



MÁSTER UNIVERSITARIO EN ARQUITECTURA, ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA

CURSO: 2014/15

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

LA ILUMINACIÓN PARA EL CULTO:

Reflexiones del confort visual en la penumbra.

Arq. Edgard Eduardo Espinoza Cateriano

Tutor: Arq. PhD. Isabel Crespo Cabillo

Figura 1 (contraportada). André Romão, "Looking" (prospection/exchange/profit), 2015, "Leal Rios Foundation Collection", fotografiado en el Centro de la Imagen: La Virreina

Agradecimientos:

A la tutora de la tesina, Isabel Crespo, por su tiempo y sus significativas reflexiones.

A los profesores del máster, en especial Antoni Isalgué por su ayuda.

A los amigos que me han acompañado en este recorrido.

A mis padres, siempre presentes.

INDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	
1.1. Justificación	9
1.2. Objetivos	9
1.3. Metodología	10
1.4. Limitaciones	11
CAPÍTULO 2. COMPONENTES CUANTITATIVOS	
2.1. La luz	13
2.2. La visión	21
2.3. El confort lumínico	27
CAPÍTULO 3. COMPONENTES CUALITATIVOS	
3.1. La percepción	31
3.2. El confort visual	37
3.3. La penumbra	41
CAPÍTULO 4. CASOS DE ESTUDIO	
4.1. Iglesias	
4.1.1. Sant Pau del Camp	46
4.1.2. Sant Pere de les Puelles	58
4.2. Bibliotecas	
4.2.1. Biblioteca Pompeu Fabra - Depósito de Aguas	70
4.2.2. Biblioteca Esquerra de l'Eixample - Agustí Centelles	82
4.3. Salas de Exposiciones	
4.3.1. Centro de la Imagen La Virreina - Writing Diffraction	94
4.3.2. Caixa Forum Barcelona - Alvar Aalto 1898-1976	106
4.4. Zonas Arqueológicas	
4.4.1. Ciudad romana Baetulo – Badalona	118
4.4.2. Complejo Inca Puruchuco – Lima	130
4.5. Integración de casos de estudio	
4.5.1. Aproximaciones a la gráfica de Kruthof	142
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES	
5.1. Conclusión general	145
5.2. Conclusiones particulares	145

INDICE DE FIGURAS

BIBLIOGRAFIA

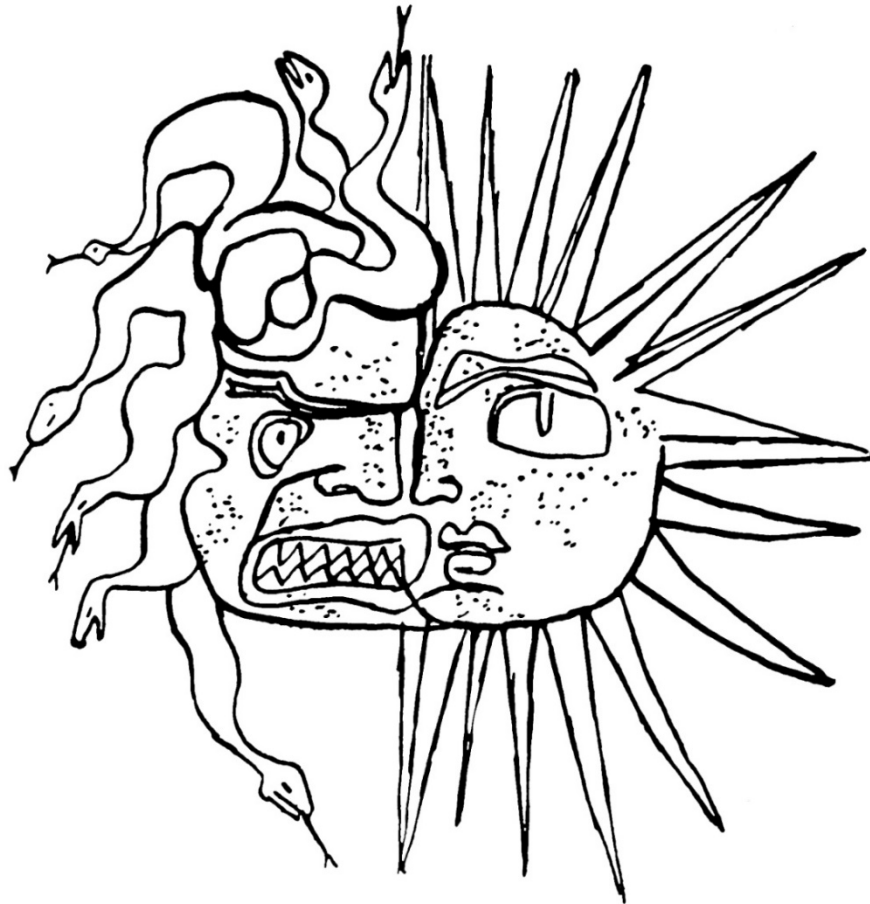


Figura 2. Le Corbusier. "Cabeza de Apolo y de Medusa". Recuperado de La maison des hommes. PIERREFEU, François de et LE CORBUSIER. Éditions Plon, Paris, 1942.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad la luz ha sido objeto de fascinación para el ser humano. Diversas disciplinas de las ciencias y las artes han estudiado el comportamiento de la luz tanto natural como artificial. A pesar de esa fascinación y estudio aún hoy el tema de la calidad lumínica representa uno de los mayores retos a la hora de proyectar espacios destinados a usos concretos. Al respecto, es evidente que los arquitectos conocemos la importancia de la presencia de la luz en la arquitectura para poder reconocer las cualidades espaciales y estéticas que un lugar pueda tener. Aun así, la calidad de un espacio se produce cuando alcanzamos obtener el confort visual, entre otras cosas, gracias a un correcto balance entre luz y sombra, según la actividad y el tiempo en que se realiza.

A lo largo de la historia de la arquitectura occidental observamos que los espacios siempre han procurado la mayor claridad posible, es así como la tecnología se ha puesto, históricamente, al servicio de ese objetivo con la introducción de nuevos materiales como el hierro, el hormigón, los vidrios de grandes dimensiones, etc. Una mirada a los orígenes de la arquitectura oriental, en cambio, nos va permitir identificar rápidamente una cierta tendencia a mantener los interiores con niveles muy bajos de iluminación. Sophia y Stefan Behling (2002, p.109) dicen al respecto: *“mientras que a los cristianos les fascinaba la luz y los brillos, los maestros constructores chinos y japoneses creaban centros de sombra y calma con la ayuda de luz difusa, luz que sabían guardar con maestría”*; esta preferencia por filtrar el ingreso de la luz con entramados, telas y fibras otorga a los espacios un significado de recogimiento que permite apreciar la arquitectura desde un estado de sosiego.

Aun así, la homogenización cultural propiciada por la globalización está potenciando una cierta predisposición a llenar de luz los espacios interiores sin ninguna intención lumínica, debido quizás al afán por cumplir con los parámetros establecidos para mejorar el rendimiento de las actividades que albergan dichos lugares. De hecho, existen reglamentos que estipulan los niveles lumínicos mínimos, pero en ninguno de ellos encontraremos indicaciones para lograr iluminar un espacio con sensibilidad y calidad: características que van a depender de la visión estética del diseñador quien deberá tener en cuenta la combinación justa de los factores culturales, psicológicos y técnicos que siempre intervienen en dichos procesos.

Al respecto, han ido surgiendo a lo largo de los años una serie de estudios que analizan desde diversos ángulos el impacto de la iluminación en ambientes en los que se desarrollan actividades asociadas al recogimiento. De entre ellos destacan,

por la profundidad de sus conclusiones y la estrecha relación con el tema que pretendemos problematizar aquí, los trabajos de Arnau (2014), De Ponte (1995) y Muñoz (2012). Para el primero de ellos, el color y la luz juegan una función primordial en la creación del espacio destinado al culto cristiano. Allí, el binomio interioridad subjetiva - exterioridad arquitectónica sustenta la relación que se establece entre el sujeto y el espacio habitado (p.27). Es a partir de la confluencia entre emotividad y arquitectura que lo lumínico cobra una fuerza trascendental y, a la vez, tangible. Muñoz, comparte que la sacralidad de los espacios religiosos están emparentados con los museos y las bibliotecas por medio de la luz y el silencio, es así que a partir de un estudio pormenorizado de los museos más importantes de España, focaliza su atención en el confort visual, noción que, como veremos más adelante, cobra una especial relevancia epistemológica en la reflexión acerca de imperiosa necesidad de usar la luz para construir ambientes que posibiliten la interioridad reflexiva que exigen ciertas actividades. El estudio de De Ponte complementa lo anteriormente dicho gracias a la función que se le otorga al concepto de sombra (1995, p.156). Así pues, para el estudioso italiano la materia lumínica puede poner en evidencia la arquitectura, pero también estimular de manera implícita nuestra psique, facilitar acciones concretas a partir de la creación de ambientes confortables y establecer una relación determinada con la oscuridad capaz de proyectar una concreta percepción de los objetos a partir de una tridimensionalidad que sin ese juego no poseerían.

Como vemos, a pesar de las diferencias de enfoque, los autores consultados otorgan un rol fundamental a la materia lumínica en la construcción de lugares dedicados a actividades de culto. Museos, iglesias, bibliotecas y, en general, espacios para la concentración, construyen la relación con el sujeto y su interioridad combinando una serie de factores entre los que la luz es fundamental. Pero, ¿cuál es la función de la iluminación en esos otros ámbitos en los que se realizan actividades de recogimiento menos normativizadas por la tradición?, ¿qué rol juega la materia lumínica en el confort y la tranquilidad de los usuarios de los espacios en los que se realizan actividades destinadas al bienestar? Merece la pena al respecto analizar la función que la luz tiene en los espacios destinados a actividades de culto porque, tal y como vimos más arriba, las peculiaridades en la proyección de los espacios y la consolidación de una relación equilibrada entre el balance de sombra y luz son elementos fundamentales que van permiten pensar en la adopción de esos parámetros también en espacios de culto menos acostumbrados como en las zonas arqueológicas del Perú.

1.1. JUSTIFICACIÓN:

El ritmo de vida del hombre contemporáneo promueve largas jornadas laborales en donde la iluminación de los espacios de trabajo ha sido ampliamente abordada, sin embargo, encontramos que la iluminación en espacios para realizar actividades de desarrollo personal no siempre ha estado en el centro de la investigación. Algunos de esos lugares como las iglesias (el culto religioso), los museos (el culto al arte), las bibliotecas (el culto al conocimiento) y las zonas arqueológicas (el culto a la historia) constituyen paradigmas indiscutibles de como la luz y sus juegos influyen de manera fundamental en la predisposición del sujeto a la hora de construir una relación determinada con el espacio que lo alberga. Pero, ¿cómo son iluminados esos espacios? ¿En función de qué criterios?

La presente investigación tiene como interés el análisis de estas cuatro tipologías arquitectónicas presentes en Barcelona y en Lima, por estar emparentadas por una constante, el aprendizaje individual. Para la presente tesis se escogerán edificaciones que destaquen por sus cualidades lumínicas en el confort visual y sirvan como objeto de estudio para sacar conclusiones que puedan ser extrapolables a cualquier espacio en donde la cultura y su relación con el individuo sea fundamental.

1.2. OBJETIVOS:

El objetivo general:

Profundizar en las cualidades de la luz a considerar en los espacios de culto, con el fin de conocer las condiciones lumínicas que potencian el aprendizaje individual.

Los objetivos específicos son:

- Investigar sobre el comportamiento de la visión y las condiciones que requiere para lograr el confort lumínico y visual durante el ejercicio de actividades que requieran la concentración del usuario.
- Observar, mediante un análisis fotográfico, las principales características de la iluminación en las diferentes tipologías arquitectónicas elegidas y evaluar los resultados de manera comparativa y transversal a fin de extraer conclusiones.

1.3. METODOLOGÍA

Para entrar en la evaluación de la percepción visual de los espacios interiores destinados a actividades de culto primero es necesario centrarnos en la investigación para comprender los componentes cuantitativos y cualitativos relacionados a la luz, desde sus principios físicos hasta sus implicancias en la percepción del ser humano, para luego seguir con el análisis basados en la observación de ambientes construidos que cumplan con las características antes expuestas. Así pues, se justifican como objeto de estudio las siguientes tipologías:

- Iglesias de estilo románico en donde el control del ingreso de luz era fundamental para reproducir la atmosfera de cultivo de las ciencias y las letras que los monjes tenían en los claustros.
- Bibliotecas en edificaciones antiguas y nuevas, entendiéndose éstas como lugares de autoaprendizaje y culto al conocimiento, que destacan por el uso de la luz no sólo por la correcta aplicación de la normativa actual pero sobre todo por tener diferentes intensiones lumínicas.
- Salas de exposiciones artísticas, que han servido desde la antigüedad para rendirle culto al arte, eligiendo dos muestras en donde la primera experimenta con las propiedades de la luz en espacios de penumbra y la segunda por sus efectos sobre las piezas que se desean exhibir.
- Zonas arqueológicas de Badalona y Lima, por su relevancia en el aprendizaje vivencial de la historia a través del recorrido y por el uso correcto de la luz, tanto artificial en el caso español, como también solar, en el caso peruano.

No se han encontrado muchos ejemplos de tesis que estudien esta materia, sin embargo, si hay disponibles diversas herramientas entre las cuales softwares que permiten analizar imágenes digitales a fin de revelarnos información cuantitativa de las escenas de estudio. A continuación la descripción de los softwares utilizados:

El primero de ellos desarrollado por Jaloxa, nos proporciona en primer lugar una imagen HDR, resultado de la superposición de nueve fotografías con distinto tiempo de exposición, que intenta representar la visión que tiene el ojo en escenas donde hay un notable contraste de luminancias; y en segundo lugar genera una imagen en falso color que cuantifica el nivel de luminancias de cada una de las superficies están dentro de la escena y las agrupa cromáticamente, con lo cual se puede trasladar esta imagen a otro software como Photoshop para separar las distintas tonalidades según la tabla de escalas que viene con cada imagen de falso color. Esta separación

cromática servirá para medir las áreas que ocupan con respecto al área total de la foto y así generar gráficos de porcentajes que evidencien cual es el valor de las luminancias que predominan en la escena y también cual es el valor promedio de luminancias, lo cual servirá para generar ratios de contraste de luminancias y evaluar si se puede establecer si hay alguna relación con la percepción de deslumbramiento.

El segundo software desarrollado por MIT (Massachusetts Institute of Technology), proporciona un gráfico que muestra de que parte de la fotografía recoge mayor información con el fin de reconocer el tipo de lugar en el que se encuentra la escena de estudio. Confirmando que la luz es el instrumento que revela la mayor cantidad de información del entorno, que llega a nuestro cerebro a través de los ojos.

Por último el tercer software, ideado y operado por el Dr. Antoni Isalgué, profesor del actual máster, un programa propietario en C, que lee el contenido de la fotografía pixel a pixel, en componentes RGB, que nos sirve para determinar cuál es el valor promedio en cada fotografía y en sus respectivas franjas (superior, medio e inferior) de las tres coordenadas que se usan en una mezcla aditiva, como es el caso de la imagen digital, es decir el valor RGB promedio, que luego de aplicar la fórmula dada:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \frac{1}{b_{21}} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \frac{1}{0.17697} \begin{bmatrix} 0.49 & 0.31 & 0.20 \\ 0.17697 & 0.81240 & 0.01063 \\ 0.00 & 0.01 & 0.99 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

Nos da las coordenadas para ser ubicados en el sistema cartesiano del diagrama de cromacidad de la CIE1931 que nos muestra cual es el valor en el curva de temperatura de color aparente. Cabe recordar que no es la T.C. de la fuente luminosa, sino una aproximación del color de la luz reflejada en los objetos de la escena en estudio.

Combinando la información que nos proporcionan los diferentes softwares, se busca la relación entre la temperatura de color aparente y el nivel de luminancias, extrapolando la información obtenida en la gráfica de Kruithof, para hacer una lectura comparativa y transversal de los casos de estudio. Por último, se concluye en un análisis holístico de los criterios lumínicos a considerar en los espacio de culto.

1.4. LIMITACIONES

Debido a la falta de equipos especializados que simulen el campo visual real del hombre se decidió usar una cámara fotográfica con relación focal f/5.6 ya que se aproxima al valor medio en la que oscila la relación entre distancia focal y diámetro de abertura de la pupila.



Figura 3. Tadao Ando. Iglesia de la luz en Osaka (1989).

"Para valorar la luz hay que hacerla brillar en la oscuridad".¹

Tadao Ando

¹ Citado por Ruiz de la Puerta, Félix. La luz, en lo sagrado y lo profano en Tadao Ando, editorial Álbum letras, p.29.

2.1. LA LUZ

Una gran variedad de fuentes bibliográficas se acercan desde diversas perspectivas al estudio de la luz: desde el mero análisis de sus características físicas (Karcher & otros: 2009) hasta su impacto en el confort del usuario (Feijó, 1994; Lam, 1977) todos los autores coinciden en destacar el rol fundamental que el impacto lumínico posee en la creación de espacios. En el caso de estos últimos, una lectura en profundidad de las propuestas teóricas permite señalar una primera conclusión relacionada con la luz: para lograr un mayor confort es necesario tener en cuenta su calidad pero también las características del ambiente. Como señala Feijó (p.26): *"La confortabilidad visual no depende exclusivamente de la iluminancia y por tanto no se puede afirmar de modo absoluto que un aumento del nivel de iluminación mejore linealmente la capacidad de la visión"*. La solución para una mejora sustancial de la calidad lumínica en la creación de un determinado ambiente pasa pues de manera decisiva por las características del color de la radiación luminosa y por otros factores cualitativos que se abordará más adelante. Así pues, si para la creación de espacios en los que la luz cálida juega un papel destacado será necesario una menor iluminancia para respetar los estándares de confort, una fase intermedia, en cambio, exigirá un aumento de esa iluminancia. En ambientes en los que las iluminancias necesitan ser altas o muy altas, el color de la luz deberá obedecer a estructuras mucho más frías, estableciendo por tanto una relación inversamente proporcional entre el nivel de intensidad lumínica y la calidez del color escogido.

Otro de los factores destacados que influyen de manera decisiva en el confort lumínico es la llamada "curva de sensibilidad espectral". Como sabemos, el ojo no percibe de la misma manera todos los colores del espectro visible. Esa diferencia se ve reflejada en el desplazamiento que se produce en la citada curva cuando estamos expuestos a un bajo nivel lumínico. Así pues, como señala Feijó (p.39), una baja iluminación permite visualizar mejor los verdes, los azules y los violetas, mientras que, en las mismas circunstancias lumínicas, se pierde la percepción sensible de amarillos, naranjas y rojos. Pero, ¿cuáles son los aspectos más destacados que definen la calidad de la luz? ¿De qué manera la combinación de sus distintas características afecta a la percepción que tiene un sujeto de un ambiente concreto? Un rápido análisis de la calidad de la luz permite señalar tres de sus características básicas: la Temperatura de Color (T.C.), la Iluminancia y el Índice de Rendimiento de Color (I.R.C.).

Tal y como señala Feijó, la primera de ellas, definida como la correspondencia entre la apariencia del color de la luz y la temperatura de un cuerpo negro que emite la misma radiación luminosa, tiene unos efectos psicológicos o incluso psicosomáticos sobre las personas en función de las actividades que desarrollen bajo su iluminación. Si se desea lograr una iluminación confortable la iluminancia juega un rol importante para cada temperatura de color, como lo demuestran las curvas de Kruithof. Al respecto se aprecia además que a medida que los niveles de iluminancia disminuyen, la temperatura de color se acerca a los tonos rojos, como en el caso de la luz de la llama de una vela o la puesta del sol. La tercera característica, a saber, el índice de rendimiento de color, es también de trascendental importancia en la calidad de la luz, si bien con matices, sobre todo en el tema que aquí nos ocupa ya que en actividades de recogimiento no es imprescindible una óptima reproducción de los colores. En esos ámbitos, en cambio, destaca la importancia de los contrastes de claridad (Karcher & otros, p.17) a través de los cuales el valor absoluto de la iluminancia queda en un segundo término para dar primacía a la relación del entorno con el binomio claro-oscuro. De ese modo, pues, es a partir de la modulación del contraste y, sobre todo, de la juegos de sombra entre claridad y oscuridad que esos ambientes ganaran calidad lumínica. En definitiva, tal y como señala Lam (p. 62), en ambientes de baja iluminancia un aumento muy leve de la intensidad de la luz va a propiciar un crecimiento considerable de la nitidez en la percepción los objetos gracias a un factor determinante: la emergencia fundamental del contraste.

Como decíamos en la introducción de esta sección, la calidad del ambiente representa un factor determinante en la creación de espacios cuya relación con la luz deberá centrarse en la limitación del deslumbramiento tanto directo como reflejado y en la especialización de los alumbrados según su cometido. De hecho, tal y como señalan Feijó y Lam, se trata de la fase más creativa del proyecto ya que, en definitiva, depende de decisiones que el proyectista ha de tomar más allá de las consideraciones económicas o funcionales.

La naturaleza de la luz y el ser humano

Hasta hace algunas décadas era consentido definir la luz como una onda electromagnética que se desplaza a 300 000 km/s, sin embargo, hoy en día los científicos aceptan que la luz puede tener un comportamiento ondulatorio como también corpuscular, lo cual ha abierto nuevas líneas de investigación en la física cuántica (Coaton & Marsden, 1997, p.3).

Para los fines que nos ocupan en el presente trabajo hablaremos de la luz como una forma de energía llamada radiación electromagnética. Una determinada porción de esta radiación, que varía entre 380 y 780 nanómetros, es capaz de estimular la retina del ojo humano y generar la visión, también llamado espectro de la luz visible. Este espectro puede ser dividido en 8 partes que corresponde con un color (Feijó, p.20), según la siguiente relación:

380 a 400 μm - Violetas

450 μm - Azul

500 μm - Azul verde

525 μm - Verde

550 μm - Amarillo verde

575 μm - Amarillo

600 μm - Naranja

650 a 780 μm - Rojos

Desde luego no es casual que nuestro ojo sea más sensible a este rango donde también se encuentra la máxima radiación solar debido a una adaptación de millones de años a la luz solar cuyo espectro es continuado al igual que el espectro de la primera fuente de luz artificial, el fuego.

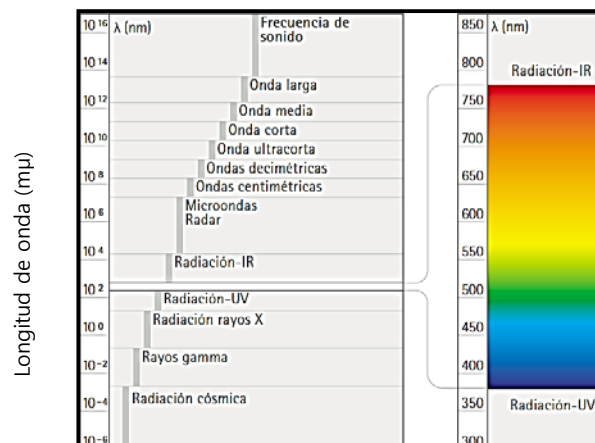


Figura 4. Ganslandt & Hofmann. Tipos de onda.

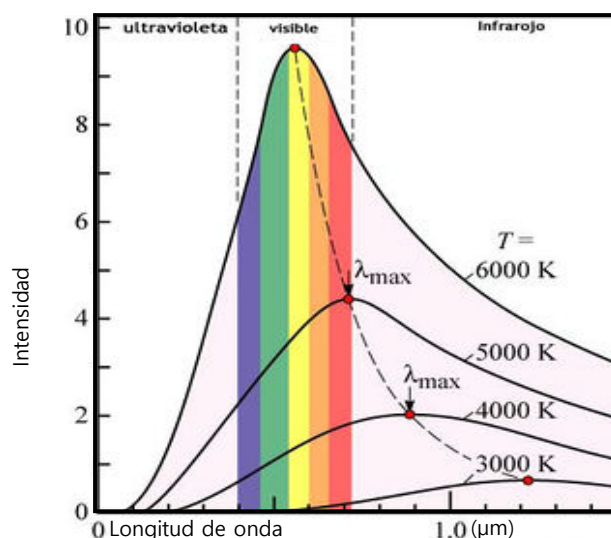


Figura 5. U. de Sevilla. Diagrama espectral relativo.

Magnitudes de la luz

Una de las características más importantes de la radiación luminosa es que se puede cuantificar, según sea el caso de la materia en estudio, conviene utilizar diversos conceptos relacionado a la luz. Para empezar toda fuente de luz emite un flujo luminoso (ϕ), que es definido como el caudal de radiación electromagnética en la unidad de tiempo. Su unidad se llama lumen (lm). Como nos dice Feijó (p. 22), *"Lumen que tiene una definición práctica como el flujo luminoso emitido en un ángulo sólido de un estereorradián por una intensidad luminosa de una candela"*. A partir de esta base podemos calcular la cantidad de luz, la intensidad luminosa, la iluminancia y la luminancia.

La cantidad de luz (Q) viene a ser *"el flujo luminoso por el tiempo que permanece en acción"* ($Q=\phi.t$), que es útil, por ejemplo, cuando estamos evaluando el consumo energético.

La intensidad luminosa (I) se define como *"la relación entre el flujo emitido por una fuente luminosa y el ángulo sólido (ω) en el que se emite ($I=\phi/\omega$), expresado en candelas"*, que nos sirve para medir la cantidad de energía que va en una dirección determinada, útil cuando evaluamos el diagrama polar o también conocida como curva fotométrica de una luminaria.

La iluminancia (E) o nivel de iluminación *"es el cociente entre el flujo luminoso y la superficie sobre la que incide"* ($E=\phi/S$), cuya unidad es el lux, nos sirve para saber cuánta energía está llegando a una superficie determinada. Esto ha sido ampliamente utilizado y desarrollado por los productores de lámparas para demostrar la eficiencia de sus equipos, lo que ha repercutido en que la normativa que regula la iluminación considere equivocadamente sólo estos valores para evaluar el confort visual.

La luminancia (L) según Feijó (p.27) es *"la relación entre la Intensidad luminosa emitida desde una superficie, en una dirección que forma un ángulo α sobre la ortogonal de dicha superficie y su proyección con un ángulo idéntico"* en otras palabras es la cantidad de luz que reflejan los objetos dependiendo de su materialidad, color e inclinación con respecto a la fuente de luz. Su unidad es la candela por metro cuadrado (cd/m^2). Este será uno de los conceptos más importantes en la presente investigación, ya que refleja cómo percibe la luz nuestro sentido de la vista, y luego evaluaremos como nuestro cerebro traduce esta información en el bienestar de nuestro cuerpo.

Leyes fundamentales entorno a la luz

Para entender los fenómenos alrededor de la luz, es preciso comentar tres leyes fundamentales que nos servirán para entender cómo afecta la luz en la arquitectura.

La primera, la ley de la inversa de los cuadrados, nos dice en su primera acepción: "La iluminancia es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre la fuente luminosa y la superficie a iluminar". Y la segunda acepción: "La iluminancia de un punto de un plano ortogonal a la línea que une el punto y la fuente, es directamente proporcional a la intensidad luminosa, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa". (Feijó, p.32).

Mientras que la segunda, la ley de iluminancia horizontal y vertical, se desprende de la anterior y nos da a conocer que la iluminancia en un plano horizontal o vertical es proporcional al coseno o al seno, respectivamente, del ángulo de incidencia. Para visualizarlo se muestra los siguientes gráficos:

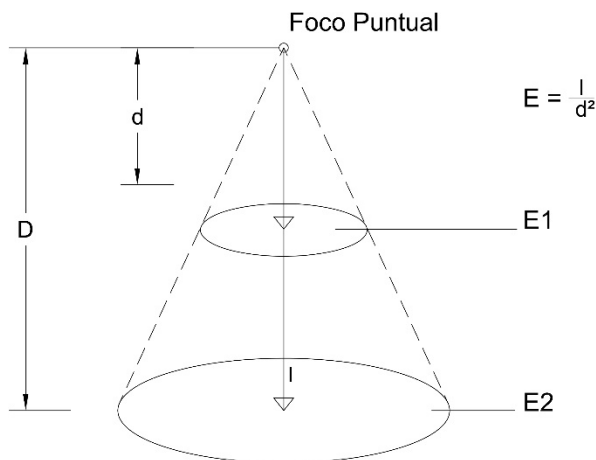


Figura 6. Ley de la inversa de los cuadrados

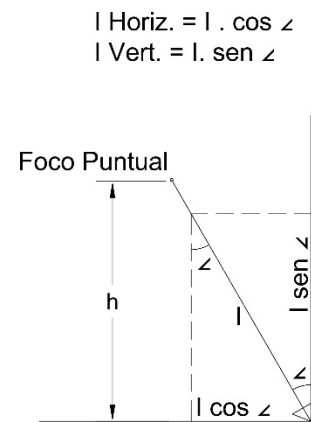


Figura 7. Ley de iluminancia H. y V.

La tercera ley que debemos tener en cuenta es la ley de Lambert se refiere a la luminancia reflejada en superficies uniformemente difusas, cuya fórmula recomendada por el Comité Técnico 5.06 de la C.I.E. es:

$$L = \frac{E \cdot r}{\pi}$$

r: Coeficiente de reflexión del material.

Sobre las reflexiones, se explica más detalladamente en el siguiente apartado.

Fenómenos de la luz sobre la materia

Cuando una radiación luminosa incide directamente sobre un material cualquiera se producen en general los siguientes tres fenómenos:

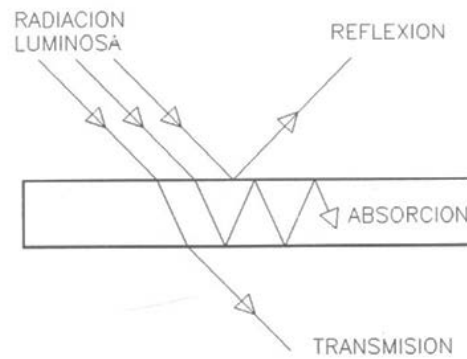


Figura 8. Feijó, Jesús. Radiación Luminosa.

El primero, la reflexión, sucede cuando un material repele la luz recibida. Según el tipo de material que tendrá un acabado entre el rango de pulido y mate, se pueden producir tres tipos de reflexión. La reflexión especular, se da cuando el rayo que incide tiene el mismo ángulo y está en el mismo plano con el rayo que se refleja. La reflexión difusa, cuya superficie tiene una superficie irregular y por lo tanto se puede decir que tiene múltiples planos de orientación provocando que se produzcan igualmente múltiples reflexiones cuya intensidad está repartida en diferentes direcciones, por lo tanto brilla menos ante nuestros ojos. Por último, la reflexión mixta, es el estado intermedio entre las dos anteriores, cuya reflexión puede ser con mayor tendencia a la especular o a la difusa según la rugosidad del material. Considerar el tipo de reflexión de los materiales a utilizar en un diseño es de suma importancia ya que cambia completamente la percepción lumínica aunque el espacio y cantidad de luz sean los mismos.

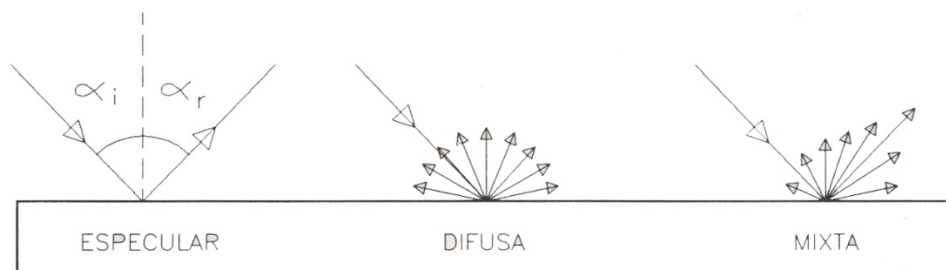


Figura 9. Feijó, Jesús. Reflexión Luminosa

El segundo fenómeno, la transmisión, que ocurre cuando un material tiene la propiedad de ser atravesado por la luz mediante una o varias refracciones. Siguiendo los mismos principios y definiciones que la reflexión, encontramos tres tipos de transmisión: especular, difusa y mixta.

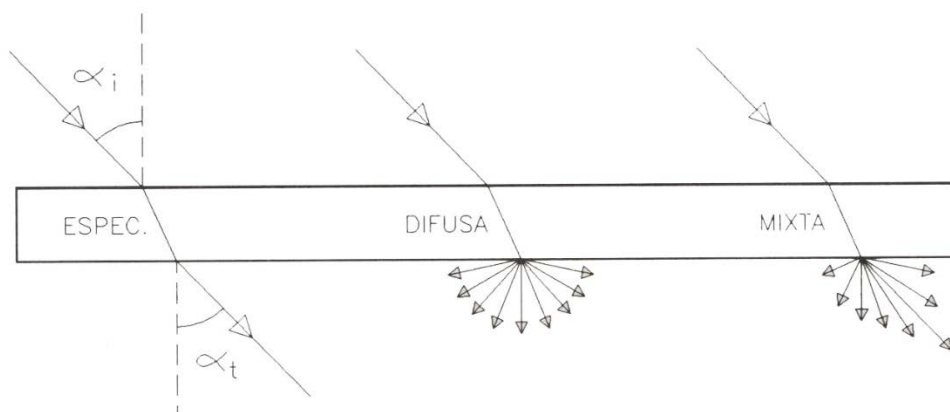


Figura 10. Feijó, Jesús. Transmisión Luminosa

El tercero, la absorción, se refiere a la radiación luminosa o energía que queda atrapada en el propio material y que se disipa en forma de calor.

Como consecuencia de estos fenómenos, También se explica el color con el que percibimos los objetos. Por ejemplo, una superficie que percibimos de color rojo se debe a que de toda la radiación luminosa que recibe, cierta parte la absorbe y otra parte la refleja en una longitud de onda en la gama de los tonos rojos, así mismo, una superficie blanca refleja todas las longitudes de onda, mientras que los materiales cuyo color se percibe como negro, son los que absorben la mayor cantidad de energía y por tanto no reflejan en ninguno de los espectros de color. Un material incoloro, es aquel que sólo es regido por la transmisión.

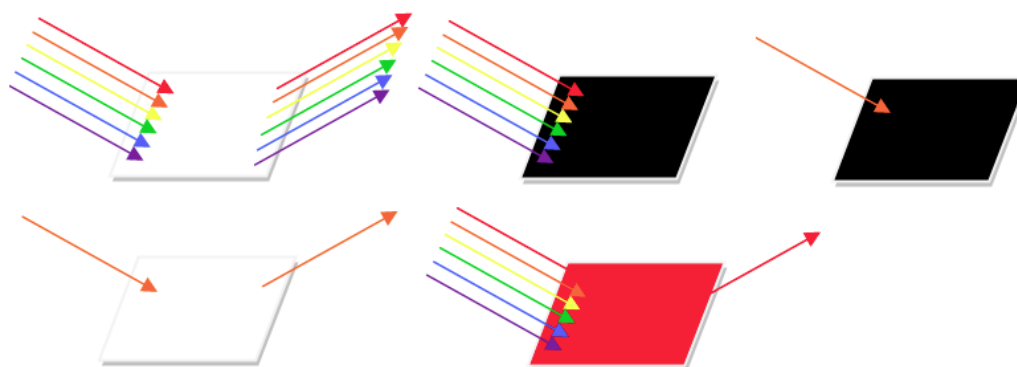


Figura 11. Morente, Cristina. Reflexión, transmisión y absorción de ondas.

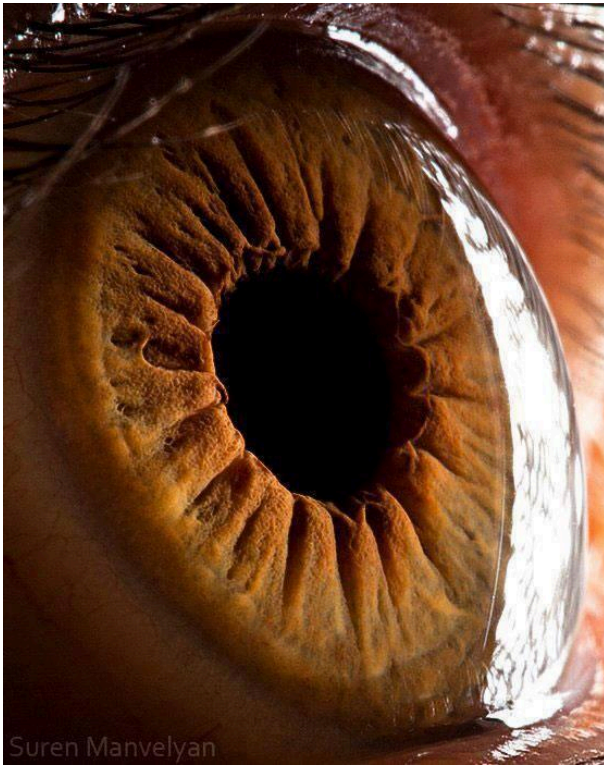


Figura 12. Suren Manvelyan. *Your beautiful eyes* (2013).

“No estamos hechos para la luz del día, estamos hechos para el atardecer. La pupila no se abre hasta que la cantidad de luz que proviene del ojo es táctil. Cuando esto sucede, sentimos la luz en el espacio, tocándola...”²

James Turrell

² Turrell, James. *La cueva de Platón*. IVAM 2004, p.58.

2.2. LA VISIÓN

Lou Michael, nos dice que a través del ojo, llega la mayor cantidad de la información del medioambiente. La visión, como parte del sistema sensorial del ser humano es tan complejo por sí mismo que en este apartado se intentará sintetizar el funcionamiento a nivel fisiológico. La imagen de un objeto entra a nuestro ojo por medio del cristalino, delante de él se encuentra el iris que tiene una abertura en el centro, llamada pupila, que automáticamente reacciona según la cantidad de luz que emiten los objetos en nuestro campo de visión, es así que a mayor luminancia el iris se cierra para reducir la luz que llega a la retina. La retina es una membrana que recubre el interior del ojo ocupando casi 200° del total de la superficie del ojo y contiene las células sensibles a la luz, llamadas conos y bastones por su forma geométrica vistas en un microscopio. Se han observado aproximadamente 7 millones de conos en cada retina concentrados mayormente en la región llamada fovea que es justamente donde la imagen que vemos es enfocada. Por otro lado, cada retina contiene entre 120 y 130 millones de bastones encontrados principalmente en la parafovea (la región alrededor de la fovea). La fovea mide apenas 2mm y define el eje entre el ojo y el objeto de interés. Luego de que estas células fotosensibles registran la presencia de las superficies iluminadas, es decir la imagen dividida en múltiples puntos, todas juntas mandan la información al cerebro a través del nervio óptico, es allí donde la imagen que se proyectaba invertida en nuestra retina, es corregida por el cerebro coincidiendo con lo que está frente a nosotros.

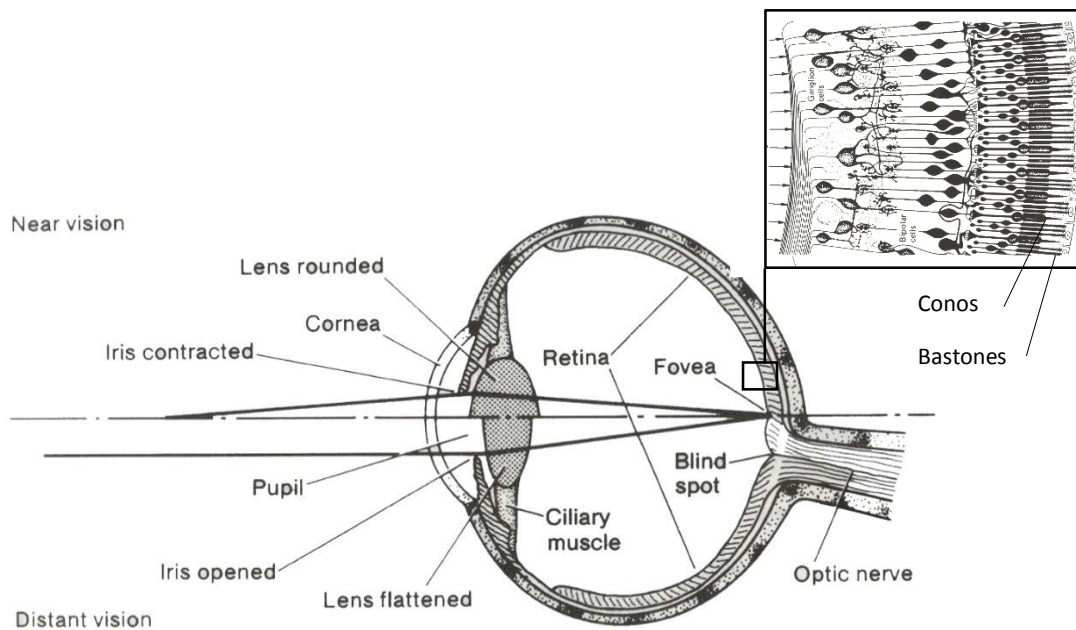


Figura 13. Coaton & Marsden. Sectional diagram of the human eye.

Tipos de visión

Como hemos visto, la visión está condicionada a la actuación de dos tipos de células fotosensibles, los conos y los bastones, que son los responsables de los tipos de visión desarrollados a continuación:

La visión fotópica, según unos autores, ocurre cuando nos encontramos con espacios en donde las luminancias empiezan a estar valoradas sobre 0.03 cd/m^2 , mientras otros sostienen que la visión está enteramente mediada por los conos cuando todas las luminancias están por encima de 1 cd/m^2 . Los conos son los responsables por ver el color como los detalles y las texturas. La gráfica de sensibilidad, que fue internacionalmente aceptada en 1924, demuestra que la respuesta visual es máxima en la región amarillo – verde (555nm), en la visión fotópica.

La visión escotópica, se presenta cuando las luminancias que nos rodean está por debajo de 0.001 cd/m^2 y los bastones reaccionan eliminando el color, dejando la visibilidad en tonos de grises pero siendo altamente sensibles a los cambios de brillo y los objetos son vistos más fácilmente fuera del centro de nuestro campo visual, debido a que los bastones están fuera de la fóvea. Como vemos en la gráfica de sensibilidad, cuando los niveles de luminancia son bajos, la curva se desplaza hacia la izquierda, por el efecto Purkinje, donde la máxima respuesta visual es en la región del azul-verde (507nm).

