



Trabajo Fin de Máster

MÁSTER OFICIAL EN SEGURIDAD INTEGRAL EN EDIFICACIÓN

UTILIZACIÓN DEL ALGORITMO DE GODFRIED T. TOUSSAINT
EN LA OPTIMIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES INTERIORES DE
ILUMINACIÓN PROVISIONAL DE OBRA.

APLICACIÓN PRÁCTICA AL PROYECTO BÁSICO Y DE EJECUCIÓN
DE REHABILITACIÓN DE ESPACIOS SINGULARES DEL REAL
MONASTERIO DE SANTA CLARA DE SEVILLA



Francisco Jiménez García



**UTILIZACIÓN DEL ALGORITMO DE GODFRIED TOUSSAINT EN
LA OPTIMIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES INTERIORES DE
ILUMINACIÓN PROVISIONAL DE OBRA. APLICACIÓN
PRÁCTICA AL PROYECTO BÁSICO Y DE EJECUCIÓN DE
REHABILITACIÓN DE ESPACIOS SINGULARES DEL REAL
MONASTERIO DE SANTA CLARA DE SEVILLA.**

Trabajo de Fin de Máster presentado para optar al Título de Máster en Seguridad Integral en Edificación por Francisco Jiménez García, siendo el tutor del mismo la Doctora Dña. María José Chávez de Diego.

Vº. Bº. del Tutor:

Alumno:

Dra. Dña. María José Chávez de Diego

D.Francisco Jiménez García

Sevilla, 9 de noviembre de 2009



MÁSTER EN SEGURIDAD INTEGRAL EN EDIFICACIÓN
ESCUELA UNIVERSITARIA DE ARQUITECTURA TÉCNICA
TRABAJO DE FIN DE MÁSTER CURSO ACADÉMICO [2008-2009]

TÍTULO:

UTILIZACIÓN DEL ALGORITMO DE GODFRIED TOUSSAINT EN LA OPTIMIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES INTERIORES DE ILUMINACIÓN PROVISIONAL DE OBRA. APLICACIÓN PRÁCTICA AL PROYECTO BÁSICO Y DE EJECUCIÓN DE REHABILITACIÓN DE ESPACIOS SINGULARES DEL REAL MONASTERIO DE SANTA CLARA DE SEVILLA.

AUTOR:

FRANCISCO JIMÉNEZ GARCÍA

TUTOR ACADÉMICO:

DRA. DÑA. MARIA JOSE CHÁVEZ DE DIEGO

RESUMEN:

Se analiza en el presente Trabajo Fin de Master una singular aplicación práctica de utilización del algoritmo de Godfried T. Toussaint —que resuelve el denominado “Problema de la Galería de Arte”—, en la ubicación de las instalaciones de iluminación provisional en el ámbito de la ejecución de obras en las que las condiciones de iluminación natural de las áreas de trabajo no resultan adecuadas y suficientes. La utilización del algoritmo optimiza la ubicación y trazado de éstas instalaciones provisionales, máxime cuando la disposición geométrica de la planta se presenta de manera muy irregular.

PALABRAS CLAVE:

Problema de la Galería de Arte, Víctor Klee, Problemas de Iluminación, Iluminación Provisional de Obra. Instalaciones Provisionales. Algoritmo de G. Toussaint.

ABSTRACT:

It is analyzed in this Work End of Master a practical singular application of use of the Godfried T. Toussaint algorithm —which solves the denominated "The Art Gallery Problem"— in the location of the facilities of provisional lighting in the environment of the execution of building works whose conditions of natural illumination of the workspaces are not appropriate and enough. The use of the algorithm optimizes the location and layout of these provisional facilities, mainly when the geometric disposition of the plant shows up in a very irregular way.

KEYWORDS:

Art Gallery Problem, Victor Klee, Lighting system problems, Building provisional lighting system, Provisional installations, G. Toussaint Algorithm.

O

Índice

0	Índice.	1
1	Introducción y objetivos.	2
2	Justificación del tema elegido.	4
1.	Introducción	4
2.	Historia del Real Monasterio de Santa Clara de Sevilla	5
3.	Descripción	6
4.	La intervención	12
3	Fundamento teórico. El modelo matemático.	15
1.	Introducción.	15
2.	Definiciones. Nociones Combinatorias	15
3.	El modelo matemático. Estado de la Cuestión.	19
4.	El problema de la Galería de Arte.	34
5.	Problemas abiertos de iluminación	39
4	Metodología.	43
1.	Introducción	43
2.	Utilización práctica del algoritmo de G.Toussaint sobre el edificio de referencia.	43
5	Resultados, análisis y evaluación.	47
1.	Introducción	47
2.	Resultados obtenidos.	49
6	Consideraciones finales, conclusiones y recomendaciones.	54
1.	Consideraciones finales.	54
2.	Conclusiones.	57
3.	Conclusión final.	57
7	Recomendaciones para futuras investigaciones.	58
1.	Empleo del algoritmo con presencia de obstáculos u objetos	58
2.	Fuentes de luz generadas por el algoritmo en concomitancia con otras	58
3.	Última cuestión: ensayo de otros algoritmos	59
8	Referencias y Bibliografía.	60
9	Apéndices.	63
1.	Planos en planta del R.M. Monasterio de Santa Clara de Sevilla	64
2.	Listado del código fuente en lenguaje JAVA del algoritmo de Toussaint	67
3.	Informe de resultados luminotécnicos de DIALux 4.7.5.0	75

1

Introducción y objetivos

El presente Trabajo Fin de Máster constituye un estudio teórico-práctico para determinar la viabilidad del uso de herramientas matemáticas (algoritmos) basados en la Teoría de Grafos (Matemática Discreta), para el diseño y cálculo de medios auxiliares en obras de construcción.

Sobre la base del Proyecto de Rehabilitación de Espacios Singulares del Real Monasterio de Santa Clara de Sevilla —que será la obra de referencia del presente estudio— se aplicará un algoritmo matemático, de entre los muchos que existen en el campo de la optimización discreta, para localizar los puntos donde ubicar luminarias provisionales de obra que garanticen la premisa de que todos los planos de trabajo (entendiendo por tales los diedros suelo—paramentos verticales y paramentos—techos/artesonados) quede suficientemente cubierto por alguna luminaria. La condición añadida será que se alcance el óptimo (mínimo en este caso) en cuanto a número de proyectores o luminarias instalados. La elección de esta obra de referencia se hace en base a la singularidad que presentan los problemas derivados de las condiciones de iluminación interior durante la estabilización y apuntalamiento general y que constituyen la primera fase del proyecto de referencia. En la primera fase de la intervención, con demolición de particiones interiores y apuntalamiento, se da la circunstancia de que, dada la disposición de finca interior, la escasez de huecos y lo intrincado e irregular de su desarrollo en planta, los planos y zonas de trabajo carecen del nivel de iluminación adecuado y suficiente que marca toda la normativa sectorial.

En el presente Trabajo Fin de Máster se analiza una singular aplicación práctica de utilización del algoritmo de Godfried T. Toussaint —que resuelve el denominado “Problema de la Galería de Arte”—, en la ubicación de las instalaciones de iluminación provisional en el ámbito de la ejecución de obras en las que las condiciones de iluminación natural de las áreas de trabajo no resultan adecuadas y suficientes. Se demostrará que la utilización del algoritmo optimiza la ubicación de éstas instalaciones provisionales, máxime cuando la disposición geométrica de la planta se presenta de manera muy irregular.

La justificación del tema elegido se explica en el Capítulo 2, donde se hace un recorrido por el medio físico sobre el que se opera con el algoritmo. Toda la base teórica se encuentra en el Capítulo 3, donde se exponen plasman las ideas generales y todo el cuerpo teórico que se cita en el título del presente Trabajo Fin de Máster, esto es: sentar las bases de lo que supone la optimización discreta y la teoría de algoritmos para dar solución a los problemas de optimización, con especial hincapié en la idea central sobre del presente Trabajo Fin de Máster —El Problema de la Galería de Arte— y el algoritmo propuesto por G. Toussaint.; para culminar abordando cuál es el Estado de la Cuestión en lo que se refiere a los problemas de iluminación.

En el Capítulo 4 se realiza la ejecución práctica del algoritmo implementado en un applet en lenguaje Java ejecutable con un navegador web utilizando la máquina virtual Java (Java Virtual Machine –JVM–), o el AppletViewer de Sun Microsystems y

descargable gratuitamente desde la página web del autor, constituyendo esta aplicación informática la herramienta que se usará sobre toda la planta del edificio de referencia que se muestra en los planos del Apéndice 1.

Con el objetivo de examinar los resultados que se obtienen al aplicar el algoritmo de G. Toussaint a la planta baja del Monasterio de Santa Clara, en el Capítulo 4, se han tomado dos áreas de muestras suficientemente representativas. En ellas se analiza el número de luminarias que aporta el algoritmo de Toussaint y los datos que se obtienen de aplicar el programa DIALux ¹ así como la modelización real de la iluminación de las estancias con el número de proyectores dado. El Capítulo se completa con un análisis de la normativa de aplicación.

El Capítulo 6 está dedicado a las conclusiones y se concluye con un apartado de problemas abiertos donde se plantean algunas cuestiones que quedan pendientes de resolver y otros aspectos a tener en cuenta relacionados con los problemas de iluminación, como son los derivados de la presencia de obstáculos, la incidencia de otras fuentes de iluminación o con aporte de luz natural.

Como última cuestión cabe reseñar que el desarrollo procedimental seguido en la elaboración del presente Trabajo Fin de Máster ha sido el siguiente:

1. Visita al Real Monasterio de Santa Clara de Sevilla, inspección de la obra y explicaciones del avance y pormenores de las mismas con los técnicos de Construcciones Bellido, S.A. (adjudicataria de las obras en UTE junto con Geotecnia y Cimientos, S.A.) y con la dirección de ejecución de la obra por parte de la Gerencia de Urbanismo.
2. Visita a los técnicos del Servicio de Rehabilitación de la Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Sevilla, a fin de recabar datos y antecedentes de la obra así como la planimetría de la misma.
3. Revisión bibliográfica acerca del Real Monasterio de Santa Clara de Sevilla.
4. Revisión bibliográfica y estudio previo de determinación del estado de la cuestión referente a métodos de optimización discreta aplicados a la iluminación.
5. Búsqueda de algoritmos matemáticos que resuelvan problemas de iluminación.
6. Elegido el algoritmo, búsqueda del applet en JavaRM sobre el que ejecutar el algoritmo hallado.
7. Búsqueda de programas de cálculo luminotécnico sobre el que testear las posibles soluciones que pueda aportar el applet.
8. Elección y ensayo con distintas marcas comerciales sobre el programa de cálculo luminotécnico de las luminarias a emplear.
9. Estudio de resultados.

Sevilla, octubre de 2009

¹ DIALux es un software gratuito (freeware) para el cálculo de Iluminación de interiores y exteriores que permite verificar de forma detallada todos los parámetros luminotécnicos.

2

Justificación del tema elegido

1. Introducción.

El Proyecto de Rehabilitación de Espacios Singulares del Real Monasterio de Santa Clara de Sevilla, será la obra referencia donde aplicaremos las técnicas de optimización discreta, dentro de las que se encuentra el algoritmo de Godfried T. Toussaint que resuelve el Problema de la Galería de Arte. La ejecución del algoritmo servirá para localizar los puntos donde ubicar luminarias provisionales de obra que garanticen la premisa de que todos los planos de trabajo (entendiendo por tales los triedros suelo—paramentos verticales y paramentos—techos/artesonados) queden suficientemente cubiertos por alguna luminaria. La condición añadida será que se alcance el óptimo (mínimo en nuestro caso) en cuanto a número de proyectores o luminarias instalados.

No se tiene constancia, dado que no se ha encontrado en la literatura, que anteriormente se haya aplicado un algoritmo de optimización combinatoria a la resolución óptima de las localizaciones de instalaciones de iluminación provisional de obra. Sin embargo, dentro del área de Matemática Aplicada, el estudio de iluminación de objetos se viene estudiando desde los años 90. Ver Urrutia, J. [1].

Nos ha parecido de interés el aplicar las técnicas matemáticas que resuelven el “Problema de la Galería de Arte” a las instalaciones de iluminación provisional de obra de la planta baja del Real Monasterio de Santa Clara de Sevilla y contrastar los resultados con un programa de cálculo luminotécnico de uso comercial.

La elección de la obra de referencia se hace por el conocimiento que se tiene al haber efectuado una visita a la misma y haber tenido conocimiento de primera mano, por parte tanto de los técnicos adscritos a la Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Sevilla y los de la propia empresa adjudicataria de las obras de Rehabilitación (Construcciones Bellido, S.A.), en la que pusieron de manifiesto todos aquellos problemas y peculiaridades que se estaban dando en esta obra en particular. Una de estas singularidades había constituido —en las primeras fases de obra— en la necesidad de disponer de proyectores halógenos para iluminar las distintas salas o estancias al carecer de suficiente iluminación natural.

En resumen, planteado un problema real (iluminación insuficiente de los lugares de trabajo) a una obra de rehabilitación concreta (Rehabilitación de Espacios Singulares del Real Monasterio de Santa Clara de Sevilla) se estudian los distintos métodos —dentro de la rama de optimización discreta— que abordan soluciones a la ubicación o localización de proyectores.

2. Historia del Real Monasterio de Santa Clara de Sevilla



Fig.1: Atrio y torre de D.Fadrique al fondo, desde el compás. a.1924

El Real Monasterio de Santa Clara es uno de los primitivos establecimientos conventuales que se crean en la ciudad de Sevilla tras su conquista a los musulmanes. Una larga historia, rica en episodios legendarios, unida a la protección real y de numerosos benefactores, ha conseguido dotar al complejo monástico de un legado patrimonial de un alto valor artístico e histórico ¹.

Hay que reseñar que se encuentra documentada la ubicación de las religiosas en su monasterio en fecha tan temprana como 1289, año en que se data una carta del rey Sancho IV el Bravo. Por la misma, el monarca hace donación a las clarisas de las casas y jardines



Fig.2: Patio año 1953. Fotografía Manuel Moreno.

que constituían el palacio de su tío, el infante don Fadrique. Como es sabido, Alfonso X había confiscado previamente el palacio, mandando ejecutar a su hermano Fadrique.

El monasterio contó tradicionalmente con el apoyo de la

Corona. En este sentido conviene subrayar la contribución de la reina doña María de Molina para sufragar los costos de la edificación de la iglesia y del propio convento. El palacio se fue modificando paulatinamente, para acoger la estructura conventual, dejando

¹ Declarado Monumento histórico-artístico por Decreto 158/1970, de 15 de enero.

como último testimonio de éste la torre de don Fadrique. El siglo XVI y el comienzo del XVII vieron el período más intenso en la construcción del actual monasterio.

Otro significativo avatar de la vida conventual fue la circunstancia de que doña María Coronel se refugiara en el convento, huyendo del asedio a que era sometida por el rey Pedro I. Profesó con las clarisas y, una vez recuperado su patrimonio, fundó el segundo convento de clarisas de la ciudad: Santa Inés.

La vida del monasterio de Santa Clara se ha desarrollado ininterrumpidamente en su actual emplazamiento, durante setecientos años. No llegaron a sufrir el trauma de la exclaustración, hecho que sí se dio en San Clemente, el único monasterio sevillano más antiguo que el de las clarisas, y cuya comunidad fue acogida durante el tiempo de la dominación francesa en Santa Clara, precisamente.

No obstante, padeció algunas distorsiones en su régimen de vida contemplativa, producidas por las disposiciones decimonónicas relativas a las órdenes religiosas. Las monjas prosiguieron en el inmueble pero durante un prolongado tiempo no pudieron mantener oficialmente vida en comunidad, ya que quedó prohibida.

Debieron entonces las monjas abandonar los dormitorios comunes, situándose de manera dispersa en el monasterio y admitiendo forzosamente inquilinas, es decir, haciendo la llamada "vida particular". Esto motivó que en algunos sectores del inmueble se efectuaran numerosas divisiones interiores en pequeños partidos que incluían cuartos, cocinillas, lavaderos, alacenas, etc., o se construyeran nuevas edificaciones de carácter doméstico, perdiéndose algunos vacíos conventuales.

3. Descripción

El monasterio, que originariamente debió ocupar toda la manzana, ha ido reduciendo su extensión de forma progresiva, para ocupar en estos momentos el centro de la misma. El perímetro de la manzana ha sido vendido de forma gradual, careciendo Santa Clara prácticamente de fachadas a la calle. En esencia, el complejo se compone de las dependencias de la clausura y la iglesia, más el compás con sus edificaciones perimetrales y el entorno de la torre.

El único ingreso al conjunto se produce por una estrecha portada que conduce al magnífico compás. Es obra del primer tercio del siglo XVII, presidida por la imagen en azulejería de la santa titular. El compás, un bello jardín de naranjos y una palmera datilera, con una fuente de mármol –llamada de la Universidad– en el centro, se encuentra rodeado por pequeñas edificaciones. Debieron de pertenecer a capellanes, civarios y sirvientes de las religiosas.

A un lado del compás se encuentra una portada tardogótica, de principios del XVI, que perteneció al colegio Maese Rodrigo, y que estuvo ubicada en las

proximidades de la Puerta de Jerez. Fue trasladada por el Ayuntamiento para dar acceso al área de la torre de don Fadrique. Esta zona servía a las religiosas de huertas y jardines plantados alrededor de la torre, importante obra de fábrica de ladrillo y sillería, identificable estilísticamente como propia de la transición del románico al gótico, levantada en 1252. Fue adquirida por el Ayuntamiento de Sevilla en 1920.

Cuatro años más tarde se concluyeron los trabajos de ordenación, construyéndose, en el entorno de la torre, unos andenes y un estanque para su realce. Este ámbito, así ornamentado, sirvió para ubicar el Museo Arqueológico Municipal.

La iglesia conventual es un ejemplo espléndido de arquitectura gótico-mudéjar que se comienza en el siglo XV. Sigue el tipo de nave única con coros alto y bajo a los pies. La separación de la nave se hace con una impresionante reja de hierro –abajo– y madera en el coro alto. Hay que destacar en este episodio el hermoso comulgatorio. La cabecera de la iglesia es ochavada y cubre la capilla mayor con bóveda ojival nervada hasta el arco toral. La nave lo hace con un artesonado mudéjar de alfarje, pintado de blanco y oro. A la derecha de la iglesia se encuentra el ámbito reservado por las religiosas para la sala “de profundis” y cementerio.



Fig.3: Claustro

En los siglos XVI y XVII se producen notables obras y modificaciones dentro de la iglesia. Particularmente en lo tocante a los aspectos decorativos, como los zócalos de azulejos, o los estucos y yeserías que diseñan Juan de Oviedo y Miguel de Zumárraga. Ambos son también artífices del magnífico pórtico de entrada al templo desde el compás. A destacar igualmente la espadaña, ejecutada por Juan de Vandelvira y Diego Coronado.

El pórtico manierista deja a la izquierda la sacristía de afuera y la antigua vivienda del capellán. El torno de la sacristía se sitúa al otro lado de la nave de la iglesia, junto a los últimos confesionarios. En otro tiempo se usaron los primitivos, magníficamente disimulados en el chapado de azulejos quinientistas que componen el zócalo interior de la iglesia.



Fig. 4: Atrio de la Iglesia. 1924. Fotgr. José María González-Nandín y Paúl

A la derecha del pórtico de entrada a la iglesia arranca una crujía edificatoria donde se encuentran el torno y los locutorios, el mayor de los cuales es conocido por las religiosas como “la grada”. Estos últimos espacios se encuentran a lo largo de un recogido callejón, que, partiendo del compás y cruzando un pasadizo, nos conduce a la puerta reglar.



Fig.5.: Puerta del Coro Bajo. 1924 .J.M^º Glez.-Nandín

La puerta reglar se encuentra –curiosamente– bastante alejada del torno, por lo que junto a ella se reserva un espacio para provisoría. Una vez traspasada la puerta reglar nos encontramos con la clavería y la sala de consultas.

En el interior se aprecia la virtud ordenadora del claustro sobre las múltiples arquitecturas que amalgamadas componen las dependencias de esta clausura, formando pequeños espacios urbanos: callejas y plazuelas incluidas. Y esto se produce con una hermosa y particularmente clara estructura arquitectónica.

Para empezar, los coros –continuando con el templo- entestan en el ala norte del claustro, que se dispuso perpendicularmente. Finalizado hacia 1532, está compuesto por cuatro frentes de galerías porticada con arcos de medio punto en el orden bajo y carpaneles en el alto, todos alfizados. La galería oeste del nivel superior es ciega y sólo se abren tres pequeñas ventanas mudejáricas.



Fig.6: Refectorio. 1953. Fotogr. Manuel Moreno



Fig. 7: Localización del monasterio dentro del Sector 9 "San Lorenzo-San Vicente" del Conjunto Histórico de Sevilla

De un modo análogo, el refectorio entesta perpendicularmente al claustro, en el centro del ala opuesta a la de la iglesia, y manteniendo paralelismo con ella. Se accede al mismo por el anterrefectorio. Es una estructura de contundente y sobria geometría. A destacar también, en torno al claustro otras dependencias,

como la capilla del Nacimiento, la enfermería baja, el despacho de la abadesa, la celda prioral –situada también a eje de un frente claustral, exactamente el de poniente– y la escalera principal, cuya imponente caja se cubre con un artesonado.

También con otro artesonado se cubre el dormitorio alto, que tras su parcial venta al vecino colegio municipal –actualmente cerrado– se ha quedado reducido a la mitad de su longitud, que en realidad medía noventa metros. Este ala de los dormitorios alto y bajo da a la calle Becas, pero la fachada es completamente ciega.

A un lado del refectorio encontramos la cocina y la provisoria. Al otro, se encuentran testimonios de la compleja y larga historia del convento: lacerías mudéjares de yeso decoran un muro de la galería sur del claustro, de pronto un arco ojival o un recoleto patio con pilares achaflanados de ladrillo visto nos recuerdan el pasado gótico y mudéjar del convento, que convive con el renacentista claustro, adornado luego con yeserías manieristas del instante de las reformas decorativas del templo

El monasterio de Santa Clara fue declarado Monumento Histórico en 1970. Poco después, el arquitecto Rafael Manzano Martos emprendió obras de restauración en la iglesia. En los últimos tiempos ha venido sufriendo diversas reformas y reparaciones –como las efectuadas en el noviciado– generalmente por cuenta de las religiosas y mayoritariamente destinadas a la consolidación.

El monasterio ha dado nombre a una calle y a un barrio, que ha visto desarrollar su evolución urbana en íntima ligazón con los conventos que allí se asientan y donde Santa Clara ocupa una posición central.

En diciembre de 2000 se aprobó definitivamente el Plan Especial de Protección del Sector 9 “San Lorenzo-San Vicente” del Conjunto Histórico de Sevilla, del que se extrae que el inmueble posee nivel de protección A (integral) en el Plan General de Ordenación Urbana de 1987; además de que el edificio está incluido dentro del Conjunto Histórico de Sevilla, ampliando la declaración según R.D. de 2 de noviembre de 1990.

4. La intervención

La intervención que se lleva a cabo en el convento, por parte de la Gerencia de Urbanismo del Ayuntamiento de Sevilla, propone ser un primer paso de cara a impulsar la revitalización del casco norte del Conjunto Histórico Declarado de la ciudad de Sevilla; revitalización marcada por las directrices del Plan General de Ordenación Urbanística de Sevilla de julio de 2006. Por ello, la intención del organismo municipal pasa por implantar un gran centro de servicios culturales en el inmueble.

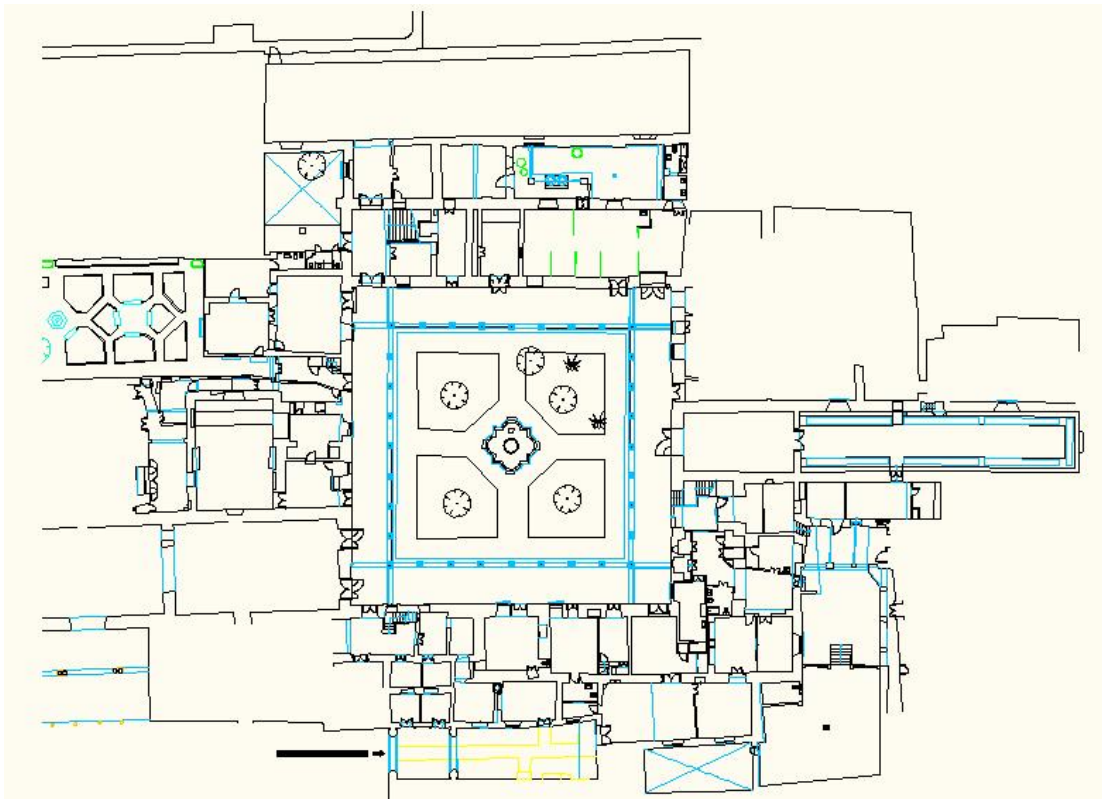


Fig.8: Plano de Planta Baja. Estado Actual

Originalmente se tiene previsto intervenir tanto en planta alta como en planta baja de a zona del inmueble que es de titularidad municipal, dejando intacta la zona de titularidad del Arzobispado de Sevilla.

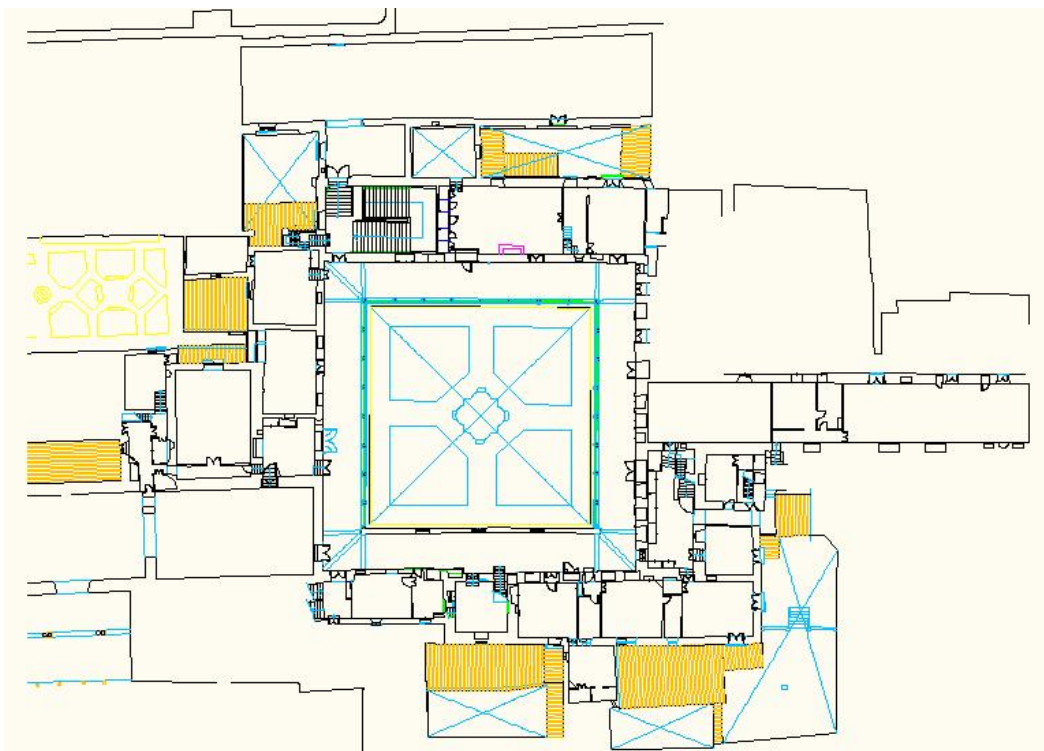


Fig.9: Plano de Planta Alta. Estado Actual

No obstante lo anterior, en el presente trabajo se realizará el estudio solamente en la planta baja objeto de la intervención.



Figuras 10 y 11. Secciones constructivas. Estado Actual

3

Fundamento teórico. El modelo matemático.

1. Introducción.

En este capítulo se plasman las ideas generales y todo el cuerpo teórico que se cita en el título del presente Trabajo Fin de Máster: Por una parte sentar las bases de lo que supone la optimización discreta y la teoría de algoritmos para dar solución problemas de optimización; luego se hará hincapié en la idea central sobre la que gravita el presente Trabajo Fin de Máster; esto es el Problema de la Galería de Arte y el algoritmo propuesto por Godfried T.Toussaint;; para culminar abordando el estado de la cuestión sobre los problemas de iluminación en las Matemáticas.

2. Definiciones. Nociones combinatoriales.

Antes de abordar con cierta profundidad el modelo matemático y todo el cuerpo teórico del presente Trabajo Fin de Máster, es preciso dar una serie de definiciones y fijar conceptos en optimización combinatoria.

2.1. Optimización discreta.

Para abordar la resolución de muchos problemas cotidianos que se dan en la vida profesional de un Arquitecto Técnico (o un Ingeniero de Edificación), resulta normal recurrir a modelos matemáticos que, abarquen todas las cuestiones delimitadoras y definitorias de tales problemas; y en no pocas de éstas ocasiones, la resolución se plantea desde la óptica de un problema matemático o problema de optimización.

En líneas generales, los problemas de optimización consisten en encontrar la "mejor" solución que satisface unas condiciones dadas, donde "mejor" será el máximo o el mínimo de cierta función objetivo. De esta forma, multitud de problemas del día a día y, en particular, los problemas a los que se enfrenta una empresa de construcción se pueden modelar como un problema de optimización como, por ejemplo, la optimización de los recursos de la empresa.

Los modelos de optimización discreta juegan en la actualidad un papel muy importante en muchas aplicaciones prácticas tales como logística, producción, economía, ingeniería, transportes, telecomunicaciones e informática. Para algunos tipos de problemas de optimización discreta se han desarrollado métodos de solución efectivos, pero todavía no existe una metodología general que se pueda aplicar para resolver todos los tipos de problemas de manera eficiente. Dado que para un gran número de problemas de optimización discreta, los métodos exactos siguen siendo ineficientes, en los últimos años se

ha realizado un gran esfuerzo por desarrollar métodos aproximados que proporcionen soluciones de buena calidad con un esfuerzo razonable.

Por otro lado, el avance en la tecnología informática ha permitido resolver problemas que en el pasado simplemente no habrían sido considerados. Esto ha dado origen a la búsqueda de métodos de solución eficientes para problemas de optimización discreta que han permitido el desarrollo de nuevas metodologías tales como los métodos meta-heurísticos, los cuales han sido aplicados con éxito a un gran número de problemas. Entre estos problemas se tienen los problemas de localización discreta, que consideran situaciones en donde el proceso de toma de decisión consiste en ubicar instalaciones, dentro de un conjunto discreto de posibles localizaciones, en relación con un conjunto de factores que deben ser atendidos por la instalaciones a ubicar, de una manera óptima con respecto a una función objetivo.

2.2. Algoritmos.

En matemáticas, ciencias de la computación y disciplinas relacionadas, un **algoritmo** es una lista bien definida, ordenada y finita de operaciones que permiten hallar la solución a un problema. Dado un estado inicial y una entrada, a través de pasos sucesivos y bien definidos se llega a un estado final, obteniendo una solución.

En la vida cotidiana se emplean algoritmos en multitud de ocasiones para resolver diversos problemas. Algunos ejemplos se encuentran en las conocidas “instrucciones” o “manuales de usuario”, las cuales muestran algoritmos para usar el aparato en cuestión o incluso en las instrucciones que recibe un trabajador por parte de su jefe. También existen ejemplos de índole matemática, como el algoritmo de la división para calcular el cociente de dos números, el algoritmo de Euclides para calcular el máximo común divisor de dos enteros positivos, o el método de Gauss para resolver un sistema ecuaciones lineales.

2.3. Medios de expresión de un algoritmo.

Los algoritmos pueden ser expresados de muchas maneras, incluyendo al lenguaje natural, pseudocódigo, diagramas de flujo y lenguajes de programación entre otros. Las descripciones en lenguaje natural tienden a ser ambiguas y extensas. El usar pseudocódigo y diagramas de flujo evita muchas ambigüedades del lenguaje natural. Estas expresiones son formas más estructuradas para representar algoritmos; no obstante, se mantienen independientes de un lenguaje de programación específico.

La descripción de un algoritmo usualmente se hace en tres niveles:

1. Descripción de alto nivel. Se establece el problema, se selecciona un modelo matemático y se explica el algoritmo de manera verbal, posiblemente con ilustraciones y omitiendo detalles.

2. Descripción formal. Se usa pseudocódigo para describir la secuencia de pasos que encuentran la solución.
3. Implementación. Se muestra el algoritmo expresado en un lenguaje de programación específico o algún objeto capaz de llevar a cabo instrucciones.

