X.- RECEPTOR CILÍNDRICO VERTICAL

pfernandezdiez.es

X.1.- DIMENSIONES DEL RECEPTOR CILÍNDRICO VERTICAL

Si en la ecuación que proporciona el valor de ξ se fijan los valores de l y H se obtiene el factor de dispersión angular φ, únicamente en función de θ_t, lo cual a su vez permitirá determinar el diámetro D de la imagen solar reflejada mediante la ecuación en la forma:

$$D = 2\ \xi_r\ \rho = 2\ \varphi\ \xi\ \rho = 2 \times 4{,}65.10^{-3}\ \varphi\ \rho = 9{,}3.10^{-3}\ \frac{H}{\cos\theta_t}\ \varphi$$

obteniéndose así el diámetro mínimo del receptor para $\theta_t = \theta_{tM}$, que puede captar toda la energía reflejada por los anillos; su altura se obtendrá a partir de:

$$h = \frac{D_{\theta_{tM}}}{sen\ \theta_{tm}}$$

En las Fig X.1a.b se ha representado el factor de dispersión angular φ en función de la anchura $\boldsymbol{l}$ del anillo, entre 1 y 10 m, para un ángulo θ_t determinado, 30°, Fig X.1a, y 70°, Fig X.1b, para diversas alturas del punto focal F, dadas por los valores asignados a H. En las Fig X.2a.b se ha representado el diámetro D de la imagen solar reflejada en función de la anchura del anillo l, también entre 1 y 10 m, para un ángulo θ_t determinado, diversas alturas H del punto focal F.

Se observa que el diámetro mínimo del receptor va a depender de los ángulos θ_t máximos, es decir, de θ_{tM}. En las Fig X.3a.b se ha representado la altura h del receptor en función de la anchura l del anillo, entre 1 y 10 m, para ángulos de 30° y 70° respectivamente, observándose que la altura máxima h del receptor va a depender de los ángulos θ_t mínimos, es decir, de θ_{tm}.

Como el valor de φ no permanece constante para todo el concentrador, por cuanto varía con θ_t

para una altura del punto focal determinada, los valores de $\frac{\hat{r}}{\varphi}$ también variarán.

El valor del radio mínimo del receptor r es:

$r_s = \xi H = 4{,}65.10^{-3} H$

y como el diámetro del receptor hay que obtenerle para valores de D correspondientes a $\theta_t = \theta_{tM}$ tendremos al ser $r = \frac{D}{2}$:

$$\hat{r} = \frac{D}{2 \times 4{,}65.10^{-3} H} = 107{,}5269 \frac{D}{H} \quad \Rightarrow \quad \frac{\hat{r}}{\varphi} = 107{,}5269 \frac{D}{\varphi H}$$

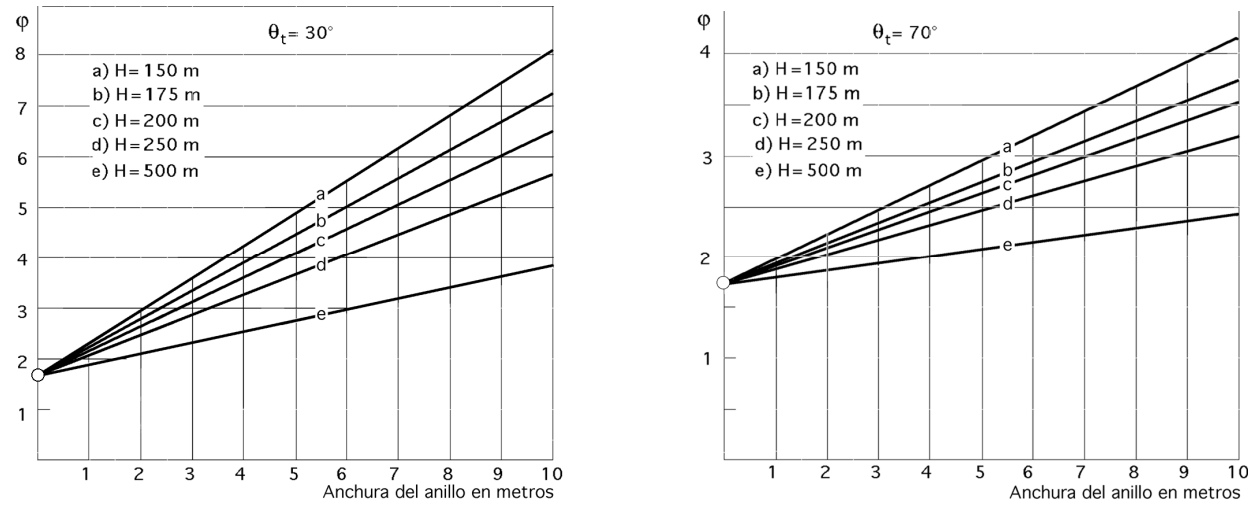


Fig X.1a.b.- Factores de dispersión angular φ en función de la anchura del anillo

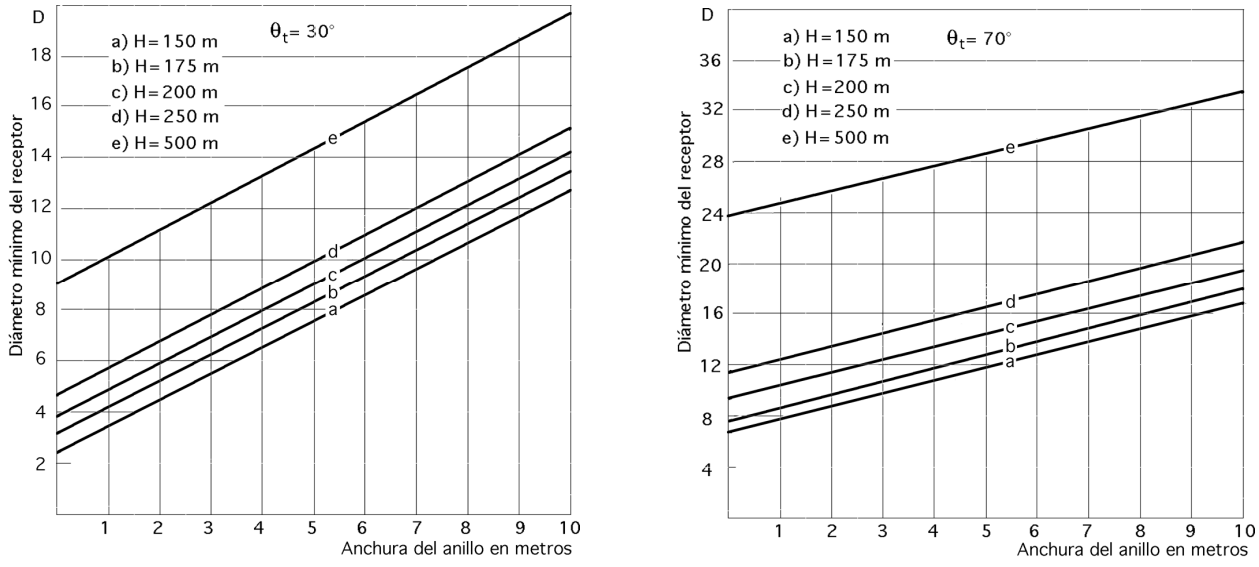


Fig X.2a.b.- Diámetro D de la imagen solar reflejada en función de la anchura del anillo

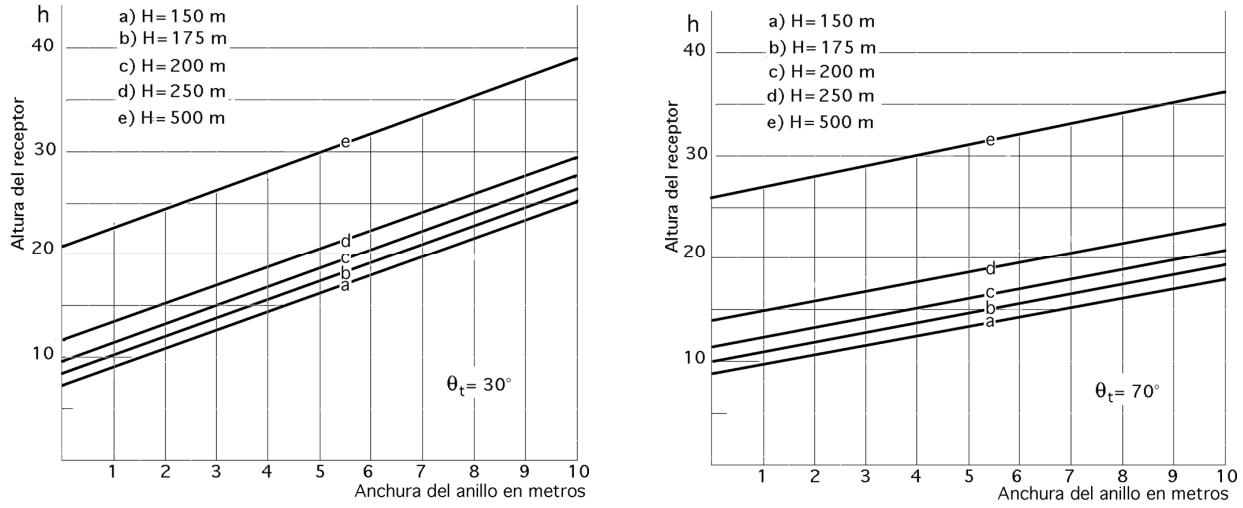


Fig XI 3a.b.- Altura h del receptor para anillos de anchura l

Una altura *H* interesante, que se desprende de observar los datos anteriormente obtenidos puede ser la de 175 m, que permitirá un receptor de dimensiones no muy exageradas.

Si suponemos anillos de espejos de anchura l = 5 m, el valor de φ queda en la forma:

$$\varphi = 1{,}7236 + 3{,}0722 \cos \theta_t$$

que se corresponde con un diámetro de la imagen solar reflejada, que llamaremos, D_5 = 13,70 m.

Los diversos valores de θ_t se presentan en la Tabla X.1.

