

## TRABAJO PRACTICO Nº2 DISEÑO AMBIENTALMENTE CONSCIENTE Iluminación natural

Preparado por: Arq. Analía Gómez - Profesora Adjunta

Para la mayoría de las actividades que se desarrollan en el interior de un edificio es posible verificar el nivel de iluminación natural con métodos simplificados. En primer lugar deberemos establecer la zona de la habitación a verificar (figura 1). Si desde los puntos A y B se pueden trazar visuales directas al cielo es probable que la iluminación natural sea suficiente.

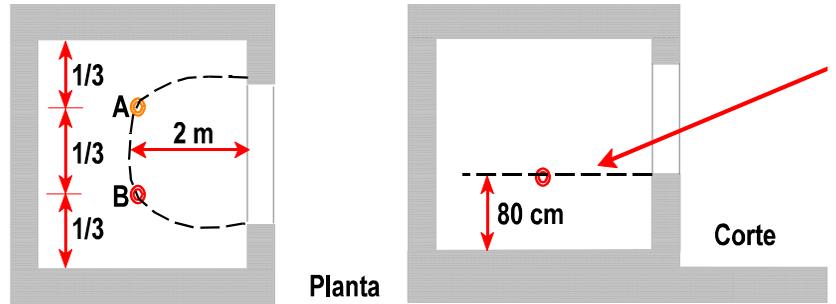


Figure 1: Como delimitar la zona para realizar una verificación de la iluminación natural.

Las verificaciones se realizan para un plano de trabajo (mesa) ubicado a 80 cm del nivel de piso y en cualquier posición en la habitación. Por convención es usual realizar una evaluación a 2 m de distancia desde la abertura. Ubicado el punto se verifica si en planta y en corte existen obstrucciones de edificios u objetos cercanos.

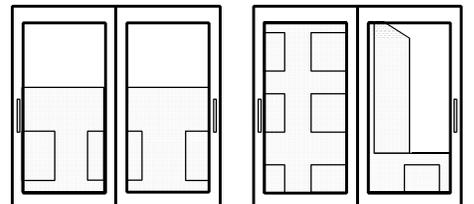


Figure 2: área de obstrucción de la bóveda celeste por edificios o estructuras cercanas.

En las figuras de 2, 3 Y 4 se muestran desde el interior de un local como edificios cercanos obstruyen la "visión" de la bóveda celeste, o también salientes de balcones y muros del propio edificio. Estas salientes pueden pertenecer a parasoles que cumplen la función de reducir la carga térmica de verano pero también provocan una substancial reducción de la iluminación natural.

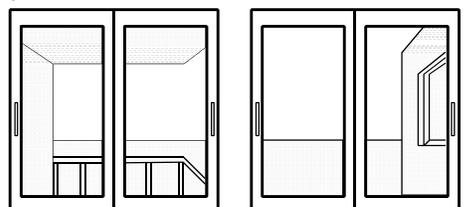


Figure 3: obstrucciones provocadas por la propia estructura del edificio.

Por otra parte el área iluminada variará utilizando la misma ventana en función del lugar que ocupe en el muro. Esto debido a que al estar próximas a un muro lateral o al cielorraso usan estas superficies como reflectores para mejorar la distribución de la luz en el ambiente.

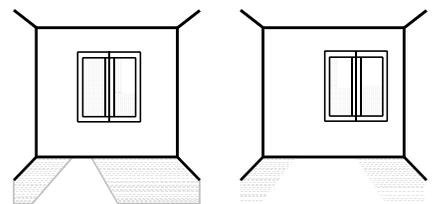


Figure 4: distribución de la luz en un ambiente en función de la ubicación de la ventana.

Entre muchos procedimientos de verificación elegimos uno que es de simple utilización y relativa precisión. Este procedimiento desarrollado por el arq. Martin Evans del CIHE-FADU-UBA es aplicable en latitudes menores a 40° aproximadamente. En casos críticos los procedimientos simplificados pierden validez y es necesario utilizar software específico.

La altura angular del edificio situado frente a la abertura no debe ser mayor a 30° para poder obtener iluminación natural directa desde el cielo por encima del techo del edificio ubicado frente a la abertura (figura 6).

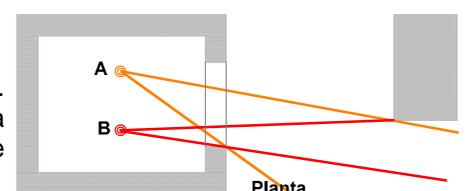
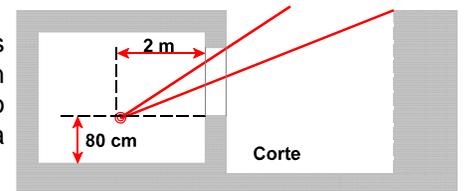


Figure 5: Prueba de verificación del nivel de obstrucción.

### El factor de luz de día "Fd"

La fuente de luz que se considera en iluminación natural es la bóveda celeste. El sol es, por supuesto, el origen de la luz natural; pero es sólo la parte de ésta que es difundida por la atmósfera la que se toma como fuente primaria de iluminación natural.

