

MÉTODOS DE CÁLCULO DE LA ILUMINACIÓN

Desarrollados por Arqs. Laura Collet y Arturo Maristany (2005)

METODO PUNTO POR PUNTO

GENERALIDADES

El método Punto por Punto, es uno de los sistemas básicos que permiten predeterminar la iluminación que produce una instalación dada. Se basa en la cantidad real de luz que alcanza cada punto del área iluminada. La forma en que se distribuye la luz, depende de las características de la fuente emisora, tal como forma, tamaño, etc. Sin embargo, en forma general, las fuentes luminosas pueden ser clasificadas en:

- a) Fuentes Puntiformes: Son las que responden a la *ley cuadrática inversa*: La iluminación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia existente entre la fuente de luz y la superficie iluminada.

$$E = \frac{I}{d^2}$$

en donde:

E = Iluminación [lux]

I = Intensidad Luminosa [Candelas]

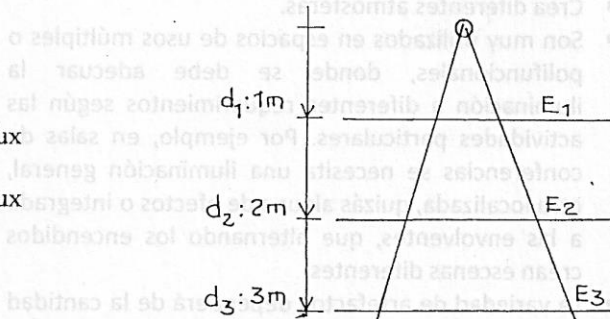
d = Distancia en metros entre la fuente de luz y la superficie iluminada.

Esto significa, que al alejarse una superficie de una fuente luminosa, la iluminación decrece con el cuadrado de la distancia, por ejemplo:

Si $E_1 = 2000 \text{ lux}$

$$E_2 = E_1 / d_2^2 = (2000 / 4) \text{ lux} = 500 \text{ lux}$$

$$E_3 = E_1 / d_3^2 = (2000 / 9) \text{ lux} = 222 \text{ lux}$$



Un ejemplo de fuentes puntiformes lo constituyen las lámparas incandescentes solas o en globo cerrado.

- b) Fuentes lineales Infinitas: En este tipo de fuentes, la iluminación es inversamente proporcional a la distancia, es decir:

$$E = I / d$$

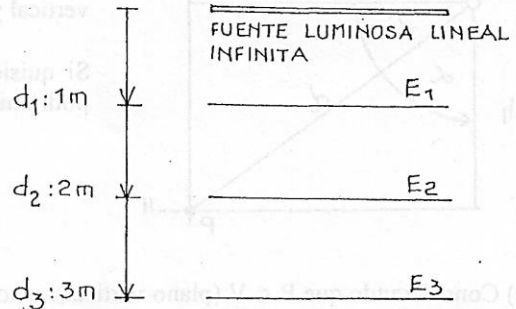
Esto significa que al alejarse una superficie de una fuente luminosa lineal, la iluminación decrece con la distancia.

Por ejemplo:

Si $E_1 = 2000 \text{ lux}$

$$E_2 = E_1 / d_2 = (2000 / 2) \text{ lux} = 1000 \text{ lux}$$

$$E_3 = E_1 / d_3 = (2000 / 3) \text{ lux} = 666 \text{ lux}$$



Ejemplos de fuentes lineales de longitud infinita lo constituyen una fila continua de lámparas fluorescentes o incluso una lámpara fluorescente a corta distancia.

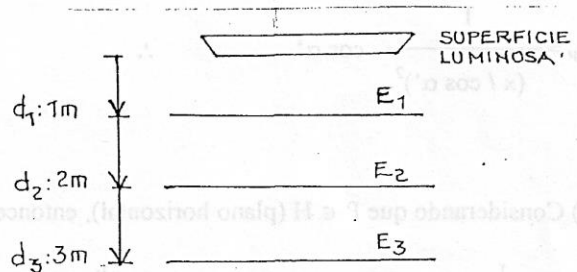
c) Fuentes Superficiales de Area Infinita: En este tipo de fuentes la iluminación no cambia, *dentro de ciertos valores*, con la distancia.

Por ejemplo:

Si $E_1 = 2000 \text{ lux}$

$$E_2 = 2000 \text{ lux}$$

$$E_3 = 2000 \text{ lux}$$



Ejemplos de este tipo de fuentes lo constituyen los paneles luminosos o techos totalmente iluminados en sistema indirecto. La iluminación para cada una de las diferentes distancias no cambia dentro de ciertos límites.

USO DEL METODO PUNTO POR PUNTO

Este método se basa para fuentes de luz puntiformes, que radian uniformemente en todas direcciones. Sin embargo puede utilizarse para cualquier tipo de fuente a condición de que la distancia entre la superficie iluminada y la fuente sea lo suficientemente grande con respecto al tamaño de la fuente.

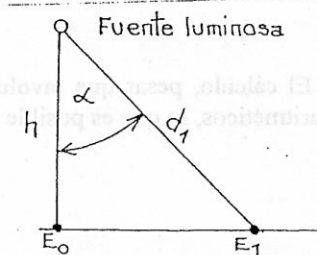
Puede utilizarse por ejemplo, para calcular la iluminación de focos productores de haces, proyectores, etc, no así para largas fuentes lineales o extensas fuentes superficiales.

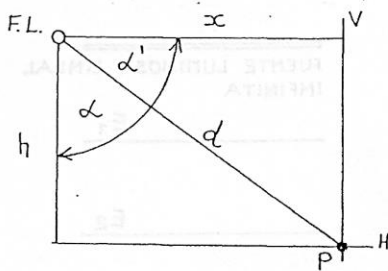
Cumpléndose estas condiciones, y con el auxilio de las curvas de distribución luminosa de las fuentes a considerar, podemos averiguar el valor de la iluminación para cualquier punto ubicado en un plano horizontal o vertical.

Recordemos primeramente la *ley fundamental de la luminotecnica*: La iluminación producida por un haz de luz oblicuo en un punto de un plano es directamente proporcional a la intensidad luminosa de la fuente, al coseno del ángulo que forma dicho haz con la perpendicular trazada desde la fuente al plano, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la fuente al punto iluminado.

$$E_1 = \frac{I}{d_1^2} \times \cos \alpha$$

Si $\alpha = 0^\circ$ $\therefore E_0 = I / h^2$ pues $\cos 0^\circ = 1$





Supongamos un artefacto F, ubicado a una distancia x de un plano vertical y a una distancia h de un plano horizontal.

