

XI.- RECEPTOR CILÍNDRICO VERTICAL

XI.1.- DIMENSIONES DEL RECEPTOR CILÍNDRICO VERTICAL

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

$$D = 2 r = 2 \theta H = 2 \times 4,65 \cdot 10^{-3} H = 9,3 \cdot 10^{-3} \frac{H}{\cos \alpha}$$

obteniéndose así el diámetro mínimo del receptor para $\alpha = \alpha_M$, que puede captar toda la energía reflejada por los anillos; su altura se obtendrá a partir de,

$$h = \frac{D}{\sin \alpha_M}$$

En las Fig XI.1a.b se ha representado el factor de dispersión angular θ en función de la anchura l del anillo, entre 1 y 10 metros, para un ángulo α determinado, 30° , Fig XI.1a, y 70° , Fig XI.1b, para diversas alturas del punto focal F , dadas por los valores asignados a H . En las Fig XI.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 metros, para un ángulo α determinado, diversas alturas H del punto focal F . Se observa que el diámetro mínimo del receptor va a depender de los ángulos α máximos, es decir, de α_M . En las Fig XI.3a.b se ha representado la altura h del receptor en función de la anchura l del anillo, entre 1 y 10 metros, para ángulos de 30° y 70° respectivamente, observándose que la altura máxima h del receptor va a depender de los ángulos α mínimos, es decir, de α_m .

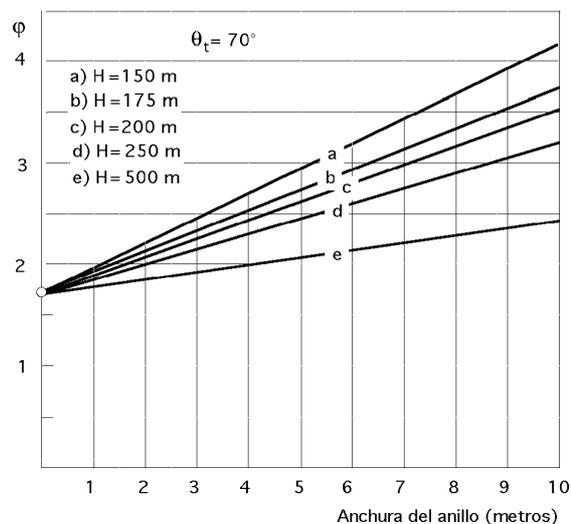
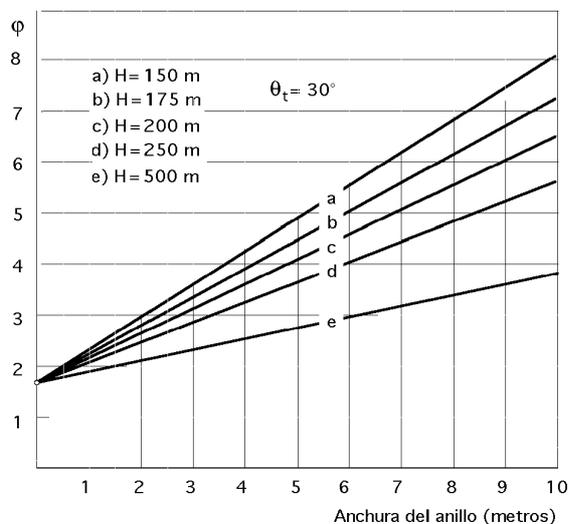


Fig XI.1a.b.- Factores de dispersión angular en función de la anchura del anillo

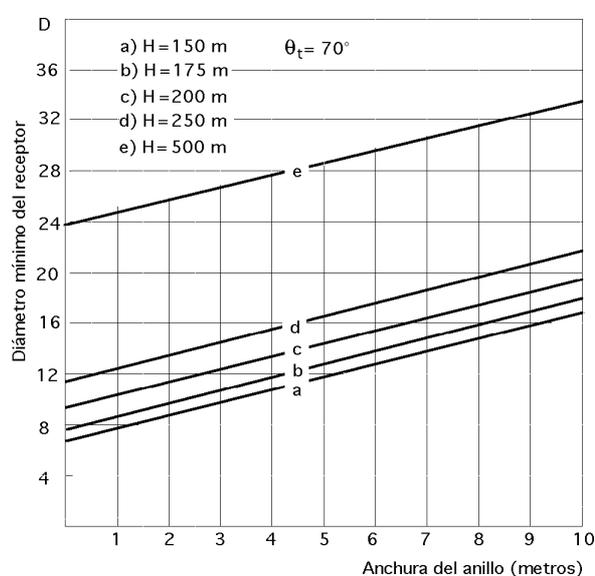
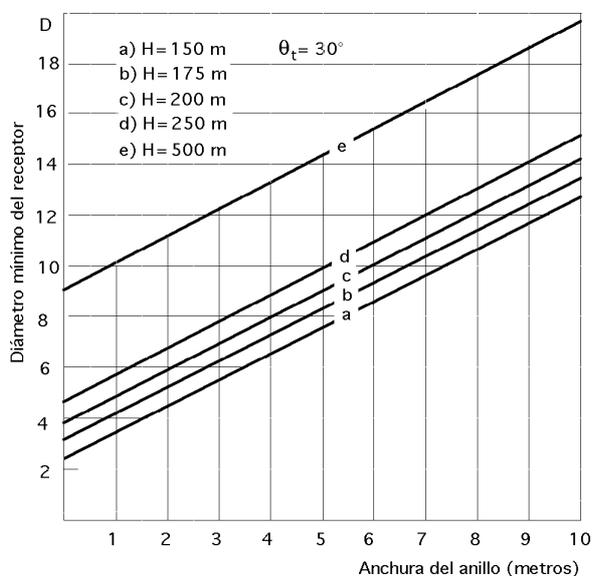