Hay dos motivos fundamentales para ello: no siempre se cuenta con luz directa de sol, por lo cual no es conveniente depender de ella en nuestros cálculos; además, las consideraciones sobre confort llevan generalmente a evitar la incidencia directa de ésta en locales en que se realizan tareas visuales (problemas de brillos y encandilamiento).

En países con gran disponibilidad de sol llega a admitirse el considerar en los cálculos la luz solar reflejada por las fachadas opuestas y el piso exterior del local estudiado.

La luminancia del cielo es variable a lo largo del día y por lo tanto es variable la iluminación que produce; se señala así una importante diferencia con la iluminación artificial, en que la fuente se mantiene constante. Esta variabilidad justifica el hecho de que la C.I.E. (Commission Internationale de l'Eclairage) haya definido el llamado "Factor de luz de día" (Fd) que permite hallar la iluminación en un punto de referencia, en función de la iluminación exterior que se tiene en el mismo momento. Esta relación Fd es constante para cada punto; la variable es la iluminación exterior, por lo cual la iluminación interior varía continuamente.

Figure 6: Altura angular límite para iluminación natural en latitudes menores a 40°.

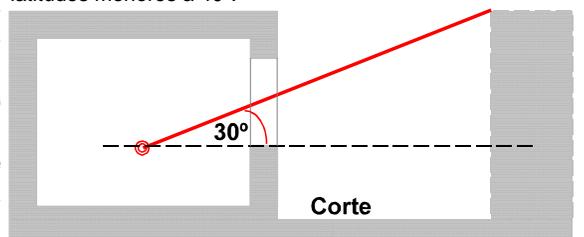


Figure 7: Altura angular límite para iluminación natural.

El factor de luz de día se expresa generalmente en porcentaje:

$$Fd_p = \frac{E_p}{E_e} \times 100 (\%)$$

siendo:  $Fd_p$  factor de luz de día en el punto P (en porcentaje)  
 $E_p$  iluminación en el punto P (en lx)  
 $E_e$  iluminación producida por toda la bóveda celeste en un punto de un plano horizontal libre de obstrucciones (en lx)

Calculando  $Fd_p$  y conocida  $E_e$  se halla  $E_p$

$$E_p = \frac{Fd_p \times E_e}{100} (Lux)$$

- Si el punto P pertenece a un plano horizontal y no tiene obstrucciones ("ve" la totalidad de cielo),  $Fd_p = 100\%$ , ya que es iluminado por el total de la bóveda celeste.
- Si el punto P pertenece a un plano vertical y no tiene obstrucciones,  $Fd_p = 50\%$ , al ser iluminado por la mitad de la bóveda celeste.

El valor  $Fd$  depende de la distribución de luminancias en el cielo de la localidad en que se trabaja.

**MÉTODO DE CALCULO DE ILUMINACIÓN NATURAL (Evans, 1986).**

Utilizando el "factor de Iluminación natural o factor de luz día  $Fd$ " se puede calcular la Intensidad de luz que recibe una superficie en el Interior de un edificio, desde la bóveda celeste. El método Indica la cantidad de luz natural que llega a dicha superficie como proporción del total que llegaría desde la bóveda celeste si no existieran obstrucciones.

$$Fd = CD + CRE + CRI$$

El factor de iluminación natural consta de tres componentes:

1. **Componente directo (CD):** Proporción de luz que llega a la superficie directamente desde la bóveda celeste.
2. **Componente Reflejo Externo (CRE):** Proporción de luz que llega después de ser reflejada por las superficies externas.
3. **Componente Reflejo Interno (CRI):** Proporción de luz reflejada por las superficies interiores antes de llegar al plano de trabajo.

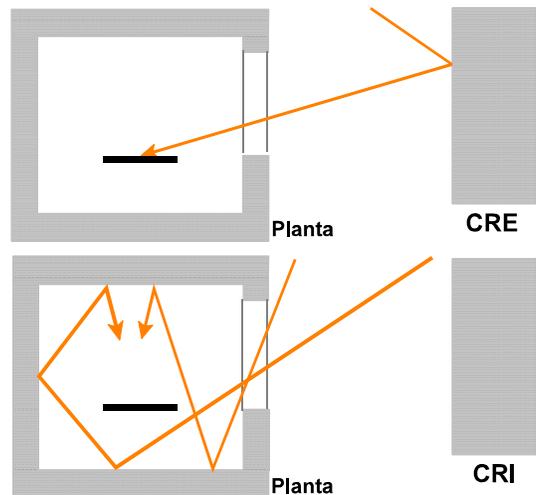


Figure 8: Iluminación natural por reflexión externa e interna.