Si quisiéramos calcular el valor de la iluminación en el punto P, podríamos hacerlo por dos caminos:

a) Considerando que $P \in V$ (plano vertical), entonces:

$$E_p = \frac{I}{d^2} \cos \alpha', \text{ pero como } \cos \alpha' = \frac{x}{d} \quad \therefore d = \frac{x}{\cos \alpha'} \text{ y reemplazando obtenemos:}$$

$$E_p = \frac{I}{(x / \cos \alpha')^2} \cos \alpha' \quad \therefore$$

$$E_p = \frac{I}{x^2} \cos^3 \alpha'$$

b) Considerando que $P \in H$ (plano horizontal), entonces:

$$E_p = \frac{I}{d^2} \cos \alpha', \text{ pero como } \cos \alpha' = \frac{h}{d} \quad \therefore d = \frac{h}{\cos \alpha'} \text{ y reemplazando obtenemos:}$$

$$E_p = \frac{I}{(h / \cos \alpha')^2} \cos \alpha' \quad \therefore$$

$$E_p = \frac{I}{h^2} \cos^3 \alpha'$$

APLICACION DEL METODO PUNTO POR PUNTO

Algunas de las aplicaciones de este método:

- Cálculo de iluminación y ubicación de equipos.
- Comparación del rendimiento y control de luz para distintas fuentes luminosas.
- Estudio de iluminación callejera, etc.

El cálculo en sí: El cálculo, pesar que involucra ecuaciones trigonométricas, puede ser obtenido mediante simples cálculos aritméticos, lo que es posible por hallarse tabulado un cierto número de constantes.

Para facilitar el cálculo se establecen los siguientes pasos:

1) Enumeración de los requerimientos y datos necesarios:

- Nivel de iluminación media (E_m) requerido. Unidad: lux.
- Uniformidad requerida (U).
- Altura de suspensión de los artefactos al plano que se quiere iluminar o plano de trabajo (h). Unidad: m.
- Lámpara utilizada, potencia (Unidad: watt) y flujo luminoso (Unidad: Lumen).
- Curva de Intensidades en el plano vertical que contiene a los centros de los artefactos (se deberá verificar si la curva viene dada para 1000 Lm, o para una determinada lámpara).

2) Confección de la Tabla Nro.1

En función de los datos se confecciona la tabla, en donde:

I = Intensidad Luminosa. Unidad: Candela (verificar si son o no para 1000 Lm)

E = Iluminación en cada uno de los puntos A, B, C, D, ..., que se quieren iluminar sobre el plano de trabajo, ubicados a 0° , 10° , 20° , 30° , 40° , 50° , etc, con respecto al eje vertical que pasa por el centro de los artefactos.

$\cos^3 \alpha$ = Función trigonométrica tabulada para cada uno de los valores de α y que se detallan a continuación:

α	$\cos^3 \alpha$
0	1.000
5	0.989
10	0.955
15	0.901
20	0.830
25	0.744
30	0.650
35	0.550
40	0.450
45	0.354

α	$\cos^3 \alpha$
45	0.354
50	0.266
55	0.189
60	0.126
65	0.075
70	0.040
75	0.017
80	0.005
85	0.0007
90	0.000

TABLA N° 1

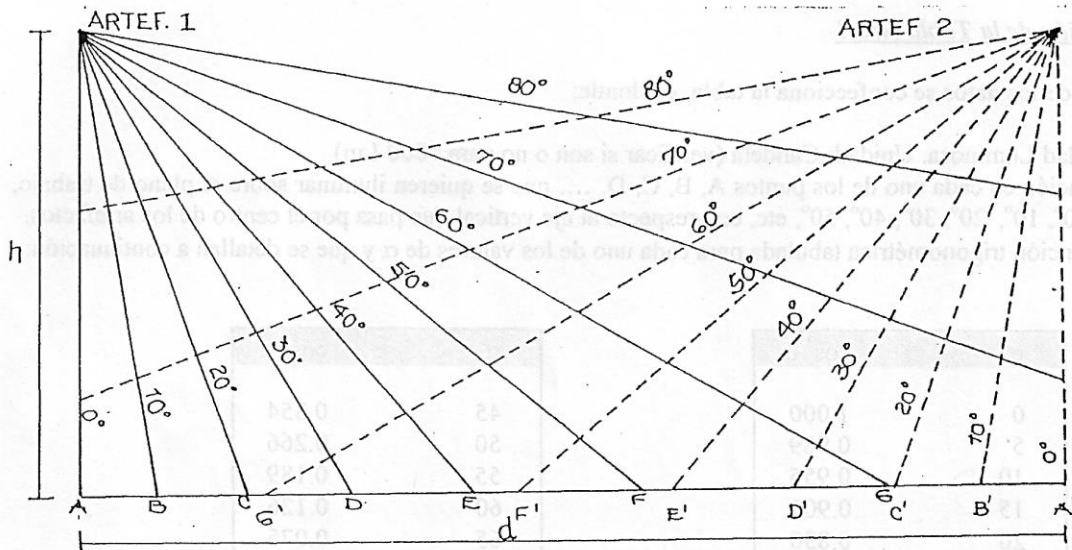
PUNTO	I/h^2	$\hat{\alpha}$	$\cos^3 \alpha$	INTENSIDAD (Cd)	$E = \frac{I}{h^2} \cos^3 \alpha$ (lux)
A B C D E	constante	0° 10° 20° 30° 40°	tabulado	Referida al flujo luminoso de la lámpara utilizada	Recordar que E (lux) es el resultado de un producto de tres factores ya determinados. $E = \frac{1}{h^2} \cdot I \cdot \cos^3 \alpha$

3) Confección del Gráfico N°1

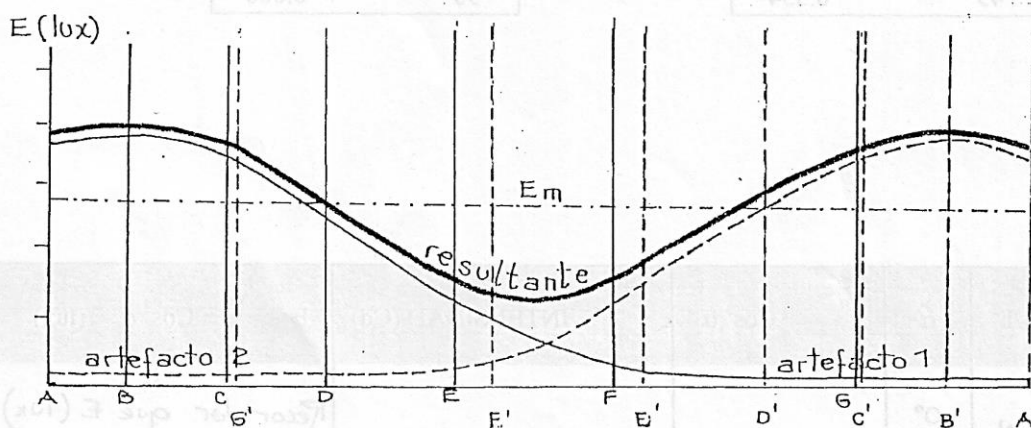
Utilizando la escala apropiada se ubican en corte los artefactos 1 y 2, teniendo en cuenta la distancia entre éstos y el plano de trabajo que se quiere iluminar.

