

CRITERIO PARA FIJAR RADIOS EN LAS CURVAS CAMINOS DE LLANURA

por el Ing. CARLOS L. COQUEUGNIOT
del C. A. I.

Cuando los dos alineamientos rectos que se unen en un vértice de trazado forman un ángulo muy agudo (ángulo al centro grande) se adopta un radio tan amplio como sea posible sin recurrir a onerosas expropiaciones, o a considerables movimientos de tierra cuando, como es lo común, se trata de caminos de montaña.

En los caminos de llanura o zonas ligeramente accidentadas, en cambio, no parece primar el mismo criterio. Si se revisa un número más o menos grande de proyectos de llanura, se encuentran los criterios más dispares en cuanto se refiere a fijación de radios en caminos llanos.

Cuando el ángulo al centro es grande, prima el criterio de obtener un radio amplio y se observa, por lo general, que el proyectista ha tratado de ir al radio más amplio compatible con el espacio disponible; se ven aparecer entonces radios del orden de 300 a 500 m.

Pero cuando el cambio de dirección es poco pronunciado, esto es cuando el ángulo al centro es muy pequeño, muchos proyectistas vuelven a los radios menores y así es que nos ha tocado corregir proyectos que, en llanura, unían dos rectas con ángulo al centro de 10 o 15 grados, con curvas de 50 a 100 m. de radio (Fig. 1).

de recorrer a mayor velocidad. Y por esto es que, en caminos construidos como el de la figura 1, los conductores de vehículos, cuando no lo impide otro que venga en sentido contrario, describen recorridos como el indicado por la línea punteada, es decir que adoptan el radio grande que no les ha sido proporcionado por el proyectista.

Son estos los motivos que nos han conducido a estudiar el criterio que debe fijarse para la elección del radio, criterio que pensamos debe ser el siguiente: 1º) Debe establecerse el radio máximo compatible con la superficie disponible; 2º) Ese radio se adoptará en todos aquellos casos en que resulte un valor igual o mayor que el radio mínimo compatible con la velocidad prevista; 3º) Si resultara un valor menor, deberá expropiarse la superficie necesaria para poder trazar el radio mínimo correspondiente a la velocidad prevista.

Fijados estos criterios surge la necesidad de suministrar al personal de campaña, un método que le permita fijar sin demora el radio que corresponda emplear.

Sea figura 2 la sección transversal del camino.

