

INSTRUMENTACION

Estudio del celostato de Lipmann en coordenadas cartesianas

T. PANETH

Observatorio Nacional de Física Cósmica, San Miguel

Nomenclatura. Los puntos se designan con letras mayúsculas y los subíndices indican la proyección considerada. Coordenadas que llevan como subíndice una letra mayúscula son coordenadas de un punto. Las letras minúsculas designan rectas, de llevar varios subíndices el orden es el siguiente: 1 ó 2, espejo al cual pertenecen; la mayúscula, el punto por el cual ha sido trazada y finalmente, el número indica la proyección considerada. Si bien "m" y "n" también se usan para designar rectas, cuando llevan como subíndice los datos de una recta, corresponden al coeficiente angular y la ordenada al origen respectivamente. Para el cálculo de "d" se tomó la terna "+x" horizontal hacia el este "+y", horizontal hacia el sud y "+z" hacia el cenit, apoyada en el primario. Además se consideraron coordenadas esféricas apoyadas en el eje de rotación del primario (este eje es paralelo al eje del mundo). El sistema adoptado simplifica los dibujos y la inversión de signos introducida al suponer móvil el secundario en vez del primario no afecta las fórmulas finales. En la segunda parte, al calcular la rotación de la imagen introducida por estar en posición lateral el primario respecto al meridiano que contiene al secundario, se usó una terna cartesiana idéntica a la anterior en el secundario.

α_{\odot} = ángulo horario del Sol, hora solar verdadera. 12^h corresponde a la culminación.

δ = declinación del Sol (+ hacia el norte);
 φ = latitud del lugar.

h = componente "z" de la distancia entre los dos espejos medida desde el primario.

d = componente "y" de la distancia entre los dos espejos medida desde primario.

s = componente "x" de la distancia entre los dos espejos medida desde el primario.

α_e = ángulo horario del espejo primario.

ω = ángulo de rotación de la imagen (+ = anti-horario visto desde arriba).

Fórmulas finales:

a) Posición centrada ($s = 0$)

$d = h[+\text{tg}(\varphi + \delta)]$ o para "h" variable en lugar de "d" $h = d[-\text{ctg}(\varphi + \delta)]$

$\alpha_e = 1/2 \alpha_{\odot} + 6^h$

b) Posición descentrada. Llamaremos:

$F(s) = (s/h)^2 \cos^2 \delta + 1$;

[para $s = 0$ resulta $F(s) = 1$]

$G(s) = + \sqrt{\text{sen}^2 \delta \text{sen}^2 \varphi - [F(s)] (\text{sen}^2 \delta \text{sen} \varphi - \cos^2 \delta \cos^2 \varphi)}$;