Tomando como lado origen la vertical que pasa por el centro del artefacto 1, se trazan los ángulos de 0° , 10° , 20° , 30° , 40° , 50° , etc, con origen en el centro del artefacto y en sentido antihorario. Un trazado similar, pero con sentido horario se realiza para el artefacto 2, resultando ambos trazados simétricos con respecto a un eje vertical si ambos artefactos fueran iguales en altura.

GRAFICO N°1



4) Confección del Gráfico N° 2



Sobre un eje horizontal se proyectan verticalmente los puntos A, B, C, D, E,..., etc, obtenidos en el gráfico N°1. Se elige una escala adecuada al tamaño del dibujo y se lleva en vertical los valores de la iluminación (E) obtenidos en la tabla N°1, para cada uno de los puntos (A, B, C, D,..., etc.).

Luego se unen los puntos representativos de estos valores resultando de ello la curva de iluminación referida al artefacto 1. La curva referida al artefacto 2, resultaría simétrica a la anterior, siempre que ambos artefactos sean iguales y estén ubicados a la misma altura.

En este gráfico es posible determinar la iluminación resultante por sumatoria de las iluminaciones producidas en cada punto. Gráficamente sobre esta resultante es factible medir la iluminación máxima (E_{max}) y la iluminación mínima (E_{min}), producida por ambos artefactos funcionando a la vez.

La iluminación media (E_m) que se produce se calcula con la siguiente fórmula:

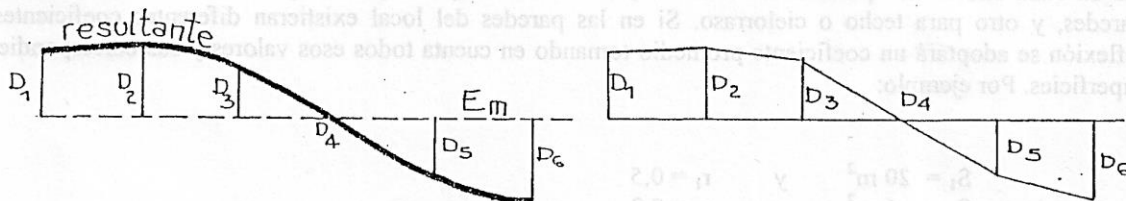
$$E_m = \frac{E_{max} + E_{min}}{2}$$

y se representa en el mismo gráfico por una línea horizontal.

5) Cálculo de la Uniformidad

Para obtener la Uniformidad (U) producida se recurre a medir la diferencia en tantos puntos como sea posible, entre la iluminación resultante y la iluminación media (E_m), resultante, construyendo con estos valores el Gráfico N°3.

GRAFICO N°3



La diferencia media (D_m) se puede obtener aplicando la siguiente fórmula:

$$D_m = \frac{|D_1| + |D_2| + |D_3| + \dots + |D_n|}{n}$$

en donde:

n = Número de mediciones realizadas

$D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$ = Mediciones realizadas y aplicadas en la fórmula en valor absoluto.

Con estos datos calculados se obtiene la uniformidad (U), utilizando la expresión:

$$U = \frac{E_m - D_m}{E_m}$$

6) Verificación

Se comparan E_m y U obtenidas, con las E_m y U requeridas con el objetivo de dar las soluciones en caso de que la instalación no cumpla con las condiciones exigidas.

METODO DEL LUMEN O DEL FLUJO TOTAL

Este método es uno de los más utilizados para el cálculo de la iluminación necesaria en un local, consistiendo en el cálculo del flujo luminoso (Φ) necesario en Lúmenes, que deberá proporcionarse para obtener un nivel de iluminación aconsejable, de acuerdo al tipo de tarea a desarrollarse.

Son varios los factores a tener en cuenta en el desarrollo de este método: sistema de iluminación adoptado, dimensiones y características de reflexión de la luz en los cerramientos del local, tipo de lámpara adoptado, etc.

DATOS E INFORMACIONES PREVIAS AL CALCULO

a) En cuanto al Local

- **Dimensiones:** largo, ancho, alto, plantas y cortes del local, con ubicación del plano de trabajo (PT). Por ejemplo para oficinas la altura del PT sobre el nivel de piso se estima entre 80 y 90 cm.

- **Características Estructurales:** Deberán indicarse ubicación de vigas, columnas, molduras, cielorraso, aberturas, etc.

- **Reflectancias de paredes y techo:** Deberán precisarse colores, texturas y los coeficientes de reflexión de la luz en cada uno de los paramentos interiores, estimando luego un porcentaje de reflexión promedio para paredes, y otro para techo o cielorraso. Si en las paredes del local existieran diferentes coeficientes de reflexión se adoptará un coeficiente promedio tomando en cuenta todos esos valores y sus correspondientes superficies. Por ejemplo:

$S_1 = 20 \text{ m}^2$	y	$r_1 = 0,5$
$S_2 = 6 \text{ m}^2$	y	$r_2 = 0,3$
$S_3 = 16 \text{ m}^2$	y	$r_3 = 0,7$
$S_4 = 10 \text{ m}^2$	y	$r_4 = 0,1$

El coeficiente de reflexión promedio (r_m) será:

$$r_m = \frac{S_1 \cdot r_1 + S_2 \cdot r_2 + S_3 \cdot r_3 + S_4 \cdot r_4}{S_1 + S_2 + S_3 + S_4}$$

Luego:

$$r_m = \frac{20 \times 0,5 + 6 \times 0,3 + 16 \times 0,7 + 10 \times 0,1}{20 + 6 + 16 + 10} = 0,46$$

Para estimar los coeficientes de reflexión según colores o texturas pueden adoptarse los siguientes valores orientativos:

SUPERFICIES PINTADAS	COEFICIENTES DE REFLEXIÓN (r)
Blanco	0,7 a 0,8
Amarillo	0,3 a 0,7
Beige	0,25 a 0,65
Marrón	0,1 a 0,5
Rojo	0,1 a 0,35
Verde	0,1 a 0,6
Azul	0,05 a 0,5
Gris	0,2 a 0,6
Negro	0,04 a 0,08

El haber dado dos valores extremos se debe a que cada color puede poseer varias tonalidades que tienen diferentes coeficientes de reflexión.

