

## CÁLCULO DE REFLEJOS Y VALORACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ERGONOMÍA VISUAL. TRES CASOS DE APLICACIÓN.

**Jorge Hernán Salazar Trujillo**

Arquitecto, Msc. Profesor Titular. Escuela de Arquitectura.

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. [jhsalaza@unal.edu.co](mailto:jhsalaza@unal.edu.co)

Escuela de Arquitectura, Bloque 24, Universidad Nacional de Colombia, Núcleo del Volador, Medellín.  
COLOMBIA. Tel. (57) 4-4309412

### RESUMEN

Los reflejos indeseados en los proyectos arquitectónicos ocasionan incomodidades a los usuarios y pueden derivar en enfermedades acumulativas o propiciar accidentes a consecuencia de una mala o incorrecta visión. A pesar de la trascendencia de los reflejos en la evaluación de los puestos de trabajo y otros lugares de permanencia, no es habitual incorporar su estudio durante el proceso de diseño. Se presenta aquí un método para estudiar los reflejos, cuantificar la severidad de su impacto y estimar los beneficios de mitigar el problema. Las posibilidades de aplicación del método de análisis y la herramienta informática desarrollada se ilustran en tres proyectos de diferente escala y ubicación, los cuales fueron asesorados utilizando esta metodología: una zona de comidas en una plaza, un pasillo en un centro comercial y una torre de control aeroportuario.

Palabras claves: Ergonomía Visual, Reflejos, Iluminación Natural.

### ABSTRACT

Unwanted reflections in architectural projects produce discomfort to users. They can generate escalating illnesses and cause accidents due to the lack of visibility. Despite the importance of reflections when evaluating working spaces and other functional areas, it is not frequent to incorporate their study during the design process. Here, a method to study such reflections is introduced, allowing to quantify their harmful impact and to estimate the benefits of mitigating the problem. The range of possibilities for the application of the analysis method and the informatics tool developed, are illustrated in three projects with different scales and location: a food court, a hallway in a shopping centre and an Airport Control Tower.

Keywords: Ergonomics, Daylighting, Reflection, Illuminance.

### 1. INTRODUCCIÓN

El estudio de los reflejos en la Arquitectura se ha considerado tradicionalmente como un asunto de acabados y de interiorismo, cuando en realidad los espejos son apenas un caso particular de un variado conjunto de circunstancias en las cuales conviene evaluar la reflexión de la luz en un proyecto arquitectónico. Los reflejos tienen un carácter sorpresivo. Es fácil comprender porqué su estudio ha sido relegado al grupo de recursos efectistas, útiles en la decoración de lugares recreativos y comerciales, pero sin mayor relevancia para la producción de proyectos arquitectónicos con otras destinaciones. Sin embargo, precisamente el carácter sorpresivo es el responsable de que los reflejos también puedan dar origen a situaciones no siempre agradables, relacionadas no ya con un tema estrictamente ornamental, sino operativo y funcional.

El punto de partida para que en la Arquitectura se comenzaran a aplicar con otras finalidades los conocimientos relacionados con los reflejos provienen de la transformación que experimentaron los puestos de trabajo durante la segunda mitad del siglo pasado (SALAZAR, 2001). La popularización de los televisores primero y las pantallas de computador después, hicieron necesario un mayor cuidado en el manejo de los reflejos y brillos que pudieran afectar o impedir la visión sobre estos dispositivos, especialmente luego de la generalización de las fachadas acristaladas durante el periodo de la arquitectura

moderna. En consecuencia, la normatividad que se desarrolló al respecto está orientada hacia la prevención de deslumbramientos incapacitantes generados por el sol o el alumbrado artificial (ICONTEC, 1999).

Es comprensible que se hayan reglamentado primero estas aplicaciones: basta tener en consideración los efectos catastróficos que se pueden derivar de una mala visión en una torre de control aeroportuaria, el centro de mando de un buque o el centro de operaciones de una refinería. (AENOR, 2001) Sin embargo, las crecientes exigencias acerca de la comodidad y la salud de las personas, acompañada por la proliferación de pantallas y otras superficies lisas y brillantes de las que dependen cada vez con mayor intensidad los procesos de comunicación y adquisición de información contemporáneos, explican porqué el asunto ya está lejos de poderse restringir a puestos de trabajo o a edificios de oficina. Hoy la importancia de asegurar las condiciones de ergonomía visual en proyectos con destinación y escalas muy diversas no se somete a discusión: abundan las situaciones en las que desde el punto de vista de la salud, la seguridad o la comodidad, conviene incorporar debidamente el tema de los reflejos dentro del proceso de diseño (ESTRADA, 2000). A pesar de ello, los instrumentos técnicos que permiten el cálculo y prevención de reflejos en la arquitectura y el urbanismo contemporáneos son prácticamente inexistentes.