Los dos primeros componentes pueden calcularse mediante el siguiente procedimiento para estimar la Iluminación que se recibe a través de aberturas vidriadas verticales. Se utiliza la planilla y el Gráfico que Factor de Luz Diurna que aparecen al final del texto según las siguientes etapas:

**COMPONENTE DIRECTO (CD)**

1. Se eligen puntos a verificar en la planta de un local.
2. Sobre dicha planta se dibuja una línea desde cada punto elegido en sentido perpendicular al vidrio. Es posible que en ciertos casos esas líneas no pasen por la ventana sino por la pared.
3. Se miden los ángulos entre esa línea y otras trazadas desde el punto a verificar hasta los límites laterales de la abertura. Si hubiese más de una ventana en el local, se miden dos ángulos en planta para cada una.
4. Sobre un corte del local se usa el mismo criterio que en el caso anterior. Se miden los ángulos comprendidos desde el horizonte a una altura de 0.80 m. sobre el plano de trabajo y las líneas entre el punto y los límites superior e inferior de la abertura.

Si el antepecho fuese inferior a 0.80 m. uno de los ángulos será igual a cero, porque no se puede recibir luz directa de la bóveda celeste desde el área situada por debajo del horizonte. Si hubiese un obstáculo exterior, se mide el ángulo desde el horizonte hasta una línea trazada entre el punto y el límite del obstáculo.

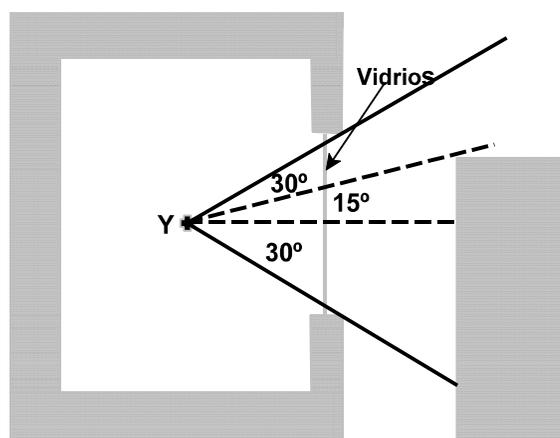


Figure 9: Línea perpendicular y límites angulares de la abertura en planta.

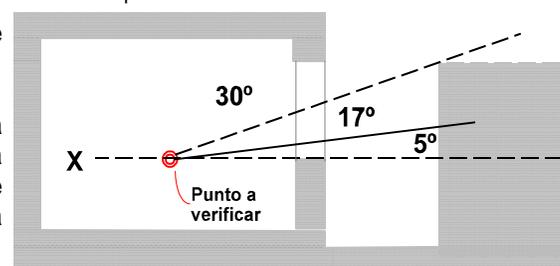


Figure 10: Plano de trabajo y límites angulares de la abertura en corte.

5. Los cuatro ángulos definen los límites angulares de la vista directa del cielo desde el punto elegido. Los dos ángulos que se miden en el plano (lad os verticales corresponden a las líneas paralelas verticales en el gráfico de Factor de Luz Diurna. (Figura 11)

