



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Simulación de sombras e iluminación natural interior del edificio
Isaac Peral de la Escuela Naval Militar utilizando datos LIDAR*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Gonzalo Gestoso Rodríguez

DIRECTOR: Iván Puente Luna

CURSO ACADÉMICO: 2015-2016

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Simulación de sombras e iluminación natural interior del edificio
Isaac Peral de la Escuela Naval Militar utilizando datos LIDAR*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

Universida_{de}Vigo

RESUMEN

La iluminación natural ejerce una gran influencia en el consumo energético de un edificio al reducir el uso de luz artificial y de su equipamiento eléctrico, favoreciendo así una arquitectura sostenible. En este trabajo se presenta un estudio de simulaciones para analizar la autonomía de la iluminación natural y las sombras generadas en el edificio Isaac Peral de la Escuela Naval Militar, con especial hincapié en sus aulas.

El análisis de iluminación interior requiere del conocimiento de, no sólo la ubicación y orientación geográfica del edificio sino también de la localización, dimensiones y geometría de sus principales entradas de luz natural, esto es, ventanas y puertas acristaladas exteriores. Por ello, la metodología se inicia con un levantamiento “as-built” del edificio y su entorno mediante tecnología láser escáner 3D, que permite definir con gran precisión y detalle la realidad geométrica de la estructura. Se mostrará asimismo la transformación de la nube de puntos en un modelo sólido y su posterior importación en los software Ecotect y DIALux 4.12. Por último se estudiará la suficiencia de luz natural dentro del edificio en cuestión y la necesidad de realizar cambios. Los resultados esperan contribuir a la concienciación de la importancia de la iluminación natural como elemento de confort y ahorro energético.

PALABRAS CLAVE

Iluminación natural LIDAR, modelado 3D, edificio, simulación

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi tutor el profesor del Centro Universitario de la Defensa D.Iván Puente Luna cuya guía ha sido vital para la realización de este Trabajo de Fin de Grado.

Agradezco también a mi prometida por todas las veces que me ha escuchado hablar tanto del Láser Escáner, como de la importancia de la luz natural. De hecho estoy seguro que ella ya sería capaz de realizar la defensa por mí. Y también por todo el apoyo moral que me ha prestado.

También me gustaría agradecerle el apoyo que me ha sido mostrado de mi prima Mercedes González-Aller Rodríguez y a mis amigos Jesús Sánchez de Ibargüen Mesa y Enrique Martínez Merino, quienes, a pesar de la distancia, han sabido animarme siempre a intentar buscar lo mejor de mí.

Y por último a mi familia y sobre todo a mis padres. Gracias a ellos estoy donde estoy y soy lo que soy.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	5
1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	6
1.1. Introducción	6
1.1.1 La importancia de la luz natural	7
1.1.2 Luz de espectro total	7
1.2. Objetivos	8
2 ESTADO DEL ARTE	9
2.1 Ingeniería inversa: técnicas actuales	9
2.2 Sistemas láser escáner	10
2.2.1 Sistemas láser escáner terrestre.....	11
2.3 Aplicación al ámbito de estudio	11
2.4 Conceptos lumínicos	12
2.5 Software utilizado	12
2.5.1 Riscan Pro	12
2.5.2 Google SketchUp.....	12
2.5.3 Ecotect Autodesk	13
2.5.4 DIALux 4.12	14
3 DESARROLLO DEL TFG	16
3.1. Descripción del caso de estudio	16
3.2. Descripción de la metodología.....	17
3.2.1 Adquisición de datos: obtención de la nube de puntos global del edificio Isaac Peral mediante láser escáner terrestre.....	18
3.2.2 Registro y segmentación manual de la nube de puntos representativa de la escena en el software Riscan Pro.....	24
3.2.3 Filtrado, limpieza y homogeneización de la densidad de puntos en el software Riscan Pro.	27
3.2.4 Creación del modelo sólido 3D a partir de la nube de puntos modificada, en el software Sketchup.	29
3.3 Simulación	31
3.3.1 Ecotect	31
3.3.2 DIALux 4.12.....	35
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38

4.1 Nube de puntos del edificio Isaac Peral	38
4.2 Resultados del modelado en SketchUp	42
4.3 Resultados en Ecotect	46
4.4 Resultados en DIALux	48
5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	53
5.1 Conclusiones	53
5.2 Líneas Futuras	54
6 BIBLIOGRAFÍA	55
7 ANEXO I.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diferentes sistemas láser escáner terrestre. De izquierda a derecha están el TRIMBLE GX 3D, RIEGL VZ400 y FARO LS.	11
Figura 2 (A). Localización de la Escuela Naval Militar en Marín (B). Emplazamiento del edificio.	16
Figura 3 Vista del Isaac Peral desde el muelle Chereguini.....	17
Figura 4 Laser Escáner Faro Focus.....	19
Figura 5 Láser Escáner.....	19
Figura 6 Planificación de la localización del láser escáner en el entorno del edificio Isaac Peral ..	20
Figura 7 Croquis de la planta alta del edificio Isaac Peral con las localizaciones del láser escáner.	20
Figura 8 Croquis de la planta baja del edificio Isaac Peral con las localizaciones del láser escáner.	21
Figura 9 Nubes de puntos de la escalera.....	24
Figura 10 salida de emergencia superior	24
Figura 11 aulas 57.....	24
Figura 12 Aula 56	24
Figura 13 Importación de dos nubes de puntos en Riscan Pro antes del inicio del registro.....	25
Figura 14 Selección de pares de puntos comunes en ambos escaneos.	25
Figura 15 Vista ortogonal superior del contorno exterior del edificio Isaac Peral tras el registro. .	26
Figura 16 Resultado del registro de las nubes de puntos obtenidas para el modelado exterior del edificio	27
Figura 17 Resultado del registro de las nubes de puntos obtenidas para el modelado exterior del edificio	27
Figura 18 Selección de ruido para su eliminación.	28
Figura 19 Sombra generada en la nube de puntos causada por un vehículo visualizado en falso color.	28
Figura 20 Interfaz de usuario en SketchUp.....	29
Figura 21 Tabla de herramientas del SketchUp.....	29
Figura 22 Demostración herramienta Línea	30
Figura 23 Demostración de la herramienta Empujar/Tirar para aumentar volumen de un sólido...30	
Figura 24 Demostración de la herramienta Empujar/Tirar para crear espacios en sólidos	31
Figura 25 Establecer la orientación del modelo.....	32
Figura 26 Herramienta para comenzar el cálculo de la mejor posición.....	32
Figura 27 Herramienta para comenzar el proceso	33
Figura 28 Carta solar.....	33

Figura 29 Meses más cálidos y más fríos del año según los datos importados	34
Figura 30 Resultado del software el cual muestra que el edificio ya tiene la mejor posición	34
Figura 31 Herramienta para importar el archivo.....	35
Figura 32 Gama de tipos de mesas que muestra el software	35
Figura 33 Herramienta para selección de luminarias.....	36
Figura 34 Herramienta para el cálculo solo de luz natural	36
Figura 35 Fachada Norte del edificio Isaac Peral visualizada en función de la intensidad de los puntos.....	38
Figura 36 Fachada Oeste del edificio Isaac Peral visualizada en función de la intensidad de los puntos.....	39
Figura 37 Fachada Oeste del edificio Isaac Peral visualizada en función de la intensidad de los puntos.....	40
Figura 38 Fachada Oeste del edificio Isaac Peral visualizada en función de la intensidad de los puntos.....	40
Figura 39 Fachada Oeste del edificio Isaac Peral visualizada en función de la intensidad de los puntos.....	40
Figura 40 Fachada Oeste del edificio Isaac Peral visualizada en función de la intensidad de los puntos.....	41
Figura 41 Vista frontal del Edificio Isaac Peral modelado en SketchUp	43
Figura 42 Vista trasera del Edificio Isaac Peral modelado en SketchUp	43
Figura 43 Vista lateral del Edificio Isaac Peral modelado en SketchUp	43
Figura 44 Vista lateral (2) del Edificio Isaac Peral modelado en SketchUp	44
Figura 45 Vista en planta del Edificio Isaac Peral modelado en SketchUp.....	44
Figura 46 Vista en el interior de la primera planta mientras se modela el interior.....	44
Figura 47 Vista en el interior de la primera planta (II) mientras se modela el interior	45
Figura 48 Vista en planta de la segunda planta modelada en su interior	45
Figura 49 Resultados de la modelización de las cuatro aulas	46
Figura 50 Sombra generada el 1 de Enero y el 1 de Junio.....	46
Figura 51 Edificio Isaac Peral afectado por la sombra del Cuartel Francisco Moreno	47
Figura 52 Edificio Isaac Peral cuando la sombra del Cuartel ya no le afecta.....	47
Figura 53 Edificio Isaac Peral cuando la sombra del Cuartel vuelve a afectar.....	47
Figura 54 Edificio Isaac Peral afectado por la sombra generada por el Patrullero Tabarca	48
Figura 55 Modelado de las cuatro aulas en DIALux	49
Figura 57 Iluminancia media en las distintas aulas en gráficos.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Especificaciones del Laser	18
Tabla 2 Características de cada medida.....	23
Tabla 3 Resultados del registro de cada posición de escáner en la toma de datos en el interior del edificio Isaac Peral.....	41
Tabla 4 Resultados del registro de cada posición de escáner en la toma de datos en el interior del edificio Isaac Peral.....	42
Tabla 5 Iluminancia media en las distintas aulas	49
Tabla 6 Iluminancia media directa, indirecta y total en las distintas épocas del año del aula 40..	51
Tabla 7 Iluminancia media directa, indirecta y total en las distintas épocas del año del aula 42..	51
Tabla 8 Iluminancia media directa, indirecta y total en las distintas épocas del año del aula 56..	51
Tabla 9 Iluminancia media directa, indirecta y total en las distintas épocas del año del aula 57..	52

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. Introducción

A lo largo de la historia, la importancia de la luz se ha puesto de manifiesto desde los más simples hechos. La luz visible es una región del espectro electromagnético cuyas longitudes de onda van desde el rojo con 780 nm, hasta el violeta con 380 nm. Esta pequeña región del espectro es la que nos permite ser capaces de percibir los objetos que nos rodean.

En los seres vivos, ésta representa la fuente de luz por excelencia. La importancia de este hecho se pone de manifiesto en los vegetales, algas y algunos otros microorganismos quienes necesitan de la energía lumínica para transformarla y poder realizar el proceso de la fotosíntesis. En relación a los animales, incluso los más prehistóricos, presentan receptores capaces de aprovechar la luz, como puede ser en los animales nocturnos, quienes aprovechan la cantidad mínima de luz para poder ver en la oscuridad.

De la misma manera, la evolución de la civilización se ha ido desarrollando en paralelo con la evolución de la luz. Desde el dominio del fuego hasta la capacidad para producir la luz a partir de la electricidad, han permitido la expansión de la tecnología y la productividad en todas las culturas. En el ámbito de la construcción y arquitectura, que nos ocupa en este trabajo fin de grado, la luz natural es un componente fundamental en la sostenibilidad de edificios, no sólo porque puede conllevar una contribución significativa para el ahorro energético de un edificio al reducir el consumo de los sistemas HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning), sino también porque se ha demostrado que mejora la calidad del ambiente interior y tiene un impacto positivo en el confort de sus usuarios [1,2]. Una prueba de la importancia de la luz diurna en el comportamiento energético de un edificio es su incorporación en software de simulación y análisis energético, tales como TRNSYS [3] o Ecotect© [4]; y también de la gran cantidad de estudios realizados y orientados tanto hacia el diseño óptimo y eficiente de los sistemas de luz artificial [5, 6] como hacia la mejora del confort de trabajadores y estudiantes en oficinas [7,8] y escuelas [9,10]. En relación a los parámetros que influyen en estos estudios, tanto la geometría como la orientación de los cerramientos así como de las principales entradas de luz natural, esto es, ventanas y puertas acristaladas exteriores, se consideran aspectos clave en los estudios de luz natural.

Por consiguiente, será necesario disponer de un conocimiento preciso de la geometría, ubicación y orientación de las entradas de luz para mejorar los cálculos y para predecir aquellas áreas que reciben luz natural a lo largo del año, al igual que la cantidad de ésta, de tal manera que se puedan realizar análisis de los niveles de iluminación natural existentes, al igual que un diseño particularizado y el

rediseño de sistemas de iluminación energéticamente eficientes que ayuden a la reducción del consumo energético [11, 12].

1.1.1 La importancia de la luz natural

Hace no más de 100 años pasábamos gran parte de nuestra vida diaria bajo la luz natural. En la actualidad, no sólo permanecemos gran parte del día aislados de la luz natural, sino que cada vez más la luz artificial está adquiriendo un papel crítico. La luz natural aporta un espectro de luz total, lo cual es muy beneficioso por motivos que explicaremos a continuación, mientras que la luz artificial solo muestra un espectro limitado.

Casi sin darnos cuenta, la luz artificial ha adquirido gran influencia sobre nuestras vidas hasta el punto en que no somos capaces de concebir nuestro día a día sin dispositivos que funcionan con este tipo de luz, como pueden ser los televisores, los ordenadores, los móviles, las tablets, etc. Hace no mucho la luz sólo se utilizaba para iluminar. Hoy en día en la mayor parte de trabajos es necesaria la luz artificial. Toda esta evolución tiene unos inconvenientes muy perjudiciales en distintas áreas de nuestra salud.

- Estado anímico: la luz natural afecta positivamente a nuestro estado anímico, de modo que el carácter y ánimo de las personas está más apagado en días no soleados.
- Sueño: la luz solar sirve, también, para sincronizar nuestros relojes biológicos internos. El cerebro envía mensajes de si es de día o de noche, creando patrones de vigilia o sueño. Está demostrado que cuando pasamos mucho tiempo expuesto a luz artificial, la segregación de melatonina, que es la hormona segregada para controlar el sueño, se desequilibra y aparecen problemas de sueño.
- Cansancio: la sensación de bienestar y energía depende de la hormona serotonina, la cual debe ser alta durante el día y especialmente por la mañana. Al igual que la melatonina, si pasamos mucho tiempo bajo la influencia de la luz artificial, la serotonina se desequilibra y aparecen problemas de cansancio, disminuye la vitalidad y aumenta la fatiga.
- Sistema nervioso: la capacidad de concentración depende en gran parte de la alimentación lumínica. Se han realizado numerosos estudios en colegios, y sus resultados muestran que la influencia de la luz artificial tiene efectos depresivos en los niños de edad escolar. También se puede observar esto en los meses de invierno donde los alumnos rinden con niveles más bajos que en los meses de primavera o verano.
- Sistema hormonal: la luz también favorece a la regulación del ciclo menstrual mientras que la luz artificial provoca desequilibrios hormonales.

El uso de la luz natural como fuente de iluminación en nuestro día a día requiere de medidas complicadas para manejar una fuente tan cambiante. Es debido precisamente a esta naturaleza cambiante en su disponibilidad que se requiera de dispositivos de apantallamiento adaptables y sistemas de alumbrado eléctrico adicionales. Tanto por la noche como en los días cubiertos donde la luz no es suficiente, el alumbrado natural debe proporcionar la iluminación suficiente para el desarrollo de las tareas [13].

1.1.2 Luz de espectro total

Como se ha comentado anteriormente la luz natural tiene un espectro lumínico completo, que se denomina espectro total, donde coexisten todas las longitudes de onda. La luz natural es importante para el desarrollo correcto de nuestra vida diaria, y cuando no se puede pasar el suficiente tiempo bajo la influencia de esta luz hay que buscar otras soluciones, como puede ser el uso de luz que se asemeje a la luz natural.

Este tipo de luces se denominan luz de espectro total o luz de día, que presentan numerosas ventajas frente a la luz artificial como pueden ser [14]:

- Mejora de forma significativa la calidad del sueño.
- Aumenta la concentración y el rendimiento.
- Disminuye la depresión.
- Mejora el estado de ánimo y la irritabilidad.
- Reduce la fatiga y el estrés.
- Mejora el sistema inmune.
- Reduce los problemas de la vista.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivos generales

- Realizar un levantamiento "As-built" con Láser Escáner, saber como funciona y analizar el procedimiento correcto para obtener sólidos con el máximo nivel de detalle.
- Familiarizarse con el trabajo de nubes de puntos y con programas que sean capaces de trabajar con este tipo de tecnología.
- Conocer las ventajas que presenta trabajar con un Láser Escáner.
- Familiarizarse con el trabajo en software de iluminaciones y los parámetros con los que estos programas trabajan , así como conocer todas sus ventajas

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar un modelo sólido 3D del edificio Isaac Peral, a partir de la nube de puntos.
- Realizar un estudio de las sombras y como estas afectan a la iluminación natural del edificio en ciertas aulas y en determinadas épocas del año.
- Realizar un estudio de simulaciones con el software Ecotect sobre la iluminación natural y la iluminación artificial dentro de las aulas, así como comprobar su validez frente a la normativa vigente.
- Estudio de posibles soluciones en caso de que la normativa no se cumpla.
- Realizar propuestas de forma que se trabaje el máximo tiempo posible bajo la influencia de la luz natural y se permita el ahorro energético máximo.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Ingeniería inversa: técnicas actuales

También conocida como Reverse Engineering (RE), podemos definirla como:

“El análisis de un sistema para identificar sus componentes actuales y las dependencias que existen entre ellos, para extraer y crear abstracciones de dicho sistema e información de su diseño” [15].

Aunque esta definición tiene su origen en el ámbito de la programación y del software, en el contexto de la arquitectura y la ingeniería de estructuras, podría reinterpretarse como aquel conjunto de actuaciones llevadas a cabo, para ejercer un control de calidad y la inspección dimensional de una determinada construcción o vivienda que está en servicio, de modo que sin ayuda de planos o documentación auxiliar, podamos estudiarla y/o mejorarla.

La forma usual de proceder en la actualidad no responde a ningún procedimiento estándar. Según cita [16], generalmente es mediante el empleo de métodos topográficos, que a pesar de ofrecer muy buenos resultados en términos de calidad y precisión métrica de la medida, presentan importantes limitaciones tanto en su uso como en los resultados que se pueden ofrecer.