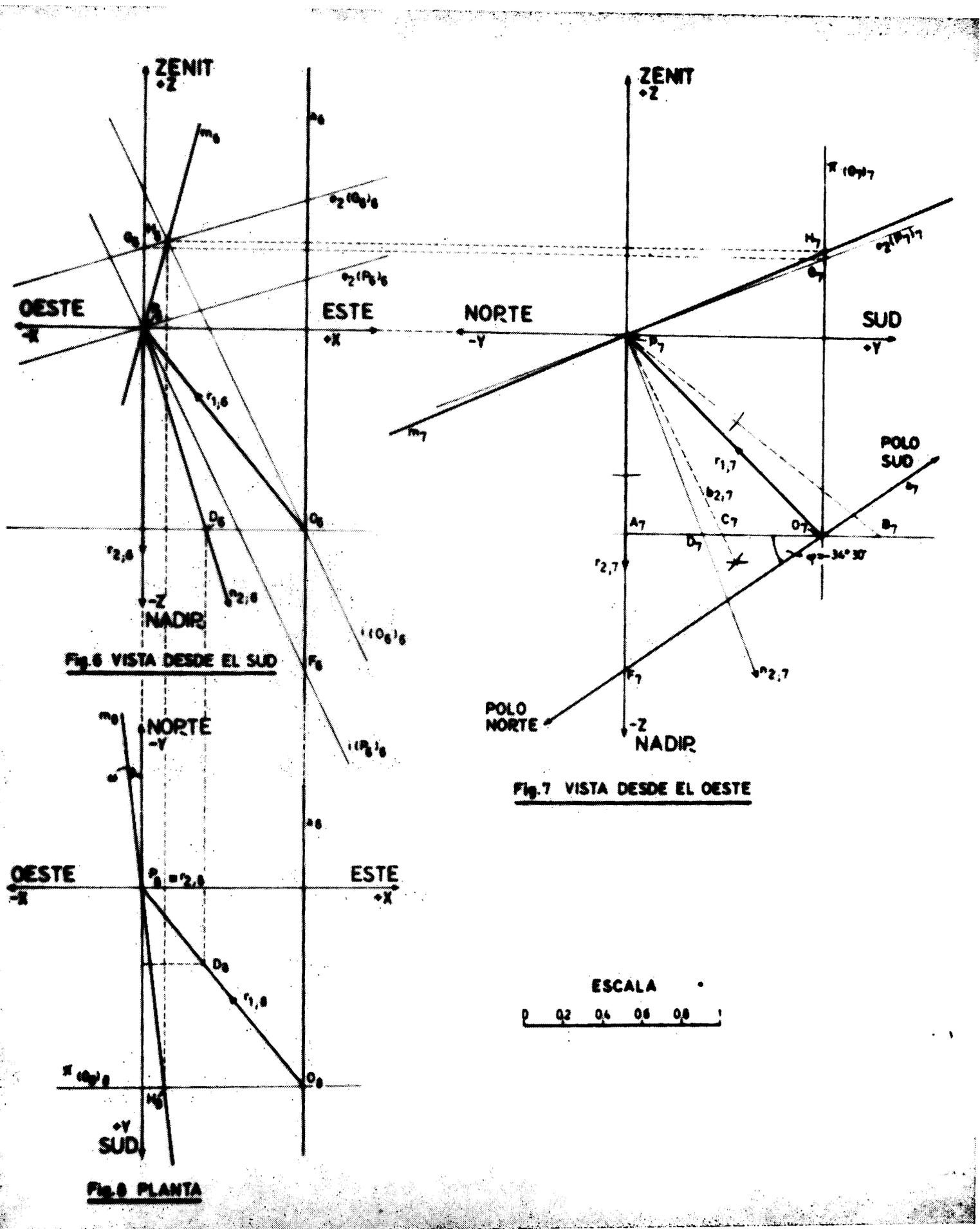
[para $s = 0$, $G(s) = \cos \delta \cos \varphi$]

$d = h \{ [F(s) - \text{sen}^2 \varphi] \text{sen} \delta + [G(s)] \text{sen} \varphi \} / \{ [G(s) - \text{sen} \delta \text{sen} \varphi] \cos \varphi \}$

$\omega = \text{arc tg} \{ [-sd + s(h + \sqrt{h^2 + d^2 + s^2}) \text{tg} \varphi] / [-s^2 + (h + \sqrt{h^2 + d^2 + s^2})(-h - d \text{tg} \varphi)] \}$

En nuestra latitud $\text{tg} \varphi$ y "d" deben tomarse siempre con signo negativo; "h" en cambio debe tomarse con signo positivo.