Tabla X.1

θ_t	70°	65°	60°	55°	50°	45°	40°	35°	30°
φ	2,7742	3,022	3,2596	3,4857	3,6982	3,896	4,0768	4,2402	4,384
$\hat{r} / \varphi$	3,03	2,85	2,58	2,47	2,28	2,21	2,06	1,99	1,92

La posición sobre el receptor cilíndrico vertical de los valores $\frac{\hat{h}}{\varphi}$ viene dada por la Fig XII.4 y por la ecuación:

$$h_{u,v} = \hat{h}\, r_s = \frac{\hat{h}}{\varphi} \times 4{,}65.10^{-3} \left(1{,}7236 + 107{,}5269 \frac{l \cos\theta_t}{H}\right) H = \frac{4{,}65.10^{-3}\ \hat{h}}{\varphi} \left(1{,}7236 + 3{,}0722 \cos\theta_t\right) \times 175\ m$$

en la que $\frac{\hat{h}}{\varphi}$ se obtiene en función de β_{tp}, de la siguiente ecuación:

$$\frac{\hat{h}}{\varphi} = \frac{1}{sen\ \theta_t} \sqrt{\frac{\hat{r}}{\varphi} \cos\ \theta_t \cos\ \beta_{tp} \pm \frac{1}{\cos^2 \theta_t} - \left(\frac{\hat{r}}{\varphi}\right)^2 sen^2 \beta_{tp}}$$

Para, H = 175 m y l = 10 m se obtiene:

$$\varphi = 1{,}7236 + 6{,}1444 \cos \theta_t \quad \Rightarrow \quad D_{10} = 18{,}23\ m \ ; \ \hat{r}_{10} = 11{,}2012$$

que dan lugar a la Tabla X.2. En ambos casos se ha supuesto que cada anillo está formado por una

serie de espejos de sección reflectante cuadrada, de lado l, perfectamente individualizados

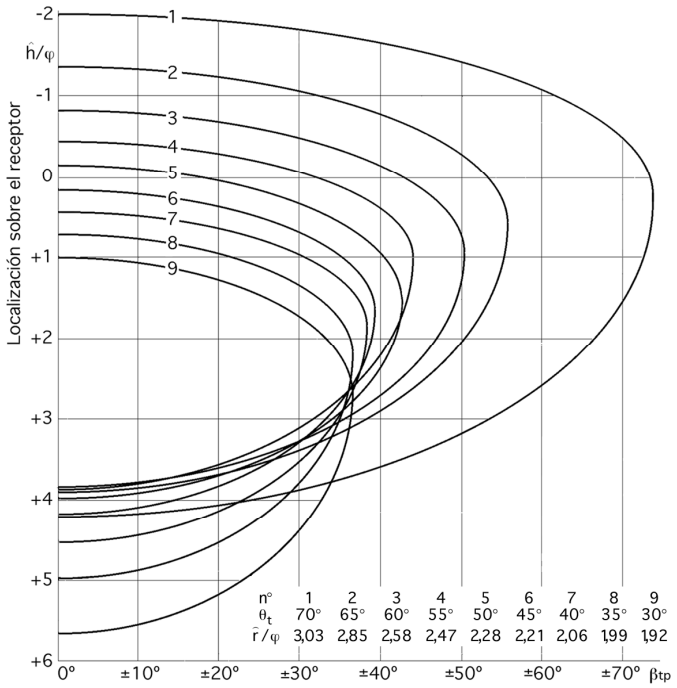
Tabla X.2

θ_t	70°	60°	50°	40°	30°
φ	3,8251	47958	3,6982	6,4305	7,0448
$\hat{r} / \varphi$	2,93	2,34	1,97	1,74	1,59

Con las ecuaciones anteriores, la altura h del receptor, es: $\begin{cases} - \text{para } D_5 = 13{,}70 \text{ m} \;\; ; \;\; h_5 = 16{,}48 \text{ m} \\ - \text{para } D_{10} = 18{,}23 \text{ m} \;\; ; \;\; h_{10} = 26{,}50 \text{ m} \end{cases}$

Mediante las gráficas de las Fig X.4 y 5, para l = 5 m y l = 10 m, se observa que los valores de $\frac{\hat{r}}{\varphi}$ para β_{tp}= 0 son muy parecidos en ambos casos, modificándose a medida que aumenta β_{tp}.

Para l = 10 m se consiguen valores de visibilidad acimutal de los espejos β_{tp} superiores a los obtenidos para l = 5 m; si l fuese infinitamente grande, caso límite $\Rightarrow$ $\beta_{tp} = \pm 90°$.



H = 175 m; l = 5 m; φ = 1,7236 + 3,0722 cosθ_t

Fig X.4.- Localización acimutal de los espejos β_{tp}

Para que el receptor capte todo el flujo solar reflejado por el concentrador, se tiene que cumplir en cada espejo que β_{tp}= 0, compatible con $\frac{\hat{r}}{\varphi}$ máximo, siendo θ_{tM} el caso extremo más desfavorable, para el que se encuentra:

$$\frac{\hat{h}}{\varphi} = cosec\ \theta_{tM}\ (\frac{\hat{r}}{\varphi} cos\ \theta_{tM} \pm sec\ \theta_{tM})$$

y como: $\theta_{tM} = 70^o$; $\hat{r} > 0$; $\varphi > 0$, resulta: $\frac{\hat{r}}{\varphi} cos\ \theta_{tM} > 0$; $\frac{\hat{r}}{\varphi} > sec\ 70^o$ ó $\frac{\hat{r}}{\varphi} > 2{,}9238$

Para $\theta_{tM} = 70^{o}$, el valor de $\frac{\hat{r}}{\varphi} = 3{,}1007$ y el receptor cuyas dimensiones se han fijado anteriormente, captará toda la energía que se le envíe por el campo concentrador.

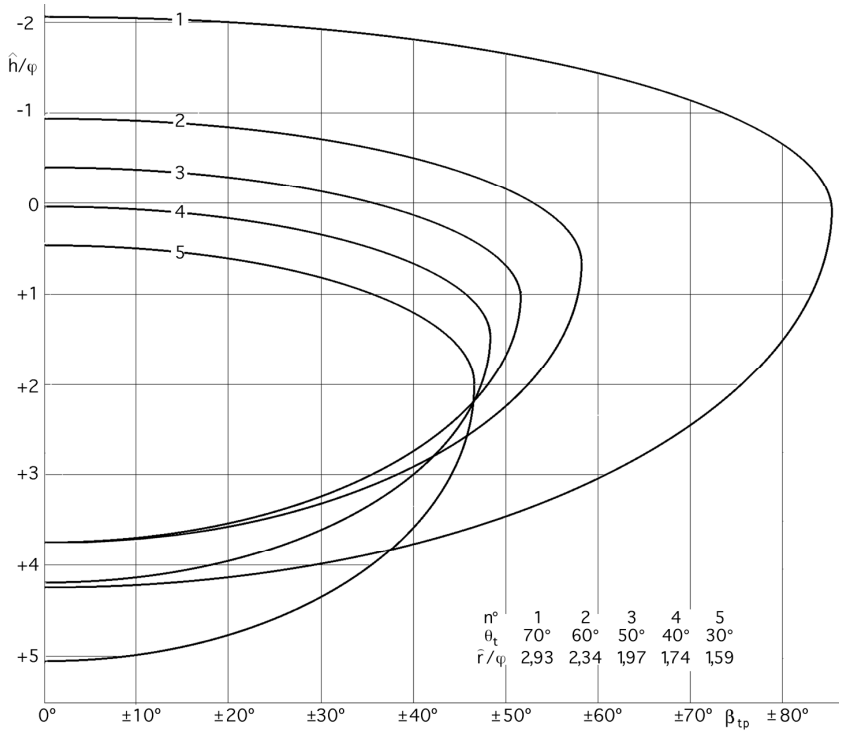


Fig X.5.- Localización acimutal de los espejos β_{tp}, H = 175 m; l = 10 m; $\varphi = 1{,}7236 + 6{,}1444 \cos \theta_t$

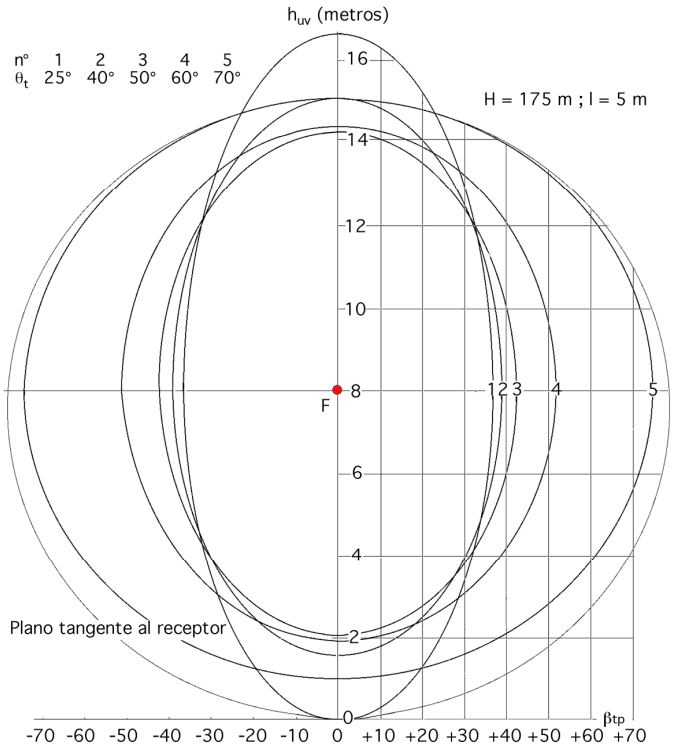


Fig X.6.- Diversas alturas de la imagen solar plana sobre el receptor cilíndrico vertical

Si las dimensiones del receptor fuesen tales que $\frac{\hat{r}}{\varphi} = 2{,}9238$, supondría que éste estaría expuesto a un flujo solar menor, ya que no interceptaría toda la radiación reflejada por el concentrador.

En la Fig X.6 hemos representado las alturas $h_{u,v}$ de la imagen solar plana sobre el plano tangente al receptor en P, para diversos valores de β_{tp} compatibles con las zonas de visibilidad de los espejos; se ha tomado, l = 5 m y H = 175 m.

Se observa que los espejos del anillo definido por $\theta_t = 30°$, para $\beta_{tp} = 0°$ dan la altura mínima que debe tener el receptor h = 16,48 m, mientras que para $\theta_t = 70°$, esta altura es de 14,07 m.

X.2.- DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO SOLAR SOBRE UN RECEPTOR CILÍNDRICO VERTICAL

A) Receptor situado a 175 m de altura.- Caso 1.- Si consideramos el receptor a 175 m de altura, como un cilindro de 14 m de diámetro y 17 m de altura, con anillos de espejos de l = 5 m de anchura. El flujo solar incidente sobre el concentrador es:

$$\text{Para } \begin{cases} \theta_{tm} = 0^o \;\; ; \;\; \theta_{tM} = 70^o, \;\; Q = 726.238\ I_0 \\ \theta_{tm} = 30^o \;\; ; \;\; \theta_{tM} = 70^o, \;\; Q = 694.190\ I_0 \end{cases}$$

El flujo solar teórico y total Q que llegará al receptor viene dado por la ecuación:

$$Q = 43{,}9823\ I_0 \int C\, dh = 4{,}1606\ \frac{\hat{r}}{\varphi}\ I_0 \int C\, \varphi^2\ d\left(\frac{\hat{h}}{\varphi}\right)$$

$$\text{Para } r = 7\ m \;\; ; \;\; \frac{\hat{r}}{\varphi} = \frac{8{,}6021}{1{,}7236 + 3{,}0722\ \cos\theta_t} = \left| \theta_t = 70^o \right| = 3{,}034$$

por lo que la energía solar teórica que llega al receptor procedente de un anillo cualquiera definido por su θ_t es:

$$Q = \frac{35{,}7901\ I_0}{1{,}7236 + 3{,}0722\ \cos\theta_t} \int C\, \varphi^2\ d\left(\frac{\hat{h}}{\varphi}\right)$$

en la que la integral $\int C\, \varphi^2\, d\left(\frac{\hat{h}}{\varphi}\right)$ viene representada en la Fig X.7 por el área comprendida entre las curvas correspondientes a diversos valores de θ_t y el eje de ordenadas.

