



IMPACTO DEL DISEÑO DE LA VENTANA EN EL APROVECHAMIENTO DE LA LUZ NATURAL. EL CASO DE SAN MIGUEL DE TUCUMÁN

Doris Abigail Chi Pool

Arquitecta, Especialista en Medio Ambiente Visual e Iluminación Eficiente, estudiante de la Maestría en Luminotecnia, doraby8@hotmail.com.

Universidad Nacional de Tucumán, Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión, Av. Independencia 1800, C.P. 4000, San Miguel de Tucumán, Argentina, Tel.: +54 381 436-4093

RESUMEN

La luz natural es un recurso disponible en gran cantidad por lo que debe ser usada, no sólo para potenciar el ahorro en energía eléctrica, sino también para crear ambientes confortables que redunden en el bienestar físico y psicológico de las personas y en aumentos de productividad. Empero, la luz natural es escasamente utilizada en los proyectos, motivo por el cual este trabajo persigue integrar su aprovechamiento desde las primeras etapas del diseño arquitectónico. Se concentra en estudiar su comportamiento a través de la ventana, al ser ésta un componente básico de los edificios. Para lograr esto, se generan modelos tridimensionales en los que se establecen parámetros fijos (localidad, tipo de cielo, geometría, índice de reflexión, etc) y variables de cálculo (parámetros de diseño de la ventana: orientación, tamaño, forma y posición) con diferentes rangos de variación. Seguidamente, se calculan diferentes métricas de luz natural mediante simulación computacional con el Ecotect y el Daysim. Las métricas son: Coeficiente de luz diurna (DF), Radiación Solar Incidente Media Horaria (Rad), Índice de Luz Natural Útil (UDI), Luz Natural Autónoma (DA), Luz Natural Autónoma Continua (DAcon) y Luz Natural Autónoma Máxima (DAmáx). Los resultados son examinados estadísticamente y permiten estudiar la influencia de cada parámetro de diseño de la ventana en la incidencia de la luz natural. Con esto, se determinan las configuraciones de ventana más óptimas y se generan guías de diseño para la ciudad de San Miguel de Tucumán, que es el caso de estudio en este trabajo.

Palabras clave: Luz natural, simulación computacional, guías de diseño de ventanas.

ABSTRACT

Daylight is a natural resource available in large quantities, so it should be used, not only to enhance the power saving, but also to create comfortable environments that result in physical and psychological wellbeing of people and increases in productivity. However, daylight is scarcely utilized in projects. That is the reason because this work aims to integrate the use of this resource since early stages of architectural design. It focuses on studying daylight behavior through the window, considering it as a basic component of buildings. To accomplish this, three-dimensional models are generated which has fixed parameters (location, sky conditions, geometry, reflectivity, etc.) and calculation variables (design parameters of the windows: orientation, size, shape and position) with different ranges of variation. Then, for all models, different metrics of daylight are calculated by computer simulation in Ecotect and Daysim. The metrics are: Daylight Coefficient (DF), Average Hourly Values of Incident Solar Radiation (Rad), Useful Daylight Index (UDI), Daylight Autonomous (DA), Daylight Autonomous Continuous (DAcon) and Daylight Autonomous Maximum (DAmáx). The results are examined statistically and they allow to study the influence of each parameter window design in the incidence of daylight at indoors. With this, the most optimal window configurations are determined and design guidelines are generated for the town of San Miguel de Tucuman, which is the case of study in this work.

Keywords: Daylight, computer simulation, window design guidelines.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años en que el consumo de energía eléctrica en iluminación ha aumentado considerablemente, la luz natural ha recobrado importancia. Esto se debe, según Pattini (2006), a los beneficios en ahorro energético que genera, pues es un recurso renovable y disponible en gran cantidad de horas durante el día. En consecuencia, tiene un gran potencial de eficiencia si se aprovecha correctamente, sobre todo en aquellas latitudes que reciben grandes cantidades de luz natural durante todo el año. Incluso, este recurso tiene mayor eficiencia luminosa y produce menos calor que la mayoría de las fuentes eléctricas convencionales.

Aunado a los beneficios energéticos, Boyce et al. (2003) asocia la luz natural con sensaciones de bienestar que causan aumentos de productividad, satisfacción laboral y reducción de ausentismo. Lo anterior ocurre porque las personas muestran mayor preferencia hacia la luz natural por su dinamismo y por las condiciones de iluminación que crea en un espacio. Además, a menudo está acompañada de vistas al exterior que aseguran la conexión del usuario con su entorno y la satisfacción de sus necesidades biológicas y psicológicas.

Por lo anterior, hoy existe un creciente interés en el aprovechamiento de la luz natural como principal fuente de iluminación interior. Sobre todo en aquellos edificios que se caracterizan por su uso predominantemente diurno y que producen grandes derroches de energía eléctrica. Al respecto, Assaf (2006) estudió los factores que conforman la optimización de la luz natural y que abarcan desde su disposición en los ambientes hasta el comportamiento de los usuarios. Asimismo, Raitelli y Benito (2008) evaluaron edificios de la Universidad Nacional de Tucumán y cuantificaron el derroche de energía atribuible al escaso uso de la luz natural.

En el mismo sentido, este trabajo de tesis se realiza siguiendo las líneas de estudio sobre evaluación energética del Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión. Se concentra en estudiar el comportamiento de la luz natural para lograr su integración desde las primeras etapas del diseño arquitectónico. Por tanto, es importante conocer los efectos que tienen los componentes de alumbrado natural en el interior de los edificios. Uno de aquellos es la ventana y su diseño adecuado puede incrementar considerablemente los niveles de iluminación en los espacios.

