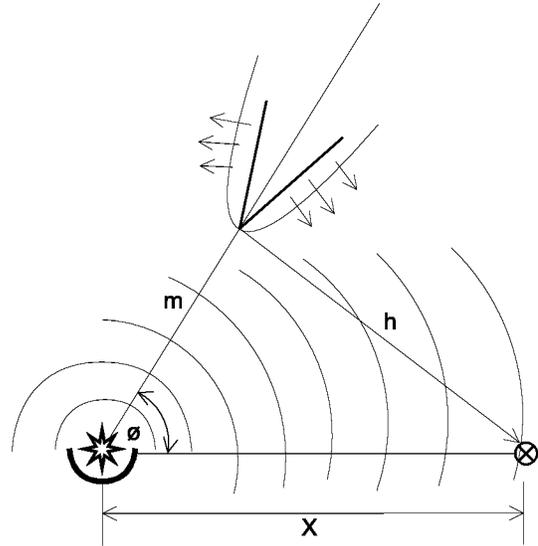


Figura 2. Ilustración del movimiento del sonido con explosión en el impacto.

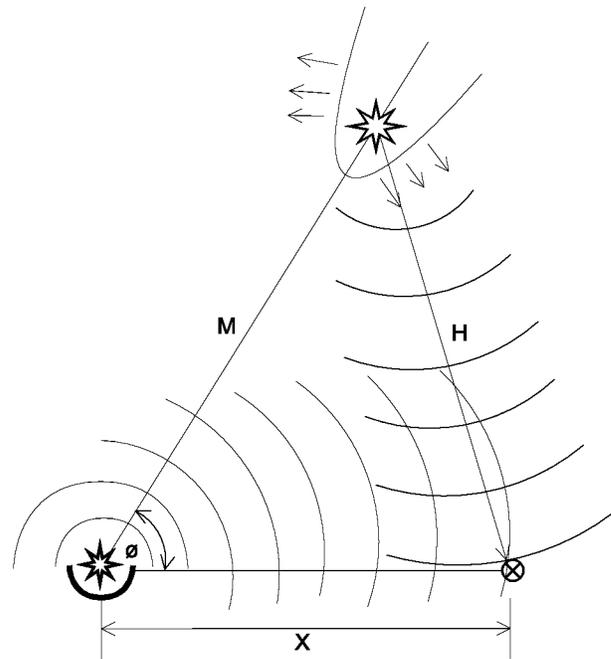


Figura 3. Ilustración del movimiento del sonido con explosión en el aire.

En el segundo caso, el ángulo  $\phi$  es de  $65,03^\circ$  —tomando la consideración de meteoroides explosivos—, la explosión fue a una distancia  $H$  de  $86,8 \text{ Km}$  o a  $73 \text{ Km}$  de altura sobre la superficie y el impacto a horas  $16 : 40 : 23$ .

En estos dos ensayos simples hemos ilustrado la forma de calcular preliminarmente una dirección de arribo. Sin embargo, no son concluyentes, puesto que hacen falta más datos para los acimuts.

Este trabajo despierta la necesidad de buscar un

mecanismo independiente de detección de puntos de impacto para el estudio de meteoritos u otras fuentes de infrasonidos.

La estructura del cráter muestra un ángulo preferencial que se puede incorporar al análisis, muestra características de una caída casi vertical de Sureste a Noroeste, dando validez al modelo adoptado.

#### REFERENCIAS

- [1] Zel'dovich Ya. B., Raizer Yu. P. *Physics of Shock Waves and High-Temperature Hydrodynamic Phenomena*, Academic Press, 1967.
- [2] <http://www.imo.net/fireball/meteorites>, International Meteor Organization (IMO), 2007.
- [3] Zeilik M., Gregory S. A., *Astronomy & Astrophysics*, Saunders College Publishing, 1998.
- [4] *Microsoft Encarta 2006*.