Cuando un instrumento debe llevar un espectrógrafo de dimensiones considerables, resulta mecánicamente difícil seguir el movimiento aparente del objeto. En general el problema se vuelve muy serio cuando se trata de espectrógrafos solares. Existen dos soluciones típicas: el instrumento con montura coudé y el celóstato y aún incluso el telescopio fijo. La primera solución suele tener problemas de flexiones variables a lo largo del día dado el elevado factor de escala utilizado y además rota la imagen a lo largo del día junto con el instrumento. Se puede corregir esto último haciendo rotar el espectrógrafo junto con el instrumento o intercalando un sistema de prismas que roten en sentido contrario. En el primer caso se tiene la ventaja de que los planos de polarización parcial introducidos por el sistema, no rotan respecto a la imagen a lo largo del día. La segunda solución frecuentemente adoptada es el celóstato. Utilizando la palabra celóstato para designar cualquiera de los sistemas de uno o dos espejos que mantienen iluminado un telescopio fijo durante todo el día, el más utilizado actualmente es el de Lipmann. Si bien éste consta de dos espejos, tiene la ventaja de no provocar rotación de la imagen a lo largo del día y como inconvenientes el hecho de que cambian ligeramente los planos de polarización introducidos por el sistema con respecto a la imagen y que durante todo el invierno hasta pasados los equinoccios inclusive debe evitarse la sombra del secundario sobre el primario cambiándolo de



su posición este a la oeste a mediodía y aún más veces, si se pretende plena iluminación a primera y última hora. Este cambio sí introduce rotación de imagen quedando a partir de dicho momento la dirección de la ascensión recta en una nueva posición. El elemento esencial de este celóstato es el primario (llamado por muchos celóstato propiamente dicho) cuya superficie se monta paralelo (y conteniendo en lo posible) a su eje de rotación diurno que a su vez se monta paralelo al eje de la tierra. La velocidad de rotación es una vuelta en 48 horas para duplicar los ángulos del espejo. El secundario sirve para poder compensar las variaciones del ángulo con que la luz del sol deja al primario, ya que al variar su declinación debe variar la relación d/h y para esquivar la sombra hay que variar s . Para ajustar las tres componentes de la distancia entre espejos existen varias soluciones que fundamentalmente dependen de la latitud del lugar de montaje. En general para zona tropical y subtropical h se hace fijo y el primario se monta sobre rieles cruzados de modo que puede moverse en dos sentidos, manteniéndose al mismo tiempo paralelo a sí mismo. Para latitudes mayores generalmente se fija d y se hace variable la altura del secundario dejando rieles solamente para s o incluso se fija $d^2 + s^2$ haciendo girar el primario alrededor de la columna del secundario (manteniéndose paralelo a sí mismo gracias a dos peñas) por resultar más compacto de esta manera.

Para este trabajo sirvió de base el celóstato del espectroheliógrafo de San Miguel, Argentina ($\varphi = -34^{\circ}33'22''$), que es copia de uno diseñado para Manila, Filipinas ($\varphi \cong 20^{\circ}$). Contra la costumbre casi universal de astrónomos y cosmógrafos, los cuales suelen trabajar con triángulos esféricos y figuras de análisis en perspectiva, se trabajó con proyecciones ortogonales (Monge). Esto tiene la ventaja de requerir mucho menos imaginación y permite verificar paso a paso los resultados analíticos. Dado que el formuleo es fiel reflejo del dibujo, sólo se describe este último.

Las proyecciones de las coordenadas esféricas se obtuvieron en las figs. del 1 al 4 trazando en todas, excepto la 2, primero los ejes. Luego con un ángulo φ el eje del mundo en la fig. 1 y sobre su prolongación se ubicó la 2. Un círculo con radio unitario arbitrario en todas es el siguiente paso. Los paralelos de la fig. 1 se obtuvieron con ángulos centrales iguales a la declinación respectiva. Los paralelos de las figs. 2 y 4 se trazaron con radios tomados de la 1. Luego se trazaron los meridianos horarios en las figs. 2 y 4. Proyectando las intersecciones correspondientes de la 2 sobre los paralelos de la 1 se obtuvieron los meridianos en la 1. Proyectando luego los correspondientes a cada intersección de la 1 y la 4 sobre la 3 se obtiene por la intersección de las proyecciones los correspondientes de la 3 y así punto por punto los paralelos y meridianos de ésta. Para el rayo incidente se supuso el sol con $\delta = 20^{\circ}$ y las 7^h . El emergente debe pasar por el centro del secundario ubicado en un punto como Q_3 ($x_Q = s = -0,8$; $z_Q = h = 1$). El rayo O_3Q_3 cortará la elipse $A_3K_3B_3D_3$ de latitud -20° (tiene declinación -20° por simetría) en un punto que