MATERIALES	COEFICIENTES DE REFLEXION (r)
Yeso Blanco Seco	0,6 a 0,7
Vidrio ventana 3 mm	0,08
Vidrio esmerilado 3 mm	0,12
Vidrio Opalino 3mm	0,55
Hormigón Visto	0,4 a 0,5
Cemento	0,4 a 0,5
Aluminio	0,7
Ladrillo Visto	0,3

b) En cuanto a la tarea a desarrollarse

- Naturaleza de la tarea.
- Personas, edad, sexo, cantidad de horas de trabajo, lo que orientará en cuanto al nivel de iluminación necesario.
- Exigencias particulares que hacen a la agudeza visual requerida y en consecuencia a la adopción de adecuadas relaciones de luminancias.

c) Otros Datos de Importancia

- Distribución del Equipamiento
- Ubicación en altura y en superficie del plano de trabajo
- Dirección de la visión a los efectos de prevenir deslumbramientos
- Grado de Utilización del local.

METODOLOGIA DE CALCULO

Con toda la información recogida se realiza el cálculo de la siguiente forma:

1^{er} PASO: Determinación del nivel de iluminación requerido

Uno de los datos más importantes para dimensionar adecuadamente una instalación de alumbrado interior es la *cantidad de luz* que se le debe brindar, lo cual incide en el *nivel de iluminación o iluminancia*. Este valor depende de los siguientes factores:

- a) Actividad o función que se desarrolla en el local
b) Características de los ocupantes, tiempo de permanencia en la tarea.

Además es necesario determinar que porcentaje deberá ser adoptado por la iluminación general, y cuál por la localizada. IRAM propone valores de iluminación (general y localizada) para las distintas actividades.

Algunos Niveles De Iluminacion Recomendados Por Iram

VIVIENDA		
Estar:	Iluminación General	100
	Iluminación Localizada	200
	Lectura intermitente, escritura, costura	300
Baño:	Iluminación General	100
	Iluminación Localizada sobre espejos	200
Dormitorio:	Iluminación General y Localizada	200
Cocina:	Iluminación sobre zona de trabajo	200
SALAS DE ESPECTACULOS		
Circulaciones y Salas de Fiestas		300
Salas de Teatro y Concierto (entre actos)		100
CENTROS COMERCIALES		
Iluminación General		500/1000
Vidrieras		1000/2000
Depósitos		300
RESTAURANTES - CAFES		
Iluminación General		300
Comedores - Salones de té		100
TRANSPORTES (aeropuertos, ómnibus, ferrocarril)		
Circulaciones		100
Salas de espera		200
Oficinas		400
Reparaciones		1000
OFICINAS		
Hall público		200
Contaduría, lectura, archivo, trabajo en general		500
Cartografía, proyecto, dibujo detallado		1000
BANCOS		
Iluminación General y cajas de caudales		500
Sobre zonas de escritura y cajas		750
BIBLIOTECAS		
Sala de Lectura, Ficheros		400
Zona de reparación y encuadernación		500
Trabajo de investigación		600
HOSPITALES Y CLINICAS		
Corredores y accesos:	Actividad diurna	100
	Actividad nocturna	30
Local de inyecciones		400
Laboratorios		600
Consultorios Externos		700
Sala de Operaciones:	Iluminación general	700
	Campo Operatorio	15000
Salas de Internación:	Iluminación general	100
	Localizada, lecturas	200
	Observaciones clínicas	400

INDUSTRIA DE ALIMENTACION		
Inspección, mostradores de venta, conserva de carne, corte, deshuesado, preparación de embutidos e iluminación general		100/200
Localizada		300
Fabrica de Productos de rotisería, general		200
Localizada		400
INDUSTRIA MECANICA		
Trabajo mecánico de ensamblaje		600
Trabajo fino, calibración		1200
Trabajo muy fino		2000
Trabajo minucioso, con instrumentos		3000
IMPRENTA		
Iluminación general y compaginación		300
Mesa de correctores para composición		800
Inspección de impresión en colores		1000
JOYERIA		
Zona de trabajo, iluminación general		400
Trabajos finos		900
Corte de gemas, pulido, engarce		1300
Trabajos minuciosos		2000
INDUSTRIA TEXTIL		
Mezcla, cardado, estirado, retorcido		200
Inspección		900
QUIMICA		
Preparación de materia prima		200
laboratorios, ensayo y control		400/600
Pinturas, combinación de colores		1000
Plásticos		300/400
VESTIDO		
Sombreros, vestimenta, fábrica de guantes, limpieza, terminación, forma, costura, etc.		400/600
Control		1000
ESCUELAS		
Aulas comunes		500
Sobre pizarrón (iluminación suplementaria)		1000
Aulas especiales		750
Bibliotecas		400
Circulaciones		200

2^{do} PASO: Elección del Sistema de Alumbrado

Son varios los factores que influyen en el sistema de alumbrado:

- Factores de confort
- Factores estéticos
- Factores técnicos
- Factores económicos.

que inciden en cuanto a la *calidad* que se quiere brindar a la iluminación del local.

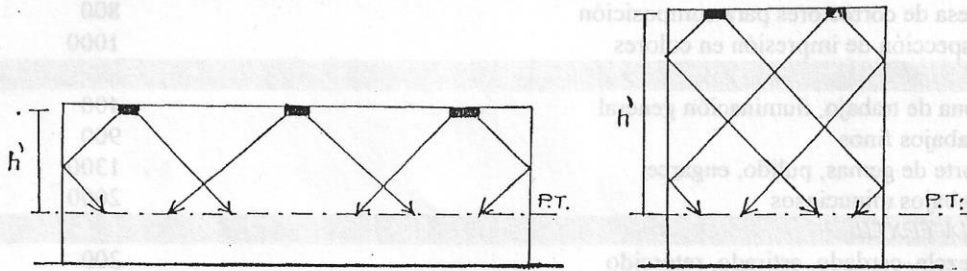
3^{er} PASO: Elección del Tipo de Lámpara y Artefacto

El tipo de lámpara adoptado dependerá de varios factores: respuesta al color, rendimiento (aspecto económico), calidad, intimidad, vida, etc.

En cuanto al artefacto elegido, los factores que influyen en su elección son: rendimiento, sistema de iluminación adoptado, características estéticas, etc.

