

T-333

A

DES

EDITORADO

E 2

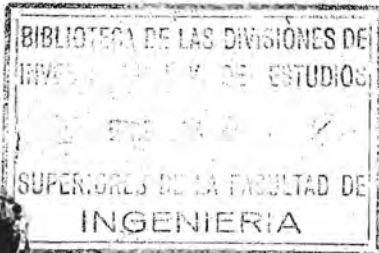


FACULTAD DE INGENIERIA U N A M
DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES

*Duplicado
3/22/82*

DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES PRODUCIDOS EN UN SUBSUELO ARCILLOSO POR CARGAS SUPERFICIALES Y POR HINCA DE PILOTES

T E S I S



Gabriel Auvinet Guichard

México, D.F. 1968

Caja 4

T-333

A

DES



FACULTAD DE INGENIERIA U N A M
DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES

DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES PRODUCIDOS EN UN SUBSUELO ARCILLOSO POR CARGAS SUPERFICIALES Y POR HINCA DE PILOTES

T E S I S

Que para obtener el grado de
MAESTRO EN INGENIERIA (Mec. de suelos)

p r e s e n t a

GABRIEL AUVINET GUICHARD

México, D.F. 1968

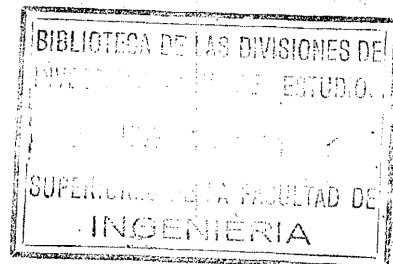




DEPI

T. UNAM
1968
AUV
E.2

1. INTRODUCCION	1
2. OBSERVACIONES DURANTE LA CONSTRUCCION DEL PALACIO DE LOS DEPORTES	2
3. ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	6
4. CONCLUSIONES	13
5. RECONOCIMIENTOS	13
REFERENCIAS	
TABLAS	
FIGURAS	
ANEXO	





1. INTRODUCCION

El estudio de las deformaciones verticales del suelo causa das por las construcciones es uno de los temas principales de la mecánica de suelos. Por el contrario, rara vez se estudian y observan las deforma ciones horizontales que acompañan las anteriores. Generalmente, las defor maciones horizontales son despreciables y no comprometen la estabilidad de las construcciones.

Un estudio del fenómeno de deformación horizontal es, sin embargo, necesario. En efecto, en ciertas obras importantes la magnitud de dicho fenómeno deja de ser despreciable. Es importante entonces pre veer las interacciones posibles entre obras vecinas. Por otra parte un me jor conocimiento del proceso de deformación horizontal puede ser de inte- rés para el estudio de la deformación vertical con la que está íntimamen- te ligado.

Recientemente, el desarrollo de aparatos de observación, especialmente del "Inclinómetro" de Wilson, ha dado al estudio de las de formaciones horizontales una base experimental. Son pocos los resultados que se han reunido hasta la fecha. Se presentan y comentan a continuación algunos de estos resultados, los que se obtuvieron durante la cimentación del Palacio de los Deportes, en la ciudad de México. Se presentan asimis- mo, algunas conclusiones generales en cuanto a los desplazamientos hori- zontales producidos en un subsuelo arcilloso por cargas superficiales y por hinca de pilotes.

2. OBSERVACIONES DURANTE LA CONSTRUCCION DEL PALACIO DE LOS DEPORTES

2.1 Objeto. Los problemas planteados por el subsuelo de la ciudad de México para el diseño y la construcción del Palacio de los Deportes condujeron a la preparación de un amplio programa de observaciones durante y después de la construcción. Tal programa tuvo por objetivos evaluar la idoneidad de las soluciones adoptadas e identificar cualquier condición imprevista. La estratigrafía y las propiedades típicas del subsuelo de la zona se presentan en la fig 1. La instrumentación utilizada y las pruebas de campo realizadas en el sitio de la obra se han descrito en la ref 1, en la que también se presentó la información obtenida durante la mayor parte de la etapa de construcción.

Entre los instrumentos instalados se incluyeron nueve inclinómetros. Estos aparatos permitieron medir los desplazamientos horizontales sufridos por el subsuelo a diferentes profundidades a causa de la hincada de pilotes y de la remoción y adición de carga superficial.

2.2 Programa y procedimientos de construcción

2.2.1 Hincada de pilotes. Para cimentar la estructura se hincaron 1,414 pilotes en una corona circular de 80 m de diámetro interior y de 180 m de diámetro exterior. Los dos tipos de pilotes empleados aparecen en la fig 2. Son pilotes de concreto con punta tubular metálica, diseñados para limitar los efectos de la fricción negativa. Para los fines del presente estudio todos los pilotes hincados pueden considerarse iguales. El avance de la hincada de pilotes se presenta en la fig 3.

2.2.2 Excavaciones. Para la realización de excavaciones, la superficie a ser ocupada por el Palacio de los Deportes se dividió en dos:

- a. Un área central circular subdividida en sectores numerados de 1 a 17

b. Un área exterior, correspondiente a la zona piloteada, subdividida en 24 sectores designados por letras mayúsculas o minúsculas.

Para evitar expansiones diferenciales importantes se tomó la precaución de no excavar simultáneamente dos sectores vecinos entre sí.

Las profundidades de excavación fueron respectivamente, de 3.25 m y de 1.87 m para el área central y el área exterior. Una planta esquemática de la cimentación y el registro de avance de la excavación se presentan en la fig 4.

2.2.3 Lastres. El área central se encuentra libre de carga estructural. Para reducir las expansiones que se podían esperar se colocó en esta área un lastre de concreto pobre de 80 cm de espesor, inmediatamente después de la excavación. El avance del lastrado se presenta en la misma fig 4.

Tomando en cuenta esas diversas operaciones pueden esperarse, a priori, tres causas de desplazamientos horizontales durante la construcción de la cimentación:

- a. la hinca de pilotes
- b. la realización de excavaciones y lastres
- c. el proceso de consolidación alrededor de los pilotes, subsecuente a la hinca.

2.3 Instrumentación y observaciones. Las mediciones se hicieron por medio del Inclínómetro de Wilson (ref 3), cuyo uso y calibración se describen en la ref 4. De los nueve inclinómetros instalados, se colocaron ocho hasta una profundidad de 41 m y uno hasta 61 m. La tubería y el equipo de medición que constituyen el inclinómetro se describen en las figs 5 y 6. La localización de aparatos aparece en la fig 7.

Hasta la fecha el inclinómetro se ha usado esencialmente en presas. Aparentemente, esta es la primera vez que se realizan mediciones semejantes en una cimentación, lo que agrega interés a los datos obtenidos.

2.4 Información disponible. En la tabla 1 se presentan las fechas de observación. La información obtenida abarca los desplazamientos debidos al hincado de la mitad de los pilotes y la totalidad del proceso de excavación y lastre. Observaciones posteriores permitirán el análisis de la evolución de los desplazamientos horizontales a largo plazo.

La integración de datos por medio de una computadora electrónica, condujo a la presentación de los desplazamientos en la ref 2, en dos formas:

a. Variaciones del perfil vertical de los inclinómetros. Estas variaciones respecto a la configuración inicial se proyectaron según dos planos perpendiculares. Las direcciones N-S y E-O de esos planos son convencionales y corresponden a las ranuras verticales de los inclinómetros. Dos ejemplos de gráficas de este tipo se presentan en las figs 8 y 9.

b. Desplazamientos en un plano horizontal, a profundidades representativas. En estas gráficas aparece además, el avance del hincado de los pilotes correspondientes a cada fecha de observación. En las figs 10 y 11 se presentan dos gráficas de este tipo.

En ambos tipos de gráficas aparece una respuesta clara de los aparatos, en el sentido esperado. Puede decirse que todos parecen haber tenido un comportamiento satisfactorio y que los resultados son confiables.

En cuanto a la precisión de las mediciones, se sabe que el aparato usado puede detectar una variación de ángulo de 3 minutos. Esto corresponde a un desplazamiento horizontal aparente en la superficie de 3.2

y 4.8 cm para profundidades de 40 y 60 m, respectivamente. En la práctica, las compensaciones de errores mejoran mucho la precisión. En efecto, se observó que los desplazamientos de 0.5 cm son sistemáticamente en el sentido esperado y que los desplazamientos medidos pueden reproducirse con diferencias menores de 0.5 cm (véanse figs 12 y 13). Ambos hechos indican que el error máximo puede estimarse menor de 0.5 cm. Este orden de magnitud queda confirmado por la experiencia descrita en el manual del aparato (ref 5).

Una fuente de errores apreciables fue la siguiente: al usar una tubería de 41 m de longitud, para ocho de los nueve inclinómetros, se tuvo que admitir que a esa profundidad se pueden despreciar los desplazamientos horizontales. Las observaciones en el inclinómetro I-021, de 61 m de longitud muestran, a 40 m de profundidad, desplazamientos próximos a 2 cm, lo que hace suponer que la hipótesis de desplazamiento nulo en el extremo inferior de los inclinómetros de 41 m de longitud introduce un error relativo considerable. En efecto, un desplazamiento de 2 cm no es despreciable si se toma en cuenta que el desplazamiento máximo observado es del orden de 20 cm y que la estación 021 fue poca afectada por la hincada de pilotes, encontrándose a 40 m de los pilotes más próximos.

Aparte de esos errores, las limitaciones más importantes de los datos disponibles son las siguientes:

a. Las necesidades de avance de la obra y la precisión de los aparatos no permitieron registrar los movimientos horizontales generados por el hincado de un solo pilote, a diferentes distancias como hubiera sido deseable hacerlo.

b. Sólo se tiene información en cuanto a los efectos del hincado de grupos de pilotes en áreas cuya forma es complicada. Esto se debe a la presencia de varias piloteadoras en la obra.

3. ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

3.1 Desplazamientos horizontales debidos a la hinca de pilotes

3.1.1 Observaciones. No siempre fue posible definir un perfil de desplazamiento contenido en un plano vertical dado. Sin embargo, en la mayoría de los casos no aparecieron diferencias importantes entre las direcciones de desplazamiento horizontal a distintas profundidades. En las figs 14 a 16 aparecen dos formas típicas de variación con la profundidad del desplazamiento horizontal debido a la hinca de pilotes. Las figs 14a y 15a muestran una distribución de desplazamientos con máximo a 20 m de profundidad aproximadamente. Esta fue la respuesta típica al hincado de pilotes a distancia reducida de la línea vertical de observación. Una variación prácticamente lineal con desplazamiento máximo en la superficie (figs 14b y 15b) fue, en cambio, la respuesta más común al hincado de pilotes a distancias grandes de la línea de observación.

No existe una distancia precisa que pueda considerarse como frontera entre estas dos respuestas. Sin embargo, se puede notar que un perfil con máximo a 20 m de profundidad nunca aparece para grupos que no incluyen pilotes hincados a distancias menores de 15 m. La fig 16 muestra que la variación lineal del desplazamiento con máximo en la superficie del terreno es la que se sigue presentando para distancias muy grandes (véase Inclínómetro I-061, a 130 m aproximadamente del grupo de pilotes que causa el desplazamiento). Aparece claramente que el desplazamiento horizontal producido por la hinca de pilotes dista mucho de ser un fenómeno local.

3.1.2 Interpretación y análisis. Aunque el fenómeno sea complejo parece posible analizarlo admitiendo ciertas hipótesis simplificadoras:

a. Se admite que, por lo menos a cierta profundidad, existe un estado plano de deformación

b. Se admite que la arcilla está completamente saturada y que es incompresible en el instante. Por tanto, un pilote desplaza un volumen de suelo igual a su propio volumen

c. Se desprecia la consolidación a corto plazo alrededor de los pilotes. Por "corto plazo" se debe entender el tiempo que pasa entre dos mediciones consecutivas de los desplazamientos (varios días)

d. Se admite que el medio es homogéneo.

Con estas hipótesis puede analizarse primero el efecto del hincado de un sólo pilote.

Para este análisis, la sección cuadrada del pilote puede sustituirse por una sección circular equivalente, de igual área. El radio correspondiente para los pilotes usados en el Palacio de los Deportes es:

$$r = 22.6 \text{ cm}$$

El desplazamiento de un punto A a una distancia R del centro del pilote (fig 17) se obtiene escribiendo la conservación del volumen desplazado

$$\pi R^2 = \pi (R + \Delta R)^2 - \pi r^2$$

de donde:

$$\Delta R = \sqrt{R^2 + r^2} - R \quad 1$$

La curva representativa de la ec 1 aparece en la fig 18.

Si se quiere analizar el efecto de un grupo de pilotes, basta con admitir que existe una superposición de efectos, o sea, que el desplazamiento horizontal debido a varios pilotes puede obtenerse sumando vectorialmente los desplazamientos debidos a cada uno de estos.

En la fig 19 se dan ejemplos de las comparaciones que se hicieron entre desplazamientos calculados según este procedimiento y desplazamientos observados a 20 m de profundidad. Esas comparaciones permiten observar que:

a. La hincada de pilotes produce, a distancias menores de 40 m un estado de deformación del subsuelo que, a la elevación de la parte media de los pilotes, es aproximadamente plano. En efecto, en este caso, la ec 1 permite obtener el desplazamiento horizontal a aproximadamente 20 m de profundidad (desplazamiento máximo) con un error inferior a 25 por ciento. A otras profundidades, los desplazamientos observados son menores que los calculados.

b. A mayor distancia (40 a 130 m) los desplazamientos observados son notablemente menores que los teóricos, cualquiera que sea la profundidad. La interpretación es que al aumentar la distancia, es mayor el volumen de suelo desplazado verticalmente que viene a restarse del volumen total para dar el volumen desplazado radialmente. Es posible derivar de las observaciones una corrección para el desplazamiento calculado en este caso. En efecto, la fig 20 muestra que, a 20 m de profundidad, es lineal la variación de la relación desplazamiento observado/desplazamiento teórico con la distancia al grupo de pilotes. Teniendo en cuenta la variación también lineal de ΔR con la profundidad Z y admitiendo que el desplazamiento es nulo a 40 m de profundidad, resulta que el desplazamiento horizontal es, en general:

$$\Delta R = \Delta R_T (0.92 - 0.006 R) \left(2 - \frac{Z}{20}\right)$$

donde:

R = distancia al centro de gravedad geométrico del grupo de pilotes
(que se supone mayor que 40 m)

ΔR_T = desplazamiento teórico a 20 m de profundidad, calculado mediante la ec 1

Z = profundidad a la que se desea estimar el desplazamiento ΔR .

c. También es posible derivar de las observaciones mencionadas una expresión que permita estimar el volumen de suelo desplazado horizontalmente, V_h , en función del volumen total desplazado, considerado igual al volumen de los pilotes, V_t , y de la distancia R a la zona piloteada. Tal variación se muestra en la fig 21 y puede expresarse mediante la ecuación:

$$\frac{V_h}{V_t} = 1.21 - 0.47 \log_{10} R \tag{3}$$

(R > 20 m)

Si se admite que no existe ninguna variación de volumen del suelo desplazado, el suelo que no se desplaza radialmente debe hacerlo verticalmente. Si se le llama V_v al volumen desplazado verticalmente, la fórmula anterior puede escribirse:

$$\frac{V_h}{V_v + V_h} = 1.21 - 0.47 \log_{10} R \tag{4}$$

(R > 20 m)

$$\frac{V_v}{V_t} = - 0.21 + 0.47 \log_{10} R \tag{5}$$

3.2 Desplazamientos horizontales por excavaciones y lastres

3.2.1 Observaciones. Los desplazamientos debidos a las excavaciones y lastres son de dos tipos:

a. Desplazamientos superficiales que pueden atribuirse a efectos locales de la excavación, como deslizamientos de taludes o golpes producidos por el equipo que se usó para la excavación. Esto afecta sólomente a los primeros metros de la tubería de los inclinómetros.

b. Desplazamientos profundos ocasionados por la deformación elástica resultante de la remoción de carga superficial. Estos desplazamientos alcanzaron valores de importancia. En la fig 22 se ve que en el caso del inclinómetro I-121 esta deformación alcanzó 6.5 cm a 15 m de profundidad.

Una característica de esos desplazamientos es que tienen un máximo en profundidades entre 15 y 20 m. La reducción del desplazamiento horizontal al acercarse de una profundidad de 40 m denota la existencia de capas menos deformables a esta profundidad. Este comportamiento es especialmente notable en el caso del inclinómetro I-151 que presenta un perfil de desplazamiento horizontal con discontinuidad a los 34 m (fig 23).

3.2.2 Interpretación y análisis. Los desplazamientos superficiales mencionados escapan a todo tipo de análisis, los desplazamientos profundos son, por lo contrario, susceptibles de una interpretación por la teoría de la elasticidad. El problema de los desplazamientos horizontales debidos a la aplicación o remoción de carga en la superficie de un medio seminfinito tiene una solución debida a Boussinesq (ref 6). Esta solución supone que existen un solo módulo de elasticidad y una sola relación de Poisson para toda la masa. El desplazamiento ra-

dial de un punto M del medio, al aplicar una carga concentrada P en la su perficie (fig 24) se expresa como:

$$U_r = \frac{P(1+\nu)}{2\pi RE} \left[\frac{\rho Z}{R^2} - \frac{(1-2\nu)\rho}{R+Z} \right] \quad 6$$

donde

P = carga concentrada aplicada en la superficie

Z = profundidad a la que se encuentra el punto M

R = distancia del punto M al punto de aplicación de la carga

ρ = proyección horizontal de la distancia R

E = módulo de elasticidad

ν = relación de Poisson

En la fig 25 se dan ejemplos de perfiles de desplazamientos horizontales que se pueden esperar para el tipo de suelo considerado para una carga dada P, al variar la distancia r al punto de aplicación de dicha carga.

Para aplicación de la ec 6 al cálculo de los desplazamientos se presenta en la práctica el problema de la variación del módulo de elasticidad con la profundidad. Según investigaciones realizadas en una zona próxima al Palacio de los Deportes y cuya estratigrafía es muy similar (ref 7), la relación de Poisson es $\nu = 0.5$ y los módulos de elasticidad varían con la profundidad como sigue:

$$\begin{aligned} \text{de 0 a 30 m : } E_1 &= 488 \text{ ton/m}^2 \text{ (promedio)} \\ \text{de 30 a 38 m : } E_2 &= 1,405 \text{ ton/m}^2 \text{ (promedio)} \\ \text{de 38 a 58 m : } E_3 &= 2,959 \text{ ton/m}^2 \text{ (promedio)} \end{aligned}$$

A fin de estimar el grado de idoneidad de la ec 6 se compa raron sus resultados con las observaciones en el caso de la excavación del sector exterior "L" (fig 2). Se eligió esta excavación por ser prácti camente la única en la que no se superponen efectos de hincado de pilotes

y de excavación, debido a que se realizó después de estar terminada la hincada de pilotes.

La forma geométrica complicada del sector L condujo a desarrollar para la aplicación de la ec 1 un método gráfico que se presenta en anexo del presente estudio. Por medio de este método se calcularon los desplazamientos horizontales introduciendo en las fórmulas el valor de E a la profundidad correspondiente. En la fig 18 aparece la comparación de los desplazamientos calculados y observados en el inclinómetro I-151. Esta comparación resulta satisfactoria.

3.3 Desplazamientos horizontales por consolidación. La consolidación alrededor de los pilotes hincados en arcilla es un fenómeno al que se hace referencia muy a menudo para explicar el aumento de resistencia a la penetración, el que se aprecia al tratar de volver a hincar un pilote después de cierto tiempo de reposo (ref 8). También existen ejemplos de reducciones muy importantes del contenido de agua de la arcilla cerca de los pilotes (ref 9). Esta disminución de la relación de vacíos de la arcilla podría conducir a la conclusión de que una parte de los desplazamientos horizontales por hincado de pilotes desaparece al producirse la consolidación. Sin embargo, lo expuesto en el inciso 3.1.2 muestra que, por lo menos a 20 m de profundidad, no parece influir este fenómeno. Por otra parte las observaciones no mostraron ningún movimiento diferido que pueda interpretarse como una recuperación con el tiempo de los desplazamientos debidos a la hincada. Una posible interpretación de lo anterior es que la consolidación es un fenómeno muy local que afecta solo a la cercanía del pilote. La disminución de la relación de vacíos cerca del pilote puede acompañarse de un aumento correspondiente de la misma relación a una distancia un poco mayor, lo que elimina todo efecto de desplazamiento horizontal a largas distancias (ref 10). Para pilotes de concreto hincados en el subsuelo de la ciudad de México, se ha comprobado que ocurren dichas deformaciones volumétricas de signo contrario alrededor del pilote (ref 11).

4. CONCLUSIONES

El análisis que se acaba de presentar muestra la importancia de los desplazamientos horizontales debidos a la hinca de pilotes y al proceso de excavación y lastrado. En cuanto al efecto de los pilotes, se llegó a una interpretación sencilla del fenómeno de acuerdo a la cual podrían hacerse predicciones para una obra en condiciones similares, con una precisión aceptable. El efecto del proceso de excavación y lastrado puede también preverse mediante la teoría de elasticidad, previa determinación de los módulos de elasticidad de las diferentes capas del subsuelo.

Entre los aspectos que merecen estudio más profundo, uno de gran importancia es la correlación entre desplazamientos horizontales y verticales a diversas distancias de una zona de hinca de pilotes.

5. RECONOCIMIENTOS

Agradezco profundamente a la Universidad Nacional Autónoma de México la oportunidad que me brindó de completar mis estudios de Ingeniería Civil al ofrecerme una beca, y al recibirme en el Instituto de Ingeniería.

Mi mayor reconocimiento al Dr. Daniel Reséndiz por sus valiosas indicaciones y consejos, y a los Ingenieros Franklin Rendón y Miguel Romo, quienes participaron en la elaboración de esta tesis.

Las observaciones en el Palacio de los Deportes estuvieron a cargo del Ing. Carlos Silva.

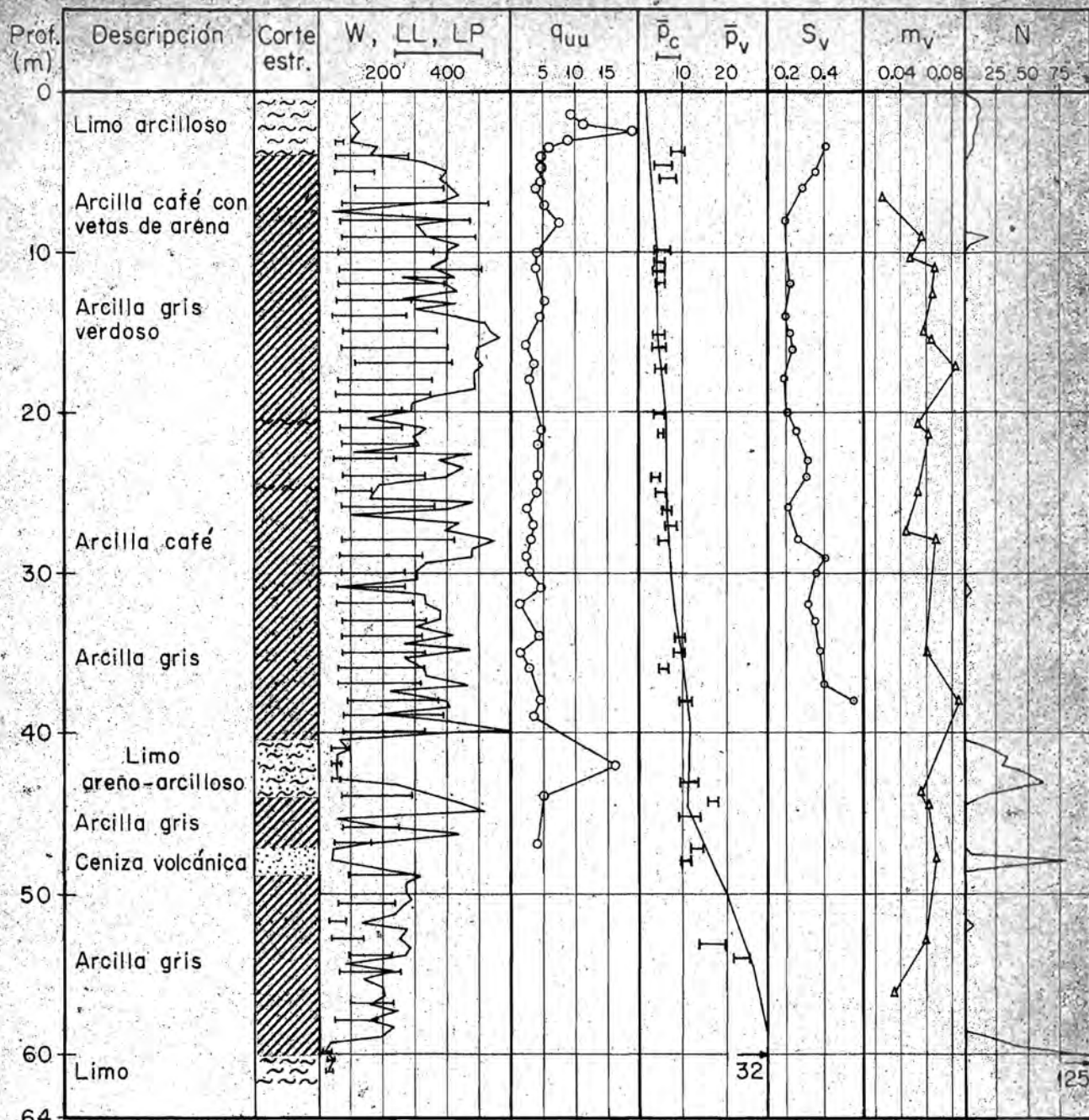
6. REFERENCIAS

1. Reséndiz, D. y Silva, C., "Palacio de los Deportes, Estudio del Comportamiento de la Cimentación. Primer Informe: Mediciones de Campo", No. 147, Instituto de Ingeniería, sep. 1967
2. Auvinet, G. y Reséndiz, D. "Palacio de los Deportes, Estudio del Comportamiento de la Cimentación. Segundo Informe: Desplazamientos Horizontales del Subsuelo durante la Construcción", No. 147, Instituto de Ingeniería, ene. 1968
3. Wilson, S.D. y Hancock, Jr., C.W., "Horizontal Displacement of Clay Foundations", Primera Conferencia Panamericana de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, México, sep. 1959
4. Rangel, A., "Estudio en un Terraplén de Prueba para Sobreelevar los Bordos de la Laguna de Zumpango", Tesis Profesional, p. 41, México, 1966
5. Slope Indicator Co., "Instruction Manual", p. I-1, Seattle, Washington, USA
6. Westergaard, M.M., "Theory of Elasticity and Plasticity", p. 140, Dover Publications, 1952
7. Reséndiz, D., Nieto, J. y Figueroa, J., "The Elastic Properties of Saturated Clays from Field and Laboratory Measurements", Tercera Conferencia Panamericana de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Caracas, Venezuela, jul. 1967
8. Juárez Badillo, E. y Rico, A., "Mecánica de Suelos, Tomo II", Publicación de la revista "Ingeniería", p. 342, México, D.F., dic. 1967

9. Marsal, R.J. y Mazari, M. "El subsuelo de la ciudad de México", Contribución del Instituto de Ingeniería al Primer Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. Parte C, p. 561, México, D.F., Feb. 1960
10. Taylor, D.W., "Fundamentals of Soils Mechanics", p. 650 J. Wiley and Sons, Inc., N. York, 1948
11. Reséndiz, D. "On a Type of Point-Bearing Piles Through Sinking Subsoils". Congreso sobre cimientos profundos, Vol. I, p. 403, México, D.F., 1964.

TABLA I, FECHAS DE OBSERVACION DE DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES

Inclinómetros		I ₀₂₁	I ₀₄₁	I ₀₅₁	I ₀₆₁	I ₁₁₁	I ₁₀₁	I ₁₂₁	I ₁₄₁	I ₁₅₁
Mes	Día									
XII-66	28 Mi	X							X	X
	29 J		X	X	X					
	30 V	X				X		X		
	31 S	X								
I-67	2 L	X								
	3 Ma	X							X	X
	4 Mi						X	X		
	5 J		X	X	X	X				
	6 V	X							X	X
	9 L	X	X	X	X					
	12 J					X	X	X	X	X
	13 V	X	X	X	X					
	16 L						X			
	17 Ma					X		X	X	X
	18 Mi	X	X	X	X					
	19 J					X		X	X	X
	20 V	X	X					X		
	21 S			X	X					
	27 V	X						X	X	X
	28 S				X					
III-67	3 V			X						
	4 S				X	X	X			
	6 L									X
	8 Mi			X				X		
	9 J						X			
	13 L	X	X							
	14 Ma				X				X	X
15 Mi					X	X	X			



- Arcilla
- Limo
- Arena

- W. Contenido de agua, en %
- LL, LP Límites de consistencia, en %
- q_{uu} Resistencia a la compresión en prueba triaxial no consolidada-no drenada, en ton/m^2
- \bar{p}_c Carga de preconsolidación, en ton/m^2
- \bar{p}_v Presión vertical efectiva, en ton/m^2
- S_v Resistencia de veleta in situ, en kg/cm^2
- m_v Módulo de variación volumétrica, en cm^2/kg
- N Número de golpes en penetración estándar

Fig 1 Estratigrafía y propiedades típicas del subsuelo de la zona del Palacio de los Deportes

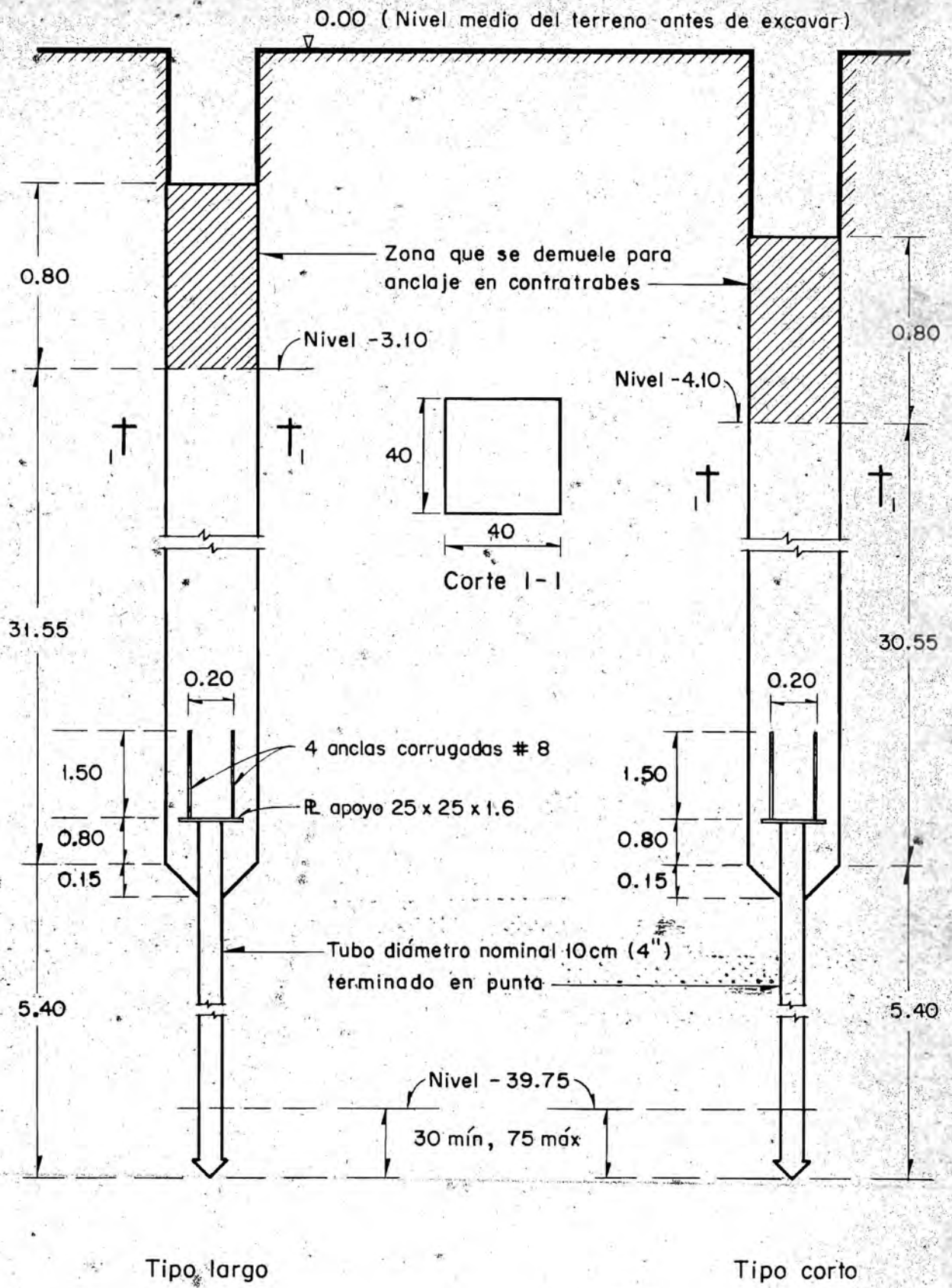
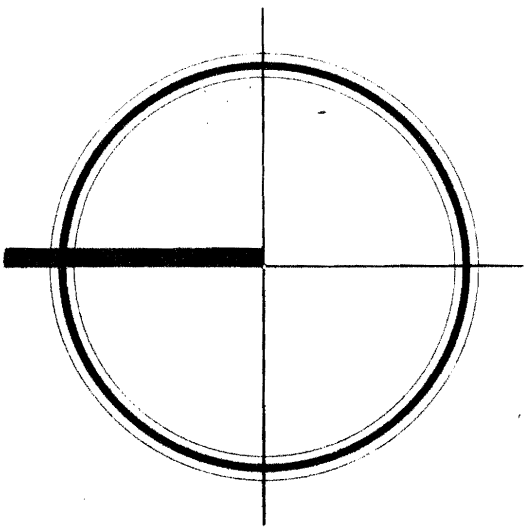


Fig 2 Geometría de los pilotes



18

2/a 3 D

5 a 11 Dic.

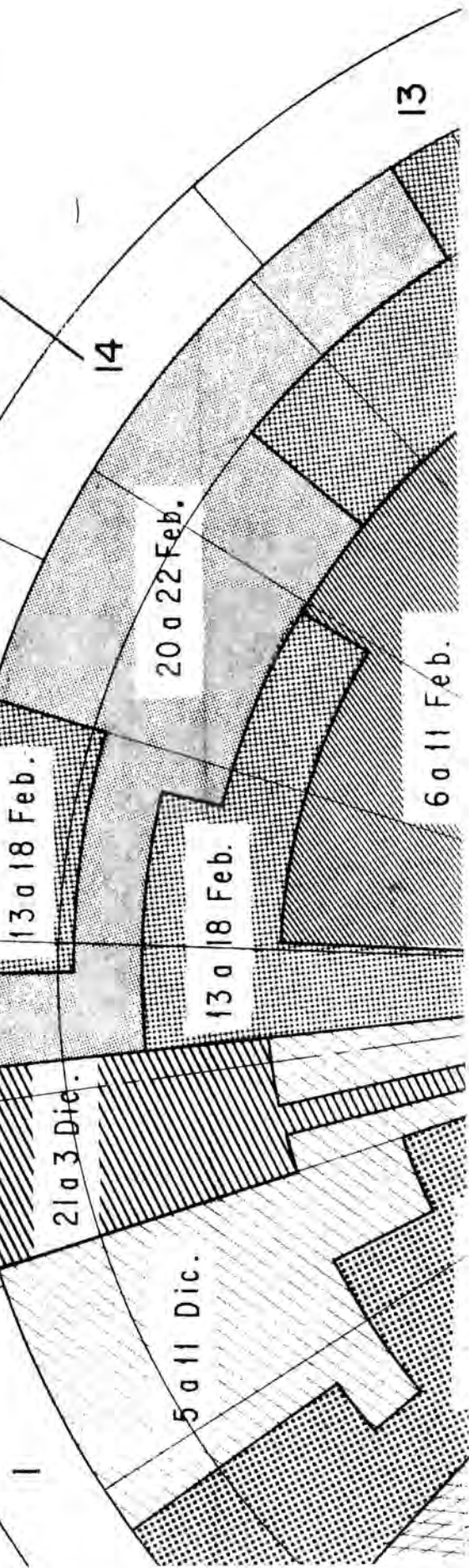
19 a 24 Dic.

