

## **MORFOLOGÍA Y LUZ NATURAL EN ESPACIOS DE TRANSICIÓN. ESTUDIO COMPARATIVO DE CASOS**

Córica, L.<sup>1</sup>; Lasagno, C.<sup>2</sup>; Colombo, E.<sup>3</sup>; Pattini, A.<sup>4</sup>

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda – Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (LAHV INCIHUSA) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) Centro Científico Tecnológico CCT- MENDOZA CONICET C.C.131 C.P. 5500 – Mendoza  
Tel. 0261-45244345 – Fax 0261-4287370 e-mail: apattini@mendoza-conicet.gob.ar

Dpto. de luminotecnía, luz y visión) Facultad de ciencias exactas y tecnología. UNT. (Instituto de Investigación en Luz Ambiente y Visión) CONICET-UNT. ARGENTINA

Dpto. de Luminotecnía, Luz y Visión (DLLyV). Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología.

Universidad Nacional de Tucumán (UNT) - Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión (ILAV) CONICET-UNT. Av. Independencia 1800, (CP4000) Tucumán, Argentina

*Recibido 11/09/15, aceptado 13/10/1*

**RESUMEN:** El diseño de aspectos morfológicos, geométricos y de los sistemas de iluminación natural puede mejorar las condiciones lumínicas, fundamentalmente en los espacios de transición edilicia. El presente trabajo compara la perfomancia lumínica de dos tipologías de hall de acceso a edificios, proyectados con diferentes criterios de diseño. Se analizan parámetros de iluminancia vertical y horizontal, luminancias puntuales entre ambos espacios. Los resultados muestran diferencias notables en cuanto a calidad de la iluminación, las cuales se explican a través de sus diferencias morfológicas. El espacio de transición de la biblioteca presenta mayor uniformidad en iluminancia horizontal y vertical durante la jornada invernal, constituyéndose como caso paradigmático de buen diseño. Las luminancias registradas muestran que el caso considerado positivo garantiza la ausencia de “barreras de iluminación” y una adecuada accesibilidad visual.

**Palabras clave:** Espacios de transición; Iluminación natural; parámetros morfológicos, geométricos y lumínicos; Accesibilidad visual.

### **INTRODUCCIÓN**

Los espacios de transición constituyen estructuras espaciales complejas. En términos de percepción se transforman en un desafío para la interacción de los sentidos humanos. Son zonas sensibles que deben promover un uso activo dado que son el ingreso al espacio construido y al mismo tiempo deben conservar la energía (Chun, 2004; Boettger, 2014). Desde el análisis lumínico, estos tipos de espacios están marcados por requerimientos visuales opuestos según se usen de entrada o salida, los cuales deben ser cuidadosamente examinados. Los “espacios de transición” (ET) pueden generar “barreras de visión funcional”, cuando exhiben un diseño pobre del medio ambiente iluminado que dificulta o impide el desempeño visual (Colombo y ot, 2013). En estos espacios se reconocen distintas fases individuales, las cuales deben ser consideradas con una visión ergonómica donde el espacio se adapte a las necesidades humanas y no viceversa. Dentro de las mismas es posible distinguir diferentes tareas: (1) Reconocimiento; (2) Aproximación; (3) Alcance; (4) Arribo; (5) Orientación y aproximación; (6) Monitoreo; (7) Salida (Boettger, 2014). Las grandes variaciones lumínicas presentes en esta tipología de espacios que vinculan el exterior con el interior implican un verdadero desafío proyectual consistente en diseñar espacios conexos que garanticen la accesibilidad visual de las personas (Legge y ot. 2010).

A partir de estudios lumínicos anteriormente para climas soleados y en condiciones de luz

05.103

realizados en “espacios de transición” diurna (Lasagno, 2014; Córica y ot,

<sup>1</sup> Investigadora Asistente CONICET

<sup>2</sup> Becaria Posdoctoral CONICET

<sup>3</sup> Investigadora Principal CONICET

<sup>4</sup> Investigadora Independiente CONICET

2015), surgieron diferentes reflexiones y recomendaciones a considerar para el diseño de estas tipologías interior-exterior. Las mismas se basan en proponer concepciones arquitectónicas que involucren variables morfológicas y lumínicas, dadas las exigencias visuales a las que se enfrentan los usuarios, las cuales aumentan cuando el diseño del espacio no contempla el funcionamiento del sistema visual.