También es posible incluir un teorema que demuestre que el algoritmo es correcto, un análisis de complejidad o ambos.

2.4. Definiciones.

Diagrama de flujo

Los diagramas de flujo son descripciones gráficas de algoritmos; usan símbolos conectados con flechas para indicar la secuencia de instrucciones y están regidos por las normas de estandarización internacional (ISO) ¹.

Los diagramas de flujo son usados para representar algoritmos pequeños, ya que abarcan mucho espacio y su construcción es laboriosa. Por su facilidad de lectura son usados como introducción a los algoritmos, descripción de un lenguaje y descripción de procesos a personas ajenas a la computación.

Pseudocódigo

Pseudocódigo es la descripción de un algoritmo que se asemeja a un lenguaje de programación pero con algunas convenciones del lenguaje natural. Tiene varias ventajas con respecto a los diagramas de flujo, entre las que se destaca el poco espacio que se requiere para representar instrucciones complejas. El pseudocódigo no está regido por ningún estándar; “pseudo” viene de falso y por ende es un código al que, aunque es entendible, no se aplica al proceso que debe realizar la máquina.

Máquina de Turing

La máquina de Turing es un modelo matemático, diseñado por Alan Turing, que formaliza el concepto de algoritmo. A este modelo se le refiere comúnmente como la “descripción de más bajo nivel” por el hecho de que no utiliza ninguna expresión coloquial.

Implementación

Muchos algoritmos son ideados para implementarse en un programa. Sin embargo, los algoritmos pueden ser implementados en otros medios, como una red neuronal, un circuito eléctrico o un aparato mecánico y eléctrico. Algunos algoritmos se han diseñado especialmente para implementarse usando lápiz y papel. Ejemplo de estos son los conocidos: El algoritmo de multiplicación

¹ ISO 5807:1985. Information processing -- Documentation symbols and conventions for data, program and system flowcharts, program network charts and system resources charts.
http://www.iso.org/iso/catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=11955

tradicional, el algoritmo de Euclides, la criba de Eratóstenes y muchas formas de resolver la raíz cuadrada.

2.5. Análisis de algoritmos

Como medida de la eficiencia de un algoritmo, se suelen estudiar los recursos (memoria y tiempo) que consume el algoritmo. El análisis de algoritmos se ha desarrollado para obtener valores que de alguna forma indiquen (o especifiquen) la evolución del gasto de tiempo y memoria en función del tamaño de los valores de entrada.

El análisis y estudio de los algoritmos es una disciplina de las ciencias de la computación y, en la mayoría de los casos, su estudio es completamente abstracto sin usar ningún tipo de lenguaje de programación ni cualquier otra implementación; por eso, en ese sentido, comparte las características de las disciplinas matemáticas. Así, el análisis de los algoritmos se centra en los principios básicos del algoritmo, no en los de la implementación particular. Una forma de plasmar (o algunas veces "codificar") un algoritmo es escribirlo en pseudocódigo o utilizar un lenguaje muy simple tal como *Léxico*, cuyos códigos pueden estar en el idioma del programador.

Algunos autores restringen la definición de algoritmo a procedimientos que deben acabar en algún momento, mientras que otros consideran procedimientos que podrían ejecutarse eternamente –sin pararse–, suponiendo el caso en el que existiera algún dispositivo físico que fuera capaz de funcionar eternamente. En este último caso, la finalización con éxito del algoritmo no se podría definir como la terminación de éste con una salida satisfactoria, sino que el éxito estaría definido en función de las secuencias de salidas dadas durante un periodo de vida de la ejecución del algoritmo. Por ejemplo, un algoritmo que verifica que hay más ceros que unos en una secuencia binaria infinita debe ejecutarse siempre para que pueda devolver un valor útil. Si se implementa correctamente, el valor devuelto por el algoritmo será válido, hasta que evalúe el siguiente dígito binario. De esta forma, mientras evalúa la siguiente secuencia podrán leerse dos tipos de señales: una señal positiva (en el caso de que el número de ceros sea mayor que el de unos) y una negativa en caso contrario. Finalmente, la salida de este algoritmo se define como la devolución de valores exclusivamente positivos si hay más ceros que unos en la secuencia y, en cualquier otro caso, devolverá una mezcla de señales positivas y negativas.

Según su función tenemos dos tipos de algoritmos: Algoritmos de ordenamiento y algoritmos de búsqueda.

2.6. Técnicas de diseño de algoritmos.

En cuanto a las técnicas de diseño de algoritmos se tienen:

Algoritmos voraces (greedy): seleccionan los elementos más prometedores del conjunto de candidatos hasta encontrar una solución. En la mayoría de los casos la solución no es óptima.

Algoritmos paralelos: permiten la división de un problema en subproblemas de forma que se puedan ejecutar de forma simultánea en varios procesadores.

Algoritmos probabilísticos: algunos de los pasos de este tipo de algoritmos están en función de valores pseudoaleatorios.

Algoritmos determinísticos: El comportamiento del algoritmo es lineal: cada paso del algoritmo tiene únicamente un paso sucesor y otro antecesor.

Algoritmos no determinísticos: El comportamiento del algoritmo tiene forma de árbol y a cada paso del algoritmo puede bifurcarse a cualquier número de pasos inmediatamente posteriores, además todas las ramas se ejecutan simultáneamente.

Divide y vencerás: dividen el problema en subconjuntos disjuntos obteniendo una solución de cada uno de ellos para después unirlos, logrando así la solución al problema completo.

Metaheurísticas: encuentran soluciones aproximadas (no óptimas) a problemas basándose en un conocimiento anterior (a veces llamado experiencia) de los mismos.

Programación dinámica: intenta resolver problemas disminuyendo su coste computacional aumentando el coste espacial.

Ramificación y acotación: se basa en la construcción de las soluciones al problema mediante un árbol implícito que se recorre de forma controlada encontrando las mejores soluciones.

Vuelta Atrás (Backtracking): se construye el espacio de soluciones del problema en un árbol que se examina completamente, almacenando las soluciones menos costosas.

3. El modelo matemático. Estado de la Cuestión.

3.1. Introducción.

Desde hace muchos años se han estudiado en matemáticas los problemas de iluminación de objetos. Los problemas de iluminación utilizando lámparas que emiten luz dentro de una zona angular, reflectores, han sido estudiados comúnmente. En este punto damos con detalle los principales teoremas con sus demostraciones con el fin de poner de manifiesto el interés de los problemas abiertos que se dan en el Capítulo 7

El primer problema estudiado sobre iluminación de reflectores, es el conocido como el problema de la iluminación de estrados. *J. Urrutia [2]*

Supongamos que estamos en un teatro con sus numerosos reflectores, y su estrado. El problema de iluminación de estrados, consiste en decidir si los reflectores del teatro pueden ser rotados sobre sus bases de tal manera que todo el estrado quede iluminado.

En términos matemáticos el problema se formula de la siguiente manera:

Supongamos que tenemos un segmento de línea L y un conjunto de reflectores r_1, \dots, r_n representados por fuentes de luz que iluminan solo en una zona angular de tamaño α_i , $i=1, \dots, n$. Supongamos que los vértices de dichos reflectores están fijos, y que éstos se pueden rotar sobre sus vértices. ¿Será posible rotar r_1, \dots, r_n de tal manera que el segmento de línea L quede iluminado? Figura 12. Hasta el momento, no se conoce ningún algoritmo eficiente para resolver este problema.

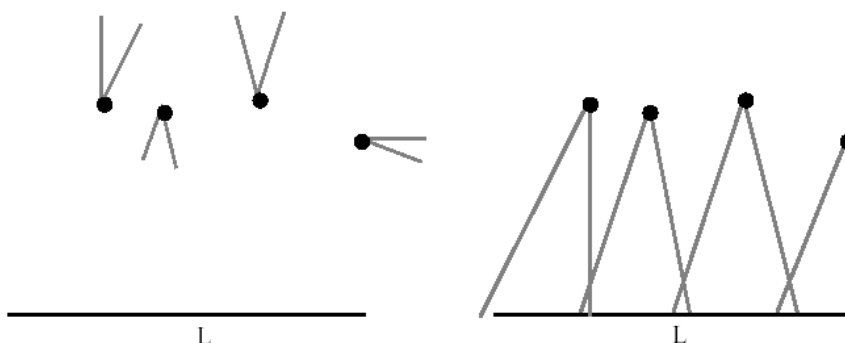


Figura 12. Iluminación de polígonos.

En este apartado se realizará un breve estudio sobre la iluminación de polígonos, los problemas que se describen se pueden encuadrar en varios tipos: problemas de iluminación con reflectores en los vértices, problemas donde lo que se busca son las cotas inferiores y superiores del número de reflectores para iluminar polígonos simples, problemas donde lo que se busca es las cotas inferiores y superiores en el tamaño de los ángulos de los reflectores para iluminar polígonos., así como algún trabajo centrado en la optimización de algoritmos para encontrar tiempos mejores en la resolución de los problemas.

3.2. Iluminación de polígonos simples [3]

Un polígono simple P puede iluminarse colocando reflectores en un subconjunto S de los vértices de P de tal manera que la suma de los ángulos internos en los vértices de S es como máximo $\frac{(n-2)\pi}{3}$.

Sea un polígono simple con n vértices. En caso de que sea posible colocar como máximo $n-2$ reflectores de tamaño menor o igual a $\frac{\pi}{3}$ sobre los vértices de P , estos pueden ser colocados de tal manera que todo P quede iluminado. Para probar esto, basta con observar que cualquier triangulación de P contiene exactamente $n-2$ triángulos, y que cada triángulo tiene un ángulo de tamaño máximo de $\frac{\pi}{3}$.

Esta solución no es muy plausible, ya que puede suceder que en algún vértice se coloque más de un reflector. Supongamos entonces que a cada vértice v_i de P le asociamos un peso α_i igual al tamaño del ángulo interno a P generado en v_i , $i=1, \dots, n$.

Dado un subconjunto S de los vértices de P , decimos que S ilumina P si todo punto de P es visible desde algún vértice en S . Asociemos ahora un peso a S igual a la suma de los pesos de los elementos de S .

Teorema: Todo polígono P con n vértices tiene un subconjunto S que lo ilumina de tal manera que el peso de S es como máximo $\frac{(n-2)\pi}{3}$. Para cada $\varepsilon > 0$ existen polígonos tales que no tienen conjuntos de vértices que los iluminen de peso $\frac{(n-2)\pi}{3} - \varepsilon$.

Prueba: Recordemos primero que la suma de los ángulos internos de cualquier polígono con n vértices es $(n-2)\pi$. Triangulemos P añadiendo $n-3$ diagonales internas, y tres coloreemos los vértices de P de tal manera que si dos vértices están unidos por una arista de P o por una de las $n-3$ diagonales que se añadieron, reciben colores diferentes. Esto induce una partición de los vértices de P en tres subconjuntos ajenos, cada uno de los cuales iluminan P . Por tanto alguno de ellos tiene peso máximo $\frac{(n-2)\pi}{3}$. Para probar que $\frac{(n-2)\pi}{3} - \varepsilon$ no es suficiente, consideremos el polígono de la Figura 16.

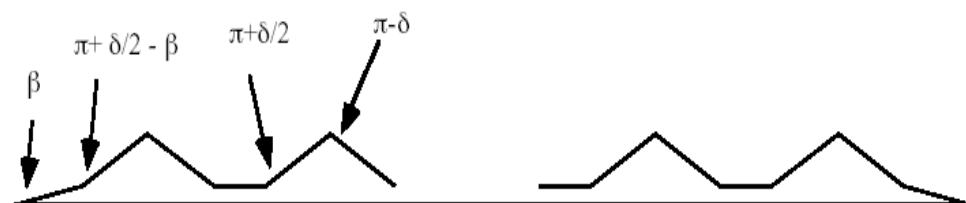


Figura 13. Iluminación de polígonos simples.

Dicho polígono contiene $n=3m+2$ vértices, m vértices de peso $\pi - \delta$. Nótese que el polígono puede ser escogido de tal manera que cada vértice de peso $\pi - \delta$ es visible sólo desde los vértices adyacentes a él, más aun, δ puede escogerse tan pequeño como se quiera. Luego entonces para iluminar dichos puntos se

necesita escoger un vértice de peso al menos $\pi - \delta$, por ejemplo para iluminar P se necesita un subconjunto de vértices de peso al menos $m(\pi - \delta)$, lo cual prueba nuestro resultado.

Otra pregunta natural que surge del poder iluminar un polígono con $n-2$ reflectores de tamaño $\frac{\pi}{3}$ es la siguiente:

¿Será posible iluminar un polígono simple P colocando un reflector de tamaño como máximo $\frac{\pi}{3}$ en cada vértice de P ? ¿Existirá algún $\delta < \pi$ tal que todo polígono puede iluminarse colocando en cada vértice un reflector de tamaño máximo δ ? Es fácil ver que colocando un reflector de tamaño máximo π en cada vértice, P puede ser iluminado. Para probar esto, triangulemos nuevamente P con $n-3$ diagonales. Observemos que una de estas diagonales uniendo dos vértices u y v corta P en dos partes, una de las cuales es un triángulo con vértices u, v, z . Coloquemos en z un reflector de tamaño igual al peso de z de tal manera que el triángulo u, v, z quede iluminado por este reflector. El resultado puede probarse ahora por inducción sobre el número de vértices de P .

Teorema: Para cualquier $\varepsilon > 0$ existen polígonos simples que no pueden ser iluminados con reflectores de tamaño menor o igual a $\pi - \varepsilon$ aun permitiendo un reflector por vértice.

Se probará que reflectores de tamaño menor o igual a $\frac{\pi}{2}$ no son suficientes. La prueba general para $\pi - \varepsilon$ es fácil de obtener de este resultado.

Sea el polígono P presentado en la figura 14. Este polígono es simétrico con respecto a la vertical por el vértice v_m . Los ángulos internos a los vértices v_1, v_2, v_3 son mayores que $\frac{\pi}{2}$. Supongamos por ahora que no es posible colocar un reflector en el vértice v_m y que todos los reflectores que se usan son de tamaño máximo $\frac{\pi}{2}$. Como el ángulo interno a P en v_3 es mayor que $\frac{\pi}{2}$, para iluminar todos los puntos de P en el entorno de v_3 , un reflector en v_3 no es suficiente. Además, si un punto de P está lo suficientemente cerca de v_3 , este no es visible desde v_2, r_1 y v_1 . Por tanto para iluminar todos los puntos en el entorno de v_3 se necesitan utilizar reflectores en v_3 y en r_2 . Esto implica que el reflector colocado en r_2 no ilumina v_2 . Utilizando argumentos análogos, se puede ver ahora que para iluminar el entorno de v_2 se necesitan los reflectores en v_2 y r_1 . Por tanto para iluminar el entorno de v_1 sólo se puede utilizar el reflector en v_1 . Pero como este reflector no basta por si solo para iluminar el entorno de v_1 , esto nos fuerza a utilizar el reflector en v_m para completar la iluminación de dicho entorno.

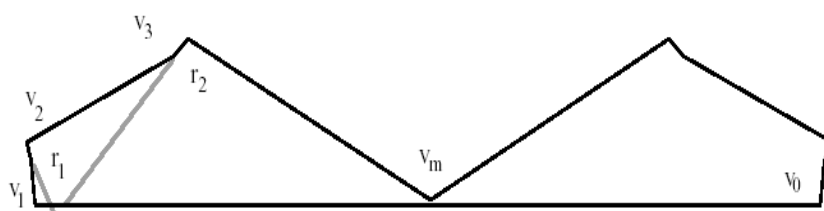


Figura 14. Iluminación de polígonos simples II.

Pero como P es simétrico, para iluminar el entorno de v_0 también se necesita el reflector en v_m . Como el reflector en v_m no puede iluminar simultáneamente v_0 y v_1 se puede concluir que no es posible iluminar P con reflectores de tamaño menor o igual a $\frac{\pi}{2}$ en cada vértice.

No es difícil ahora ver que el ejemplo de la Figura 17 puede modificarse agregando vértices en ambos lados de P de tal manera que:

Cada lado contiene m vértices convexos, $m-1$ cóncavos.

Cada v_i es visible solo desde r_{i-1} y r_i , $i = 1, \dots, m-1$ y v_m es sólo visible desde v_{m-1}

Para m suficientemente grande los ángulos convexos en los vértices v_1, \dots, v_m son arbitrariamente cercanos a π .

Si se permiten reflectores de tamaño π sobre aristas de P se sabe que $\frac{\pi}{2}$ reflectores bastan.

3.3. Iluminación de Polígonos Ortogonales con $\frac{\pi}{2}$ -v reflectores. [4]

Teorema: $\left\lceil \frac{3(n-1)}{8} \right\rceil \frac{\pi}{2} \cdot v$ reflectores son suficientes y a veces necesarios para iluminar cualquier polígono ortogonal con n vértices.

Considérese un polígono ortogonal con n vértices. Todos los vértices de P generan ángulos interiores a P de tamaño $\frac{\pi}{2}$ o $\frac{3\pi}{2}$. Es fácil probar que

cualquier polígono ortogonal tiene exactamente $\frac{n-4}{2}$ vértices cóncavos y

$\frac{n+4}{2}$ vértices convexos.

Una arista e de P se llamará una arista superior, si el interior del P está por debajo de e . En forma análoga, se pueden definir aristas derechas, izquierdas e inferiores de P , Figura 18. Es por ello que el polígono P puede iluminarse con reflectores ortogonales utilizando la siguiente regla de iluminación:

Regla Izquierda-Superior:

En el extremo superior de toda arista izquierda, coloquemos un reflector ortogonal iluminando el sector angular entre $\frac{3\pi}{2}$ y 2π .

En el extremo izquierdo de toda arista superior, coloquemos un reflector ortogonal iluminando el sector angular entre $\frac{3\pi}{2}$ y 2π .

En forma análoga, se pueden definir tres reglas más de iluminación, Regla Superior-Derecha, Regla Derecha-Inferior y Regla Inferior-Izquierda.

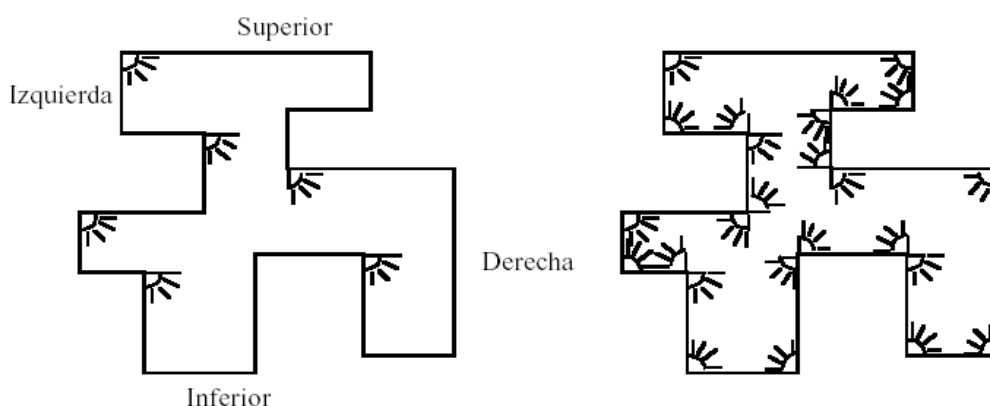


Figura 15. Regla Izquierda-Superior.

Teorema: Todo polígono ortogonal puede iluminarse con un máximo de $\left\lceil \frac{3n-4}{8} \right\rceil$ v reflectores ortogonales.

Prueba: El polígono P puede iluminarse de cuatro maneras diferentes colocando reflectores ortogonales en los vértices de P. Nótese que los conjuntos de reflectores utilizados en las reglas Izquierda-Superior, Superior-Derecha, Derecha-Inferior e Inferior-Izquierda son ajenos. Más aún, es fácil ver que si se colocan reflectores ortogonales usando simultáneamente las cuatro reglas de iluminación, en cada vértice cóncavo se pondrán exactamente dos reflectores y en cada vértice convexo uno. Figura 15.

Ahora bien, como el número de vértices cóncavos es $\frac{n-4}{2}$, y el número de vértices convexos es $\frac{n+4}{2}$, el número total de reflectores utilizado por las cuatro reglas es $\left\lceil \frac{3n-4}{8} \right\rceil$.

Esto indica que una de las cuatro reglas de iluminación utiliza como máximo $\left\lceil \frac{3n-4}{8} \right\rceil$.

Para probar que existen polígonos que requieren $\left\lceil \frac{3n-4}{8} \right\rceil$ reflectores ortogonales se muestran los polígonos de la Figura 16. El primero P₁₂ —denominado la hélice— con cuatro aspas tiene 12 vértices, y requiere cuatro reflectores ortogonales. El segundo se obtiene pegando dos hélices por un asa. Es fácil ver que el número de vértices se incrementa en 8, y el número de reflectores requeridos por tres. Repitiendo esta operación de pegar extras de P₁₂ se puede obtener una familia de polígonos con $n=12 + 8m$ vértices que requieren $4 + 3m$ reflectores ortogonales, lo cual prueba esta cota inferior.

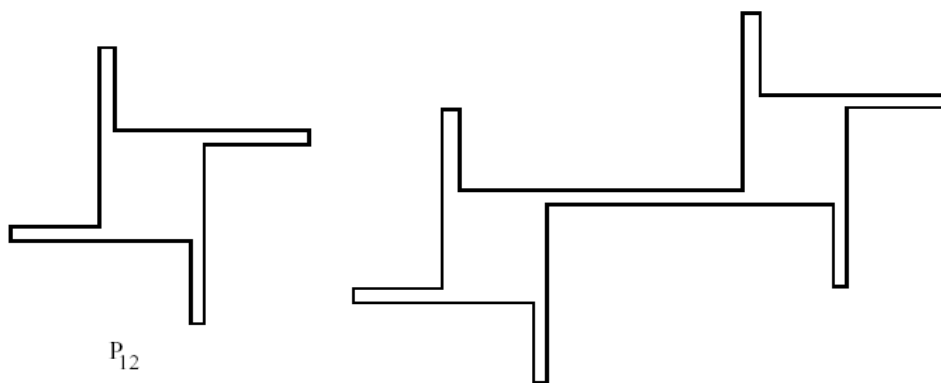


Figura 16. Polígonos con aspas

3.4. El Problema de los Tres Reflectores. [5]

Teorema.: Sean $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ tres ángulos tales que $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = \pi$, y sea P polígono convexo. Entonces siempre se pueden colocar tres reflectores de tamaño máximo $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ con sus extremos sobre vértices de P de manera que P quede iluminado y no coloquemos más de un reflector sobre cada vértice de P.

Prueba: Si P es un triángulo, nuestro resultado es cierto. Sea P un polígono convexo con al menos cuatro vértices, y supongamos que $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3$. Observemos primero que

$\alpha_2 < \frac{\pi}{2}$ y que como P tiene al menos cuatro vértices uno de sus ángulos

internos generado en alguno de sus vértices es mayor o igual que $\frac{\pi}{2}$. Sea T un

triángulo cuyos ángulos sean $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ tal que:

El vértice de T de tamaño α_2 está colocado sobre un vértice v de P que genera un ángulo mayor o igual a α_2

Los otros dos vértices de T están colocados sobre dos puntos x , y en la frontera de P .

Supongamos que tanto x como y pertenecen a aristas distintas de P digamos e_1 y e_2 ver Figura 17. El caso cuando x e y pertenecen a la misma arista de P es fácil de resolver y no lo trataremos en este trabajo.

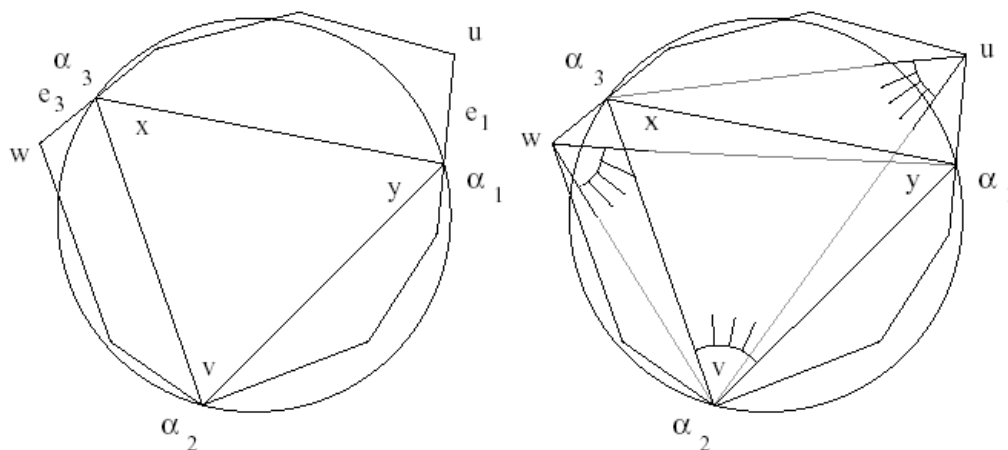


Figura 17. Iluminación con 3 Reflectores

Coloquemos un reflector f_2 de apertura α_2 en v de tal manera que ilumine T . Sea C el círculo determinado por los vértices de T . es fácil ver que al menos un vértice de e_1 y e_2 no está contenido en el interior de C . Sean u y w estos vértices. Hay dos casos que analizar:

$u \neq w$. Se coloca un reflector f_1 sobre u iluminando la zona angular determinada por v , u , x y otro, f_3 sobre w iluminando la zona angular determinada por v , w , y . Como f_1 y f_2 no están en el interior de C , los ángulos de iluminación de f_1 y f_3 son como máximo, α_1 y α_2 respectivamente.

$u = w$. Sea T' el triángulo determinado por el segmento que une a x con y , y las tangentes a C en estos puntos. El ángulo generado en el vértice x de T' que no está sobre C es $\Pi - 2\alpha_2$. Nótese que x pertenece al interior del triángulo T'' con vértices x , y , u y por tanto al ángulo de T'' en u es menor que $\Pi - 2\alpha_2$. Como $\alpha_1 \leq \alpha_2 \leq \alpha_3$ $\Pi - 2\alpha_2 \leq (\Pi - (\alpha_1 + \alpha_2)) = \alpha_3$. Por tanto colocando un reflector de tamaño máximo α_3 en u se ilumina P .

El resultado anterior no se generaliza para más de tres reflectores. O'Rourke, Streinu y Shermer [6] probaron que si m es suficientemente grande, existen ángulos $\alpha_1, \dots, \alpha_m$ que suman Π y polígonos con $n \geq m$ vértices que no pueden ser iluminados con m reflectores de tamaños $\alpha_1, \dots, \alpha_m$ colocados sobre sus vértices.

Un problema abierto podría ser la determinación del valor máximo de m para el cual el resultado se generaliza.

3.5. El Problema de los dos Reflectores.[7]

Se analiza el problema de iluminación de un polígono convexo con dos reflectores. Para ello se describirá como poder iluminar estos polígonos con un algoritmo de complejidad $O(n^2)$.

El algoritmo óptimo será:

Para empezar se realizarán una serie de definiciones y consideraciones iniciales:

Un reflector F_i de tamaño α es una fuente de luz que proyecta luz en un cono de tamaño α .

F_i será llamado un α -Reflector.

Si el origen de un α -Reflector está localizado en un punto p y p es un vértice de un polígono, lo llamaremos α -Reflector vértice.

Consideremos dos puntos a y b que están en el límite de un polígono P , no necesariamente vértices de P . El intervalo (a, b) de P está definido como el conjunto de vértices de P que nos encontramos cuando nos movemos en dirección de las agujas del reloj sobre el límite de P desde a hasta b .

En resumen: nos referiremos al intervalo (a, b) como el intervalo (a, b) vértice. Nótese que $(a, b) \neq (b, a)$. En particular, cuando a y b son puntos interiores de P , (a, b) u (b, a) es el conjunto de vértices de P .

Un par de reflectores F_1 y F_2 que ilumina un polígono P será llamado FLIP (floodlight illuminating pair [par de reflectores iluminantes]) de P . Llamaremos FLIP Óptimo si la suma de F_1 y F_2 es semejante a la suma de sus aberturas. Llamaremos FLIP Opuesto a aquel en el que las intersecciones de las regiones iluminadas por F_1 y F_2 sea un cuadrilátero con todos sus vértices en los límites de P . Se puede ver en la Figura 18. Por último llamaremos FLIP divisorio a aquel en el que en el que las regiones iluminadas por F_1 y F_2 sean disjuntas. Se puede ver en la Figura 19.

Definiremos c -triple a un subconjunto de 3 vértices $\{u, v, w\}$ que forman un triángulo $T(P)$. Dos c -triples son adyacentes si comparten dos elementos comunes. Los vértices que no son compartidos de estos c -triples son denominados como antipodales.

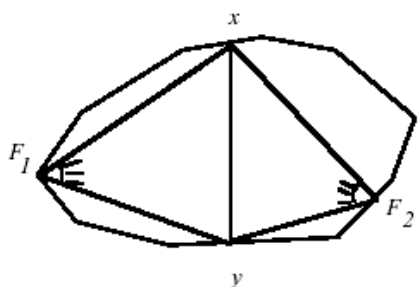


Figura 18. flip opuesto



Figura 19. flip divisorio

Se definirán una serie de Lemas dejando fuera del alcance del siguiente apartado sus respectivas pruebas:

Lema 1. Sean F_1 y F_2 un FLIP óptimo de P . Entonces los vértices de F_1 y F_2 están situados en vértices de P .

Lema 2. Dados dos vértices p y q de un polígono P , se pueden encontrar en un tiempo lineal un FLIP óptimo opuesto.

Lema 3. Si dos vértices p y q de un polígono P son cumbres de un FLIP óptimo entonces no hay un c -triple que separe p de q .

A partir del lema 3 deducimos el siguiente Corolario:

Corolario: Sean p y q cumbres de un FLIP óptimo de un polígono P . entonces hay un círculo a través de p y q que contiene P o p y q son los vértices antipodales de dos c -triples adyacentes de P .

A partir de los lemas anteriores, se puede definir un algoritmo O-FLIP para encontrar un óptimo FLIP de un polígono P .

O-FLIP

Entrada. Un Polígono P con n vértices.

Paso 1. Encontrar la triangulación $T(P)$ de P y todos los c -triples de P .

Paso 2. Encontrar todos los pares de vértices antipodales para todos los pares de c -triples adyacentes.

Paso 3. Para cada par de vértices antipodales p y q encontrar un FLIP óptimo opuesto en un tiempo lineal.

Paso 4. Para cada par de vértices p y q de P encontrar en un tiempo constante el par que particiona los reflectores F_1 y F_2 con cumbres p y q que iluminan P y minimizan la suma de los tamaños de F_1 y F_2

Salida. El FLIP con menor peso obtenido en los pasos 3 y 4.

Teorema. Dado un polígono convexo P con n vértices en posición general un O-FLIP encuentra un óptimo FLIP de P en $O(n^2)$.

En el caso de que nuestro polígono sea co-circular cada par de reflectores podrá ser encontrado en un tiempo de lineal. No es objeto de este apartado entrar más detalle en dicho caso.

3.6. Iluminación de polígonos con reflectores con rango de visión uniforme. [8]

Se trata de encontrar los límites inferiores para iluminar galerías de arte con el mínimo número de reflectores con un rango de visión uniforme.

Problema 1. Dado $\alpha \in (0, 360^\circ]$, Cual es el mínimo número de guardias necesario para monitorizar cualquier polígono de n lados, teniendo todos los guardias un ángulo de visión de α .

Un guardia con rango de visión α es un punto $A \in P$ y un dominio angular HA de ángulo α con su cumbre A . A punto $B \in P$ es monitorizado por (A, HA) , si: $A \in P \cap H$

Notado por $f(n, \alpha)$ el máximo número de α -guardias requeridos para monitorizar un polígono con n lados para un $\alpha \in [0^\circ, 360^\circ]$. Tenemos: $g(\alpha) = \lim_{n \rightarrow \infty} f(n, \alpha)/n$

Para determinar $g(\alpha)$ con $\alpha \in (0^\circ, 360^\circ]$:

Es sabido que $g(\alpha) = 1/3$, para $\alpha \in [180^\circ, 360^\circ]$ [1,8], y $g(\alpha) = 1$ para $\alpha \in [45^\circ, 60^\circ]$ [3], claramente $g(\alpha)$ es monótono, y $\lim_{\alpha \rightarrow 0^\circ} g(\alpha) = \infty$

Para determinar los límites inferiores para $g(\alpha)$ para $\alpha < 180^\circ$:

En cada caso la prueba está basada en construcciones explícitas de polígonos que requieren al menos un cierto número de α -guardias. En las pruebas de los teoremas para $\alpha \in [90^\circ, 180^\circ)$ y $\alpha \in [60^\circ, 90^\circ)$ se usa un argumento combinatorial.

Límite inferior para $\alpha < 180^\circ$

Se sabe que $\lfloor n/3 \rfloor$ guardias de 180° pueden monitorizar un polígono simple con n lados. De aquí tenemos que $g(\alpha) \leq 2/3$ se obtiene de un método obvio de colocación de guardias: considerar una colocación óptima de guardias de 180° y remplazar estos por dos guardias de 90° . Un límite inferior de $g(\alpha) \geq 2/3$ es una consecuencia directa del siguiente teorema:

Teorema 1. Para todo $n \equiv 2 \pmod{3}$, $n \geq 5$ y todo $\alpha < 180^\circ$, existe una galería de arte P con n lados que no puede ser monitorizada con menos de $2n/3 - 1$ α -guardias.

Corolario 2. Para todo $n \geq 3$ y $\alpha < 180^\circ$, existe una galería de arte P de n lados que no puede ser monitorizada con menos de $2n/3 - 3$ α -guardias.

Límite inferior para $\alpha < 90^\circ$

Teorema 3. Para todo $n \equiv 1 \pmod{4}$, $n \geq 5$ y todo $\alpha < 90^\circ$ existe una galería de arte P de n lados que no puede ser monitorizada con menos de $3n/4 - 1$ α -guardias.