La visión mesópica, es el estado intermedio entre los dos tipos anteriores, es decir que acontece a medida que la iluminación de un espacio incrementa las luminancias por encima de 0.001 cd/m^2 . Es aquí que la curva de sensibilidad se va moviendo desde la señalada en la visión escotópica hasta la fotópica. Aquí se observan 3 efectos. Primero la visión central se vuelve tan sensible como la visión periférica. Segundo se puede empezar a apreciar algunos colores más que otros. Tercero, la relativa luminosidad de los objetos de diferentes colores se va incrementando, siendo más notable en aquellos de colores con tendencia al rojo que en los que tienden al azul.

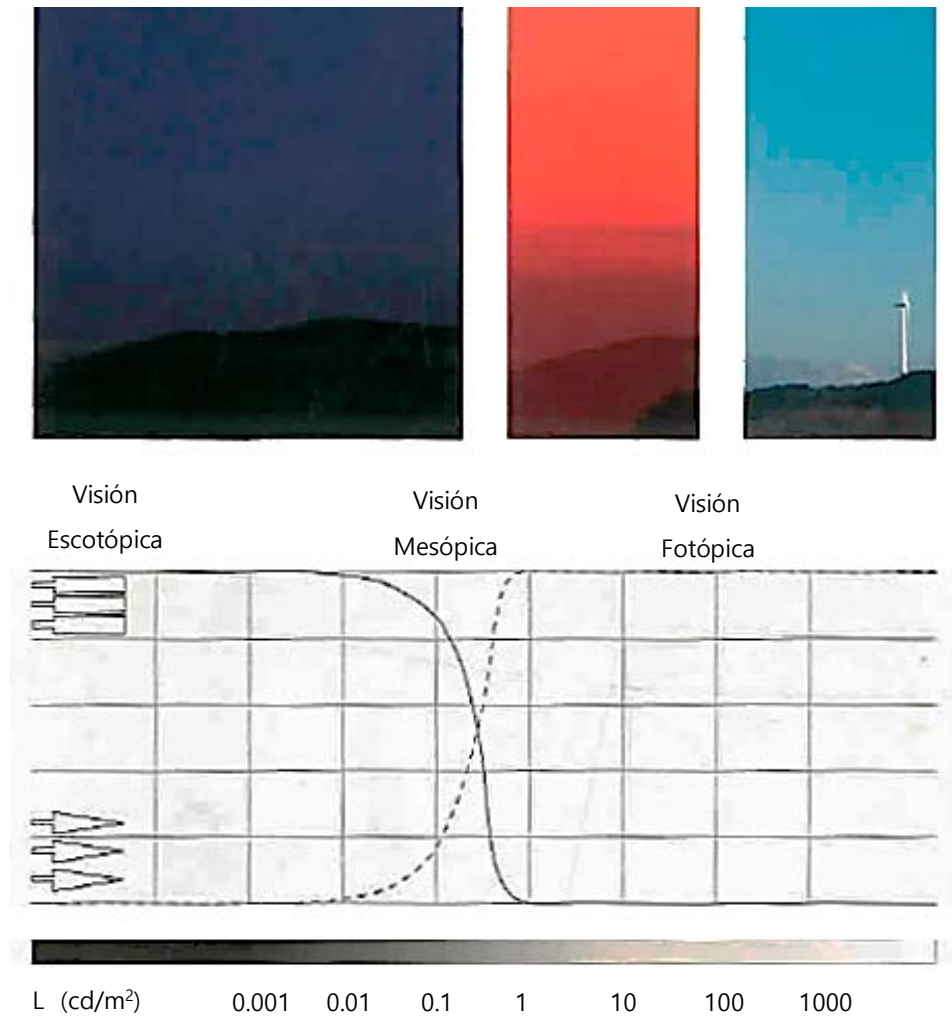


Figura 14. AUGUSTESEN & otros. Respuesta a la luz según los tipos de receptores.

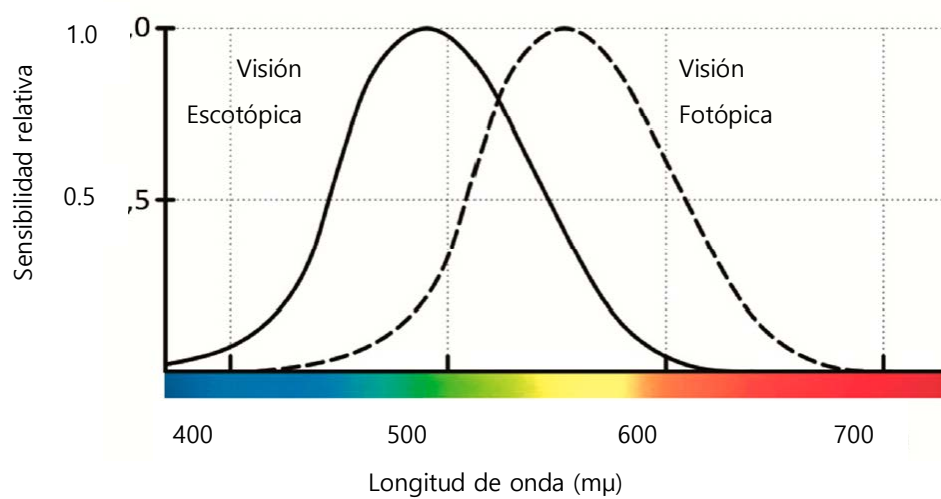


Figura 15. Curva de sensibilidad espectral del ojo humano.

Comportamiento fisiológico del ojo

La visión está condicionada a diferentes comportamientos fisiológicos, por tanto, cuando alguno de los componentes se deteriora producto de la edad o alguna anomalía, entonces la buena visibilidad se ve reducida, entre ellos cabe conocer los siguientes:

La acomodación o enfoque, se refiere a la acción de modificar la distancia focal, gracias al efecto del músculo ciliar que aumenta o disminuye la biconvexidad del cristalino. Esta acción permite dar nitidez a la imagen formada en la retina de objetos a diferente distancia del ojo.

La adaptación, es la apertura del diafragma que permite controlar el ingreso de luz, es decir, el aumento o disminución del diámetro de la pupila para que las células fotosensibles toleren la luz. El ojo tarda en adaptarse hasta 45 min, desde que empieza a operar la visión escotópica, pero este tiempo puede reducirse con el cambio del color de la luz.

La agudeza visual, es la medida más pequeña que el ojo puede distinguir con una determinada luminancia, en otras palabras es el ángulo mínimo entre el eje de la fóvea y el primer punto con diferente luminancia que es capaz de diferenciar el ojo.

El campo visual

La naturaleza del cuerpo humano define el campo de visión, primero en dimensiones, como un cono elíptico que en sentido horizontal abarca aproximadamente 180°, mientras que en vertical son 150° restringidos por la anatomía de nuestra nariz y las cejas; en segundo lugar por la superposición del campo visual monocular de cada ojo, obteniendo así un campo binocular, usado en el diseño arquitectónico, cuya amplitud es alrededor 60° en horizontal y entre 18° y 60° en vertical. Como lo indica Lou Michael, el campo visual sirve al arquitecto como lienzo para resolver cuestiones referentes al espacio que debe permitir actividades específicas, sin embargo, en la realidad se debe ensamblar todas esas escenas para conformar lo que él llama "world visual".

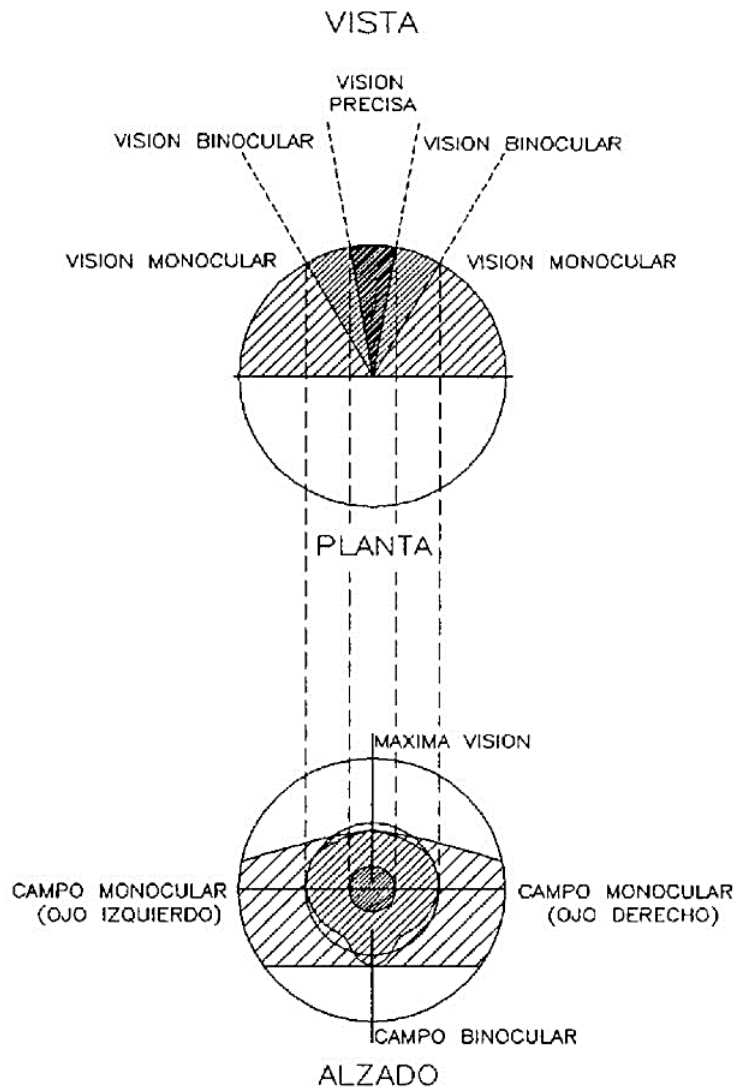


Figura 16. Serra, Rafael & Coch, Helena. Sensibilidad del espacio (visión).

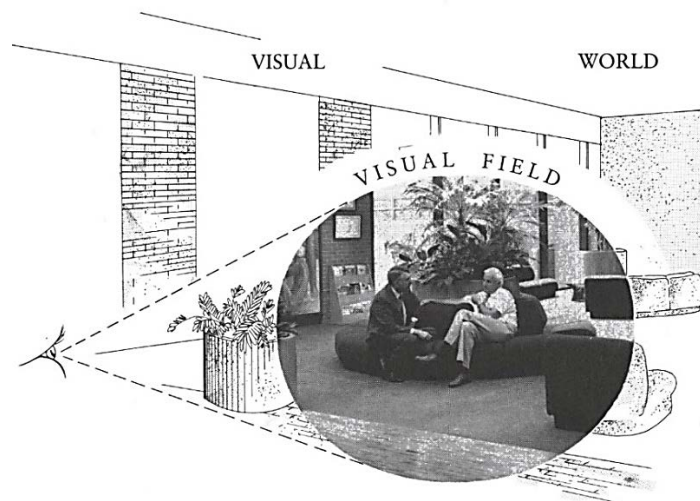


Figura 17. Michel, Lou. Visual field in the visual world.

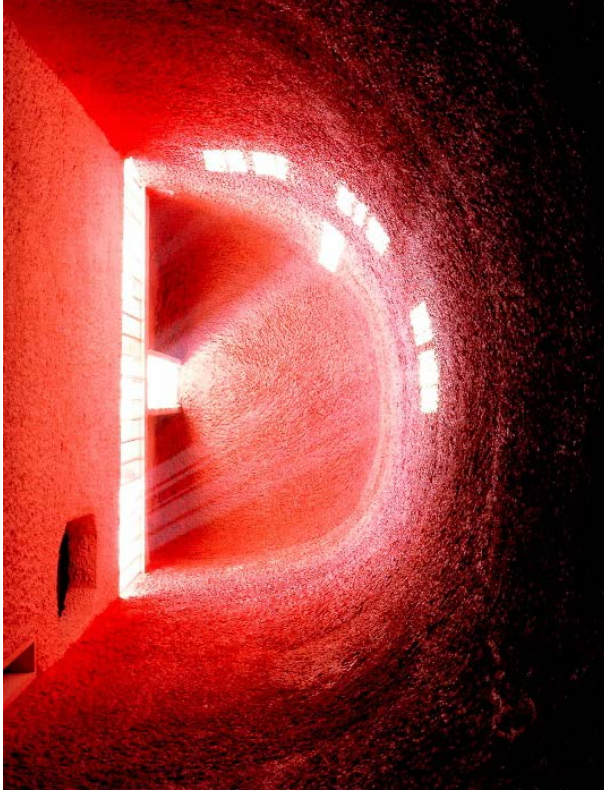


Figura 18. Le Corbusier, Notre Dame du Haut (1950).

*“La luz no es una cosa que pueda ser reproducida, sino algo que debe ser representado usando otra cosa... Colores”.*³

Paul Cézanne

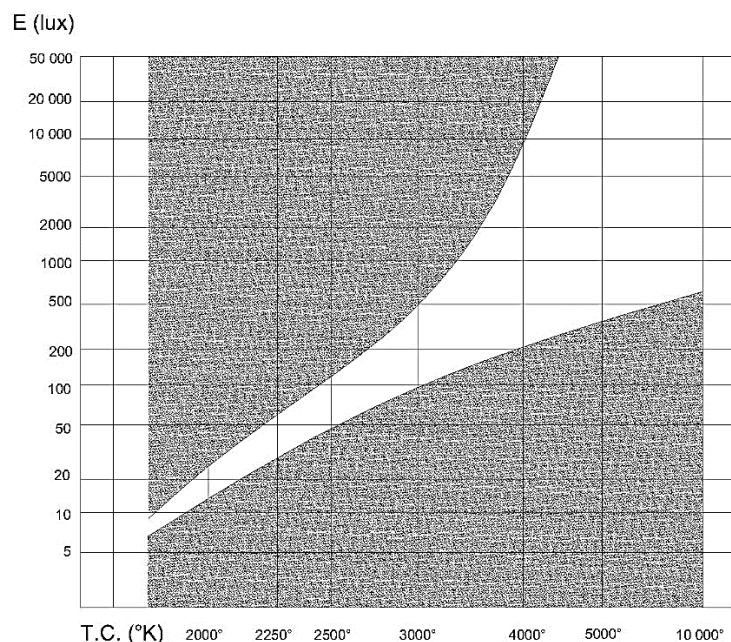
³ Citado por Hernández, José Miguel. Recuperado el día 15 Agosto de 2015 en <http://www.jmhdezhdz.com/2013/11/frases-cezanne-paul-phrases-citas-quotes.html>

2.3. EL CONFORT LUMÍNICO

En el presente apartado se pretende resumir los factores a considerar en el confort referente a los aspectos físicos, fisiológicos y psicológicos, por lo cual abordaremos inevitablemente las características físicas de la luz y la adaptación del ojo humano a estas condiciones.

La Iluminancia y la temperatura de color

La iluminancia es una magnitud fácil de cuantificar, por lo cual las normativas han establecido ciertos valores que indican cual es la cantidad necesaria según el tipo de actividad que se realiza. Sin embargo, se ha mencionado anteriormente que la iluminancia es un factor del cual no depende únicamente la calidad de la luz, por el contrario, el adecuado balance entre diversos factores como el nivel de iluminación y la temperatura de color se vuelve imprescindible para alcanzar el confort. Para reflejar esta situación Kruithof desarrolló una gráfica que comprueba que la cantidad de luz que se necesita para entrar en la zona de confort es inversamente proporcional al nivel de la temperatura de color que debe tener la fuente luminosa.



En otras palabras, no siempre se requiere de altas luminancias para tener una iluminación adecuada, por ejemplo cuando los niveles de iluminación disminuyen, materia de esta investigación, es conveniente buscar que el color de la luz sea más cálido, por ejemplo el que nos otorga la llama de una vela.

El índice de rendimiento de color (I.R.C.)

Otro de los factores importantes a considerar en la calidad de la luz, consiste en la capacidad de discriminar los colores según el tipo de radiación luminosa de las diferentes lámparas. El I.R.C se mide en porcentaje, colocando el 100% cuando una lámpara reproduce los colores al igual que un cuerpo negro que tiene similar temperatura de color. Como la elección de la lámpara de luz depende del interesado en iluminar un espacio con calidad, es deber de los fabricantes de lámparas valorar el I.R.C. para lo cual conviene saber que un índice mayor a 85% se califica como excelente, entre 70% y 84% como bueno y en definitiva no es aceptable cuando es menor a 40%.

El deslumbramiento

Se describe como el contraste excesivo de luminancias en el campo visual. Cuando una fuente de luz extremadamente brillante ocasiona que el iris se contraiga para reducir la cantidad de luz que entra en la retina, entonces se reduce la visibilidad de otros objetos.

Según el nivel de un elevado contraste de luminancias entre dos objetos en el campo visual, distintos autores nombran los tipos de deslumbramiento de manera diferente, sin embargo todos coinciden que puede ser diferenciado en aquel que imposibilita la visión y en el que produce malestar. El primero es inadmisible en iluminación, el segundo puede ser controlable por el diseño.

Para regular el grado de deslumbramiento diversos textos recomiendan mantener los ratios de contraste de 1 a 3 entre el punto de interés y el fondo donde se encuentre, con un máximo de 1 a 10 comparando con otras superficies del campo visual. Incluso podemos encontrar fórmulas más específicas para valorar el deslumbramiento, sin embargo, en el mundo real podemos ver que estos ratios pueden ser superados ampliamente sin que ello produzca malestar en la visión. Esta observación es la que ha promovido a autores como Lam a desarrollar un análisis más minucioso del impacto que tienen altos contrastes de luminancias en la percepción del hombre, que nos lleva a pensar en que otros factores cualitativos influyen en esta apreciación, como veremos más adelante.

La adaptación a la oscuridad

La dualidad en la visión humana se refleja, como hemos visto anteriormente, en el efecto Purkinje desarrollado en 1825. El estudio de la adaptación del ojo a la oscuridad fue por primera vez abordado por Schultze en 1866, luego por Parinaud en 1881 y por Kries en 1895. Desde esos años se sostiene que los bastones de la visión escotópica son prácticamente insensibles a la luz roja en comparación con los conos de la visión fotópica. Cabe destacar el artículo que en 1945 publicó el fisiólogo americano Selig Hecht, resumiendo el estudio realizado en el laboratorio de biofísica de la Universidad de Columbia para demostrar las diferencias en la adaptación a la oscuridad mediada bajo la iluminancia de la luz blanca y la luz roja.

Hecht nos explica que cada curva en el gráfico de Purkinje ha sido dibujada independientemente y sólo describe la comparativa efectividad del espectro para su sistema propio, es decir, que el máximo de cada curva es colocado arbitrariamente a 100 y que además los bastones, son ligeramente más sensibles a la luz roja que los conos, como lo muestra la figura 19. En ella vemos que a cualquier longitud de onda son los bastones los primeros en reconocer la energía, y luego son los conos.

En este estudio Helcht demostró que la adaptación a la oscuridad bajo la luz roja es más rápida que bajo la luz blanca. Además que para producir el mismo tiempo de adaptación a la oscuridad, la luz roja debía ser 30 veces más brillante que la luz blanca.

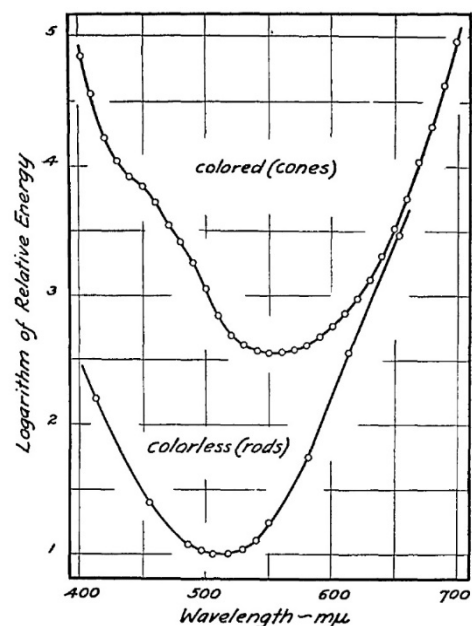


Figura 19. Sensibilidad de conos y bastones

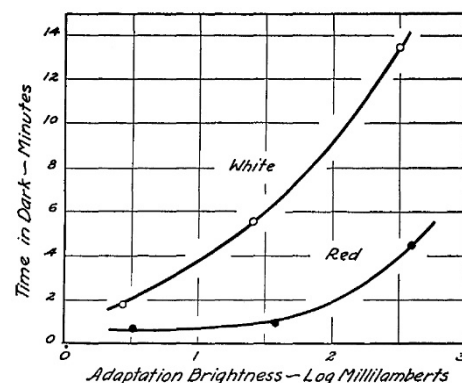


Figura 20. Comparativa de adaptación a la oscuridad

Como referencia, el tiempo necesario para una completa adaptación a la oscuridad bajo la iluminancia de la luz blanca, está entre 30 y 45 minutos.



Figura 21. Peter Zumthor. Capilla Bruder Klaus (2007).

“La luz sobre las cosas, me emociona a veces de tal manera que hasta creo que la percibo como algo espiritual”.⁴

Peter Zumthor

⁴ Zumthor, Peter. *Atmósferas*, editorial Gustavo Gili, 2006, p.52

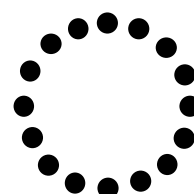
3.1. LA PERCEPCIÓN

Es conocido que los seres humanos podemos percibir nuestro entorno de modo distinto, esto se debe a que al margen de la realidad objetiva, que podría ser cuantificada, integramos esta información con nuestro conocimiento subjetivo de la realidad, el cual nos hace cualificar el medio que nos rodea. Es así que se explica porque algunos podemos percibir como "frio" o "cálido" un lugar, mientras que otros pueden opinar lo contrario.

Para entender el proceso perceptivo, Serra y Coch (1995, p17), dividen este proceso en tres niveles: Físico, fisiológico y psicológico. El primero, relacionado a la interacción de nuestros sentidos con el espacio que nos rodea; el segundo, como producto de esta relación, se producen impulsos nerviosos que transportan la información obtenida por nuestros sentidos hacia el cerebro, pasando al último nivel, en donde cada individuo va a recibir esta información en forma de señales eléctricas, para luego ordenar, clasificar e interpretar según sus propias vivencias anteriores.

Al respecto Lam (1977, p.31), destaca que el cerebro no es un acumulador pasivo de información, sino que debe distinguir entre la información que es útil para la actividad que se está desarrollando ya que son innumerables estímulos que constantemente son captados por nuestros sentidos. Por este motivo el cerebro tiende a agrupar las variables que identifica como repetitivas de las que no lo son, ya que tiende a interpretar el significado global en lugar del específico. En simultáneo esa información pasa por nuestro filtro de la experiencia que la reconoce y genera analogías con sensaciones previas para así poder darle un significado cualitativo al estímulo que inicialmente era pura información cuantitativa. En este punto cabe destacar que existe un principio fundamental llamado Ley de Pragnanz el cual justifica nuestra tendencia por simplificar y ordenar la información con el fin de atribuirle un concepto claro, recurriendo a la memoria, aunque esta información presente ambigüedades. Al respecto Lam nos propone un ejercicio:

¿Qué percibimos primero, un círculo o 16 puntos?



La percepción visual es un sofisticado proceso mental el cual no requiere ni siquiera de nuestra conciencia, segundo a segundo va analizando la información que recibe para luego ser filtrada por nuestra memoria inconsciente que hemos ido acumulando por simple experiencia desde el primer día de vida. Por ejemplo, al ver una manzana en un contexto cotidiano descifraremos inmediatamente su imagen, al respecto René Magritte juega entre la figura y significado en el cuadro *Ceci n'est pas une pomme*, mientras que una ambigüedad como una manzana levitando frente al rostro de un desconocido como en el famoso cuadro *Le fils de l'homme*, difícil de clasificar por el cerebro, nos generará mayor curiosidad, ergo mayor atención visual. En el ámbito arquitectónico este ejemplo explica como las siluetas de luz y sombra tras una ventana translúcida que se observa por primera vez puede generar más distracción que una ventana transparente.

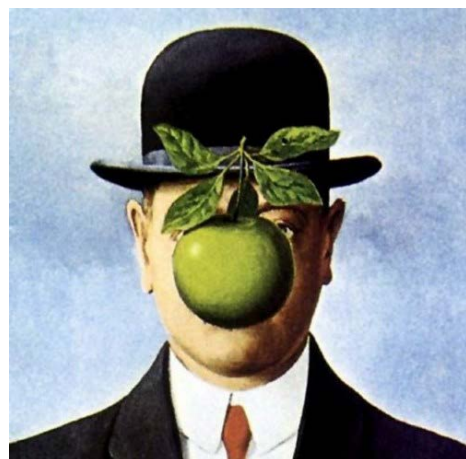


Figura 22. Magritte, René. Ceci n'est pas une pomme (1954) y Le fils de l'homme (1964).

Al respecto Serra y Coch clasifican los objetos que nos rodean como objetos neutros, objetos dominantes y dominados siendo los primeros los que no ocupan la atención del observador; mientras que los segundos sí, porque no ejercemos ningún control sobre ellos y por tanto pueden representar un peligro; y los últimos, como su propio nombre lo dice, son los que están dominados y son de interés para el usuario en la actividad que realiza. Es así que llaman espacios dominantes a aquellos en los que predominan los objetos que son incontrolables por el hombre a diferencia de los dominados en donde la mayor parte de ellos son o han sido objeto de estudio, mientras que los espacios neutros sirven como fondo ideal para actividades en donde la concentración debe estar focalizada en una actividad específica.

Percepción por contraste de luminancias

La inconsciente búsqueda por el orden visual, nos lleva a sintetizar complejas escenas en el campo de visión, es por eso que tendemos a separar ciertas señales del fondo que lo rodea, para que nos proporcionan la información necesaria que el cerebro busca por experiencias previas. En ocasiones puede presentarse una ambigüedad perceptual, debido a un contraste equilibrado entre claro oscuro, en donde no puede establecerse la diferencia entre figura y fondo a menos que sea una elección consciente de la mente. Para visualizarlo Lam nos propone las siguientes imágenes:

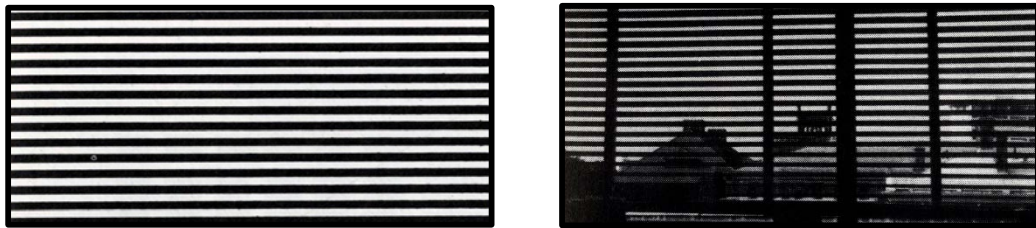


Figura 23. Lam, William. *Figure – Background Ambiguity*

En la figura 23, es difícil establecer cuál conjunto de líneas objetivo y cuál es el fondo, al igual que sucede en un interior con persianas, debido a que ambas zonas de clarooscuro tienen información importante, sin embargo, la ambigüedad es reducida ya que el cerebro reconoce el paisaje y según su interés se puede determinar en menor tiempo cual es el fondo y la figura.

Por otro lado, es importante anotar que la percepción del brillo de los objetos, o lo que llamamos contraste de luminancias no corresponde a sólo a una diferencia entre valores, sino pasa por el filtro de la subjetividad, en donde el contexto, las expectativas y el significado juegan un rol decisivo en la valoración del brillo. Se desprende, entonces, que los altos ratios de contrastes no son decisivos como un indicador de confort, en casos como los vitrales en una iglesia, o el resplandor de una luminaria puede ennoblecer el significado de la escena. Hay dos factores más a considerar: La percepción del brillo según el momento en la adaptación de la pupila a la luminancia predominante y la percepción por comparación de contrastes, donde la misma luminancia puede ser percibida como brillante o no, según la luminancia predominante del contexto, evidente al comprar un mismo gris sobre un fondo blanco o negro.



Figura 24. Lam, William. *Luminance by contrast*

Percepción por colores

Numerosos textos de la ciencia y el arte describen el color desde diferentes puntos de vista, sin embargo todos concluyen en que es un componente fundamental en la percepción del ser humano que tiene 3 atributos:

El tono, es la frecuencia específica dentro del espectro de luz visible, es decir, el amarillo, amarillo verdoso, verde, etc.

La luminancia, referente al brillo de los objetos, con un rango entre el blanco, la luminancia absoluta, y el negro, donde se pierde la sensación de color.

La saturación, que nos indica la cromacidad o pureza del color, donde el máximo valor corresponde con el tono y el mínimo que se ve como gris a pesar de tener el mismo valor de luminancia.

Con el fin de establecer un parámetro para identificar cada color con sus respectivos atributos, existen diversos sistemas colorimétricos como el sistema C.I.E. (Comisión Internationale de l'éclairage), que define cualquier color mediante 3 coordenadas R.G.B. (Red, Green & Blue). Para la presente investigación se elige el Diagrama de Cromacidad de la C.I.E. ya que trabajaremos con softwares que analizan los tres colores primarios, correspondientes a una mezcla aditiva, en una pantalla electrónica a color. Los puntos dentro de la línea curva exterior representa a cada uno de los colores del espectro de luz visible y la línea curva interior llamada la curva de temperatura de color, Planckian locus, representa el color de un cuerpo negro a diferentes grado de temperatura en la escala Kelvin.

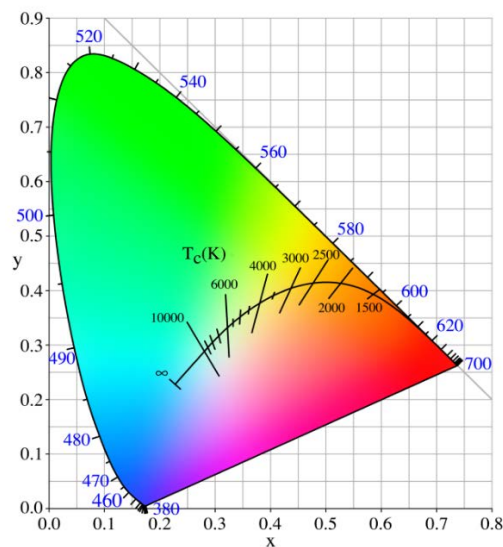


Figura 25. Diagrama de Cromacidad de la CIE

La percepción del color es la suma de múltiples variables desde el color propio del objeto, el contraste con el color de fondo, su apariencia bajo la sombra y la textura del material, así como también el color e intensidad de la luz, el I.R.C, y la capacidad del cerebro para discriminar y adaptarse a los colores. Con respecto a lo último Michael (1996, p.89) nos advierte por un lado que el 8% de los hombres tiene un grado de daltonismo frente a un 0.5% de las mujeres y por el otro que el color y sus composiciones tienen un efecto en la actividad cerebral que influye en nuestra actividad hormonal modificando nuestro ánimo. Para graficar la diferencia en como percibimos la composición de colores, L.C. Kalff (1971, p.76), nos enseña lo siguiente.

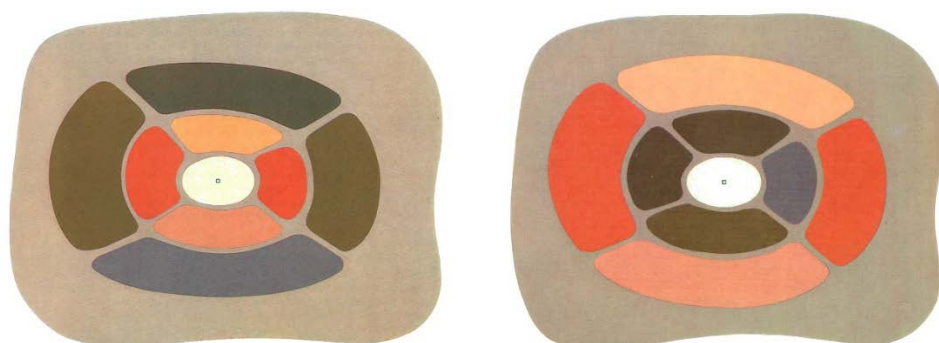


Figura 26. Composition of colours 1, brightness, and lines in eye task.

La figura 26 nos muestra que una misma superficie con la mayor luminancia en la escena, puede ser percibido de diferentes modos si la composición de colores que lo rodea es invertida. Provocando que en el caso de la izquierda destaque la superficie de interés mientras que en la derecha el contexto compite con el objetivo.

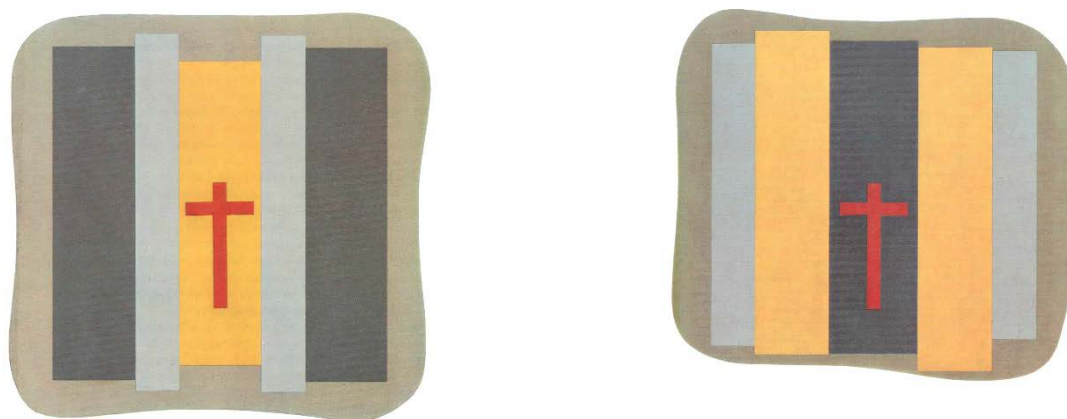


Figura 27. Composition of colours 2, brightness, and lines in eye task.

En este otro patrón, nos dice que en una iglesia, pese a la verticalidad de la estructura, el eje de visión se orienta hacia el objeto de culto gracias al brillo y al color de la luz. En el caso que no suceda, como el dibujo derecho, provoca una distracción indeseada. En resumen, la interacción entre luz, objeto, contexto y sujeto define la percepción.

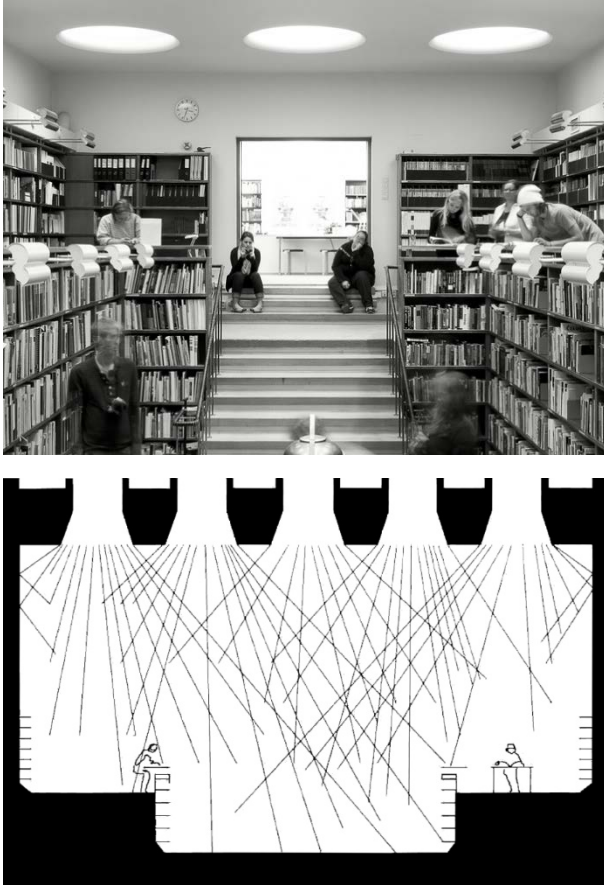


Figura 28. Alvar Aalto. Biblioteca de Viipuri en Vyborg. (1935).

"Hacer más humana la arquitectura significa hacer mejor arquitectura y conseguir un funcionalismo mucho más amplio que el puramente técnico".⁵

Alvar Aalto

⁵ Citado por Jaua, María Fernanda. Profesora de Universidad Central de Venezuela. Recuperado el día 25 de Agosto 2015 en <http://arquitecturamoderna.tumblr.com/alvaraalto>

3.2. EL CONFORT VISUAL

En el segundo capítulo se abordó el confort lumínico en donde se valoraron diferentes parámetros relacionados a la luz, allí se pueden leer claramente sus límites aceptables, sin embargo, en algunos de ellos se vislumbra que esos valores, a veces, pueden necesitar de un análisis perceptual. En este apartado, se pretende profundizar en aquellos aspectos psicológicos que influyen en el confort visual.

Las necesidades relacionadas a la visión

La normativa de iluminación está orientada a satisfacer las necesidades específicas para poder desarrollar actividades típicas como leer, escribir, comer, trabajar sobre una mesa, etc. sin embargo no se toman en cuenta otras variables como los diferentes tipos de usuarios que ocupan el mismo espacio, las edades de las persona que va a realizar esta actividad (niños, adultos, ancianos), la frecuencia con la que se llevan a cabo o si existen otras actividades que se realizan en simultaneo, etc. Al respecto William M.C. Lam (1977, p.17) nos advierte que si concentráramos nuestra atención en cubrir nuestras necesidades biológicas, encontraríamos que simultáneamente estamos abarcando todos los otros requerimientos lumínicos necesarios para lograr el confort visual.

Las necesidades biológicas son aquellas que están vinculadas a una incesante e inconsciente necesidad de reconocer lo que nos rodea a través de la vista para satisfacer aspectos fundamentales del ser humano, tales como: la orientación, la protección física, el bienestar mental, el ajuste del reloj biológico, el contacto con la naturaleza y la personalización del territorio. Para cada uno de estos aspectos vamos a necesitar unos requerimientos lumínicos distintos, por ejemplo para la orientación bastará con reconocer la ubicación de los objetos más próximos, mientras que para sentirnos protegidos físicamente en un lugar el cual no es familiar, nos hará falta visualizar las características del espacio que lo conforma. Por otro lado, el bienestar mental se refiere la relajación, el cual es un aspecto generalmente olvidado y que debe ser considerado tanto para momentos de vigilia como de descanso. Con respecto a la necesidad de mantener un contacto con la naturaleza y de ajustar nuestro reloj biológico, se puede decir que dar cabida a la luz solar es la forma más sencilla e inteligente de recordarnos que todo ambiente construido por

el hombre está sin duda contenido dentro la naturaleza y además nos proporciona un ajuste en nuestro reloj biológico interno. Por último la personalización del territorio, es una característica intrínseca del hombre la cual puede de ser fácil de satisfacer dejando el control de la luz en sus manos.

Si volvemos a observar el conjunto de las necesidades biológicas que nos propone atender Lam cuando vamos a abordar un proyecto lumínico, nos podemos dar cuenta que el común denominador es que estas necesidades le otorgan al ser humano un sentido de libertad que es claramente la finalidad última del confort, en este caso el confort visual. Al respecto Lam nos dice:

"We are comfortable when we are free to focus our attention on what we want or need to see, when the information we seek is clearly visible and confirms our desires and our expectations, and when the background does not compete for our attention in a distracting way".⁶

En otras palabras, la buena iluminación permite hacer lo que quieras hacer y sentirte bien mientras lo haces.

Los deseos relacionados a la visión

Lam nos aconseja el ejercicio de cerrar los ojos y volverlos a abrir sin ninguna intención consciente de nuestra parte, él, nos advierte que lo primero que notaremos, será el brillo, los movimientos rápidos, colores llamativos, los altos contrastes y los patrones de diseño remarcados, todo en simultáneo si acaso estuvieran presente en la escena. Es así que los ojos tienen el reflejo de buscar información automáticamente para satisfacer las necesidades biológicas antes mencionadas, sin embargo, cuando la consciencia está de por medio, entonces el deseo de observar algo a detalle tomará prioridad en nuestra visión, para lo cual revisaremos los siguientes conceptos:

La visión central y periférica, la primera se refiere al ángulo de visión en el que enfocamos las cosas es extremadamente estrecho, tan sólo a 1° fuera del centro del eje entre la fovea y el punto que enfocamos, la agudeza visual cae en un 50%, y para 8° sólo el 15%. Sin embargo las proyecciones en la retina fuera de la fovea, aunque no sean detalladas, son muy importantes en la visión periférica que permite la orientación entre otras necesidades biológicas.

⁶ Lam, William M.C. Perception and Lighting as formgivers for architecture. Nueva York. McGraw. 1977

El control de la visión central lo tiene el cerebro, que enfoca lo que desea ver con detenimiento, sin embargo, cuando ocurre un cambio significativo en el campo de nuestra visión periférica, instintivamente cambiamos nuestro enfoque, para escanear lo que ha ocurrido y evaluar si es relevante para que nuestras necesidades biológicas se mantengan satisfechas.

La distracción visual, se presenta cuando el foco de atención de nuestra visión central es interrumpido por algo que se advierte en nuestra visión periférica. Si lo que perturba nuestro primer enfoque no representa una amenaza a nuestras necesidades de orientación, seguridad, etc., entonces lo más probable es que inmediatamente volvamos a enfocarnos en lo que el cerebro estaba procesando, sin embargo, en este punto puede ocurrir que según las experiencias y gustos propios de cada persona, se vea intrigada por observar con más detenimiento aquello que al inicio parecía una distracción. Por ejemplo, muchos hemos estado encandilados por los vitrales de una iglesia, a pesar que estos no siempre tengan una importancia explicativa, pero si artística, lo cual nos hace cambiar la prioridad en nuestro deseo de ver.

