

ILUMINACIÓN LABORAL INTERIOR. UNA PUESTA AL DÍA

Dr. Roberto Rodríguez y Dra. Andrea Pattini. Mayo 2021

Resumen

En este artículo técnico abordaremos la iluminación como un componente del medio ambiente visual laboral, su marco prescriptivo nacional, y los recursos y herramientas disponibles para su diagnóstico, incluyendo nuestros últimos avances en el uso de teléfonos inteligentes para su medición. La luz un fenómeno físico, es la porción del espectro electromagnético percibida por el sistema visual humano. La iluminación, en cambio, es un fenómeno tecnológico: es luz mediada por el ser humano para conseguir un fin. Una iluminación adecuada a las capacidades y limitaciones de la visión humana, coadyuvará al desarrollo de la actividad con un rendimiento apropiado en forma segura, saludable y con confort. Toda actividad tiene componentes motoras, cognitivas y perceptuales, siendo diferente el balance entre ellas según la actividad. Es evidente que, a mayor peso de la componente visual, mayor será el beneficio de una iluminación de buena calidad.

MARCO PRESCRIPTIVO

En la Argentina, la Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo N° 19587 (1972) estipula las condiciones de los ambientes de trabajo para todo el territorio de la República Argentina. En su artículo 6, regula las condiciones físicas que deberán considerarse en los ambientes de trabajo, entre ellos la iluminación. Esta ley fue reglamentada por medio del Decreto N° 351(1979) dedicando en su capítulo 12 a las condiciones de iluminación y color, seis artículos a la iluminación (tabla 1). La referencia normativa de estos artículos es la norma IRAM AADL 20-06 de 1972.

Características de la iluminación	Beneficio Esperado
Art. 71.1 Reproducción de colores.	Rendimiento
Art. 71.2 Efecto estroboscópico.	Rendimiento-Seguridad
Art 71.3 Cantidad de iluminación.	Rendimiento
Art 71.4 Deslumbramiento directo o reflejado.	Confort
Art. 71.5 Uniformidad iluminación, sombras y contrastes	Confort – Rendimiento
Art. 72. Fuentes monocromáticas o de espectro limitado.	Rendimiento
Art. 73 Nivel iluminancia según Anexo IV.	Rendimiento
Art. 74 Relaciones iluminancias según Anexo IV.	Confort – Rendimiento
Art. 75 Uniformidad iluminación según Anexo IV.	Confort- Rendimiento
Art. 76 Iluminación de emergencia.	Seguridad

Tabla 1. Beneficios asociados a los artículos de iluminación del DR 351/79

El articulado aborda principalmente variables fotométricas relacionadas con el Rendimiento (8 artículos), seguido por el Confort (4 artículos) y la seguridad (2 artículos). Asimismo, en 3 artículos existe una búsqueda conjunta de confort y rendimiento. Nuestra reglamentación requiere de la determinación de iluminancias en el plano de trabajo como parámetro para asegurar rendimiento visual y uniformidad en la iluminación. Sin embargo, para la reproducción de color se indica que debe ser adecuada y para el deslumbramiento simplemente se indica que debe ser evitado. Ambos aspectos del medio ambiente visual no cuentan con métricas ni criterios específicos para su determinación. Sucede que el contenido de este decreto es metafóricamente una imagen instantánea del estado del arte de la luminotecnia como disciplina científica, en un contexto tecnológico, económico y Es evidente que las pautas de diseño y evaluación de la iluminación, legalmente vigentes en nuestro país, corresponden al primer estadio de la luminotecnia. Si bien estas pautas siguen siendo relativamente válidas, no incorporan el estado actual de conocimiento en factores humanos en iluminación en un contexto laboral que ha cambiado desde el establecimiento de nuestro marco normativo y legal en la década de 1970. Basta mencionar al trabajo con computadoras para demostrar este punto. De este desfasaje enfatizamos la necesidad de realizar una profunda revisión y actualización de nuestro marco legal y normativo de referencia. El primer paso se está dando, gracias a la nueva norma IRAM 20-06 actualmente en desarrollo, cuyo borrador muestra una concepción más actual, basada en la Norma Europea EN 12464-1 de 2012.