Corolario 4. Para todo $n \geq 3$ y $\alpha < 90^\circ$, existe una galería de arte P de n lados que no puede ser monitorizada con menos de $3n/4 - 4$ α -guardias.

Límite inferior para $\alpha < 60^\circ$

Teorema 5. Para todo impar $n \geq 3$ y $\alpha < 60^\circ$, existe una galería de arte P de n lados para la que el número de α -guardias que iluminan P es al menos $\lceil 60^\circ/\alpha \rceil (n-1)/2$.

3.7. Iluminación de polígonos con π -reflectores. [9]

Problema. Cualquier galería de arte poligonal de n lados puede ser iluminada con $n/3$ reflectores con 180° de rango de visión. Este problema propuesto por J. Urrutia en 2000.

En 1975, Chvátal probó el siguiente teorema: Dado un polígono P de n lados, hay $n/3$ guardias situados en los vértices de P tal que cada punto de P es visible al menos por uno de esos guardias y ese es el mejor número posible. La demostración de Fisk ya ha sido comentada anteriormente en §1.3.2.

En 1992 Bunting y Larman mostraron que: $f(n) \leq 4n + 14$

Posteriormente Csizmadia y Tóth probaron que: $f(n) \leq 25n - 3$ para $n > 3$

El último resultado obtenido por Tóth muestra que: $f(n) \leq \lfloor \frac{n}{3} \rfloor$

La prueba resuelve el problema con un algoritmo de complejidad $O(n^2)$, aunque posiblemente existan algoritmos que den mejores tiempos. Dicho algoritmo no pone restricciones en la localización —siempre y cuando estén en algún punto del polígono (lados, vértices, interior)— de los guardias, siendo incluso posible situar varios guardias en el mismo punto. Las herramientas utilizadas para realizar la prueba del teorema han sido las pseudotriangulaciones y grafos duales.

3.8. Iluminación de polígonos con 45° -reflectores. [10]

En el mismo punto anterior, D. Tóth señala cual es el número de reflectores necesario para iluminar un polígono con reflectores que tienen un rango de visión de 45° .

Teorema. $f(n, 45^\circ) \leq n - 1$, si n es impar $n - 2$, si n es par

Este límite es justo, en particular es el valor exacto para $f(n, \alpha)$ para todo $\alpha \in [45^\circ, 60^\circ]$. En la Figura 20 se muestra un polígono ejemplo.

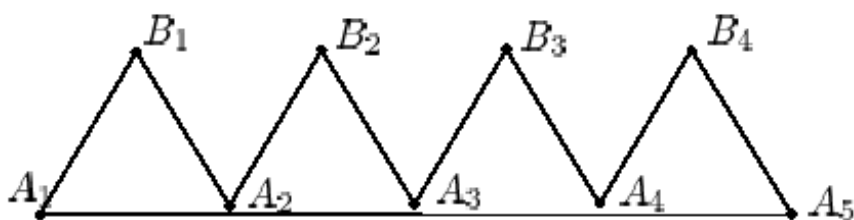


Figura 20. Iluminación con 45°-reflectores

Este polígono con 9 vértices requiere 8 α -reflectores, para todo $\alpha \in [30^\circ, 60^\circ]$.

En el modelo presentado para la demostración, los reflectores pueden ser situados en cualquier punto del polígono. Hay que señalar que no hay que confundir el resultado mostrado en este apartado con el mostrado en el apartado anterior, ya que en ese punto se mostraba que no era posible iluminar cualquier polígono con ángulos inferiores a π , sin embargo en ese punto se tenía la restricción por la cual los reflectores eran situados en los vértices del polígono.

La principal herramienta para el ensayo del teorema presentado es la utilización de la descomposición densa de polígonos simples. Utilizándola se llega a la conclusión de que cualquier polígono simple de $2(l+1)$ vértices puede ser dividido en l cuadriláteros, siendo posible iluminar esos cuadriláteros por al menos dos 45°-reflectores.

3.9. Iluminación de polígonos con reflectores en los vértices. [11]

En el presente apartado se hará hincapié en mostrar los resultados (o cotas) obtenidos para la siguiente cuestión:

Problema. Que rango de visión es suficiente para iluminar cualquier polígono situando un reflector en cada vértice del polígono.

Se demuestra que π -reflectores son suficientes para ello y además que con un ángulo inferior no es posible iluminar todos los polígonos.

π Es Suficiente.

La prueba es por inducción sobre el número de vértices de P . Si P es un triángulo, un reflector en cualquier vértice es suficiente para iluminarlo. Suponiendo que P tiene n vértices ($n > 3$), entonces. P debe tener una oreja (ear) según el teorema de Gary H. Meisters²: tres vértices consecutivos a, b, c siendo ac su diagonal interna. El ángulo del ear (oreja) vértice b es estrictamente convexo. Situando un reflector se cubre el ángulo de $b (< \pi)$ y

² The Two Ears's Theorem (el teorema de las dos orejas) desarrollado y probado por Gary H. Meisters en la Universidad de Nebraska en 1975.

cubre el ear (oreja) triángulo (a.b.c). Quitando el ear (oreja) deja el polígono con $n-1$ vértices, de esta forma puede ser resuelto mediante la hipótesis de inducción.

$\pi - \epsilon$ No es suficiente

Ya se dijo anteriormente y se había demostrado que siendo el ángulo inferior a π no es posible iluminar cualquier tipo de polígono.

3.10. Optimización de problemas de iluminación con Reflectores

En este punto se muestran los resultados obtenidos por A. Spillner [12] sobre optimización de problemas de iluminación:

Considérese un polígono convexo P con n vértices y un número entero positivo k . Se pretende iluminar P con k reflectores siendo la suma mínima de sus tamaños. Este conjunto de k reflectores es llamado óptimo. Los focos de estos reflectores deben estar situados en P .

Para $k=1$ el problema es fácil: Hay que encontrar el vértice v del polígono convexo P con tamaño mínimo. Se puede hacer de forma trivial en un tiempo $O(n)$. Los resultados del estudio realizado por Spillner se centran en encontrar el tiempo para $k=3$.

Teorema. Dado un polígono convexo P con n vértices, se puede computar en $O(n^2)$ tiempo y $O(n)$ espacio la solución para P de Π_3 o deducir que no hay solución usando el modelo real RAM de computación.

Problema abierto: Queda abierto si el algoritmo aportado sirve para Π_k con $k \geq 4$.

3.11. Resultados experimentales de límites superiores para vértices con π -reflectores [13]

El problema de iluminación de un polígono P con n lados con π -reflectores está abierto. Se sabe que el límite inferior es de $3/5n$. En este apartado se muestra un algoritmo con el que poder situar π -reflectores y resultados experimentales que conducen a la conjetura que $3/5n$ reflectores son también suficientes.

Problema abierto: Considérese el problema de iluminar un polígono P simple con π -reflectores en los vértices. Un π -reflector situado en un vértice cóncavo v no puede iluminar el interior completo del ángulo. Un reflector situado hacia dentro ilumina un subángulo de 180° (Figura v_1 y v_2). Si lo giramos sobre el límite del subángulo el reflector es totalmente girado. Un reflector situado hacia fuera ilumina dos subángulos convexos que colectivamente miden menos de 180° .

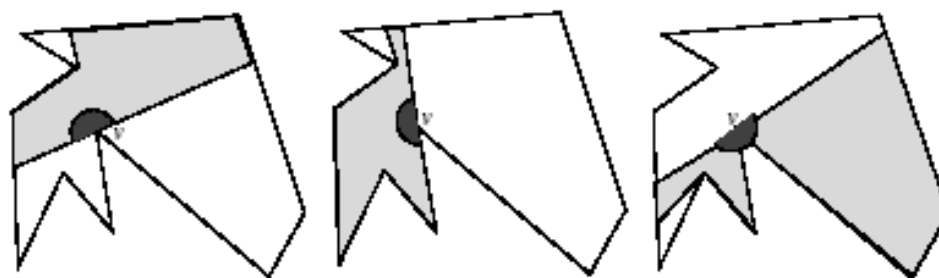


Figura 21. Tipo Reflector

Sur hacia dentro (Inward facing)

Totalmente girado (Totally turned)

Sur hacia fuera (Outward facing)

El mejor resultado para el límite inferior de $3/5n$ fue mostrado por F. Santos para una familia de polígonos con $5k + 1$ vértices que requieren $3k$ π -reflectores. En este apartado se conjetura que dicho límite es justo. Se describe a continuación el algoritmo para situar π -reflectores en vértices con orientación sur hacia dentro, conjeturando que $3/5n$ son suficientes, dicho dato es corroborado con los resultados experimentales.

Algoritmo y Resultados.

Tenemos $v_1 \dots v_n$ vértices de P en el sentido de las agujas del reloj. Situar π -reflectores con orientación sur hacia dentro utilizando:

Inicialización:

Triangular arbitrariamente el polígono.

Para cada vértice convexo v_i , poner un peso t_i que sea el número de triángulos incidentes en el vértice.

Para cada vértice cóncavo v_j , sea l_j el número total de triángulos incidentes sobre v_j que son iluminados por un π -reflector sobre v_j que ilumina a la izquierda del rayo izquierdo $\overrightarrow{v_{j-1}, v_j}$. Sea r_j el número total de triángulos incidentes sobre v_j que son iluminados por un reflector sobre v_j que ilumina a la izquierda del rayo derecho $\overrightarrow{v_j, v_{j+1}}$. Entonces el peso del vértice $t_j = \max(l_j, r_j)$.

Situar reflectores hasta $t_j = 0$ para $1 \leq j \leq n$: v_j, v_{j+1}

Situar un reflector sobre un vértice v_m de máximo peso. Si hubiese varios, elegir un vértice convexo sobre uno cóncavo. Poner $t_m = 0$.

Para cada vértice v_j de peso no cero de un triángulo que solo sea iluminado, actualizar el valor de t_j como sigue: En el sentido de las agujas del reloj ordenar los vértices incidentes sobre v_j , tenemos (v_j, v_i) sea el primer incidente sobre un triángulo no iluminado.

Ahora tratar v_i-v_j como el rayo izquierdo y v_j-v_k como el rayo derecho de peso inicial y actualizar t_j consecuentemente.

Para cada triángulo no iluminado incidente sobre v_m , si uno de los otros dos vértices del triángulo tiene peso cero, situar un reflector sobre el vértice restante v_i de peso no cero de tal forma que cubra su triángulo incluso situándolo si no cubre triángulos t_i .

Los reflectores situados por el algoritmo son situados hacia dentro pero pueden ser o no totalmente girados.

Este algoritmo ha sido implementado usando el lenguaje C++; resultados experimentales resultantes de dicha implementación corroboran la siguiente conjetura:

Conjetura. $3/5n$ π -reflectores son suficientes para iluminar un Polígono P de n lados.

4. El Problema de la Galería de Arte

4.1. Introducción.

Sea una galería de arte o museo con las pinturas más caras y cotizadas del mercado colgadas de las paredes de la misma y las esculturas más valoradas del mundo en su suelo. Resulta obvio pensar en la instalación de un sistema de seguridad tal que estuviera compuesto por una colección de cámaras que se fijen en localizaciones establecidas pero que a su vez puedan rotar un giro de 360° , de forma que éstas puedan vigilar la galería en todas las direcciones. Se asume por simplicidad que no existe posibilidad de movimiento en este espacio bidimensional, de forma que las cámaras se colocarán en un suelo plano de la galería.

A la colección de localizaciones en una galería estrellada donde se pueda colocar una única cámara de forma que se pueda observar la galería completa, se le denomina núcleo de la galería.

Asumiremos que contamos con una amplia y complicada galería de n paredes, cuyo valor n es bastante grande.

Supongamos que el plano de una galería de arte viene representado por un polígono y es preciso iluminar su interior colocando guardias en sus vértices.

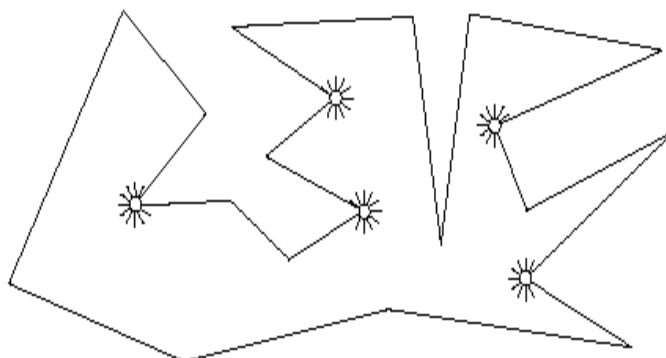


Figura 22. Vigilando (o iluminando) una galería de arte.

La cuestión trata de averiguar el número de guardias suficientes para iluminar completamente el polígono y dónde colocarlos. Evidentemente colocando un guardia en cada vértice del polígono el problema estaría resuelto, pero se trata de optimizar la iluminación. Para realizar esta optimización se puede enfocar de diferentes maneras.

La primera trataría de dado un polígono, encontrar el menor número de reflectores que se necesitan para iluminar su interior y la colocación de estos dentro del polígono. Este es un problema sumamente complicado, de hecho está catalogado entre los problemas computacionalmente intratables (NP-duro).

La segunda forma de enfocar el problema de optimización, consistiría en encontrar el número de reflectores que siempre son suficientes para vigilar todo el polígono de n lados.

Este problema se ha venido llamando problema de “La Galería de Arte” y fue propuesto por V. Klee en 1973. Dos años más tarde V. Chvátal lo resolvió. A continuación se enuncia el teorema que recoge el resultado obtenido, si bien se introduce la demostración dada posteriormente por S. Fisk.

En 1973 Víctor Klee enunció el problema de iluminación en un museo de la siguiente forma: Determinar el mínimo número de puntos de un polígono suficientes para ver a todos los restantes. La respuesta fue obtenida por Václav (Vašek) Chvátal en 1975, quien demostró que $\left(\frac{n}{3}\right)$ guardias siempre son suficientes.

Para representar una galería de arte en un espacio bidimensional se utilizarán los polígonos simples, monótonos, ortogonales, monótonos ortogonales, espirales y convexos. Como más adelante se verá en los problemas de iluminación, éstos son básicamente una derivación del problema de la Galería de Arte.

4.2. Teorema de la Galería de Arte:

En un partido por tres $\left(\frac{n}{3}\right)$ guardias colocados en determinados vértices del polígono son siempre suficientes y ocasionalmente necesarios, para vigilar el interior de cualquier polígono simple de n lados.

Demostración:

Consideremos un polígono simple P de n vértices:

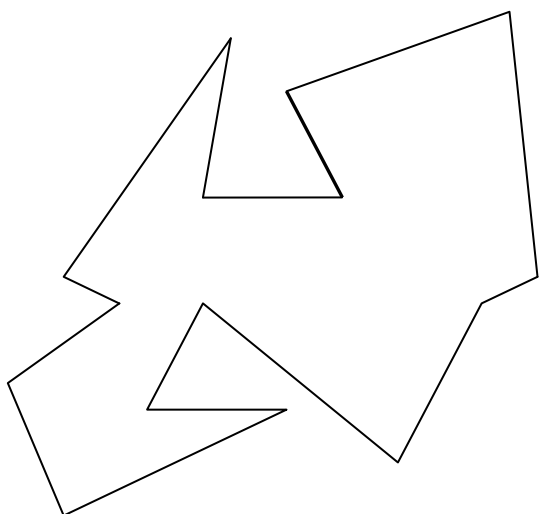


Figura 23. Polígono P

Primer Paso.

Triangulamos P , es decir, descomponemos P en triángulos cuya unión es P , con interiores disjuntos y cuyos vértices son vértices de P . Observamos que un guardia situado en cualquier vértice de un triángulo vigila completamente dicho triángulo.

Segundo Paso.

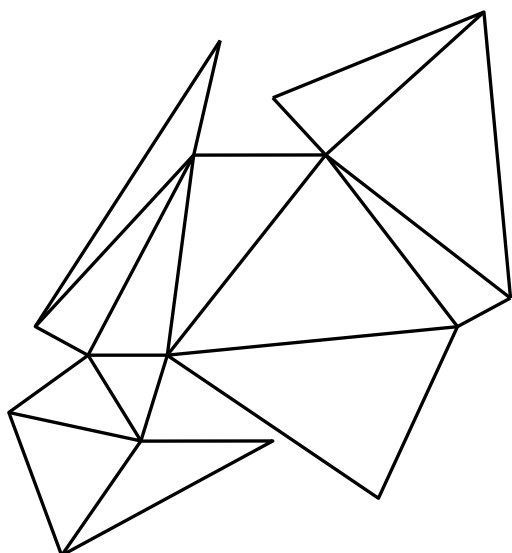


Figura 24. Triangulación T

La triangulación anterior es un grafo plano. El Teorema de los cuatro colores, probado en 1976 por Appel y Haken, asegura que todo grafo plano puede colorearse utilizando sólo cuatro colores. Pero se pueden colorear los vértices de una triangulación T de un polígono utilizando sólo tres colores. (Una coloración de un grafo es una asignación de colores a los vértices del grafo de modo que dos vértices adyacentes reciben diferente color)

En esta 3-coloración de T cada triángulo tiene un vértice de cada color.

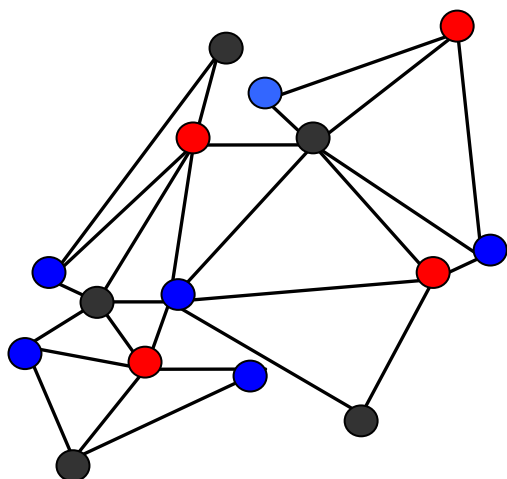


Figura 25. Trivértice-coloración de T

Tercer Paso.

Cada triángulo de T tiene un vértice rojo. Si colocamos un guardia en cada vértice rojo, vigilarán todos los triángulos y, por tanto, todo el polígono. Lo mismo sucederá si colocamos guardias en todos los vértices negros o si los colocamos en todos los azules.

El polígono tiene n vértices y disponemos de 3 colores. Por tanto, alguno de los tres colores, rojo, negro o azul se utiliza en, como máximo, $\lfloor n/3 \rfloor$ vértices. (Esto es una aplicación

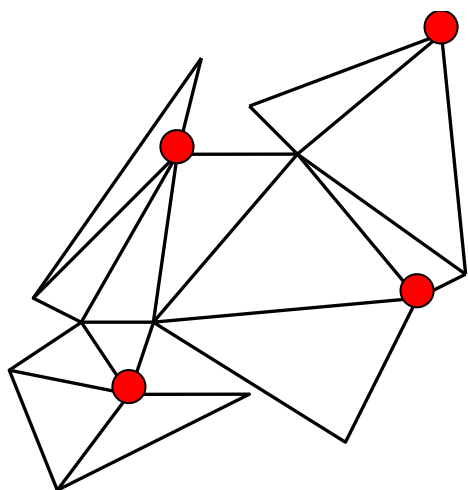


Figura 26. Asignación de guardias (o proyectores)

inmediata del “Principio del palomar” o de Dirichlet: Si cada color se utilizara en más de $\lfloor n/3 \rfloor$ vértices, sumando los vértices de cada color se obtendrían más de n vértices). Basta pues, colocar los guardias en los vértices con el color menos utilizado para garantizar que $\lfloor n/3 \rfloor$ guardias son siempre suficientes para vigilar cualquier polígono de n vértices.

Cuarto Paso. (Demostración del teorema de Fisk)

Para comprobar que este número de guardias es a veces necesario, basta considerar el polígono “peineta” con $n=3k$ vértices de la Figura 14. Es fácil observar que para vigilar este polígono se necesitan al menos k guardias, uno por cada púa de la peineta.

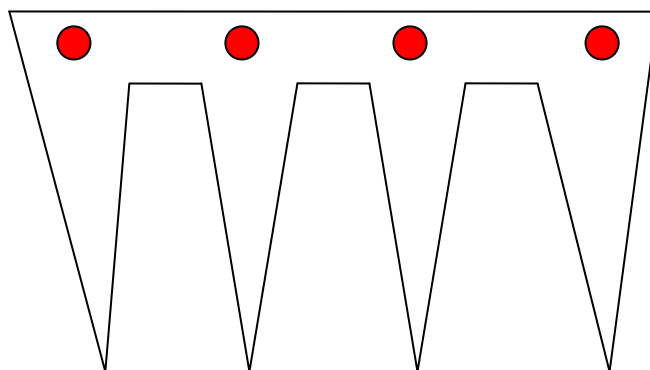


Figura 27. Polígono “peineta”

Para terminar esta demostración, se justifican a continuación las afirmaciones utilizadas.

Propiedad 1. Todo polígono se puede triangular.

Demostración.

Por inducción sobre n , nº de vértices del polígono.

Si $n=3$, el polígono ya es un triángulo.

Si $n \geq 4$, se traza una diagonal cualquiera que descompone el polígono P en otros dos con menor nº de vértices. Por hipótesis de inducción cada uno de estos polígonos admite una triangulación lo que proporciona una triangulación de todo P .

Lema. Todo polígono de n vértices, $n \geq 4$ admite una diagonal interna.

Demostración.

En primer lugar observamos que todo polígono tiene algún vértice convexo (por ejemplo, el situado más a la izquierda). Llamemos A a dicho vértice y B y C a sus adyacentes. Si el segmento BC está contenido en el polígono P será la diagonal buscada. Si no es así, en el triángulo ABC habrá vértices de P . Tomamos el más alejado X de la recta BC . Así AX está contenido en P y es la diagonal buscada.

Propiedad 2. Cualquier triangulación de un polígono es un grafo plano 3-coloreable.

Demostración.

Sea P un polígono y $T(P)$ una triangulación de P . Demostraremos el resultado por inducción sobre n , número de vértices de polígono P .

Si $n=3$, la triangulación coincide con P y la 3-coloración es obvia.

Si $n > 3$ se toma una diagonal uv que parte $T(P)$ en dos polígonos triangulados $T(P')$ y $T(P'')$ cuyo nº de vértices es menor que n . Por inducción se pueden colorear las triangulaciones de P' y P'' asignando en ambas el color 1 al vértice u y el color 2 a v . Así tenemos una 3-coloración de $T(P)$.

Este tipo de problema para los diferentes tipos de guardias (cámaras) y los diferentes tipos de polígonos (galerías) pertenece al área de estudio conocida como Teoremas y Algoritmos de las Galerías de Arte.

4.3. El algoritmo de Godfried T. Toussaint

Una sencilla implementación de la construcción usada en la demostración de Chvátal llevaba a un algoritmo que supondría: $O(n)$ búsquedas para la diagonalización especial d podría costar $O(n^2)$ —intratable computacionalmente—. Sin embargo, G. T. Toussaint y Avis, imitaron o

simularon mejor la demostración de Fisk para directamente obtener un algoritmo $O(n \log n)$ en el año 1981.

El algoritmo sigue los mismos pasos de la demostración:

1. Triangule el polígono P , obteniendo un grafo G .
2. Tri-coloree los vértices (nodos) de G .
3. Emplace los guardias en los nodos asignados con el color usado con menor frecuencia.

5. Problemas abiertos de Iluminación

Se exponen continuación algunos de los problemas que actualmente siguen abiertos en el campo de la iluminación de polígonos con reflectores.

5.1. Iluminación de polígonos con π -reflectores en los vértices

La siguiente conjetura es de Jorge Urrutia: [13]

Conjetura. $\lceil (3n)/5 \rceil + c$ π -reflectores vértices son siempre suficientes para iluminar cualquier polígono con n vértices, c es una constante.

F. Santos ha hecho una familia de polígonos Figura 25 que suscribe dicho límite. En el momento actual, no hay una prueba que pruebe que con una constante $c < 0$ sea suficiente para iluminar cualquier polígono de n vértices.

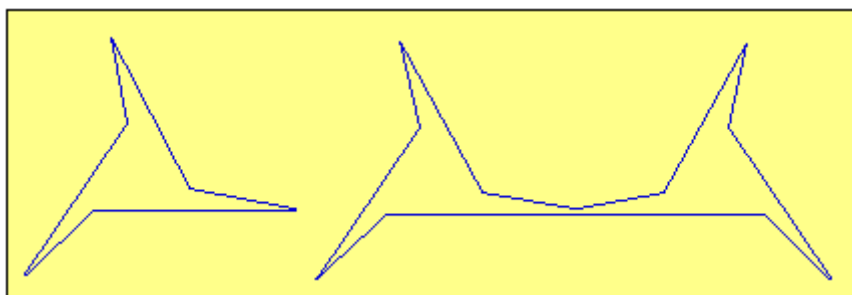


Figura 28. Familia Polígonos F.Santos

5.2. Iluminación de polígonos con reflectores vértices

Consideremos tres ángulos a_1, a_2, a_3 siendo:

$$a_1 + a_2 + a_3 = \pi$$

Jorge Urrutia probó que cualquier polígono convexo P_n con n vértices puede siempre ser iluminado con tres reflectores vértices f_1, f_2 y f_3 de tamaños a_1, a_2 y a_3 respectivamente.

O'Rourke, Shermer, y Streinu probaron que el resultado de Urrutia no valía para m ángulos, a_1, \dots, a_m siendo $a_1 + \dots + a_m = \pi$, siendo m suficientemente grande. En su prueba m es mayor de 1000.

O'Rourke, Shermer, y Streinu pusieron el siguiente problema:

Problema. Encontrar el menor valor de m para el que m ángulos $a_1 + \dots + a_m = \pi$, para el que haya un polígono que al menos m vértices que no pueda ser iluminado con m reflectores vértices de tamaños a_1, \dots, a_m respectivamente.

Otro Problema abierto por O'Rourke, Shermer y Streinu es:

Problema. Encontrar el menor ángulo α para el que cualquier conjunto de m reflectores de tamaños a_1, \dots, a_m que sumados a α sea siempre suficiente para iluminar cualquier polígono convexo con m vértices.

Es conocido que 2π es suficiente. Este resultado es de Bose, Guibas, Lubiw, Overmars, Souvaine y Urrutia. [14]

Iluminación óptima de polígonos con reflectores

Considerar un conjunto $S = \{f_1, \dots, f_m\}$ de m reflectores de tamaños a_1, \dots, a_m . El tamaño de S es definido a ser $a_1 + \dots + a_m$.

Un conjunto S de m reflectores que ilumine un polígono P es llamado m -óptimo si el tamaño de S es mínimo sobre todos los conjuntos de m reflectores que iluminan P .

V. Estivill-Castro y J. Urrutia obtuvieron un algoritmo $O(n^2)$ en tiempo para encontrar un 2-óptimo conjunto de reflectores para polígonos convexos con n vértices.

Problema. Encontrar si es posible, un algoritmo subcuadrático para resolver el problema de iluminación óptimo 2-reflector para polígonos convexos.

Problema. ¿Es verdad que para cualquier k , los focos de cualquier conjunto óptimo de k -reflectores que iluminan un polígono convexo P cortan sobre vértices de P ?

Este resultado es cierto para $k=2$, y abierto para $k>2$

5.3. Iluminación de Alcance Limitado

En este apartado se comentan algunos de los trabajos que se inscriben dentro de lo que se conoce como Visibilidad de Alcance Limitado.

Definición de d -visibilidad. Dos puntos son d -visibles si son visibles y su distancia es como máximo d .

El primer trabajo es de Ntafos, S [15], y en él describe algoritmos aproximados para el problema de la Ruta del d -Vigilante, es decir, encontrar un camino cerrado en un polígono P (el lugar que se vigila), de forma que cada uno de los puntos del borde de P sea d -visible desde algún punto del camino.

También estudia y resuelve de forma aproximada el problema del barrendero con alcance limitado: Hallar un camino para un barrendero (que según avanza

barre todos los puntos situados a distancia menor que d) que cubra todo el polígono. Este problema es NP-duro.

Cabe reseñar con posterioridad el trabajo de Sung-Ho Kim, Jung-Heum Park, Seung-Hak Choi, Sung Yong Shin y Kyung-Yong Chwa [16]

En este trabajo presentan un algoritmo de complejidad $O(n)$ para construir el polígono de d -visibilidad desde un lado del polígono (La zona en amarillo del polígono negro de la figura es el polígono de d -visibilidad del lado amarillo)

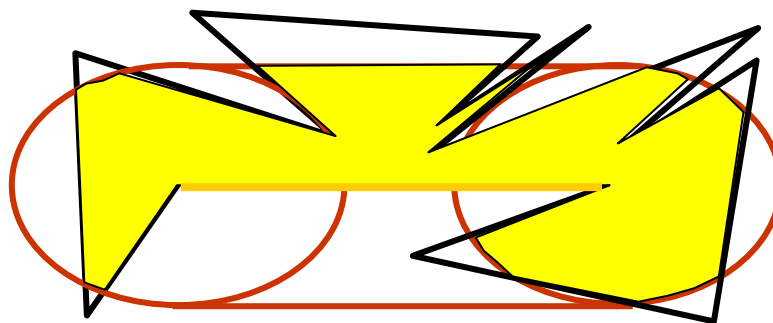


Figura 29. Polígono de d -visibilidad

Coetáneo con el anterior trabajo, Jesús García [17] realiza un estudio pormenorizado de la visibilidad de alcance limitado en polígonos convexos, polígonos simples y configuraciones de polígonos.

Si las luces de alcance L , o puntos de vigilancia, se sitúan en los vértices del polígono P , García llama L^* al mínimo valor de L para el que colocando luces de alcance L^* en todos los vértices de P éste queda totalmente iluminado. Designando por D al diámetro del polígono, el intervalo de valores significativos para el alcance L de las luces situadas en los vértices es $[L^*, D]$. En la tesis se obtienen resultados, tanto combinatorios como algorítmicos, para polígonos convexos y polígonos simples de n vértices.

Por ejemplo, el intervalo $[L^*, D]$ se calcula en tiempo $O(n)$ para polígonos convexos y en tiempo $O(n \log n)$ para polígonos simples, probándose que $L^* \leq D/\sqrt{3}$

En cuanto a resultados combinatorios, se prueba para polígonos simples que el mínimo número p de luces-vértice que iluminan el polígono es:

$$\begin{aligned} p &= n && \text{si } L=L^* \\ p &\geq \lfloor 3(n-1)/4 \rfloor && \text{si } L=D/\sqrt{3} \\ p &= \lfloor n/3 \rfloor && \text{si } L=D \end{aligned}$$

Si las luces no se sitúan en los vértices del polígono, el estudio de la visibilidad de alcance L es muy complicado, planteándose en la tesis numerosos problemas que continúan abiertos. Por ejemplo, si se tienen k luces en posiciones dadas en el interior del polígono P , ¿cuál es el mínimo alcance L para iluminar todo P ?, ¿cuál es el mínimo número de esas luces que iluminan

P? El único resultado que se presenta en esta línea es un algoritmo para calcular, en tiempo $O(k4n)$, el alcance mínimo L^* . La conjetura es que muchos de los problemas planteados son NP-completos

En el trabajo de S. Canales, G. Hernández [18] se estudia la visibilidad de alcance limitado para polígonos escalera, que son un tipo particular de polígonos ortogonales. Se demuestra que el intervalo de valores significativos para el alcance L es $[r/2, r]$, donde r es el radio de la escalera.

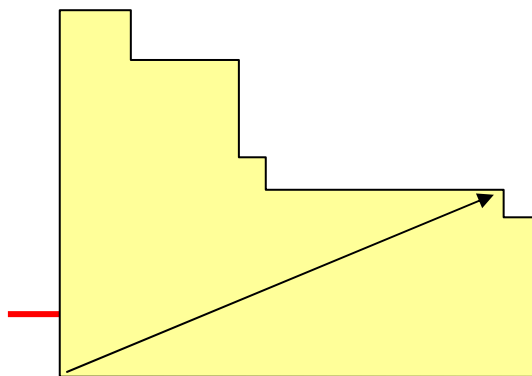


Figura 30. Polígono Escalera

También se prueba que el número de luces-vértice de alcance L , a veces necesario y siempre suficiente para iluminar el polígono, es $\lceil n/4 \rceil + c$ para todo valor de L en $[r/2, r]$

Por último cabe hacer referencia al trabajo de A. Bhattacharya , S. K. Ghosh, S. Sarkar [19] , donde se integra el procesamiento visual y la navegación de robots —*motion planning*— dentro del conocido problema de geometría computacional de exploración de estructuras poligonales con obstáculos. En particular, se establecen dos premisas. Primero se considera un robot con una limitada capacidad de visión, que puede fiablemente “ver” su entorno solo dentro de cierto rango. Segunda, se permite la computación de visibilidad solo desde un número discreto de puntos sobre el camino. Ambas premisas se presentan con la premisa del coste de la vida real asociado con la exploración robótica y el procesamiento de la visión robótica. Se presenta un algoritmo online para la exploración bajo cada premisa y muestra el máximo número de vistas necesarias para explorar el polígono desconocido (con obstáculos), esta limitado por,

$$\left\lceil \frac{2 \times \text{Perímetro}(P)}{R} \right\rceil + \left\lceil \frac{2 \times \text{Area}(P)}{R^2} \right\rceil + 3n$$

Donde n es el número de lados del polígono. También se muestra un ratio competitivo del algoritmo que es:

$$6\pi + \frac{4r + 3n}{\max\left(\left\lceil \frac{\text{Area}(P)}{\pi R^2} \right\rceil, \left\lceil \frac{\text{Perímetro}(P) - 2Rr}{2\pi R} \right\rceil\right)}$$

4

Metodología

1. Introducción.

En el presente Capítulo ejecutaremos el algoritmo de G.T.Toussaint que, como ya se indicó en anteriormente, resuelve el problema de la Galería de Arte. El algoritmo ha sido implementado en un applet en lenguaje Java, ejecutable con cualquier navegador de internet, y descargable gratuitamente desde la página del autor ¹, constituyendo esta aplicación informática la herramienta que se usará sobre la planta del edificio de referencia (Real Monasterio de Santa Clara).

