

APORTE DE LA COMPONENTE REFLEJADA DE LA LUZ NATURAL EN CAÑONES URBANOS CARACTERÍSTICOS DE LA CIUDAD DE MENDOZA, ARGENTINA.

Córica, L.¹, Pattini, A.²,

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda – Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (LAHV INCIHUSA)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas – CRICYT C.C.131 C.P. 5500 – Mendoza
Tel. 0261-4288797 – Fax 0261-4287370 e-mail: apattini@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN: En entornos urbanos de alta densidad, el balance de iluminación natural que recibe una fachada orientada al sur en el hemisferio sur (aporte de las componentes directa, difusa y reflejada) es diferente que si la misma estuviera iluminada sólo por la componente difusa (sin obstrucciones próximas o en condiciones de cielo nublado). El impacto de la luz reflejada por un plano vertical soleado puede aumentar considerablemente la iluminancia global que llega a una fachada próxima.

El presente trabajo pretende evaluar el aporte de la componente reflejada de la luz natural, en función de las capacidades reflectivas y de las dimensiones de cañones urbanos típicos de la ciudad de Mendoza, Argentina. El método plantea caracterizar la respuesta lumínica de los espacios, combinando mediciones objetivas in-situ y simulaciones a partir del programa Desktop Radiance, teniendo en cuenta la estación invernal como condición de análisis. La luz que reflejan las superficies captoras y el potencial del mismo están asociados a las reflectancias que presentan los materiales y a los anchos de calles. Los resultados arrojan aportes del 55% para calles de 30m y del 43% para 20m, porcentajes que pueden ser considerados para iluminar de manera eficiente el interior de los espacios.

Palabras clave: Iluminación natural, luz reflejada, Cañones Urbanos

INTRODUCCIÓN:

En días soleados la radiación solar visible (iluminancia global) incidirá sobre las superficies de un sistema urbano según tres componentes: directa (sol), difusa (bóveda celeste) y reflejada (edificación circundante). Así como la magnitud de las componentes directa y difusa es fácilmente predecible para cielos claros o cubiertos, la componente reflejada estará fuertemente condicionada por los diversos elementos del entorno y el tipo de iluminancia que estos reciben. El ajuste relativo requerido para los cálculos de las componentes de la iluminancia que llega a la fachada es diferente: la luz reflejada por el espacio exterior construido debe ser evaluada con detalle, mientras que la elección de la distribución de luminancias de la bóveda celeste (difusa) no tiene la misma incidencia en la iluminación resultante en una superficie (Tregenza, P. 1995).

Las respuestas lumínicas que un escenario urbano puede generar en regiones donde predominan los cielos claros, están fuertemente influenciadas por las orientaciones de las superficies exteriores soleadas y sus reflectancias superficiales, (P. Tregenza, 1995; muro fachada vertical soleado color claro 9000-14000 cd/m²; albedo asfalto gris soleado 6000-7000 cd/m²) más que por la luminancia del cielo sin nubes como fuente de iluminación natural. Es evidente que en este tipo de regiones, tanto la magnitud relativa de las componentes difusa y reflejada, esté fuertemente condicionada por las características de los recintos urbanos conexos, en los aspectos de densidad edilicia, altura de la edificación, dimensiones y proporciones del espacio exterior, asoleamiento directo de superficies exteriores y reflectividad de las mismas, así como por la presencia de todos los elementos del paisaje urbano.