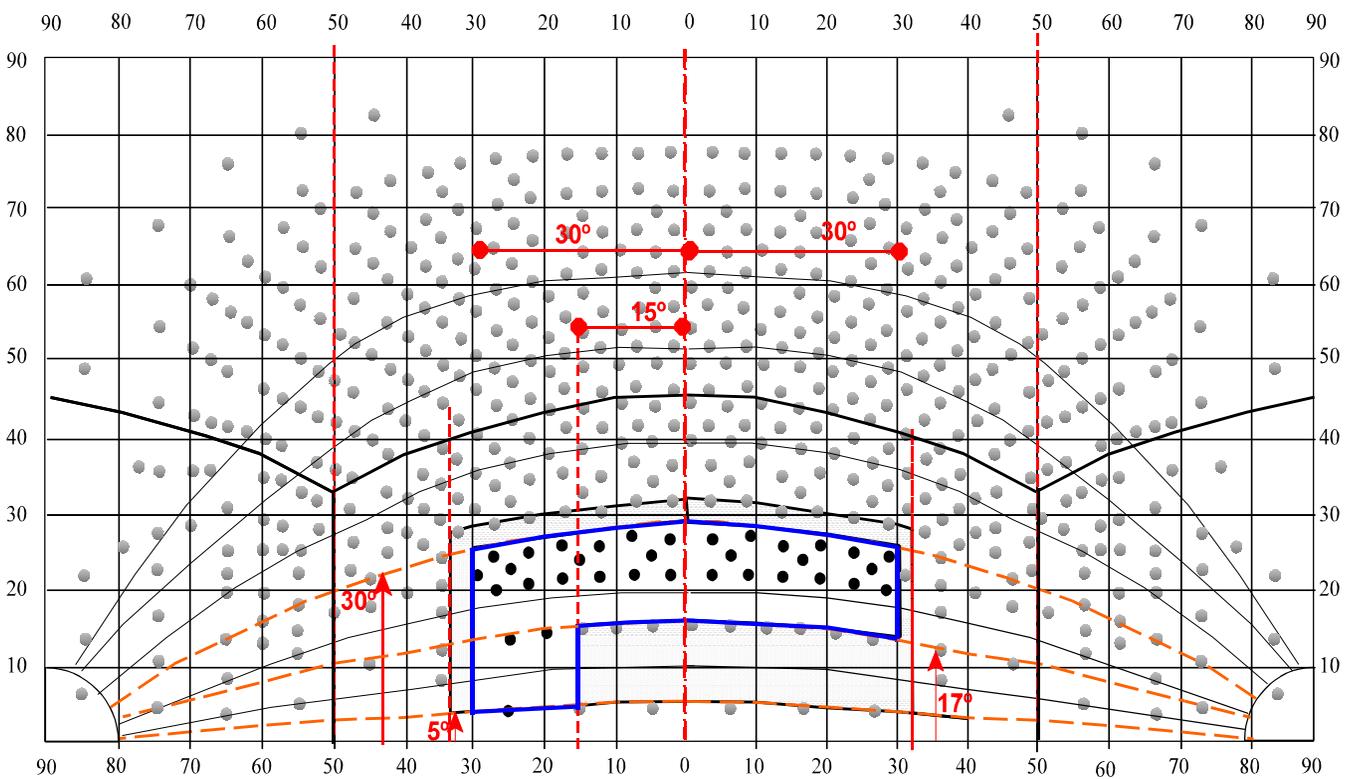


Figure 11: Ejemplo de estimación del CRE.

La línea central de este gráfico corresponde a 0°, perpendicular al vidrio. Cada línea se ubica a 10° a la derecha o a la izquierda de esa línea central. Los dos ángulos del corte corresponden al lado inferior y superior de la ventana. Las líneas curvas del gráfico representan dichos límites angulares. La línea horizontal, base del gráfico, corresponde al horizonte y cada curva representa un incremento de 10° a partir del mismo.

- El área del gráfico definido por los ángulos, representa una proyección del cielo visible desde el punto elegido. El número de puntos en este área representa la proporción de luz natural que proviene de la bóveda celeste. La distribución de los puntos en el gráfico toma en cuenta la transmisión del vidrio según el ángulo de incidencia de la luz y la distribución de la iluminación proveniente de la bóveda celeste según la altura angular.

**Componente celeste** (Figura 11): 34 puntos aprox.  $\rightarrow 34 \times 0.05 = 1.7 \%$

### COMPONENTE DE REFLEJO EXTERNO (CRE)

- Un obstáculo expuesto a la luz directa refleja una proporción de luz del cielo. Se miden los ángulos que delimitan los bordes visibles desde el punto en planta y corte y se suman los puntos que corresponden al obstáculo exterior, utilizando el procedimiento anterior (1 a 6). En general, se puede considerar que el obstáculo refleja solamente el 20% de la luz proveniente de este sector del cielo. Por tal razón se multiplica el total por 0.2 para estimar el componente reflejado desde el exterior.

