



REPUBLICA DE CUBA

Elaboración de Proyectos de Construcción

ILUMINACION NATURAL EN EDIFICACIONES

Especificaciones de Proyecto

53-86

1983

Construction Design Elaboration.
Natural Lighting in Buildings

Обработка проектов строительства.
Освещение естественное в зданиях

1. Objetivo y alcance

Esta norma tiene como objeto:

- Establecer el nivel mínimo del coeficiente de iluminación natural en los locales en dependencia de su función
- Establecer un método de cálculo de la iluminación natural teniendo en cuenta las condiciones climáticas del país.

Se aplicará en los proyectos de nuevos edificios y, en la medida de las posibilidades, en proyectos de reconstrucción de edificios.

No se aplicará en el proyecto de edificios para instalaciones deportivas ni para locales que, por su función, requieran condiciones especiales de iluminación.

2. Términos y definiciones

- 2.1 **Candela (cd):** Intensidad luminosa, en dirección perpendicular, de una superficie de $1/600\ 000\ m^2$ de un cuerpo negro a la temperatura de fusión del platino bajo una presión de $101\ 325\ \frac{newton}{m^2}$.
- 2.2 **Lumen (lm):** Flujo luminoso emitido en el interior de un estereorradian por un foco puntual uniforme cuya intensidad es una candela.
- 2.3 **Flujo luminoso (F):** Potencia de la radiación luminosa (visible) evaluada según la acción sobre el ojo normal.
- 2.4 **Iluminación (E):** Relación entre el flujo luminoso incidente sobre una superficie y el área de ésta. Se mide en luxes.
- 2.5 **Luminancia (B):** Relación entre la intensidad luminosa en una dirección dada y el área de proyección de la superficie luminosa sobre el plano perpendicular a esta dirección.
- 2.6 **Lux (lx):** Iluminación de una superficie de un metro cuadrado que recibe el flujo luminoso de un lumen uniformemente distribuido sobre la misma.
- 2.7 **nit (nt):** Luminancia de una fuente tal que cada m^2 de su superficie radiante tiene en una dirección dada una intensidad luminosa igual a una candela.
- 2.8 **Deslumbramiento.** Fenómeno de la visión que se manifiesta por una sensación molesta o una reducción de la capacidad de ver objetos significantes, o ambos simultáneamente, debido a una distribución inadecuada o nivel excesivo de luminancias.

Aprobada:

Junio 1983

ESTA NORMA ES OBLIGATORIA

Vigente a partir de:

Octubre 1983

- 2.9 **Coefficiente de reflexión (ρ de un cuerpo).** Relación del flujo luminoso reflejado por un cuerpo, con o sin difusión, respecto al flujo luminoso que incide sobre el mismo.
- 2.10 **Coefficiente de transmisión (τ de un cuerpo):** Relación del flujo luminoso que pasa a través de un cuerpo respecto al flujo luminoso incidente sobre el mismo.
- 2.11 **Iluminación natural:** Iluminación producida por la luz del sol, tanto directa como difusa, en la bóveda celeste.
- 2.12 **Luz natural directa.** Es la luz que incide en un punto dado de un local desde un sector del firmamento visible desde éste, a través de una entrada de luz.
- 2.13 **Luz natural reflejada:** Es la luz que incide en un punto dado de un local como resultado de las múltiples reflexiones de las superficies circundantes.
- 2.14 **Iluminación lateral.** Iluminación que se obtiene a través de ventanas o cualquier otro tipo de vano situado en las paredes.
- 2.15 **Iluminación cenital.** Iluminación que se obtiene cuando la entrada de luz se produce por un vano que se encuentra en la cubierta o en la zona en que se produce un cambio de puntal en el edificio.
- 2.16 **Iluminación combinada.** Iluminación total que se obtiene en el interior del local producto de la suma de las dos anteriores.
- 2.17 **Coefficiente de iluminación natural (e).** (en cualquier punto de un local). Relación entre la iluminación (E) en ese punto y la iluminación que simultáneamente existe al exterior en una superficie horizontal en condiciones de luz difusa (E_H). Se expresa en porcentaje.
- 2.18 **Uniformidad de la iluminación natural.** Relación entre el valor mínimo y máximo del coeficiente de iluminación natural en los puntos característicos contenidos a lo largo de la línea característica.
- 2.19 **Corte vertical característico del local.** Corte realizado por el centro del local, generalmente perpendicular al plano de trabajo y a la superficie de las ventanas (en caso de iluminación lateral) o al eje longitudinal de los lucernarios (en caso de iluminación cenital).
- El corte vertical característico del local debe pasar a través de la zona de trabajo en la cual se encuentre la mayor cantidad de equipamiento y además, a través del punto (en el plano convencional de trabajo) más alejado de las ventanas.
- 2.20 **Línea característica.** Línea formada por la intersección del corte vertical característico del local y la superficie del plano de trabajo. A lo largo de la línea característica se sitúan los puntos característicos.
- 2.21 **Punto característico.** Punto en el cual se calcula o se mide el valor normalizativo del coeficiente de iluminación natural.
- 2.22 **Zona de trabajo.** Área hasta 2 m de altura sobre el nivel de piso o plataforma, donde se encuentra el trabajador de forma permanente o temporal.
- 2.23 **Plano de trabajo.** Superficie sobre la cual se realiza el trabajo y sobre la que se normaliza o mide la iluminación.
- 2.24 **Plano convencional de trabajo.** Superficie horizontal que convencionalmente se sitúa a 0,80 m del piso en los casos en que no se especifique la altura de la superficie de trabajo.

2.25 **Objeto de distinción.** Objeto o parte componente del mismo cuya diferenciación es indispensable para la tarea visual.

3. Generalidades

En locales con permanencia de personal la iluminación debe ser natural. En algunos casos se permite utilizar iluminación artificial y natural simultáneamente.

El proyecto de locales o edificios sin ventanas, con utilización exclusiva de luz artificial, se permite solamente en casos en que se fundamente por razones funcionales, tecnológicas o económicas.

El emplazamiento de los edificios en el terreno debe garantizar la obtención de los niveles de iluminación establecidos en esta norma.

Debe evitarse el deslumbramiento producido por la entrada directa de los rayos del sol dentro del local o por el empleo de colores muy claros en la zona inferior al plano de trabajo. (Ver 3.1).

3.1 Coeficientes de reflexión de las superficies interiores de los locales.

El acabado a color de los techos, paredes, cerchas, vigas y otras partes del edificio debe preverse y realizarse preferentemente con tonalidades claras, cuyo factor promedio de reflexión sea mayor que 0,5 lo que posibilita un aumento de iluminación dentro del local.

- En locales de trabajo, especialmente con puntales hasta 3 m, el coeficiente de reflexión del techo debe ser mayor o igual que 0,7
- El coeficiente de reflexión promedio de la zona del local que queda por debajo del plano de trabajo (tomado conjuntamente con los muebles y equipos) debe estar entre 0,2 y 0,4
- El coeficiente de reflexión de muebles y equipos tecnológicos debe estar entre 0,25 y 0,5.

Se recomienda que la superficie de trabajo y otras superficies del local tengan acabado mate.

3.2 Distribución de la luminancia en el interior del local.

El coeficiente de reflexión y la distribución de la iluminación dentro del campo visual del trabajador se seleccionará de tal forma que no se produzca luminancia. Para ello la relación entre la brillantez del objeto de trabajo visual con respecto a la luminancia del espacio que lo rodea debe ser mayor de 1:3 y menor que 3 y con respecto a la luminancia del espacio circundante más lejano debe ser mayor que 1:10 y menor que 10.

El cálculo de la luminancia se realiza por la fórmula:

$$B = \frac{E\rho}{\pi}$$

donde:

B luminancia de la superficie en nit

E iluminación de la superficie en lux

ρ coeficiente de reflexión de la superficie

π constante (3,1416).

3.3 Requisitos de mantenimiento de las superficies de los locales

Los niveles de iluminación natural fijados en esta norma se han establecido considerando un régimen obligado de limpieza con la frecuencia siguiente:

- no menos de 2 veces al año para locales en ambiente (interior o exterior) con poco contenido de polvo, humo y hollín (hasta 5 mg/m³)
- no menos de 4 veces al año para locales en ambiente (interior o exterior) con gran contenido de polvo, humo y hollín (más de 5 mg/m³).

La pintura de acabado de las superficies interiores de los locales debe renovarse como mínimo una vez cada cuatro años en locales de poca suciedad y una vez cada dos años en locales de mucha suciedad.

Al proyectar edificios públicos y de producción es necesario garantizar un acceso cómodo a las ventanas que permita su limpieza periódica, así como a techos y paredes para el mantenimiento de su acabado.

4. Requisitos para el cálculo de la iluminación natural

4.1 Tipos de iluminación natural

Existen tres tipos de iluminación natural:

- a) lateral
- b) cenital
- c) combinada .

4.2 Líneas y puntos característicos

La iluminación natural de un local se determina mediante el coeficiente de iluminación natural calculado en una serie de puntos característicos (mínimo 5), situados en la línea característica (ver Fig. 1 y 2).

Los puntos característicos extremos (primero y último) deben situarse a 1 m de distancia de las paredes (a partir de la superficie interior de las mismas) y el resto de los puntos deben ser uniformemente distribuidos entre los dos extremos a lo largo de la línea característica.

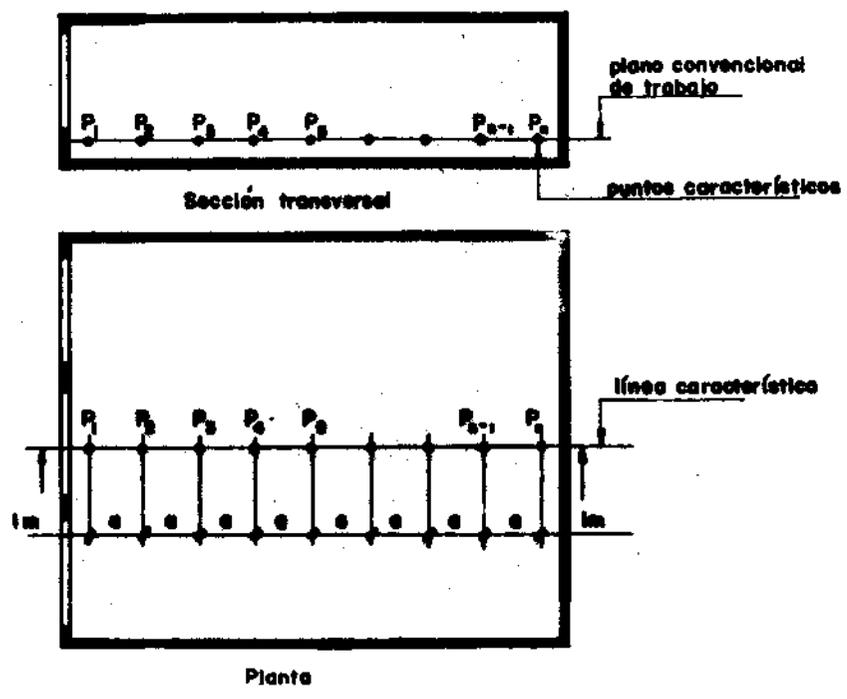


Fig. 1 Corte vertical característico para el cálculo del coeficiente de iluminación caso de iluminación lateral.