En los procesos de análisis estructural o energético en base a métodos de ingeniería inversa, la etapa de obtención de la geometría para dicha modelización geométrica de la estructura es una etapa clave, pues de ella va a depender la creación de modelos físicos y estructurales más o menos precisos. Por otra parte, aunque se utilicen técnicas de cálculo precisas, los resultados obtenidos no serán del todo ciertos si se parte de una premisa inicial que no era del todo cierta.

La proliferación en los últimos años de software de modelado geométrico con altas prestaciones, hace posible cada vez más, el diseño de infraestructuras, edificios y piezas con geometrías cada vez más complejas y sofisticadas.

Si a esto se le añade que en muchas ocasiones, las estructuras que van a ser analizadas no disponen de planos o documentación métrica actualizada, tal como sucede por ejemplo, en el caso de estructuras históricas, resulta más difícil si cabe crear un modelo de cálculo con las medidas reales.

Por tanto, por todos estos motivos explicados, es imperativo buscar otras tecnologías que permitan obtener la geometría de una estructura existente así como información relativa a su estado (presencia de grietas, corrosiones, desconches, etc.) con una suficiente precisión que solvete las debilidades de los métodos tradicionales. Por supuesto, los sistemas láser escáner dan respuesta a esto.

2.2 Sistemas láser escáner

Un láser escáner es un instrumento geomático que permite obtener geometría 3D de la superficie de los objetos de modo automático por medio del empleo de la tecnología LiDAR (Light Detection and Ranging). Se trata de una medición dimensional sin contacto y no destructiva ([17]).

Si fuese necesario definir un punto de inflexión de la evolución tecnológica que supuso el impulso de estos instrumentos, éste se dataría a pocos años del cambio de milenio, donde empezaron a utilizarse estaciones totales con medida directa de distancia, en las que, usando un láser, eran capaces de medir distancias sin necesidad de emplear prismas reflectantes. Este cambio supuso dejar de usar los teodolitos con distanciómetros o los cálculos de bisectrices para determinar puntos medidos en un alzado. Se comenzó, también a incorporar servomotores, de donde nacen finalmente los láseres escáner.

Existen diferentes clasificaciones de estos sistemas atendiendo a su principio de funcionamiento para medir distancias [18]. Para aplicaciones en el ámbito de la ingeniería civil, construcción y arquitectura, el método común es aquel basado en la medición del tiempo de vuelo del rayo láser. Este principio permite medir distancias a través del tiempo de retardo entre la emisión y la devolución del rayo láser que viaja desde el instrumento (láser escáner) hasta el objeto.

Esta distancia puede medirse directamente mediante el uso de pulsos láser cortos y repetitivos o indirectamente mediante la modulación de la potencia de la longitud de onda del rayo láser y mediante la diferencia de fase [18]. Además, para cubrir de modo eficiente todo el campo de visión del instrumento, los sistemas láser escáner, cuentan con un espejo para desviar el rayo en todas las direcciones posibles.

Todas estas características, propician que, aunque cuenten con una menor precisión que otras técnicas, como las basadas en contacto (máquinas de medición de coordenadas o brazos de medición), se presenta como más adecuada para todos aquellos casos en los que el contacto con la estructura no puede realizarse, bien por el hecho de ocasionar algún daño en la misma, o bien simplemente porque existen limitaciones físicas que así lo impiden (por ejemplo, modelar la fachada exterior de un edificio de 10 plantas). Por otra parte, la densidad de puntos que se puede obtener es mucho más elevada que con la tradicional estación total. Si a este hecho añadimos la posibilidad de obtener directamente a través de la nube de puntos, información rigurosa y precisa relativa al edificio [19], se explica el por qué de la proliferación y éxito de estas técnicas en los últimos años en distintos campos de la ingeniería, la arquitectura, la arqueología, etc [20,21]

Continuando con la comparación de la cinta métrica, es justo la sencillez de la cinta y su bajo coste lo que la convierte en un instrumento tan versátil. En este sentido, láser escáner puede que no sea la opción más idónea en cuanto a bajo coste y fácil utilización, sin embargo lo compensa con la gran precisión que ofrece y exhaustividad, además de otras facilidades de las que hablaremos posteriormente.

2.2.1 Sistemas láser escáner terrestre

Estos tipos de láser escáner, denominados también estáticos o sistemas TLS, se fundamentan en el principio de medida basado en coordenadas esféricas (distancia y dos ángulos). El sistema de referencia local se encuentra fijo durante todo el proceso de medición [19].

Como introduje anteriormente, para cubrir de manera eficiente todo el campo de visión del instrumento, el láser escáner contiene un espejo para desviar el rayo láser en diferentes direcciones. El rayo puede de este modo, ser dirigido en sentido vertical mediante la rotación alrededor del eje horizontal, y en sentido horizontal mediante la rotación alrededor del eje vertical o directamente por medio de un mecanismo.

Este espejo puede girar a una velocidad muy elevada con un ángulo entre 0 y 360°, obteniendo como resultado una densa nube de puntos. Esta nube de puntos contiene básicamente información de las coordenadas de cada punto (X, Y, Z) y otros atributos como la amplitud del rayo láser o datos RGB si se utiliza con cámara fotográfica.

La siguiente figura, muestran diferentes sistemas de escaneado láser terrestre.



Figura 1 Diferentes sistemas láser escáner terrestre. De izquierda a derecha están el TRIMBLE GX 3D, RIEGL VZ400 y FARO LS.

2.3 Aplicación al ámbito de estudio

La cantidad de posibilidades de evaluación hace que el escaneado láser 3D para la documentación integral de inmuebles sea muy interesante, incluso para los edificios más complejos. Gracias a las actuales soluciones de hardware y software, el coste de los servicios de escaneado ha bajado tanto hoy día que estos servicios ya pueden competir con las mediciones manuales, utilizando equipos tales como estaciones totales, telémetros láser, odómetros o la tradicional cinta métrica.

En primer lugar en la industria ha adquirido un papel fundamental. Algunos ejemplos de aplicación son en reformas y ampliaciones, documentación precisa de la situación real como base para la planificación, o gestión de activos, simplificación de la gestión de instalaciones, mantenimiento, formaciones, gracias a datos 3D completos.

En la ingeniería inversa de un objeto ya que requiere un modelado digital preciso. Se utiliza para copia de productos y componentes que no tengan planos de construcción.

En el ámbito de control de la calidad para realizar documentación tridimensional precisa y control de dimensiones de componentes grandes y complejos.

Dentro del ámbito de la arquitectura hay numerosos ejemplos de aplicación, como control del patrimonio cultural, supervisión de excavaciones, control de asentimiento, revisión de fachadas y mantenimiento de estructuras, inspección de componentes y supervisión del estado y avance de una obra.

Un último ámbito de aplicación en el que cada vez está adquiriendo mayor importancia es en la seguridad. El registro de crímenes y accidentes en 3D permite captar todos los detalles que puedan ser relevantes para la posterior reconstrucción de la escena del crimen. También se realizan escaneos de recintos destinados a grandes eventos con el fin de desarrollar un plan de seguridad adecuado.

2.4 Conceptos lumínicos

Para el desarrollo del trabajo es necesario definir previamente unos conceptos para facilitar la interpretación.

Intensidad lumínica: se define como la cantidad de flujo lumínico que emite una fuente por una unidad de ángulo sólido. Su unidad en el Sistema Internacional es la Candela (Cd)

Iluminancia: es la cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de área. La unidad en el Sistema Internacional es lux. $1 \text{ lux} = 1 \text{ Lumen/m}^2$.

Luminancia: se define como la densidad angular y superficial del flujo luminoso que incide, atraviesa o emerge de una superficie siguiendo una dirección determinada.

La iluminancia que debe tener como mínimo un recinto cerrado se encuentra definido en la Norma UNE EN ISO 12464. En esta Norma se hace distinción en para que se usa el aula, ya que no influirá de igual manera si el aula es de descanso o es, por ejemplo, realizar dibujos.

2.5 Software utilizado

En la realización de este trabajo se han empleado varios programas informáticos, que se introducen brevemente a continuación:

2.5.1 *Riscan Pro*

Las actividades de postproceso para la obtención de la nube de puntos final se han realizado en el software de la casa comercial Riegl. Este software permitirá realizar los procesos de registro de diferentes posiciones de escáner, la limpieza de dichas nubes y otras actividades como creación de mallas o modelos triangulados.

2.5.2 *Google SketchUp*

El modelo sólido obtenido a partir de la nube de puntos nos permite dar exactitud en las medidas. A raíz de este sólido podemos pasar a modelarlo en 3D con las medidas reales. Estas medidas se pueden obtener directamente del sólido en el software MeshLab.

Para el modelado en 3D se va a utilizar el software SketchUp.

Es un programa de diseño gráfico y modelado en 3 dimensiones. Permite conceptualizar y modelar imágenes en 3D de edificios, coches, personas y cualquier objeto o artículo que imagine el diseñador o dibujante, además el programa incluye galerías de objetos texturas e imágenes listas para descargar. Entre sus características destacan:

- Crear modelos 3 D desde 0.
- Generar informe completo de datos y de modelos para agilizar el rendimiento
- Exporta modelos de autocad o programa que trabajen en 3d o imágenes de calidad fotográfica
- Crea documentos para presentaciones de planos
- Además tiene dos complementos, layout 3 permite crear planos interactivos a partir de modelos 2d o 3 d para ser utilizados en representaciones. Style builder permite crear texturas para aumentar el realismo de los modelos 3 d y permite crear estilos personalizados de dibujos o marcas de aguas.

SketchUp fue inicialmente desarrollado por la compañía @Last Software en Colorado. Su primera versión se lanzó en el mercado en 2000 con el propósito de crear una herramienta para creación de edificios en 3D. Gracias a su facilidad de uso fue rápidamente reconocida. En su versión .5 fueron añadidas algunas nuevas características que le permitían al usuario mucha más facilidad en la creación de objetos.

En el año 2006 Google adquirió @Last Software y por tanto los derechos sobre SketchUp. Google argumentó que adquirió la compañía para mejorar los plugins de Google Earth. Actualmente va por la versión .8 teniendo dos versiones diferentes, una versión libre y otra versión PRO. Esta última permite mayor número de opciones como exportar a diferentes formatos.

Una de las principales ventajas de utilizar nubes de puntos para modelar el edificio, como se ha comentado anteriormente, es el hecho de que permite delinear con las medidas reales. A menudo los planos de los edificios se quedan obsoletos y anticuados por las distintas reformas que se le hacen a estos. La nube de puntos nos permite delinear el edificio con un error mínimo que depende de la calidad y de la resolución que tenga la nube de puntos. De esta manera el modelado en 3D podrá ser mucho más preciso que si se modelase en 3D a partir de los planos o similares [22].

2.5.3 Ecotect Autodesk

Autodesk Ecotect Analysis es un software que fue adquirido por Autodesk en el 2008 y permite el análisis de diseño sostenible, con un amplio rango de simulaciones para mejorar el rendimiento en el diseño de edificaciones construidas y por construir. Este software supone una revolución para el ahorro energético ya que posibilita analizar anticipadamente la información lumínica y térmica.

Grandes rasgos el software posibilita la analización de la trayectoria del sol y visualizar la radiación de este, asunto esencial para el aprovechamiento de la luz, analizando el comportamiento térmico, y evaluando los consumos del agua. Todas estas herramientas tienen como objetivo optimizar los procesos de levantamiento, construcción y proyección de los edificios y las construcciones generales.

Entre muchas otras, unas de las herramientas que más destacan de este software son:

- Comportamiento térmico: calcula cargas y requerimientos de enfriamiento y calentamiento. Es capaz también gracias a esto de calcular los efectos de los ocupantes.
- Análisis energético del edificio: puede calcular la energía utilizada así como las emisiones de carbono en cada modelo del edificio.

- Radiación solar: permite visualizar la incidencia solar y la radiación en ventanas y cualquier otra superficie.
- Sombras y reflejos: permite mostrar la posición solar y el recorrido a lo largo del día y durante todo el año.
- Luz natural: calcula los factores de luz y los niveles de luminosidad en cualquier punto del modelo del edificio [21].

2.5.4 DIALux 4.12

Dialux, es el programa diseñado por el Instituto Alemán de Luminotecnia Aplicada (Deutsches Institut für angewandte Lichttechnik). Es el software completo y gratuito de DIAL para crear proyectos de iluminación profesionales y está abierto a las luminarias de todos los fabricantes. Un software libre hecho por planificadores de iluminación para compañeros de profesión.

La última versión lanzada de este software es Dialux Evo 5, versión sacada el pasado mes de abril. Por problemas con la utilización de esta versión, en este proyecto se emplea la versión anterior, el Dialux Evo 4.

Este programa permite el cálculo lumínico tanto en interiores como por ejemplo habitaciones o garajes, pero también se utiliza para zonas exteriores como el alumbrado de una vía pública. A pesar de no ser un software de dibujo, posee herramientas de diseño y permite la importación de documentos DWG o DXF.

También existe la posibilidad de importar objetos en formato 3DS que se encuentran en las áreas que se analizan, esto conlleva un tiempo de procesamiento más largo pero se consigue un análisis más real de la iluminación del local o la vía.

Los menús de herramientas más destacados del programa Dialux son los siguientes:

- Construcción: como su nombre indica, alude a la parte de Dialux centrada en el diseño del objeto de estudio. Existe la opción de crear un nuevo edificio desde el programa o como se ha dicho anteriormente importar un plano DWG o DXF. La importación de objetos, la ubicación de las aberturas del edificio (puertas y ventanas) también se realizan en esta parte. A su vez los materiales pueden adquirir las propiedades propias tanto de color, como de grado de reflexión.
- Luz: es la parte más identificativa del programa. La utilizada para la elección de las luminarias empleadas, la ubicación de las mismas y la creación de las diferentes escenas de luz de la estancia. Los archivos de luminarias se pueden obtener desde las propias páginas webs de los fabricantes o en algunos casos es necesario la instalación de plugins en el propio programa para disponer ellos.
- Objetos de cálculo: Al igual que las demás partes del programa, esta sección tiene muchas opciones para que el usuario saque el máximo rendimiento del mismo. Los parámetros de cálculo disponibles son la intensidad perpendicular, horizontal y vertical, el cociente de luz diurna, el UGR y la dirección libre de cálculo. Es posible escoger todas las opciones que el programa nos da para realizar el cálculo. Además las áreas pueden ser distintas a la del edificio, centrando el cálculo en las zonas que más interesen al proyectista. Otro de los puntos interesantes es que Dialux da el consumo de la instalación, puede mostrar los resultados en forma de isolíneas y colores falsos lo que hace muy visual la intensidad que recibe cada punto.
- Documentación: Esta pestaña es muy llamativa, en ella se pueden exportar todos los datos obtenidos en el apartado anterior en formato PDF. El proyectista tiene la opción de organizar y seleccionar las partes que le Interactivo automático de luminarias en edificios interesan así como de insertar imágenes gracias a la herramienta raytracer del programa.

Con todo ello, Dialux es un software ideal para crear proyectos de iluminación con resultados muy aproximados a la realidad.

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1. Descripción del caso de estudio

El edificio Isaac Peral seleccionado para este estudio pertenece a las instalaciones de la Escuela Naval Militar (ENM) donde se forman en la actualidad a los futuros oficiales de la Armada Española. Situada en el municipio de Marín (Pontevedra), al Noroeste de la península ibérica.

Está situado en la cara Sur de la ría de Pontevedra, que tiene su desembocadura en el océano Atlántico y con coordenadas geográficas 42°02' N y 8°42' W. Dentro de la Escuela Naval Militar, el edificio se ubica junto a la dársena en el muelle Almirante Vierna y tiene una orientación Norte-Sur.

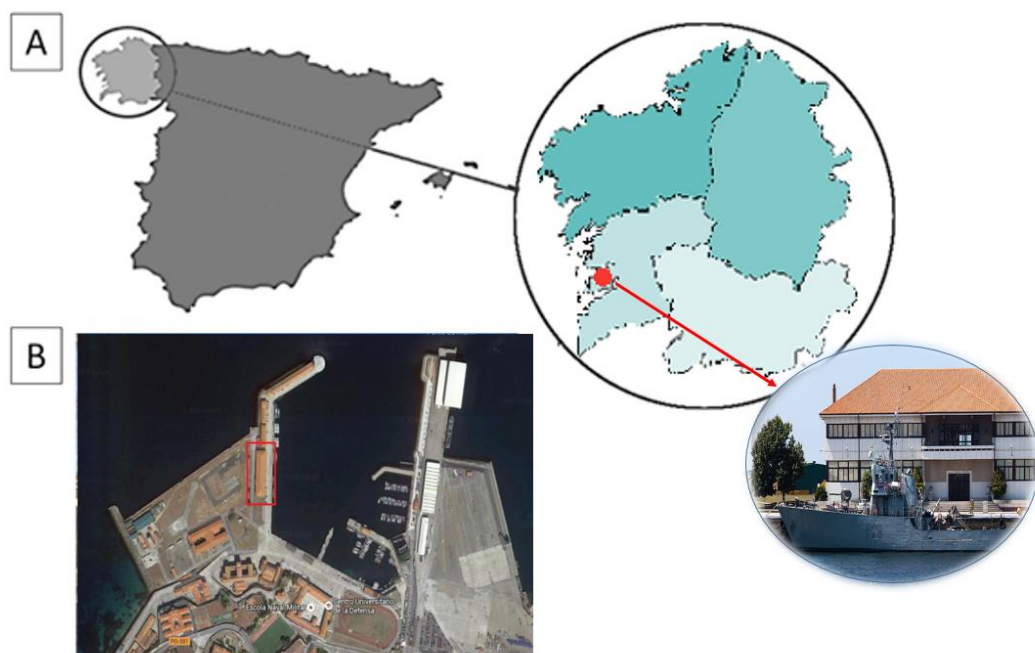


Figura 2 (A). Localización de la Escuela Naval Militar en Marín (B). Emplazamiento del edificio.