Para conocer estos efectos, existen métodos de predicción con distintos grados de precisión en el cálculo, pero todos están basados sólo en cantidades indicativas del acceso al sol y omiten otros aspectos que determinan la cantidad de energía solar o disponibilidad de luz natural durante de un período de tiempo determinado. Una crítica a los métodos existentes para evaluar el acceso solar y la disponibilidad de la luz natural, se ha centrado en la falta de obtención de mediciones reales de iluminación, a distintas horas del día y en distintos meses del año en un recinto urbano, teniendo en cuenta lo que ocurre dinámicamente en condiciones reales. Las sombras y las reflectancias presentes en los entornos urbanos reales deben ser considerados a partir de valores experimentales (Mardaljevic J. and Rylatt M., 2003) (L. Brotas and M. Wilson, 2002). Si bien en los últimos años, se han desarrollado herramientas de cálculo y simulación que ayudan en el diseño de iluminación natural, para cualquier herramienta utilizada, siempre hay alguna duda sobre su validez, y si su aplicación se limita sólo al campo investigado para desarrollarla.

Por lo tanto, es necesario definir la aplicación de métodos adecuados para el estudio de la temática en función de los climas locales de cada región, que permitan conocer la verdadera disponibilidad de la luz natural.

¹ Investigadora Asistente CONICET

² Investigadora Independiente CONICET

La ciudad de Mendoza se inserta en una región árida que representa una estructura donde se potencia el efecto de la componente reflejada a través de la reflectancia de calzadas y volumetrías construidas (Córica, 2009). El presente trabajo plantea un método para el cálculo estimativo del aporte de la componente de luz reflejada para los recintos de la Ciudad de Mendoza en función de las capacidades reflectivas y de las dimensiones de los cañones viales urbanos (CVU) típicos de la ciudad. El método plantea caracterizar la respuesta lumínica de los espacios, combinando mediciones objetivas in-situ y simulaciones teniendo en cuenta la estación invernal como condición de análisis.

METODOLOGÍA:

Mediciones de luminancias de los revestimientos característicos de los recintos.

Para estudiar la luz que entregan al recinto los materiales y acabados superficiales, se registraron mediciones de luminancias puntuales sobre las fachadas de los edificios en estudio (Fig.1). Para ello se utilizó un Luminancímetro marca Minolta LS 110, ángulo de lectura de 1/3° y rango de medición de 0.01 a 999.900 cd/m2, ubicado a 1.50m de altura. La reflectancias hemisféricas-hemisféricas (p_{hh}) de los materiales fueron calculadas en base a las reflectancias conocidas de los patrones de reflectancias blanco y gris de Kodak (M. Fontoynt, 1999). Los valores de luminancias obtenidas, son convertidas a reflectancias según las siguientes expresiones,

$$\rho_1 = \rho_{white} * \frac{L_{surface}}{L_{white}} \quad (1)$$

$$\rho_2 = \rho_{grey} * \frac{L_{surface}}{L_{grey}} \quad (2)$$

$$\rho_{hh} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}$$

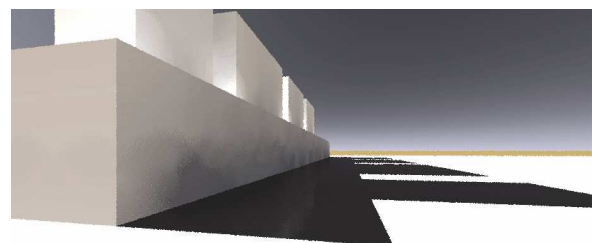


Figura 1: Cálculo de Reflectancias.

Donde en (1) se obtiene el valor de reflectancia ρ_1 , a partir de la medición simultanea de luminancia (cd/m2) de la superficie del material a evaluar (L material) y de la superficie blanca de reflectancia conocida ($\rho_{blanco} = 90\%$); y en (2) siguiendo el mismo procedimiento pero con el papel gris de reflectancia conocida ($\rho_{gris} = 18\%$).

Metodología para estudio de aporte de luz reflejada Simulaciones en Desktop Radiance

Las condiciones luminosas de los recintos urbanos seleccionados fueron simuladas con Desktop Radiance 2.0 BETA. Este programa fue desarrollado por el Departamento de Tecnologías de Edificios del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley, California, Estados Unidos, dentro del marco del proyecto Iniciativas en Alumbrado Natural para la Transformación del Mercado, auspiciado por el Instituto Californiano de Eficiencia Energética (CIEE) y financiado por la firma Pacific Gas & Electric Company (PG&E). Los valores de reflectancia que se agregaron a las superficies fueron las obtenidas a partir de las mediciones de luminancias como se comentó con anterioridad. Los datos geográficos ingresados fueron 32°45'S y 68.49°Oeste, que corresponden a la latitud y longitud de Mendoza, Capital.



