

Guía de Observación Visual de Meteoros

Observación y Preprocesamiento de Datos

Texto adaptado de la guía publicada por Orlando Benítez Sánchez (SOMYCE)

PRIMERA PARTE: OBSERVACIÓN DE METEOROS

1. Introducción

La observación de meteoros se puede realizar de distintas maneras dependiendo del estudio que se quiera realizar o de la actividad meteórica que se prevea que va a producirse.

Si quisiésemos conocer el desplazamiento del radiante de una lluvia, lo conveniente sería dibujar el máximo número de meteoros sin importarnos perder alguno cuando la actividad subiese. Sin embargo, si nos interesa saber el número máximo de meteoros que alcanza una lluvia, llegaría un momento (de seguir dibujando todos los trazos) en que la actividad sería tan alta que estaríamos más tiempo anotando datos que observando el cielo.

Por tanto, con alta actividad, la alternativa al dibujo es el conteo de meteoros en una grabadora, prescindiendo de parte de la información, como el trazo, la velocidad, altura sobre el horizonte...etc, en favor de la magnitud y estela a intervalos de tiempo regulares.

Entre los 500 y 1000 meteoros por hora (niveles de subtormenta) el conteo pierde mucha de su utilidad, y para actividades de tormenta los únicos métodos fiables son la fotografía y el vídeo, aunque todavía las observaciones visuales son necesarias para obtener correlaciones entre ambas técnicas. Brevemente, se resumen las tres formas en las que se puede observar meteoros:

- **Trazado**

Se dibujan todos los meteoros observados. Primero se dibuja el trazo, ya que es el dato más importante y luego se completa el resto de los datos de la hoja de reporte, como el número de orden, magnitud, velocidad, precisión del trazo, altura sobre el horizonte, estela y su duración en segundos.

- **Semiconteo**

Es una variante del anterior. En este método sólo se dibujan aquellos meteoros que provengan de una zona en estudio, por ejemplo si observamos acuáridas, solo dibujamos los que provengan de esos raudales y sólo contamos, indicando magnitud y la estela de los esporádicos. El objetivo de este método es perder el menor tiempo posible, a la vez que se registran el máximo número de meteoros de los enjambres que interesan.

- **Conteo**

Sólo se registran los datos fundamentales de cada meteoro; magnitud, duración de la estela y enjambre al que pertenece. El conteo exige clasificar directamente los meteoros, lo que debe hacerse con mucho cuidado. Es necesario conocer de antemano las posiciones de los raudales activos, así como las velocidades típicas de sus meteoros.

La hora de aparición de cada meteoro no se anota, pero hay que indicar suficientes marcas de tiempo, por ejemplo a intervalos de 10 ó 15 minutos (si la actividad es mayor incluso cada 5 minutos o menos).

No debemos pensar en las técnicas de observación visual que se describen en esta guía como si de compartimentos estancos se tratase, sino que en realidad es un único método que se va adaptando al nivel de meteoros observado y a las condiciones del propio observador. Sea cual fuere la metodología

empleada, todas las observaciones y datos deben ser individuales, en otras palabras, una hoja de reporte por observador. Observar en grupo compartiendo una sola hoja de reporte inutiliza completamente la observación.

Siempre hay que anotar todos los meteoros que veamos dentro de nuestro campo de visión. Así, si observamos un meteoro en el límite de nuestro campo de visión, pero no tenemos precisión para dibujarlo, sí podemos anotar la magnitud, estela y velocidad. No obstante no deberemos anotar nunca meteoros vistos cuando no realizáramos observaciones, a no ser que fuera un bólido (meteoro de magnitud ≥ -3.0).

Esta guía nos dará unas instrucciones sencillas para que los resultados observacionales sean de interés científico. Las directrices aquí dadas están pensadas para que sea el mismo observador el que envíe sus datos preprocesados a la Sección de Meteoros de la LIADA para su posterior evaluación y publicación.

2. El material y los preparativos de una observación

El material de registro varía dependiendo del tipo de observación:

- Para el **dibujo** de los meteoros, un tablero de madera de 50 x 60 centímetros resulta imprescindible, ya que permite tener 4 ó 5 cartas a mano, las cuales, junto a la hoja de reporte serán pegadas a la tabla con cinta adhesiva. Otros accesorios son una linterna de luz roja débil (asegurarnos de llevar pilas) y un rotulador azul, negro o bolígrafo. Nunca lápiz porque la humedad puede borrar los datos.
- Para el **conteo** una grabadora o libreta son imprescindibles. Sólo se anotan los datos más importantes: magnitud, estela (duración en segundos), MALE y Cielo Cubierto (a intervalos de tiempo). Por supuesto, la lluvia a la que pertenece el meteoro se ha de indicar claramente. Las anotaciones, de hacerse por escrito, nunca se harán en hojas sueltas, sino en una libreta.