**Componente de reflexión externa** (Figura 12): 11 puntos aprox.  $\rightarrow 11 \times 0.05 \times 0.2 = 0.11 \%$

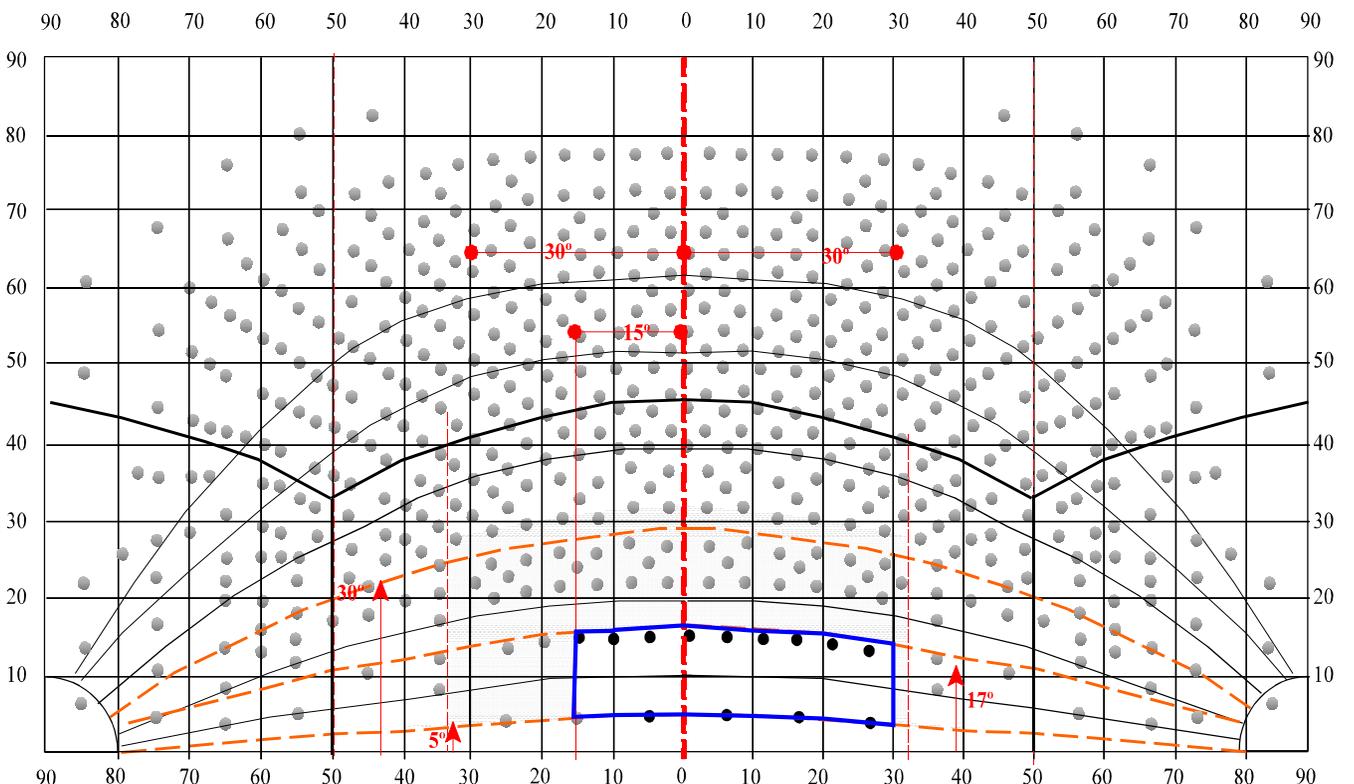


Figure 12: Ejemplo de estimación del componente celeste en una habitación.

## COEFICIENTE DE REFLEXIÓN INTERNA (CRI)

El coeficiente de reflexión Interna depende de los siguientes factores: cociente entre el área de abertura y la superficie de la habitación, factor de reflexión del piso y factor de reflexión promedio de las paredes. Con estos datos se puede consultar la Tabla 1 para encontrar el valor del coeficiente de reflexión interna. Dicha tabla Indica los valores del CRI correspondientes a una habitación de 3,5 x 3.5 m aproximadamente, cuyo cielorraso tiene un factor de reflexión de 70% y donde las obstrucciones exteriores no superan una altura angular de 20°. Con otras condiciones de diseño se pueden utilizar los factores de corrección indicados en la Tabla 2.

### GRÁFICO DE FACTOR DE LUZ DIURNA PLANILLAS Y TABLAS

Factor de reflexión del piso	Proporción-abertura sup. de piso		Factor de reflexión de pared			
			20%	40%	60%	80%
<b>10%</b> Ejemplos: • Alfombra marrón • Baldosa PVC color marron oscuro • Cerámica roja • Madera oscura	1:50	(2%)	---	---	0.1	0.1
	1:20	(5%)	---	0.1	0.2	0.3
	1:14	(7%)	---	0.1	0.2	0.5
	1:10	(10%)	0.1	0.2	0.3	0.6
	1:6.7	(15%)	0.1	0.3	0.4	0.9
	1:5	(20%)	0.1	0.3	0.6	1.2
	1:4	(25%)	0.2	0.4	0.7	1.5
	1:3.3	(30%)	0.2	0.5	0.9	1.8
	1:2.9	(35%)	0.2	0.6	1.0	2.1
	1:2.5	(40%)	0.3	0.6	1.1	2.3
1:2.2	(45%)	0.3	0.7	1.4	2.6	
1:2	(50%)	0.4	0.8	1.5	2.8	
<b>20%</b> Ejemplos: • Madera media • Baldosas de corcho • Baldosas PVC marrón claro • Cerámica rojo claro	1:50	(2%)	-	0.1	0.1	0.2
	1:20	(5%)	-	0.1	0.2	0.4
	1:14	(7%)	0.1	0.2	0.3	0.5
	1:10	(10%)	0.1	0.2	0.5	0.8
	1:6.7	(15%)	0.1	0.3	0.6	1.2
	1:5	(20%)	0.2	0.4	0.8	1.5
	1:4	(25%)	0.3	0.5	1.0	1.8
	1:3.3	(30%)	0.3	0.6	1.2	2.2
	1:2.9	(35%)	0.4	0.7	1.4	2.5
	1:2.5	(40%)	0.4	0.8	1.6	2.8
1:2.2	(45%)	0.5	0.9	1.8	3.1	
1:2	(50%)	0.5	1.0	1.9	3.3	
<b>40%</b> Ejemplos: • Cemento (limpio) • Baldosas PVC color crema o gris claro	1:50	(2%)	---	0.1	0.2	0.2
	1:20	(5%)	0.1	0.1	0.3	0.5
	1:14	(7%)	0.1	0.2	0.5	0.7
	1:10	(10%)	0.2	0.3	0.6	1.1
	1:6.7	(15%)	0.2	0.5	0.9	1.5
	1:5	(20%)	0.3	0.6	1.2	2.1
	1:4	(25%)	0.4	0.8	1.4	2.5
	1:3.3	(30%)	0.5	0.9	1.7	3.0
	1:2.9	(35%)	0.5	1.0	1.9	3.4
	1:2.5	(40%)	0.6	1.2	2.2	3.8
1:2.2	(45%)	0.7	1.3	2.4	4.1	
1:2	(50%)	0.8	1.5	2.6	4.4	