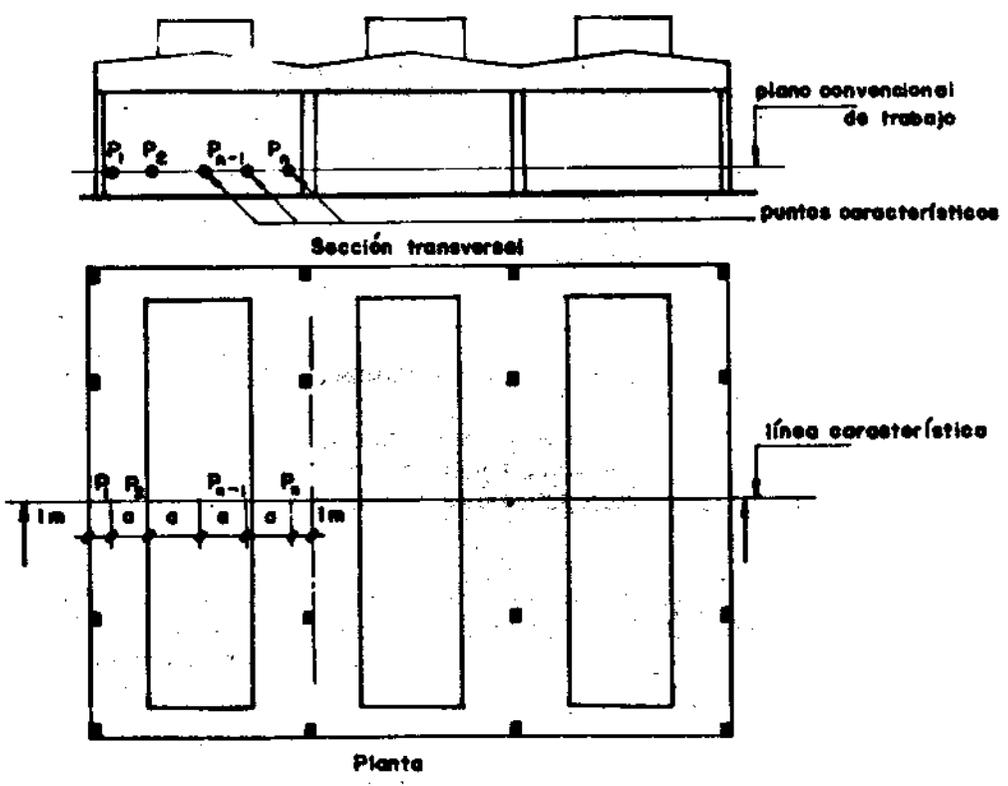


Fig. 2 Corte vertical característico para el cálculo del coeficiente de iluminación natural y de iluminación lateral.

4.3 Cálculo del coeficiente de iluminación natural

El coeficiente de iluminación natural se determina mediante la expresión:

$$e_p = \frac{E_p}{E_H} \times 100 \quad (1)$$

donde:

- e_p coeficiente de iluminación natural en un punto (p) del plano dado
- E_p intensidad de la iluminación en dicho punto (p)
- E_H iluminación exterior de una superficie horizontal al aire libre iluminada por la luz difusa de toda la bóveda celeste. Se adoptará para el cálculo un valor de E_H igual a 10 000 lux.

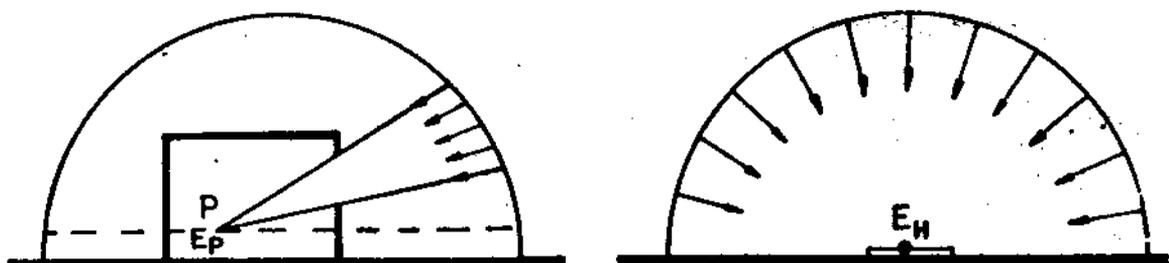


Fig. 3 Esquema para la determinación del coeficiente de iluminación natural.

4.4 Valor mínimo del coeficiente de iluminación natural

En caso de iluminación unilateral se norma el valor mínimo del coeficiente de iluminación natural ($e_{mín.}$) en un punto situado a 1 m de la pared más lejana de la ventana, en la intersección del corte vertical característico de local y la superficie convencional de trabajo (o el piso).

En caso de la iluminación bilateral (lados opuestos) se norma el valor mínimo del coeficiente de iluminación natural ($e_{mín.}$) situado en centro del local, en la intersección del corte vertical característico del local y la superficie convencional de trabajo (o el piso).

4.5 Valor medio del coeficiente de iluminación natural

En caso de iluminación cenital o combinada se norma el valor medio del coeficiente de iluminación natural ($e_{med.}$) en puntos situados en la intersección del corte vertical característico del local y el plano convencional de trabajo (o el piso) a lo largo de la línea característica.

El valor medio del coeficiente de iluminación natural se determina por la fórmula:

$$e_{\text{med.}} = \frac{\frac{e_1}{2} + e_2 + e_3 + \dots + \frac{e_n}{2}}{(n-1)} \quad (2)$$

donde:

$e_1, e_2, e_3, \dots, e_n$ valores del coeficiente de iluminación natural en los puntos característicos, situados a lo largo de la línea característica

n cantidad de puntos característicos

En caso de iluminación combinada el coeficiente de iluminación natural en cada punto característico se determina mediante la suma de los coeficientes de iluminación natural calculados para la iluminación lateral y cenital en dicho punto.

4.6 Uniformidad de la iluminación

La uniformidad de la iluminación natural en las zonas de trabajo de locales con iluminación cenital y combinadas donde se realicen trabajos que requieran una precisión visual mediana y alta (dimensión del objeto de distinción entre 0,3 y 1 mm) y en las aulas de edificios educacionales con iluminación natural, no puede ser menor que 0,3 es decir,

$$\frac{e_{\text{mín.}}}{e_{\text{máx.}}} > 0,3$$

En locales donde se realicen trabajos que requieran una especial y muy alta precisión (dimensión del objeto de distinción hasta 0,3 mm) la uniformidad de la iluminación no puede ser menor que 0,5 es decir.

$$\frac{e_{\text{mín.}}}{e_{\text{máx.}}} > 0,5$$

En los locales donde se realicen trabajos de poca precisión (dimensión del objeto de distinción mayor que 1 mm) la uniformidad de la iluminación no se norma, aunque en ningún caso debe ser menor que 0,1.

5. Valores normalizados de los coeficientes de iluminación natural

Los valores normalizados de los coeficientes de iluminación natural en dependencia de la función del local y del tipo de iluminación, así como la altura del plano donde se mide el nivel de iluminación, se establecen en las tablas 1 y 2.

Tabla 1 Valores normalizados del coeficiente de iluminación natural en edificios públicos y de viviendas

Edificios públicos y de vivienda	Altura del plano sobre el nivel del piso (NPT) en el cual se norma la iluminación (m)	Valor del coeficiente de iluminación natural en %	
		Con iluminación cenital y combinada (e _{med.})	Con iluminación lateral (e _{mín.})
1	2	3	4
1. Salones de dibujo y pintura	H-0,80	5,0	3,0
2. Aulas teóricas, auditorios, aulas laboratorios, locales para trabajo manual.	H-0,80	4,0	2,0
3. Salas de actos.	H-0,00	3,0	1,5
4. Locales de recreación, deporte y educación física en escuelas.	H-0,00	2,0	1,0
5. Dormitorios en edificios educacionales	H-0,80	1,5	0,7
6. Locales para párvulos y lactantes en círculos infantiles	H-0,00	3,0	1,5
7. Locales vestidores en círculos infantiles	H-0,00	2,0	1,0
8. Servicios sanitarios en círculos infantiles	H-0,00		1,0
9. Salas de lectura en bibliotecas.	H-0,80	4,0	2,0
10. Locales para laboratorios	H-0,80	5,0	3,0
11. Talleres docentes para elaboración de metales y maderas	H-0,80	3,0	1,5
12. Instituciones curativas: cuerpo de guardia, laboratorios, gabinetes estomatológicos.	H-0,80	5,0	3,0
13. Sanatorios y casas de descanso	H-0,50	2,0	1,0
14. Salas de recién nacidos	H-0,50	4,0	2,0

Tabla 1 (conclusión)

1			
15. Gabinetes para consultas médicas, salas para hospitalizados	H-0,80	3,0	1,5
16. Servicios sanitarios en hospitales.	H-0,50	-	1,0
17. Habitaciones en hoteles	H-0,80	1,5	0,7
18. Habitaciones y cocinas en viviendas	H-0,80	3,0	1,5
19. Locales de oficinas administrativas.	H-0,80	3,0	2,0
20. Oficinas de empresas constructoras y de proyecto.	H-0,80	3,0	1,5
21. Salones de reuniones.	H-0,80	2,0	1,0
22. Salones de exposición.	H-0,80	3,0	1,5
23. Locales para venta de artículos industriales y productos alimentarios.	H-0,80	3,0	1,5
24. Peluquerías.	H-0,80	3,5	2,0
25. Lavanderías.	H-0,80	3,0	1,5
26. Salones de espera en estaciones de transporte	H-0,80	2,0	0,8
27. Vestíbulos en edificios públicos.	H-0,00	2,0	0,8
28. Salones de comedores y cocinas.	H-0,80	3,0	1,5
29. Corredores y cajas de escalera.	H-0,00	1,5	0,7
30. Taquillas, baños y servicios sanitarios de viviendas.	H-0,50	-	0,6
31. Talleres de reparación de calzado.	H-0,80	3,5	2,0
32. Talleres de reparación de relojes.	H-0,80	5,0	3,0
33. Talleres de reparación de equipos electrodomésticos.	H-0,80	3,5	2,0