Este edificio está destinado a actividades docentes, de manera que la iluminación debe proporcionar un entorno visual confortable y suficiente para todos los usos que se realizan en el

mismo. El edificio consta de dos plantas con 4 entradas al interior, 3 de ellas en la cara Oeste y la última en la cara Este del edificio. Tiene en su interior 69 espacios, que se clasifican en laboratorios, almacenes, talleres, aseos, seminarios, aulas y despachos. Por último también cuenta con dos terrazas y una escalera de incendios. Tiene unas medidas de 89,5 metros de largo, 22,3 metros de ancho y una altura de 10,1m de alto hasta el comienzo del tejado. Una superficie de 1995,85 m². Se puede decir del local actual que busca el aprovechamiento máximo de la luz del sol, espacios grandes ocupados por ventanas en todos los pisos y colores vivos que refuerzan la sensación de luminosidad del espacio.



Figura 3 Vista del Isaac Peral desde el muelle Chereguini

3.2. Descripción de la metodología

A lo largo de esta sección se recogen los distintos hitos para la obtención de un modelo geométrico “as-built” del edificio Isaac Peral mediante técnicas de escaneado láser 3D. Éste se integrará posteriormente en plataformas de análisis sostenible en edificación, de modo que se pueda llevar a cabo la comprobación del estado de iluminación natural y sombras que genera la luz solar sobre la estructura analizada. En resumen, las diferentes etapas en las que se puede dividir este apartado son las que siguen:

- Adquisición de datos: obtención de la nube de puntos global del edificio Isaac Peral mediante láser escáner terrestre.
- Registro y segmentación manual de la nube de puntos representativa de la escena en el software Riscan Pro.
- Filtrado, limpieza y homogeneización de la densidad de puntos en el software Riscan Pro.
- Creación del modelo sólido 3D a partir de la nube de puntos modificada, en el software Sketchup.
- Importación del modelo 3D a un software para análisis de iluminación natural y sombras (Dialux y Ecotect)

A continuación, se describe con más detalle las etapas fundamentales que constituyen dicha metodología.

3.2.1 Adquisición de datos: obtención de la nube de puntos global del edificio Isaac Peral mediante láser escáner terrestre

3.2.1.1 Material y equipos utilizados

Para la medición en campo se han empleado los siguientes equipos:

Láser escáner Faro Focus 3D X330

El equipo seleccionado fue el Faro Focus X 330. Este láser escáner es fácilmente portable y permite la medición rápida, precisa y sencilla a rangos de hasta 330 m, que lo hacen idóneo para el trabajo propuesto en este proyecto. Además está catalogado como clase 3R, y se considera seguro si se manipula adecuadamente. Incluye además una cámara digital perfectamente integrada, cuyas fotografías se pueden utilizar para asignar valores RGB a la nube de puntos y colorearla.

En la siguiente Tabla 3-1 se recogen las principales características del dispositivo empleado (FARO 2016).

Rango máximo	< 330 m
Rango mínimo	> 0.6 m
Repetibilidad (25 m, 10% refl.)	2.2 mm
Ratio de medición	976000
Longitud de onda	1550 nm
Divergencia del haz	0.19
Campo visual vertical	0°–300°
Tamaño de paso	0.009°
Campo visual horizontal	0°–360°

Tabla 1 Especificaciones del Laser

Trípode

Es una base de tres patas cuya finalidad es servir de apoyo para el posicionamiento del equipamiento láser, permitiendo así resultados más precisos y una mayor estabilidad en las tomas de datos. Es necesario equilibrarlo de manera que la base forme una superficie completamente recta y horizontal, para lo cual utilizaremos una especie de nivel interno que sirve de referencia.

Otros

Otros materiales que se pueden utilizar son gafas protectoras contra el láser, una tarjeta de memoria SD para almacenar los datos y baterías para disponer de autonomía suficiente para realizar la adquisición de datos con garantía.



Figura 4 Laser Escáner Faro Focus



Figura 5 Láser Escáner

3.2.1.2 Procedimiento

Es fundamental una correcta planificación en campo para optimizar los recursos disponibles y alcanzar la máxima productividad en las mediciones. La planificación de la toma de datos pretende resolver, entre otros, los siguientes aspectos: ubicación y número de posiciones del escáner a emplear; resolución utilizada, oclusiones y el establecimiento de un sistema de referencia común. La ubicación de cada una de las posiciones se ha planificado de tal manera que se minimizaron el número de escaneos y se evitaron las oclusiones, asegurando la completa adquisición del edificio.

La resolución espacial del láser está limitada por la máxima resolución angular del instrumento (0.009°). Hay que tener en cuenta que el tamaño de paso sobre la superficie del objeto que está siendo escaneado será mayor cuanto más alejado esté el láser escáner del objeto, de manera que el paso angular habrá que seleccionarlo considerando las máximas distancias a las que vamos a escanear. Para este caso de estudio, se utilizó un rango variable de resoluciones angulares entre 0.018° y 0.07° .

En las siguientes Figuras 3-4,3-5 y 3-6, se muestran las posiciones del escáner para la toma de los datos, tanto del exterior como del interior del edificio, respectivamente. Éstas han sido enumeradas por orden de estacionamiento.

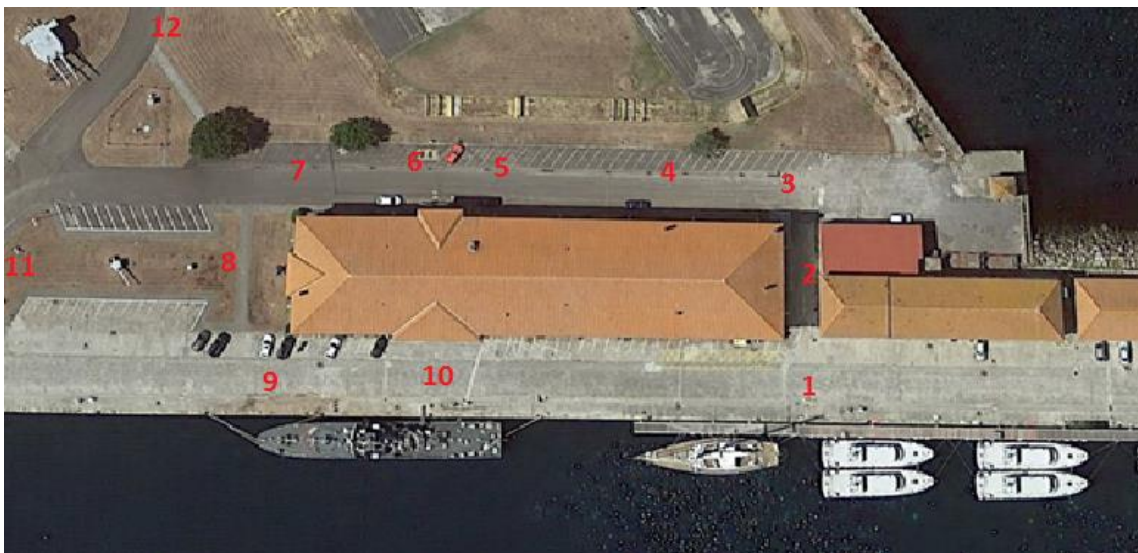


Figura 6 Planificación de la localización del láser escáner en el entorno del edificio Isaac Peral

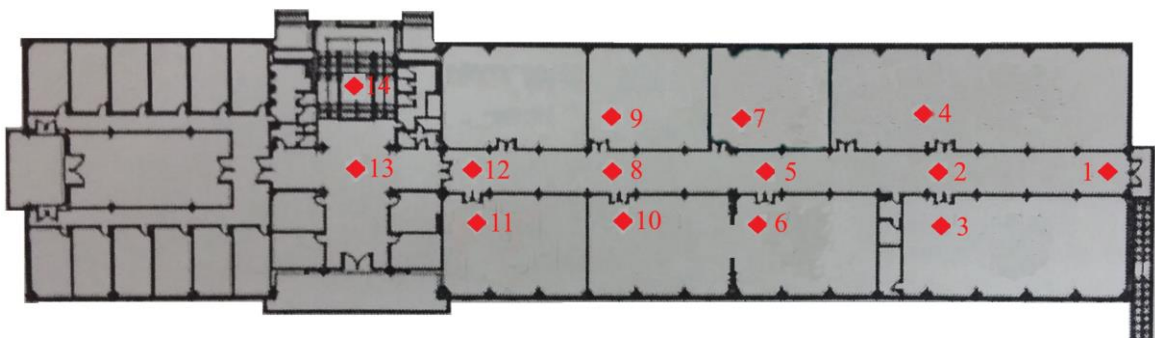


Figura 7 Croquis de la planta alta del edificio Isaac Peral con las localizaciones del láser escáner.

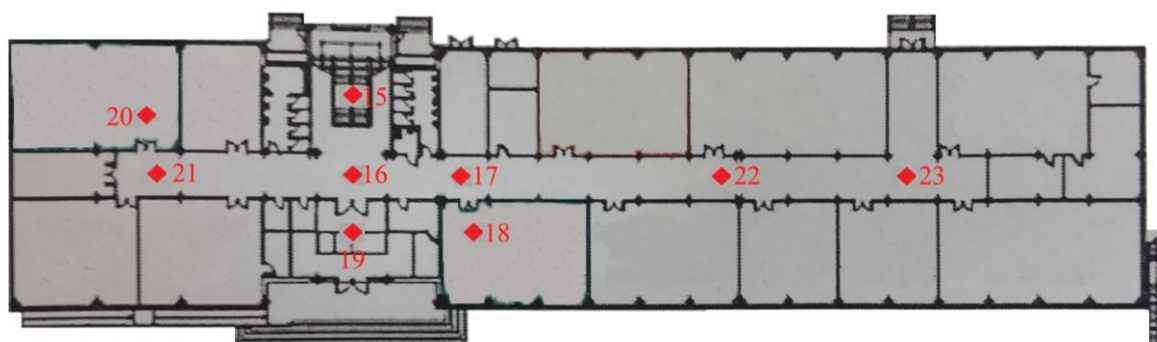


Figura 8 Croquis de la planta baja del edificio Isaac Peral con las localizaciones del láser escáner.

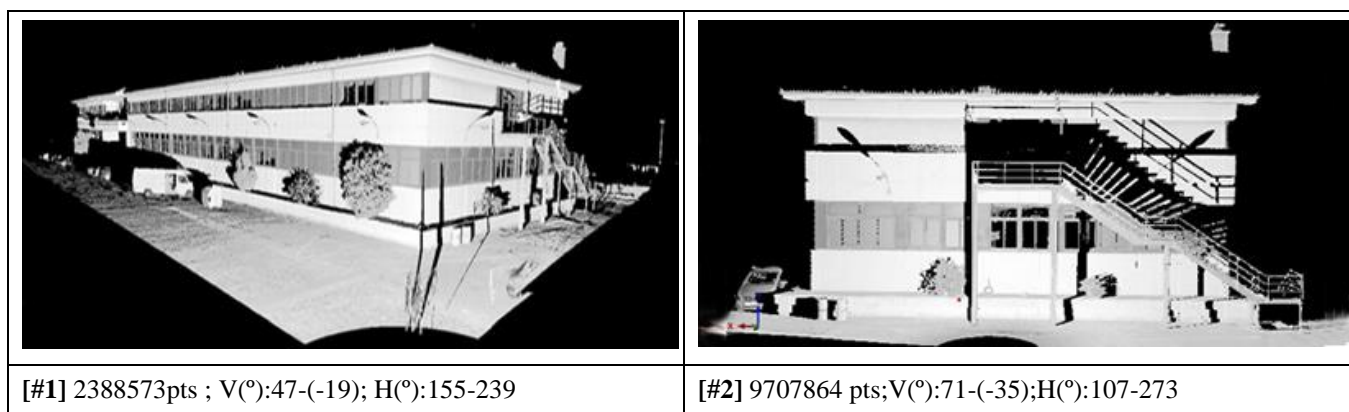
Tras concluir la planificación, se realizaron los escaneos. El láser permite delimitar el área que va a ser escaneada. Para ello en todos los emplazamientos del escáner se tomaron dos medidas, una primera de baja resolución, de 360 grados (conocido como “overview”), y una segunda en la que a partir del resultado de dicho overview, se selecciona la región de interés. Por tanto, esta segunda medición se realizará con mayor resolución pues será la utilizada para generar la nube de puntos resultante. Por el contrario en el interior del edificio, al necesitar escaneos de 360°, tan solo se realizó una medición en cada posicionamiento.









El equipo generó en tiempo real las coordenadas esféricas R, u, h y sus correspondientes coordenadas cartesianas X, Y, Z (cuyo sistema de coordenadas está centrado en el escáner) para cada punto de las nubes. Las coordenadas cartesianas se obtuvieron a partir de las esféricas a partir de las siguientes transformaciones:

$$X = R \cdot \sin h \cdot \cos u, \quad Y = R \cdot \sin h \cdot \sin u, \quad Z = R \cdot \cos h.$$

Además, para cada punto se midió la intensidad de retorno del haz laser en las superficies del objeto, que dependerá entre otros factores, de las características físicas y el ángulo de incidencia.

Se adjuntan a continuación los resultados de las mediciones en cada estación. En relación a los escaneos exteriores, y siguiendo la planificación recogida en la figura 3-4, se estableció una red de 13 estaciones, tal y como se muestra en la Tabla 3-2.



<p>Resolución angular(°): 0.035; Scan Time: 0:04:16</p>	<p>Resolución angular(°):0.035; Scan time:0:07:28</p>
	
<p>[#3] 2743299 pts; V(°):58-(-18); H(°):38-129 Resolución angular(°):0.035; Scan time:04:32</p>	<p>[#4] 57971888 pts Angular area: V(°):55-(-16) H(°):0-186 Resolución angular(°):0.035; Scan time: 0:08:09</p>
	
<p>[#5] 5311823 pts; V(°): 90-(-60); H(°): 0-360° Resolución angular(°):0.07; Scan time: 0:02:47</p>	<p>[#6] 21171173 pts; V(°):90-(-60); H(°):0-360° Resolución angular(°):0.035; Scan time: 0:08:09</p>
	
<p>[#7] 2425004 pts; V(°):47-(-15); H(°):49-141 Resolución angular(°):0.035; Scan Time: 04:35</p>	<p>[#8] 2529217 pts; V(°):40-(-16°); H(°):42-136 Resolución angular(°):0.035; Scan time:0:04:40</p>
	
<p>[#9] 1294179 pts; V(°):27-(-11); H(°):107-185 Resolución angular(°):0.035; Scan time: 0:04:02</p>	<p>[#10] 4986443 pts; V(°):50-(-14); H(°):27-196 Resolución angular(°):0.035; Scan time:0:07:35</p>

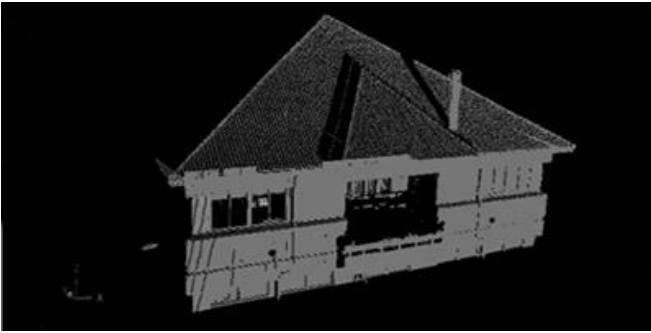
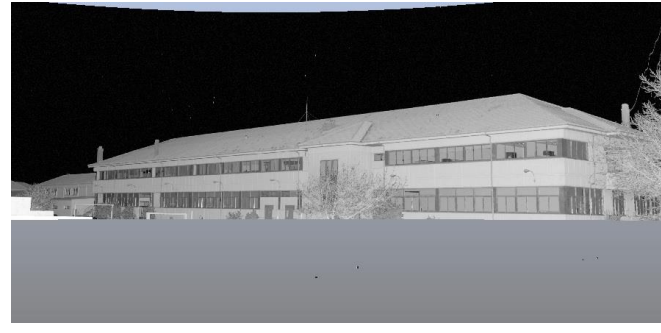
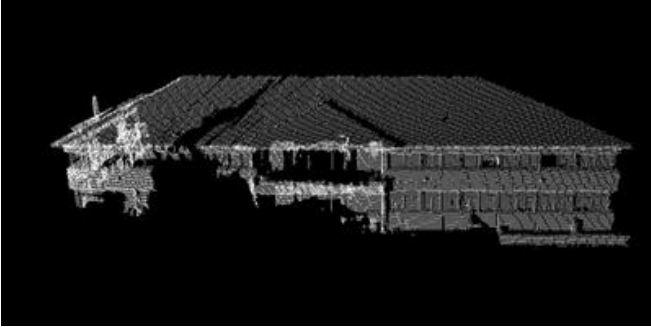
	
<p>[#11] 18108475 pts; V(°):19-3; H(°):148-182 Resolución angular(°): 0.035; Scan time:0:02:19</p>	<p>[#12] 1183140 pts; V(°): 16-(-1); H(°): 146-220 Resolución angular(°):0.018; Scan time:0:12:32</p>
	<p>[#13] 9277435 pts V(°): H(°): Resolución angular(°): 0.035 Scan time: Nota: este escaneo se tomó en el muelle Chereguini y no se incluye en la Figura 3-4</p>

Tabla 2 Características de cada medida

En el interior del edificio se tomaron medidas en un total de 8 estaciones en la planta baja, 2 en las escaleras y 13 en la planta alta. Se adjuntan varios ejemplos de las nubes de puntos obtenidas durante el proceso de adquisición.



