ECLIPSES Y CONJUNCIONES. PARADOJAS APARENTES. (Fórmula general).

Se llama conjunción de dos planetas al fenómeno que tiene lugar cuando en sus recorridos, son observados desde la Tierra como coincidentes en una misma posición o muy próximos entre ellos. Como sabemos son posiciones aparentes, solamente están alineados con la Tierra, pero cada uno a una distancia diferente.

Los eclipses de Sol son también coincidencias en las posiciones aparentes del Sol y de la Luna. Estos dos astros en sus recorridos aparentes se cruzan a veces, y se producen los llamados eclipses, como la Luna está más ceca que el Sol, este es ocultado por ella.

En un anterior escrito vimos como los eclipses de Sol eran observados antes de que ocurrieran, en concreto 38 segundos antes. Esta es una de las aportaciones del artículo mencionado, la otra aportación es que los eclipses totales no se dan cuando están alineados los centros el Sol la Luna y la Tierra, sino los centros del Sol la Luna y el punto de observación en la Tierra.

Alguno me ha comentado que esto de ver el eclipse de Sol antes de que suceda es algo difícil de creer. Normalmente los sucesos suelen observarse después de que hayan ocurrido.

Esto habitualmente es así, por ejemplo, en el artículo que escribí sobre la conjunción entre Júpiter y Saturno, esta se observaba 18 minutos después de que hubiera tenido lugar la alineación.

¿Cuál es la causa de esta aparente paradoja?
Si hay conjunciones que se pueden observar antes y otras después tendrían que existir (al menos teóricamente) conjunciones que no se observen ni antes ni después, sino en el mismo momento en que tienen lugar.

Cuando algo va por detrás y luego se coloca por delante, tiene que haber un momento en el que hayan coincidido.

Vamos a ver que en efecto esto puede ocurrir en determinadas condiciones.

En la figura 1 he representado dos astros, el A y el B observados desde un punto C que se ven alineados en ese momento. Se ven en A y B, pero no están en esas posiciones en el instante en que los vemos.

Estos dos astros giran en sentido antihorario alrededor del punto C. El astro A gira a una distancia Da a una velocidad angular W. El astro B lo hace a una distancia menor Db a una velocidad angular mayor $k \cdot W$ siendo $k>1$.

Sean A y B los puntos en los que vistos desde C estos astros aparecen como alineados con C. Es decir, cuando el astro B oculta al A aparentemente.

El tiempo en que tarda la luz en llegar de A hasta C es $ta=Da/c$. Distancia dividida entre la velocidad de la luz. Es decir que cuando se ve el astro A ha pasado un tiempo Da/c desde que estuvo en A.

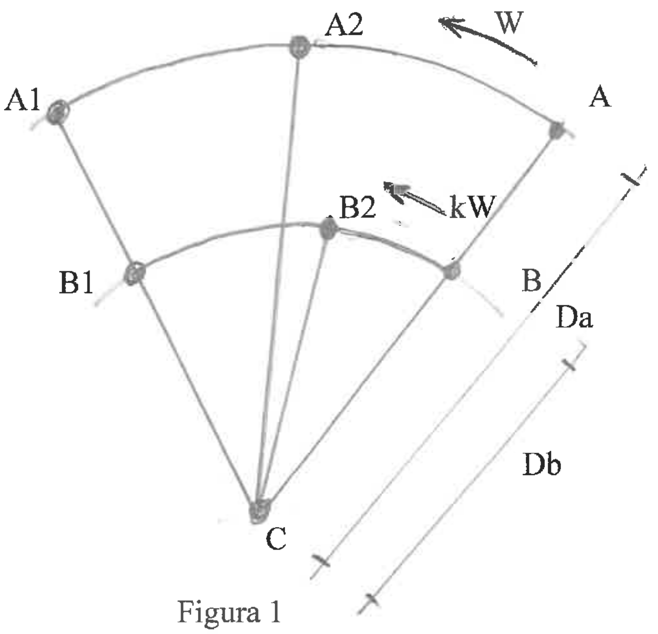

Figura 1

Durante este tiempo el astro A ha recorrido un arco AA2 igual a su velocidad angular por este tiempo AA2=W·Da/c.

Del mismo modo el tiempo que transcurre desde que el otro astro estaba en B hasta que es observado desde C es tb=Db/c y el arco recorrido hasta que es observado desde que estaba en C es BB2=k·W·Db/c.

Es decir que cuando desde C se observa que B oculta a A, estos dos astros ocupan las posiciones A2 y B2, forzosamente a la izquierda de A y B en la figura.