Tabla 2 Valores normalizados del coeficiente de iluminación natural en edificios de producción y empresas agropecuarias

Locales	Altura del plano sobre el nivel del piso (NPT) en el cual se norma la iluminación (m)	Valor del coeficiente de iluminación natural en %	
		Con iluminación cenital y combinada ($e_{med.}$)	Con iluminación lateral ($e_{mfn.}$)
1	2	3	4
1. Imprentas			
a) Talleres de encuadernación	H-0,80	3,0	1,5
b) Talleres de impresión.	H-0,80	4,0	2,0
c) Talleres de composición de tipografías	H-0,80	5,0	3,0
2. Talleres de corte y costura de fábricas de confecciones	H-0,80	5,0	3,0
3. Talleres de costura en fábricas de calzado	H-0,80	4,0	2,0
4. Talleres de hilandería	H-0,80	5,0	3,0
5. Talleres de macerado y curtido de pieles	H-0,80	2,0	1,0
6. Talleres de grabado	H-0,80	-	-
a) Alta precisión de detalle		7,0	5,0
b) Poca precisión de detalle.		4,0	2,0
7. Talleres de montaje y control de alta precisión.	H-0,80	7,0	5,0
8. Talleres instrumentales de fábricas de const. de maquinarias	H-0,80	5,0	3,0
9. Talleres mecánicos de fábricas de const. de maquinarias.	H-0,80	3,0	1,5

Tabla 2 (Conclusión)

1	2	3	4
10. Talleres de cocido y secado en fábricas de jabones.	H-0,80	2,0	1,0
11. Salas de máquinas en centrales eléctricas.	H-0,80	2,0	1,0
12. Talleres de confiterías y pastas alimentarias	H-0,80	4,0	3,0
13. Talleres de laminación, estirado, fundiciones eléctricas, hornos Martin en plantas metalúrgicas.	H-0,80	2,0	1,0
14. Secciones de moldeo, fusión y colada en talleres de fundición	H-0,80	2,0	1,0
15. Talleres de prensas y forja.	H-0,80	2,5	1,5
16. Talleres de reparación de locomotoras	H-0,00	2,0	1,0
17. Locales de calderas, compresores, trabajos con oxígeno y acetileno.	H-0,00	2,0	1,0
18. Garajes para estacionamiento de automóviles y otros vehículos.	H-0,00	0,75	0,3
19. Empresas agropecuarias: Locales para laboratorios microbiológicos.	H-0,80	5,0	3,0
20. Locales para la clasificación y beneficio de los productos agropecuarios	H-0,00	2,0	1,5

6. Método de cálculo de la iluminación natural

La iluminación de un local con luz natural se determina mediante el cálculo de los coeficientes de iluminación natural "e" en los diferentes puntos del corte característico del local. Este valor en cualquier punto del local se determina mediante la ecuación.

$$e = e_0 + e_1 + e_2 + e_3 \quad \%$$
(3)

donde:

- e_0 coeficiente de iluminación producido por la luz difusa de la porción de bóveda celeste vista a través de la ventana desde el punto dado, considerando las pérdidas al pasar el flujo luminoso a través del cristal del vano (ver 6.1)
- e_i coeficiente de iluminación originado por la luz natural reflejada por las superficies interiores del local (ver 6.2)
- e_e Coeficiente de iluminación originado por la luz natural reflejada por los edificios aledaños (ver 6.3)
- e_t coeficiente de iluminación originado por la luz natural reflejada por la superficie del terreno adyacente o por la superficie de la cubierta aledaña a los monitores (ver 6.4)

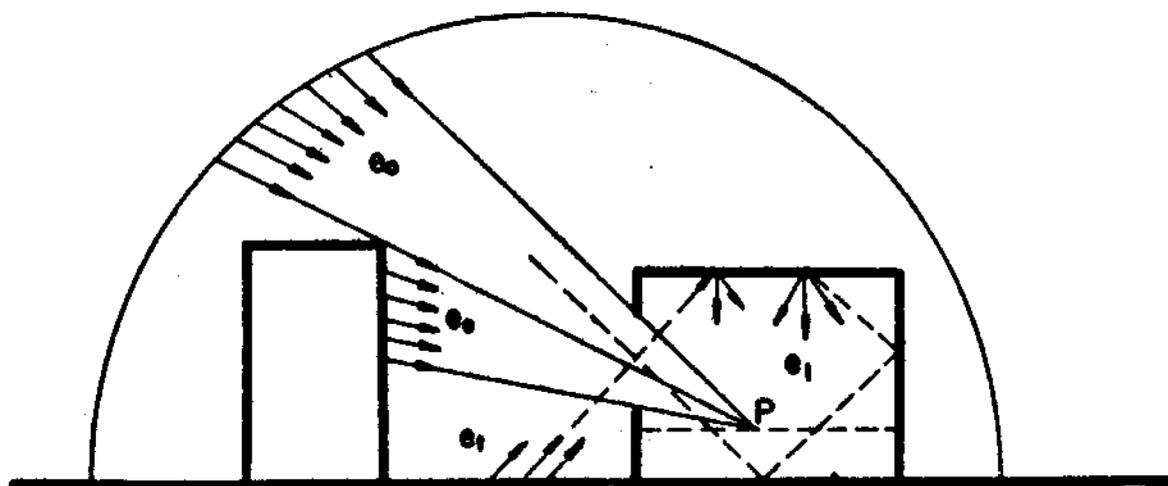


Fig. 4. Esquema para determinar el coeficiente de iluminación natural considerando la luz reflejada.

6.1 Cálculo del coeficiente e_0 (luz difusa de la bóveda)

El valor de e_0 se determina por la fórmula:

$$e_0 = 0,01 n_1 \cdot n_2 \cdot l_0 \cdot q \quad (4)$$

donde:

- n_1 cantidad de rayos, según el gráfico I (C y L), que llegan desde la bóveda celeste al punto donde se calcula la iluminación, pasando a través del vano de iluminación en la sección transversal del local (ver 6.5)
- n_2 cantidad de rayos, según el gráfico II, que llegan desde la bóveda celeste al punto donde se calcula la iluminación; pasando a través de la ventana en la planta del local (ver 6.5)

- τ_0 coeficiente de reducción originado por pérdidas de luz debido a los factores siguientes: materiales componentes de la ventana, obstáculos en el vano de iluminación, obstáculos de estructura de cubierta, suciedad del cristal y otros. (Se determina por la Tabla 3 y en caso de ventanas tipo Miami se determina por la Tabla 4).
- q coeficiente que considera la luminancia irregular de la bóveda celeste. (Se determina por la Tabla 5).

Tabla 3 Valores del coeficiente global de reducción τ_0 para ventanas de cristal

Características del local	Ejemplos de locales	Situación del cristal	Valor de τ_0	
			con marcos de hormigón o madera	con marcos de aluminio o acero
Locales en ambientes con gran contenido de polvo humo $> (5 \text{ mg/m}^3)$	Fábricas de cemento, metalúrgicas. Elaboración de pienso.	vertical	0,4	0,5
		inclinado	0,3	0,4
Locales en ambientes con poco contenido de polvo humo $< (5 \text{ mg/m}^3)$	a) Talleres de montaje instrumentos mecánicos, salas de máquinas en termoeléctricas.	vertical	0,5	0,6
	b) Edificios sociales y de vivienda	inclinado	0,4	0,5

Tabla 4 Valores del coeficiente global de reducción para ventanas Miami con tablilla en posición horizontal

Material	Coefficiente de reflexión ρ	Valor de τ_0
Aluminio	0,6 - 0,7	0,35
Madera	0,8	0,36
Madera	0,5	0,28
Madera	0,2	0,25

Tabla 5. Valores del coeficiente "q" para cielos con nubosidad comprendida entre 50 y 80 % .

θ en grados (Ver Nota 1)	q
5	1,15
15	1,22
25	1,28
35	1,30
45	1,27
55	1,19
65	1,03
75	0,96
85	0,93

6.2 Cálculo del coeficiente e_i (luz reflejada por superficies interiores).

El valor de e_i se determina en caso de:

a) iluminación lateral, por la fórmula:

$$e_i = e_0^{mín.} (r_1 - 1) \tag{5}$$

b) iluminación cenital por la fórmula:

$$e_i = e_0^{med.} (r_2 - 1) \tag{6}$$

Nota I:



θ : ángulo formado por el plano horizontal de trabajo y la línea que une el centro del vano de iluminación con el punto donde se mide la iluminación.

c) iluminación combinada, por la fórmula:

$$e_i = e_0^{mín.} (r_1 - 1) + e_0^{med.} (r_2 - 1) \tag{7}$$

donde:

$e_0^{mín.}$ = coeficiente mínimo de iluminación natural según el corte característico para la iluminación lateral (se calcula por la fórmula (4)).

$e_0^{med.}$ = coeficiente medio de iluminación natural según el corte característico para la iluminación cenital (se calcula por la fórmula (4) en puntos del local).

r_1 y r_2 = coeficientes que consideran el aumento de la iluminación natural debido a la luz reflejada por las superficies interiores del local. Este valor se busca en las tablas 6 y 7 en dependencia del coeficiente promedio de reflexión (ρ prom.) de las superficies interiores del local.

El valor de ρ prom. se obtiene por la fórmula:

$$\rho \text{ prom.} = \frac{\rho_1 A_1 + \rho_2 A_2 + \dots + \rho_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (8)$$

donde:

$\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ = coeficientes de reflexión de las superficies interiores del local (ver tablas 8 y 9).

A_1, A_2, \dots, A_n = áreas de las superficies interiores del local.

Tabla 6 Valores del coeficiente "r₁" que contempla la luz reflejada por las superficies interiores en caso de iluminación lateral.