ambiental específico, tanto nacional como internacional. La noción de diferentes etapas o estadios de la luminotecnia fueron desarrollados por Cuttle (2010). Sintéticamente, la primera de estas etapas tenía como principal interés determinar la cantidad de iluminación requerida para la realización de tareas visuales. La segunda, afianzada en la última década del siglo XX (coincidentalmente con la reedición, sin cambios, de la IRAM AADL 2006), se denominó iluminación de calidad e incorporó aspectos económicos y psicológicos al estudio de la iluminación, mientras que la última etapa, en pleno auge actualmente, incluye además los aspectos relacionados con los efectos no visuales y fisiológicos de la iluminación, tales como la estimulación circadiana. Esta última etapa ha sido denominada recientemente como Iluminación Integrativa.

RECURSOS

El profesional de Higiene y Seguridad en el trabajo tiene a su disposición un conjunto de recursos para la medición de iluminación interior en espacios laborales. La resolución 84/12 de La Superintendencia de Riesgos de Trabajo pone a su disposición un Protocolo para la Medición de la Iluminación en el Ambiente Laboral (en adelante Protocolo SRT), de uso obligatorio para todos aquellos que deban medir el nivel de iluminación conforme con las previsiones de la Ley Nº 19.587 y normas reglamentarias. Se presenta como un formulario en papel, o editable, y es acompañada de una Guía Práctica. El Protocolo SRT es una herramienta útil para sistematizar el registro de iluminancia en un plano horizontal por el método de grillado, permitiendo realizar un análisis cuantitativo y parcial de la iluminación artificial en

espacios de trabajo interiores. La iluminación de calidad es mucho más que asegurar un nivel suficiente y uniforme de iluminación artificial en el plano de trabajo (Rodríguez, Monteoliva, Dumit & Pattini, 2017). Por su parte, la Asociación de Higienistas de la República Argentina propuso una variante, la Variante AHRA. Esta variante presenta criterios de aplicación de la Resolución 84/12, que buscan simplificar el relevamiento sin perder rigurosidad en el mismo. Entre otras cosas, modifica el cálculo del número de áreas de muestreo, y da una serie de consideraciones especiales que orientan al profesional para un relevamiento más eficiente. El principio que subyace en esta variante es que no es aceptable pensar en reducir el trabajo del profesional al realizar la medición, si ello puede entrañar un riesgo para el trabajador. Por nuestra parte, desde el Instituto de Ambiente Hábitat y Energía (INAHE-CONICET), desarrollamos un Protocolo Complementario (PC-SRT), en Entre sus prestaciones, además, permite incorporar al relevamiento el registro fotográfico del local y el dibujo a mano alzada, desde el mismo dispositivo móvil, de un croquis. Debe aclararse que siendo una versión Beta, presenta algunas limitaciones de uso; por ejemplo, el análisis de puestos de trabajo se limita a uno. Nuestro estudio comparativo de usabilidad de la Variante INAHE en relación al Protocolo SRT mostró un mejor desempeño de la primera. La Usabilidad es un indicador de calidad de uso en un contexto, y está conformada por dos dimensiones: Facilidad de Aprendizaje y Facilidad de Uso. Medida en la escala validada SUS (System Usability Scale), la Variante INAHE alcanzó un puntaje OK de usabilidad, ni bueno ni malo, mientras que el Protocolo SRT tuvo un puntaje Pobre.

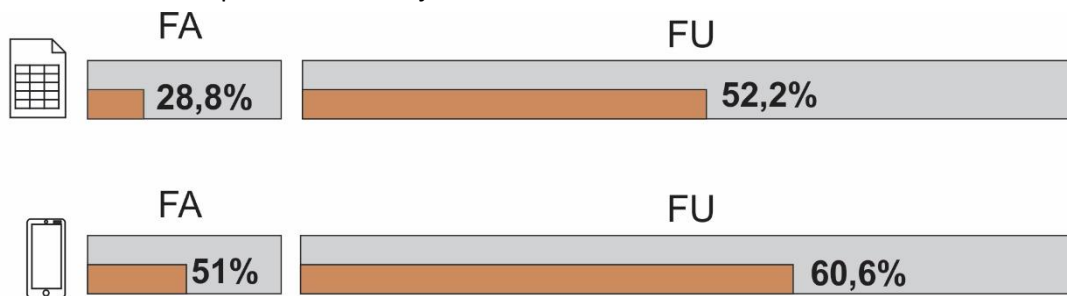
adelante Variante INAHE. A partir del diagnóstico del marco legal de referencia argentino, generamos una propuesta superadora que busca aportar nuevas métricas y criterios para la evaluación integral del ambiente lumínico en espacios de trabajo. Nuestro objetivo fue anexar al protocolo SRT agregando aspectos relacionados con la calidad de la iluminación en espacios de trabajo. Dirigida al sector profesional, la variante INAHE contiene al protocolo SRT e incorpora en un soporte digital nuevas herramientas para recolectar en forma simplificada, toda la información que consideramos relevante para cumplir con la legislación y a la vez alcanzar una iluminación de buena calidad. En su versión actual Beta, la variante INAHE es una aplicación Android gratuita, que incorpora aspectos básicos de iluminación natural, análisis de puestos de trabajo y la posibilidad de ponderar los niveles de iluminación según la Norma EN 12464-1.