27

2

18

9



15

14

13

15

16

13 a 18 Feb.

20 a 22 Feb.

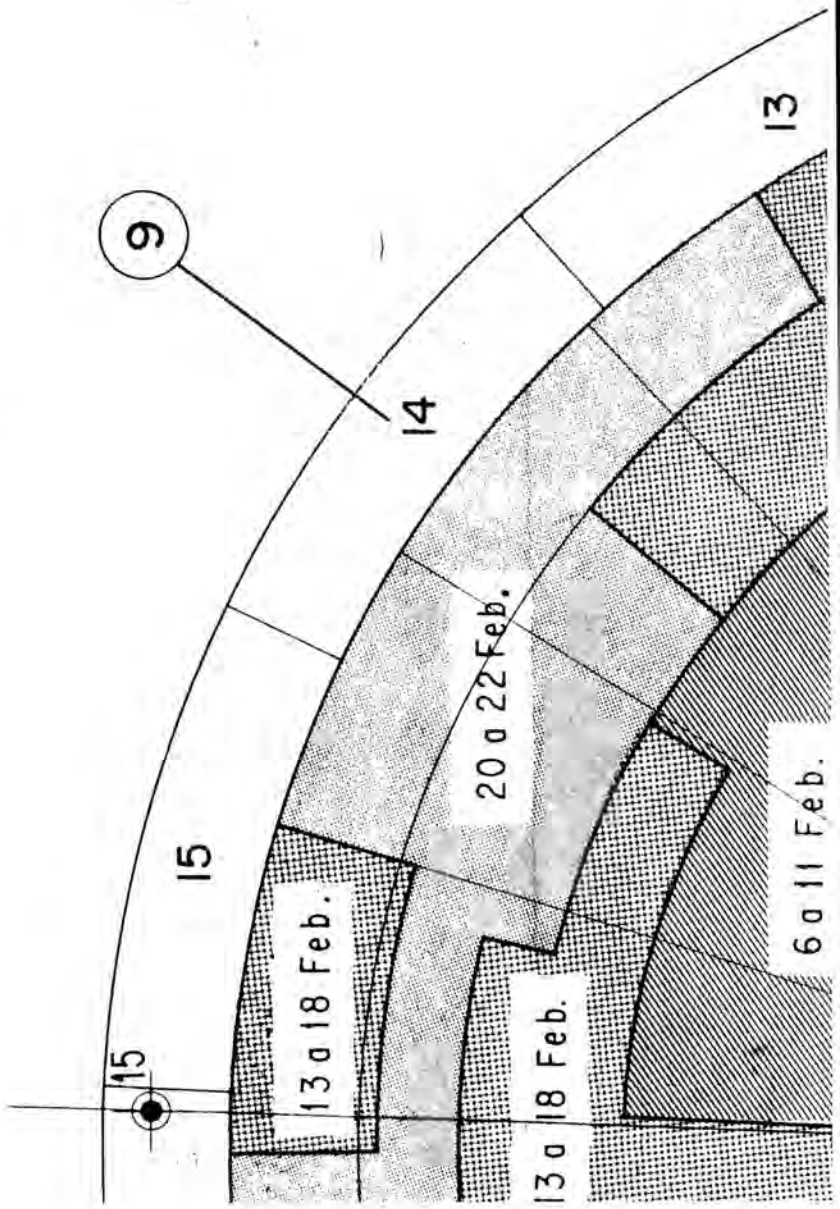
13 a 18 Feb.

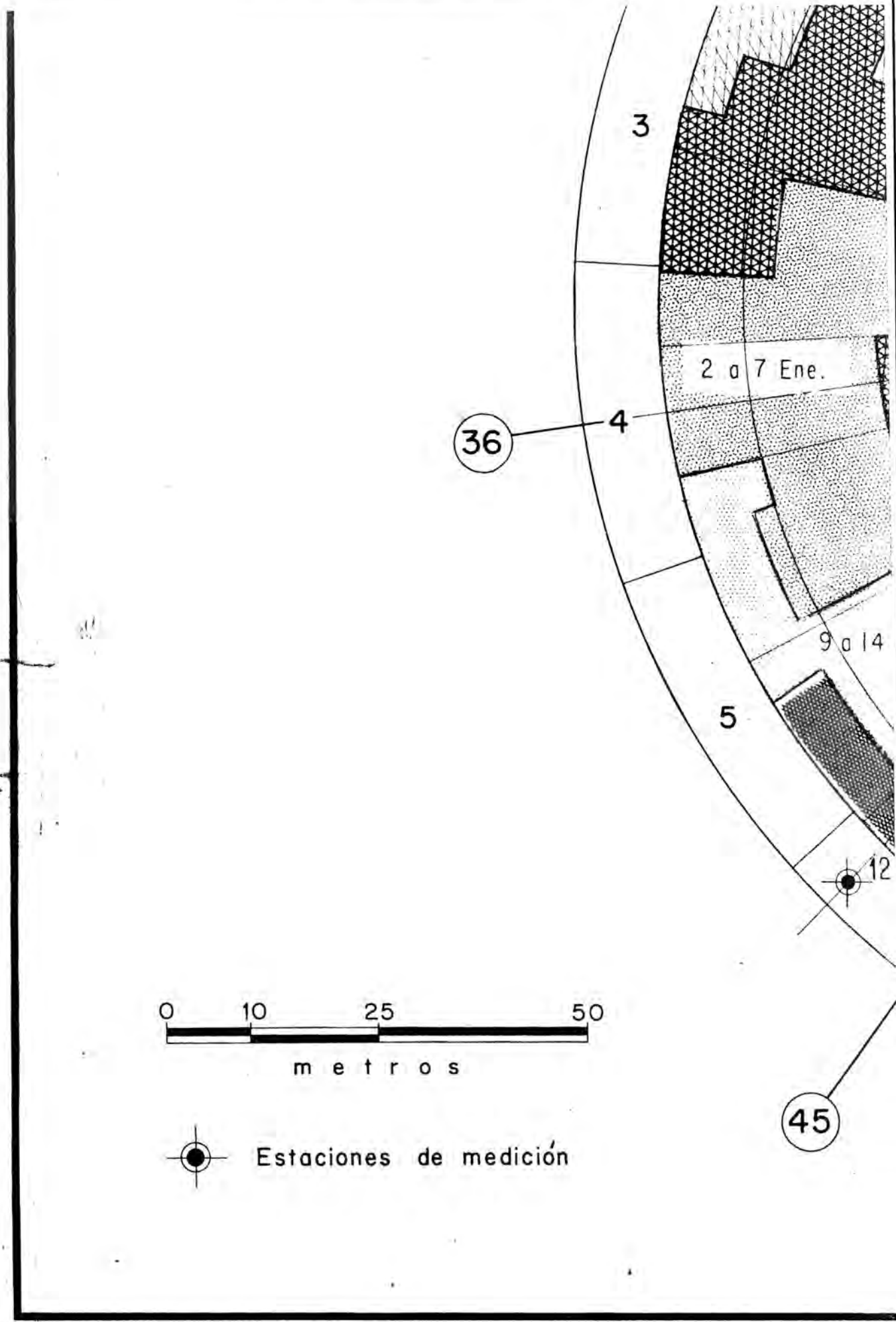
6 a 11 Feb.

21 a 3 Dic.

5 a 11 Dic.

1





3

2 a 7 Ene.

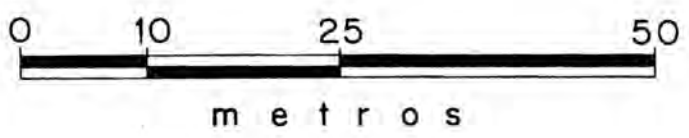
36

4

9 a 14

5

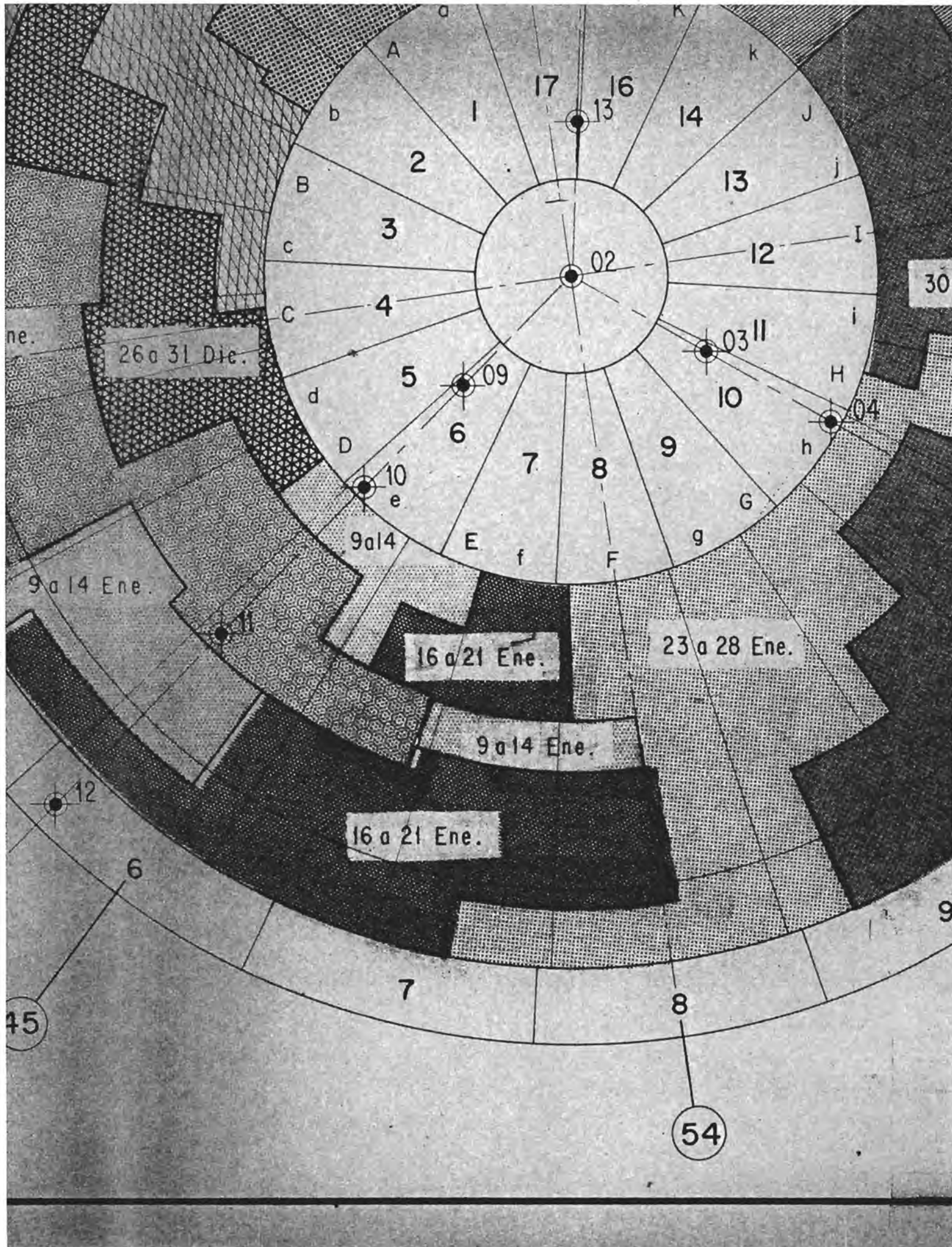
12



45



Estaciones de medición



26 a 31 Dic.

9 a 14 Ene.

16 a 21 Ene.

23 a 28 Ene.

9 a 14 Ene.

16 a 21 Ene.

45

6

7

8

9

54

30

ne.

02

03 II

09

04

10e

9a14

17

16

14

13

12

10

7

8

9

3

2

B

c

C

D

E

F

G

H

I

J

A

b

I

13

k

K

j

i

h

g

f

e

d

a

B

C

D

E

F

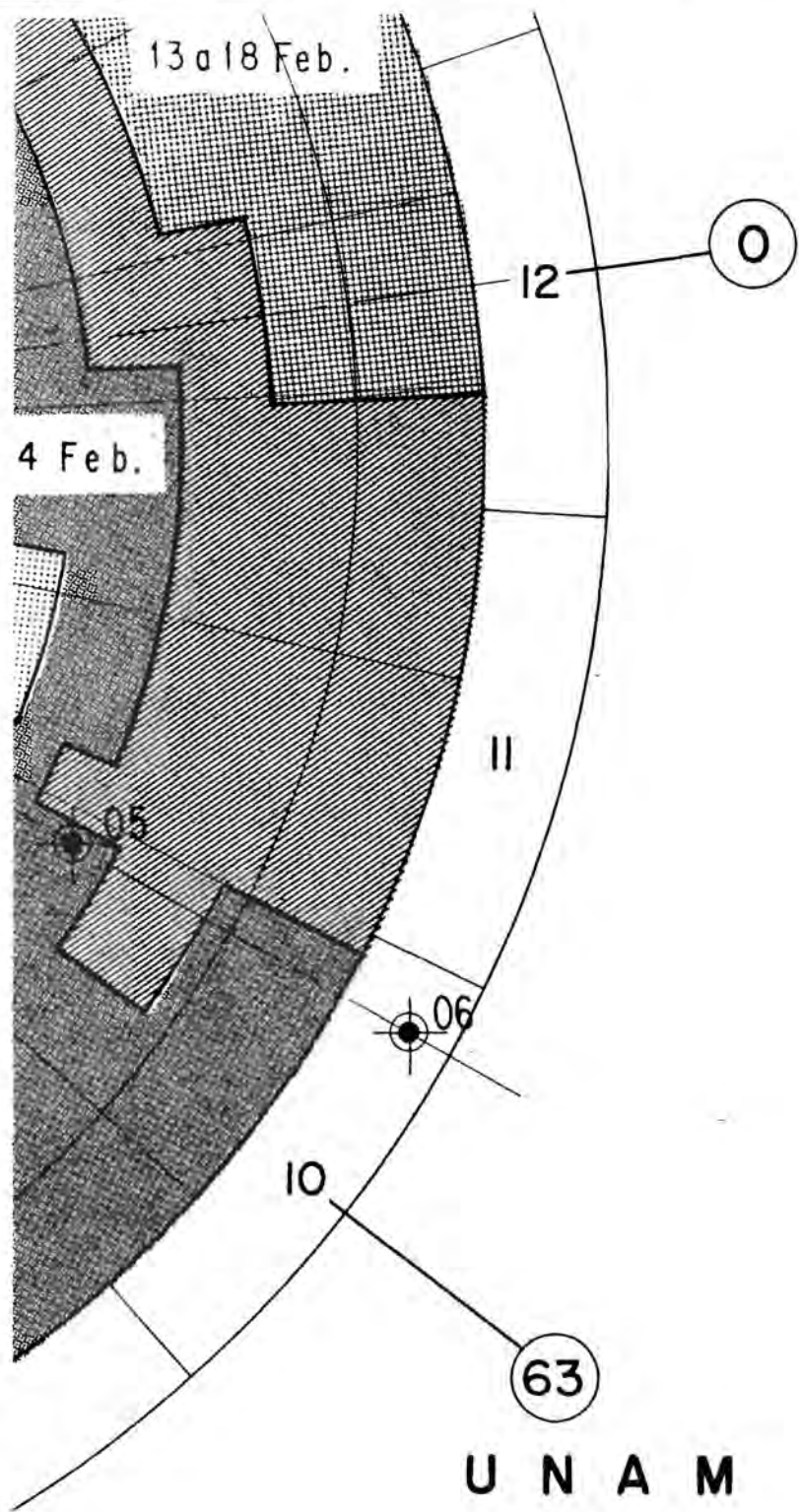
G

H

I

J

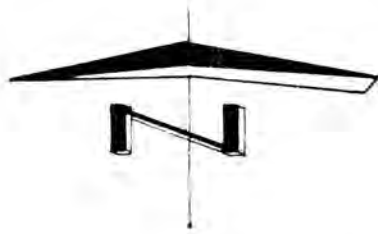
K



PALACIO DE LOS DEPORTES

AVANCE HINCADO DE PILOTES

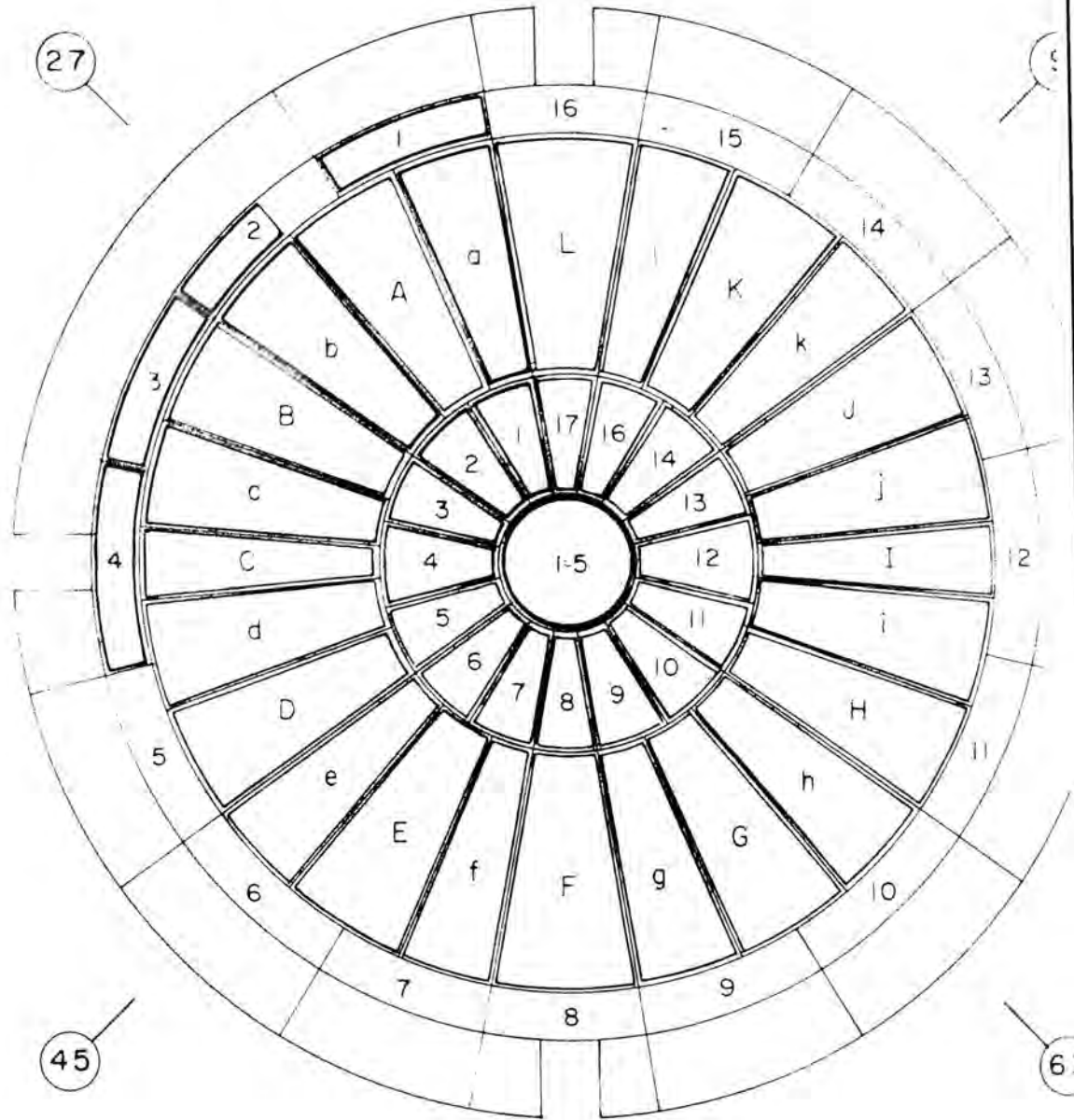
Fig 3



18

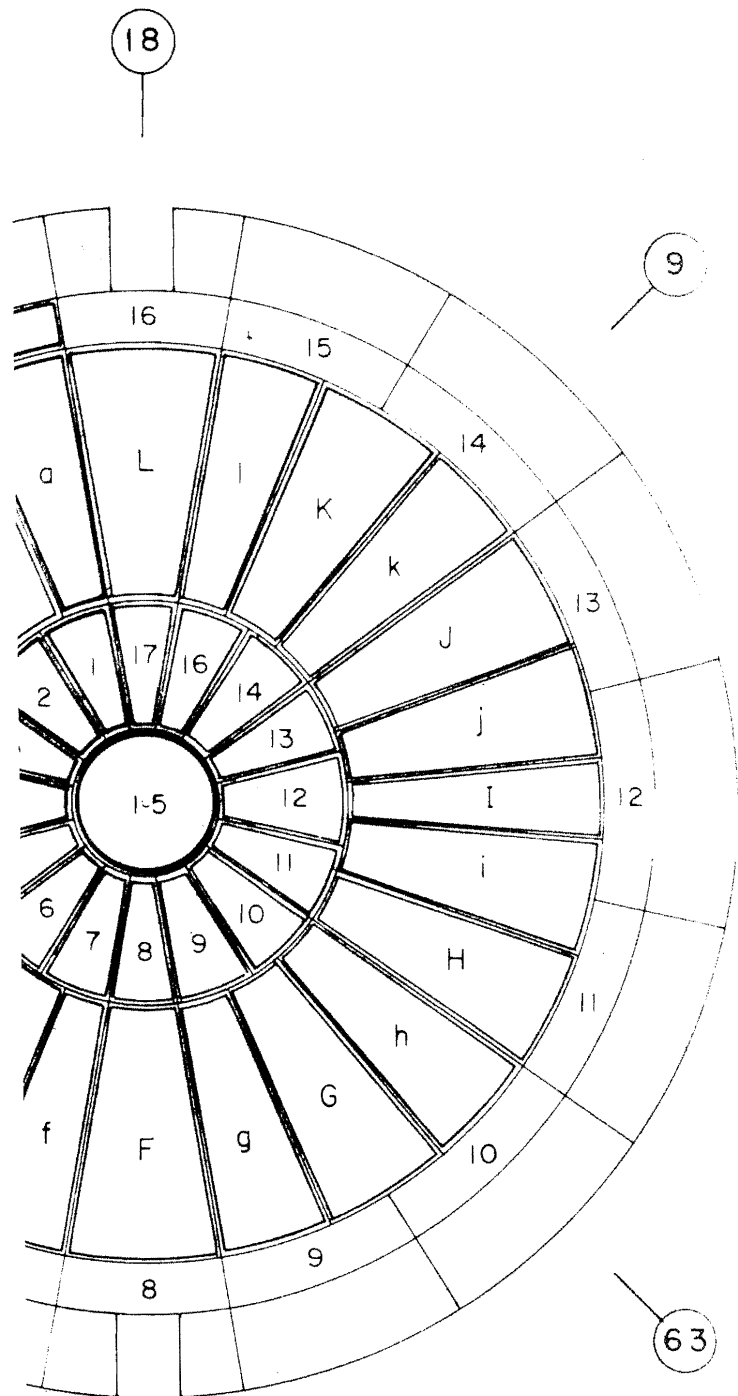
27

36



54

PLANTA EXCAVACION



I.- EXC

SECTOR	inic.	2
	termin.	2
1	lastre inic.	2
	lastre ter.	0
SECTOR	inic.	1
	termin.	1
4	lastre inic.	2
	lastre ter.	2
SECTOR	inic.	0
	termin.	0
7	lastre inic.	0
	lastre ter.	0
SECTOR	inic.	0
	termin.	1
10	lastre inic.	1
	lastre ter.	1
SECTOR	inic.	13
	termin.	14
13	lastre inic.	14
	lastre ter.	14
SECTOR	inic.	2
	termin.	2
16	lastre inic.	3
	lastre ter.	3

Nota: Después de
con una cap

EXCAVACION

Fig 4 Avance

T A B L A S

I.- EXCAVACION CENTRO

(Prof. m)

SECTOR 1	inic. termin. lastre inic. lastre ter.	211266 231266 261266 020167	SECTOR 2	inic. termin. lastre inic. lastre ter.	281266 301266 020167 060167	SECTOR 3	inic. termin. lastre inic. lastre ter.
SECTOR 4	inic. termin. lastre inic. lastre ter.	130167 140167 210167 250167	SECTOR 5	inic. termin. lastre inic. lastre ter.	270167 290167 290167 300167	SECTOR 6	inic. termin. lastre inic. lastre ter.
SECTOR 7	inic. termin. lastre inic. lastre ter.	030267 050267 050267 070267	SECTOR 8	inic. termin. lastre inic. lastre ter.	060267 060267 060267 080267	SECTOR 9	inic. termin. lastre inic. lastre ter.
SECTOR 10	inic. termin. lastre inic. lastre ter.	090267 100267 100267 120267	SECTOR 11	inic. termin. lastre inic. lastre ter.	110267 110267 110267 130267	SECTOR 12	inic. termin. lastre inic. lastre ter.
SECTOR 13	inic. termin. lastre inic. lastre ter.	130267 140267 140267 160267	SECTOR 14	inic. termin. lastre inic. lastre ter.	150267 170267 170267 190267	SECTOR 15	inic. termin. lastre inic. lastre ter.
SECTOR 16	inic. termin. lastre inic. lastre ter.	220267 250267 310367 310367	SECTOR 17	inic. termin. lastre inic. lastre ter.	220267 250267 310367 310367		

Nota: Después de terminada la excavación se procede a lastrar con una capa de mortero de 0.80 m de espesor.

Fig 4 Avance de excavaciones y lastres

B L A S D E E X C A V A C

I CENTRO (Prof. m)

II.- EXCAVACION E

inic.	281266	SECTOR 3	inic.	100167
termin.	301266		termin.	120167
lastre inic.	020167		lastre inic.	140167
lastre ter.	060167		lastre ter.	210167
inic.	270167	SECTOR 6	inic.	270167
termin.	290167		termin.	290167
lastre inic.	290167		lastre inic.	290167
lastre ter.	300167		lastre ter.	300167
inic.	060267	SECTOR 9	inic.	070267
termin.	060267		termin.	080267
lastre inic.	060267		lastre inic.	080267
lastre ter.	080267		lastre ter.	100267
inic.	110267	SECTOR 12	inic.	120267
termin.	110267		termin.	120267
lastre inic.	110267		lastre inic.	120267
lastre ter.	130267		lastre ter.	140267
inic.	150267	SECTOR 15	inic.	180267
termin.	170267		termin.	210267
lastre inic.	170267		lastre inic.	210267
lastre ter.	190267		lastre ter.	260267
inic.	220267			
termin.	250267			
lastre inic.	310367			
lastre ter.	310367			

SECTOR a	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	020167 040167 230167 280167	SECTOR b
SECTOR d	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	260167 020267 200267 250267	SECTOR e
SECTOR g	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	060467 090467 080567 130567	SECTOR h
SECTOR j	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	160467 180467 150567 200567	SECTOR k
SECTOR A	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	130267 150267 060367 110367	SECTOR B
SECTOR D	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	220267 260267 030467 080467	SECTOR E
SECTOR G	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	140267 160267 270367 010467	SECTOR H
SECTOR J	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	010467 040467 150567 200567	SECTOR K

excavación se procede a lastrar
de 0.80 m de espesor.

avaciones y lastres

X C A V A C I O N E S

II.- EXCAVACION EN ZONA PILOTEADA (Prof. m)

SECTOR a	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	020167 040167 230167 280167	SECTOR b	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	050167 090167 230167 280167	SECTOR c	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	250167 260167 060267 110267
SECTOR d	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	260167 020267 200267 250267	SECTOR e	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	030267 050267 270267 040367	SECTOR f	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	070267 080267 240467 290467
SECTOR g	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	060467 090467 080567 130567	SECTOR h	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	090467 120467 080567 130567	SECTOR i	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	130467 150467 270467 010567
SECTOR j	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	160467 180467 150567 200567	SECTOR k	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	250467 290467 220567 270567	SECTOR l	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	170467 200467 220567 270567
SECTOR A	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	130267 150267 060367 110367	SECTOR B	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	150267 170267 060367 110367	SECTOR C	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	200267 220267 270367 010367
SECTOR D	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	220267 260267 030467 080467	SECTOR E	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	290367 310367 100467 220467	SECTOR F	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	070267 080267 240467 290467
SECTOR G	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	140267 160267 270367 010467	SECTOR H	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	140267 180267 010567 060567	SECTOR I	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	120367 150367 030467 080467
SECTOR J	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	010467 040467 150567 200567	SECTOR K	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	270367 290367 100467 220467	SECTOR L	inic. termin. inic. cim. ter. cim.	030367 060367 080567 130567

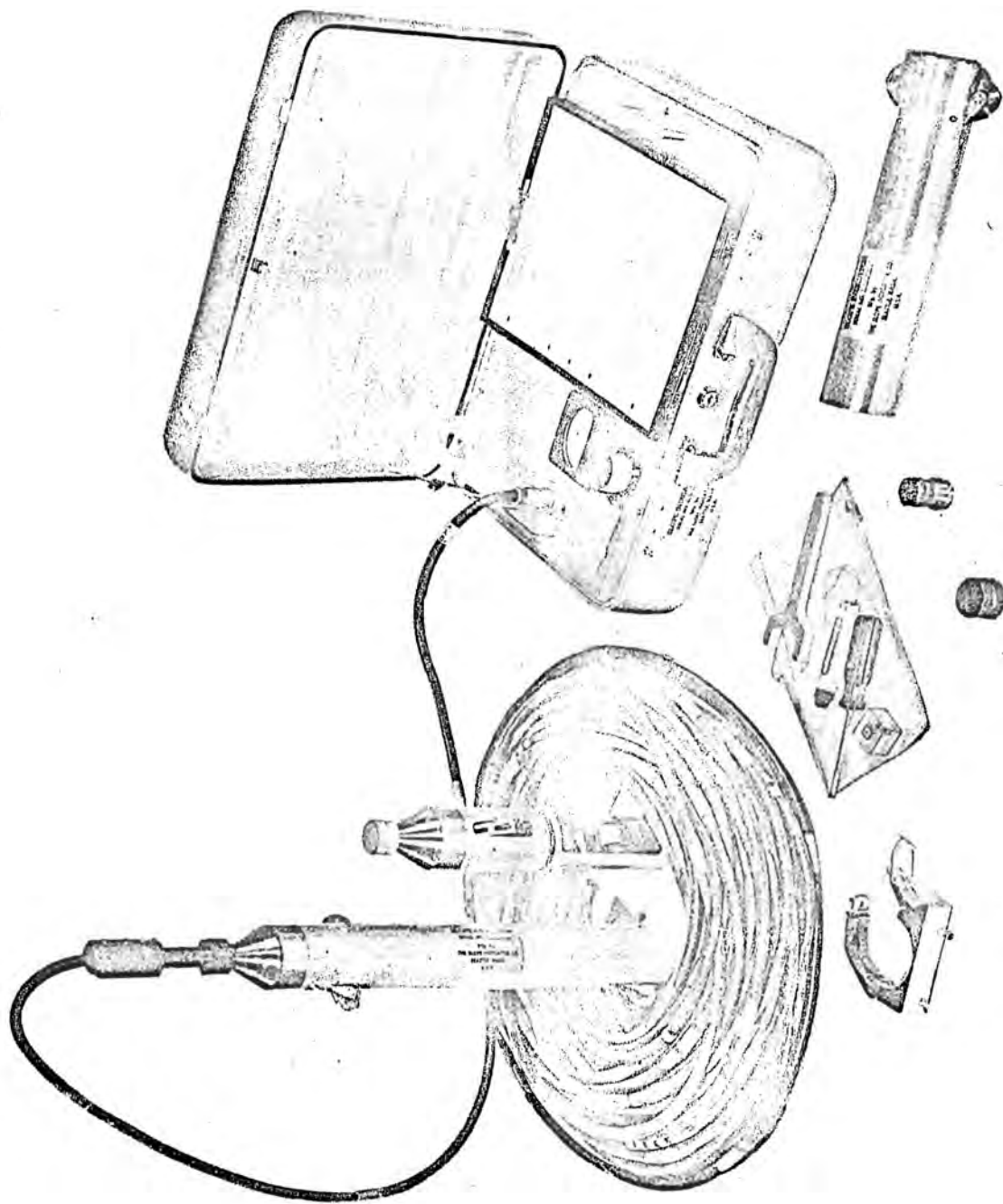
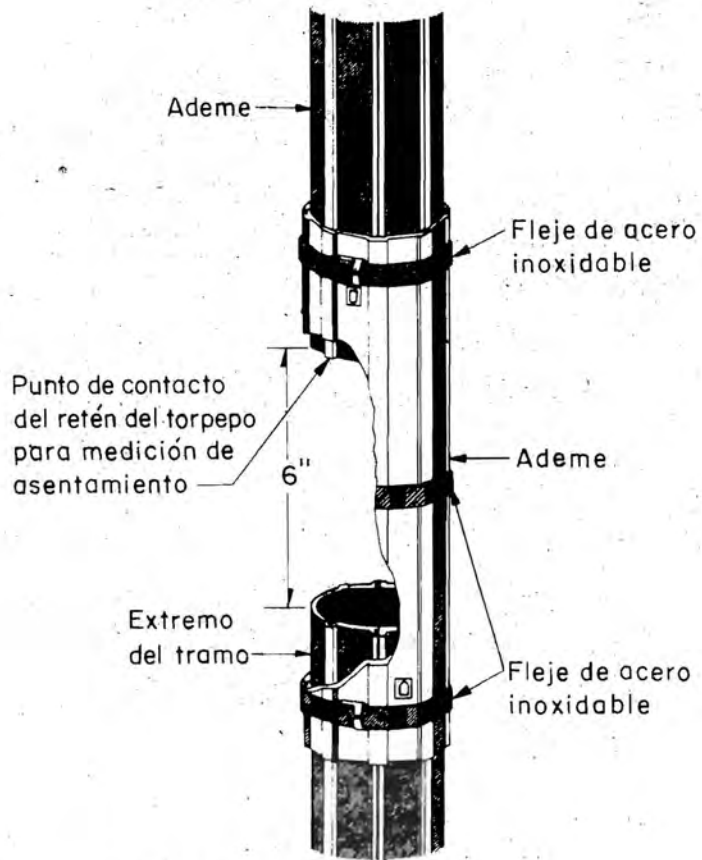
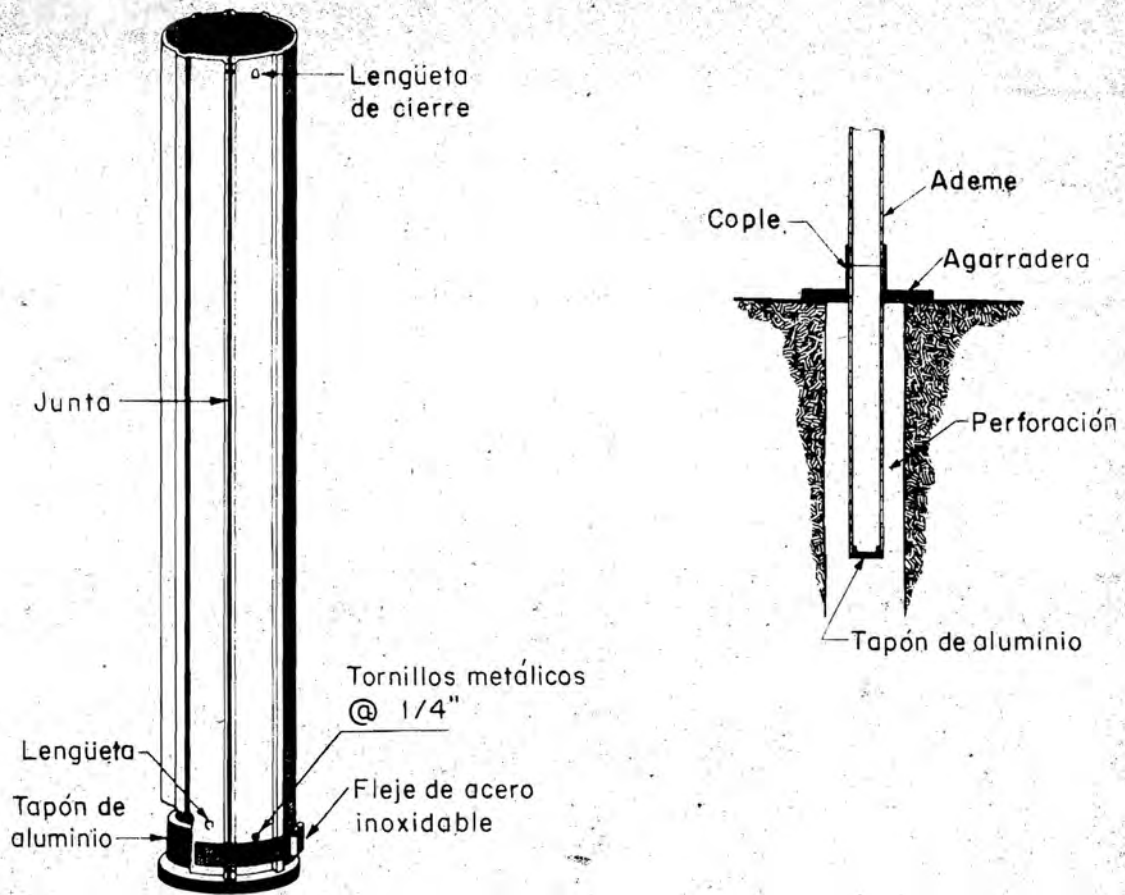
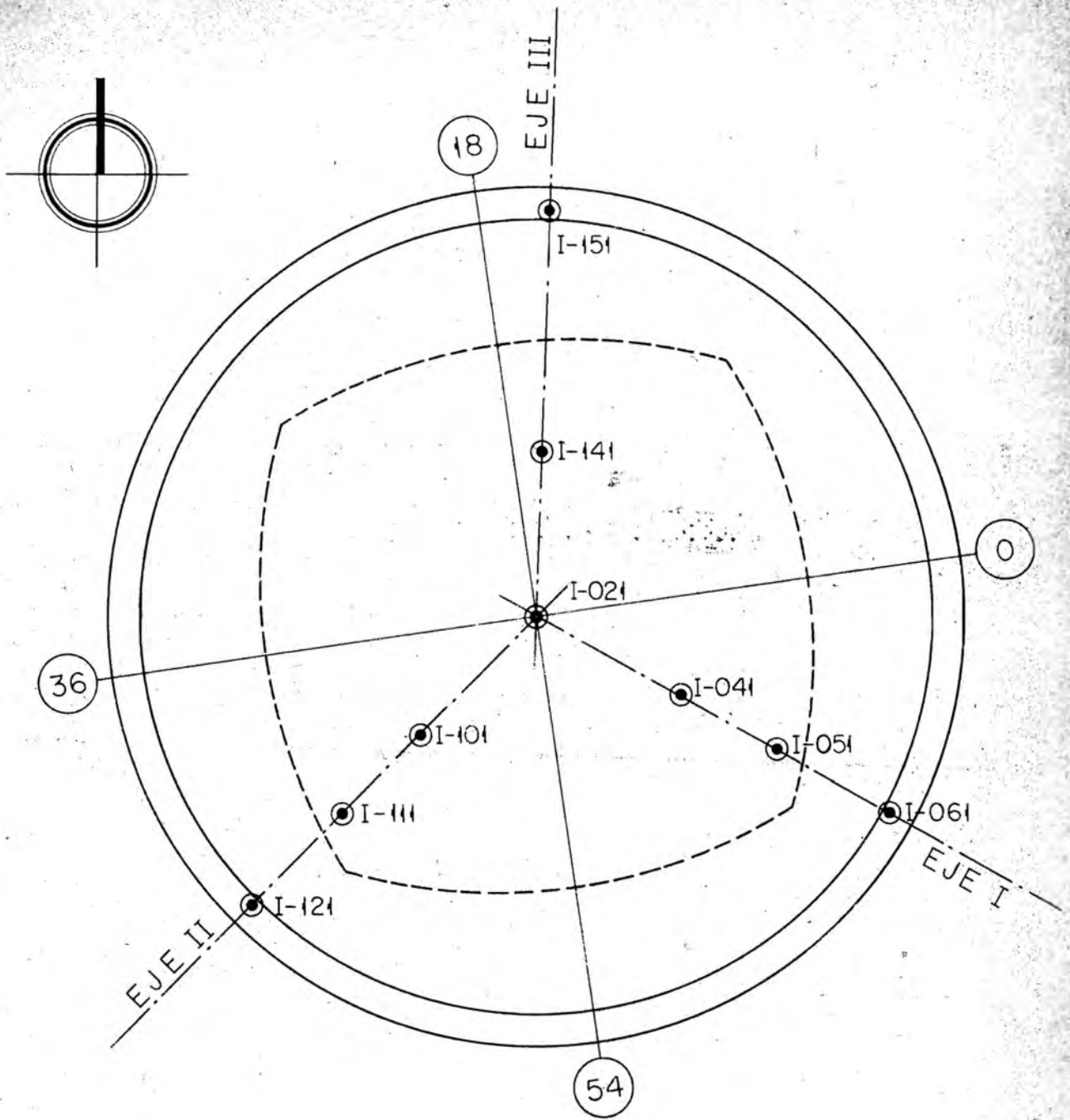