Coeficiente promedio de reflexión de las paredes, techo y piso del local (ρ prom.)	Valores del coeficiente r ₁	
	con iluminación unilateral	con iluminación bilateral
	a	b
0,5	4	2,2
0,4	3	1,7
0,3	2	1,2

Tabla 7 Valores del coeficiente r₂ que considera la luz reflejada por las superficies interiores en caso de iluminación cenital

Cantidad de luces con monitores en el local	Coeficiente promedio de reflexión de las paredes, techo y piso del local (ρ prom.)	Valores del coeficiente r ₂ con una relación de la altura respecto al ancho del local h/L			
		0,16	0,36	0,65	1
1	0,5	1,5	1,6	1,7	1,9
	0,4	1,4	1,5	1,6	1,7
	0,3	1,3	1,3	1,4	1,5
2	0,5	1,4	1,5	1,6	1,7
	0,4	1,3	1,4	1,5	1,6
	0,3	1,2	1,3	1,4	1,5
3 y más	0,5	1,3	1,3	1,3	1,3
	0,4	1,2	1,2	1,2	1,2
	0,3	1,1	1,1	1,1	1,1

Notas. El valor del coeficiente r₂ en los monitores en forma de diente debe multiplicarse por 1,2.

Altura (h) - distancia entre el plano horizontal de trabajo y el borde inferior del cristal del monitor.

Tabla 8 Factor promedio de reflexión ρ de los colores (ver nota 2)

Blanco	0,75-0,85
Beige	0,62-0,70
Amarillo claro	0,60-0,70
Amarillo oscuro	0,50-0,60
Rojo claro	0,40-0,50
Rojo oscuro	0,15-0,30
Bermellón	0,15
Verde claro	0,45-0,65
Verde oscuro	0,05-0,30
Azul claro	0,40-0,60
Azul oscuro	0,05-0,20
Azul cobalto	0,15
Pardo	0,12-0,25
Gris claro	0,40-0,60
Gris oscuro	0,15-0,25
Negro	0,01
Marrón claro	0,3-0,4
Marrón oscuro	0,1-0,2
Rosado	0,45-0,55

Nota. 2 Valores internacionales.

Tabla 9. Factor promedio de reflexión ρ de materiales

Tipo de superficie	Factor
Yeso	0,80
Esmalte blanco	0,60-0,75
Plata pulida	0,91-0,95
Aluminio pulido	0,75-0,85
Aluminio mate	0,6
Pintura de aluminio	0,6-0,7
Acero	0,28
Cromo brillante	0,62-0,68
Acero níquel	0,55-0,65
Hojalata nueva	0,7
Mármol blanco	0,5-0,8
Alabastro	0,2-0,5
Piedra caliza	0,35-0,65
Arena clara	0,30-0,4
Arena oscura	0,15-0,25
Vidrio opaco negro	0,5
Vidrio opaco blanco	0,8
Vidrio transparente (2-4 mm)	0,07-0,02
Espejo	0,7-0,9
Mortero claro	0,35-0,55
Mortero oscuro	0,2-0,3
Hormigón claro	0,3-0,5
Hormigón oscuro	0,2-0,3
Madera clara	0,35-0,50
Madera oscura	0,10-0,20
Papel blanco	0,80-0,85

Tabla 9 (conclusión)

1	2
Papel negro	0,03
Seda	0,1-0,3
Terciopelo negro	0,005
Vegetación	0,03-0,10
Tierra	0,08-0,20
Ladrillo claro	0,3-0,4
Ladrillo oscuro	0,15-0,25
Granito	0,15-0,25
Techo acústico blanco con orificios	0,5-0,65
Yerba verde	0,05-0,01

6.3 Cálculo del coeficiente e_e (luz reflejada por edificios).

El valor de e_e se calcula por la fórmula:

$$e_e = 0,1 e_{ed} \cdot \tau_0 \quad (9)$$

donde:

e_{ed} = valor teórico del coeficiente de iluminación natural originado por el sector de la bóveda celeste tapada por el edificio adyacente.

Se calcula por la fórmula:

$$e_{ed} = 0,01 n_1' \cdot n_2' \quad (\text{ver nota 3})$$

6.4 Cálculo del coeficiente e_t (luz reflejada por el terreno o la cubierta)

El valor de e_t se calcula por la fórmula:

$$e_t = e_0^{mfn} \cdot (r_3 - 1) \quad (10)$$

Nota 3: En el valor de e_{ed} no se consideran las pérdidas de luz (τ_0) ni la no uniformidad de la brillantez de la bóveda celeste (q).