Fig XI.2a.b.- Diámetro D de la imagen solar reflejada en función de la anchura del anillo

Como el valor de \hat{r} no permanece constante para todo el concentrador, por cuanto varía con t para una altura del punto focal determinada, los valores de \hat{r} también variarán; el valor del radio mínimo del receptor r es,

$$r_s = H = 4,65 \cdot 10^{-3} H$$

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

$$\hat{r} = \frac{D}{2 \times 4,65 \cdot 10^{-3} H} = 107,5269 \frac{D}{H} \quad \hat{r} = 107,5269 \frac{D}{H}$$

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

Si suponemos anillos de espejos de anchura $l = 5$ metros, el valor de D_5 queda en la forma:

$$D_5 = 1,7236 + 3,0722 \cos \theta_t$$

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

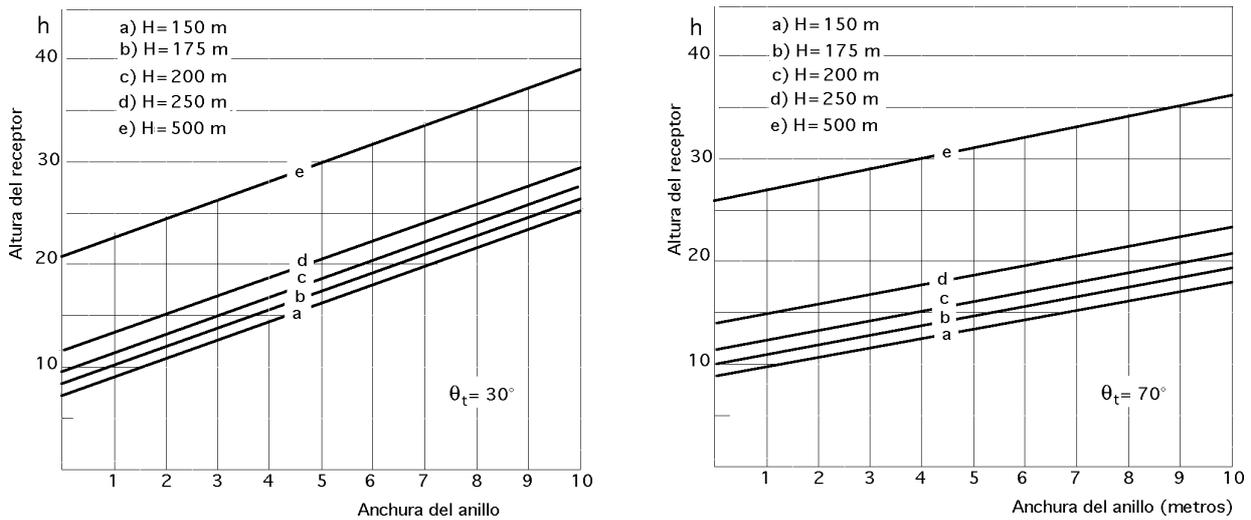


Fig XI 3a.b.- Altura h del receptor para anillos de anchura l

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

Tabla XI.1

D(5) = 13,7 m ; l = 5 m ; H = 175 m									
θ_t	70°	65°	60°	55°	50°	45°	40°	35°	30°
	2,7742	3,022	3,2596	3,4857	3,6982	3,896	4,0768	4,2402	4,384
\hat{r}_t	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 \hat{h} viene dada por la Fig XII.4, y por la ecuación,

$$h_{u,v} = \hat{h} r_s = \frac{\hat{h}}{H} \times 4,65 \cdot 10^{-3} (1,7236 + 107,5269 \frac{l \cos \theta_t}{H}) H =$$

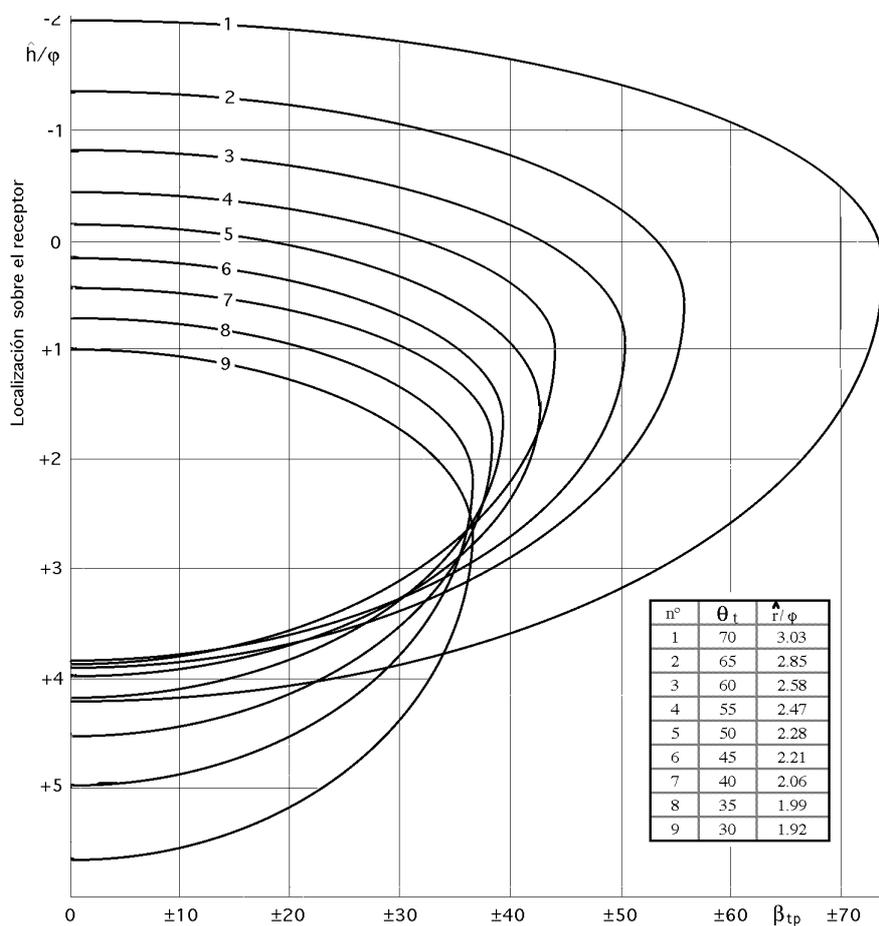
$$= \frac{4,65 \cdot 10^{-3} \hat{h}}{H} (1,7236 + 3,0722 \cos \theta_t) \times 175 \text{ m}$$