En regiones áridas, se ha demostrado que las particularidades del clima luminoso no deben ser subestimadas en el diseño del espacio urbano-arquitectónico (Córica, 2010; Guzowski, 2000). Ante la gran cantidad de días despejados a lo largo del año, la direccionalidad de la fuente según las trayectorias y ángulos de altitud solar (diurna y anual), determina en los espacios interiores una gran diversidad de escenarios lumínicos (Pattini, 2007). Las variables geométricas, morfológicas e incluso de los acabados superficiales, podrían graduar/modular las diferencias de iluminación presentes entre el exterior e interior, lo que permitiría mejorar su eficiencia energética y lumínica en gran medida (Chun, 2004; Sharples S, 2007).

Recientemente, en la Provincia de Mendoza, se ha implementado un “Programa Provincial de 18 bibliotecas públicas”. El diseño proyectual del mismo, apunta a dar respuesta a los nuevos criterios de sustentabilidad energética. Los edificios cuentan con la aplicación de estrategias bioclimáticas tanto pasivas como activas. Se trata de propuestas tales como dotar al edificio con luminarias LED para reducir el consumo de energía, sistemas de climatización en base al aprovechamiento de la energía solar, implementación de sistemas fotovoltaicos, calefón solar, etc. Dado que la ejecución e implantación de estos edificios aspira a un diseño arquitectónico como un ícono provincial, se seleccionó uno de los edificios para monitorear y analizar las respuestas edilicias al aprovechamiento de iluminación natural, específicamente el espacio de transición o ingreso del mismo. El diseño de aspectos morfológicos, geométricos y de los sistemas de Iluminación Natural (IN), mejora las condiciones lumínicas, fundamentalmente en el hall de acceso del edificio.

A partir de lo expuesto, el presente trabajo pretende comparar el comportamiento lumínico de dos tipologías de espacios de transición proyectados con diferentes criterios de diseño, mediante el análisis de las diferencias en sus niveles de iluminación. Se tomaron dos casos de estudio, por un lado el hall de ingreso de una de las bibliotecas descriptas y por otro, el hall de ingreso de un edificio anteriormente estudiado (Córica y ot, 2015).

## **METODOLOGÍA**

### *Descripción de los casos seleccionados:*

Los escenarios establecidos para el estudio se encuentran ubicados en la provincia de Mendoza, Argentina región de clima semiárido, dentro de la clasificación de aridez (Figura 1). El primer Espacio de Transición (ET\_CCT), constituye uno de los ingresos al edificio IADIZA perteneciente al Centro Científico Tecnológico CONICET MENDOZA ubicado en el Parque General San Martín de la ciudad. El segundo espacio definido como ET\_BIBLIOTECA, constituye la circulación de ingreso a una de las Bibliotecas Públicas, localizada en el Departamento de Lavalle.



Figura 1: Vista exterior de los casos de estudios. ET\_CCT (izquierda); ET\_BIBLIOTECA (derecha)