Estos adjetivos están asociados al puntaje de 0 a 100 de la escala SUS. Concretamente, hubo una diferencia de 11,2 puntos a favor de la Variante INAHE (58,7 puntos para la Variante INAHE contra 47,5 para el Protocolo SRT). Si bien esperábamos un mejor desempeño de la Variante, no debe dejar de considerarse que ésta es un instrumento técnico de verificación legal que requiere de conocimientos específicos, formación previa y entrenamiento en su uso. En ese sentido, el principal beneficio en términos de Usabilidad de la Variante INAHE se da la dimensión de la facilidad de aprendizaje, que casi duplica la observada en el Protocolo SRT. Destacamos este resultado dada la mayor complejidad conceptual de la Variante INAHE, que permite la recolección de mayor cantidad y

variedad de datos del factor ambiental Iluminación, y sin embargo es percibido como más fácil de aprender a utilizar (Rodríguez, Monteoliva & Pattini, 2018).

Desarrollada como aplicación para dispositivos móviles Android, el objetivo de la Variante INAHE es convertirse en una herramienta práctica que facilite a profesionales la evaluación integral de la iluminación en espacios de trabajo. Esta

herramienta de diagnóstico ubicua que incluye los últimos avances en factores humanos en iluminación de manera simple, rápida y económica pero con indicadores de calidad de iluminación confiables aun no contemplados en la legislación Argentina, pero presentes en el borrador de la nueva IRAM AADL 2006.



USABILIDAD = FACILIDAD DE APRENDIZAJE + FACILIDAD DE USO

Gráfico 1. Facilidad de Uso y Facilidad de Aprendizaje de los protocolos SRT y Variante INAHE

INSTRUMENTOS.

Alcanzar un nivel determinado de iluminancia en función de la actividad desarrollada en un local es el requerimiento básico exigido en todo el mundo tanto en normas, como regulaciones. La iluminancia es una magnitud fotométrica que correlaciona bien con el desempeño visual, su interpretación es simple y directa, y el equipamiento para su medición es fácil de operar y relativamente asequible. Este instrumento es el luxímetro o luxómetro, que cuantifica la intensidad de luz tal y como es percibida por el sistema visual humano en una determinada área. Consiste en un fotodiodo o sensor que genera una señal cuando es expuesto a radiación electromagnética. El sistema visual humano no procesa con la misma eficiencia cada

longitud de onda del espectro, fenómeno que es descrito por la función V_{λ} . Por ello el luxómetro utiliza un filtro, para ajustar la sensibilidad espectral del sensor electrónico al "sensor" humano. Además, posee componentes ópticos de corrección de coseno, que evita errores de medición

proporcionales al ángulo de incidencia de la luz. Esta señal eléctrica generada por el sensor luego es convertida en una lectura en unidades calibradas, normalmente Lux (lx) y/o Candelas por metro cuadrado (fc). Además de variar con el ángulo de incidencia de la luz, la Iluminancia varía con la distancia a la fuente emisora, la ley de la inversa del cuadrado indica que, como otros fenómenos físicos, la cantidad de luz que incide en un plano es inversamente proporcional al cuadrado de

la distancia entre el plano y la fuente. Por ello recomendamos el uso del luxómetro con un trípode, que permita mantener constante la altura del sensor, normalmente la del plano de trabajo.