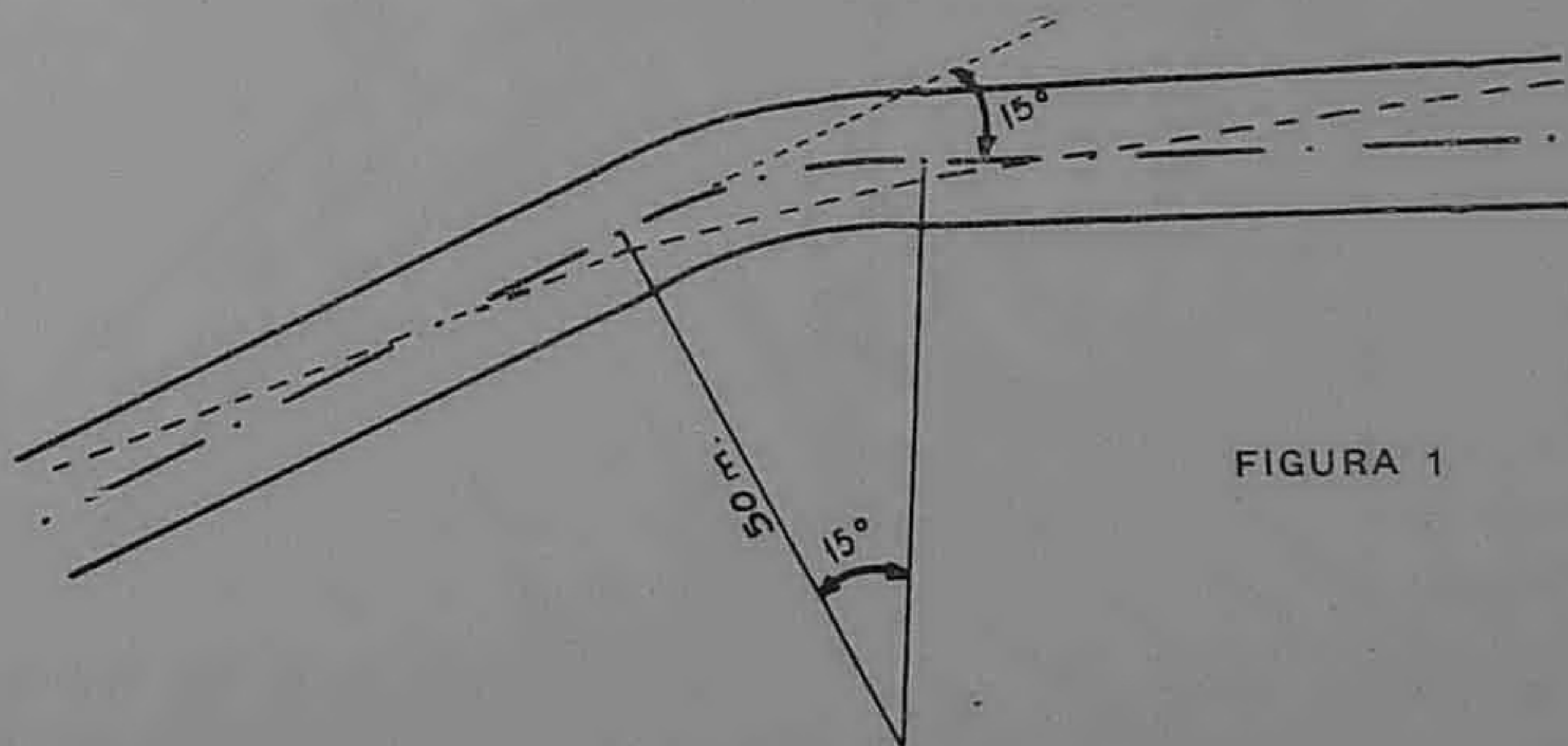


FIGURA 1

Si hay razones para adoptar radios tan grandes como sea posible cuando el cambio de dirección es pronunciado, es evidente que las mismas razones existen con mayor fuerza si el camino es casi recto pues los vehículos los han

Surge de esa figura una distancia mínima al alambrado de 10 m.

En los terraplenes el talud abarcará un ancho mayor que en un abovedamiento, pero en cambio, al arrimar el trazado al alambrado inte-



FIGURA 2

rior, podrán efectuarse todos los préstamos del lado exterior, de manera pues que podemos admitir como semiancho fijo el de 10 m. (Para secciones transversales de menor ancho también conviene mantener el mínimo de 10 m. en previsión de futuro ensanche).

En cuanto al ancho disponible entre alambrados, fijado por la Ley 11.658 en un mínimo de 30 m. se mantiene, a pesar de ello, a veces en menos y por lo general es de 50 m.; conviene considerarlo variable entre 25 y 50 m.

Se tiene entonces, figura 3.

$$\begin{aligned} (R - 10) \cos \frac{\alpha}{2} &= R - \frac{a}{2} \\ R \cos \frac{\alpha}{2} - R &= 10 \cos \frac{\alpha}{2} - \frac{a}{2} \\ R \left(\cos \frac{\alpha}{2} - 1 \right) &= 10 \cos \frac{\alpha}{2} - \frac{a}{2} \\ R &= \frac{\frac{a}{2} - 10 \cos \frac{\alpha}{2}}{1 - \cos \frac{\alpha}{2}} \end{aligned}$$