Igualando las ecuaciones:

$$Q = \frac{35{,}7901\ I_0}{1{,}7236 + 3{,}0722\ \cos\theta_t} \int C\ \varphi^2\ d\left(\frac{\hat{h}}{\varphi}\right) = \pi\ H^2\ A^*\ I_0$$

resulta:

$$A^* = 2\left(\frac{\hat{r}}{\varphi}\right)\xi^2 \int C\ \varphi^2\ d\left(\frac{\hat{h}}{\varphi}\right)$$

a) Cuando: $A^* = 2\,(\sec\theta_{tM} - \sec\theta_{tm})$***, en la que predomina el apantallamiento sobre la sombra solar, tendremos:***

$$\int C\ \varphi^2 d\left(\frac{\hat{h}}{\varphi}\right) = \frac{\sec\theta_{tM} - \sec\theta_{tm}}{\left(\frac{\hat{r}}{\varphi}\right)\xi^2}\ ,\quad con:\ \frac{\hat{r}}{\varphi} > \sec\theta_{tM}\ \ ó\ \ \frac{\hat{r}}{\varphi} > \sec 70°\ \ ó\ \ \frac{\hat{r}}{\varphi} > 2{,}9238$$

$$\text{Para } \theta_{tM} = 70°,\ \theta_{tm} = 0°,\ \theta_s = 0°,\quad \begin{cases} \int C\ \varphi^2\ d\left(\frac{\hat{h}}{\varphi}\right) = 10.343\,(1{,}7236 + 3{,}0722\ \cos\theta_t) \\ Q = 370.175\ I_0 \end{cases}$$

que supone la energía máxima teórica que podría proporcionar un campo circular continuo de espejos en las condiciones anteriores.

$$\text{Para } \theta_{tM} = 70°,\ \theta_{tm} = 30°,\ \theta_s < 30°,\quad \begin{cases} \int C\ \varphi^2\ d\left(\frac{\hat{h}}{\varphi}\right) = 9.510\,(1{,}7236 + 3{,}0722\ \cos\theta_t) \\ Q = 340.500\ I_0 \end{cases}$$

De estos resultados se desprende la poca influencia que van a tener los anillos más interiores en la energía captada por el receptor; una ampliación del campo especular para valores de $\theta_{tM} > 70°$ manteniendo fija la altura *H*, conduce a un gran aumento del número de espejos, lo cual a su vez, y desde un punto de vista económico, no hace muy viable la ampliación.

Así por ejemplo, para, $\theta_{tM} = 80°$, la superficie especular necesaria sería de 3,06 km^2, frente a los 0,695 km^2 que se tienen para, $\theta_{tM} = 70°$; es decir, que aumentar la superficie especular en un factor 4,4 supone tan solo un aumento energético de 2,6 veces, y en consecuencia no es rentable.

También pueden utilizarse las ecuaciones anteriores para estudiar la franja de anillos comprendida entre los ángulos θ_{t1} y θ_{t2}, o bien para estudiar un anillo en particular definido por:

$$\theta_t = \frac{\theta_{t1} + \theta_{t2}}{2}\quad ;\quad \theta_{t1} \geq \theta_s\quad ;\quad \theta_{t2} \geq \theta_s$$

quedando:

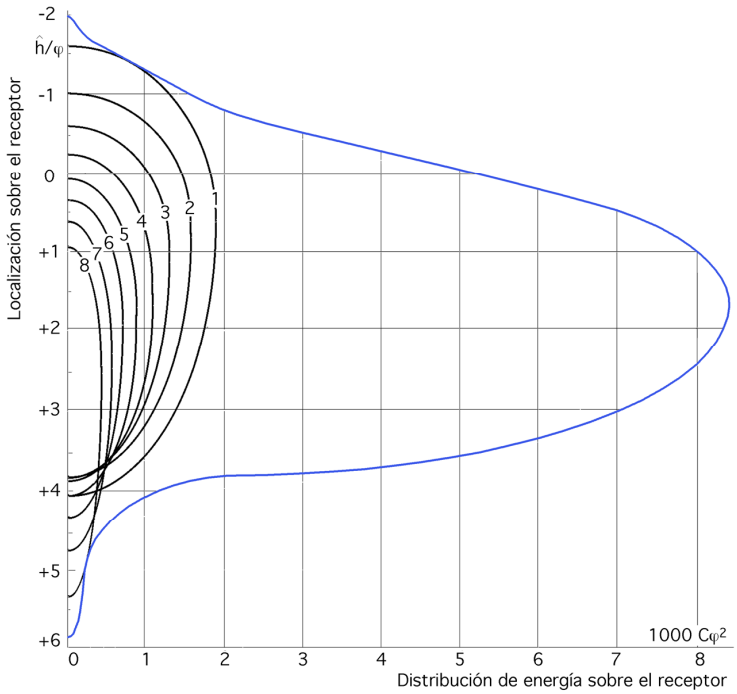
$$\int C\ \varphi^2\ d\left(\frac{\hat{h}}{\varphi}\right) = 5.375\,(1{,}7236 + 3{,}0722\ \cos\theta_t)\,(\sec\theta_{t2} - \sec\theta_{t1})$$

El valor de $C\,\varphi^2$ se obtiene a partir de:

$$C\ \varphi^2 = \frac{2\ sen\ \beta_{tp}}{\pi\ \xi^2} \int_{\theta_{t1}}^{\theta_{t2}} sen^2\theta_t\ d\theta_t = 29.440\ sen\ \beta_{tp}\ \left(\frac{\theta_{t2} - \theta_{t1}}{2} - \frac{sen\,2\theta_{t2} - sen\,2\theta_{t1}}{4}\right)$$

que no depende de la posición del Sol.

La contribución de las franjas de anillos, para $\Delta\theta_t = 5°$ es la que se presenta en la Tabla X.3.



Altura de la torre (Punto focal) = 175 m; Diámetro del receptor = 14 m.
Franjas de anillos de anchura, $\Delta\theta = 5°$; $30° < \theta_t < 70°$ (apantallamiento)
Fig X.7a.- Distribución total de energía sobre el receptor y contribución por anillos.

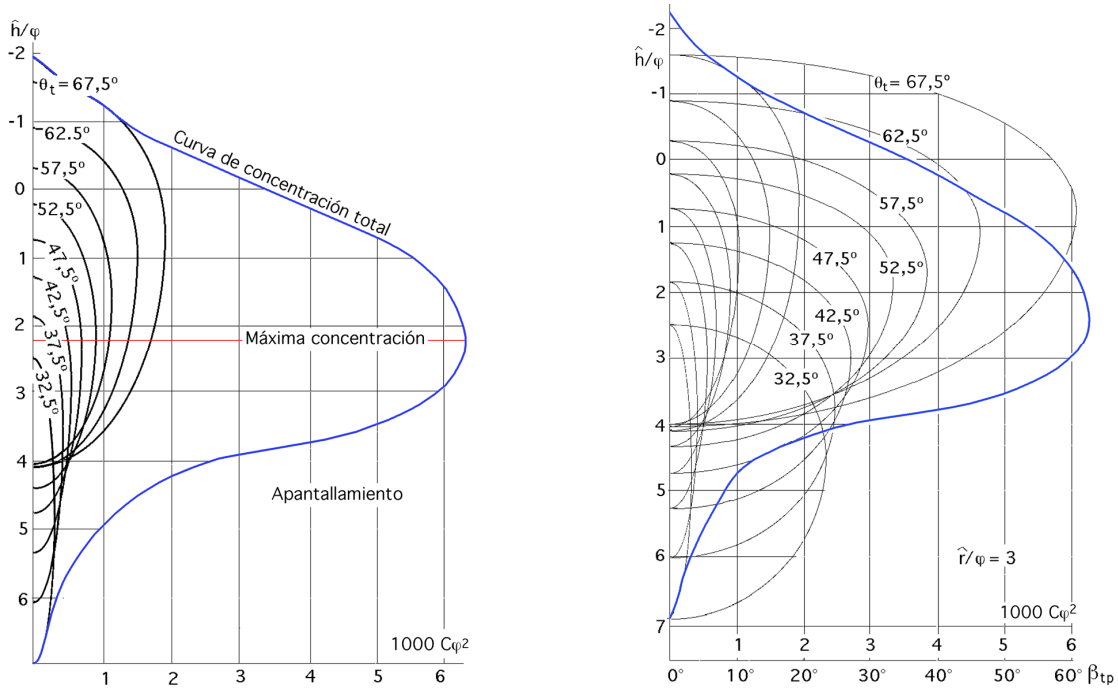


Fig X.7b.c.- Relaciones de concentración sobre el receptor correspondientes al campo continuo

La suma de las áreas comprendidas por estas curvas será proporcional a la energía total que llega al receptor, la cual no se encuentra uniformemente repartida sobre el mismo.

El máximo valor de la relación de concentración $C\,\varphi^2$ se encuentra para $\frac{\hat{h}}{\varphi} \cong 2$ y esto lleva a la conclusión de que en esta zona del receptor se pueden lograr temperaturas demasiado elevadas.

Por lo tanto será conveniente repartir más uniformemente este flujo energético enfocando los diversos grupos de anillos a puntos distintos sobre el eje del receptor, como veremos más adelante.