Esquema digitalizado de la situación real con la presencia de la fachada opuesta. Ev con R. Volumétrica caso sin fachada opuesta. Ev sin R.

Figura 2: Volumetrías de referencia para el análisis del aporte de la reflejada.

Para el cálculo estimativo de la componente de luz reflejada, se comparan mediciones reales tomadas en el CVU sobre el eje de iluminancia vertical de la Fachada Norte ubicado a 1.50 de altura y con registros cada 3m de distancia, denominada en este caso Ev con Reflejada, con los valores obtenidos por simulaciones del mismo eje sin la presencia de la volumetría de la fachada opuesta (denominada Ev sin Reflejada) (Fig. 2). De de este modo se pretende cuantificar el impacto en la iluminancia de las superficies reflectantes del recinto urbano, conociendo los porcentajes de aporte de las volumetrías construidas (Córica, Pattini, 2005). Cabe aclarar que este análisis sólo se realiza para la condición invernal, que es justamente en la que la arboleda pierde el follaje.

Casos de estudio:

Se toman tres casos de estudios representativos de la trama en función de la variable urbano ancho de cañón de 30, 20 y 16m.

El primer caso corresponde a un CVU de 30m, calle Sarmiento, ubicada en el microcentro de la ciudad cuya configuración espacial es uniforme y de llenos, constituida por bloques de aproximadamente 9 niveles. La variable densidad edilicia no se encuentra consolidada en su máxima densidad en cuanto al factor de Ocupación del total (FOT). Las alturas de la Fachada Norte (bloque que se comporta como elemento de obstrucción en el invierno) si bien se muestran como homogéneas en altura, la mayoría de los edificios rondan los 3 y 4 niveles, salvo el cuerpo extremo oeste que alcanza una altura de 25m. La fachada Sur presenta mayor densidad edilicia (promoviendo el aporte de la luz reflejada). En consecuencia se plantea una exposición de llenos a la dinámica de la trayectoria solar (Fig. 3).

La geometría del cañón urbano manifiesta una superficie de construcción orientada al norte, con una obstrucción de altura $H = 25m$ como altura predominante, con un plano horizontal del suelo de $A=30m$. Por lo tanto la relación $H/A = 0.83$.

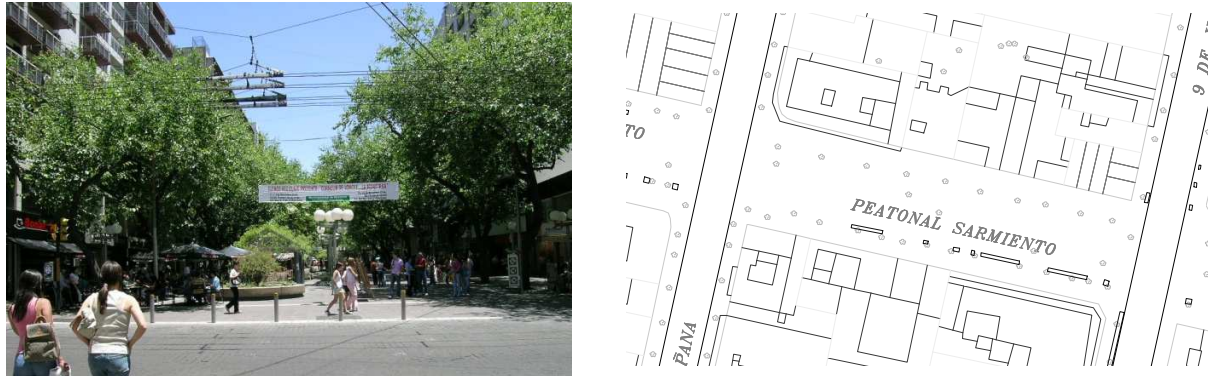


Figura 3: Imagen y planimetría del caso de estudio correspondiente a 30m-Calle Sarmiento.