Figura 9 Nubes de puntos de la escalera



Figura 10 salida de emergencia superior



Figura 11 aulas 57

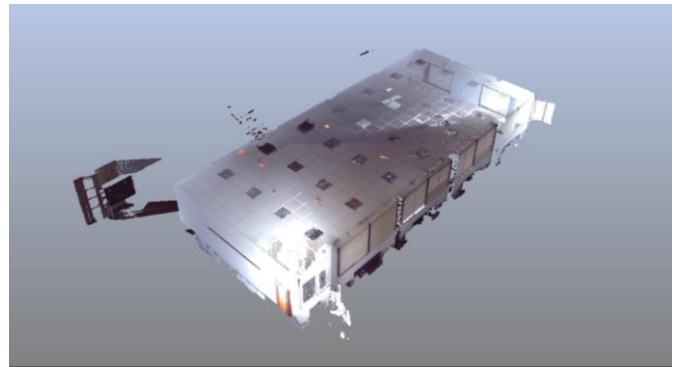


Figura 12 Aula 56

3.2.2 Registro y segmentación manual de la nube de puntos representativa de la escena en el software Riscan Pro

Cada escaneo se encuentra en un sistema de coordenadas local, cuyo origen es el propio escáner. Es por ello que para obtener el modelo completo del edificio Isaac Peral, se llevó a cabo un proceso denominado “registro”, consistente en la transformación de las coordenadas locales de cada escaneo individual en un escaneo final combinado y que presenta un sistema de coordenadas común. Analíticamente, dicho proceso supone el cálculo de la matriz de transformación de coordenadas, que contiene las rotaciones y las traslaciones necesarias de cada uno de los escaneos frente a uno que se tomará como referencia.

Existen dos metodologías para realizar el registro. La primera de ellas, **el registro por dianas**, consiste en utilizar las dianas u objetos de referencia tales como reflectores colocados en unas posiciones específicas para referenciar todos los datos obtenidos.

El segundo método es manual, y se denomina **registro por planos**. Se distingue del anterior en que el empleo de puntos comunes se lleva a cabo después de la adquisición de los datos. El propio usuario es el encargado de definir manualmente en el software de postproceso (Riscan Pro en este

caso), los puntos comunes a cada nube de puntos adquirida, empleando puntos singulares de la propia geometría del edificio, tales como esquinas de paredes, columnas, puertas, ventanas, etc.

Este trabajo se ha realizado de modo manual (Figuras 3-8 y 3-9), mediante el marcado de puntos comunes es los distintos escaneos que se importan en el software Riscan Pro (Riegl, 2016).

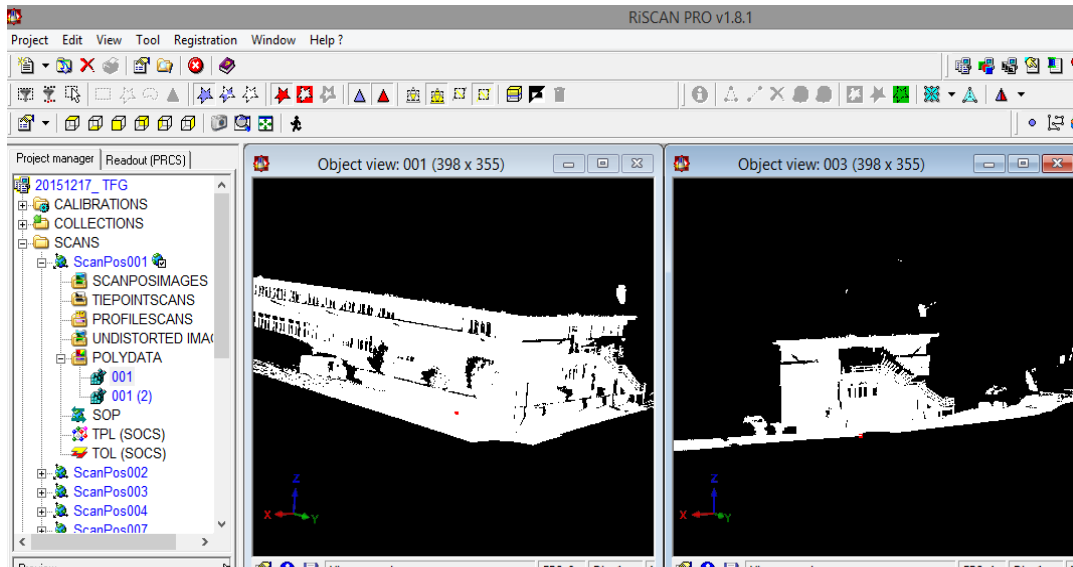


Figura 13 Importación de dos nubes de puntos en Riscan Pro antes del inicio del registro.

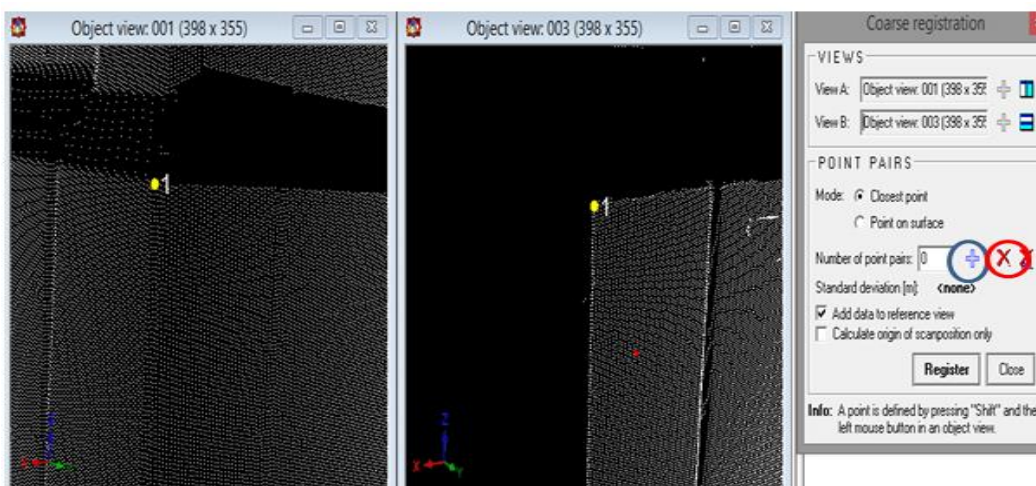


Figura 14 Selección de pares de puntos comunes en ambos escaneos.

El producto final será una nube de puntos georreferenciada, una vez que se han dado apoyos en el terreno (se recurre a Google maps para dicho proceso), para transformar las coordenadas locales en globales. En las siguientes Figuras 3-10 y 3-11 se muestran las nubes de puntos que recogen la geometría externa del edificio, resultantes de los procesos de registro y georreferenciación. Cabe apuntar que los puntos procedentes de estaciones distintas se representan con distinto color.

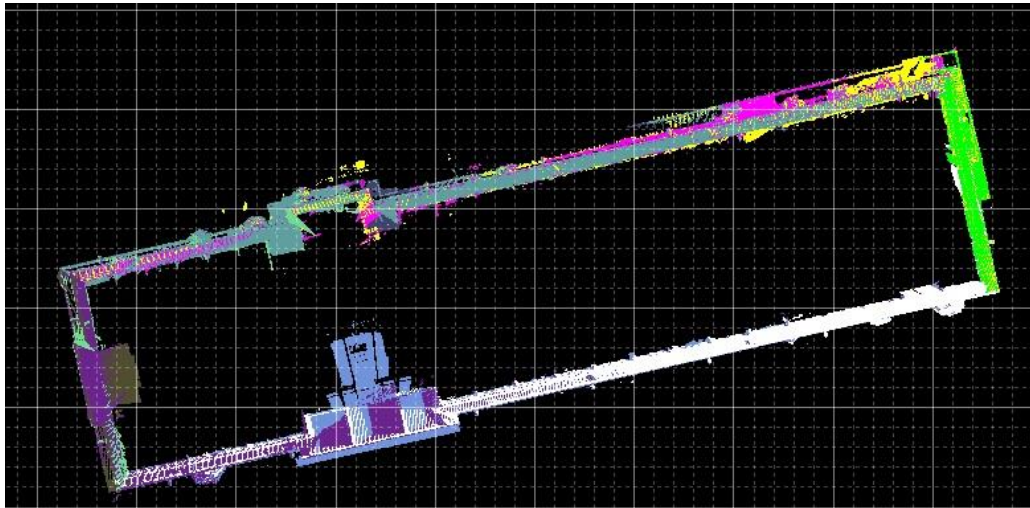


Figura 15 Vista ortogonal superior del contorno exterior del edificio Isaac Peral tras el registro.

Es importante definir un gran número de pares de puntos en cada registro, ya que de lo contrario si se obtiene un error grande y se sigue registrando con ese error, cuando todas las nubes de puntos estén registradas el error habrá aumentado y será más difícil de corregir.

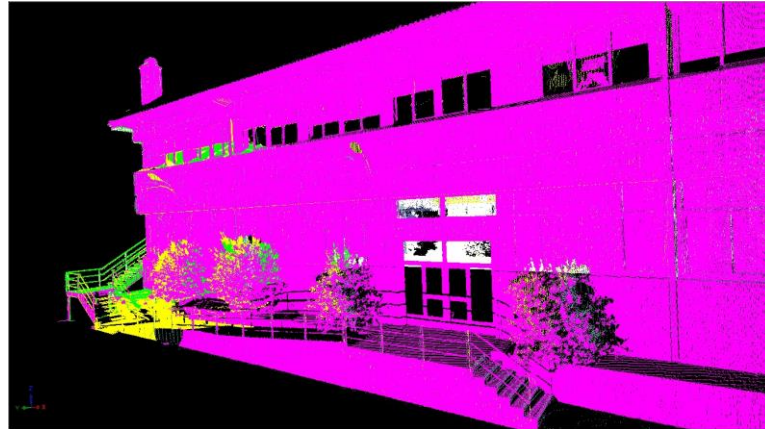


Figura 16 Resultado del registro de las nubes de puntos obtenidas para el modelado exterior del edificio



Figura 17 Resultado del registro de las nubes de puntos obtenidas para el modelado exterior del edificio

3.2.3 Filtrado, limpieza y homogeneización de la densidad de puntos en el software Riscan Pro.

Cuando se analizan las nubes de puntos, se observa que, algunas áreas no están conectadas con la nube entera, y por tanto, corresponden con “ruido” (ver Figura 3-12). Se observan además algunas áreas que están escasamente definidas (presencia incluso de huecos) y que existen zonas de diferentes densidades de puntos. Por tanto, en vista de lo citado, y antes de transformar la nube de puntos en un modelo sólido, es necesario limpiarla, filtrarla y uniformizarla.



Figura 18 Selección de ruido para su eliminación.

También hay que tener en cuenta que todo aquello que estuviese detrás de algo que se quisiese borrar, como puede ser un coche o un arbusto, no se pudo registrar así que quedará ese espacio sin cubrir. En la siguiente imagen se puede observar que el espacio que está detrás del coche no fue registrado y quedaría así al eliminarlo.

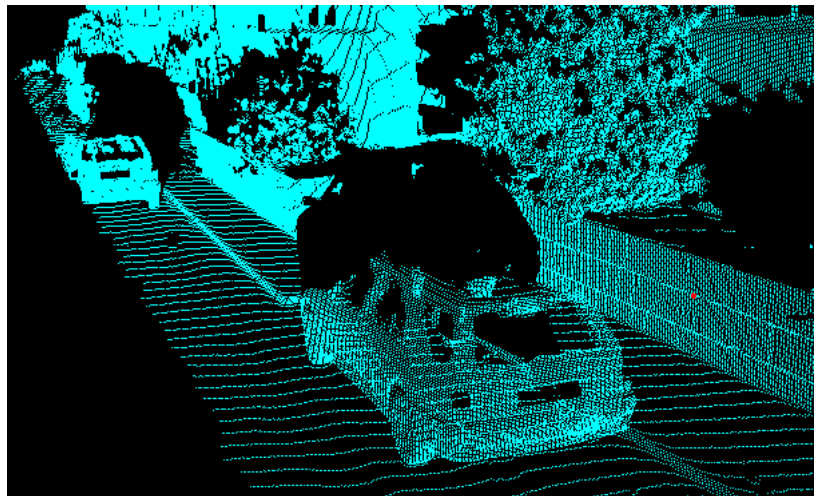





Figura 19 Sombra generada en la nube de puntos causada por un vehículo visualizado en falso color.

Para eliminar el ruido, una vez lo tenemos seleccionado y nos aparece de un color distinto el área que se desea borrar las herramientas a utilizar son las siguientes:



Con estas herramientas podemos, visualizar únicamente la nube de puntos entera pero sin la parte seleccionada  para ver que no hemos eliminado nada que no debamos, podemos visualizar solo la parte seleccionada  para una última comprobación o podemos verlo todo la nube de puntos con la parte seleccionada otra vez .

3.2.4 Creación del modelo sólido 3D a partir de la nube de puntos modificada, en el software Sketchup.

En la siguiente imagen se muestra la interfaz de usuario SketchUp la consta de la barra de título, las barras de herramientas, el área de dibujo, la barra de estado y el cuadro de control de valores.

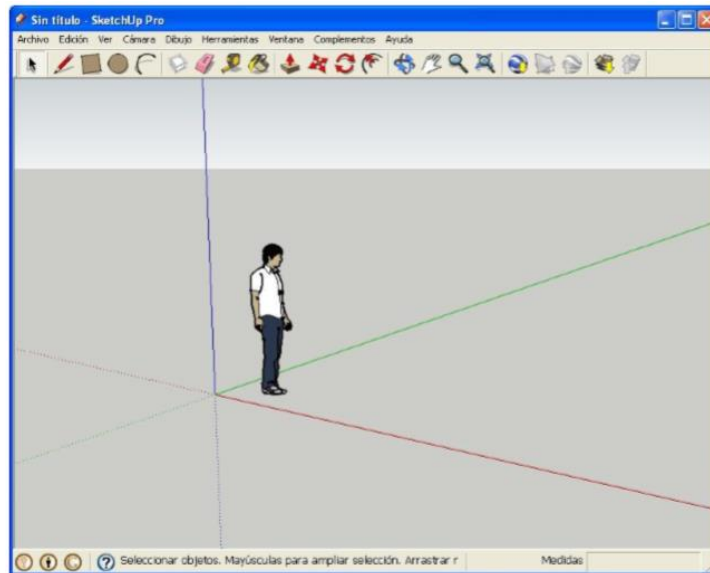


Figura 20 Interfaz de usuario en SketchUp

Google SketchUp no consta con un número elevado de herramientas, siendo todas las opciones disponibles las que se muestran en la siguiente imagen.



Figura 21 Tabla de herramientas del SketchUp

Las herramientas más utilizadas para el modelado del edificio fueron las herramientas Línea y la herramienta Tirar/Empujar

3.2.4.1 Herramienta Línea

Esta herramienta sirve para dibujar aristas o entidades de línea. También para dividir caras o recuperar caras eliminadas. El modelado se delinea básicamente uniendo líneas para formar aristas. Las caras se forman cuando tres o más aristas se encuentran en un mismo plano y forman un bucle cerrado. Para poder dibujar en 3D, sólo hay que dibujar hacia arriba o hacia abajo siguiendo en paralelo al eje azul, tal y como se muestra en la siguiente imagen.

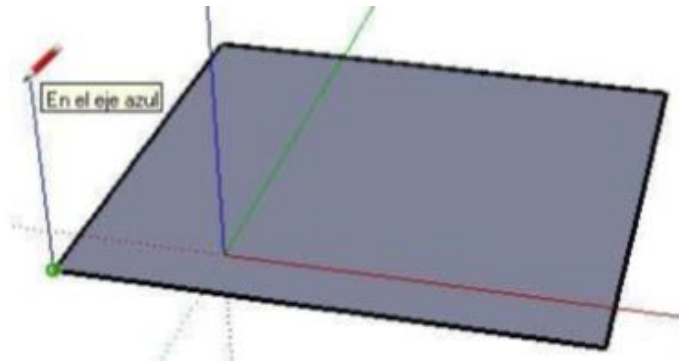


Figura 22 Demostración herramienta Línea

3.2.4.2 Herramienta Empujar/Tirar

Esta herramienta se utiliza para empujar o tirar de una cara con el objetivo de añadir o quitar volúmenes de los modelos. Una de las ventajas es que esta herramienta se puede utilizar no solo para caras rectangulares sino también para caras abstractas. En resumen su función es la de extruir.

En las siguientes imágenes se muestran el proceso para extruir una cara. Primero se pulsa la herramienta Empujar/Tirar y el cursor cambia de forma. Se pulsa a continuación en la cara que se desea extruir y se mueve el cursor en el sentido que se desea añadir el volumen o reducir.

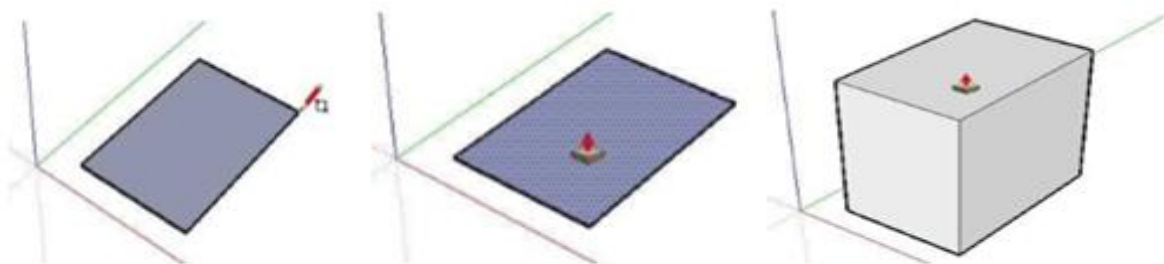


Figura 23 Demostración de la herramienta Empujar/Tirar para aumentar volumen de un sólido

De igual manera también se puede crear espacios vacíos dibujando sobre una geometría 3D una forma 2D. Después con la herramienta Empujar Tirar se acercaría a la cara posterior de la geometría 3D y se genera el espacio vacío. A continuación se muestra el proceso.

