ASADES

Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente
Vol. 18, pp.05.09-05.17, 2014. Impreso en la Argentina
ISSN 2314-1433 - Trabajo selecionado de Actas ASADES2014

APORTES DEL PROTOCOLO LAHV PARA LA MEDICIÓN DE ILUMINACIÓN NATURAL EN ESPACIOS DE TRABAJO.

R. Rodriguez[1] , J.M. Monteoliva[2], J. Yamín Garretón[2], A. Pattini[3]

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (LAHV INCIHUSA)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Centro Científico y Tecnológico – CCT CONICET MENDOZA - C.C.131 C.P. 5500 – Mendoza
Tel. 0261-5244334 – e-mail: rgrodriguez@mendoza-conicet.gov.ar

Recibido 14/08/14, aceptado 26/09/14

RESUMEN.- Para la legislación Argentina, la luz natural no es un componente del entorno visual, por ello el LAHV desarrolló un protocolo complementario que incluye la evaluación de la iluminación natural en espacios de trabajo. Se presentan los resultados de la aplicación de dicho protocolo durante una Evaluación Post Ocupacional (n=19) donde se evaluaron: Área de luz Diurna, Factor de Luz diurna y Factor de Visión al Exterior. Estas métricas presentan un compromiso entre aplicabilidad/simplicidad y poder de diagnóstico considerando los usuarios finales del mismo. Se evidenció la operatividad de las métricas seleccionadas reconociendo sus limitaciones. Se concluye que las métricas incorporadas tienen un poder de diagnóstico acotado, recomendándose la realización de evaluaciones de iluminación natural a través de varias métricas, cuya interpretación debe realizarse en conjunto. El desarrollo del protocolo LAHV es un punto de partida para la actualización del marco legal y normativo de nuestro país.

Palabras clave: Iluminación Natural – Legislación – Protocolo de Medición.

INTRODUCCIÓN

La protección de la vida, de la salud y de la integridad psicofísica de los trabajadores es un axioma insustituible dentro de la filosofía del trabajo, es una exigencia social y un deber de la sociedad industrial moderna. En sus proyecciones prácticas, la vigilancia de la salud hará sentir su influencia en la elevación de los niveles de productividad con la consiguiente economía en los costos y cargas laborales. Considerando que hasta el 80% de la información sensorial que reciben las personas es visual (Boyce, 2003), debe exigirse que la iluminación se encuentre dentro de parámetros adecuados a las capacidades y limitaciones de la visión humana, permitiendo desarrollar la actividad laboral en forma eficaz, eficiente y en confort.

La Resolución 84/2012 de la Superintendencia de Riesgos de Trabajo de la Nación (SRT) aprobó el "Protocolo para la Medición de la Iluminación en el Ambiente Laboral", de uso obligatorio para todos aquellos que deban evaluar la iluminación en espacios de trabajo conforme con las previsiones de la Ley Nº 19587 de Higiene y Seguridad en el Trabajo y su reglamentación (Decreto 351/79). A partir de un análisis del marco legal vigente en nuestro país en materia de iluminación de espacios de trabajo y de la metodología recientemente desarrollada por la SRT para su evaluación (Pattini et al., 2012), se observó que el protocolo SRT no permite verificar todas las pautas dadas por el decreto 351/79, concluyéndose que dicho protocolo es una herramienta útil para sistematizar el análisis de niveles de iluminancia, permitiendo realizar un análisis parcial, cuantitativo, de la iluminación. Se reconoció que con el protocolo SRT se avanzó en algunos aspectos, pero otros relevantes como el análisis de la Iluminación Natural (IN), no contaron con un desarrollo adecuado.

La IN es la fuente de iluminación preferida (Galasiu & Veitch, 2006), siendo las ventanas valoradas positivamente por proveer conexión con el exterior (Tuaycharoen & Tregenza, 2007). A pesar de los beneficios que aporta, entre los que se destacan la reducción del consumo de energía eléctrica y el impacto positivo en el desempeño laboral y salud humanos (Boyce et al., 2003), es escasa la incorporación de esta fuente de

[1] Investigador Asistente CONICET
[2] Becario Doctoral CONICET
[3] Investigadora Independiente CONICET

iluminación en el diseño arquitectónico y ambiental de locales de trabajo. Desde el marco legal vigente en la Argentina, la luz natural no se considera como una componente del entorno visual, lo que constituye una limitación para su incorporación en espacios construidos. El trabajo de arquitectos, ingenieros y diseñadores, está condicionado por la legislación y normativas nacionales vigentes. Al no existir un marco referencial tal, estos profesionales no son estimulados a adoptar soluciones que potencien el uso principalmente del recurso de la luz solar para iluminar los espacios interiores.

Bajo la premisa de que un protocolo, como instrumento de verificación técnica, debe permitir cotejar el cumplimiento de la ley pero además recolectar toda la información relevante para la mejora de las condiciones laborales, el Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda propuso un protocolo complementario: el *protocolo LAHV*. Este protocolo busca anexar al protocolo vigente, ampliando aspectos relacionados con el relevamiento y la medición de indicadores relevantes del factor iluminación en puestos de trabajo. El mismo se encuentra en proceso constante de mejora y desarrollo (Rodriguez et al., 2013). El objetivo de este trabajo fue evaluar la iluminación de espacios laborales aplicando el protocolo LAHV para poner a prueba su sección dedicada a la iluminación natural. Se presentan los últimos aportes realizados al protocolo LAHV para el análisis de la iluminación natural, aplicando la última versión del protocolo durante una Evaluación Post Ocupacional.