Para prevenir que las consecuencias nocivas de reflejos molestos o capaces de impedir la visión tengan que ser resueltas, o por lo menos mitigadas con posteridad, es conveniente atender oportunamente las circunstancias asociadas a ellos. Algunos problemas son fácilmente identificables, como es el caso de los deslumbramientos en circunstancias de alta exigencia visual. Otros, sin embargo, son menos notorios y aparentan ser menos graves, a pesar de que ante tiempos de exposición prolongados pueden tener consecuencias nocivas. Un reflejo puede dificultar o entorpecer la realización de ciertas tareas y las personas, en su esfuerzo muchas veces inconsciente por evadirlo, son forzadas a permanecer en posturas que con el paso del tiempo pueden afectar su salud visual, muscular, su rendimiento laboral e incluso su estado de ánimo. Tal es el caso de algunas enfermedades degenerativas de la visión o problemas musculares y articulares acumulativos, los cuales tienen su origen en una postura deficiente.

Los estándares de calidad acerca de las condiciones de iluminación y ergonomía visual recomendados para muchas tareas han hecho necesario comenzar a considerar los reflejos durante el proceso mismo de diseño. Tal es el caso del diseño del alumbrado artificial, en donde es completamente necesario ubicar los puntos de luz considerando reflejos de las luminarias sobre superficies vidriadas, los cuales pueden afectar negativamente el propósito original del proyecto de luminotecnía. No obstante, incluso en casos en los que el requerimiento técnico no plantea exigencias tan específicas, es posible obtener un mejoramiento de las condiciones finales del proyecto gracias a que en el proceso de toma de decisión se tuvieron en cuenta un mayor número de variables.

## **2. OBJETIVO**

Desarrollar un método gráfico que a partir de modelos informáticos tridimensionales permita estudiar cualitativa y cuantitativamente reflejos en proyectos urbanos y arquitectónicos.

## **3. MÉTODO**

Para generalizar el problema y pasar del caso particular de los espejos al de los muchos otros tipos de reflejos que se pueden presentar en la arquitectura, es necesario precisar que un reflejo se presenta regularmente sobre superficies lisas y brillantes siempre y cuando las condiciones lumínicas sean las apropiadas. Muchos materiales y sustancias de uso habitual en la arquitectura y el urbanismo pueden producir reflejos, aunque dependiendo de las condiciones lumínicas, dicho reflejo podrá resultar poco notorio. Por esta razón un reflejo se puede controlar o mitigar modificando las características superficiales de los cerramientos, muebles y acabados de los materiales que conforman un espacio, cambiando a las personas de lugar, o modificando las intensidades de la iluminación del lugar, cuando esto resulta técnicamente posible (YANEZ, 1988).

Un reflejo es una imagen virtual que se presenta al interactuar un observador, una superficie reflectiva y un objeto o grupo de objetos que operan como fuente lumínica, sea por emisión directa (disco solar y lámparas de alumbrado artificial) o por un proceso indirecto producto de la alta reflectividad de un material.

El fenómeno está condicionado por la forma de la superficie donde se produce la reflexión de la luz y muy especialmente por las relaciones geométricas entre el observador, la superficie reflectiva y los objetos reflejados. Por ello otra manera de controlar los reflejos, regularmente la más sencilla y económica de todas, es modificando las relaciones espaciales que se establecen entre el observador, la superficie reflectiva y el objeto o fuente lumínica reflejada.

El proceso habitual para el cálculo de los reflejos es mediante la aplicación de las leyes de la simetría, consistente en trasladar, punto a punto, todos los elementos que conforman una escena a partir de una línea o plano de simetría, según el tema se esté abordando de manera 2D o 3D. Las distancias medidas desde cada uno de los puntos que delimitan un objeto en dirección hacia el plano de simetría, son las mismas que separan cada uno de los puntos de la imagen del mencionado plano.