en la que \hat{h} se obtiene de la siguiente ecuación en función de θ_{tp} :

$$\hat{h} = \frac{1}{\sin \theta_t} \sqrt{\frac{\hat{r}}{\cos \theta_t \cos \theta_{tp}} \pm \frac{1}{\cos^2 \theta_t} - (\frac{\hat{r}}{\cos \theta_t})^2 \sin^2 \theta_{tp}}$$

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

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



$$H = 175 \text{ m}; l = 5 \text{ m}; \quad = 1,7236 + 3,0722 \cos t$$

Fig XI.4.- Localización acimutal de los espejos t_p

que dan lugar a la Tabla XI.2.

Tabla XI.2

$D(10) = 18,23 \text{ m}; l = 10 \text{ m}; H = 175 \text{ m}$					
t	70°	60°	50°	40°	30°
	3,8251	4,7958	3,6982	6,4305	7,0448
\hat{r}/ϕ	2,93	2,34	1,97	1,74	1,59

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.

Con las ecuaciones anteriores, la altura h del receptor, que se obtiene es,

$$\text{Para } D_5 = 13,70 \text{ metros} \quad ; \quad h_5 = 16,48 \text{ metros}$$

$$\text{Para } D_{10} = 18,23 \text{ metros} \quad ; \quad h_{10} = 26,50 \text{ metros}$$

Mediante las gráficas de las Fig XI.4 y 5, para $l = 5 \text{ m}$ y $l = 10 \text{ m}$ respectivamente, se observa que los valores de \hat{h} para $t_p = 0$ son muy parecidos en ambos casos, modificándose a medida que aumenta t_p .

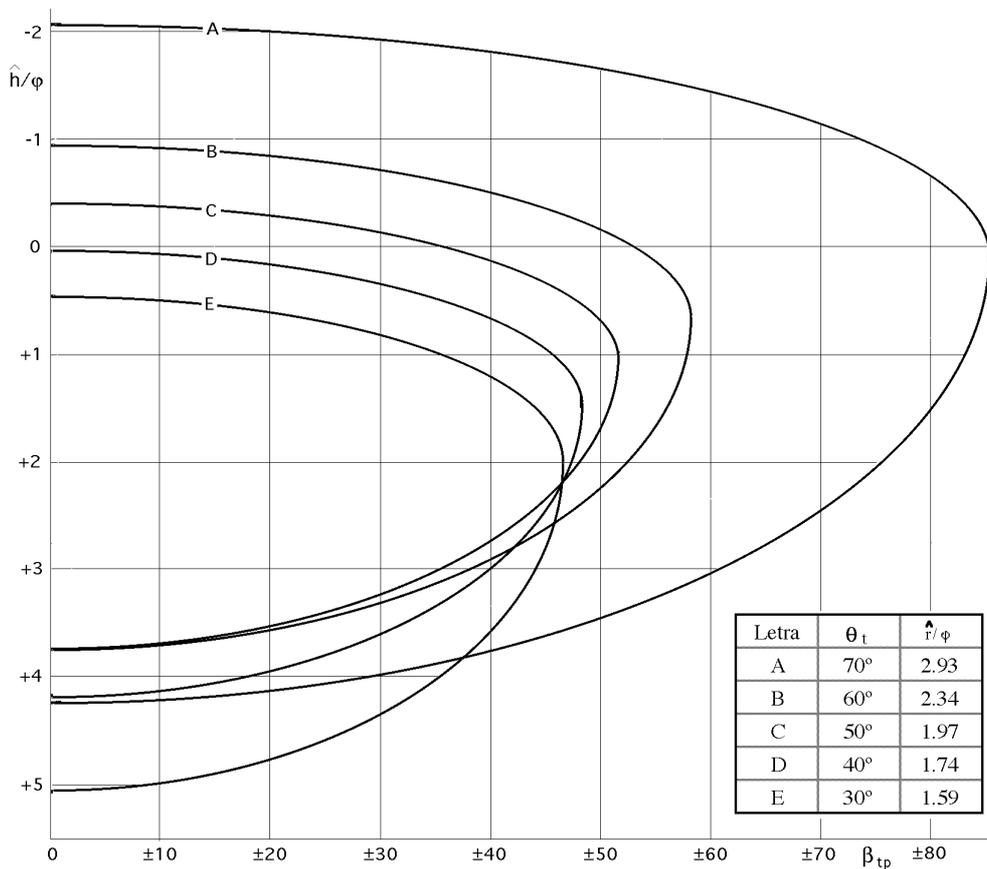


Fig XI.5.- Localización acimutal de los espejos β_{tp} , $H = 175$ m; $l = 10$ m; $\hat{h} = 1,7236 + 6,1444 \cos \theta_t$

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, se estaría en el caso límite $\beta_{tp} = \pm 90^\circ$.