El avance en las tecnologías de comunicación móvil ha hecho posible dispositivos cada vez más versátiles, potentes, ubicuos y asequibles. La funcionalidad de estos dispositivos se ha extendido desde la mera comunicación por audio o texto, hasta convertirlos un soporte fundamental de interacción entre personas, y entre éstas con sistemas y servicios digitales en diversos contextos no solo laborales sino sociales y recreacionales. En la actualidad, es esperable encontrar dispositivos -aún en segmentos de entrada del mercado- con sensores integrados de iluminación, sonido, movimiento, y cámaras de alta resolución. Existe un creciente número de aplicaciones específicas para dar soporte a la recolección y análisis de datos de interés para el profesional de la Higiene y Seguridad. Green & col. (2018) relevaron aplicaciones para los sistemas IOS (Apple) y Android (Google), encontrando herramientas para la medición de factores ambientales, confort térmico, carga postural, y carga mental. En un estudio online dirigido a profesionales de la Ergonomía angloparlantes (n=428) Lowe, Dempsey & Jones (2019) reportaron que entre el 24% y el 28% de los encuestados refirieron usar teléfonos inteligentes como herramientas en su labor profesional. Entre ellos, las aplicaciones de uso más frecuente se orientaban al levantamiento y traslado de cargas, Evaluaciones Ergonómicas, y Vibraciones mecánicas. En relación a los factores ambientales, la medición de sonidos, iluminación y estrés térmico

ocuparon el quinto, sexto y séptimo lugar en frecuencia de uso.

Utilizar teléfonos inteligentes como instrumentos de medición es una ventaja en la medida que éstos sean más baratos que los equipos específicos que busca reemplazar. En nuestro mercado, el precio de un luxómetro varía entre USD 50 y USD 800, dependiendo de su homologación, prestaciones y especificaciones. Para cuantificar la fiabilidad de un luxómetro, la norma DIN 5032 (DIN, 2014) provee índices de calidad (e.g. ajuste general a V_{λ} , respuesta direccional, linealidad) que son informados por el fabricante y que definen distintas categorías de instrumentos de medición; de mejor a peor desempeño: L, A, B, C, D. Los equipos L y A son usados en mediciones de laboratorio, mientras que para la verificación de niveles de iluminancia generalmente se utilizan las Clases B o C. La clase D son todos los instrumentos que no pueden clasificarse en las categorías previas y no deben considerarse como adecuados más que para lecturas informativas. La res 84/12 solicita un certificado de calibración del luxómetro, pero nada indica en relación a la categoría (i.e. la incertidumbre en la medición) del mismo. Cabe preguntarse entonces: ¿Qué instrumento es más confiable, un luxómetro clase D con certificado de calibración o uno clase A sin certificado de calibración? En relación a los dispositivos móviles, considerando la relación costo-beneficio, el uso de aplicaciones en teléfonos inteligentes para medir iluminación debería poder reemplazar a luxómetros Clase B o C.

Diversos autores ya han explorado la confiabilidad de los dispositivos móviles para la medición de iluminancias. Green y

Col. (2018), que reportaron un error medio de 35,2% en su estudio de campo con iluminancias en un rango de 150 a 550 lx; Gutiérrez-Martínez y col (2017) desarrollaron una aplicación para la medición de iluminación obteniendo un error absoluto de 38,9% en un rango de 50 a 700 lx. Luego, mediante un proceso de calibración con tres coeficientes lograron reducir el error a 8,4%. Por su parte, Cerqueira y col. (2018) evaluaron 14 aplicaciones en 4 escenarios diferentes, de 300 a 1000 lx, con un escenario de calibración a 100 lx. El error promedio reportado en dicho estudio para todos los escenarios fue de 24,9%. En vista de estos resultados, estos autores concluyeron que no es aún factible el reemplazo de un luxómetro por una aplicación de dispositivo móvil. En el INAHE, realizamos un estudio propio en el cual ensayamos distintos criterios de calibración para minimizar el error en la medición de iluminancia utilizando teléfonos móviles, a partir de la comparación sistemática con un patrón áureo. Para ello se contrastaron los valores de iluminancia obtenidos con un luxómetro clase D como patrón áureo, con las lecturas de iluminancia de cuatro aplicaciones