El segundo caso de estudio, corresponde a un cañón de 20m, Calle Rivadavia y conforma un entorno urbano con superioridad a los cuatro niveles de edificación (Fig. 4). La variable densidad edilicia no se encuentra consolidada en su máxima densidad en cuanto al factor de Ocupación del terreno (FOT). Sobre la Fachada Norte, la mayoría de los edificios rondan los 3 y 4 niveles y hasta superan los 30m con lectura homogénea. Los edificios de la fachada Sur presentan mayor densidad edilicia (promoviendo el aporte de la luz reflejada) pero con carencias en lo que respecta a Factor de ocupación de suelo (FOS). Es el caso de un terreno con uso de playa de estacionamiento.

La geometría del cañón urbano manifiesta una obstrucción de altura promedio de $H = 15m$, con un plano horizontal del suelo de 20m. Por lo tanto la relación $H/A = 0.60$.



Figura 4: Imagen y planimetría del caso de estudio correspondiente a 20m-Calle Rivadavia.

El cañón de 16m- Calle Catamarca muestra una configuración urbana que intercala entre los cuatro y los siete niveles. Como especie presente y típica de esta tipología de cañones se visualiza el plátano de hoja perenne (Fig. 5) diferenciándose del resto de casos de análisis al encontrarse como un canal vial forestado.

La morfología del cañón también plantea multiplicidad espacial, en cuanto a los indicadores urbanos, tanto para FOS como para FOT. Es el caso de vacíos urbanos destinados a playas de estacionamientos y loteos destinados a nuevos emprendimientos inmobiliarios. En cuanto a las cotas de alturas máximas, la principal insuficiencia de consolidación se da sobre las alturas de la Fachada Norte donde la mayoría de los edificios si bien, superan los 2 niveles sólo alcanzan un máximo de 4 pisos. La fachada Sur presenta mayor densidad y uniformidad edilicia. La relación del cañón en altura (16m) – ancho (16m), puede determinarse como $H/A = 1$

Cabe aclarar que los cañones de 16m insertos en la ciudad de Mendoza, tienen como constante paisajística la presencia de plátanos como especie forestal.

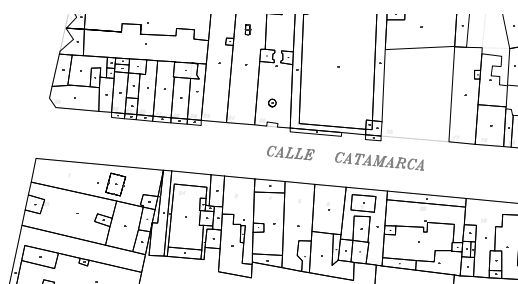


Figura 5: Imagen y planimetría del caso de estudio correspondiente a 16m-Calle Catamarca.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el caso del CVU de 30m, las imágenes de la figura 6 muestran que sobre cada fotografía de ojo de pez, se indican los valores de luminancia obtenidos para los puntos dominantes de la escena. Los registros son resultantes de las interreflexiones de los materiales y de la incidencia de iluminación natural debido a los rayos de sol (luz directa) y a la luz difusa proveniente del cielo, de la tierra y de los edificios circundantes.

El análisis de luminancias fue analizado por capas en todas las escenas definidas, obteniendo reflectancias promedios sectorizadas para el nivel Planta baja (PB) correspondiente al nivel sobre piso, Planta alta (PA) correspondiente a la franja de la edificación por encima del primer piso, arboleda y nivel de piso (Tabla I).