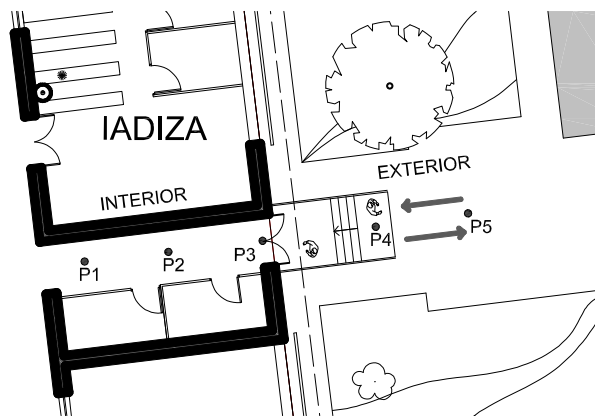


Figura 2: Planta Caso A: ET\_CCT

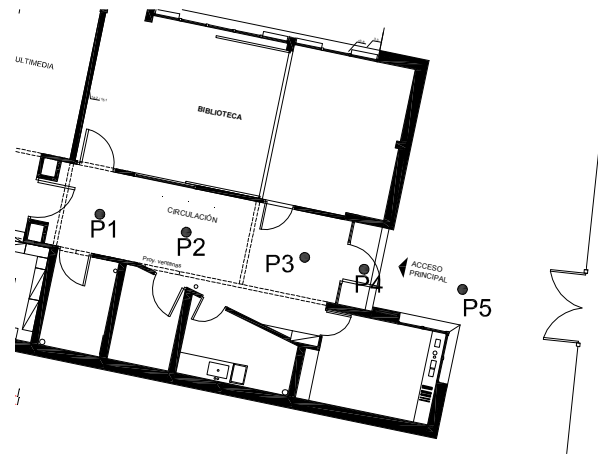


Figura 3: Planta Caso b: ET\_IBLIOTECA

Para describir las características tipológicas de ambos espacios, se presenta un cuadro de clasificación de criterios (López, Besora, 2009) donde se detallan los principales parámetros descriptivos: geométricos, morfológicos y lumínicos y sus respectivas variables.

**Criterios Geométricos:**

	ET_CCT	ET_BIBLIOTECA	
ACCESOS	Acceso Horizontal	Frontal	
	Acceso Vertical	Plano	
	Mecanismo de adaptación previa	Patio- vegetación	Directo
DIMENSIONES	Altura	Un nivel (3m)	Un nivel ½ (5m)
	Proporción	Longitudinal (x<y)	Longitudinal (x<y)
	Dimensión humana	Grupo pequeño (4 personas)	Grupo mediano (>10 personas)

**Criterios Morfológicos:**

	ET_CCT	ET_BIBLIOTECA	
SUELO	Material	Baldosa	Cerámico
	Tipo de Reflexión	Reflexión media	Reflexión media
	Color material	Azul	Beige
	Reflectancia	Media	Alta

<b>PARED</b>	<b>Material</b>	Ladrillo (predominante)	Revoque fino (predominante)
	<b>Tipo de Reflexión</b>	Reflexión Baja	Reflexión Media
	<b>Color material</b>	Marrón	Blanco
	<b>Reflectancia</b>	Baja	Alta
<b>TECHO</b>	<b>Material</b>	Revoque fino (predominante)	Revoque fino (predominante)
	<b>Tipo de Reflexión</b>	Reflexión Media	Reflexión Media
	<b>Color material</b>	Blanco	Blanco
	<b>Reflectancia</b>	Alta	Alta
<b>Criterios lumínicos:</b>			
		<b>ET_CCT</b>	<b>ET_BIBLIOTECA</b>
<b>LUZ NATURAL</b>	<b>Ingreso horizontal</b>	Frontal	Frontal- Lateral superior (un lado)
	<b>Ingreso vertical</b>	Puerta ventana general	Puerta ventana general- Ventana Superior
	<b>% de aberturas</b>	0-20%	40-60%
	<b>Orientación de las aberturas</b>	Este	Este-Sur
	<b>Componente de luz</b>	Directa- difusa	Directa-Indirecta-difusa

Tabla 1. Clasificación de parámetros descriptivos comparativos

En cuanto al entorno, el espacio ET\_CCT, forma parte de un conjunto de edificios construidos del Centro Científico, puntualmente en sector de circulaciones y jardines exteriores; mientras que la biblioteca posee un entorno abierto con un acceso directo, dado que se encuentra en un sector de nueva consolidación urbano-edilicia. A la vez coinciden en la disposición lineal predominante de su eje de orientación E-O. Sólo presentan variaciones en relación al norte perpendicular de 83° para CCT y de 102° para la biblioteca.

#### *Iluminancias sobre plano vertical y horizontal*

Para cotejar la disponibilidad lumínica, se dispuso la misma cantidad de puntos de medición en ambos espacios y a distancias equidistantes considerando 5 puntos. Se definieron 3 puntos interiores (P1, P2, P3) y dos puntos exteriores (P4, P5), los cuales se muestran en las Figuras 2 y 3, ubicados a una distancia de 3m uno de otro. En dichos puntos se relevaron iluminancia horizontal e iluminancia vertical en sentido de ingreso y egreso del lugar. Se midió la condición estacional de invierno, en los días 26 y 29 de junio en los siguientes horarios: 11.30hs, 13.30hs, 15.30hs.

El equipamiento utilizado consistió en luxímetro Radiómetro LI-COR 189 con sensor fotométrico LI-210 SB para el registro de iluminancias, montados sobre trípode a una altura de 1.50m (altura promedio de visión).