Las distracciones pueden estar causadas por una luminancia muy fuerte o por un patrón de diseño dominante. La primera ocurre cuando elementos muy brillantes aparecen repentinamente en el campo visual llamando nuestra atención para que nuestro cerebro resuelva las razones de este contraste y evalúe si es perturbador o no. Por ejemplo, una mancha solar en el piso de una biblioteca, que sólo es percibida en nuestra visión periférica puede ser muy perturbadora, para continuar con la actividad que nos ocupa, por otro lado, los mismos niveles de contrastes en un pasadizo en el cual sólo nos interesa llegar al final del recorrido, en algunos casos no es detectado como una distracción. Otro ejemplo más evidente es el sol, a pesar de sus altas luminancias, este no perturba ya que el cerebro espera que esté en el cielo, a menos que este se encuentre cerca a nuestro objetivo de visión. El segundo tipo de distracción se da debido a la información visual que tiene el patrón de diseño, el cual demanda nuestra atención. Por ejemplo: en un interior cuya compleja estructura demanda nuestra atención para analizar su geometría puede resultar una distracción hasta que el cerebro haya descifrado el patrón que lo rige, sin embargo en algunos casos este patrón puede ser variable, como es un espejo que refleja movimientos, lo cual puede demandar de mayor tiempo para que deje de representar un elemento de curiosidad.

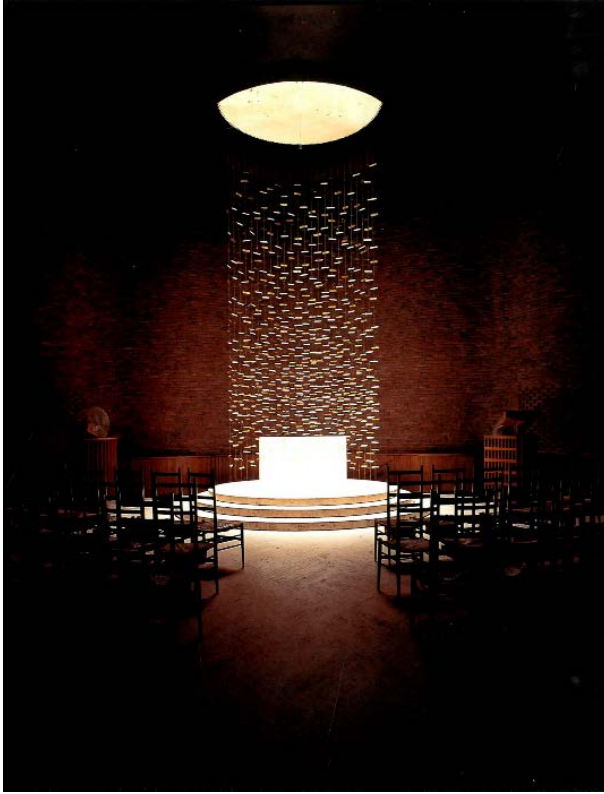


Figura 29. Saarinen, Eero. MIT Chapel in Massachusetts. (1955).

"Percibo la luz como la creadora de todas las presencias y el material como luz consumada, lo que está hecho de luz proyecta una sombra y la sombra pertenece a la luz. Percibo un umbral: luz a silencio, silencio a luz, un ambiente de inspiración en que el deseo de existir, de expresar, se cruza con lo posible".⁷

Louis Kahn

⁷ Kahn, Louis. Silencio y luz en A.A.V.V., Kahn Libraries, libro editado por el Colegio de Arquitectos de Cataluña (1989) p. 135

3.3. LA PENUMBRA

Definición y límites

La penumbra es por definición la zona intermedia entre la luz y la sombra. Tal y como lo define la Real Academia de la Lengua, tenemos: "Sombra débil entre la luz y la oscuridad, que no deja percibir dónde empieza la una o acaba la otra".

En términos astronómicos, cuando ocurre un eclipse, se generan 3 zonas en las que se proyectan las sombras: la penumbra, la antumbra y la umbra. La primera, que ocupa nuestro interés, es aquella zona donde se traslapa la sombra que proyecta un cuerpo que se interpone a los rayos de uno de los extremos del sol y la sombra generada por los rayos luminosos que provienen del otro extremo del mismo.

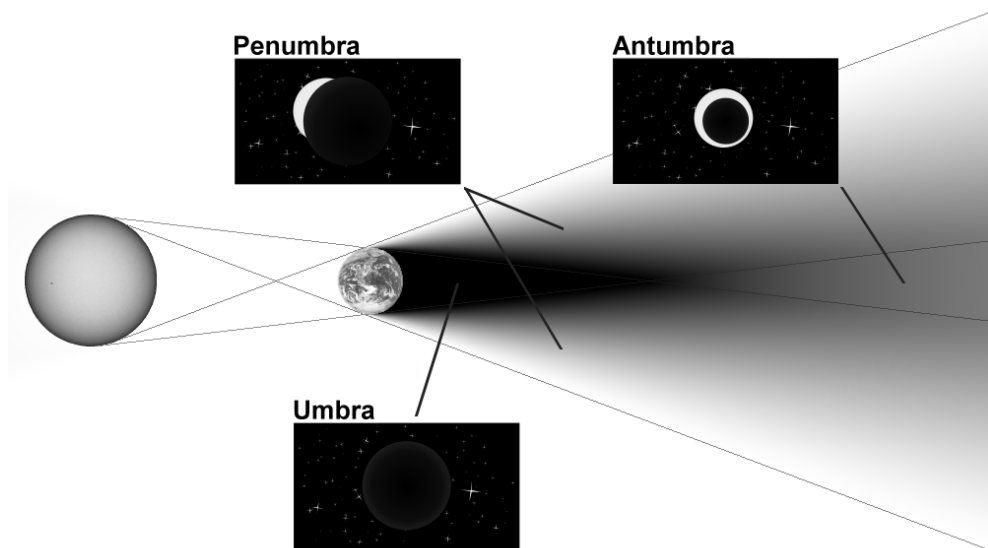


Figura 30. Cabrera, Ricardo. Zonas de umbra, penumbra y antumbra en un eclipse de luna.

De lo anterior se desprende que si una fuente de luz se considera puntual con respecto al objeto que ilumina entonces se produce una sombra de mucho contraste entre la luz y la oscuridad, como es el caso de la luz solar con cielo despejado y sin ningún tipo de filtro, ya que por distancia con la tierra, tan sólo una minúscula porción de su flujo luminoso incide sobre los objetos que están a nuestra escala.

Por el contrario si la fuente se considera extensa o existen múltiples fuentes, como es el caso de la mayoría de escenarios con luz artificial, entonces se produce una zona intermedia llamada penumbra que se mueve entre la parte que está completamente en luz y la otra en sombra. Para explicarlo gráficamente podemos apreciar la figura a continuación:

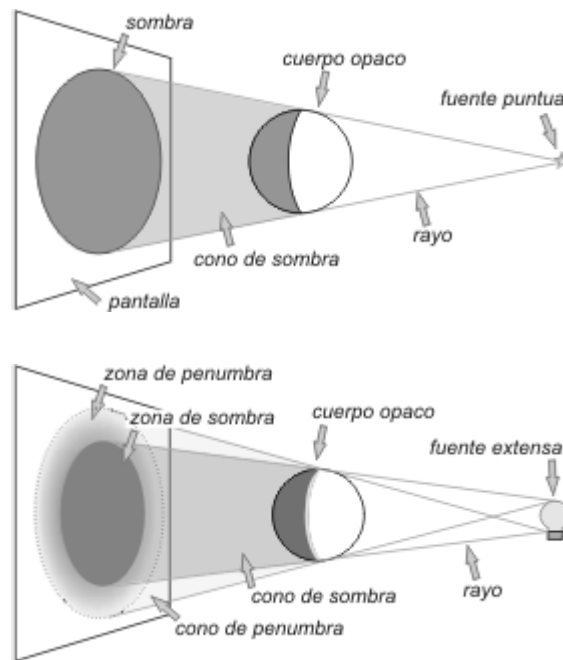


Figura 31. Cabrera, Ricardo. Zonas de sombra y penumbra, según el tipo de fuente.

En la realidad la luz no sólo proviene de la fuente de luz, sino también de todas aquellas superficies en donde se refleja, por lo tanto definir los límites de la penumbra se hace más complejo. En la penumbra, la frontera entre la luz y la sombra no se percibe, como nos dice Junichiro Tanizaki:

*"Los rayos de luz,..., son captados uno aquí, otro allá, y luego se propagan, tenues, inciertos y centellantes, tejiendo sobre la trama de la noche un damasco hecho con dibujos dorados."*⁸

La penumbra, en la estética japonesa, además de ser un elemento de iluminación, sirve para crear ambientes que tienen un contenido filosófico. Otros autores como Armengaud y Cianchetta (2009, p.16) advierten que este territorio indeciso debe ser explorado, auscultado y descrito.

⁸ Tanizaki, Junichiro. El elogio de la sombra (陰翳礼讃) Editorial Siruela (1994) p. 11

Inevitablemente asociamos la penumbra con la noche debido a que en ella los objetos se hacen menos visibles. ¿Es acaso la noche, la sombra del día? Desde una lectura política, la noche representa una tensión de inseguridad, un peligro latente. Sin embargo, el paisaje nocturno constituye una pausa en el acelerado curso de la rutina del hombre, un marco que le permite asimilar y elaborar el pensamiento racional para reinterpretarlo y elaborar sus propias ideas. Al respecto Marc Armengaud nos dice:

*“La noche es el elemento nativo del conocimiento como esfuerzo de interpretación... La lectura de las sombras, como promesa de una verdad más elevada, debe llevarnos a ver la realidad bajo las formas de la oscuridad: El pensamiento debe asumir su imperfección para tomar un camino ascensional y dialéctico hacia la abstracción”.*⁹

Gracias al fuego, la noche se volvió habitable y surge una división entre la oscuridad habitada, y por tanto visible, y la oscuridad que permanece en estado salvaje. Saber orientarse en la noche es cosa de cazadores que dominan el miedo, se convierten en peligro. Armengaud nos recuerda (2009, p.33) que el culto a la luna rigió a las sociedades nómadas, en un estado muy avanzado de civilización y de abstracción, comprendían el paisaje terrestre como un reflejo del cielo, se guiaban de las estrellas. El sol nos obliga a creer que la realidad terrestre es la realidad última, así pues el día es una ilusión mucho más peligrosa que la noche.



Figura 32. Vista nocturna del Pabellón de Mies Van der Rohe. Barcelona

⁹ Armengaud, Marc. Land & Scope Series: Nightscapes. Editorial Gustavo Gili (2009) p. 33



Figura 33. Mark Rothko, *Red on Maroon* en New York. (1959).

*“Lo más importante para mí, es la observación directa de la naturaleza en su luminosa existencia”.*¹⁰

August Macke

¹⁰ Citado por Mellado, Elisa (fotógrafa). Recuperado el día 26 de agosto 2015. En <https://elisaimellado.wordpress.com/2015/06/>

IGLESIAS

SANT PAU DEL CAMP

SANT PERE DE LES PUELLES

BIBLIOTECAS

BIBLIOTECA POMPEU FABRA - DEPÓSITO DE AGUAS

BIBLIOTECA ESQUERRA DE L'EIXAMPLE - AGUSTÍ CENTELLES

SALAS DE EXPOSICIONES

CENTRO DE LA IMAGEN LA VIRREINA - WRITING DIFFRACTION

CAIXA FORUM BARCELONA - ALVAR AALTO 1898-1976

ZONAS ARQUEOLÓGICAS

CIUDAD ROMANA BAETULO – BADALONA

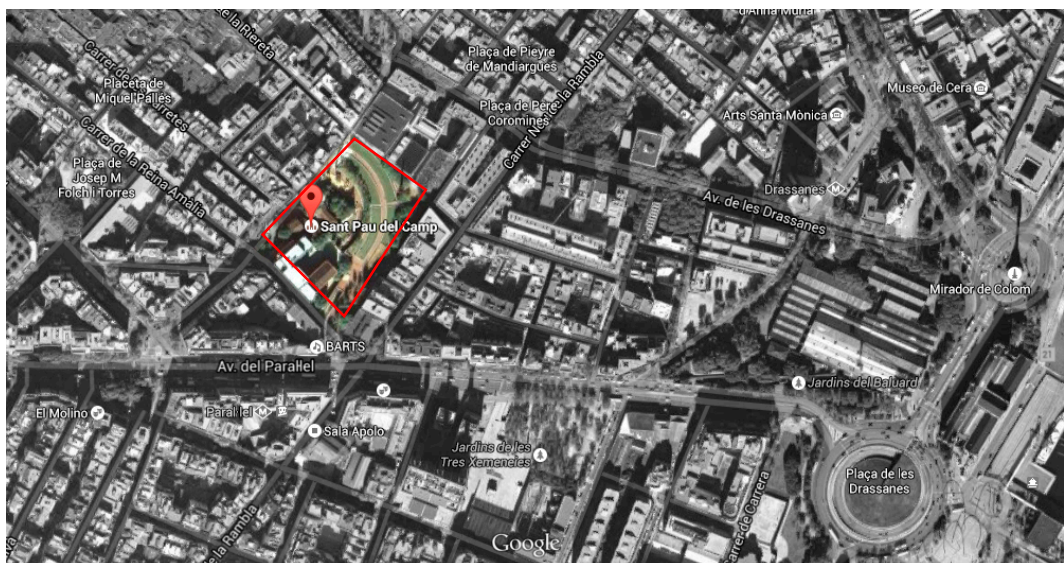
COMPLEJO INCA PURUCHUCO – LIMA

4.1. IGLESIAS

4.1.1. Sant Pau del Camp



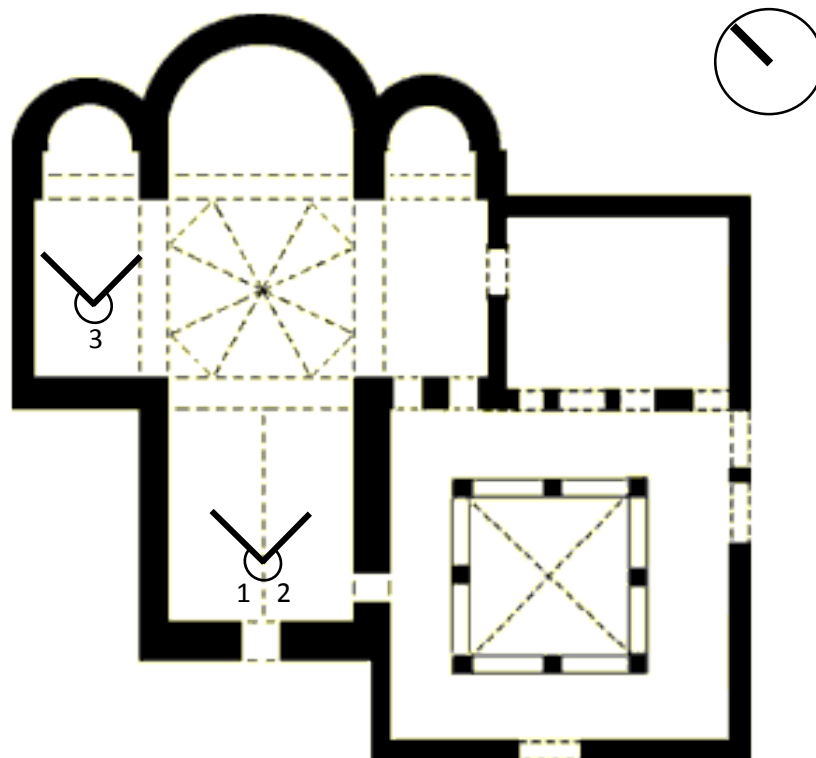
El monasterio de Sant Pau del Camp ubicado en el barrio del Raval, es uno de los pocos edificios románicos que han subsistido en Barcelona. Gracias a la inscripción de una de las lápidas encontradas en el interior se atribuye que la iglesia data del siglo X, aunque el edificio tal como lo conocemos es obra de una reconstrucción realizada en el siglo XII.



Estudio Fotográfico

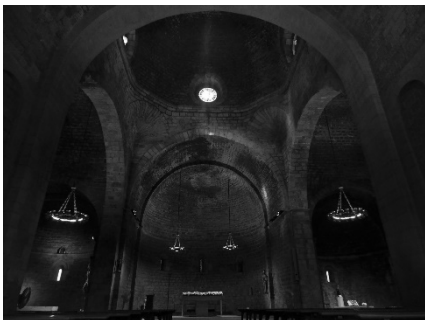
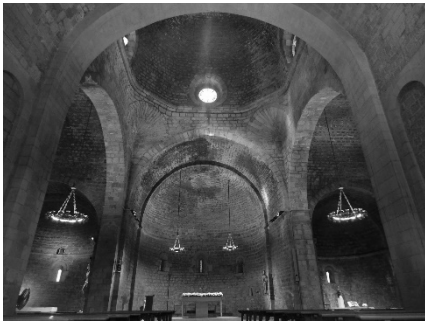
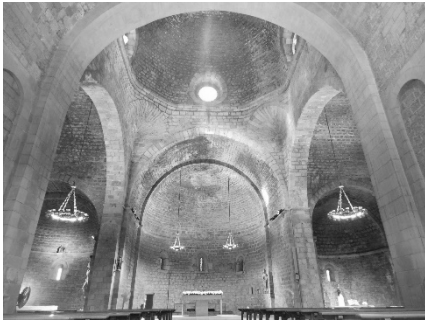
Dentro de la iglesia de Sant Pau del Camp se han observado dos lugares que están claramente diferenciados por las proporciones del espacio que lo conforman: La nave central y las naves laterales.

La nave central es la que alberga a la mayor cantidad de fieles durante la liturgia que están cubiertos bajo una bóveda que va en dirección hacia el ábside, formando un eje horizontal entre ellos y el altar mayor. Sin embargo, cuando uno toma posición en cualquiera de las butacas destinadas para este fin, inevitablemente se ve atraído a levantar la mirada, generando así un segundo eje diagonal, ya que una fuente de luz gana protagonismo desde la cúpula del crucero de la iglesia. Es por eso que se eligió el pórtico de ingreso para la ubicación de la primera y la segunda fotografía, con la diferencia en que la primera muestra el resultado de la reciente intervención lumínica que se hizo utilizando LED para equilibrar las luminancias dentro de la iglesia, mientras que en la segunda sólo se aprecia la luz natural. Para la tercera fotografía se eligió una de las naves laterales que cuenta con otro tipo de luz artificial, las velas, ya que simbolizan la presencia de los devotos y además porque la reducción de mobiliario nos indica que el culto esta vez tiene un carácter individual.



Planta general

Escena SPC 1: Día: 14 de Junio / Hora: 12.30



Escena SPC 1: Zona grupal con luz artificial



Imagen HDR

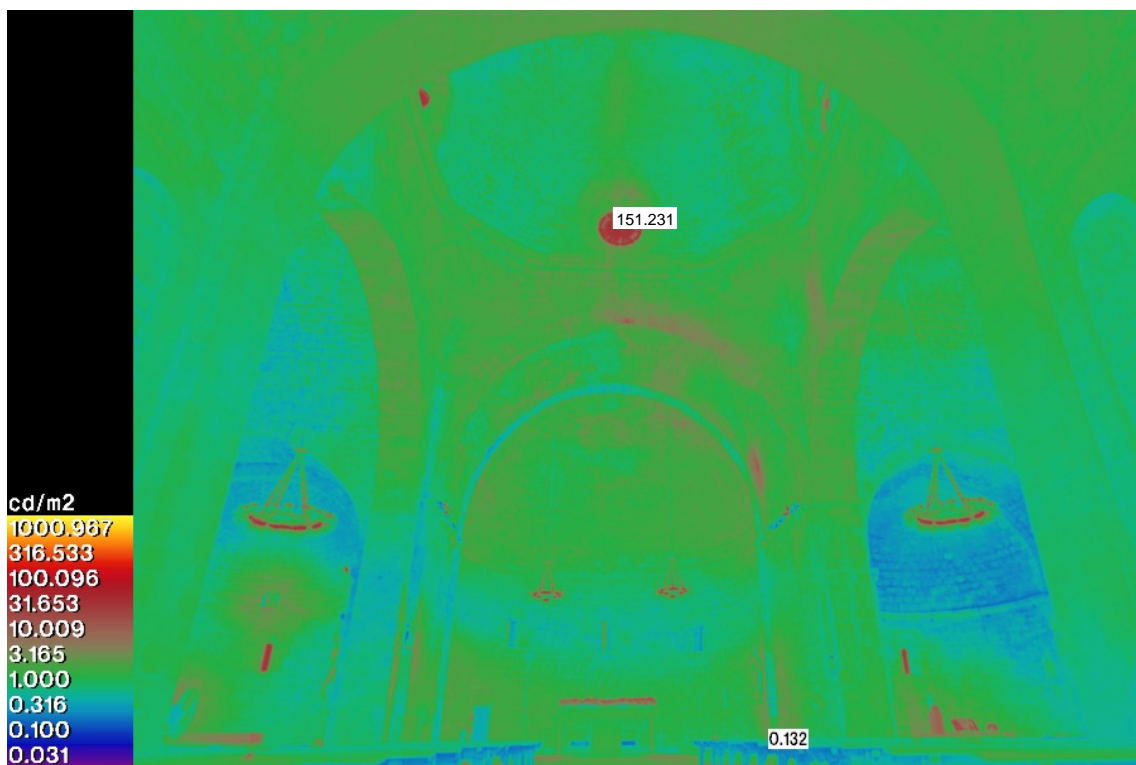
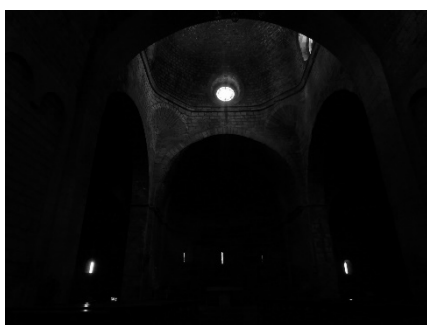
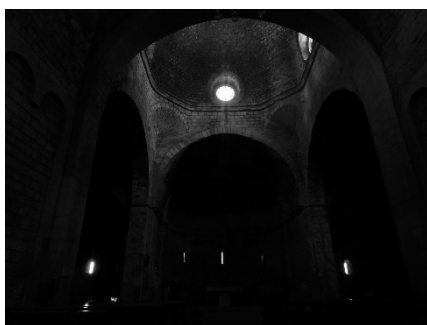
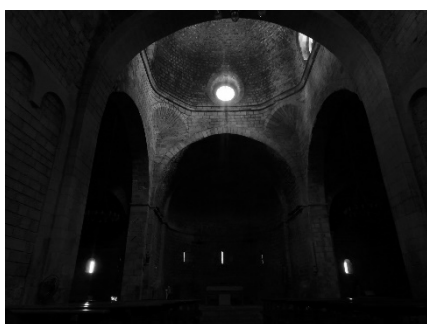
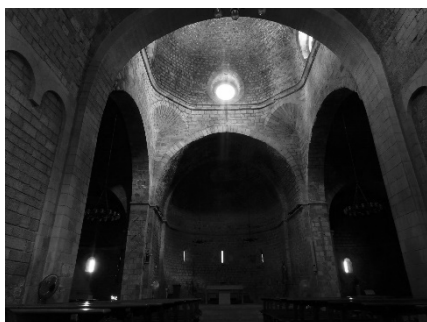
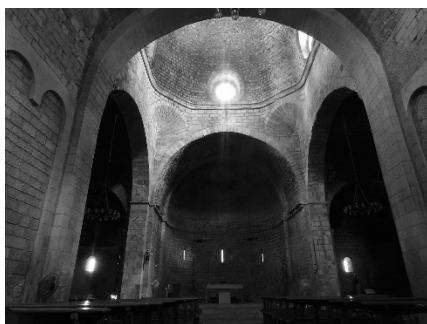


Imagen falso color

Escena SPC 2: Día: 21 de Junio / Hora: 12.30



Escena SPC 2: Zona grupal sin luz artificial



Imagen HDR

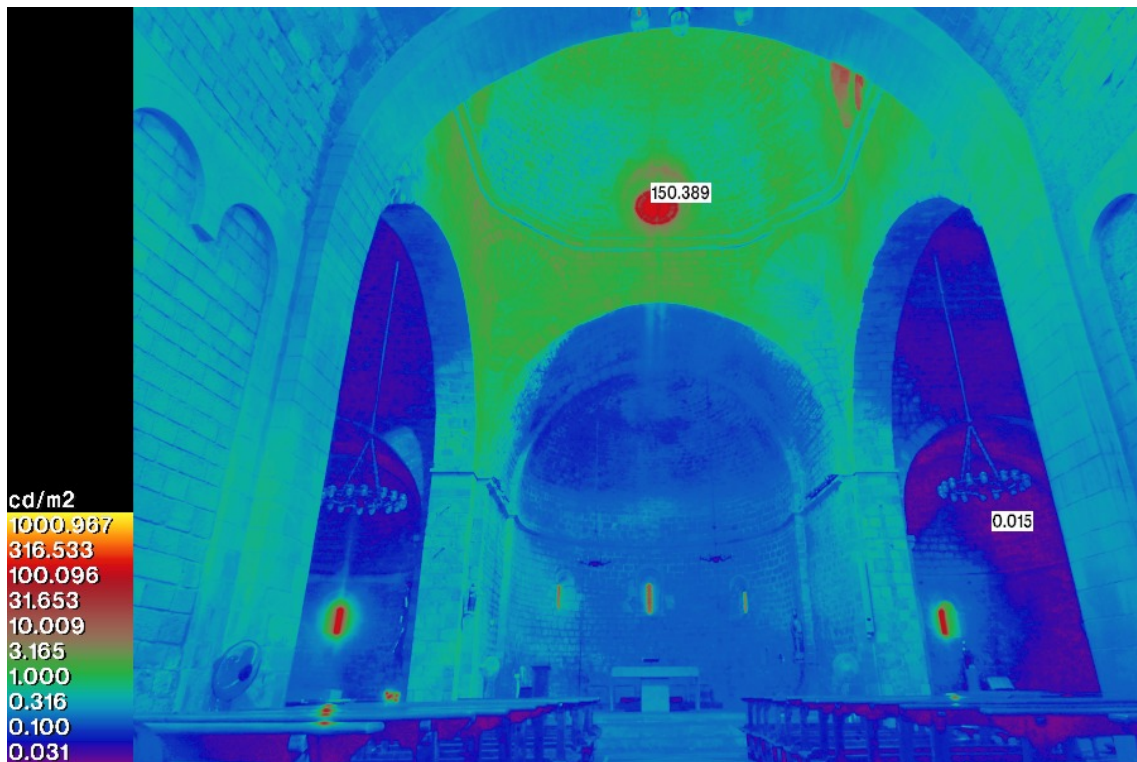
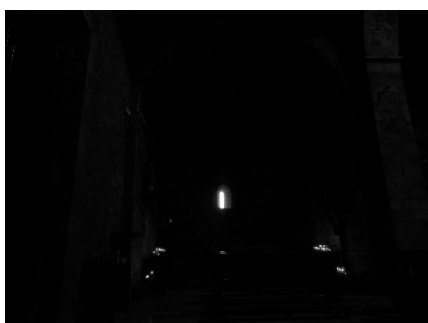
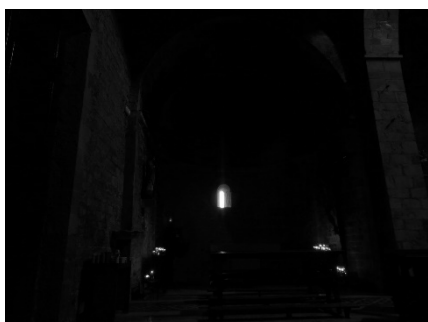
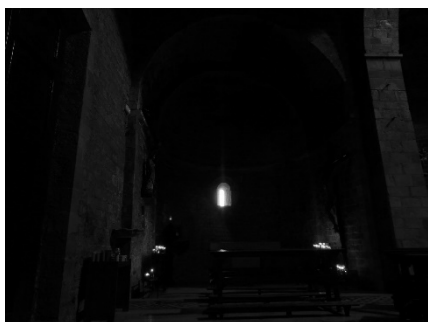
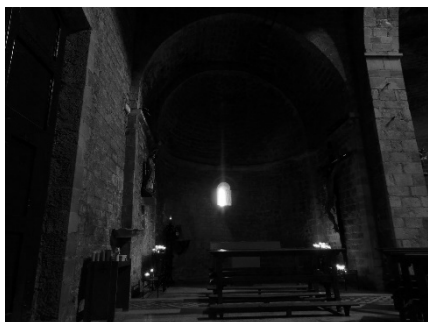
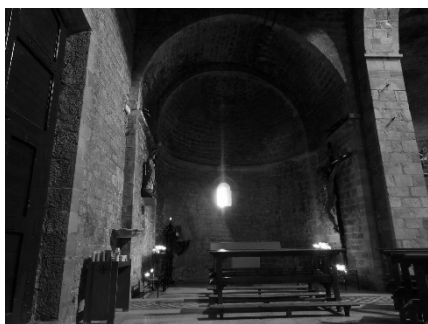


Imagen falso color

Escena SPC 3: Día: 21 de Junio / Hora: 12.50



Escena SPC 3: Zona individual



Imagen HDR

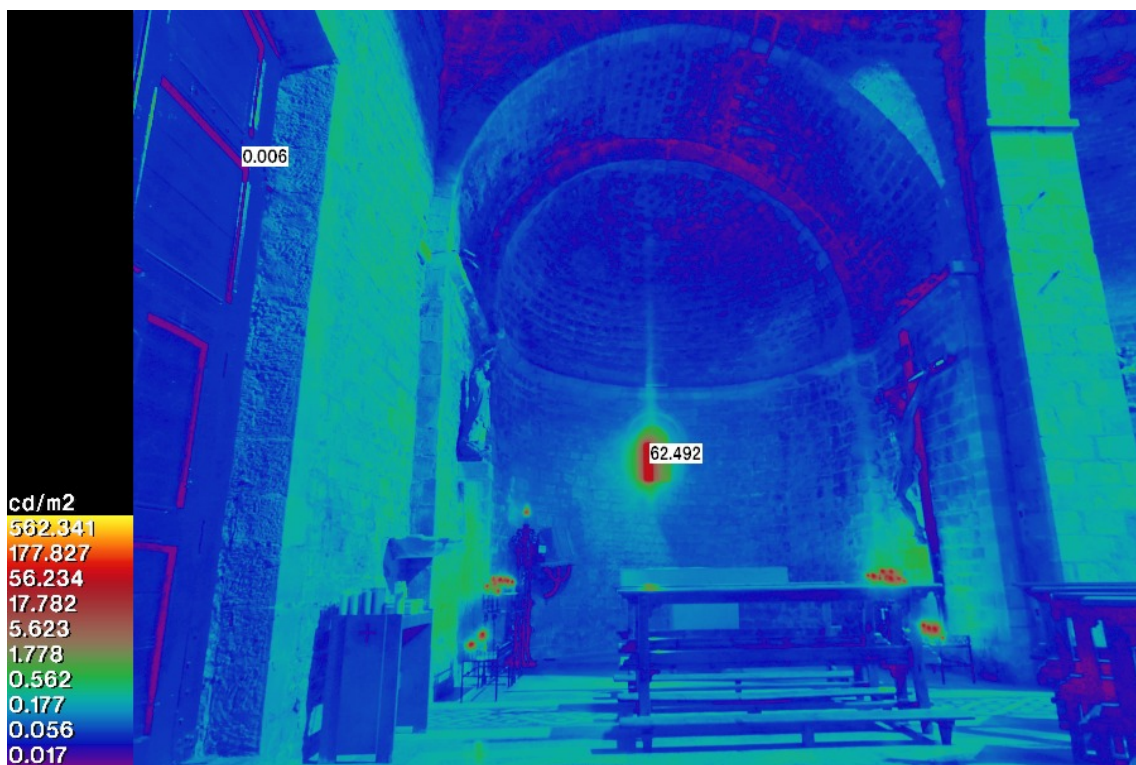
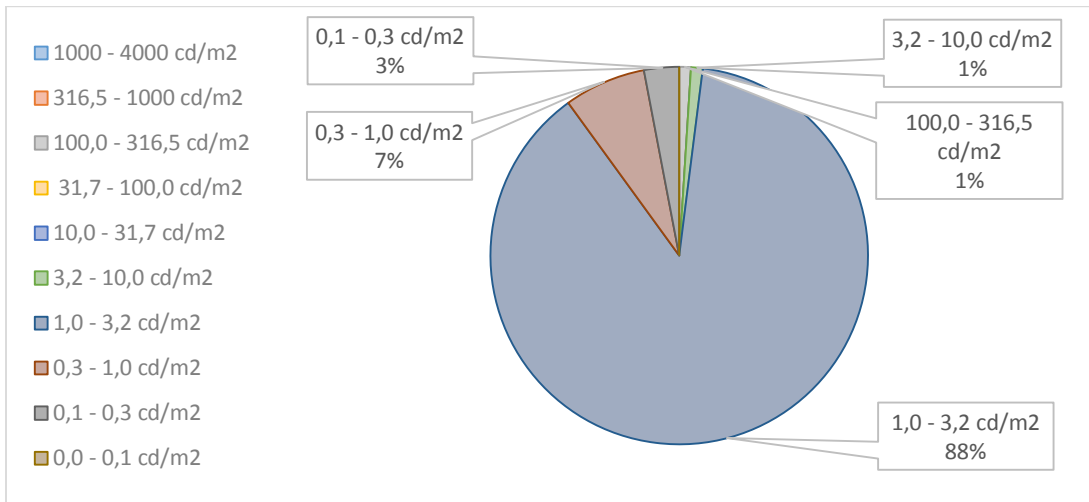


Imagen falso color

Estudio de luminancias

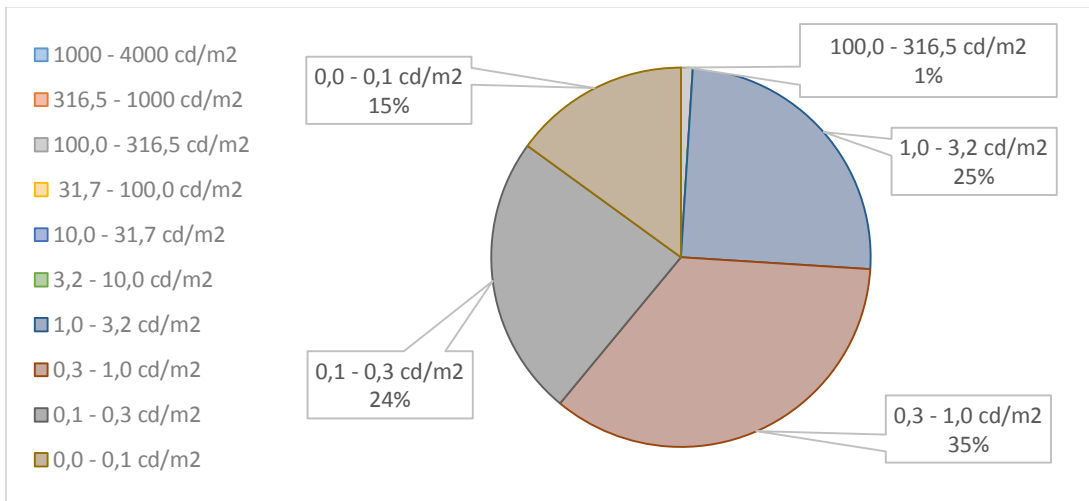
Escena SPC 1: L predominante: 1.0 – 3.2 cd/m²

L promedio: 4.1 cd/m²



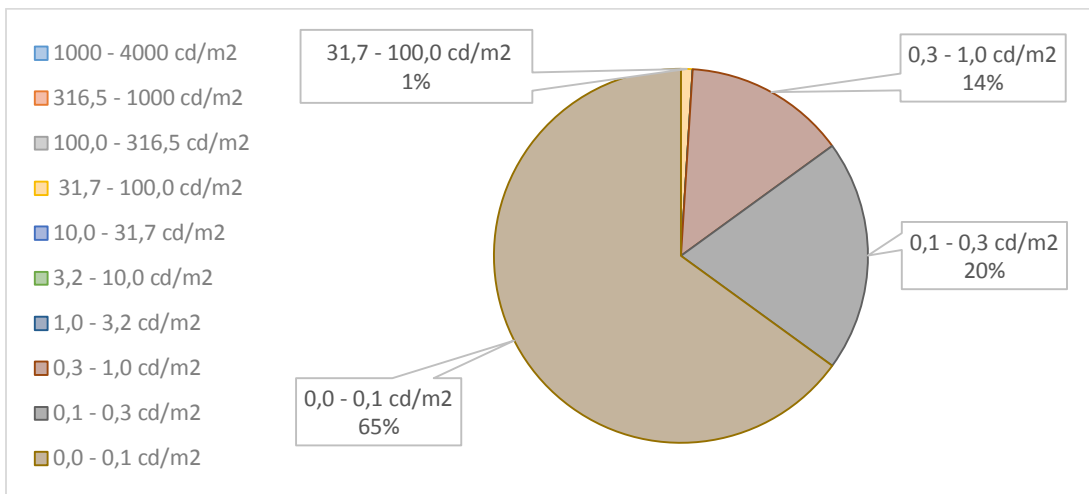
Escena SPC 2: L predominante: 0.3 - 1.0 cd/m²

L promedio: 2.9 cd/m²



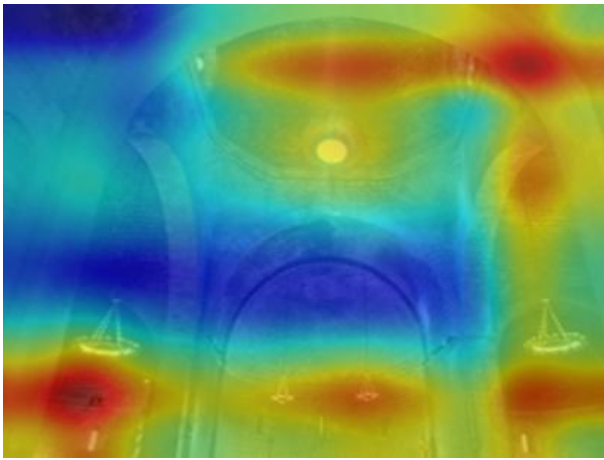
Escena SPC 3: L predominante: 0.0 – 0.1 cd/m²

L promedio: 0.5 cd/m²



Estudio de reconocimiento de información en una escena por MIT

Escena SPC 1:



Predicciones

Lugar: Basílica

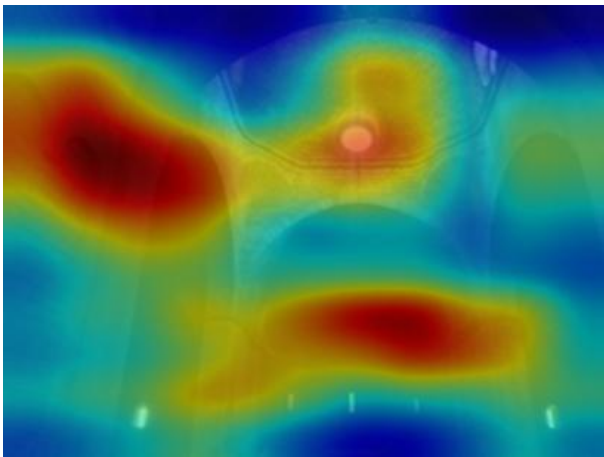
Acto: Orar

Luz: artificial

Atributo: púlpito

Ubicación: tercio inferior

Escena SPC 2:



Predicciones

Lugar: Basílica

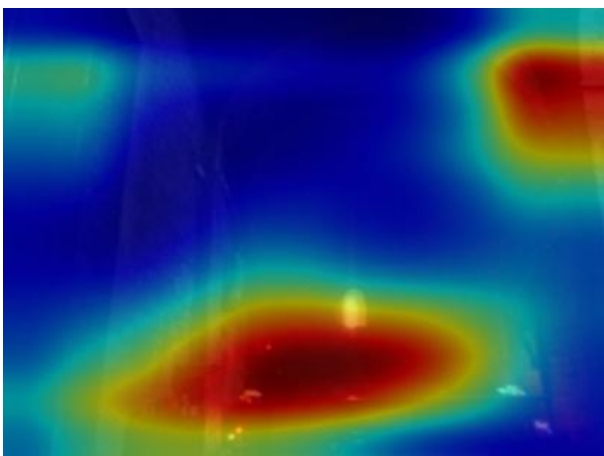
Acto: Orar

Luz: natural

Atributo: rosetón

Ubicación: tercio superior

Escena SPC 3:



Predicciones

Lugar: Monasterio

Acto: Orar

Luz: artificial

Atributo: velas

Ubicación: tercio inferior

Estudio de colorimetría

Escena SPC 1: Tercio inferior

Promedio de los componentes R, G, B: 93.193227 89.643704 77.702047

Promedio x, y del diagrama CIE: 357135 0.354070

Escena SPC 2: Tercio superior

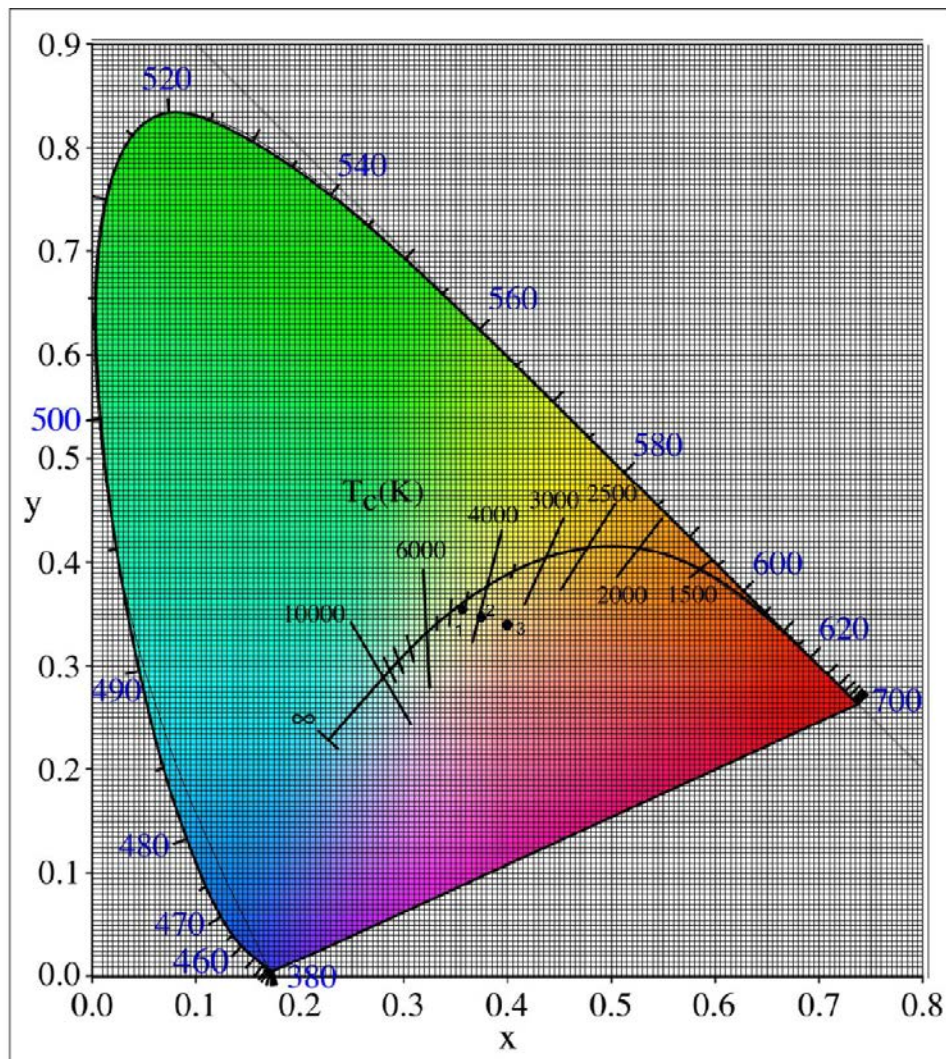
Promedio de los componentes R, G, B: 26.985258 20.862431 17.968518

Promedio x, y del diagrama CIE: 0.374952 0.347638

Escena SPC 3: Tercio inferior

Promedio de los componentes R, G, B: 20.897108 14.432565 13.130774

Promedio x, y del diagrama CIE: 0.398156 0.341018



Comprobaciones:

Escena SPC 1 Fuente: Luz natural + luz artificial (LED)

- Características cuantitativas:

L mínima: 0.13 cd/m² L máxima: 151.23 cd/m² = Visión mesópica

Temperatura de color equivalente es de: 5000 K L púlpito: 32 cd/m²

El ratio entre L predominante / L máxima es = 1:75 L púlpito / L máxima = 1:5

- Características cualitativas:

Luz uniforme que permite apreciar la arquitectura, no se percibe deslumbramiento ya que tanto la ventana como las luminarias son de interés ornamental en el espacio.