Tabla X.3

Curva	θ_{t1}	θ_{t2}	$\theta_{t(medio)}$	$C\varphi^2 / sen\ \beta_{tp}$
1	*65°*	*70°*	*67,5°*	*2191,73*
2	*60°*	*65°*	*62,5°*	*2020,42*
3	*55°*	*60°*	*57,5°*	*1826,75*
4	*50°*	*55°*	*52,5°*	*1616,61*
5	*45°*	*50°*	*47,5°*	*1396,00*
6	*40°*	*45°*	*42,5°*	*1172,75*
7	*35°*	*40°*	*37,5°*	*952,51*
8	*30°*	*35°*	*32,5°*	*742,37*

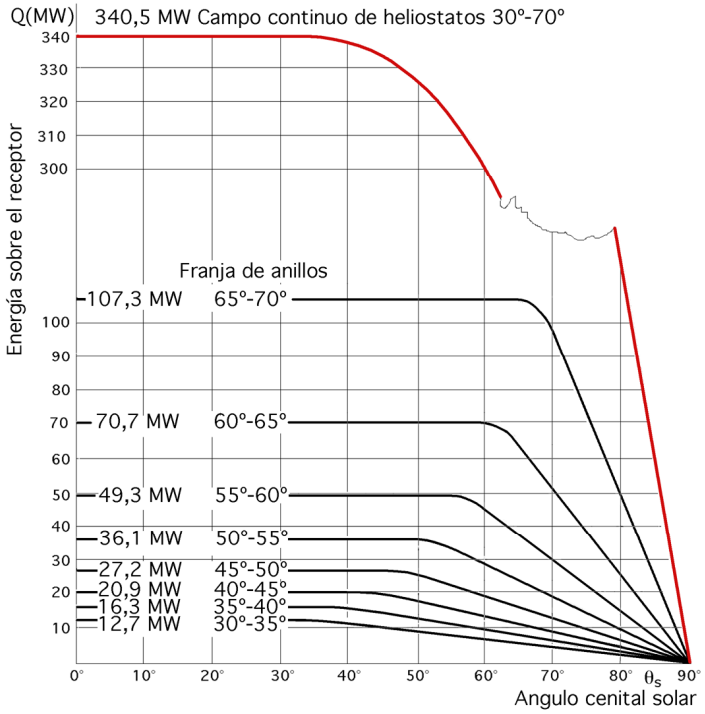


Fig X.8.- Energía Q sobre el receptor

La energía enviada al receptor es:

$$Q = 192.420\ (\sec\theta_{t2} - \sec\theta_{t1})\ I_0$$

que se corresponde con los tramos horizontales de la Fig X.8, por cuanto no interviene la posición del Sol, siempre que $\theta_s < 30°$.

b) Cuando: $A^* = 2 \sec \theta_{tM} - \cos \theta_s \sec^2 \theta_{tm} - \sec \theta_s$***, para la que se cumple que*** $\theta_{tm} < \theta_s < \theta_{tM}$ ***se obtiene:***

$$\text{Para} \begin{cases} \theta_{tM} = 70^\circ \text{ y } \theta_{tm} = 0 \quad ; \quad Q = 35{,}79\,(15.719{,}38 - 2.688{,}17 \cos\theta_s - 2.688{,}17 \sec\theta_s)\, I_0 \\ \theta_{tM} = 70^\circ \text{ y } \theta_{tm} = 30^\circ \; ; \quad Q = 35{,}79\,(15.719{,}38 - 3.584{,}22 \cos\theta_s - 2.688{,}17 \sec\theta_s)\, I_0 \end{cases}$$

y si se considera una franja de anillos comprendida entre los ángulos θ_{t1} y $\theta_{t2,}$ con $\theta_t = \frac{\theta_{t1} + \theta_{t2}}{2}$, resulta:

$$Q = 96.210\,(2 \sec \theta_{t2} - \cos \theta_s \sec^2 \theta_{t1} - \sec \theta_s)\, I_0$$

ecuación que sólo es válida para un ángulo cenital solar comprendido entre θ_{t1} y θ_{t2} por lo que al estudiar un anillo cualquiera, su influencia es prácticamente despreciable debido a la poca anchura del anillo en comparación con las dimensiones del campo.

c) Cuando: $A^* = (tg^2\theta_{tM} - tg^2\theta_{tm})\cos\theta_s$***, para la que se cumple que*** $\theta_s > \theta_{tM}$ ***se obtiene:***

$$\text{Para} \begin{cases} \theta_{tM} = 70^\circ \; ; \; \theta_{tm} = 0^\circ, \quad Q = 726.238\, I_0 \cos\theta_s \\ \theta_{tM} = 70^\circ \; ; \; \theta_{tm} = 30^\circ, \quad Q = 694.190\, I_0 \cos\theta_s \end{cases}$$

siendo para la franja de anillos comprendida entre θ_{t1} y θ_{t2}:

$$Q = 96.210\,(tg^2\theta_{t2} - tg^2\theta_{t1})\, I_0 \cos\theta_s$$

Para este caso de predominio de sombra solar sobre el apantallamiento, el valor de $C\,\varphi^2$ es:

$$C\,\varphi^2 = 29.440 \operatorname{sen}\beta_{tp} \cos\theta_s \left\{ - \operatorname{sen}\theta_t + ln\ tg\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta_t}{2}\right)\right\}_{\theta_{t1}}^{\theta_{t2}}$$

en la que $\theta_{t2} < \theta_s$ y $\theta_{t1} < \theta_s$, que depende de la posición del Sol dada por θ_s; en la Fig X.8 se corresponde con la parte inclinada de las gráficas.

B) Receptor situado a 175 m de altura.- Caso 2.- Si en vez de utilizar anillos de espejos de anchura, l = 5 m, se emplean anillos de espejos de anchura, l = 10 m, las dimensiones del receptor cilíndrico vertical variarán, obteniéndose D_{10} = 18,5 m y h = 26,5 m, resultando:

$$Q_{10} = \frac{47{,}2946\, I_0}{1{,}7236 + 6{,}1444 \cos\theta_t} \int C\,\varphi^2\, d\left(\frac{\hat{h}}{\varphi}\right)$$

para la que se cumple:

$$\frac{\hat{r}}{\varphi} = 2{,}9711 > 2{,}9238$$

$$Para \begin{cases} \theta_s < \theta_{tm} \;\; ; \;\; Q = 192.420\ (\sec\theta_{t2} - \sec\theta_{t1})\ I_0 \\ \theta_{tm} < \theta_s < \theta_{tM} \;\; ; \;\; Q = 96.210\ (2\ \sec\theta_{t2} - \cos\theta_s\ \sec^2\theta_{t1} - \sec\theta_s)\ I_0 \\ \theta_s > \theta_{tM} \;\; ; \;\; Q = 96.210\ (tg\,\theta_{t2} - tg\,\theta_{t1})\ \cos\theta_s\ I_0 \end{cases}$$

Con estos resultados se saca la conclusión de que la energía Q que llega al receptor cilíndrico vertical, *siempre que se mantenga la continuidad del campo especular*, es independiente de la anchura de los espejos, ya que los valores de Q encontrados son iguales, siempre que los ángulos θ_{t1} y θ_{t2} que definen la banda de anillos considerada, sean también iguales en ambos casos.

CÁLCULOS PARA UNA TORRE DE H = 500 m MANTENIENDO LAS MISMAS DIMENSIONES DEL CAMPO ANTERIOR.

$$\begin{cases} R_{mín} = 101\ m. \;\; \Rightarrow \;\; \theta_{tm} = 11{,}42^\circ \\ R_{máx} = 480{,}8\ m. \;\; \Rightarrow \;\; \theta_{tM} = 43{,}88^\circ \end{cases}$$

C.- Receptor situado a 500 m de altura.- Caso 3.- Consideraremos:

$l = 5\ m\ ;\ \varphi = 1{,}7236 + 1{,}0753\cos\theta_t\ ;\ D_5 = 16{,}12\ m\ ;\ h = 66{,}55\ m\ ;\ \hat{r} = 3{,}4667$

$$\frac{\hat{r}}{\varphi} = \frac{3{,}4667}{1{,}7236 + 1{,}0753\ \cos\theta_t}$$

$$Q_5 = \frac{117{,}7449\ I_0}{1{,}7236 + 1{,}0753\ \cos\theta_t} \int C\,\varphi^2\ d\left(\frac{\hat{h}}{\varphi}\right)$$

a) *Para:* $\theta_S < \theta_{TM} \;\; \Rightarrow \;\; \begin{cases} \int C\,\varphi^2\ d\left(\frac{\hat{h}}{\varphi}\right) = 13.340\ (1{,}7236 + 1{,}0753\ \cos\theta_t)\ (\sec\theta_{t2} - \sec\theta_{t1}) \\ Q = 1.570.796\ I_0\ (\sec\theta_{t2} - \sec\theta_{t1})\ ;\ Q_{máx} = 576.740\ I_0 \end{cases}$

Comparando este resultado con el obtenido anteriormente de $Q = 340.500\ I_0$, se observa que un aumento de la altura H de la torre incrementa la energía que llega al receptor, por disminuir la superficie especular expuesta al apantallamiento.

b) *Para:* $11{,}42^o < \theta_s < 43{,}88^o$

$$\begin{cases} \int C\,\varphi^2\ d\left(\frac{\hat{h}}{\varphi}\right) = 6.670{,}35\ (1{,}7236 + 1{,}0753\ \cos\theta_t)\ (2\ \sec\theta_{t2} - \cos\theta_s\ \sec^2\theta_{t1} - \sec\theta_s) \\ Q = 785.400\ I_0\ (2\ \sec\theta_{t2} - \cos\theta_s\ \sec^2\theta_{t1} - \sec\theta_s) \end{cases}$$

c) *Para* $\theta_s > 43{,}88$, $\begin{cases} \int C\,\varphi^2\ d\left(\frac{\hat{h}}{\varphi}\right) = 6.670{,}35\ (1{,}7236 + 1{,}0753\ \cos\theta_t)\ (tg^2\theta_{t2} - tg^2\theta_{t1})\ \cos\theta_s \\ Q = 785.400\ I_0\ (tg^2\theta_{t2} - tg^2\theta_{t1})\ \cos\theta_s \end{cases}$

D.- Receptor situado a 500 m de altura.- Caso 4.- Consideraremos:

$l = 10\ m\ ;\ \varphi = 1{,}7236 + 2{,}1505 \cos\theta_t\ ;\ D_{10} = 21{,}12\ m\ ;\ h = 91{,}80\ m\ ;\ \hat{r} = 4{,}5419$

$$\frac{\hat{r}}{\varphi} = \frac{4{,}5419}{1{,}7236 + 2{,}1505 \cos\theta_t}$$

$$Q_{10} = \frac{154{,}2636\ I_0}{1{,}7236 + 2{,}1505 \cos\theta_t} \int C\ \varphi^2\ d(\frac{\hat{h}}{\varphi})$$

a) *Para:* $\theta_s < 11{,}42$,

$$\begin{cases} \int C\ \varphi^2\ d(\frac{\hat{h}}{\varphi}) = 10.183\ (1{,}7236 + 2{,}1505\ \cos\theta_t)\ (\sec\theta_{t2} - \sec\theta_{t1}) \\ Q = 1.570.796\ (\sec\theta_{t2} - \sec\theta_{t1})\ I_0 \quad \Rightarrow \quad Q_{máx} = 576.740\ I_0 \end{cases}$$

resultado que coincide con el anteriormente hallado.

b) *Para:* $11{,}42^o < \theta_s < 43{,}88^o$

$$\begin{cases} \int C\ \varphi^2\ d(\frac{\hat{h}}{\varphi}) = 5.091\ (1{,}7236 + 2{,}1505\ \cos\theta_t)\ (2\ \sec\theta_{t2} - \cos\theta_s\ \sec^2\theta_{t1} - \sec\theta_s) \\ Q = 785.400\ (2\ \sec\theta_{t2} - \cos\theta_s\ \sec^2\theta_{t1} - \sec\theta_s)\ I_0 \end{cases}$$

c) *Para:* $\theta_s > 43{,}88^\circ \ \Rightarrow$

$$\begin{cases} \int C\ \varphi^2\ d(\frac{\hat{h}}{\varphi}) = 5.091\ (1{,}7236 + 2{,}1505\ \cos\theta_t)\ (tg^2\theta_{t2} - tg^2\theta_{t1})\ \cos\theta_s \\ Q = 785.400\ I_0\ (tg^2\theta_{t2} - tg^2\theta_{t1})\ \cos\theta_s \end{cases}$$

Con estos resultados queda comprobado que la energía que llega al receptor cilíndrico vertical, para el campo continuo de anillos de heliostatos no depende de la anchura *l* de los anillos, sino de la altura *H* de la torre.