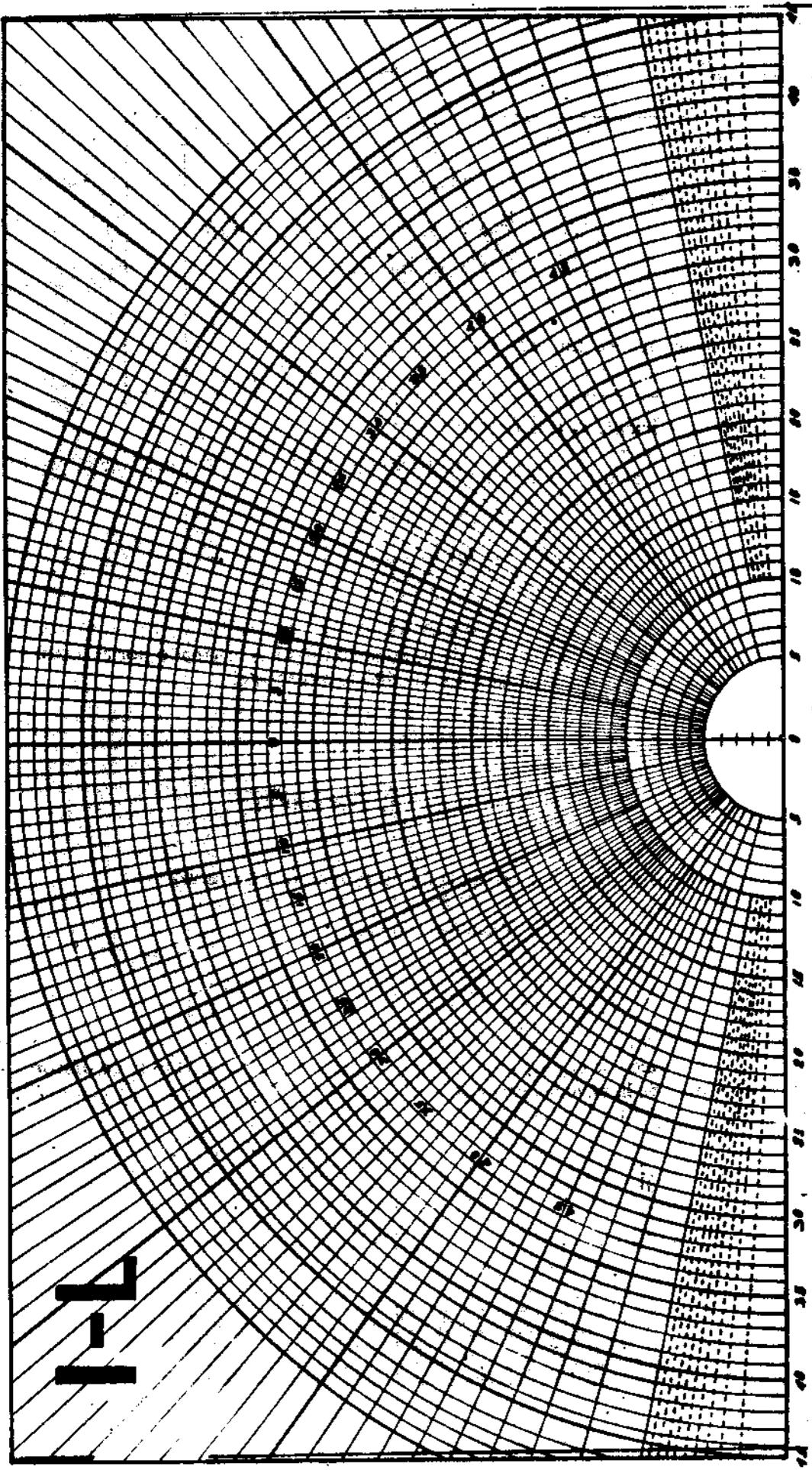


Fig. 5 GRAFICO I-L PARA EL CALCULO DE n_1, n_2

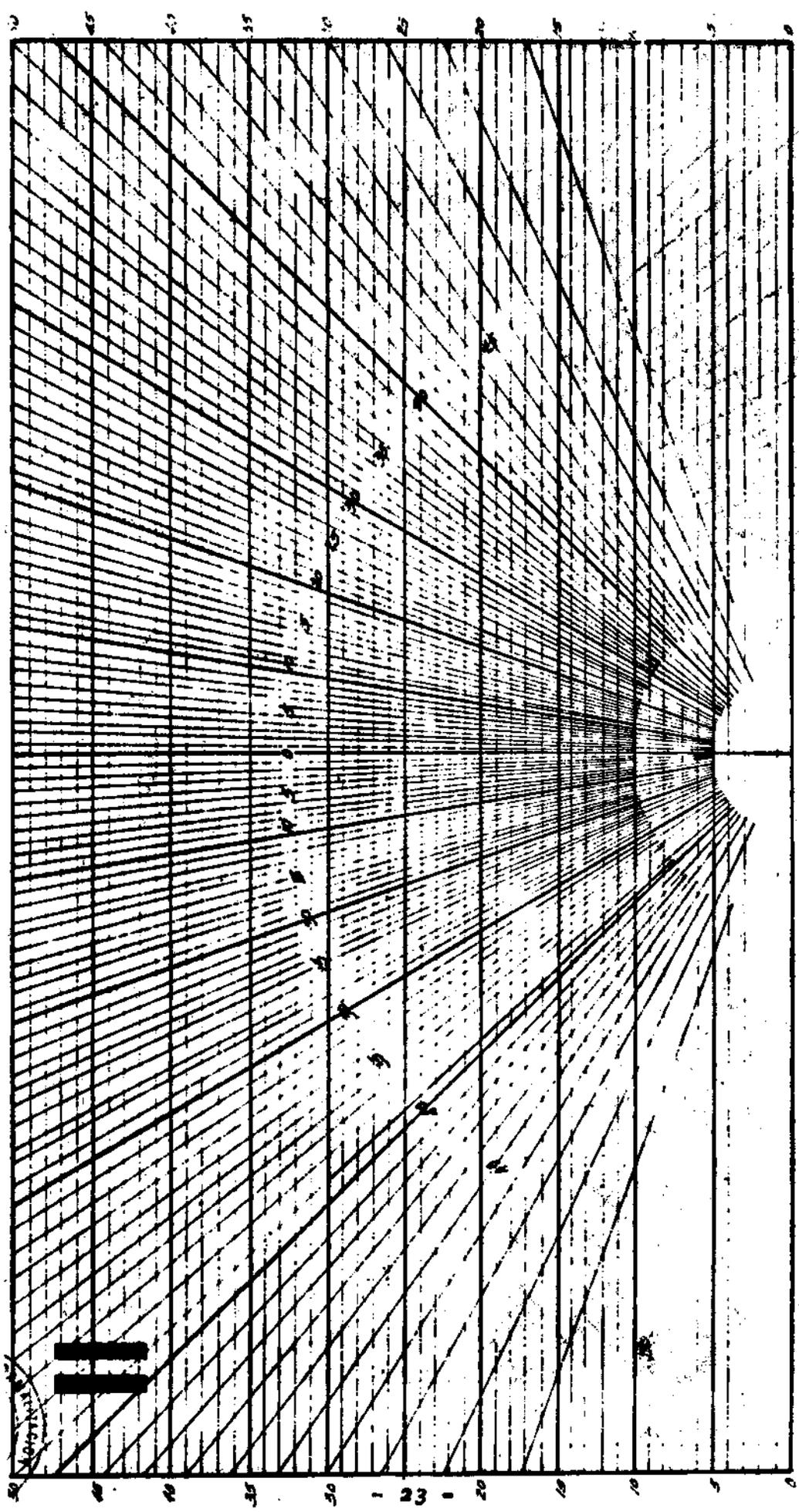


Fig 6

GRAFICO II PARA EL CALCULO DE n_2 y n_2^1

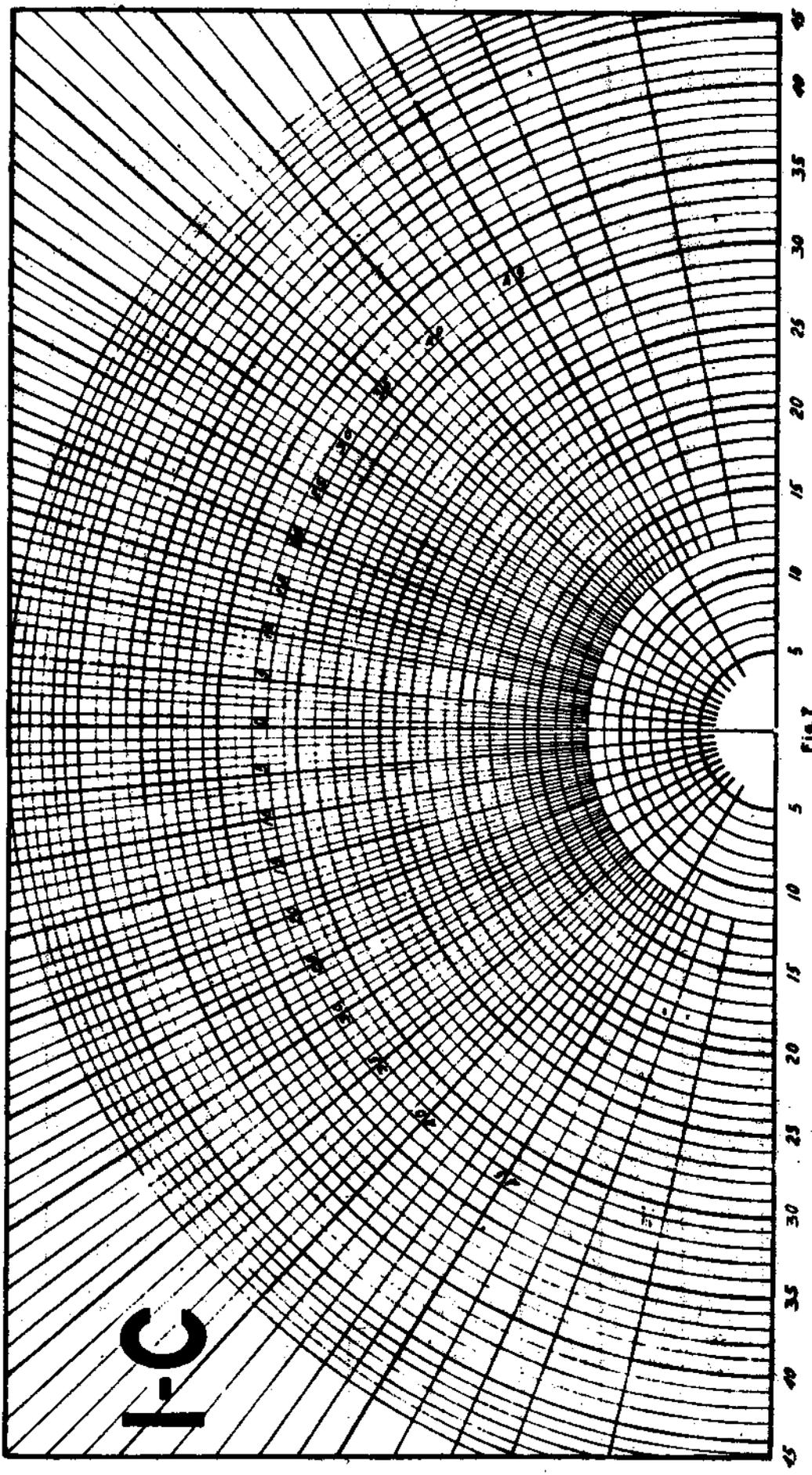


GRAFICO I-C PARA EL CALCULO DE n_1

donde:

e_0^{min} = valor mínimo del coeficiente de iluminación natural según el corte característico (Se calcula por la fórmula 4).

r_s = coeficiente que considera la luz reflejada por el terreno adyacente en caso de iluminación lateral o de la cubierta cuando la iluminación es cenital. (Se determina por la Tabla 10).

Tabla 10 Valor del coeficiente " r_s " que considera la luz reflejada por el suelo cuando la iluminación es lateral y por la cubierta cuando la iluminación es cenital

Coeficiente de reflexión del techo ρ	P/h	Valores de r_s				
		con un coeficiente de reflexión ρ del suelo o de la cubierta				
		0,1	0,2	0,3	0,4	> 0,5
0,75 - 0,80	4-2,5	1,1	1,2	1,25	1,3	1,4

Notas a la tabla:

P = profundidad del local

h = altura desde el plano de trabajo hasta el borde superior de la ventana o hasta el borde inferior del cristal, en caso de monitor.

6.5 Utilización de los gráficos para el cálculo de la iluminación

Para el cálculo de la iluminación lateral se utilizarán los gráficos I-L, II, y para el cálculo de la iluminación cenital se utilizarán los gráficos I-C y II (ver Fig. 5, 6 y 7).

6.5.1 Iluminación lateral

En caso de iluminación lateral el cálculo de la cantidad de rayos que pasan a través del vano de iluminación, utilizando los gráficos I-L y II, se realiza de la forma siguiente:

- el gráfico I-L se coloca sobre el plano de sección transversal del local. El centro "O" del gráfico se hace coincidir con el punto "A", donde se quiere calcular la iluminación y la línea inferior del gráfico se hace coincidir con el plano de trabajo (ver Fig. 8);
- se cuentan los rayos (n_1) que pasan a través del vano de iluminación;
- se toma nota del número de la circunferencia del gráfico I-L que pasa por el punto "C₁" situado en el punto medio del vano de iluminación
- el gráfico II se coloca sobre el plano de planta del local de forma tal que su eje vertical y la línea horizontal cuyo número corresponde con la circunferencia del gráfico I-L mencionada en el inciso anterior, pasen por el punto "C" (ver Fig. 9);
- se cuentan los rayos (n_2) del gráfico II que pasan a través del vano (o vanos) de iluminación.

Los valores n_1 y n_2 así calculados se utilizan en la fórmula (4).

El cálculo de los rayos reflejados por los edificios aledaños (n_1 y n_2) se realiza de igual forma utilizando los gráficos I-L y II (ver Fig. 10).