Fig 5 Inclínómetro (Slope Indicator)



INCLINOMETRO

Fig. 6



Localización de los inclinómetros

Fig 7

PALACIO DE LOS DEPORTES
INCLINOMETROS - DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES

INCLINOMETRO No. I-021

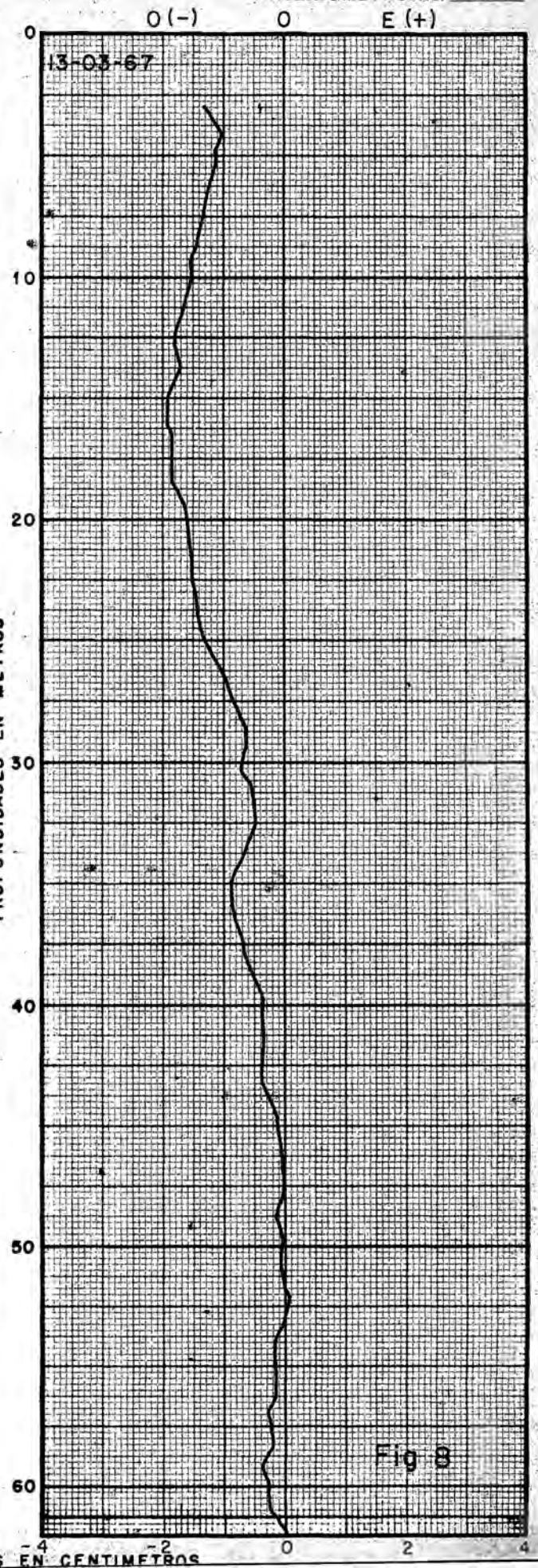
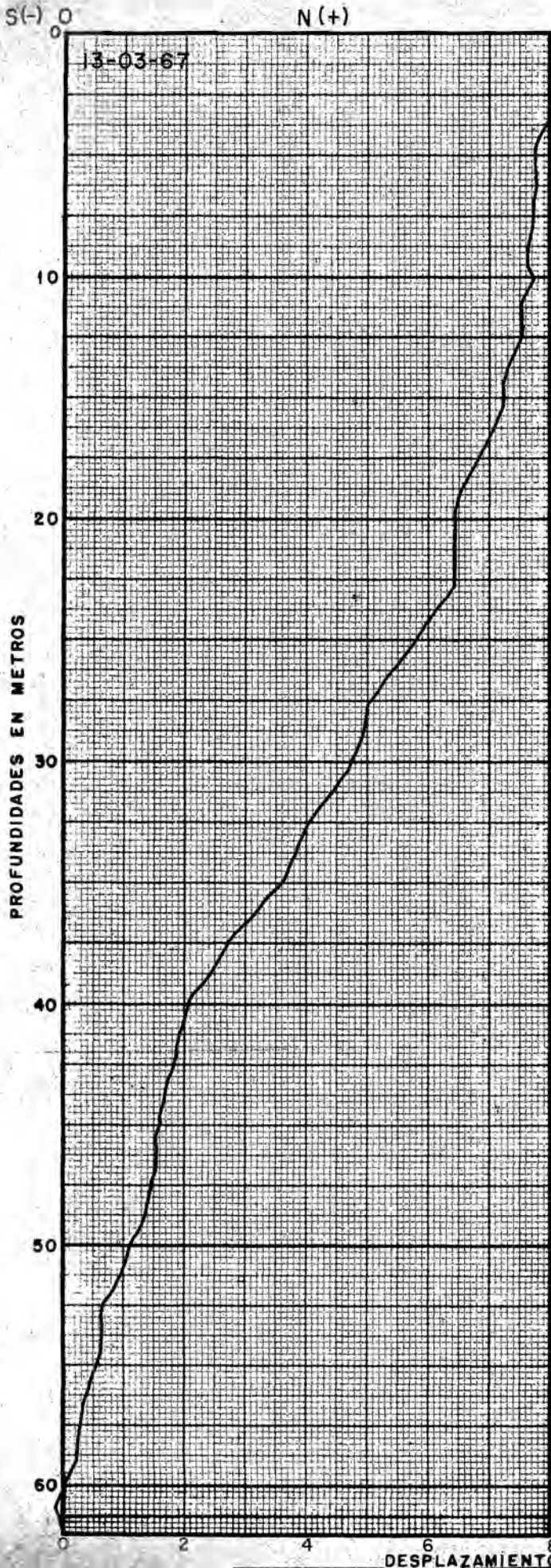
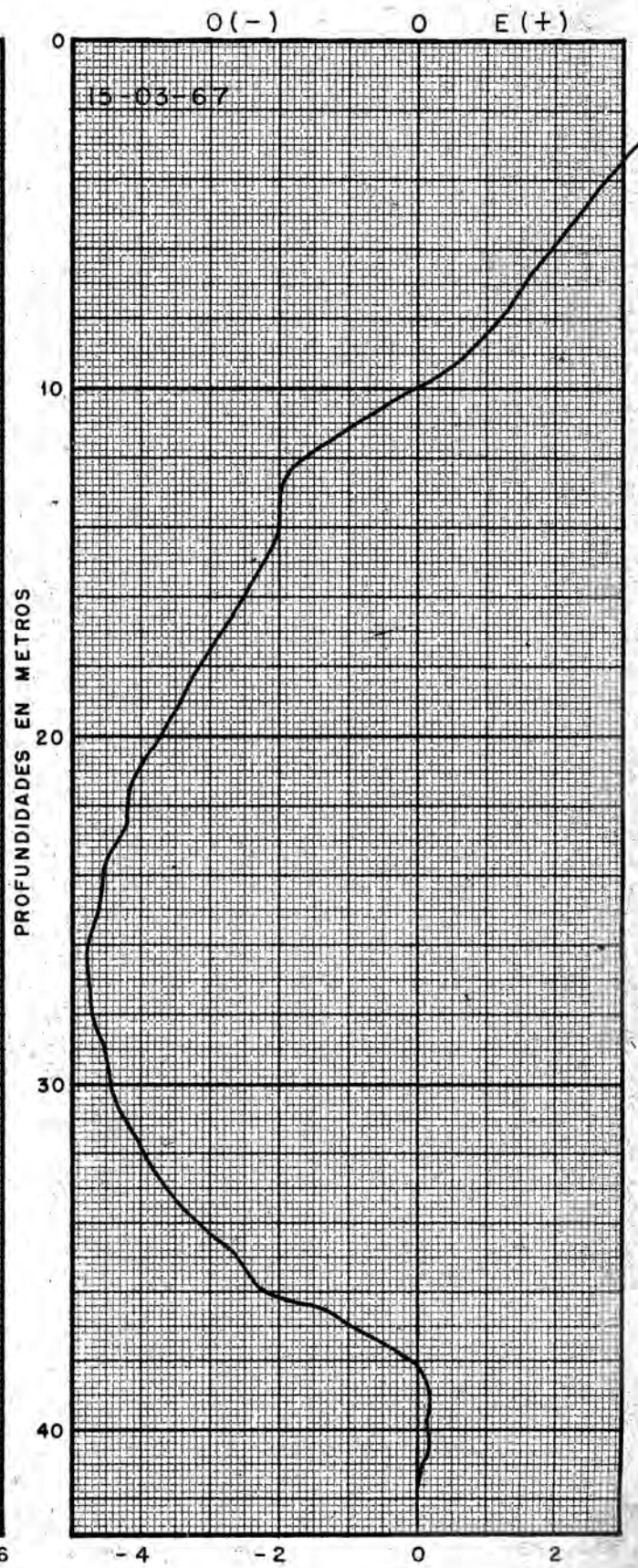
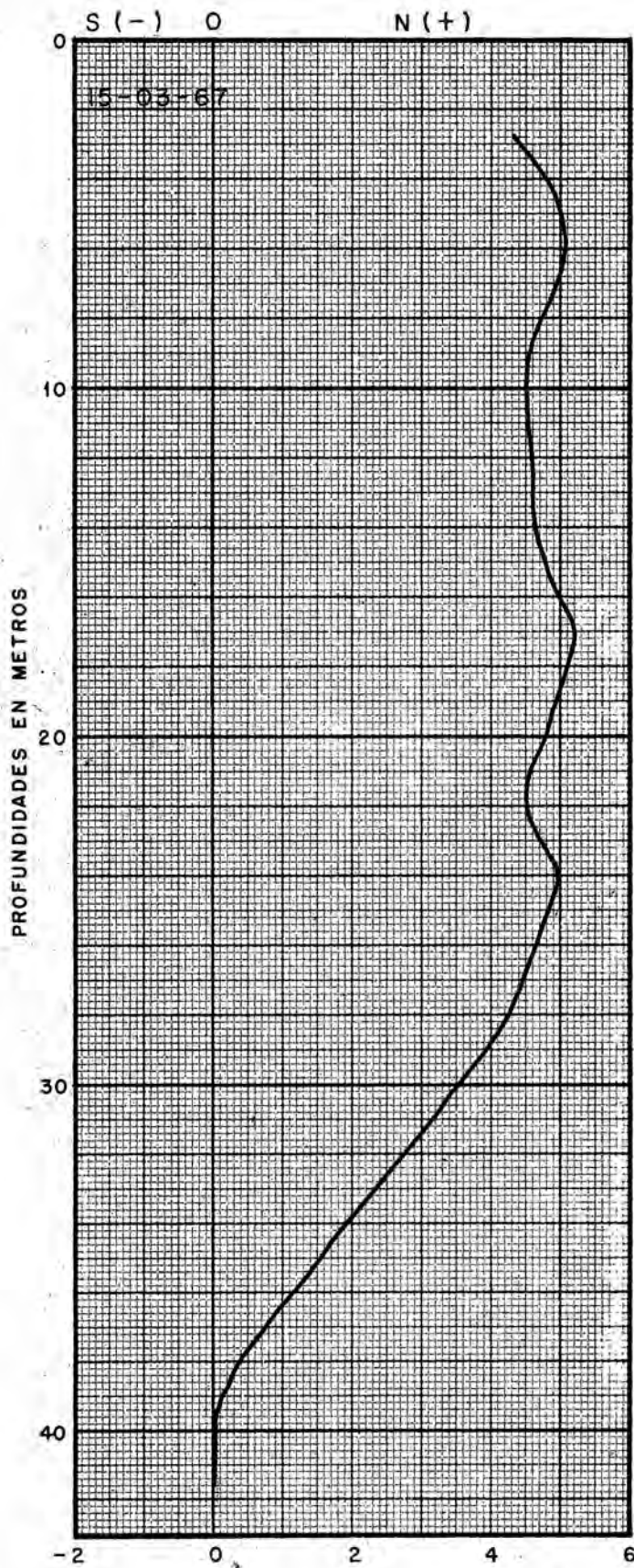


Fig 8

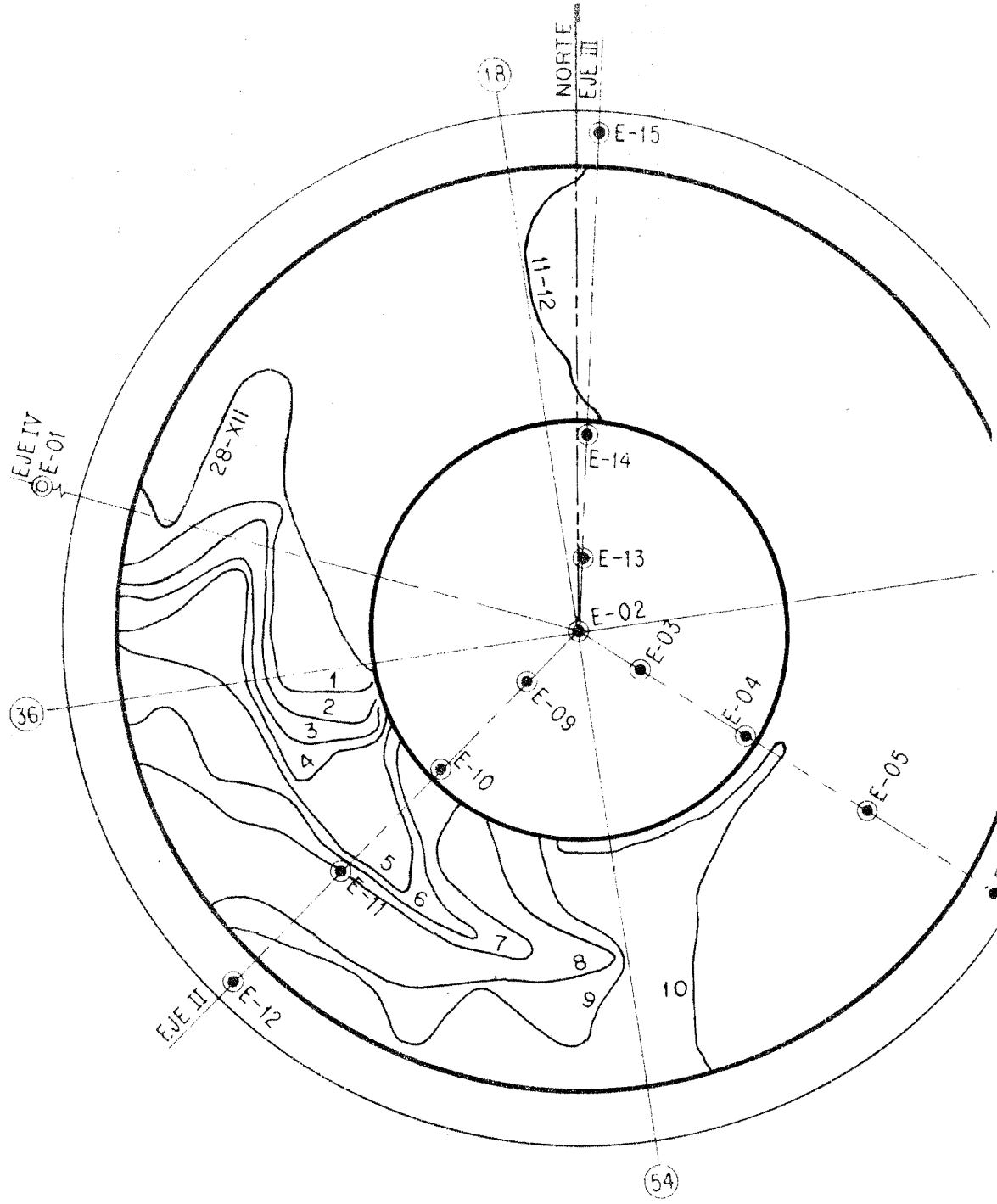
PALACIO DE LOS DEPORTES
INCLINOMETROS - DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES

INCLINOMETRO No. I-111

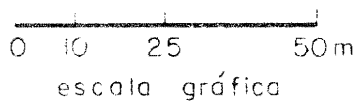


DESPLAZAMIENTOS EN CENTIMETROS

Fig 9



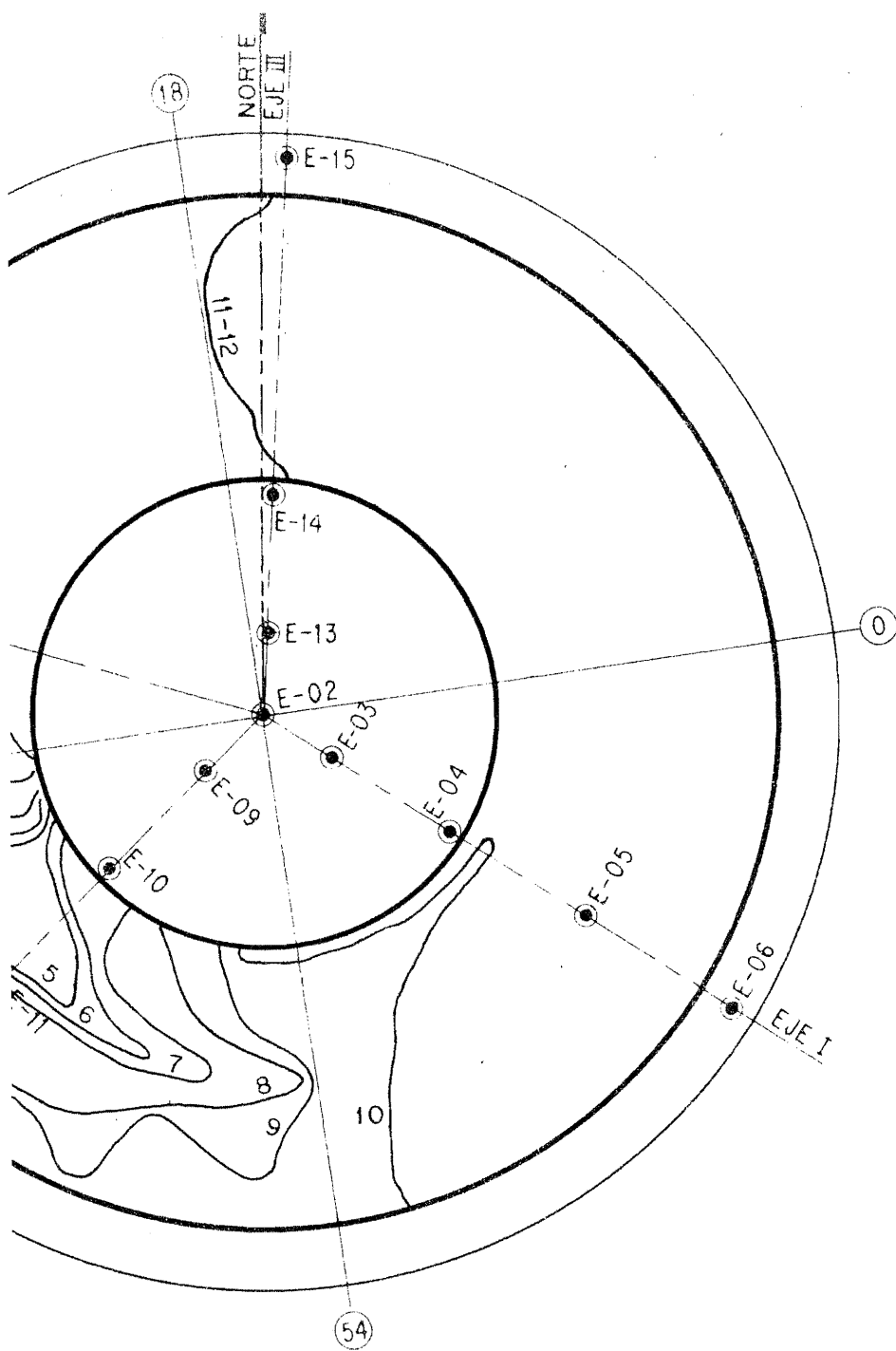
PLANTA



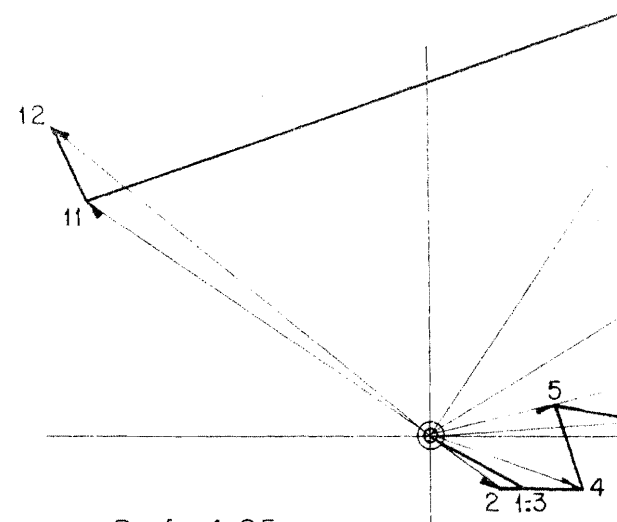
FRENTES DE AVANCE DEL HINCADO DE PILOTES

Nº	Fecha	Nº	Fecha
Inicial	28-12-66	7	13-01-67
1	30-12-66	8	18-01-67
2	31-12-66	9	20-01-67
3	02-01-67	10	27-01-67
4	03-01-67	11	07-03-67
5	06-06-67	12	13-03-67
6	09-01-67		

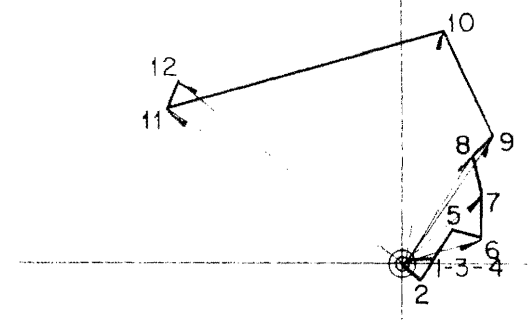
INC
ESC



PLANTA



Prof. = 4.25 m.



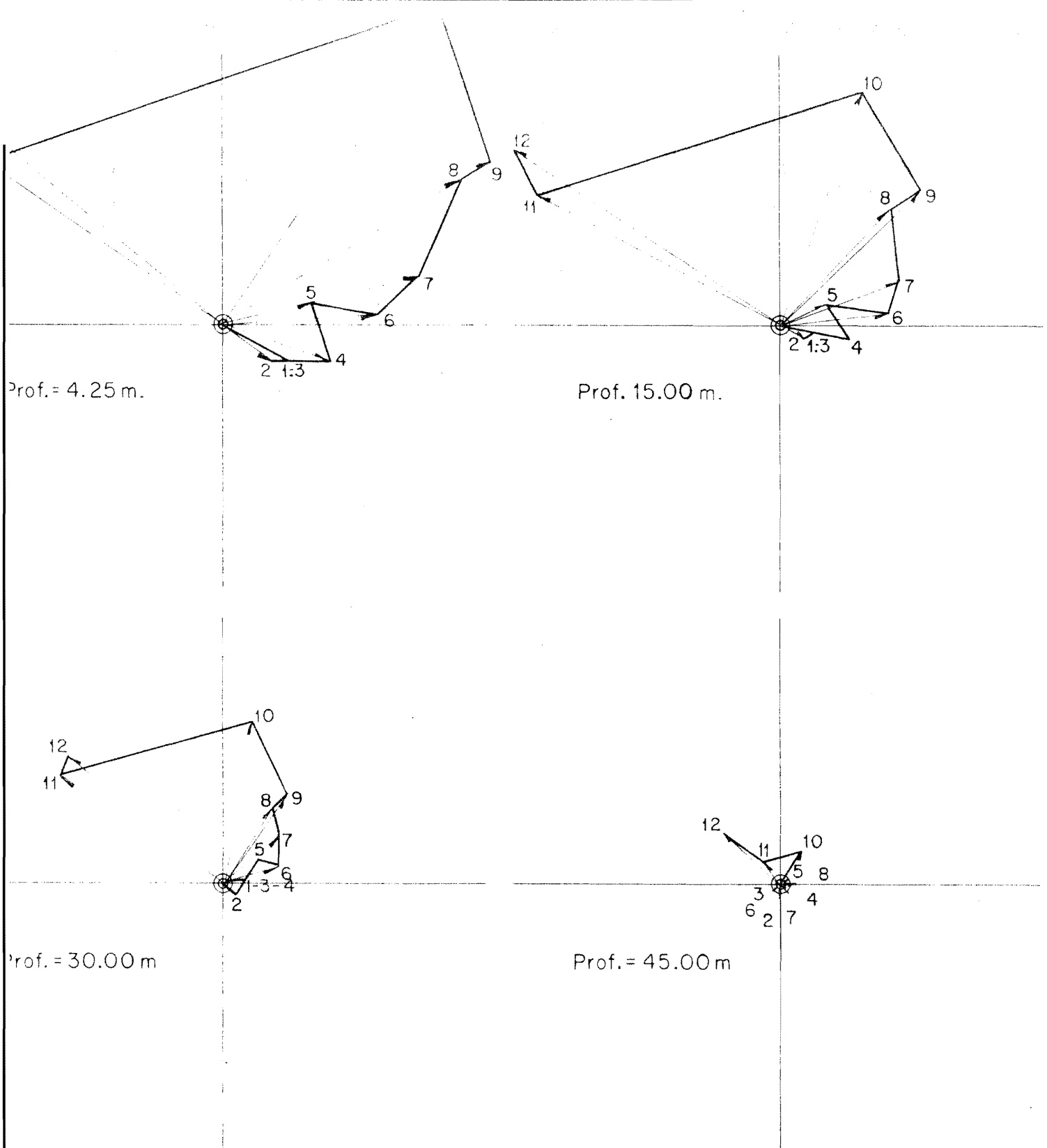
Prof. = 30.00 m

ES DE AVANCE DEL HINCADO DE PILOTES

	Fecha	Nº	Fecha
01	28-12-66	7	13-01-67
	30-12-66	8	18-01-67
	31-12-66	9	20-01-67
	02-01-67	10	27-01-67
	03-01-67	11	07-03-67
	06-06-67	12	13-03-67
	09-01-67		

INCLINOMETRO I-021

ESCALA DE DESPLAZAMIENTOS 1:1.25



Prof. = 4.25 m.

Prof. = 15.00 m.