llamaremos V_3 . Sus coordenadas las obtuvimos por geometría analítica como intersección de la recta con la elipse dada por los extremos de sus ejes obtenidos por proyección desde las figs. 1 y 4. Para obtener V_1 proyectamos V_3 sobre el paralelo -20° de la fig. 1. La proyección del rayo emergente pasará por dicho punto y por O_1 en esta fig.; Q_1 también estará sobre el mismo, donde corta la proyección de Q_3 . La solución del problema es $y_{Q_1} = d$.

Para la rotación sirvieron las figs. 6, 7 y 8. "O" sigue siendo el centro del primario pero el centro de coordenadas es ahora el centro del secundario designado con P. Trazados los ejes y ubicados ambos puntos en las tres figuras podemos agregar el rayo incidente al secundario O_6P_6 , etc., en las tres proyecciones y también el emergente que suponemos vertical hacia abajo. El ángulo entre ambos lo obtenemos en verdadera magnitud tomando $A_7B_7 = P_8O_8$. La bisectriz determina C_7 . Haciendo $P_8D_8 = A_7C_7$ y proyectando sobre la horizontal que pasa por O_6 obtenemos D_6 que es punto de la proyección de la bisectriz y por ende de la normal al espejo. Trasladando y_{D_6} a la fig. 7 obtenemos D_7 sobre la horizontal que pasa por O_7 obteniendo $n_{2;7}$, la otra proyección de la normal. Perpendicular a ésta podemos dibujar $e_{2(P_6)6}$ y $e_{2(P_7)7}$ que son las trazas del plano del espejo sobre un plano vertical que contiene al eje "y" en la fig. 6 y otro que contiene el eje "x" en la 7. También podemos dibujar la proyección del eje del mundo en la fig. 7 con el ángulo φ y la llamaremos a_7 . a_6 y a_8 coincidirán con la traza de un plano vertical que contienen el punto O y es paralelo al eje "y". También necesitaremos un plano vertical que pasa por O_7 y es paralelo al eje "x". Dicho plano es perforado por $e_{2(P_7)7}$ en el punto G_7 . La proyección de la traza del plano del espejo sobre este último en la fig. 6 pasará por G_6 , proyección de G_7 , y será paralela a $e_{2(P_6)6}$. Lo que nosotros buscamos es m_8 que con el eje "y" formará el ángulo i en la fig. 8 que es la incógnita. m_8 es la proyección horizontal de la intersección de un plano que contiene el eje del mundo y el punto P con el plano del espejo secundario. Para obtener la intersección de dos planos en el espacio se cortan con planos paralelos a los de proyección ambos planos y donde se cortan las trazas respectivas estarán puntos de la intersección de ambos planos. Ya tenemos un punto de la intersección que sabemos que es "P". Para obtener la intersección del plano que contiene el eje del mundo y "P" con el mismo plano que contiene $e_{2(G_6)6}$ tenemos que obtener previamente su intersección con otro paralelo que contiene a "P". F_7 será un punto de la misma y su proyección F_6 también. Con ello podemos trazar su proyección $i_{(P_6)6}$ y pasando por "O" una paralela a la misma que será $i_{(O_6)6}$ que es la intersección buscada. El punto H_6 , donde $i_{(O_6)6}$ corta $e_{2(G_6)6}$, será proyección del punto H de la recta m buscada. Ya podemos trazar m_6 . Para obtener las otras proyecciones de H tenemos que recordar que tanto $i_{(O_6)6}$ como $e_{2(G_6)6}$ son proyecciones de rectas que pertenecen a un plano vertical paralelo al eje "x" y que contiene el punto "O". Luego $y_H = y_O = d$. Conocida la y_H podemos dibujar H_7 y H_8 y por ende m_8 quedando resuelto el problema.