Otras consideraciones

Como en toda observación astronómica, la ropa de abrigo es imprescindible. La observación visual de meteoros se realiza echado en el suelo. Aislantes para el suelo, saco de dormir y una almohada son del todo imprescindibles, además de toda la ropa de abrigo que podamos llevar, incluso en épocas del año en la que parezca que no hace mucho frío.

Siempre hay que conocer que otras lluvias hay activas en esa noche. Esto es así porque si en un momento dado observamos una actividad inusual de alguno de los radiantes, con el método del dibujo perderíamos mucho tiempo y meteoros; también porque, si conocemos los radiantes, sólo se dibujarán los posibles "candidatos" y aquellos que no lo sean (los esporádicos) sólo serán contados, pudiéndose así observarse muchos más meteoros.

Una vez conocidas las lluvias que hay esa noche (cálculo que realizaremos en casa tranquilamente viendo que lluvias hay esa noche y localizándolas en el cielo), podremos instalados cómodamente para observar. Antes de comenzar se ha de iniciar un período de adaptación a la oscuridad que puede durar 10 o 15 minutos. Podemos aprovechar para escribir en la hoja de reporte los datos generales, como la fecha, hora de comienzo, lugar de observación...etc.

También es imprescindible reconocer la carta y orientarse, así como elegir adecuadamente las estrellas que nos servirán de referencia para estimar la magnitud de los meteoros. Varias noches antes de observar, por ejemplo, aprovechando las noches de Luna Llena, deberemos familiarizarnos con las constelaciones, ayudándonos de un planisferio o de las mismas cartas de meteoros.

3. Descripción de la hoja de reporte

La hoja de reporte de la Sección de Meteoros de la LIADA incluye los datos generales que se describen a continuación:

Lluvia(s) observada(s): Son las lluvias observadas una determinada noche, por ejemplo las Táuridas Norte y Sur, Oriónidas...etc.

Hoja Nº ...de...: Si utilizamos varias hojas de reporte y cartas conviene numerar las hojas, escribiendo también todos los datos en cada una de ellas.

Fecha: Siempre usar el formato doble, ej. 09-10/octubre/94 a fin de evitar confusiones (no poner noche o madrugada).

Observador: La observación siempre es individual: un observador una hoja de reporte con su respectivo juego de cartas.

Dirección postal: Se coloca la dirección, donde el observador normalmente recibe su correspondencia.

Lugar de observación: Escribir el nombre de la localidad desde donde se observa. Siempre que sea posible se han de indicar las coordenadas geográficas (Latitud, Longitud y Altura sobre el nivel del mar).

Región observada: Se indican las coordenadas del centro del campo de observación (α , δ). El Centro de Visión se determina considerando las posiciones de los radiantes activos. Debe estar a menos de 40° de ellos y a unos 50° sobre el horizonte.

Nubosidad: El cálculo de la nubosidad se lleva a cabo anotando el tanto por ciento, de cielo cubierto, de nuestro campo de visión. Ya que se trata de un factor muy variable (no tiene una columna fija) la nubosidad debe estimarse tan pronto como las condiciones cambien, sin olvidarnos de anotar el momento en que desaparecen las nubes.

Obstáculos: Se refiere a limitaciones en el campo de visibilidad por montañas, árboles, infraestructura y otros.

Tiempo de registro por meteoro: Se anota el tiempo perdido al anotar o dibujar un meteoro. Este dato se utilizará para obtener el tiempo efectivo de la observación.

Periodos de observación: Siempre usar hora exacta en T.U. (en caso de tener duda sobre la determinación de T.U. se debe consultar con el coordinador de la Sección de Meteoros). Antes de ir a observar hay que poner nuestro reloj a punto con las señales horarias. Después de una interrupción en la observación, por ejemplo, debido a un descanso, se inicia otro periodo de observación.

Durante la observación no es necesario indicar la hora a la que aparecen todos los meteoros, bastará hacer marcas de tiempo a intervalos, por ejemplo, una cada media hora si la actividad es baja o cada 15 minutos si vemos que sube. Las marcas de tiempo serán tanto más cortas entre sí cuantos más meteoros observemos. Si la actividad es baja (máximo 15 meteoros por hora), podemos anotar la hora cada vez que veamos un meteoro. En ninguno de los casos es necesario anotar los segundos a no ser que observemos un bólido brillante.

Datos Observacionales:

Nº: Es el número de orden de los meteoros vistos: 1, 2, 3 .. etc.

TU: Hora a la que se observa un meteoro.

Magnitud: La magnitud del meteoro se asigna por comparación con estrellas vecinas. Antes de observar se elige una secuencia de comparación de estrellas cuya magnitud es conocida. Las cartas de observación ya tienen las magnitudes de muchas estrellas que nos pueden servir de referencia. Solo se aceptan magnitudes enteras: 2, 3, 4.. etc.