Escena SPC 2: Fuente: Luz natural

- Características cuantitativas:

L mínima: 0.02 cd/m² L máxima: 150.39 cd/m² = Visión mesópica

Temperatura de color equivalente es de: 4200 K L rosetón: 150 cd/m²

El ratio entre L predominante / L máxima es = 1:250 L rosetón / L máxima = 1:1

- Características cualitativas:

Un marcado contraste de luminancias que dirige la atención focal a la cúpula central y en ella destaca el resplandor de la ventana dándole así, un significado a la luz.

Escena SPC 3: Fuente: Luz natural + luz artificial (velas)

- Características cuantitativas:

L mínima: 0.01 cd/m² L máxima: 62.49 cd/m² = Visión mesópica

La temperatura de color equivalente es de: 3800 K L velas: 55 cd/m²

El ratio entre L predominante / L máxima es = 1:1250 L velas / L máxima = 1:1

- Características cualitativas:

Luz contrastada sin embargo no deslumbra, ya que las velas enfatizan el entorno del culto religioso con una luz cálida que tiñe de rojo las paredes más próximas.

4.1.2. Sant Pere de les Puelles



El antiguo monasterio de Sant Pere de les Puelles se ubica en el barrio que lleva el mismo nombre, Sant Pere en el distrito de Ciutat Vella. Esta edificación se remonta a la fecha de su consagración en el año 945, luego de múltiples remodelaciones aún prevalece en el interior el estilo románico donde se puede apreciar los arcos y bóvedas de medio punto.



Estudio fotográfico

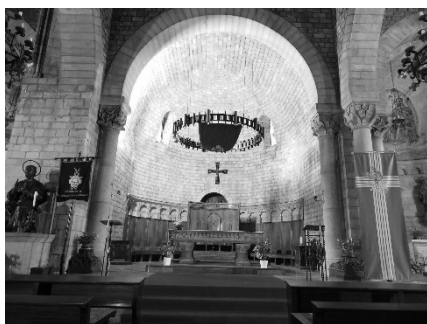
En la iglesia Sant Pere de les Puelles se buscó diferenciar las zonas de culto grupal e individual. Para este fin se identificó que tanto la nave central como la lateral estaban destinadas a acoger a la mayor cantidad de fieles durante las ceremonias, mientras que en la esquina junto al ingreso se reserva el lugar del culto individual.

La primera fotografía se tomó en la nave central frente al altar mayor, el cual cuenta con pequeñas aberturas en el ábside hacia el exterior, sin embargo está actualmente iluminado con un reflector de luz fría que simula el ingreso de luz natural. La segunda fotografía se hizo desde la nave lateral hacia el absidiolo el cual está iluminado con un reflector de luz cálida dirigido hacia el centro para destacar la iconografía religiosa. La última fotografía se dirigió hacia el altar de Sant Pere de les Puelles que está iluminado tanto por luz natural como por la luz de las velas.



Planta general

Escena SPP 1: Día: 15 de Junio / Hora: 15.30



Escena SPP 1: Zona grupal A

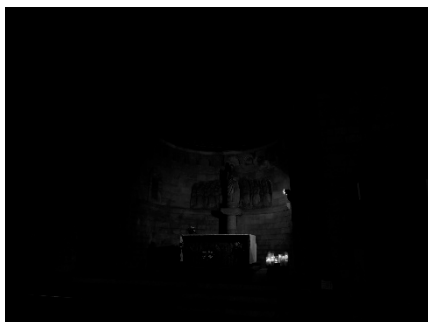
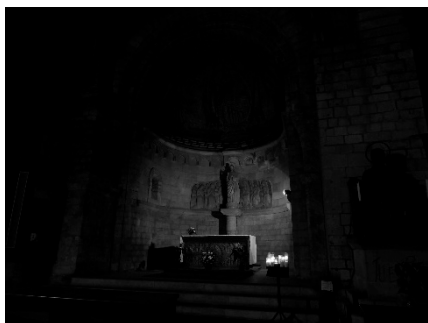
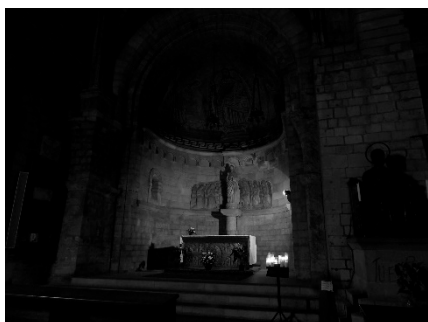
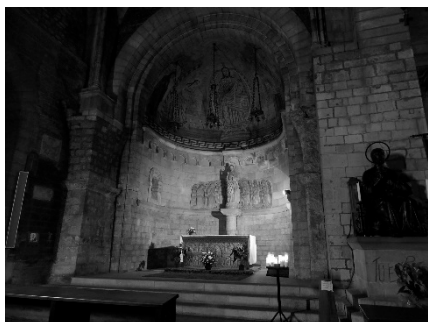
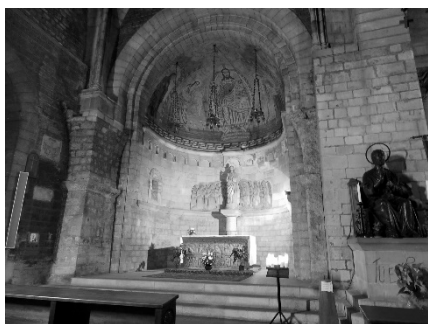


Imagen HDR



Imagen falso color

Escena SPP 2: Día: 15 de Junio / Hora: 15.40



Escena SPP 2: Zona grupal B



Imagen HDR

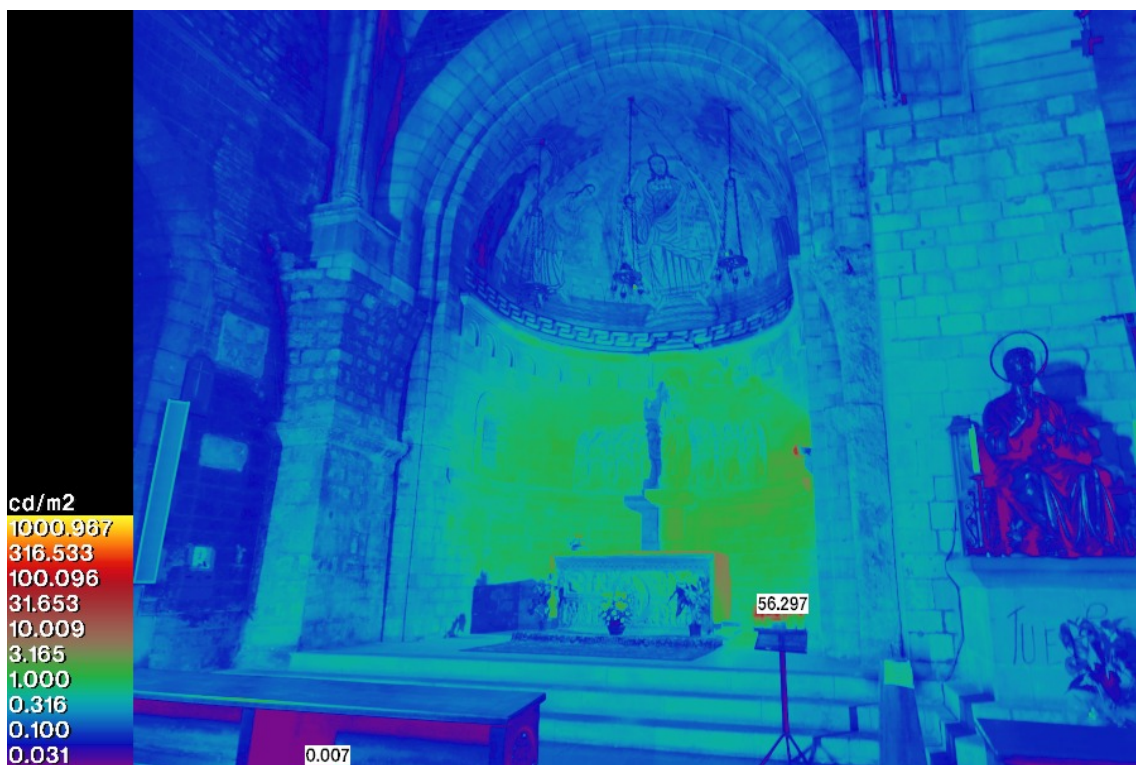
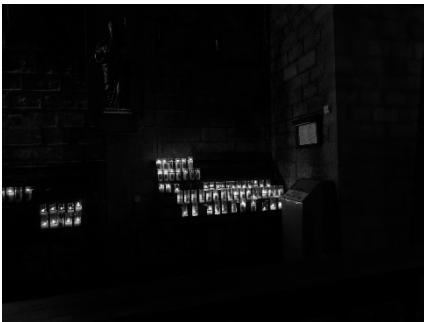
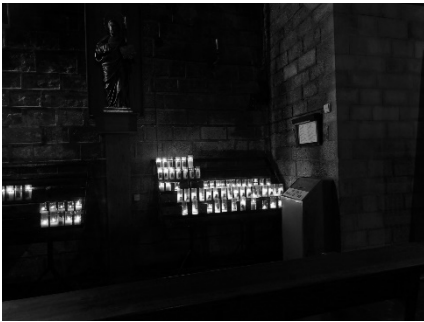
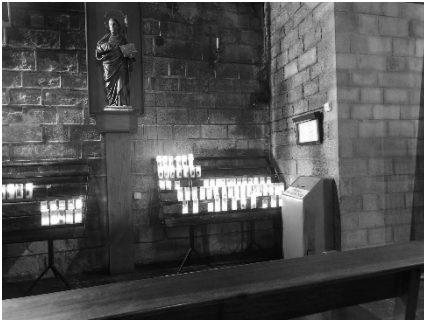


Imagen falso color

Escena SPP 3: Día: 15 de Junio / Hora: 15.50



Escena SPP 3: Zona individual



Imagen HDR

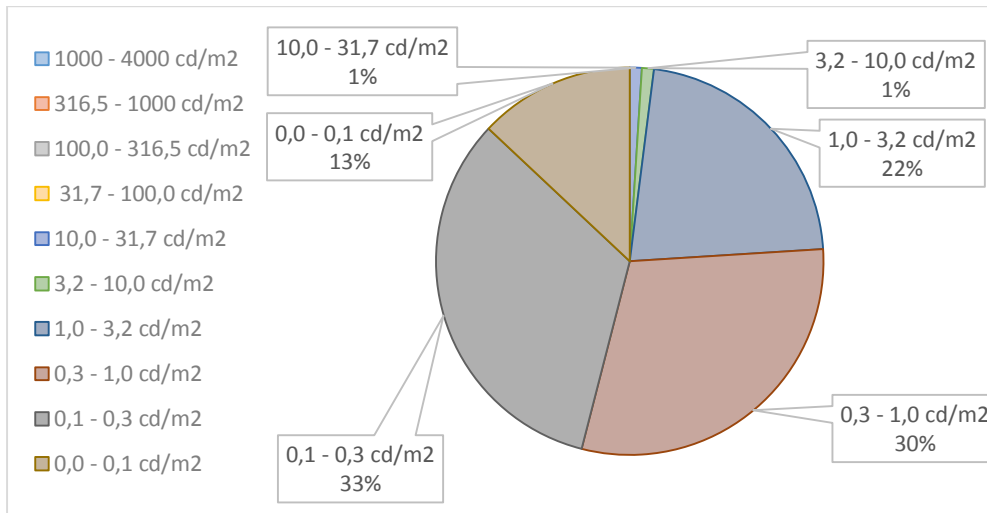


Imagen falso color

Estudio de luminancias

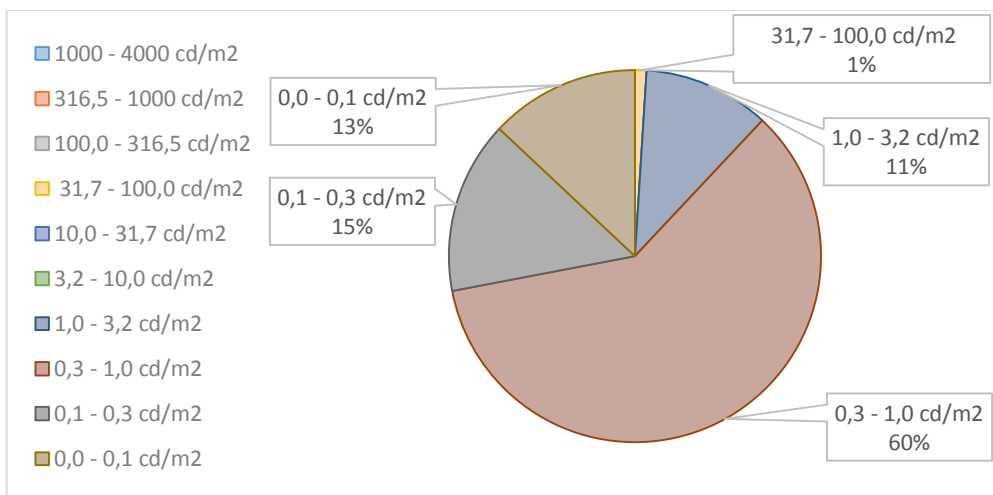
Escena SPP 1: L predominante: 0.1- 0.3 cd/m²

L promedio: 1.0 cd/m²



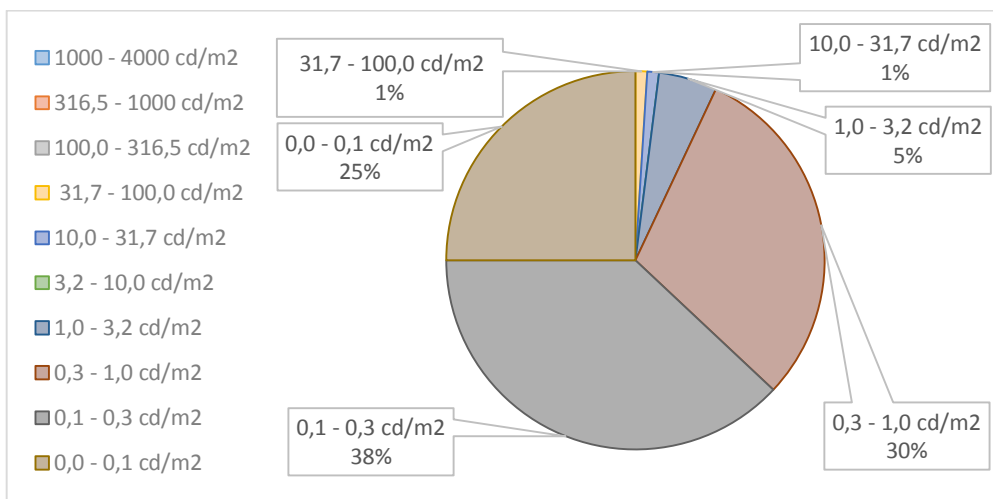
Escena SPP 2: L predominante: 0.3 – 1.0 cd/m²

L promedio: 1.3 cd/m²



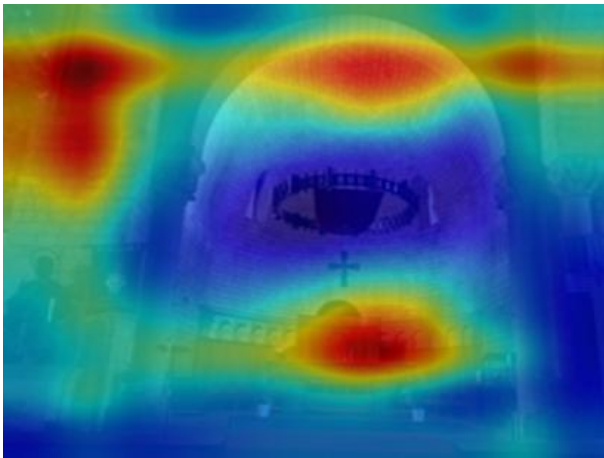
Escena SPP 3: L predominante: 0.1 – 0.3 cd/m²

L promedio: 1.2 cd/m²



Estudio de reconocimiento de información en una escena por MIT

Escena SPP 1:



Predicciones:

Lugar: Basílica

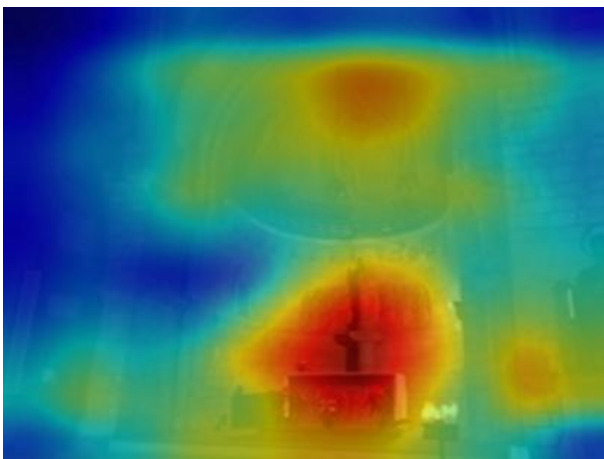
Acto: Orar

Luz: natural

Atributo: púlpito

Ubicación: tercio inferior

Escena SPP 2:



Predicciones:

Lugar: Basílica

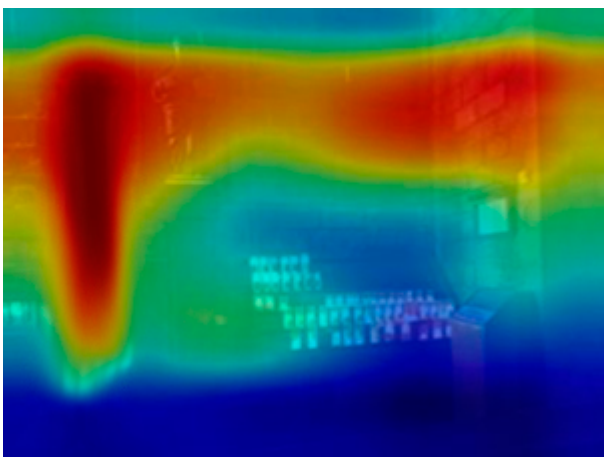
Acto: Orar

Luz: artificial

Atributo: púlpito

Ubicación: tercio inferior

Escena SPP 3:



Predicciones:

Lugar: Claustro

Acto: Orar

Luz: artificial

Atributo: velas, mármol

Ubicación: tercio medio

Estudio de colorimetría

Escena SPP 1: Tercio inferior

Promedio de los componentes R, G, B: 66.305716 44.597456 43.728662

Promedio x, y del diagrama CIE: 0.373983 0.328945

Escena SPP 2: Tercio inferior

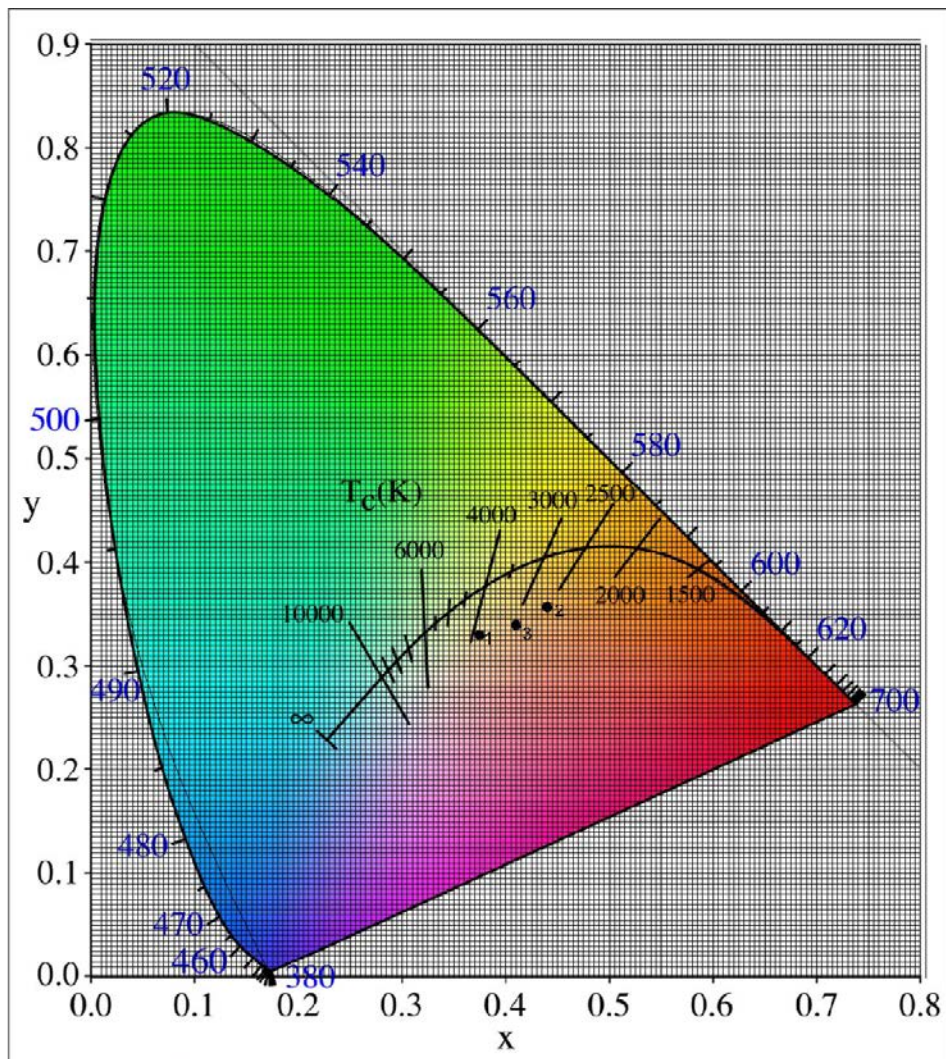
Promedio de los componentes R, G, B: 52.440150 28.513168 20.200089

Promedio x, y del diagrama CIE: 0.430634 0.359892

Escena SPP 3: Tercio medio

Promedio de los componentes R, G, B: 43.755788 25.549267 21.975702

Promedio x, y del diagrama CIE: 0.414195 0.342510



Comprobaciones:

Escena SPP 1: Fuente: Luz natural + luz artificial (h. metálico)

- Características cuantitativas:

L mínima: 0.01 cd/m^2 L máxima: 49.79 cd/m^2 = Visión mesópica

La temperatura de color equivalente es de: 3800 K L púlpito = 1 cd/m^2

El ratio entre L predominante / L máxima es = $1:100$ L púlpito / L máxima = $1:50$

- Características cualitativas:

Luz fría dirigida que resalta la geometría del ábside y se percibe sólo la silueta de los iconos religiosos ya que absorben la mayor parte de la luz que incide sobre ellos.

Escena SPP 2: Fuente: Luz artificial (h. metálico)

- Características cuantitativas:

L mínima: 0.01 cd/m^2 L máxima: 56.29 cd/m^2 = Visión mesópica

La temperatura de color equivalente es de: 2500 K L púlpito = 10 cd/m^2

El ratio entre L predominante / L máxima es = $1:100$ L púlpito / L máxima = $1:6$

- Características cualitativas:

Luz cálida dirigida que muestra la iconografía y la arquitectura. Destaca la escultura central porque se generan sombras sobre ella misma y sobre la pared de fondo.

Escena SPP 3: Fuente: Luz natural + luz artificial (velas)

- Características cuantitativas:

L mínima: 0.02 cd/m^2 L máxima: 75.46 cd/m^2 = Visión mesópica

La temperatura de color equivalente es de: 2900 K L velas = 75 cd/m^2

El ratio entre L predominante / L máxima es = $1:350$ L velas / L máxima = $1:1$

- Características cualitativas:

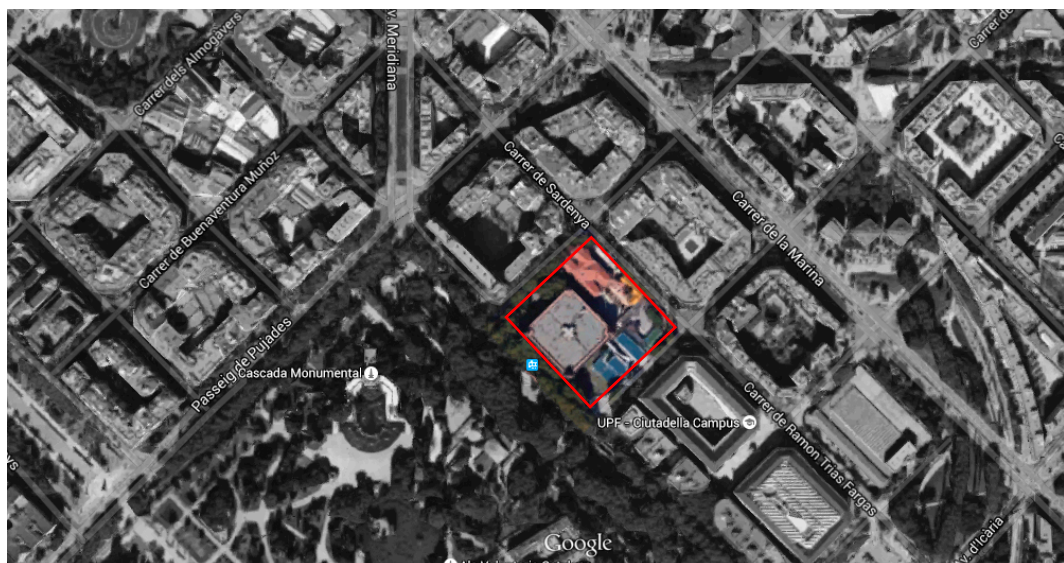
Luz cálida resplandeciente que no es desagradable ya que es el punto focal de interés durante el rito. La luz natural resalta la tridimensionalidad de la imagen religiosa.

4.2. BIBLIOTECAS

4.2.1. Biblioteca Pompeu Fabra - Depósito de Aguas

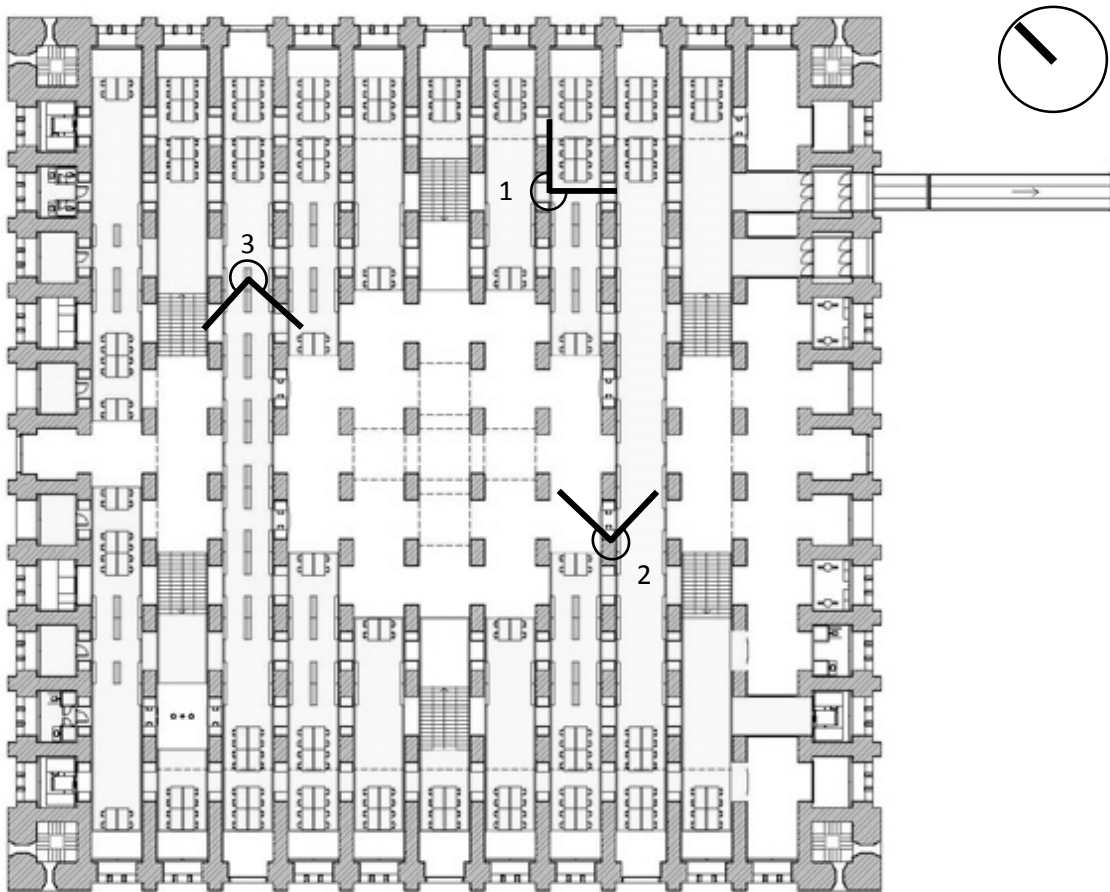


La biblioteca se ubica frente al parque de la Ciutadella, en el barrio de la Vila Olímpica de Poblenou. Se proyectó en 1874 por el maestro de obras Josep Fontserè y se construyó en 1880 como depósito de las aguas. Tras más de cien años de usos diversos como asilo municipal, almacén de los bomberos, vestuario y parque móvil de la Guardia Urbana, archivo de justicia, pasó a ser propiedad de la Universidad Pompeu Fabra en 1992.



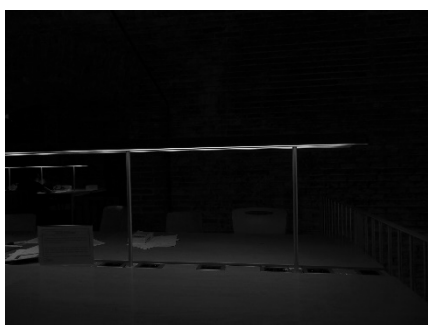
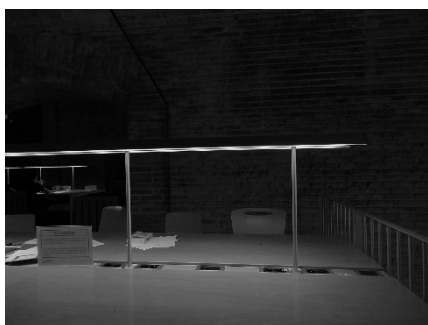
Estudio fotográfico

El diseño reproduce un prototipo de depósito de aguas romano, formada por un laberinto de arcos paralelos de 14 metros de altura, que se cruzan en una vuelta de cañón y que se extienden como por efecto de un espejo a lo largo de 65 metros de profundidad. Esto genera que en su interior encontremos un bosque de columnas entre las cuales se puede identificar los espacios de lectura grupal e individual, además de las zonas de circulaciones con estantería. La primera fotografía está dirigida al espacio compartido entre los usuarios, mientras que la segunda centra el foco en la zona individual. En la tercera foto se muestra la zona de circulaciones en donde la perspectiva dirige la atención hacia el exterior.



Planta del segundo nivel

Escena BPF 1: Día: 16 de Junio / Hora: 14:00



Escena BPF 1: Zona grupal



Imagen HDR

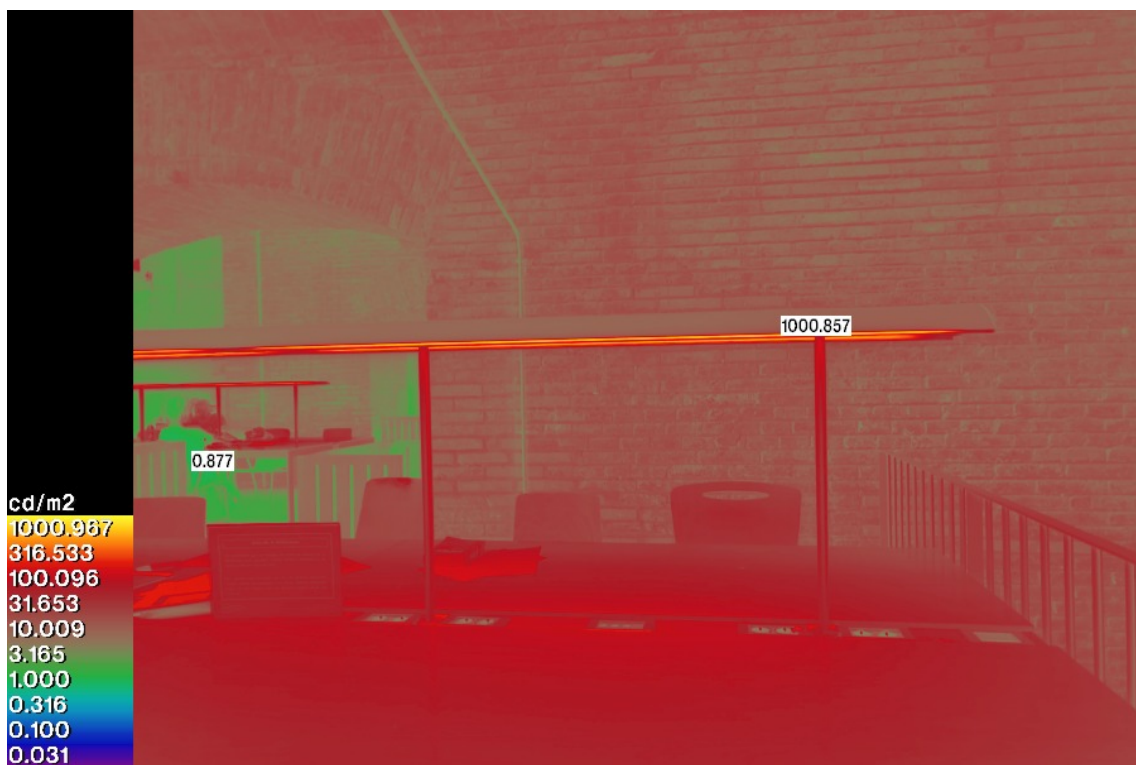
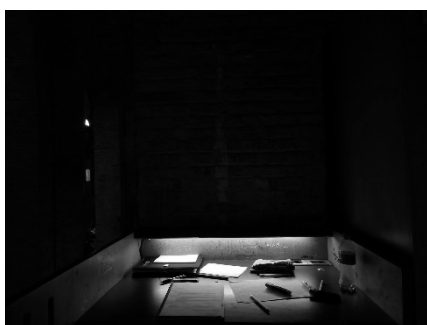
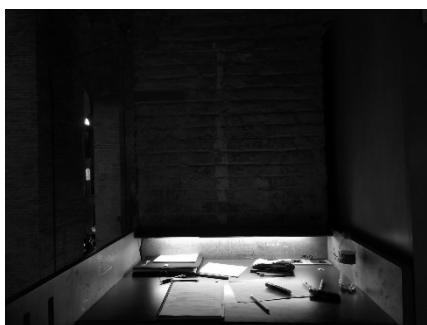
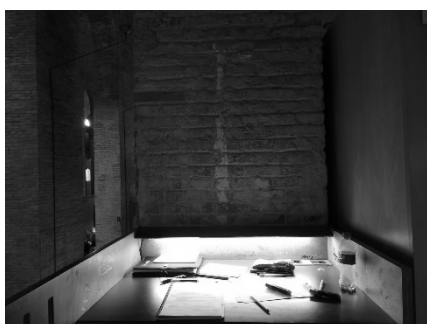
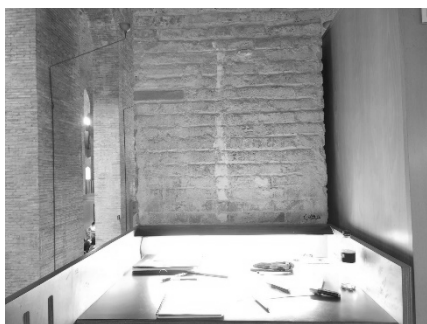


Imagen falso color

Escena BPF 2: Día: 16 de Junio / Hora: 14:20



Escena BPF 2: Zona individual



Imagen HDR

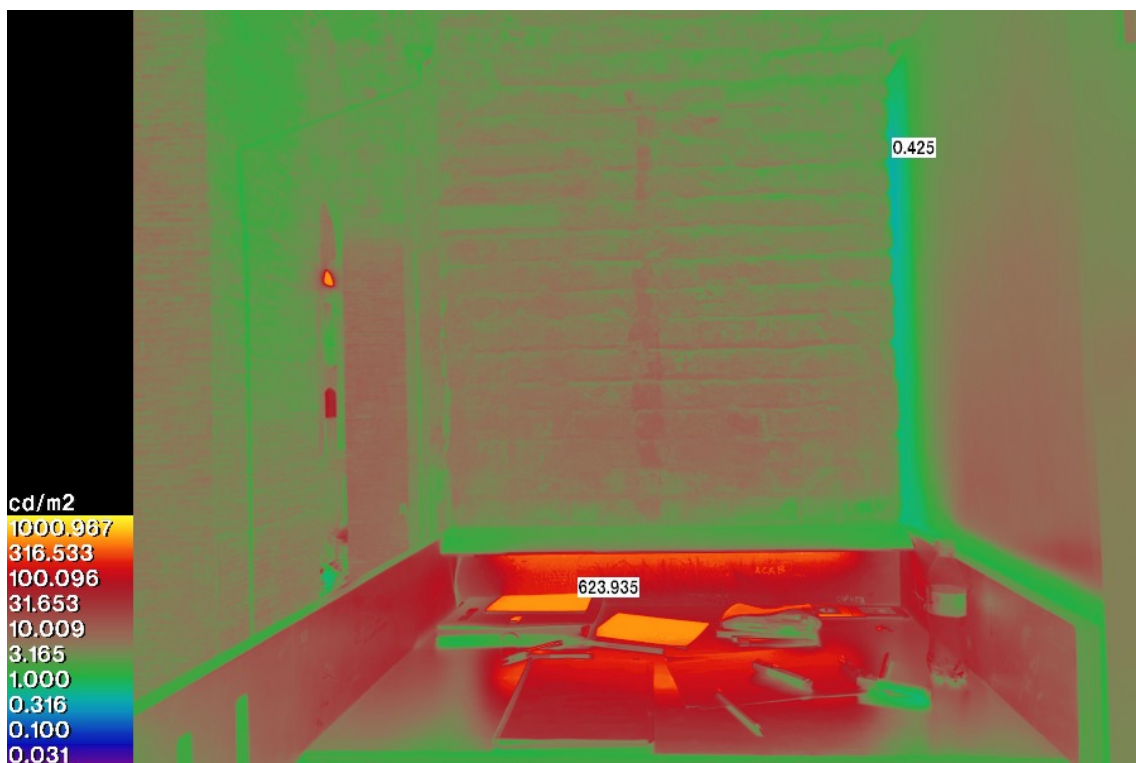
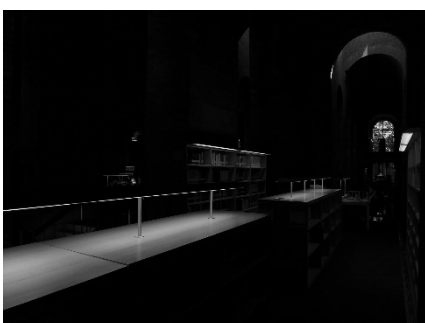
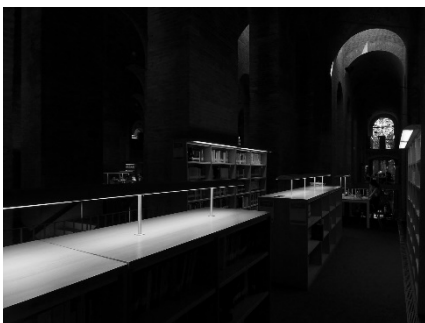
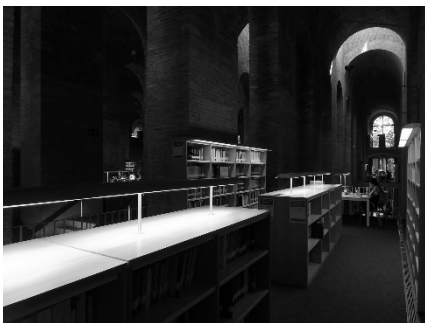
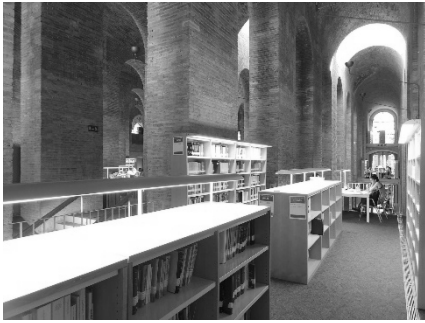