Si se mantiene la altura H = 500 m, y los ángulos periféricos del concentrador, $\begin{cases} \theta_{tm} = 30^o \\ \theta_{tM} = 70^o \end{cases}$, para los que se corresponden los radios, $R_{mín}$= 288,67 m y $R_{máx}$ = 1.373,75 m, la superficie especular del campo concentrador continuo sería de 5,667 km^2, en vez de 0,694 km^2 que se correspondían para H = 175 m.

E.- Receptor situado a 500 m de altura.- Caso 5.- Consideraremos:

$l = 5\ m\ ;\ \varphi = 1{,}7236 + 1{,}0753 \cos\theta_t\ ;\ D_5 = 28{,}50\ m\ ;\ h = 28{,}5\ m\ ;\ \hat{r} = 6{,}129$

$$\frac{\hat{r}}{\varphi} = \frac{6{,}1290}{1{,}7236 + 1{,}0753 \cos\theta_t}$$

$$Q_5 = \frac{208{,}1687\ I_0}{1{,}7236 + 1{,}0753 \cos\theta_t} \int C\ \varphi^2\ d(\frac{\hat{h}}{\varphi})$$

a) *Para:* $\theta_s < 30°$ $\Rightarrow$ $\begin{cases} \int C\,\varphi^2\, d(\frac{\hat{h}}{\varphi}) = 7.545\ (1{,}7236 + 1{,}0753\ \cos\theta_t)\ (\sec\theta_{t2} - \sec\theta_{t1}) \\ Q = 1.570.796\ I_0\ (\sec\theta_{t2} - \sec\theta_{t1}) \ \Rightarrow\ Q_{máx} = 2.778.900\ I_0 \end{cases}$

b) Para: $30° < \theta_s < 70°$:

$$\begin{cases} \int C\,\varphi^2\, d(\frac{\hat{h}}{\varphi}) = 3.774\,(1{,}7236 + 1{,}0753\cos\theta_t)\,(2\sec\theta_{t2} - \cos\theta_s\ \sec^2\theta_{t1} - \sec\theta_s) \\ Q = 785.400\ I_0\ (2\sec\theta_{t2} - \cos\theta_s\ \sec^2\theta_{t1} - \sec\theta_s) \end{cases}$$

c) *Para:* $\theta_s > 70°$ $\Rightarrow$ $\begin{cases} \int C\,\varphi^2\, d(\frac{\hat{h}}{\varphi}) = 3.774\,(1{,}7236 + 1{,}0753\cos\theta_t)\,(tg^2\theta_{t2} - tg^2\theta_{t1})\cos\theta_s \\ Q = 785.400\,(tg^2\theta_{t2} - tg^2\theta_{t1})\cos\theta_s\ I_0 \end{cases}$

F.- Receptor situado a 500 m de altura.- Caso 6.- Consideraremos:

$l = 10\ m\ ;\ \varphi = 1{,}7236 + 2{,}1505\cos\theta_t\ ;\ D_{10} = 33{,}50\ m\ ;\ h = 38{,}5\ m\ ;\ \hat{r} = 7{,}2043$

$$\frac{\hat{r}}{\varphi} = \frac{7{,}2043}{1{,}7236 + 2{,}1505\ \cos\theta_t}$$

$$Q_5 = \frac{244{,}6908\ I_0}{1{,}7236 + 2{,}1505\ \cos\theta_t} \int C\,\varphi^2\, d(\frac{\hat{h}}{\varphi})$$

a) Para $\theta_s < 30°$ $\Rightarrow$ $\begin{cases} \int C\,\varphi^2\, d(\frac{\hat{h}}{\varphi}) = 6.420\,(1{,}7236 + 2{,}1505\cos\theta_t)\,(\sec\theta_{t2} - \sec\theta_{t1}) \\ Q = 1.570.796\,(\sec\theta_{t2} - \sec\theta_{t1})\ I_0 \ \Rightarrow\ Q_{máx} = 2.778.900\ I_0 \end{cases}$

que comparada con $Q = 340.500\ I_0$ resulta ser 8,16 veces superior, que es la misma relación que existe entre las áreas de los concentradores, por lo que para campos semejantes en los que la relación de semejanza sea la correspondiente a la de las alturas de las torres, los resultados energéticos máximos serán también proporcionales a esta relación.

b) Para $30° < \theta_s < 70°$: $\begin{cases} \int C\,\varphi^2\, d(\frac{\hat{h}}{\varphi}) = 3.210\,(1{,}7236 + 2{,}1505\cos\theta_t)\,(2\sec\theta_{t2} - \cos\theta_s\ \sec^2\theta_{t1} - \sec\theta_s) \\ Q = 785.396\,(2\sec\theta_{t2} - \cos\theta_s\ \sec^2\theta_{t1} - \sec\theta_s)\ I_0 \end{cases}$

c) Para $\theta_s > 70°$ $\Rightarrow$ $\begin{cases} \int C\,\varphi^2\, d(\frac{\hat{h}}{\varphi}) = 3.210\ (1{,}7236 + 2{,}1505\ \cos\theta_t)\,(tg^2\theta_{t2} - tg^2\theta_{t1})\ \cos\theta_s \\ Q = 785.400\ (tg^2\theta_{t2} - tg^2\theta_{t1})\ \cos\theta_s\ I_0 \end{cases}$

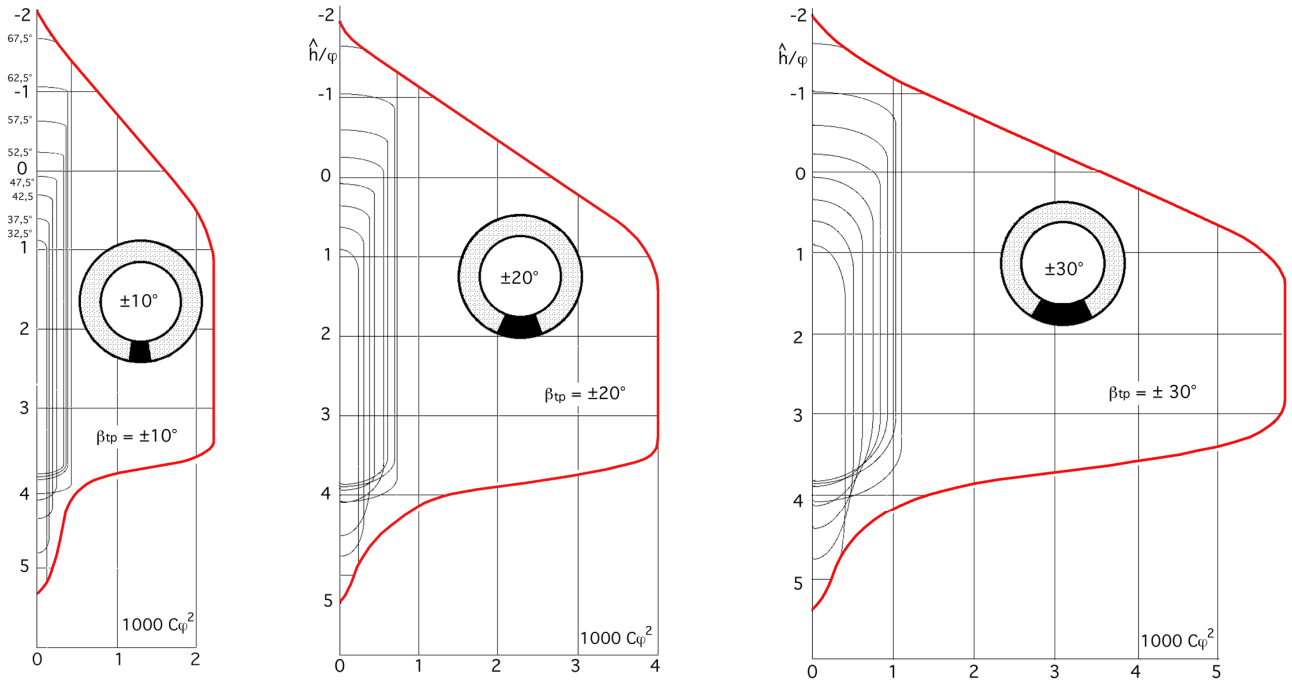
resultados que coinciden con otros hallados anteriormente y que confirman el hecho de que para el

campo continuo de heliostatos, la energía reflejada al receptor no depende de la anchura de los anillos.

X.3.- DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO SOLAR REFLEJADO SOBRE EL RECEPTOR, CORRESPONDIENTE A DIVERSOS VALORES DE β_{tp}

En el capítulo anterior se ha estudiado la contribución energética sobre el receptor, considerando un anillo individual de heliostatos definido por el valor medio de su θ_t, un grupo de anillos de anchura $\Delta\theta_t$ y el campo especular total entre, 0° y 70°, y entre, 30° y 70°. Sin embargo, la simetría puntual que impone el campo circular la podemos modificar sustituyéndola por otra respecto a un eje cualquiera, que por comodidad haremos coincidir con la dirección Norte-Sur, y así poder estudiar campos continuos formados por fracciones de anillos concéntricos, limitados para diversos valores del ángulo β_{tp} ó por intervalos de anchura $\Delta\beta_{tp}$.

Este estudio se puede ampliar al caso de suponer porciones de espejos que en un momento determinado pueden permanecer inactivos debido a diversas causas, como la nubosidad parcial de una parte del campo concentrador o al mal enfoque de un grupo de heliostatos sobre el punto focal F del receptor, o averías localizadas, etc, de forma que estos espejos se puedan compendiar dentro de un intervalo angular $\Delta\beta_{tp}$, a partir de un valor de β_{tp} perfectamente determinado. Al haber definido el ángulo $\beta_{tp} = \beta_t - \beta_p$ como un ángulo relativo acimutal, se pueden obtener algunas curvas que muestren las contribuciones energéticas producidas sobre un punto P en el plano imagen del receptor, que sabemos viene definido por el ángulo β_p, para diversas cuñas de anillos comprendidas dentro del intervalo definido por los ángulos, $\pm\beta_{tp}$.