Velocidad: Se anota como MR (muy rápido), R (rápido), M (moderado), L (lento), ML (muy lento).

MALE: La magnitud límite se calcula, contando el número de estrellas que se distribuyen en el interior (contando también las del contorno) de varias de las 30 zonas repartidas por todo el cielo a tal fin y luego se hace un promedio. Las zonas deben elegirse dentro del campo de visión, evitando las que están próximas al horizonte o cerca de fuentes de polución lumínica. Por lo general se ha de calcular cada media hora, aunque puede obtenerse incluso una estimación cada hora siempre y cuando veamos que no cambia. Al inicio de la observación se hace siempre la primera estimación y luego cada cierto tiempo. **Nunca se hace una estimación al final de la observación.**

Radiante: En esta columna se indican los radianes, es decir, la lluvia a la que pertenece cada meteoro. Si se hace conteo, se indica directamente durante la observación, aunque lo normal es que se haga en casa cuando reduzcamos los datos. Si un meteoro no puede ser atribuido a ninguno de los radianes conocidos, se lo anota como “esporádico”.

Comentarios: Se anota cualquier fenómeno llamativo, como estela, desintegración, ruido, etc. En el caso de las estelas se anota la duración en segundos y el color.

4. Descripción de las cartas de observación

Para la observación de meteoros sólo se debe utilizar el Atlas BRNO 2000.0, ya que es el único que permite dibujar los meteoros como trazos rectos. Esto tiene la pequeña desventaja de mostrar las constelaciones del borde de las cartas algo deformados tal como se vería en el cielo. El Atlas consta de 12 cartas que cubren todo el cielo a simple vista. La magnitud límite es, por tanto, la +6.5^m. Para ayudar en la estimación de las magnitudes de los meteoros se indican las de muchas estrellas. Al igual que en las cartas de variables, se suprime el punto decimal para evitar confusiones con estrellas.

5. Preparando una Observación

Paso 1. Antes de observar debemos consultar al listado de lluvias y ver cuales están activas en la noche de observación. Suponiendo que vamos a observar del 9 al 10 de octubre, las lluvias activas según el listado de la *International Meteor Organization* son:

Enjambre	Período	Máximo	Radiante		Deriva		V _z	Velocidad aparente
			a	d	Da	Dd		
d-Aurígidas	05Sep - 10Oct	9-Sep	60	47	1.0	0.1	64	RMR
Capricórnidas	20Sep - 14Oct	3-Oct	303	-10	0.8	0.2	15	ML/L
s-Oriónidas	10Sep - 26Oct	5-Oct	86	-3	1.2	0	65	RMR
Dracónidas	06Oct - 10Oct	9-Oct	262	54	0.4	0	20	ML
Oriónidas	02Oct - 07Nov	21-Oct	95	16	1.2	0.1	66	RMR
Táuridas Sur	15Sep - 25Nov	3-Nov	50	13	0.8	0.15	27	L/M
Táuridas Norte	13Sep - 25Nov	12-Nov	58	22	0.8	0.1	30	L/M

Paso 2. Conocidas las lluvias hay que calcular las coordenadas. La expresión general que se aplica es:

Coordenadas del radiante en la fecha en que observamos = Coordenadas del radiante en el máximo ± (días que pasan o faltan para el máximo por la Deriva Diaria de la lluvia).

Veamos cómo calcularíamos las coordenadas de las lluvias activas del 9 al 10 de octubre:

d-Aurígidas (máximo 9 de septiembre). Velocidad Geocéntrica (V_{∞}) de 64 km/s (meteoros rápidos)

$$\alpha = 60^{\circ} + (+1.0^{\circ} \times 31 \text{ días}) = 91^{\circ} = 06^{\text{hh}} 04^{\text{mm}}$$

$$\delta = +47^{\circ} + (+0.1 \times 31 \text{ días}) = 50.1^{\circ}$$

Capricórnidas (máximo 3 de octubre). V_{∞} de 15 km/s (meteoros muy lentos).

$$\alpha = 303^{\circ} + (+08^{\circ} \times 7 \text{ días}) = 308.6^{\circ} = 20^{\text{hh}} 34^{\text{mm}}$$

$$\delta = -10^{\circ} + (+0.2^{\circ} \times 7 \text{ días}) = -8.6^{\circ}$$

s-Oriónidas (máximo 5 de octubre). V_{∞} de 65 km/s. Serán meteoros muy rápidos o rápidos.