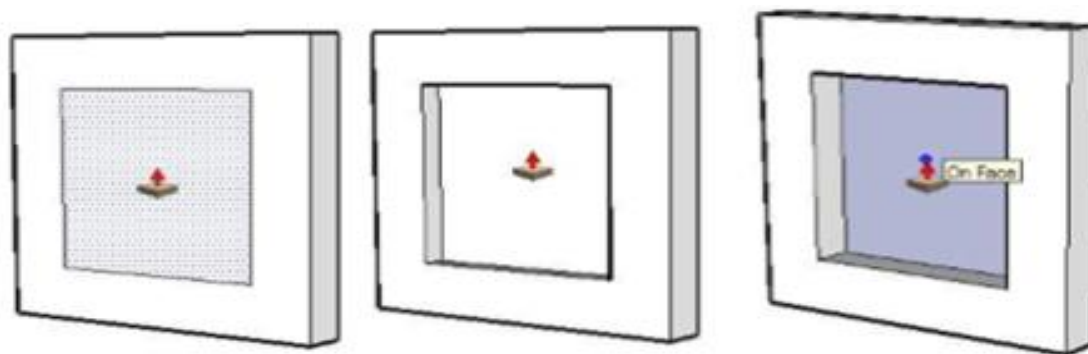


Figura 24 Demostración de la herramienta Empujar/Tirar para crear espacios en sólidos

3.2.4.3 Textura

El software tiene una herramienta para pintar las caras con materiales para darles más detalle y mayor realismo. Los materiales son básicamente pinturas con color y textura definidas en un archivo de imagen. Los modelos se pueden pintar con estos materiales con la herramienta Pintar. En nuestro modelo se utilizó para las paredes del edificio, para el tejado y para la escalera de incendios. También permite texturizar ventanas con vidrio, pero para su posterior importación a otro software las ventanas del edificio deberán quedar como huecos.

3.2.4.4 Modelo 3D

El modelado en 3D por medio del software se realizó en dos etapas: una primera en la que se modeló todo el exterior del edificio y la segunda etapa en la que se modeló en el interior del edificio todos los pasillos y aulas que se habían escaneado.

En las siguientes imágenes se puede ver el resultado del modelado del edificio.

Una vez finalizó el modelado en 3D de todo el edificio tanto en el exterior como en el interior, con el fin de conseguir dar mayor detalle modelamos de forma separada cuatro aulas escogidas al azar. El aula 56 situada en la primera planta es el aula posicionada más al noreste, el aula 57, en la primera planta también, siendo la que se encuentra situada más al noroeste, el aula 40 que se encuentra en la planta baja al suroeste del edificio y por último el aula 42 situada en la cara este en la zona central.

En las imágenes a continuación se muestran los resultados de ambas aulas una vez habían sido modeladas.

3.3 Simulación

3.3.1 Ecotect

Con el software de Ecotect Analysis vamos a realizar la simulación de sombras sobre el edificio Isaac Peral. Analizaremos las sombras que generan los edificios que se encuentran en las cercanías del Isaac Peral, de manera que podamos ver cuales son las aulas más afectadas por la influencia de estas sombras.

Los edificios que pueden generar sombra sobre el Isaac Peral son el cuartel Francisco Moreno situado al suroeste a una distancia de 90 metros de este y el edificio situado al norte del Isaac Peral a una distancia de 6 metros de este. También se tendrá en cuenta las sombras que pueda generar el Patrullero Tabarca, el cual atraca en frente del edificio.

Para la realización de esta simulación habrá que importar el archivo modelado a través del Google SketchUp en el cual aparecen no solo el Isaac Peral sino también los otros dos edificios y el patrullero. El proceso de importación se encuentra ya redactado anteriormente. Para que el software simule el movimiento del sol habrá que hacer dos pasos comentados anteriormente. El primero introducir la posición GPS del edificio, la cual se puede introducir manualmente o importando los datos del tiempo de Pontevedra. El segundo paso es establecer la orientación del modelo. El Isaac Peral tiene, tal y como se ha comentado anteriormente tiene una orientación norte-sur. Esta orientación debe quedar bien registrada de lo contrario la simulación de sombras no será real.

También se usará el software para simular cual sería la mejor orientación del edificio. Para ello los pasos a seguir serían los siguientes.

Primero le daremos al programa la orientación real del edificio. Iremos a la ventana de la izquierda de PROJECT. En la derecha en North Offset introducimos la orientación. En nuestro caso el edificio se encuentra orientado al norte inclinado cuatro grados a la derecha.

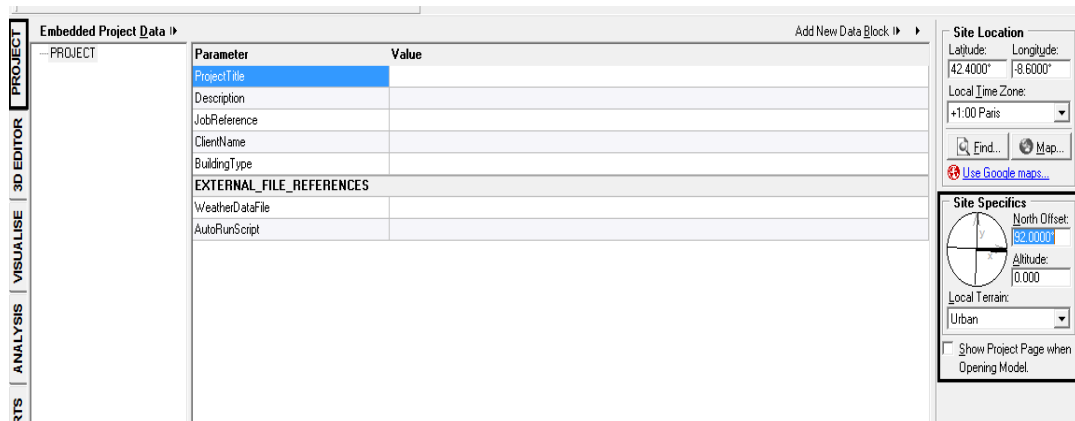


Figura 25 Establecer la orientación del modelo

A continuación en la barra superior pulsamos en TOOLS

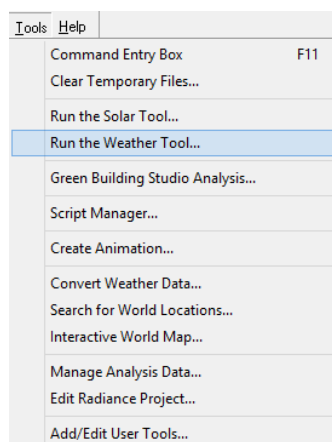


Figura 26 Herramienta para comenzar el cálculo de la mejor posición

Se nos abrirá la siguiente ventana. Esta ventana es una carta solar. A la izquierda pinchamos en SOLAR POSITION y en la parte inferior pulsamos Best Orientation.

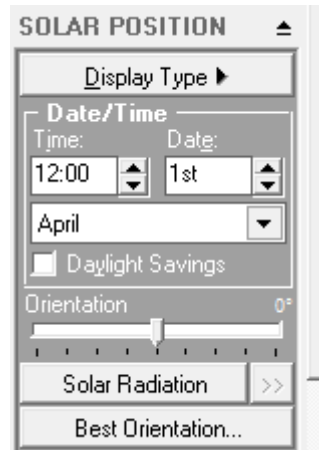


Figura 27 Herramienta para comenzar el proceso

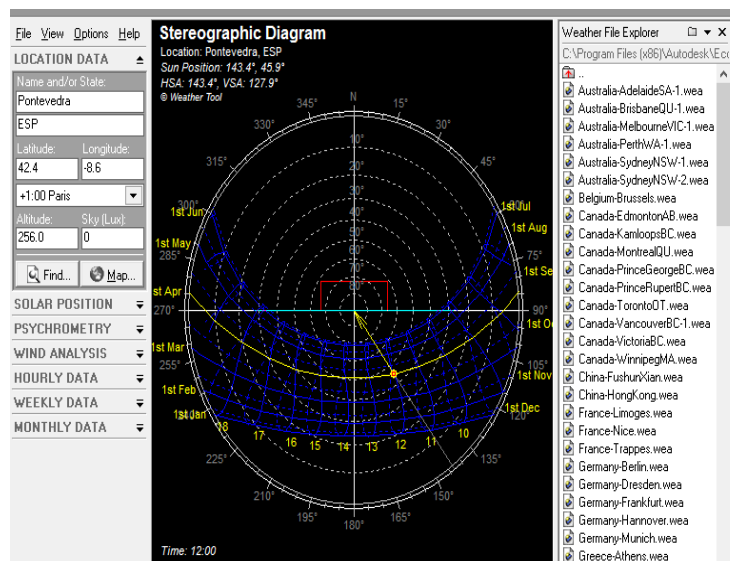


Figura 28 Carta solar

Al pulsar se nos abre la siguiente ventana. En esta ventana podemos ver, según los datos del tiempo que hemos introducido en el programa, cuales son los tres meses más calidos (Junio, Julio y Agosto) y cuales son los tres meses más frios (Diciembre, Enero y Febrero).

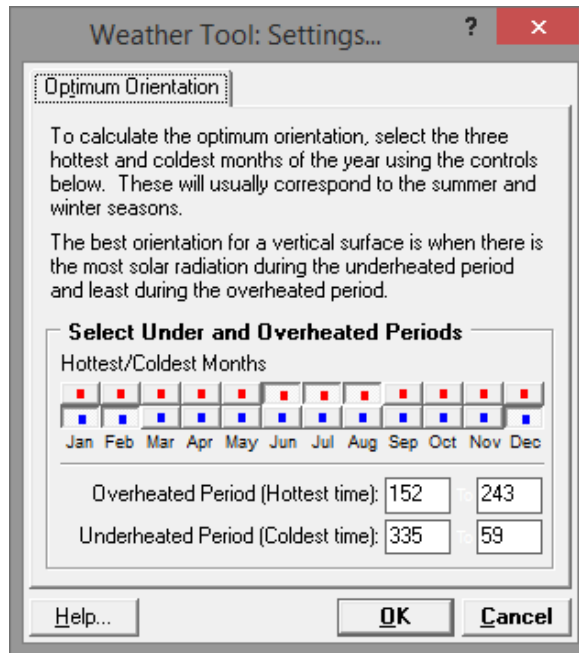


Figura 29 Meses más cálidos y más fríos del año según los datos importados

AL pulsar Ok se abre la siguiente ventana en la que se muestra en color rojo cual sería la orientación que menos aprovecharía las horas de sol y en amarillo la mejor orientación

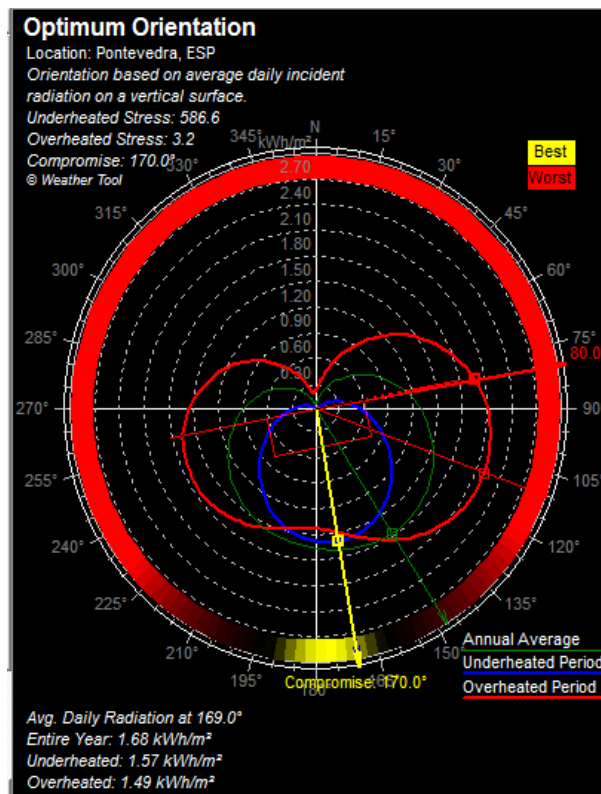


Figura 30 Resultado del software el cual muestra que el edificio ya tiene la mejor posición

Con los resultados comprobamos que la orientación del edificio es perfecta. La orientación del edificio permite aprovechar al máximo las horas de luz natural.

3.3.2 DIALux 4.12

Este software permite analizar la iluminación dentro de edificios de cara a comprobar si cumplen la normativa reglamentaria. Justamente, este va a ser el objetivo de las simulaciones con este software. Utilizaremos las cuatro aulas que se modelaron anteriormente con SketchUp para analizar la luz natural que tienen en el interior de cada aula y la luz artificial.

Para ello exportaremos los cuatro modelos de SketchUp con el formato .dxf y la importaremos al DIALux, tal y como se muestra a continuación.

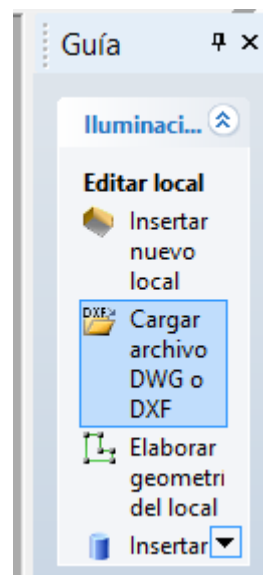


Figura 31 Herramienta para importar el archivo

Una vez el modelo ha sido importado procederemos darles propiedades a los materiales y a introducir el mobiliario. El DIALux tiene preinstalados algunas figuras estándar en cuanto a mobiliario se refiere, ya sea de interior o de exterior. A continuación se puede observar el despliegue de tipos de mesas que podemos introducir en el aula.

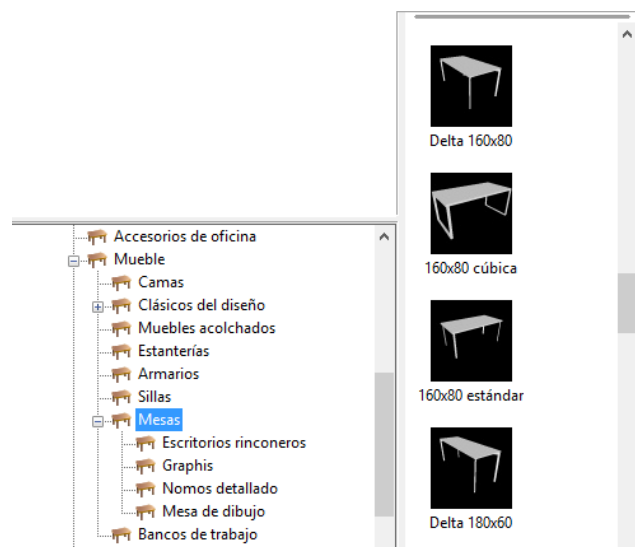


Figura 32 Gama de tipos de mesas que muestra el software

Cuando el aula se encuentre completamente modelada y con el mobiliario introducido pasamos a introducir la iluminancia que el aula posee. Para introducir los focos hay que descargarse anteriormente el catálogo de una tienda de fabricantes. En este caso se eligió el catálogo de la tienda Philips. Dentro de este catálogo la luz que más se asemeja a la existente dentro de las aulas es la luz fluorescente tipo TMS028. Sus características técnicas se pueden observar en el Anexo I.

Para introducirle la luminaria habrá que pulsar en la barra de herramientas de arriba Selección Luminaria, tal y como se muestra en la imagen. Se ve como el catálogo de Philips ya está integrado en el sistema porque lo hemos descargado anteriormente. En el caso de que no estuviese cargado, al pulsar sobre un fabricante nos reemitiría directamente a su página para la descarga. Al pulsar se abrirá el catálogo del fabricante y solo habrá que seleccionar la luz que hemos comentado anteriormente.

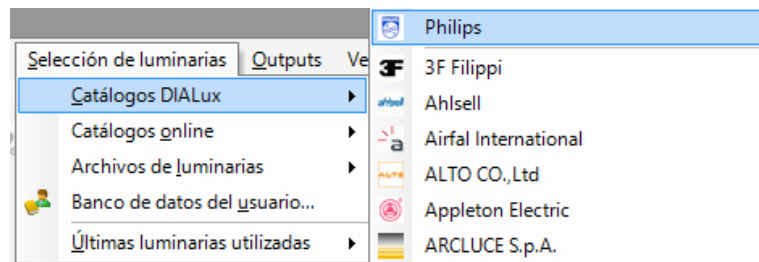


Figura 33 Herramienta para selección de luminarias

Una vez tenemos seleccionado el tipo de foco lumínico el propio programa nos ofrece la mejor distribución de luces dentro del área del techo para obtener los luxes deseados. No obstante nosotros queremos comprobar que el aula cumple las normativas así que introduciremos nosotros mismos la distribución de las luces. Por último cuando ya tenemos todo ajustado pulsamos en la barra de herramientas a Calculate y se nos generará un documento PDF con los resultados del análisis.

Si por el contrario lo que queremos es un análisis de la luz natural presente en el edificio previamente tenemos que haber establecido la orientación del edificio y la posición de este.

Una vez está establecido esos datos en lugar de seleccionar las luminarias, en la barra de la derecha en Luz Diurna, pulsaremos en Insertar escena de luz diurna. A continuación se nos abrirá una ventana en la parte superior a la izquierda que nos pedirá que indiquemos la fecha y la hora a la que queremos hacer la simulación, ya esta simulación se basa en la posición del sol. Una vez está establecida volvemos a pulsar en Calculate.

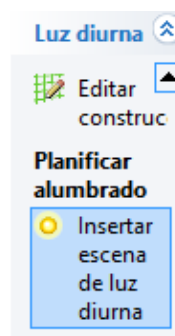


Figura 34 Herramienta para el cálculo solo de luz natural

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Nube de puntos del edificio Isaac Peral

Tras la exhaustiva toma de datos (etapa 3.2.1) y el postprocesado de éstos (que incluye las etapas 3.2.2 y 3.2.3 que describen la metodología seguida), se obtiene la nube de puntos completa del edificio Isaac Peral, modelado tanto en su interior como en sus fachadas exteriores. A continuación se muestran diferentes vistas del edificio modelado.