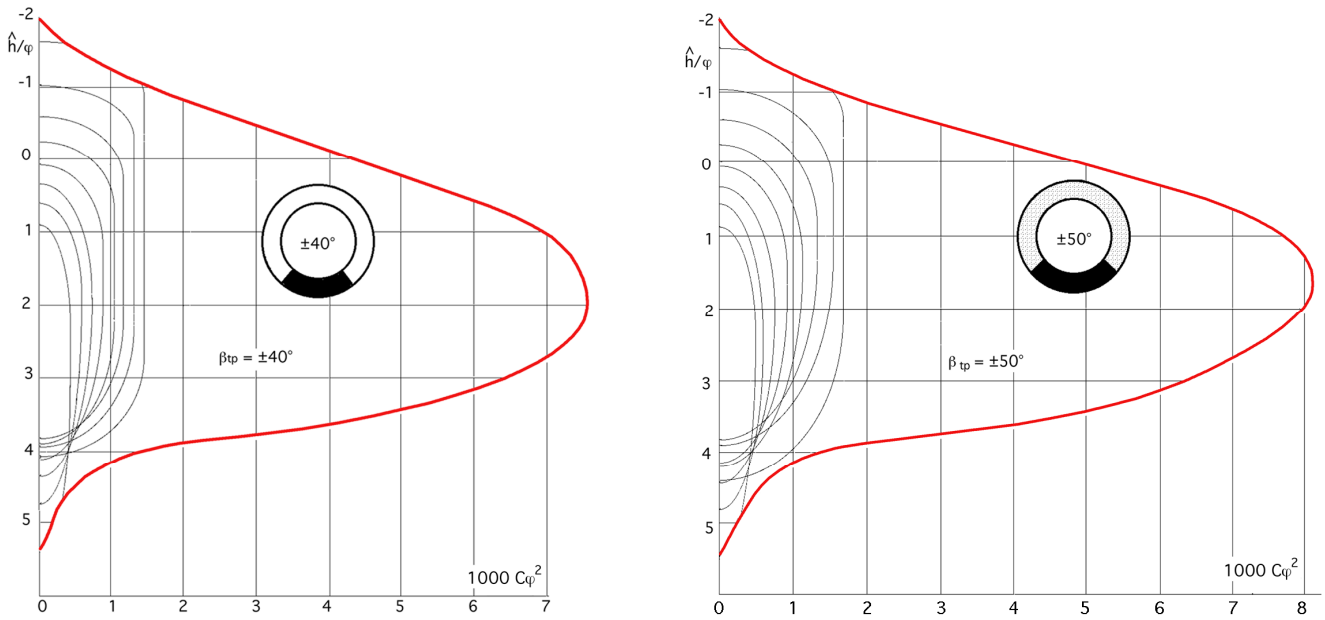


Fig X.9.- Contribución por anillos y distribución de energía sobre el receptor con cuñas de anillos especulares, para β_{tp} = 10°, 20°, 30°, 40° y 50°, r = 7 m; h = 17 m; H = 175 m; $\frac{\hat{r}}{\varphi}$ variable

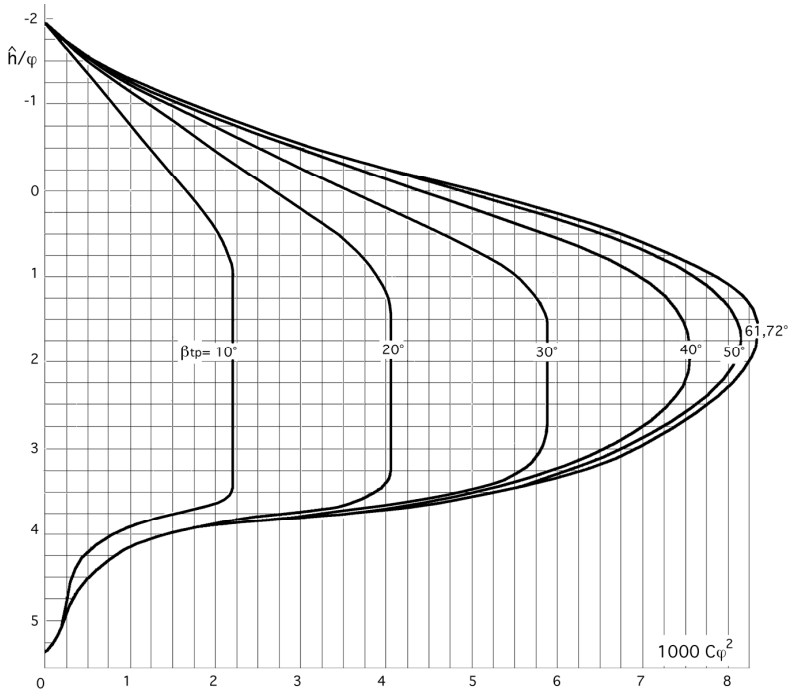


Fig X.10.- Relaciones de concentración sobre el receptor con campo continuo de heliostatos comprendido entre 30°< θ_t < 70

Para su resolución partiremos de las ecuaciones que han proporcionado las curvas $(\frac{\hat{h}}{\varphi}, C\varphi^2)$, para valores de $\frac{\hat{r}}{\varphi}$ variables, lo cual supone que el receptor cilíndrico vertical debe ser de dimensiones fijas.

Si se interpreta que $\frac{\hat{r}}{\varphi} = cte$, el receptor modificaría sus dimensiones continuamente, adaptándolas a los valores que le impondría el factor de dispersión angular φ, cosa imposible a todos los efectos.

En la Fig X.10 se han representado las curvas correspondientes a β_{tp}= *±10°, ±20°, ±30°, ±40° y ±50°*. Asimismo se ha hecho la representación de la contribución energética sobre el receptor de grupos de anillos comprendidos en intervalos, $\Delta\theta_t$ = 5°, para el campo continuo entre los limites: θ_{tm} = 30° y θ_{tM} = 70°.

Para valores de β_{tp} = ±10°, aparece un tramo uniforme, según el cual, para el intervalo sobre el receptor dado por $1 \le \frac{\hat{h}}{\varphi} \le 3{,}5$, la densidad energética es constante.

A medida que aumenta el valor de β_{tp}, el intervalo entre los valores de $\hat{h}_{uv}$ va disminuyendo al tiempo que aumenta el de $C\varphi^2$, llegándose así a que para $\beta_{tp(máximo)} = 61{,}72^o$, se obtiene un máximo de C tal que $C\varphi^2 = 8350$, *para* $\frac{\hat{h}}{\varphi} = 1{,}6$ como se ha representado en la Fig XI.2.

Si consideramos los intervalos $\Delta\beta_{tp}$ comprendidos entre dos valores de ± β_{tp}, se obtendrán las gráficas de la Fig X.11; para ello se procederá restando las curvas de las Fig X.9 entre sí, de forma que lo que se obtiene es la contribución correspondiente a un intervalo $\Delta\beta_{tp}$ dado, para un valor medio de β_{tp} definido por $\beta_{tp} = \frac{\beta_{tp2} - \beta_{tp1}}{2}$, en donde se han considerado intervalos $\Delta\beta_{tp}$= ± *10°* para diversos valores medios de β_{tp}; en todas las representaciones se ha considerado que vienen referidas al punto P del plano imagen sobre el receptor, definido como sabemos por β_p= 0°. Las gráficas se corresponden con los valores de la Tabla X.4.

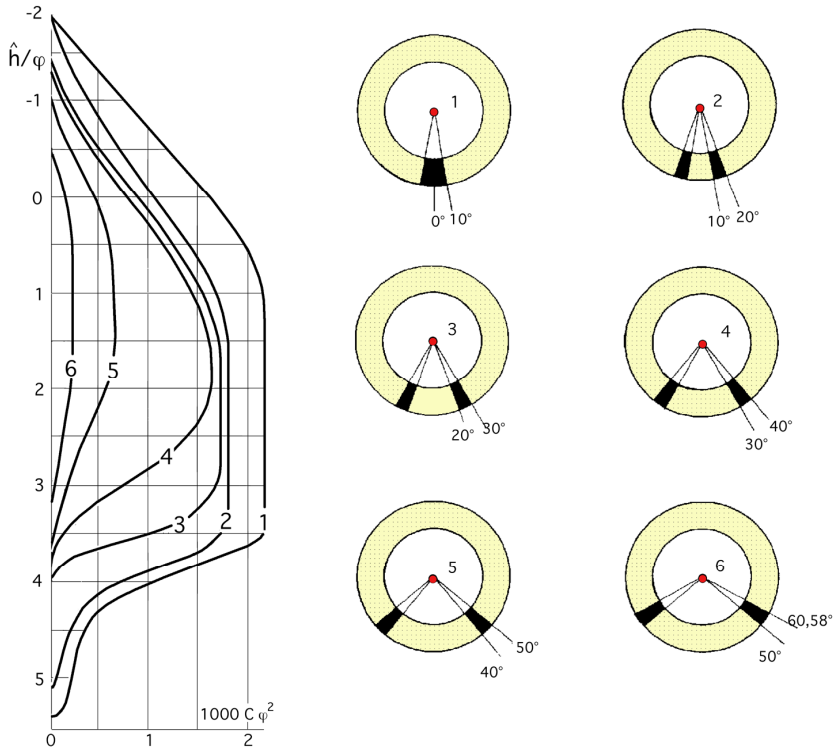
La contribución de cada anillo, o grupos de anillos dentro del intervalo $\Delta\beta_{tp}$ disminuye a medida que aumenta el valor de β_{tp}, llegándose a la conclusión de que el grupo de anillos correspondiente a los valores de $\beta_{tp(máximo)}$ representados por la gráfica n°6 no contribuye en forma apreciable, desde el punto de vista energético, respecto a la posición sobre el receptor definida por el punto P, en el que β_p = 0.