$$\alpha = 86^{\circ} + (+1.2 \times 5 \text{ días}) = 92^{\circ} = 06^{\text{hh}} 08^{\text{mm}}$$

$$\delta = -3^{\circ} + (0.0 \times 5 \text{ días}) = -3^{\circ}$$

Dracónidas (máximo 9 de octubre). Velocidad Geocéntrica (V_{∞}) 20 km/s (meteoros muy lentos o lentos).

$$\alpha = 262^{\circ} = 17^{\text{hh}} 28^{\text{mm}}$$

$$\delta = +54^{\circ}$$

Oriónidas (máximo 21 de octubre). V_{∞} 66 km/s (meteoros rápidos).

$$\alpha = 95^{\circ} - (+1.2 \times 11 \text{ días}) = 81.8^{\circ} = 05^{\text{hh}} 27^{\text{mm}}$$

$$\delta = +16^{\circ} - (0.1 \times 11 \text{ días}) = 14.9^{\circ}$$

Táuridas Sur

$$\alpha = 50^{\circ} - (+0.8 \times 24 \text{ días}) = 31^{\circ} = 02^{\text{hh}} 04^{\text{mm}}$$

$$\delta = +13^{\circ} - (0.15 \times 24 \text{ días}) = 9^{\circ}$$

Táuridas Norte

$$\alpha = 58^{\circ} - (+0.8 \times 33 \text{ días}) = 31^{\circ} = 02^{\text{hh}} 04^{\text{mm}}$$

$$\delta = +22^{\circ} - (0.1 \times 33 \text{ días}) = 18^{\circ}$$

Paso 3. Las coordenadas del radiante las pasamos a horas, minutos y segundos para luego usar un atlas y localizar la zona. Para ello se hace una regla de tres:

$$\frac{24 \text{ horas}}{\text{grados radiante}} = \frac{360^{\circ}}{x \text{ grados}}$$

De donde se obtiene que hay que multiplicar por 0.0666 (se obtiene de dividir $\frac{24}{360}$) los grados de las coordenadas del radiante y luego se hace la conversión con calculadora científica. Esto lo hemos hecho directamente en el paso 2.

Paso 4. Al final, en la carta de observación se dibuja el radiante como un pequeño círculo.

Paso 5: Salir a observar según las indicaciones dadas para completar los datos de la hoja de reporte y las cartas.

6. El Conteo de Meteoros

Se puede llenar los datos de la observación directamente en la hoja de reporte, o mejor registrar los datos en una grabadora y luego pasarlos a papel. Se sigue el guión de la hoja de reporte, empezándose por el nombre del observador y el lugar de observación. Es muy importante encontrar las coordenadas geográficas del lugar porque luego las necesitaremos para calcular las Tasas Horarias Zenitales. Tres datos que no pueden faltar al inicio de la observación son la magnitud límite (MALE), el cielo cubierto de nuestro campo de visión y el centro de visión.

Indicamos luego el método observacional . “*conteo de Perseidas/espórâdicos/otras llluvias*”.

En estos primeros compases de la observación ya nos habremos metido en el saco y anotado los datos, transcurriendo tiempo suficiente para que nuestra pupila esté totalmente adaptada a la oscuridad. Inmediatamente antes de empezar, cada observador estima la MALE , el cielo cubierto y elige su centro de visión.

Cuando dictemos en la grabadora, podemos usar cualquier “clave”. Un ejemplo de dictado sería “*Leo de (magnitud) cero, MR, estela 4 segundos; esporâdico de 2, R; ... etc*”. Lo importante es que nosotros entendamos lo que hacemos para que la observación en papel sea legible. Se aconseja no acumular el trabajo e ir pasando a limpio las observaciones en cuanto vayamos teniendo tiempo, para enviarlas lo antes posible a la Sección de Meteoros.

En el resto de las hojas del reporte se verifica que siempre se indica la hora del comienzo del intervalo, el cálculo la MALE (aproximadamente cada 30-45 minutos), hora de un cambio del centro de visión, etc. Si queremos que los intervalos tengan una duración exacta lo mejor es utilizar un cronómetro con alarma.

Un dato que se suele señalar en las observaciones son los “twins”, meteoros simultâneos que aparecen en la misma zona del cielo y tienen la misma magnitud. La hora de aparición de los bólidos más brillantes se puede anotar, ya que a veces se asocia a los máximos de las llluvias.

6.1. Conteo en condiciones de subtormenta y tormenta: El filtrado de magnitudes

A veces podemos tener la suerte de presenciar Tasas Horarias excepcionales. Es posible incluso, que una observación rutinaria se convierta en un descubrimiento si la Tierra encuentra alguna zona de alta densidad de meteoroides. En estos caso lo primero que hay que hacer es mantener la calma y no dejar de observar en ningún momento.

¿Qué hacer cuando la actividad es muy alta?...Respecto al ejemplo comentado hay que hacer muy pocos cambios. La idea principal es siempre la misma, pero volvemos a insistir en ellas.