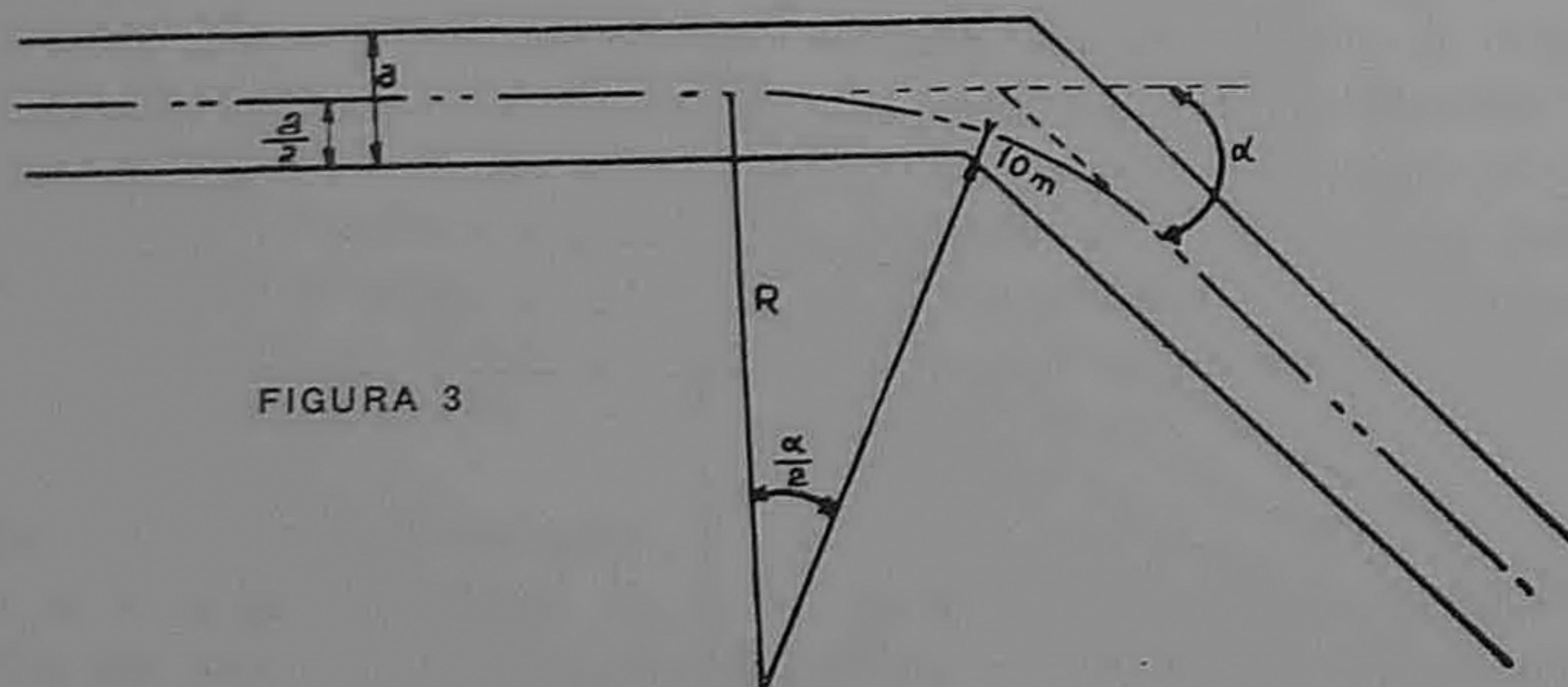


FIGURA 3

función donde las variables son α y R ; y a es un parámetro que varía de 25 a 50 m.

Esta fórmula permitirá calcular los valores de R para cualquier valor de a y α pero, como lo hemos manifestado antes, las necesidades del trabajo de campaña exigen que se las dé calculadas para los valores comunes.

Hemos calculado los valores de R en función de α para los parámetros $a = 25, 30, 35, 40, 45$ y 50 m. y para valores de cinco en cinco grados. (Véase cuadro N° 1).

Pueden descontarse valores inútilmente grandes y valores tan pequeños que imponen una ampliación de radio mediante expropiación de la superficie necesaria. Es lo que indican las dos líneas quebradas.

Llevados a un gráfico los valores comprendidos entre esas líneas se obtiene la figura 4 en la cual es aún más fácil hacer una delimitación de valores útiles.

Para radios mayores de 450 m. puede prescindirse del peralte, en cuanto a seguridad se refiere (no a comodidad) hasta para velocidades de 100 Km/h.; en sentido contrario, con un peralte de 5%, para radios menores de 115 m. ya no puede excederse la velocidad de 80 Km. por hora ⁽¹⁾.

Conviene pues cortar el gráfico de la Fig. 4 con las horizontales $R = 120$ y $R = 500$ y el manejo del mismo será el siguiente: sea un ca-

mino de ancho de 40 m. con ángulo de tangentes de 28° ; por el punto $\alpha = 28^\circ$ llevamos una vertical hasta la curva de parámetro $a = 40$ m.;

(1) Ver "La Ingeniería" Abril 1934 nuestro artículo "Las curvas en los Caminos Carreteros" pags. 161 y siguientes.