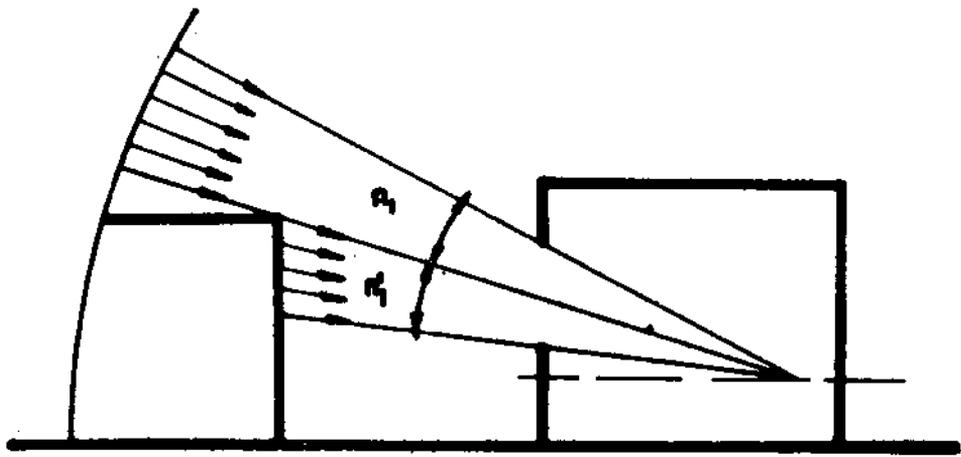


Figura 10

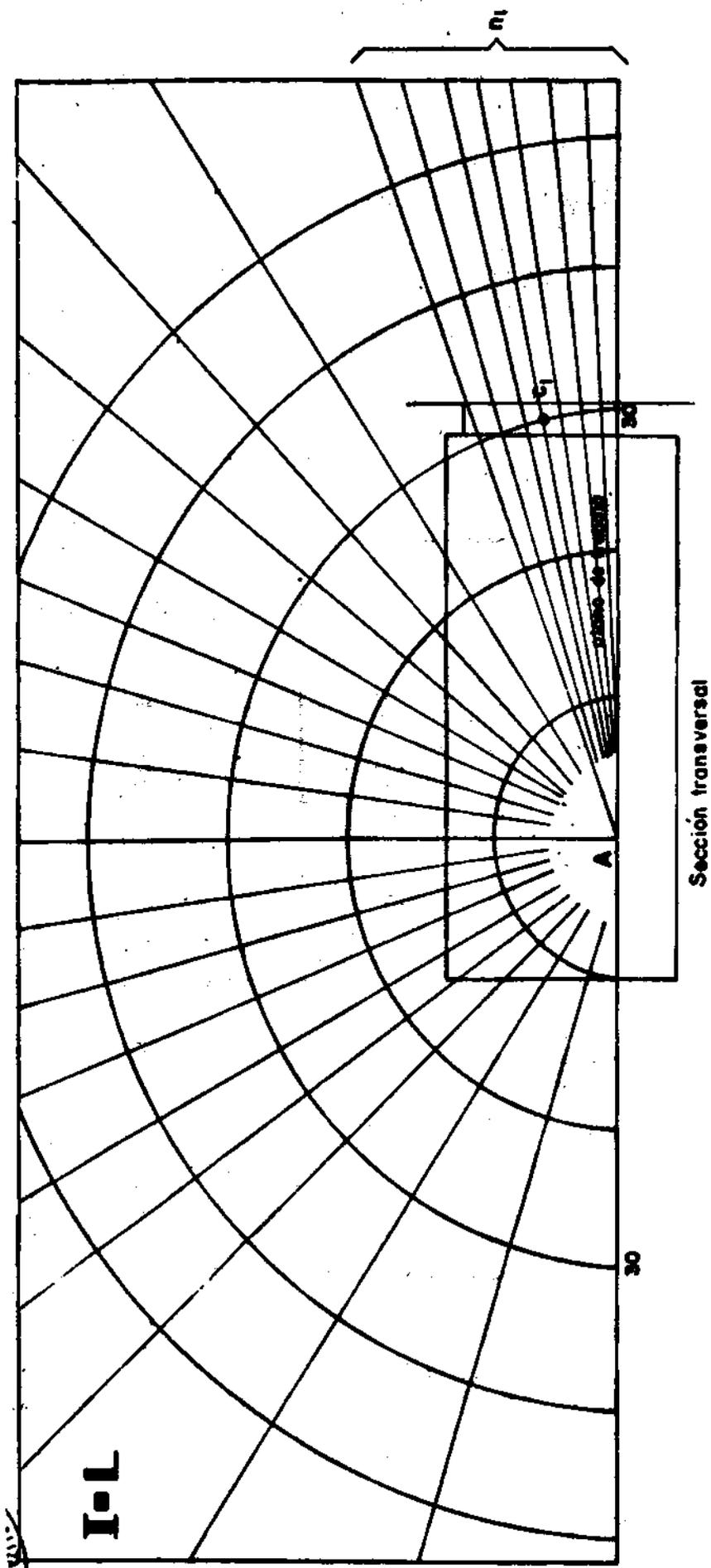


Figura 8. Determinación de la cantidad de rayos n_1 en caso de iluminación lateral.

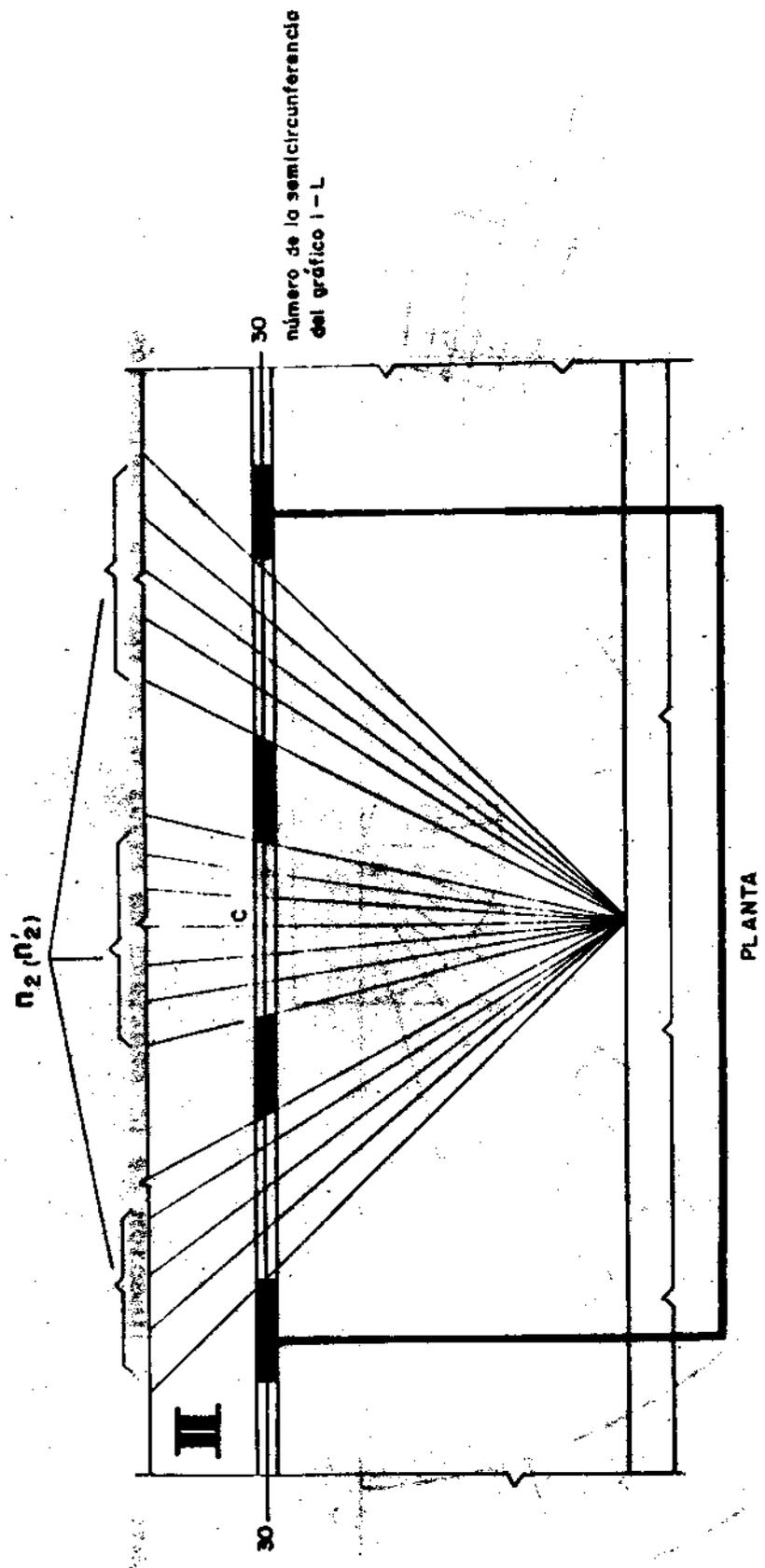


Figura 9. Determinación de la cantidad de rayos n_2 y n'_2 en caso de iluminación lateral

6.5.2 Iluminación cenital

El cálculo de la cantidad de rayos (n_1 y n_2) utilizando los gráficos I-C y II, se realiza de la forma siguiente:

- a) El gráfico I-C se coloca sobre la sección transversal del local. El centro "O" del gráfico se hace coincidir con el punto "B" donde se quiere calcular la iluminación y la línea inferior del gráfico se hace coincidir con el plano de trabajo;
- b) se cuentan los rayos (n_1) que pasan a través del vano de iluminación (ver Figura II);
- c) Se toma nota del número de la semicircunferencia del gráfico I-C que pasa por el punto "C₂" situado en la mitad del vano de iluminación;
- d) El gráfico II se coloca sobre la sección longitudinal del local de forma tal que su eje vertical y la línea horizontal, cuyo número corresponde con la semicircunferencia del gráfico I-C mencionada en el inciso anterior (ver Figura 12);
- e) Se cuentan los rayos (n_2) del gráfico II que pasan a través del vano (o vanos) de iluminación.

Los valores n_1 y n_2 así calculados se utilizan en la fórmula (4).

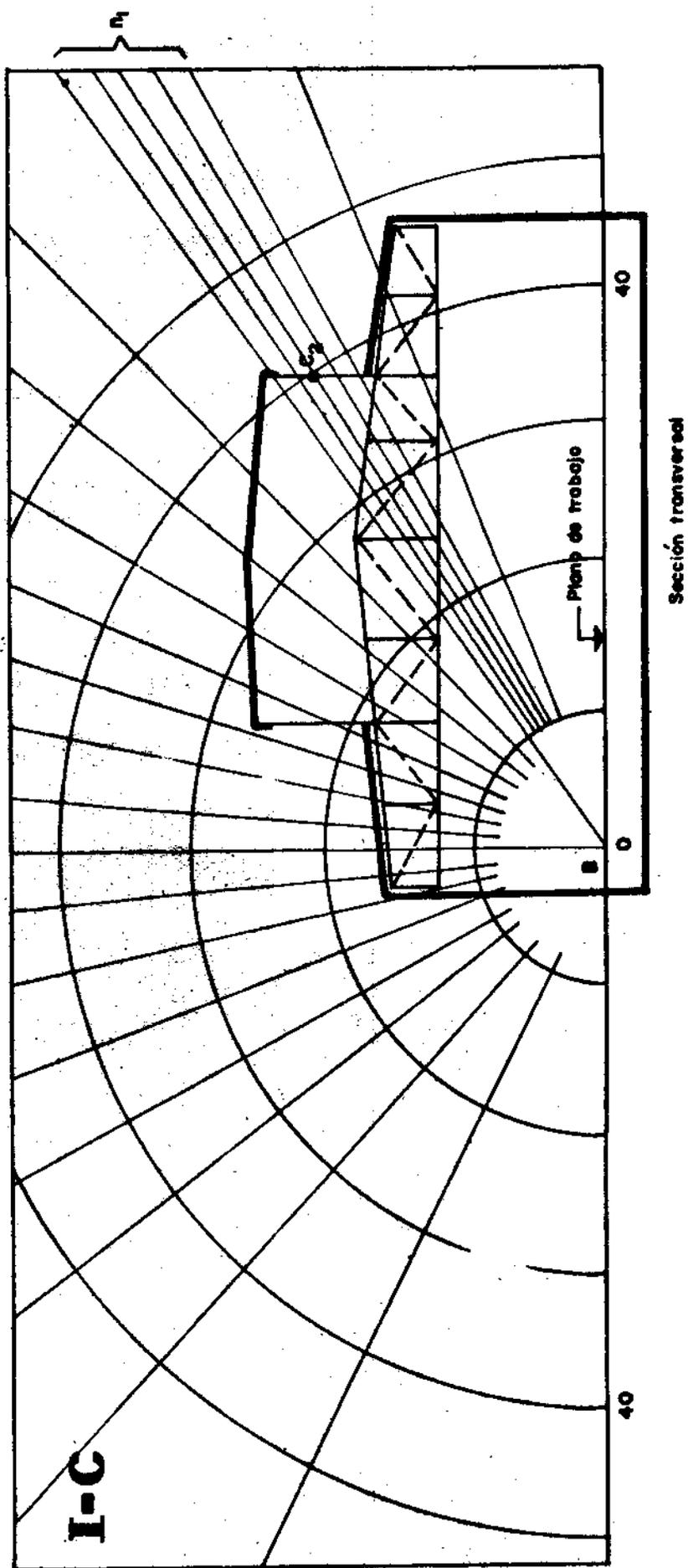


Figura 11. Determinación de la cantidad de rayos n_1 en caso de iluminación cenital