MARCO TEÓRICO

El análisis de un marco regulatorio debe distinguir entre leyes y normas. Las leyes son normas jurídicas que se diferencian de otras normas de conducta en su carácter *heterónomo* (impuesto por otro), *bilateral* (frente al sujeto obligado a cumplir la norma, existe otro facultado para exigir su cumplimiento), *coercible* (exigible por medio de sanciones) y *externo* (importa el cumplimiento de la norma, no el estar convencido de la misma). Las normas, en cambio, son disposiciones que buscan obtener un nivel de ordenamiento óptimo en un contexto dado, no son coercitivas y son internas, es decir son de cumplimiento voluntario sin sanciones.

El marco regulatorio en iluminación natural presenta varias dificultades en su desarrollo, algunas específicas a la luz natural como fuente de iluminación. El dinamismo propio de la luz natural en términos de intensidad y temperatura de color, dificulta su predicción, y con ello su prescripción cuantitativa y cualitativa. Esto genera la necesidad de contar con nuevas metodologías que permitan la evaluación del factor iluminación natural desde la propia naturaleza *dinámica* de la fuente natural (Monteoliva & Pattini, 2013) considerando niveles mínimos y máximos de luz natural (LN), su distribución y duración a lo largo del día y del año, para luego ser incorporadas en normas de aplicación voluntaria y en leyes de cumplimiento obligatorio.

El concepto de derecho a la luz ya estaba presente en las civilizaciones Griegas y Romanas, así como en otras culturas en variados momentos alrededor del mundo (Boubekri, 2004). Actualmente, la regulación respecto a la iluminación natural varía de un país a otro (Julian, 1998), aunque puede concentrarse en tres grandes grupos: El primero, de escala urbana, se refiere al acceso que las fachadas de edificios tienen a la luz natural, estipulando alturas y retiros. Si bien estos códigos no garantizan ni prescriben niveles de LN dentro de los edificios, permiten asegurar que haya suficiente luz natural alrededor del edificio. El segundo tipo de legislación abarca los requerimientos de dimensionamiento de las ventanas, en relación a la superficie y dimensiones físicas del local. Respecto al criterio de dimensionamiento, suele basarse en requerimientos de ventilación y evacuación antes que de provisión de luz natural. El tercer grupo se refiere a la cantidad de iluminación natural en el interior del local. Se prescriben niveles específicos, como por ejemplo en el código BOCA de Estados Unidos, que indica un promedio de 64.58 lux (6 footcandles) en toda el área del local a una altura 76,2 cm (30 pulgadas) sobre el nivel del piso. Dado que la disponibilidad de luz natural es variable en el tiempo, la legislación también puede expresar niveles relativos de LN. Este es el caso del Factor de Luz Diurna (FLD) (Moon & Spencer, 1942), que es la métrica de desempeño de LN más ampliamente difundida entre los profesionales de la iluminación (Nabil and Mardaljevic 2005). El FLD, sin embargo, presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas al momento de interpretar sus resultados (Monteoliva & Pattini, 2013; Reinhart et al., 2006).

Una revisión realizada por Boubekri (2004) muestra las deficiencias existentes a nivel mundial en los códigos de edificación y normas en relación a la LN, concluyendo que no existe en ningún país un marco regulatorio obligatorio que promueva el uso activo de la LN en interiores.

En la Argentina, la Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo Nº 19587 de 1972 hace una sola referencia a la LN, de manera tangencial (Artículo 76), en relación a la iluminación de emergencia:

"En todo establecimiento donde se realicen tareas en horarios nocturnos o que cuenten con lugares de trabajo que no reciben luz natural en horarios diurnos deberá instalarse un sistema de iluminación de emergencia. Este sistema suministrará una iluminancia no menor de 30 luxes a 80 cm del suelo y se pondrá en servicio en el

momento de corte de energía eléctrica, facilitando la evacuación del personal en caso necesario e iluminando los lugares de riesgo."

Siguiendo una lógica de subordinación, en su decreto reglamentario 351/79 no se hace referencia alguna a la LN. Esto constituye una limitación para la incorporación de la luz natural y sus beneficios en términos energéticos y humanos en espacios de trabajo al no ser considerada, desde el marco legal vigente, como una componente del entorno visual. Por otro lado, la Argentina cuenta con un marco normativo (no obligatorio) específico para la iluminación. La Asociación Argentina de Luminotecnia, conjuntamente con IRAM, desarrolló entre 1968 y 1976 una serie de normas sobre iluminación natural y artificial, denominada Serie IRAM-AADL, aunque sólo algunas de las pautas de iluminación artificial fueron incorporadas en el decreto 351/79. La normativa específica de iluminación natural se desarrolla en:

- IRAM-AADL J 20.02. Iluminación natural de edificios, condiciones generales y requisitos especiales. Publicada en 1969, consta de 24 páginas.
- IRAM-AADL J 20.03. Iluminación natural de edificios. Métodos de Determinación. Publicada en 1970, consta de 63 páginas. Presenta métodos de dimensionamiento de ventanas, haciendo intervenir únicamente sus dimensiones geométricas.
- IRAM-AADL J 20.04. Luminotécnica: Iluminación natural, escuelas. Publicada en 1974, consta de 15 páginas.
- IRAM- AADL J20.17 Iluminación Natural y Artificial en Industrias. Características. Publicada en 1976, consta de 15 páginas.