Para que el receptor capte todo el flujo solar reflejado por el concentrador, tiene que cumplirse que $\beta_{tp} = 0$, para cada espejo, compatible con \hat{h} máximo, siendo θ_{tM} el caso extremo más desfavorable, para el que se encuentra,

$$\hat{h} = \operatorname{cosec} \theta_{tM} \left(\hat{r} \cos \theta_{tM} \pm \sec \theta_{tM} \right)$$

y como, $\theta_{tM} = 70^\circ$; $\hat{r} > 0$; $\theta_{tM} > 0$, resulta:

$$\hat{r} \cos \theta_{tM} > 0 \quad ; \quad \hat{r} > \sec 70^\circ \quad ; \quad \hat{r} > 2,9238$$

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

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

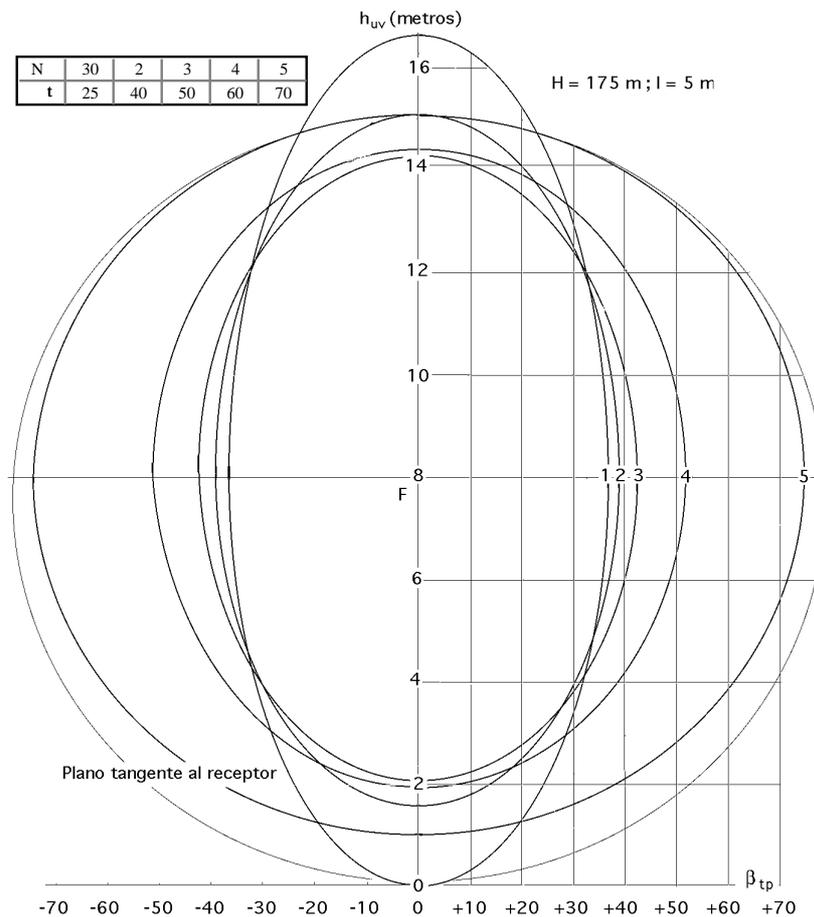


Fig XI.6.- Diversas alturas de la imagen solar plana sobre el receptor cilíndrico vertical

En la Fig XI.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, $t = 30^\circ$, para $\beta_{tp} = 0^\circ$ dan la altura mínima que debe tener el receptor, $h = 16,48$ m, mientras que para, $t = 70^\circ$, esta altura es de 14,07 metros.

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

A) Receptor situado a 175 metros de altura.- Caso 1.- Si consideramos el receptor a 175 metros de altura, como un cilindro de 14 metros de diámetro y 17 metros de altura, con anillos de espejos de $l = 5$ m de anchura.

El flujo solar incidente sobre el concentrador es,

Para,

$$t_m = 0^\circ ; \quad t_M = 70^\circ, \quad Q = 726.238 I_0$$

$$t_m = 30^\circ ; \quad t_M = 70^\circ, \quad Q = 694.190 I_0$$

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

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

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

por lo que la energía solar teórica que llega al receptor debida a un anillo cualquiera definido por su τ es,

$$Q = \frac{35,7901 I_0}{1,7236 + 3,0722 \cos \tau} \int_C^2 d(\frac{\hat{h}}{C})$$

en la que la integral $\int_C^2 d(\frac{\hat{h}}{C})$ viene representada en la Fig XI.7 por el área comprendida entre las curvas correspondientes a diversos valores de τ y el eje de ordenadas.