4^o PASO: Determinación del Índice del local

La forma y dimensiones del local tienen una influencia directa sobre el aprovechamiento del flujo luminoso en el plano del trabajo, especialmente la altura entre PT y cielorraso.



El índice de local se calcula mediante la siguiente expresión:

$$K = \frac{2l + 8a}{10h'} \quad \text{en donde:}$$

l = largo del local en metros

a = ancho del local en metros

h' = altura útil (altura entre PT y el cielorraso), en metros.

5^o PASO: Determinación del Coeficiente de Utilización (C_u)

No todo el flujo luminoso emitido por las lámparas llega al PT, pues parte de él, es absorbido por el artefacto, por muros, cielorrasos, etc. La parte del flujo luminoso de la lámpara que llega al PT se denomina *flujo útil*, siendo el de la lámpara el *flujo nominal*. La relación entre ambos representa el C_u .

$$C_u = \frac{\Phi_{\text{útil}}}{\Phi_{\text{nominal}}}$$

Para obtenerlo se utilizan las siguientes tablas, en las cuales se especifican tipos de lámparas, sistemas, coeficiente o índice de local, coeficientes de reflexión de cielorrasos y de paredes, como así también la depreciación estimada.

Puede observarse que para *cielorraso* se contemplan tres valores de coeficientes de reflexión:

0,7 que corresponde a superficies de colores muy claros o blancos

0,5 que corresponde a superficies claras

0,3 que corresponde a superficies oscuras.

En el caso de *paredes* son tres los coeficientes de reflexión contemplados:

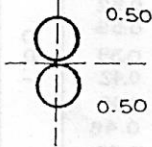
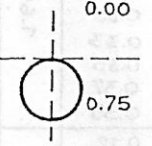
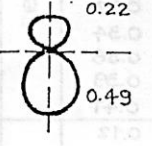
0,5 que corresponde a superficies blancas o muy claras

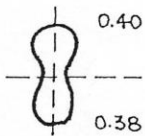
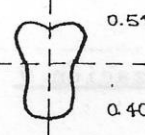
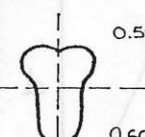
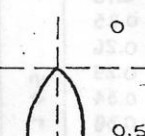
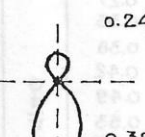
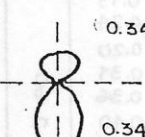
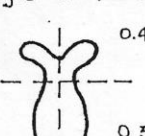
0,3 que corresponde a superficies claras o medianas.

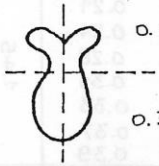
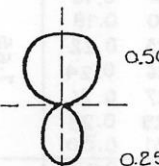
0,1 que corresponde a superficies oscuras.

Tablas Para la Obtención de los Cu y Factores de Depreciación (d)

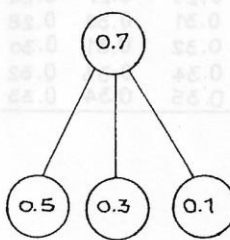
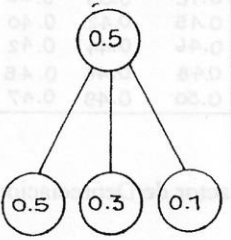
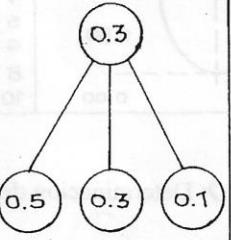
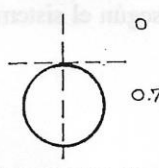
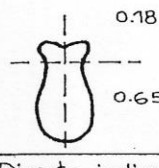
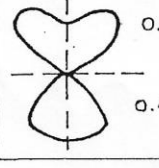
INSTALACIONES DE LAMPARAS FLUORESCENTES-Coeficientes de Utilización y Factores de depreciación.

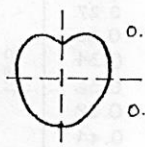
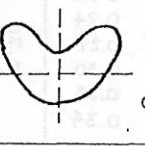
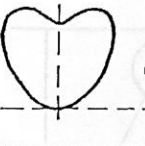
SISTEMA	K	0.7			0.5			0.3			d
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	
Lámparas desnudas	1	0.26	0.20	0.15	0.22	0.17	0.13	0.19	0.14	0.11	1.45
	1.5	0.36	0.29	0.25	0.31	0.26	0.21	0.26	0.22	0.18	
	2	0.43	0.36	0.31	0.37	0.31	0.27	0.31	0.26	0.23	
	2.5	0.47	0.41	0.36	0.40	0.35	0.31	0.44	0.29	0.26	
	3	0.51	0.45	0.40	0.44	0.39	0.34	0.36	0.32	0.29	
	4	0.57	0.51	0.46	0.49	0.44	0.40	0.41	0.37	0.34	
	5	0.60	0.55	0.51	0.52	0.48	0.44	0.44	0.41	0.38	
	6	0.63	0.58	0.54	0.54	0.51	0.47	0.46	0.43	0.40	
	8	0.67	0.63	0.59	0.58	0.55	0.52	0.49	0.47	0.45	
	10	0.69	0.66	0.63	0.61	0.58	0.56	0.52	0.50	0.48	
Directo	1	0.26	0.21	0.17	0.26	0.21	0.17	0.25	0.20	0.17	1.40
	1.5	0.36	0.30	0.27	0.35	0.30	0.27	0.34	0.30	0.27	
	2	0.42	0.37	0.33	0.42	0.37	0.33	0.41	0.37	0.33	
	2.5	0.47	0.42	0.39	0.46	0.42	0.38	0.45	0.41	0.38	
	3	0.51	0.46	0.42	0.50	0.46	0.42	0.49	0.45	0.42	
	4	0.56	0.52	0.48	0.55	0.52	0.49	0.55	0.52	0.49	
	5	0.60	0.57	0.54	0.59	0.56	0.54	0.58	0.56	0.53	
	6	0.62	0.59	0.57	0.61	0.59	0.56	0.61	0.58	0.56	
	8	0.66	0.64	0.62	0.65	0.64	0.62	0.65	0.63	0.62	
	10	0.68	0.67	0.65	0.68	0.66	0.65	0.67	0.66	0.65	
Semi-directo	1	0.22	0.18	0.14	0.20	0.16	0.13	0.18	0.15	0.12	1.60
	1.5	0.31	0.27	0.23	0.28	0.24	0.21	0.25	0.22	0.19	
	2	0.36	0.32	0.29	0.33	0.29	0.26	0.30	0.27	0.24	
	2.5	0.40	0.36	0.33	0.37	0.33	0.30	0.33	0.31	0.20	
	3	0.43	0.40	0.36	0.40	0.36	0.34	0.36	0.33	0.31	
	4	0.48	0.45	0.42	0.44	0.42	0.39	0.40	0.38	0.36	
	5	0.51	0.49	0.46	0.47	0.45	0.43	0.43	0.41	0.40	
	6	0.53	0.51	0.48	0.49	0.47	0.45	0.45	0.43	0.42	
	8	0.57	0.55	0.53	0.52	0.51	0.49	0.48	0.47	0.46	
	10	0.59	0.57	0.56	0.54	0.53	0.52	0.50	0.49	0.48	