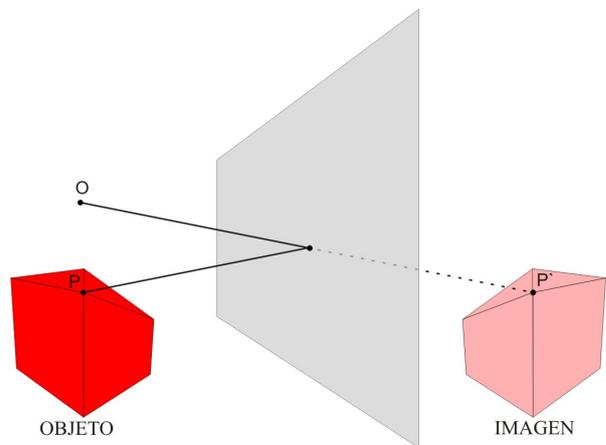
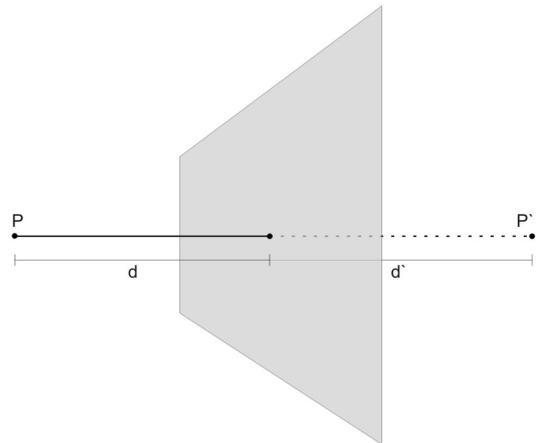
Este procedimiento, con el que habitualmente se construye un reflejo y se dibujan las imágenes invertidas a partir de la información geométrica del objeto original, es un procedimiento muy laborioso y en el que es muy fácil cometer errores.

Por este motivo se desarrolló un sencillo procedimiento alternativo para el estudio de los reflejos, que opera mediante la definición de un observador virtual  $O'$  ubicado simétricamente con respecto al observador real  $O$  (Figura 1), lo que permite simplificar enormemente el procedimiento geométrico para el estudio de los reflejos, dado que sólo se traslada el punto de vista todos los demás objetos de la escena sin modificación ni transformación geométrica alguna.

En vez de calcular para cada  $P$  su correspondiente  $P'$  y repetir muchas veces el proceso para construir así una imagen, el estudio del reflejo se realiza a partir de un punto  $O'$  simétrico al observador  $O$  y una máscara de visualización que tapa el entorno y deja una abertura a manera de ventana por la cual se puede observar el objeto.

El resultado es un método simple y veloz, que permite estudiar cualitativa y cuantitativamente los reflejos que se presentan en un proyecto con el fin de tomar decisiones de diseño. A pesar de que la imagen resultante no presenta características especulares con respecto al objeto original, debido a que no se obtiene mediante la aplicación de las leyes de la simetría, esta característica no tiene consecuencia alguna sobre las conclusiones obtenidas al evaluar campos visuales.

## REFLEXIÓN SEGÚN SIMETRÍA



## FALSA REFLEXIÓN MÉTODO ALTERNATIVO

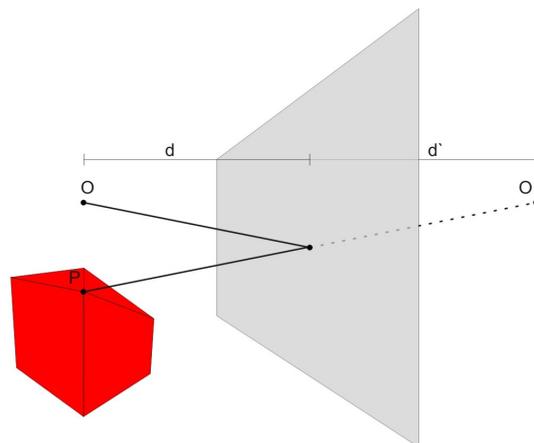


Figura 1 - ARRIBA método tradicional para el dibujo de reflejos. ABAJO, método alternativo calculando un observador virtual y dejando el objeto inalterado. No se calcula una imagen virtual y el resultado no presenta características especulares con respecto al objeto original.

## 4. RESULTADOS Y APLICACIONES

### 4.1. Ubicación de zonas de permanencia en intermediaciones de espejos de agua.

En la evaluación de las condiciones de ergonomía visual para una plaza en la ciudad de Medellín, Colombia (latitud 6.25° Norte) se requería estimar el tiempo en que una persona estaría sometida al reflejo del disco solar sobre un espejo de agua. Un edificio de 6 metros de altura y cuatro árboles de copa densa (Figura 2) conforman una condición asimétrica en la cual era necesario identificar la ubicación más favorable para la zona de comidas y en especial, determinar el intervalo en el que una persona estaría sometida al reflejo del sol sobre el espejo de agua mientras estuviera sentada.

Por tratarse de una plaza ubicada cerca de un sector de oficinas, se espera que durante las tardes se presenten los máximos niveles de ocupación. Con lleno completo algunas personas se verán obligadas a ocupar las sillas enfrentadas hacia el occidente. El resultado es que durante el final de la tarde estas personas recibirían el reflejo del sol en el agua, situación incómoda que dificulta el diálogo y la lectura por causa del deslumbramiento.