Imagen falso color

Escena BPF 3: Día: 16 de Junio / Hora: 14:40



Escena BPF 3: Zona de circulación



Imagen HDR

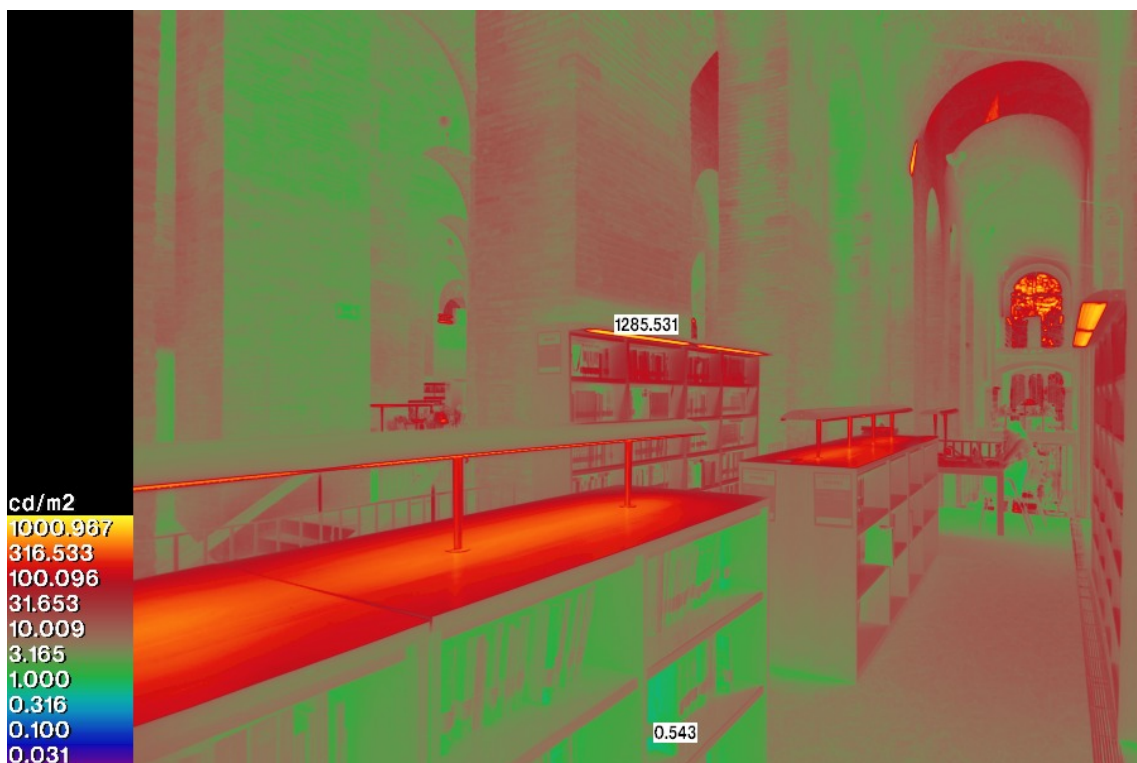
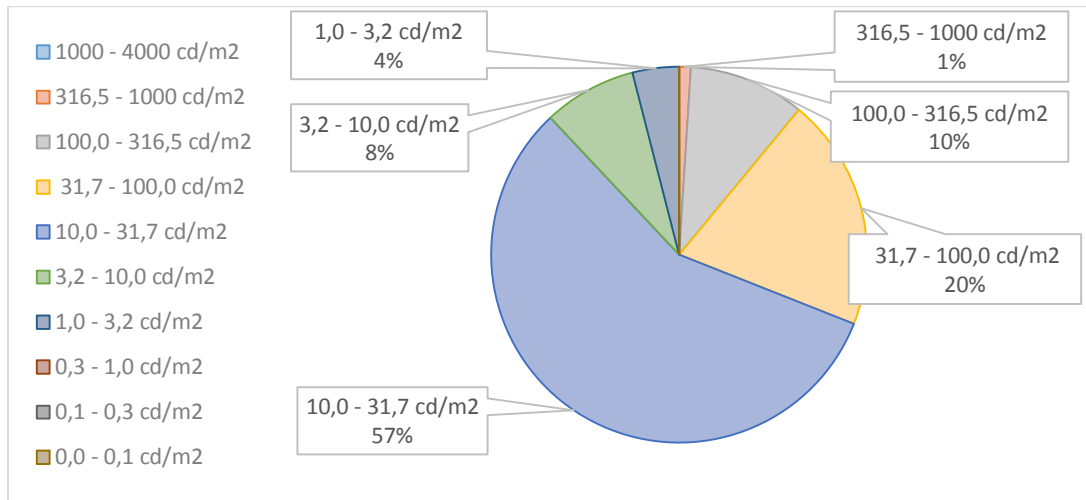


Imagen falso color

Estudio de luminancias

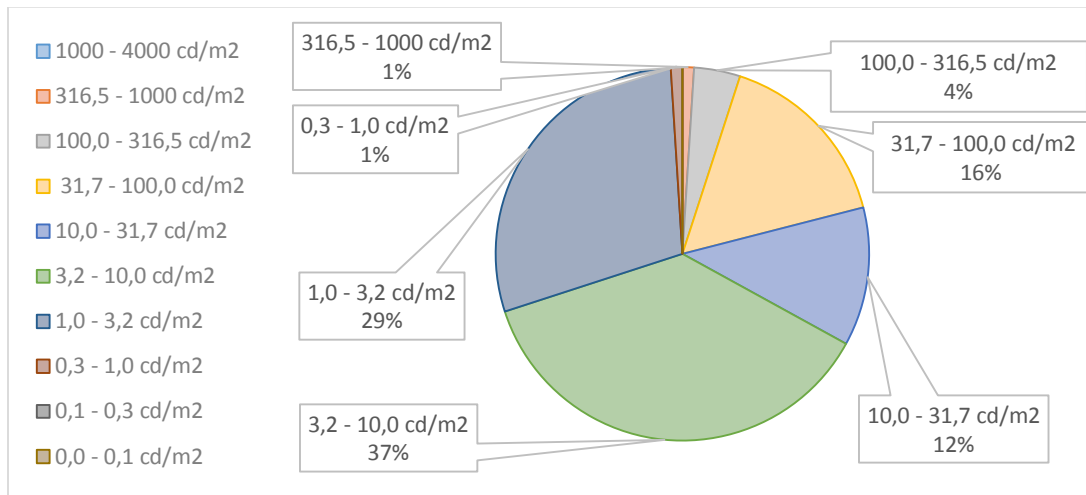
Escena BPF 1: L predominante: 10.0 - 31.7 cd/m²

L promedio: 53.1 cd/m²



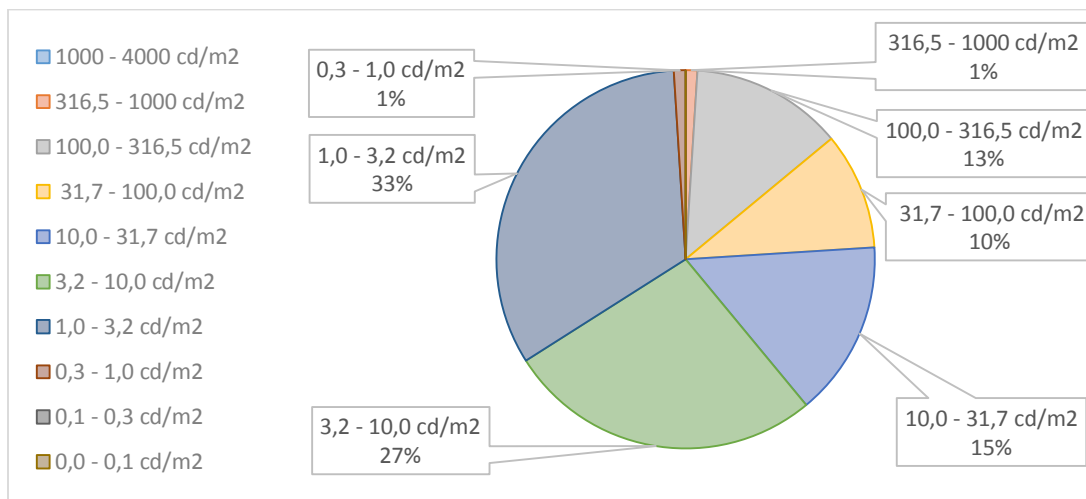
Escena BPF 2: L predominante: 3.2 – 10.0 cd/m²

L promedio: 31.1 cd/m²



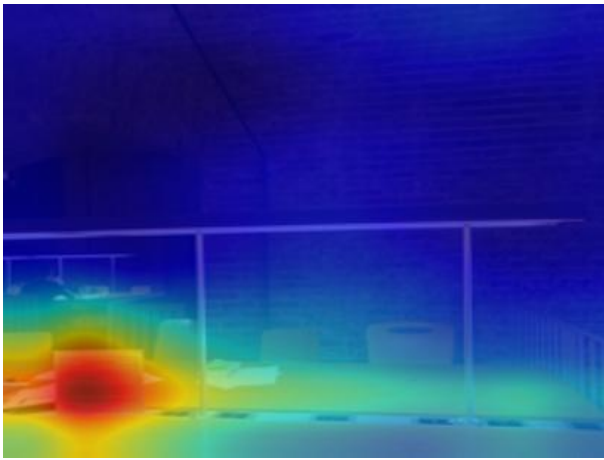
Escena BPF 3: L predominante: 1.0 – 3.2 cd/m²

L promedio: 45.9 cd/m²



Estudio de reconocimiento de información en una escena por MIT

Escena BPF 1:



Predicciones:

Lugar: Biblioteca

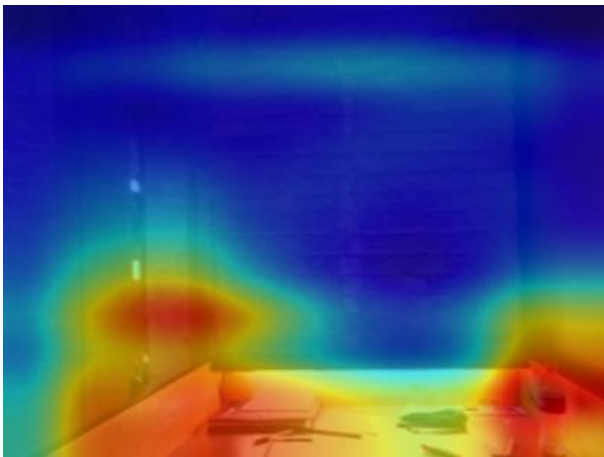
Acto: Estudio

Luz: artificial

Atributo: libros

Ubicación: tercio inferior

Escena BPF 2:



Predicciones:

Lugar: Oficina

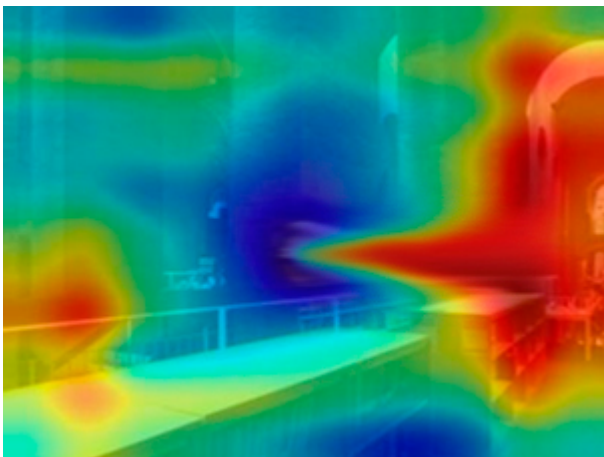
Acto: Estudio

Luz: artificial

Atributo: escritorio

Ubicación: tercio inferior

Escena BPF 3:



Predicciones:

Lugar: Librería

Acto: Estudio

Luz: artificial

Atributo: libros

Ubicación: tercio medio

Estudio de colorimetría

Escena BPF 1: Tercio inferior

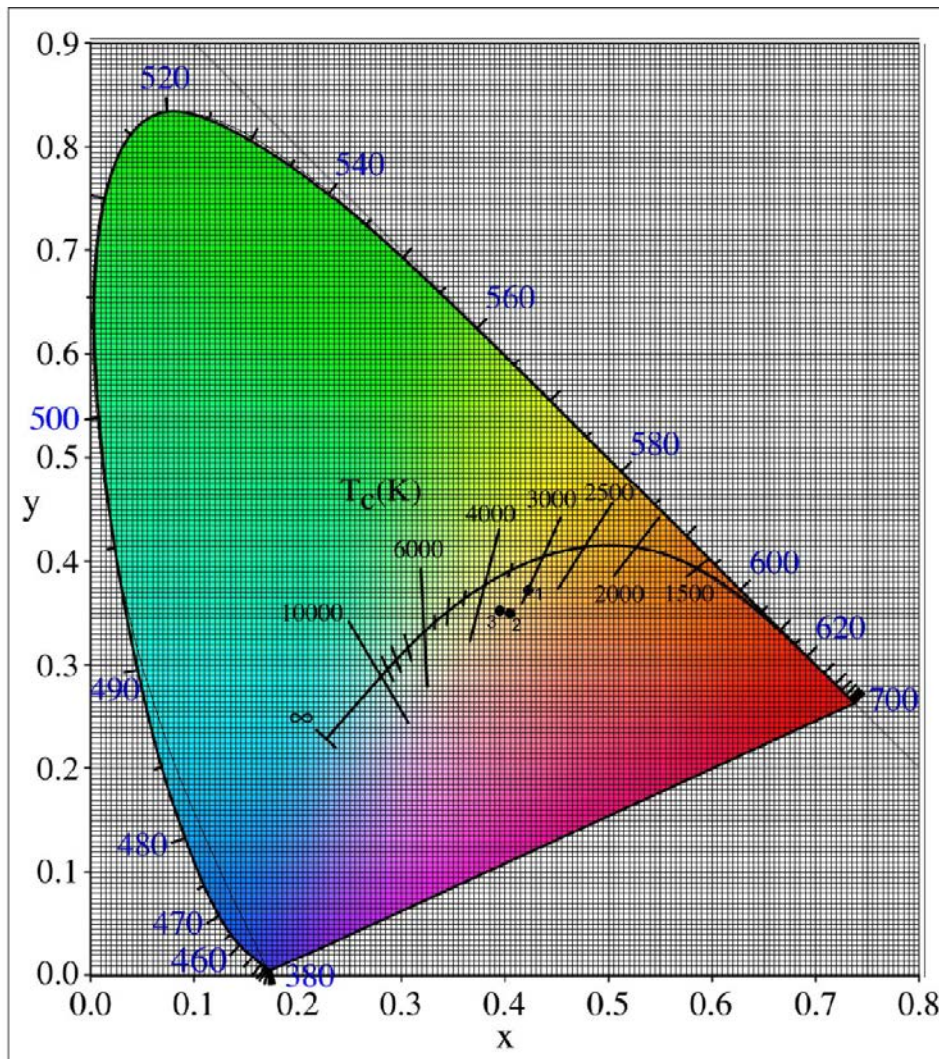
Promedio de los componentes R, G, B: 109.842855 64.572997 38.954247
Promedio x, y del diagrama CIE: 0.422624 0.374375

Escena BPF 2: Tercio inferior

Promedio de los componentes R, G, B: 96.037671 54.072944 41.490626
Promedio x, y del diagrama CIE: 0.411871 0.350458

Escena BPF 3: Tercio medio

Promedio de los componentes R, G, B: 106.254881 66.772940 51.686900
Promedio x, y del diagrama CIE: 0.398495 0.352930



Comprobaciones:

Escena BPF 1: Fuente: Luz natural + luz artificial (fluorescente)

- Características cuantitativas:

L mínima: 0.88 cd/m^2 L máxima: 1000.86 cd/m^2 = Visión mesópica

La temperatura de color equivalente es de: 3000 K L libros: 90 cd/m^2

El ratio entre L predominante / L máxima es = 1:50 L libros / L máxima = 1:11

- Características cualitativas:

Luz direccionada en el lugar de trabajo, donde predominan los colores cálidos del mobiliario, rodeado por los tonos rojizos de la arquitectura que recibe luz indirecta.

Escena BPF 2: Fuente: Luz natural + luz artificial (fluorescente)

- Características cuantitativas:

L mínima: 0.43 cd/m^2 L máxima: 623.96 cd/m^2 = Visión mesópica

La temperatura de color equivalente es de: 3200 K L escritorio: 120 cd/m^2

El ratio entre L predominante / L máxima es = 1:100 L escritorio / L máxima = 1:5

- Características cualitativas:

Luz que enfatiza la materia de estudio y que a pesar de reflejarse en una superficie negra para evitar el deslumbramiento, llega a iluminar las superficies más próximas.

Escena BPF 3: Fuente: Luz natural + luz artificial (fluorescente)

- Características cuantitativas:

L mínima: 0.54 cd/m^2 L máxima: 1285.53 cd/m^2 = Visión mesópica

La temperatura de color equivalente es de: 3500 K L libros: 80 cd/m^2

El ratio entre L predominante / L máxima es = 1:600 L libros / L máxima = 1:16

- Características cualitativas:

Luz que remarca el eje entre la circulación y el contacto con el exterior. Se pierde la percepción del techo por decrecimiento de luminancias y resalta sólo el lucernario.

4.2.2. Biblioteca Esquerra de l'eixample - Agustí Centelles

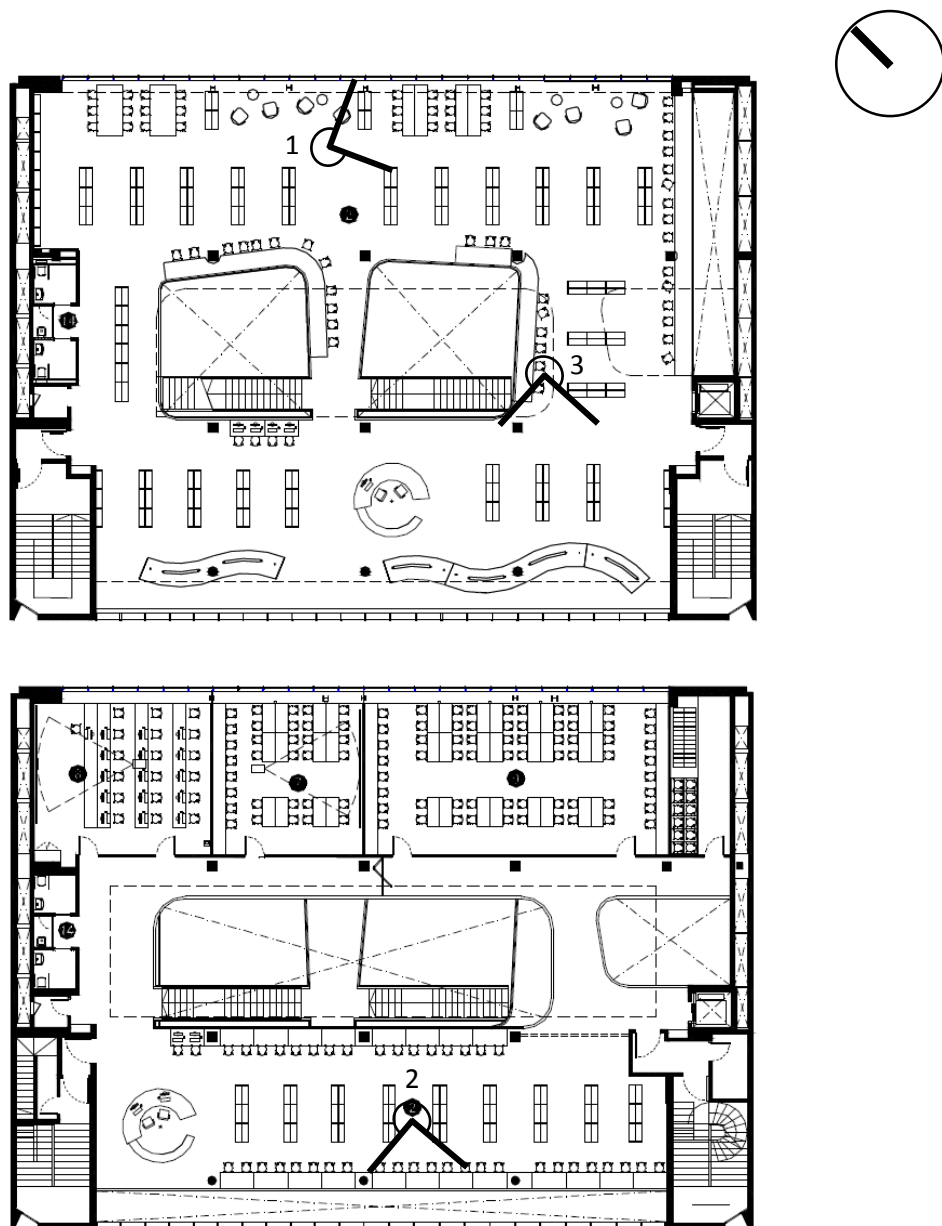


Es una moderna biblioteca inaugurada en el 2010 que se ubica en la calle Urgell de Barcelona. El estudio de arquitectos Rahola y Vidal, tuvo que agrupar en un solo edificio diversos usos ciudadanos: una guardería, una biblioteca, un centro cívico y un salón de actos. La biblioteca se desarrolla desde la tercera planta y ocupa 4 niveles, las buenas vistas al exterior, los dobles espacios y la luminosidad de los interiores son las características de este edificio.



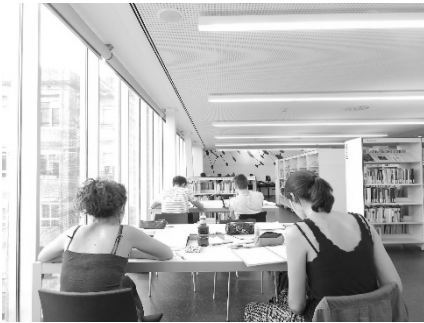
Estudio fotográfico:

La elección de cada toma fotográfica, se hizo siguiendo el criterio utilizado anteriormente, en donde se ubicaron las zonas de uso compartido, las otras de uso individual, terminando con las de circulación y estantería. La primera foto se realizó junto a la fachada noreste ya que allí se encuentran la mayor cantidad de mesas destinadas a compartir entre usuarios. La segunda foto se dirigió hacia la fachada suroeste en donde se detectó que los asientos eran ocupados por la menor cantidad de lectores y la tercera foto muestra cómo se aprecian los corredores para la búsqueda de libros desde uno de los puestos de trabajo ubicados en la parte central.



Planta del 5° nivel (arriba) y 6° nivel (abajo)

Escena BEE 1: Día: 22 de Junio / Hora: 11:00



Escena BEE 2: Zona grupal



Imagen HDR



Imagen falso color

Escena BEE 2: Día 22 de Junio / Hora: 11:20



Escena BEE 2: Zona individual



Imagen HDR

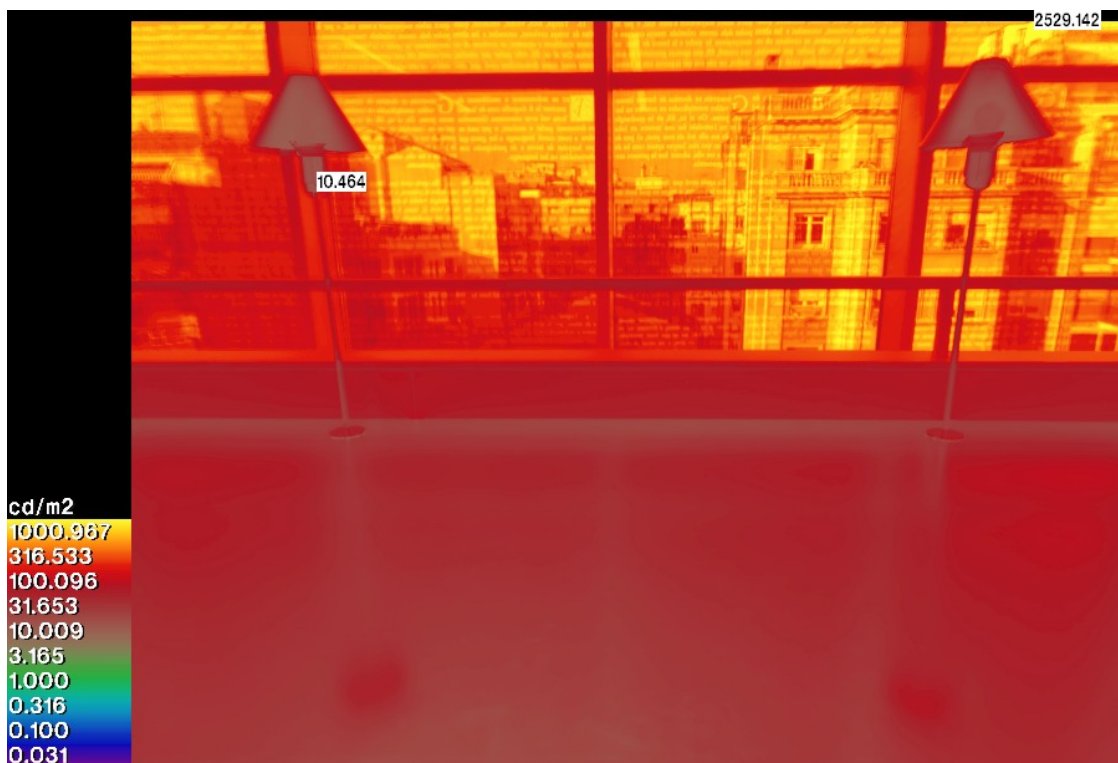


Imagen falso color

Escena BEE 3: Día 22 de Junio / Hora: 11:40



Escena BEE 3: Zona de circulación



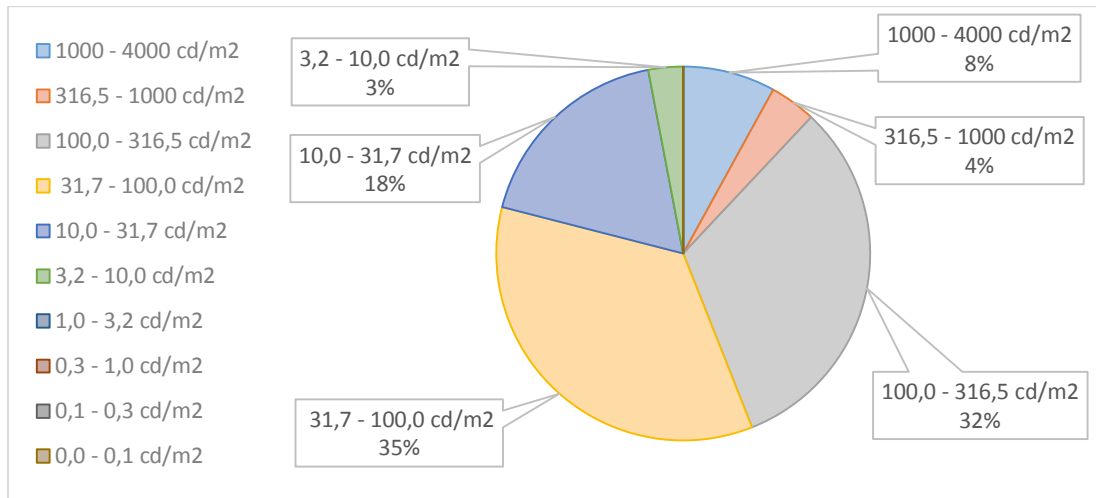
Imagen HDR



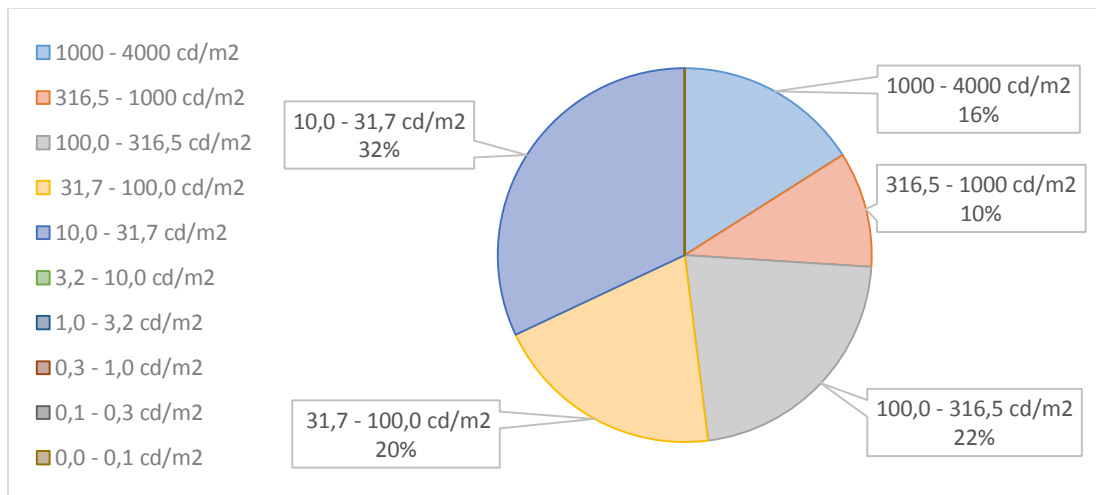
Imagen falso color

Estudio de luminancias

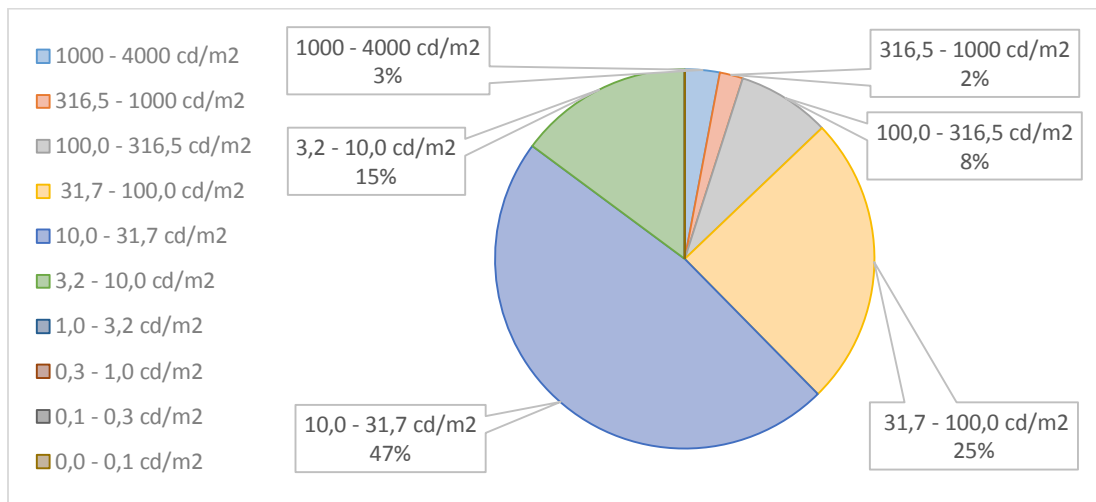
Escena BEE 1: L predominante: 31.7 – 100.0 cd/m² L promedio: 320.1 cd/m²



Escena BEE 2: L predominante: 10.0 - 31.7 cd/m² L promedio: 482.5 cd/m²

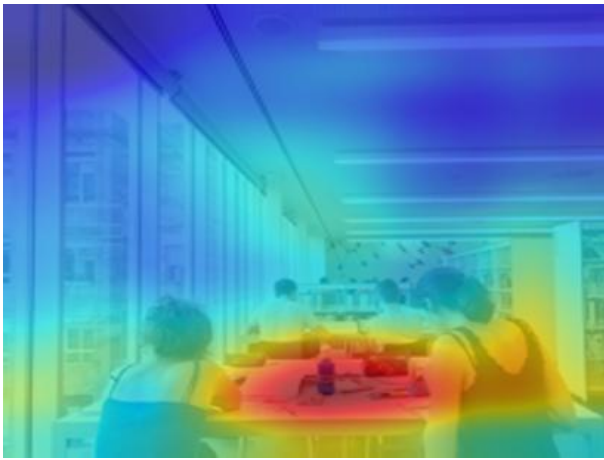


Escena BEE 3: L predominante: 10.0 - 31.7 cd/m² L promedio: 132.4 cd/m²



Estudio de reconocimiento de información en una escena por MIT

Escena BEE 1:



Predicciones:

Lugar: biblioteca

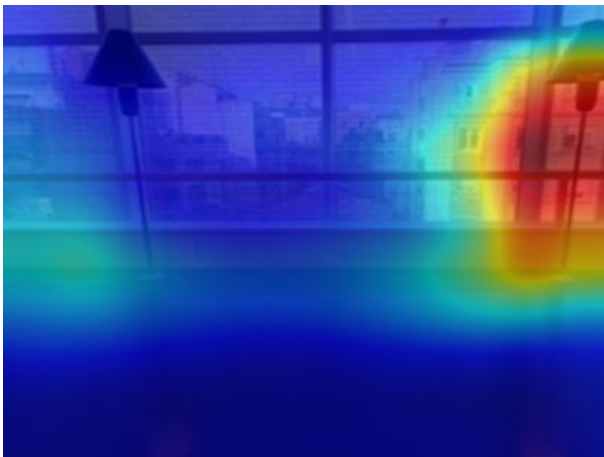
Acto: estudio

Luz: natural

Atributo: escritorio, libros

Ubicación: tercio inferior

Escena BEE 2:



Predicciones:

Lugar: oficina

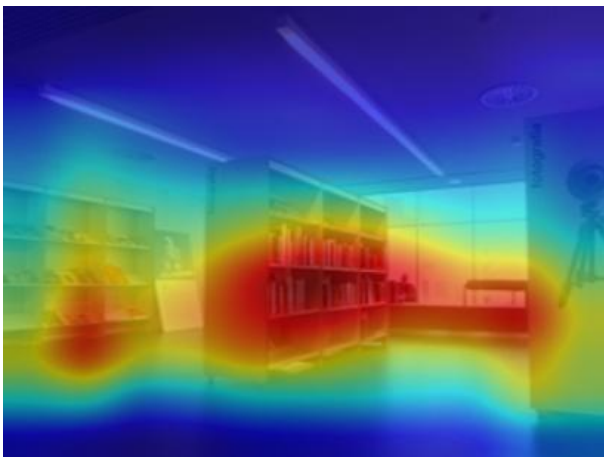
Acto: estudio

Luz: natural

Atributo: escritorio, lámpara

Ubicación: tercio medio

Escena BEE 3:



Predicciones:

Lugar: librería

Acto: estudio

Luz: natural

Atributo: escritorio, lámpara

Ubicación: tercio medio

Estudio de colorimetría

Escena BEE 1: Tercio inferior

Promedio de los componentes R, G, B: 171.235747 153.090149 163.869213

Promedio x, y del diagrama CIE: 0.338906 0.322963

Escena BEE 2: Tercio medio

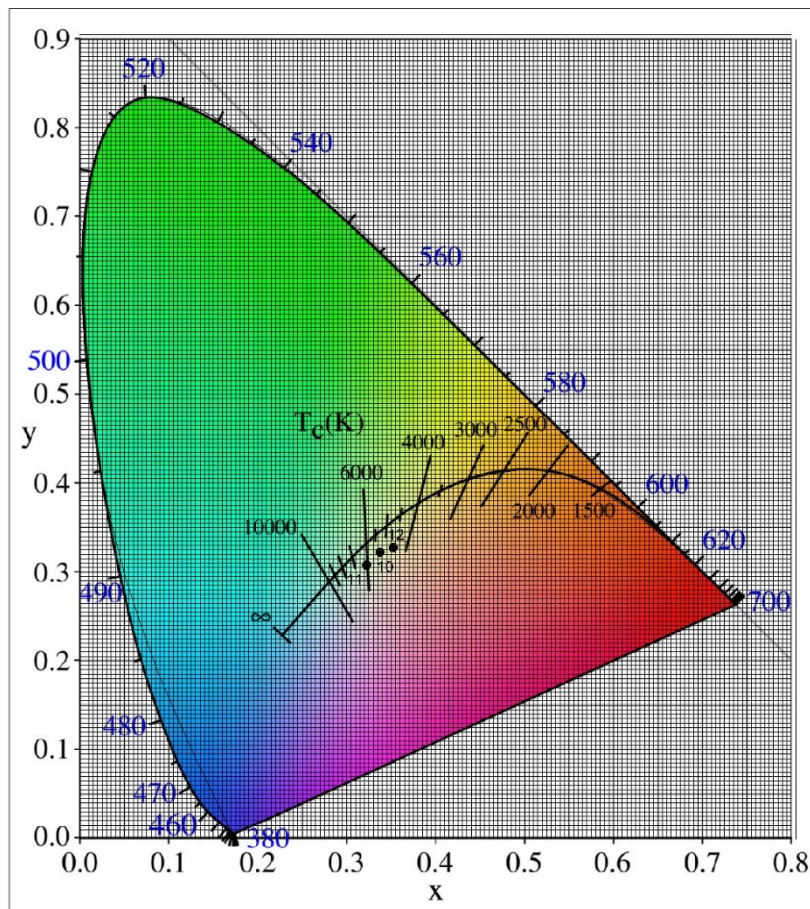
Promedio de los componentes R, G, B: 93.530393 92.436942 111.085504

Promedio x, y del diagrama CIE: 0.321880 0.308986

Escena BEE 3: Tercio medio

Promedio de los componentes R, G, B: 116.350959 93.435148 94.966243

Promedio x, y del diagrama CIE: 0.352926 0.327834



Comprobaciones:

Escena BEE 1: Fuente: Luz natural + luz artificial (fluorescente)

- Características cuantitativas:

L mínima: 1.37 cd/m² L máxima: 1570.44 cd/m² = Visión fotópica

La temperatura de color equivalente es de: 5300 K L escritorio: 220 cd/m²

El ratio entre L predominante / L máxima es = 1:25 L escritorio/ L máxima = 1:7

- Características cualitativas:

Luz difusa para homogeneizar el área de estudio grupal, donde predomina la luz natural pero se evita un posible deslumbramiento del cielo con un filtro en el vidrio.

Escena BEE 2: Fuente: Luz natural + luz artificial (fluorescente)

- Características cuantitativas:

L mínima: 10.46 cd/m² L máxima: 2529.14 cd/m² = Visión fotópica

La temperatura de color equivalente es de: 6000 K L escritorio: 100 cd/m²

El ratio entre L predominante / L máxima es = 1:130 L escritorio/L máxima= 1:25

- Características cualitativas:

Luz uniforme proveniente del exterior, sin embargo en el área de estudio se añade luz artificial cálida reflejada en una superficie negra para evitar el deslumbramiento.

Escena BEE 3: Fuente: Luz natural + luz artificial (fluorescente)

- Características cuantitativas:

L mínima: 2.22 cd/m² L máxima: 3123.67 cd/m² = Visión fotópica

La temperatura de color equivalente es de: 4800 K L escritorio: 200 cd/m²

El ratio entre L predominante / L máxima es = 1:150 L escritorio/L máxima= 1:16

- Características cualitativas:

Luz difusa sobre los pasillos que sirve para iluminar los libros, donde se observa que el piso negro ayuda a evitar el deslumbramiento reflejado.

4.3. Exposiciones

4.3.1. Centro de la Imagen La Virreina: Writing Diffraction

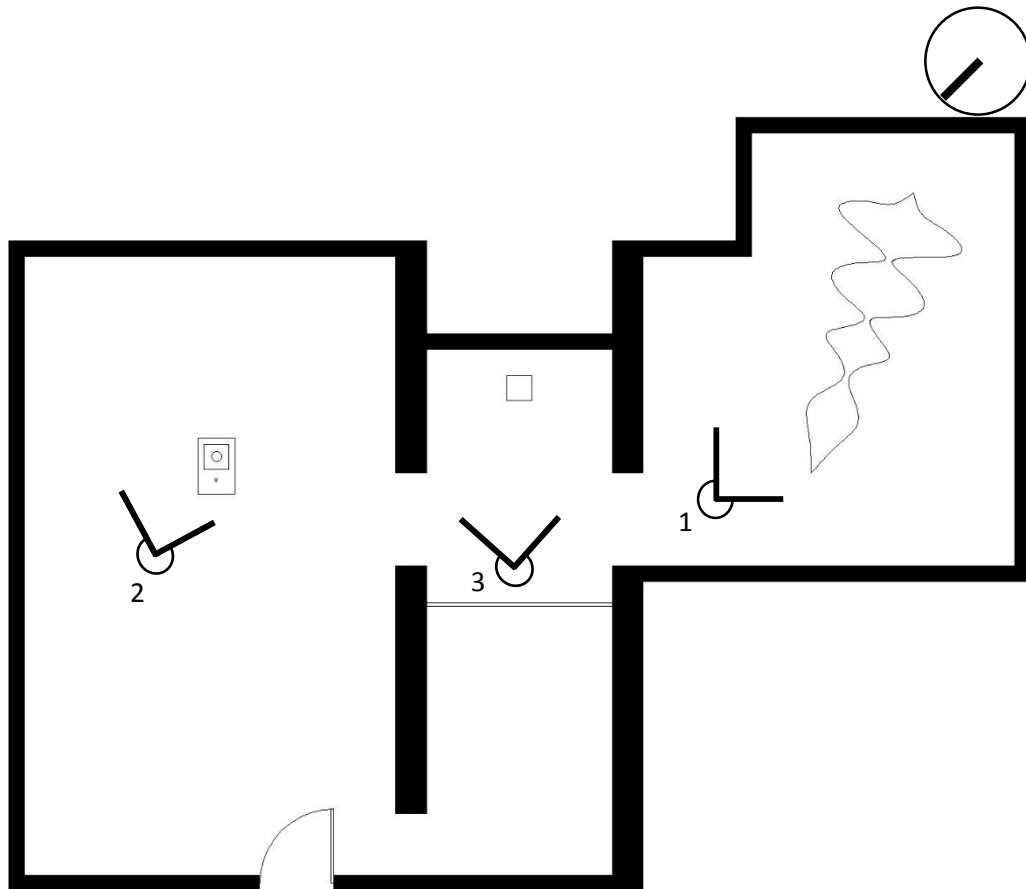


El Palacio de la Virreina se encuentra en el barrio del Raval, construida en 1778, fue casa del Virrey del Perú Manuel d'Amat. Desde el año 2007 es sede del Centro de la Imagen con la misión de generar un espacio para explorar el universo de la imagen. En el marco de LOOP 2015 la Fundação Leal Rios de Lisboa presenta una exposición colectiva titulada Writing Diffraction, que reúne a los artistas, en el orden según mostraremos sus obras: Angela Detanico, Rafael Lain con la obra titulada Odyssey winds; Francisco Tropa con la instalación Demonstration of Diffraction Using Water Waves y André Romão con el video Looking. Todos son relevantes por explorar la luz en la penumbra.