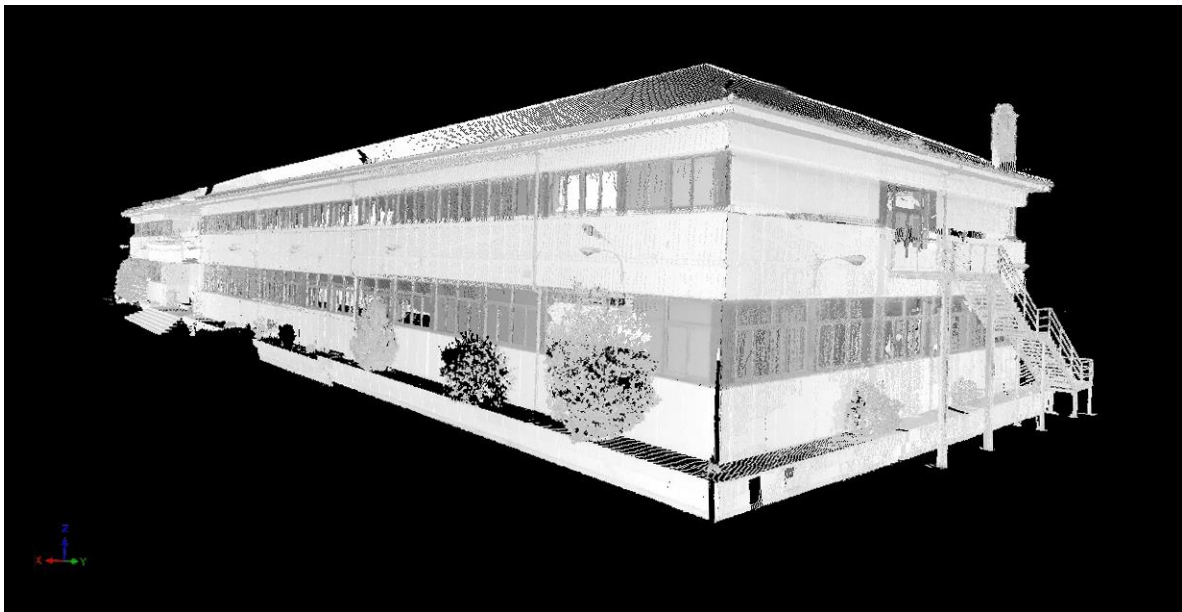


Figura 35 Fachada Norte del edificio Isaac Peral visualizada en función de la intensidad de los puntos.

A partir de los modelos poligonales texturizados, se podrían realizar las correspondientes ortofotos y planos acotados, fácilmente importables en entornos CAD. Sin embargo, no se han generado puesto que no es objeto de estudio en este trabajo.

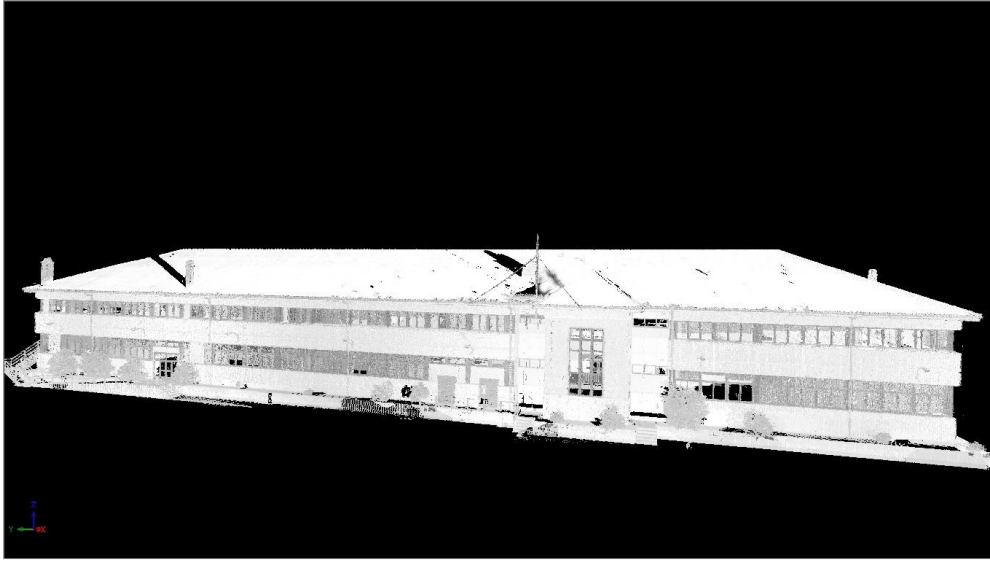


Figura 36 Fachada Oeste del edificio Isaac Peral visualizada en función de la intensidad de los puntos.

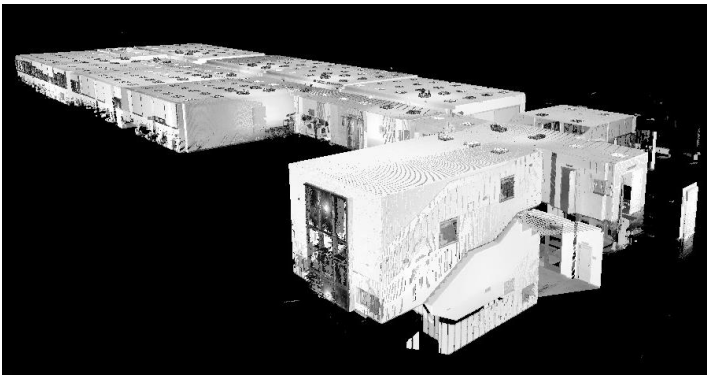


Figura 37 Fachada Oeste del edificio Isaac Peral visualizada en función de la intensidad de los puntos.

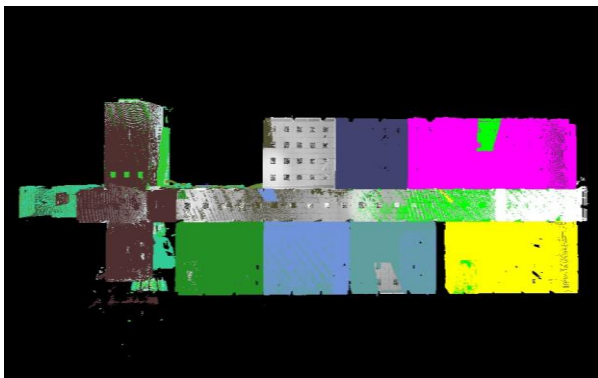


Figura 38 Fachada Oeste del edificio Isaac Peral visualizada en función de la intensidad de los puntos.

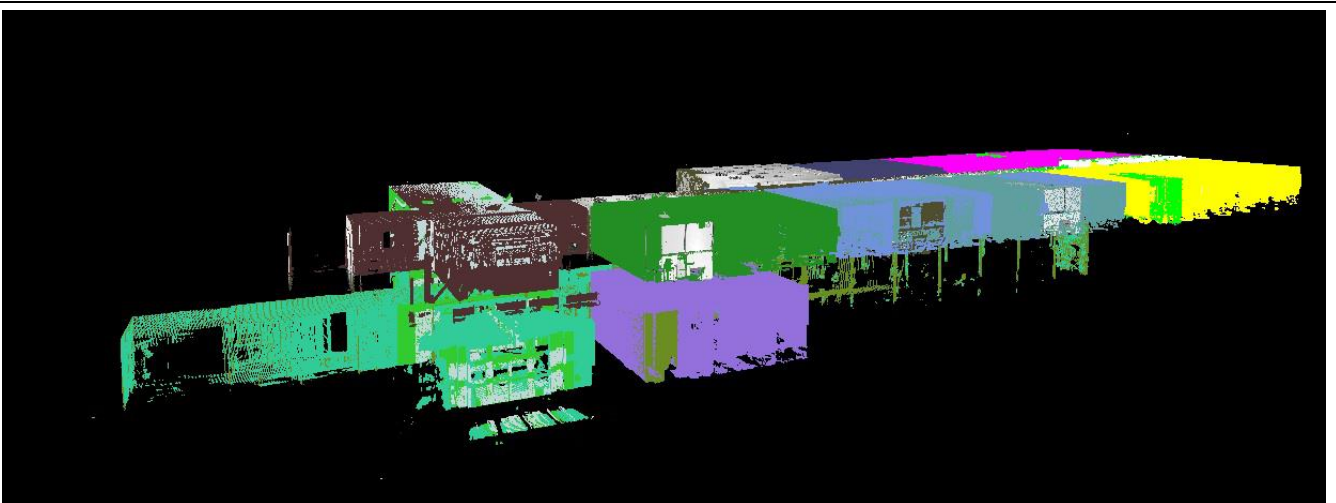


Figura 39 Fachada Oeste del edificio Isaac Peral visualizada en función de la intensidad de los puntos.

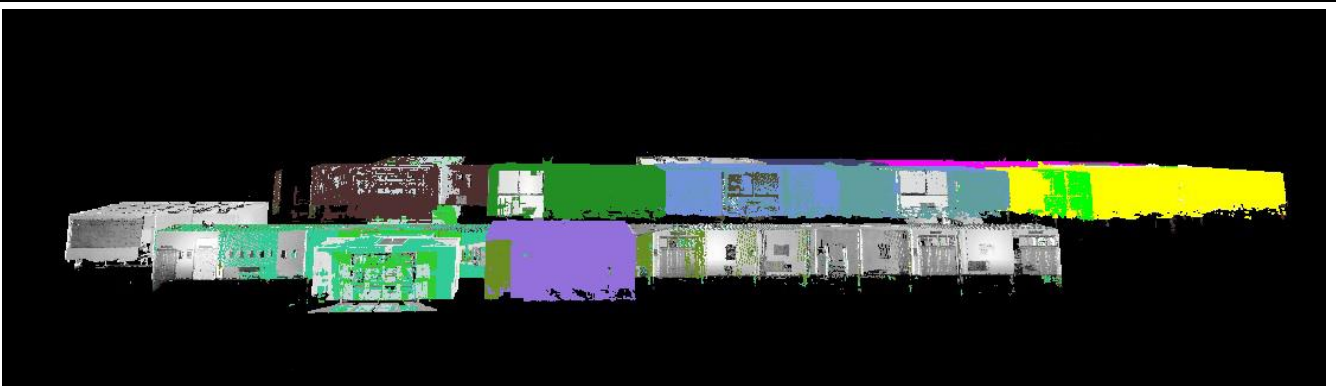


Figura 40 Fachada Oeste del edificio Isaac Peral visualizada en función de la intensidad de los puntos.

El registro final de cada escaneo y los errores obtenidos, representados mediante la desviación estándar de dichos registros, SD (m), se recogen en la siguientes Tablas 4-1 y 4-2:

1 Scan Position	2 Scan Position	Puntos de control	SD (m)
1	2	12	0.020
2	3	11	0.023
3	4	14	0.028
4	7	15	0.045
7	5	21	0.022
7	6	11	0.027
7	8	16	0.015
8	9	19	0.024
8	11	24	0.032
9	10	17	0.026
7	12	22	0.034

Tabla 3 Resultados del registro de cada posición de escáner en la toma de datos en el interior del edificio Isaac Peral

1 Scan Position	2 Scan Position	Puntos de control	SD (m)
1	2	6	0.019
2	3	9	0.023
2	4	10	0.018
2	5	6	0.038
5	6	8	0.005
5	7	5	0.103
5	8	8	0.093
8	9	6	0.018
6	10	9	0.024
8	12	11	0.037
12	11	8	0.017
12	13	10	0.020
13	14	5	0.010
14	15	10	0.008
15	16	9	0.024
16	17	11	0.009
17	18	7	0.020
16	19	9	0.020
16	21	7	0.015
21	20	7	0.020
17	22	7	0.013
22	23	5	0.037

Tabla 4 Resultados del registro de cada posición de escáner en la toma de datos en el interior del edificio Isaac Peral

4.2 Resultados del modelado en SketchUp

Finalmente se procedió al modelado del edificio en dos fases. La primera fase, en la que se realizó la parte del exterior y sus resultados se pueden ver a continuación.

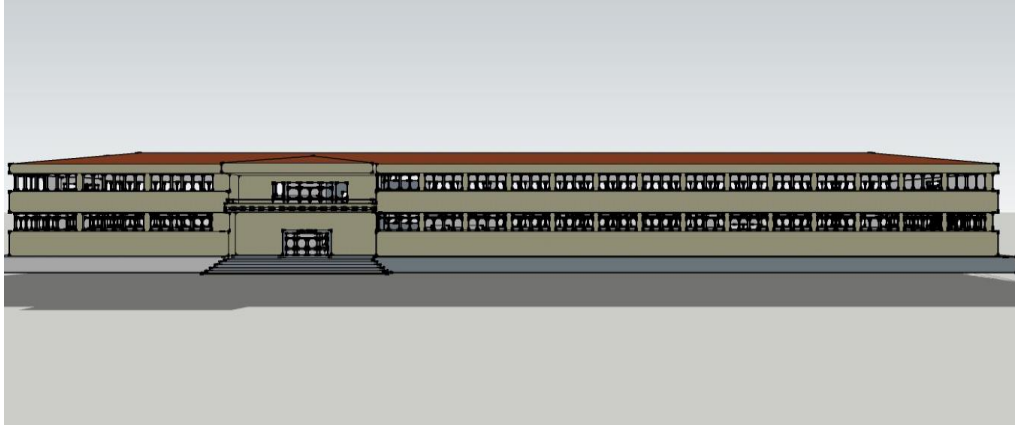


Figura 41 Vista frontal del Edificio Isaac Peral modelado en SketchUp

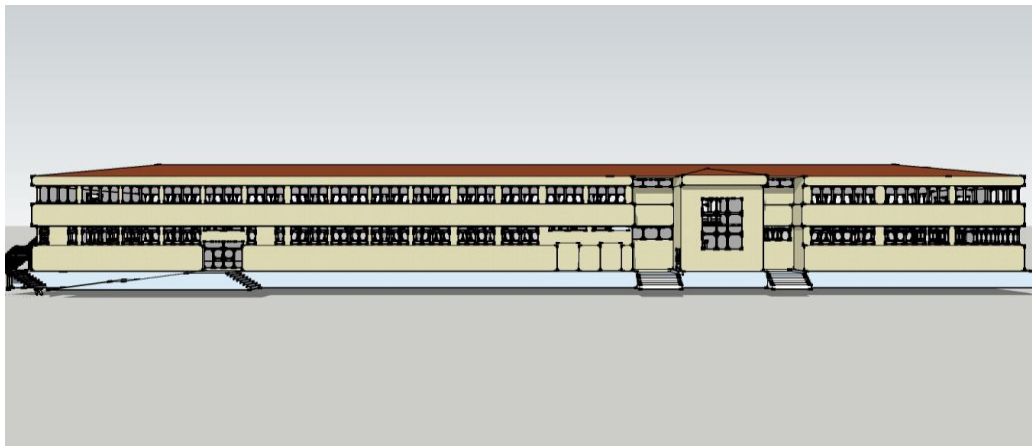


Figura 42 Vista trasera del Edificio Isaac Peral modelado en SketchUp

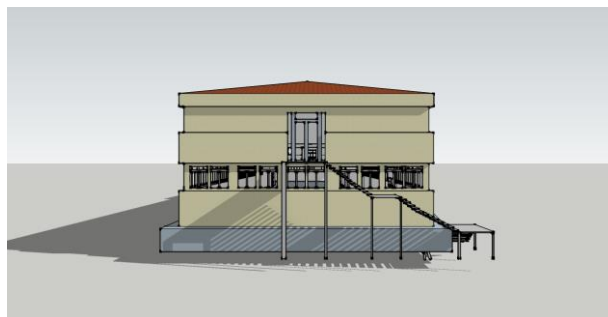


Figura 43 Vista lateral del Edificio Isaac Peral modelado en SketchUp



Figura 44 Vista lateral (2) del Edificio Isaac Peral modelado en SketchUp

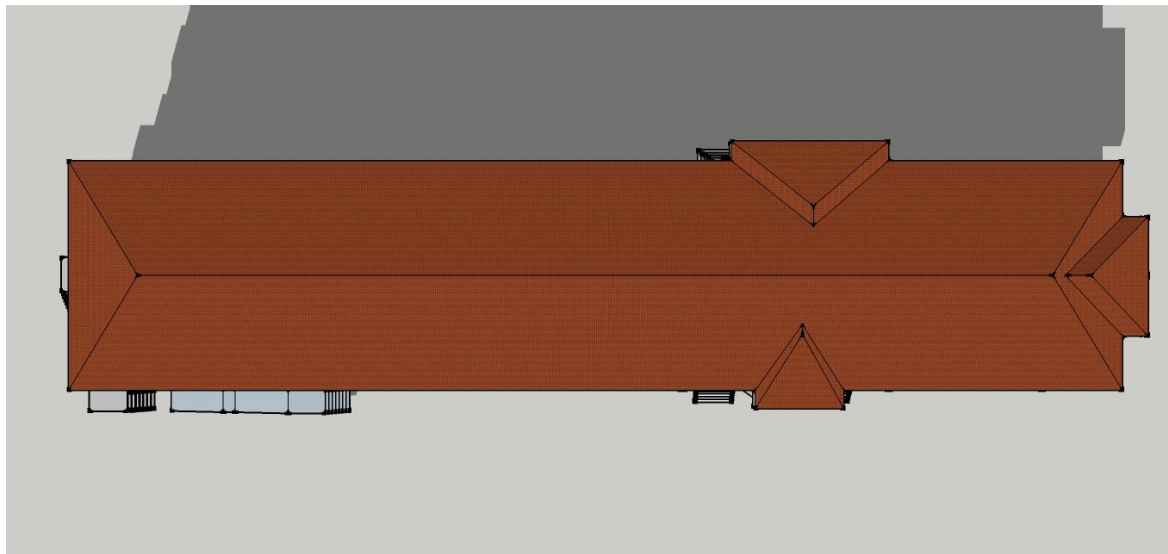


Figura 45 Vista en planta del Edificio Isaac Peral modelado en SketchUp

En la segunda parte se modeló el edificio por dentro utilizando las nubes de puntos del interior. A continuación, se muestran dos imágenes del proceso de modelado por el interior y una vista en planta del resultado en la segunda planta.