Figura 6: Mediciones de luminancias para la Fachada Sur (Izquierda) Fachada Norte (Derecha) del CVU 30m.

Para la fachada Sur (con exposición a la componente directa del sol), la relación del plano vertical con la incidencia de los ángulos solares bajos, hace que el cañón se vea condicionado por la luz directa incidente sobre la superficie de exposición de la Planta Alta cuyo porcentaje de reflectividad alcanza el 55% proporcionado por el acabado color crema que prevalece sobre toda la fachada. Este efecto surge a partir de la propiedad reflectiva del material ya que la superficie vertical se muestra como un cierre uniforme en forma y color. La superficie horizontal de piso presenta condiciones de reflectividad bajas ya que percibe luz difusa proveniente de la obstrucción que la volumetría ejerce ante la luz directa. En cuanto a la fachada Norte (bloque que se comporta como elemento de obstrucción en el invierno), se dan condiciones similares con niveles muy inferiores al recibir sólo el aporte de luz difusa. Como lo muestra la tabla I, tanto Planta Baja como Planta alta presentan valores similares, aumentado en los niveles superiores por la capacidad de reflectancia homogénea que alcanza el 47%.

30m	FACHADA SUR (%)	FACHADA NORTE (%)
PLANTA BAJA	4 (vidrio)	44 (revoque)
PLANTA ALTA	55 (revoque)	47 (revoque)
ARBOLEDA	-	-
PISO (adoquín)	15	14

Tabla I. Valores de reflectancias representativas para cada fachada del CVU de 30m.

Al realizar el análisis comparativo de la componente reflejada, mediciones con la volumetría construida y las simulaciones correspondientes sin presencia de la fachada opuesta, en la Fig. 7 las barras exponen que en la mayoría de los puntos las diferencias de aportes son muy significativas. Los valores de Ev con Reflejada sobre la fachada, muestran un promedio de 2228lx mientras que la grilla de Ev sin reflejada alcanza 1037lx. Esto significa que en rasgos generales, el incremento generado por la luz reflejada por la fachada captora, repercute en un 55% de aumento. En este caso los incrementos van desde 270lx hasta 2300lx. Cabe aclarar que estos aportes responden a un cañón urbano con grado de reflectancia media (55%) y podría pensarse que la optimización en los acabos de las superficies en cuanto a reflectancias más elevadas, significarían el mejoramiento de los niveles obtenidos. Las dimensiones del cañón determinan que no sólo el aporte de la luz reflejada proveniente de la fachada opuesta, sino también de la proveniente de la superficie horizontal del cañón (suelo). En los niveles superiores, las simulaciones arrojadas muestran que las constantes tienden a aumentar debido a que reciben mayor contribución de la bóveda celeste y un menor aporte de la luz reflejada por la obstrucción y la calzada. Por lo tanto, en cañones urbanos de 30m no debe subestimarse el aporte de la componente reflejada, no sólo proveniente de la superficie vertical, sino y en este caso en particular de la de suelo.