#### *Luminancias sobre plano vertical*

También se registraron luminancias puntuales sobre cartilla de reflectancia conocida ( $\rho_{\text{gris}} = 18\%$ ) al ingresar y al salir de los espacios, con luminancímetro marca Minolta modelo LS110 de 3 grados de visión de ángulo sólido. Para ello, se tomaron dos mediciones de referencia en el exterior y el interior, manteniendo la misma ubicación en los dos casos de estudio (Figuras 5 y 6).



Figura 5. Ubicación de cartilla para espacios en ET\_CCT (exterior-interior)



Figura 6. Ubicación de cartilla para espacios en ET\_Biblioteca (exterior-interior)

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

En primer lugar las imágenes de la figura 7 permiten visualizar los escenarios lumínicos de los casos comparados. A partir de los aspectos detallados en la Tabla 1: geometría, morfología, acabados de los materiales, etc., se observan diferencias notables en cuanto a calidad de la iluminación de los espacios, más allá que ambos coinciden en la misma longitud (8m aproximadamente).

Para evaluar el diseño de la iluminación existen dos métodos generales que permiten hacerlo. Por un lado, el método más común es el de las iluminancias, horizontal y vertical. Para los espacios de transición se sugiere por norma una disponibilidad de 100lx de iluminancia horizontal y 50lx de iluminancia vertical (DiLaura, 2011). Esto garantizaría la realización de las tareas que allí se desarrollan, ya enunciadas en la introducción del trabajo. Por otro lado, el método de las luminancias que si bien es más complejo, es el que más precisamente describe la escena visual. Cabe aclarar que la Luminancia es la magnitud de singular importancia pues es la que aprecia el ojo y está relacionada con la sensación visual de claridad, aunque no son equivalentes. La variable luminancia contiene información combinada del flujo luminoso por unidad de área que llega a una dada superficie y de la reflectancia de la misma, en tanto brinda el flujo luminoso que llega al ojo por unidad de ángulo sólido y por unidad de área perpendicular a la línea de visión. La unidad de la luminancia es la candela por metro cuadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) que también puede expresarse como lumen por estereoradian por metro cuadrado ( $\text{lm}/\text{sr}\cdot\text{m}^2$ ) (Colombo y O'Donnell, 2001).





Figura 7. Vista desde el interior de los casos de estudios. ET\_CCT (izq.); ET\_BIBLIOTECA (der)

#### - Análisis de Iluminancias

Si se comparan los cortes de las figuras 8 y 9 claramente se observa la influencia de las diferencias morfológicas entre las dos situaciones, las cuales se ven reflejadas en las performances lumínicas. En el caso del ET\_CCT, la geometría de un espacio estrecho, angosto, de escasa altura, que cuenta con iluminación natural proveniente de manera frontal (sólo por abertura vidriada del acceso), determina que las Iluminancias en el interior tiendan a niveles muy bajos. Los puntos más alejados de la abertura se registran inferiores a 100lx, lo que determina la falta de uniformidad lumínica (Figura 8).

Contrariamente, las características geométricas y morfológicas del caso ET\_BIBLIOTECA, de las cuales se destacan amplitud en relación ancho y altura, mayor superficie de aberturas, ingreso de iluminación frontal y cenital por aventanamientos superiores con orientación sur, mejoran notoriamente tanto cuantitativa como cualitativamente las condiciones lumínicas y en consecuencia visuales del mismo. En todos los puntos los valores superan los requeridos por norma, presentando condiciones de iluminación uniformes en todo el espacio y para todos los horarios de uso diurno medidos (Figura 9).

En cuanto al registro de Iluminancias verticales, se observa que el ET\_BIBLIOTECA responde adecuadamente tanto para el ingreso como para el egreso del espacio, siempre superando los 50lx requeridos por norma en todos los horarios de la jornada testeados. Para el caso del ET\_CCT la Iluminancia vertical para el ingreso no alcanza la mínima requerida hacia el interior del espacio, revirtiendo esta situación en dirección a la salida del mismo.