Dibujando las posiciones aparentes del sol sobre la bóveda celeste según se observan en Medellín (MELGUIZO, 1987) y calculando los reflejos desde cuatro ubicaciones alternativas A, B, C y D, se verifica la viabilidad de mitigar unas condiciones desfavorables de ergonomía visual mediante la reubicación de la zona de comidas sin necesidad de modificar la altura del edificio ni proponer más árboles de los que ya existen.

Tal como se puede observar en la figura 3, en el caso de la primera ubicación (A) la exposición al reflejo molesto sería de mínimo una hora. La condición molesta se reduciría a 25 minutos en la ubicación C y se controlaría completamente con los árboles en la ubicación D pero únicamente durante 9 de los 12 meses del año. Se concluyó que para la ubicación A sería conveniente reducir el tamaño del espejo de agua o alejar la zona de mesas hacia el oriente. Para la ubicación B el beneficio de la vegetación sería nulo y para la ubicación C el beneficio se restringiría a medio año. Se concluyó que sin modificaciones sobre la conformación arquitectónica de la plaza el mejor sitio para ubicar la zona de mesas sería en un punto intermedio entre C y D.

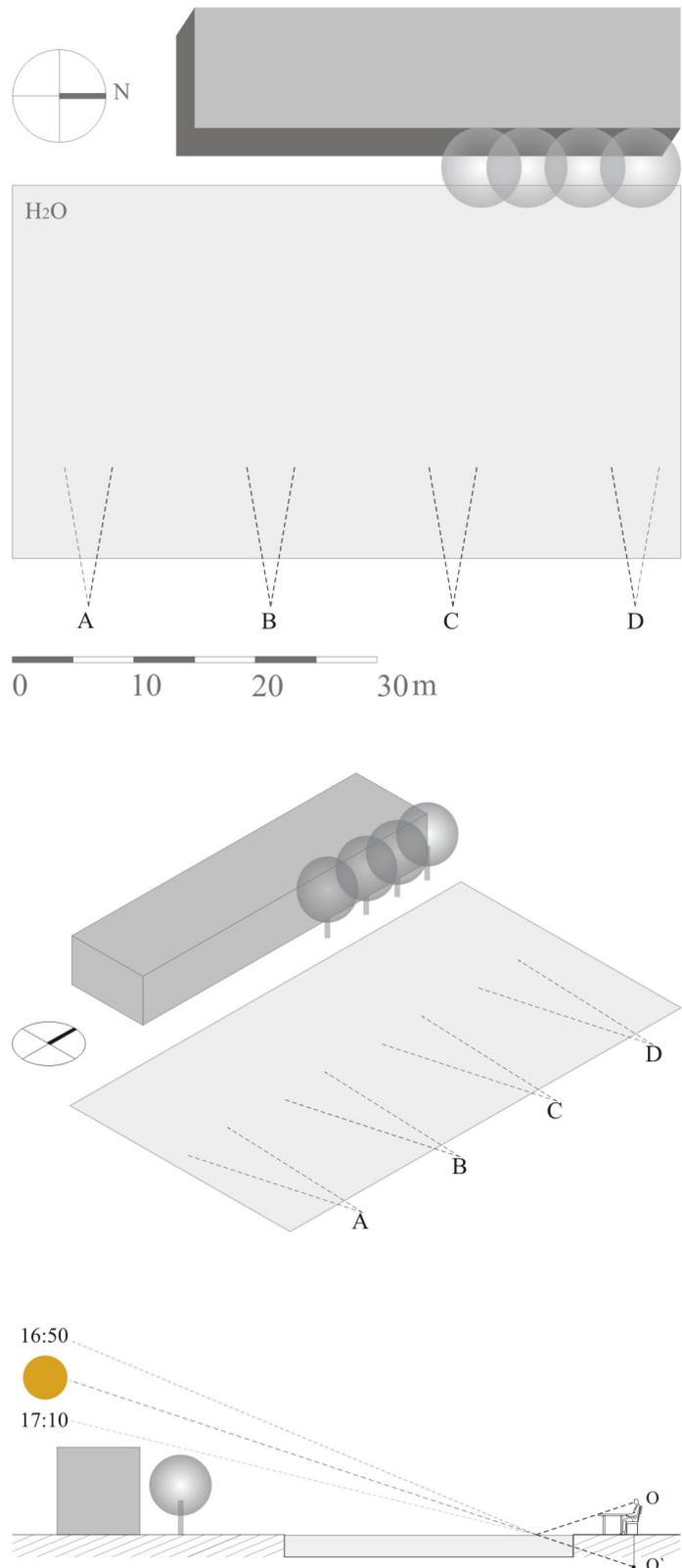


Figura 2 - Estudio de cuatro posibles ubicaciones para una zona de comidas en una plaza frente a un espejo de agua. Se buscó prevenir los reflejos del disco solar sobre la superficie del agua durante las últimas horas de la tarde.