A pesar de lo anterior, la ventana es concebida primordialmente como un elemento estético y no como una fuente de luz natural. Esto se debe a que hoy existe un gran desconocimiento de los efectos producidos por la elección de su configuración en la demanda de iluminación. En consecuencia, se desaprovecha su capacidad de reducir el consumo de energía eléctrica y los costos en los edificios. Con base en esta observación, se plantea la hipótesis de que la geometría y orientación de una ventana afectan las condiciones de iluminación natural interior y la eficiencia energética.

2. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es resaltar la importancia de la ventana en el alumbrado natural y analizar los efectos que causa un diseño adecuado en los requerimientos de iluminación. Asimismo, se persigue obtener valores cuantificables de rangos de variación de los parámetros de una ventana que permitan alcanzar determinados niveles de iluminancia. Todo esto, con la finalidad de proveer guías de diseño de ventanas que integren el aprovechamiento de la luz natural desde las primeras etapas del proyecto arquitectónico. Para el fin de este trabajo se analizará la latitud y el clima de San Miguel de Tucumán, Argentina, localidad que carece de estudios al respecto.

3. MÉTODO

La metodología propuesta para la obtención de los datos es la siguiente:

1. Elaborar un modelo espacial que sirva de referencia para los cálculos de iluminación. En éste se establecerán los parámetros fijos referentes a las condiciones climatológicas y a la situación geográfica de la localidad de estudio.

2. Establecer rangos de variación para las variables que se manejan al diseñar una ventana: tamaño, forma, posición y orientación. Estos rangos darán como resultado múltiples configuraciones de ventanas, cada una de las cuales se asignará a un modelo espacial específico. Con esto, obtendremos igual cantidad de modelos y de configuraciones.

3. Especificar los parámetros para la simulación computacional y calcular las métricas de iluminación natural para cada modelo espacial.

3.1. Parámetros fijos del modelo espacial

Como punto de partida para la definición del modelo espacial, es necesario identificar cuáles son los factores de un espacio que intervienen en la cantidad de luz que se recibe. Dichos factores los podemos clasificar, según Esquivias et al. (2011) en exteriores e interiores.

3.1.1. Factores Exteriores (*localidad -latitud, longitud, altitud-, tipo de cielo predominante, día y hora de estudio*)

Para los fines de este estudio es necesario que los factores exteriores permanezcan constantes tomando como localidad de referencia la Cd. de San Miguel de Tucumán: latitud 26°48' S, longitud 65°12'O y altitud 481 m s.n.m. En cuanto al día y hora de estudio, los cálculos se realizarán mediante archivos de clima anuales obtenidos con el Meoteonorm, que es un programa específico desarrollado por el Berkeley Lab (2005).

3.1.2. Factores Interiores (*geometría del espacio interior, índice de reflexión de los materiales, elementos de protección solar, materiales de las ventanas*)

Los factores interiores permanecerán constantes con la finalidad de simplificar el modelo espacial e interferir lo menos posible en las variables de diseño y en los datos obtenidos.

1. Geometría del espacio interior: a) Dimensiones: 9.00 m de largo x 6.00 m de ancho x 3.00m de alto; b) Proporción del espacio rectangular de 1.5; c) Eje mayor este-oeste; d) Ventana en una de sus paredes con vidrio común, de transparencia 0.90 y sin obstrucciones de carpintería; f) Índice de reflexión en techos de 0.80, en suelos de 0.30 y en paredes de 0.50.

2. Elementos de protección solar: No se considerarán elementos de protección solar, asumiendo que no hay ningún elemento que altere las condiciones de la ventana.

3.2. Rangos de variación para las variables de diseño de ventanas

Las variables de diseño de la ventana determinan la cantidad de luz natural que incide en el interior. Las más comunes que se consideran durante la fase de diseño arquitectónico son la orientación, el tamaño, la forma y la posición. Éstas se establecen como las variables de cálculo y por ello es preciso definir sus rangos de variación, los cuales se detallan a continuación.

3.2.1. Orientación

Se analizarán dos orientaciones primordialmente: Norte y Sur. Esto se debe a que la Cd. de Tucumán tiene un Clima Cálido para el que no es recomendable orientar las ventanas al Este o al Oeste pues en éstas se recibe gran cantidad de radiación solar que eleva las ganancias térmicas, disminuye el confort de los usuarios y reduce la eficiencia energética.

3.2.2. Tamaño

Esta variable se define como el porcentaje de la superficie de la ventana en comparación con el porcentaje de la superficie del suelo. Se analizarán los porcentajes 5%, 10%, 20%, 30% y 50%, los cuales se esquematizan en la figura 1. Estos tamaños abarcan desde ventanas muy pequeñas hasta ventanas que ocupan toda la superficie del muro.

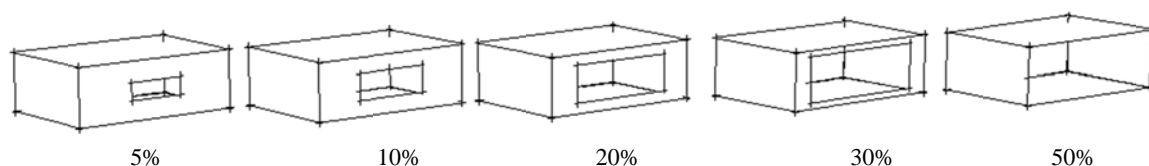


Figura 1 – Rangos de variación del tamaño.