Vamos a representar el instante en el que A y B se encuentran alineados verdaderamente en A1 y B1 con C.

En principio desconocemos las posiciones relativas de estos puntos con relación a los otros. Vamos a dibujarlos a la izquierda, tal y como aparece en la figura.

Como se ve en la figura, AA1=BB1, son ángulos iguales.

Por otra parte, AA1=AA2+A2A1 y también BB1=BB2+B2B1,

Tomemos como origen de tiempos el instante en que los astros están en A2 y B2, es decir el momento en que los vemos como alineados en los puntos A y B.

A2A1 es el arco recorrido a la velocidad W durante el tiempo t que es el que pasa entre la conjunción aparente y la alineación verdadera. Es decir, A2A1=W·t

Sustituyendo AA1=W·Da/c+W·t.

De la misma forma BB1=k·W·Db/c+k·W·t

Igualando AA1=BB1 y simplificando por W, (Da/c)+t=(k·Db/c)+k·t.

Operando y despejando t obtenemos t=(Da-k·Db)/c·(k-1). (1)

Tanto c como k-1 son positivos, luego el signo de t (positivo o negativo), es el mismo que el de Da-k·Db.

t>0 quiere decir que los puntos A1 y B1 son posteriores a los A2 y B2, la alineación verdadera es posterior a la aparente. Cuando t<0 ocurre lo contrario, primero ocurre la alineación y después es observada.

Aunque ya lo hemos hecho en los dos escritos anteriores, vamos a comprobar esto en los casos de los eclipses de Sol y en los de las conjunciones Júpiter Saturno.

1° Conjunciones Júpiter Saturno.

Los valores de las constantes en este caso son; Da=1.430.000.000 km. Db=780.000.000 km. k=2,46.
Da-k·Db=1.430.000.000-2,46·780.000.000=-488.800.000<0, t es negativo, primero ocurre la alineación y esta es observada después como sabíamos.
El tiempo transcurrido según (1) es t=-488.800.000/(300.000·1.46)=-1.116 seg=-18,6 minutos. Lo mismo que obtuvimos anteriormente como tenía que ser.

.

2° Eclipses de Sol.

Los valores de las constantes son: Da=150.000.000km. Db=380.000 km. y k=13,5
Da-k·Db=150.000.000-380.000·13,5=144.870.000>0 t es positivo, y su valor es según la ecuación (1) t=144.470.000/(300.000·12,5)=38 seg. Igual al valor obtenido anteriormente.

El eclipse se observa antes de la alineación.

3° Observación y alineación a la vez.

En el caso particular de Da-k·Db=0, t=0, el momento de la alineación coincide con el momento de la observación. K es la relación entre las velocidades angulares, y si t=0 se obtiene k=Da/Db, la relación entre las velocidades angulares es inversamente proporcional a la relación entre las distancias.

En estos casos los momentos de la alineación y de la observación coinciden, pero no tienen lugar en el mismo sitio, ver figura 2.

Nosotros vemos a los dos astros alineados en A y B, pero están alineados en ese instante en A1 B1 o bien en A2 B2, pues A1 coincide con A2 y B1 con B2.

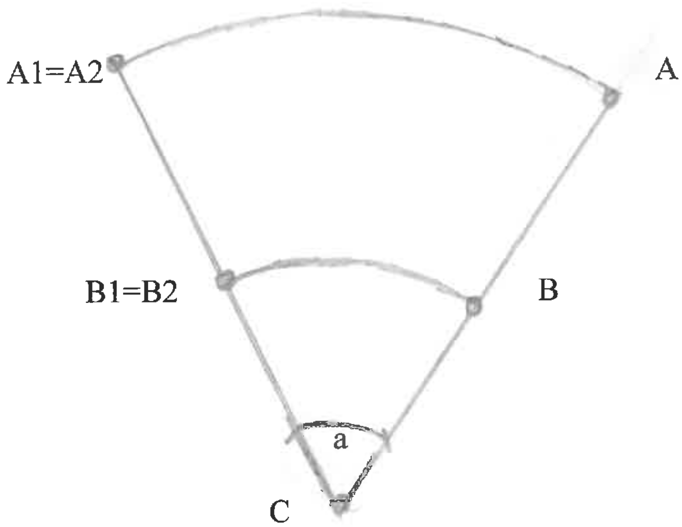

Figura 2

El ángulo (a) entre la ver dadera alineación(A1A2) y la observada (A) es fácil de calcular. AA1=W·Da/c W es la velocidad angular del Sol. 360º en 365 días, Da es la distancia del Sol a la Tierra 150.000.000 km. y c=300.000 km/s. Substitute0ndo estos valores se obtiene AA1=0,34´. Es decir, un ángulo muy pequeño si lo comparamos por ejemplo con el tamaño aparente del Sol o de la Luna que es del orden de 30´.