Directo-indirecto 	1	0.23	0.19	0.15	0.20	0.16	0.13	0.17	0.14	0.12	1.60
	1.5	0.32	0.27	0.23	0.27	0.23	0.20	0.23	0.20	0.18	
	2	0.37	0.33	0.29	0.32	0.26	0.26	0.27	0.24	0.22	
	2.5	0.42	0.37	0.34	0.36	0.32	0.30	0.30	0.28	0.26	
	3	0.45	0.41	0.38	0.38	0.36	0.33	0.33	0.30	0.28	
	4	0.50	0.47	0.43	0.43	0.40	0.38	0.36	0.34	0.33	
	5	0.53	0.50	0.47	0.46	0.44	0.42	0.39	0.37	0.36	
	6	0.55	0.52	0.50	0.48	0.46	0.44	0.40	0.39	0.38	
	8	0.57	0.55	0.54	0.50	0.49	0.47	0.43	0.42	0.41	
	10	0.59	0.58	0.57	0.52	0.51	0.50	0.45	0.44	0.43	
Directo-indirecto (aparatos de vidrio difusor fijos al techo) 	1	0.25	0.20	0.16	0.21	0.17	0.14	0.18	0.14	0.12	1.60
	1.5	0.34	0.28	0.25	0.29	0.25	0.21	0.24	0.21	0.15	
	2	0.40	0.35	0.31	0.34	0.30	0.27	0.29	0.25	0.18	
	2.5	0.45	0.40	0.36	0.38	0.34	0.31	0.32	0.28	0.23	
	3	0.45	0.44	0.40	0.41	0.37	0.34	0.34	0.31	0.26	
	4	0.53	0.50	0.46	0.45	0.42	0.40	0.38	0.36	0.29	
	5	0.56	0.53	0.50	0.48	0.46	0.43	0.41	0.39	0.34	
	6	0.59	0.55	0.53	0.50	0.47	0.48	0.42	0.40	0.37	
	8	0.62	0.59	0.57	0.53	0.51	0.50	0.45	0.44	0.39	
	10	0.64	0.62	0.60	0.55	0.54	0.52	0.47	0.45	0.41	
Directo Indirecto (Aparatos de vidrio difusor) 	1	0.26	0.20	0.17	0.22	0.17	0.14	0.10	0.15	0.12	1.60
	1.5	0.36	0.30	0.26	0.30	0.26	0.22	0.25	0.21	0.19	
	2	0.42	0.37	0.33	0.36	0.31	0.28	0.29	0.26	0.23	
	2.5	0.47	0.42	0.38	0.40	0.36	0.32	0.33	0.30	0.27	
	3	0.50	0.46	0.42	0.43	0.38	0.36	0.35	0.32	0.30	
	4	0.56	0.52	0.48	0.47	0.44	0.41	0.39	0.37	0.35	
	5	0.59	0.56	0.53	0.50	0.46	0.45	0.42	0.40	0.38	
	6	0.62	0.58	0.55	0.52	0.50	0.48	0.44	0.42	0.40	
	8	0.65	0.62	0.60	0.55	0.53	0.52	0.46	0.45	0.43	
	10	0.67	0.65	0.63	0.57	0.56	0.54	0.48	0.47	0.46	
Directo (Aparatos de rejillas) 	1	0.22	0.13	0.16	0.21	0.18	0.16	0.21	0.16	0.16	1.65
	1.5	0.29	0.26	0.23	0.29	0.26	0.23	0.28	0.26	0.23	
	2	0.34	0.30	0.28	0.33	0.30	0.28	0.33	0.30	0.28	
	2.5	0.37	0.34	0.32	0.37	0.34	0.32	0.36	0.34	0.32	
	3	0.40	0.37	0.35	0.39	0.37	0.35	0.39	0.37	0.35	
	4	0.44	0.42	0.40	0.43	0.41	0.39	0.43	0.41	0.39	
	5	0.46	0.44	0.41	0.46	0.44	0.42	0.45	0.44	0.42	
	6	0.48	0.46	0.45	0.46	0.46	0.45	0.47	0.45	0.45	
	8	0.50	0.49	0.48	0.49	0.49	0.48	0.50	0.49	0.48	
	10	0.52	0.51	0.50	0.51	0.51	0.50	0.51	0.51	0.50	
Semi-directo (Aparatos de rejillas) 	1	0.20	0.16	0.14	0.18	0.15	0.13	0.16	0.13	0.12	1.60
	1.5	0.26	0.23	0.21	0.24	0.21	0.19	0.21	0.19	0.17	
	2	0.32	0.28	0.26	0.28	0.26	0.23	0.25	0.23	0.21	
	2.5	0.35	0.32	0.29	0.31	0.29	0.27	0.29	0.26	0.24	
	3	0.38	0.35	0.32	0.34	0.31	0.30	0.30	0.28	0.27	
	4	0.41	0.39	0.37	0.37	0.35	0.34	0.33	0.32	0.30	
	5	0.44	0.42	0.40	0.39	0.38	0.36	0.35	0.34	0.33	
	6	0.45	0.43	0.42	0.41	0.39	0.38	0.37	0.36	0.35	
	8	0.47	0.46	0.45	0.43	0.42	0.41	0.39	0.38	0.37	
	10	0.49	0.48	0.47	0.44	0.44	0.43	0.40	0.39	0.39	
Directo-indirecto (Aparatos de rejillas) 	1	0.22	0.18	0.15	0.19	0.16	0.14	0.17	0.14	0.12	1.65
	1.5	0.30	0.26	0.22	0.29	0.23	0.20	0.22	0.20	0.15	
	2	0.35	0.31	0.28	0.31	0.28	0.25	0.26	0.25	0.22	
	2.5	0.38	0.35	0.33	0.34	0.31	0.29	0.30	0.27	0.25	
	3	0.42	0.39	0.36	0.37	0.34	0.32	0.32	0.30	0.28	
	4	0.46	0.43	0.41	0.40	0.38	0.36	0.35	0.33	0.32	
	5	0.48	0.46	0.44	0.43	0.41	0.39	0.37	0.36	0.34	
	6	0.50	0.48	0.46	0.44	0.43	0.41	0.38	0.37	0.36	
	8	0.53	0.51	0.50	0.47	0.45	0.44	0.41	0.40	0.39	
	10	0.54	0.53	0.52	0.48	0.47	0.46	0.42	0.41	0.41	
Directo-indirecto (Aparatos de rejillas fijos al techo) 	1	0.23	0.18	0.16	0.20	0.17	0.14	0.17	0.14	0.12	1.65
	1.5	0.31	0.27	0.24	0.27	0.24	0.21	0.23	0.20	0.18	
	2	0.37	0.33	0.29	0.32	0.29	0.26	0.27	0.24	0.23	
	2.5	0.41	0.37	0.34	0.35	0.32	0.30	0.30	0.28	0.26	
	3	0.44	0.40	0.37	0.38	0.35	0.33	0.33	0.31	0.29	
	4	0.48	0.45	0.43	0.42	0.40	0.38	0.36	0.34	0.35	
	5	0.51	0.48	0.46	0.44	0.43	0.41	0.38	0.37	0.36	
	6	0.53	0.50	0.49	0.46	0.44	0.43	0.40	0.38	0.37	
	8	0.55	0.54	0.52	0.48	0.47	0.46	0.42	0.41	0.40	
	10	0.57	0.56	0.55	0.50	0.49	0.48	0.43	0.43	0.42	