- La observación ha de ser individual. Cada observador ha de tener su grabadora y cronómetro. La MALE y el cielo cubierto también son datos individuales.

- La duración de los intervalos ha de variarse según la actividad observada. Si empezamos por duraciones de 10 minutos y vemos que la actividad va subiendo por momentos, entonces tenemos que acortarlos a duraciones de 5 minutos, o en un caso más extremo, a intervalos de unos 2 ó 3 minutos. Si la actividad vuelve a bajar se repite el proceso en orden inverso, volviendo a observar en intervalos de mayor duración, pero no más largos de 15 minutos. En todos los casos la magnitud de los meteoros se estima por comparación con estrellas de magnitud conocida.
- Si llegamos a observar una actividad excepcional; parece claro que ni con intervalos de corta duración (2 ó 3 minutos) se podrán anotar todos los meteoros observados (¡aún con grabadora!). En ese supuesto se requiere utilizar un método drástico que consiste en no anotar la magnitud de los meteoros más débiles y descartar todas las estelas, independientemente de la magnitud del meteorito que la produzca. Este método se conoce como filtrado de magnitudes.

En una primera fase del filtrado sólo grabaríamos los meteoros más brillantes de +4, olvidándonos de los más débiles. Dejaríamos de anotar cualquier tipo de estela. El siguiente corte se haría en la magnitud +2, descartando los más débiles, luego sólo los más brillantes de 0... y así haciendo saltos de 2 en 2 magnitudes; cambios que se han de indicar claramente en la grabación.

Hay que tener en cuenta que este método no es independiente del de los intervalos, sino que se trabaja con los dos a la vez. Por ejemplo, podemos observar a intervalos de 5 minutos haciendo el conteo de meteoros hasta magnitud +2. No hay que olvidar que hay que adaptar el método a la actividad observada volviendo a intervalos más largos, o estimando la magnitud y estela de todos los meteoros que veamos si el número de meteoros vuelve a ser normal.

7. Resumen

- Antes de observar es preciso conocer todos los enjambres activos y sus posiciones en el cielo. Dependiendo de la actividad utilizaremos el método más adecuado: dibujo o conteo.
- El Centro del Campo de Visión se elegirá a menos de 40° de los radiantes en estudio y a unos 50° sobre el horizonte. Ha de ser el óptimo para que podamos observar el mayor número de lluvias simultáneamente.
- Las observaciones deben realizarse de forma individual, si es posible en el campo (lejos de luces). No olvidar el material adecuado, la comida, así como la ropa de abrigo.
- Todos los meteoros deben ser registrados, incluso aquellos vistos de reojo o en el límite del campo de visión.
- Sólo se observará un radiante cuando su altura sobre el horizonte sea mayor que 20°. A alturas más pequeñas se ven muy pocos meteoros del enjambre.
- No debemos observar cuando la MALE está por debajo de $\approx +4.5$. Excepciones a esta regla serán las observaciones de lluvias importantes como las Perseidas ó Leónidas durante la Luna Llena. Igualmente, detendremos la observación cuando la nubosidad supere el 30%.
- Además de la fecha y las horas de inicio y final de la observación, los datos básicos que se toman, son la MALE (cada 30-60 minutos), la nubosidad, el centro del campo de visión y el tiempo muerto perdido al anotar cada meteorito.
- Dependiendo de la actividad elegimos el método de dibujo o conteo.
 - Si la actividad global no supera los 20 met/hora se dibujarán todos los meteoros.
 - Cuando la actividad de una lluvia principal sobrepase los 20 met/hora podemos contar los meteoros de dicho enjambre y dibujar el resto.
 - Si la actividad global es mayor de 40 met/hora sólo se hará conteo.
 - Si la actividad es muy elevada a cortos intervalos de tiempo se empleará el método del filtrado de magnitudes.
- Los parámetros más importantes de un meteorito son la magnitud (que se estima por comparación con

estrellas de brillo conocido) y la duración de la estela. Estos datos siempre deben indicarse.

- En el método del dibujo además se estima la velocidad del meteoro (en la escala subjetiva del observador).
- En el método de conteo es necesario indicar el enjambre de cada uno de los meteoros observados.
- Las observaciones no deben limitarse de forma exclusiva a los períodos de máxima actividad. De hecho, los períodos pre y post- máximo tienen mayor importancia por la escasez de observadores activos.
- El tiempo mínimo de observación es de 1 hora de tiempo efectivo. Cuanto mayor sea el tiempo efectivo, más pequeño será el error de los datos. El centro de visión tampoco ha de variarse antes

SEGUNDA PARTE: REDUCCIÓN DE DATOS OBSERVACIONALES

8. Criterios de clasificación del meteoro al radiante

8.1. Alineación con el radiante

El radiante de un enjambre de meteoros es el punto del cielo del que parecen venir todos los meteoros de la lluvia. Un meteoro que no provenga del radiante nunca se puede asociar a él. Para ello el listado de lluvias da el diámetro adecuado (ejemplo. CAP=8°, LEO=1°). Como siempre, los errores en el dibujo (sobre todo los de meteoros lejos del radiante) harán que muchas veces no podamos aplicar estrictamente este criterio.