Prof. = 30.00 m

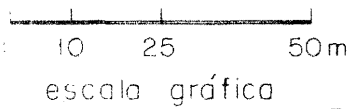
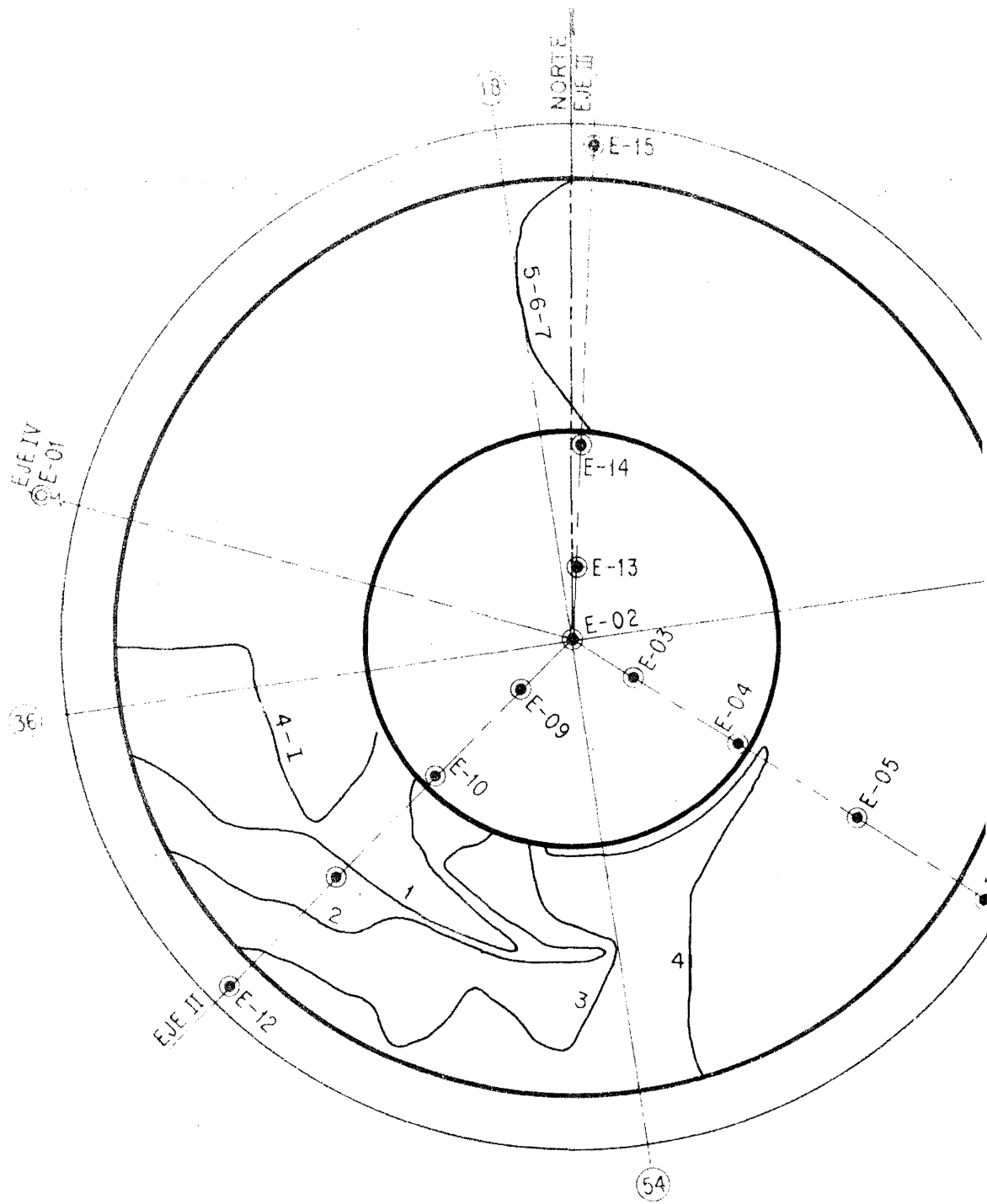
Prof. = 45.00 m

0 I-021

DESPLAZAMIENTOS 1:1.25

Sección de Mecánica de Suelos
PALACIO DE LOS DEPORTES
 DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES

Fig 10

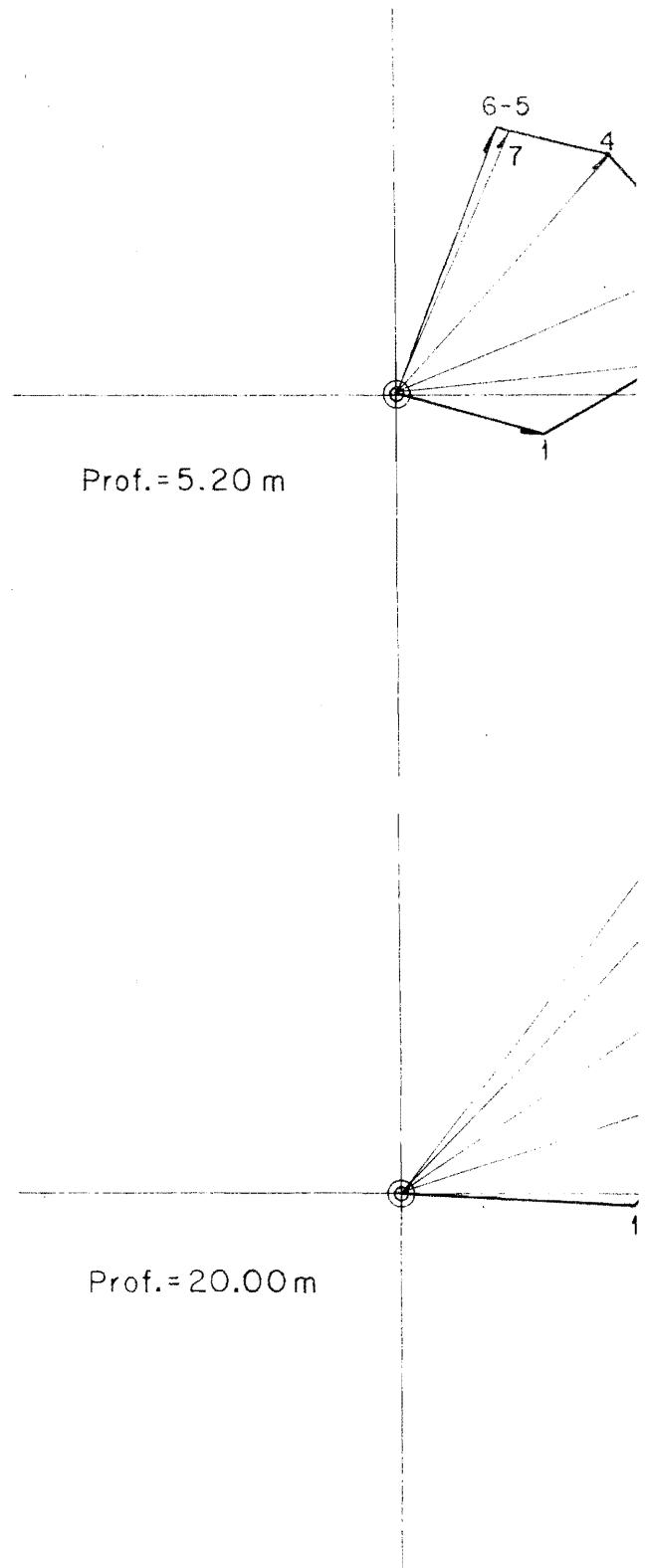
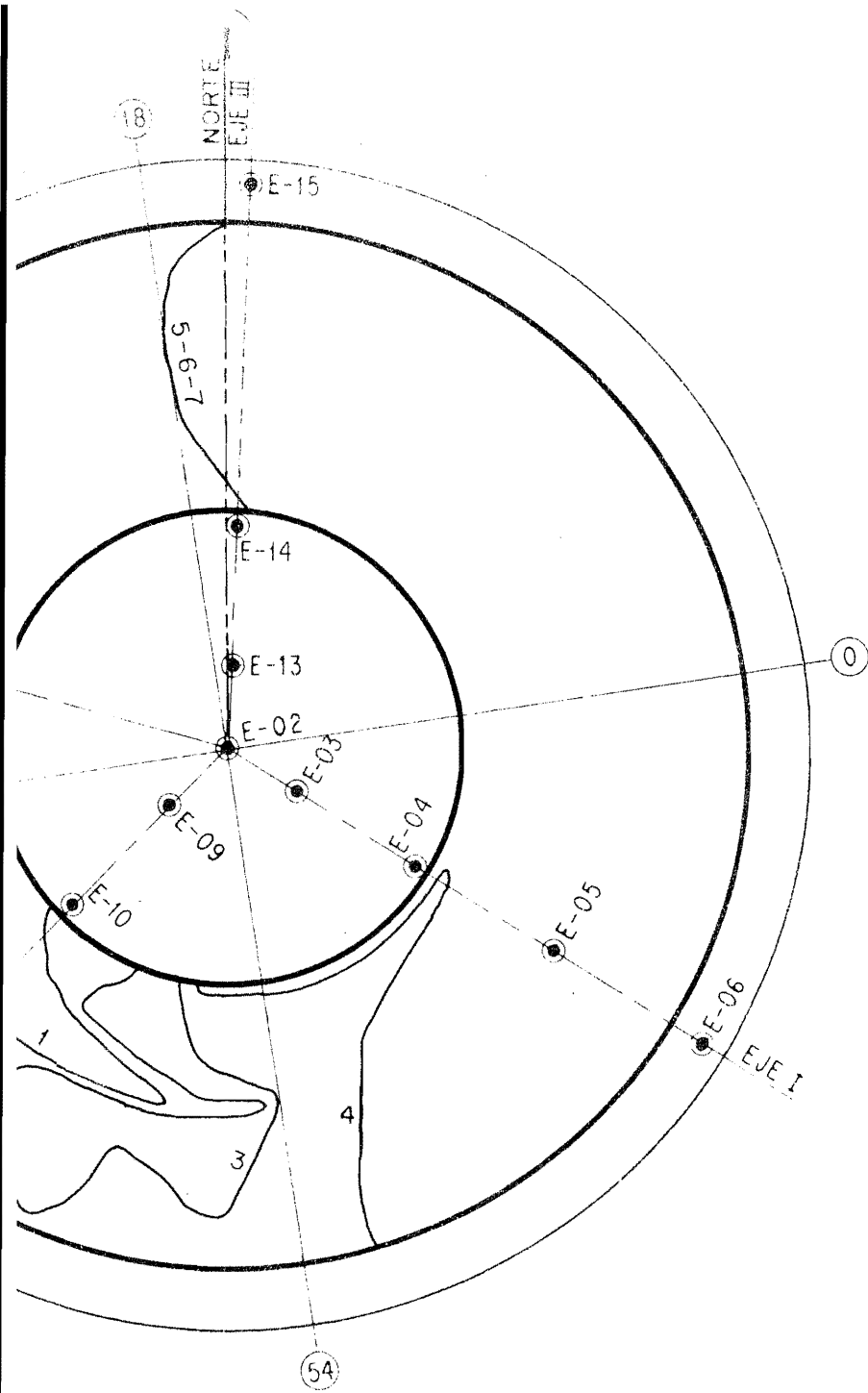


PLANTA

FRENTES DE AVANCE DEL HINCADO DE PILOTES

Nº	Fecha	Nº	Fecha
Inicial	04-01-67	7	15-03-67
1	12-01-67		
2	16-01-67		
3	20-01-67		
4	27-01-67		
5	04-03-67		
6	09-03-67		

INC
ESC



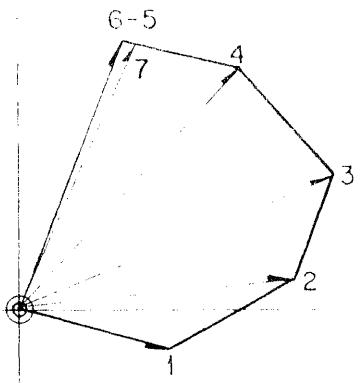
PLANTA

DE AVANCE DEL HINCADO DE PILOTES

Fecha	Nº	Fecha
04-01-67	7	15-03-67
12-01-67		
16-01-67		
20-01-67		
27-01-67		
04-03-67		
09-03-67		

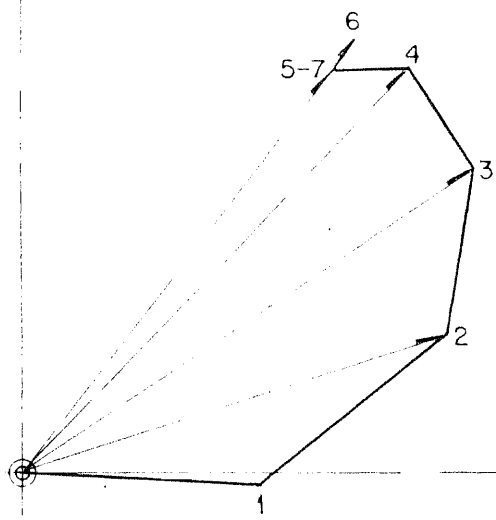
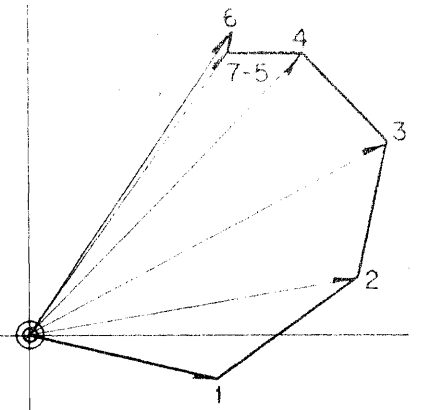
INCLINOMETRO I-101

ESCALA DE DESPLAZAMIENTOS 1:2



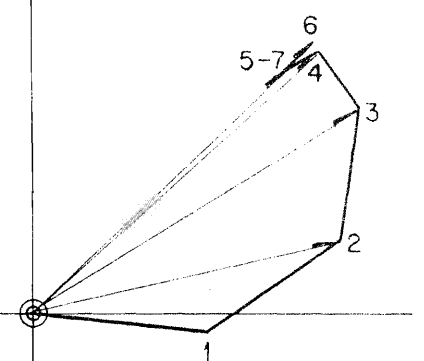
of. = 5.20 m

Prof. = 10.00 m



of. = 20.00 m

Prof. = 30.00 m



I-101
 AZAMIENTOS 1:2

Sección de Mecánica de Suelos
PALACIO DE LOS DEPORTES
 DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES

Fig II

PALACIO DE LOS DEPORTES
INCLINOMETROS - DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES

INCLINOMETRO No. I-021

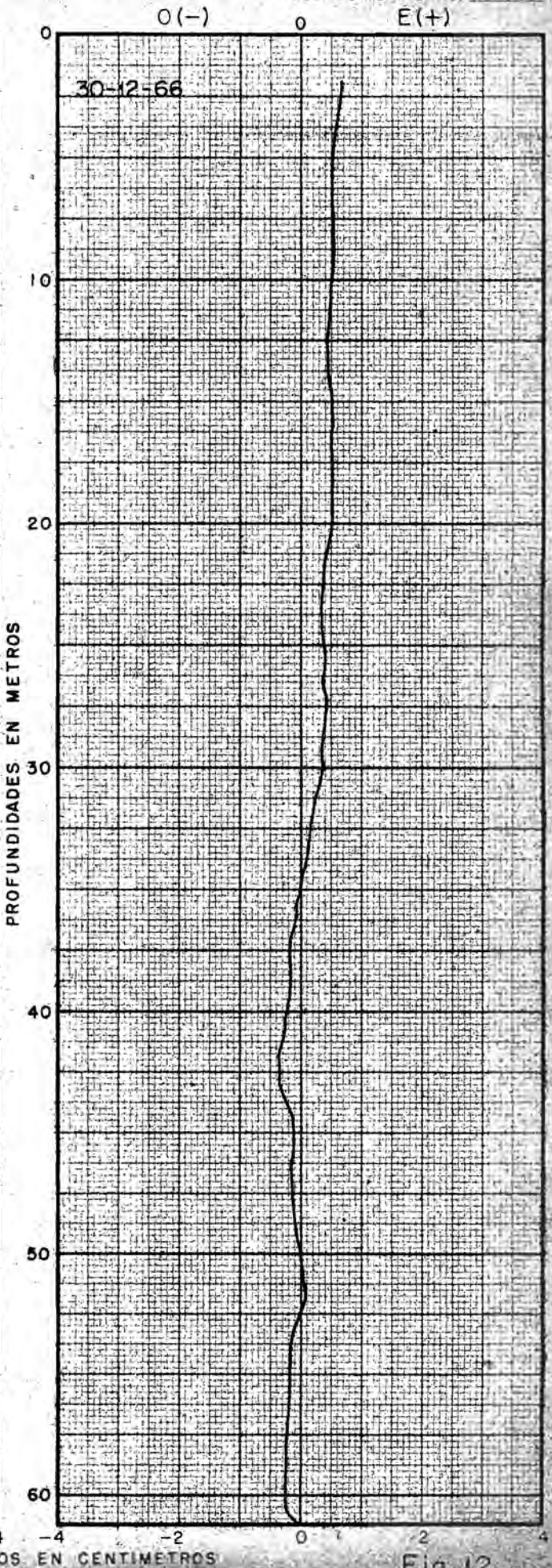
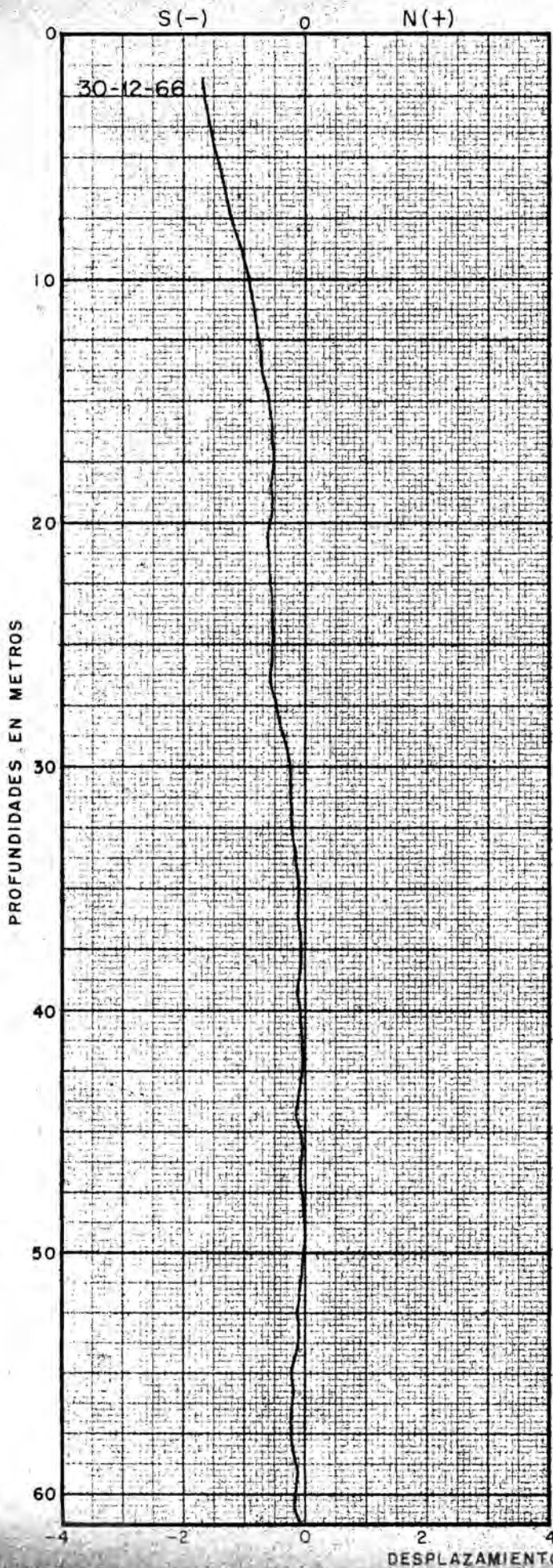


Fig 12

PALACIO DE LOS DEPORTES
INCLINOMETROS - DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES

INCLINOMETRO No. I-021

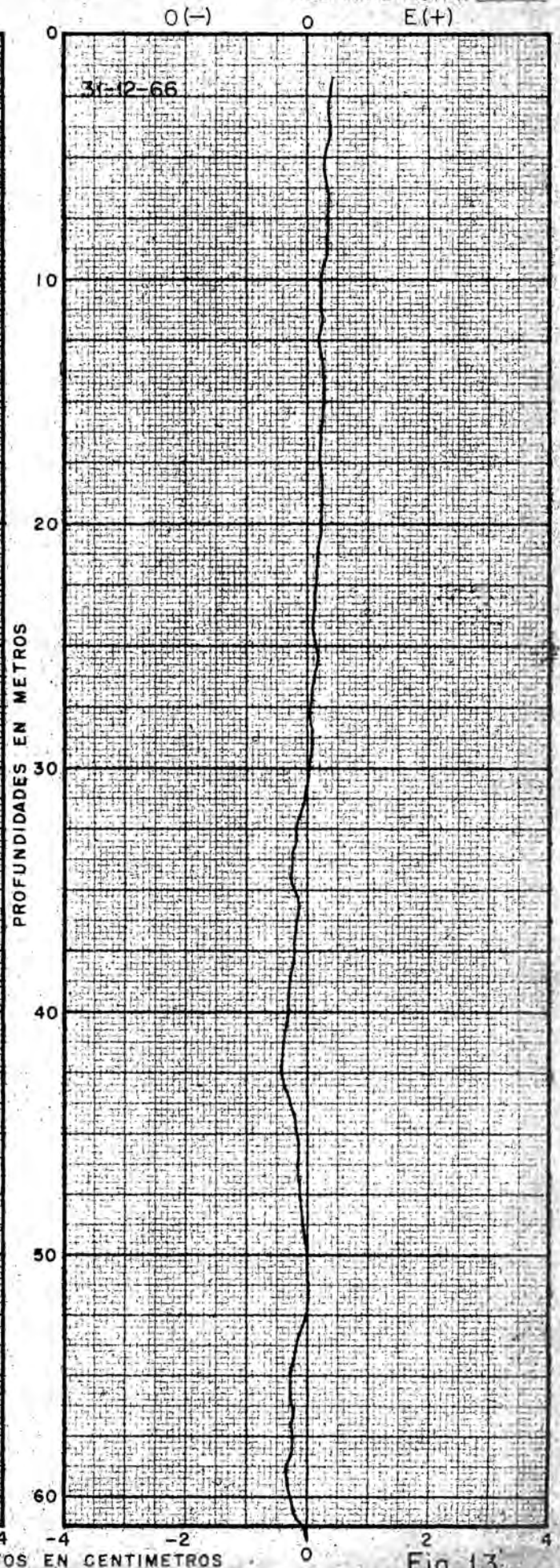
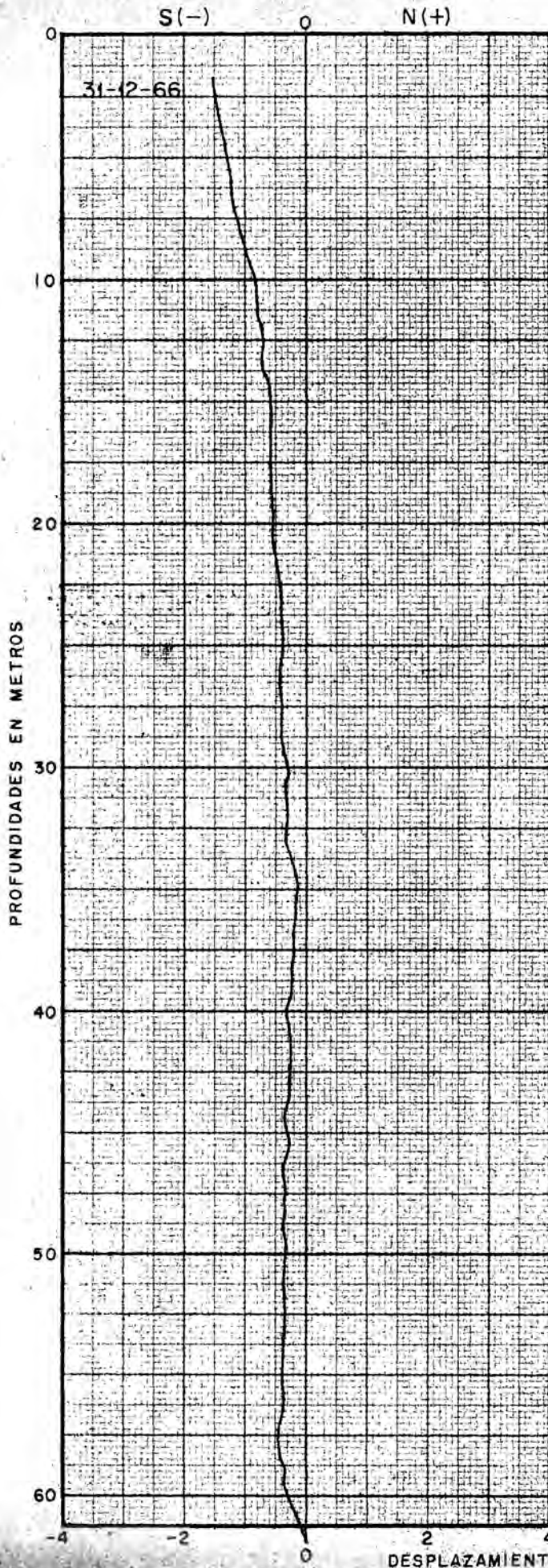


Fig 13

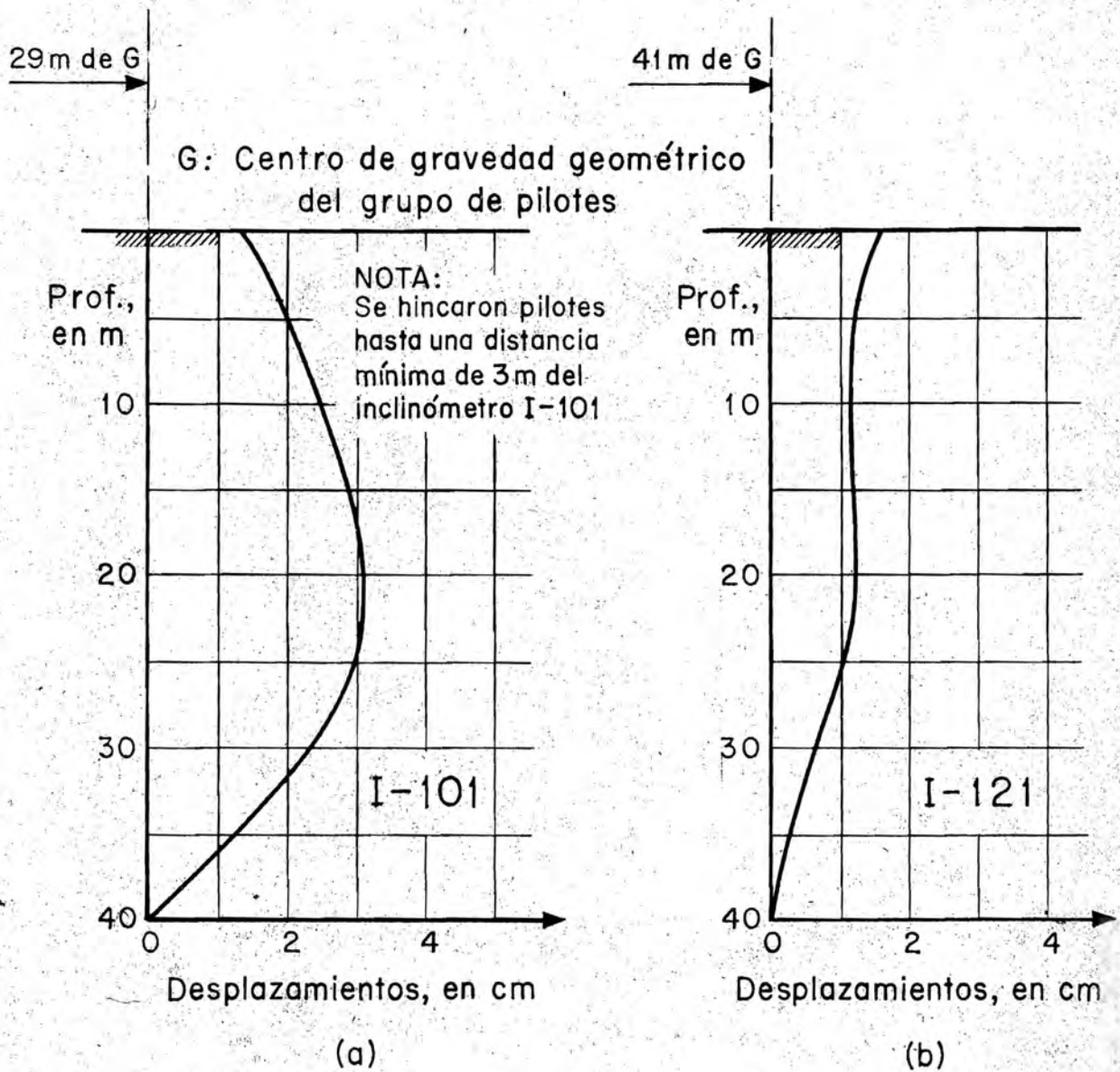


Fig 14 Desplazamientos horizontales observados
Hincado de 114 pilotes
4 a 12 de enero, 1967

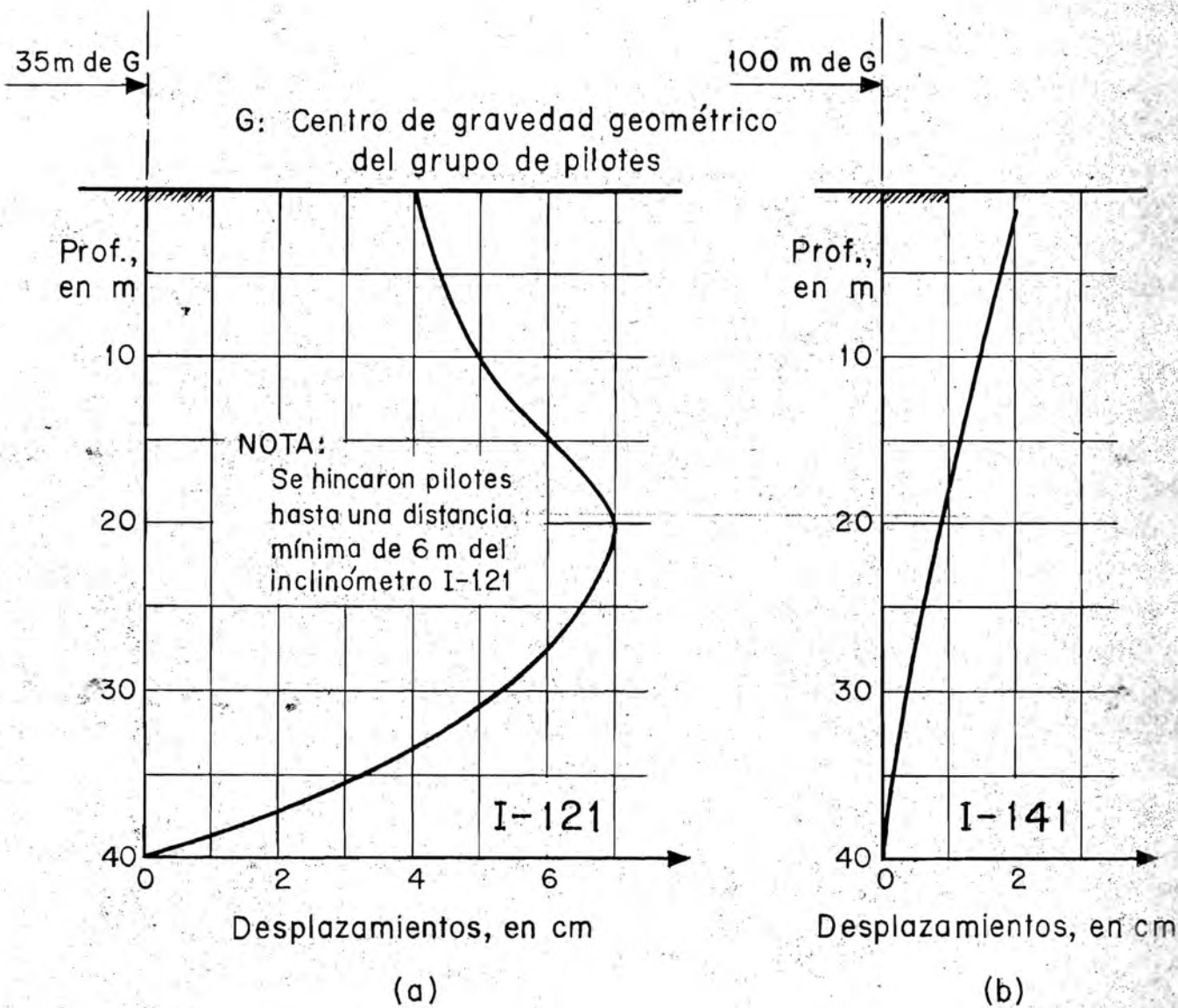


Fig 15 Desplazamientos horizontales observados

Hincado de 114 pilotes

2 a 19 de enero, 1967

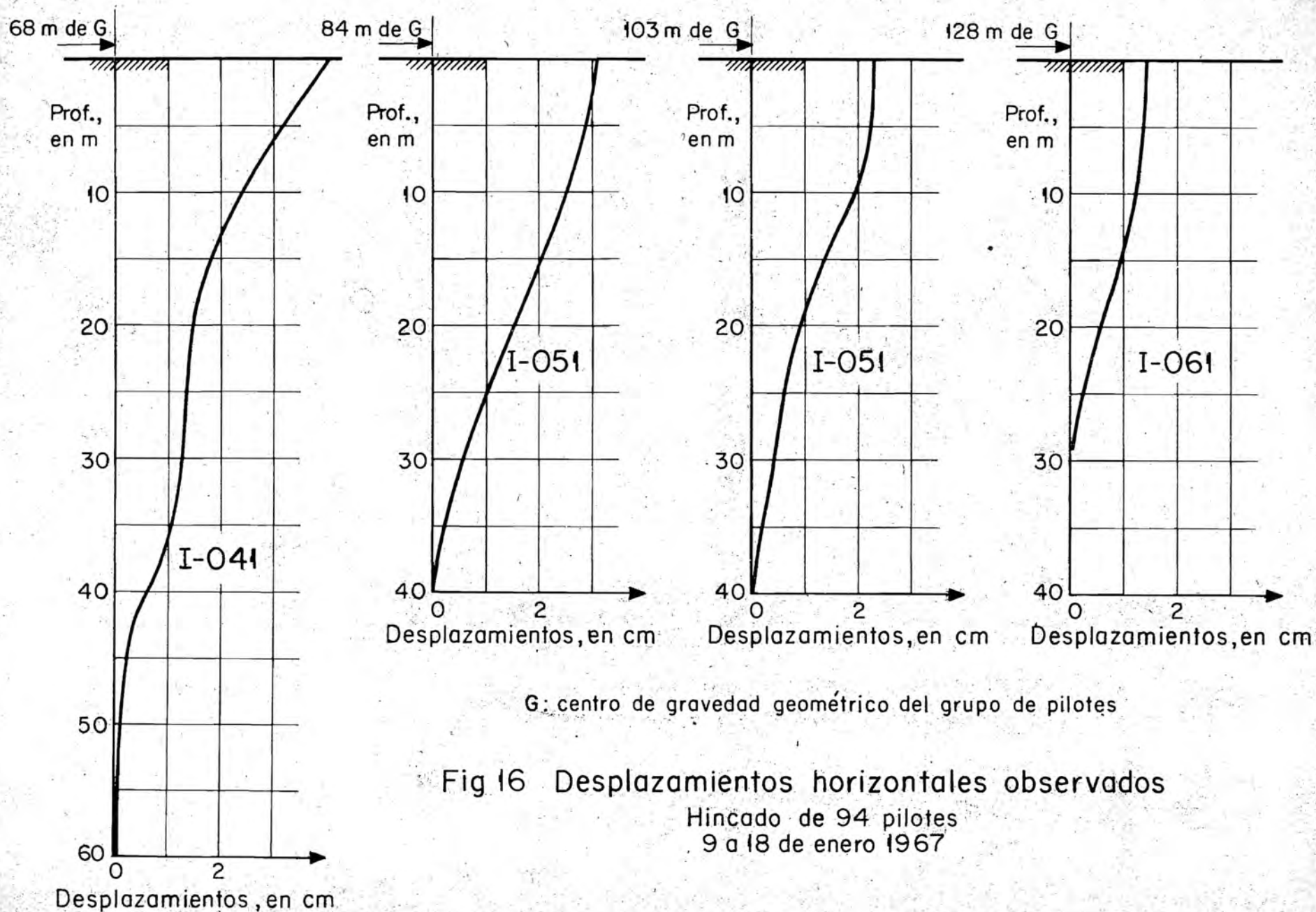
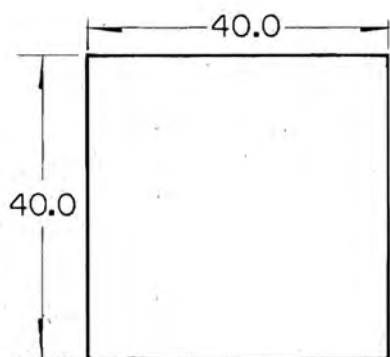
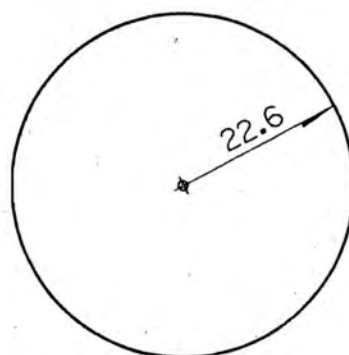