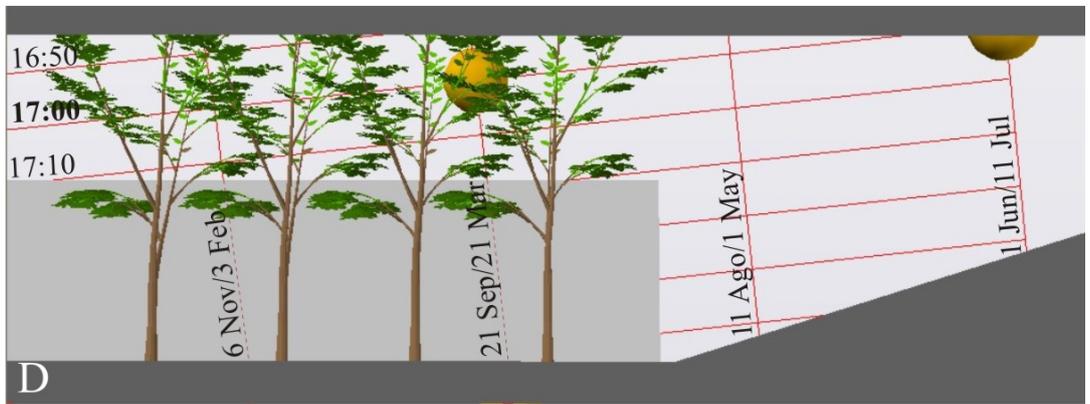
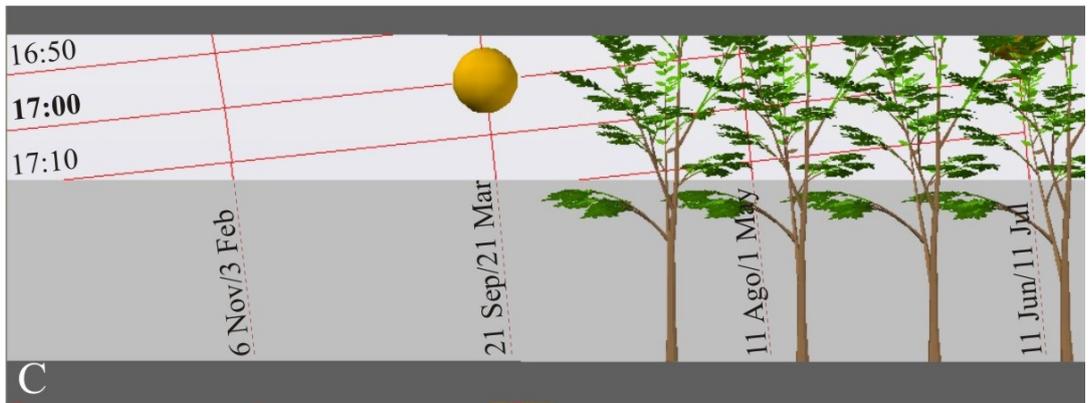
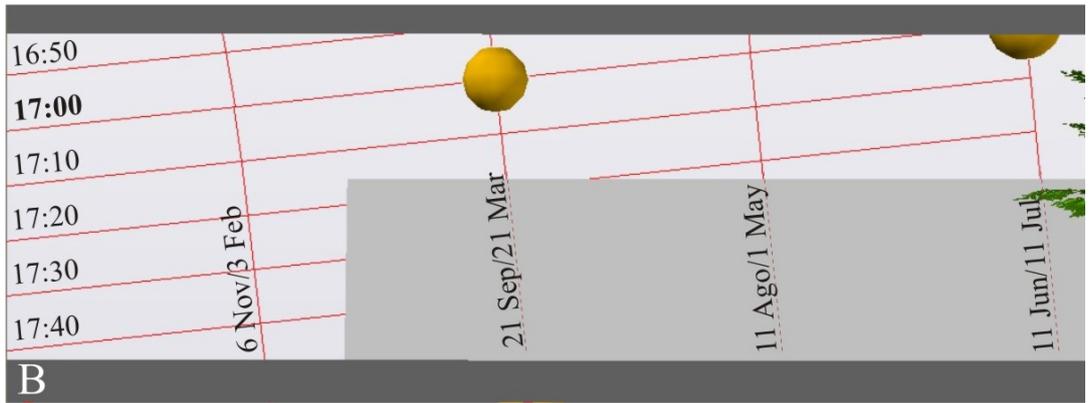
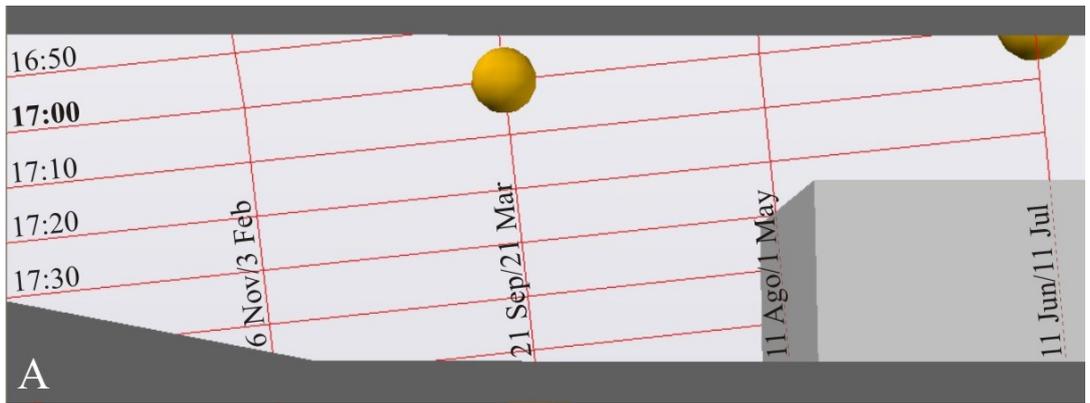