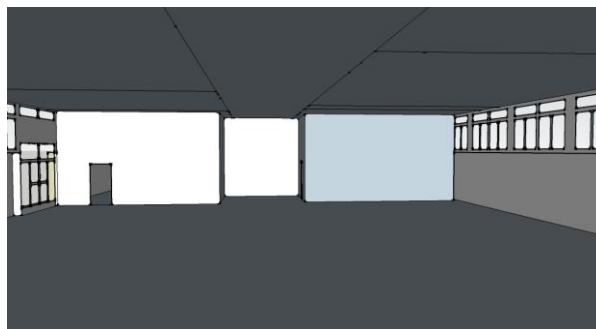


Figura 46 Vista en el interior de la primera planta mientras se modela el interior

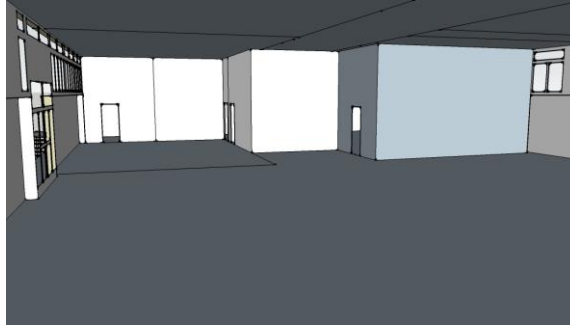


Figura 47 Vista en el interior de la primera planta (II) mientras se modela el interior

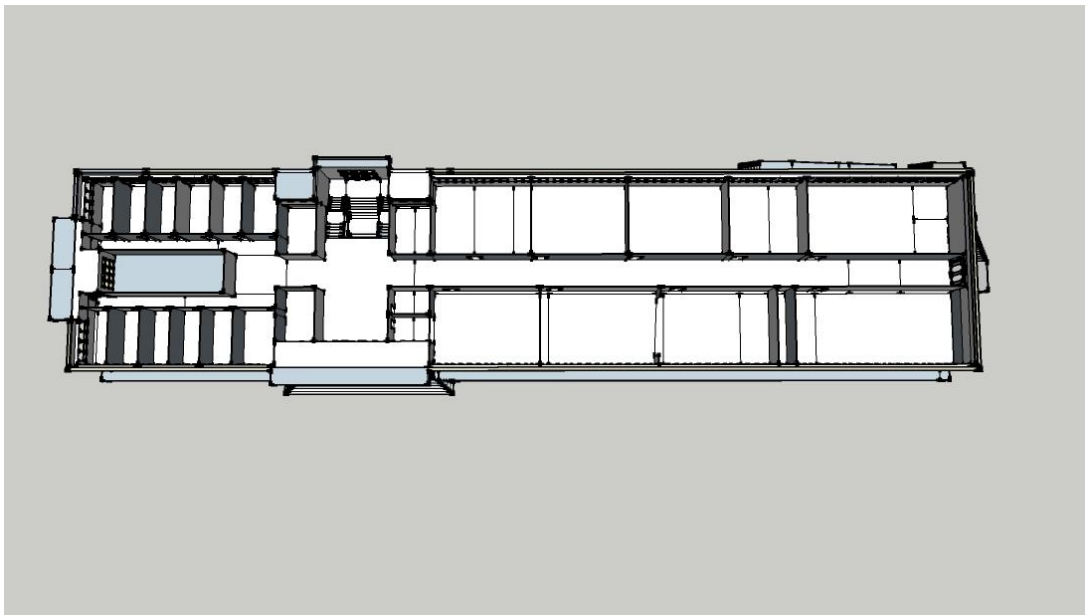


Figura 48 Vista en planta de la segunda planta modelada en su interior

Por último para se modelaron por separado las cuatro aulas. En un primer lugar se modelaron con mobiliario pero finalmente se decidió quitar ya que el software DIALux ofrece mayor calidad en ese aspecto. A continuación se muestran los resultados de la modelación de estas aulas.

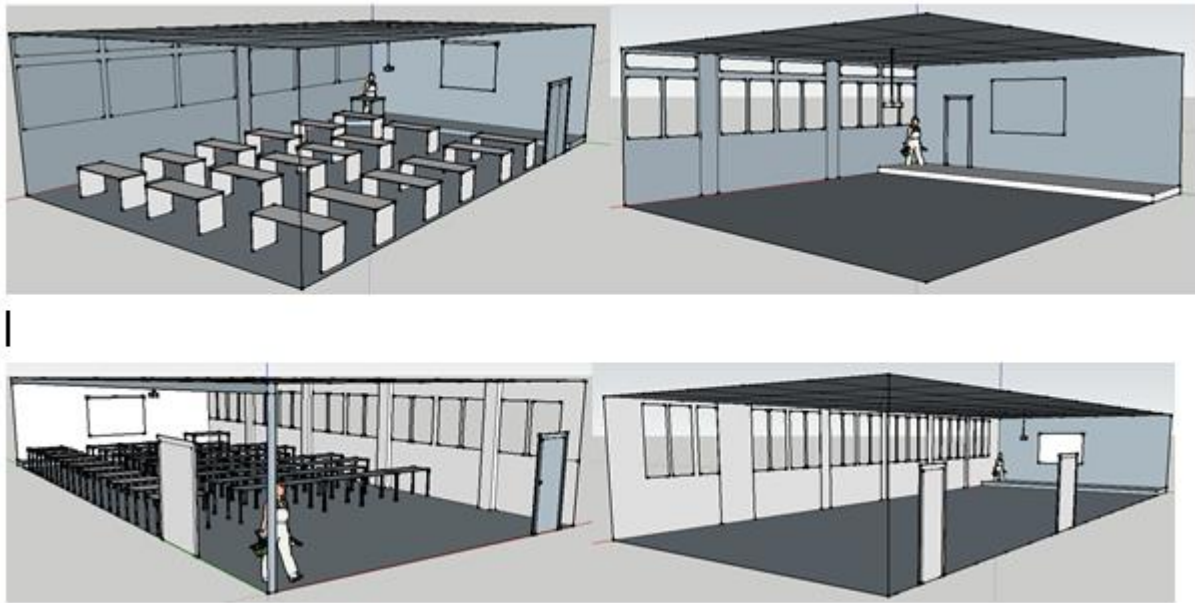


Figura 49 Resultados de la modelización de las cuatro aulas

4.3 Resultados en Ecotect

A continuación vamos a analizar los resultados de la simulación de sombras sobre el Edificio del Isaac Peral. Como se ha comentado anteriormente son dos edificios y el Patrullero los que pueden generar sombras sobre el edificio. Los vamos a analizar uno a uno.

En primer lugar gracias a la orientación de los dos edificios, el Isaac Peral y el situado al más al norte, este nunca generará sombra que afecte al Isaac Peral en ningún momento del año, ya que el sol sale por el Este y se pone por el Oeste.

En las siguientes fotos se puede ver la simulación de la sombra en dos fechas, la de la izquierda en el momento cuando los días duran menos y por tanto el sol está más bajo, en enero, y la segunda, la de la derecha cuando el sol está más alto y en ninguno de los dos casos la sombra del edificio afecta al Isaac Peral ya que este se encuentra más al Norte.

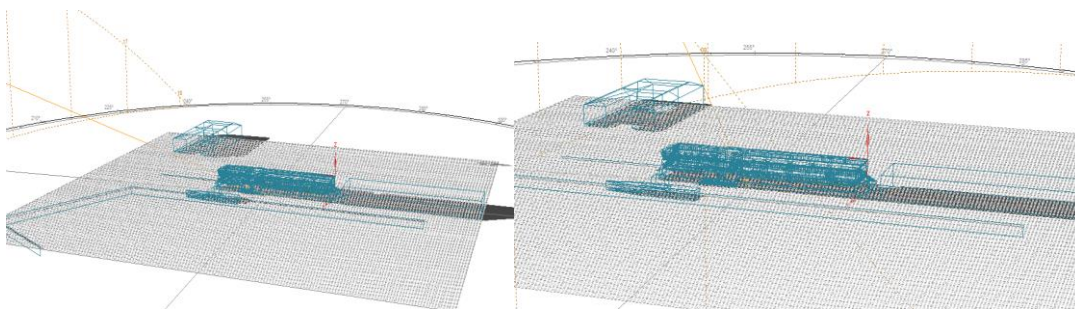


Figura 50 Sombra generada el 1 de Enero y el 1 de Junio

A continuación pasamos a analizar la sombra que genera el cuartel Francisco Moreno. Al estar situado al oeste del edificio, la sombra afectará en el momento del atardecer y sobre todo en los días de invierno. En las imágenes a continuación se puede ver como la sombra llega al Isaac Peral en el

momento del atardecer el 1 de Enero (derecha) y el 1 de Febrero (izquierda), afectando a las aulas situadas en la primera planta en la parte suroeste y a los seminarios de la segunda planta.

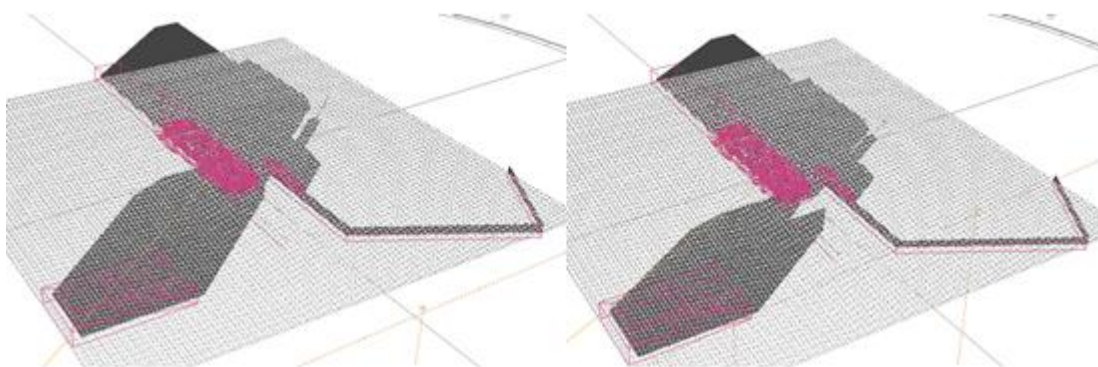


Figura 51 Edificio Isaac Peral afectado por la sombra del Cuartel Francisco Moreno

A partir de Marzo la sombra ya no afecta al edificio tal y como se muestra a continuación.

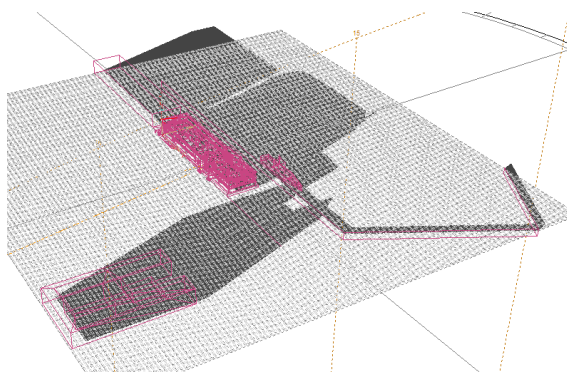


Figura 52 Edificio Isaac Peral cuando la sombra del Cuartel ya no le afecta

A partir de Noviembre cuando los días vuelven a hacerse más cortos la sombra vuelve a afectar a la misma zona del edificio anteriormente comentada. En la siguiente imagen se ve la sombra generada el día 1 de Noviembre en el momento del atardecer.

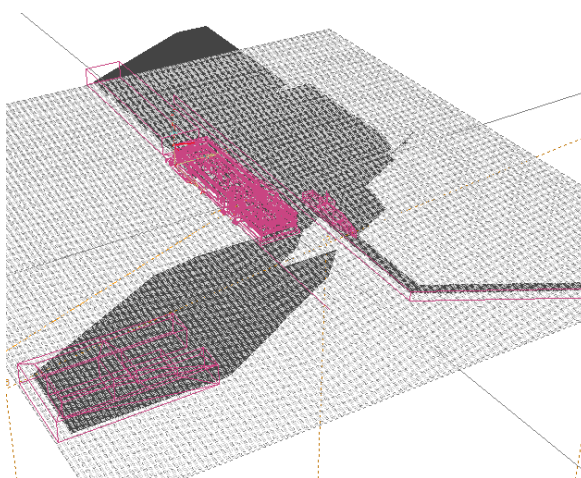


Figura 53 Edificio Isaac Peral cuando la sombra del Cuartel vuelve a afectar

Por último vamos a analizar la sombra que genera el Patrullero Tabarca sobre el Isaac Peral. Este Patrullero, como se ha comentado anteriormente, se encuentra atracado al Este del edificio, por tanto mientras que el Cuartel Francisco Moreno afectaba sobre todo en el momento del atardecer, el Patrullero por su parte generará sombra sobre el edificio sobre todo al amanecer. A continuación se muestran cuatro imágenes simuladas en los días uno de los meses Enero, Abril, Julio y Octubre, al momento del amanecer, donde se puede observar que la zona más afectada del edificio por la sombra del Isaac Peral son la parte de la entrada principal y la zona del sudeste, es decir, los laboratorios que se encuentran en la planta baja y los seminarios de la segunda planta.

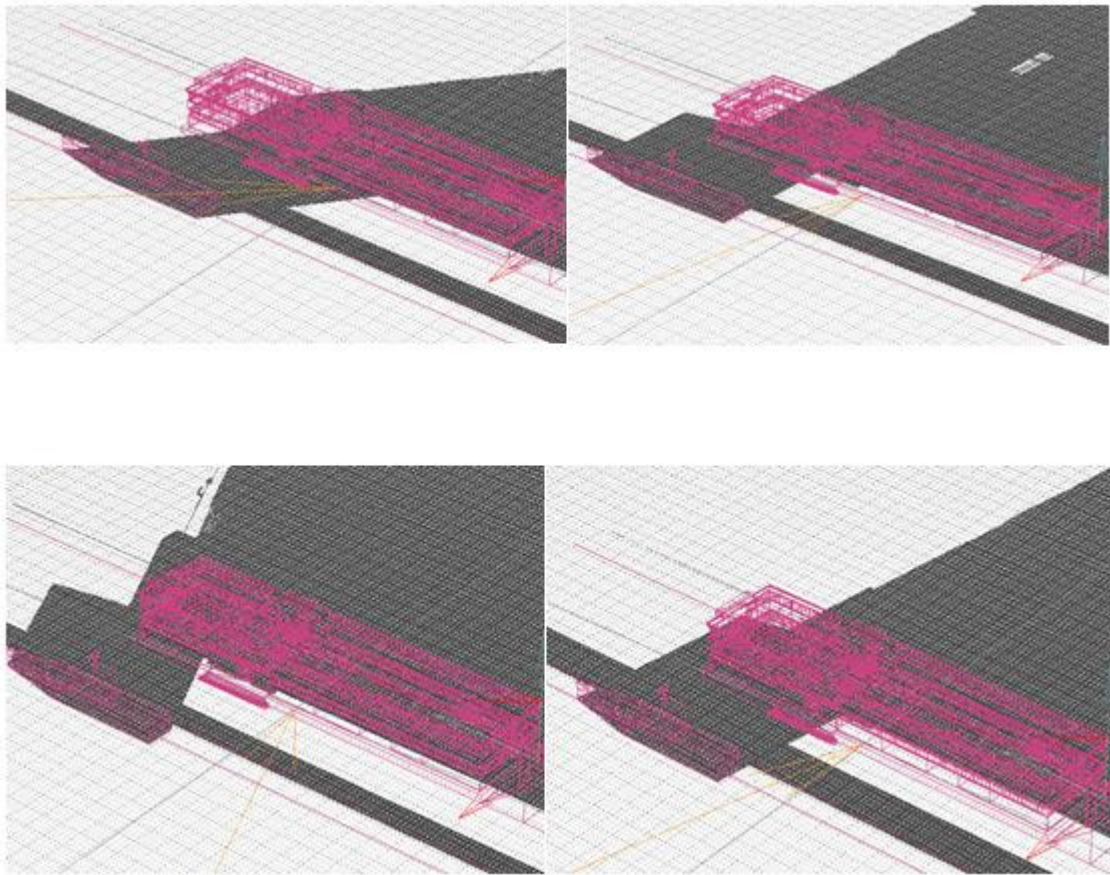


Figura 54 Edificio Isaac Peral afectado por la sombra generada por el Patrullero Tabarca

4.4 Resultados en DIALux

Como sea comentado anteriormente lo primero era modelar las aulas con mobiliario una vez después de haberlas importado. En las siguientes imágenes se pueden observar las cuatro aulas importadas, modeladas y con el mobiliario añadido.

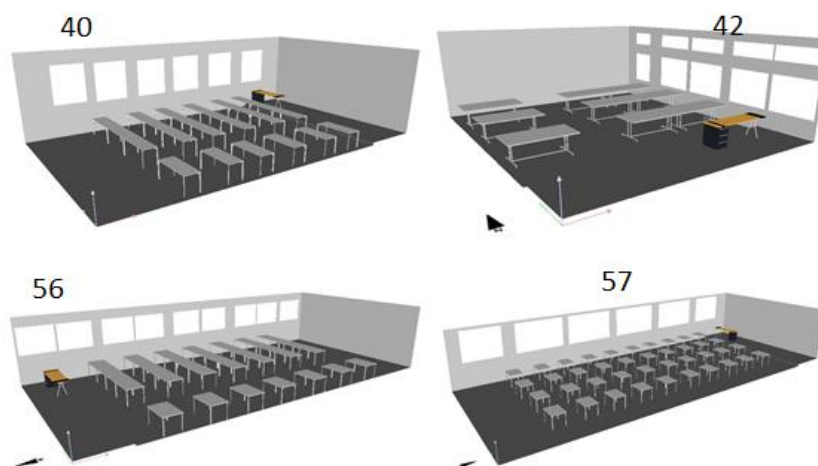


Figura 55 Modelado de las cuatro aulas en DIALux

A continuación pasamos a analizar las simulaciones de cada aula cuando estas se encuentran solo con luz artificial.

En la siguiente tabla, se puede ver los cálculos realizados por la simulación, y más en concreto se muestra la iluminancia media en las distintas superficies.