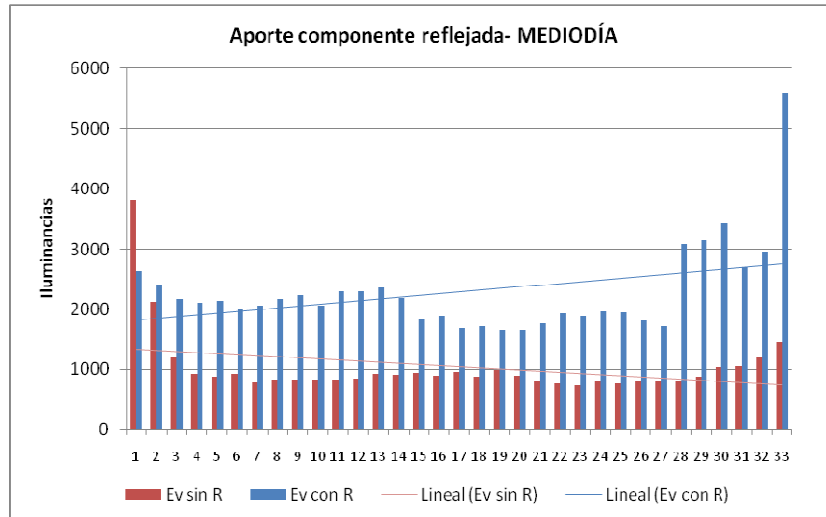


Figura 7: Barras comparativas de Iluminancias con y sin presencia de fachada captora para 30m.

El CVU de 20m presenta mayor heterogeneidad en los materiales de ambas fachadas y como se observa en las imágenes, las situaciones de exposición a la luz solar, evidencian la disminución del ancho del CVU en relación al caso anteriormente descrito (Fig. 8).



Figura 8: Mediciones de luminancias para la Fachada Sur (Izquierda) Fachada Norte (Derecha) del CVU 20m.

La tabla II, exhibe los porcentajes predominantes del escenario lumínico. Para la Fachada Sur, la PB, promedia 9%, proveniente de la superficie vidriada, principal material que se destaca en el nivel inferior. La PA, aparece como una superficie difusora, con un aporte del 50% proveniente del revoque color crema, acabado característico de todos los edificios. Para la fachada Norte, se detecta principalmente la contribución de la luz difusa. Sobre la PB los valores de reflectancias son similares en ambas condiciones. Con respecto a la franja superior de PA, el valor obtenido ronda un 32% de reflectancia.

Las emisiones luminosas del pavimento no presentan grandes variaciones debido a que la luz que incide sobre la superficie, muestra similares características lumínicas, es decir luz difusa obstruida por la volumetría edilicia.

20m	FACHADA SUR (%)	FACHADA NORTE (%)
PLANTA BAJA	9	5
PLANTA ALTA	50	32.36 (rosa)
ARBOLEDA	-	-
PISO	21	19

Tabla II. Valores de reflectancias representativas para cada fachada del CVU de 20m.

Para este caso de estudio, puede observarse con claridad la contribución de la componente reflejada (Fig. 9). Las barras presentadas para los valores medidos y simulados en los contextos con y sin presencia de reflejada proveniente de la fachada captora, muestran el impacto de las características morfológicas del cañón en la re-dirección de los rayos. Las diferencias repercuten en un 43%, de aumento, con promedios de 1037lx para la grilla sin luz reflejada. Las mejoras en términos de iluminancias van de 150 hasta 1800lx.

Es necesario tener en cuenta que la reducción del ancho del cañón potencia las propiedades reflectivas de la fachada vertical opuesta.

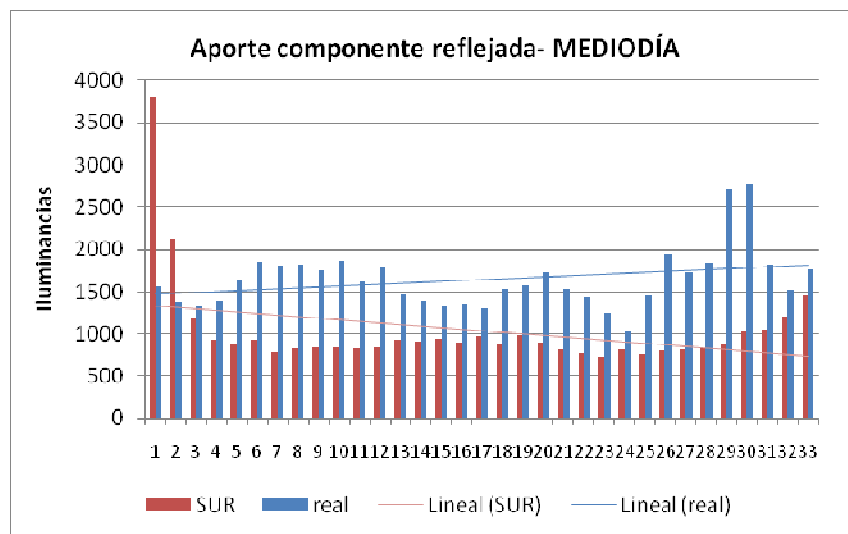


Figura 9: Barras comparativas de Iluminancias con y sin presencia de fachada captora para 20m.