Considerando los cambios tecnológicos, sociales y económicos que repercuten en las características del trabajo (por ejemplo el trabajo con Pantallas de Visualización de datos, PVD) junto con los avances científicos y técnicos en las áreas de iluminación, visión y factores humanos se evidencia un desfasaje de las Normas Serie IRAM-AADL. Se hace necesaria una profunda revisión y actualización para incluir los últimos avances en prácticas sustentables relacionadas al aprovechamiento de la luz natural o sistemas de iluminación más eficientes, abarcando conceptos relacionados a la iluminación de calidad y a la iluminación saludable (Rodriguez et al., 2013).

A partir de la revisión de la normativa nacional e internacional, el protocolo LAHV incorporó tres métricas específicas de iluminación natural (i) Factor de luz diurna (FLD); (ii) Área de Luz Diurna (ALD), (iii) Factor de Visión al Exterior (FVE). La primera está incluida en la normativa IRAM AADL y la segunda en protocolos internacionales de monitoreo de luz natural (Velds & Christoffersen, 2001). El factor de visión al exterior se basa en los créditos LEED v3, Daylight and Views – View (US Green Building Council, 2009).

MATERIAL Y MÉTODO

El protocolo LAHV permite el relevamiento físico del espacio y la medición de luz contemplando lo dispuesto por el marco legal vigente, es decir, contiene al protocolo SRT e incorpora nuevas herramientas para evaluar la iluminación en forma simplificada sin perder precisión ni exactitud, obteniéndose información relevante desde el punto de vista de la salud y la prevención. Paralelamente se generó un instructivo para el llenado del protocolo, donde se especifican pautas, tipificando el local según la criticidad del análisis de la iluminación natural. De ese modo el evaluador realizará la cantidad adecuada de relevamientos en el momento más oportuno en función de las características de la iluminación natural. Estas recomendaciones se basan en el protocolo de la International Energy Agency (Velds & Christoffersen, 2001).

El Protocolo LAHV consta de 50 ítems que deben ser completados por el evaluador. Su primer sección permite identificar el establecimiento, dimensionar el local, marcar su orientación ubicando las ventanas e indica el lugar de las tomas para el registro fotográfico. La sección *"Iluminación Artificial"* contempla la ubicación de las luminarias acompañadas con imágenes fotográficas, describiendo el diseño de iluminación y su control. Permite caracterizar hasta tres tipos de fuentes artificiales a partir del tipo de la luminaria, fuente, parámetros ópticos y balasto. El apartado "*Grillado de iluminación horizontal*" incorpora las ecuaciones para el cálculo de grillado y de uniformidad de iluminación del Protocolo SRT. Un aporte del protocolo LAHV es permitir evaluar los niveles y uniformidad de iluminancia generales en cada local y de manera independiente realizar análisis en particular de cada puesto de trabajo, permitiendo tipificar hasta dos tareas visuales para determinar la iluminancia adecuada. El protocolo LAHV hace aportes específicos que permiten hacer un diagnóstico de la iluminación natural caracterizando a las ventanas como fuente de iluminación según su dimensionamiento, dispositivos de control solar (interior y/o exterior), obstrucciones y tipo de paisaje. Se incluyeron métricas específicas: Área de luz Diurna (ALD), Factor de Luz diurna (FLD) y Factor de Visión al Exterior (FVE).

Área de Luz Diurna (ALD): A partir de la superficie de la ventana por encima de los 0,9m desde el suelo y las características de transmitancia visible del paño de la ventana se calcula el área efectiva de la ventana (Effective Window Area, EWA). Dividiendo el EWA por el ancho del muro que contiene a la ventana se obtiene la altura efectiva de la ventana (Effective Window Height, EWH). Esta relación geométrica permite determinar tres zonas a partir del las ventanas: El área de luz diurna (ALD) comienza en el muro y se extiende dos veces la EWH. Se caracteriza por un alto aporte de LN. El área mixta (ALM) limita con el área de luz diurna y se extiende una vez y media la EWH. Puede requerir de iluminación artificial suplementaria. Finalmente, el área de luz artificial (ALA) es la restante superficie del local. Se caracteriza por un bajo aporte de LN, siendo iluminada principalmente por luz artificial. A partir de las zonas de alcance de la LN definidas por la EWH, se determina la medición de iluminancia interior del factor de luz diurna, posicionando el sensor de iluminancia a la altura del plano de trabajo, en el centro de la ventana en el límite entre el ALD y el ALM. Luego, por observación directa, se estima el porcentaje de obstrucción de la ventana.

Factor de luz diurna (FLD): El marco normativo argentino define el coeficiente de luz diurna, métrica que expresa la eficiencia de la luz del cielo para proveer iluminancia horizontal en un interior expresada como la relación entre la iluminancia en un punto interior (Ei) y la iluminancia horizontal en una superficie exterior no obstruida (Ee) medidas en forma simultánea. Indica valores de referencia del FLD según la dificultad visual de la tarea (tabla 1).

Dificultad tarea	% FLD_{medio}	Ejemplos Norma IRAM AADL 20 05
Reducida	1	Circulación, depósito materiales toscos, etc.
Mediana	2	Inspección general, trabajo común de oficina
Alta	5	Trabajos de costura, dibujo, etc.
Muy Alta	10	Montaje e inspección de mecanismos delicados

***Tabla 1**. IRAM AADL 2002. Factor de Luz Diurna según la dificultad de la tarea.*

En este estudio, las mediciones de iluminancia se realizaron por medio de un luxómetro marca LMT con rango interior (hasta 20000 lx) y exterior (hasta 150000 lx). Las mediciones interiores se realizaron a la altura del plano de trabajo horizontal en el extremo distal del ALD una altura de 0,8 m. Las mediciones exteriores se realizaron en el plano horizontal a nivel del suelo, sin obstrucciones.