Fig 16 Desplazamientos horizontales observados

Hincado de 94 pilotes
9 a 18 de enero 1967

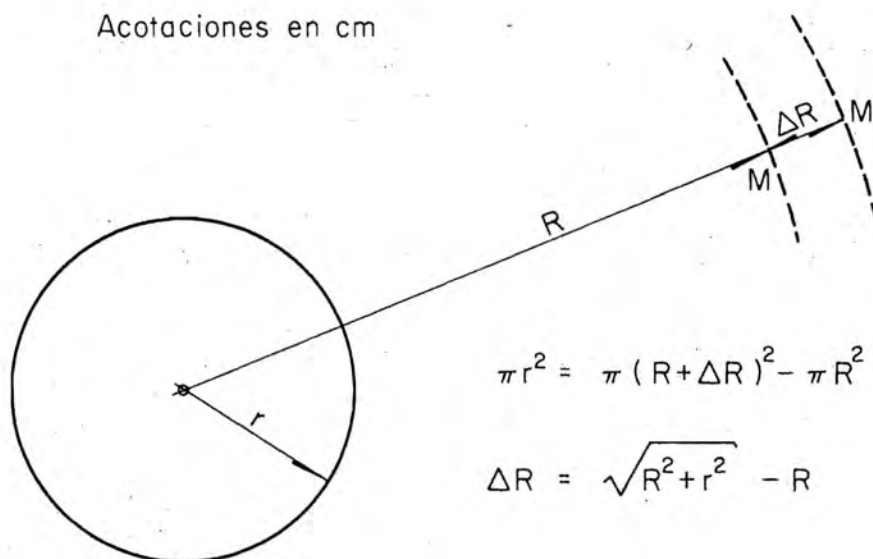


Sección de los pilotes



Sección circular equivalente

Acotaciones en cm



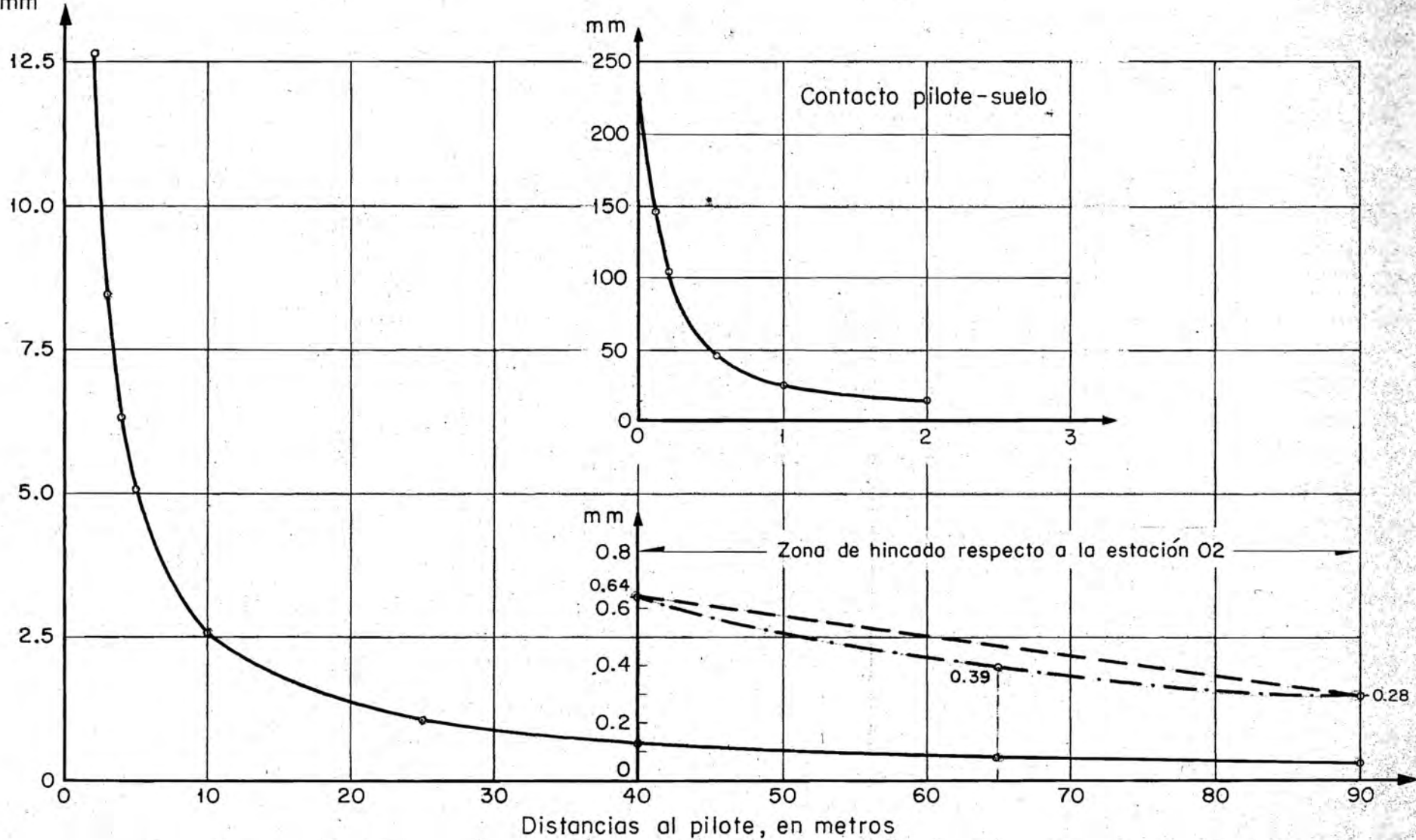
$$\pi r^2 = \pi (R + \Delta R)^2 - \pi R^2$$

$$\Delta R = \sqrt{R^2 + r^2} - R$$

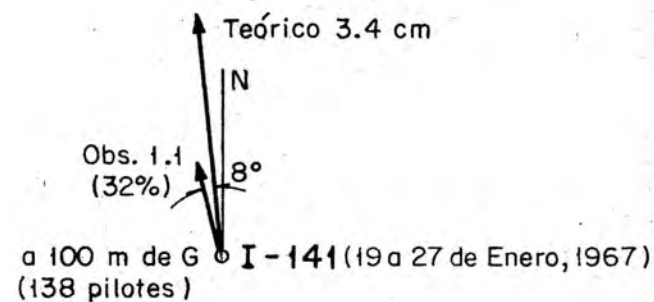
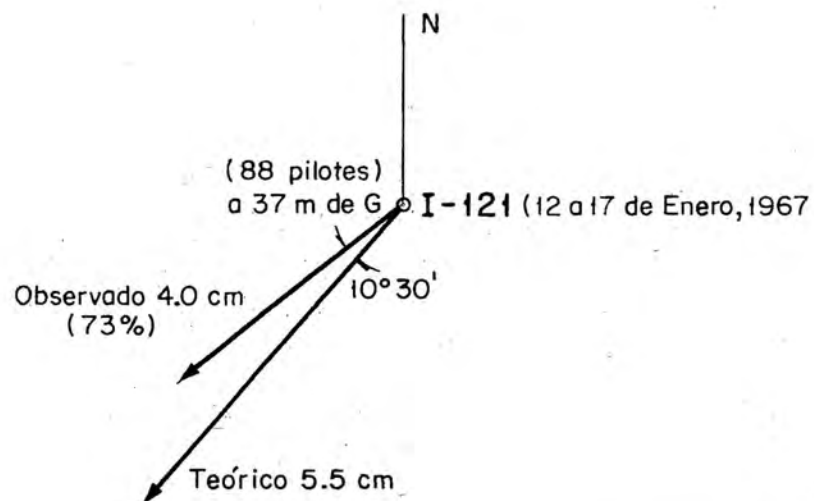
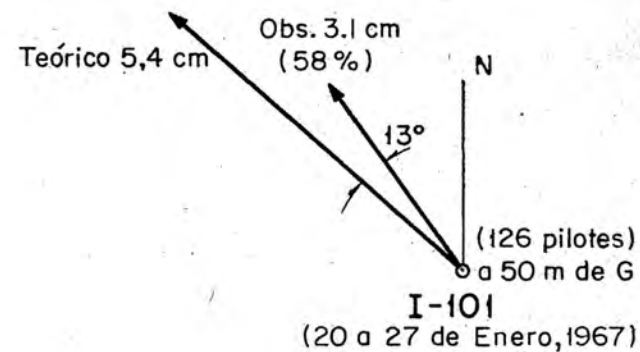
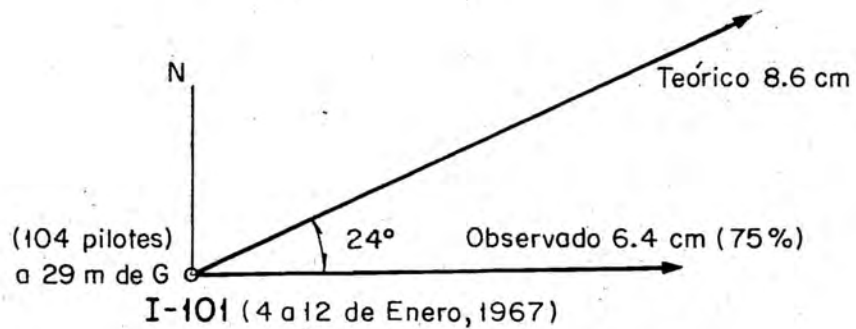
Desplazamiento horizontal inducido por la hincada de un pilote

Fig 17

Desplazamientos horizontales, en mm



Desplazamientos horizontales teóricos alrededor de un pilote



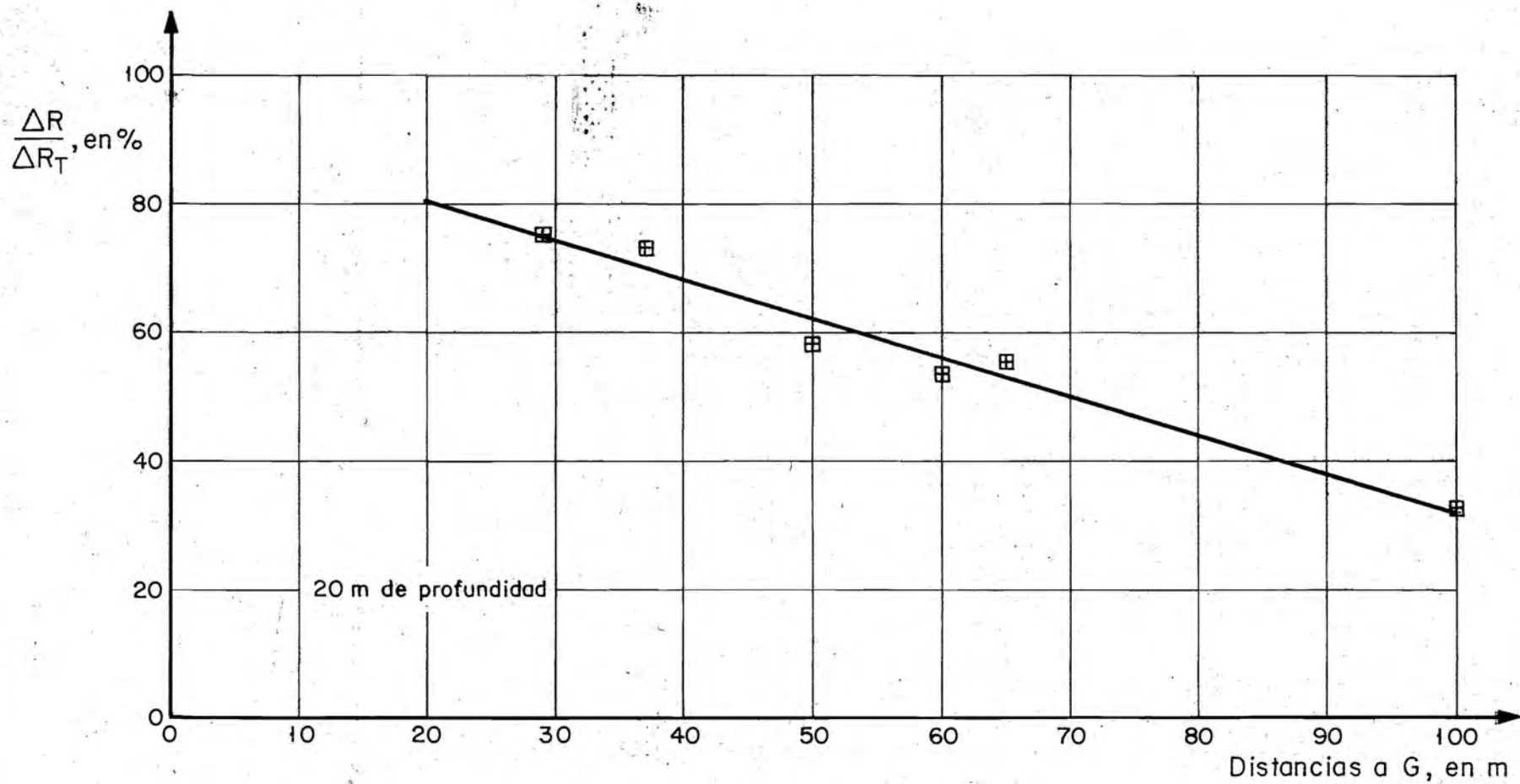
G: centro de gravedad
geométrico del grupo de pilotes

Desplazamientos horizontales

Efecto de la hinca de pilotes
Comparación teórico - observado

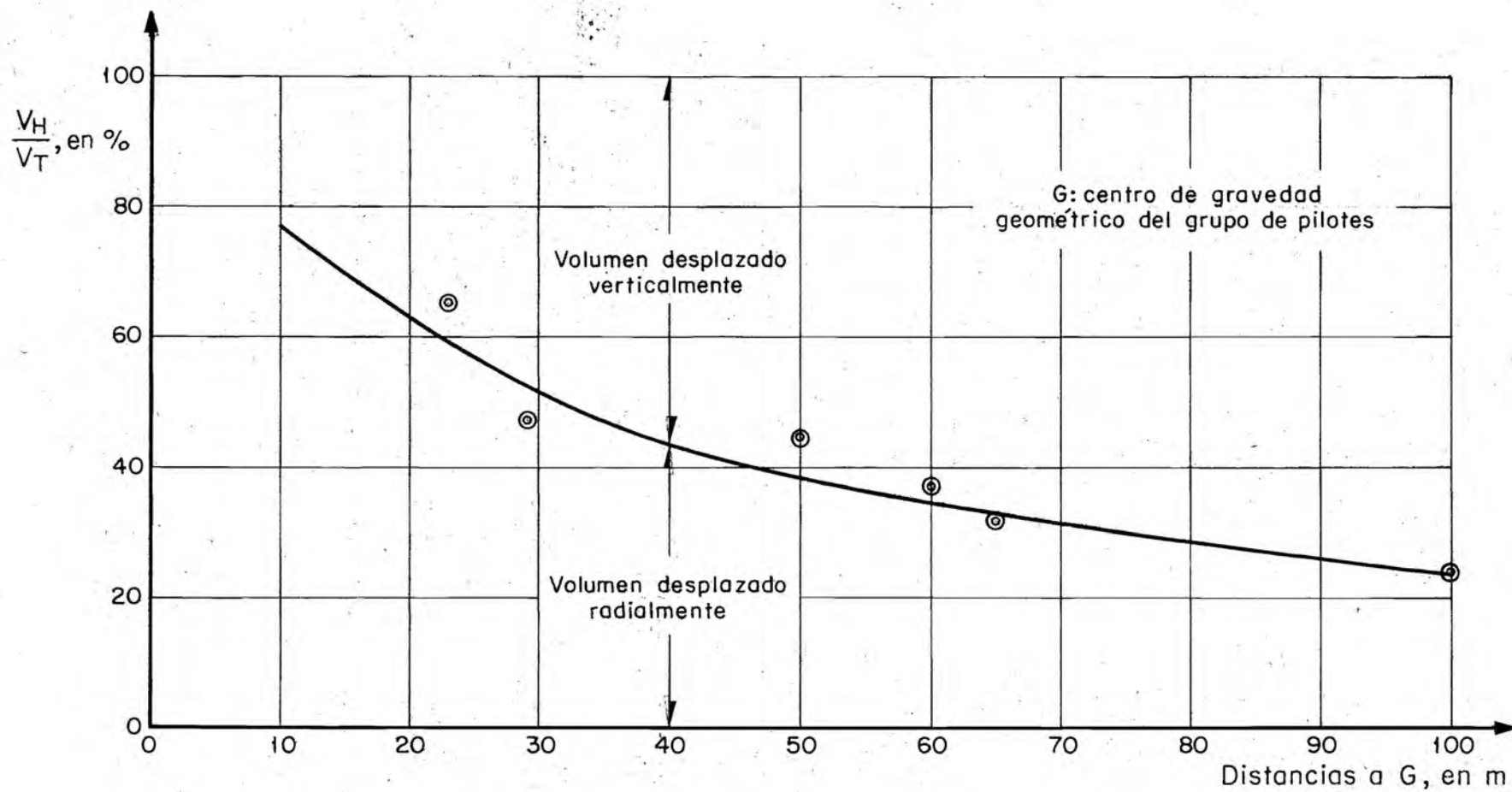
a. 20 m de profundidad

Fig 19



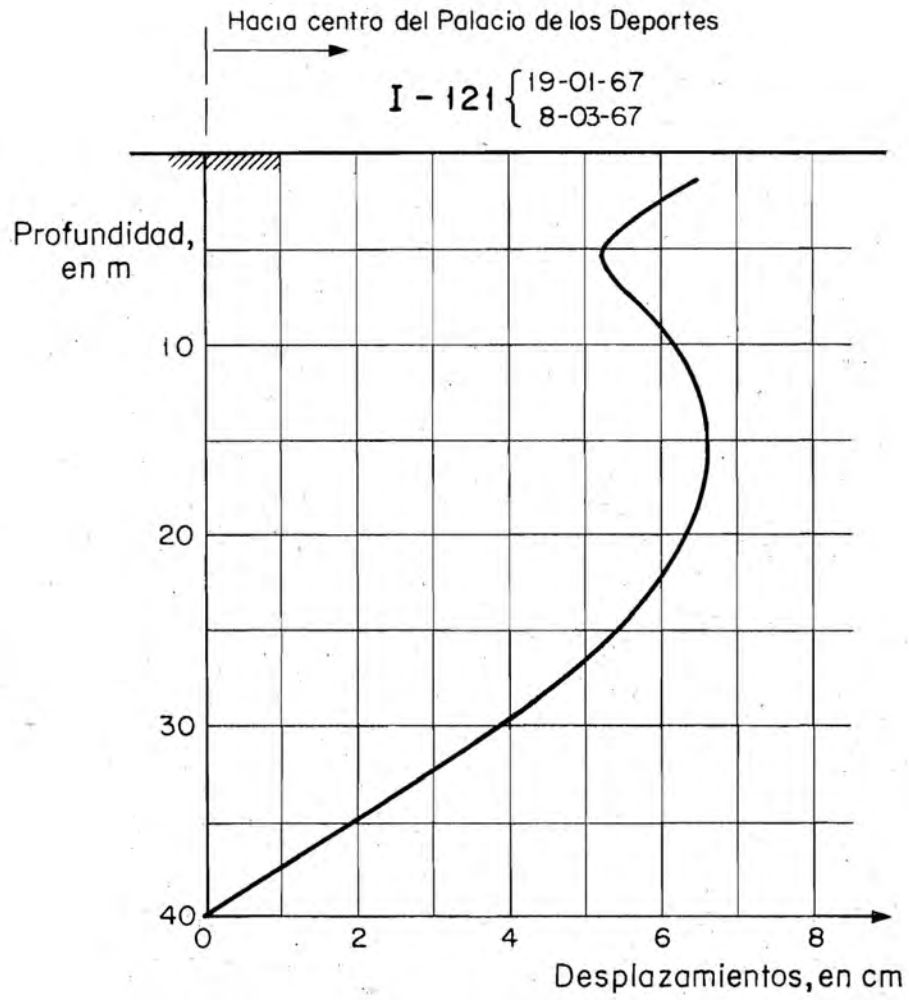
Variación de la relación $\frac{\Delta R}{\Delta R_T}$ con la distancia al grupo de pilotes

Fig 20



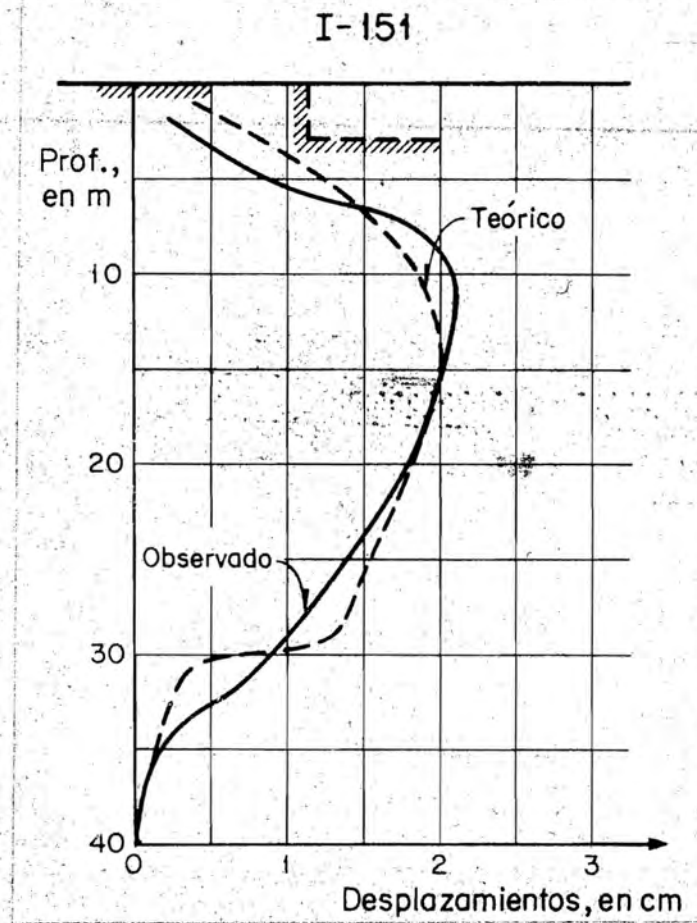
Variación de la relación $\frac{V_H}{V_T}$ con la distancia al grupo de pilotes

Fig 21



Desplazamientos horizontales observados

Fig 22

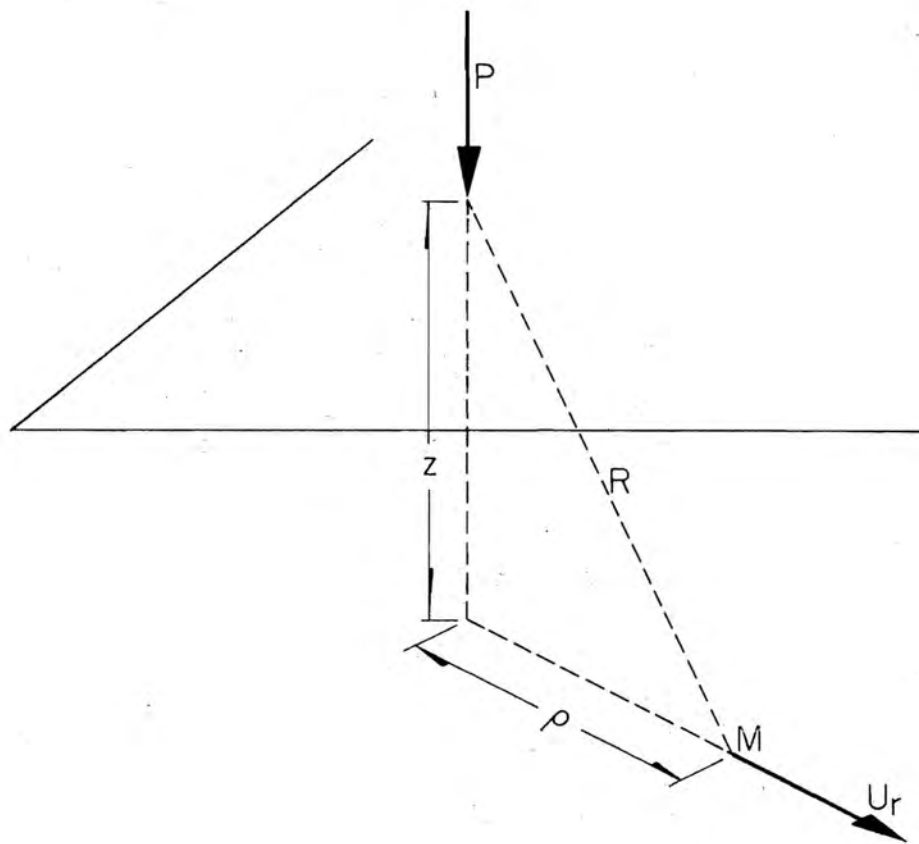


Desplazamientos horizontales observados

Comparación teórico - observado

Excavación sector "L"

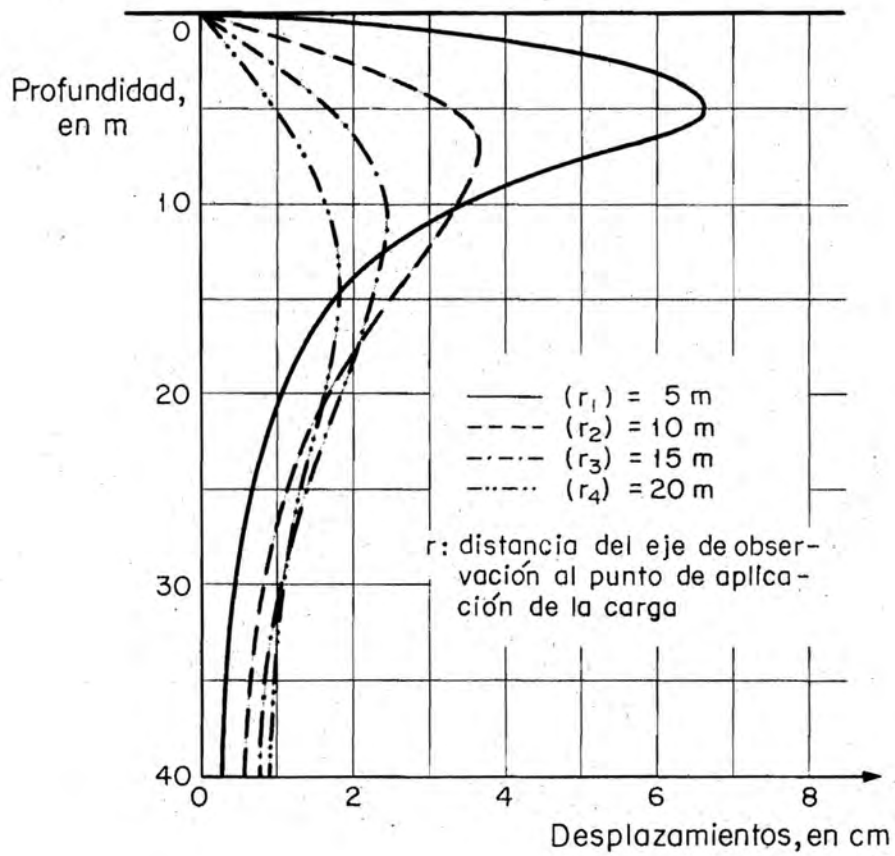
3 a 6 de Marzo, 1967



Desplazamiento horizontal debido a una carga concentrada localizada en la superficie de un medio semi-infinito

$$U_r = \frac{P(1+\nu)}{2\pi RE} \left[\frac{\rho z}{R^2} - \frac{(1-2\nu)\rho}{R+z} \right]$$

Fig 24



Perfiles teóricos de desplazamientos horizontales

Fig 25

APENDICE

NOMOGRAMAS PARA CALCULO DE DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES

1. INTRODUCCION	1
2. USO DE LAS GRAFICAS	2
3. CONSTRUCCION DE LAS GRAFICAS	4
4. CONCLUSIONES	6
5. REFERENCIAS	7
TABLAS	
FIGURAS	
NOMOGRAMAS	

1. INTRODUCCION

1.1 Objeto. En este apéndice se describe un método gráfico sencillo para determinar la magnitud de los desplazamientos horizontales inducidos a distintas profundidades en un cuerpo elástico, homogéneo e isótropo, limitado por una superficie horizontal plana, al aplicar cargas verticales repartidas en la superficie. El procedimiento que se presenta a continuación se basa en la teoría de la elasticidad y se inspira en los trabajos de N.M. Newmark (ref A-1), cuyos nomogramas son de gran utilidad en mecánica de suelos para determinación de deformaciones y esfuerzos verticales en medios semi-infinitos.

Tres gráficas se presentan a continuación. La gráfica 1 permite calcular el desplazamiento horizontal en la superficie debido a una carga superficial distribuida uniformemente, para cualquier valor de la relación de Poisson ν . La gráfica 2 permite calcular, para las mismas condiciones de carga, el desplazamiento horizontal a cualquier profundidad Z bajo la superficie, para una relación de Poisson $\nu = 0.5$. La gráfica 3 permite calcular las correcciones que se deben aplicar a los resultados obtenidos con la gráfica 2 cuando la relación de Poisson es distin-

ta de 0.5.

Los desplazamientos se obtienen contando simplemente el número de áreas elementales cubiertas por una planta del área cargada dibujada a una escala apropiada superpuesta a la gráfica. Los desplazamientos obtenidos en esta forma son en la dirección indicada como OX. Para obtener el desplazamiento total se deben componer vectorialmente los desplazamientos obtenidos en dos direcciones OX perpendiculares entre sí.

1.2 Notaciones. Se usan las notaciones siguientes:

- q = carga por unidad de área en toneladas por metro cuadrado
- U_{OX} = desplazamiento horizontal en un punto de la superficie en la dirección OX, en metros
- U_x = desplazamiento horizontal en un punto localizado a una profundidad Z en la dirección OX, en metros
- E = módulo de elasticidad del material
- ν = relación de Poisson del material
- L = longitud de referencia para desplazamientos horizontales en la superficie
- Z = profundidad a la que se calcula el desplazamiento horizontal
- n_o = número de áreas de influencia (gráfica 1)
- n = número de áreas de influencia (gráfica 2)
- n_c = número de áreas de influencia (gráfica 3)

2. USO DE LAS GRAFICAS

La planta del área cargada debe dibujarse en papel transparente a una escala tal que la longitud de referencia L (gráfica 1) o la profundidad Z a la que se desea calcular el desplazamiento horizontal (gráficas 2 y 3) coincida con la longitud indicada como Z en la gráfica correspondiente. Dicha planta se superpone después a la gráfica en tal

forma que el origen 0 de la gráfica coincida con el punto en el que se desea conocer el desplazamiento. Se cuenta entonces el número de áreas elementales cubiertas por el área cargada. El desplazamiento horizontal en la dirección OX se obtiene sustituyendo el número obtenido (n_o , n ó n_c) en las ec 1, 2 ó 3 que se dan a continuación. Después de una rotación de 90° de la planta, se obtiene el desplazamiento según una dirección perpendicular a la anterior. El componer vectorialmente los dos desplazamientos permite obtener la dirección y magnitud del desplazamiento real.

Las ecuaciones que permiten el cálculo del desplazamiento son:

$$\text{Gráfica 1: } U_{ox} = - 0.02 q L n_o (1 + \nu) (1 - 2\nu) / E \quad 1$$

Conviene notar que para un medio incompresible ($\nu = 0.5$) una carga superficial no produce desplazamiento horizontal en la superficie

Para un coeficiente de Poisson $\nu = 0.5$

$$\text{Gráfica 2: } U_x = 0.001 q Z (1 + \nu) n / E \quad 2$$

Para un coeficiente de Poisson distinto de 0.5:

$$\text{Gráfica 3: } U_x = 0.001 q Z (1 + \nu) \left[n - 4 (1 - 2\nu) n_c \right] / E \quad 3$$

Para un área cargada dada, se requieren varias plantas a diferentes escalas para calcular el desplazamiento a distintas profundidades. Para movimientos horizontales en la superficie una sola planta es suficiente. Al contar las áreas elementales pueden estimarse fracciones de áreas con una precisión suficiente para fines prácticos. Las tres gráficas son simétricas respecto al eje OX, esta simetría puede ser aprove-

chada cuando la planta salga del primer cuadrante de las gráficas.

3. CONSTRUCCION DE LAS GRAFICAS

El desplazamiento radial U_r de un punto M localizado a una profundidad Z, al aplicar una carga concentrada P en la superficie de un medio semi-infinito es dado por la fórmula de Boussinesq (ref A-2).

$$U_r = \frac{P(1+\nu)}{2\pi RE} \left[\frac{\rho Z}{R^2} - \frac{(1-2\nu)\rho}{R+Z} \right] \quad 4$$

en donde las literales tienen el significado indicado en la fig A-1.

Considerando un sector circular de radio r y de ángulo central = 2β , cargado uniformemente por una carga q, el desplazamiento horizontal de un punto a una profundidad Z bajo el centro o del sector circular (fig A-2) se obtiene integrando la fórmula 4:

$$U_x = \frac{(1+\nu)q}{2\pi E} \int_0^r \int_0^\beta \left[\frac{\rho Z}{(\rho^2 + Z^2)^{3/2}} - \frac{(1-2\nu)\rho}{(\sqrt{\rho^2 + Z^2} + Z)\sqrt{\rho^2 + Z^2}} \right] \cos\theta \rho d\rho d\theta \quad 5$$

El cambio de variable $\tan\alpha = \frac{a}{Z}$ permite llegar rápidamente al valor de la integral:

$$U_x = \frac{(1+\nu)qZ}{\pi E} \left[\log \left| \tan \left[\frac{1}{2} \operatorname{angtan} \left(\frac{r}{2} + \frac{\pi}{4} \right) \right] \right| - \operatorname{sen} \left(\operatorname{angtan} \frac{r}{Z} \right) \right.$$

6

$$\left. - (1-2\nu) \left[\frac{r}{2} - \log \left| \tan \left(\frac{1}{2} \operatorname{angtan} \frac{r}{2} + \frac{\pi}{4} \right) \right| \right] \right] \operatorname{sen} \beta$$

lo que puede escribirse:

$$U_X = \frac{(1+\nu)qZ}{E} [K_1 - (1-2\nu)K_2] \text{ sen } \beta \quad 7$$

$$K_1 = \frac{1}{\pi} \left[\log \left| \tan \left(\frac{1}{2} \text{angtan} \frac{r}{2} + \frac{\pi}{4} \right) \right| - \text{sen} \left(\text{angtan} \frac{r}{Z} \right) \right]$$

$$K_2 = \frac{1}{\pi} \left[\frac{r}{2} - \log \left| \tan \left(\frac{1}{2} \text{angtan} \frac{r}{2} + \frac{\pi}{4} \right) \right| \right]$$

Para $Z = 0$ (superficie) la ec 7 se reduce a

$$U_X = -(1+\nu)(1-2\nu) \frac{qLr}{\pi EL} \text{ sen } \beta \quad 8$$

L se introduce en esta fórmula únicamente por la conveniencia de tener una longitud de referencia para la gráfica 1.

Si se considera ahora un área semi-circular las ec 7 y 8 se escriben respectivamente:

$$U_X = \frac{(1+\nu)Zq}{E} [K_1 - (1-2\nu)K_2] \quad 9$$

$$U_X = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)Lrq}{\pi EL} \quad 10$$

En las figs A-5 a A-7 aparece la variación de K_1 y K_2 con r/Z y de $r/\pi L$ con r/L . Esas gráficas permiten determinar los valores de r/Z y r/L para los valores dados de las "influencias" K_1 , K_2 y $r/\pi L$. Fijando el valor de Z y L (2 cm en los nomogramas que se presentan) pueden trazarse series de semi-círculos delimitando áreas cuya influencia es conocida.

Para la división radial de esas áreas en áreas elementales de igual influencia se emplea el método gráfico que se presenta en las figs A-3 y A-4.

Se obtienen así las tablas A-I a A-III, y los nomogramas correspondientes.

4. CONCLUSIONES

Las tres gráficas presentadas no permiten calcular el desplazamiento horizontal cualquiera que sean las condiciones geométricas del problema. Por lo tanto, solo deben considerarse como ejemplos. En la práctica, para un problema dado, puede ser conveniente construir una gráfica con las dimensiones y la precisión requerida, siguiendo el procedimiento expuesto en el inciso anterior.

5. REFERENCIAS

- A-1. Newmark, N.M., "Influence Charts for the Computation of Stresses in Elastic Foundations", Boletín No. 45, Vol. 44, Universidad de Illinois, 1942
- A-2. Westergaard, M.M., "Theory of Elasticity and Plasticity", p. 140, Dover Publications, 1952.