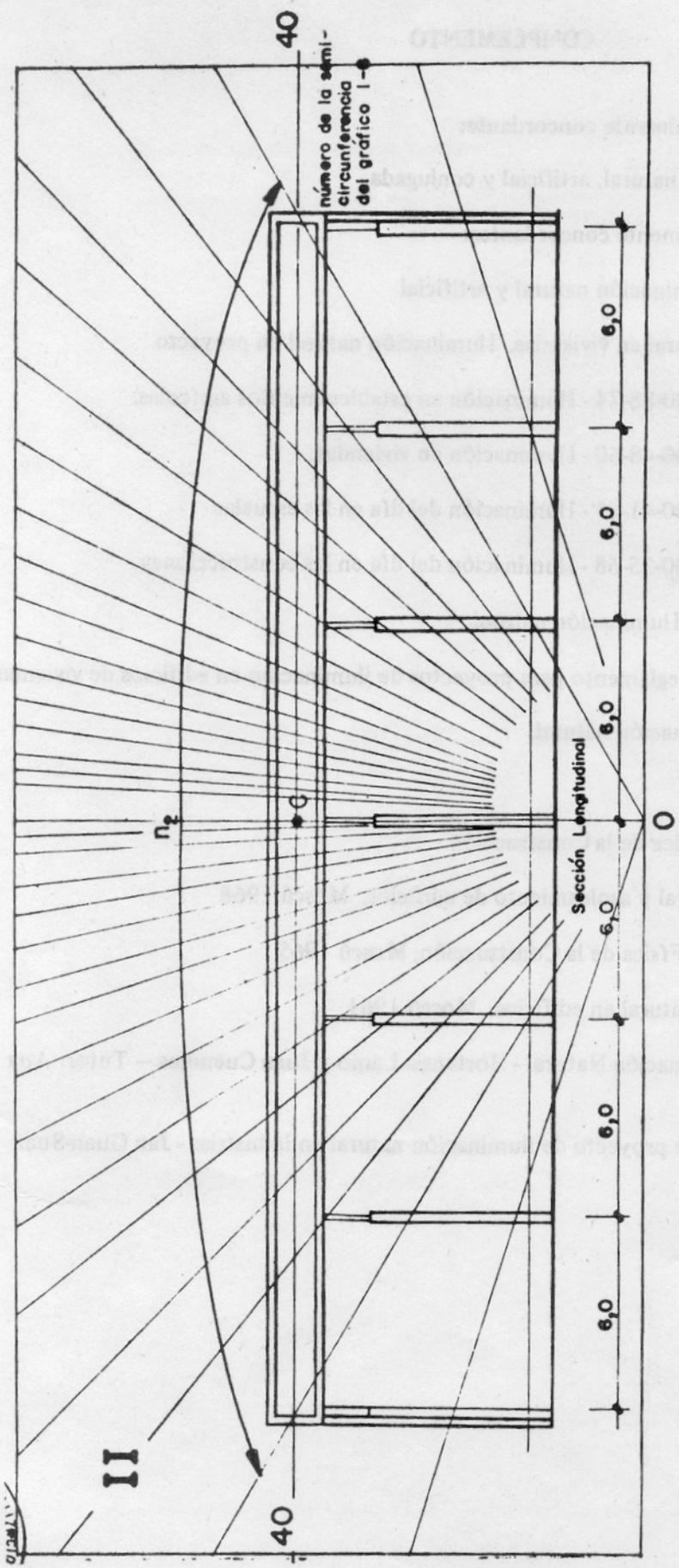


Figura 12. Determinación de la cantidad de rayos n_2 en caso de iluminación cenital.

COMPLEMENTO

Norma internacional parcialmente concordante:

CAME 1977. Iluminación natural, artificial y conjugada

Normas extranjeras parcialmente concordantes:

URSS - SNIP 11-4-79 Iluminación natural y artificial

Bulgaria - Iluminación natural en viviendas. Iluminación natural en proyecto

Checoslovaquia - CSN 36-00-88-74 - Iluminación en establecimientos agrícolas.

CSN 36-00-48-60 - Iluminación en viviendas.

CSN 36-00-41-65 - Iluminación del día en las escuelas

CSN 36-00-35-68 - Iluminación del día en las construcciones

RDA TGL - 07-00-01-02 - Iluminación natural

Hungría ESZ 201/1-75 - Reglamento para proyectos de iluminación en edificios de vivienda

Chile NCh 25-n-72 - Iluminación natural.

Bibliografía consultada:

Instituto Investigación Física de la Construcción

Gostroi iluminación natural y asoleamiento de edificios. Moscú 1968

N.M. Gusev, P.P. Klinov. Física de la Construcción, Moscú 1965

N.M. Gusev Iluminación natural en edificios. Moscú 1961.

Tesis de grado sobre Iluminación Natural - Hortensia Lanio y Juan Cuendias – Tutor: Ana María de la Peña

Tesis de Candidatura sobre proyecto de iluminación natural en industrias - Jan Guan-Suan
Tutor: N.M. Gusev.

Ejemplo de cálculo de la iluminación lateral de un local

Cálculo de la iluminación de un local de $6,0 \times 6,0 \times 3,75$ m de puntal y un antepecho de $1,75$ m con un área de fenestración de 12 m^2 . Se utilizarán ventanas miami de madera y puerta de $0,90$ m pintadas de blanco. Las paredes del local serán verde claro, el techo blanco y el piso de granito.

El local se destinará a sala de hospitalización.

A $3,70$ m de la fachada del local existe un muro de $4,50$ m de altura y un largo de 50 m.

En este caso calcularemos el $e_{\text{mín.}}$ en el punto característico P situado a $1,0$ m de la pared opuesta al vacío de iluminación, según el corte característico del local.

Cálculo de e:

$$e = e_0 + e_l + e_e + e_t \quad (3)$$

$$e_0 = 0,01 n_1 \cdot n_2 \cdot q \cdot r_0 \quad (4)$$

Empleando el gráfico I-L determinamos el valor $n_1 = 1,7$

Empleando el gráfico II determinamos el valor $n_2 = 58$

En función del ángulo $\theta = 15^\circ$ hallamos en la tabla 5 el valor $q = 1,22$

En la tabla 4 encontramos el valor $r_0 = 0,36$

Sustituyendo en (4):

$$e_0 = 0,01 \times 58 \times 1,7 \times 1,22 \times 0,36$$

$$\frac{e_0 = 0,43 \%}{e_l = e_{\text{mín.}}} (r_1 - 1) \quad (5)$$

$e_0^{\text{mín.}} = 0,43$ Según la fórmula (4)

Para hallar r_1 es necesario determinar primero el valor ρ prom.

$$\rho \text{ prom.} = \frac{\rho_1 A_1 + \rho_2 A_2 + \dots + \rho_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (8)$$

Cálculo de las áreas:

Area de paredes (A_1)

$$A_1 = (6,0 \times 6,0) 2 + (6,0 \times 3,75) - (0,90 \times 2,10)$$

$$A_1 = 65,61 \text{ m}^2$$

Area de puertas (A_2)

$$A_2 = 0,90 \times 2,10 = 1,89 \text{ m}^2$$

Area de techo (A_3)

$$A_3 = 6,0 \times 6,0 = 36,0 \text{ m}^2$$

Area de piso (A_4)

$$A_4 = A_3 = 36,0 \text{ m}^2$$

Sustituyendo en (8) los valores de las áreas calculadas y los valores de ρ hallados en las tablas 8 y 9 tenemos:

$$\rho \text{ prom.} = \frac{(0,5 \times 65,61) + (0,8 \times 1,89) + (0,80 \times 36,0) + 0,2 \times 36,0}{65,61 + 1,89 + 36,0 + 36,0}$$

$$\rho \text{ prom.} = 0,50$$

Con este valor hallamos en la Tabla 6 el valor

$$r_1 = 4$$

Sustituyendo en (5)

$$e_i = 0,43 (4-1)$$

$$\frac{e_i = 1,29 \%}{e_e = 0,1 e_{ed} \tau_0} \quad (9)$$

donde:

$$e_{ed} = 0,01 n_1^2 n_2^2$$

$$e_{ed} = 0,01 \times 2,5 \times 58 = 1,45$$

Sustituyendo en (9)

$$e_e = 0,1 \times 1,45 \times 0,36$$

$$\frac{e_e = 0,05 \%}{e_t = e_0^{\text{mfn.}} (r_3 - 1)} \quad (10)$$

Para hallar r_3 en la Tabla 10 es necesario calcular primero la relación.

$$\frac{p}{h} = \frac{6,0}{2,95} = 2,0$$

En este caso las reflexiones del terreno no se consideran por ser

$$2,0 < 2,5$$

Sustituyendo en (3)

$$e = 0,43 + 1,29 + 0,05$$

$$e = 1,77 \%$$

El valor obtenido cumple con el valor normalizado ($e_{m(n)}$) el cual, para la función del local según la Tabla 1 es de 1,5%.