Tabla X.4

Número	β_{tp1}	β_{tp2}	$\beta_{tp(medio)}$	$\Delta\beta_{tp}$
1	*0°*	*±10°*	*5°*	*10°*
2	*±10°*	*±20°*	*15°*	*10°*
3	*±20°*	*±30°*	*25°*	*10°*
4	*±30°*	*±40°*	*35°*	*10°*
5	*±40°*	*±50°*	*45°*	*10°*
6	*±50°*	*±61,72°*	*55,86°*	*11,72°*

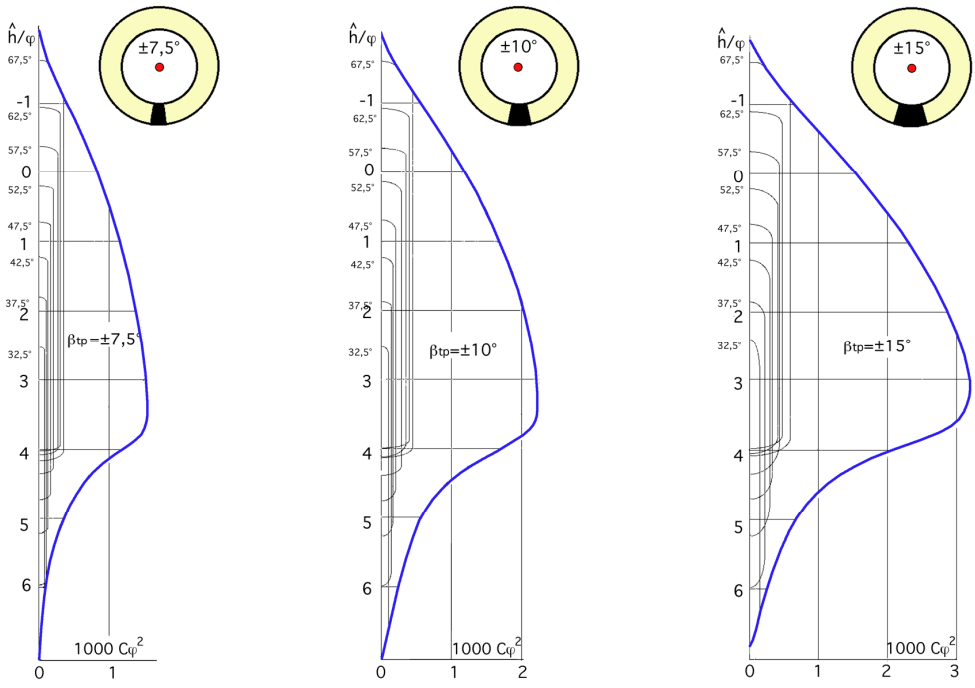
Las Fig X.12 están construidas para $\frac{\hat{r}}{\varphi} = 3$ y en ellas no aparece ningún tramo de densidad energética uniforme, como sucedía para $\frac{\hat{r}}{\varphi}$ variable, sino que tienen forma de pico.

En esas zonas sobre el receptor existirán densidades energéticas muy elevadas, con el consiguiente peligro de que desde un punto de vista térmico no puedan ser soportadas por el mismo, dadas las limitaciones metalúrgicas del receptor.



r= 7 m. ; h= 17 m. ; H= 175 m. ; $\frac{\hat{r}}{\varphi}$ *= variable ;* $30° < \theta_t < 70°$; $\theta_s < 30°$

Fig X.3.- Relaciones de concentración sobre un receptor cilíndrico vertical para cuñas de espejos de anchura $\Delta\beta_{tp}=10°$



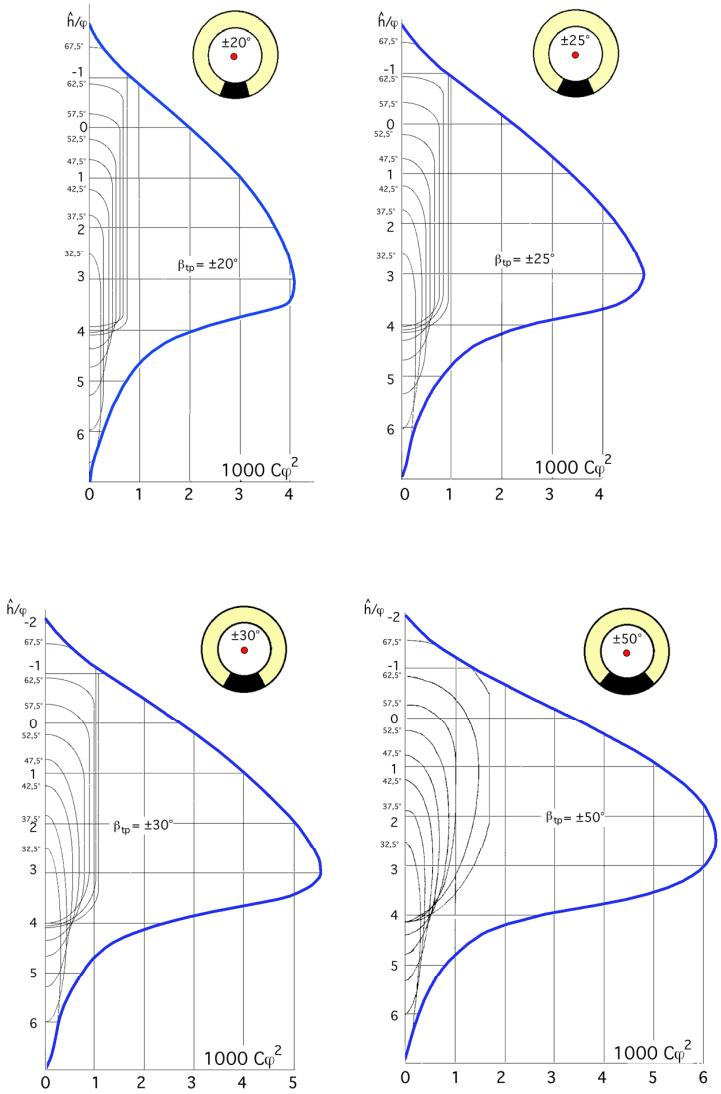
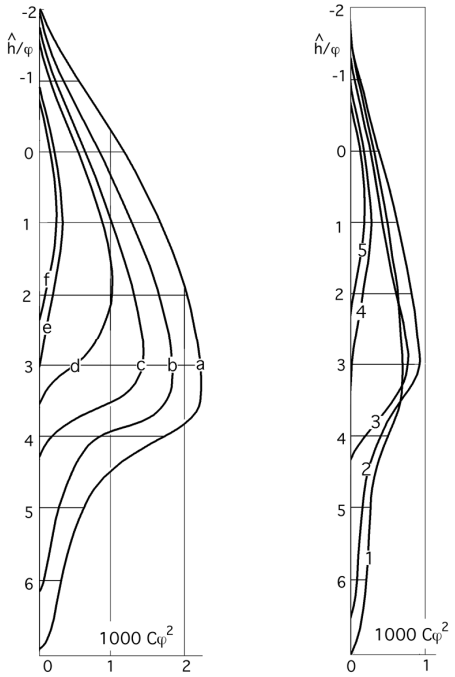


Fig X.12.- Relaciones de concentración sobre el receptor con campo continuo de heliostatos y $\frac{\hat{r}}{\varphi} = 3$

El valor de $C\varphi^2$ máximo es inferior al correspondiente a $\frac{\hat{r}}{\varphi}$ variable, haciéndose más amplio el tramo correspondiente a los valores de $\frac{\hat{h}}{\varphi}$ sobre el receptor, lo que supone una mayor altura del mismo, siempre que se mantenga constante la anchura de los anillos.

Una solución que permita valores de $\frac{\hat{r}}{\varphi}$ constantes se podría llevar a la práctica siempre que la anchura de los anillos fuese disminuyendo a medida que se alejan de la torre, de forma que los espejos más alejados, como deben seguir siendo de sección reflectante cuadrada, tengan dimensiones menores que los más próximos a la torre.

El mantener constantes las dimensiones de los espejos, supondría que la única solución posible compatible con el mantenimiento de $\frac{\hat{r}}{\varphi}$ constante sería la de modificar las dimensiones del receptor adaptándolas a las condiciones impuestas por los diferentes anillos, cuestión técnica imposible.



a) 0°÷ 10° ; b) 10°÷ 20° ; c) 20°÷ 30° ; d) 30°÷ 40° ; e) 40°÷ 50° ; f) 50°÷ 60,58°
1) 7,5°÷ 10° ; 2) 10°÷ 15° ; 3) 15°÷ 20° ; 4) 40°÷ 50° ; 5) 50°÷ 60,58°
Fig X.13.- Contribuciones energéticas sobre el receptor correspondientes a distintos valores medios de β_{tp} y diversos intervalos de anillos especulares

El haber adoptado para valores de $\frac{\hat{r}}{\varphi}$ diversos tipos radica en el concepto de geometrías del campo especular compatibles con la realidad y que pudieran ser posibles prácticamente.

Su diferencia radica en que las dimensiones del receptor serían distintas, por cuanto para $\frac{\hat{r}}{\varphi}$ variable, su altura vendría fijada por los espejos interiores, y su diámetro por los exteriores, mientras que para $\frac{\hat{r}}{\varphi}$ fijo, si las dimensiones de los espejos interiores son las mismas que las del caso $\frac{\hat{r}}{\varphi}$ variable, la altura del receptor sería también la misma, aunque su diámetro sería menor por ser también menor el valor de D correspondiente a la elipse solar imagen sobre el plano tangente al receptor, correspondiente a los espejos situados en los anillos más exteriores.

En las Fig X.13 se han representado las contribuciones energéticas sobre el receptor, correspondientes a diversos valores medios de β_{tp} e intervalos de anillos diversos, como en la Fig X.11.

Se observa que cuanto más pequeño sea β_{tp} mayores serán los valores de $\frac{\hat{h}}{\varphi}$ dependiendo los correspondientes a $C\varphi^2$ del valor del intervalo considerado.

X.4.- DISTRIBUCIÓN DEL FLUJO SOLAR SOBRE EL RECEPTOR, CUANDO SE MODIFICA EL PUNTO DE ENFOQUE PARA DIVERSOS GRUPOS DE ANILLOS

Cuando todos los anillos focalizan en el mismo punto sobre el eje del receptor, hemos comprobado que en la distribución de energía sobre el mismo aparece un pico, que no es aconsejable mantener por consideraciones de tipo técnico; en consecuencia se impone la necesidad de obtener una distribu-

ción energética más homogénea que haga posible el que sobre la superficie exterior del receptor se obtenga una temperatura más o menos uniforme, y que en un instante determinado se pueda considerar como constante.