Tabla 2: Factores de corrección para coeficientes de reflexión interna

	Factor de reflexión de paredes			
	20%	40%	60%	80%
<b>1. TAMAÑO DE HABITACIÓN:</b>				
3.5 x 3.5 aprox.	1.0	1.0	1.0	1.0
7.0 x 7.0 aprox.	1.7	1.4	1.25	1.1
10 x 10 aprox.	2.4	1.7	1.25	1.0
<b>2. FACTOR DE REFLEXIÓN DEL CIELORRASO:</b>				
80% Pintura blanca sobre yeso liso	1.1	1.1	1.1	1.1
70% Pintura blanca sobre yeso texturado	1.0	1.0	1.0	1.0
60% Pintura crema o yeso solamente	0.9	0.9	0.9	0.9
50% Pintura gris sobre yeso, chapa de fibrocemento	0.8	0.8	0.8	0.8
40% Cemento blanco o claro y liso	0.7	0.7	0.7	0.7
<b>3. COEFICIENTE DE REFLEXIÓN:</b>				
Mínimo	1.0	1.0	1.0	1.0
Promedio	1.8	1.4	1.3	1.3

<b>Tabla 2: Factores de corrección para coeficientes de reflexión interna</b>				
	<b>Factor de reflexión de paredes</b>			
	<b>20%</b>	<b>40%</b>	<b>60%</b>	<b>80%</b>
<b>4. OBSTRUCCIÓN EXTERNA: ÁNGULO DESDE EL HORIZONTE EN EL ANTEPECHO</b>				
0°	1.14	1.16	1.18	1.22
10°	1.11	1.14	1.15	1.17
20°	1.0	1.0	1.0	1.0
30°	0.9	0.85	0.8	0.75
40°	0.8	0.77	0.75	0.65
50°	0.65	0.63	0.57	0.50
<b>5. FACTOR DE MANTENIMIENTO.</b>				
Superficies nuevas (mantenimiento bueno)	1.0	1.0	1.0	1.0
Superficies viejas (mantenimiento regular)	0.9	0.9	0.9	0.9

<b>Tabla 3: Factores de corrección para iluminación natural</b>				
Ventanas	Sin vidrio	1.10	a	1.20
	Un vidrio	1.00		
	Doble vidrio	0.90		
	Vidrios esmerilados	0.90	a	1.00
	Mosquitero	0.60	a	0.80
	Rejas	0.90	a	0.95

<b>Tabla 4: Factor de reflexión de paredes</b>			
<b>MATERIAL</b>	<b>COEFICIENTE</b>		
Ladrillo visto	30%		
Revoque claro	40%		
Revoque oscuro u hormigón	20%		
Revoque medio liso	30%		
Revoque medio rugoso	20%		
<b>PINTURAS</b>	<b>Claro</b>	<b>Medio</b>	<b>Oscuro</b>
Blanca esmalte	--	85%	--
A la cal	--	85%	--
Blanca	--	80%	--
Marfil	--	65%	--
Crema	--	60%	--
Amarilla	70%	50%	30%
Beige	65%	45%	25%
Rosa	55%	45%	30%
Naranja	60%	40%	25%
Gris	55%	35%	25%
Verde	60%	30%	15%
Azul	60%	25%	10%
Marrón	55%	25%	10%
Rojo	35%	20%	10%
Púrpura	40%	20%	10%
Aluminio (pintura)	--	55%	--
Negro	--	5%	--
<b>REVESTIMIENTOS</b>			
Madera clara	45%		
Pino	40%		
Madera oscura	20%		
Caoba	10%		
Azulejos blancos brillantes	80%		
Acero Inoxidable	35%		

<b>Tabla 5: Valores mínimos de iluminación en lúmenes/m²</b>			
<b>Ambiente</b>	<b>Nivel general</b>	<b>Plano de trabajo</b>	
Cocina	100	Lugar de preparado	150
Estar	50	Escritorio	150
Comedor	50	Mesa	100
Dormitorio	25	Tocador	100-150
Baño	25	Frente a espejo	100
Escaleras etc	20		
Cochera	20	Banco de trabajo	100