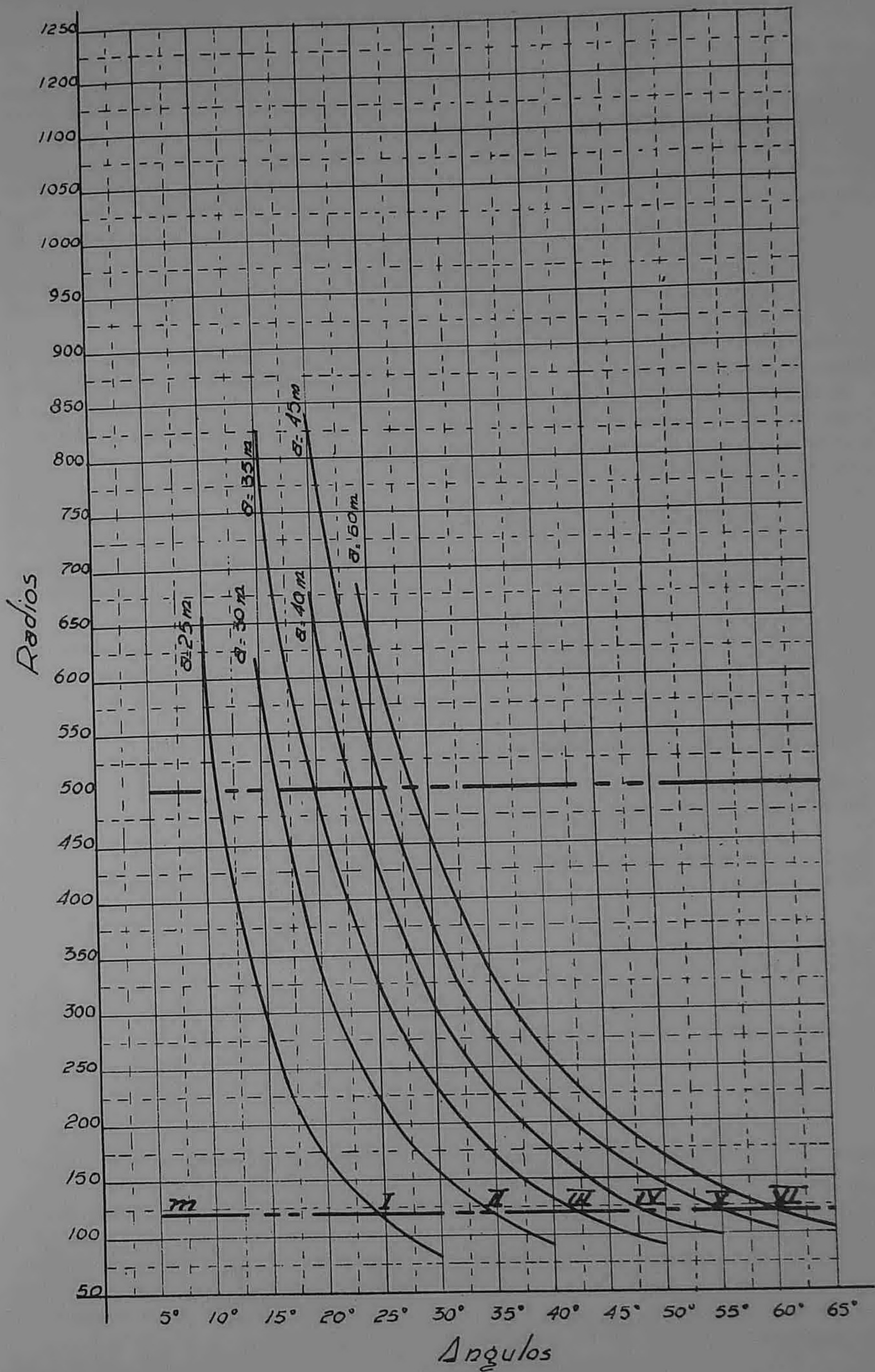


FIGURA 4

por allí una horizontal hasta el eje de las R donde hallaremos $R = 335$ m. que será el radio a adoptar.

Si la vertical con abscisa α no alcanza a cortar la curva del parámetro correspondiente antes de la horizontal $R = 500$ se tomará un radio de 500 m.

Finalmente, si la vertical con abscisa α corta a la curva correspondiente al ancho del camino en un punto debajo de la horizontal $R = 120$, ello evidencia la necesidad de una expropiación hacia el centro de la curva y también es conveniente que el operador pueda establecer sin demora el ancho a expropiar.

Es lo que pasamos a estudiar en seguida.

Sea (Fig. 5) un camino de ancho a y ángulo α . Debe determinarse la superficie mínima a expropiar para poder trazar una curva con radio de 120 m. es decir la superficie rayada, la que en realidad sustituiremos por el triángulo isósceles ABC.

Sale de la figura;

$$BD = \sqrt{110^2 - \left(120 - \frac{a}{2}\right)^2}$$

$$AD = \left(120 - \frac{a}{2}\right) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

$$AB = AD - BD; \quad \text{Sup. ABC} = \overline{AB}^2 \operatorname{sen} \alpha$$