A fin de testear los resultados que arroja el algoritmo, se analizarán los obtenidos en dos áreas —o salas de iluminación— que se toman como muestra.

De entre los métodos de iluminación de polígonos se utilizará para su ensayo en el edificio de referencia se utilizará del Problema de la Galería de Arte, por considerarse como precursor de todos los que se han ido desarrollado en el capítulo anterior. Es decir, para resolver el problema de la ubicación de las luminarias que conforman la instalación de iluminación provisional de obra, se utilizará un algoritmo que resuelva el denominado Problema de la Galería de Arte.

Para la resolución del problema se utilizará el applet (en lenguaje Java™) de implementación del algoritmo y que ha desarrollado G T. Toussaint, en la la School of Computer Science de la Universidad McGill de Montreal, Quebec (Canadá)

El pseudo-código es el siguiente:

```
Guard-Gallery(P)
{
  Triangulation of P = Triangulate(P)
  Colored Triangulation = ThreeColor(T(P))
  Pick Smallest Color Class
  Return Vertices in that Color Class
}
```

2. Utilización práctica del algoritmo de G.Toussaint sobre el edificio de referencia.

Tomando como base la planta del edificio se ejecuta el applet, ubicando los vértices de cada área o polígono objeto de estudio. Cuando se cierra el polígono el programa triangula el polígono, a continuación realiza la tri-coloración con indicación del color óptimo (el de menor frecuencia), donde se emplazarán los reflectores o luminarias.

¹ <http://cgm.cs.mcgill.ca/~godfried/teaching/cg-projects/97/Thierry/thierry507webprj/507applet/triangulize.html>

A efectos de análisis, se toma una muestra representativa de la planta baja del Monasterio (muestra que se justificará en el siguiente Capítulo) . Esta muestra se corresponde con dos áreas distintas de la planta baja y que denominares en adelante Sala de Referencia 1 y Sala de Referencia 2, correspondiéndose la Sala de Referencia 1 con unas salas anexas al antiguo noviciado, y la Sala de Referencia 2 a los antiguos dormitorios bajos.

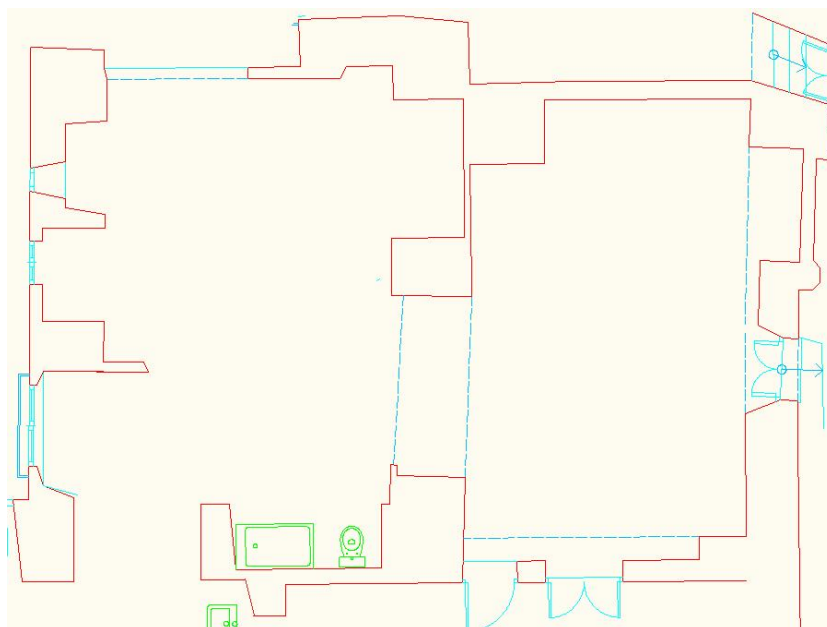


Fig. 31: Planta de la Sala de Referencia 1



Fig. 32: Planta de la Sala de Referencia 2

El plano nº 1 del Apéndice 1 (Planos) se corresponde con la situación de base en la que se encuentra el edificio tras acometer las tareas de limpieza, desescombro y eliminación de algunas particiones interiores para colocación de costeros, sopandado y apuntalado para dar estabilidad a las zonas del edificio que presentan importantes patologías estructurales.

En el plano nº 2 del Apéndice 1 se representa la triangulación de las áreas (o polígonos) a las que se aplica el algoritmo y la tricoloración de vértices.

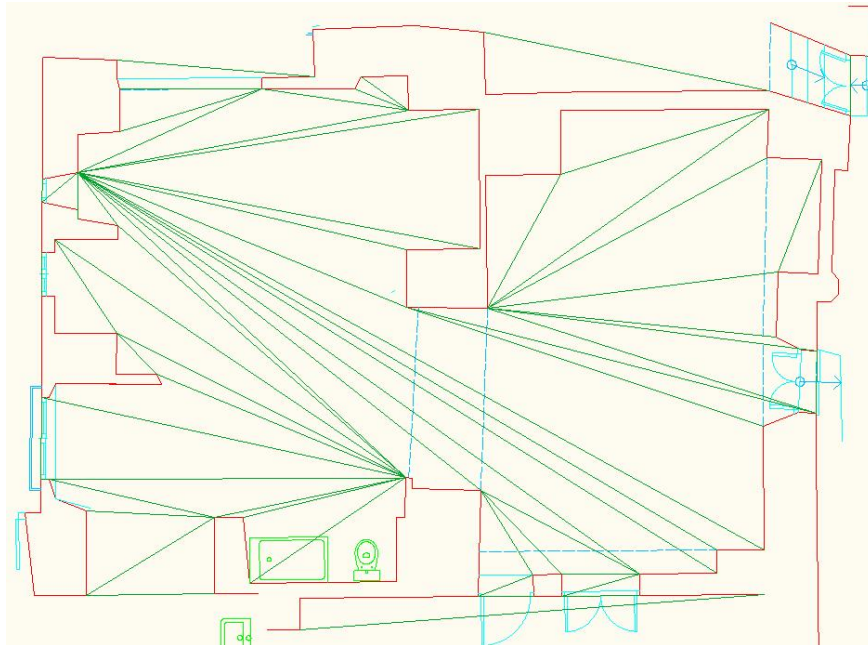


Fig. 33: Triangulación del plano base de la planta de la Sala de Referencia 1

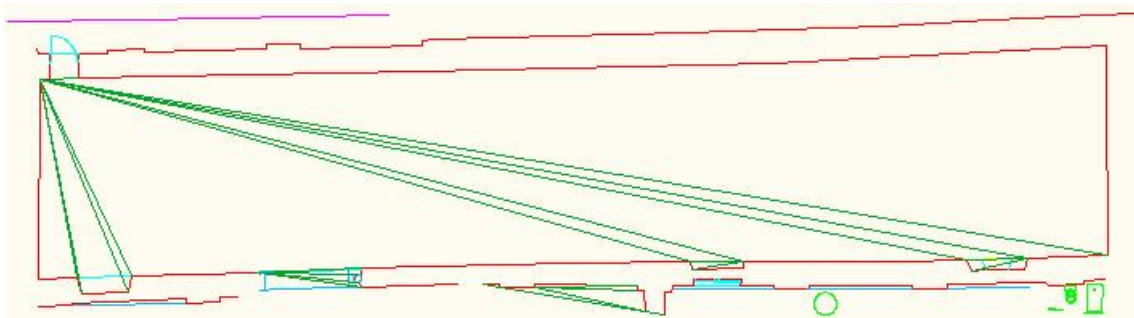


Fig. 34: Triangulación del plano base de la planta de la Sala de Referencia 2

Por último el plano nº 3 del Apéndice 1 representa la solución de la ubicación de proyectores; que es coincidente con el menor de los colores presentados en el punto anterior.

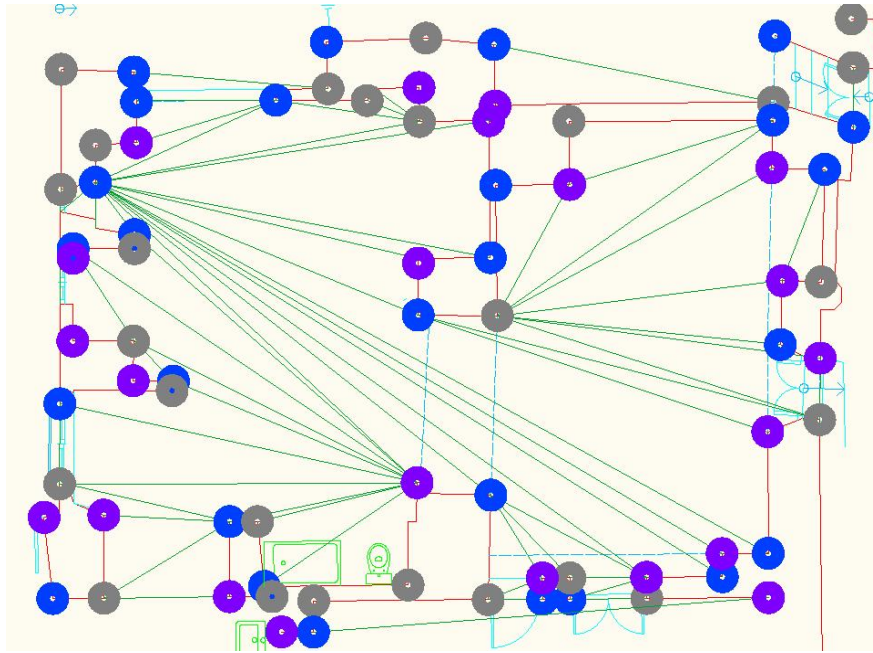


Fig. 35: Tri-vértice coloración del plano base de la planta de la Sala de Referencia 1

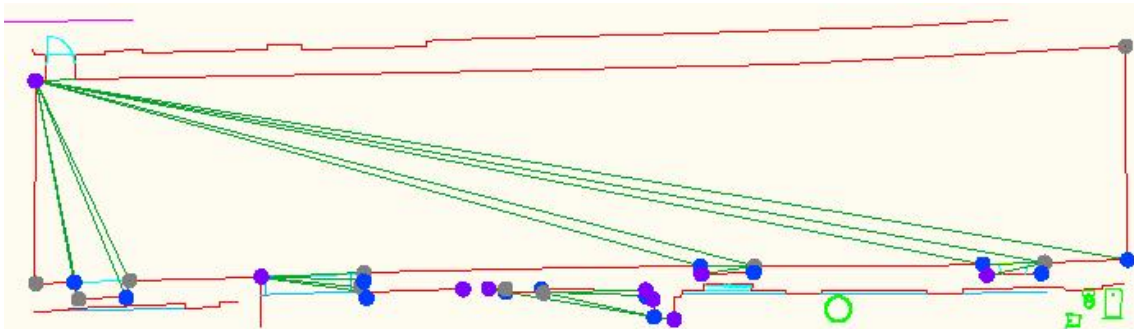


Fig. 36: Tri-vértice coloración del plano base de la planta de la Sala de Referencia 2

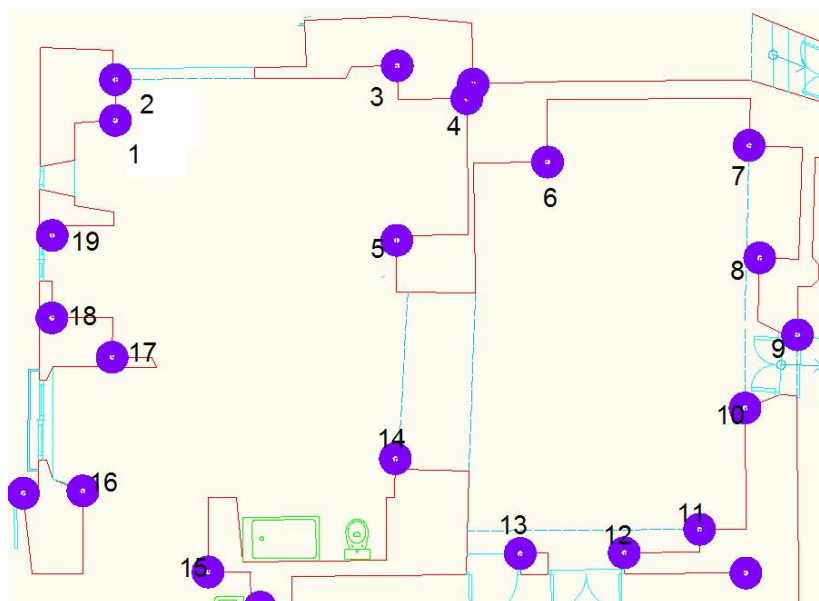


Fig. 37: Solución a la ubicación de proyectores en la Sala de Referencia 1

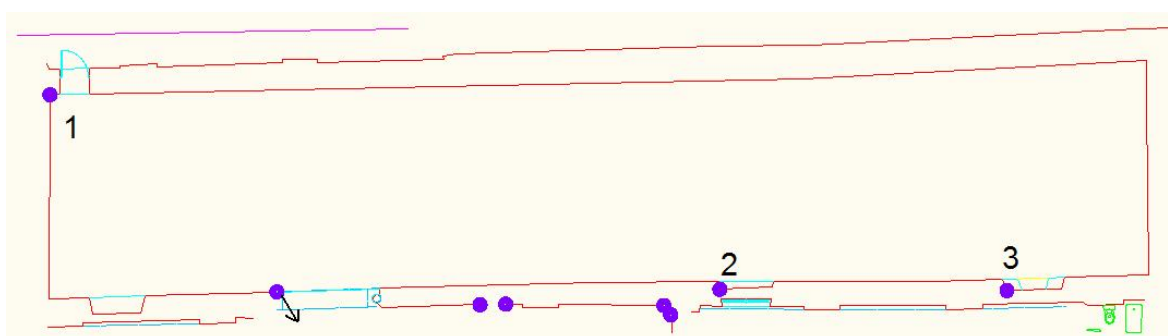


Fig. 38: Solución a la ubicación de proyectores en la Sala de Referencia 2

Las figuras 28 a 35 anteriores se corresponden con la aplicación del applet sobre las dos salas de referencia mencionadas.

Para apreciar los resultados al completo que aporta el applet, se anexan los planos 1, 2 y 3 correspondientes a la planta baja completa del edificio de referencia.

Aplicando pues el algoritmo de G.T. Toussaint a la Sala de Referencia 1 se deduce que son suficientes 19 luminarias. Análogamente la Sala de Referencia 2 precisa 3 luminarias.

5

Resultados, análisis y evaluación

1. Introducción.

En este Capítulo, una vez aplicado el algoritmo de G.Toussaint y obtenidos los resultados teóricos de §4.2, en primer lugar se confrontarán con lo especificado en la normativa técnica de aplicación y en segundo lugar, se analizarán los resultados obtenidos.

La normativa técnica de aplicación es la siguiente:

1. Norma UNE EN 12464 sobre iluminación de los lugares de trabajo
2. Nota Técnica de Prevención NTP 211 del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, sobre Iluminación de los centros de trabajo.
3. Valores mínimos de iluminación fijados en el artículo 28 de la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo de 9 de marzo de 1971.
4. Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en los Lugares de Trabajo.

No obstante y si bien no es objeto de tratamiento por parte de este Trabajo Fin de Máster, resulta necesario resaltar que también se tendrán en cuenta las principales normas aplicables a las instalaciones eléctricas de obra, como son:

5. R.D. 1627/1997, de 24 de octubre, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, y su Guía Técnica.
6. R.D. 842/2002, de 2 de agosto, Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT), con referencia especial a la ITC-BT-33: Instalaciones provisionales y temporales de obras y a la ITC-BT-24: Instalaciones interiores receptoras, protección contra los contactos directos e indirectos.
7. Norma UNE-EN 60439: Conjuntos de aparamenta de baja tensión. Parte 4: Requisitos particulares para conjuntos de obras (CO).
8. R.D. 1217/1997, de 18 de julio, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
9. Convenio Colectivo General para el Sector de la Construcción 2007-2011, Título IV Capítulo VII Sección 1ª – Instalaciones eléctricas.

[Nota: No será de aplicación el Código Técnico de la Edificación —Documento Básico DB-SU-4 (Seguridad frente al riesgo causado por iluminación inadecuada)— por tratarse de una instalación provisional.]

Esquemáticamente la UNE EN 12464 viene a indicar (Fig. 43) que en áreas ocupadas de modo continuo, la iluminancia mantenida no deber ser menor de 200 lux, que en las áreas circundantes a los planos de trabajo, la iluminancia no debe ser menor a 300 lux y que en las áreas de trabajo, esta iluminancia no debe ser menor de 500 lux. En todo caso, el Índice de Rendimiento de Color (CRI o R_a) de las lámparas debe ser mayor de 80.

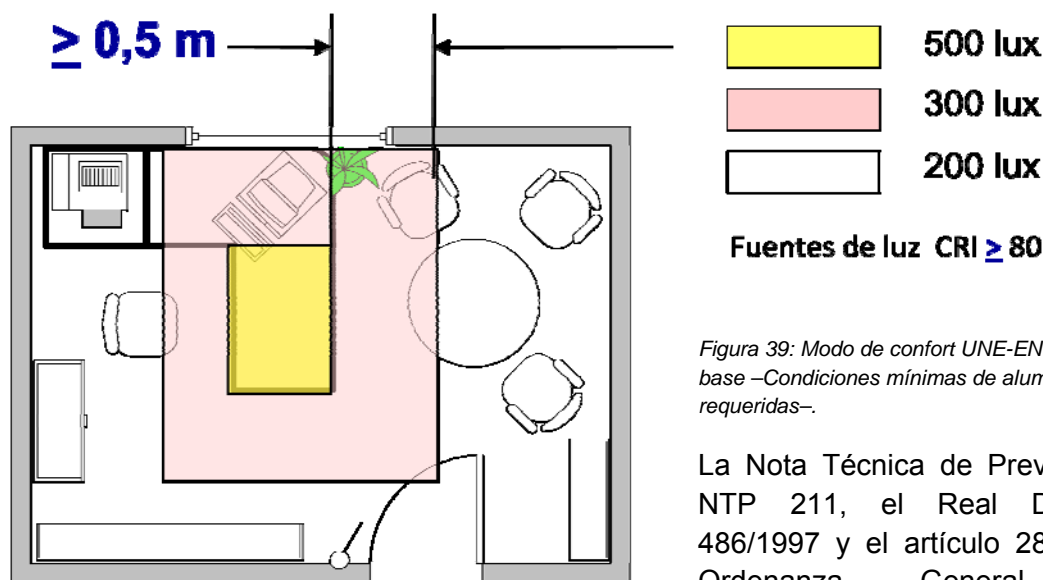


Figura 39: Modo de confort UNE-EN 12464 base –Condiciones mínimas de alumbrado requeridas–.

La Nota Técnica de Prevención NTP 211, el Real Decreto 486/1997 y el artículo 28 de la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el

Trabajo, vienen a fijar también los mismos límites de iluminancia en los lugares de trabajo.

2. Resultados obtenidos

Para contrastar los resultados que aporta el algoritmo de G. T. Toussaint con las prácticas habituales utilizadas en obra sobre iluminación, se ha hecho uso del programa informático DIALux®¹ en su última versión (4.7.5.0) de septiembre de 2009; programa que en la actualidad supone un estándar de software para el cálculo de iluminación.

Una vez aplicado el applet que ejecuta el algoritmo de Toussaint a todas las salas de la planta baja del área de intervención, hemos seleccionado una muestra de dos salas por su disparidad en el número de luminarias que proporciona el algoritmo para su óptima iluminación: Sala de Referencia 1 y Sala de Referencia 2.

La denominada Sala de Referencia 1 (ver §5.1.plano 3) tiene una superficie de 77,06 m², presenta una planta extremadamente irregular. Dicha planta es un polígono no convexo de 75 lados que, según el algoritmo de Toussaint requieren ser iluminadas por 19 proyectores.

Sin embargo, la Sala de Referencia 2, que ocupa una extensión mayor, 282,84 m², al ser de planta casi rectangular, el algoritmo sólo indica la instalación de 3 proyectores.

¹ Descargable gratuitamente desde: <http://dialux.com/>

A continuación exponemos un resumen de los resultados obtenidos aplicando DualLUX® en las Salas 1 y 2 respectivamente. Colocando las luminarias en los puntos que nos indica el algoritmo de G. T. Toussaint. Ver anexo 3 (§5.3) para mas detalle.

Se han ensayado diversas posibilidades de proyectores y luminarias de distintas firmas comerciales concluyendo finalmente que, a los efectos de este ensayo, se emplearán proyectores fijos con caja de montaje marca BEGA² para lámparas fluorescentes y de alta presión. Según los datos que aporta el fabricante, la distribución de la intensidad luminosa será simétrica extensiva en todos los elementos previstos.

Se considerará “bien iluminado” un plano de trabajo, constituido por los diedros pared-suelo / pared-techo cuando cuenten con unos niveles de iluminación suficientes³, dándose por válidas iluminancias (E) superiores a 200 lux e inferiores a 1000 lux ($200 \text{ lux} \leq E \leq 1.000 \text{ lux}$)⁴

SALA 1. Resumen de resultados:⁵

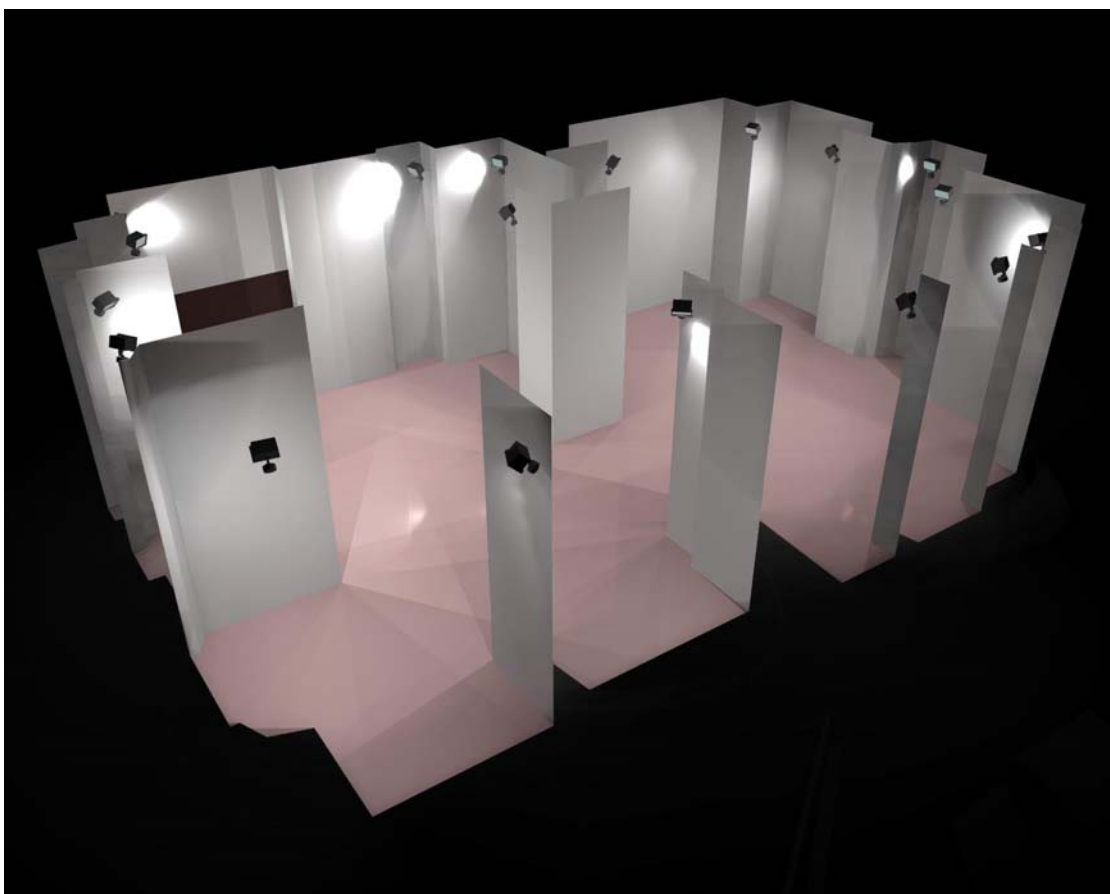


Fig. 40: Render 1 de la Sala 1.

Se utiliza un solo modelo-tipo de luminaria: PROYECTOR BEGA 7447 con lámpara tipo HST de vapor de sodio de alta presión (V.S.A.P.) de 70W. (19 unidades)

² BEGA pertenece al grupo Lichtgruppe Gantenbrink (<http://www.bega.com>) — Box 3160 · D-58689 Menden — Hennenbusch · D-58708 Menden

³ NTP 211. Iluminación de los Centros de Trabajo, INSHT

⁴ Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, de 9 de marzo de 1971, normas UNE 72-163-84 y EN 12464-1:2002

⁵ Resultados completos en el Apéndice 3

La superficie la planta es de 77,06 m²

Iluminancias medias en lux (Em [lx]) en:

- a) Plano útil⁶: 706
- b) Suelo : 613
- c) Techo: 520
- d) Paredes (75): 594

Número de planos a iluminar: 75 paredes + suelo + techo = 77

Resultados no válidos: De la tabla de Resultados luminotécnicos se extrae que:

- a) Planos con $Em \leq 200$ lux: NO EXISTEN
- b) Planos con $Em \geq 1000$ lux: (3)
 - Pared 14: 1.311 lx
 - Pared 34: 1.017 lx.
 - Pared 52: 1.326 lx.

Valor de eficiencia energética: 20,46 W/m².

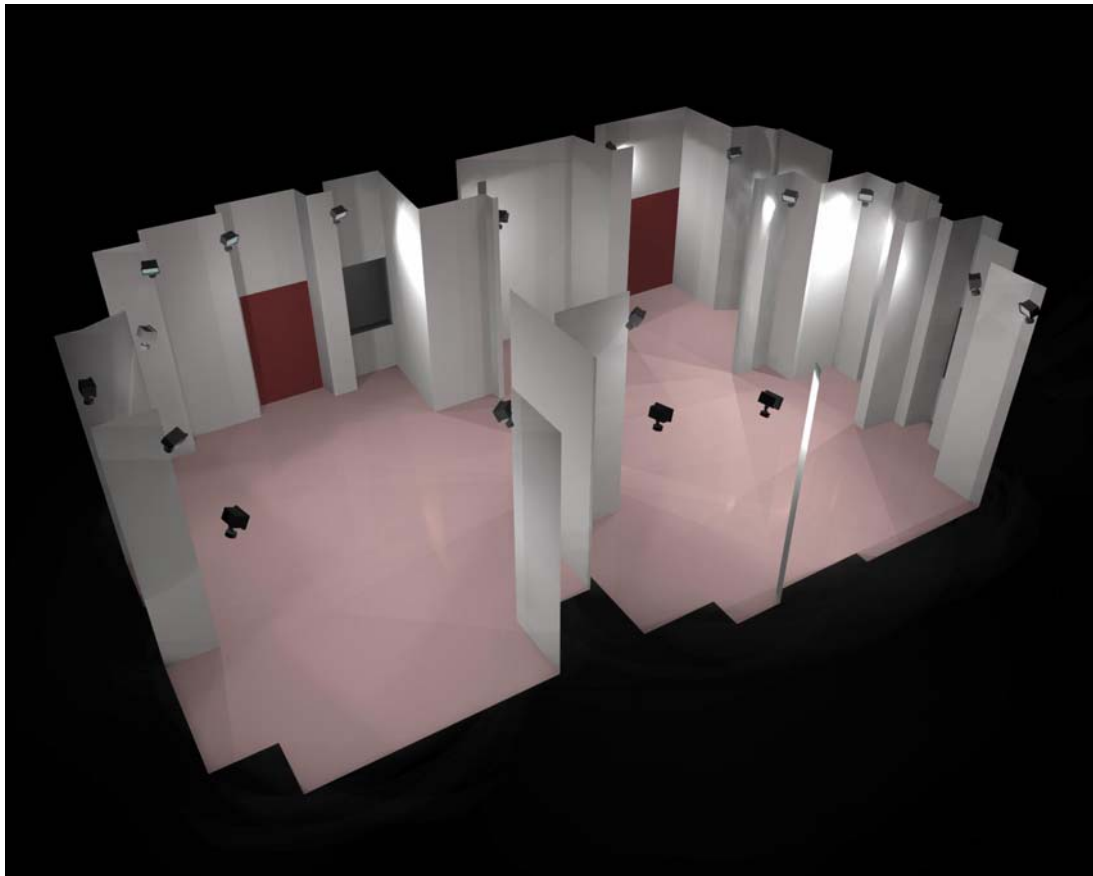


Fig. 41: Render 2 de la Sala 1.

SALA 2. Resumen de resultados:⁷

⁶ Definido por un plano paralelo al suelo, a una distancia de 0,75 m.

⁷ Resultados completos en Apéndice 3

Se utilizan un solo modelo-tipo de luminaria: PROYECTOR BEGA 8589 con una lámpara tipo HIT de halogenuros metálicos de 1.000W. (3 unidades)

La superficie la planta es de 282,84 m²
Iluminancias medias en lux (Em [lx]) en:

a) Plano útil:	257
b) Suelo :	237
c) Techo:	337
d) Paredes (21):	313

Número de planos a iluminar: 21 paredes + suelo + techo = 23

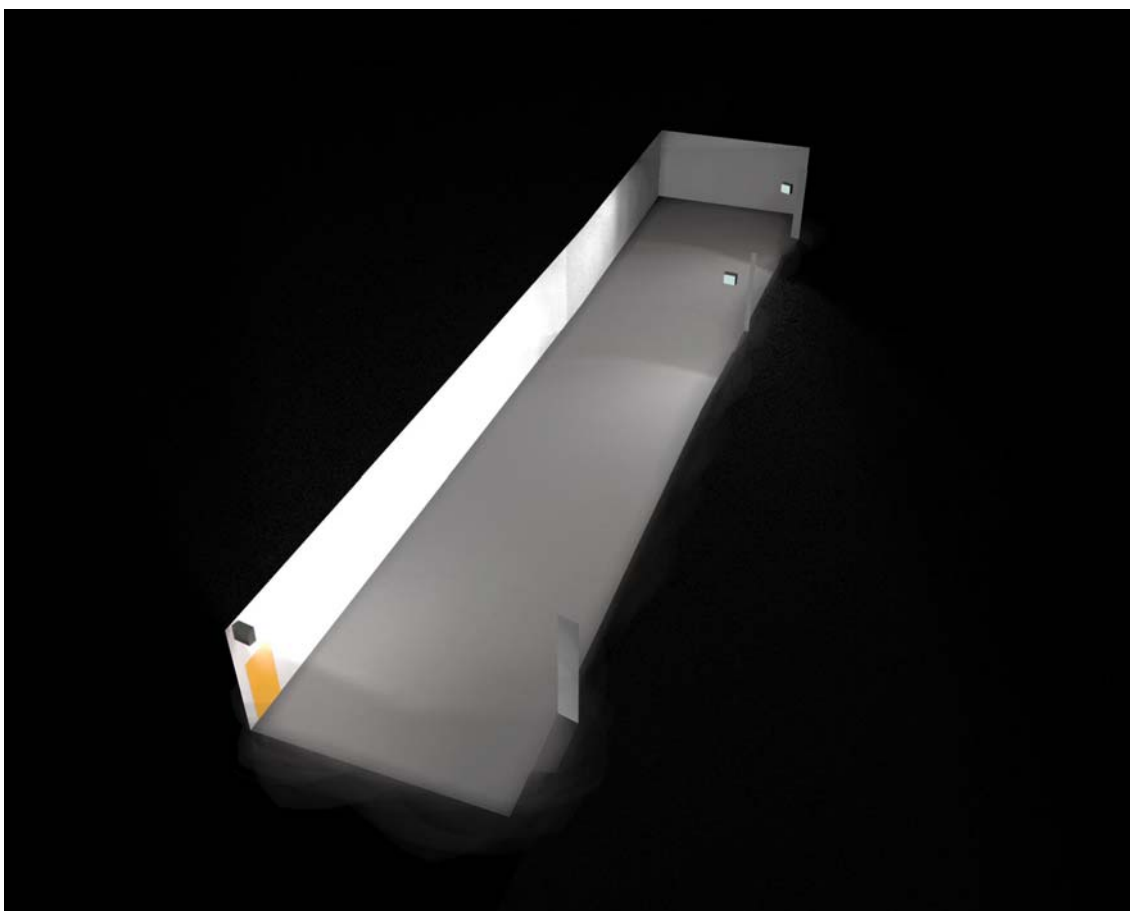


Fig. 42: Render 1 de la Sala 2

Resultados no válidos: De la tabla de Resultados luminotécnicos se extrae que:

a. Planos con $Em \leq 200$ lux: (12)

Pared 1:	159 lx
Pared 2:	84 lx
Pared 3:	132 lx
Pared 4:	121 lx
Pared 7:	181 lx

Pared 9: 142 lx
Pared 10: 88 lx
Pared 13: 24 lx
Pared 14: 37 lx
Pared 15: 82 lx
Pared 16: 42 lx
Pared 17: 77 lx

b. Planos con $E_m \geq 1000$ lux: (1)

Pared 8: 1.191 lx

Valor de eficiencia energética: 11,30 W/m².