Estudio fotográfico

La exposición Writing Diffraction se realizó en la planta baja del Palacio de la Virreina. A ella se accede desde una primera sala grande en donde se encuentra la obra de Francisco Tropa, que consiste en la proyección de una luz reflejada en un espejo que emite una lámpara cálida a través de un depósito de agua. Luego de una minuciosa observación del artilugio por parte de los visitantes a esta primera sala, se anotó que es aquí donde pasaban la mayor parte del tiempo contemplando la luz sobre la pared. La segunda sala, la más pequeña, con el video de André Romão sólo cuenta con un televisor con la imagen de un ojo con la pupila dilatada que parpadea repetida e indefinidamente, la cual proyecta una luz fría que produce una sensación perturbadora, motivo por el cual, los visitantes pasan la menor cantidad de tiempo. Por último en la tercera sala se encuentra la mayor de las instalaciones de Angela Detanico y Rafael Lain, que consiste en una silueta de sal blanca iluminada con una luz cálida, que produce que la contemplación sea placentera e incluso invita a interactuar con ella generando un recorrido alrededor de la misma. El orden de las fotografías se decidió empezando con la sala que tiene el nivel lumínico más alto.



Planta de distribución de salas

Escena CIV 1: Día 27 de Junio / Hora: 15:20



Escena CIV 1: Odyssey winds - Ángela Detanico y Rafael Lain



Imagen HDR

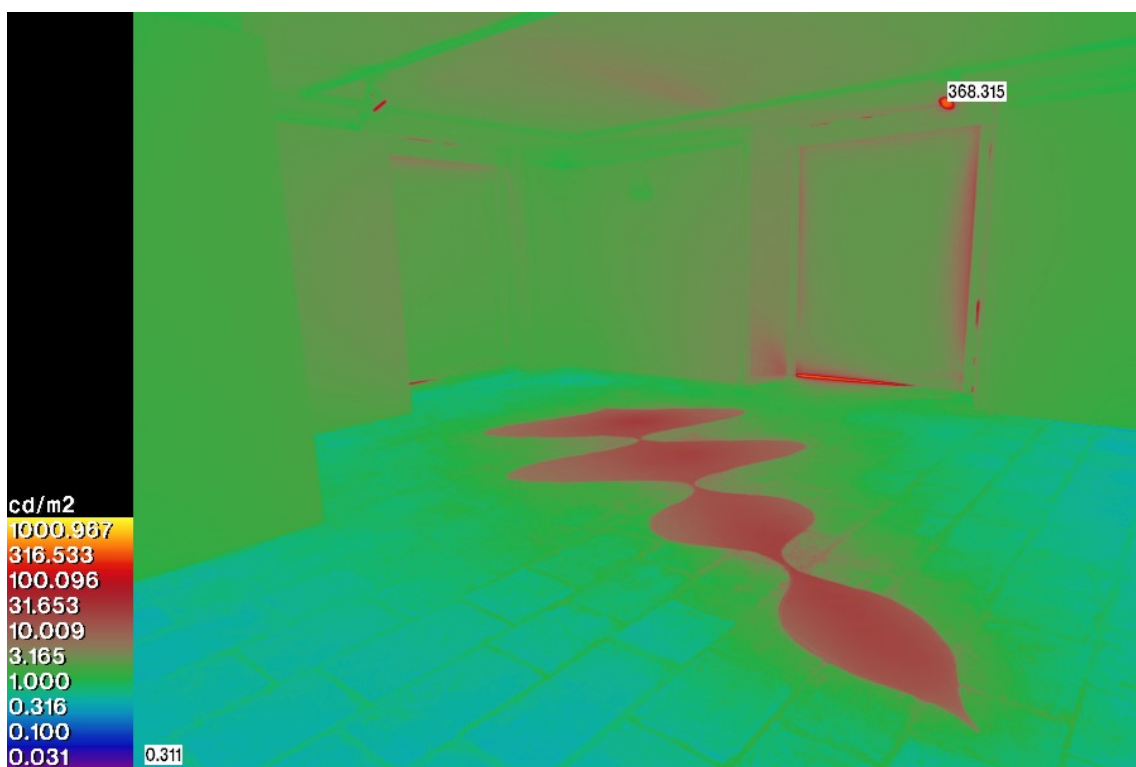
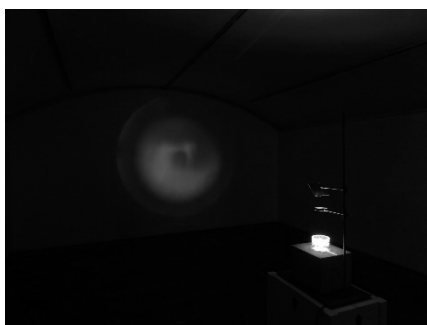
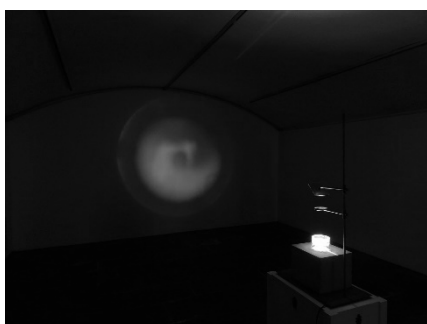
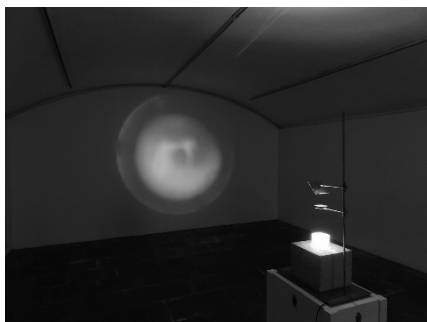
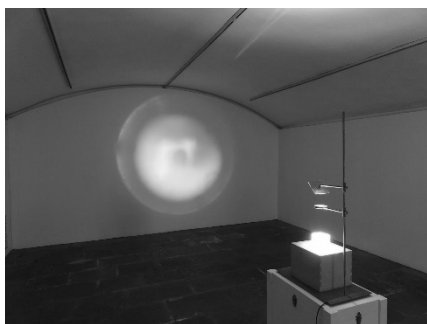


Imagen falso color

Escena CIV 2: Día 27 de Junio / Hora: 15:40



Escena CIV 2: Demonstration of Diffraction Using Water Waves - Francisco Tropa



Imagen HDR

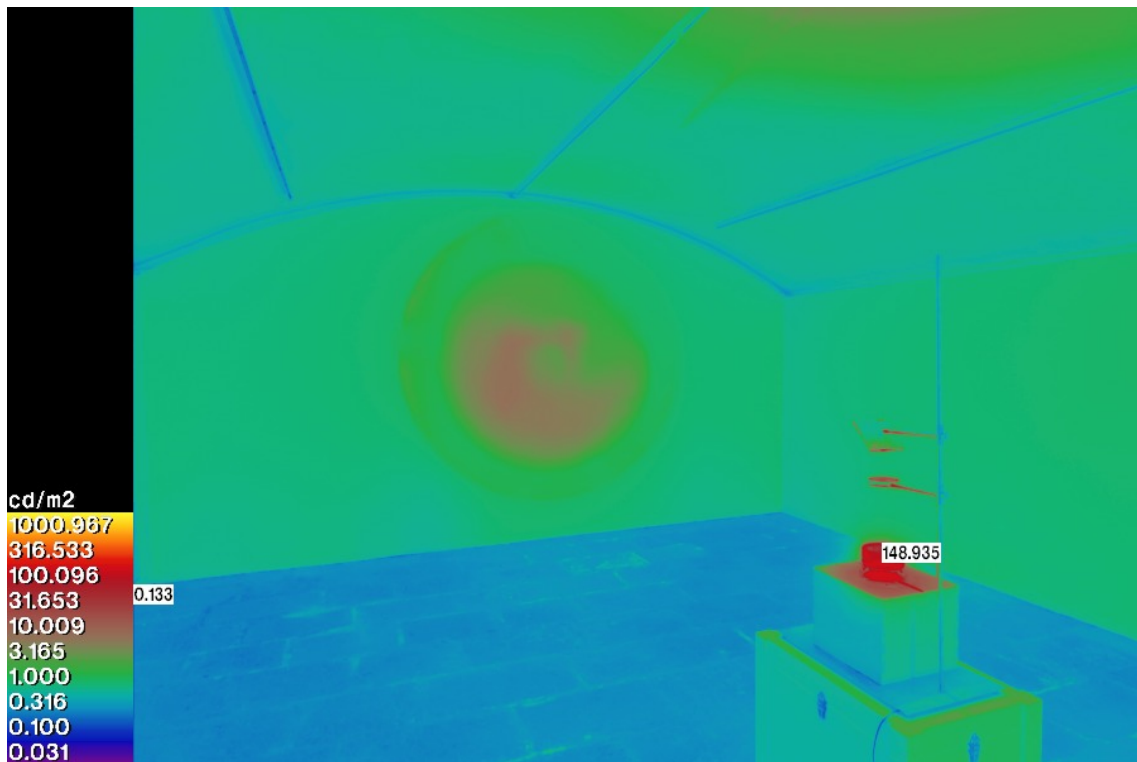
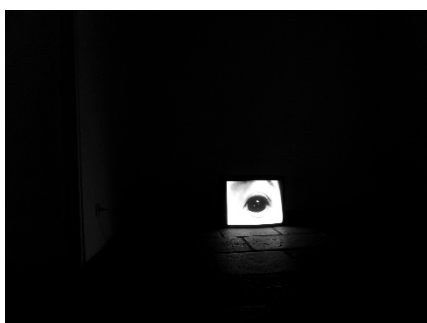
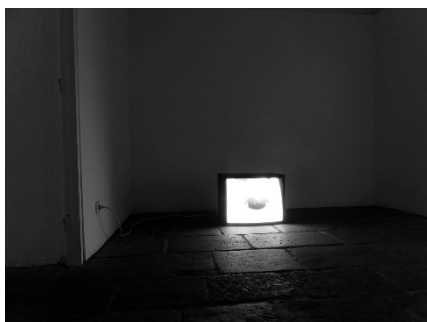


Imagen falso color

Escena CIV 3: Día 27 de Junio / Hora: 16:20



Escena CIV 3: Looking - André Romão



Imagen HDR

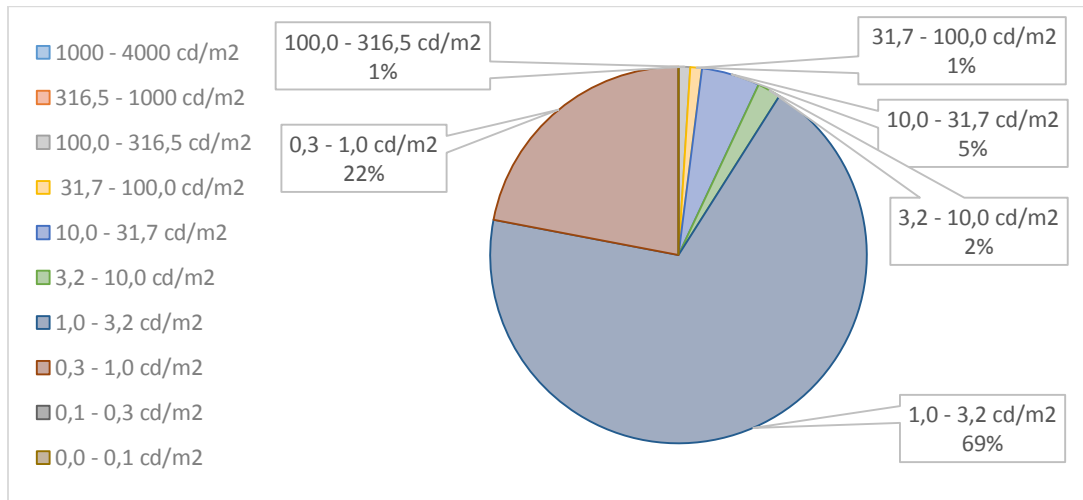


Imagen falso color

Estudio de luminancias

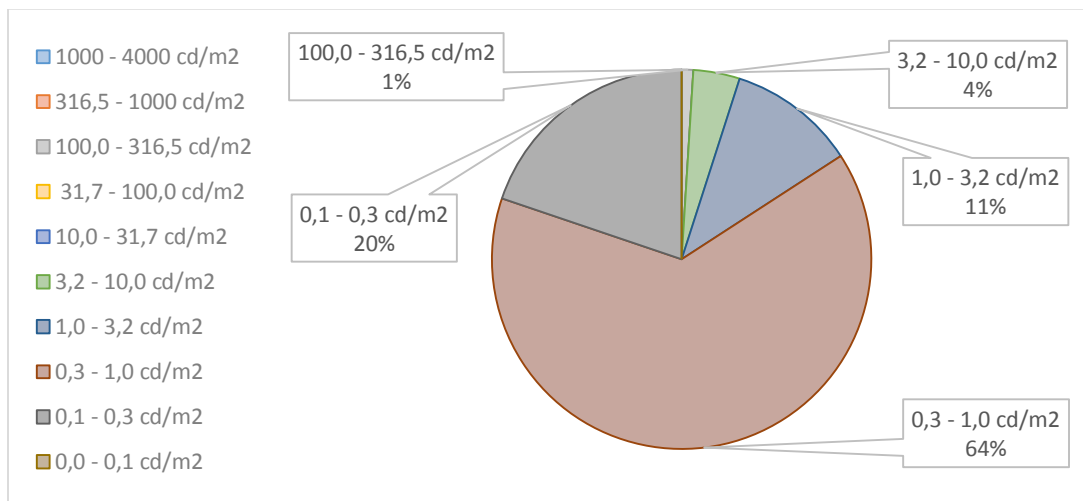
Escena CIV 1: L predominante: 1.0 – 3.2 cd/m²

L promedio: 5.5 cd/m²



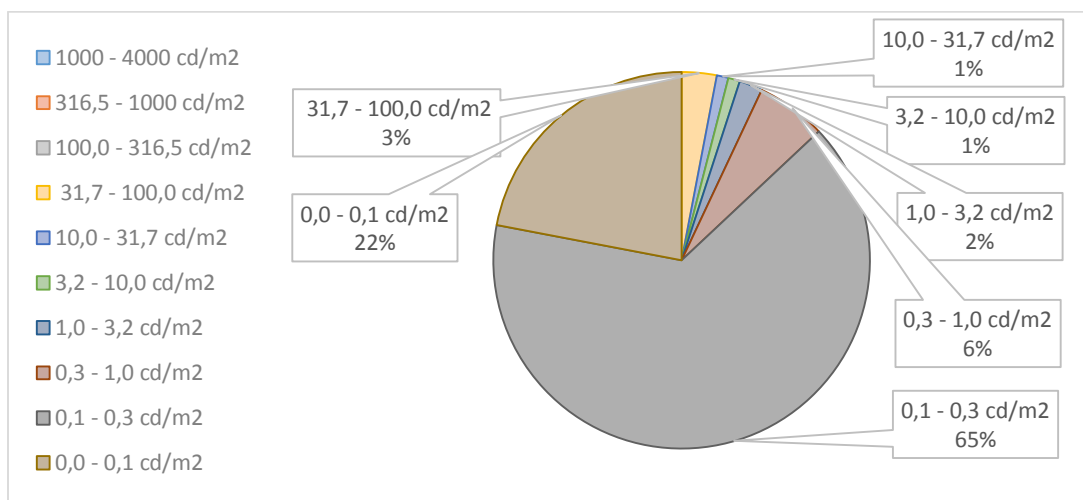
Escena CIV 2: L predominante: 0.3 – 1.0 cd/m²

L promedio: 3.0 cd/m²



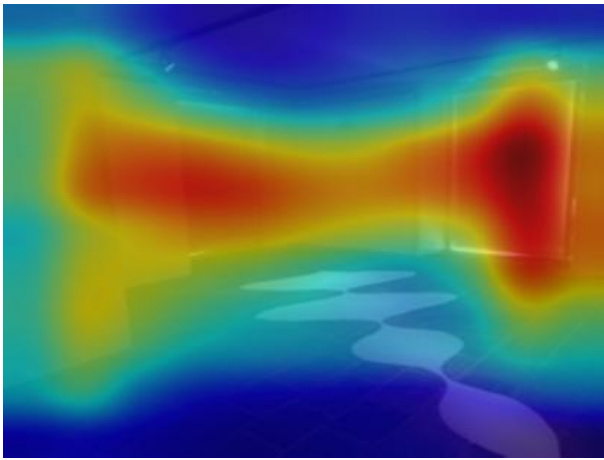
Escena CIV 3: L predominante: 0.1 – 0.3 cd/m²

L promedio: 2.5 cd/m²



Estudio de reconocimiento de información en una escena por MIT

Escena CIV 1:



Predicciones:

Lugar: Galería de arte

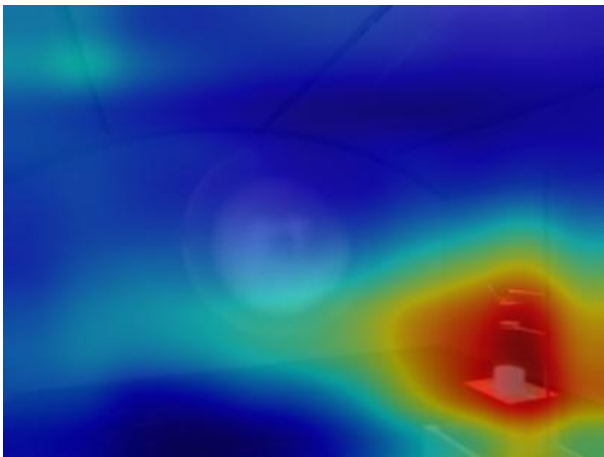
Acto: ver

Luz: artificial

Atributo: paredes

Ubicación: tercio medio

Escena CIV 2:



Predicciones:

Lugar: Galería de arte

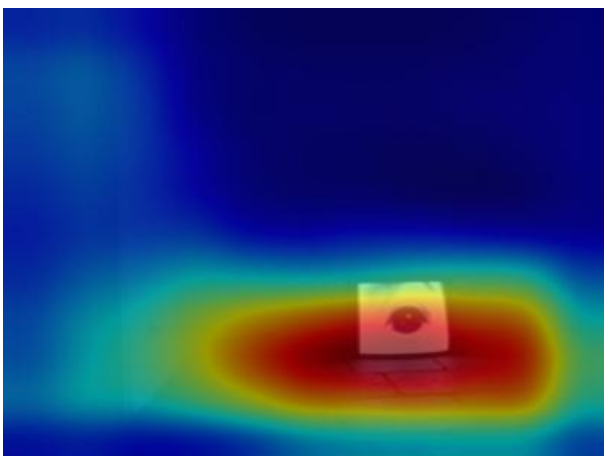
Acto: ver

Luz: artificial

Atributo: arte

Ubicación: tercio inferior

Escena CIV 3:



Predicciones:

Lugar: Estar

Acto: ver

Luz: artificial

Atributo: televisor

Ubicación: tercio inferior

Estudio de colorimetría

Escena CIV 1: Tercio medio

Promedio de los componentes R, G, B: 85.429806 47.849052 41.464787

Promedio x, y del diagrama CIE: 0.403777 0.338197

Escena CIV 2: Tercio inferior

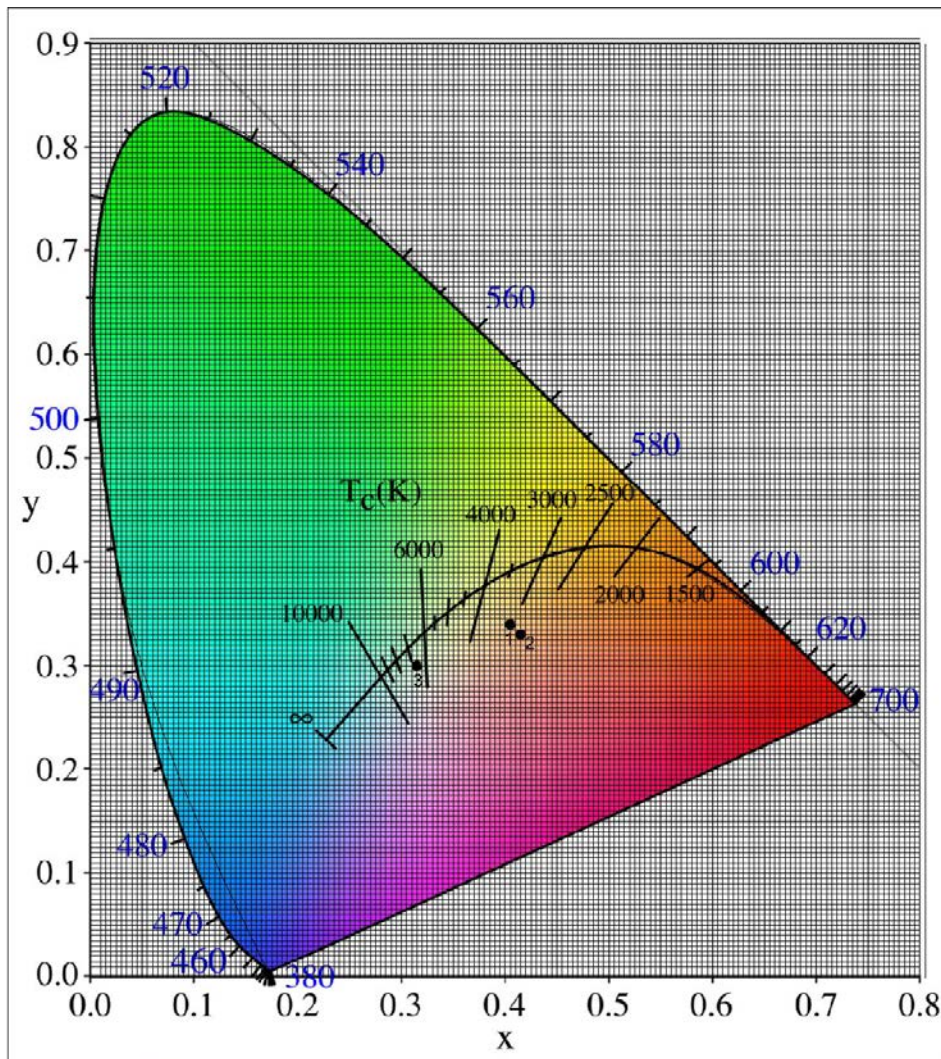
Promedio de los componentes R, G, B: 0.632519 20.485919 8.707533

Promedio x, y del diagrama CIE: 0.412344 0.330297

Escena CIV 3: Tercio inferior

Promedio de los componentes R, G, B: 9.353795 8.710669 11.637436

Promedio x, y del diagrama CIE: 0.319574 0.294451



Comprobaciones:

Escena CIV 1: Fuente: Luz artificial (halogenuro metálico)

- Características cuantitativas:

L mínima: 0.31 cd/m^2 L máxima: 368.3 cd/m^2 = Visión mesópica

La temperatura de color equivalente es de: 3000 K L arte: 32 cd/m^2

El ratio entre L predominante / L máxima es = $1:150$ L arte / L máxima = $1:11$

- Características cualitativas:

Luz cálida, dirigida y uniforme sobre el objeto de interés. La escultura de sal resalta por tener un reflejo difuso de la luz cuya luminancia sólo es superada por la lámpara.

Escena CIV 2: Fuente: Luz artificial (incandescente)

- Características cuantitativas:

L mínima: 0.13 cd/m^2 L máxima: 148.9 cd/m^2 = Visión mesópica

La temperatura de color equivalente es de: 2600 K L arte: 12 cd/m^2

El ratio entre L predominante / L máxima es = $1:150$ L arte / L máxima = $1:12$

- Características cualitativas:

Luz cálida, filtrada y difusa sobre una pared, en donde el objeto de culto es la propia luz reflejada y la amplia penumbra que se genera alrededor de los observadores.

Escena CIV 3: Fuente: Luz artificial (Pantalla de televisor)

- Características cuantitativas:

L mínima: 0.05 cd/m^2 L máxima: 91.7 cd/m^2 = Visión mesópica

La temperatura de color equivalente es de: 7000 K L tv: 90 cd/m^2

El ratio entre L predominante / L máxima es = $1:450$ L tv / L máxima = $1:1$

- Características cualitativas:

Luz fría y difusa cuya fuente es una imagen que pretende ser en si misma perturbadora utilizando altos contrastes con la luz blanca y la eliminación de colores.

4.3.2. Caixa Forum Barcelona: Retrospectiva de Alvar Alto

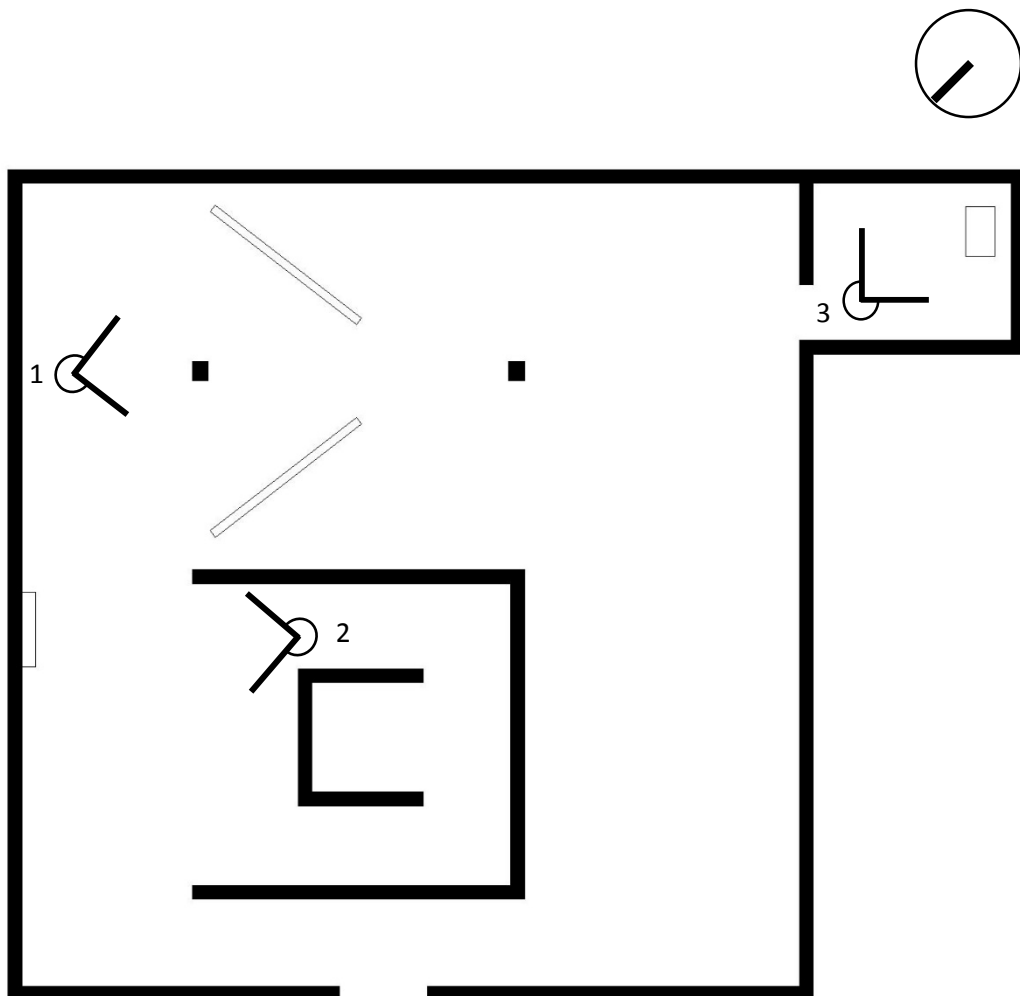


La Caixa Forum Barcelona, está ubicado en una antigua fábrica textil de principios del siglo XX, diseñada por el arquitecto Puig i Cadafalch. La Caixa adquiere este edificio para otorgarle una función social, cultural y educativa. En 2002 se realiza la restauración y ampliación a cargo de los arquitectos Arata Isozaki, Francisco Javier Asarta, Roberto Luna y Robert Brufau. La muestra presenta una amplia panorámica de la vida y producción del arquitecto finlandés Alvar Alto a través de fotos, maquetas, dibujos, muebles y lámparas.



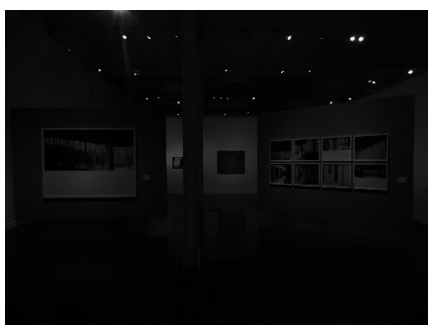
Estudio fotográfico

La Caixa Forum cuenta con diversas salas de exposiciones, una de ellas, en la primera planta se ha alojado la retrospectiva de Alvar Alto. En ella se ha identificado 3 zonas con distinto nivel lumínico, la primera fotografía fue tomada desde la sala más amplia en la que se pueden encontrar las obras más emblemáticas del arquitecto y también donde se ha observado una mayor luminancia promedio. La segunda se ubica en la parte inicial del recorrido en donde se acentúan con la luz algunas obras aisladas que corresponden a los inicios en la obra de Alto, mientras que la tercera, se encuentra en un recinto aislado en donde todas las superficies han sido pintadas de negro para destacar un dibujo enmarcado y una vitrina que muestra el diseño del pabellón finlandés para la Exposición Universal de Nueva York de 1939.



Planta de distribución de salas

Escena CFB 1: Día 24 de Junio / Hora: 16:00



Escena CFB 1: Zona grupal, principal

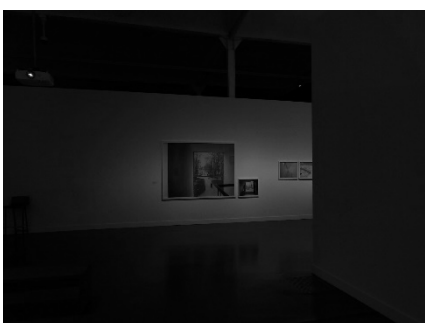
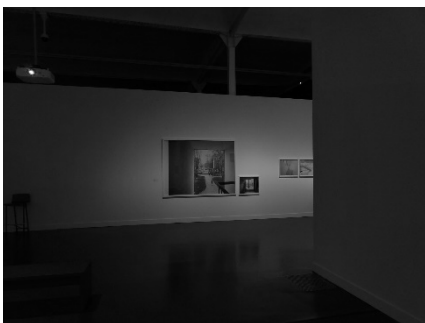


Imagen HDR



Imagen falso color

Escena CFB 2: Día 24 de Junio / Hora: 16:20



Escena CFB 2: Zona grupal, secundaria



Imagen HDR

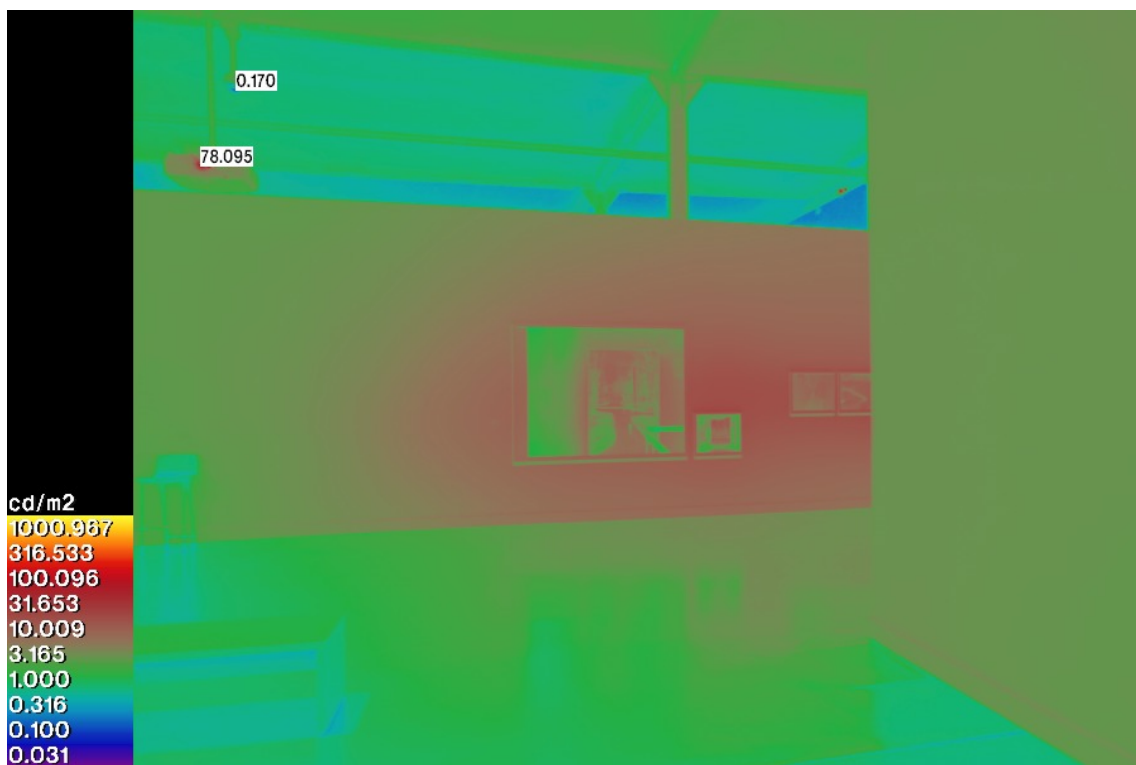
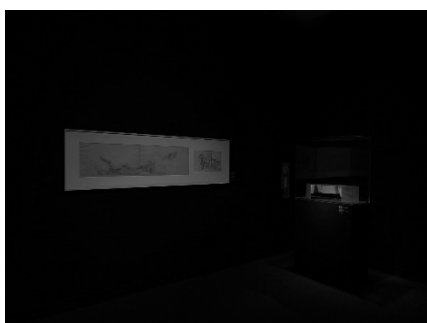


Imagen falso color

Escena CFB 3: Día 24 de Junio / Hora: 16:40



Escena CFB 3: Zona individual



Imagen HDR

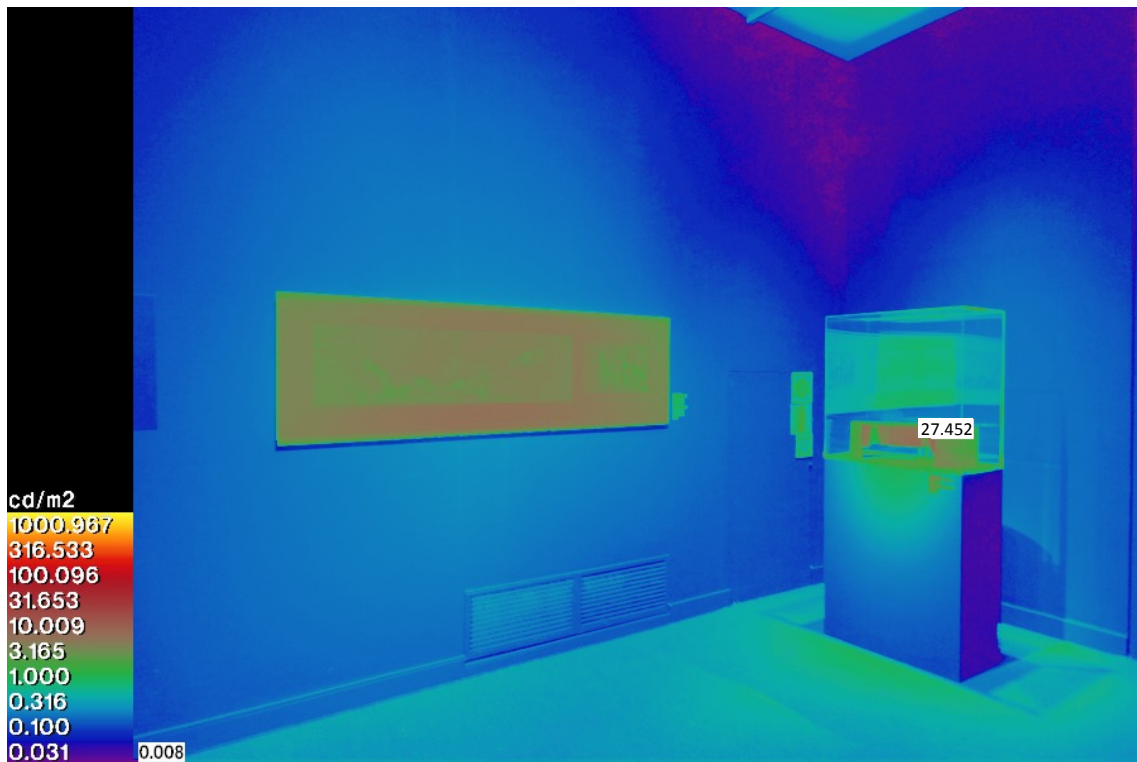
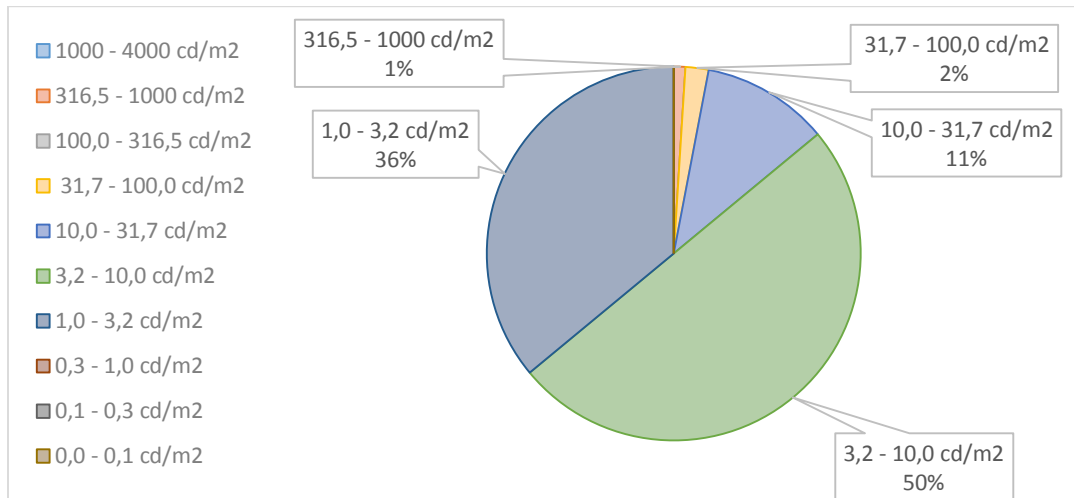


Imagen falso color

Estudio de luminancias

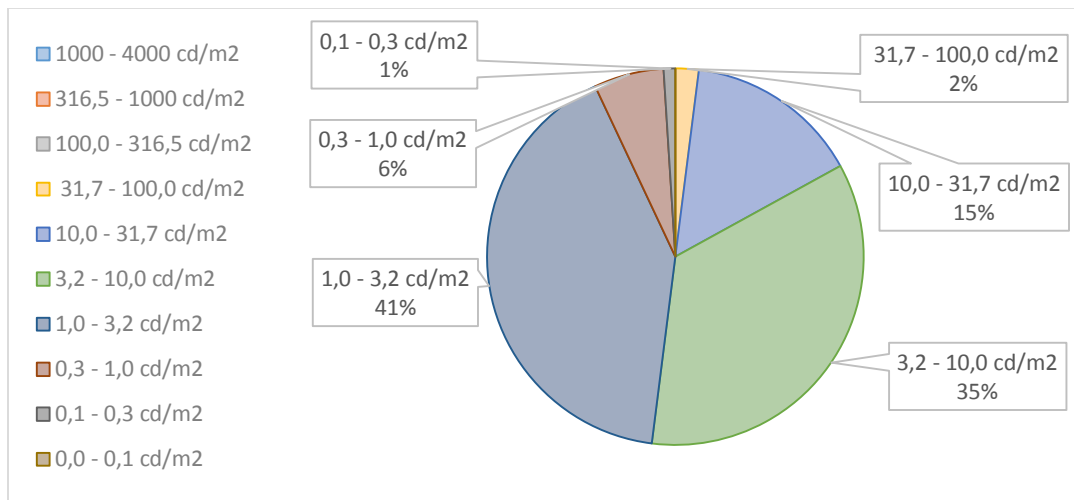
Escena CFB 1: L predominante: 3.2 – 10.0 cd/m²