Figura 3 - Campos visuales que se observarían sobre el espejo de agua desde las cuatro posibles ubicaciones en consideración. Nótese como las trayectorias solares quedan parcialmente ocultas por el edificio o los árboles según la ubicación del observador.

## 4.2. Control de reflejos en vitrinas y exhibiciones.

Para asegurar la visibilidad sobre las vitrinas de un centro comercial y suprimir los reflejos molestos sin necesidad de sobreiluminar las zonas de exhibición, se calcularon los reflejos que se presentarían sobre las superficies vidriadas en el caso de que el vidrio se instalara inclinado. Se evaluaron cuatro ángulos de instalación (Figura 4), para verificar si variaciones en el modo de instalación tendrían como resultado modificaciones apreciables sobre el reflejo obtenido. Se concluyó que asociada a la inclinación de la vitrina hay una línea imaginaria en el pasillo que separa una zona de pausa de la zona de circulación. En una situación ideal la inclinación de los vidrios debería ser una magnitud dependiente del ancho del pasillo, lo que permitiría que las personas se detengan a observar sin entorpecer la circulación, a la vez que las personas que continúan cruzando no resulten visibles, de manera indirecta, a través de su reflejo.

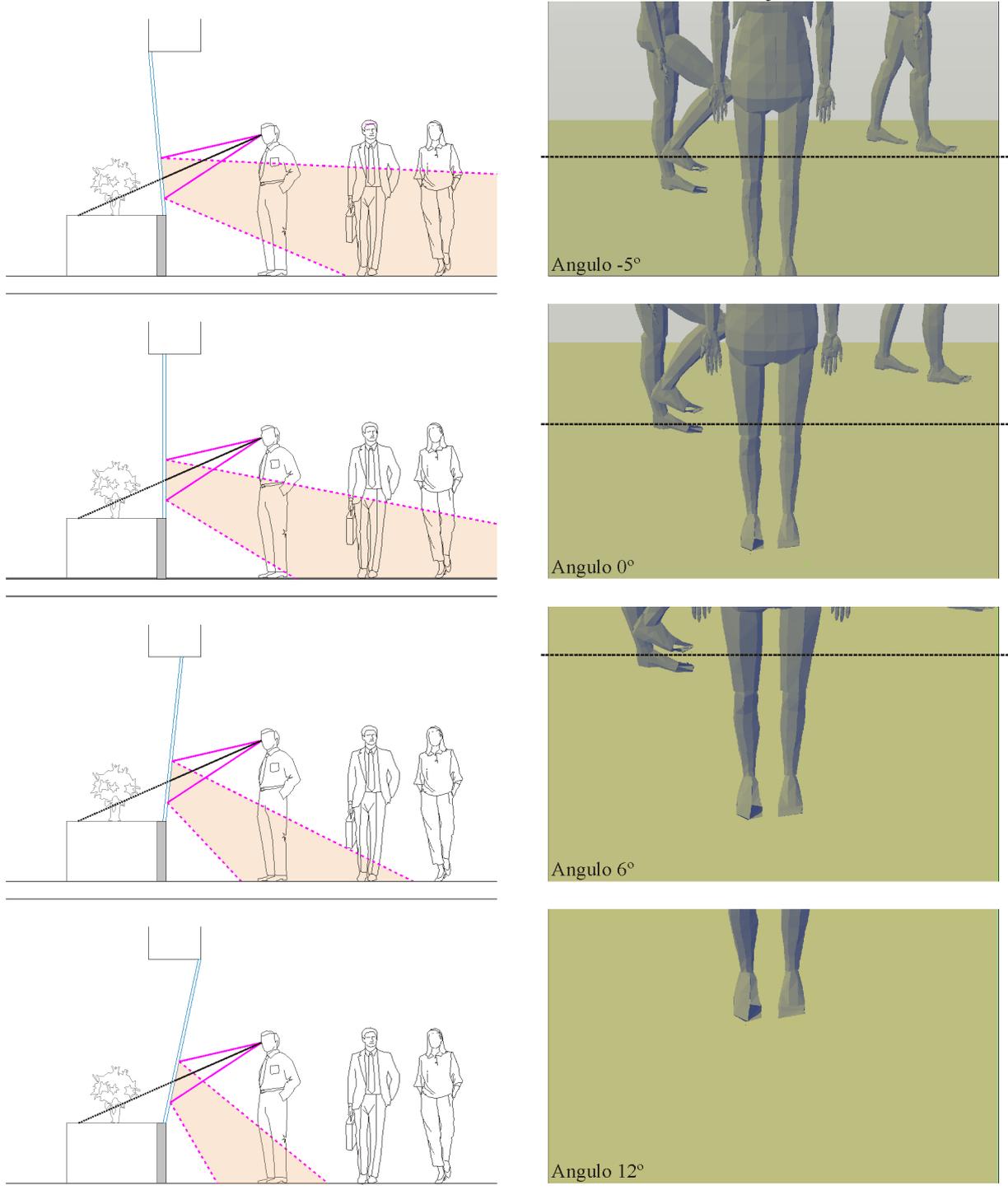


Figura 4 – Reflejos que se presentarían sobre una vitrina con cuatro alternativas en la inclinación del vidrio, manteniendo fijas la ubicación y altura del observador. Las líneas horizontales en la derecha corresponden al borde interior de la exhibición. Nótese que a partir de un ángulo de 6° la única posibilidad de ver personas reflejadas es que alguien se interponga entre la vitrina y el observador.

### 4.3. Supresión de reflejos en pantallas o superficies reflectivas.

En una asesoría realizada para GOP Oficina de Proyectos, orientada a la evaluación y perfeccionamiento ergonómico de los puestos de trabajo de la torre de control de aeropuerto de Tamanrasset, en Argelia (Latitud 22°47' Norte), se analizó la conveniencia de cambiar la disposición, inclinación o ubicación de los aparatos y pantallas con el objetivo de minimizar o suprimir completamente los reflejos de los faros sobre las superficies sobre las que un controlador aéreo toma sus decisiones (Figura 5). Una medida complementaria en la supresión de los reflejos fue modificar los acabados de los materiales que se ubican atrás de la cabeza del operador. También se hicieron análisis de cómo variaciones en la talla de la persona y el tipo de silla elegida podría afectar el reflejo observado (GARCÍA, 2008).