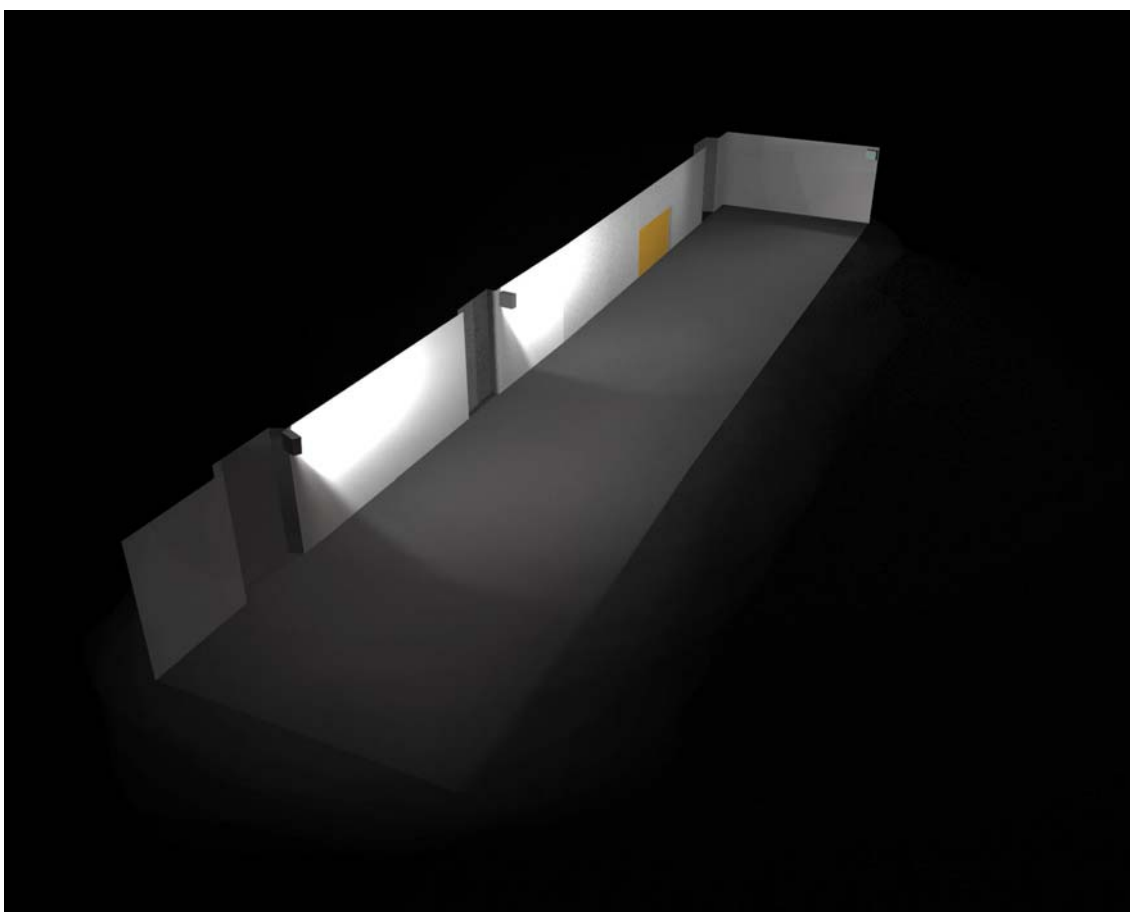


Fig. 43: Render 2 de la Sala 2.

6 Consideraciones finales y conclusiones

A continuación enunciamos las conclusiones obtenidas tras la aplicación del algoritmo de G.Toussaint y posterior ensayo con luminarias reales y bajo el software comercial DIALux.

1. Consideraciones finales:

Primera : Se constata la disparidad entre el número de luminarias y la superficie del local a iluminar, sin tener en cuenta el análisis de los datos de intensidad de iluminación.

Sirva a título de ejemplo que el área de los *Antiguos Dormitorios* bajos (Sala de Referencia 2) se resuelve sólo con tres proyectores; tanto el *Anterrefectorio* como el *Refectorio*, sólo con dos. Sin embargo existen zonas del área de intervención 2 que precisan resolverse con 19 luminarias (p.ej. la *Sala de Referencia 1*), con 11 las *Celdas-Dormitorio*, con 5 la *Celda Prioral* o con 7 la sala *De Profundis*.

Para resolver esta cuestión se realiza el siguiente análisis estadístico:

Se analizarán las cifras estadísticas que arrojan, no solo las dos salas ensayadas con DIALux, sino seis más para relacionar el número de proyectores que aporta el algoritmo, frente al número de paredes que tiene el contorno de cada sala, su área a iluminar y el perímetro. Se elabora el estudio estadístico, relacionando éstos cuatro parámetros, calculando la media, desviación estándar así como el coeficiente de correlación de Pearson,

El coeficiente de correlación de Pearson es un índice estadístico que mide la correlación lineal entre dos variables cuantitativas. A diferencia de la covarianza, la correlación de Pearson es independiente de la escala de medida de las variables.

El valor del índice de correlación varía en el intervalo [-1, +1]:

- Si $r = 0$, no existe relación lineal. Pero esto no necesariamente implica una independencia total entre las dos variables, es decir, que la variación de una de ellas puede influir en el valor que pueda tomar la otra. Pudiendo haber relaciones no lineales entre las dos variables. Estas pueden calcularse con la razón de correlación.
- Si $r = 1$, existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada relación directa: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en idéntica proporción.
- Si $0 < r < 1$, existe una correlación positiva.

- Si $r = -1$, existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada relación inversa: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en idéntica proporción.
- Si $-1 < r < 0$, existe una correlación negativa.

ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LUMINARIAS Y GEOMETRÍA DE SALAS

DENOMINACION SALA	NºLUM	Nº.PS	AREA	PERIM.	A	B	C
					NºPS/NºLUM	AREA/NºLUM	PERIM/NºLUM
CELDA PRIORAL	6	21	30,42	28,61	3,50	5,07	4,77
DE PROFUNDIS	5	20	76,71	38,95	4,00	15,34	7,79
ANTEREFECTORIO	3	8	56,84	31,18	2,67	18,95	10,39
REFECTORIO	5	20	147,80	67,89	4,00	29,56	13,58
<i>SALA DE REFERENCIA 1</i>	<i>19</i>	<i>75</i>	<i>77,06</i>	<i>60,00</i>	<i>3,95</i>	<i>4,06</i>	<i>3,16</i>
<i>SALA DE REFERENCIA 2</i>	<i>3</i>	<i>12</i>	<i>284,84</i>	<i>94,22</i>	<i>4,00</i>	<i>94,95</i>	<i>31,41</i>
PROVISORÍAS	7	18	44,29	35,73	2,57	6,33	5,10
ENFERMERÍA BAJA	6	23	98,34	51,43	3,83	16,39	8,57
				MEDIA	3,89	15,87	8,18
				DESV.EST.	0,61	29,98	9,05
				PEARSON	A/B	0,34	
					A/C	0,31	
					B/C	0,99	

SALA DE REFERENCIA 2 = ANTIGUOS DORMITORIOS BAJOS

Fuente: Elaboración propia

Segunda : La premisa inicial consistía en saber si el algoritmo de G.T. Toussaint, que resuelve el “Problema de la Galería de Arte”, ofrecía resultados tales que las luminarias instaladas en las ubicaciones (vértices) eran capaces de satisfacer que los planos son bañados siempre por alguna luminaria (luz directa) y que la iluminancia E de este plano se encuentra dentro de los límites fijados ($200 < E < 1000$ lux).

Pues bien, basta analizar el resumen de resultados del capítulo anterior para colegir que la Sala de Referencia 2 no cumple la premisa anterior, toda vez que el 56% de los planos arroja resultados no válidos (13 de 23), frente a la Sala de Referencia 1 que arroja un total de 3 planos con $E > 1000$ lux, lo que representa un escaso 3,9% (3 de 77). Lógicamente el estudio se ha efectuado sobre la base de una idealización utilizando un programa informático y con los datos y características técnicas que ofrece una marca comercial de luminarias (BEGA en este caso). Como se habrá advertido, se han empleado luminarias de distinta potencia en cada Sala de Referencia, seleccionando la potencia en función del número de luminarias y la superficie de la sala. ¹

¹ Obviamente si se emplea otra luminaria distinta, los resultados que arroja son distintos, así cabría instalar una luminaria para la Sala de Referencia 2 que subsane los datos no válidos que ha arrojado. Sin embargo ensayos realizados con el mismo tipo de proyector pero con aumento de potencia en lámpara no parecen en principio viables por la necesidad de requerir una instalación eléctrica especial.

No obstante lo anterior —y si bien no era un ítem a valorar—, cabe reseñar que los resultados de niveles de iluminación medios que aporta DIALux en las dos salas de referencia, indican que las iluminancias medias en todas las áreas se encuentran dentro de los límites marcados como objetivo.

Tercera: Sin lugar a dudas, el algoritmo de G. T. Toussaint resuelve (optimizando) tanto el emplazamiento en vértices de polígonos las luminarias necesarias, como el mínimo número de éstas de una forma teórica; pero al no integrar el factor añadido de que las luminarias tienen un campo de iluminación limitado, entre otras razones por la forma de distribución del flujo luminoso, y por el alcance de éste, su sola aplicación no resulta suficiente.

Cuarta: En estas circunstancias es preciso decir que no cabe universalizar el método y darlo como válido, sino más bien circunscribirlo al ámbito de las salas de geometría muy compleja e irregular y que presenten muchos planos.

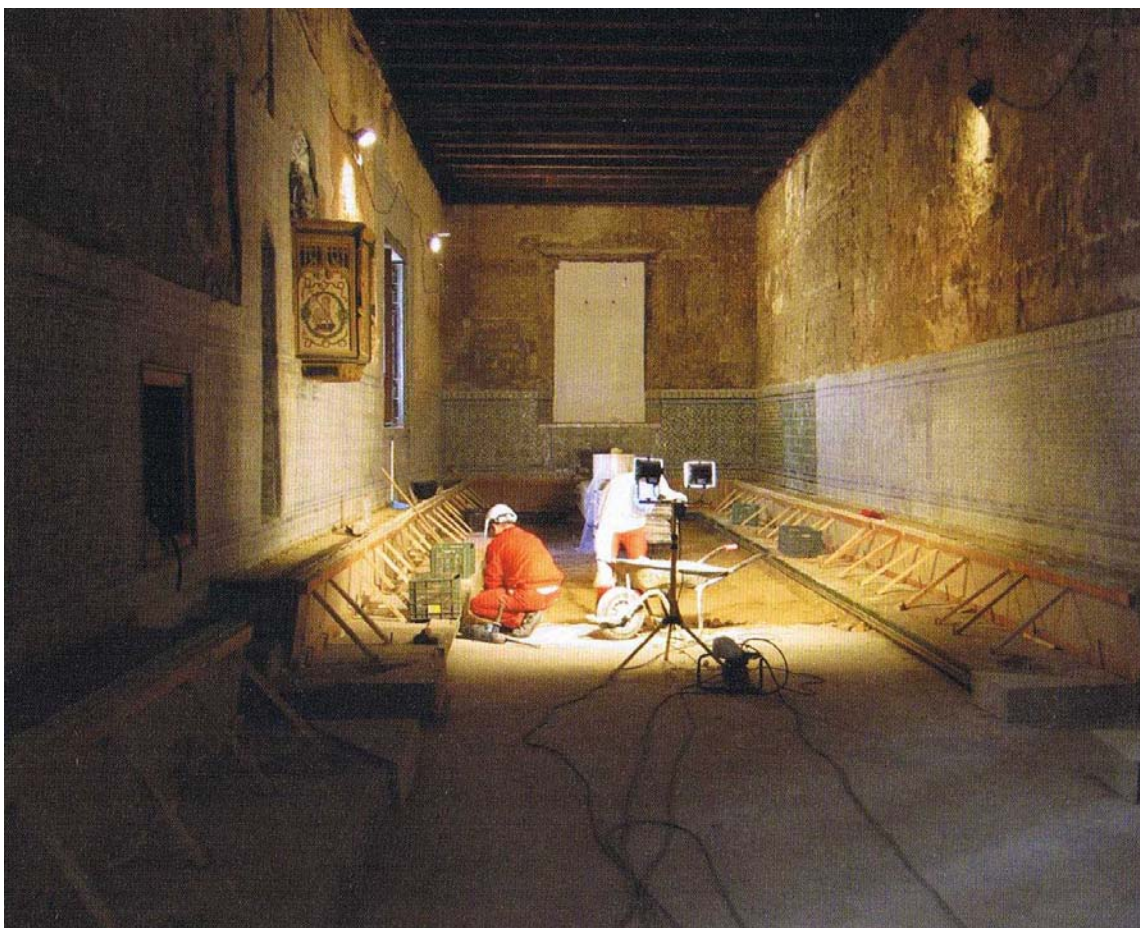


Fig. 44. Iluminando con proyectores el refectorio para levantar la solería

2. Conclusiones

1. Del estudio estadístico, observamos en primera instancia que la única relación que se aproxima a una correlación positiva perfecta es en la relación B/C, esto es, en el Número de luminarias por metro cuadrado y el número de luminarias por metro lineal de contorno de sala; correlación lógica entre perímetro de sala y superficie de ésta. Demostrándose que no existe relación entre número de paredes o lados con el número de luminarias a emplear, por lo que se infiere que el número está íntimamente ligado a la geometría no convexa de la sala.
2. De las dos salas objeto de estudio y análisis, DIALux sólo arroja resultados óptimos, en cuando a niveles de iluminación se refiere, en la Sala 1; no obstante en la Sala 2 en la que, si bien existen paredes por debajo del nivel objetivo, se aportan datos de iluminación media correcta.
3. Por tanto, el beneficio que aporta el algoritmo hay que circunscribirlo a salas de geometría de planta muy irregular o no convexa.

3. Conclusión final:

La metodología empleada, algoritmo de G.Toussaint para resolver la ubicación de las instalaciones de iluminación, es interesante como primera aproximación no costosa, obteniéndose un número suficiente —*óptimo*— de luminarias para emplear en cualquier zona. Sin embargo, la aplicación no resulta interesante para áreas de geometría regular.

La metodología empleada, en sí misma, es de aplicación a otras situaciones similares de optimización. Es decir, una vez planteado el problema de optimización de recursos en edificación, se aplica el algoritmo adecuado que proporciona la Optimización Combinatoria. Posteriormente se testean los resultados con las técnicas o sistemas comerciales al uso.

7

Recomendaciones para futuras investigaciones. Problemas abiertos.

Señalamos a continuación las futuras líneas de investigación así como los problemas abiertos donde se plantean otros aspectos a tener en cuenta relacionados con los problemas de iluminación.

1. Empleo del algoritmo con presencia de obstáculos u objetos.

En el presente trabajo, se ha partido de la premisa de la completa diafanidad de las salas objeto de estudio, cabe pues, realizar el estudio sobre salas que presenten obstáculos, como por ejemplo columnas o pilares intermedios, u otros objetos que necesariamente no puedan trasladarse o necesiten estar.

2. Estudio de las fuentes de luz generadas por del algoritmo en concomitancia con otras.

Otro problema que queda pendiente para discusión y estudio es la posibilidad de que las en las salas o escenas objeto de estudio intervengan, además de las luminarias propias, fuentes de luz diurna, como por ejemplo ventanas, lucernarios, claraboyas o incluso espejos, etc. Es obvio que este aporte vendría a distorsionar los resultados iniciales.

Y por último, una variante de lo anterior: ¿cuál sería el tratamiento a emplear en zonas con aporte de luz natural pero con un importante factor de sombra, como lo constituye toda la zona porticada del claustro? (Fig. 45.)

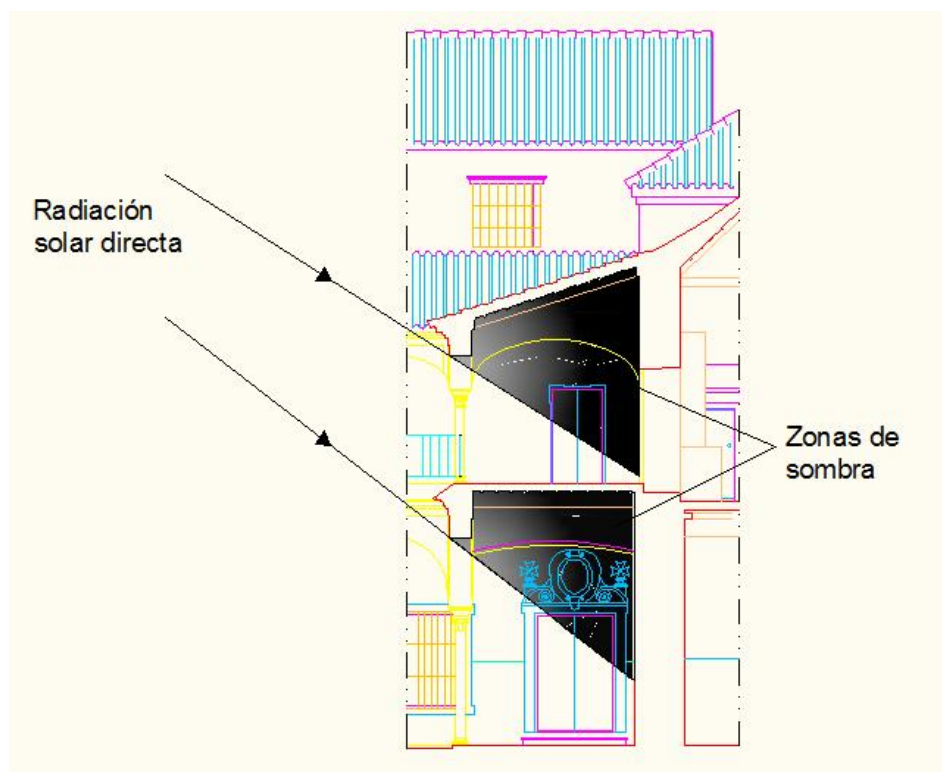


Fig. 45. Sección por claustro mostrando zonas de sombra arrojada debido a la radiación solar directa.

3. Última cuestión: Ensayo de otros algoritmos

A lo largo del presente Trabajo Fin de Máster, se ha tenido ocasión de estudiar la existencia de otros algoritmos que acotan o restringen el empleo de la luminaria, dicho de otro modo, se puede decir que se acercan más al comportamiento real de ésta. Así, dentro de los que resuelven problemas de iluminación, cabría considerar como más óptimo el método de iluminación de polígonos con reflectores con rango de visión uniforme (§1.5.6) –se estudiaría en función del ángulo o rango de visión–, o bien el que se inscribe dentro el campo de iluminación de alcance limitado (§1.6.3).

La verificación de estos métodos se realizaría de la misma manera que el estudiado el presente TFM para el algoritmo de G. T. Toussaint, esto es: sobre un edificio objetivo donde tomar muestras significativas del comportamiento real del algoritmo, se aplica el applet y se trasladan los resultados a DIALux, estudiándose los listados e isolíneas de niveles de iluminación.

8

Referencias y Bibliografía

REFERENCIAS

- [1] Sobre este particular, cfrt. bibliografía y referencias abajo citadas: Urrutia, Jorge.
- [2] Urrutia, Jorge [1995]: “Iluminando Polígonos con Reflectores” en F.Hurtado Ed: VI Encuentro de Geometría Computacional, Barcelona, (págs. 1-3)
- [3] Urrutia, Jorge [1995]: “Iluminando Polígonos con Reflectores” en F.Hurtado Ed: VI Encuentro de Geometría Computacional, Barcelona, (págs. 4-7).
- [4] Urrutia, Jorge [1995]: “Iluminando Polígonos con Reflectores” en F.Hurtado Ed: VI Encuentro de Geometría Computacional, Barcelona, (págs. 11-15).
- [5] Urrutia, Jorge [1997]: “Tres Problemas de Iluminación y Visibilidad” 7ª Conferencia Española sobre Geometría Computacional, Madrid (págs. 8-11).
- [6] J.O'Rourke, T.Sherner, I.Streinu. [1995]: “Illuminating convex polygons with vertex floodlights” en Proceedings of the 7th Canadian Conference on Computational Geometry. (págs.. 151-156)
- [7] Bose, Prosenjit, Guibas, Leonidas, Lubiw, Anna, Overmars, Mark , Souvaine, Diane y Urrutia, Jorge [1993]: “The Two Floodlight Illumination Problems” en Proceedings of the 5th Canadian Conference on Computational Geometry. (págs.. 75-87)
- [8] Urrutia, Jorge [2004]: “Art Gallery and Illumination Problems”, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. (págs. 32-47)
- [9] Urrutia, Jorge [2004]: “Art Gallery and Illumination Problems”, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. (págs. 48-56)
- [10] Urrutia, Jorge [2004]: “Art Gallery and Illumination Problems”, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. (págs. 47-83)
- [11] Urrutia, Jorge [2004]: “Art Gallery and Illumination Problems”, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. (págs. 48-56)
- [12] Spillner, Andreas [2004]: “Two Optimizacion problems with floodlights” en Proceedings of the 20th European Workshop on Computational Geometry. Sevilla.
- [13] Urrutia, Jorge [2004]: “Art Gallery and Illumination Problems”, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. (págs. 63-78)

- [14] Bose, Prosenjit, Guibas, Leonidas, Lubiw, Anna, Overmars, Mark, Souvaine, Diane y Urrutia, Jorge [1993]: "The Two Floodlight Illumination Problems" en Proceedings of the 5th Canadian Conference on Computational Geometry. (págs.. 88-93)
- [15] Ntafos, S [1992]: "Watchman routes under limited visibility" Computational Geometry, Theory and Applications, Vol. 1 n3, (pags. 149-170).
- [16] Sung-Ho Kim, Jung-Heum Park, Seung-Hak Choi, Sung Yong Shin y Kyung-Yong Chwa [1995]: "An optimal algorithm for finding the edge visibility polygon under limited visibility", Information Processing Letters, Volume 53, Issue 6, (págs.. 359-365)
- [17] García, Jesús [1995]: "Problemas Algorítmicos-Combinatorios de Visibilidad ". Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.
- [18] Canales, S. Hernández, G. Hernández [2001]: "Visibilidad de alcance limitado en polígonos escalera" Actas de IX Encuentros de Geometría Computacional, Gerona (pág. 275-283).
- [19] Bhattacharya, A. Ghosh, S.K. Sarkar, S. [2001]: "Exploring an Unknown Polygonal Environment with Bounded Visibility" Proceedings ICCS 2001: International Conference Computational Science, San Francisco, CA, USA, , LNCS vol. 2073

BIBLIOGRAFÍA

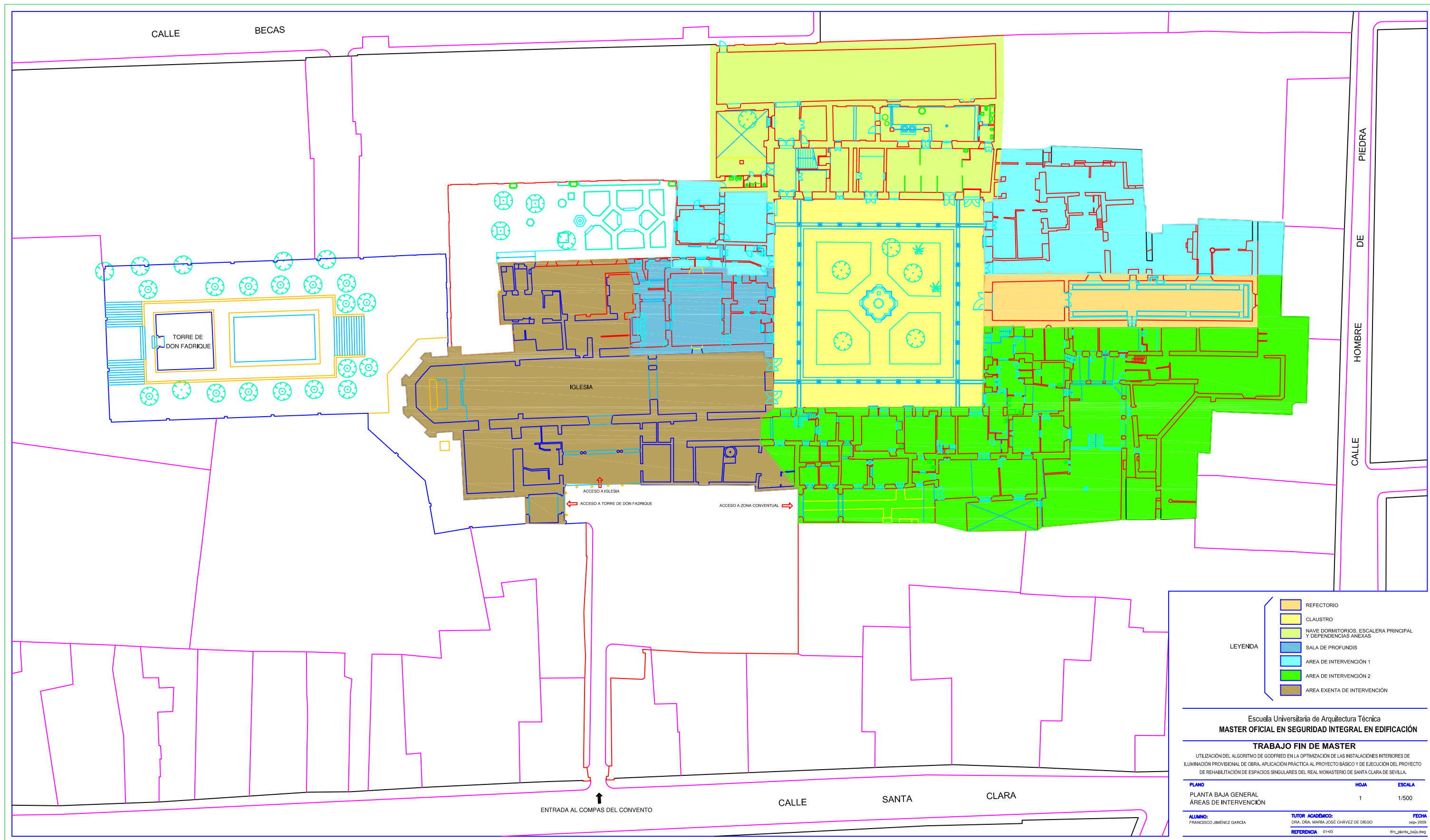
1. Czyzowicz, Jurek; Rivera-Campo, Eduardo; Santoro, Nicola; Urrutia, Jorge y Zaks, Joseph [1994]: "Guarding Rectangular Art Galleries" en Elsevier Science Publishers B.V: Discrete Applied Mathematics, Volumen 50, Ed.2^a, Amsterdam, (págs.: 149-157)
2. Urrutia, Jorge [1995]: "Iluminando Polígonos con Reflectores" en F.Hurtado Ed: VI Encuentro de Geometría Computacional, Barcelona, (págs. 59-72)
3. Urrutia, Jorge [1997]: "Tres Problemas de Iluminación y Visibilidad", 7^a Conferencia Española sobre Geometría Computacional, Madrid, (págs. 3-16)
4. O'Rourke, Joseph [1987]: Art Gallery Theorems and Algorithms, Oxford University Press, New York.
5. Urrutia, Jorge [2004]: Art Gallery and Illumination Problems, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.

6. Guzmán, José Luis (Coord.) [2006]: Real Monasterio de Santa Clara. 1- Historia y descripción, Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Sevilla – Ayuntamiento de Sevilla, Sevilla
7. Guzmán, José Luis (Coord.) [2007]: Real Monasterio de Santa Clara. 2 - Palacio y Cenobio, Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Sevilla – Ayuntamiento de Sevilla, Sevilla
8. Matoušek, Jiří / Nešetřil, Jaroslav [2008]: Invitación a la Matemática Discreta, Ed. Reverté, Barcelona.
9. Pérez Cano, María Teresa/et.al. [1991]: Arquitectura en los Conventos de Sevilla, Consejería de Cultura y Medio Ambiente (Junta de Andalucía), Sevilla.
10. Comité Español de Iluminación (CEI) / Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) [2005]: “Guía Técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios”, Publicaciones del IDAE (Ministerio de Ciencia y Tecnología), Madrid.
11. Comité Español de Iluminación (CEI) / Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) [2001]: “Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Oficinas”, Publicaciones del IDAE (Ministerio de Ciencia y Tecnología), Madrid.
12. Servicio de Planeamiento. Gerencia de Urbanismo – Ayuntamiento de Sevilla [2000]: “Desarrollo del Avance del Plan Especial de Protección del Conjunto Histórico de Sevilla – Sector 9 “San Lorenzo-San Vicente””, Sevilla. : <http://www.sevilla.org/urbanismo/> consultado agosto de 2009
13. Almodóvar Melendo, Jose Manuel [2003]: Desarrollo de métodos de simulación arquitectónica: Aplicación al análisis ambiental del patrimonio, Colegio Oficial de Arquitectos de Sevilla – Fundación para la Investigación y Difusión de la Arquitectura (FIDAS) 2003. Sevilla

9

Apéndices

- 1. Planos en planta del Proyecto Básico y de Ejecución de Rehabilitación de Espacios singulares del Real Monasterio de Santa Clara de Sevilla (selección).**
- 2. Listados del código fuente en lenguaje de programación JAVA.**
- 3. Informes de resultados luminotécnicos obtenidos mediante DiaLUX™ v.4.7.5.0**



- LEYENDA
- REFECTORIO
 - CLAUSTRO
 - NAVE DORMITORIOS, ESCALERA PRINCIPAL Y DEPENDENCIAS ANEXAS
 - SALA DE PROFUNDIS
 - AREA DE INTERVENCIÓN 1
 - AREA DE INTERVENCIÓN 2
 - AREA EXENTA DE INTERVENCIÓN

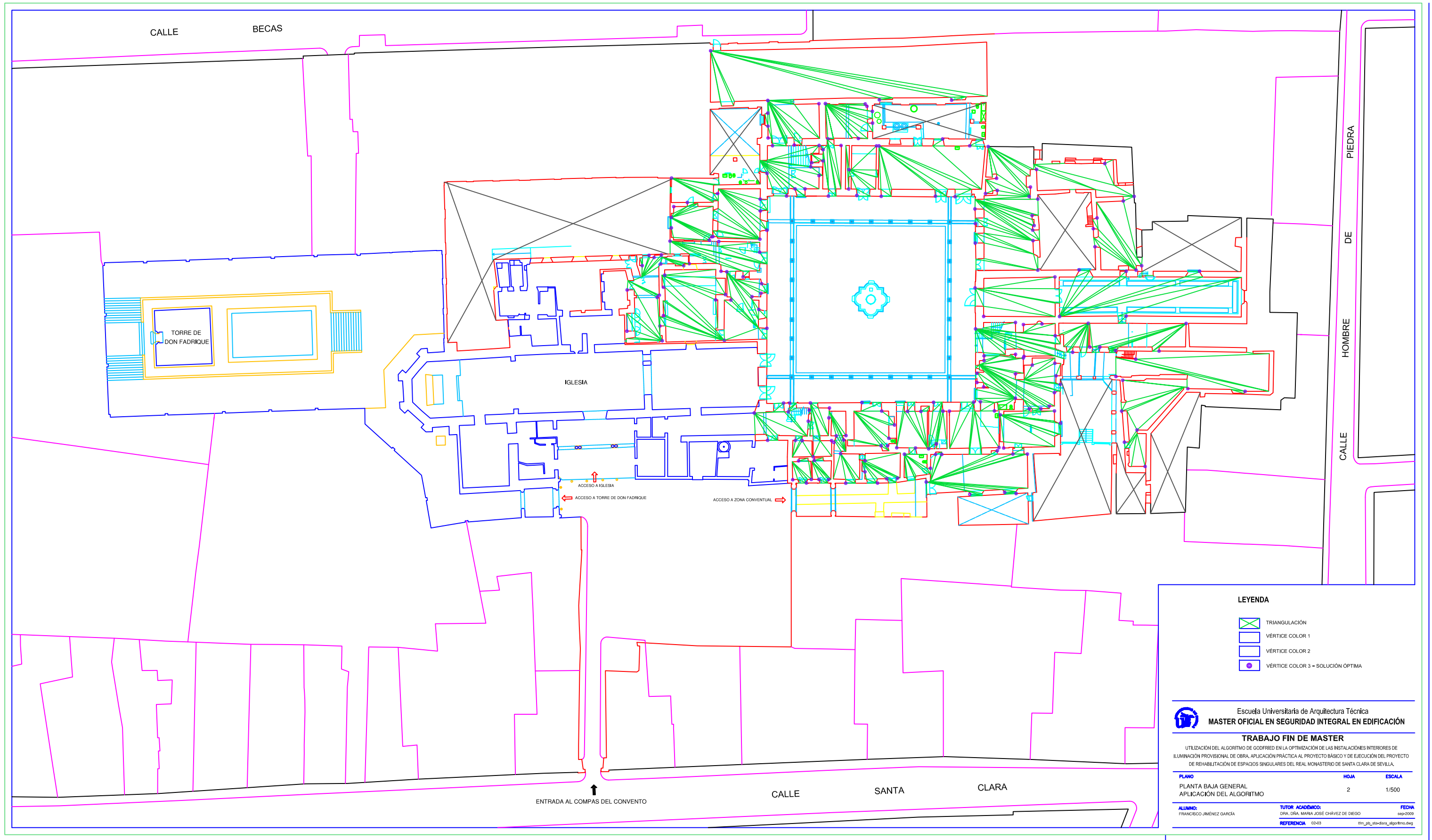
Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica
MASTER OFICIAL EN SEGURIDAD INTEGRAL EN EDIFICACIÓN

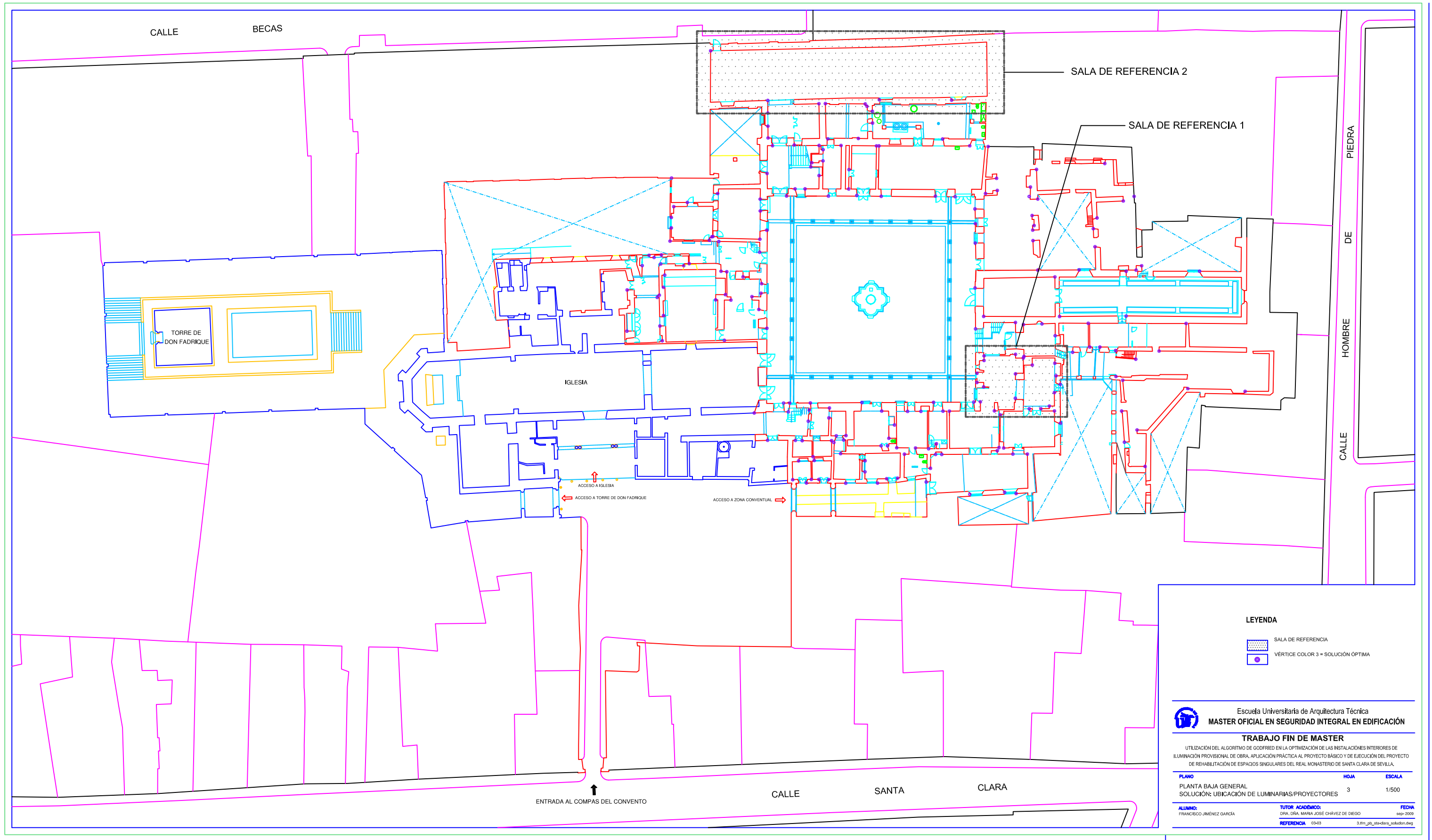
TRABAJO FIN DE MASTER

UTILIZACIÓN DEL ALGORITMO DE GODFRIED EN LA OPTIMIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES INTERIORES DE ILUMINACIÓN PROVISIONAL DE OBRA, APLICACIÓN PRÁCTICA AL PROYECTO BÁSICO Y DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE REHABILITACIÓN DE ESPACIOS SINGULARES DEL REAL MONASTERIO DE SANTA CLARA DE SEVILLA.