L promedio: 13.7 cd/m²



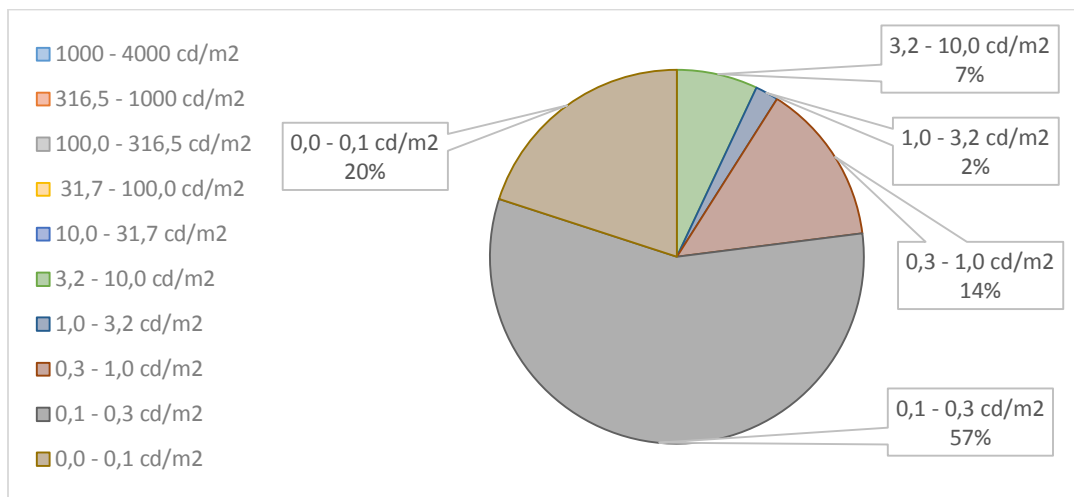
Escena CFB 2: L predominante: 1.0 – 3.2 cd/m²

L promedio: 7.6 cd/m²



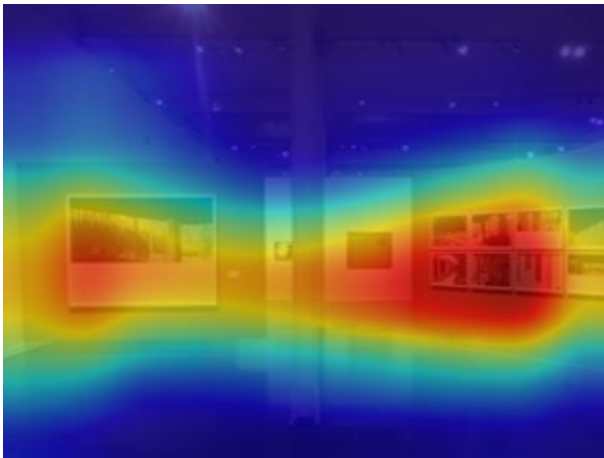
Escena CFB 3: L predominante: 0.1 – 0.3 cd/m²

L promedio: 0.7 cd/m²



Estudio de reconocimiento de información en una escena por MIT

Escena CFB 1:



Predicciones:

Lugar: Galería de arte

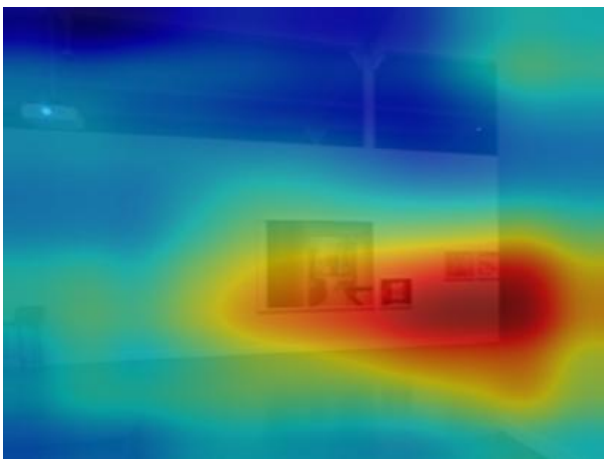
Acto: ver

Luz: artificial

Atributo: cuadros

Ubicación: tercio medio

Escena CFB 2:



Predicciones:

Lugar: Galería de arte

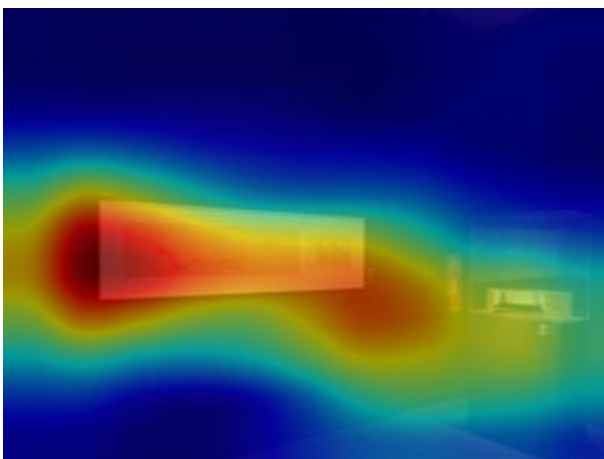
Acto: ver

Luz: artificial

Atributo: cuadros

Ubicación: tercio medio

Escena CFB 3:



Predicciones:

Lugar: Galería de arte

Acto: ver

Luz: artificial

Atributo: cuadros

Ubicación: tercio medio

Estudio de colorimetría

Escena CFB 1

Promedio de los componentes R, G, B: 124.385528 68.757841 50.057320

Promedio x, y del diagrama CIE: 0.417681 0.354890

Escena CFB 2

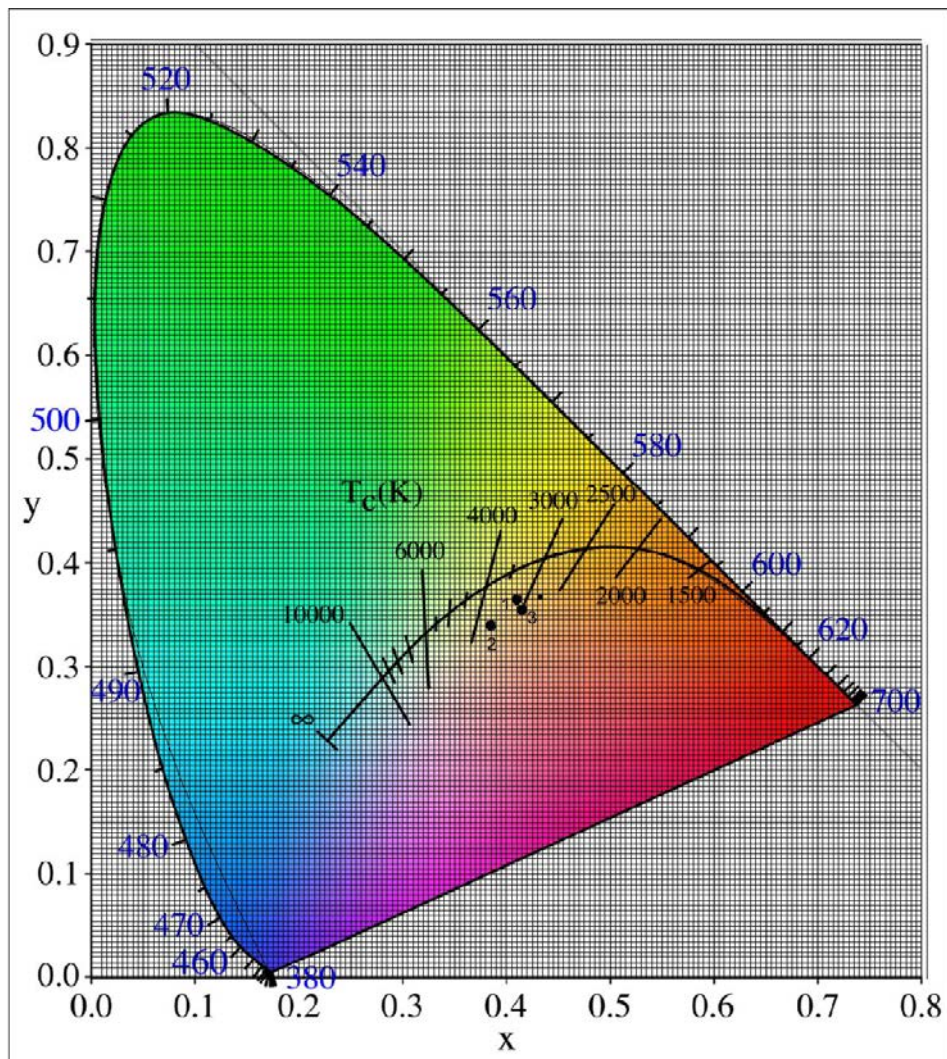
Promedio de los componentes R, G, B: 73.206318 48.257320 42.5173748

Promedio x, y del diagrama CIE: 0.383990 0.340482

Escena CFB 3

Promedio de los componentes R, G, B: 32.783631 18.950367 12.897707

Promedio x, y del diagrama CIE: 0.416901 0.362760



Comprobaciones:

Escena CFB 1: Fuente: Luz artificial (halogenuro metálico)

- Características cuantitativas:

L mínima: 0.35 cd/m² L máxima: 367.8 cd/m² = Visión mesópica

La temperatura de color equivalente es de: 3100 K L cuadro: 72 cd/m²

El ratio entre L predominante / L máxima es = 1:55 L cuadro / L máxima = 1:5

- Características cualitativas:

Luz cálida y difusa debido a las múltiples fuentes dirigidas a diversos puntos, se observan contraste lumínicos entre las imágenes y las superficies que las soportan.

Escena CFB 2: Fuente: Luz artificial (halogenuro metálico)

- Características cuantitativas:

L mínima: 0.17 cd/m² L máxima: 78.1 cd/m² = Visión mesópica

La temperatura de color equivalente es de: 3500 K L cuadro: 42 cd/m²

El ratio entre L predominante / L máxima es = 1:39 L cuadro / L máxima = 1:2

- Características cualitativas:

Luz cálida y dirigida, que jerarquiza una imagen por tamaño y contraste de luminancia mientras que las otras imágenes que se mimetizan con las luminancias de soporte.

Escena CFB 3: Fuente: Luz artificial (halogenuro metálico)

- Características cuantitativas:

L mínima: 0.01 cd/m² L máxima: 27.5 cd/m² = Visión mesópica

La temperatura de color equivalente es de: 3000 K L cuadro: 22 cd/m²

El ratio entre L predominante / L máxima es = 1:37 L cuadro / L máxima = 1:1

- Características cualitativas:

Luz cálida y dirigida sobre los objetos de culto en pared y urna, los cuales destacan por un marcado contraste de luminancias con el entorno que lo envuelve.

4.4. ZONAS ARQUEOLÓGICAS

4.4.1. Ciudad romana Baetulo – Badalona



El Museo de Badalona alberga 3400 m² de restos arqueológicos de la ciudad romana Baetulo, ubicados en el subsuelo del edificio. En el 2011 el proyecto fue concebido como una inmersión en el interior de la ciudad romana, potenciada por una iluminación escenográfica que estuvo a cargo del arquitecto Jordi Moya.



Estudio fotográfico

El centro arqueológico tiene un recorrido al cual se accede desde el vestíbulo del Museo de Badalona. Al descender por las escaleras empieza el proceso de adaptación a la oscuridad, rápidamente identificamos la circulación a través de un puente metálico cuya superficie está iluminada con una luz azul, la cual nos guiará por todo el recinto. La primera fotografía nos muestra uno de los lugares en donde ese recorrido se ensancha e invita al detenimiento y la contemplación de una de las zonas más iluminadas dentro de la ciudad romana. La segunda fotografía nos enseña como el sendero pasa por encima de las ruinas diferenciándose claramente por el color de la luz a pesar de tener una menor intensidad lumínica. Por último la tercera fotografía refleja una constante a través de todo el circuito, la iluminación cálida, puntual y contrastada sobre los vestigios de la historia romana que oculta la infraestructura moderna que soporta los niveles superiores del museo.



Planta de sótano del museo

Escena CRB 1: Día 21 de Julio / Hora: 10:30



Escena CRB 1: Zona individual



Imagen HDR

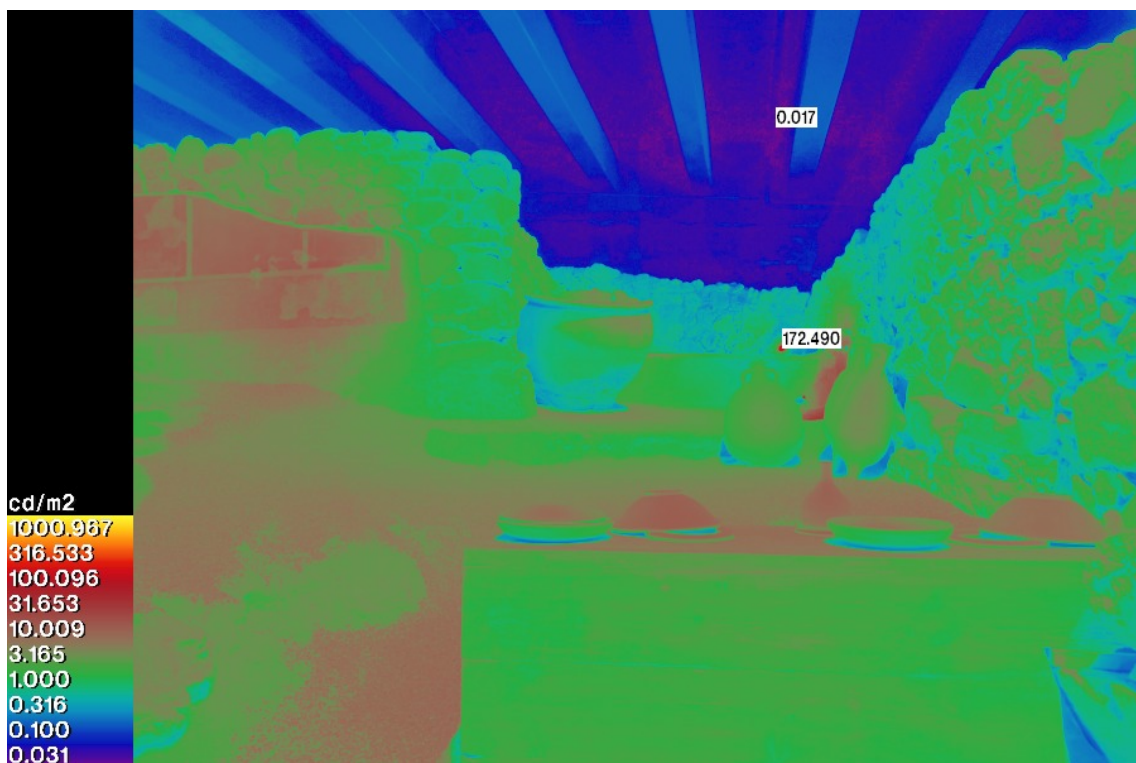
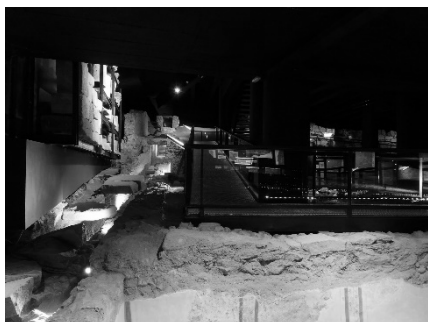
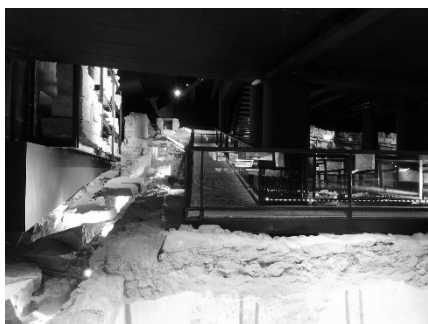


Imagen falso color

Escena CRB 2: Día 21 de Julio / Hora: 10:40



Escena CRB 2: Zona individual

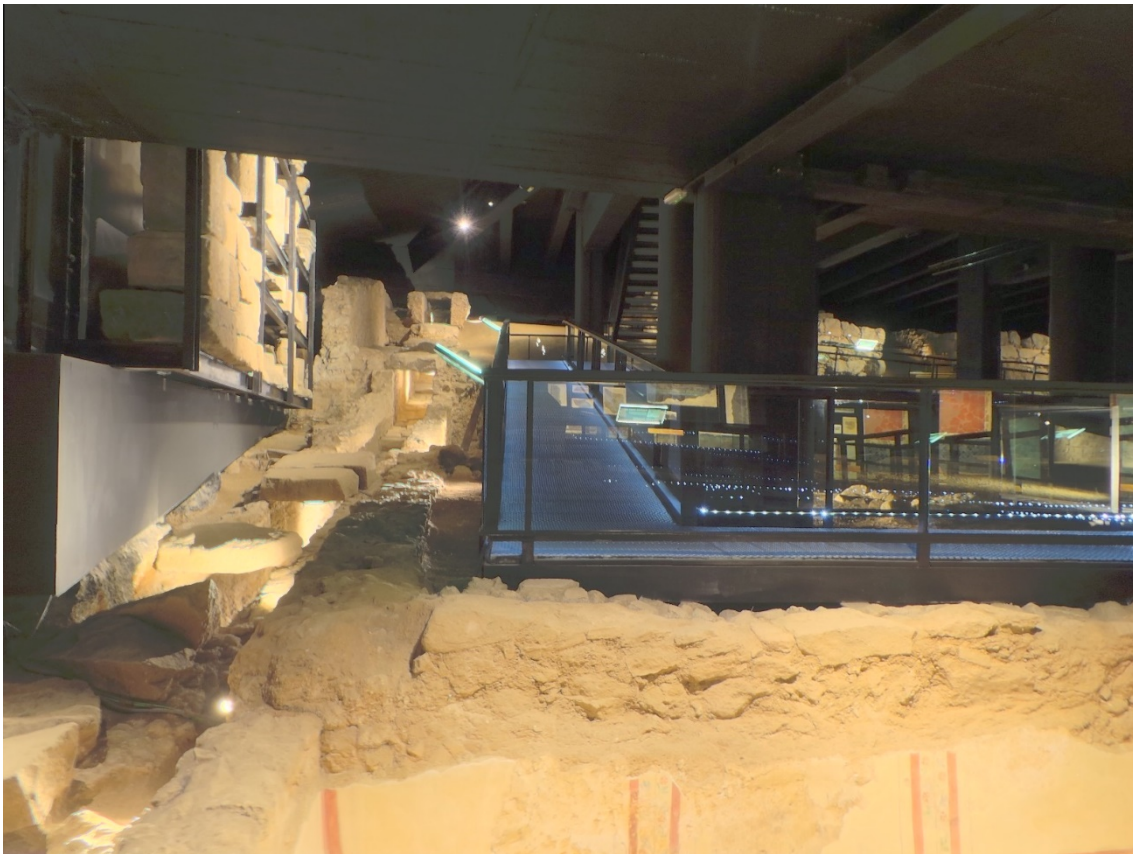


Imagen HDR



Imagen falso color

Escena CRB 3: Día 21 de Julio / Hora: 10:50



Escena CRB 3: Zona individual



Imagen HDR

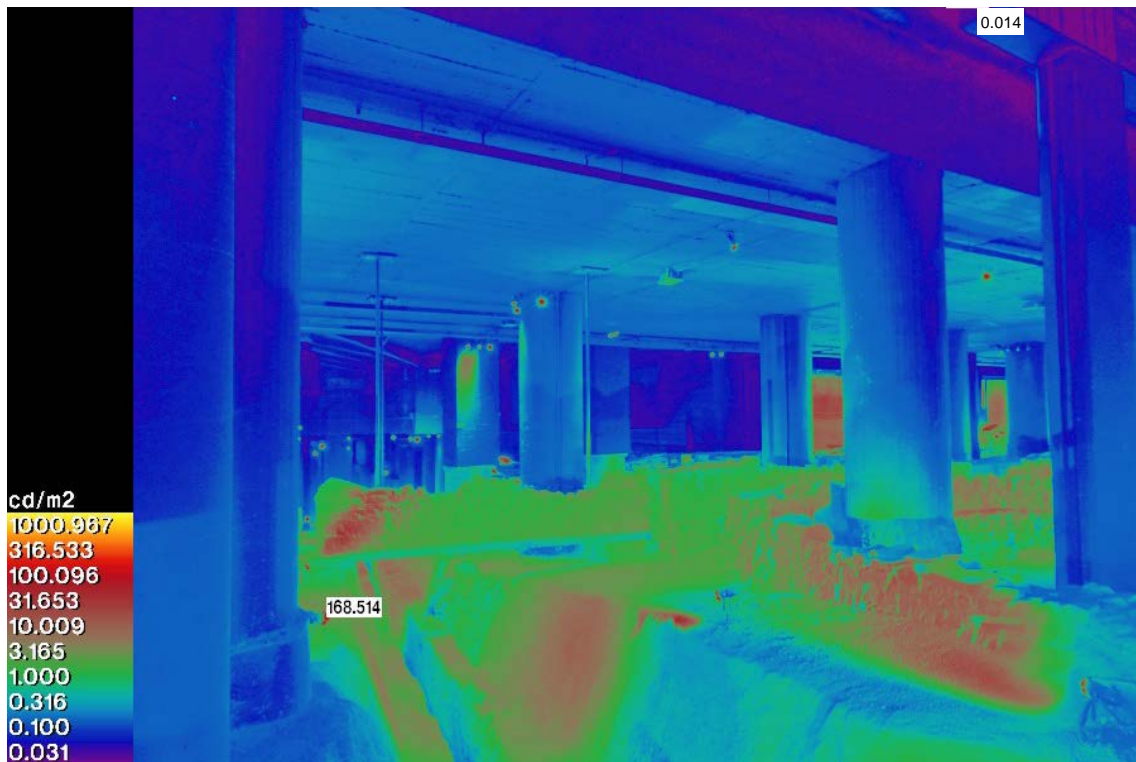
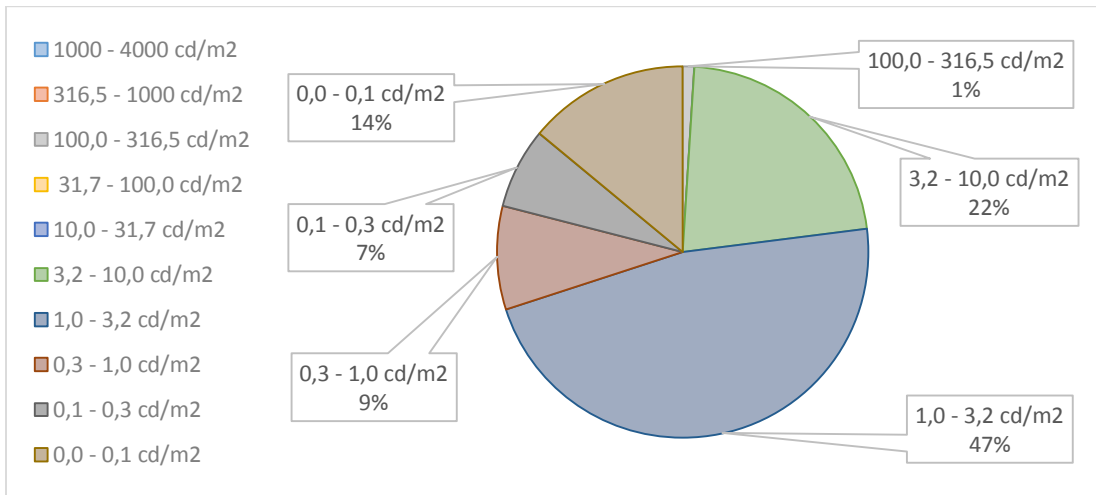


Imagen falso color

Estudio de luminancias

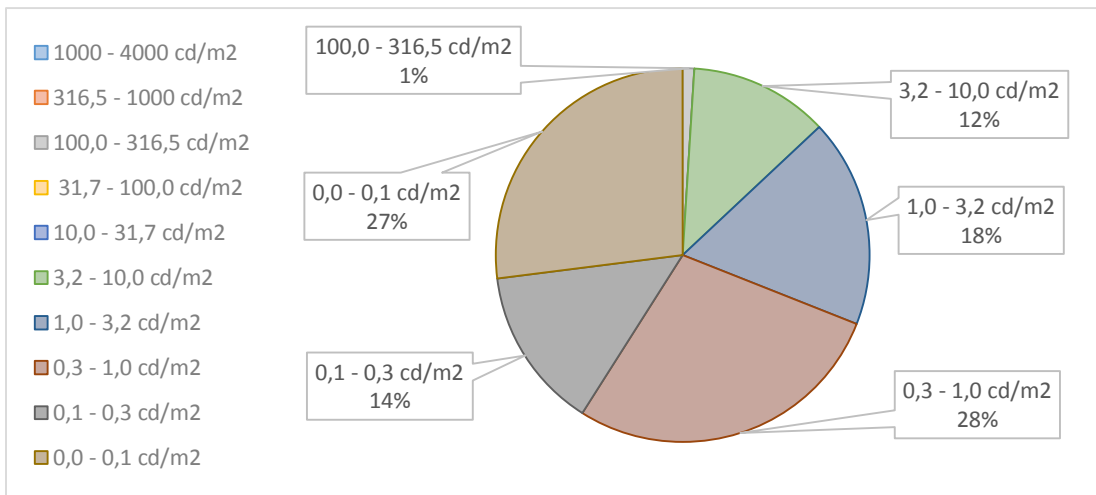
Escena CRB 1: L predominante: 1.0 – 3.2 cd/m²

L promedio: 4.6 cd/m²



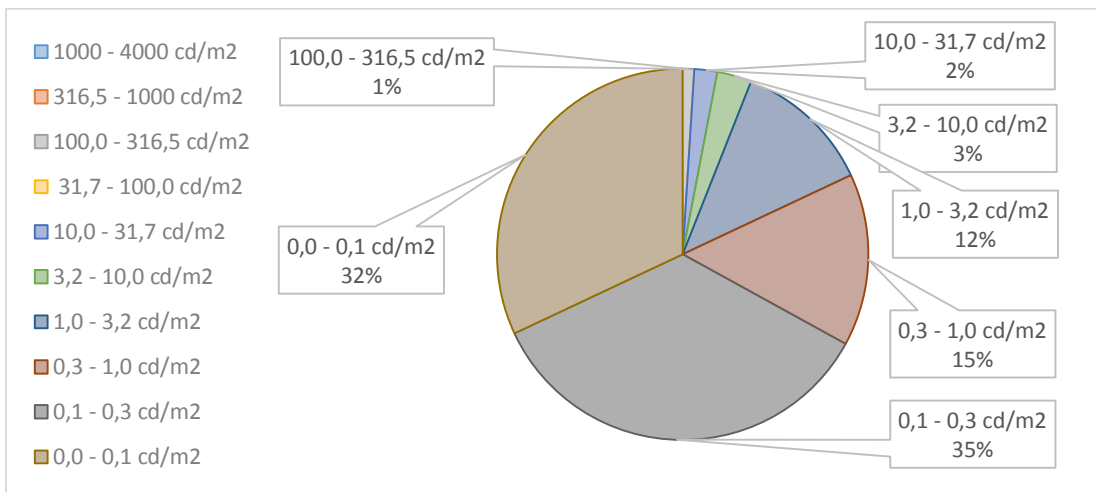
Escena CRB 2: L predominante: 0.3 – 1.0 cd/m²

L promedio: 3.5 cd/m²



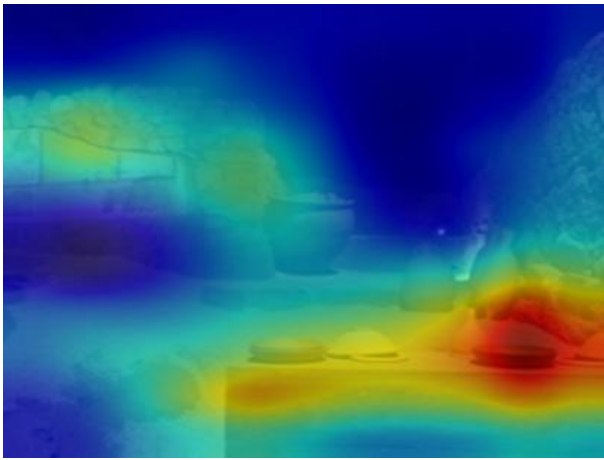
Escena CRB 2: L predominante: 0.1 - 0.3 cd/m²

L promedio: 3.1 cd/m²



Estudio de reconocimiento de información en una escena por MIT

Escena CRB 1:



Predicciones:

Lugar: Ruinas

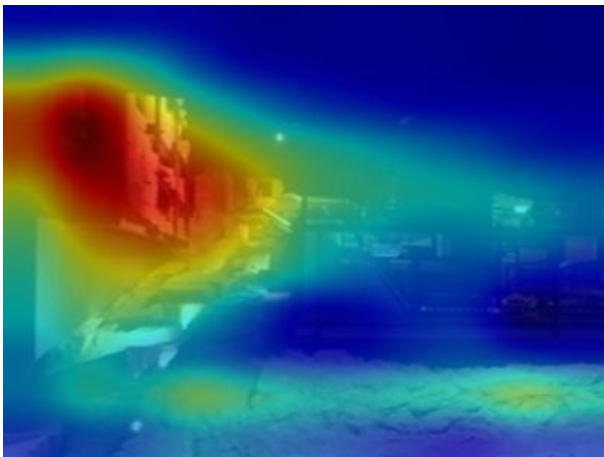
Acto: ver

Luz: artificial

Atributo: piedras, vasijas

Ubicación: tercio inferior

Escena CRB 2:



Predicciones:

Lugar: Ruinas

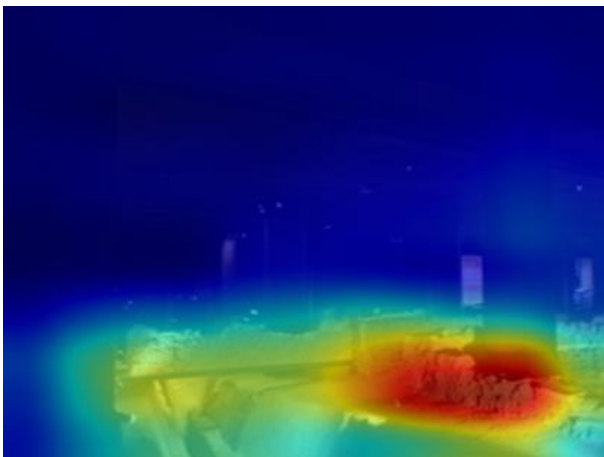
Acto: ver

Luz: artificial

Atributo: piedras

Ubicación: tercio medio

Escena CRB 3:



Predicciones:

Lugar: Ruinas

Acto: ver

Luz: artificial

Atributo: piedras, arena

Ubicación: tercio inferior

Estudio de colorimetría

Escena CRB 1: Tercio inferior

Promedio de los componentes R, G, B: 90.356834 67.151167 35.039942

Promedio x, y del diagrama CIE: 0.404198 0.397565

Escena CRB 2: Tercio medio

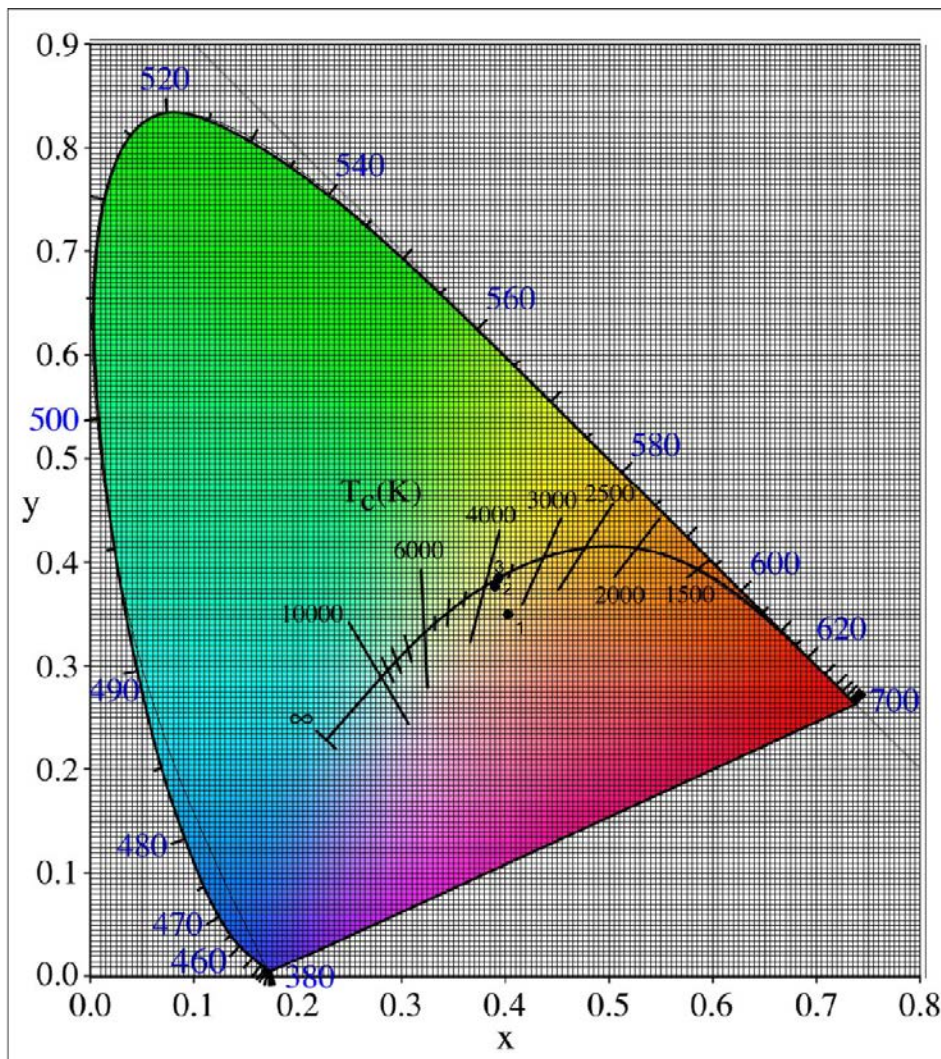
Promedio de los componentes R, G, B: 134.009767 101.158425 59.151856

Promedio x, y del diagrama CIE: 0.395903 0.387434

Escena CRB 3: Tercio inferior

Promedio de los componentes R, G, B: 32.783106 25.548760 14.594816

Promedio x, y del diagrama CIE: 0.393778 0.390994



Comprobaciones:

Escena CRB 1: Fuente: Luz artificial (halogenuro metálico)

- Características cuantitativas:

L mínima: 0.02 cd/m^2 L máxima: 172.5 cd/m^2 = Visión mesópica

La temperatura de color equivalente es de: 3200 K L vasija: 40 cd/m^2

El ratio entre L predominante / L máxima es = 1:80 L vasija / L máxima = 1:4

- Características cualitativas:

Luz cálida y difusa con acentos sobre las superficies originales decoradas que contrasta con la penumbra en la que se mantiene la infraestructura moderna.

Escena CRB 2: Fuente: Luz artificial (halogenuro metálico + LED)

- Características cuantitativas:

L mínima: 0.01 cd/m^2 L máxima: 144.5 cd/m^2 = Visión mesópica

La temperatura de color equivalente es de: 3800 K L piedra: 60 cd/m^2

El ratio entre L predominante / L máxima es = 1:230 L piedra / L máxima = 1:2

- Características cualitativas:

Luz cálida y dirigida dentro del acueducto romano complementada por la que ilumina el resto de las ruinas en contraste de color con la luz azul que marca el recorrido.

Escena CRB 3: Fuente: Luz artificial (halogenuro metálico)

- Características cuantitativas:

L mínima: 0.01 cd/m^2 L máxima: 168.5 cd/m^2 = Visión mesópica

La temperatura de color equivalente es de: 3800 K L piedra: 50 cd/m^2

El ratio entre L predominante / L máxima es = 1:800 L piedra / L máxima = 1:3

- Características cualitativas:

Luz cálida y contrastada que devela sólo los restos arqueológicos ya que las fuentes de luz están por debajo del nivel de circulación y están dirigidas a las ruinas.

4.4.2. Complejo Inca Puruchuco – Lima

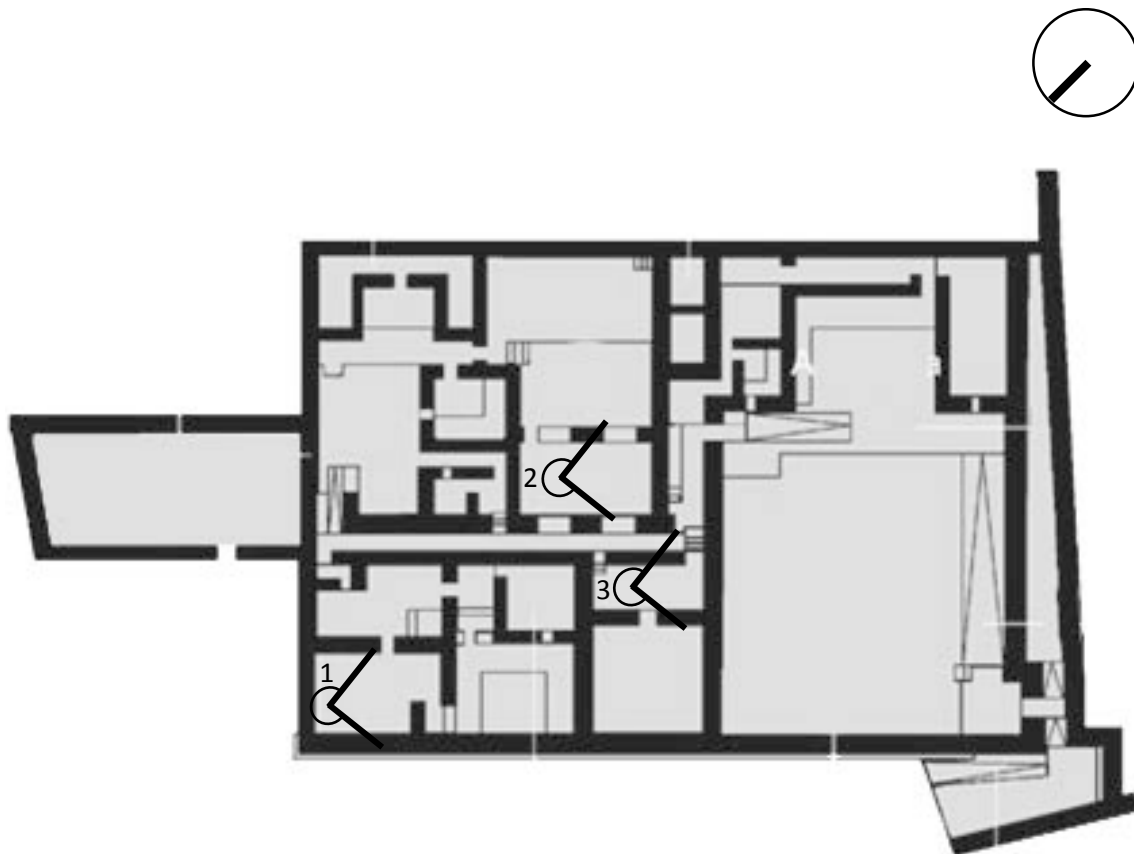


Puruchuco se encuentra en el distrito de Ate-Vitarte de la ciudad de Lima. Edificado durante el periodo del imperio Inca (entre 1450 - 1532 d.C.), fue utilizado como vivienda y audiencia del curaca de esa zona. El buen estado de conservación sirvió para que en los años 50 se le diera "puesta en valor", término usado para definir cuando los monumentos del pasado tenían un uso y una utilidad en el presente. Así se han organizado múltiples espectáculos de "luces y sonidos" aunque no siempre con una iluminación adecuada.



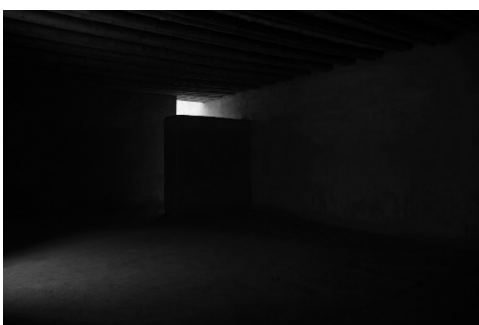
Estudio fotográfico

La residencia del Curaca o gobernador de una región, estaba conformada por diferentes zonas entre las cuales podemos distinguir las de uso público, semipúblico y privado. Razón por la cual se decidió tomar fotografías en cada una de estas zonas. La primera corresponde a uno de los espacios techados más iluminados por medio de las aberturas hacia el exterior, se trata de la zona social dentro de la vivienda del Curaca. La segunda fotografía fue tomada en lo que servía como lugar de encuentros y audiencias entre los dirigentes de los pueblos. La tercera fotografía fue tomada en la parte más íntima de la residencia, por lo que probablemente corresponde a un mayor control del ingreso de luz solar.