Android para la medición de iluminación, instaladas en dos dispositivos móviles, en 17 niveles de iluminancia, desde los 20 lx hasta los 10000 lx variando la distancia a una única fuente de iluminación (LED 24W 6000K, CRI>70). El error en las lecturas directas, sin calibración, se ubicó entre 28,36% y 41,77%, dependiendo de la combinación aplicación/dispositivo. Esta variabilidad inter-dispositivo e inter-aplicación no tuvo significación estadística. Entre los criterios de calibración ensayados, dos se destacaron por sus resultados. El primero de ellos por medio de un único factor de corrección, calculado a partir del valor medio del rango de iluminancia este estudio. Con este criterio registramos un error promedio de -0,45% (DS=1,60). El segundo criterio utilizó una función de potencia para ajustar los datos del dispositivo móvil al patrón áureo, lográndose un error promedio de -0,08% (DS=0,21). Nuestros criterios lograron un mejor ajuste que los reportados en estudios previos, indicando que una adecuada calibración puede hacer factible el uso de aplicaciones en reemplazo de un luxómetro, al menos desde la clase B.

Criterio		APP 1		APP 2		APP 3		APP 4		Total
		DM 1	DM 2	DM 1	DM 2	DM 1	DM 2	DM 1	DM 2	
Valor Medio	Media	-2,96	1,57	0,36	-0,95	-0,91	-2,12	-0,04	1,41	-0,45
	DS	6,24	12,29	7,08	14,28	7,28	11,28	9,12	12,99	1,60
Función Potencia	Media	0,01	0,01	-0,04	-0,46	0,11	-0,32	-0,10	-0,17	-0,08
	DS	6,31	11,58	6,85	13,19	7,30	10,60	8,80	12,31	0,21

Tabla 2. Resumen de la implementación de los criterios de calibración por aplicación y dispositivo.

Una ventaja de utilizar al valor medio del rango como factor de corrección, es que sólo requiere la medición de un solo valor de referencia. En relación al criterio de la función de potencia, requiere de tres a infinitos puntos de referencia. Es evidente que, a mayor cantidad de mediciones, mejor ajuste tendrá la curva. Resta determinar cuál es la cantidad mínima de mediciones necesarias para lograr una función matemática capaz de predecir los valores de iluminancia con un error menor al criterio C3, basado en una sola medición. Estos resultados alientan a los autores ya que indican que es factible desarrollar un protocolo de calibración basado curvas de respuesta específicas por dispositivo, amigables para los usuarios. La evidencia obtenida permite ser optimista en cuanto a la utilización de dispositivos móviles para la medición de iluminación.

La siguiente cuestión a considerar es: ¿cuánta incertidumbre se puede tolerar en la práctica? Si el relevamiento de iluminancia se realiza en el marco de una Evaluación Post Ocupacional (EPO) para verificar el cumplimiento de la legislación vigente, se asume que el valor medido es igual al valor real y no debería haber margen para la incertidumbre. Si la iluminancia requerida es un valor específico, por ejemplo, en la legislación Argentina 500 lux (según la tabla 2 del anexo IV del DR 351/79) y la medición arroja 499 lux, *in stricto sensu*, no se está cumpliendo con la legislación. En estos casos Green y col. (2018) recomiendan un margen de error del 1%. Este requisito lo cumplen ambos criterios, media y función potencia, y también son válidos para los siguientes casos, de menor rigurosidad en términos de error admitido. Este es el caso cuando se busca conocer si la iluminancia se encuentra dentro de un rango, por ejemplo, las categorías de dificultad visual de la tabla 1 del Anexo IV del DR 351/79, situación en la que un 5% de error probablemente sea aceptable (Green y col., 2018). Si la situación no se encuadra en una verificación legal, como por ejemplo en estudios de preferencias o desempeño visual, el error puede alcanzar lo esperable para un luxómetro de bajo costo, esto es un 10%.

A modo de cierre, reafirmamos nuestro compromiso de cooperación, colaboración y transferencia con el sector profesional en general y con AHRA en particular. Es en esta dinámica de aprendizaje mutuo que nuestros posibles aportes redundarán finalmente en ambientes de trabajo más productivos, seguros y saludables.