PLANO	HUJA	ESCALA
PLANTA BAJA GENERAL ÁREAS DE INTERVENCIÓN	1	1/500

ALUMNO:	TUTOR ACADÉMICO:	FECHA
FRANCISCO JIMÉNEZ GARCÍA	DR.ª. Dña. MARIA JOSÉ CHÁVEZ DE DIEGO	sep-2009
REFERENCIA	01-03	tit_041181_baja.dwg





- LEYENDA**
- SALA DE REFERENCIA
 - VERTICE COLOR 3 = SOLUCIÓN ÓPTIMA

Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica
MASTER OFICIAL EN SEGURIDAD INTEGRAL EN EDIFICACIÓN

TRABAJO FIN DE MASTER

UTILIZACIÓN DEL ALGORITMO DE GODFRIED EN LA OPTIMIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES INTERIORES DE ILUMINACIÓN PROVISIONAL DE OBRA, APLICACIÓN PRÁCTICA AL PROYECTO BÁSICO Y DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE REHABILITACIÓN DE ESPACIOS SINGULARES DEL REAL MONASTERIO DE SANTA CLARA DE SEVILLA.

PLANO	HORA	ESCALA
PLANTA BAJA GENERAL SOLUCIÓN: UBICACIÓN DE LUMINARIAS/PROYECTORES	3	1/500

ALUMNO:	TUTOR ACADÉMICO:	FECHA:
FRANCISCO JIMÉNEZ GARCÍA	DR.ÑA. MARIA JOSÉ CHÁVEZ DE DIEGO	14-2009
	REFERENCIA: 03-03	3.dfm_gd_estructura_solucion.txd

APÉNDICE 2

Listado del código fuente en lenguaje de programación Java

1. ColorSet.java

```
class ColorSet {
    Point[] CVSet = new Point[300];
    public int size = 0;
    int[] colors = new int[3];

    public ColorSet()
    {
        colors[0]=0;
        colors[1]=0;
        colors[2]=0;
    }
    void add(ColorSet CSet)
    {
        if (CSet != null)
        for (int j = 0;j<CSet.size;j++)
        {
            CVSet[size] = CSet.getPnt(j);
            colors[CVSet[size].getColor()]++;
            size++;
        }
    }
    void add(Point p)
    {
        CVSet[size] = p;
        colors[p.getColor()]++;
        size++;
    }
    /**
     *
     * @return int
     */
    public int getMinColorClass() {
        int min = 0;
        if (colors[min]>colors[1]) min = 1;
        if (colors[min]>colors[2]) min = 2;
        return min;
    }
    Point getPnt(int i)
    {
        return CVSet[i];
    }
    /**
     *
     */
    public void setGuards() {
        int curColor = 0;
        int minColorClass =
        getMinColorClass();
        for (int j=0;j<size;j++)
        {
            curColor =
            CVSet[j].getColor();
            if (curColor ==
            minColorClass)
            {
                CVSet[j].guard = true;
            }
        }
        return;
    }
}
```

2. diagonalSet.java

```
class diagonalSet {
    edge[] dSet = new edge[200];
    public int size = 0;

    public diagonalSet(){}
    void addDiagonal(Point i,Point j,Point
    cutOff)
    {
        dSet[size]=new edge(i,j,cutOff);
        size++;
    }
    edge getDiagonal(int i)
    {
        return dSet[i];
    }
    int getSize()
    {
        return size;
    }
    int isInDiagSet(Point a, Point b)
    {
        for (int i = 0;i<size;i++)
        {
            if (((dSet[i].getStart().getX() ==
            a.getX()) &&
            (dSet[i].getStart().getY() ==
            a.getY()) &&
            (dSet[i].getEnd().getX() ==
            b.getX()) &&
            (dSet[i].getEnd().getY() ==
            b.getY()))
            ||
            ((dSet[i].getEnd().getX() ==
            a.getX()) &&
            (dSet[i].getEnd().getY() ==
            a.getY()) &&
            (dSet[i].getStart().getX() ==
            b.getX()) &&
            (dSet[i].getStart().getY() ==
            b.getY()))))
                return i;
        }
        return -1;
    }
    diagonalSet merge(diagonalSet d2)
    {
        int d2size = d2.getSize();
        int i = size;

        for (int j = 0;j<d2size;j++,i++,size++)
        {
            dSet[size] = d2.getDiagonal(j);
        }

        return this;
    }
}
```

3. edge.java

```
class edge {
    Point strt;
    Point nd;
    Point cutoff = null;

    public edge(Point p1,Point p2)
    {
        strt = p1;
        nd = p2;
    }
    public edge(Point p1,Point p2,Point cut)
    {
        strt = p1;
```

```

nd = p2;
cutoff = cut;
}
Point getCutPnt()
{
return cutoff;
}
Point getEnd()
{
return nd;
}
Point getStart()
{
return strt;
}
}
}

```

4. Point.java

```

class Point {
int x;
int y;
int color = -1;
int index = -1;
boolean guard = false;

public Point(int xc,int yc){x=xc;y=yc;}
int getColor()
{
return color;
}
/**
 *
 * @return int
 */
public int getIndex() {
return index;
}
int getX()
{return x;}
int getY()
{return y;}
boolean setColor(int c)
{
if (color == -1) {color = c; return true;}
else
{
color = -1;
return false;
}
}
return false;
}
/**
 *
 * @param i int
 */
public void setIndex(int i) {
index = i;
return;
}
}
}

```

5. polyCanvas.java

```

import java.awt.*;
import java.util.Vector;
import triangulate;
import Point;
import Polygon;
import diagonalSet;
import edge;
import ColorSet;

```

```

/** A canvas to get an input polygon and
to draw a polygon */
class polyCanvas extends Canvas {
private Point first;
private int prevX;
private int prevY = -1;
Polygon p = new Polygon(100);
diagonalSet d;
boolean intersected = false;
boolean triangulation = true;
boolean guards = true;
boolean colors = true;
triangulate t = new triangulate();

/**
 *
 * @param x1 int
 * @param y1 int
 * @param x2 int
 * @param y2 int
 */
public void closePolygon(int x1,int y1,int
x2,int y2) {
Graphics g = getGraphics();
g.setColor(Color.red);
g.drawLine(x1,y1,x2,y2);
return;
}
public void drawEdge(int x1,int y1,int x2,
int y2)
{
Graphics g = getGraphics();
g.setColor(Color.red);
g.drawLine(x1,y1,x2,y2);
drawpoint(x1,y1);
drawpoint(x2,y2);
}
public void drawEdge(edge e)
{
Graphics g = getGraphics();
g.setColor(Color.green);
g.drawLine(e.getStart().getX(),e.getStart()
).getY(),e.getEnd().getX(),e.getEnd().getY()
());
drawpoint(e.getStart().getX(),e.getStart()
).getY());
}
/**
 *
 * @param p1 Point
 * @param p2 Point
 */
public void drawEdge(Point p1,Point p2) {
{
Graphics g = getGraphics();
g.setColor(Color.red);
g.drawLine(p1.x,p1.y,p2.x,p2.y);
drawpoint(p1,3);
drawpoint(p2,3);
}
}
return;
}
public void drawpoint(int x,int y)
{
Graphics g = getGraphics();
g.setColor(Color.red);
g.fillOval(x-5,y-5,10,10);
g.setColor(Color.black);
g.drawOval(x-5,y-5,10,10);
}
public void drawpoint(Point p,int color)
{
Graphics g = getGraphics();
// no colors
if (p.color<=3 && colors)
{

```



```

if (p.color == 0)
    g.setColor(Color.yellow);
else if (p.color == 1)
    g.setColor(Color.blue);
else if (p.color == 2)
    {g.setColor(Color.white);}
int x= p.getX()-5;
int y= p.getY()-5;
g.fillOval(x,y,10,10);
g.setColor(Color.black);
g.drawOval(x,y,10,10);
}
if ((p.color == -1) || !colors)
{
g.setColor(Color.red);
g.fillOval(p.getX()-5,p.getY()-5,10,10);
g.setColor(Color.black);
g.drawOval(p.getX()-5,p.getY()-5,10,10);
}
if (p.guard && guards)
{
g.setColor(Color.black);
g.drawOval(p.getX()-5,p.getY()-5,10,10);
g.setColor(Color.white);
g.drawOval(p.getX()-6,p.getY()-6,12,12);
}
}
public boolean handleEvent(Event evt)
{
// when mouse down store prevX,Y when
mouse up drawline prevX,prevY,x,y

if (evt.id == Event.MOUSE_DOWN &&
!p.closed)
{
if (prevY != -1) // not the first
point
{
if (!(Math.abs(first.getX()
-evt.x)<=3 && (Math.abs(first.getY() -
evt.y) <=3))) && p.size <100)
{
if
(noIntersection(evt.x,evt.y,prevX,prevY))
{
drawEdge(evt.x,evt.y,prevX,prevY);
p.addPnt(new
Point(evt.x,evt.y));
drawpoint(evt.x,evt.y);
intersected = false;
}
else {
intersected =
true;
}
}
else
{
if
(noIntersection2(first.x,first.y,prevX,pre
vY))
{
drawEdge(first.x,first.y,prevX,prev
Y);
p.close();
if (p.clockwise &&
(p.area() < 0)) p.reverse();
}
else if
(!p.clockwise && (p.area() < 0))
p.reverse();
Polygon pTmp = new
Polygon(p);
d =
t.triangulate(pTmp,getGraphics());
p.addDiagonals(d);
ColorSet CSet =
t.color(d,p); // 3 color the
polygon
CSet.setGuards();
repaint();
}
else intersected = true;
}
}
else
{
first = new Point(evt.x,evt.y);
p.addPnt(first);
drawpoint(evt.x,evt.y);
}
if (!intersected)
{
prevX = evt.x;
prevY = evt.y;
}
return true;
}
}
return false;
}
/**
*
* @return boolean
* @param x1 int
* @param y1 int
* @param x2 int
* @param y2 int
*/
public boolean noIntersection(int x1,int
y1,int x2,int y2) {
Point p1,p2;
p1 = new Point(x1,y1);
p2 = new Point(x2,y2);
if (p.size <= 1) return
true;
if (p.clockwise)
for (int i =
0;i<p.size-2;i++)
{
if
(t.intersect(p1,p2,p.VSet[i],p.VSet[i+1]))
{
return false;
}
}
else
for (int i = p.size-
1;i>1;i--)
{
if
(t.intersect(p1,p2,p.VSet[i-
1],p.VSet[i])){
return false;
}
}
return true;
}
}
/**
*

```

```

* @return boolean
* @param x1 int
* @param y1 int
* @param x2 int
* @param y2 int
*/
public boolean noIntersection2(int x1,int
y1,int x2,int y2) {
Point p1,p2;
    p1 = new Point(x1,y1);
    p2 = new Point(x2,y2);
    if (p.size <= 1) return
true;
    if (p.clockwise)
        for (int i =
1;i<p.size-2;i++)
            {
                if
(t.intersect(p1,p2,p.VSet[i],p.VSet[i+1]))
{
return false;
                }
            }
        else
            for (int i = p.size-
2;i>1;i--)
                {
                    if
(t.intersect(p1,p2,p.VSet[i-
1],p.VSet[i])){
return false;
                    }
                }
            }
        return true;
}
public void paint(Graphics g)
{
g.setColor(Color.gray);
g.fillRect(0,0,450,450);
if (p.size != 0)
{
    Point p1 = p.getPnt(0);
    Point p2;

    if ((p.closed) && triangulation)
        {
            for (int j=0;j<d.size;j++)
                {
                    drawEdge(d.getDiagonal(j));
                }
        }
    for (int i = 0;i<p.size;i++)
        {
            p2 = p.getPnt(i);
            drawEdge(p2,p1);
            p1 = p2;
        }
    if (p.closed)
        {
            p2 = p.getPnt(0);
            drawEdge(p2,p1);
        }
}
}
public void reset()
{
prevY = -1;
p = new Polygon(100);
Graphics g = getGraphics();

g.setColor(Color.gray);
g.fillRect(0,0,450,450);
intersected = false;
}
/**
*
*/
public void seeColors() {
    colors = !colors;
    repaint();
    return;
}
/**
*
*/
public void seeGuards() {
    guards = !guards;
    repaint();
    return;
}
/**
*
*/
public void seeTriangulation() {
    triangulation = !triangulation;
    repaint();
    return;
}
/**
*
*/
public void undo() {
    if (p.size <= 1) reset();
    else
    {
        p.remove(p.size,d);
        if (p.clockwise)
        {
            prevX =
p.getPnt(p.size-1).getX();
            prevY =
p.getPnt(p.size-1).getY();
        }
        else
        {
            prevX =
p.getPnt(0).getX();
            prevY =
p.getPnt(0).getY();
        }
        repaint();
    }
    return;
}
}
}

```

6. Polygon.java

```

class Polygon {
public int size = 0;
    Point[] VSet;
    int[][] adjList = new int[100][100];
public boolean closed = false;
    boolean clockwise = true;

public Polygon(int max){VSet = new
Point[max];}
public Polygon(Polygon p)
{
VSet = new Point[100];

for (;size<p.size;size++)
{

```

```

        VSet[size] = new
Point(p.getPnt(size).getX(),p.getPnt(size)
.getY());
        VSet[size].setIndex(size);
        closed = true;
    }
}
/**
 *
 * @param d diagonalSet
 */
public void addDiagonals (diagonalSet d) {
    edge tmp;
    for (int i=0;i<d.size;i++)
        {
            tmp = d.getDiagonal(i);

            link(tmp.getStart().getIndex(),tmp.
getEnd().getIndex());
        }
    return;
}
void addPnt(Point p)
{
if (clockwise)
    {
        if (size !=0)
            {
                link(size,size-1);
                if (size != 2)
                    unlink(size-1,0);
                link(size,0);
            }
        p.setIndex(size);
        VSet[size] = p;
    }
else
    {
        for (int i = size;i>0;i--)
            {
                VSet[i] = VSet[i-1];
                VSet[i].index = i;
            }
        link(size,size-1);
        link(size,0);
        unlink(size-1,0);
        VSet[0] = p;
        VSet[0].index = 0;
    }

size++;
}
/**
 *
 * @return int
 */
public int area() {
    int i;
    int currentSum = 0;
    for (i=0;i<size-1;i++)
        {
            currentSum += (VSet[i].x *
VSet[i+1].y)-(VSet[i].y*VSet[i+1].x);
        }
    currentSum += (VSet[size-1].x *
VSet[0].y)-(VSet[size-1].y*VSet[0].x);
    return currentSum;
}
/**
 *
 * @return boolean
 * @param v int
 */
public boolean areNeighbors(int v1,int v2)
{
    return (adjList[v1][v2]==1);
}
/**
 *
 */
public void close() {
    closed = true;
    return;
}
Point getPnt(int i)
{return VSet[i];
}
/**
 *
 * @param a int
 * @param b int
 */
public void link(int a,int b) {
    adjList[a][b]=1;
    adjList[b][a]=1;
    return;
}
/**
 *
 * @param pnt Point
 */
public void remove(int index,diagonalSet
d) {
    edge diag;;
    int j;

    if (!clockwise)
    {
        for (j =0;j<size-1;j++)
            {
                VSet[j] = VSet[j+1];
                VSet[j].index = j;
            }
    }

    size--;

    // remove diagonals
    if (closed)
    {
        for (j= d.size-1;j>=0;j--)
            {
                diag = d.getDiagonal(j);

                unlink(diag.getStart().getIndex(),d
iag.getEnd().getIndex());
            }
        // reset the colors and remove
guards
        for (j = 0;j<size;j++)
            {
                VSet[j].setColor(-1);
                VSet[j].guard = false;
            }
        d.size = 0;
    }
    link(size-1,0);
    unlink(0,size);

    closed = false; // open the polygon
    return;
}
void removeVertex(int i)
{
    int k;

    for (k=i; k<size-1;k++)
    {

```

```

VSet[k] = VSet[k+1];
}
size--;
}

/**
 *
 */
public void reverse() {
    //
    int i,j;
    Point tmp;
    if (size == 1) return;
    else
        for (i=0,j=size-1;i<j;i++,j-
-)
            {
                tmp = VSet[i];
                VSet[i] = VSet[j];
                VSet[j]=tmp;
                VSet[i].index = i;
                VSet[j].index = j;
            }
    clockwise = !clockwise;
    return;
}
/**
 *
 * @param a int
 * @param b int
 */
public void unlink(int a,int b) {
    adjList[a][b]=0;
    adjList[b][a]=0;
    return;
}
}

```

7. triangulate.java

```

import Point;
import diagonalSet;
import Polygon;
import edge;
import ColorSet;
import java.awt.*;
class triangulate {

public triangulate(){}
int Area2(Point p1,Point p2,Point p3)
{
return (p2.getX() - p1.getX()) *
(p3.getY() - p1.getY()) -
(p3.getX() - p1.getX()) *
(p2.getY() - p1.getY());
}
boolean between(Point p1,Point p2,Point
p3)
{
if (! collinear(p1,p2,p3)) return false;
if (p1.getX() != p2.getX())
return ((p1.getX() <= p3.getX()) &&
(p3.getX() <= p2.getX()) ||
((p1.getX() >= p3.getX()) &&
(p3.getX() >= p2.getX())));
else return ((p1.getY() <= p3.getY()) &&
(p3.getY() <= p2.getY()) ||
((p1.getY() >= p3.getY()) &&
(p3.getY() >= p2.getY())));
}
void clipEar(int il,Polygon P)
{
P.removeVertex(il);

```

```

}
boolean collinear(Point p1, Point p2,
Point p3)
{
return Area2(p1,p2,p3) == 0;
}
ColorSet color(diagonalSet d,Polygon p)
{
ColorSet CSet = new ColorSet();
edge curDiag = d.getDiagonal(0);
Point a,b,cut;
int d1,d2;
if (p.size == 3)
{
a=p.getPnt(0);
b=p.getPnt(1);
cut=p.getPnt(2);
a.setColor(0);
b.setColor(1);
cut.setColor(2);
CSet.add(a);
CSet.add(b);
CSet.add(cut);
return CSet;
}

a =
p.getPnt(curDiag.getStart().getIndex());
b = p.getPnt(curDiag.getEnd().getIndex());
cut =
p.getPnt(curDiag.getCutPnt().getIndex());

p.getPnt(a.getIndex()).setColor(0);
p.getPnt(b.getIndex()).setColor(1);
p.getPnt(cut.getIndex()).setColor(2);

CSet.add(a);
CSet.add(b);
CSet.add(cut);

```

```

if ((d1 = d.isInDiagSet(a,cut)) != -1)
CSet.add(recurseColor(d,p,d1));
if ((d2 = d.isInDiagSet(b,cut)) != -1)
CSet.add(recurseColor(d,p,d2));

CSet.add(recurseColor(d,p,0));
return CSet;
}
boolean diagonal(int i,int j,Polygon P)
{
int k;
int k1;
int n= P.size;

for (k=0;k<n;k++)
{
k1 = (k+1) %n;
if (!(k==i) || (k1==i) || (k==j) ||
(k1==j))
{
if
(intersect(P.getPnt(i),P.getPnt(j),P.getPn
t(k),P.getPnt(k1)))
return false;
}
}
return true;
}
/**
 *
 * @return Point
 * @param a int
 * @param b int
 */

```

```

public Point getTriangle(int a,int
b,Polygon p) {
    for (int i=0;i<p.size;i++)
    {
        if ((i!=b) && (i!=a))
        {
            if
            (p.areNeighbors(a,i) &&
p.areNeighbors(b,i) &&
(p.getPnt(i).getColor()==-1))
            {
                return
                p.getPnt(i);
            }
        }
    }
    return null;
}
boolean inCone(int i,int j,Polygon P)
{
    int n = P.size;
    int i1 = (i+1) % n;
    int in1 = (i+n-1)%n;
    if
    (LeftOn(P.getPnt(in1),P.getPnt(i),P.getPnt
(i1)))
    {
        return
        Left(P.getPnt(i),P.getPnt(j),P.getPnt(in1)
) &&
        Left(P.getPnt(j),P.getPnt(i),P.getP
nt(in1));
    }
    else
    {
        return
        !(LeftOn(P.getPnt(i),P.getPnt(j),P.getPnt(
i1)) &&
LeftOn(P.getPnt(j),P.getPnt(i),P.getPnt(in
1)));
    }
}
boolean intersect(Point p1,Point p2,Point
p3,Point p4)
{
    if (intersectProp(p1,p2,p3,p4))
        return true;
    else if (between(p1,p2,p3) ||
between(p1,p2,p4) || between(p3,p4,p1) ||
between(p3,p4,p2))
        return true;
    else return false;
}
boolean intersectProp(Point p1,Point
p2,Point p3,Point p4)
{
    if (collinear(p1,p2,p3) ||
collinear(p1,p2,p4) || collinear(p3,p4,p1)
|| collinear(p3,p4,p2))
        return false;
    return Xor(Left(p1,p2,p3),Left(p1,p2,p4))
&& Xor(Left(p3,p4,p1),Left(p3,p4,p2));
}
boolean isDiagonal(int i,int j,Polygon
P,Graphics g)
{
    return inCone(i,j,P) && diagonal(i,j,P);
}
boolean Left(Point p1,Point p2,Point p3)
{
    return Area2(p1,p2,p3) >0;
}
}
boolean LeftOn(Point p1,Point p2,Point p3)
{
    return Area2(p1,p2,p3) >= 0;
}
int nextColor(int c1,int c2)
{
    if ((c1 + c2) ==1) return 2;
    else if ((c1 + c2) ==2) return 1;
    else return 0;
}
ColorSet recurseColor(diagonalSet
d,Polygon p,int i)
{
    ColorSet CSet = new ColorSet();
    edge curDiag = d.getDiagonal(i);
    Point a,b,cut;
    int d1,d2;
    a =
    p.getPnt(curDiag.getStart().getIndex());
    b = p.getPnt(curDiag.getEnd().getIndex());
    cut =
    p.getPnt(curDiag.getCutPnt().getIndex());
    if (cut.getColor() == -1) // point has not
been colored
    {
        p.getPnt(cut.getIndex()).setColor(nextColo
r(a.getColor(),b.getColor()));
        CSet.add(cut);
        if ((d1 = d.isInDiagSet(a,cut)) != -1)
CSet.add(recurseColor(d,p,d1));
        if ((d2 = d.isInDiagSet(b,cut)) != -1)
CSet.add(recurseColor(d,p,d2));
    }
    else
    {
        cut =
        getTriangle(a.getIndex(),b.getIndex(),p);
        if (cut == null)
        {
            return CSet;
        }
        p.getPnt(cut.getIndex()).setColor(nextColo
r(a.getColor(),b.getColor()));
        CSet.add(cut);
        if ((d1 = d.isInDiagSet(a,cut)) != -1)
CSet.add(recurseColor(d,p,d1));
        if ((d2 = d.isInDiagSet(b,cut)) != -1)
CSet.add(recurseColor(d,p,d2));
    }
    return CSet;
}
public diagonalSet triangulate(Polygon
P,Graphics g)
{
    diagonalSet d = new diagonalSet();
    int i,i1,i2;
    int n = P.size;
    if (n>=3)
        for (i=0;i<n;i++)
        {
            i1 = (i+1) % n;
            i2 = (i+2) % n;
            if (isDiagonal(i,i2,P,g))
            {
                d.addDiagonal(P.getPnt(i),P.getPnt(
i2),P.getPnt(i1));
                clipEar(i1,P);
                return d.merge(triangulate(P,g));
            }
        }
    return d;
}
boolean Xor(boolean a,boolean b)
{

```

```

if ((a && b) || (!a && !b)) return false;
return true;
}
}

```

8. triangulize2.java

```

import ColorSet;
import diagonalSet;
import edge;
import java.awt.*;
import Point;
import Polygon;
import triangulate;
public class triangulize2 extends
java.applet.Applet {
private      polyCanvas pC;
  Button reset;
  Button undo;
  Checkbox colors;
  Checkbox triangulation;
  Checkbox guards;

  /**
   *
   * @return boolean
   * @param evt java.awt.Event
   * @param obj java.lang.Object
   */
  public boolean action(Event evt, Object
obj) {
    if (evt.target.equals(reset))
      {
        pC.reset();
        return true;
      }
    else if (evt.target.equals(undo))
      {
        pC.undo();
        return true;
      }
    else if
(evt.target.equals(triangulation))
      {
        pC.seeTriangulation();
        return true;
      }

    else if (evt.target.equals(colors))
      {
        pC.seeColors();
        return true;
      }
    else if (evt.target.equals(guards))
      {
        pC.seeGuards();
        return true;
      }

    return false;
  }
  public void init()
  {
    showStatus("El Problema de la Galeria de
Arte");
    setLayout(new BorderLayout());
    pC = new polyCanvas();
    pC.resize(450,450);
    pC.setBackground(Color.gray);
    add("Center",pC);
    Panel p = new Panel();
    p.setLayout(new FlowLayout());
    reset = new Button("Reset");
    undo = new Button("Undo");

```

```

p.add(undo);
p.add(reset);
Label showme = new Label("Show");
colors = new Checkbox("Colors");
triangulation = new
Checkbox("Triangulation");
guards = new Checkbox("Guards");
p.add(showme);
p.add(triangulation);
p.add(colors);
p.add(guards);
colors.setState(true);
guards.setState(true);
triangulation.setState(true);
add("South",p);
}
}

```

Proyecto elaborado por Francisco Jiménez García
 Teléfono
 Fax
 e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

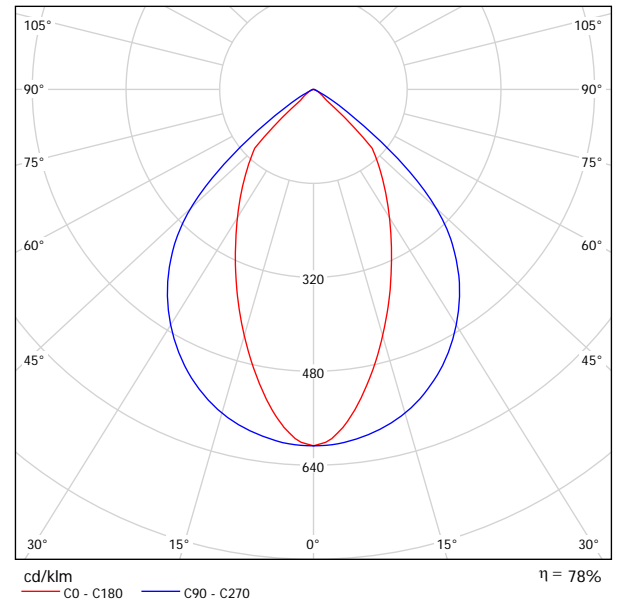
BEGA 7447 1 HST-DE 70W / Hoja de datos de luminarias



Clasificación luminarias según CIE: 100
 Código CIE Flux: 75 99 100 100 78

BEGA-7447 Permanent Floodlight with mounting box ϕ 110 mm and broad spread light distribution. For 1 discharge lamp HI/HST-DE 70 W, 6.900/6.800 lumen. Protection class IP 65. Aluminium alloy and stainless steel. Safety glass. Reflector of anodized pure aluminium. Mounting box with 2 cable entries and connecting terminal 2,5 sqmm. Colour: graphite - article number white - article number + W silver - article number + A

Emisión de luz 1:



Emisión de luz 1:

Valoración de deslumbramiento según UGR											
p Techo	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	
p Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	
p Suelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Tamaño del local X Y	Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara					
2H	2H	21.9	22.9	22.2	23.1	23.3	26.4	27.4	26.7	27.6	27.8
	3H	21.8	22.7	22.1	22.9	23.2	26.3	27.1	26.6	27.4	27.6
	4H	21.8	22.6	22.1	22.8	23.1	26.2	27.0	26.5	27.3	27.5
	6H	21.7	22.4	22.1	22.7	23.0	26.1	26.9	26.5	27.1	27.4
	8H	21.7	22.4	22.0	22.7	23.0	26.1	26.8	26.5	27.1	27.4
4H	12H	21.6	22.3	22.0	22.6	22.9	26.1	26.7	26.4	27.0	27.3
	2H	22.1	22.9	22.4	23.1	23.4	26.3	27.0	26.6	27.3	27.6
	3H	22.0	22.7	22.4	23.0	23.3	26.1	26.8	26.5	27.1	27.4
	4H	22.0	22.5	22.4	22.9	23.2	26.1	26.6	26.4	27.0	27.3
	6H	21.9	22.4	22.3	22.7	23.1	26.0	26.5	26.4	26.8	27.2
8H	8H	21.9	22.3	22.3	22.7	23.1	25.9	26.4	26.4	26.8	27.2
	6H	21.8	22.1	22.2	22.6	23.0	25.9	26.2	26.3	26.6	27.1
	8H	21.7	22.0	22.2	22.5	23.0	25.8	26.1	26.3	26.6	27.0
	12H	21.7	22.0	22.2	22.4	22.9	25.8	26.0	26.3	26.5	27.0
	12H	4H	21.8	22.2	22.3	22.6	23.0	25.9	26.3	26.3	26.7
6H		21.7	22.0	22.2	22.5	23.0	25.8	26.1	26.3	26.6	27.0
8H		21.7	22.0	22.2	22.4	22.9	25.8	26.0	26.3	26.5	27.0
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S = 1.0H		+2.2 / -7.9					+1.3 / -2.2				
S = 1.5H	+3.6 / -10.0					+3.5 / -9.9					
S = 2.0H	+4.9 / -11.1					+5.5 / -16.4					
Tabla estándar	BK00					BK00					
Sumando de corrección	2.7					7.0					
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 6900lm Flujo luminoso total											