Por último, en el caso de 16m la especie forestal plátano presenta la particularidad de mantener el follaje seco en las copas durante la estación fría, por lo que los niveles se ven altamente reducidos en la época del año más desfavorable. Esto confirma el comportamiento del “plátano” como especie marcescente –las hojas se secan en la planta sin desprenderse hasta que brotan las nuevas yemas-. Además, la especie en su carácter de primera magnitud exhibe una altura de copas que permite condiciones lumínicas homogéneas en el recinto urbano (Fig. 10).



Figura 10: Mediciones de luminancias para la Fachada Sur (Izquierda) Fachada Norte (Derecha) del CVU 16m.

Las reflectancias en general aparecen muy bajas a partir de la influencia q ejerce la arboleda como elemento de obstrucción de la luz natural disponible. Sobre la fachada Sur, las vidrieras arrojan un promedio del 4.6% y sobre la PA un 30%, valor definido por la preponderancia del revoque gris. A diferencia de los casos de análisis propuestos, la arboleda en este escenario, toma relevancia como superficie con reflectividad, por su condición de especie perenne, con un valor de reflectancia del 13% (hojas secas). La Fachada Norte, muestra valores similares a la fachada opuesta. El piso o calzada no presenta diferencias a según los puntos de mediciones realizados en condición de sombra.

16m	FACHADA SUR (%)	FACHADA NORTE (%)
PLANTA BAJA	5.5	4.6
PLANTA ALTA	30	23
ARBOLEDA	16	13
PISO	8	6.5

Tabla III. Valores de reflectancias representativas para cada fachada del CVU de 16m.

En este caso en particular y ante la existencia de hojas en las copas, no existen importantes superficies reflejantes ni vertical ni horizontalmente, estableciendo recintos oscuros y uniformes en la distribución luminica. Por lo que en este tipo de CVU, se desestima el aporte de la componente reflejada al encontrarse filtrado por la arboleda a lo largo del día de la estación estival (Fig. 11).

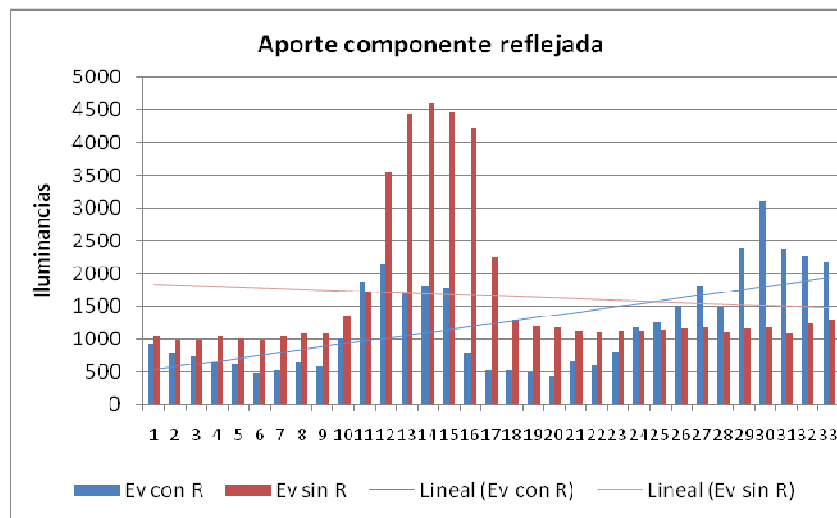


Figura 11: Barras comparativas de Iluminancias con y sin presencia de fachada captora para 16m.