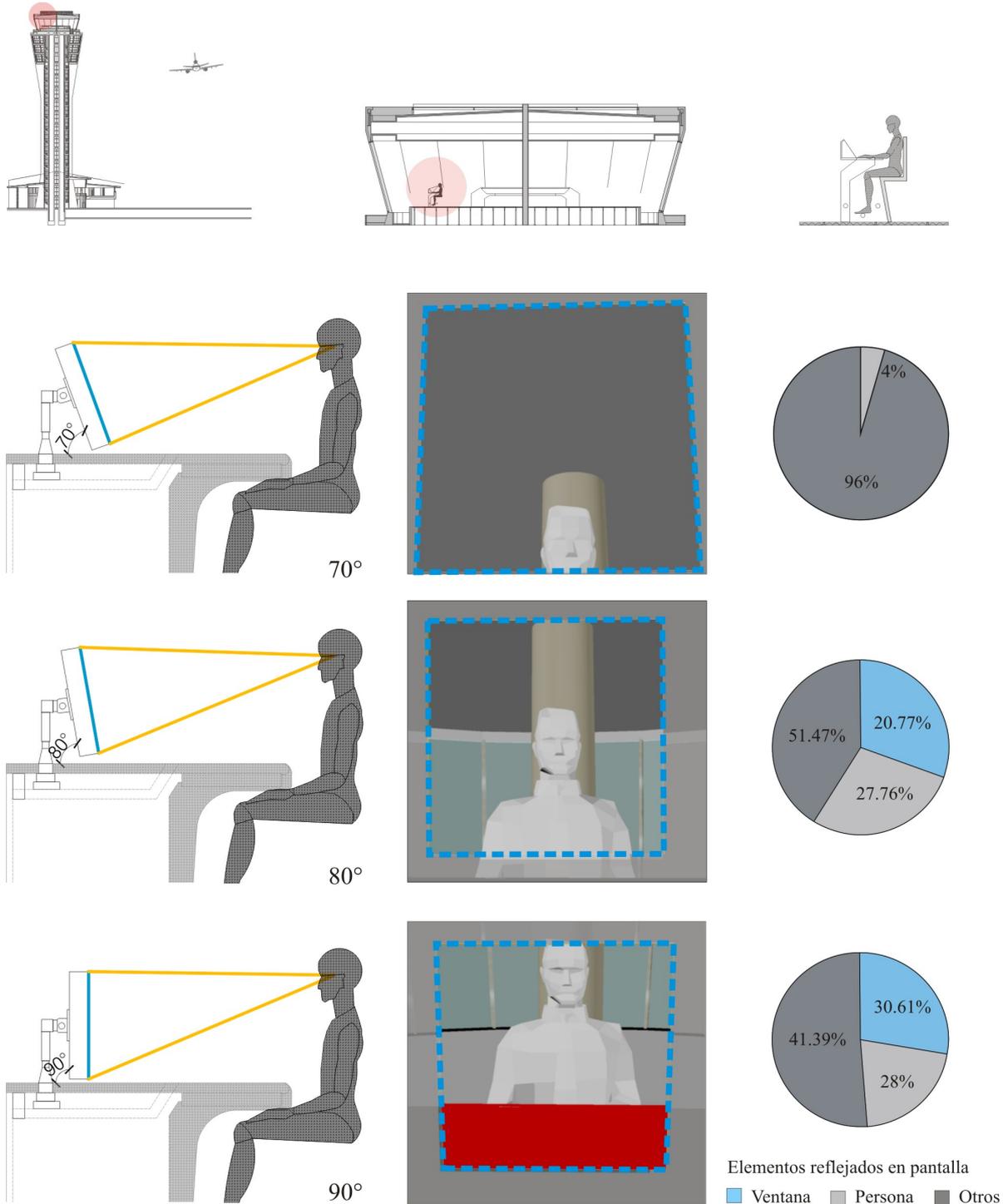


Figura 5 – Supresión de reflejos sobre una pantalla de la torre de control del aeropuerto de Tamanrasset, Argelia, considerando las dimensiones de un hombre adulto de talla P95. Las recomendaciones acerca de los acabados de pisos, cielo y mesas de trabajo del proyecto desarrollado por GOP Oficina de Proyectos, estuvieron basados en la proporción que ocupa cada material en los reflejos que observan personas de diferente talla en las diferentes máquinas y aparatos que componen el mobiliario típico de una torre de control.

## 5. CONCLUSIÓN

El cálculo de los reflejos es una labor que involucra muchas variables, requiere destreza en geometría tridimensional y por lo tanto está lejos de poderse resolver de manera exclusivamente intuitiva. Un procedimiento geoméricamente para calcular y valorar los reflejos durante la etapa de diseño constituye una ayuda valiosa para la arquitectura y el urbanismo, en tanto que ayuda a considerar y mantener bajo control variables que de otro modo terminarían siendo resultantes inesperadas.

El método desarrollado y la herramienta informática complementaria son muy versátiles y tienen variadas aplicaciones, desde la escala de diseño urbano, pasando por el diseño arquitectónico hasta llegar al nivel de detalle y el interiorismo. Los proyectos asesorados utilizando esta herramienta demuestran las posibilidades de incorporar los reflejos en el proceso de concepción arquitectónica, no sólo cualitativa sino también cuantitativamente.