Directo-indirecto (Aparatos de rejilla) 	1	0.24	0.20	0.16	0.21	0.17	0.15	0.18	0.15	0.13	1.65
	1.5	0.32	0.28	0.25	0.28	0.20	0.21	0.24	0.21	0.19	
	2	0.38	0.34	0.31	0.33	0.30	0.27	0.28	0.25	0.23	
	2.5	0.42	0.38	0.35	0.37	0.33	0.31	0.31	0.28	0.27	
	3	0.46	0.42	0.38	0.39	0.37	0.34	0.33	0.31	0.30	
	4	0.50	0.47	0.47	0.43	0.41	0.35	0.37	0.34	0.34	
	5	0.53	0.51	0.48	0.46	0.44	0.42	0.39	0.36	0.36	
	6	0.55	0.53	0.51	0.48	0.46	0.45	0.41	0.39	0.38	
	8	0.58	0.56	0.54	0.50	0.49	0.48	0.43	0.42	0.41	
	10	0.59	0.58	0.57	0.52	0.51	0.50	0.44	0.44	0.43	
Semi-directo (Aparatos de rejillas) 	1	0.22	0.18	0.15	0.18	0.15	0.12	0.14	0.12	0.10	1.70
	1.5	0.30	0.25	0.22	0.25	0.21	0.19	0.19	0.17	0.15	
	2	0.35	0.31	0.28	0.29	0.26	0.23	0.23	0.21	0.16	
	2.5	0.39	0.35	0.33	0.32	0.29	0.27	0.25	0.23	0.22	
	3	0.42	0.39	0.36	0.35	0.32	0.30	0.27	0.26	0.24	
	4	0.46	0.44	0.41	0.36	0.36	0.34	0.30	0.29	0.27	
	5	0.49	0.46	0.44	0.40	0.39	0.37	0.32	0.31	0.30	
	6	0.51	0.48	0.46	0.42	0.40	0.39	0.33	0.32	0.31	
	8	0.53	0.51	0.50	0.44	0.43	0.42	0.35	0.34	0.34	
	10	0.55	0.53	0.52	0.45	0.45	0.44	0.37	0.35	0.35	

INSTALACIONES DE LAMPARAS INCANDESCENTES-Coeficientes de Utilización y Factores de Depreciación.

SISTEMA	K										d
Directo 	1	0.27	0.22	0.18	0.27	0.22	0.18	0.26	0.22	0.18	1.35
	1.5	0.36	0.31	0.22	0.35	0.30	0.27	0.34	0.30	0.27	
	2	0.43	0.38	0.27	0.42	0.37	0.34	0.41	0.37	0.34	
	2.5	0.48	0.43	0.40	0.47	0.43	0.39	0.47	0.42	0.39	
	3	0.52	0.47	0.44	0.50	0.47	0.44	0.50	0.46	0.44	
	4	0.57	0.53	0.50	0.56	0.53	0.50	0.56	0.53	0.50	
	5	0.61	0.58	0.55	0.60	0.57	0.55	0.59	0.57	0.55	
	6	0.63	0.61	0.58	0.63	0.60	0.58	0.62	0.60	0.58	
	8	0.67	0.65	0.63	0.66	0.64	0.63	0.66	0.64	0.63	
	10	0.69	0.68	0.66	0.69	0.67	0.66	0.68	0.67	0.66	
Semidirecto 	1	0.27	0.22	0.18	0.26	0.21	0.17	0.24	0.20	0.16	1.45
	1.5	0.37	0.31	0.27	0.35	0.25	0.26	0.32	0.28	0.24	
	2	0.44	0.38	0.34	0.41	0.30	0.32	0.38	0.34	0.31	
	2.5	0.49	0.44	0.40	0.45	0.36	0.38	0.42	0.38	0.36	
	3	0.53	0.48	0.44	0.49	0.41	0.42	0.46	0.42	0.40	
	4	0.58	0.54	0.51	0.55	0.45	0.48	0.51	0.48	0.46	
	5	0.62	0.59	0.56	0.58	0.51	0.53	0.55	0.52	0.50	
	6	0.64	0.61	0.59	0.61	0.55	0.56	0.57	0.55	0.53	
	8	0.68	0.65	0.64	0.64	0.62	0.61	0.60	0.59	0.57	
	10	0.71	0.69	0.67	0.67	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	
Directo-indirecto 	1	0.26	0.21	0.17	0.22	0.18	0.15	0.19	0.16	0.13	1.45
	1.5	0.36	0.31	0.27	0.31	0.27	0.23	0.26	0.19	0.20	
	2	0.42	0.37	0.34	0.36	0.33	0.30	0.31	0.28	0.26	
	2.5	0.47	0.43	0.38	0.40	0.37	0.35	0.35	0.32	0.30	
	3	0.50	0.47	0.44	0.44	0.41	0.38	0.37	0.35	0.33	
	4	0.56	0.53	0.50	0.48	0.48	0.44	0.41	0.40	0.38	
	5	0.60	0.57	0.55	0.52	0.49	0.48	0.44	0.43	0.41	
	6	0.62	0.60	0.58	0.54	0.52	0.51	0.46	0.45	0.44	
	8	0.65	0.62	0.62	0.57	0.56	0.55	0.49	0.48	0.47	
	10	0.66	0.63	0.64	0.58	0.58	0.57	0.50	0.50	0.49	