3.2.3. Forma o proporción

Entenderemos la forma o proporción como la relación entre el alto y el ancho de la ventana. Para los fines de este trabajo se analizarán las posibilidades representadas en la figura 2:

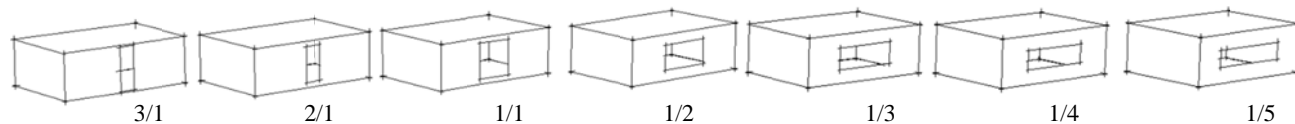


Figura 2 – Rangos de variación de la proporción.

3.2.4. Posición

Se define como la ubicación de la ventana en el muro que la contiene. Para esta variable se utilizan como referencias el eje horizontal X y el eje vertical Z. Así, se obtienen tres posibilidades sobre el eje X: central, lateral y esquina; y tres sobre el eje Z: alta, intermedia y baja. Para los fines de este estudio se eliminan las posiciones bajas porque no funcionan como fuente luminosa pues la iluminación se concentra en la zona cercana a la ventana y por debajo de la altura del plano de trabajo. También se eliminan las posiciones laterales altas y esquinas altas. Esto porque son casos muy poco comunes en los edificios, sobretodo en tamaños pequeños y, en tamaños grandes, no varían mucho con respecto a las posiciones intermedias. Así, las posiciones XZ que se analizan son las mostradas en la figura 3: CA (central alta), CI (central intermedia), LEI (lateral Este intermedia), LOI (lateral Oeste intermedia), EI (esquina Este intermedia) y OI (esquina Oeste intermedia).

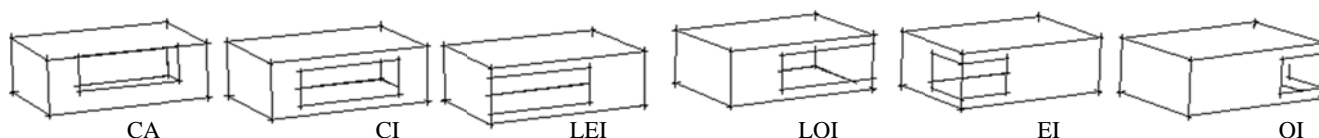


Figura 3 – Rangos de variación de la posición.

3.3. Parámetros para la simulación

Para la obtención de los datos lumínicos se realizaron simulaciones computacionales con los programas Ecotect y Daysim. El primero se utiliza como herramienta para elaborar los modelos 3D que posteriormente se exportan para los cálculos lumínicos en el segundo programa. Asimismo, el Ecotect se emplea para obtener los datos de radiación solar incidente media horaria.

Por otro lado, el Daysim es un programa desarrollado por el National Research Council Canada –NRCC– (REINHART, 2006). Se utiliza para calcular la disponibilidad de luz natural anual en los edificios bajo determinadas condiciones de cielo. Además, permite obtener el tradicional coeficiente de luz diurna y otras métricas dinámicas más recientes, como el UDI, DA, DAcon y DAmáx. Estas métricas han sido propuestas por diferentes autores: la primera por Nabil y Marldaljevic (2005), la segunda por Reinhart (2001) y las dos últimas por Rogers (2005). Estos les atribuyen la ventaja de contemplar la localidad, las condiciones geográficas y climáticas, la orientación y la luz solar directa, principalmente.

Las métricas dinámicas tienen como rasgo distintivo el uso de los archivos de clima local de luz natural que se obtienen de la documentación meteorológica anual recopilada de las estaciones. Posteriormente, dichos archivos son procesados por los sistemas computacionales que calculan y sintetizan la información. Sumado a esto, el Daysim también considera el horario de ocupación, el nivel de iluminación mínimo requerido y la potencia instalada para la iluminación en el espacio.

A continuación se especifican los parámetros necesarios para la simulación en los programas descritos.

3.3.1. Calendario y horario de utilización

Se utiliza el archivo de clima generado por el meteonorm para la Cd. de San Miguel de Tucumán, Argentina. Este archivo incluye la turbidez atmosférica, el tipo de nubes, el grado de nubosidad, la altura del sol, la duración del día, la humedad atmosférica, entre otros factores. Los cálculos se realizan para todo el año, con excepción de sábados, domingos y feriados argentinos. Se considera también un horario de utilización de 8:00 a 18:00 hrs que corresponde con el periodo de uso más común en los edificios públicos.

3.3.2. Nivel de Iluminación

Se considera un nivel mínimo de iluminación requerido de 300 luxes. Esto da versatilidad en la iluminación del espacio pues no excluye la posibilidad de incrementar los niveles con luz artificial sobre aquellas áreas del plano de trabajo que lo requieran. Además, utilizando este nivel de iluminación, se contribuye a generar un ambiente con variaciones de luz que resulten estimulantes y atractivas pues, según Johnsen et. al (2006), los ambientes con iluminación muy uniforme no son placenteros y pueden desencadenar cansancio y déficit de atención.

3.3.3. Superficie de cálculo

Los cálculos de iluminación se realizan sobre el plano de trabajo cuyos límites se establecen a 1m de las paredes y a una altura de 0.80 m sobre el nivel del piso. Se considera una grilla de 15 puntos distribuidos equidistantemente.