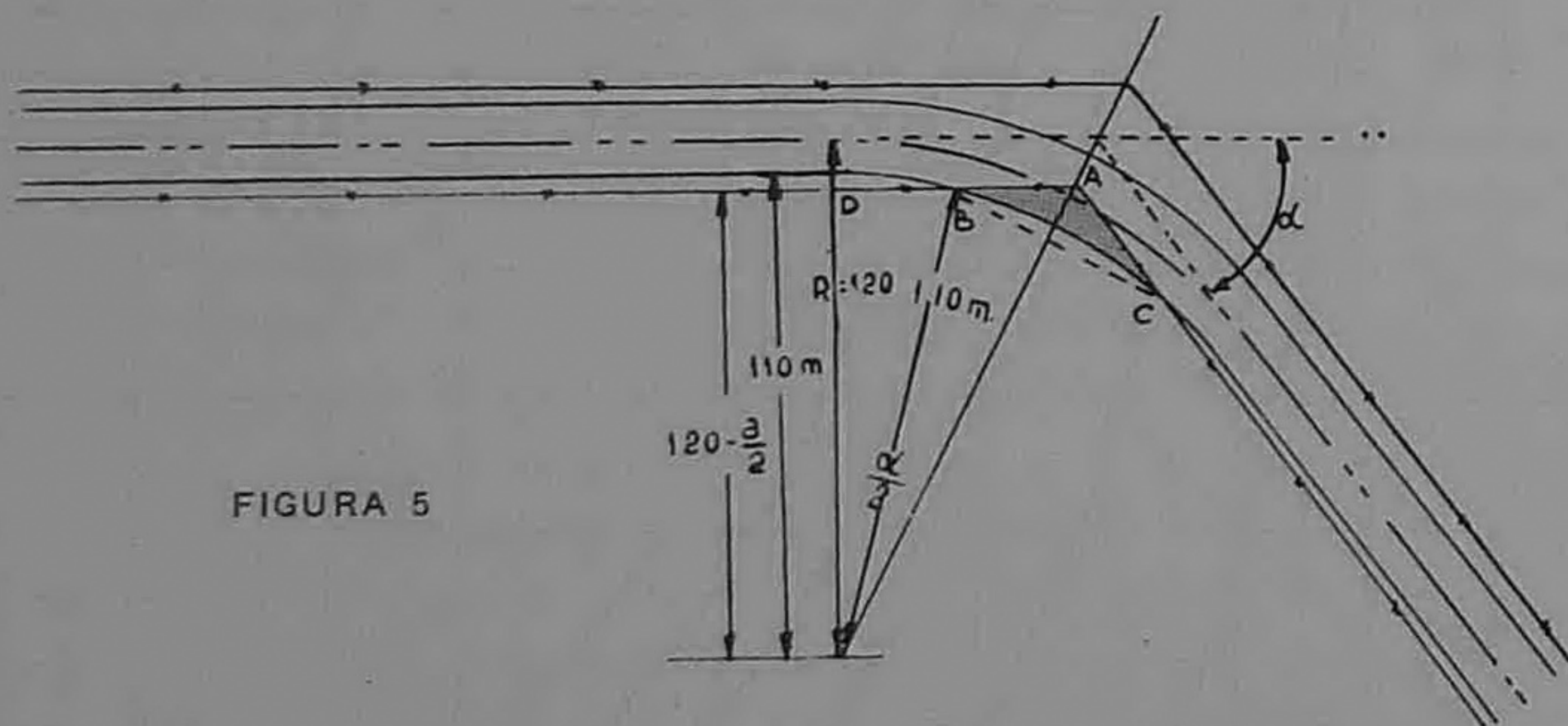


FIGURA 5

Estas fórmulas permiten, como antes, establecer los valores de AB y Sup. ABC en función de α y con a tomado como parámetro variable (ver cuadros 2 y 3).

Combinando convenientemente los dos cuadros anteriores se obtiene el cuadro N° 4.

Los valores escalonados de α a partir de los cuales resultarían para AB valores negativos

(que no los hemos calculado son aquellos para los cuales puede trazarse, sin recurrir a expropiación, curvas con radios de 120 o más metros.

Es evidente pues que, en un gráfico convenientemente dispuesto, es posible hacer pasar las curvas representativas de los valores AB por los puntos I, II, III, IV, V y VI de la Fig. 4 y tener así un ábaco que nos diga inmediatamente si es necesaria o no una expropiación y en seguida, en caso de ser necesaria, cuál es el valor de AB; en caso contrario, qué radio máximo podemos trazar.

Para alcanzar este resultado es suficiente representar los valores de AB con m (Fig. 4) como eje para los α y, para evitar confusiones de líneas, con los valores positivos de AB hacia abajo.

Se obtiene la Fig. 6 con la cual se trabajará en la siguiente forma: conocido el ancho "a" de la zona — camino y el ángulo de las tangentes, se entra al ábaco por el valor del ángulo y se lleva una vertical hasta la línea correspondiente al "a" adoptado.

1º) Si la intersección se produce arriba de la horizontal MM no se requieren expropiaciones y el radio a adoptar se determina sobre el eje de los radios mediante la horizontal de la intersección (Si la vertical

encuentra a HH antes que a la curva, se adoptará el radio de 500 m).

2º) Si la intersección se produce debajo de MM deberá adoptarse un radio de 120 m. y expropiar un triángulo isósceles cuyo lado, sobre el alambrado, está dado en el eje de "VALORES DE AB" por la horizontal de la intersección.

Cuadro N° 1

α	$\cos \alpha/2$	$1 - \cos \alpha/2$	25 m.	30 m.	35 m.	40 m.	45 m.	50 m.	25 m.	30	35	40	45	50
$a/2 - 10 \cos \alpha/2$										R				
10	0.99904	0.00095	2.509	5.009	7.509	10.009	12.509	15.009	2641,05	5272,60	7904,21	10535,70	13168,—	15798,90
100	0.99619	0.00385	2.538	5.038	7.538	10.038	12.538	15.038	659,22	1308,57	1957,92	2607,27	3256,62	3905,97
150	0.99144	0.00855	2.585	5.085	7.585	10.085	12.585	15.085	302,33	594,73	887,13	1179,53	1471,92	1764,32
200	0.98480	0.01519	2.652	5.152	7.652	10.152	12.652	15.152	174,58	339,17	503,75	668,33	832,91	997,49
250	0.97629	0.02370	2.737	5.237	7.737	10.237	12.737	15.237	115,48	220,97	326,45	431,94	537,42	642,91
300	0.96522	0.03407	2.847	5.347	7.847	10.347	12.847	15.347	83,56	156,94	230,31	303,69	377,07	450,45
350	0.95371	0.04628	2.764	5.462	7.962	10.462	12.962	15.462	59,72	118,02	172,03	226,05	280,07	334,09
400	0.93969	0.06030	3.103	5.603	8.103	10.603	13.103	15.603	51,45	92,91	134,37	175,83	217,29	258,75
450	0.92387	0.07612	3.261	5.761	8.261	10.761	13.261	15.761	42,84	75,68	108,52	141,36	174,21	207,06
500	0.90630	0.09369	3.437	5.937	8.437	10.937	13.437	15.937	36,68	63,36	90,05	116,73	143,41	170,10
550	0.88701	0.11298	3.629	6.129	8.629	11.129	13.629	16.129	32,12	54,24	76,37	98,50	120,63	142,75
600	0.86602	0.13397	3.839	6.339	8.839	11.339	13.839	16.339	28,65	47,31	65,97	84,63	103,29	121,96
650	0.84339	0.15660	4.066	6.566	9.066	11.566	14.066	16.566	25,96	41,92	57,89	73,85	89,82	105,78
700	0.81915	0.18084	4.308	6.808	9.308	11.808	14.308	16.808	23,82	39,64	51,47	65,30	79,11	92,94