ANEXO B

Ejemplo de cálculo de la iluminación cenital de un local

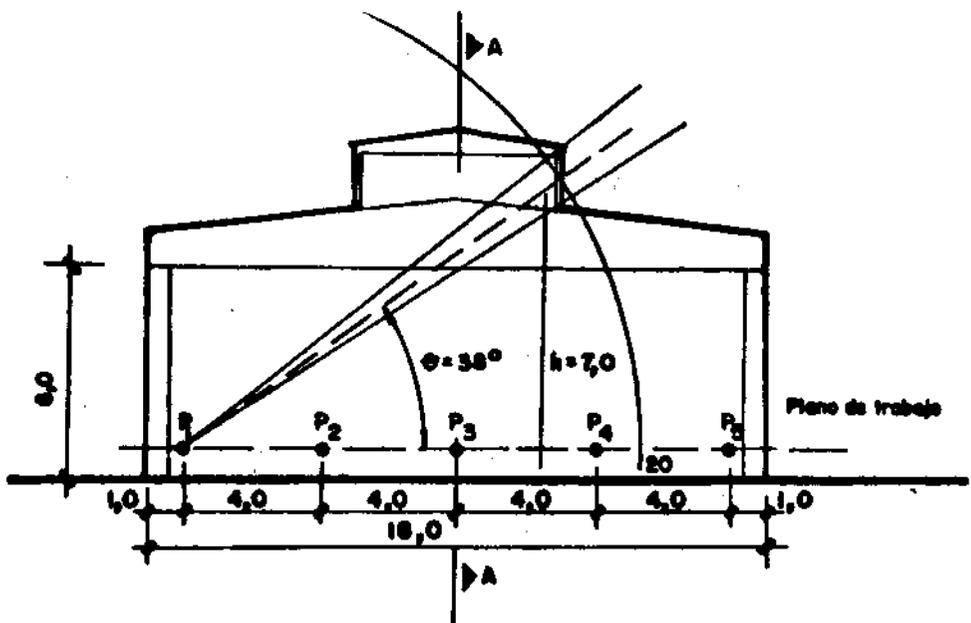
Cálculo de la iluminación cenital de una nave de producción de 18 m de luz y 36 m de largo.

Puntal de 6 m con un monitor central rectangular con cristales a ambos lados.

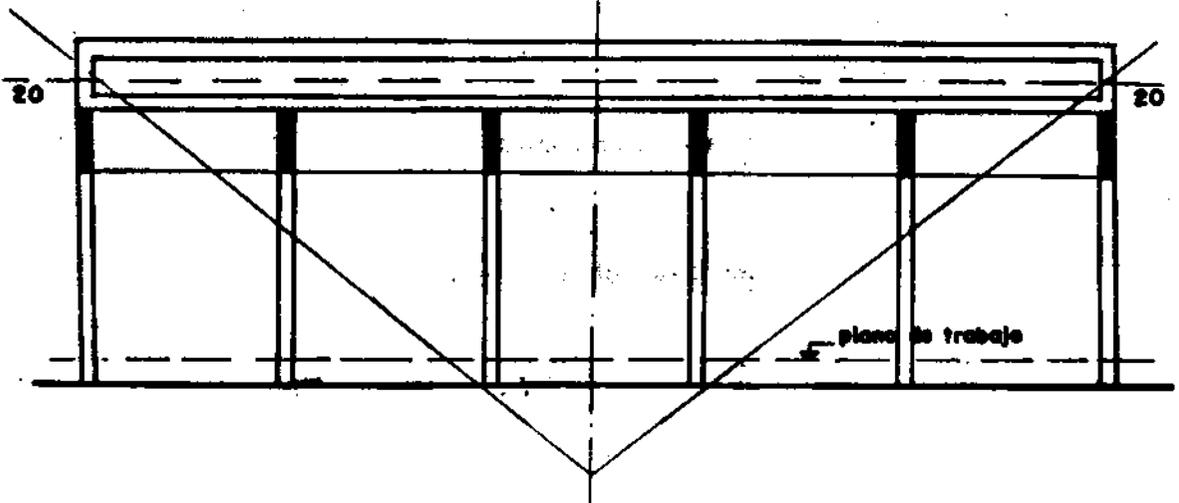
La altura del plano de trabajo es de 0,80 m.

Las paredes están pintadas de azul claro. El techo está pintado de blanco y el piso es de hormigón y la cubierta tiene terminación de papel de aluminio.

La puerta de entrada de 3 x 3,60 m es gris oscuro.



Sección Transversal



Sección Longitudinal A-A

Cálculo de e por la fórmula (3):

$$e = e_0 + e_1 + e_2 + e_3$$

En este caso $e_2 = 0$ por no existir obstrucción

Cálculo de e_0 para los cinco puntos característicos

$$e_0 = 0,01 n_1 \cdot n_2 \cdot q \cdot$$

Cálculo de e_0 para punto P_1

Empleando el gráfico I-C determinamos el valor $n_1 = 3$

Empleando el gráfico II determinamos el valor $n_2 = 92$

En función del ángulo $\theta = 38^\circ$ hallamos en la Tabla 5 el valor $q = 1,29$

En la Tabla 3 encontramos el valor $r_0 = 0,5$

$$e_0 = 0,01 \times 3 \times 92 \times 1,29 \times 0,5$$

$$\underline{e_0 = 1,78}$$

Cálculo de e_0 para el punto P_2

$$e_0 = 0,01 \times 4 \times 94 \times 1,28 \times 0,5$$

$$\underline{e_0 = 2,41}$$

Cálculo de e_0 para el punto P_3

$$e_0 = 0,01 \times 6 \times 96 \times 0,96 \times 0,5$$

$$\underline{e_0 = 2,76}$$

El valor de e_0 para $P_4 = P_2 = 2,41$

El valor de e_0 para $P_5 = P_1 = 1,78$

Calculemos e_1 , el cual es igual para todos los puntos:

$$e_1 = e_0^{\text{med.}} (r_2 - 1) \quad (6)$$

Primeramente hallemos $e_0^{\text{med.}}$ por la fórmula (2);

$$e_0^{\text{med.}} = \frac{e_0(1) + e_0(2) + e_0(3) + e_0(4) + e_0(5)}{4}$$

$$e_0^{\text{med.}} = \frac{\frac{1,78}{2} + 2,41 + 2,76 + 2,41 + \frac{1,78}{2}}{4}$$

$$e_0^{\text{med.}} = 2,34$$

Para hallar r_2 es necesario determinar primero el valor de ρ prom. por la fórmula (8):

$$\rho \text{ prom.} = \frac{\rho_1 A_1 + \rho_2 A_2 + \dots + \rho_n A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Cálculo de las áreas:

Area de paredes (A_1)

$$A_1 = (36 \times 6,80) + (36 \times 6,80) - (3 \times 3,60) + (18 \times 7,20) \cdot 2$$

$$A_1 = 244,8 + 234 + 259,2$$

$$A_1 = 738 \text{ m}^2$$

Area de piso (A_2)

$$A_2 = (18 \times 36)$$

$$A_2 = 648 \text{ m}^2$$

Area del techo del monitor (A_3)

$$A_3 = (6 \times 36)$$

$$A_3 = 236 \text{ m}^2$$

Area de la puerta (A_4)

$$A_4 = 3 \times 3,60$$

$$A_4 = 10,8 \text{ m}^2$$

Sustituyendo en (8) los valores de las áreas calculadas y los valores de ρ hallados en las tablas 8 y 9, tenemos:

$$\rho \text{ prom.} = \frac{(738 \times 0,5) + (648 \times 0,3) + (236 \times 0,8) + (10,8 \times 0,2)}{738 + 648 + 236 + 10,8}$$

$$\rho \text{ prom.} = \frac{754,36}{1\ 632,8}$$

$$\rho \text{ prom.} = 0,46 \approx 0,5$$

Con este valor y la relación $\frac{h}{L} = \frac{7}{18} = 0,38$

Hallamos en la tabla (7) el valor $r_2 = 1,6$

Sustituyendo en (6) tenemos:

$$e_i = 2,34 (1,6 - 1)$$

$$e_i = 1,4 \text{ (para todos los puntos)}$$

Cálculo de las reflexiones producidas por la cubierta (e_t). El valor de e_t es igual para todos los puntos característicos.

$$e_t = e_0^{mfn} (r_s - 1) \quad (10)$$

Hallamos el valor de r_s en la tabla 10

$$\frac{p}{h} = \frac{18}{7} = 2,5 \text{ y como el techo tiene } \rho = 0,8$$

$$\text{entonces } r_s = 1,4$$

Sustituyendo en (10)

$$e_t = 1,78(1,4 - 1)$$

$$e_t = 0,71 \text{ (para todos los puntos)}$$

Calculamos el valor de e para los diferentes puntos característicos por la fórmula (3)

puntos

$$P_1 = P_2 \quad e_1 = 1,78 + 1,4 + 0,71$$

$$e_1 = e_2 = 3,89$$

puntos

$$P_2 = P_4 \quad e_2 = 2,41 + 1,4 + 0,71$$

$$e_2 = e_4 = 4,52$$

punto

$$P_3 \quad e_3 = 2,76 + 1,4 + 0,71$$

$$e_3 = 4,87$$

El valor medio del coeficiente de iluminación natural será, por la fórmula (2):

$$e_{med.} = \frac{\frac{3,89}{2} + 4,52 + 4,87 + 4,52 + \frac{3,89}{2}}{4}$$

$$e_{med.} = 4,45$$

Empleando la fórmula (1) podemos conocer el nivel de iluminación natural medio, que tendremos en el local:

$$e = \frac{E}{E_H} \cdot 100 \%$$

$$E = \frac{e \cdot E_H}{100}$$

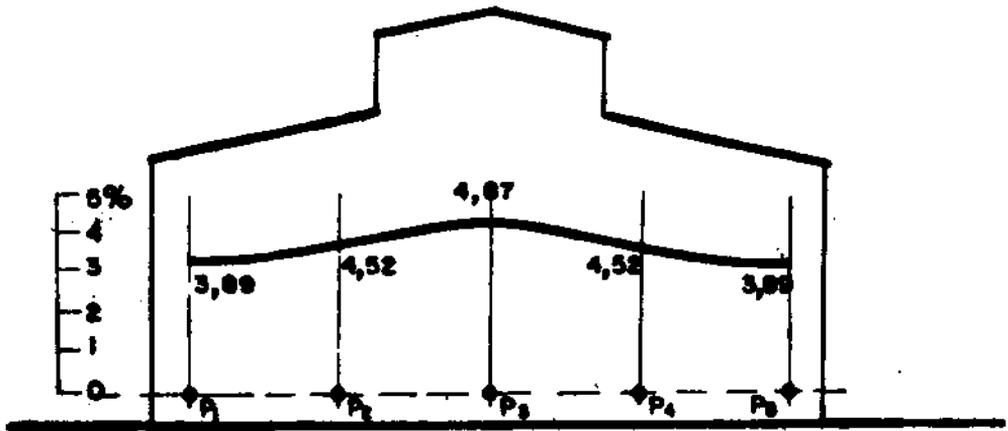
$$E = \frac{4,45 \times 10\,000}{100}$$

E = 445 lux

Calculemos la uniformidad de la iluminación:

$$\frac{e_{\text{mín.}}}{e_{\text{máx.}}} = \frac{3,89}{4,87} = 0,80 > 0,5$$

Por lo tanto la uniformidad de la iluminación es correcta.



Curva de distribución de la iluminación en el local