3.3.4. Métricas

Las métricas que se cuantificarán mediante simulación computacional son:

1. Iluminancia (E): Cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de área. Se mide en Lux.

2. Coeficiente de luz diurna (DF): Relación de la iluminancia interior horizontal en un punto en un edificio con respecto a la iluminancia exterior horizontal no obstruida, bajo un cielo cubierto de la CIE (gradación 1:3). Se mide en porcentajes.

3. Radiación Solar Incidente Media Horaria (Rad): Cantidad de radiación solar global, directa y difusa que incide sobre el plano de trabajo. Se mide en Watts hora/m².

4. Índice de Luz Natural Útil (UDI): Porcentaje de ocurrencia anual de iluminancia a través del plano de trabajo que está dentro del rango considerado útil para los ocupantes. El UDI está basado en reportes de preferencias de ocupantes y en el comportamiento de la luz natural de las oficinas con usuarios que operan protecciones solares. Se consideran tres rangos para esta métrica: iluminancias de luz natural en el rango de 100-2000 luxes (UDI) que a menudo son percibidas como deseables; iluminancias menores de 100 luxes (UDI-f) que se consideran no útiles e iluminancias arriba de 2000 luxes (UDI-e) que ya son deslumbrantes y se asocian con pérdida de confort térmico.

5. Luz Natural Autónoma (DA): Porcentaje de horas ocupadas a lo largo del año en el que se mantiene un nivel mínimo de iluminación requerido, mediante iluminación natural exclusivamente.

6. Luz Natural Autónoma Continua (DAcon): Porcentaje que contempla la transición en los niveles de iluminancia cuando éstos permanecen debajo del nivel mínimo de iluminancia requerida asignándoles un crédito parcial que se suma al porcentaje de horas iluminadas con luz natural. Este parámetro se justifica debido a que estudios realizados indican que las preferencias de iluminación varían entre los individuos y que muchos ocupantes de oficinas tienden a trabajar con niveles de iluminación más bajos que los comúnmente recomendados 300 ó 500 lux.

7. Luz Natural Autónoma Máxima (DAMax): Porcentaje de horas ocupadas cuando existe luz solar directa o niveles excesivos de luz natural que son asociados con deslumbramiento. El DAMax se define como un nivel dinámico que equivale a 10 veces la iluminancia diseñada del espacio. Esto se plantea considerando que el umbral de deslumbramiento varía dependiendo de las condiciones y del tipo de espacio.

3.3.5. Potencia instalada

No se considera alguna potencia instalada porque el objetivo de este trabajo es analizar el comportamiento de la luz natural únicamente.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los valores medios (MED) obtenidos de los cálculos computacionales se examinan mediante el Análisis de Componentes Principales (ACP). Este análisis es una herramienta estadística muy útil para este trabajo donde se comparan 238 configuraciones de ventanas (resultantes de los rangos de variación de las 4 variables de diseño). El ACP se divide en dos partes:

1. Variables de diseño: Se analiza la relación existente entre todas las métricas calculadas y cada una de las variables de diseño. Esto con el fin de estudiar la influencia particular de cada variable en la incidencia de la luz natural.

2. Métricas de luz natural: Se estudia la relación entre las diferentes métricas calculadas. Esto con la finalidad de encontrar aquellas que más información aportan y descartar las que son menos relevantes y/o redundantes.

A continuación se detallan estas dos partes del ACP.

4.1. Variables de diseño

4.1.1. Orientación

La figura 4 agrupa las diferentes configuraciones de ventana según la orientación. En ella podemos observar que la distribución de los puntos (configuraciones de ventanas) es bastante equitativa a lo largo de los dos componentes principales.

También, podemos estimar que hay mayor cantidad de configuraciones al norte con mayores niveles de DF MED, E MED, UDI-E, RAD MED y DAM >5%. Esto nos da una idea de que la orientación norte tiene mayor deslumbramiento.

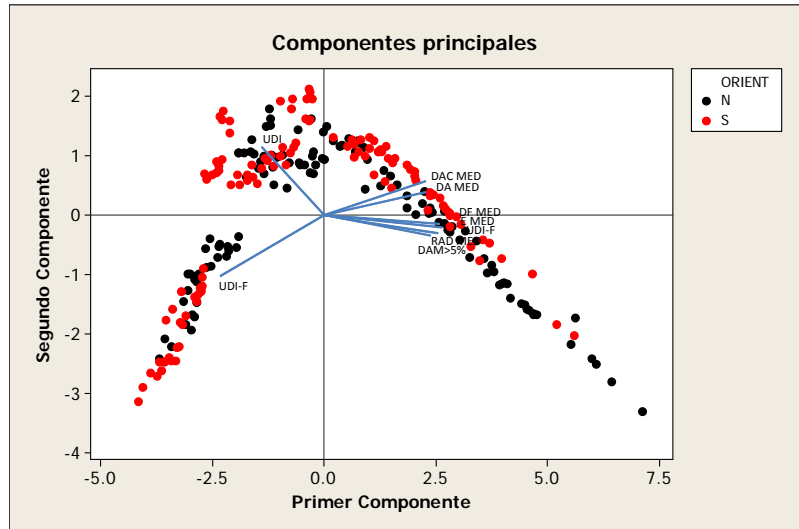


Figura 4 – Configuraciones de ventana ordenadas según la orientación.

4.1.2. Tamaño

En la figura 5 se muestran las diferentes configuraciones de ventana ordenadas según su tamaño. Así, podemos observar que la distribución de los puntos aparece por grupos según los diferentes tamaños.

Las ventanas más pequeñas (5%) tienen niveles altos de UDI-F, lo cual indica que no aportan suficiente cantidad de luz natural para la realización de las tareas.