Igualando las ecuaciones,

$$Q = \frac{35,7901 I_0}{1,7236 + 3,0722 \cos \tau} \int_C^2 d(\frac{\hat{h}}{C}) = H^2 A^* I_0$$

se obtiene,

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

Cuando A^* venga dada por la ecuación,

$$A^* = 2 (\sec \tau_M - \sec \tau_m)$$

en la que predomina el apantallamiento sobre la sombra solar, tendremos

$$\int_C^2 d(\frac{\hat{h}}{C}) = \frac{\sec \tau_M - \sec \tau_m}{\left(\frac{\hat{r}}{C} \right)^2}, \quad \text{con, } \frac{\hat{r}}{C} > \sec \tau_M; \quad \frac{\hat{r}}{C} > \sec 70^\circ; \quad \frac{\hat{r}}{C} > 2,9238$$

$$\text{Para, } \tau_M = 70^\circ, \quad \tau_m = 0^\circ, \quad \tau_s = 0^\circ, \quad \int_C^2 d(\frac{\hat{h}}{C}) = 10.343 (1,7236 + 3,0722 \cos \tau)$$

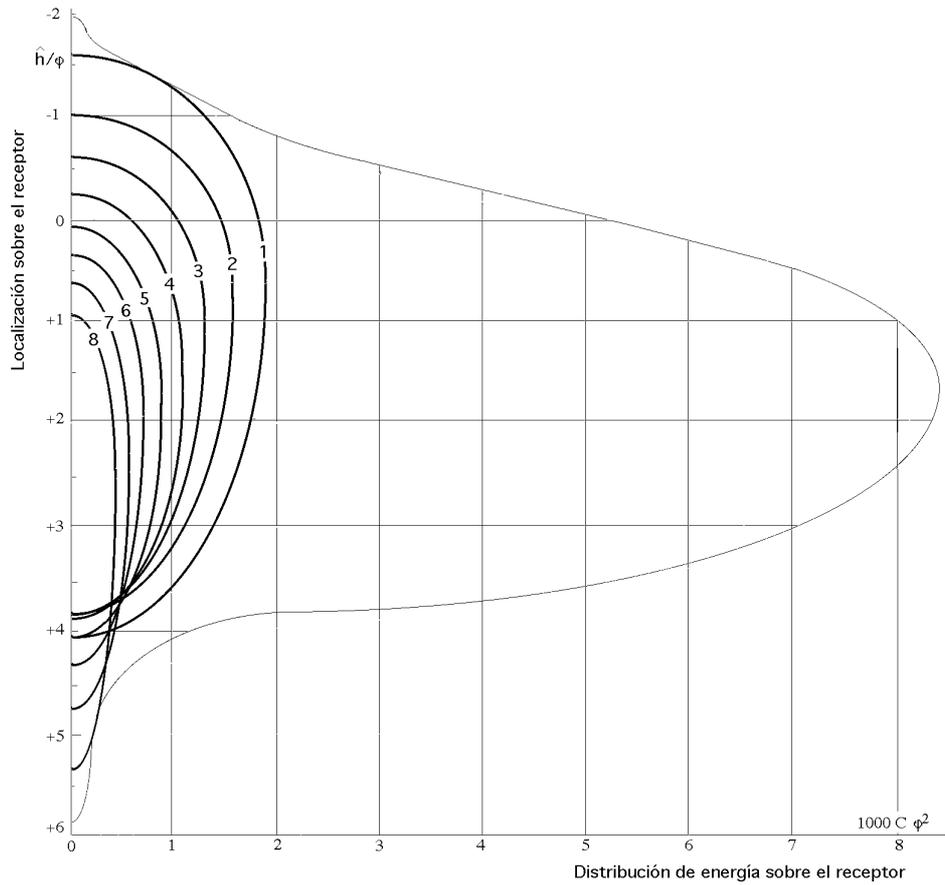
$$Q = 370.175 I_0$$

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

$$\text{Para, } \tau_M = 70^\circ, \quad \tau_m = 30^\circ, \quad \tau_s < 30^\circ \quad \int_C^2 d(\frac{\hat{h}}{C}) = 9.510 (1,7236 + 3,0722 \cos \tau)$$

$$Q = 340.500 I_0$$

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 $\tau_M > 70^\circ$ 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.



Altura de la torre (Punto focal) = 175 metros; Diámetro del receptor = 14 metros.
 Franjas de anillos de anchura, $\Delta\theta = 5^\circ$; $30^\circ < \theta_t < 70^\circ$ (apantallamiento)

Fig XI.7a.- Distribución total de energía sobre el receptor y contribución por anillos.