Otra manera de tratar el problema es suponer que a medida que el meteoro aparezca más lejos el radiante será de mayor diámetro. La tabla siguiente muestra los diámetros que hay que considerar en función de la distancia del meteoro al radiante.

Distancia al radiante	Diámetro óptimo
15°	14°
30°	17°
50°	20°
70°	23°

Si la trayectoria prolongada del meteoro no corta al radiante deberemos entonces clasificarlo como esporádico. Por conveniencia, la tabla inferior presenta los tamaños óptimos para algunos complejos de lluvias.

Distancia al Radiante	15°	30°	50°	70°
δ Cáncridas	20°/15°	25°/20°	27°/22°	30°/25°
α Crúcidas	20°/15°	25°/20°	27°/22°	30°/25°
Virgínidas	30°/20°	32°/25°	35°/26°	40°/30°
β Pavónidas	20°/15°	25°/20°	27°/22°	30°/25°
Scórpidas-Sagitáridas	30°/20°	32°/25°	35°/26°	40°/30°
Táuridas Sur	20°/15°	25°/20°	27°/22°	30°/25°
Táuridas Norte	20°/15°	25°/20°	27°/22°	30°/25°

8.2. Longitud de los meteoros

Por efecto de perspectiva un meteorito próximo a su radiante tendrá una longitud aparente muy pequeña porque se acerca directamente al observador y este lo ve "de frente".

Si el mismo meteorito aparece lejos del radiante tendrá una longitud aparente mayor, pues el observador lo está viendo "de lado". En general, a mayor distancia del radiante mayor será la longitud del meteorito.

Podemos resumir todo esto afirmando que un meteorito largo que aparezca próximo al radiante nunca podrá clasificarse como miembro del enjambre porque la perspectiva exige que sea muy corto. De la misma forma, un meteorito corto lejos del radiante debe clasificarse como esporádico.

8.3. Velocidad aparente

La velocidad de los meteoritos es otro de los criterios básicos que debemos considerar. La longitud de la trayectoria atmosférica y la Velocidad Geocéntrica de todos los miembros de un enjambre es la misma y el tiempo que tardan en desintegrarse también es el mismo. Si embargo la velocidad aparente no es igual. Como los meteoritos cercanos al radiante son cortos y los lejanos largos y todos duran el mismo tiempo, es necesario que los más alejados tengan una velocidad angular mayor para que recorran una trayectoria aparente más larga en el mismo tiempo.

Así, la velocidad angular es más grande conforme el meteorito aparece más lejos de su radiante. Si una lluvia tiene $V = 30^\circ/s$ (velocidad moderada) y vemos un meteorito a 90° del radiante con velocidad rápida, podemos decir que se trata de un miembro del enjambre; si otro meteorito surge próximo al radiante con velocidad rápida deberemos clasificarlo como esporádico (aunque su trazo sea corto), pues tendría que ser moderado o lento para que lo clasificáramos como miembro de la lluvia.

Este criterio puede aplicarse de manera rigurosa con escalas numéricas de velocidad. Para ello necesitaremos la tabla que nos da la velocidad teórica en grados por segundo para una determinada velocidad geocéntrica cuando los meteoritos aparecen a D grados del radiante y su punto de inicio sobre el horizonte se encuentra a una altura h_b .

Si observamos un meteorito para el cual no existe precisión suficiente en el trazo, pero sospechamos que podría ser miembro del enjambre podemos comprobar que la velocidad estimada coincide con la teórica de ese enjambre. Así, podríamos clasificarlo como tal, ya que de las observaciones se conoce h_b y D . En general todos los meteoritos que no presenten la velocidad adecuada deben clasificarse como esporádicos. Para comprobar el criterio de la velocidad angular se utilizan las dos siguientes tablas.