Factor de Visión al Exterior (FVE): Se basa en el crédito 8.2 de sección Calidad Ambiental Interior especificada en la certificación LEED v3. El objetivo de los créditos de LN es proveer una conexión entre los espacios interiores y el exterior a través de la introducción de LN en áreas regularmente ocupadas. Para su verificación se utilizaron los siguientes criterios: La vista debe incluir dos de los siguientes elementos: (i) flora, fauna o cielo; (ii) movimiento; (iii) objetos a una distancia de al menos 7,5 m desde el vidriado y debe tener un factor de visión de al menos 3 (California Energy Comission, 2003). El factor de visión al exterior define la cantidad y calidad de la vista en una escala de 0 a 5, donde 0 es la ausencia de visión al exterior a partir de pautas especificadas en dicho informe. En el protocolo LAHV se incluyeron dos tipos de vista, la principal y la de pausas. La vista principal se define a partir del campo visual habitual del trabajador mientras desempeña sus tareas y se evalúa desde la posición normal de trabajo en cada puesto, acotándose a un ángulo de 90° en dirección a la tarea visual. La visión de pausas se presenta en el campo visual del trabajador momentáneamente al girar su cabeza o cuerpo para tomar un descanso en su trabajo habitual, definiéndose la escala también por un cono de 90°.

El protocolo fue implementado en simultáneo por dos equipos de dos personas con conocimientos en luminotecnia y ergonomía. Los evaluadores estaban familiarizados con la metodología de registro de iluminancias por el método del grillado y contaban con un instructivo para el uso del protocolo que les fue entregada días antes del relevamiento junto con las planillas del protocolo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizó una Evaluación Post Ocupacional utilizando el protocolo LAHV en oficinas del Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales ubicadas en el CCT CONICET Mendoza, situado en el Parque General San Martín de la provincia de Mendoza (32° 53’ S; 68° 52’ O; elevación 842 msnm). El horario de ocupación es de mañana, realizándose el relevamiento en Julio de 2014. Un equipo de cuatro evaluadores relevó nueve oficinas ubicadas en el primer piso del edificio, siete de ellas con orientación este, mientras las restantes tenían orientación sur. Los datos de la tabla 1 permiten caracterizar cada local. La superficie promedio de los locales fue de 10,19 m^2 (DS= 1,92) y la ocupación media fue de 2,22 puestos de trabajo, con un mínimo de 1 puesto y

un máximo de 4 puestos. La imagen 1 muestra la imagen satelital del edificio y su entorno, su fachada este y la planta general donde se identifican en rojo los locales relevados.