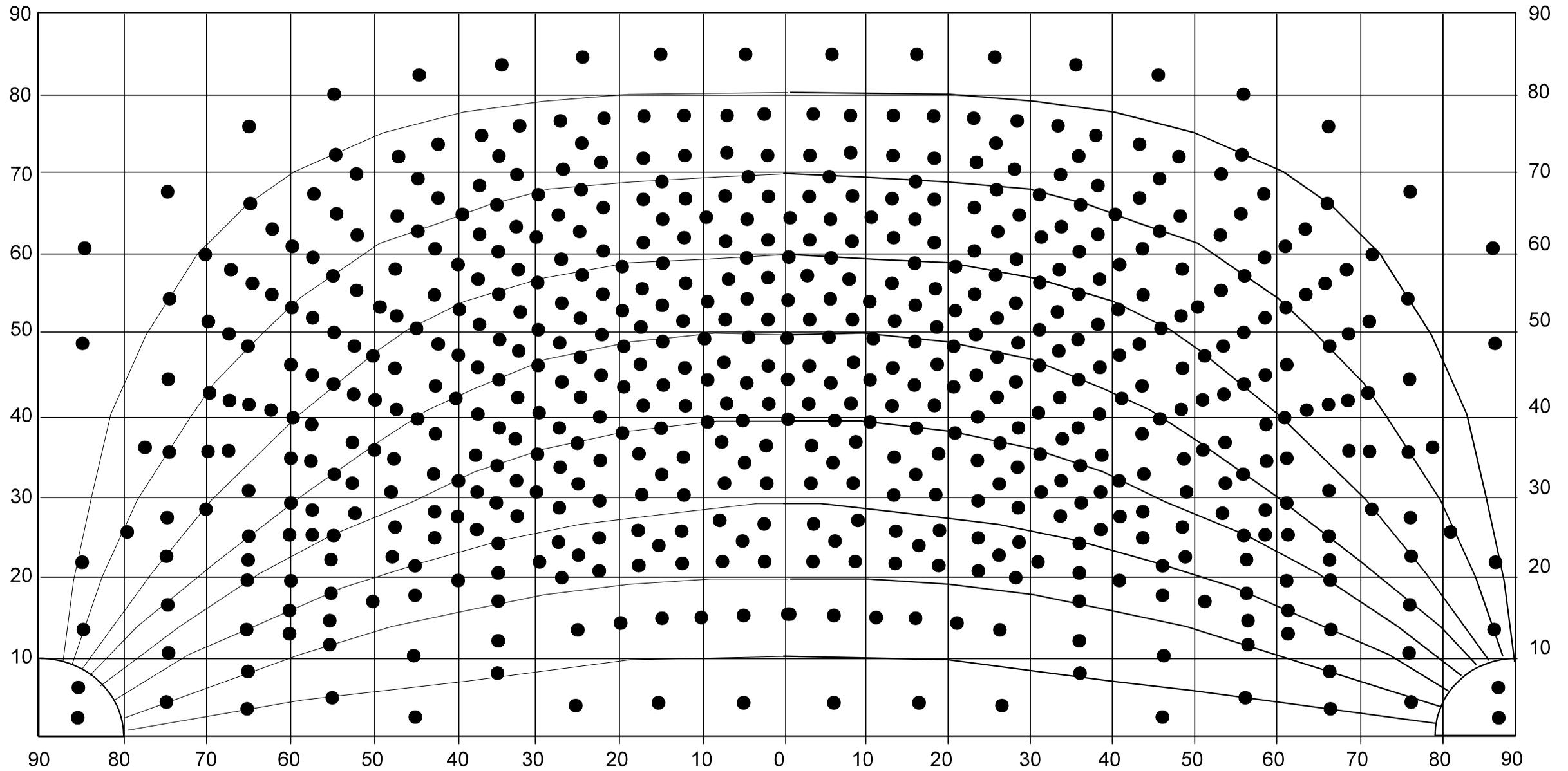
**Tabla 6: Valores estándar de iluminación para distintas funciones**

LOCAL		E (lux)	Fd (%)
ESCUELAS Y LICEOS	<i>circulación</i>	150	1.875
	<i>aulas (general)</i>	300	3.75
	<i>aulas (pizarrón)</i>	400	5
	<i>laboratorio (mesa)</i>	400	5
	<i>dibujo - talleres</i>	500	6.25
	<i>sala de lectura</i>	300	3.75
FABRICAS (área de trabajo)	<i>de poca precisión</i>	200	2.5
	<i>de precisión media</i>	400	5
	<i>de precisión</i>	900	-
	<i>de gran precisión</i>	2000	-
OFICINAS	<i>trabajo general</i>	300	3.75
	<i>maquina de escribir y computadora</i>	500	6.26
	<i>áreas de dibujo</i>	600	7.5
VIVIENDA	<i>dormitorio (general)</i>	50	0.625
	<i>estar (general)</i>	100	1.25
	<i>baño</i>	50	0.625
	<i>cocina (zona de trabajo)</i>	200	2.5
	<i>escaleras</i>	100	1.25

**GUÍA DE CÁLCULO  
ILUMINACIÓN NATURAL PARA INTERIORES**

Sobre un esquema de planta y corte de la habitación, seguir los siguientes pasos:

<i>Componente Celeste (CC)</i>
<p><b>Paso 1:</b> En corte, desde punto de referencia a 80 cm piso y 2 m de ventana trazar línea horizontal de referencia.  <b>Paso 2:</b> Marcar en el corte: desde punto referencia ángulo entre antepecho y línea horizontal  <b>Paso 3:</b> Marcar en el corte: desde punto referencia ángulo entre borde superior ventana y línea horizontal  <b>Paso 4:</b> Marcar en la planta: ángulo a la izquierda de línea de referencia  <b>Paso 5:</b> Marcar en la planta: ángulo a la derecha de línea de referencia  <b>Paso 6:</b> Sobre el gráfico de la figura 13 transportar los ángulos anteriores afin de dibujar el perfil de ventana y edificios cercanos que oculten parcialmente la visión del cielo.  <b>Paso 7:</b> Contar los puntos dentro del polígono definido (Figura 11)</p> <p style="text-align: right;"><b>Paso 8:</b> Componente directa: <math>CD = \text{Paso 7} \times 0.05\%</math></p>
<i>Componente de Reflexión Externa (CRE)</i>
<p><b>Paso 9:</b> Marcar en la planta: ángulo a la izquierda  <b>Paso 10:</b> Marcar en la planta: ángulo a la derecha  <b>Paso 11:</b> Marcar en el corte: ángulo hasta el antepecho  <b>Paso 12:</b> Corte: ángulo hasta el límite superior  <b>Paso 13:</b> Contar los puntos dentro del polígono correspondiente a la silueta de la obstrucción cercana (figura 12)  <b>Paso 14:</b> de tabla 4 obtener la Reflexión promedio de la obstrucción (ejemplo 20% o 0,2)</p> <p style="text-align: right;"><b>Paso 15:</b> Componente de reflexión externa: <math>CRE = \text{Paso 13} \times \text{Paso 14} \times 0.05\%</math></p>
<i>Componente de Reflexión Interna (CRI)</i>
<p><b>Paso 16:</b> Ingresar a Tabla 4 y adoptar <i>factor de reflexión de la/s pared/es interna/s</i> (ejemplo 60% para color crema)  <b>Paso 17:</b> Adoptar <i>factor de reflexión del piso</i> en Tabla 1.  <b>Paso 18:</b> Adoptar <i>proporción abertura/sup. piso</i> en Tabla 1 acorde a las características del local  <b>Paso 19:</b> Con el <i>factor de reflexión de la pared interna</i>, el <i>factor de reflexión del piso</i> y la <i>proporción abertura/sup. piso</i>, en Tabla 1 obtener el Coeficiente de reflexión interna del local CRI. (Ejemplo: para <math>F_{rpared} = 60\%</math>, <math>F_{rpiso} = 20\%</math> y <i>abertura/piso</i> = 20%: <math>CRI = 0.8</math>)  <b>Paso 20:</b> Con <i>tamaño de la habitación</i> y el <math>F_{rparedes}</math> ingresar a Tabla 2-1 y obtener el <i>Factor de corrección de habitación</i>  <b>Paso 21:</b> Con <i>factor de reflexión de cielorraso</i> y el <math>F_{rparedes}</math> ingresar a Tabla 2-2 y obtener el <i>Factor de corrección de cielorraso</i>.  <b>Paso 22:</b> Repetir el procedimiento anterior a fin de obtener los factores de corrección correspondientes al <i>Coeficiente de reflexión</i>, a la <i>obstrucción externa</i> y al <i>factor de mantenimiento</i>, de la Tabla 2.  <b>Paso 23:</b> Definir <i>obstrucción externa</i> (Tabla 2-4)</p> <p style="text-align: right;"><b>Paso 24:</b> CRI final: <math>CRI = \text{Paso 16} \times \text{Paso 17} \times \text{Paso 18} \times \text{Paso 19} \times \text{Paso 20} \times \text{Paso 21} \times \text{Paso 22} \times \text{Paso 23}</math></p>
<i>Factor de luz diurna (FLD)</i>
<p><b>Paso 25:</b> Definir <i>factor de corrección vidrio</i> (Tabla 3)  <b>Paso 26:</b> Definir <i>factor de corrección marcos</i>  <b>Paso 27:</b> definir <i>factor de corrección mantenimiento</i> (Tabla 2-5)</p> <p style="text-align: right;"><b>Paso 28:</b> Factor de luz diurna: <math>(CC + CRE + CRI) \times \text{Paso 25} \times \text{Paso 26} \times \text{Paso 27}</math></p>



**Figura 13:** Gráfico de la distribución del Componente Directo (CD), donde cada punto representa el 0,05% del Factor de Luz Diurna (FL)

**Bibliografía:**

- Villazón G, Rafael; Ramirez F, Jorge; García V, Javier. **Eficiencia lumínica en arquitectura**. ACE, Grupo de Investigación en Arquitectura, Ciudad y Educación. Universidad de los Andes, Departamento de Arquitectura. CERMA. Unité Mixte de Recherche CNRS 1563. Ecole d'Architecture de Nantes- France, 2004
  - Evans, Martin y Schiller, Silvia. **Diseño bioclimático y arquitectura solar**. Capítulo 7 "Iluminación Natural". Edit EUDEBA, Buenos Aires, 1988.
  - Asociación Argentina de Luminotecnia. **Iluminación. Luz, Visión, Comunicación**. Tomo 1. Capítulo 6 "Alumbrado Natural. Autor. Arq. John Martin Evans. 2001
  - Collet, Laura y Maristany Raúl. **Diseño bioclimático de viviendas**. Capítulo 6 "Comportamiento lumínico de la edificación". Ediciones Eudecor. Córdoba, 1997.
  - Aghemo, Chiara y Azzolino, Cristina. **Illuminazione Naturale: Metodi ed esempi di calcolo**. Laboratorio di Analisi e Modellazione dei Sistemi Ambientali. Politecnico di Torino. Italia, 1995.
  - Serra Florensa, Rafael y Coch Roura, Helena. **Arquitectura y energía natural**. Edicions UPC. Barcelona, 1995.
  - Girardin, María. **Iluminación**. Servicio de Climatología Aplicada a la Arquitectura. Facultad de Arquitectura, Universidad de la República. Montevideo, 1997.
1. Fuente: Evans, J. M. Climate, confort and housing. Edit. Architectural Press. Londres, 1980.