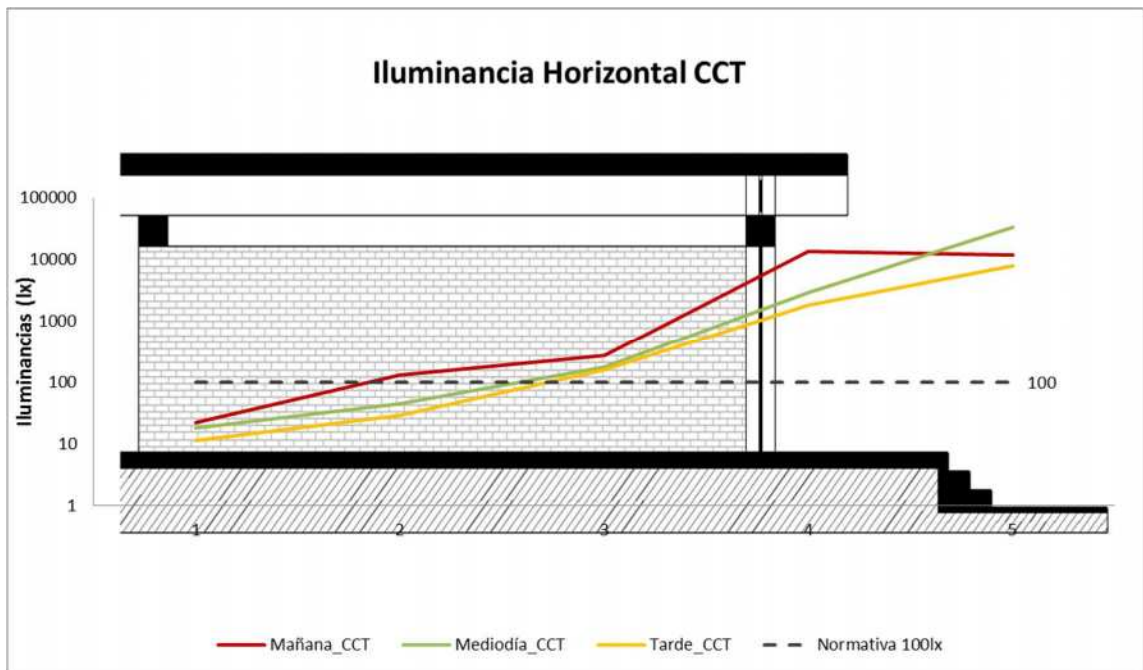


Figura 8. Iluminancias horizontales y vista en corte ET\_CCT Mendoza

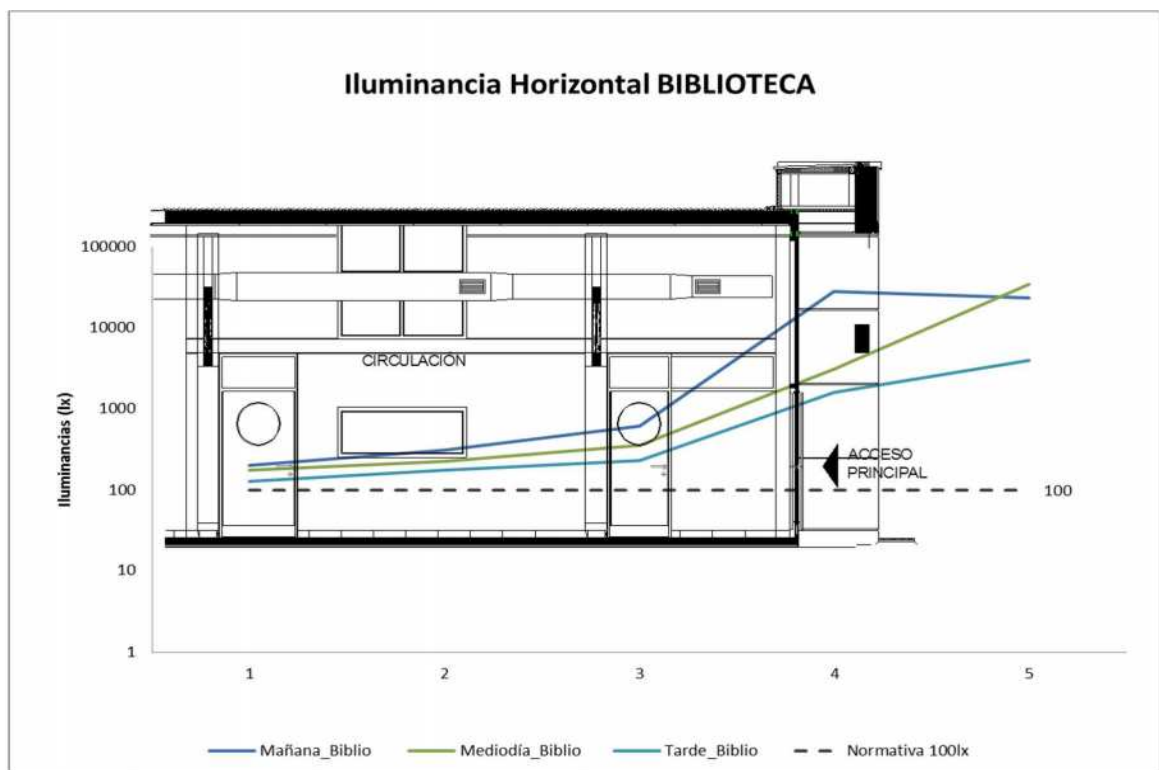


Figura 9. Iluminancias horizontales y vista en corte ET\_BIBLIOTECA

Estos resultados exponen una doble situación crítica según el sentido de uso del espacio tanto de entrada o salida. Las diferencias en las intensidades lumínicas entre el interior y el exterior del espacio de transición se profundizan cuando:

-si el espacio se usa de entrada y si el interior del espacio disminuye abruptamente los niveles de Iluminancia vertical se genera una potencial “barrera de iluminación” (Colombo, 2013) dado que se