Las ventanas de tamaño 10% tienen los niveles más elevados de UDI, DA MED y DAC MED por lo que aportan niveles buenos para la realización de las tareas; esto exceptuando aquellas más bajas en el eje y.

Las ventanas del 20% tienen niveles altos de DA MED y DAC MED, lo cual indica que buena parte del año aportan luz natural suficiente para trabajar sin iluminación artificial; sin embargo, también se observa que algunas cuantas ya tienen porcentajes considerables de deslumbramiento al correlacionarse con el UDI-E y el DAM >5%.

Algo muy similar ocurre con el tamaño 30%: niveles altos de DA y DAC con la diferencia de que la mayor parte tiene problemas de deslumbramiento.

Finalmente, la ventana que ocupa todo el muro (TAM 50%) tiene los niveles más altos de DF MED, E MED, UDI-E, RAD MED y DAM >5%, por tanto, tiene mayor deslumbramiento que el resto.

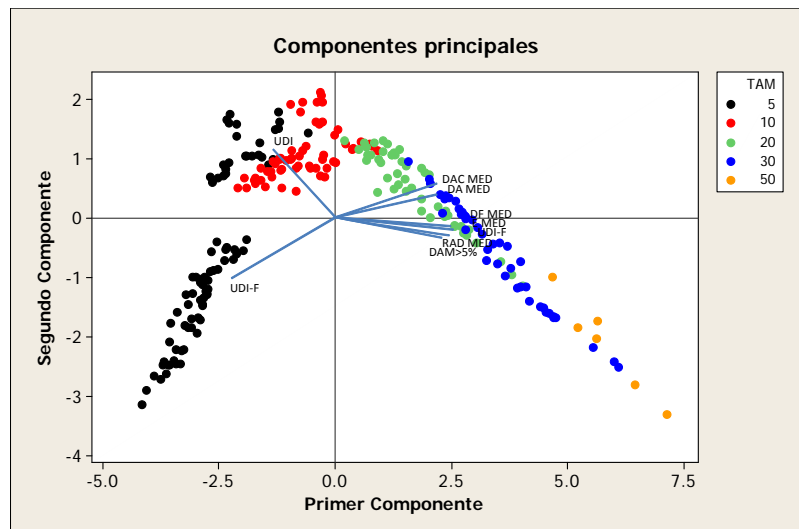


Figura 5 – Configuraciones de ventana ordenadas según el tamaño.

4.1.3. Forma y proporción

La figura 6 ordena todas las configuraciones de ventanas según la forma y la posición para identificar su relación con las métricas. Así, muestra que las configuraciones de forma vertical tienen los niveles más altos de UDI-F y los más bajos de DA MED y DAC MED (salvo dos excepciones), por lo que tendrían que funcionar con luz artificial la mayor parte del año. En cuanto a la forma intermedia y horizontal, la distribución de los puntos es bastante similar para las métricas UDI-F, UDI, DA MED y DAC MED. No sucede lo mismo con DF MED, E MED, UDI-E, RAD MED y DAM >5%, donde hay mayor concentración de puntos correspondientes con la forma horizontal, lo que indica problemas de deslumbramiento.

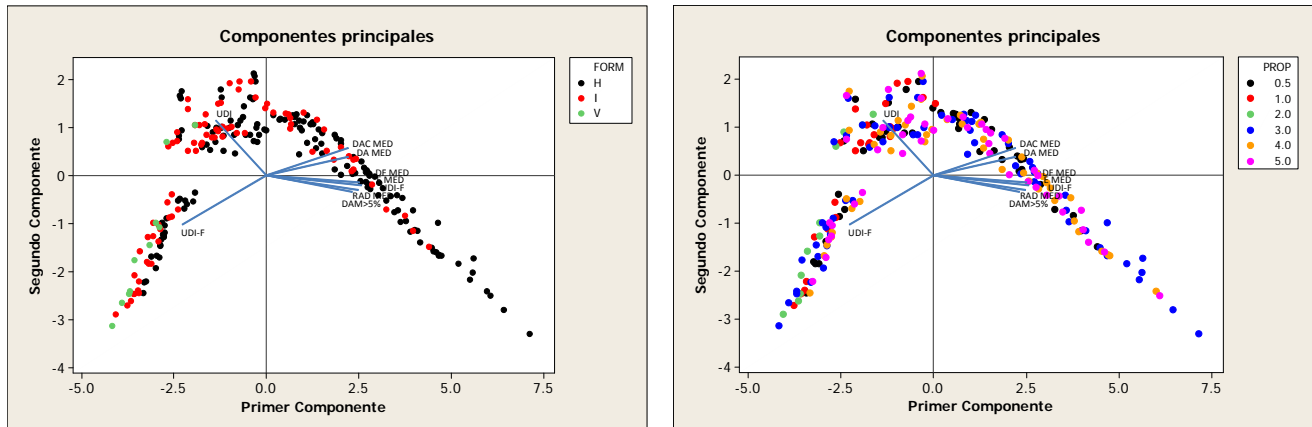


Figura 6 – Configuraciones de ventana ordenadas según la forma. Figura 7 – Configuraciones de ventana ordenadas según la proporción.

Para esta variable se añade la figura 7 donde se especifican las diferentes proporciones de cada forma. Así, podemos observar que algunas configuraciones de ventana horizontal en proporción 1/3 son las que tienen los niveles más altos de deslumbramiento.

4.1.4. Posición

La figura 8 muestra una distribución de los puntos bastante equilibrada para las diferentes posiciones; es decir, no se observan agrupaciones bien definidas.