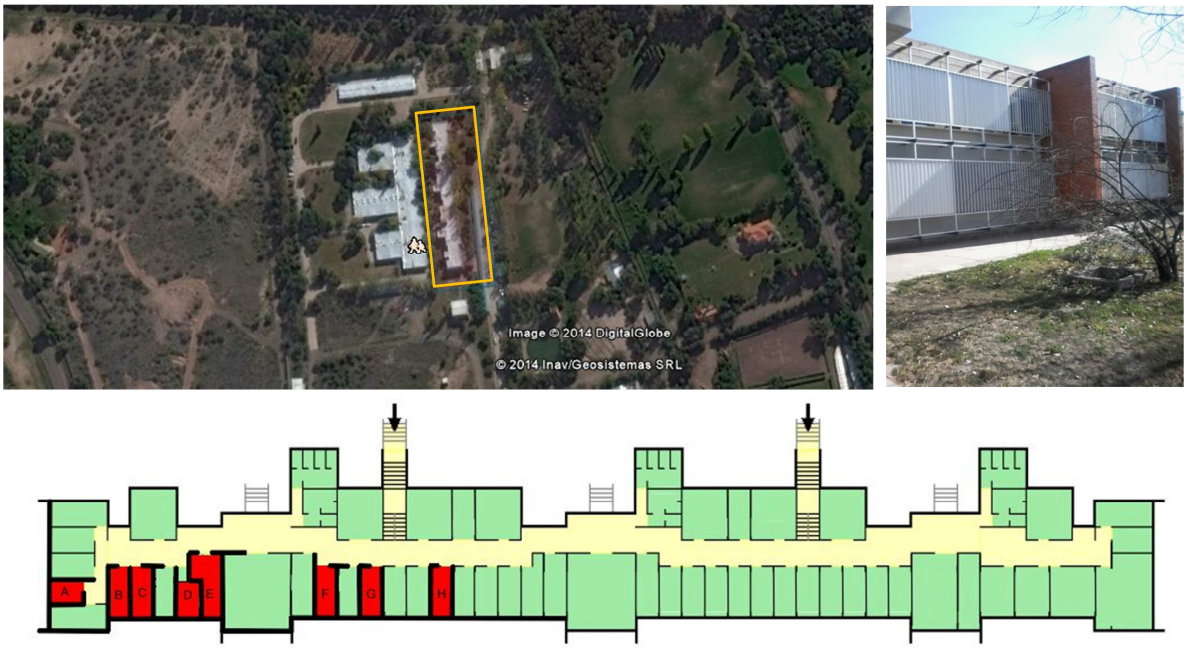


***Imagen 1**. Caso de estudio. Izquierda: Imagen Satelital. Derecha: Fachada. Abajo: Planta y locales relevados*

El área de ventanas medio fue de 3,47 m^2 (DS=0,26) con un promedio de obstrucción de 73,44% (DS= 22,73), principalmente debido a la presencia de parasoles móviles que se encontraron cerrados o semi-cerrados. Las mediciones se realizaron con cielo claro, cuya iluminancia horizontal exterior varió desde 7000 lux al inicio de las mediciones (9:15 AM) hasta 46300 lux al finalizar las mismas (11:45 AM), con un valor medio de 35044,44 lux. A partir de las mediciones realizadas en el límite del ALD, se determinó el aporte de la iluminación natural en cada local, a partir de la diferencia entre la iluminancia medida durante el relevamiento con la iluminación artificial encendida, y la lectura de iluminancia en el mismo punto durante una medición nocturna, sólo con el aporte de la luz artificial.

	PT	SL (m^2)	SV (m^2)	[%] Obs	$E_{h\ grillado}$	Uniforme	FLD	Eh_{ALD}	[%] LN	[%] LA
Local 1 (E)	3	11,27	3,67	99	309,37	SI	2,88	465	43,44	56,56
Local 2 (E)	2	11,14	3,72	80	452,60	SI	6,67	650	61,08	38,92
Local 3 (S)	1	7,92	3,15	55	294,00	NO	0,60	360	59,44	40,56
Local 4 (S)	2	9,19	3,13	55	235,00	SI	1,43	590	84,75	15,25
Local 5 (E)	2	8,11	3,74	70	1013,00	NO	0,60	400	69,75	30,25
Local 6 (E)	3	13,34	3,26	98	257,00	NO	0,80	492	75,71	24,29
Local 7 (E)	2	8,11	3,74	35	400,00	NO	1,88	1200	72,75	27,25
Local 8 (E)	1	10,86	3,58	70	716,25	SI	1,65	1700	45,00	55,00
Local 9 (E)	4	11,50	3,24	99	291,25	SI	0,41	420	45,24	54,76

***Tabla 2**. Casos de estudio. PT: Puestos de trabajo. SL: Superficie del local. % Obs: Porcentaje de obstrucción. Eh grillado: Iluminancia Horizontal de Grillado. FLD: Factor de Luz Diurna. Eh ALD: Iluminancia horizontal en el área de luz diurna. %LN: Porcentaje de aporte de luz natural. %LA: Porcentaje de aporte de luz artificial.*

El aporte medio de LN en el límite del Área de Luz Diurna fue de 61,91% (DS= 15,01). Respecto a las iluminancias obtenidas por el medio del grillado, la media fue de 440,94 lux (DS= 260,39), nivel inferior a los 500 lux especificados por la normativa nacional, con un local que alcanzó los requerimientos legales vigentes

para el trabajo con PVD (750 lux). Por otro lado, menos de la mitad de los locales (44,4%) cumplieron con los requisitos de uniformidad de la iluminación. Se relevaron 19 puestos de trabajo, con una iluminancia media en los mismos para trabajo con papel (plano horizontal) de 372,25 lux (DS= 296,23). El nivel medio de E_h en los puestos de trabajo no alcanzó los niveles de la norma IRAM AADL 2005, alcanzándose dicho nivel en el 36,8% de los puestos relevados. Respecto al nivel de iluminancia media en los puestos de trabajo para PVD (plano vertical) fue de 320,44 lux (DS= 266,73). Este nivel fue inferior a los 750 lux que recomienda la normativa argentina, satisfaciéndose dicha condición de iluminancia en el 5,56% de los puestos relevados. Los protocolos de medición de iluminación ponen demasiado énfasis en determinar los niveles de iluminancia a la altura del plano de trabajo, aspecto que el protocolo LAHV busca superar incorporando otros factores. Durante años, se ha persistido en la búsqueda científica de un método para determinar niveles de iluminancia que garanticen un buen desempeño en las tareas, sin embargo no se ha podido prescindir del consenso de diversos actores: empresarios, científicos, profesionales y usuarios, por lo que las iluminancias prescriptas no tienen una base puramente técnica (Boyce, 1996): Todavía no hay un acuerdo entre los países en los niveles de iluminación tanto para tareas específicas como para tipos de edificio, variando incluso en el tiempo en función del contexto tecnológico, político y económico (Pattini, 2005).

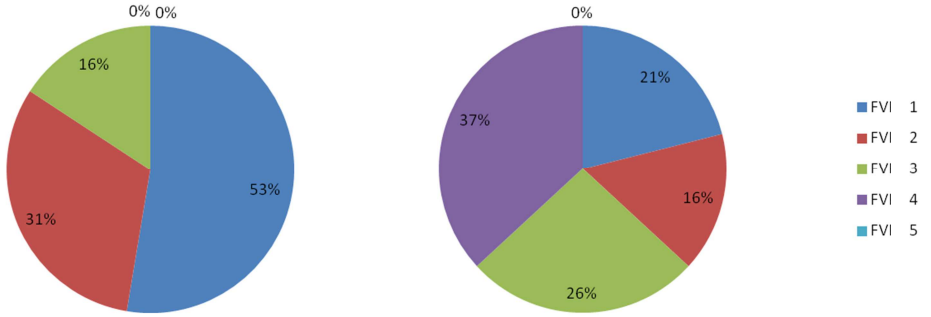
Los niveles de iluminancia sólo afectan de manera directa al desempeño visual de la tarea. Considerando que ninguna tarea es puramente visual, ya que además tiene componentes motrices y cognitivos que interactúan y se superponen, el efecto de la iluminación en el desempeño global de la tarea depende de la importancia relativa de la componente visual de la tarea. Además, la importancia relativa de la iluminancia en el desempeño visual varía de una tarea a otra, por ejemplo en un puesto de trabajo donde se requiere la discriminación de colores, el contenido espectral de la fuente y su índice de rendimiento cromático son críticos para el desempeño visual, no así el nivel de iluminación. Por el contrario, si lo que se requiere es discriminación de detalles, el nivel de iluminación se vuelve preponderante. Por todo esto, un análisis de iluminación si bien no puede prescindir del registro de iluminancias y su contraste con valores de referencia, no debe limitarse sólo a esta variable.