produce un momento de ceguera hasta dar tiempo al sistema visual de regenerar los fotopigmentos blanqueados por los elevados niveles de luz disponibles en el exterior (esta adaptación puede llevar varios minutos), situación que se produce en el ET\_CCT.

-si el espacio se usa de salida y si el interior es muy oscuro, pueden ocasionarse situaciones de deslumbramiento disconfortante, dado que el sistema visual debe adaptarse rápidamente a esta diferencia.

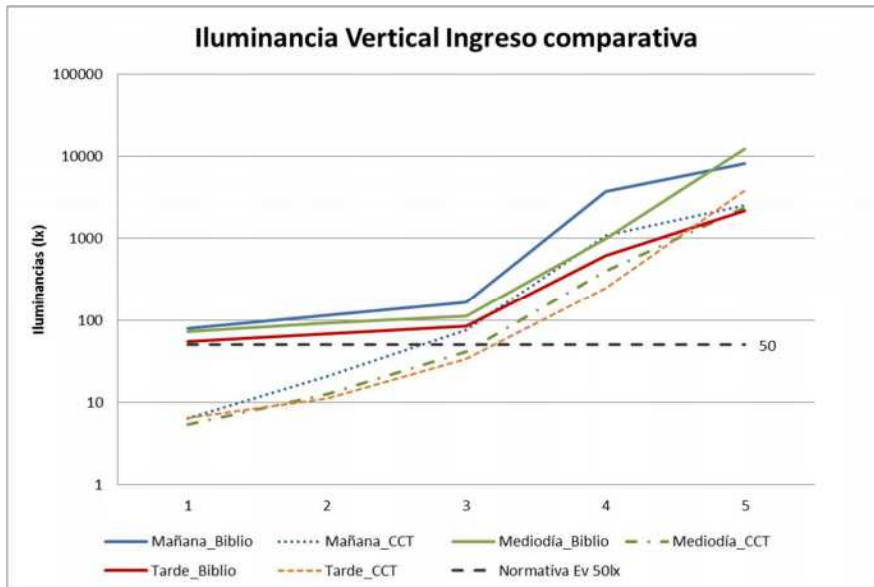


Figura 10: Comportamiento lumínico: Entrada.