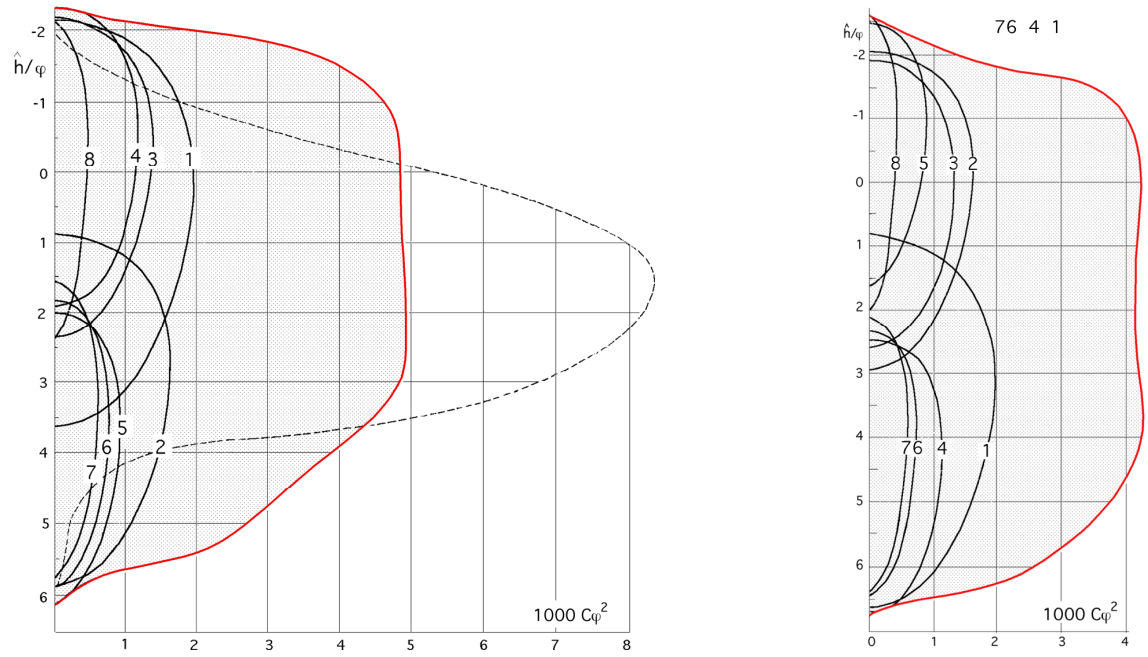


Fig X.14.a.b.- Distribución de energía sobre el receptor para puntos focales distintos del punto F

Esto se puede lograr haciendo que los anillos o diversos grupos de anillos estén enfocados a puntos distintos del F sobre el eje del receptor, Fig X.14; la formulación anteriormente obtenida seguirá siendo válida, por cuanto cuando un grupo de anillos enfoque a un punto cualquiera distinto del F sobre el eje del receptor, el desplazamiento vertical de dicho punto respecto al F será, como mucho, de unos pocos metros, longitud que comparada con la distancia existente entre el receptor y los diversos grupos de anillos es prácticamente despreciable, por lo que la contribución original del flujo solar sobre el receptor mantendrá, para cada anillo o grupos de anillos, no solo su forma, sino también la magnitud y la simetría acimutal, aunque trasladadas verticalmente una distancia igual a la que existe entre el nuevo punto focal correspondiente al grupo de anillos considerado, y el foco primitivo F.

Este mantenimiento de la forma de la contribución de la distribución de flujo, es una aproximación que podemos considerar como válida, aunque ciertamente no es la real, pero que nos permitirá reformar la distribución del flujo total sobre la superficie del receptor, acorde con las necesidades energéticas impuestas por el fluido que vaya a circular por el receptor, que a partir de ese momento se convertirá en un intercambiador de calor; lo ideal sería mantener una temperatura uniforme siempre que el fluido no vaporice; y para cuando circule un fluido condensable, obtener otro tipo de distribución energética sobre el receptor que tienda a acoplarse a las necesidades técnicas del fluido, sobre todo en la etapa de vaporización. Esta modificación del punto focal F se puede aplicar también

a casos de emergencia, como el que un cierto número de espejos permanezcan inactivos o desenfocados, por avería, limpieza, nubosidad parcial sobre el concentrador, etc, de forma que los espejos que permanezcan activos se podrían enfocar a otros puntos sobre el eje del receptor, que tiendan a paliar y compensar en lo posible el fallo o avería correspondiente.

En la Fig X.14 se ha representado un caso de modificación del punto focal F, de forma que los diversos grupos de anillos estudiados según la Fig X.15a están desenfocados; como se ha dicho anteriormente, la forme de la distribución energética sobre el receptor se mantendrá, pero no en el mismo lugar. Los puntos de enfoque sobre el eje del receptor, para los diversos grupos de anillos numerados del 1 al 8 vienen dados en la Tabla X.5.

Tabla X.5

Curva	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
Valor medio θ_t	*67,5*	*62,5*	*57,5*	*52,5*	*47,5*	*42,5*	*37,5*	*32,5*
$\hat{r}/\varphi$	*2,97*	*2,74*	*2,55*	*2,39*	*2,26*	*2,16*	*2,07*	*1,99*
Punto focal (h_{uv}/φ)	*-0,5*	*2*	*-1,5*	*-2*	*2*	*1,5*	*1*	*-3*

La máxima relación de concentración de energía solar reflejada, distribuida uniformemente sobre el receptor, se obtiene, en estas condiciones, entre:

$$-1 \le \frac{\hat{h}_{u\,v}}{\varphi} \le 3 \quad ; \quad C\,\varphi^2 \cong 4.800$$

En la Fig XI.6a hemos representado a trazos el pico de la concentración energética para el caso de enfoque de los espejos a un único punto F, y se observa que su máximo se corresponde con $C\varphi^2 \approx 8.400$, apreciándose una notable reducción del mismo.

En la Fig X.14b hemos hecho otra representación, similar a la anterior, en la que el intervalo de distribución energética uniforme aparece más amplio, entre:

$$-1 \le \frac{\hat{h}_{u\,v}}{\varphi} \le 4{,}5 \quad ; \quad C\,\varphi^2 \approx 4.200$$

por lo que disminuye el valor de $C\varphi^2 \approx 4.200$.

En este caso, por la parte inferior del receptor se perderá energía, es decir, no podrá ser aprovechada literalmente, pero sí se podrá utilizar en el precalentamiento del fluido motor. Los puntos de enfoque vienen dados en la Tabla X.6.

Tabla X.6

Curva	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
Punto focal (h_{uv}/φ)	*2*	*-1,5*	*-1,75*	*2,25*	*-3*	*1,5*	*1*	*-4*

La importancia de este tipo de concentración con puntos de enfoque múltiples, radica en que el fluido que se vaporiza necesita, para tramos iguales de altura del receptor, contribuciones energéti-

cas distintas, motivadas no sólo por sus características físicas, sino también por las condiciones iniciales y finales, a la entrada y salida del receptor, que a su vez podrán modificarse para obtener un determinado punto de funcionamiento, por lo que habrá que adecuar convenientemente las curvas de distribución energética sobre el receptor, a las necesidades impuestas por el fluido.

- El número total de anillos concéntricos para el campo continuo de heliostatos, de anchura de anillo igual a l = 5 m sería de 77; el número total de espejos para este concentrador sería de 27.258

- El número total de anillos concéntricos para el campo continuo de heliostatos, de anchura de anillo igual a l = 10 m sería de 39; el número total de espejos para este concentrador sería de 6.903

La superficie total del campo especular, para éste último caso particular sería de 0,7 km^2

CONCENTRADOR CONTINUO DE ESPEJOS

Anillo nº	*R medio anillo metros*	*Ángulo acimutal*	*Nº espejos*		*Distancia espejos metros*		*Anillo nº*	*R medio anillo metros*	*Ángulo acimutal*	*Nº espejos*		*Distancia espejos metros*
			l 5 m	*l 10 m*						*l 5 m*	*l 10 m*	
1	*101*	*30*	*126*	*63*	*5,036*		*19*	*281*	*58,086*	*342*	*171*	*5,163*
1'	*106*			*132*	*5,045*		*19'*	*286*			*348*	*5,164*
2	*111*	*32,386*	*138*	*69*	*5,053*		*20*	*291*	*58,978*	*354*	*177*	*5,165*
2'	*116*			*144*	*5,061*		*20'*	*296*			*360*	*5,166*
3	*121*	*34,661*	*150*	*75*	*5,068*		*21*	*301*	*59,826*	*366*	*183*	*5,167*
3'	*126*			*156*	*5,075*		*21'*	*306*			*372*	*5,168*
4	*131*	*36,817*	*162*	*81*	*5,080*		*22*	*311*	*60,633*	*378*	*189*	*5,169*
4'	*136*			*168*	*5,086*		*22'*	*316*			*384*	*5,171*
5	*141*	*38,858*	*174*	*87*	*5,091*		*23*	*321*	*61,402*	*390*	*195*	*5,172*
5'	*146*			*180*	*5,096*		*23'*	*326*			*396*	*5,173*
6	*151*	*40,789*	*186*	*93*	*5,100*		*24*	*331*	*62,135*	*402*	*201*	*5,173*
6'	*156*			*192*	*5,105*		*24'*	*336*			*408*	*5,174*
7	*161*	*42,614*	*198*	*99*	*5,109*		*25*	*341*	*62,833*	*414*	*207*	*5,175*
7'	*166*			*204*	*5,112*		*25'*	*346*			*420*	*5,176*
8	*171*	*44,337*	*210*	*105*	*5,116*		*26*	*351*	*63,500*	*426*	*213*	*5,177*
8'	*176*			*216*	*5,119*		*26'*	*356*			*432*	*5,178*
9	*181*	*45,965*	*222*	*111*	*5,122*		*27*	*361*	*64,137*	*438*	*219*	*5,179*
9'	*186*			*228*	*5,125*		*27'*	*366*			*444*	*5,179*
10	*191*	*47,503*	*234*	*117*	*5,128*		*28*	*371*	*64,747*	*450*	*225*	*5,180*
10'	*196*			*240*	*5,131*		*28'*	*376*			*456*	*5,181*
11	*201*	*48,955*	*246*	*123*	*5,133*		*29*	*381*	*65,330*	*462*	*231*	*5,182*
11'	*206*			*252*	*5,136*		*29'*	*386*			*468*	*5,183*
12	*211*	*50,328*	*258*	*129*	*5,138*		*30*	*391*	*65,888*	*474*	*237*	*5,184*
12'	*216*			*264*	*5,140*		*30'*	*396*			*480*	*5,184*
13	*221*	*51,626*	*270*	*135*	*5,143*		*31*	*401*	*66,423*	*486*	*243*	*5,184*
13'	*226*			*276*	*5,145*		*31'*	*406*			*492*	*5,185*
14	*231*	*52,813*	*282*	*141*	*5,147*		*32*	*411*	*66,936*	*498*	*249*	*5,186*
14'	*236*			*288*	*5,148*		*32'*	*416*			*504*	*5,186*
15	*241*	*54,015*	*294*	*147*	*5,150*		*33*	*421*	*67,428*	*510*	*255*	*5,187*
15'	*246*			*300*	*5,152*		*33'*	*426*			*516*	*5,187*
16	*251*	*55,115*	*306*	*153*	*5,154*		*34*	*431*	*67,901*	*522*	*261*	*5,188*
16'	*256*			*312*	*5,155*		*34'*	*436*			*528*	*5,189*
17	*261*	*56,158*	*318*	*159*	*5,157*		*35*	*441*	*68,355*	*534*	*267*	*5,189*
17'	*266*			*324*	*5,158*		*35'*	*446*			*540*	*5,190*
18	*271*	*57,147*	*330*	*165*	*5,160*							
18'	*276*			*336*	*5,161*							