Factor de Luz Diurna: Se determinó el FLD en cada local. La norma IRAM AADL indica para trabajo de dificultad visual mediana, como el trabajo de oficina, un FLD de 2%. El FLD promedio fue de 1,76% (DS= 1,66), con un 22,2% de los locales (2 locales) en los que se verificó el aporte suficiente de LN según nuestro marco normativo, y un 77,8% (7 locales) de los espacios relevados con un FLD por debajo de lo indicado por la normativa. Los valores bajos de FLD, considerando la superficie de las ventanas en relación a las dimensiones geométricas de cada local y al aporte de luz exterior, pudieron deberse al alto porcentaje de obstrucción por parte de los parasoles móviles que permanecían cerrados.

Este indicador presenta algunas desventajas. El FLD ha sido desarrollado para condiciones de cielo nublado, en el que la iluminancia relativa es constante, por lo que esta métrica no considera las particularidades de cada clima luminoso, limitando su capacidad de generalización y condicionando su aplicación práctica a algunos días del año, difíciles de definir con antelación. El FLD se determina para la condición de cubierto porque es la menos favorable para el aprovechamiento de la luz natural, indicando el aporte de luz natural en un escenario "crítico". Cualquier otra condición de cielo se caracterizará por una mayor iluminancia interior. Un día de verano en un clima soleado, al mediodía, puede presentar una iluminancia horizontal exterior de unos 120.000 lux. Las mediciones de FLD en este estudio se realizaron en condiciones de cielo claro por razones operativas, por lo cual, en condiciones de cielo nublado, los valores resultarían menores. Considerando que el FLD indicado por la norma IRAM AADL 2002 para tareas de dificultad moderada es de 2%, resulta en una iluminancia horizontal interior de 2400 lux, valor superior al que se indica en la misma serie de normas IRAM AADL 2005 para este tipo de tareas (500 lux para trabajo de oficina en papel y 750 lux para trabajo de oficina con computadoras). Cómo la normativa Argentina establece mínimos de iluminancia y no rangos, dos normas diferentes se cumplirían sin considerar el riesgo de deslumbramiento o de falta de confort térmico asociados a grandes ventanas si no se dispone de dispositivos de control de la LN (el máximo FLD se obtiene con fachadas totalmente vidriadas). Se podrían definir coeficientes adecuados de FLD para cielos despejados, para determinar además del valor "crítico de mínima", un valor "crítico de máxima", definiendo rangos en los cuales se introduce LN al espacio pero se evita el deslumbramiento o la falta de confort térmico, pero aún continuaría siendo una métrica estática. Es necesario contar con metodologías que permitan la evaluación de la LN desde su propia naturaleza *dinámica.* Las métricas dinámicas para el modelado de LN son medidas calculadas a partir de datos climáticos estándares de un lugar. Estas variables evolucionan durante el día y el año, contrariamente a las métricas estáticas como el FLD. Este nuevo *paradigma dinámico* aporta métricas específicas al análisis predictivo anual del factor de iluminación natural (Reinhart et al., 2006): DF (coeficiente de luz diurna, utilizado para tipo de cielo nublado o uniforme), DA (autonomía de luz natural), DAcon (autonomía de luz natural ponderada), UDI (iluminación natural útil), DSP (porcentaje de saturación de luz natural) y Exposición de luz natural anual.

Se concluye que el FLD presenta su mayor utilidad como métrica de verificación legal un mínimo aceptable de LN en el espacio en condiciones específicas de cielo, debiendo complementarse con otras métricas específicas para otros aspectos del medio ambiente visual, como el riesgo deslumbramiento, la uniformidad de iluminación, o la estimulación circadiana. Por otro lado, deben considerarse las características dinámicas de la LN así como las particularidades de cada clima luminoso, dimensiones de las que el FLD carece. En un nivel práctico, el FLD tiene la ventaja de que sus predicciones son intuitivas y fáciles de comunicar, requiere de equipamiento relativamente asequible y es de muy amplia utilización, pudiendo contrastar los valores obtenidos con normas específicas.