REFERENCIAS

- Cerqueira D, Carvalho F & Melo RB (2017). Is It Smart to Use smartphones to measure illuminance for occupational Health and Safety Purposes?. En International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (pp. 258-268). Springer, Cham.
- Cuttle C (2010). Towards the third stage of the lighting profession. Lighting Research and Technology, 42(1): 73–93.
- Decreto Reglamentario 351 (1979). Reglamentación Ley 19587
- DIN 5032-7 (2017). Photometry – Part 7: Classification of illuminance meters and luminance meters
- EN 12464-1:2011. Iluminación de los Lugares de Trabajo. Lugares de Trabajo en Interiores
- Green P, Cheydleur G, Li K, Deng R & Sanchez R (2018). Free smartphone apps to support human factors/ergonomics work. Ergonomics in Design, 26(1): 4-16.

- Gutierrez-Martinez JM, Castillo-Martinez A, Medina-Merodio JA, Aguado-Delgado & Martinez-Herraiz JJ (2017). Smartphones as a light measurement tool: Case of study. *Applied Sciences*, 7(6): 616.
- IRAM AADL 20 06 (1972). Iluminación artificial de interiores, niveles.
- Ley 19587 (1972) Ley de Higiene y seguridad en el trabajo. Argentina
- Lowe BD, Dempsey PG & Jones EM (2019). Ergonomics assessment methods used by ergonomics professionals. *Applied ergonomics*, 81, 102882.
- Negar N, Williams D, Schwartz J, Ahamed SI & Smith RO (2014). Smartphone-based light intensity calculation application for accessibility measurement. En Proceedings of the RESNA Annual Conference, Indianapolis, IN, EEUU (pp. 11-15)
- Resolución 84 Superintendencia de Riesgos de Trabajo (2012). Protocolo para la medición de Iluminación en el ambiente laboral. Argentina
- Rodriguez R, Monteoliva JM, Dumit C & Pattini A (2017) Desarrollo de una aplicación de dispositivos móviles para la medición de iluminación en espacios de trabajo. II Congreso Iberoamericano de Ergonomía. Montevideo, Uruguay.
- Rodriguez R, Monteoliva JM & Pattini A (2018). A Comparative Field Usability Study of two Lighting Measurement Protocols. *International Journal of Human Factors and Ergonomics* 5(4): 323-343.

Importante

La AHRA promueve y apoya los trabajos de reconocidos profesionales.

El presente documento no representa necesariamente una posición ni una aprobación parcial o completa de la AHRA sobre lo expuesto por sus autores. Se debe entender como un aporte de esta Institución al debate y discusión de los temas abarcados. La publicación de este material sigue procedimientos de control interno en cuanto al cumplimiento de ciertas condiciones mínimas que debe tener el material recibido y sobre la idoneidad del autor.

Los autores

Dr. Roberto Germán Rodríguez

Roberto Germán Rodríguez es diseñador industrial (UNCuyo, 2003) y Doctor en medio ambiente visual e iluminación eficiente (Universidad Nacional de Tucumán, 2012). Investigador Adjunto en el Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (CCT Mendoza), donde realiza actividades de investigación, transferencia, divulgación y formación de

Ha realizado estadias académicas en la Universidad de San Pablo (Brasil) y en la Queensland University of Technology (Australia). Se interesa en los efectos visuales y no visuales de la luz en contextos laborales, junto a las

recursos humanos. Es docente de grado en Ergonomía en la Universidad de Mendoza y Universidad Nacional de Cuyo.



posibles respuestas de diseño para minimizar las demandas visuales y cognitivas impuestas por este factor ambiental, desde un enfoque ergonómico. Es autor de 53 publicaciones

científicas nacionales e internacionales con referato.

Dra. Andrea Pattini



Diseñadora Industrial (Especializada en Productos) UNCUYO, Doctora (Orientación Luz y

Visión) UNT. Investigadora Principal de CONICET. Directora del Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE) CCT CONICET Mendoza. Codirectora Académica de la Maestría en Desarrollo Sustentable del Hábitat Humano-FRM, UTN. Docente de cursos de posgrado en Iluminación natural y en la Maestría de Gestión del Diseño Para los Desarrollos Regionales, FAD, UNCUYO. Fundadora del grupo de iluminación natural en el Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (actual INAHE). Un diseño de iluminación natural de espacios de trabajo adecuado al clima combina una alta satisfacción de los ocupantes con un bajo consumo de energía para iluminación, siempre que se ajuste la hora oficial con la hora solar.