A pesar de ello, se puede notar que la posición Central Alta tiene una mayor concentración en la parte superior del eje y. Esto nos dice que las ventanas centrales altas tienen los niveles más altos de UDI por lo que aportan niveles adecuados para la realización de las tareas. A la vez, tienen niveles altos de DA MED y DAC MED lo que significa que buena parte del año funcionarán con luz natural únicamente.

Algo similar ocurre con la posición Central Intermedia, cuyos puntos tienden a concentrarse en la parte superior del eje y a distribuirse adecuadamente sobre el eje x. Esto nos dice que esta posición tiende a tener buenos niveles de UDI, DA MED y DAC MED, salvo algunas excepciones. El resto de los puntos de las otras cuatro posiciones no muestra una tendencia definida sobre algún eje.

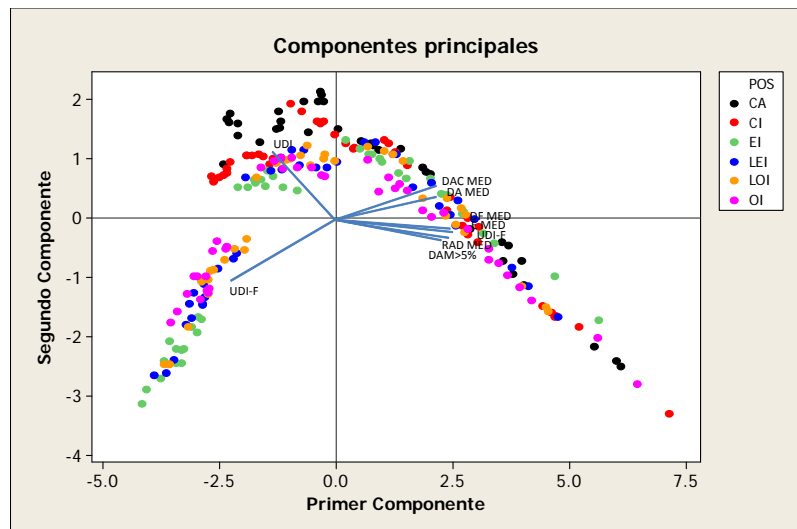


Figura 8 – Configuraciones de ventana ordenadas según la posición.

4.1.5. Preliminares de variables de diseño

Con base en este ACP, se pueden obtener las siguientes preliminares para las variables de diseño de ventanas:

1. La orientación norte tiene mayor probabilidad de deslumbramiento, sobre todo en los tamaños del 30% y del 50%.
2. Las ventanas de tamaño 5% sólo aportan niveles adecuados de luz cuando están en posición central alta o central intermedia.
3. Las ventanas de tamaño 10% tienen los niveles más elevados de UDI, DA MED y DAC MED por lo que aportan niveles buenos para la realización de las tareas; esto sin considerar las de posición Esquina Este Intermedia en las que se observa un descenso en los porcentajes de estas métricas.
4. Las ventanas del 20% tienen niveles altos de DA MED y DAC MED; sin embargo, algunas pocas pueden tener deslumbramiento.
5. El tamaño 30% aporta niveles altos de DA MED y DAC MED pero también tiene problemas de deslumbramiento, sobre todo la orientación Norte.
6. Las ventanas que ocupan todo el muro (tamaño 50%) tienen el mayor deslumbramiento en ambas orientaciones y en todas las posiciones y proporciones; por tanto, no son un tamaño de ventana óptimo.
7. Las configuraciones de forma vertical corresponden con el tamaño del 5%. Por tanto, sólo las que estén en posición central alta y central intermedia aportan niveles adecuados de luz.
8. En cuanto a la forma intermedia y horizontal, se observan problemas de deslumbramiento cuando son tamaños de 30% y 50%.
9. La proporción 1/3 horizontal en tamaño 50% es la que tiene los niveles más altos de deslumbramiento.

4.2. Métricas de iluminación natural

En la figura 9 de Componentes Principales, observamos todas las configuraciones de ventanas estudiadas y su distribución sobre los ejes del primer y segundo componente. En la misma figura se puede notar que existe mayor correlación entre estos grupos de métricas:

1. DA MED y DAC MED (cuadrante +X, +Y)
2. DF MED, E MED, UDI-E, RAD MED y DAM >5% (cuadrante +X, -Y)
3. UDI (cuadrante -X, +Y)
4. UDI-F (cuadrante -X, -Y)

Por tanto, para análisis posteriores se simplifica la cantidad de datos utilizando únicamente las siguientes métricas:

1. DA MED
2. DAM >5% y UDI-E
3. UDI
4. UDI-F

Aunado a esto, se propone clasificar en cuatro niveles el porcentaje de horas ocupadas al año en los que se alcanzan 300 luxes (DA MED) y el porcentaje de ocurrencia anual de 100-2000 luxes (UDI).

- Nivel 1: Del 0% al 25% anual
- Nivel 2: Del 25.01% al 50% anual
- Nivel 3: Del 50.01% al 75% anual
- Nivel 4: Del 75.01% al 100% anual

Con estos niveles planteados, se admiten como óptimas únicamente aquellas que satisfacen los siguientes dos requerimientos de manera simultánea:

1. Aquellas en las que el espacio puede funcionar con 300 luxes mínimos de luz natural al menos durante el 50% del año. Este requerimiento corresponde con los niveles 3.00 y 4.00 del DA MED.
2. Aquellas en las que la ocurrencia anual de luz natural esté dentro del rango útil, principalmente evitando sobrepasar los 2000 luxes que se asocian al deslumbramiento y a la pérdida del confort térmico. Esta situación se debe cumplir al menos el 50% del año por lo que se corresponde con los niveles 3.00 y 4.00 del UDI.