Factor de visión al exterior (FVE): La existencia de paisaje observable desde una ventana no significa necesariamente que dicho paisaje se encuentre en el campo visual de los trabajadores. Por ello se hizo un análisis del factor de visión del mismo desde cada puesto. El factor de visión primario (en la posición habitual de trabajo) depende principalmente de la posición del puesto respecto a la ventana. Considerando la extensión horizontal del campo visual humano de 183°, en aquellos puestos donde el trabajador da la espalda a las ventanas, no hay posibilidad de visión a la ventana. Esta fue la situación de uno de los casos relevados. Cuando el trabajador está posicionado frente a la ventana, es la ubicación donde se obtienen mayores factores de visión al exterior, dependiendo su magnitud de la distancia a las ventanas y las obstrucciones causadas por el mobiliario o equipamiento del local de trabajo. Esta posición, sin embargo, es la más desfavorable en relación al riesgo de deslumbramiento. Se encontró un puesto en esta orientación. En los puestos de trabajo orientados de manera perpendicular a la fuente de iluminación natural se obtienen valores de aceptables a bajos del FVE, siendo además la posición recomendada para evitar deslumbramiento directo. Esta última situación fue la más frecuente en este relevamiento, observada en 17 de los 19 puestos analizados.



Factor de Visión al exterior primario *Factor de Visión al exterior pausas*

***Gráfico 1**. Resultados Factor Visión al Exterior.*

A partir de estas consideraciones se determinó el FVE primario (Gráfico 1, izquierda) encontrándose un 16% de los casos con un factor de visión primario aceptable, mientras que en el 84% restante de los puestos se determinó que no contaban con visión al exterior, ya sea por la posición del puesto o por obstrucción del mobiliario existente. Respecto a factor de visión en pausas (Gráfico 1, derecha), el 84% de los puestos se calificó con un FVE aceptable (igual o mayor que 3). Un factor de visión elevado también puede asociarse a riesgo de deslumbramiento, haciéndose evidente la necesidad de acompañar al análisis de iluminación en espacios de trabajo con métricas específicas de deslumbramiento. Mientras que la investigación del efecto en el desempeño cognitivo en términos de memoria y atención de los trabajadores de fuentes de deslumbramiento se encuentra en progreso (Monteoliva et al., 2012), es deseable la presencia de estímulos visuales y la realización de pausas activas durante el trabajo, con efectos positivos en el rendimiento y bienestar de los trabajadores. La predominancia de puestos de trabajo con un FVE pausas elevado debe ser un objetivo en el diseño interior de espacios laborales.

El análisis de FVE debe integrar una evaluación general del local con la determinación específica en cada puesto de trabajo, para obtener un diseño basado en las características de uso del edificio. Por ello, en cada local se verificó, desde el punto en el que se evaluaron las obstrucciones y el FLD, la calidad de la vista al exterior. Las 9 oficinas relevadas contaron una vista desde las ventanas con flora, cielo y objetos a más de 7,5 m desde el vidriado. Sin embargo, el alto porcentaje de obstrucción causado por los elementos de control solar (superior al 75% del área de ventanas en 5 de los 9 locales relevados) relativizó dichas características deseables del contenido visual de la ventana al dificultar, y en algunos casos impedir, precisamente su visión al exterior. La investigación sobre el uso de los elementos de control solar por parte de los ocupantes indica que una vez que aparece una molestia visual en el plano de trabajo, se bloquea el acceso de la luz solar directa, permaneciendo el dispositivo cerrado por horas, días y hasta meses, incluso una vez que la causal de molestia desaparece (Rea 1984; Reinhart & Voss, 2003). Como consecuencia, el aporte de LN se ve comprometido, la conexión con el exterior se ve disminuida, y la iluminación artificial permanece rutinariamente encendida aún en horas de luz diurna (Reinhart, 2006).

CONCLUSIONES

Una revisión a nivel mundial respecto a los códigos y leyes en LN muestra déficits, concluyéndose que no existe en ningún país un marco regulatorio obligatorio que promueva el uso activo de la LN en interiores. Desde el marco legal vigente en la Argentina, la luz natural no es considera como una componente del entorno visual, lo que constituye una limitación para su incorporación en espacios construidos. Por otro lado, el marco normativo existente a nivel nacional presenta un desfasaje respecto a los últimos avances científicos y técnicos en las áreas de iluminación, visión y factores humanos. En este marco, el LAHV desarrolló un protocolo que permite el relevamiento físico del espacio y la medición de luz contemplando lo dispuesto por el marco legal vigente, es decir, que contiene al protocolo SRT e incorpora herramientas para evaluar la LN en forma simplificada, a partir de metodologías definidas en la normativa nacional e internacional: Se incluyeron métricas específicas: Área de luz Diurna (ALD), Factor de Luz diurna (FLD) y Factor de Visión al Exterior (FVE).

El marco regulatorio en iluminación natural presenta varias dificultades en su desarrollo, algunas específicas a la luz natural como fuente de iluminación. El dinamismo propio de la luz natural en términos de intensidad y temperatura de color, dificulta su predicción, y con ello su caracterización y prescripción cuantitativa y cualitativa. Las métricas incorporadas al protocolo LAHV se basan en un compromiso entre aplicabilidad/simplicidad y poder de diagnóstico. Se consideró el contexto de aplicación del mismo, el ámbito profesional, cuya disponibilidad de recursos, formación específica y objetivos difieren respecto al ámbito académico y científico. Se evidenció, durante la aplicación del protocolo LAHV desarrollada en locales de oficinas (n=19) la operatividad de las métricas de LN utilizadas considerando que los usuarios finales del mismo serán profesionales de la iluminación y de la seguridad e higiene en el trabajo. Se reconocen las limitaciones del FLD como métrica estática de LN, siendo por el momento no asequible ni práctica la inclusión de las nuevas métricas dinámicas de LN de reciente desarrollo para los usuarios finales de nuestro protocolo.