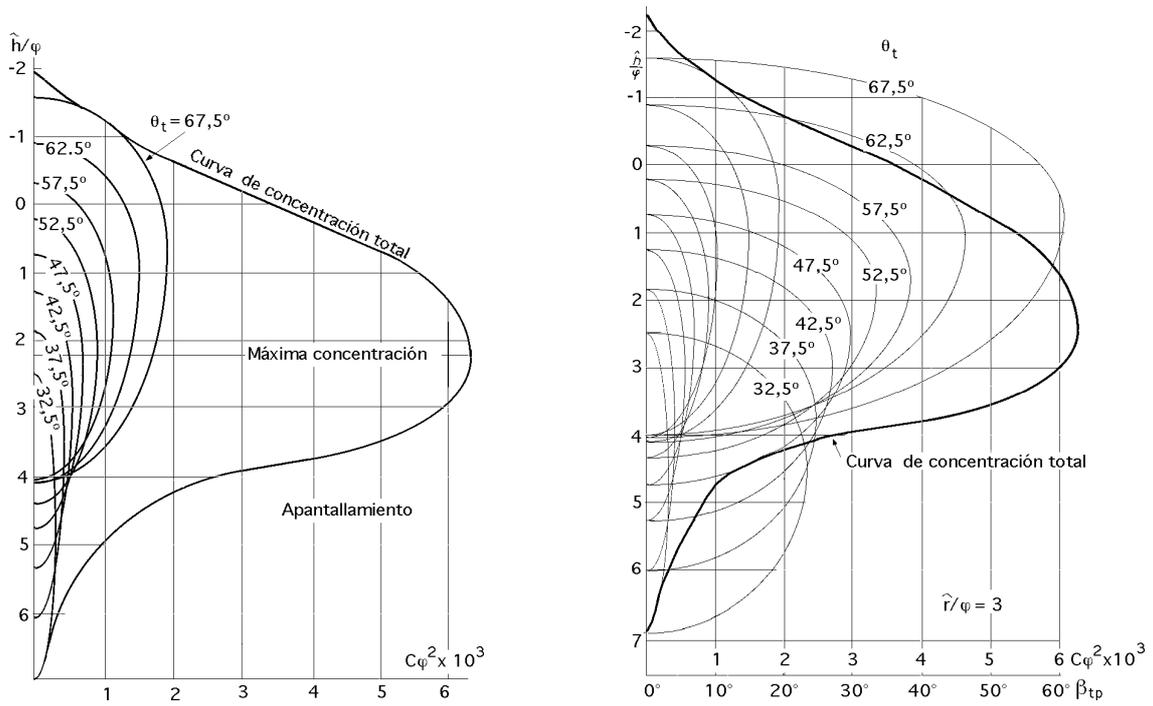


Fig XI.7b.c.- Relaciones de concentración sobre el receptor correspondientes al campo continuo

Así por ejemplo, para, $t_M = 80^\circ$, la superficie especular necesaria sería de 3,06 Km², frente a los 0,695 Km² que se tienen para, $t_M = 70^\circ$; 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 t_1 y t_2 , o bien para estudiar un anillo en particular definido por,

$$t = \frac{t_1 + t_2}{2} ; \quad t_1 \quad s ; \quad t_2 \quad s$$

quedando,

$$C^2 d\left(\frac{\hat{h}}{2}\right) = 5.375 (1,7236 + 3,0722 \cos t) (\sec t_2 - \sec t_1)$$

El valor de C^2 se obtiene a partir de,

$$C^2 = \frac{2 \operatorname{sen} t_p}{2} \operatorname{sen}^2 t d t = 29.440 \operatorname{sen} t_p \left(\frac{t_2 - t_1}{2} - \frac{\operatorname{sen}^2 t_2 - \operatorname{sen}^2 t_1}{4} \right)$$

que no depende de la posición del Sol.

La contribución de las franjas de anillos, para $t = 5^\circ$ es la que se presenta en la Tabla XI.3.

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^2 se encuentra para $\frac{\hat{h}}{2}$, y ésto lleva a la conclusión de que en esta zona del receptor se pueden lograr temperaturas demasiado elevadas, que no pueda soportar, por lo que será conveniente repartir más uniformemente este flujo energético enfocando a puntos distintos sobre el eje del receptor los diversos grupos de anillos, como veremos más adelante.

Tabla XI.3

Curva	t_1	t_2	t (medio)	$C^2 / \operatorname{sen} t_p$
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

La energía enviada al receptor vendría dada por,

$$Q = 192.420 (\sec t_2 - \sec t_1) I_0$$

que se corresponde con los tramos horizontales de la Fig XI.8, por cuanto no interviene la posición del Sol, siempre que, $s < 30^\circ$.

Cuando A^* venga definida por la ecuación,

$$A^* = 2 \sec \theta_s \cos \theta_s \sec^2 \theta_m - \sec \theta_s$$

para la que se cumple que, $\theta_m < \theta_s < \theta_M$, se obtiene,

Para, $\theta_M = 70^\circ$ y $\theta_m = 0$; $Q = 35,79 (15.719,38 - 2.688,17 \cos \theta_s - 2.688,17 \sec \theta_s) I_0$
 $\theta_M = 70^\circ$ y $\theta_m = 30^\circ$; $Q = 35,79 (15.719,38 - 3.584,22 \cos \theta_s - 2.688,17 \sec \theta_s) I_0$

y si se considera una franja de anillos comprendida entre los ángulos θ_1 y θ_2 de forma que,

$$\theta = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$$

resulta,

$$Q = 96.210 (2 \sec \theta_2 \cos \theta_s \sec^2 \theta_1 - \sec \theta_s) I_0$$

ecuación que sólo es válida para un ángulo cenital solar comprendido entre θ_1 y θ_2 , 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.