CONCLUSIONES:

Los resultados obtenidos determinan de qué manera la luz reflejada, impacta sobre las luminancias y reflectancias de los diferentes cañones urbanos en función del ancho de cañón, los cuales van decreciendo en las diferentes capas analizadas y en consecuencia la disminución en el ancho de calle.

En la condición invernal el aporte de la luz que reflejan las superficies captoras y el potencial del mismo, están muy asociados a las capacidades reflectivas que presentan las superficies de los recintos y a las dimensiones de los CVU. Los valores de iluminancias que reciben las superficies verticales van decreciendo según las características urbanas (acabados superficiales) con aportes provenientes de la componente reflejada que van del 55% para CVU de 30m y del orden del 43% para CVU de 20m, mientras que en el CVU de 16m, con especie forestal plátano, la existencia de follaje en sus copas obstruye el aporte de la misma.

En regiones de climas soleados la luz reflejada por los pavimentos y solados exteriores, es una fuente luminosa potencial para la iluminación de los interiores de los edificios. Es así como la componente reflejada, se convierte en una fuente de iluminación alternativa que puede ser utilizada para la iluminación de espacios que reciben sólo la componente de luz difusa, aún en climas soleados. Esto ocurre particularmente en entornos de alta densidad, donde los diferentes ángulos de incidencia de estas componentes de la radiación visible sobre superficies captoras, tienden a acentuar la intensidad de esta última.

REFERENCIAS:

- Brotas, L. y Wilson, M. (2006). Daylight in Urban Canyons: Planning in Europe. PLEA 2006, Geneva, Switzerland.
- Cantón, M.A., Cortegoso, J.L., De Rosa, C. (2001). Environmental and energy impact of the urban forest in arid zone cities. Architectural Science Review 44: 3 - 16.
- Compagnon, R. (2004). Solar and daylight availability in the urban fabric. Energy and Buildings 36: 321–328.

Córica, L. (2010). 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.

Córica, L. y Pattini, A. (2008). Disponibilidad lumínica en recintos urbanos característicos del modelo oasis de la ciudad de Mendoza. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 12(1): 139-146.

Córica, L. y Pattini, A. (2009). Study of the potential of natural light in low and high density urban environments in the oasis city of Mendoza, in summer. *Journal of Light & Visual Environment* 33(2): 101-106.

Robbins, Claude L. "DAYLIGHTING, DESIGN AND ANALYSIS." Editor Vand Nostrand Reinhold Company. New York. USA, 1986

Tregenza, P. "MEAN DAYLIGHT ILLUMINANCE IN ROOMS FACING SUNLIT STREETS," *Building and Environment* 30.1995

Tsangrassoulis, A.; Santamouris M.; Geros V.; Wilson M.; Asimakopoulos D. "A method to investigate the potential of south-oriented vertical surfaces for reflecting daylight onto oppositely facing vertical surfaces under sunny conditions". *Solar Energy*, Vol 66. pp. 439-446(8) 1999

ABSTRACT:

In high density environments, the balance of natural light it receives a south facade in the southern hemisphere (contribution of the direct, diffuse and reflected components) is different than if it was lit only by the diffuse component (unobstructed near or in overcast conditions). The impact of the reflected light by a vertical sun can significantly increase global illuminance reaching a facade next.

This aims of this paper is to evaluate the contribution of the reflected component of daylight, depending on the capabilities and dimensions reflective of typical urban canyons of the of Mendoza City, Argentina. The method characterizes the response luminous of spaces, combining objective measurements and simulations from the Desktop Radiance software, considering the winter as a condition of analysis. The light reflecting surfaces captors and the potential of the reflectance are associated with materials and widths of streets. The results show 55% contributions for streets of 30m and 20m of 43%, percentages that can be considered an efficient way to illuminate the interior spaces.

Keywords: Daylighting, Reflected sunlight, Urban canyons.