Cuadro N° 4 — CALCULO A B

A B									
25	30	35	40	45	50	25	30	35	50
90	84,18	72,22	62,58	54,11	46,58	90	84,18	72,22	39,53
85	75,18	63,43	54,—	45,74	38,42	85	75,18	63,43	31,58
80	66,88	56,32	47,08	38,01	30,89	80	66,88	56,32	23,22
75	59,16	47,78	38,73	30,84	23,89	75	59,16	47,78	17,42
70	51,95	40,74	31,85	24,13	17,34	70	51,95	40,74	11,04
65	45,16	34,11	24,37	17,81	11,19	65	45,16	34,11	5,03
60	38,74	27,84	19,25	11,84	5,39	60	38,74	27,84	
55	32,64	21,77	13,43	6,16		55	32,64	21,77	
50	26,80	16,18	7,87	0,74		50	26,80	16,18	
45	21,20	10,71	2,53			45	21,20	10,71	
40	15,80	5,85				40	15,80	5,85	
35	10,57	0,32				35	10,57	0,32	
30	5,48					30	5,48		
25	0,51					25	0,51		
20						20			

(Valores negativos)

Cuadro N° 3 — CALCULO A B

A D									
a	25	30	35	40	45	50	a	25	50
90	107,50	105,—	102,5	100,—	97,5	95,—	90	107,50	95,—
85	98,50	96,21	93,92	91,63	89,34	87,05	85	98,50	87,05
80	90,20	88,10	86,—	83,90	81,81	79,71	80	90,20	79,71
75	82,48	80,56	78,65	76,73	74,81	72,89	75	82,48	72,89
70	75,27	73,52	71,77	70,02	68,26	66,51	70	75,27	66,51
65	68,48	66,89	65,29	63,70	62,11	60,52	65	68,48	60,52
60	62,06	60,62	59,17	57,73	56,29	54,84	60	62,06	54,84
55	55,96	54,65	53,35	52,05	50,75	49,45	55	55,96	49,45
50	50,12	48,96	47,79	46,63	45,46	44,29	50	50,12	44,29
45	44,52	43,49	42,45	41,42	40,38	39,34	45	44,52	39,34
40	39,12	38,63	37,71	36,39	35,87	34,95	40	39,12	34,95
35	33,89	33,10	32,31	31,52	30,74	29,95	35	33,89	29,95
30	28,80	28,13	27,46	26,79	26,12	25,45	30	28,80	25,45
25	23,83	23,27	22,72	22,16	21,61	21,06	25	23,83	21,06
20	18,95	18,51	18,07	17,63	17,19	16,75	20	18,95	16,75

Cuadro N° 2 — CALCULO B D

a	a/2	(a/2)²	120 a	120(1)	BD
25	12,5	156	3000	544	23,32
30	15	225	3600	1075	32,78
35	17,5	306	4200	1594	39,92
40	20	400	4800	2100	45,89
45	22,5	506	5400	2594	50,92
50	25	625	6000	3075	55,47

(1) $120 - (a/2)^2 - 2300$

Finalmente, para evitar todo cálculo al operador de campaña, conviene dar la superficie a expropiar cuyo valor, según ya vimos, es

$$S = \frac{1}{2} AB^2 \operatorname{sen} \alpha$$

Mediante paso por dos cuadrantes obtendremos el valor de S trazando en el primero de ellos la curva $y = \frac{1}{2} AB^2$ y en el segundo un haz de rectas $S = y \operatorname{sen} \alpha$: donde α se toma como parámetro con valores de 25° a 90° . Los gráficos correspondientes son los "m" y "n" de la Fig. 5.

La misma horizontal que nos sirve para determinar AB corta a la curva "m" en un punto; la vertical de ese punto corta al rayo de "n" correspondiente al ángulo dado α en otro punto cuya ordenada sobre el eje de las superficies nos da el área a expropiar.