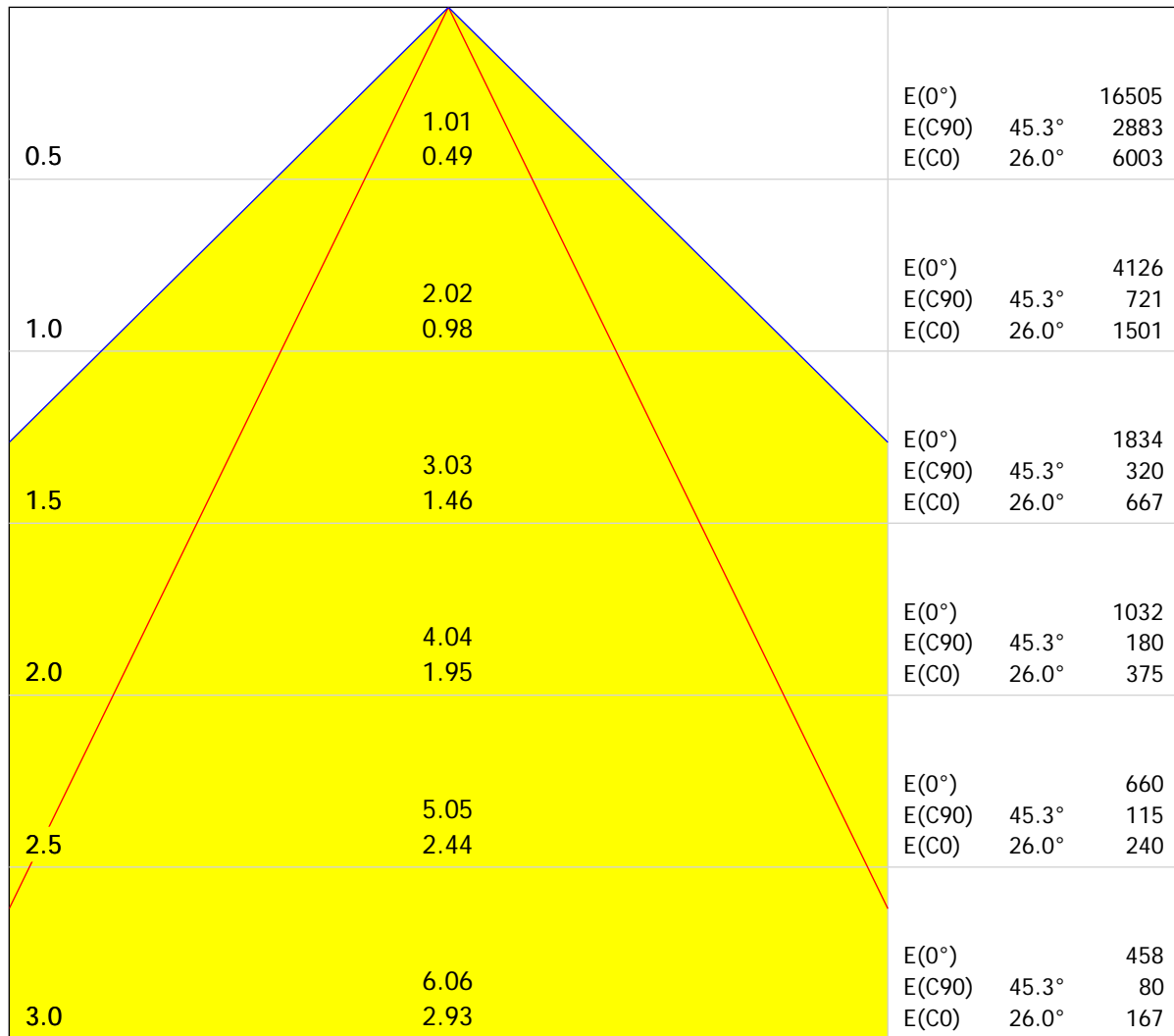
Existencias:

- 2 x

Proyecto elaborado por Francisco Jiménez García
 Teléfono
 Fax
 e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

BEGA 7447 1 HST-DE 70W / Diagrama conico

Luminaria: BEGA 7447 1 HST-DE 70W
 Lámparas: 1 x HST-DE 70W



Separación [m] Díámetro cónico [m] Intensidad lumínica [lx]

— C0 - C180 (Semiángulo de dispersión: 52.0°)
 — C90 - C270 (Semiángulo de dispersión: 90.6°)

Proyecto elaborado por Francisco Jiménez García
 Teléfono
 Fax
 e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

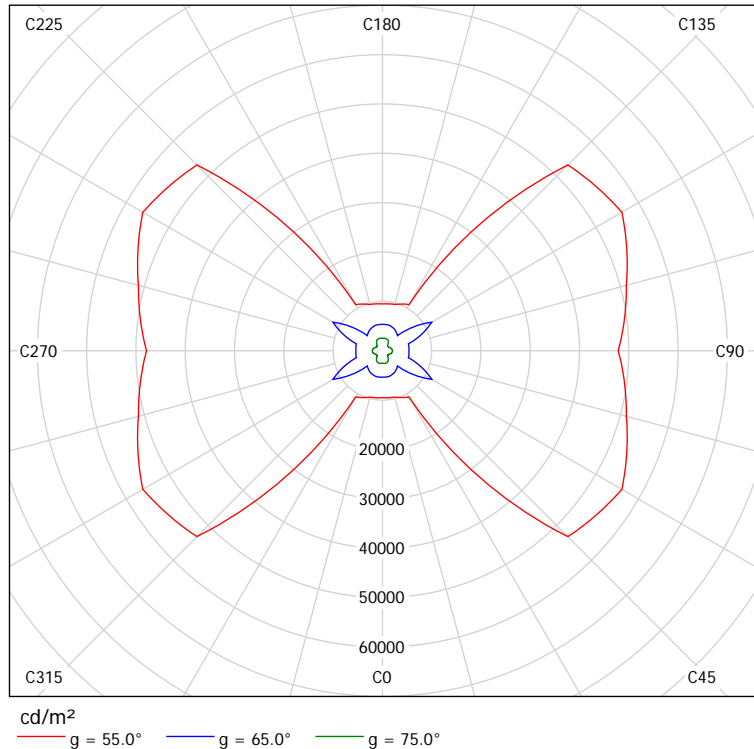
BEGA 7447 1 HST-DE 70W / Hoja de datos Deslumbramiento

Luminaria: BEGA 7447 1 HST-DE 70W

Lámparas: 1 x HST-DE 70W

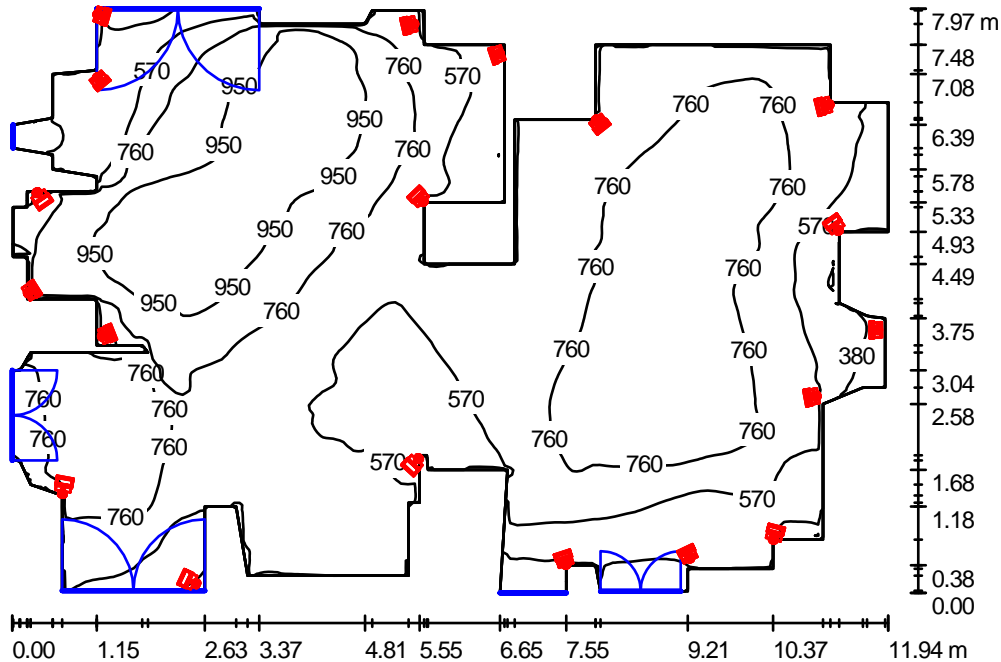
Valoración de deslumbramiento según UGR											
ρ Techo	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	
ρ Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	
ρ Suelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Tamaño del local X Y		Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara				
2H	2H	21.9	22.9	22.2	23.1	23.3	26.4	27.4	26.7	27.6	27.8
	3H	21.8	22.7	22.1	22.9	23.2	26.3	27.1	26.6	27.4	27.6
	4H	21.8	22.6	22.1	22.8	23.1	26.2	27.0	26.5	27.3	27.5
	6H	21.7	22.4	22.1	22.7	23.0	26.1	26.9	26.5	27.1	27.4
	8H	21.7	22.4	22.0	22.7	23.0	26.1	26.8	26.5	27.1	27.4
	12H	21.6	22.3	22.0	22.6	22.9	26.1	26.7	26.4	27.0	27.3
4H	2H	22.1	22.9	22.4	23.1	23.4	26.3	27.0	26.6	27.3	27.6
	3H	22.0	22.7	22.4	23.0	23.3	26.1	26.8	26.5	27.1	27.4
	4H	22.0	22.5	22.4	22.9	23.2	26.1	26.6	26.4	27.0	27.3
	6H	21.9	22.4	22.3	22.7	23.1	26.0	26.5	26.4	26.8	27.2
	8H	21.9	22.3	22.3	22.7	23.1	25.9	26.4	26.4	26.8	27.2
	12H	21.8	22.2	22.3	22.6	23.0	25.9	26.3	26.3	26.7	27.1
8H	4H	21.9	22.3	22.3	22.7	23.1	25.9	26.4	26.4	26.8	27.2
	6H	21.8	22.1	22.2	22.6	23.0	25.9	26.2	26.3	26.6	27.1
	8H	21.7	22.0	22.2	22.5	23.0	25.8	26.1	26.3	26.6	27.0
	12H	21.7	22.0	22.2	22.4	22.9	25.8	26.0	26.3	26.5	27.0
12H	4H	21.8	22.2	22.3	22.6	23.0	25.9	26.3	26.3	26.7	27.1
	6H	21.7	22.0	22.2	22.5	23.0	25.8	26.1	26.3	26.6	27.0
	8H	21.7	22.0	22.2	22.4	22.9	25.8	26.0	26.3	26.5	27.0
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S = 1.0H	+2.2 / -7.9					+1.3 / -2.2					
S = 1.5H	+3.6 / -10.0					+3.5 / -9.9					
S = 2.0H	+4.9 / -11.1					+5.5 / -16.4					
Tabla estándar	BK00					BK00					
Sumando de corrección	2.7					7.0					
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 6800lm Flujo luminoso total											

Los valores UGR se calculan según CIE Publ. 117. Spacing-to-Height-Ratio = 0.25.



Proyecto elaborado por Francisco Jiménez García
 Teléfono
 Fax
 e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

Sala 1 / Resumen



Altura del local: 3.500 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:103

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	706	185	1111	0.262
Suelo	68	613	287	906	0.468
Techo	18	520	250	1593	0.481
Paredes (75)	78	594	158	29189	/

Plano útil:

Altura: 0.850 m
 Trama: 128 x 128 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

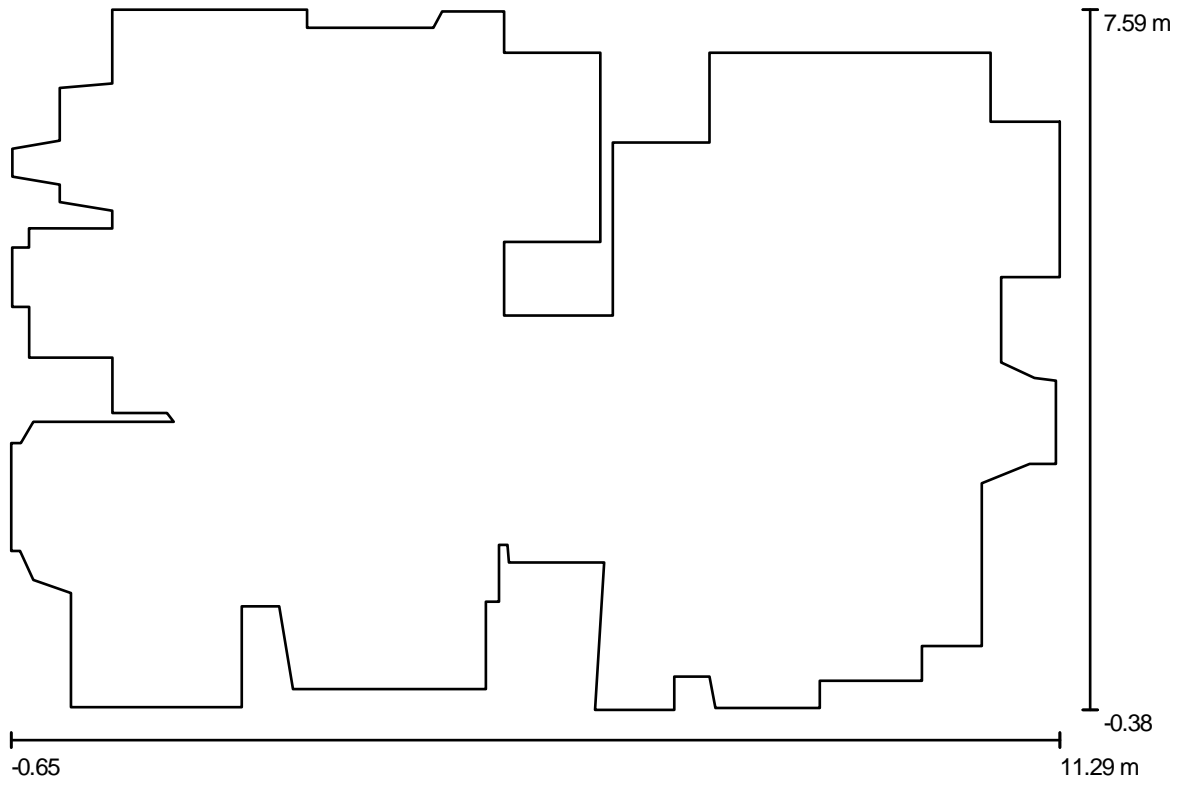
Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	19	BEGA 7447 1 HST-DE 70W (1.000)	6800	83.0
Total:			129200	1577.0

Valor de eficiencia energética: $20.46 \text{ W/m}^2 = 2.90 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 77.06 m^2)

Proyecto Francisco Jiménez García
elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

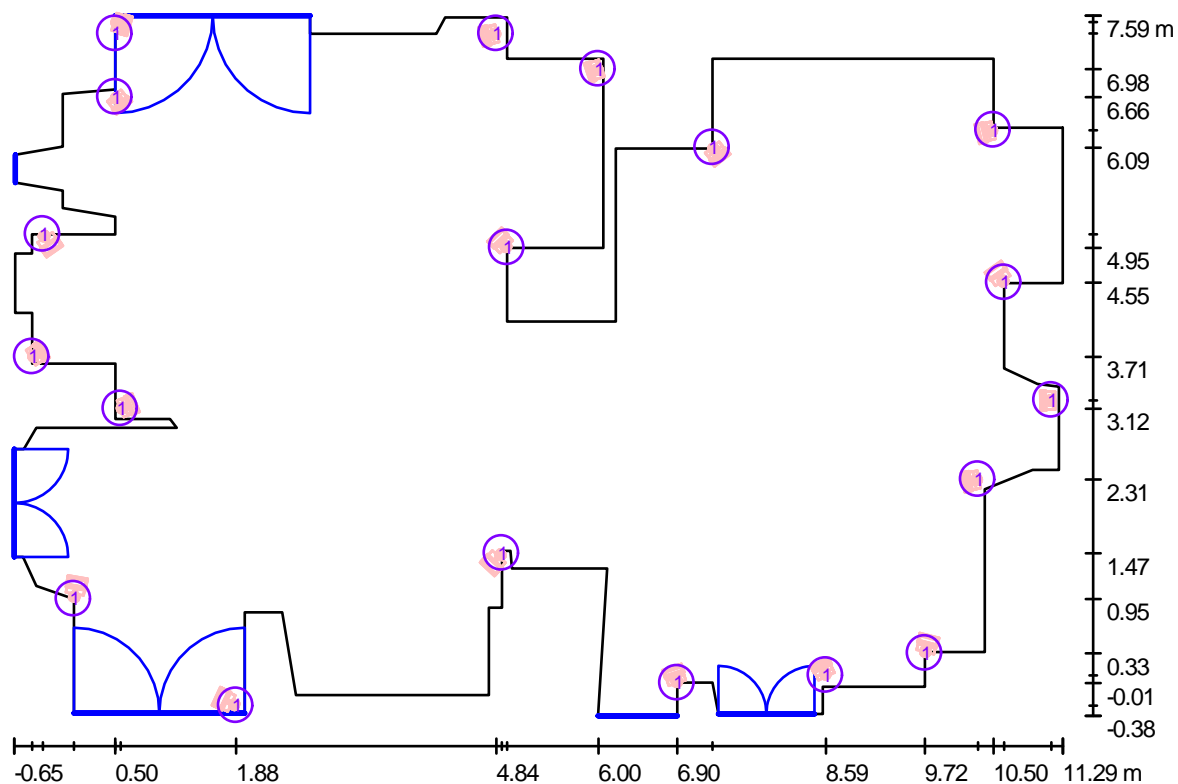
Sala 1 / Planta



Escala 1 : 86

Proyecto Francisco Jiménez García
 elaborado por
 Teléfono
 Fax
 e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

Sala 1 / Luminarias (ubicación)



Escala 1 : 86

Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación
1	19	BEGA 7447 1 HST-DE 70W

Proyecto elaborado por Francisco Jiménez García
 Teléfono
 Fax
 e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

Sala 1 / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 129200 lm
 Potencia total: 1577.0 W
 Factor mantenimiento: 0.80
 Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m ²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	421	285	706	/	/
Suelo	315	298	613	68	133
Techo	84	436	520	18	30
Pared 1	282	315	597	78	148
Pared 2	45	393	438	78	109
Pared 3	310	333	643	78	160
Pared 4	290	368	658	78	163
Pared 5	208	365	573	78	142
Pared 6	318	349	667	78	166
Pared 7	248	318	566	78	141
Pared 8	351	357	708	78	176
Pared 9	106	425	531	78	132
Pared 10	197	395	592	78	147
Pared 11	354	380	734	78	182
Pared 12	161	515	677	78	168
Pared 13	462	443	904	78	225
Pared 14	1311	501	1811	78	450
Pared 15	327	368	695	78	173
Pared 16	391	289	679	78	169
Pared 17	379	378	757	78	188
Pared 18	149	257	406	78	101
Pared 19	257	336	593	78	147
Pared 20	43	348	391	78	97
Pared 21	218	321	540	78	134
Pared 22	32	276	308	78	76
Pared 23	161	277	437	78	109
Pared 24	63	252	316	78	78
Pared 25	208	334	542	78	135

Proyecto elaborado por Francisco Jiménez García
Teléfono
Fax
e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

Sala 1 / Resultados luminotécnicos

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m ²]
	directo	indirecto	total		
Pared 26	226	313	539	78	134
Pared 27	272	350	621	78	154
Pared 28	329	511	840	78	209
Pared 29	90	459	548	78	136
Pared 30	43	529	572	78	142
Pared 31	209	474	683	78	170
Pared 32	370	537	907	78	225
Pared 33	227	524	751	78	186
Pared 34	552	465	1017	78	252
Pared 35	145	409	555	78	138
Pared 36	459	403	861	78	214
Pared 37	233	350	584	78	145
Pared 38	292	305	598	78	148
Pared 39	284	334	618	78	153
Pared 40	287	264	551	78	137
Pared 41	263	336	598	78	149
Pared 42	4.81	318	323	78	80
Pared 43	239	344	582	78	145
Pared 44	109	364	473	78	117
Pared 45	309	274	582	78	145
Pared 46	285	333	618	78	153
Pared 47	54	314	368	78	91
Pared 48	149	343	493	78	122
Pared 49	181	353	534	78	133
Pared 50	259	344	604	78	150
Pared 51	57	379	436	78	108
Pared 52	887	439	1326	78	329
Pared 53	258	396	655	78	163
Pared 54	151	319	470	78	117
Pared 55	172	332	503	78	125
Pared 56	146	331	476	78	118
Pared 57	473	288	761	78	189

Proyecto elaborado por Francisco Jiménez García
 Teléfono
 Fax
 e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

Sala 1 / Resultados luminotécnicos

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m ²]
	directo	indirecto	total		
Pared 58	76	339	415	78	103
Pared 59	0.16	340	340	78	84
Pared 60	175	368	543	78	135
Pared 61	168	268	436	78	108
Pared 62	144	295	439	78	109
Pared 63	40	300	340	78	84
Pared 64	150	329	479	78	119
Pared 65	63	335	398	78	99
Pared 66	80	380	460	78	114
Pared 67	349	326	675	78	168
Pared 68	128	337	465	78	115
Pared 69	60	330	391	78	97
Pared 70	79	307	386	78	96
Pared 71	18	280	298	78	74
Pared 72	367	307	674	78	167
Pared 73	193	345	539	78	134
Pared 74	43	370	413	78	102
Pared 75	107	352	460	78	114

Simetrías en el plano útil

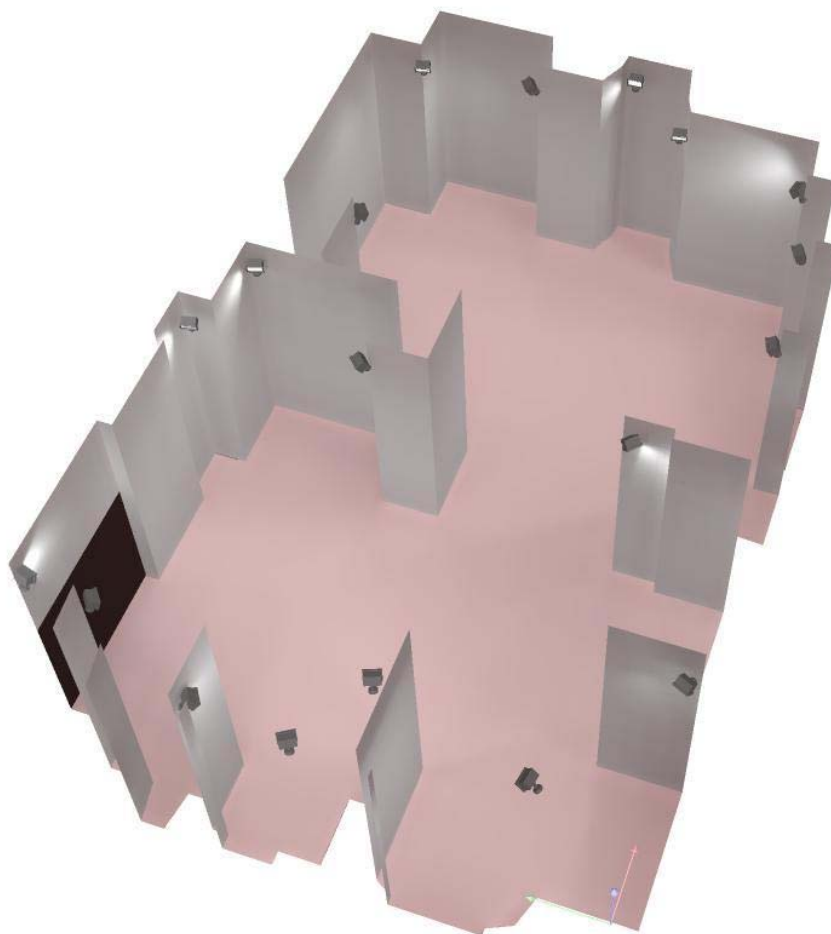
E_{\min} / E_m : 0.262 (1:4)

E_{\min} / E_{\max} : 0.166 (1:6)

Valor de eficiencia energética: 20.46 W/m² = 2.90 W/m²/100 lx (Base: 77.06 m²)

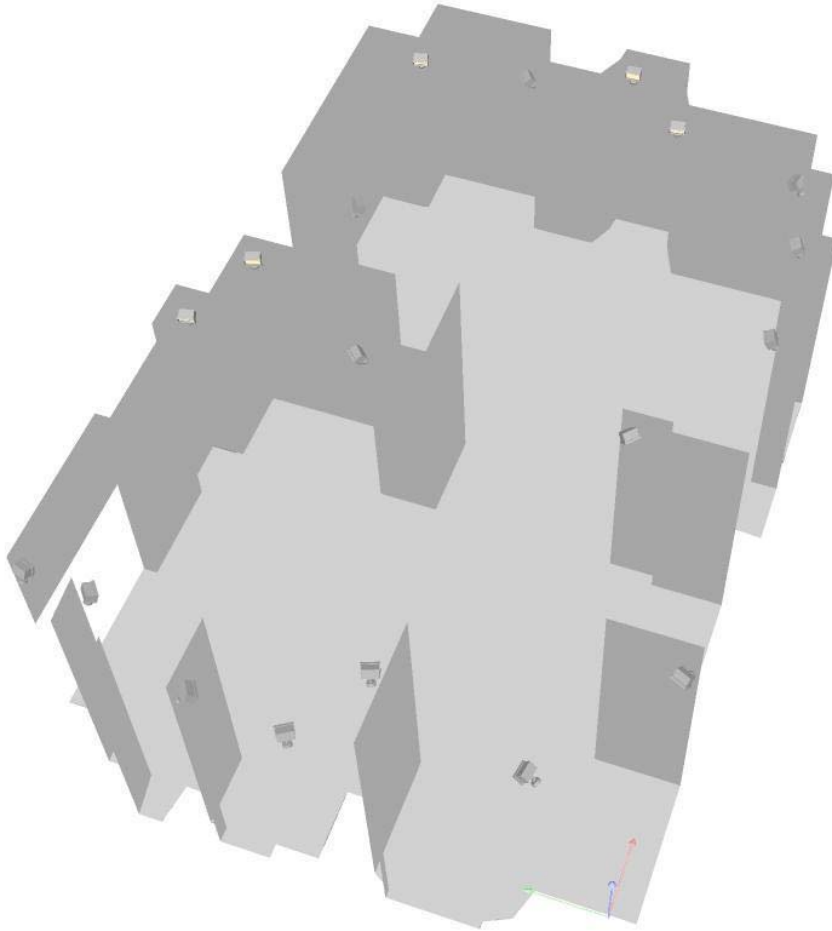
Proyecto Francisco Jiménez García
elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

Sala 1 / Rendering (procesado) en 3D



Proyecto elaborado por Francisco Jiménez García
Teléfono
Fax
e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

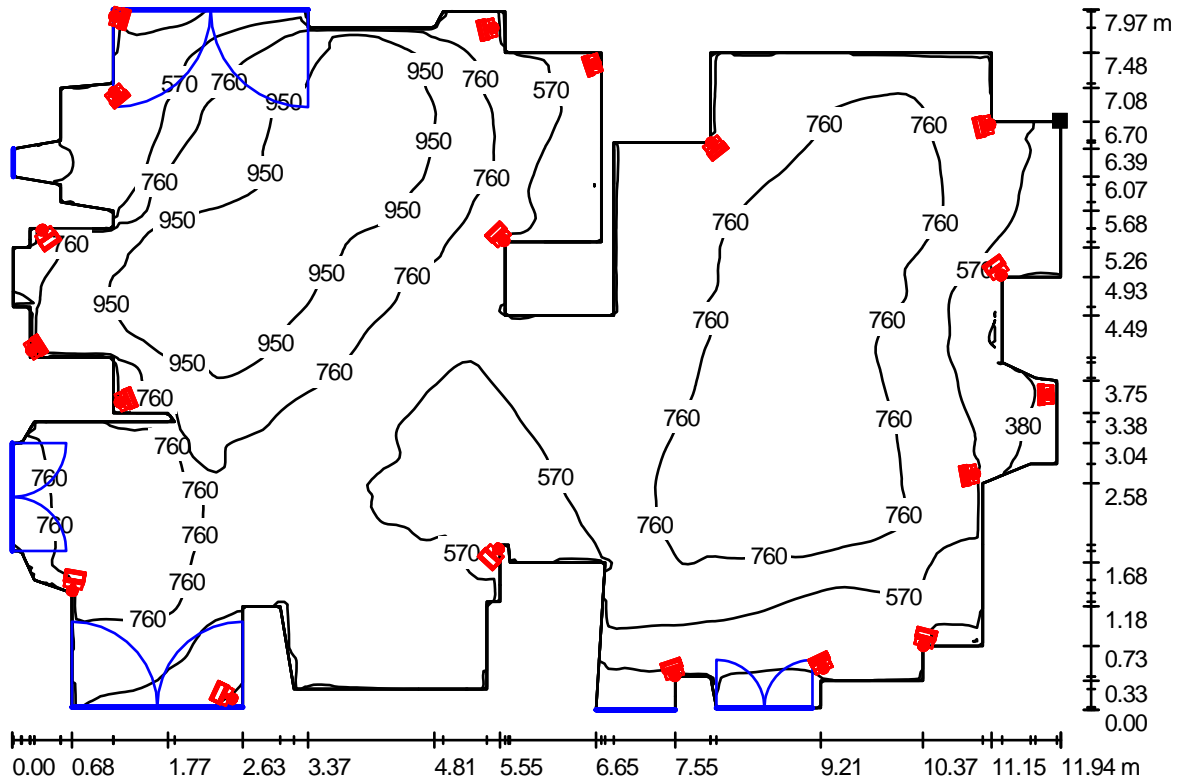
Sala 1 / Rendering (procesado) de colores falsos



0 10 20 30 40 50 60 70 80 ix

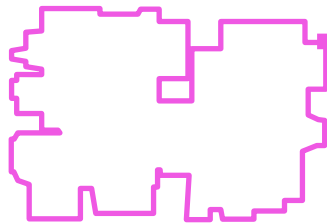
Proyecto elaborado por Francisco Jiménez García
 Teléfono
 Fax
 e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

Sala 1 / Plano útil / Isolíneas (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 86

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado:
 (11.289 m, 6.316 m, 0.850 m)



Trama: 128 x 128 Puntos

E_m [lx]
706

E_{min} [lx]
185

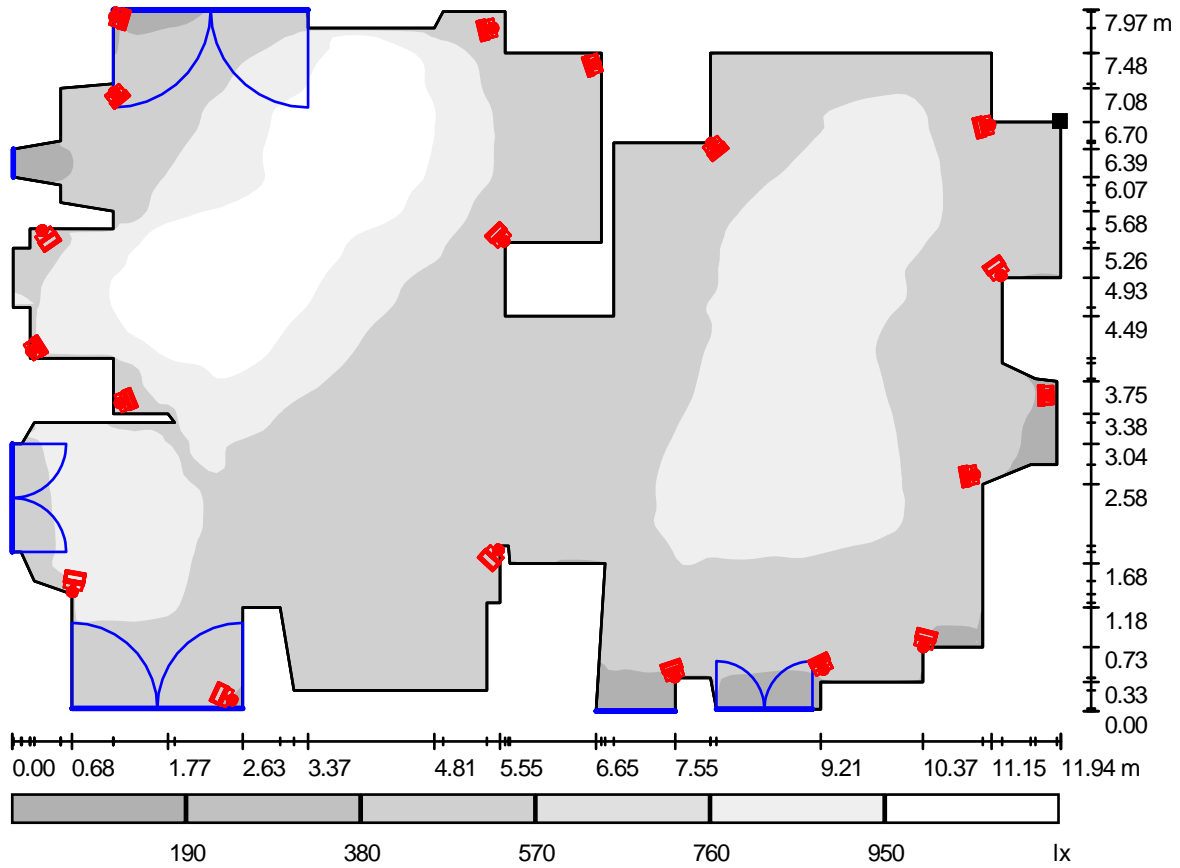
E_{max} [lx]
1111

E_{min} / E_m
0.262

E_{min} / E_{max}
0.166

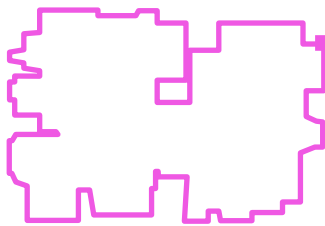
Proyecto elaborado por Francisco Jiménez García
 Teléfono
 Fax
 e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

Sala 1 / Plano útil / Gama de grises (E)



Escala 1 : 86

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado:
 (11.289 m, 6.316 m, 0.850 m)