Velocidad Angular w_{obs}	Error $S(w_{obs})$
5 $^\circ/s$	3 $^\circ/s$
10 $^\circ/s$	5 $^\circ/s$
15 $^\circ/s$	6 $^\circ/s$
20 $^\circ/s$	7 $^\circ/s$
30 $^\circ/s$	8 $^\circ/s$

Errores angulares permitidos en la estimación de la velocidad angular en $^\circ/s$ según la velocidad del meteorito

	$V_{\infty} = 20 \text{ km/s}$					$V_{\infty} = 25 \text{ km/s}$				
	$h_b = 10^\circ$	20°	40°	60°	90°	$h_b = 10^\circ$	20°	40°	60°	90°
$D = 5^\circ$	0.2	0.3	0.6	0.9	1.0	0.2	0.4	0.8	1.1	1.3
10°	0.3	0.7	1.3	1.7	2.0	0.4	0.9	1.6	2.2	2.5
20°	0.7	1.3	2.5	3.4	3.9	0.9	1.7	3.2	4.3	4.9
40°	1.3	2.5	4.7	6.3	7.3	1.6	3.2	5.9	8.0	9.3
60°	1.7	3.4	6.3	8.5	9.8	2.2	4.3	8.0	11	13
90°	2.0	3.9	7.3	9.8	11	2.5	4.9	9.3	13	14
	$V_{\infty} = 30 \text{ km/s}$					$V_{\infty} = 35 \text{ km/s}$				
	$h_b = 10^\circ$	20°	40°	60°	90°	$h_b = 10^\circ$	20°	40°	60°	90°
$D = 5^\circ$	0.3	0.5	1.0	1.4	1.6	0.3	0.6	1.1	1.5	1.7
10°	0.5	1.1	2.0	2.7	3.1	0.6	1.2	2.2	3.0	3.4
20°	1.1	2.1	4.0	5.3	6.2	1.2	2.3	4.3	5.8	6.7
40°	2.0	4.0	7.4	10	12	2.2	4.3	8.2	11	13
60°	2.7	5.3	10	14	16	3.0	5.8	11	15	17
90°	3.1	6.2	12	16	18	3.4	6.7	13	17	20
	$V_{\infty} = 40 \text{ km/s}$					$V_{\infty} = 50 \text{ km/s}$				
	$h_b = 10^\circ$	20°	40°	60°	90°	$h_b = 10^\circ$	20°	40°	60°	90°
$D = 5^\circ$	0.3	0.7	1.3	1.7	2.0	0.4	0.8	1.5	2.0	2.3
10°	0.7	1.4	2.6	3.5	4.0	0.8	1.6	2.9	3.9	4.6
20°	1.4	2.7	5.0	6.8	7.9	1.6	3.1	5.8	7.8	9.0
40°	2.6	5.0	9.5	13	15	2.9	5.8	11	15	17
60°	3.5	6.8	13	17	20	3.9	7.8	15	20	23
90°	4.0	7.9	15	20	23	4.6	9.0	17	23	26
	$V_{\infty} = 60 \text{ km/s}$					$V_{\infty} = 70 \text{ km/s}$				
	$h_b = 10^\circ$	20°	40°	60°	90°	$h_b = 10^\circ$	20°	40°	60°	90°
$D = 5^\circ$	0.5	0.9	1.7	2.3	2.6	0.5	0.9	1.8	2.4	2.8
10°	0.9	1.8	3.4	4.5	5.2	1.0	1.9	3.6	4.8	5.5
20°	1.8	3.5	6.7	9.0	10	1.9	3.7	7.0	9.4	11
40°	3.7	6.7	13	17	20	3.6	7.0	13	18	21
60°	4.6	9.0	17	23	26	4.8	9.4	18	24	28
90°	5.3	10	20	26	30	5.5	11	21	28	32

Velocidad angular teórica en función de la altura sobre el horizonte del comienzo del meteoro, la distancia al radiante y la velocidad geocéntrica de la lluvia.

9. Clasificación de los meteoros: Resumen

Para reducir una observación de meteoros se tendrá en cuenta el siguiente proceso:

- a) Se busca en el listado de IMO todos los enjambres activos la noche de la observación. En concreto se calculará la posición de los radiantes (teniendo en cuenta las derivas diarias). Se tendrá en cuenta, tanto la velocidad geocéntrica como el diámetro característico.
- b) Se dibujarán en las cartas de registro y luego, para cada meteoro:
 - Comprobamos que proceda de alguno de los radiantes considerados (es decir, que al prolongar la trayectoria hacia atrás corta o pasa cerca de algún radiante). Hay que emplear los diámetros óptimos dependiendo de la separación meteoro-radiante.
 - Si el meteoro está alineado con uno de los radiantes se comprueba que su longitud fue la adecuada.
 - En el caso de que tenga la longitud correcta pasamos a comprobar su velocidad angular. Normalmente bastará con utilizar la velocidad subjetiva, pero si queremos aplicar este criterio de forma estricta, con la distancia meteoro-radiante (D), la altura del punto de inicio sobre el horizonte (h_b) y la velocidad del enjambre se calcula la velocidad angular teórica que debería haber tenido. Si esta velocidad y la observada no difieren más del error que debería haber tenido, el meteoro pertenece al enjambre.
 - Cuando alguno de los puntos anteriores no se cumple, el meteoro debe clasificarse como esporádico.
- c) En ocasiones, los radiantes están muy juntos y es difícil clasificar los meteoros. Esto sucede con las Táuridas Norte (NTA) y las Táuridas Sur (STA) o con las Delta Acuáridas Norte (NDA) y las Iota Acuáridas Sur (SIA).
- d) Cuando no tengamos claro a que radiante pertenece un meteoro que viene de la zona, podemos clasificarlo simplemente como Táurida (TAU) o Acuárida (AQU).
- e) Hay criterios adicionales que son de gran ayuda en algunos momentos. Por ejemplo, conocer el % de estelas o la magnitud media del enjambre es muy útil si hay dudas. Un meteoro muy brillante que pudiera ser α Capricórnida (CAP) debe clasificarse como tal, ya que esta corriente muestra un gran número de bólidos.