Para la primera curva se tiene:

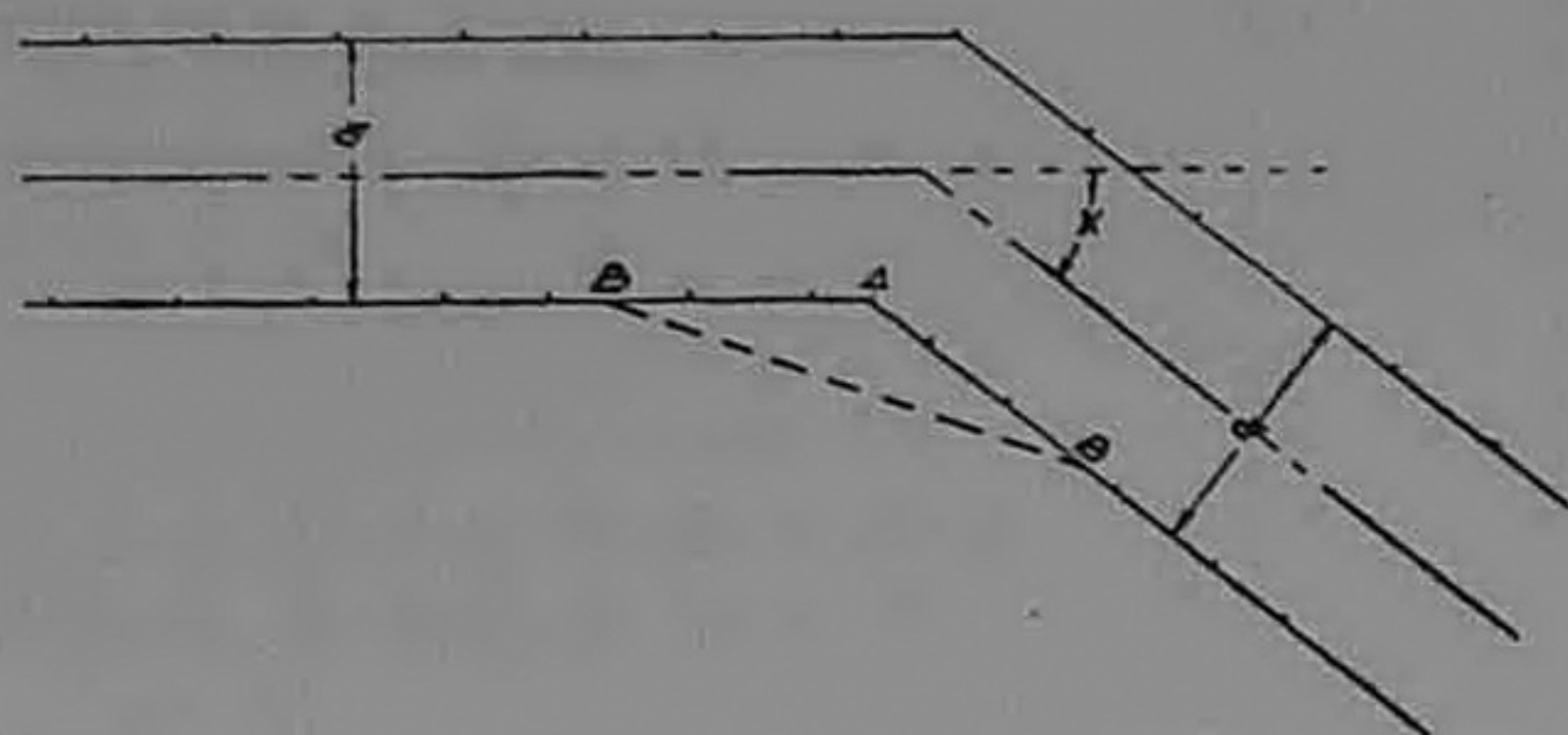
AB	y
0	0
10	50
20	200
30	450
40	800
50	1250
60	1800
70	2450
80	3200
90	4050

y para trazar el haz de rayos $S = y \operatorname{sen} \alpha$, se tiene un punto de todas las rectas en $S = 0$ e $y = 0$ y otro en los valores $y = 100$ para los cuales se obtienen directamente los valores de S corriendo la coma en una tabla de senos.

α	$S = 100 \operatorname{sen} \alpha$
25	42,3
30	50,0
35	57,4
40	64,3
45	70,7
50	76,6
55	81,9
60	86,6
65	90,6
70	94,0
75	96,6
80	98,5
85	99,6
90	100,0

El ábaco y las instrucciones siguientes resumen todo lo expuesto.