Podemos aprovechar la ocasión para calcular cuánto tiempo dura aproximadamente un eclipse total de Sol desde que empiece la Luna a tocarle en un extremo, hasta que después de ocultarle completamente desaparezca por el otro extremo, Figuras 3 y 4.

En la figura 3 he representado los momentos en los que comienza y finaliza el eclipse. L1 es la posición de la Luna al comienzo del eclipse respecto del Sol, S es el Sol y L2 la posición de la Luna respecto del Sol a la finalización.

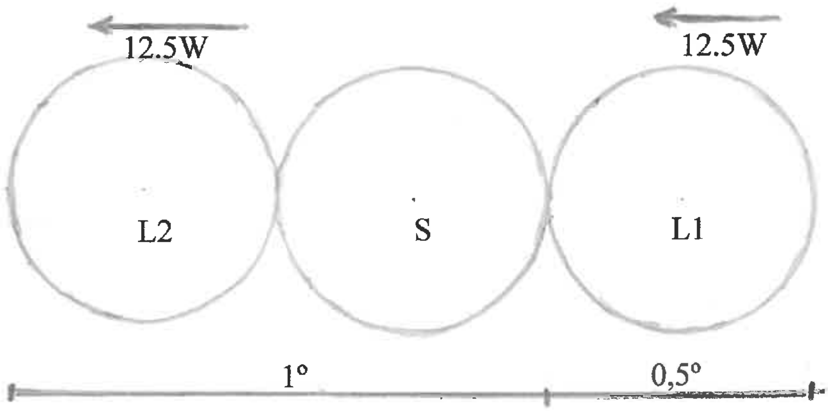

Figura 3

Sabemos que si W es la velocidad angular del Sol que tarda 365 días en dar una vuelta completa de 365°, como la Luna tarda 27 días, la velocidad angular de la Luna es 365/27=13,5w.
Por lo tanto, la velocidad relativa de la Luna respecto del Sol será 13,5W-W=12,5W.
La duración del eclipse es lo que tarda la Luna en pasar del punto 1 al 2. Como los tamaños aparentes tanto del Sol como el de la Luna es aproximadamente de 0,5°, la Luna tiene que recorrer 1° para completar el eclipse. 1=12,5·W·t (ángulo igual a velocidad angular por el tiempo).
t=1/12,5·W y W=360°/365·86.400 luego t=365·86.400/12,5·360=7.008 seg.=117 min. Aproximadamente 2 horas.

Esto como he dicho es solo una aproximación, pues la órbita de la Luna no está en el plano de la eclíptica exactamente y la Tierra y con ella nuestro punto de observación ha girado durante la duración del eclipse.

Este dato de dos horas sirve para saber que no es cosa de unos pocos minutos ni de varias horas.

Figura 4, Progresión del eclipse total de principio a fin.

La paradoja de que el eclipse pueda observarse antes de que suceda no debe extrañar.

Un eclipse no es un solo suceso, son dos sucesos que ocurren en dos lugares diferentes.

Por ejemplo, si un rayo se produce a 6.000 m. el trueno se oye 6.000/300=20 segundos después. Si otro rayo tiene lugar a 3.000 m. se oye 10 segundos después. Cada rayo es un suceso y se oye el trueno después de cada rayo.

Si el rayo lejano a 6,000 m se produce 5 segundos antes que el cercano a 3.000 m, los oiremos 20 segundos después de producirse el lejano y el cercano 10 segundos después de producirse el cercano. Cuando oímos el rayo cercano 10 segundos después de producirse, el sonido del rayo lejano ha recorrido (10+5)·300=4.500 m y todavía no ha llegado a nosotros. Le faltan por recorrer 1.500 m, y lo oiremos 1.500/300=5 segundos después.

Hemos oído el rayo cercano 5 segundos antes, a pesar de producirse 5 segundos después que el lejano.

Esto es debido a que son dos sucesos que se producen en dos lugares diferentes. Lo mismo ocurre con el eclipse.

La fórmula (1) es pues una fórmula general que nos da el tiempo que pasa (en positivo o en negativo) entre la verdadera alineación y el momento en que se observa la ocultación entre dos astros, en función de las distancias al punto de observación y de la relación entre las velocidades angulares de ambos astros girando alrededor de dicho punto de observación.

Antton del Campo.
Ingeniero Industrial.