Planta de distribución

Escena CIP 1: Día 12 de Julio / Hora: 12:40



Escena CIP 1: Zona individual



Imagen HDR

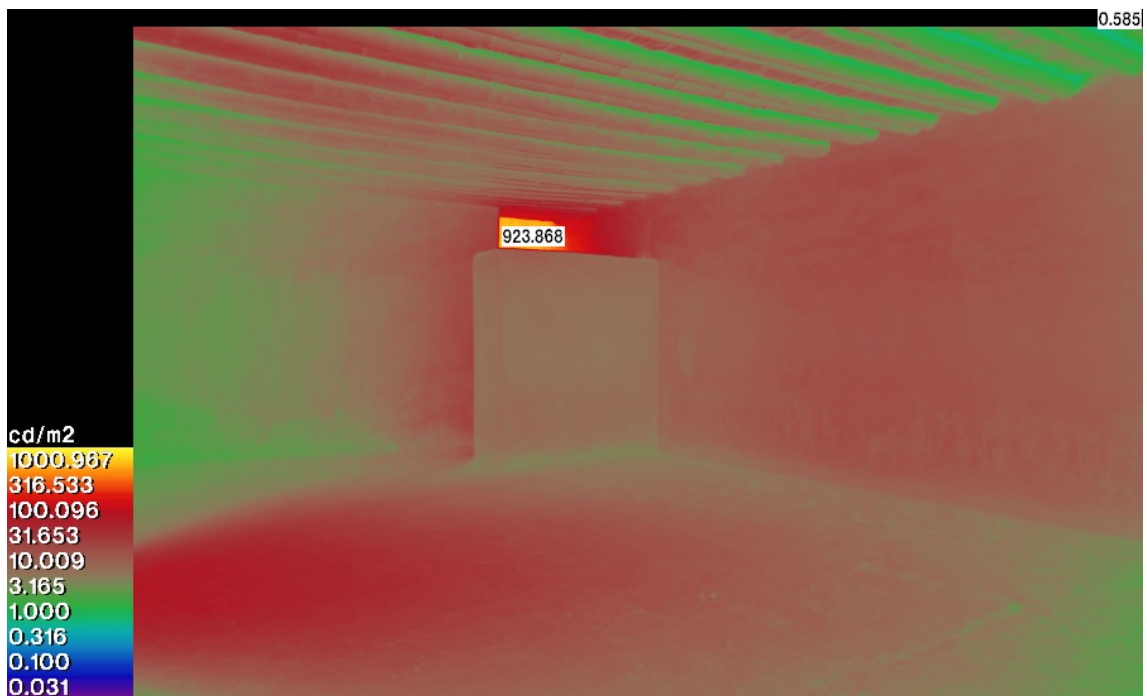
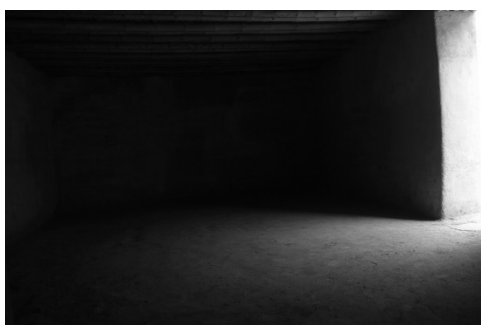


Imagen falso color

Escena CIP 2: Día 12 de Julio / Hora: 12:30



Escena CIP 2: Zona individual



Imagen HDR

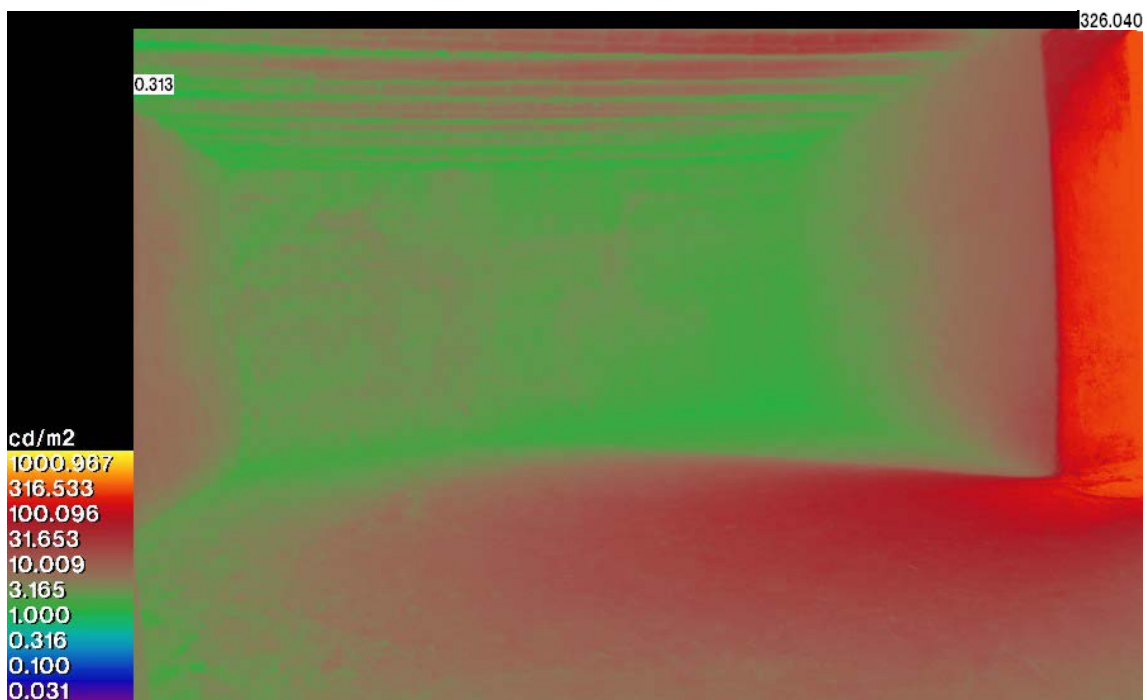
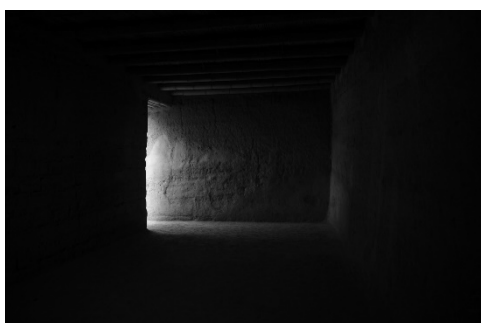
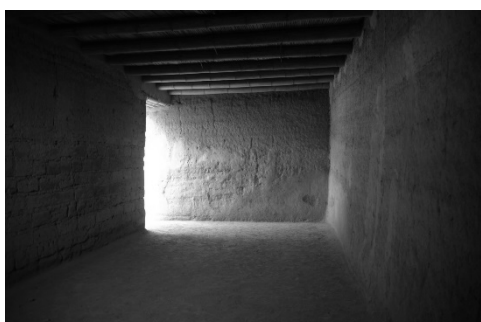
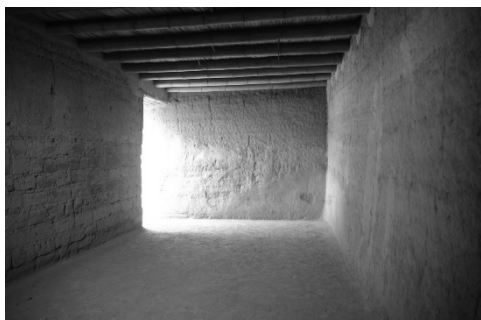
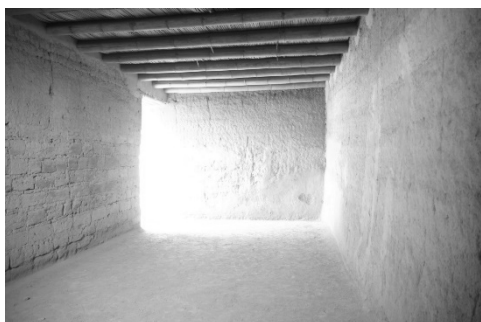


Imagen falso color

Escena CIP 3: Día 12 de Julio / Hora: 12:40



Escena CIP 3: Zona individual



Imagen HDR

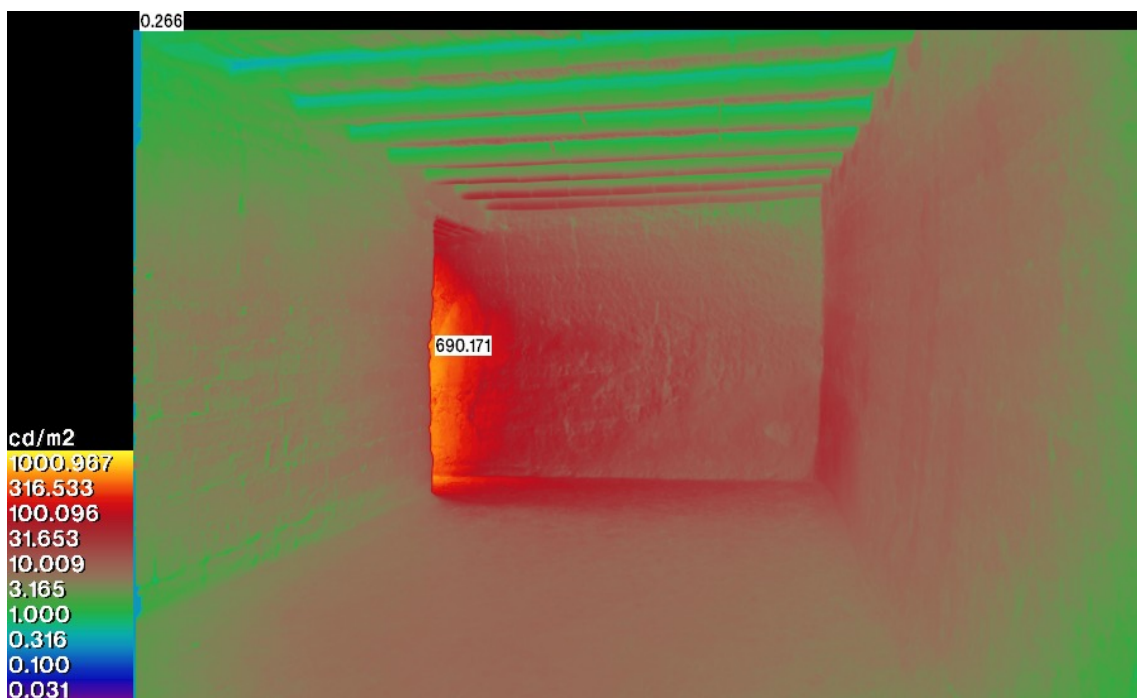
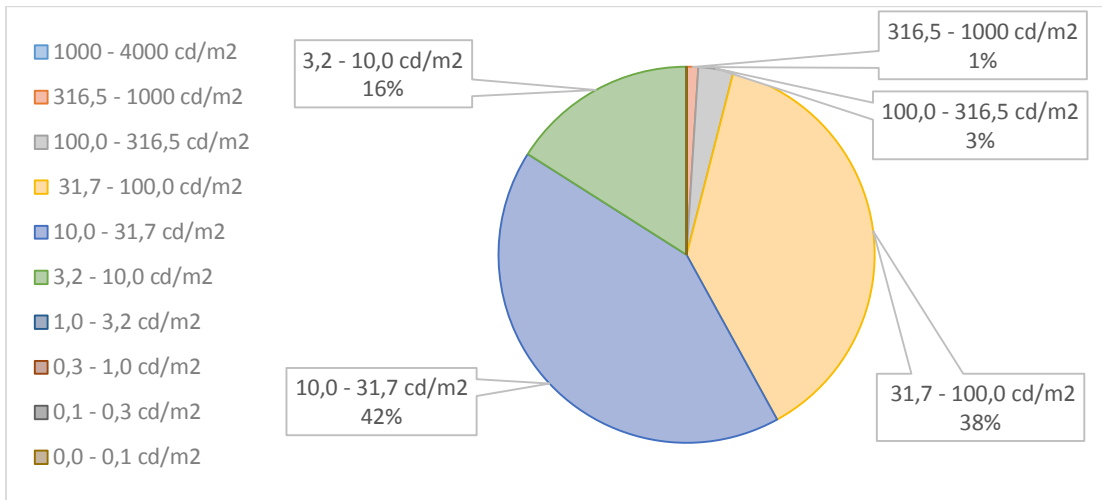


Imagen falso color

Estudio de luminancias

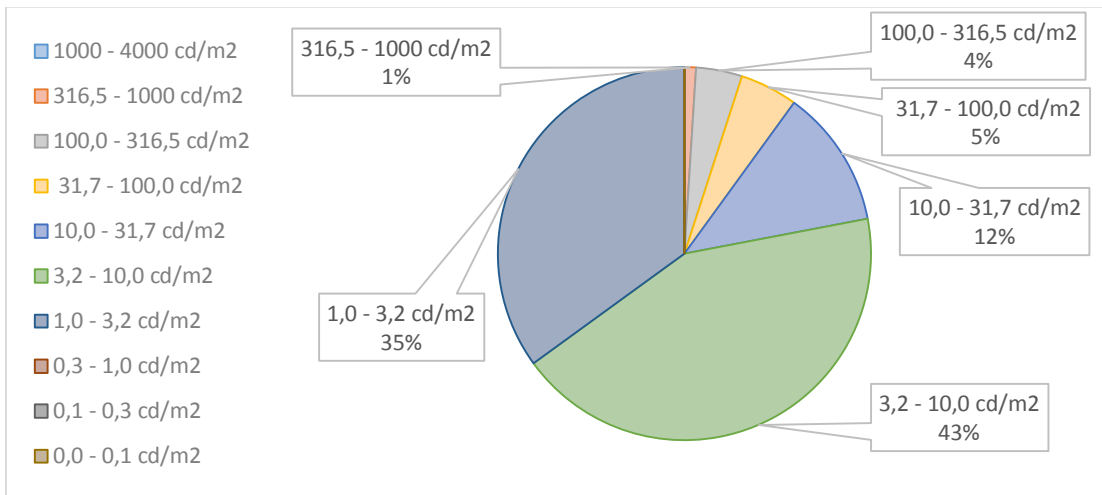
Escena CIP 1: L predominante: 10.0 – 31.7 cd/m²

L promedio: 47.8 cd/m²



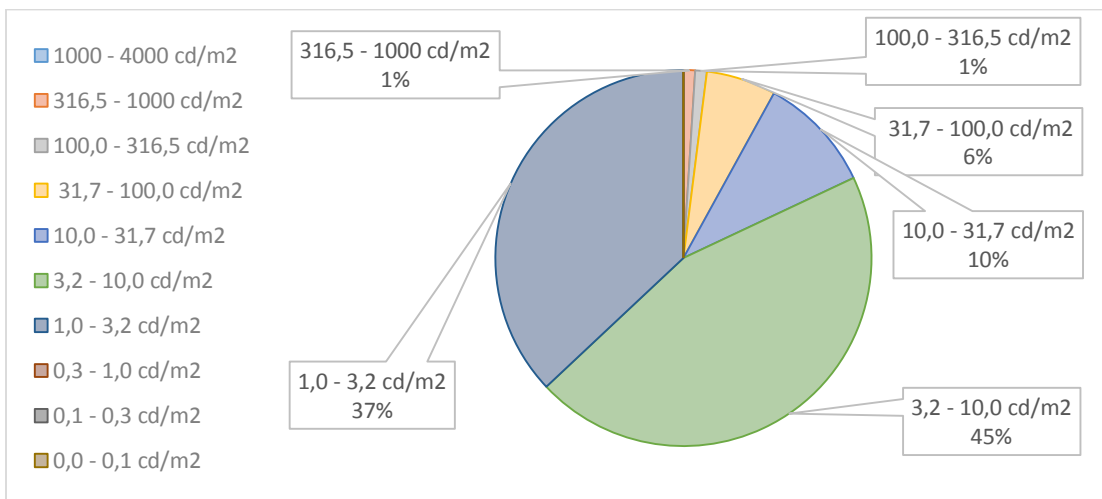
Escena CIP 2: L predominante: 3.2 – 10.0 cd/m²

L promedio: 24.0 cd/m²



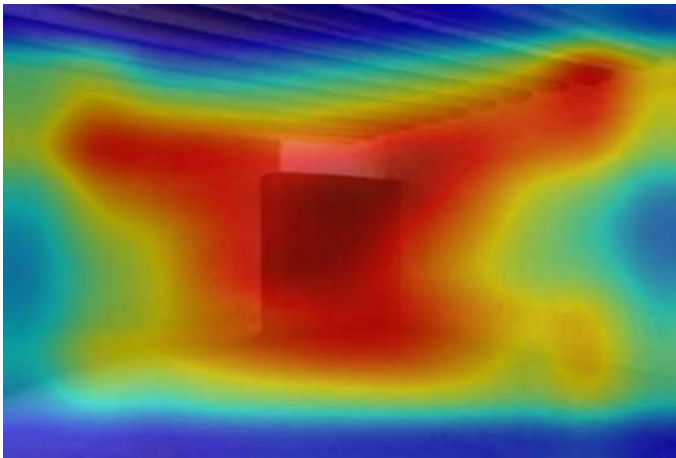
Escena CIP 3: L predominante: 3.2 – 10.0 cd/m²

L promedio: 18.5 cd/m²



Estudio de reconocimiento de información en una escena por MIT

Escena CIP 1:



Predicciones:

Lugar: Habitación

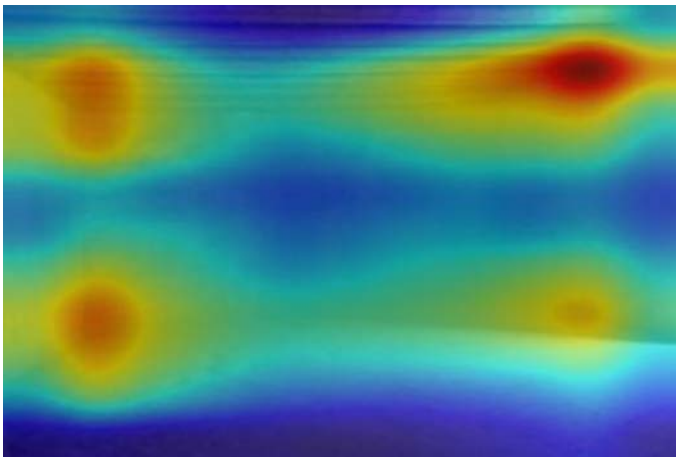
Acto: almacenar

Luz: natural

Atributo: muros

Ubicación: tercio medio

Escena CIP 2:



Predicciones:

Lugar: Habitación

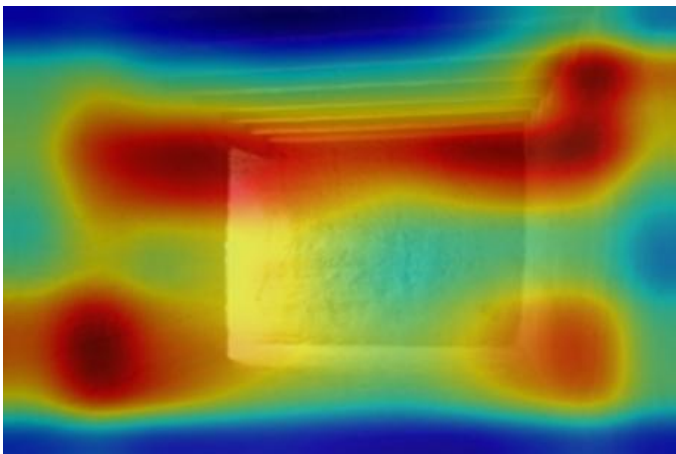
Acto: almacenar

Luz: natural

Atributo: vigas, techo

Ubicación: tercio superior

Escena CIP 3:



Predicciones:

Lugar: Depósito

Acto: almacenar

Luz: natural

Atributo: tierra

Ubicación: tercio medio

Estudio de colorimetría

Escena CIP 1: Tercio medio

Promedio de los componentes R, G, B: 117.500660 78.041435 44.140434

Promedio x, y del diagrama CIE: 0.412289 0.385293

Escena CIP 2: Tercio superior

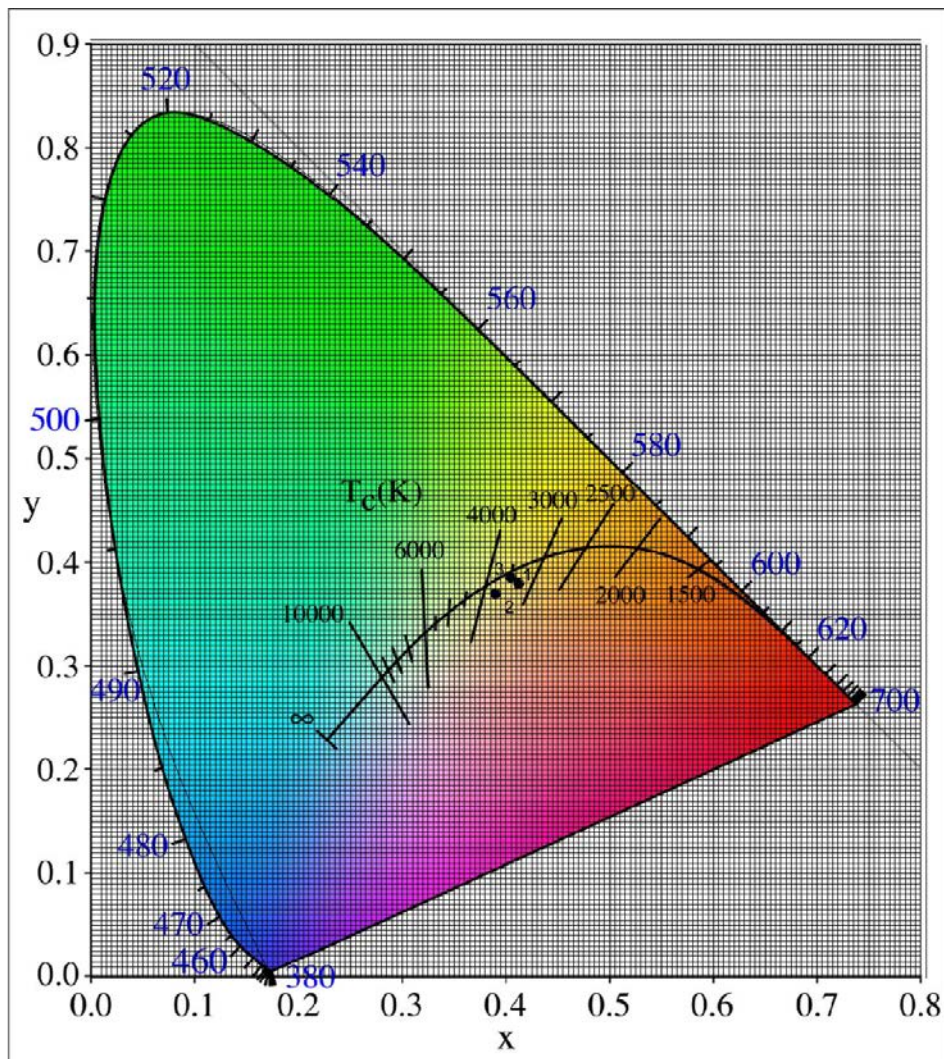
Promedio de los componentes R, G, B: 134.952385 98.441514 68.364242

Promedio x, y del diagrama CIE: 0.389035 0.368816

Escena CIP 3: Tercio medio

Promedio de los componentes R, G, B: 77.863481 50.997021 31.005313

Promedio x, y del diagrama CIE: 0.409531 0.378055



Comprobaciones:

Escena CIP 1: Fuente: Luz natural

- Características cuantitativas:

L mínima: 0.58 cd/m^2 L máxima: 923.8 cd/m^2 = Visión mesópica

La temperatura de color equivalente es = 3300 K L muro: 35 cd/m^2

El ratio entre L predominante / L máxima es= $1:47$ L muro / L máxima= $1:26$

- Características cualitativas:

Luz natural que destaca la geometría del recinto provocando que los contrastes hagan un juego entre la luz y la materia donde ambos son protagonistas del espacio.

Escena CIP 2: Fuente: Luz natural

- Características cuantitativas:

L mínima: 0.31 cd/m^2 L máxima: 326.0 cd/m^2 = Visión mesópica

La temperatura de color equivalente es = 3800 K L techo: 42 cd/m^2

El ratio entre L predominante / L máxima es= $1:50$ L techo / L máxima= $1:8$

- Características cualitativas:

Luz fría y difusa del exterior que se tiñe de color cálido al reflejarse en las paredes de tierra, en donde divide el espacio en dos zonas debido al contraste lumínico.

Escena CIP 3: Fuente: Luz artificial (halogenuro metálico)

- Características cuantitativas:

L mínima: 0.27 cd/m^2 L máxima: 690.2 cd/m^2 = Visión mesópica

La temperatura de color equivalente es = 3500 K L muro: 70 cd/m^2

El ratio entre L predominante / L máxima es = $1:100$ L muro / L máxima= $1:10$

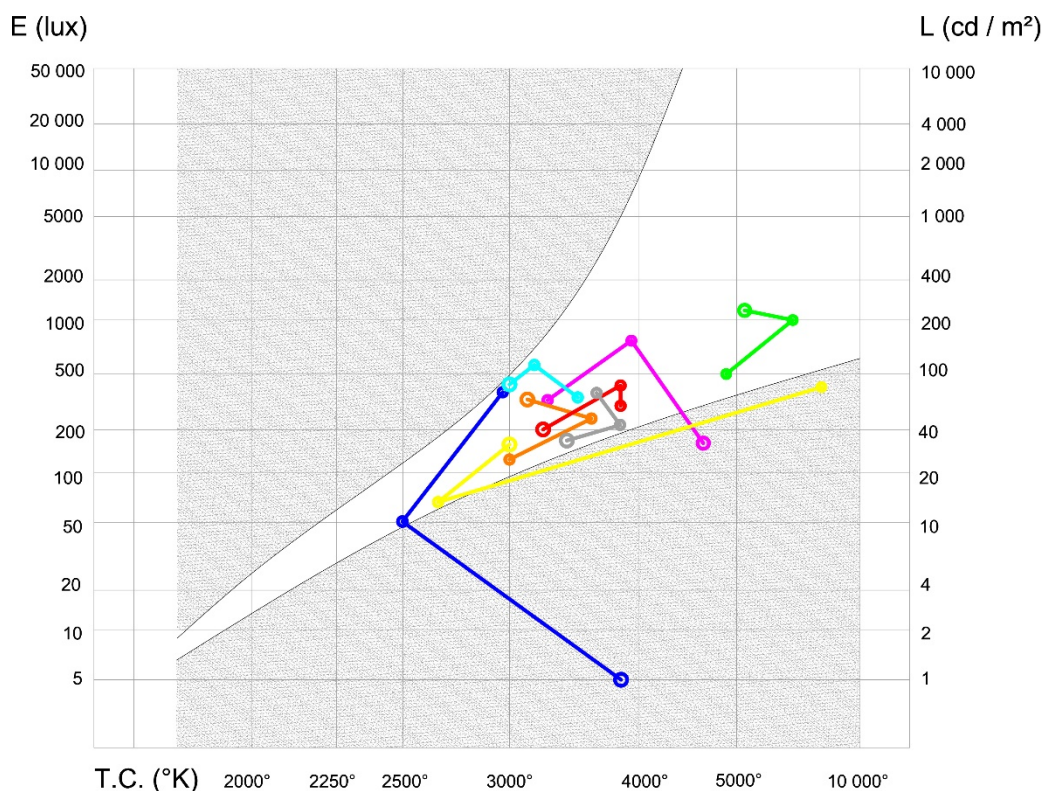
- Características cualitativas:

Luz natural dirigida a un lado del recinto para luego iluminar el espacio por reflexión sobre el muro de adobe, el cual le otorga a la luz una tonalidad más cálida al interior.

4.5. INTEGRACIÓN DE CASOS DE ESTUDIO

4.5.1. Aproximaciones a la gráfica de Kruithof

Con el fin de evaluar los resultados de los casos de estudio de manera comparativa y transversal, se propone extrapolar los datos obtenidos en el estudio de luminancias y de colorimetría a la gráfica de Kruithof. Primero, se toma como referencia el efecto que tiene el nivel de iluminación de una fuente sobre objetos conocidos, tales como: "La iluminancia de un papel en blanco a 5 lux equivale aproximadamente a 1 cd/m²" (AUGUSTESEN y otros, p. 21). Segundo, conociendo el color promedio de cada fotografía de estudio, producto de la temperatura de color de las fuentes luminosas y las características cromáticas de los objetos que son iluminados, se encuentra en el diagrama CIE, la temperatura de color aparente en grados Kelvin.



IGLESIAS		BIBLIOTECAS		GALERIAS		Z. ARQUEOL.	
SPC 1	SPP 1	BPF 1	BEE 1	CIV 1	CFB 1	CRB 1	CIP 1
SPC 2	SPP 2	BPF 2	BEE 2	CIV 2	CFB 2	CRB 2	CIP 2
SPC 3	SPP 3	BPF 3	BEE 3	CIV 3	CFB 3	CRB 3	CIP 3

Leyenda: 1 2 3

Comprobaciones:

Se puede observar en ambas iglesias que las escenas que enfocan el altar principal están fuera de la zona de confort que propone Kruithof, esto se debe, principalmente, a que al color de la luz se percibe como fría por estar reflejada sobre la piedra. Por otro lado la intensidad lumínica no se concentra en el objeto de culto, sino en la arquitectura, provocando que le falte iluminación al atributo de la escena, en este caso el pulpito. Sin embargo, en las escenas que enfocan los espacios acondicionados para el culto individual, se perciben como confortables según el gráfico, esto corresponde con lo advertido en el estudio de contrastes de luminancias, en donde la observación de un altar con velas, no sólo es deseable desde el punto de vista simbólico, sino que además tiñe de un color agradable los objetos de adoración.

En cuanto al análisis de las bibliotecas se comprueba que ambas tienen una adecuada relación entre temperatura de color y luminancias, no obstante, podemos ver diferencias entre ellas. La obra nueva en el Ensanche tiene un promedio de luminancias superior al antiguo Depósito de Aguas, lo que denota que la primera tiene una intensidad lumínica de resaltar los espacios interiores, mientras que la segunda está claramente orientada a enfocarse sólo en la materia de culto. Esto concuerda con lo que advertimos en la introducción, lo que puede ser beneficioso para apreciar la arquitectura pero perjudicial para las actividades que se realizan dentro de ella.

Si ahora nos enfocamos en las galerías de arte podemos ver que en la mayoría de casos se utiliza la luz cálida, debido a que concentran la atención en los objetos a contemplar reduciendo las iluminancias. Sólo observamos un caso paradójico de arte, video Looking, cuya intensidad de perturbar al espectador se potencia, no sólo por el significado sino por el juego entre la luz y el color.

El estudio en las zonas arqueológicas evidencia que el material es fundamental a la hora de percibir la luz, ya que a pesar de que uno está iluminado sólo con luz natural y el otro con artificial, ambos reflejan el color cálido de la tierra, no en vano, fue un preciado recurso de todas las antiguas civilizaciones.

Por último, haciendo una lectura transversal, observamos una tendencia en la agrupación de los resultados en el eje diagonal, lo que comprueba que se puede alcanzar el mismo nivel de confort lumínico haciendo un uso eficiente de la energía y además de confort visual al permitir deseables contrastes.



Figura 34. Eliasson, Olafur. *The Weather Project*. London. 2003

*“Cuando, por fin, un arquitecto descubre que la luz es el tema central de la arquitectura, entonces, empieza a entender algo, empieza a ser un verdadero arquitecto”.*¹¹

Alberto Campo Baeza

¹¹ Campo Baeza, Alberto. *La idea construida. La arquitectura a la luz de las palabras*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1998, p.58

5.1. CONCLUSIÓN GENERAL

En conclusión, como producto de la investigación y la observación, se ha comprendido que la luz tiene un rol fundamental en la composición del espacio para la potenciación del aprendizaje individual. Un ambiente con una óptima iluminación para la concentración no considera sólo los parámetros cuantitativos sino un delicado equilibrio entre la luz y el color de la luz, entre lo que queremos ver y el entorno que lo rodea y esencialmente entre las necesidades y los deseos del usuario.

5.2. CONCLUSIONES PARTICULARES

- La necesidad de ver, relacionada con las necesidades biológicas del hombre, recogen información constantemente del entorno haciendo uso de todo el campo de visión. Mientras que el deseo de ver, que busca la concentración, está mediado por la visión central, por tanto debe evitarse la distracción por luminancias o patrones dominantes en la visión periférica.
- El trabajo demostró que el deslumbramiento debe ser valorado desde una óptica cognitiva y no sólo determinado por valores numéricos, ya que la percepción del brillo debe considerar tres cosas: el contraste de luminancias entre el objeto de culto y el contexto, el momento en que se encuentra la adaptación de la pupila y el significado que represente para el observador.
- Respecto a la influencia del color sobre la percepción, queda corroborada, gracias al estudio hecho por Hecht, que el color de la luz influye la reducción del tiempo de adaptación a la oscuridad; como también, por los esquemas de Kalff, que la apropiada composición de colores dirige nuestra atención a determinados objetos en la escena.
- En definitiva, la observación de los casos de estudios, confirma la predisposición de destacar la arquitectura mediante la luz, sin embargo no se debe descuidar la dosificación justa de luz para generar contrastes que además de favorecer la finalidad de la arquitectura, es decir, servir a las actividades del hombre, permite otorgarle al espacio un significado, poner en manifiesto una intención lumínica.

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 (contraportada). André Romão, "Looking" (prospection/exchange/profit), 2015, "Leal Rios Foundation Collection", fotografiado en el Centro de la Imagen: La Virreina</i>	<i>2</i>
<i>Figura 2. Le Corbusier. "Cabeza de Apolo y de Medusa". Recuperado de La maison des hommes. PIERREFEU, François de et LE CORBUSIER. Éditions Plon, Paris, 1942.</i>	<i>7</i>
<i>Figura 3. Tadao Ando. Iglesia de la luz en Osaka (1989). Recuperado de web</i>	<i>14</i>
<i>Figura 4. Ganslandt & Hofmann. Tipos de onda. Recuperado de Cómo planificar con luz</i>	<i>17</i>
<i>Figura 5. U. de Sevilla. Diagrama espectral relativo. Recuperado de web</i>	<i>17</i>
<i>Figura 6. Ley de la inversa de los cuadrados</i>	<i>Figura 7. Ley de iluminancia H. y V. 19</i>
<i>Figura 8. Feijó, Jesús. Radiación Luminosa. Rec. de libro (ver bibliografía)</i>	<i>20</i>
<i>Figura 9. Feijó, Jesús. Reflexión Luminosa. Rec. de libro (ver bibliografía)</i>	<i>20</i>
<i>Figura 10. Feijó, Jesús. Transmisión Luminosa. Rec. de libro (ver bibliografía)</i>	<i>21</i>
<i>Figura 11. Morente, Cristina. Reflexión, transmisión y absorción de ondas. Rec. de web</i>	<i>21</i>
<i>Figura 12. Suren Manvelyan. Your beautiful eyes (2013). Rec. de web</i>	<i>22</i>
<i>Figura 13. Coaton & Marsden. Sectional diagram of the human eye. Rec. de</i>	<i>23</i>
<i>Figura 14. AUGUSTESEN & otros. Respuesta a la luz según los tipos de receptores.</i>	<i>25</i>
<i>Figura 15. Curva de sensibilidad espectral del ojo humano. Rec. de web</i>	<i>25</i>
<i>Figura 16. Serra, Rafael & Coch, Helena. Sensibilidad del espacio. Rec. Arq. y E.. natural</i>	<i>27</i>
<i>Figura 17. Michel, Lou. Visual field in the visual world. Rec. de libro (ver bibliografía)</i>	<i>27</i>
<i>Figura 18. Le Corbusier, Notre Dame du Haut (1950). Rec. de web</i>	<i>28</i>
<i>Figura 19. Sensibilidad de conos y bastones. Recuperado de Hecht (ver bibliografía)</i>	<i>31</i>
<i>Figura 20. Comparativa de adaptación a la oscuridad. Recuperado de Hecht (ver bibliog.)</i>	<i>31</i>
<i>Figura 21. Peter Zumthor. Capilla Bruder Klaus (2007). Rec. de libro (ver bibliografía)</i>	<i>32</i>
<i>Figura 22. Magritte, René. Ceci n'est pas une pomme (1954) y Le fils de l'homme (1964).</i>	<i>34</i>
<i>Figura 23. Lam, William. Figure – Background Ambiguity. Rec. de libro (ver bibliografía)</i>	<i>35</i>
<i>Figura 24. Lam, William. Luminance by contrast. Rec. de libro (ver bibliografía)</i>	<i>35</i>
<i>Figura 25. Diagrama de Cromacidad de la CIE. Rec. de web</i>	<i>36</i>
<i>Figura 26. Composition of colours 1, brightness, and lines in eye task. Rec. de libro</i>	<i>37</i>
<i>Figura 27. Composition of colours 2, brightness, and lines in eye task. Rec. de libro</i>	<i>37</i>
<i>Figura 28. Alvar Aalto. Biblioteca de Viipuri en Vyborg. (1935). Rec. de web</i>	<i>38</i>
<i>Figura 29. Saarinen, Eero. MIT Chapel in Massachusetts. (1955). Rec. de web</i>	<i>42</i>
<i>Figura 30. Cabrera, Ricardo. Zona de umbra, penumbra y antumbra en un eclipse de luna.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 31. Cabrera, Ricardo. Zonas de sombra y penumbra, según el tipo de fuente.</i>	<i>44</i>
<i>Figura 32. Vista nocturna del Pabellón de Mies Van der Rohe. Barcelona</i>	<i>45</i>
<i>Figura 33. Mark Rothko, Red on Maroon en New York. (1959). Rec. de web</i>	<i>46</i>
<i>Figura 34. Eliasson, Olafur. The Weather Project. London. 2003. Rec. de web</i>	<i>146</i>

BIBLIOGRAFIA

- ARNAU AMO, Joaquín (2014). *El espacio, la luz y lo santo*. Albacete: UNO editorial. 2014.
- AUGUSTESEN, Christina; BRANDI, Ulrike; DIETRICH, Udo; FRIEDERICI, Annette; GEISSMAR- BRANDI, Christoph; KRISTENSEN, Peter; MADSEN, Merete; STORCH, Anja; WAND, Burkhard (2006) *Lighting Design: Principles Implementation Case Studies*. Munich: Institut fur international Architektur – Dokumentation GmbH & Co. KG.
- BARKER, Torquil (1997). *Concept in practice lighting: Lighting design in architecture*. London: B.T. Batsford Ltd.
- BEHLING, Sophia y Stefan (2002), *Sol Power: La evolución de la arquitectura sostenible*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- CORRODI, Michael; SPECHTENHAUSER, Klaus (2008) *Illuminating: Natural Light in Residential Architecture*. Basel: Birkhäuser GmbH.
- COATON, J & MARSDEN, A. (1997), *Lamps and Lighting*. Londres: Arnold a member of the Hodder Headline Group.
- DE PONTE, Silvio (1995), *Architetture di luce: Luminoso e sublime notturno nelle discipline progettuali e di produzione estetica*. Roma: Gangemi Editore.
- DEL BAO, Agustina; Philips Lighting (2011) *Light and Emotions: Exploring Lighting Cultures, Conversations with Lighting Designers*. Basel: Birkhäuser GmbH.
- KARCHER, Aksel; KRAUTTER, Martin; KUNTZSCH, David; SCHIELKE, Thomas; STEINKE, Christoph; TAKAGI, Mariko (2009), *Un discurso de la luz: Entre la cultura y la técnica*. Lüdenscheid: ERCO
- FEIJO MUÑOZ, Jesús (1994), *Instalaciones de iluminación en la arquitectura*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- FOLGUERA, Eduard; MUROS, Cueva. (2012) *Il·luminació com arquitectura*. Barcelona: Oficina de publicaciones Académicas Digitales de la UPC
- FUTAGAWA, Yukio; MIYAKE, Riichi (1994). *Light & Space: Modern Architecture*. Tokyo: A.D.A. EDITA Tokyo Co.
- GANSLANDT, R.diger & HOFMANN, Harald. (2005) *Manual: Cómo planificar con luz*. Barcelona. ERCO Editorial Vieweg de Bertelsmann International
- HECHT, Selig & HSIA, Yun (1945). *Dark Adaptation Following Light Adaptation to Red and White Lights*. New York: Journal of the optical society of America Vol 35, No 4. P.261/267
- HERZOG, Angela; HERZOG, Desingnburo; SCHWABISCH, Gmund (2010). *Licht sehen / Seeing Light*. Stuttgart: Candela Lichtplanung GmbH.
- ISALGUÉ, Antoni (1995). *Física de la llum i el so*. Barcelona: Ediciones UPC
- IDEA (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía) & CEI (Centro Español de Iluminación) (2001). *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación: Oficinas*. Madrid: Fondo Editorial IDEA

- KALFF, L.C. (1971) *Creative Light*. London: The Macmillan Press LTD.
- KAHN, Louis. *Silencio y luz en A.A.V.V., Kahn Libraries* (1989) Barcelona: Editado por el Colegio de Arquitectos de Cataluña.
- LAM, William M.C (1977), *Perception and Lighting as formgivers for architecture*. Nueva York: McGraw- Hill.
- LÓPEZ BESORA, Judith (2010). *Transiciones Lumínicas. Percepción lumínica y visual en los espacios arquitectónicos de transición entre interior y exterior: vestíbulos*. Tesina de Máster Arquitectura Energía y Medio Ambiente.
- MICHEL, Lou ((1996). *Light: The Shape of Space*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- MUÑOZ HERAS, Olvido (2012), *Luces y sombras: museos contemporáneos españoles*. Sevilla: Universidad, Secretariado de Publicaciones.
- MUROS, Adriá (2014). *La Luz artificial en los movimientos artísticos del siglo XX*. Barcelona: Adrián Muros Alcojor, cop.
- PLUMMER, Henry (2003). *Master of Light, First Volume: Twentieth –Century Pioneers*. Tokyo: A+U Publishing Co. Ltd.
- RUIZ DE LA PUERTA, Félix (1995). *La luz, lo sagrado y lo profano en Tadao Ando*, Barcelona: Editorial Álbum letras.
- STEANE, Mary Ann (2011) *The Architecture of Light*. Oxon: Routledge
- SERRA, Rafael & COCH, Helena. (2001). *Arquitectura y Energía Natural*. Barcelona: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL
- TANIZAKI, Junichiro (1994). *El elogio de la sombra*. Madrid: Editorial Siruela
- TURREL, James (2004). *La cueva de Platón*. Valencia: IVAM.
- YOON, Gyu Hyon & KIM, Jeong Tai (2014) *The Effects of Illuminance and Correlated Color Temperature on Visual Comfort*. KIEAE Journal. Vol. 14 No. 1, pp.23-30
- ZUMTHOR, Peter (2006). *Atmósferas*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili
- ZUPPIROLI, Libero; SCHLAEPFER, Daniel (2011). *Lumières du future*. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes

Sitios web

- HERNÁNDEZ, José Miguel. *Frases y citas célebres* (2013). Consultado el 15 Agosto de 2015 en <http://www.jmhdezhdz.com/2013/11/frases-cezanne-paul-phrases-citas-quotes.html>.
- JAUA, María Fernanda. *Arquitectura Moderna* (2011). Consultado el 25 de Agosto 2015 en <http://arquitecturamoderna.tumblr.com/alvaraalto>.
- MELLADO, Elisa. *Shine on* (2015). Consultado el día 26 de agosto 2015 en <https://elisaimellado.wordpress.com/2015/06/>
- MANVELYAN, Suren. *Your beautiful eyes* (2013). Consultado el 15 de Agosto de 2015 en <http://www.surenmanvelyan.com/eyes/your-beautiful-eyes/>
- Morente, Cristina. *Curso online de Iluminación*. Consultado el 20 de Junio 2015 en <http://grlum.dpe.upc.edu/manual/fundamentosIluminacion-fisicaDeLaLuz.php>