Se concluye que cada una de las métricas incorporadas en el protocolo LAHV tiene un poder de diagnóstico acotado, específico para una variable del medio ambiente visual, recomendándose la realización de evaluaciones de iluminación natural a través de un conjunto de métricas, cuya interpretación debe realizarse en conjunto. No puede realizarse un diagnóstico integral a partir de una sola variable, situación que se observa en la práctica de la luminotecnia (y se prescribe desde el marco legal y normativo vigente en Argentina). Por ejemplo, las evaluaciones de iluminación ponen énfasis en las mediciones de iluminancia horizontal (Decreto reglamentario 351/79) y las evaluaciones de iluminación natural se concentran en el FLD (Norma IRAM AADL). El objetivo del protocolo LAHV es convertirse en una herramienta práctica para la evaluación integral de la iluminación en espacios de trabajo, como instrumento de verificación legal y técnica, como así también ser un punto de partida para la actualización del marco legal y normativo de nuestro país.

REFERENCIAS

Boubekri, M. (2004). A overview of the current state of daylight legislation. Journal of the Human-Environment System, *7*(2), 57-63.

Boyce P. (2003). Human Factors in Lighting. Second Edition. London. Pag. 123–161; Lighting and work. ISBN: 978-0-7484-0949-5.

Boyce, P. (1996). Illuminance selection based on visual performance - and other fairy stories. Journal of the Illuminating Engineering Society (25)2: 41-49.

Boyce, P., C. Hunter & O. Howlett (2003). The benefits of Daylight through Windows New York, Lighting Research Center Rensselaer Polytechnic Institute: 88.

California Energy Commission (2003). Windows and Offices: a Study of Office Worker Performance and the Indoor Environment: Technical Report: 159

Galasiu, A. D. y J. A. Veitch (2006). Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: a literature review. Energy and Buildings (38) 7, 728-742.

IESNA (2000). *Lighting Handbook: Reference and Application*. New York: Illuminating Engineering Society of North America.

Julian, W. (1998). Daylighting standards, codes and policies. In: *Proceedings of the Daylighting ' 98 Conference. International Conference on Daylighting Technologies for Energy Efficiency in Building, May 11–13, Ottawa (Canada)*. 265–69

Reinhart, C.; Mardaljevic, J.; Rogers, Z. (2006) Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design. *Leukos*, (3)1: 1-20.

Monteoliva, J.M. & Pattini, A. (2013). Iluminación natural en aulas: análisis predictivo dinámico del rendimiento lumínico-energético en climas soleados. *Ambiente construído* [online], 13(4): 235-248. http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212013000400016.

Monteoliva, J.M., Rodriguez, R.G, Pattini, A., Ison, M. (2012). Daylighting and Cognition: Experimental Studies on Working Memory and Attention in Clerical and Educational Contexts. En *Proceedings Experiencing Light 2012*. Eindhoven, the Netherlands, Noviembre de 2012.

Moon P, Spencer DE. 1942. Illumination form a non-uniform sky. Illum. Eng. (N.Y.). 37:707–726.

Nabil A, Mardaljevic J. 2005. Useful Daylight Illuminance: A New Paradigm to Access Daylight in Buildings. Lighting Res Tech. 37(1):41–59.

Pattini, A. (2005). Recomendaciones de niveles de iluminación en edificios no residenciales: una comparación internacional. *Avances en Energías Renovables y Ambiente (* 9): 7-12

Pattini, A., R. Rodriguez, J.M. Monteoliva & J. Yamín Garretón (2012). Iluminación en espacios de trabajo. Propuestas al protocolo de medición del factor iluminación de la Superintendencia de Riesgos de Trabajo. *AVERMA,* 16, 81-88.

Rea, M. & M. Ouellette (1991). Relative visual performance: a basis for application. *Lighting Research and Technology,* 23(3), 135-144.

Reinhart, C. F., Mardaljevic, J., & Rogers, Z. (2006). Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. *Leukos*, *3*(1), 7-31.

Rodriguez, R., A. Pattini & C. Villarruel (2013). Protocolo para la medición de la iluminación en el ambiente laboral de la Superintendencia de Riesgos de Trabajo. Aplicación y análisis de una propuesta complementaria. *AVERMA,* 17, 31-39.

Tuaycharoen, N. y P. R. Tregenza (2007). View and discomfort glare from windows. *Lighting Research and Technology* (39) 2, 185-200.

US Green Building Council (2009). LEED Reference Guide For Green Building Design And Construction. Report: 645.

Velds, M. & J. Christoffersen (2001). *Monitoring Procedures for the Assessment of Daylighting Performance of Buildings*. IEA SHC TASK 21 / ECBCS ANNEX 29.

CONTRIBUTIONS OF LAHV PROTOCOL FOR THE MEASUREMENT OF NATURAL LIGHT IN WORKSPACES

ABSTRACT: Argentinean legislation, does not consider natural lighting as a component of the visual environment, so we developed a supplementary protocol that includes the assessment of daylight in workspaces. In this paper we present the results of the application of this protocol during a Post Occupancy Evaluation (n=19) in which we evaluated: Daylight Area, Daylight Factor and Outside View Factor. These metrics showed a compromise between applicability/simplicity and diagnostic power, considering the intended final users. The selected metrics also evidenced a good applicability while recognizing their limitations. We concluded that the metrics incorporated, individually, have a limited diagnostic power, so we recommend conducting daylighting evaluations through a set of metrics, whose interpretation must be made altogether. The LAHV protocol is a starting point for updating the legal and regulatory framework of our country.

Key words: Daylight – Legislation – Measurement Protocol.