TABLA A-I

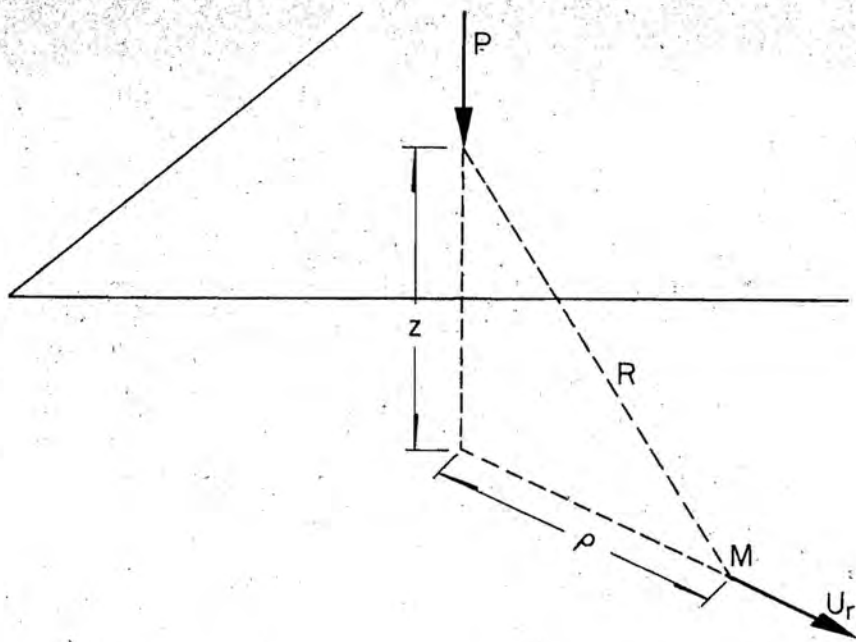
$\frac{r}{L}$	Nº de segmentos radiales por cuadrante	r/L
0.200	5	0.628
0.600	10	1.885
1.000	10	3.142
1.400	10	4.398
1.800	10	5.655
2.200	10	6.911
2.600	10	8.168
3.000	10	9.425
3.400	10	10.681
3.800	10	11.938
4.200	10	13.195
5.000	20	15.708
5.800	20	18.221
6.600	20	20.734
7.400	20	23.248
8.200	20	25.761
9.000	20	28.274

TABLA A-II

K_1	Nº de segmentos radiales por cuadrante	r/z
0.002	1	0.265
0.010	5	0.476
0.020	5	0.620
0.030	5	0.750
0.050	10	0.960
0.070	10	1.150
0.090	10	1.300
0.110	10	1.470
0.130	10	1.630
0.150	10	1.800
0.170	10	1.970
0.190	10	2.150
0.230	20	2.500
0.270	20	2.850
0.310	20	3.300
0.350	20	3.900
0.390	20	4.475
0.430	20	5.100
0.470	20	5.800
0.510	20	6.600
0.550	20	7.550
0.590	20	8.600
0.630	20	9.850
0.670	20	11.050
0.710	20	12.600
0.750	20	14.250
0.790	20	16.000
0.830	20	18.150
0.870	20	21.300
0.910	20	24.450
0.950	20	29.250

TABLA A-III

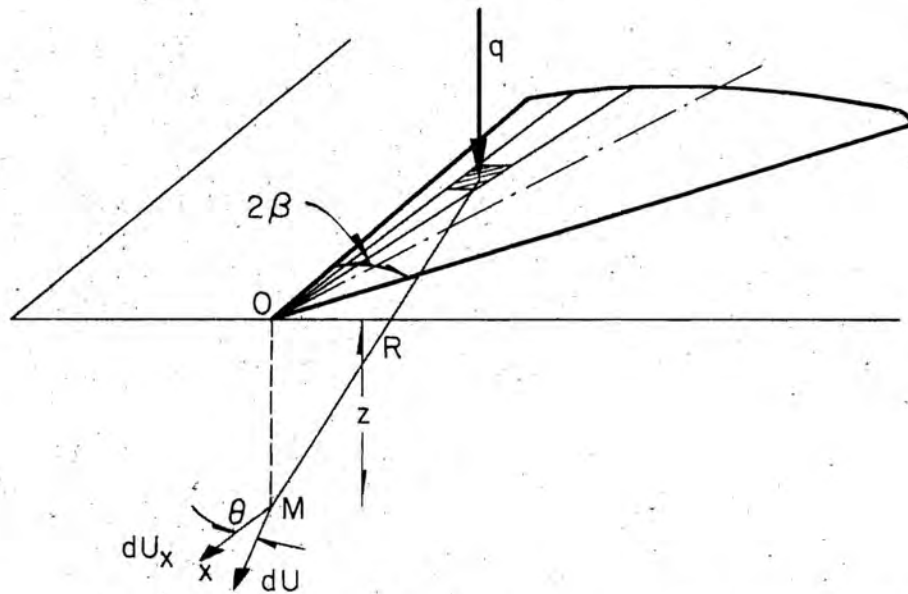
K_2	Nº de segmentos radiales por cuadrante	r/z
0.008	1	0.555
0.048	5	1.120
0.128	10	1.700
0.208	10	2.200
0.288	10	2.600
0.368	10	3.000
0.448	10	3.350
0.608	20	4.000
0.768	20	4.700
0.928	20	5.300
1.088	20	5.920
1.248	20	6.500
1.408	20	7.100
1.568	20	7.700
1.728	20	8.250
1.888	20	8.850
2.208	40	9.950
2.528	40	11.030
2.848	40	12.110
3.168	40	13.185
3.488	40	14.270
3.808	40	15.345
4.128	40	16.420
4.448	40	17.500
4.768	40	18.580
5.088	40	19.660
5.408	40	20.740
5.728	40	21.820
6.048	40	22.900
6.368	40	23.980
6.688	40	25.055
7.008	40	26.135
7.328	40	27.209
7.648	40	28.283



Desplazamiento horizontal debido a una carga concentrada localizada en la superficie de un medio semi-infinito

$$U_r = \frac{P(1+\nu)}{2\pi RE} \left[\frac{\rho z}{R^2} - \frac{(1-2\nu)\rho}{R+z} \right]$$

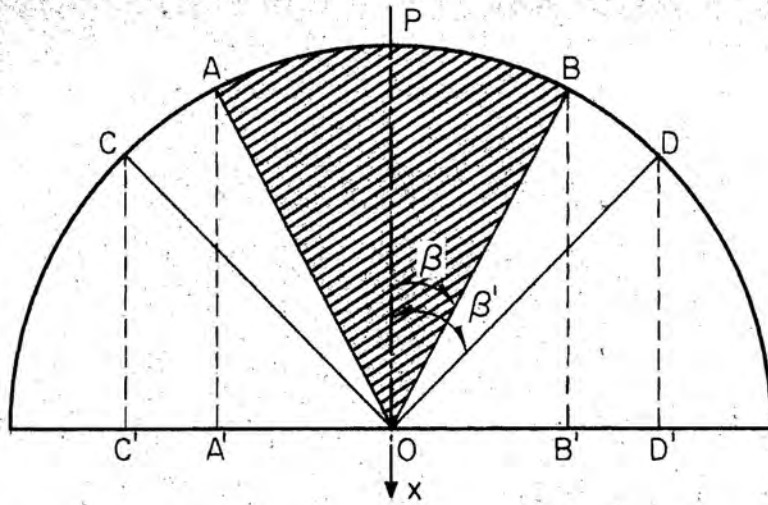
Fig A-1



Desplazamiento horizontal debido a un sector circular uniformemente cargado

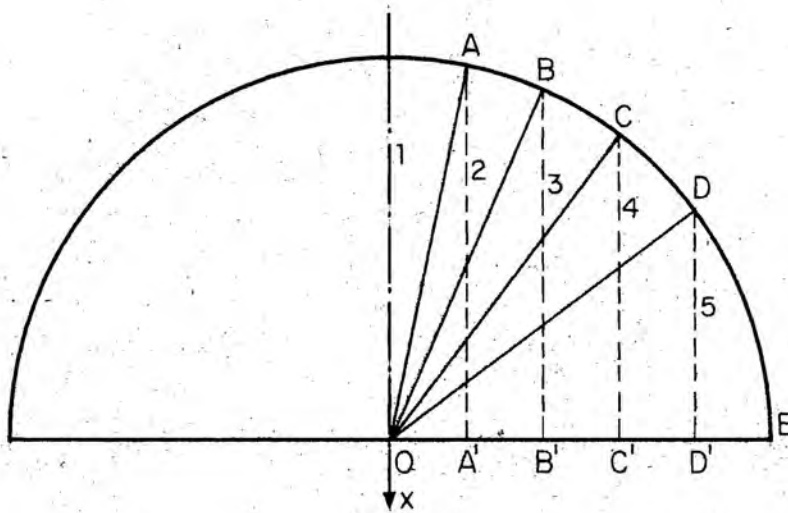
$$U_x = \int dU_x = \frac{(1+\nu)q}{2\pi E} \int_0^r \int_{-\beta}^{\beta} \left[\frac{\rho z}{R^3} - \frac{(1+2\nu)\rho}{R(R+z)} \right] \cos\theta \rho d\rho d\theta$$

Fig A-2



$$\frac{\text{influencia sector OPB}}{\text{influencia sector OPD}} = \frac{1/2(1+\nu)q^2/E [K_1 - (1-\nu)K_2] \text{sen } \beta}{1/2(1+\nu)q^2/E [K_1 - (1-\nu)K_2] \text{sen } \beta'} = \frac{\text{sen } \beta}{\text{sen } \beta'} = \frac{OB'}{OD'} \quad (1)$$

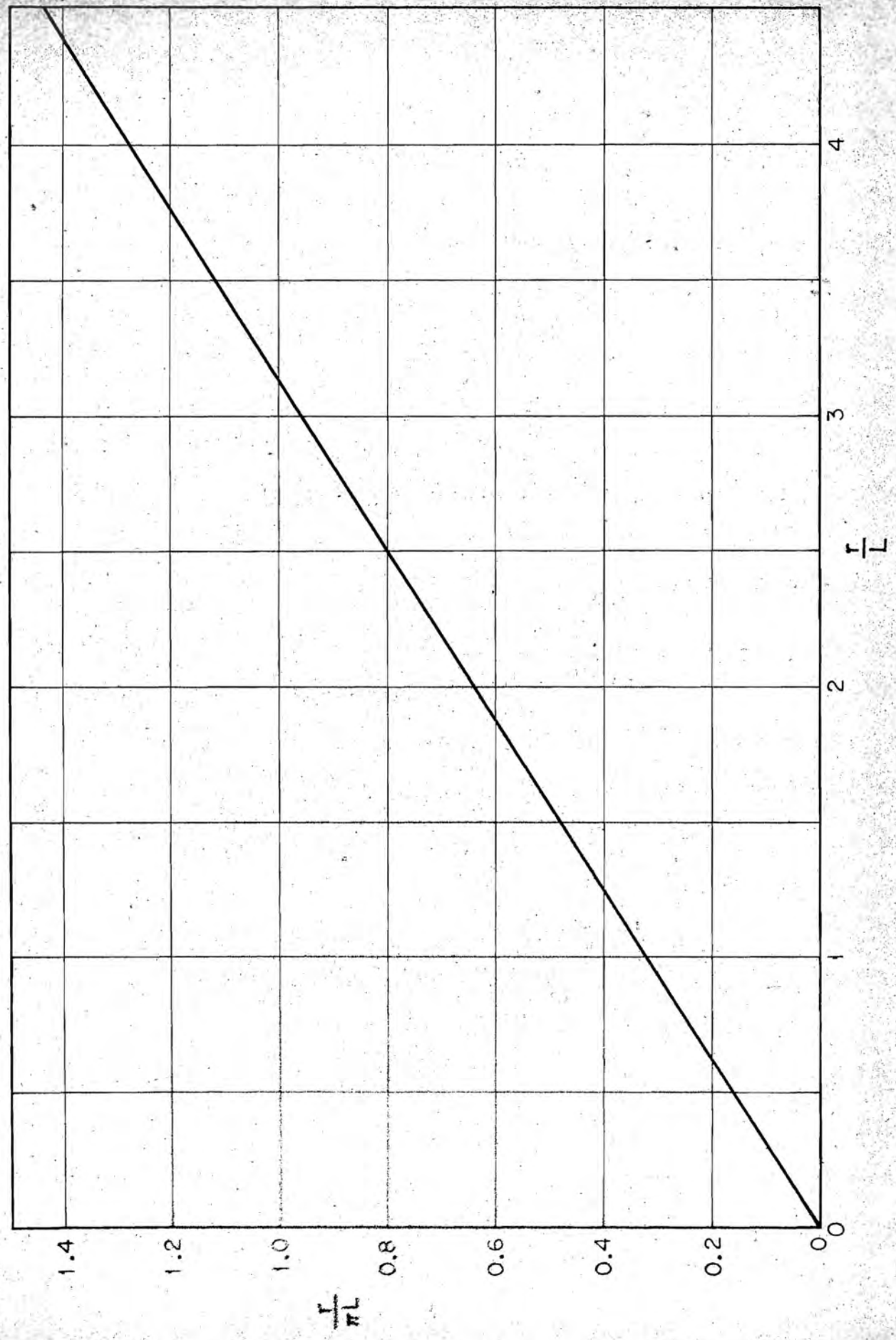
Fig A-3



Ejemplo de división de un área semi-circular en sectores de igual influencia, con base a (1)

Fig A-4

Fig A-5



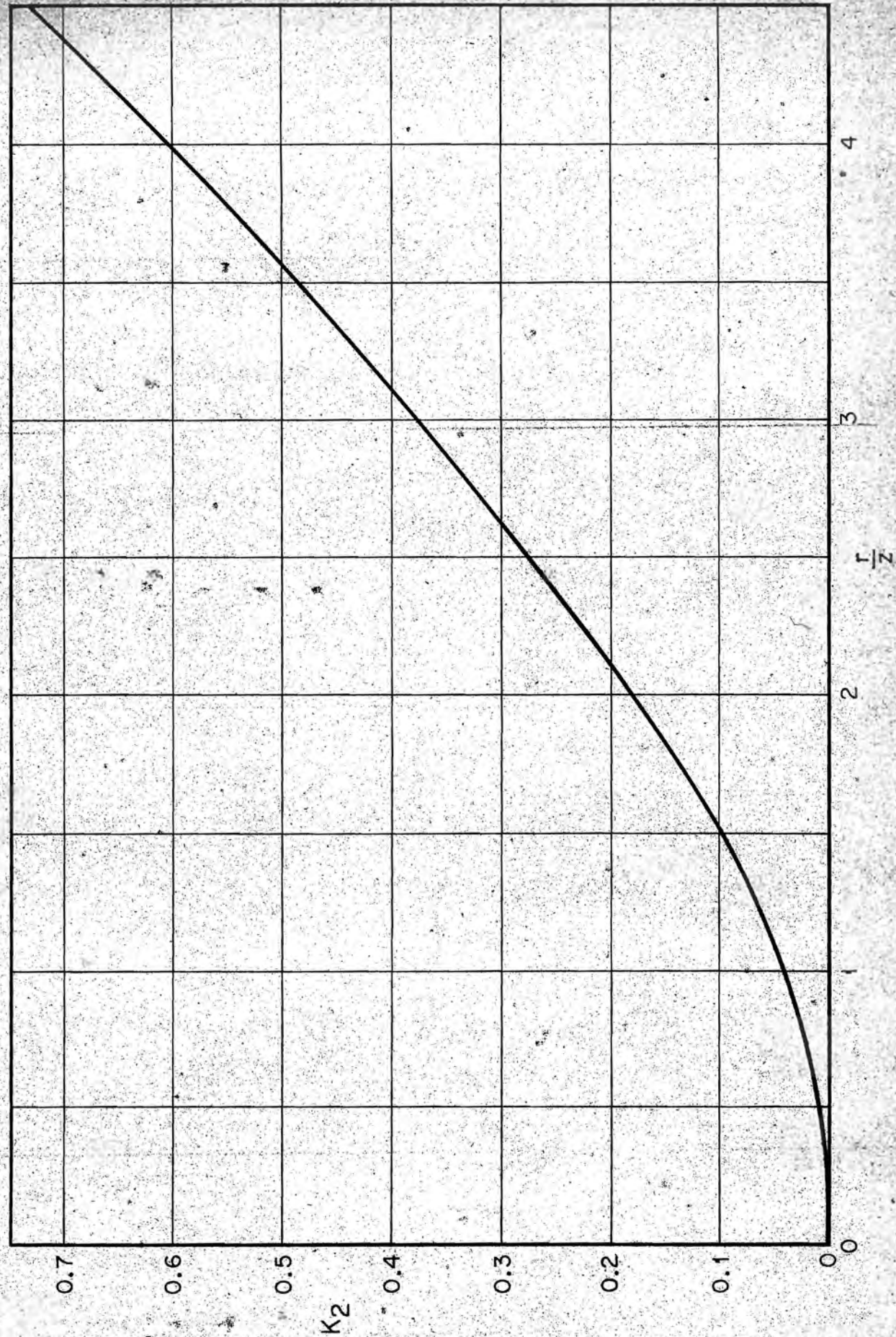
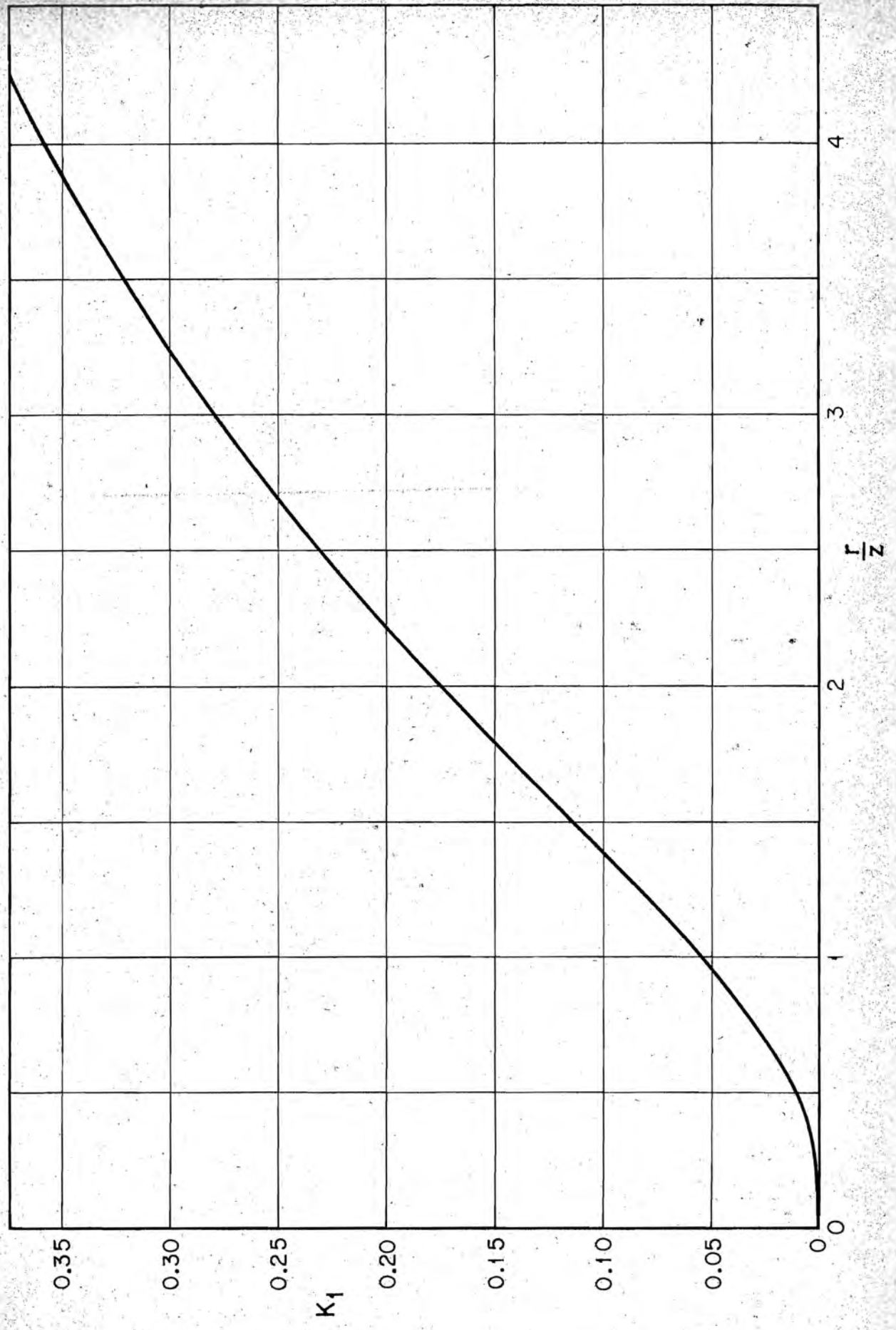
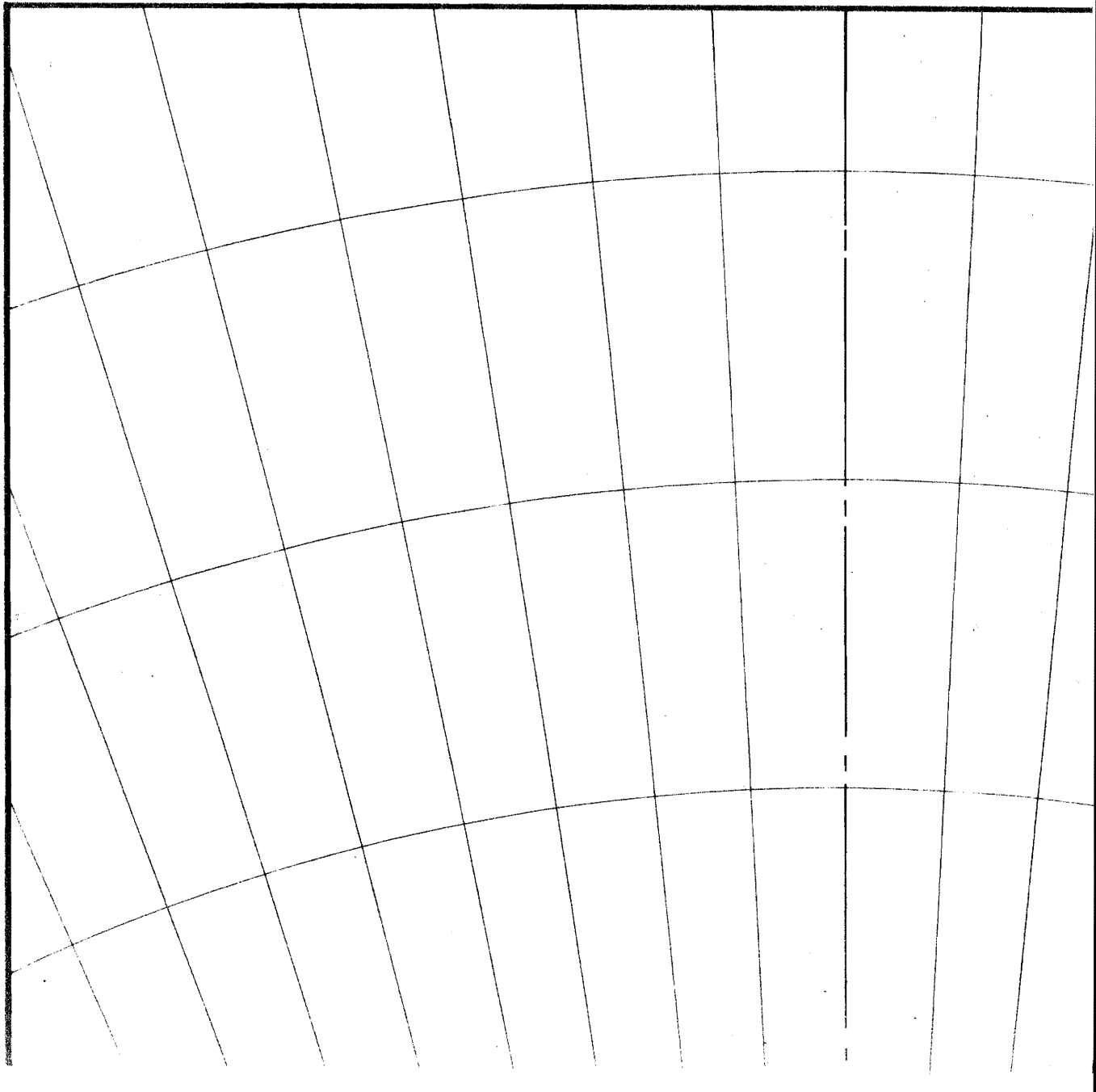
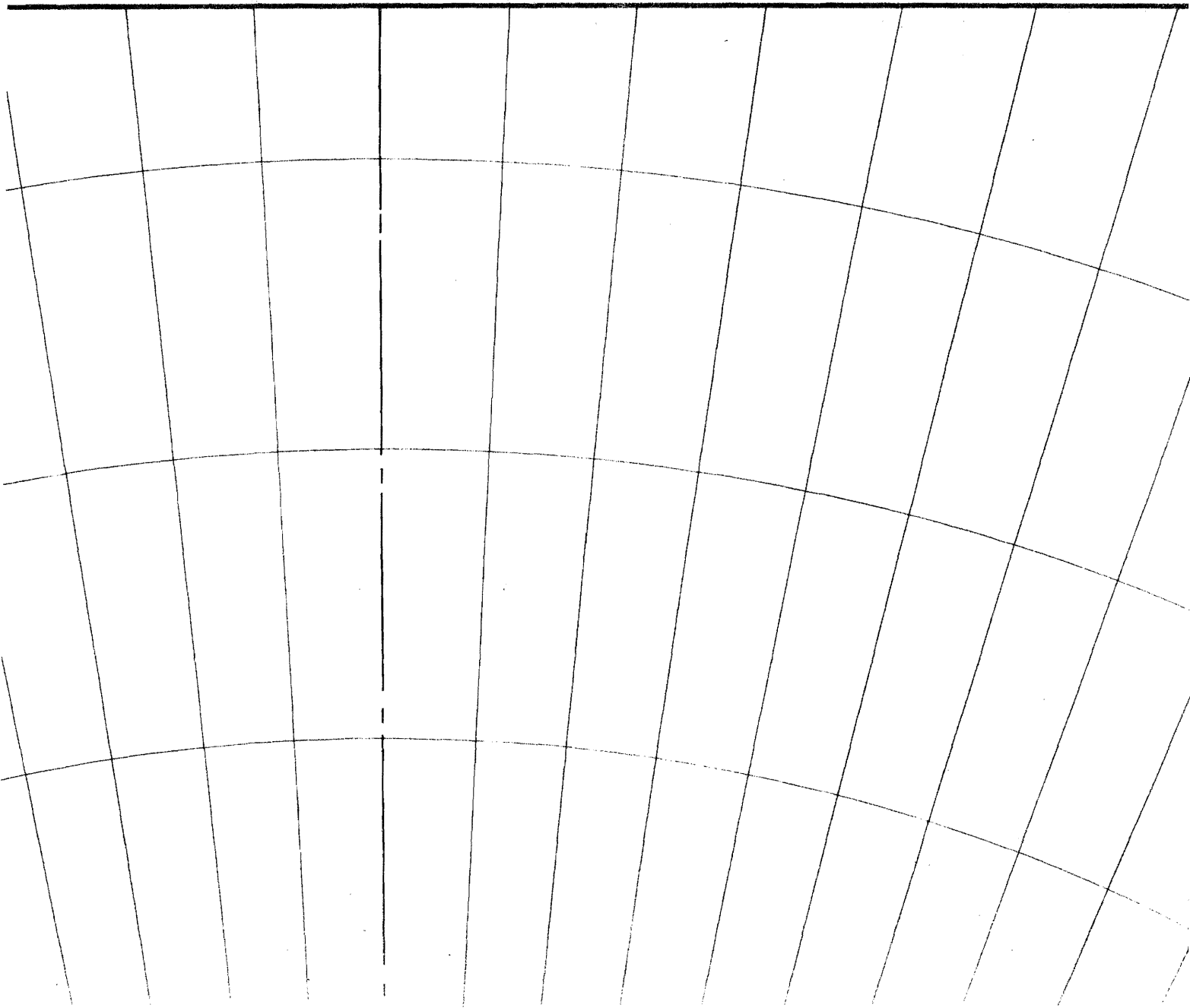