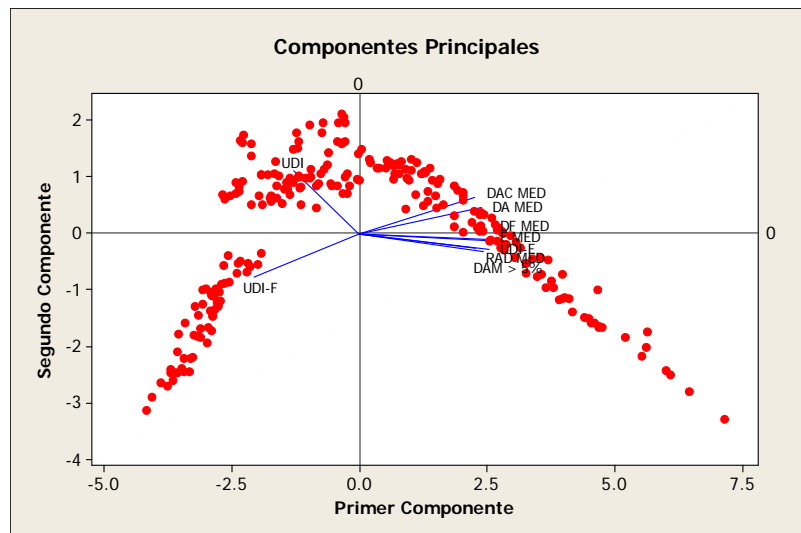


Figura 9 – Componentes principales: gráfico de dos dimensiones.

Así, las configuraciones de ventana óptimas serán que aseguren un nivel de iluminación natural entre 300 y 2000 luxes, al menos durante el 50% del año. En la figura 10 podemos apreciar tales configuraciones que corresponden con los señalados en negro en el cuadro de simbología.

Estos niveles 3 y 4 de DA MED y UDI nos permiten especificar más detalladamente los preliminares obtenidos de las variables de diseño de las ventanas. De esta manera se pueden especificar los valores de las variables de diseño que permiten obtener las configuraciones de

ventana más óptimas para el aprovechamiento de la luz natural. A continuación se presentan dichas configuraciones en la tabla 1:

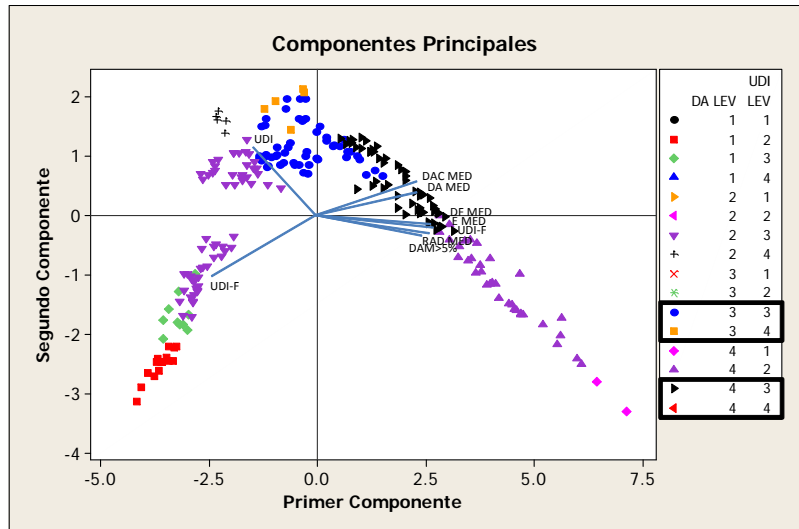


Figura 10 – Configuraciones de ventana clasificadas según los cuatro niveles de DA MED y los cuatro niveles de UDI.

Tabla 1 – Variables de diseño que originan configuraciones de ventanas óptimas para el aprovechamiento de la luz natural.

Orientación	Tamaño (%)	Posición (eje x, eje z)	Proporción (alto/ancho)	Nivel DA	Nivel UDI
Norte	5	CA	1/1, 1/2, 1/3,	3	3
			1/4, 1/5	3	4
	10	CA	1/5	3	3
			1/1	3	3
	20	CI, LEI, LOI, OI	1/2, 1/3, 1/4, 1/5	4	3
			1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/5	3	3
	30	CA	1/2	4	3
			1/2, 1/3	4	3
		LEI, LOI y OI	1/2, 1/3, 1/4, 1/5	4	3
			EI	3	3
50	-	-	-	-	
Sur	5	-	-	-	-
	10	CA	1/1, 1/2, 1/3	3	3
			1/4, 1/5	3	4
		CI	1/1	3	4
			1/2, 1/3, 1/4, 1/5	3	3
		LEI	1/3, 1/4, 1/5	3	3
		LOI, OI	1/2, 1/3, 1/4, 1/5	3	3
	20	CA, CI, LOI	1/2, 1/3, 1/4, 1/5	4	3
			1/2	3	3
		LEI	1/3, 1/4, 1/5	4	3
			EI	1/2, 1/3, 1/4, 1/5	3
	30	OI	1/2, 1/3	3	3
			1/4, 1/5	4	3
		CI	1/2, 1/3	4	3
	50	LEI, LOI, OI	1/2, 1/3, 1/4	4	3
			EI	1/2, 1/3, 1/4, 1/5	4

De esta misma tabla podemos extraer las siguientes recomendaciones generales para la localidad de San Miguel de Tucumán:

1. La orientación Norte aporta mayores niveles de iluminación. Por tanto, se pueden aprovechar ventanas más pequeñas, de preferencia en posiciones centrales altas; también son óptimas las de tamaño 10% en todas sus posiciones y proporciones, a excepción de las ubicadas en Este Intermedia; el tamaño 20% es adecuado según su posición y proporción, pero se debe apostar por no utilizarlas centradas para evitar problemas de deslumbramiento; el tamaño 30% sólo se debe usar en posición Este Intermedia; el tamaño 50% se debe descartar.