10. Resumen de las observaciones

Una vez clasificados los meteoros, los datos de la observación han de pasarse a una hoja resumen de las observaciones (esta hoja está en diseño). Se debe anotar las horas de inicio y final (incluyendo todas las pausas correspondientes) en TU, indicando los periodos de tiempo en los que se observó de forma continuada. El lugar de observación debe ser registrado con sus coordenadas geográficas (Longitud, Latitud y altura sobre el nivel de mar (H)).

Para cada lluvia registrada se anotan las coordenadas de los radiantes (α : AR y δ : Dec). Es muy importante no equivocarse en el cálculo de los radiantes, ya que la clasificación y el resto de datos depende de ello.

Luego se resume la actividad de las lluvias. Hay que indicar todos los enjambres observados (incluso aunque no mostrasen actividad), el método empleado (P si son dibujados, C si es conteo) y el número de meteoros que fueron observados en ese intervalo. Si hay algún intervalo en que uno de los enjambres no

fuese observado (porque no hubiese salido el radiante o porque el centro del campo de visión no lo permitiera) se lo indicará.

La duración de los períodos de observación puede ser variable, pero en ningún caso menor de 1 hora. Sólo cuando la actividad sea muy alta (tal como veremos en el conteo), los intervalos podrán ser considerablemente menores, e incluso, de hasta 5 minutos. Para cada intervalo hay que indicar el centro del campo de visión (α y δ) en grados, el tiempo efectivo en horas (T_{eff}), el factor de cielo cubierto (F) y la magnitud límite (LM). Conviene destacar que:

- a) Las coordenadas del centro de visión deben darse con un error máximo de $\pm 5^\circ$
- b) El tiempo efectivo se calcula restando al tiempo total del intervalo (en horas) el tiempo muerto que perdimos al anotar todos los meteoros de dicho intervalo.

Por ejemplo, si observamos 30 meteoros, de los que 25 son dibujados y 5 contados, descontaremos 30 segundos por cada uno de los dibujados ($25 \text{ meteoros} \times 30 \text{ segundos} = 750 \text{ seg}$. $750 \text{ seg} / 60 \text{ seg} = 12.5 \text{ min}$), y 5 segundos por cada meteoros contado $5 \times 5 \text{ seg} = 25 \text{ seg}$. $25 \text{ seg} / 60 \text{ seg} = 0.42 \text{ min}$. El tiempo muerto será 12.92

- c) Cuando hay más de una medida de nubosidad o MALE en un mismo intervalo se hacen medias ponderadas, adoptando como pesos el tiempo durante el cual fue válida cada medida. Supongamos, por ejemplo, que entre las 02:00 TU y las 03:00 TU se tomaron tres estimaciones de la magnitud límite: +6.0 a las 02:00 TU, +6.2 (a las 02:15 TU) y +5.9 (a las 02:38 TU). Entonces, la magnitud límite media en dicho intervalo será igual a:

$$LM = \frac{(6.0 \times 15) + (6.2 \times 23) + (5.9 \times 22)}{60} = 6.04$$

donde hemos expresado el tiempo en minutos. Lo mismo se haría con la nubosidad si hubiera más de una medida

- d) El porcentaje de cielo cubierto, K , se estima observacionalmente, para luego obtener el Factor F de cielo cubierto.

$$F = \frac{100}{100 - K}$$

Completados todos los datos, incluyendo el número total de meteoros visto por radiante en el intervalo, se pasa a llenar los totales: la suma de los tiempos efectivos, los promedios de F y MALE (ponderados cada uno con su tiempo efectivo) y el número de meteoros de las lluvias. Con esta información se podrá calcular las respectivas THZ, para lo cual se disponen de programas de computación.

Finalmente se prepara una tabla para indicar las distribuciones de magnitud de cada enjambre. Un ejemplo para 7 meteoros de determinada lluvia podría ser el siguiente (se asume que las estimaciones fueron realizadas con una exactitud de una magnitud):

-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
			1	1		1	1	1		1	1	