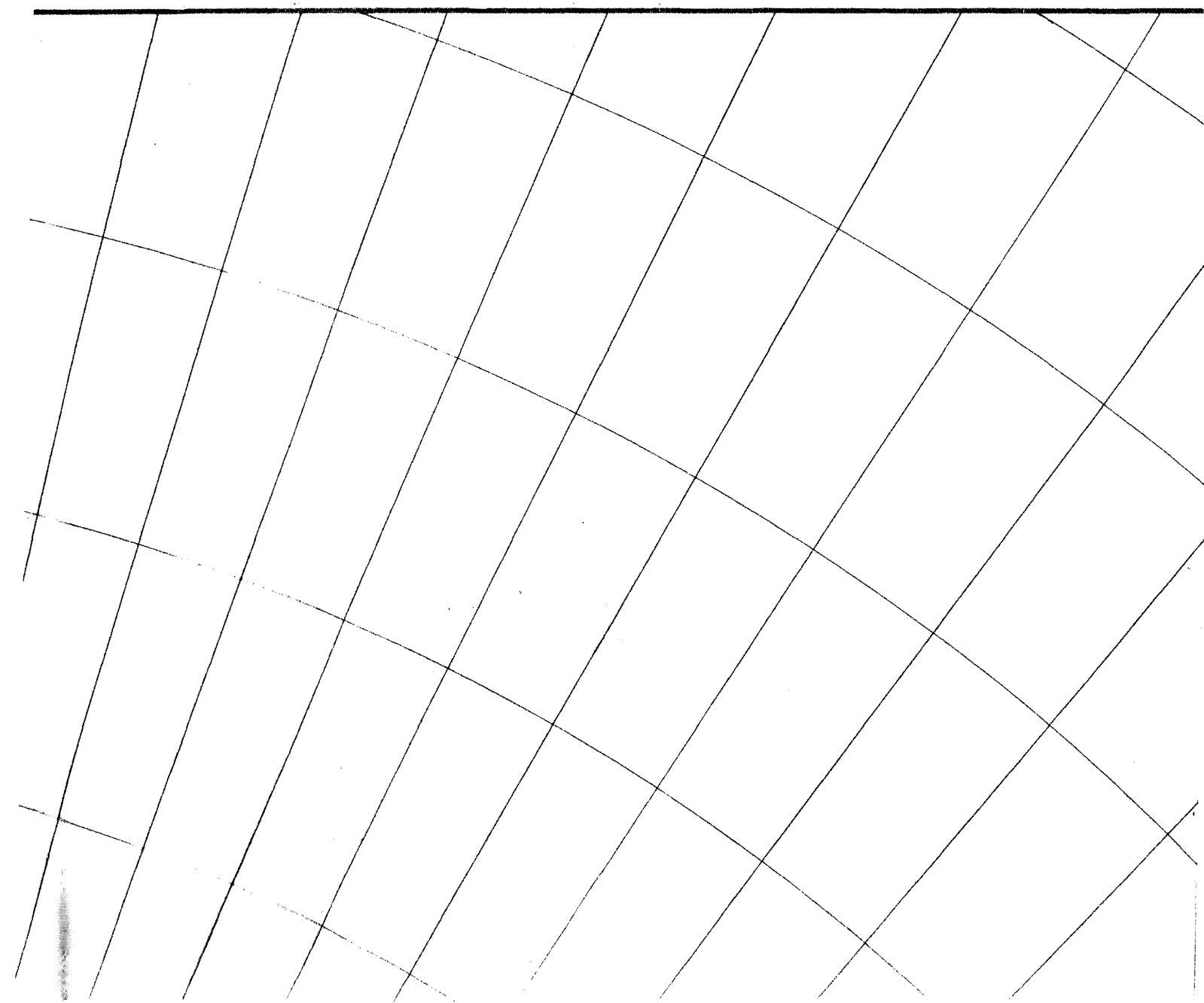
Fig A-6

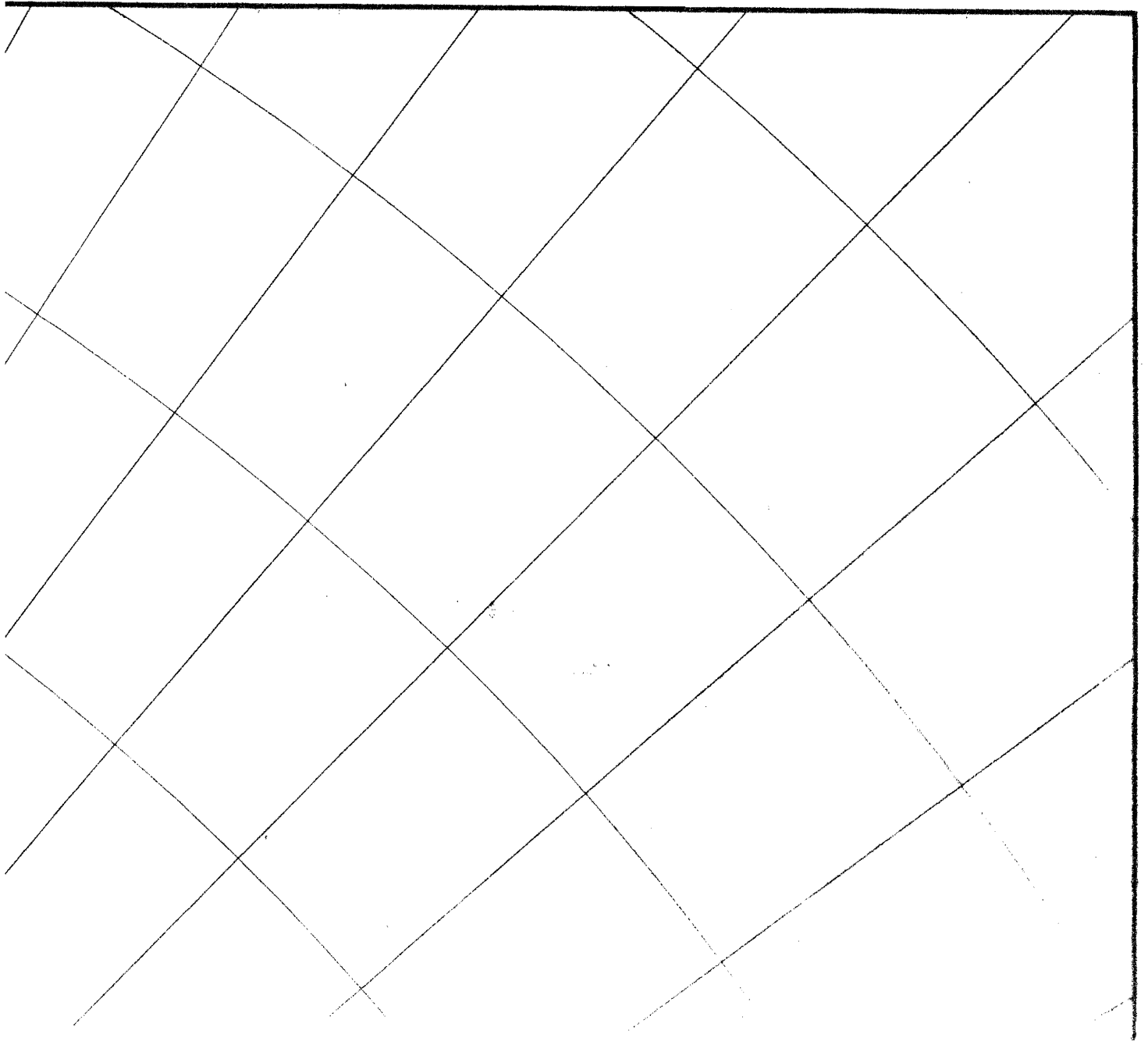
Fig A-7

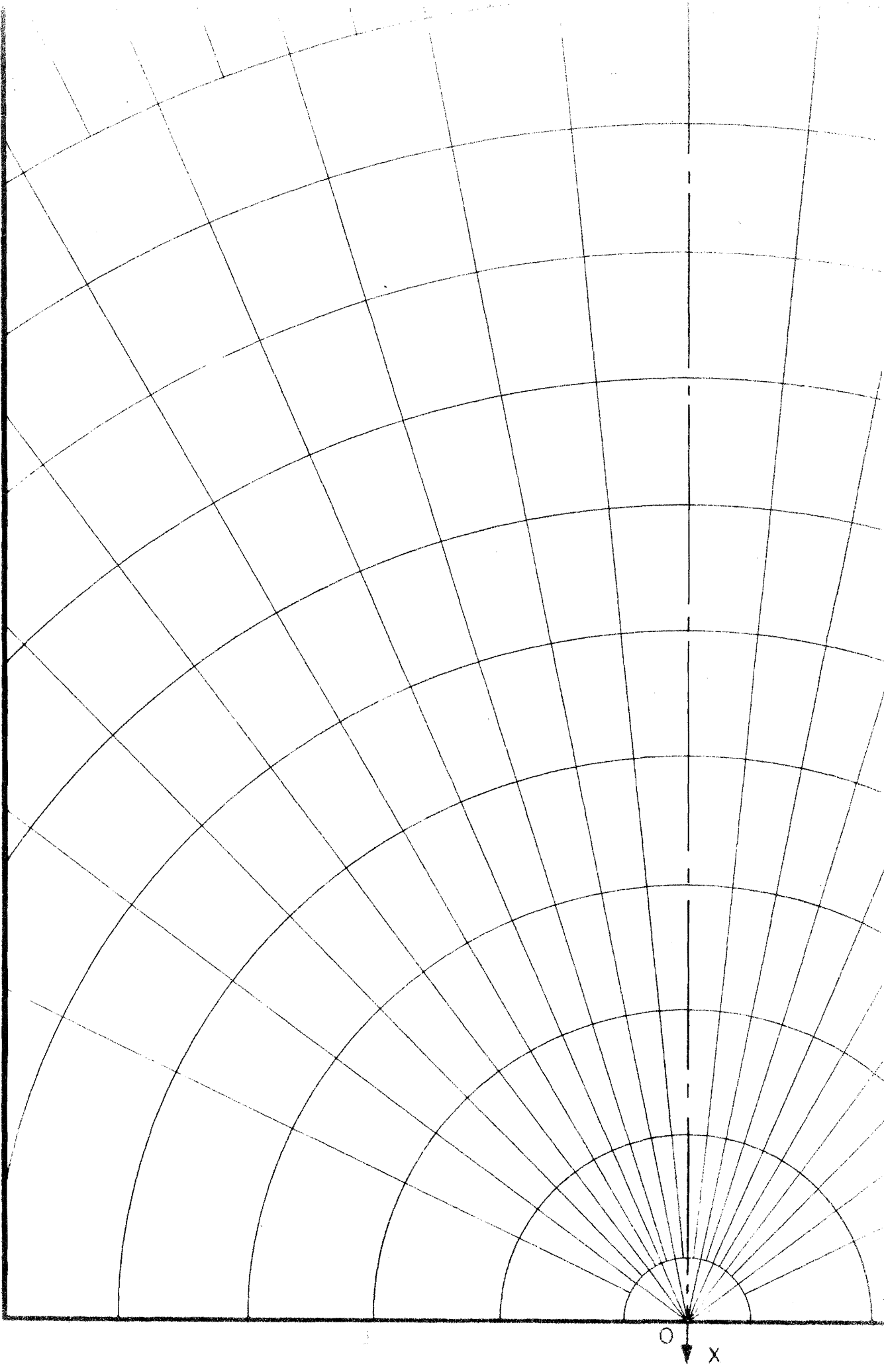


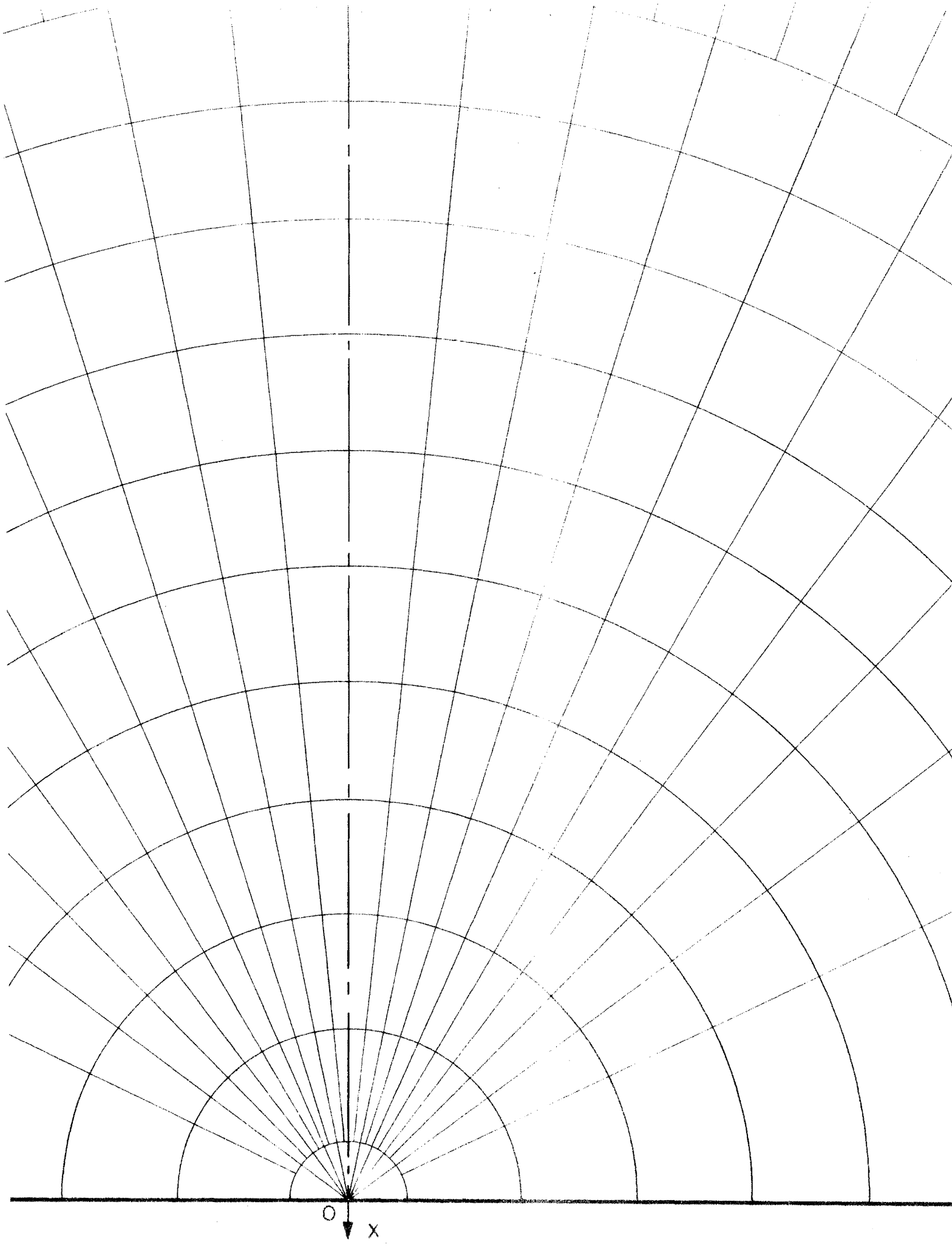


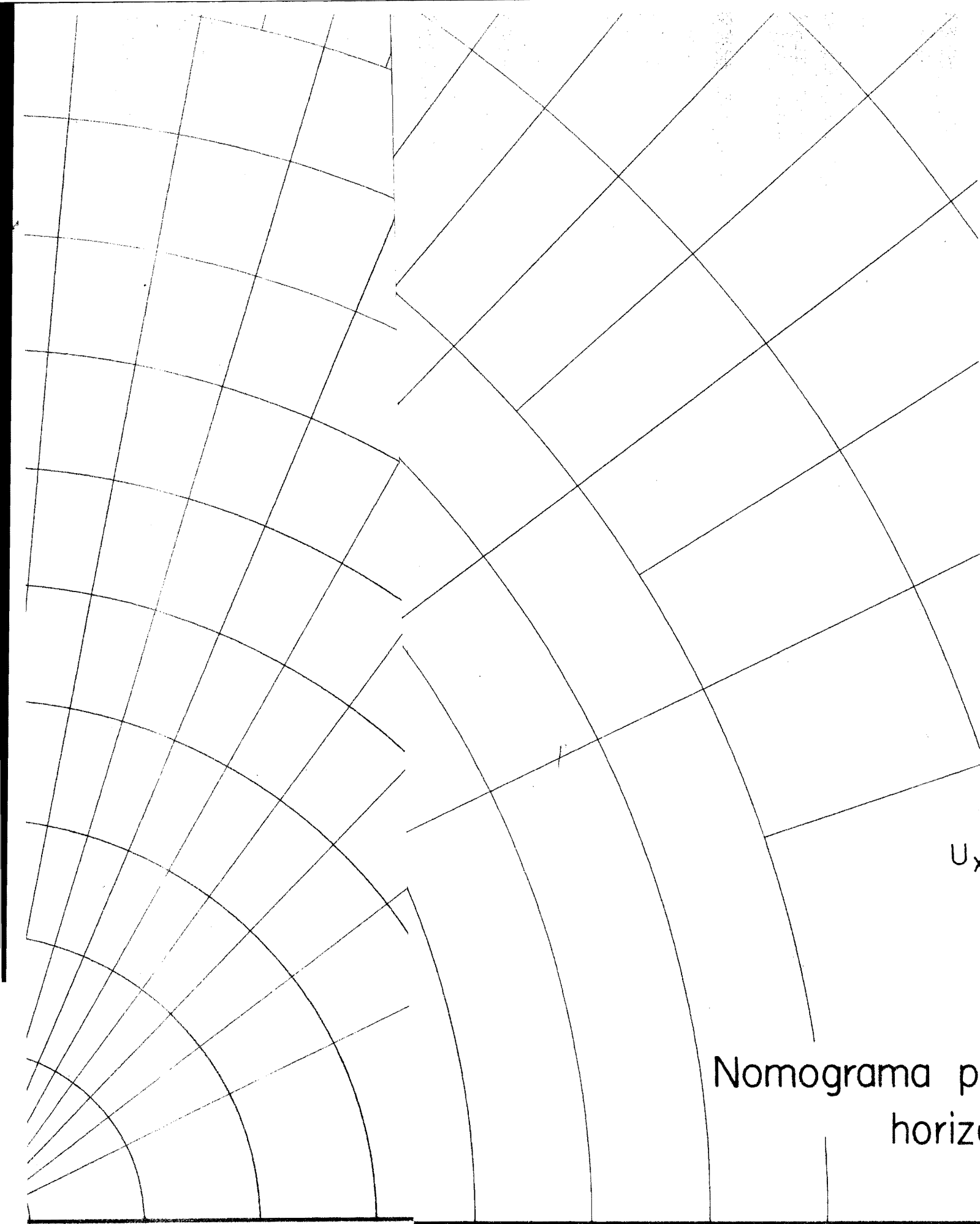




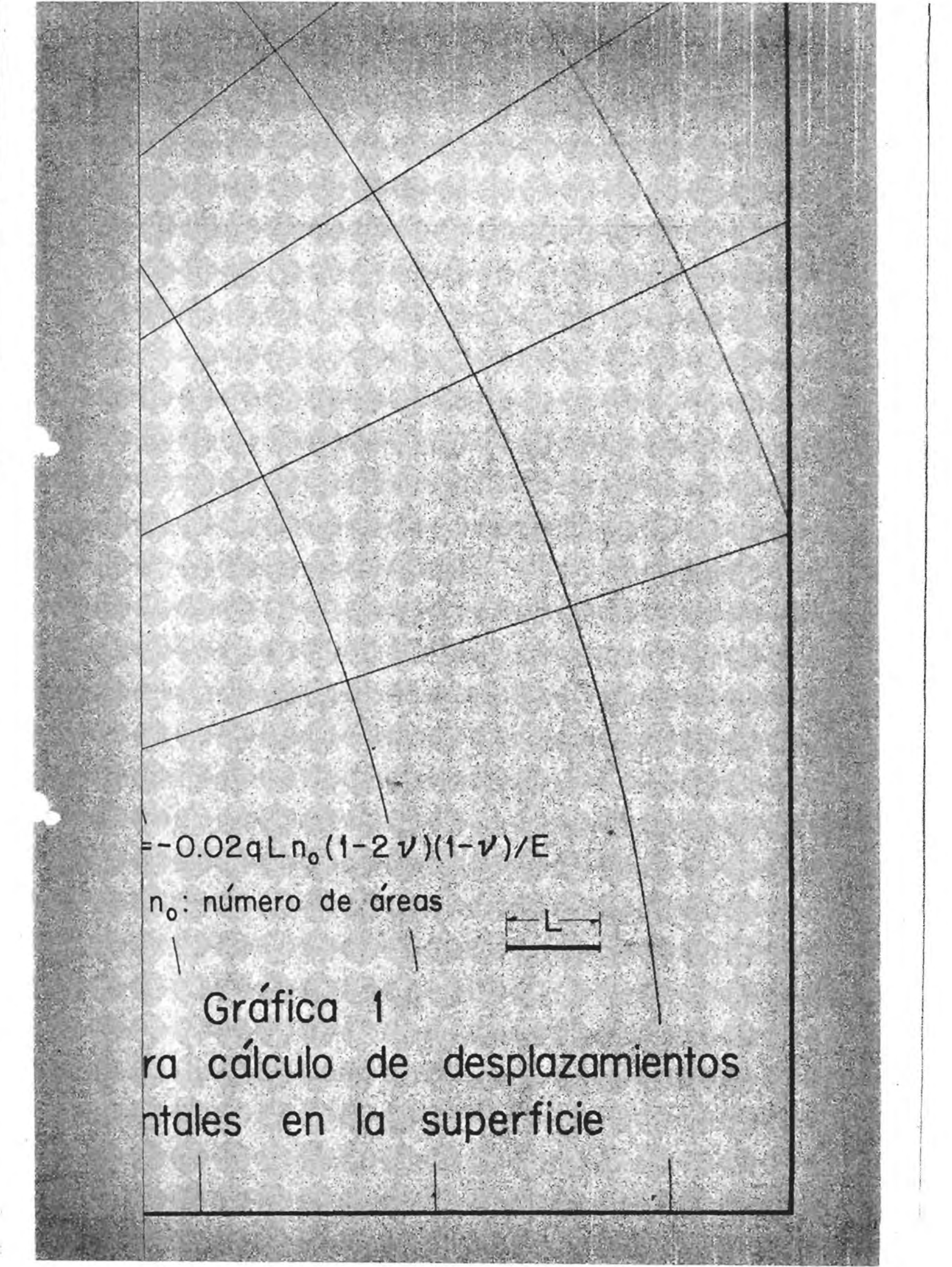




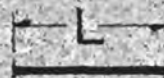




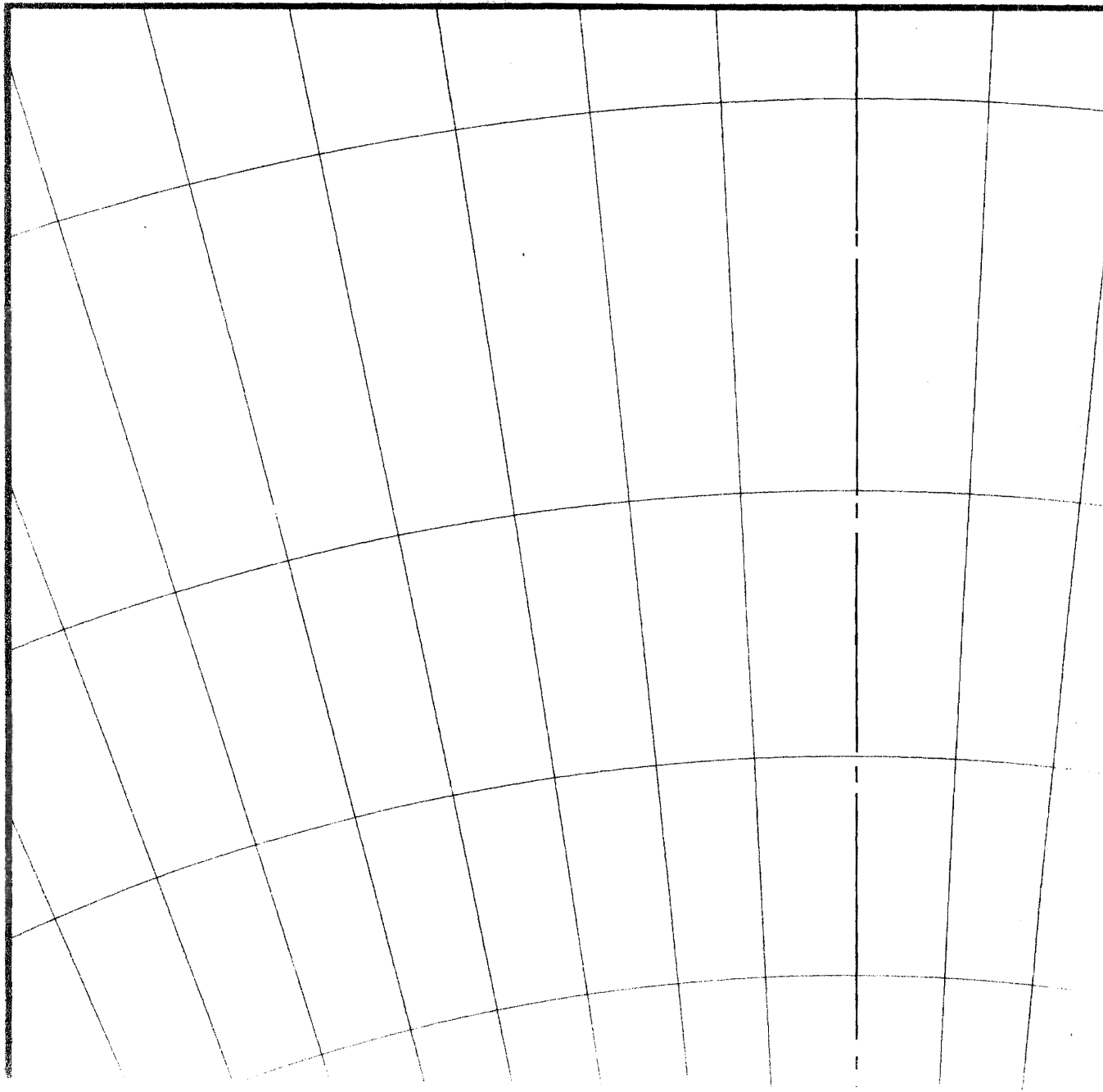
Nomograma p
horiz

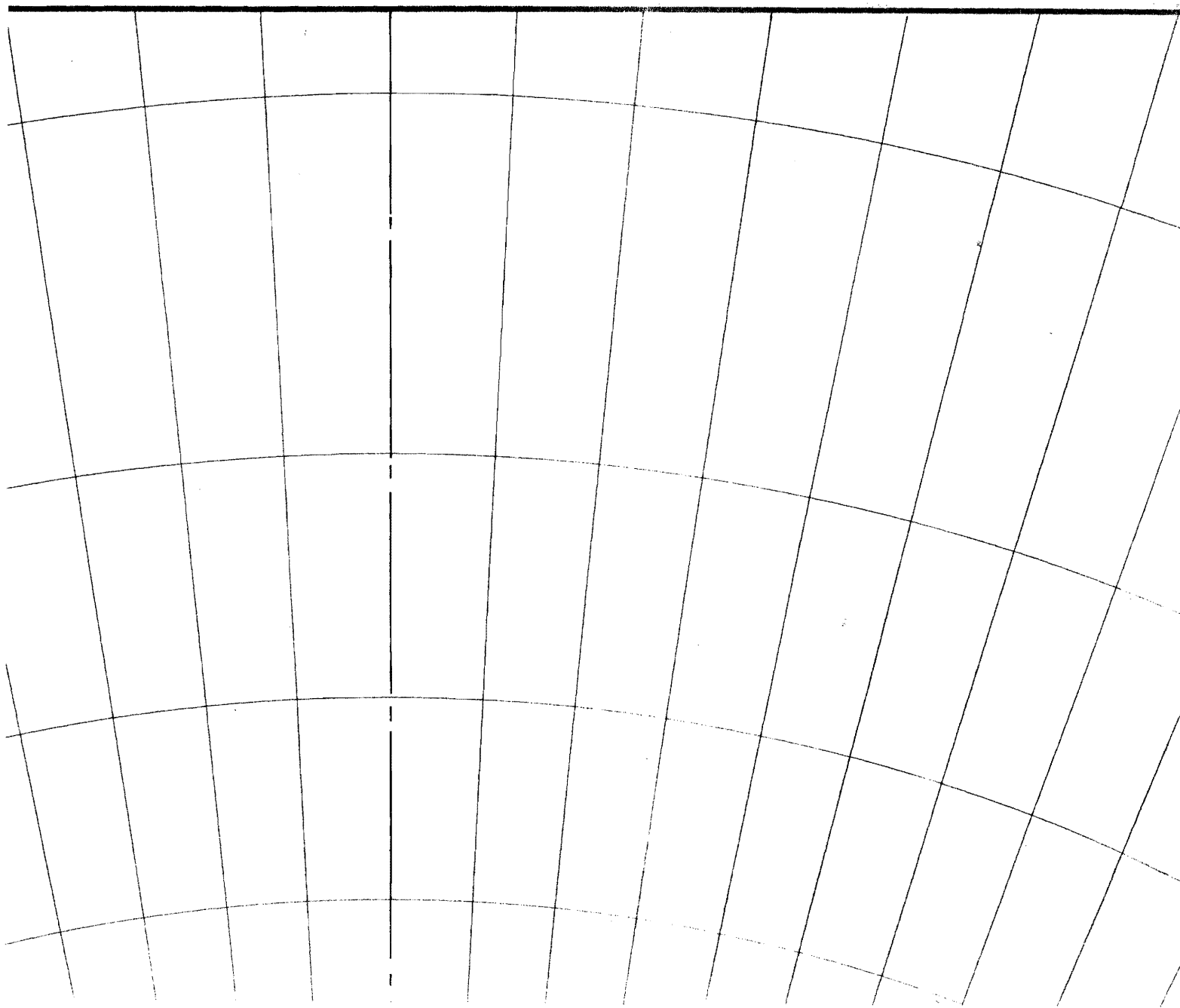

$$= -0.02qLn_0(1-2\nu)(1-\nu)/E$$

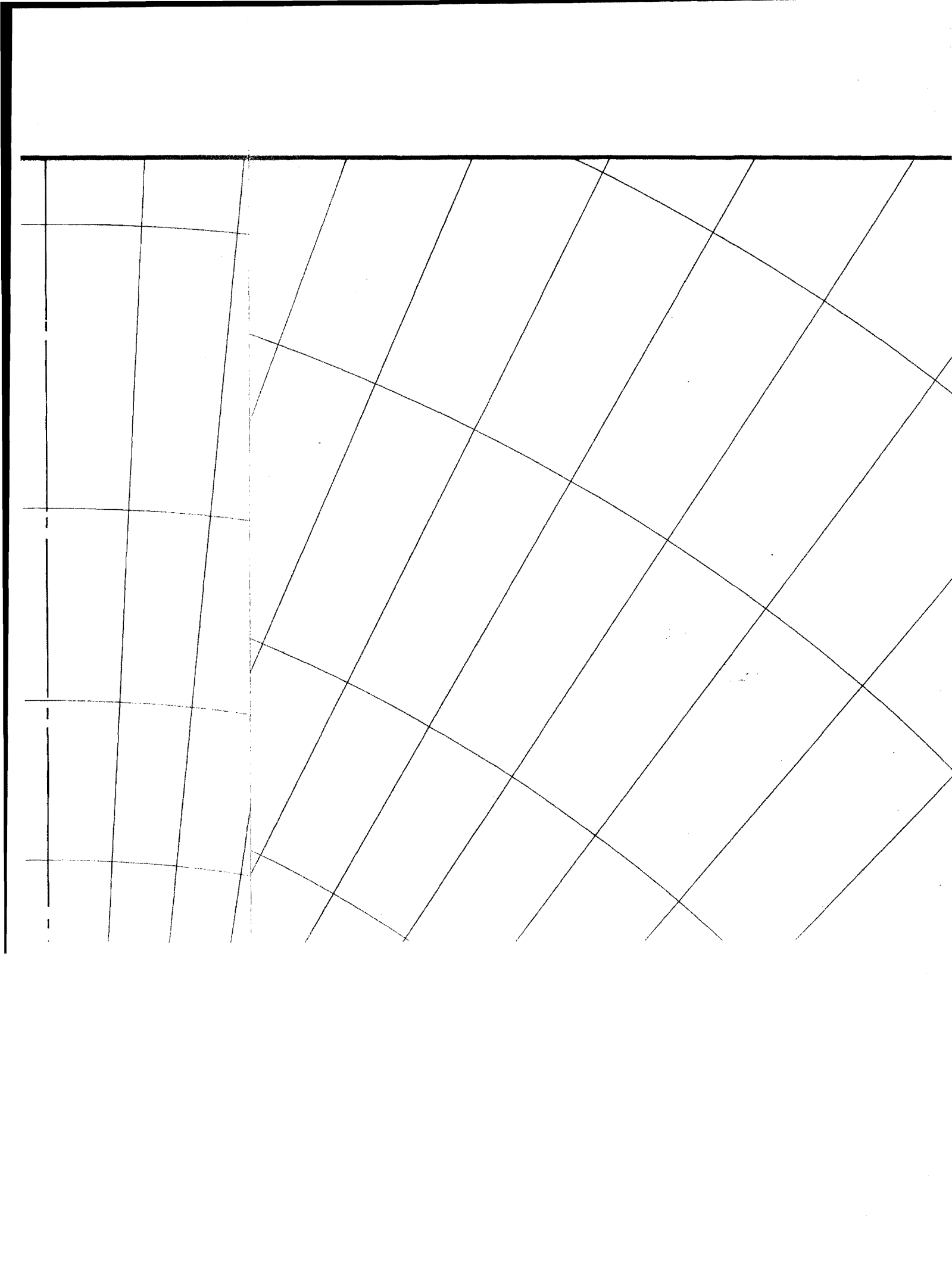
n_0 : número de áreas

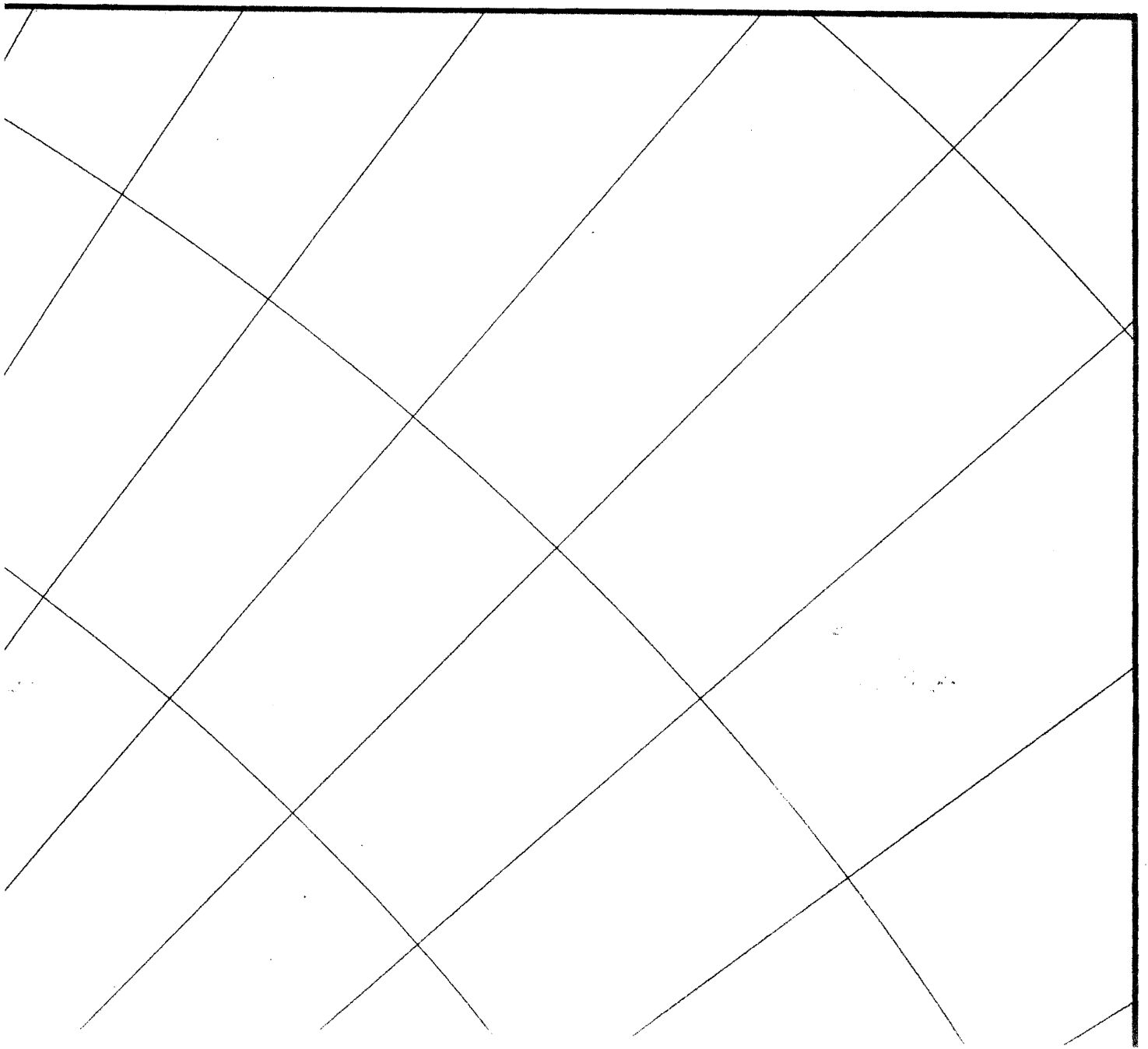


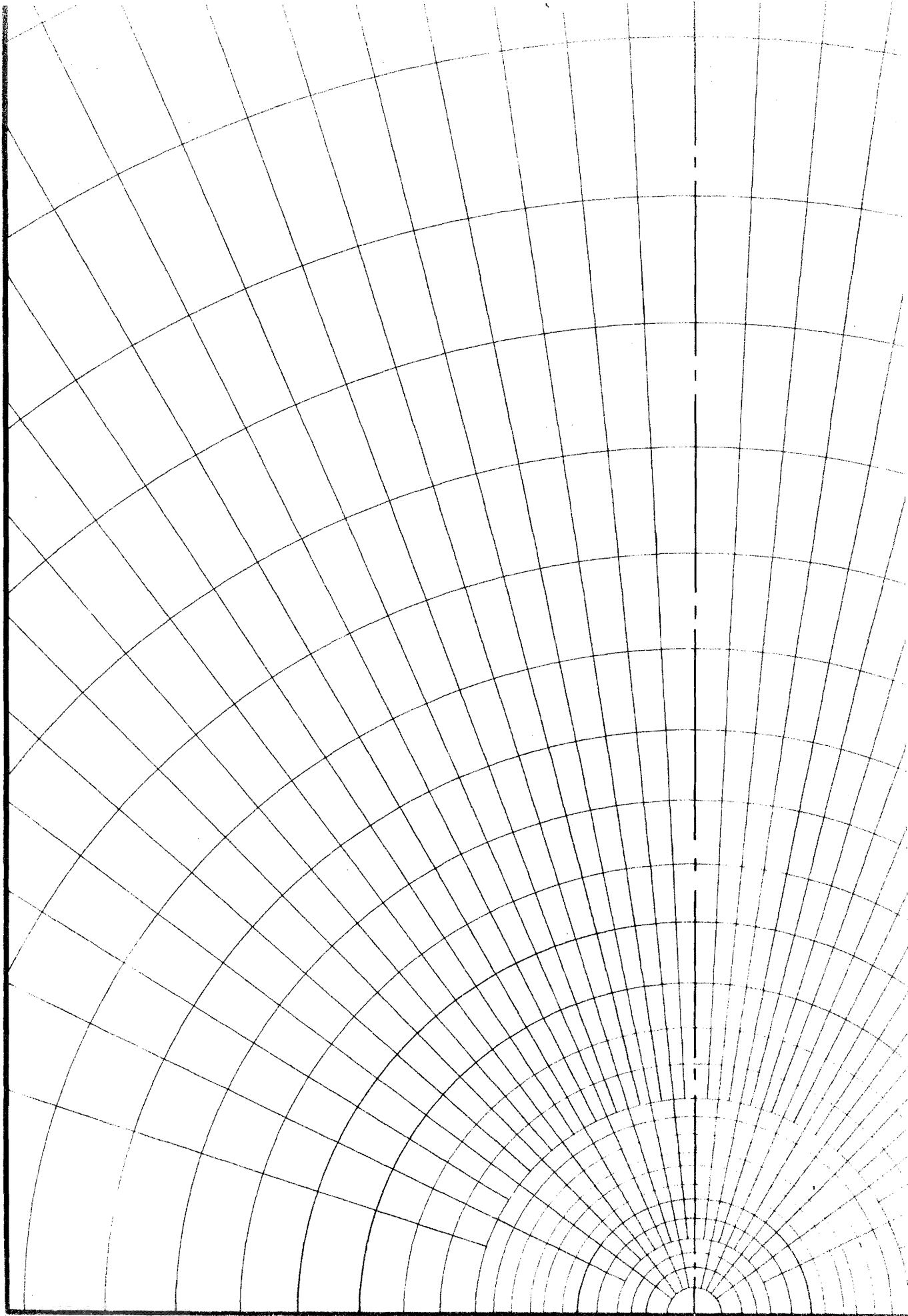
Gráfica 1
para cálculo de desplazamientos
tangenciales en la superficie