Finalmente para, $\theta_s > \theta_M$, se obtiene, de acuerdo con la ecuación,

$$A^* = (\tan^2 \theta_M - \tan^2 \theta_m) \cos \theta_s$$

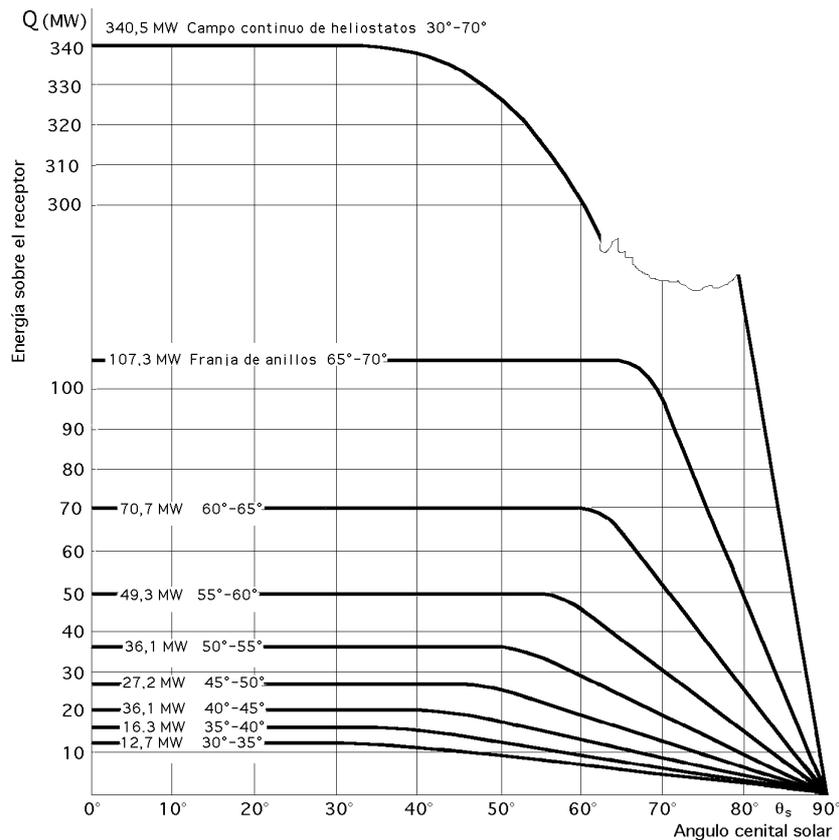


Fig XI.8.- Energía Q sobre el receptor

Para, $\theta_M = 70^\circ$; $\theta_m = 0^\circ$, $Q = 726.238 I_0 \cos \theta_s$
 $\theta_M = 70^\circ$; $\theta_m = 30^\circ$, $Q = 694.190 I_0 \cos \theta_s$

siendo el valor de Q, para la franja de anillos comprendida entre θ_1 y θ_2 ,

$$Q = 96.210 (tg^2 \theta_2 - tg^2 \theta_1) I_0 \cos \theta_s$$

Para este caso de predominio de sombra solar sobre el apantallamiento, el valor de C^2 vendrá dado por,

$$C^2 = 29.440 \sin \theta_p \cos \theta_s \left\{ -\sin \theta_t + \ln tg \left(\frac{1}{4} + \frac{t}{2} \right) \right\}_{\theta_1}^{\theta_2}$$

en la que, $\theta_2 < \theta_s$ y $\theta_1 < \theta_s$ y que depende de la posición del Sol dada por θ_s ; en la Fig XI.8 se corresponde con la parte inclinada de las gráficas.

B) Receptor situado a 175 metros 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,

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

para la que se cumple,

$$\frac{\hat{h}}{l} = 2,9711 > 2,9238$$

$$\theta_s < \theta_m ; Q = 192.420 (\sec \theta_2 - \sec \theta_1) I_0$$

Para, $\theta_m < \theta_s < \theta_M$; $Q = 96.210 (2 \sec \theta_2 - \cos \theta_s \sec^2 \theta_1 - \sec \theta_s) I_0$

$$\theta_s > \theta_M ; Q = 96.210 (tg \theta_2 - tg \theta_1) \cos \theta_s I_0$$

Con estos resultados se saca la conclusión de que la energía Q que llega al receptor cilíndrico vertical es independiente de la anchura de los espejos, ya que los valores de Q encontrados son iguales, siempre que los ángulos θ_1 y θ_2 que definen la banda de anillos considerada, sean también iguales en ambos casos, y se mantenga la continuidad del campo especular.

A continuación desarrollamos los cálculos para una torre de $H = 500$ m, manteniendo las mismas dimensiones del campo anterior.

En este caso, $R_{\min} = 101$ m. $\theta_m = 11,42^\circ$
 $R_{\max} = 480,8$ m. $\theta_M = 43,88^\circ$

C.- Receptor situado a 500 metros de altura.- Caso 3.- Consideraremos,

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

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

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

Para, $\theta_s < \theta_{TM}$,

$$C^2 d\left(\frac{\hat{h}}{d}\right) = 13.340 (1,7236 + 1,0753 \cos \theta_t) (\sec \theta_{t2} - \sec \theta_{t1})$$

$$Q = 1.570.796 I_0 (\sec \theta_{t2} - \sec \theta_{t1}) ; Q_{M\acute{A}X} = 576.740 I_0$$

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.

Para, $11,42^\circ < \theta_s < 43,88^\circ$

$$C^2 d\left(\frac{\hat{h}}{d}\right) = 6.670,35 (1,7236 + 1,0753 \cos \theta_t) (2 \sec \theta_{t2} - \cos \theta_s \sec^2 \theta_{t1} - \sec \theta_s)$$

$$Q = 785.400 I_0 (2 \sec \theta_{t2} - \cos \theta_s \sec^2 \theta_{t1} - \sec \theta_s)$$

Para, $\theta_s > 43,88^\circ$,

$$C^2 d\left(\frac{\hat{h}}{d}\right) = 6.670,35 (1,7236 + 1,0753 \cos \theta_t) (\operatorname{tg}^2 \theta_{t2} - \operatorname{tg}^2 \theta_{t1}) \cos \theta_s$$

$$Q = 785.400 I_0 (\operatorname{tg}^2 \theta_{t2} - \operatorname{tg}^2 \theta_{t1}) \cos \theta_s$$

D.- Receptor situado a 500 metros de altura.- Caso 4.- Consideraremos,

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

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

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

Para, $\theta_s < 11,42^\circ$,

$$C^2 d\left(\frac{\hat{h}}{d}\right) = 10.183 (1,7236 + 2,1505 \cos \theta_t) (\sec \theta_{t2} - \sec \theta_{t1})$$

$$Q = 1.570.796 (\sec \theta_{t2} - \sec \theta_{t1}) I_0 \quad Q_{M\acute{A}X} = 576.740 I_0$$

resultado que coincide con el anteriormente hallado.