2. La orientación Sur aporta menores niveles de iluminación pero también menores porcentajes de deslumbramiento. Por tanto, las ventanas muy pequeñas (5%) no son adecuadas y las ventanas del 10% tienen menos versatilidad en esta orientación; empero, se pueden aprovechar ventanas en tamaños del 20% y del 30% con más libertad (más proporciones y posiciones) que en el norte; el tamaño 50% también se debe descartar.

5. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en este estudio, se confirma la premisa de que la orientación, el tamaño, la forma y la posición de las ventanas tienen una enorme influencia en la disponibilidad de luz natural interior. Por tanto, es importante concientizar a los arquitectos y especialistas a considerar la ventana como una fuente luminosa para los espacios. De esta manera, los proyectos arquitectónicos lograrán desarrollarse inmersos dentro de un proceso de diseño que integra la iluminación natural desde las etapas más tempranas, lo que finalmente optimizará su uso y a la vez, potenciará el ahorro de energía eléctrica.

Aunado a lo anterior, el estudio de los parámetros de la ventana nos permite hacer recomendaciones y plantear guías de diseño para la localidad de San Miguel de Tucumán. Esto puede extenderse hacia otros lugares siempre y cuando se estudien las condiciones geográficas y los climas locales de luz específicos. Se recomienda entonces, hacer uso de la documentación anual recopilada de las estaciones meteorológicas y también de los simuladores computacionales que ofrecen la ventaja de hacer los cálculos lumínicos con mayor facilidad.

Además, estos software permiten analizar y comparar varias configuraciones de tamaño y orientación de aberturas (entre otras variables de los locales) durante periodos de tiempo anuales, mensuales o según sea el caso. Hoy en día, la diversificación de estas nuevas herramientas permite tener una mayor accesibilidad a ellas por lo que se abre una importante oportunidad de diseño que permite optimizar el aprovechamiento de la luz natural en los edificios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSAF, L. El aprovechamiento energético del alumbrado natural en edificios. En Diego Pasjalidis (Dir.), **Manual de iluminación eficiente**. Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional y Efficient Lighting Initiative, 2006.
- BOYCE, P.; HOWLETT, O.; HUNTER, C. **The benefits of daylight through windows** [En línea]. Lighting Research Center - Rensselaer Polytechnic Institute. New York [Consulta: 8 de agosto de 2012]. Disponible en: http://www.ibo.at/documents/Licht_TB07_Andersent.pdf, 2003.
- ESQUIVIAS, P.; NAVARRO, J.; MUÑOZ, C. **Hacia la optimización del aprovechamiento de la luz natural a través del diseño de huecos**. En Jornadas Técnicas 2011: 2º Salón de la Eficiencia Energética en Edificación y Espacios Urbanos. Departamento de Construcciones Arquitectónicas 1, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Sevilla, pp. 229- 274, 2011.
- JOHNSEN, K.; DUBOIS, M.; GRAU, K. **Assessment of daylight quality in simple -rooms. Impact of three window configurations on daylight conditions, Phase 2**. The Daylite Site [En línea] Danish Building Research Institute. Primera edición. Dinamarca. ISBN 87-563-1270-9, pp. 1-80. [Consulta: 7 de agosto de 2012]. Disponible en: <http://www.thedaylightsite.com/filebank/Assessment%20of%20daylight%20quality%20in%20simple%20rooms.pdf>, 2006
- NABIL, A.; MARDALJEVIC J. **The Useful Daylight Illuminance Paradigm: A Replacement for Daylight Factors**. Institute of Energy and Sustainable Development (IESD), De Montfort University, The Gateway, Leicester LE1 9BH, UK 2005 (a).
- NABIL, A.; MARDALJEVIC J. **Useful Daylight Illuminance: A New Paradigm to Access Daylight in Buildings**, Lighting Research & Technology, Vol. 37, No.1, pp. 41-59, 2005 (b).
- PATTINI, A. Luz natural y la iluminación de interiores. En Diego Pasjalidis (Dir.), **Manual de iluminación eficiente**, Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional y Efficient Lighting Initiative, 2006.
- RAITELLI, M.; BENITO, M. **Eficiencia del espacio iluminado: el diseño como estrategia básica para la racionalización energética**. IX Congreso Panamericano de Iluminación. Rosario, Argentina, 20-22 de Octubre, 2008.
- REINHART, C.; WALKENHORST, O. **Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds**, En Energy & Buildings, Vol. 33, No.7, pp. 683-697, Septiembre 2001.
- REINHART, C. **Tutorial on the use of Daysim Simulations for Sustainable Design**. Institute for Research in Construction, National Research Council Canada, Ottawa, Canada, Agosto 2006.
- ROGERS Z. Architectural Energy Corporation, Boulder, Colorado, USA: <http://www.archenergy.com/SPOT/download.html>, 2005.
- SIMULATION RESEARCH GROUP. **How to Create Meteorom Weather Files for Energy Plus en Building Energy Simulation User News**, Vol. 26, No. 1. Berkeley Lab, USA, pp. 1-2, 2005.