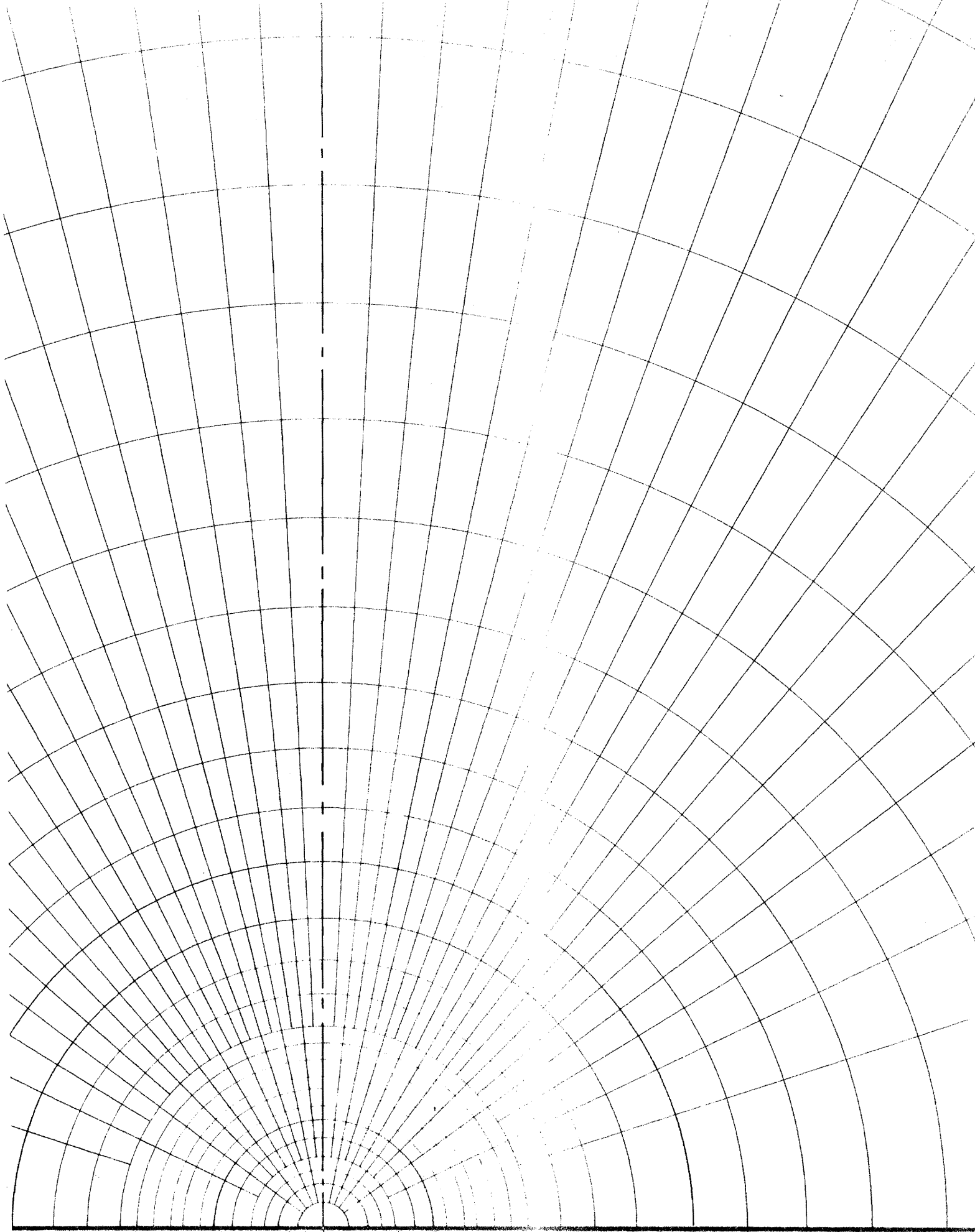




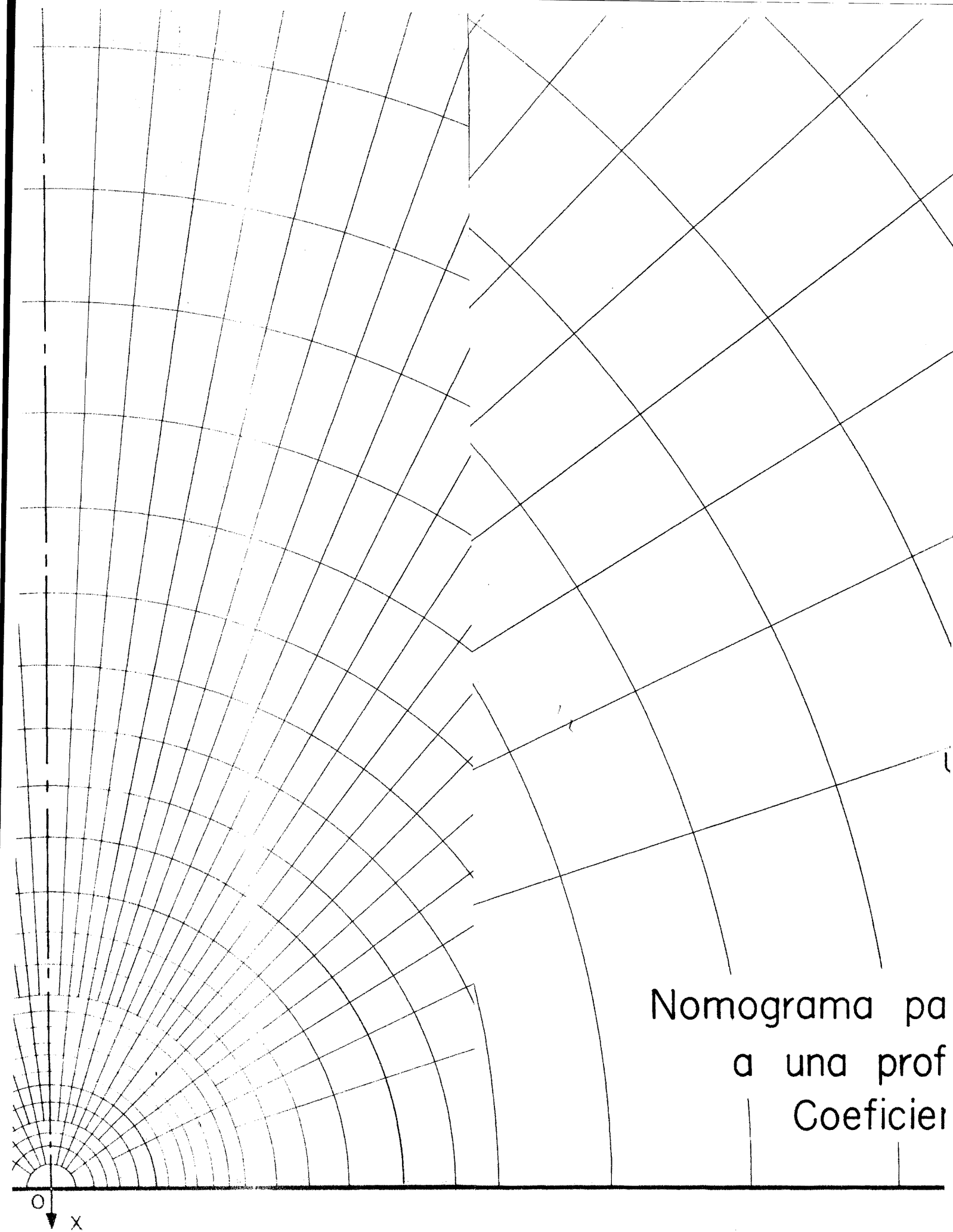




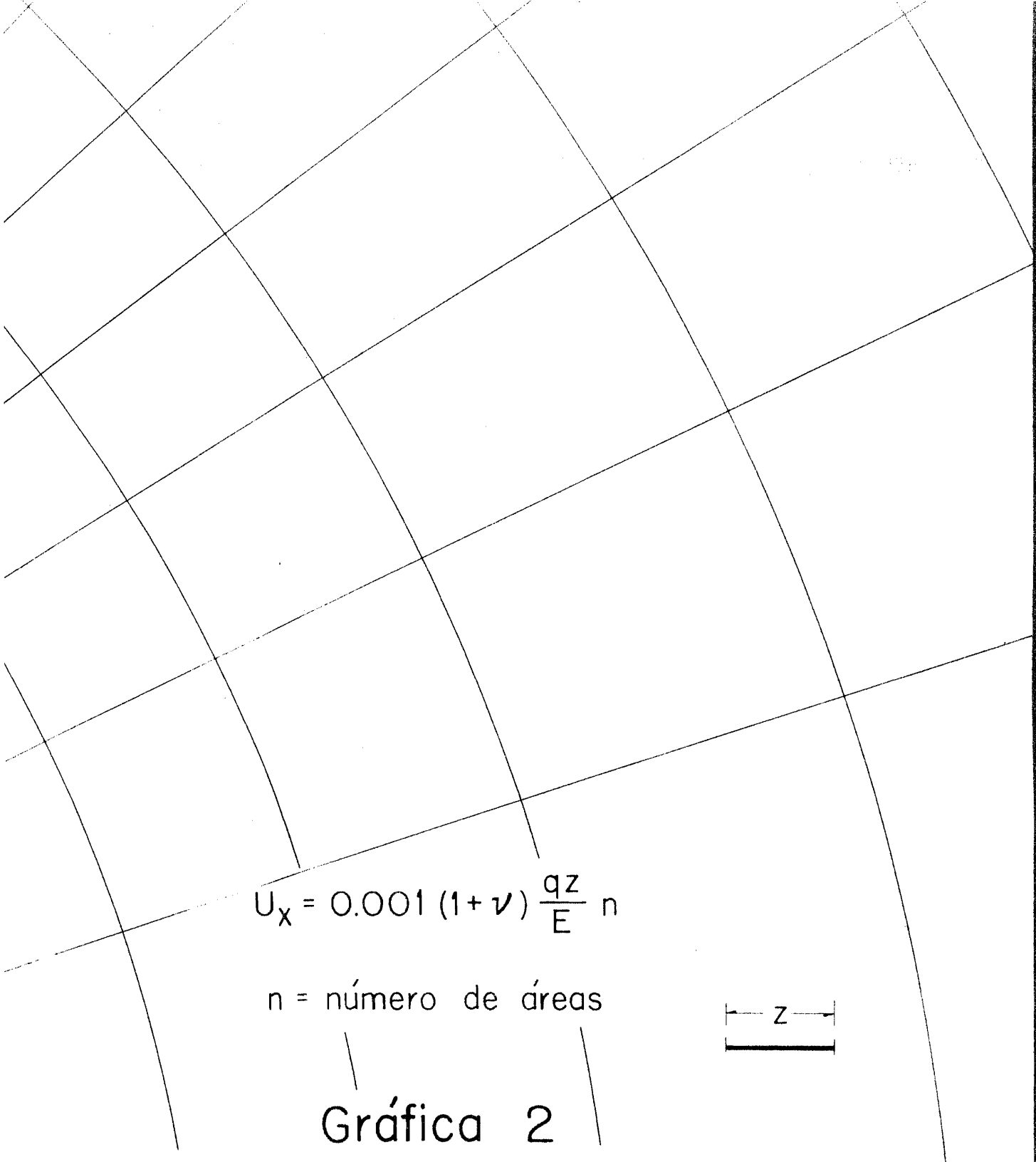
O
x



O
x



Nomograma pa
a una prof
Coeficier


$$U_x = 0.001 (1 + \nu) \frac{qz}{E} n$$

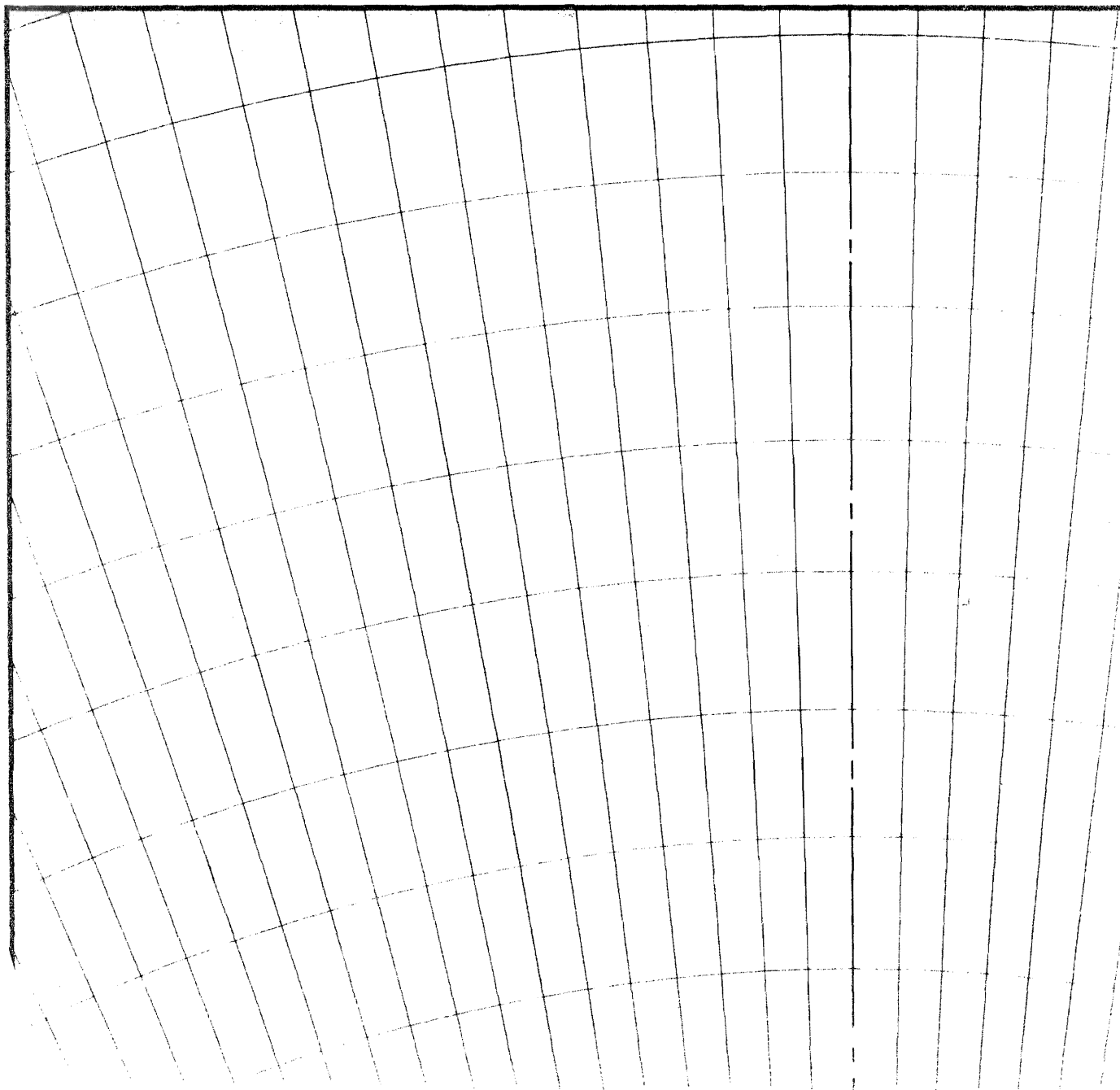
n = número de áreas

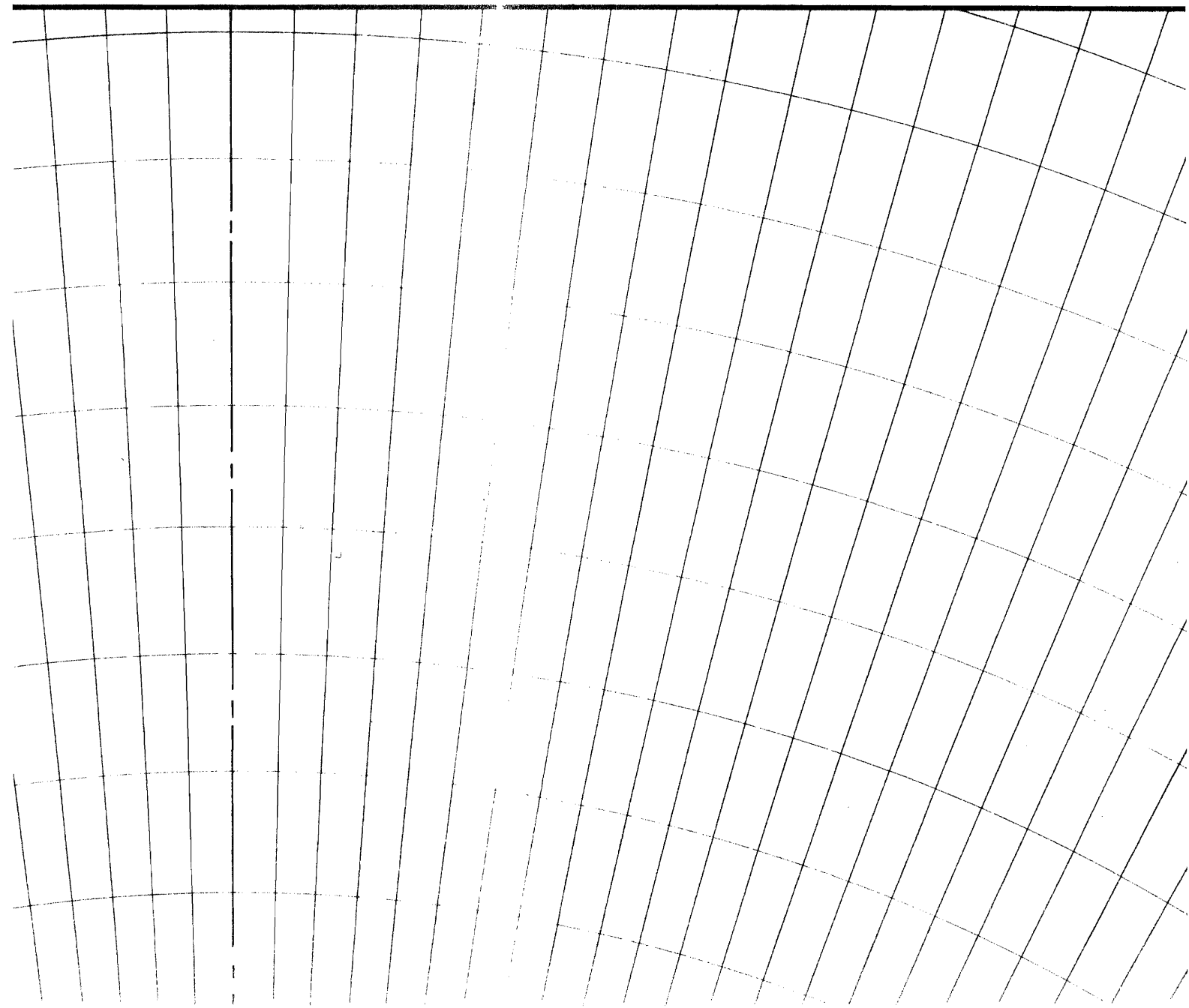


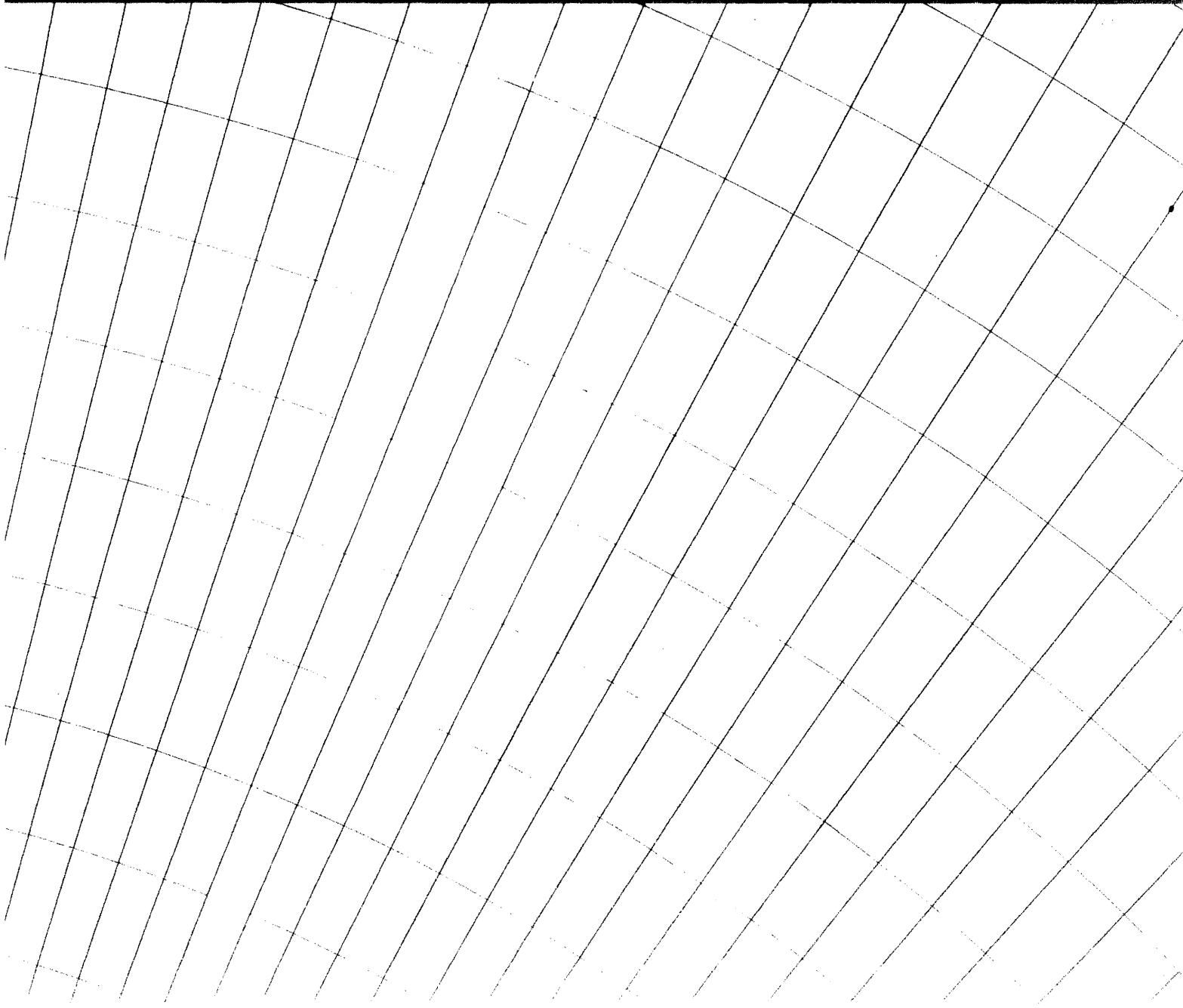
Gráfica 2

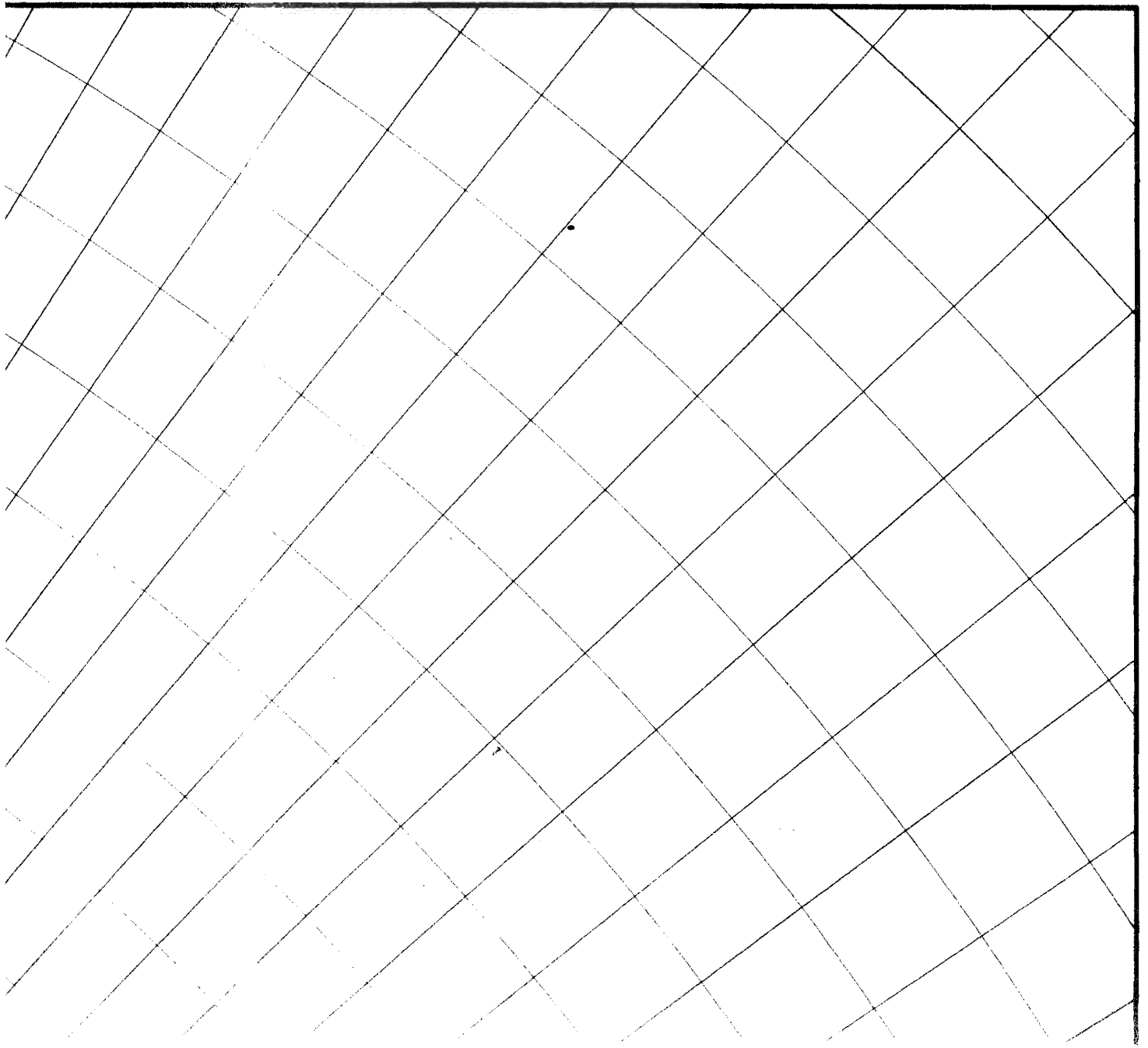
Diagrama para desplazamientos horizontales
a una profundidad z bajo la superficie.

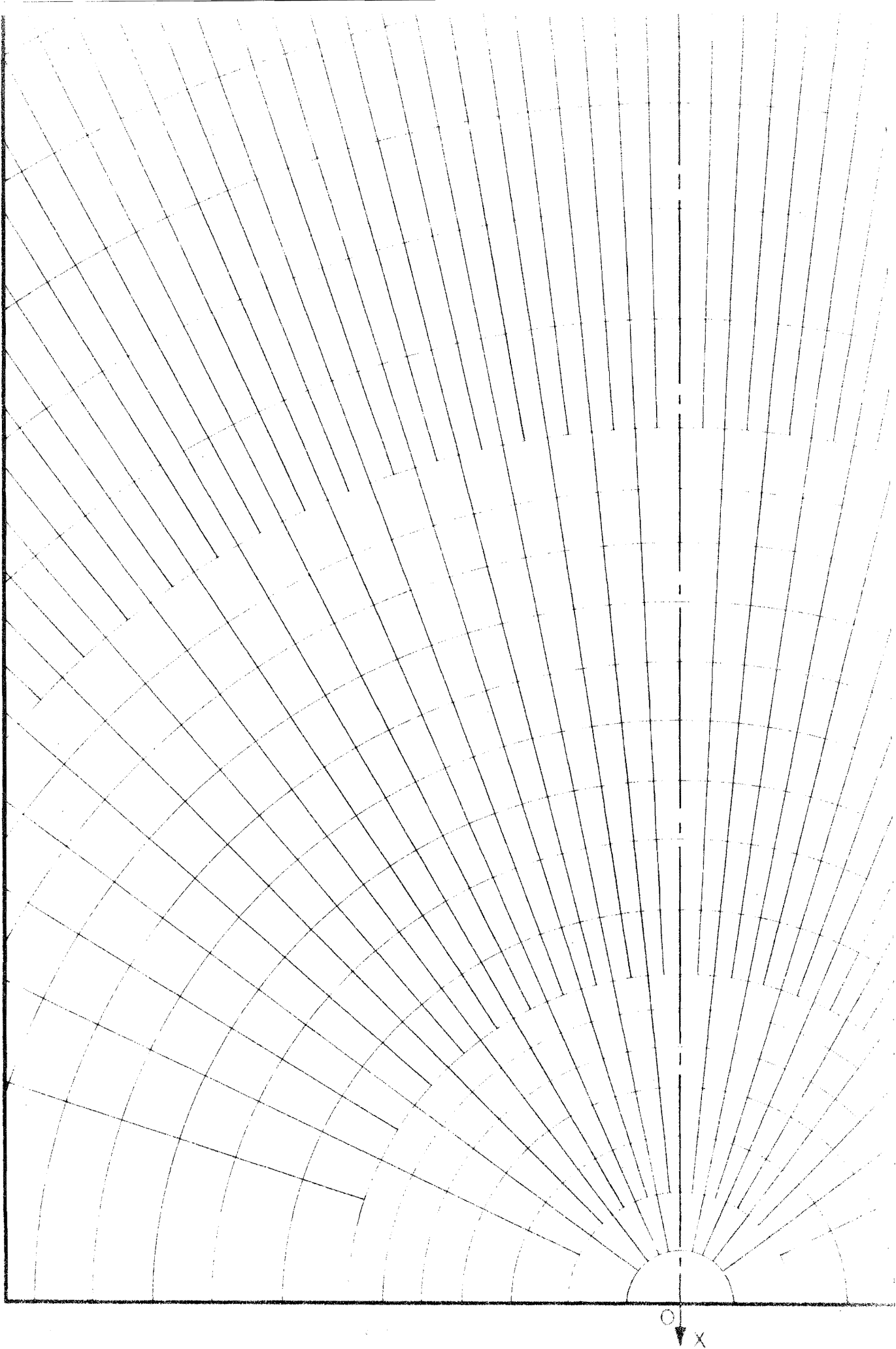
Coefficiente de Poisson $\nu = 0.5$



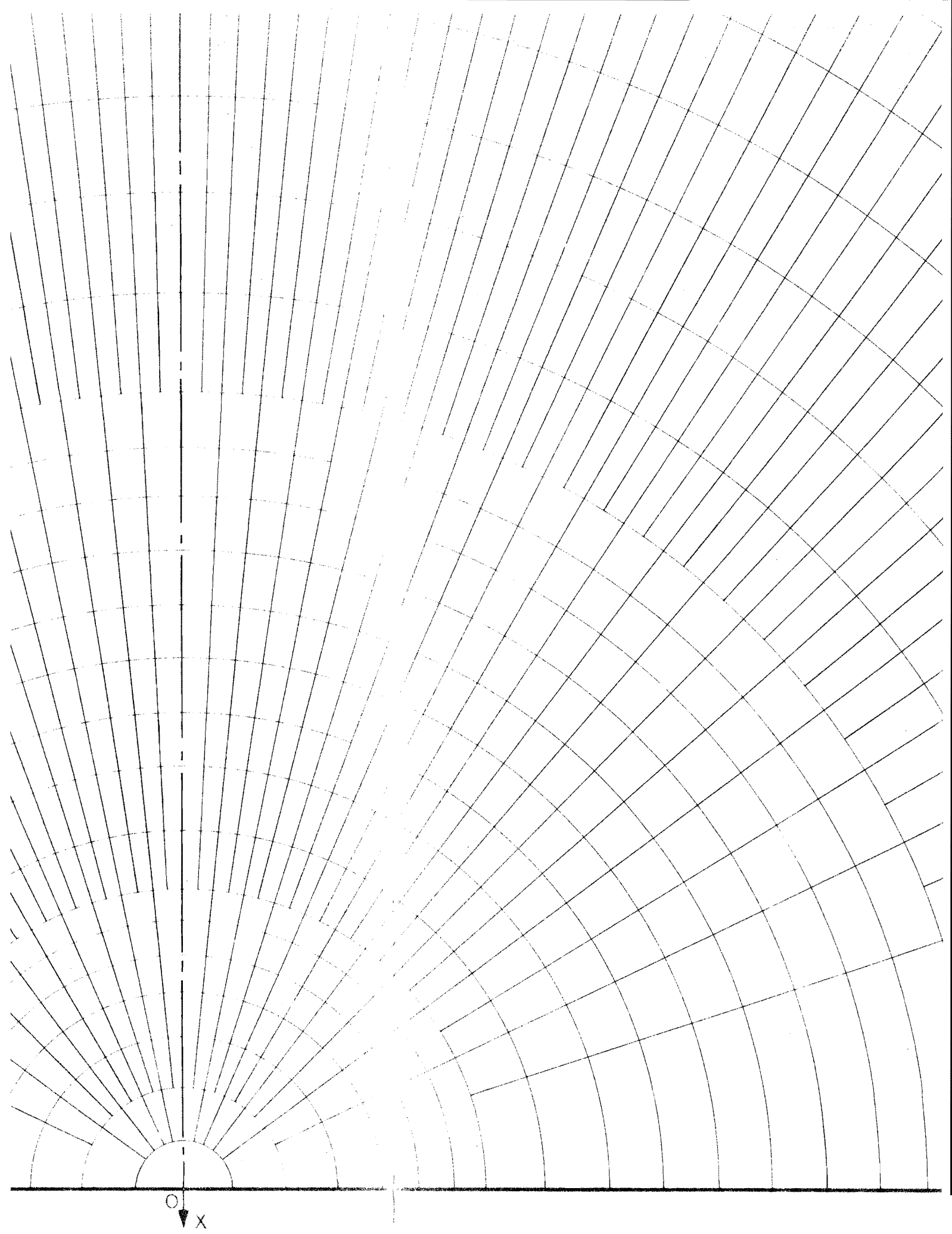


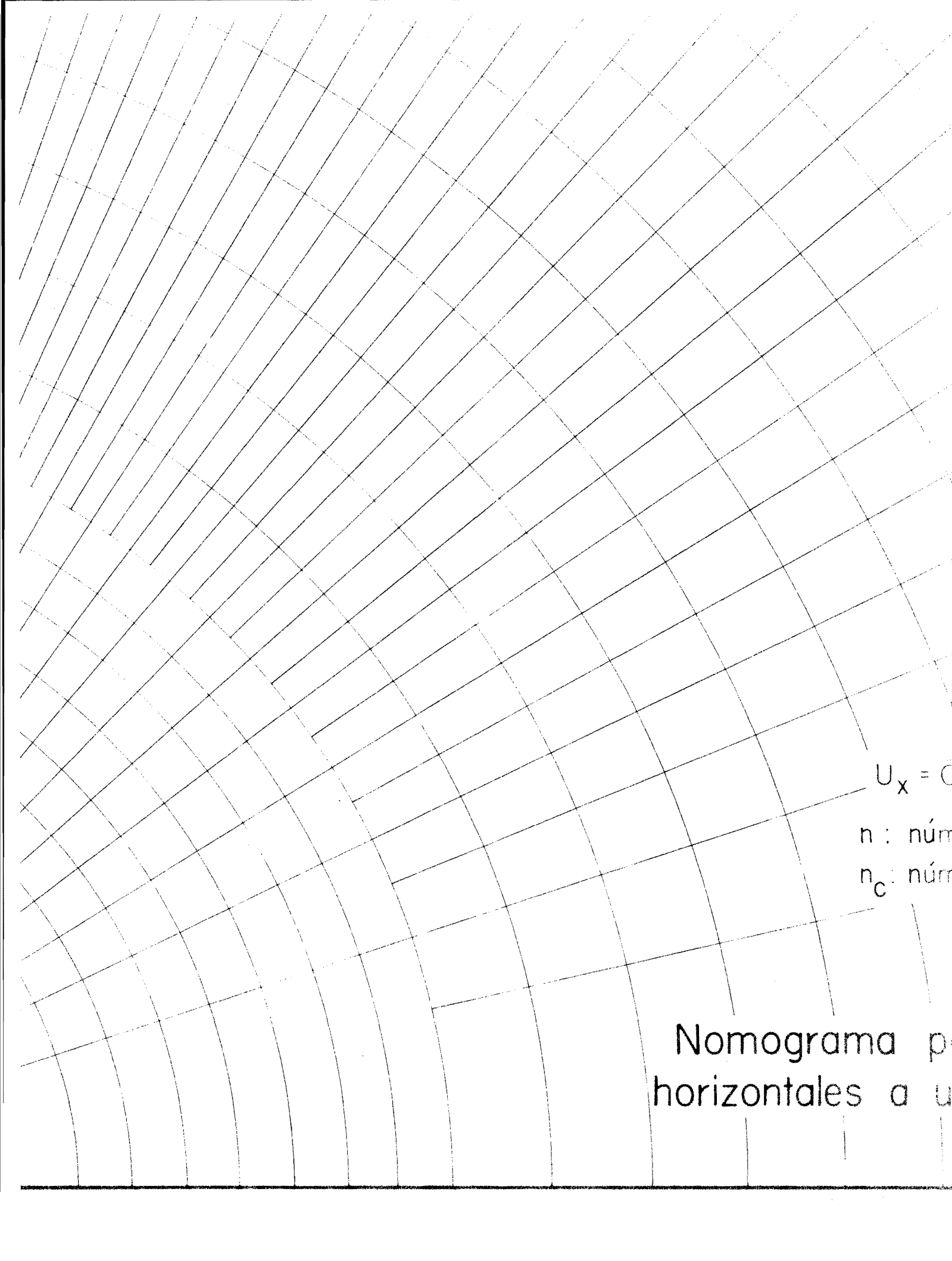






O
▼
X





$$U_x = C$$

n : núm

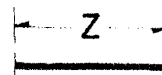
n_c : núm

Nomograma p
horizontales a u

$$U_x = 0.001 qz \frac{(1+\nu)}{E} [n - 4(1-2\nu)n_c]$$

n : número de áreas en la gráfica 2

n_c : número de áreas en la gráfica 3



Gráfica 3

grama para cálculo de desplazamientos
tales a una profundidad z bajo superficie