Para, $11,42^\circ < \theta_s < 43,88^\circ$

$$C^2 d\left(\frac{\hat{h}}{l}\right) = 5.091 (1,7236 + 2,1505 \cos \theta_t) (2 \sec \theta_{t2} - \cos \theta_s \sec^2 \theta_{t1} - \sec \theta_s)$$

$$Q = 785.400 (2 \sec \theta_{t2} - \cos \theta_s \sec^2 \theta_{t1} - \sec \theta_s) I_0$$

Para, $\theta_s > 43,88^\circ$,

$$C^2 d\left(\frac{\hat{h}}{l}\right) = 5.091 (1,7236 + 2,1505 \cos \theta_t) (\operatorname{tg}^2 \theta_{t2} - \operatorname{tg}^2 \theta_{t1}) \cos \theta_s$$

$$Q = 785.400 I_0 (\operatorname{tg}^2 \theta_{t2} - \operatorname{tg}^2 \theta_{t1}) \cos \theta_s$$

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 ahora se mantiene la altura $H = 500$ m, y los ángulos periféricos del concentrador, $\theta_{tm} = 30^\circ$ y $\theta_{tM} = 70^\circ$, para los que se corresponden los radios, $R_{\text{MIN}} = 288,67$ m y $R_{\text{MAX}} = 1.373,75$ m, la superficie especular del campo concentrador continuo será de $5,667$ Km², en vez de $0,694$ Km² que se correspondían para $H = 175$ metros.

E.- Receptor situado a 500 metros de altura.- Caso 5.- Consideraremos,

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

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

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

Para, $\theta_s < 30^\circ$,

$$C^2 d\left(\frac{\hat{h}}{l}\right) = 7.545 (1,7236 + 1,0753 \cos \theta_t) (\sec \theta_{t2} - \sec \theta_{t1})$$

$$Q = 1.570.796 I_0 (\sec \theta_{t2} - \sec \theta_{t1}) \quad Q_{\text{MÁX}} = 2.778.900 I_0$$

Para, $30^\circ < \theta_s < 70^\circ$,

$$C^2 d\left(\frac{\hat{h}}{l}\right) = 3.774 (1,7236 + 1,0753 \cos \theta_t) (2 \sec \theta_{t2} - \cos \theta_s \sec^2 \theta_{t1} - \sec \theta_s)$$

$$Q = 785.400 I_0 (2 \sec \theta_{t2} - \cos \theta_s \sec^2 \theta_{t1} - \sec \theta_s)$$

Para, $\theta_s > 70^\circ$,

$$C^2 d\left(\frac{\hat{h}}{l}\right) = 3.774 (1,7236 + 1,0753 \cos \theta_t) (\operatorname{tg}^2 \theta_{t2} - \operatorname{tg}^2 \theta_{t1}) \cos \theta_s$$

$$Q = 785.400 (\operatorname{tg}^2 \theta_{t2} - \operatorname{tg}^2 \theta_{t1}) \cos \theta_s I_0$$

F.- Receptor situado a 500 metros de altura.- Caso 6.- Consideraremos,

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

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

$$Q_5 = \frac{244,6908 I_0}{1,7236 + 2,1505 \cos \alpha_t} c^2 d\left(\frac{\hat{h}}{c}\right)$$

Para, $\alpha_s < 30^\circ$,

$$c^2 d\left(\frac{\hat{h}}{c}\right) = 6.420 (1,7236 + 2,1505 \cos \alpha_t) (\sec \alpha_{t2} - \sec \alpha_{t1})$$

$$Q = 1.570.796 (\sec \alpha_{t2} - \sec \alpha_{t1}) I_0 \quad Q_{\text{MÁX}} = 2.778.900 I_0$$

que comparada con, $Q = 340.500 I_0$, resulta ser 8,16 veces superior, que es también 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.

Para, $30^\circ < \alpha_s < 70^\circ$

$$c^2 d\left(\frac{\hat{h}}{c}\right) = 3.210 (1,7236 + 2,1505 \cos \alpha_t) (2 \sec \alpha_{t2} - \cos \alpha_s \sec^2 \alpha_{t1} - \sec \alpha_s)$$

$$Q = 785.396 (2 \sec \alpha_{t2} - \cos \alpha_s \sec^2 \alpha_{t1} - \sec \alpha_s) I_0$$

Para, $\alpha_s > 70^\circ$,

$$c^2 d\left(\frac{\hat{h}}{c}\right) = 3.210 (1,7236 + 2,1505 \cos \alpha_t) (\text{tg}^2 \alpha_{t2} - \text{tg}^2 \alpha_{t1}) \cos \alpha_s$$

$$Q = 785.400 (\text{tg}^2 \alpha_{t2} - \text{tg}^2 \alpha_{t1}) \cos \alpha_s I_0$$

resultados que coinciden con otros hallados anteriormente y que confirman el hecho de que para el campo continuo de heliostatos, la energía enviada al receptor no depende de la anchura de los anillos.