MANEJO DEL ABACO



- 1º Tomar en I el valor de α .
- 2º Trazar por α la vertical hasta encontrar en la familia de curvas II la que corresponde al ancho "a" (1).
- 3º Trazar por la intersección una horizontal.
- 4º Si ésta queda arriba de "MM" la escala de la izquierda da el radio a emplear. (En este caso no se usa el resto del ábaco).
- 5º Si la horizontal queda debajo de "MM" la escala izquierda da los lados AB del triángulo isósceles a expropiar para trazar la curva con 120 m. de radio.
- 6º Por donde esa horizontal corta a la curva IV bájese una vertical hasta encontrar en el haz de rayos V el rayo correspondiente al valor de α .
- 7º La horizontal por la intersección da en la escala VI izquierda la superficie a expropiar.

(1) Si se encuentra antes la horizontal H. H. se usará un radio de 500 m.

Fórmulas a aplicar para casos que estuvieran fuera de los previstos en el ábaco.

$$R = \frac{a - 10 \cos \alpha/2}{1 - \cos \alpha/2}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} AB = AD - BD \text{ donde:} \\ AD = (120 - a/2) \operatorname{tg} \alpha/2 \\ BD = \sqrt{110^2 - (120 - a/2)^2} \end{array} \right.$$

$$S = \frac{1}{2} AB^2 \operatorname{sen} \alpha$$

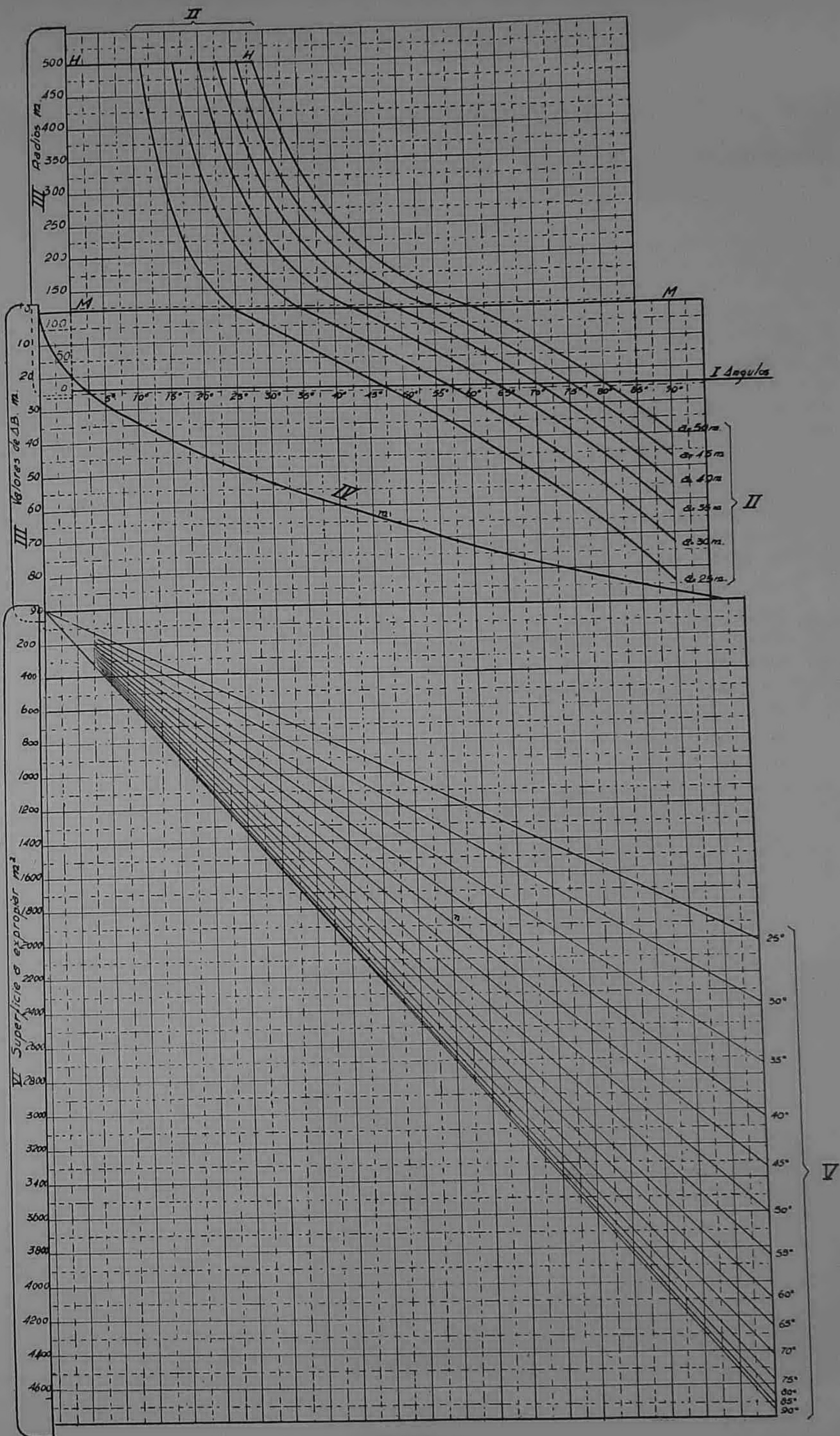


FIGURA 6