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AENOR, Norma Española. **Diseño ergonómico de los centros de control**. UNE-EN ISO 11064-1, 2001, 37 p.
- ESTRADA, Jairo. **Ergonomía**. Editorial Universidad de Antioquia. 2ª E. Medellín. 2000, 345 p.
- GARCÍA, Ader y Jorge SALAZAR. **Asesoría ergonómica. Estaciones de trabajo en las torres de control aéreo de los aeropuertos de Argel, Oran, Gardahia, Constantine y Tamanrasset en Argelia**. Medellín, 2008.
- ICONTEC, Norma Técnica Colombiana. **Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares**. República de Colombia. Ministerio de Educación Nacional. NTC 4595, 1999, 45p.
- MELGUIZO Bermudez, Samuel y Octavio Uribe Toro. **Asoleamiento, Teoría General y Diagramas**. Universidad Nacional de Colombia, Seccional Medellín, Facultad de Arquitectura, 1987, Medellín, 54 p.
- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. ISS Antioquia. **Código de Salud Ocupacional**. Medellín, 1990.
- SALAZAR, Jorge y Alexander González. **Luz Natural en la Arquitectura**. O-I Peldar. Medellín, 2001, 120 p.
- YÁÑEZ, Guillermo. **Arquitectura Solar. Aspectos pasivos, bioclimatismo e iluminación natural**. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid, 1988, 192 p.