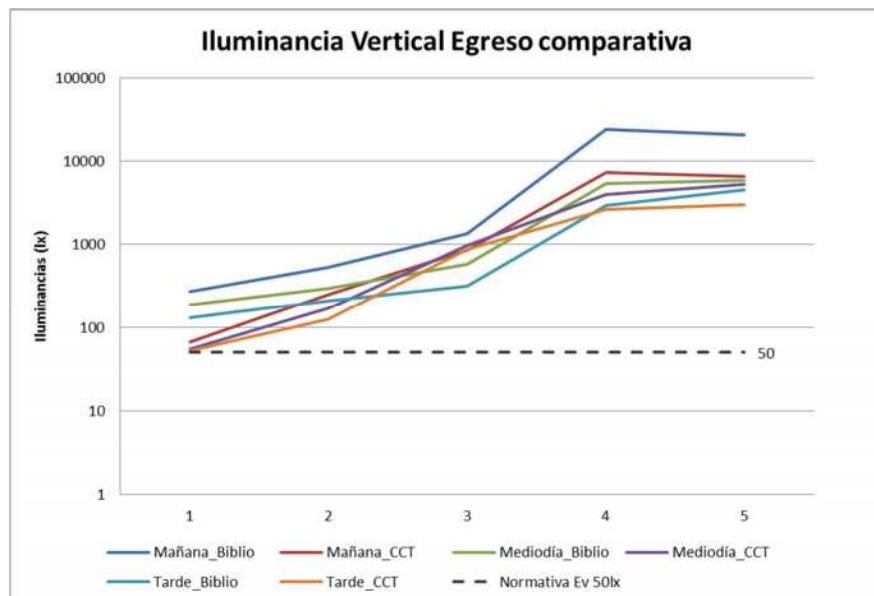


Figura 11: Comportamiento lumínico: Salida

- *Análisis de luminancias*

Cabe destacar que las propiedades ópticas de los acabados de las superficies interiores, constituyen otro elemento de diseño cuya influencia interviene directamente en la distribución de la luz natural en estos espacios, producto de los diferentes coeficientes de reflexión que presentan. Los acabados interiores empleados en la Biblioteca favorecen el aprovechamiento de la luz natural dentro del espacio mientras que por el contrario, los colores y acabados utilizados en el CCT no contribuyen a una mejora lumínica en el espacio.



El análisis de luminancias puntuales muestra las diferencias lumínicas entre los espacios comparados lo que determinará cómo responde el sistema visual de los usuarios al ingresar al espacio. En el caso ET\_BIBLIOTECA en que las diferencias de luminancias entre el punto exterior y el punto interior medidas son de un orden de magnitud, a todas las horas medidas, el usuario no deja de ver al ingresar al espacio dado que su sistema visual se mantiene adaptado. Por el contrario, en el caso del ET\_CCT, se encuentran diferencias de dos ordenes de magnitud en todas las luminancias medidas, lo que seguramente provoca una pérdida de visión temporal con la consecuente pérdida de eficiencia visual (Lasagno y ot, 2014). En la Tabla 2 se muestran estos resultados.

	<b>Punto Interior</b>	<b>Punto Exterior/puerta)</b>
<b>ET_Biblioteca 11.30hs</b>	21.93	675.3
<b>ET_CCT 11.30hs</b>	8.23	281.5
<b>ET_Biblioteca 13.30hs</b>	17.44	345.2
<b>ET_CCT 13.30hs</b>	8.74	167.1
<b>ET_Biblioteca 15.30hs</b>	12.67	212.7
<b>ET_CCT 15.30hs</b>	6.27	140.9

Tabla 2: Registro de luminancias puntuales cd/m2

## CONCLUSIONES:

A la hora de proyectar un espacio que vincula diferentes ambientes lumínicos, las variables geométricas y morfológicas, pueden mejorar notoriamente las condiciones lumínicas interiores y por ende generar una transición lumínica gradual entre el interior- exterior y viceversa. Aspectos de proporción (largo-ancho), dimensiones, orientación, sumados a los acabados superficiales y sus características ópticas repercuten en las distribuciones lumínicas del recorrido, principalmente en el espacio interior.

Las recomendaciones lumínicas presentes en las normas y códigos urbanos, no son suficientes puesto que no contemplan requerimientos apropiados al carácter y uso de estas zonas, en particular cuando se trabaja en regiones con alta disponibilidad de luz solar y muchos de los espacios de uso diurno poseen casi exclusivamente presencia de luz natural en su interior. El proyectista debe tomar conciencia de que la luz natural es un material de participación obligada en todo proyecto y debe ser considerada.

En climas soleados toma particular relevancia, además de las variables mencionadas, la orientación del espacio de transición que conecta el exterior con el interior debido a la presencia dinámica de la fuente de luz natural de gran potencia y efecto direccional que es el sol y la radiación difusa producto de las reflexiones solares. Por ende el diseño, a partir del conocimiento detallado de estas variables, genera una transición lumínica gradual entre el interior- exterior y viceversa que propenda al bienestar de los usuarios y a la correcta realización en estos espacios de las tareas visuales.

Los resultados comparativos entre los espacios estudiados muestran que el hall de acceso de la Biblioteca puede ser considerado como caso de buen diseño bioclimático en el tramo interior del espacio. Sin embargo, cabe aclarar que puede mejorarse la condición en el tramo exterior, a partir de la disposición de dispositivos de control en el espacio abierto como el uso de parasoles, forestales o equipamientos urbanos que generen sombras parciales y que permitan atenuar la incidencia de la luz exterior logrando una adaptación gradual entre las condiciones lumínicas extremas (exterior-interior).