Trama: 128 x 128 Puntos

E_m [lx]
706

E_{min} [lx]
185

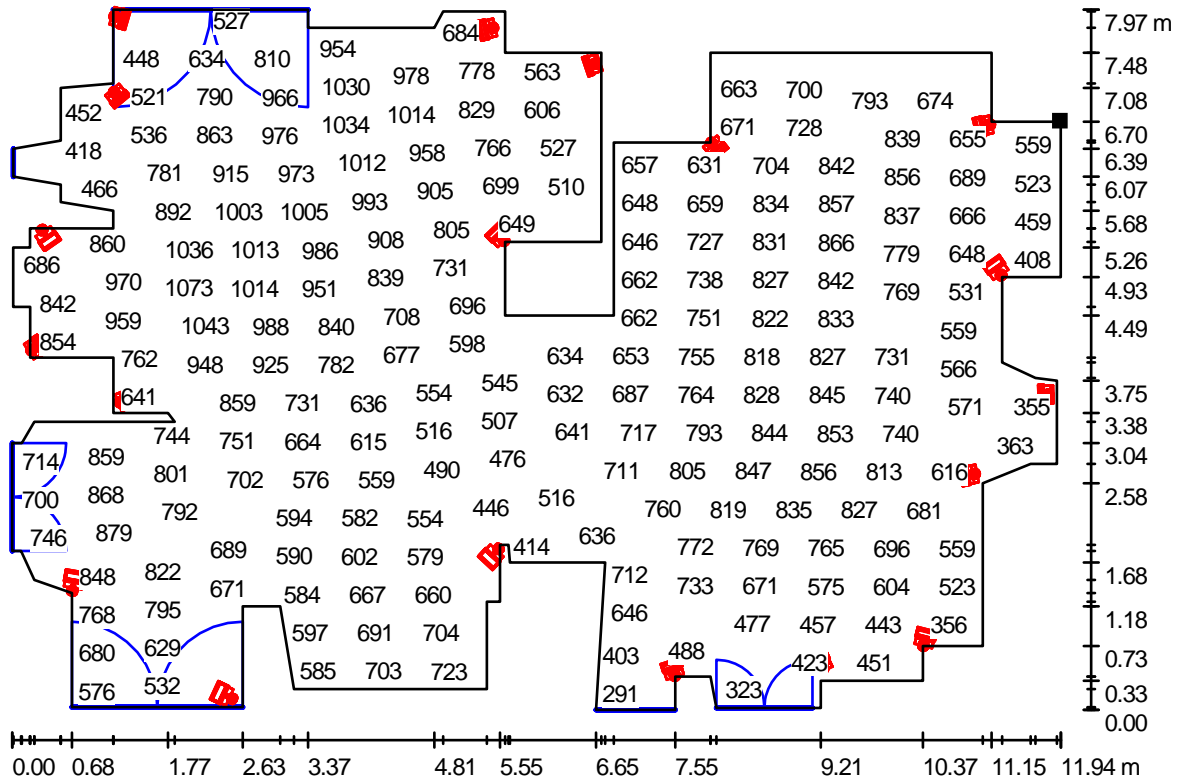
E_{max} [lx]
1111

E_{min} / E_m
0.262

E_{min} / E_{max}
0.166

Proyecto elaborado por Francisco Jiménez García
 Teléfono
 Fax
 e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

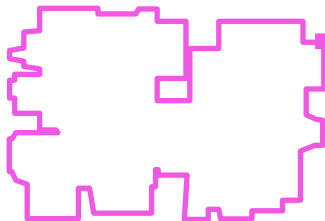
Sala 1 / Plano útil / Gráfico de valores (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 86

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado:
 (11.289 m, 6.316 m, 0.850 m)

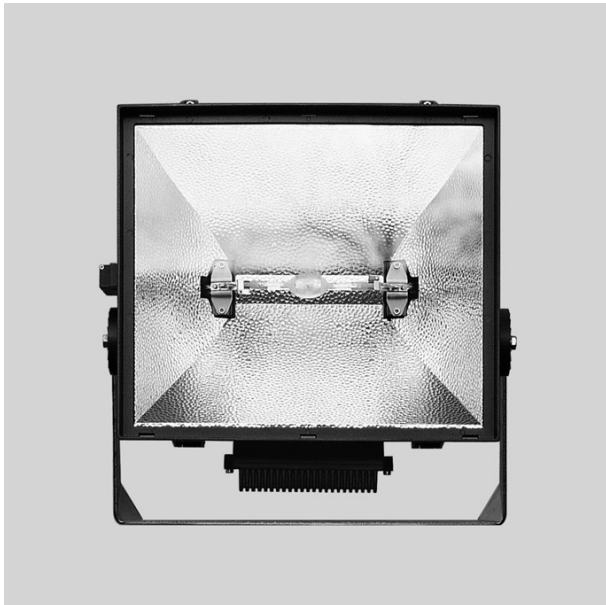


Trama: 128 x 128 Puntos

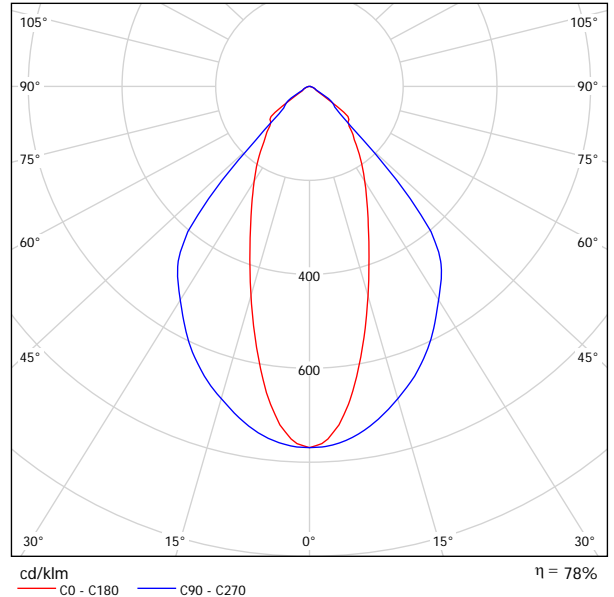
E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
706	185	1111	0.262	0.166

Proyecto elaborado por Francisco Jiménez García
 Teléfono
 Fax
 e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

BEGA 8589 1 HIT-DE 1000W / Hoja de datos de luminarias



Emisión de luz 1:



Clasificación luminarias según CIE: 100
 Código CIE Flux: 79 98 100 100 78

BEGA-8589 Floodlight with broad spread light distribution with built-in ignitor. For 1 discharge lamp HIT-DE 1.000 W, 230 V, 90.000 lumen. Protection class IP 65. Aluminium alloy, aluminium and stainless steel. Clear safety glass. Reflector made of anodized pure aluminium. Mounting bracket with 1 central hole \varnothing 22 mm and 2 holes \varnothing 9 mm · 80 mm spacing and 2 holes \varnothing 11,5 mm · 200 mm spacing. 1 cable gland for mains supply cable H07RN-F 3G 5 sqmm. Connecting terminal 2,5 sqmm. Colour: graphite.

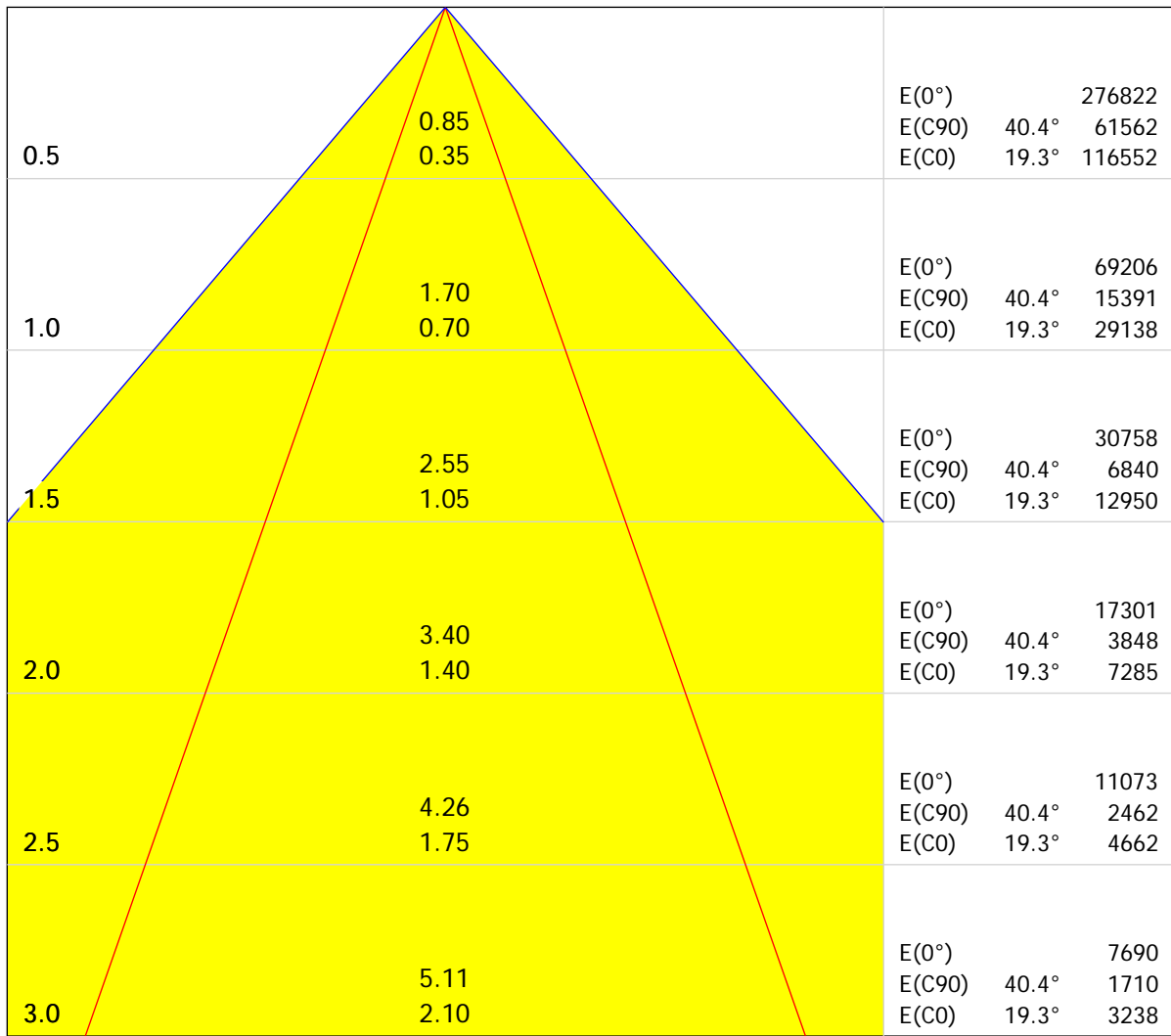
Emisión de luz 1:

Valoración de deslumbramiento según UGR										
p Techo	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30
p Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30
p Suelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tamaño del local X Y	Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara				
2H	2H	24.6	25.5	24.8	25.7	25.9	26.3	27.2	26.6	27.4
	3H	24.5	25.3	24.8	25.6	25.8	26.3	27.1	26.6	27.3
	4H	24.5	25.3	24.8	25.5	25.8	26.3	27.0	26.6	27.3
	6H	24.4	25.1	24.8	25.4	25.7	26.2	26.9	26.5	27.2
4H	2H	24.7	25.5	25.1	25.7	26.0	26.4	27.1	26.7	27.4
	3H	24.7	25.3	25.1	25.6	26.0	26.3	26.9	26.7	27.3
	4H	24.7	25.2	25.1	25.6	25.9	26.3	26.8	26.7	27.2
	6H	24.6	25.1	25.0	25.5	25.8	26.3	26.7	26.7	27.1
8H	2H	24.6	25.0	25.0	25.4	25.8	26.2	26.6	26.6	27.0
	3H	24.6	24.9	25.0	25.3	25.7	26.2	26.5	26.6	26.9
	4H	24.6	25.0	25.0	25.4	25.8	26.2	26.6	26.6	27.0
	6H	24.5	24.8	25.0	25.3	25.7	26.1	26.5	26.6	26.9
12H	2H	24.4	24.7	24.9	25.1	25.6	26.0	26.3	26.5	26.8
	3H	24.5	24.9	25.0	25.3	25.7	26.2	26.5	26.6	26.9
	4H	24.5	24.8	24.9	25.2	25.7	26.1	26.4	26.6	26.8
	6H	24.4	24.7	24.9	25.1	25.6	26.0	26.3	26.5	26.8
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias										
S = 1.0H	+0.9 / -0.8					+2.4 / -2.4				
S = 1.5H	+2.2 / -8.0					+4.8 / -8.9				
S = 2.0H	+3.3 / -8.7					+6.7 / -10.2				
Tabla estándar	BK01					BK00				
Sumando de corrección	5.9					7.1				
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 9000lm Flujo luminoso total										

Proyecto Francisco Jiménez García
 elaborado por
 Teléfono
 Fax
 e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

BEGA 8589 1 HIT-DE 1000W / Diagrama conico

Luminaria: BEGA 8589 1 HIT-DE 1000W
 Lámparas: 1 x HIT-DE 1000W



Separación [m]

Díámetro cónico [m]

Intensidad lumínica [lx]

- C0 - C180 (Semiángulo de dispersión: 38.6°)
- C90 - C270 (Semiángulo de dispersión: 80.8°)

Proyecto Francisco Jiménez García
 elaborado por
 Teléfono
 Fax
 e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

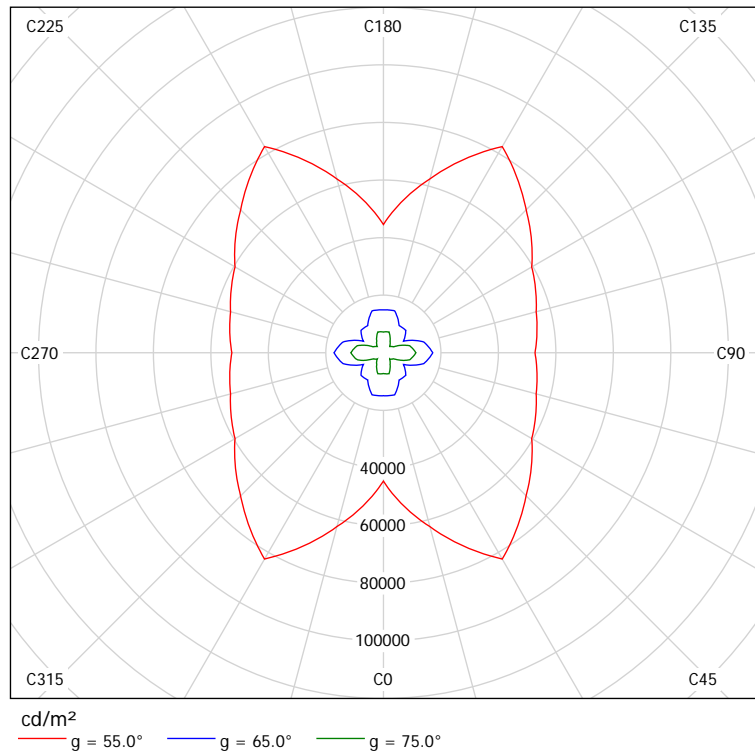
BEGA 8589 1 HIT-DE 1000W / Hoja de datos Deslumbramiento

Luminaria: BEGA 8589 1 HIT-DE 1000W

Lámparas: 1 x HIT-DE 1000W

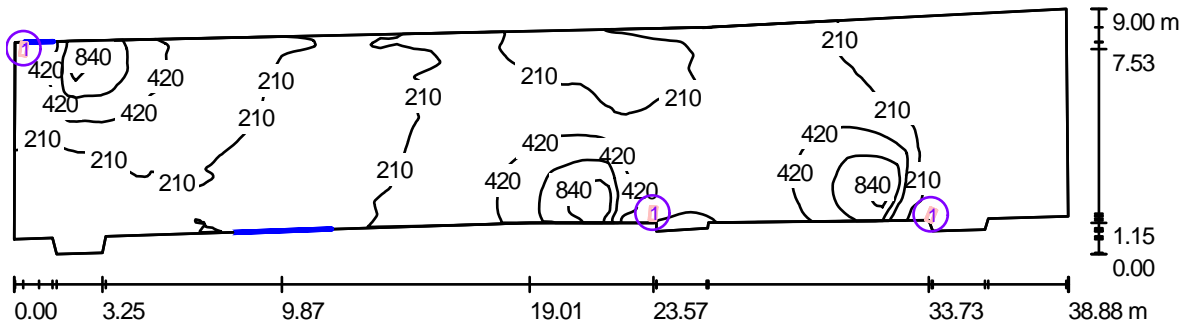
Valoración de deslumbramiento según UGR											
ρ Techo	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	
ρ Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	
ρ Suelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Tamaño del local X Y		Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara				
2H	2H	24.6	25.5	24.8	25.7	25.9	26.3	27.2	26.6	27.4	27.6
	3H	24.5	25.3	24.8	25.6	25.8	26.3	27.1	26.6	27.3	27.6
	4H	24.5	25.3	24.8	25.5	25.8	26.3	27.0	26.6	27.3	27.5
	6H	24.4	25.1	24.8	25.4	25.7	26.2	26.9	26.5	27.2	27.5
	8H	24.4	25.1	24.8	25.4	25.7	26.2	26.8	26.5	27.1	27.4
	12H	24.4	25.0	24.7	25.3	25.6	26.1	26.7	26.5	27.1	27.4
4H	2H	24.7	25.5	25.1	25.7	26.0	26.4	27.1	26.7	27.4	27.7
	3H	24.7	25.3	25.1	25.6	26.0	26.3	26.9	26.7	27.3	27.6
	4H	24.7	25.2	25.1	25.6	25.9	26.3	26.8	26.7	27.2	27.5
	6H	24.6	25.1	25.0	25.5	25.8	26.3	26.7	26.7	27.1	27.5
	8H	24.6	25.0	25.0	25.4	25.8	26.2	26.6	26.6	27.0	27.4
	12H	24.6	24.9	25.0	25.3	25.7	26.2	26.5	26.6	26.9	27.4
8H	4H	24.6	25.0	25.0	25.4	25.8	26.2	26.6	26.6	27.0	27.4
	6H	24.5	24.8	25.0	25.3	25.7	26.1	26.5	26.6	26.9	27.3
	8H	24.5	24.8	24.9	25.2	25.7	26.1	26.4	26.6	26.8	27.3
	12H	24.4	24.7	24.9	25.1	25.6	26.0	26.3	26.5	26.8	27.2
12H	4H	24.5	24.9	25.0	25.3	25.7	26.2	26.5	26.6	26.9	27.3
	6H	24.5	24.8	24.9	25.2	25.7	26.1	26.4	26.6	26.8	27.3
	8H	24.4	24.7	24.9	25.1	25.6	26.0	26.3	26.5	26.8	27.2
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias											
S = 1.0H	+0.9 / -0.8					+2.4 / -2.4					
S = 1.5H	+2.2 / -8.0					+4.8 / -8.9					
S = 2.0H	+3.3 / -8.7					+6.7 / -10.2					
Tabla estándar	BK01					BK00					
Sumando de corrección	5.9					7.1					
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 90000lm Flujo luminoso total											

Los valores UGR se calculan según CIE Publ. 117. Spacing-to-Height-Ratio = 0.25.



Proyecto Francisco Jiménez García
 elaborado por
 Teléfono
 Fax
 e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

Sala 2 / Resumen



Altura del local: 3.500 m, Altura de montaje: 3.000 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:278

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	257	29	1065	0.112
Suelo	20	237	37	639	0.158
Techo	6	337	32	29224	0.095
Paredes (21)	78	313	24	41714	/

Plano útil:

Altura: 0.850 m
 Trama: 128 x 128 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

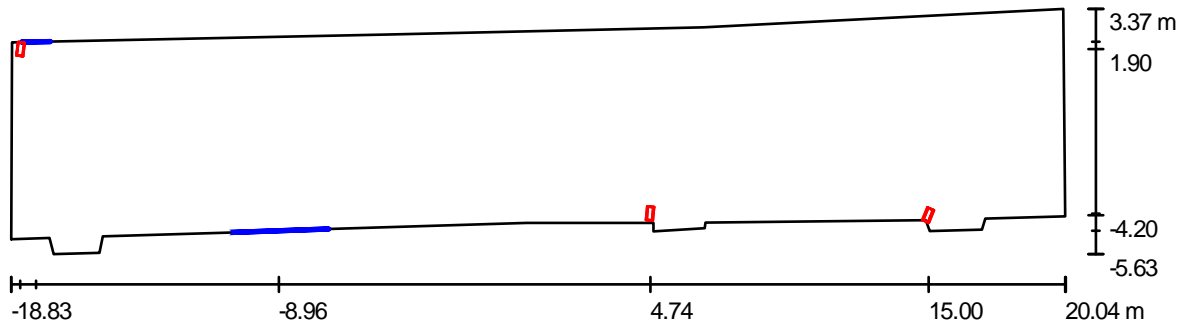
Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ [lm]	P [W]
1	3	BEGA 8589 1 HIT-DE 1000W (1.000)	90000	1065.0
Total:			270000	3195.0

Valor de eficiencia energética: $11.30 \text{ W/m}^2 = 4.40 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 282.84 m^2)

Proyecto Francisco Jiménez García
elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

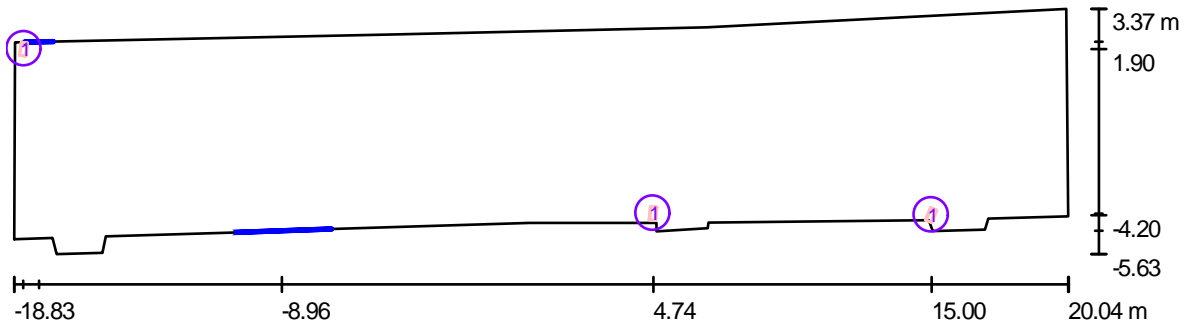
Sala 2 / Planta



Escala 1 : 278

Proyecto Francisco Jiménez García
 elaborado por
 Teléfono
 Fax
 e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

Sala 2 / Luminarias (ubicación)



Escala 1 : 278

Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación
1	3	BEGA 8589 1 HIT-DE 1000W

Proyecto elaborado por Francisco Jiménez García
 Teléfono
 Fax
 e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

Sala 2 / Resultados luminotécnicos

Flujo luminoso total: 270000 lm
 Potencia total: 3195.0 W
 Factor mantenimiento: 0.80
 Zona marginal: 0.000 m

Superficie	Intensidades lumínicas medias [lx]			Grado de reflexión [%]	Densidad lumínica media [cd/m ²]
	directo	indirecto	total		
Plano útil	161	96	257	/	/
Suelo	136	101	237	20	15
Techo	199	138	337	6	6.44
Pared 1	3.72	155	159	78	39
Pared 2	5.71	79	84	78	21
Pared 3	11	121	132	78	33
Pared 4	14	107	121	78	30
Pared 5	130	105	236	78	59
Pared 6	185	78	263	78	65
Pared 7	102	79	181	78	45
Pared 8	1079	112	1191	78	296
Pared 9	82	60	142	78	35
Pared 10	12	77	88	78	22
Pared 11	68	75	143	78	36
Pared 12	332	81	413	78	103
Pared 13	0.00	24	24	78	6.02
Pared 14	1.00	36	37	78	9.26
Pared 15	37	45	82	78	20
Pared 16	7.49	35	43	78	11
Pared 17	35	41	77	78	19
Pared 18	135	71	206	78	51
Pared 19	192	107	299	78	74
Pared 20	443	90	533	78	132
Pared 21	131	157	288	78	72

Simetrías en el plano útil

E_{\min} / E_m : 0.112 (1:9)

E_{\min} / E_{\max} : 0.027 (1:37)

Valor de eficiencia energética: $11.30 \text{ W/m}^2 = 4.40 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 282.84 m^2)

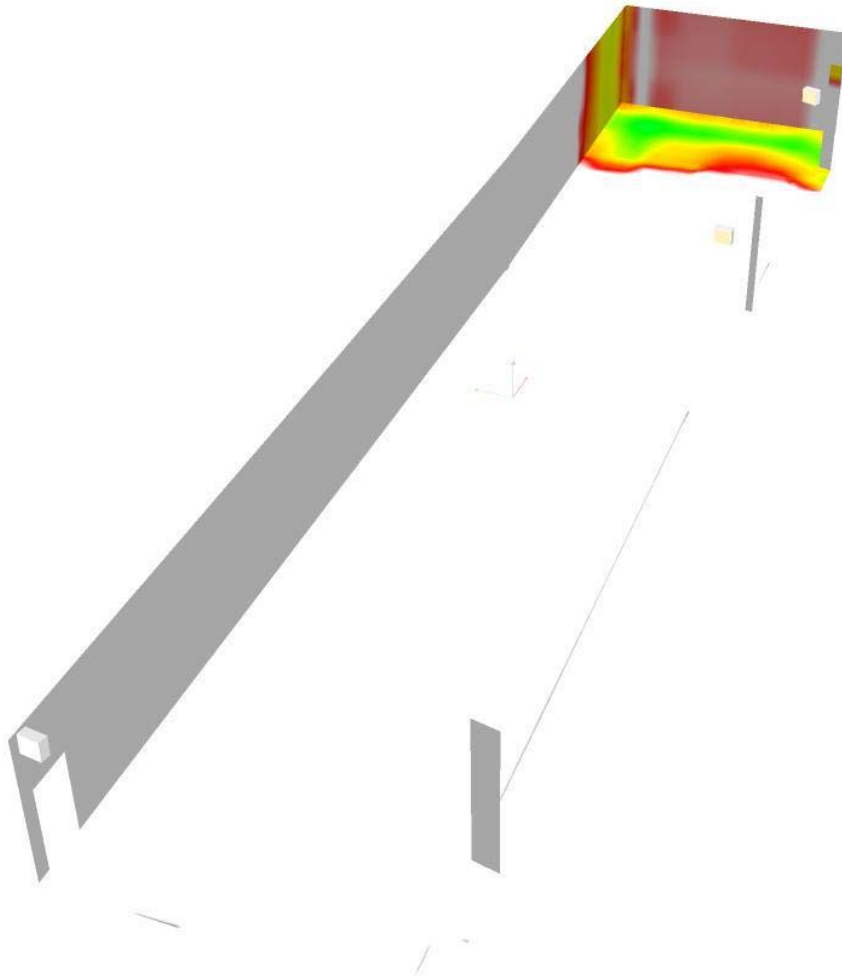
Proyecto Francisco Jiménez García
elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

Sala 2 / Rendering (procesado) en 3D



Proyecto Francisco Jiménez García
elaborado por
Teléfono
Fax
e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

Sala 2 / Rendering (procesado) de colores falsos

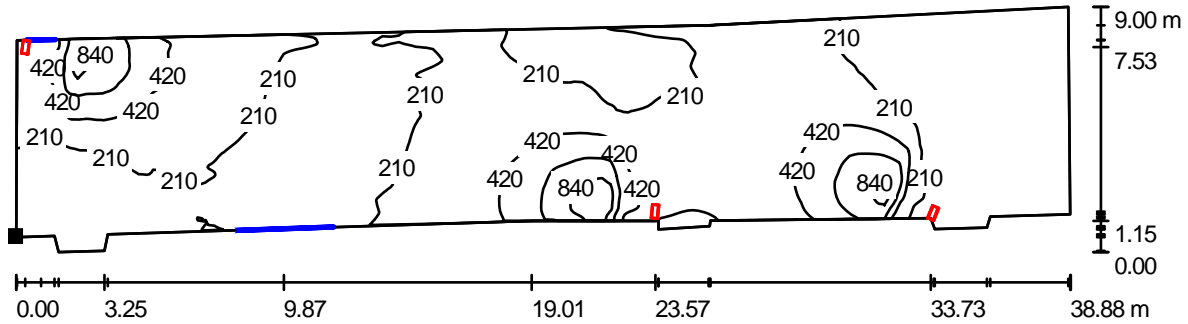


0 10 20 30 40 50 60 70 80

ix

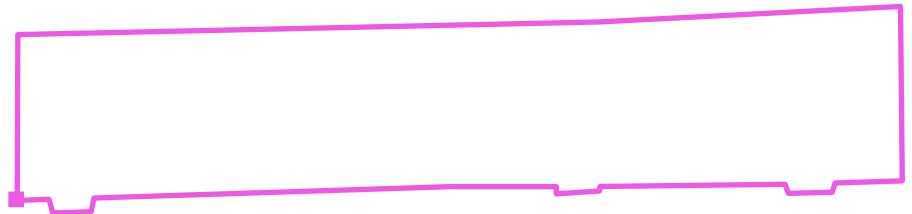
Proyecto Francisco Jiménez García
 elaborado por
 Teléfono
 Fax
 e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

Sala 2 / Plano útil / Isolíneas (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 278

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado:
 (-18.833 m, -5.080 m, 0.850 m)

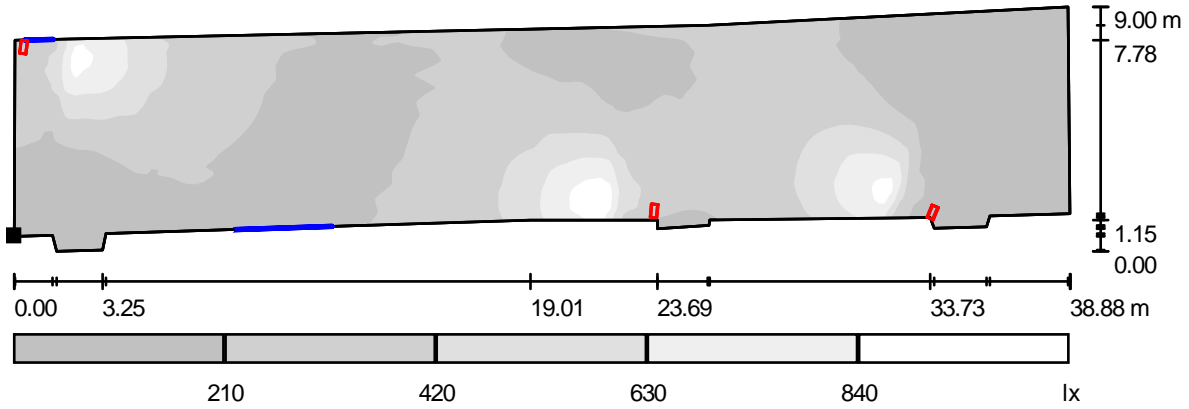


Trama: 128 x 128 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
257	29	1065	0.112	0.027

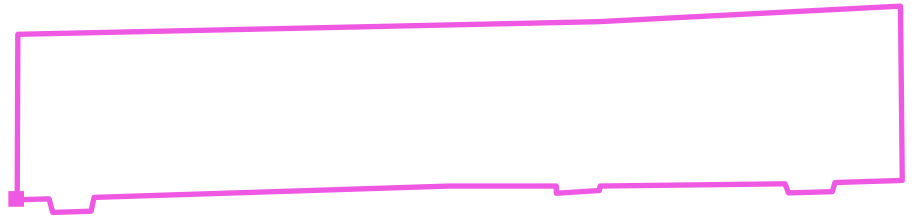
Proyecto Francisco Jiménez García
 elaborado por
 Teléfono
 Fax
 e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

Sala 2 / Plano útil / Gama de grises (E)



Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado:
 (-18.833 m, -5.080 m, 0.850 m)

Escala 1 : 278

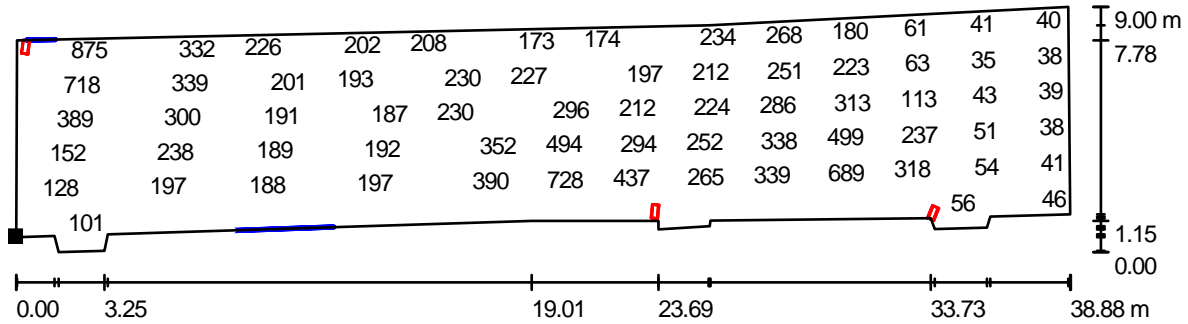


Trama: 128 x 128 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
257	29	1065	0.112	0.027

Proyecto elaborado por Francisco Jiménez García
 Teléfono
 Fax
 e-Mail francisco.jimenez.garcia@juntadeandalucia.es

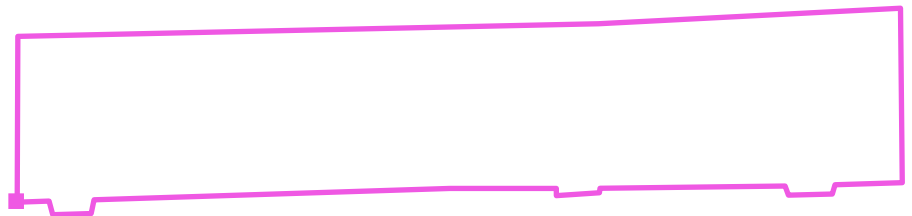
Sala 2 / Plano útil / Gráfico de valores (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 278

No pudieron representarse todos los valores calculados.

Situación de la superficie en el local:
 Punto marcado:
 (-18.833 m, -5.080 m, 0.850 m)



Trama: 128 x 128 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
257	29	1065	0.112	0.027

UNIVERSIDAD DE SEVILLA