Mixto 	1	0.21	0.16	0.12	0.18	0.14	0.11	0.15	0.11	0.09	1.45
	1.5	0.30	0.24	0.20	0.25	0.20	0.17	0.21	0.17	0.14	
	2	0.36	0.30	0.25	0.30	0.25	0.22	0.25	0.21	0.18	
	2.5	0.39	0.34	0.29	0.33	0.29	0.25	0.28	0.24	0.21	
	3	0.43	0.37	0.33	0.36	0.32	0.28	0.30	0.26	0.24	
	4	0.48	0.43	0.39	0.41	0.37	0.33	0.34	0.31	0.28	
	5	0.51	0.47	0.43	0.44	0.40	0.37	0.37	0.34	0.31	
	6	0.53	0.49	0.46	0.46	0.42	0.39	0.38	0.36	0.33	
	8	0.56	0.53	0.50	0.49	0.46	0.44	0.41	0.39	0.37	
	10	0.59	0.56	0.53	0.51	0.48	0.46	0.43	0.41	0.39	
Semi-indirecto 	1	0.20	0.15	0.12	0.13	0.12	0.09	0.11	0.09	0.07	1.65
	1.5	0.28	0.23	0.20	0.21	0.18	0.15	0.16	0.11	0.11	
	2	0.33	0.29	0.25	0.26	0.22	0.19	0.19	0.16	0.14	
	2.5	0.37	0.33	0.29	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19	0.16	
	3	0.40	0.36	0.32	0.31	0.28	0.25	0.23	0.20	0.18	
	4	0.45	0.41	0.37	0.35	0.32	0.29	0.26	0.23	0.22	
	5	0.48	0.44	0.41	0.37	0.35	0.32	0.27	0.26	0.24	
	6	0.50	0.46	0.44	0.39	0.37	0.35	0.29	0.27	0.26	
	8	0.52	0.50	0.47	0.41	0.39	0.38	0.31	0.29	0.28	
	10	0.54	0.52	0.50	0.43	0.41	0.40	0.33	0.31	0.30	
Indirecto (aparatos) 	1	0.19	0.15	0.12	0.13	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	1.65
	1.5	0.27	0.22	0.19	0.18	0.15	0.13	0.11	0.08	0.08	
	2	0.31	0.27	0.24	0.22	0.19	0.17	0.13	0.11	0.10	
	2.5	0.35	0.31	0.28	0.25	0.22	0.20	0.14	0.13	0.12	
	3	0.38	0.34	0.32	0.27	0.24	0.22	0.16	0.14	0.13	
	4	0.42	0.39	0.36	0.29	0.27	0.26	0.17	0.16	0.15	
	5	0.45	0.42	0.40	0.31	0.30	0.28	0.18	0.18	0.17	
	6	0.46	0.44	0.42	0.32	0.31	0.30	0.19	0.18	0.18	
	8	0.48	0.46	0.45	0.34	0.33	0.32	0.20	0.19	0.19	
	10	0.50	0.49	0.47	0.35	0.34	0.33	0.21	0.20	0.20	

6^{to} PASO: Determinación del Factor de Depreciación

Los Cu brindados por las tablas son estimados para instalaciones nuevas, pero luego de cierto tiempo de uso, las instalaciones sufren el envejecimiento de las lámparas como así también la acumulación de polvo en los artefactos y lámparas. Esto trae aparejado una disminución en el flujo luminoso (nominal y útil), y por ende una disminución del nivel de iluminación. Esa disminución está representada en las tablas según el sistema y tipo de lámpara, por el factor de depreciación (d).

7^{mo} PASO: Cálculo del Flujo Luminoso Necesario (Φ_{nec}) en lúmenes (Lm)

Se obtiene mediante el empleo de la siguiente expresión:

$$\Phi_{nec} (Lm) = \frac{E_{nec} (lux) \cdot S (m^2) \cdot d}{Cu} \quad \text{en donde}$$

E_{nec} = Iluminación necesaria en lux, obtenida de los valores recomendados por IRAM (1^{er} Paso).

S = Superficie a iluminar. Por lo general es la superficie del local, en m^2

d = Factor de depreciación obtenido en el Paso 6

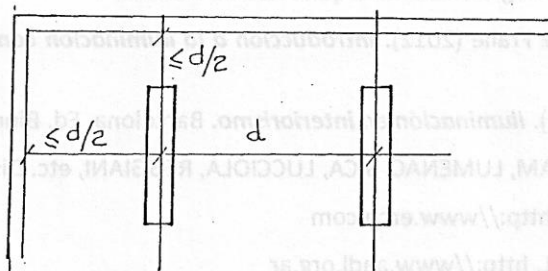
Cu = Coeficiente de Utilización calculado en el Paso 7.

8º PASO: Propuesta de Distribución de Artefactos. Número mínimo.

La distribución puede hacerse de varias formas dentro del local, en cualquier de las alternativas de organización adoptada, deberá considerarse el logro de una buena uniformidad. A tal fin como valores orientativos pueden adoptarse las siguientes relaciones entre distanciamiento (d) y altura útil (h'), según sea el sistema adoptado.

SISTEMA	d / h' (máximo)
Directo	1 a 1,2
Semidirecto	1 a 1,5
Directo-Indirecto	1,5 a 2
Semi-indirecto	2 a 3
Indirecto	3 a 5

Debe tenerse en cuenta que la distancia entre ejes de artefactos no deberá superar el valor aconsejado en la tabla anterior, y cuidar que la distancia entre eje de artefactos y muro no supere d/2.



9º PASO: Cálculo del Número de Lámparas y Número final de Artefactos

El número de artefactos que finalmente se adopte no deberá ser inferior al calculado en el Paso 8, ya que el mismo garantiza una adecuada uniformidad. En cuanto al número de lámparas a colocar por artefacto se aconseja el menor posible por razones económicas. Dicho número depende del flujo luminoso de la lámpara elegida, y puede calcularse utilizando la siguiente expresión:

$$\text{Ø de cada artefacto} = \frac{\text{Ø}_{\text{nec}}}{\text{N}^{\text{ro}} \text{ de artefactos}}$$

$$\text{N}^{\text{ro}} \text{ de lámparas} = \frac{\text{Ø de cada artefacto}}{\text{Ø de la lámpara}}$$