Cabe aclarar que el trabajo corresponde a la primera sesión de mediciones estacionales, dentro una planificación anual para poder evaluar su comportamiento de manera integral. Por otro lado, en etapas futuros y sobre los resultados finales se elaborarán nuevas propuestas en base a estas comparaciones de referencia con sus correspondientes simulaciones y validaciones.

## REFERENCIAS

- Boettger T. *Threshold Spaces: Transitions in Architecture Analysis and Design Tools*. Birkhauser Architecture; 2014.
- Chun C, Kwok A, Tamura A. Thermal comfort in transitional spaces --basic concepts: literature review and trial measurement. *Building and Environment*. 2004;39(1187-1192).
- Colombo Elisa; O'Donell Beatriz, *Fundamentos de la luz, Capítulo I, Tomo 1, Manual de la Asociación Argentina de Luminotecnia, AADL Ed., 2001*
- Colombo EM, O Donell BM, Santillán JE, Issollio LA. Functional vision barriers: a new concept analyzed in terms of human visual performance. *Psychology and Neuroscience*. 2012; In press
- Córica L, Lasagno C, Colombo E, Pattini A. Análisis y caracterización fotométrica de un espacio de transición iluminado con luz natural: sus implicancias en la visión funcional. *Ambiente Contruido*. 2015 May 9;15:103–115.
- Córica, Lorena. *Comportamiento de la luz natural en entornos urbanos representativos del modelo oasis en regiones áridas. Caso de estudio: ciudad de Mendoza. Tesis de Doctorado -Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión* Herberto Büller. Tucumán, Universidad Nacional de Tucumán. Doctorado: 299. 2010
- DiLaura D, Houser K, Mistrick R, Steffy G, editors. *Lighting Handbook 10th Edition*. New York NY, USA: Illuminating Engineering Society (IES); 2011.
- Guzowski, Mary. "DAYLIGHTING FOR SUSTAINABLE DESIGN". Editor Mc Graw Hill, 2000.
- Lasagno CM. *Espacios de transición: ergonomía ambiental, envejecimiento y desafíos del sistema visual*. San Miguel de Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología; 2014.
- Lasagno CM, Issollio LA, Pattini AE y Colombo EM. *Lighting Research and Technology*, December 2014; vol. 46, 6: pp. 706-715., first published on April 16, 2014
- Legge GE, Yu D, Kallie CS, Bochsler TM, Gage R. Visual accessibility of ramps and steps. *Journal of Vision*. 2010 Jan. 9;10(11).
- López Besora, Judit. *Transiciones lumínicas Percepción lumínica y visual en los espacios arquitectónicos de Transición entre interior y exterior: vestíbulos. Tesina final Master Arquitectura, Energia i Medi Ambient Universitat Politècnica de Catalunya Departament Construccions Arquitectòniques I*. 2009
- Pattini, Andrea (2007). *Eficiencia Lumínica de dispositivos de control y difusión de la luz solar aplicables a ventanas en aulas, en la provincia de Mendoza, Argentina*. DLLYV, Fac. de Ciencias Exactas y Tecnología, UNTucumán. LAHV-INCIHUSA, CCT CONICET Mendoza. San Miguel de Tucumán, Argentina, Universidad Nacional de Tucumán. Doctorado: 165. 2007
- Sharples, S. and D. Lash, *Daylight in Atrium Buildings: A Critical Review*. *Architectural Science Review*, 2007. 50.4: p. 301-312

## ABSTRACT:

The design of aspects morphological, geometric and of daylight systems, can improve lighting conditions, primarily in the transition spaces. This paper compares the light performance of two cases of entrance halls to buildings, designed with different design criteria.

Parameters vertical and horizontal illuminance, luminance point between both spaces are analyzed. The results show significant differences in quality of lighting, which are explained through their morphological differences. The transitional space of the library presents more uniform horizontal and vertical illuminance during the winter time, becoming paradigmatic case of good design. The luminance positive case considered guarantee the absence of "lighting barriers" and proper visual accessibility.

**Keywords:** Transitional spaces; Natural lighting; morphological, geometric and lighting parameters; Visual accessibility.