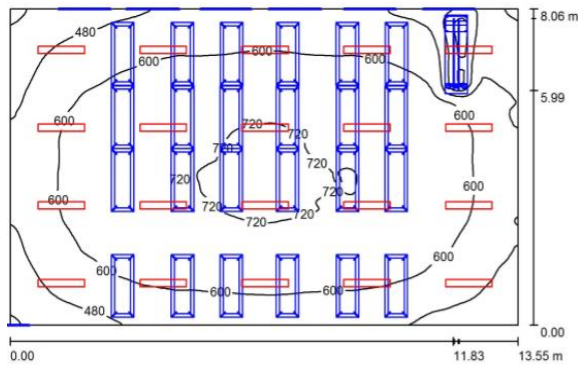
Superficie	Aula 40	Aula 42	Aula 56	Aula 57
Plano útil	597	866	944	623
Suelo	396	538	614	465
Techo	159	228	232	146
Paredes (4)	375	531	539	376

Tabla 5 Iluminancia media en las distintas aulas

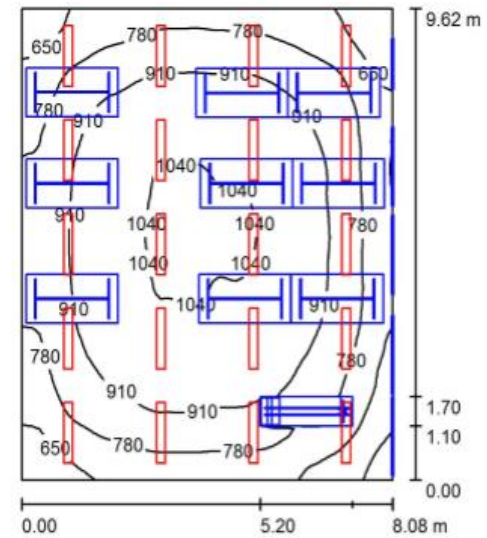
Según la Norma UNE EN ISO 12464, para que un aula se pueda utilizar para impartir clases, debe estar la media de la iluminancia en el plano útil, por encima de 500 luxes. En el caso de las cuatro aulas, todas se muestran por encima de este parámetro, sin embargo para que un aula sea apta para realizarse en ella un examen, es necesario que la iluminancia sea superior a 1000 luxes en el plano útil. Por tanto y según los resultados obtenidos en la simulación, ninguna de las cuatro aulas debería usarse para la realización de pruebas.

En la siguiente tabla podemos ver gráficas de las aulas con líneas isoluminiscenses que nos confirman los datos anteriormente comentados.

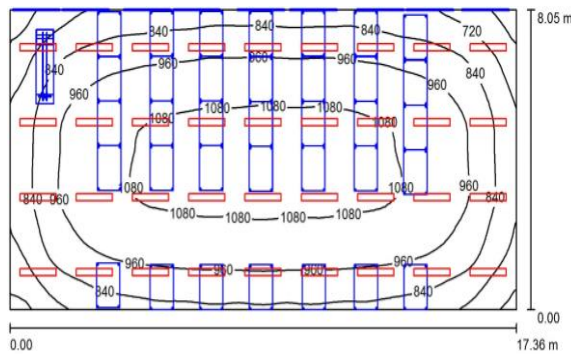
AULA 40



AULA 42



AULA 56



AULA 57

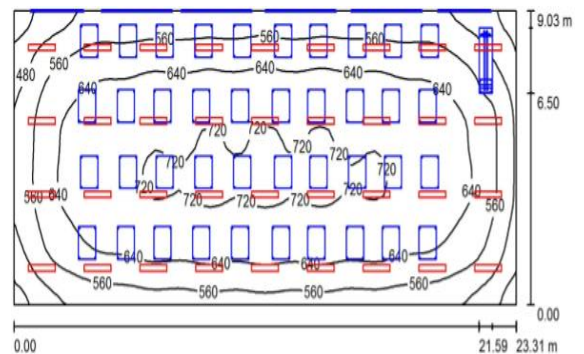


Figura 56 Iluminancia media en las distintas aulas en gráficos

A continuación, estudiaremos la influencia que tiene la luz natural sobre las aulas. Para poder llevar a cabo esta simulación, tendremos que haber medido anteriormente en el programa la posición GPS del edificio con la máxima exactitud, que el programa nos permite, en este caso la longitud es de 42,40°E y la latitud 8,70°S, y también habrá que introducir la orientación de cada edificio.

Para llevar a cabo la simulación lo más exacta posible, se realizaron una medida en cada una de las estaciones exceptuando verano ya que es un periodo no lectivo. Además en cada uno de estos tres días, se tomaron también medidas a dos horas distintas. De esta manera podemos observar cómo afecta de una manera u otra a un aula, cuando el sol incide directamente sobre las ventanas o cuando, por el contrario, el sol se encuentra por la otra cara. También habrá que tener en cuenta que estos datos han sido simulados suponiendo el cielo despejado, así que en todo caso, siempre serán más reducidos los valores

En la siguiente tabla se muestran otra vez los niveles de intensidad lumínica medida en el plano útil, expresado en luxes para cada aula en todas las medidas tomadas.

Aula 40	Directa	Indirecta	Total
01/02 11:00	402	75	476
01/05 11:00	376	70	446
01/10 11:00	409	76	485
01/02 16:30	61	11	73
01/05 16:30	53	10	63
01/10 16:30	61	11	73

Tabla 6 Iluminancia media directa, indirecta y total en las distintas épocas del año del aula 40

Aula 42	Directa	Indirecta	Total
01/02 11:00	383	68	451
01/05 11:00	468	833	551
01/10 11:00	454	81	535
01/02 16:30	0	0	0
01/05 16:30	107	19	126
01/10 16:30	71	13	83

Tabla 7 Iluminancia media directa, indirecta y total en las distintas épocas del año del aula 42

Aula 56	Directa	Indirecta	Total
01/02 11:00	373	78	451
01/05 11:00	376	78	454
01/10 11:00	409	85	494
01/02 16:30	14	3	17
01/05 16:30	53	11	64
01/10 16:30	61	13	74

Tabla 8 Iluminancia media directa, indirecta y total en las distintas épocas del año del aula 56

Aula 57	Directa	Indirecta	Total
01/02 11:00	512	95	607
01/05 11:00	480	89	569
01/10 11:00	522	96	618
01/02 16:30	18	4	22
01/05 16:30	67	12	80
01/10 16:30	78	14	93

Tabla 9 Iluminancia media directa, indirecta y total en las distintas épocas del año del aula 57

En amarillo se pueden observar los valores que se encuentran por debajo del límite establecido por la norma. Tal y como cabía esperar, los resultados muestran que cuando el sol se encuentra al otro lado de donde están orientadas las ventanas, la intensidad lumínica es muy baja y está muy lejos de poderse utilizar sin luz artificial. También se puede observar que dos de las cuatro aulas, las dos que se encuentran en la cara oeste del edificio, no se pueden usar en ningún momento del año con luz natural únicamente y que cumplan lo requerido por la Norma. No obstante, las dos aulas que se encuentran en la cara este sí que se podrían usar sin influencia de luz artificial, durante todo el año lectivo, siempre y cuando el sol se encuentre por el este.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

La iluminación ejerce un papel fundamental en el desarrollo de actividades sociales, industriales y educativas. No sólo influye en la sostenibilidad de los edificios, sino que aún más importante es el efecto que genera sobre nuestro confort y bienestar. Para un mayor aprovechamiento de la iluminación natural, es preciso una planificación cuidadosa durante el diseño del edificio.

En este contexto, y tras realizar las distintas simulaciones, podemos decir que el edificio Isaac Peral de la escuela Naval Militar, es clave en la formación de los futuros oficiales de la armada con un gran número de aulas, laboratorios y algunas aulas de informática, tiene la mejor forma y orientación que podría tener para el máximo aprovechamiento de la luz natural. Desde el momento que sale el sol hasta el momento en el que se pone una de las dos caras de este edificio se encuentra iluminada.

Los edificios que se encuentran en las inmediaciones del Isaac Peral y podrían generar sombras en algunas clases tienen un efecto mínimo, tanto el cuartel Francisco Moreno, como Patrullero Tabarca.

Sin embargo es uno de los edificios peor aprovechados. En el momento en que se tomaron los primeros escaneos del edificio en el exterior casi un 80% de las persianas se encontraban bajadas. Cuando se escaneó el interior en una fecha distinta, se comprobó que la mayoría de las persianas no se habían movido en todo ese tiempo.

Si bien hemos visto en las simulaciones que hay algunas aulas que no se podrían usar solo bajo la influencia de la luz natural, no es necesario utilizar toda la iluminación artificial del aula para cumplir lo mínimo establecido. Es importante desde nuestro punto de vista concienciar a los usuarios del edificio, no solo de cara a la eficiencia energética, sino también pensando en su propio bienestar y en las ventajas que tiene usar la luz natural y los inconvenientes que la influencia prolongada de la luz artificial podría tener.

La propuesta para poder realizar un ahorro energético sería utilizar las aulas de la cara don de el sol incide directamente para impartir clases. De esa manera las clases se darían en el ala este por la mañana y en el ala oeste por la tarde, evitando us de luz innecesario.

En lo referente al tratamiento de los datos mediante técnicas de análisis espacial, como es el Láser Escáner, estimamos que los resultados han sido muy satisfactorios en cuanto a la precisión de los modelos digitales que se han modelado a partir de las distintas nubes de puntos. El nivel de detalle ha permitido modelar las aulas con gran precisión.

En este estudio, se ha utilizado la geometría real “as-built” de los elementos del edificio, en lugar de las dimensiones de diseño, , permitiendo así la evaluación y el estudio más realista y preciso del

análisis de luz solar. Lo que es más importante, la orientación y ubicación del edificio han permitido realizar un análisis del comportamiento espacio-temporal de la luz natural en el interior de 4 aulas, a lo largo del día y en distintas épocas del año. Por tanto, la posibilidad de estudiar el estado real de un edificio existente ha hecho posible mejorar el diagnóstico de un posible proceso de iluminación.

5.2 Líneas Futuras

Uno de los principales métodos para conseguir una alta eficiencia energética es ser capaz de prescindir de la luz artificial en el interior de los edificios cuando la luz natural es suficiente para trabajar siguiendo las normas estipuladas en función de la actividad que se desarrolle dentro del mismo. Por tanto uno de los objetivos principales debería ser establecer un sistema de control de alumbrado artificial en respuesta a la natural. Con este tipo de sistemas conseguiríamos:

- Ahorro de energía: reduciendo el flujo cuando la luz natural es suficiente, disminuyendo los niveles iniciales de iluminaciones en nuevas edificaciones donde siempre están sobredimensionadas en torno a un 15% [12] y reduciendo la carga de refrigeración ya que se producirá menos calor como consecuencia de la potencia consumida en los componentes de la instalación de la iluminación.
- Economía de costes: aunque sí que es verdad que con los bajos precios actuales de energía el tiempo de amortización puede verse a largo plazo.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] U.S. Choi, R. Johnson, S. Selkowitz, The impact of daylighting on peak electrical demand, *Energy and Buildings* 6 (4) (1984) 387–399.
- [2] D.H.W Li, A review of daylight illuminance determinations and energy implications, *Applied Energy* 87 (2010) 2109–2118.
- [3] TESS Component Libraries-General Descriptions. Available in:[http://www.trnsys.com/tess-libraries/TESSLibs17 General Descriptions.pdf](http://www.trnsys.com/tess-libraries/TESSLibs17%20General%20Descriptions.pdf). Last access: 12/02/2016.
- [4] D.W.T. To, Total energy performance of atria with daylight, *Transactions HongKong Institute Engineering* 13 (2) (2006) 24–30.
- [5] I. Pyonchan, N. Abderrezek, K. Moncef, Estimation of lighting energy savings from daylighting, *Building and Environment* 44 (2009) 509–514.
- [6] M.C. Singh, S.N. Garg, Illuminance estimation and daylighting energy savings for Indian regions, *Renewable Energy* 35 (2010) 703–711.
- [7] K. Konis, Evaluating daylighting effectiveness and occupant visual comfort in a side-lit open-plan office building in San Francisco, California, *Building and Environment* 59 (2013) 662–677.
- [8] A.D. Galasiu, J.A. Veitch, Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: a literature review, *Energy and Buildings* 38 (7) (2006) 728–742.
- [9] L. Heschong, R.L. Wright, S. Okura, Daylighting impacts on human performance in school, *Journal Illuminating Engineering Society* 41 (2002) 101–114.
- [10] C. Cencerrado. Análisis bajo criterios energéticos y sostenibles de un centro docente en las Franqueses Del Vallès. Trabajo de Fin de Master. Publicación 2015.
- [11] Y. Lim, M.Z. Kandar, M.H. Ahmad, D.R. Ossen, A.M. Abdullah, Building façade design for daylighting quality in typical government office building, *Building and Environment* 57 (2002) 194–204.
- [12] F. Asdrubali, G. Baldinelli, Theoretical modelling and experimental evaluation of the optical properties of glazing systems with selective films, *Building Simulation* 2 (2) (2009) 75–84.
- [13] IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) Guía técnica para el aprovechamiento de luz natural en la iluminación de edificios. Publicación en 2005.

- [14] I. García-Gómez, M. Fernández de Gorostiza y A. Mesanza. Láser escáner y nubes de puntos. Un horizonte aplicado al análisis arqueológico de los edificios. Publicación 2011
- [15] Chikofsky, EJ, Cross J.H. Reverse Engineering and Design Recovery: A Taxonomy. IEEE Software 7(1) 66-71
- [16] Riveiro B, Validation of non-destructive geomatic techniques for dimensional and structural evaluation of historical masonry structures. Universidade de Vigo. 2010
- [17] Puente I, Gonzale-Jorge, H, Martinez-Sanchez J, Arias P. *Review of mapping and surveying technologies*. Measurement 46 (2013) 2127-2145
- [18] Vosselman, G, Hans-Gerd M. Airbone and terrestrial laser scanning. CRC Press. USA. 2010
- [19] Park H.S, Lee H.M. *A new approach for Health Monitoring of Structures: Terrestrial Laser Scanning*. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 22 (2007) 19-30
- [20] Armesto J, Roca-Pardiñas J, Lorenzo H, Arias P, *Modelling arches shape using terrestrial laser scanning data and nonparametric methods*. Engineering Structures 32 (2010) 607-615
- [21] Guidi G, Beraldin A, Atzeni C. High –accuracy 3d modeling of cultural heritage: the digitizing of Donatello’s Maddalena. IEEE Trans Image Process 13 (2004) 370-80

7 ANEXO I



TMS028 – funcional y flexible

TMS028

TMS028 es una luminaria industrial para 1 ó 2 lámparas fluorescentes TL-D, con reflector incluido para iluminación general. Admite montaje suspendido o adosado. Óptica de lamas, tapas finales y piezas de unión en línea disponibles como accesorios.

Beneficios

- Luminaria industrial, funcional y flexible para 1 o 2 lámparas fluorescentes TL-D, con reflector incluido para iluminación general.
- Admite montaje suspendido o adosado
- Óptica de lamas, tapas finales y piezas de unión en línea disponibles como accesorios

Características

- Para 1 o 2 lámparas fluorescentes TL-D
- Sistema óptico para iluminación general
- Rejilla de lamas, tapas de acabado y acopladores en línea disponibles como accesorios
- Bloque de contactos reposicionable

Aplicaciones

- Tiendas
- Industria

Especificaciones

• Tipo	TMS028
• Tipo de lámpara	Fluorescente: - 1 ó 2 MASTER TL-D / G13 / 36, 58 W
• Lámpara incluida	No
• Equipo	- Electrónico, 220 - 240 V / 50 - 60 Hz: (HFP-HFS)
• Óptica	Lama blanca
• Conexión eléctrica	Conector Push-in
• Opción	Cableado pasante: 1 fase (TW1)
• Material	Carcasa: acero lacado, blanco Óptica: aluminio o acero lacado, blanco

• Instalación	Individual; atornillado o en suspensión de cadenas o varillas roscadas. Posibilidad de recolocación de la regleta de conexiones (versión de 2 lámparas).
• Accesorios	Optica de lamas, pieza de unión, tapas finales
• Aplicaciones principales	Tiendas, industria

Productos relacionados

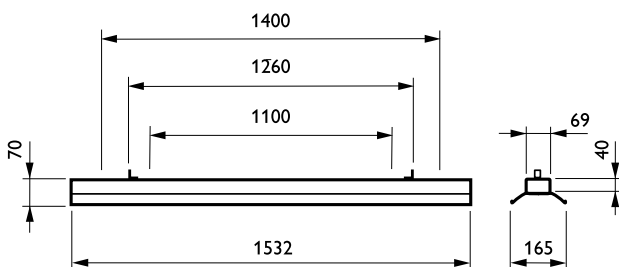
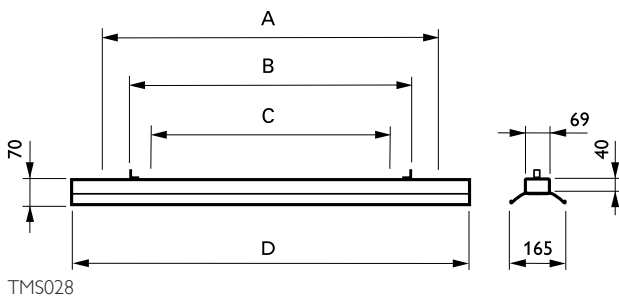


Regleta TMS028 con reflector blanco para 2 lámparas fluorescentes TL-D



Regleta TMS028 con reflector blanco para 1 lámpara fluorescente TL-D

Plano de dimensiones



TMS028

Product

TMS028 1xTL-D58W HF

TMS028 2xTL-D36W HF

TMS028 1xTL-D36W HFS

TMS028 1xTL-D58W HFS

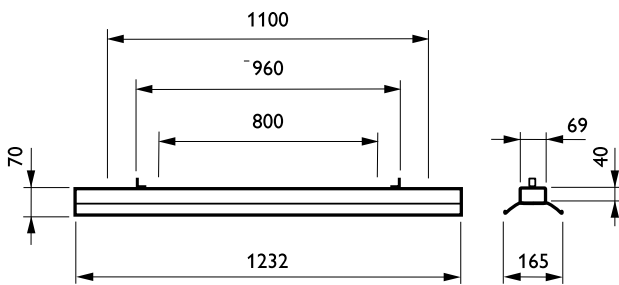
TMS028 2xTL-D58W HFS

TMS028 1xTL-D36W HF

TMS028 2xTL-D36W HFS

TMS028 2xTL-D58W HF

Plano de dimensiones



General Information (1/2)

order code	CE mark	Protection class IEC	Compensation circuit	ENEC mark	Flammability mark	Gear	Glow-wire test	Lamp family code	Lamp power	Number of light sources
910402217103	Marcado CE	CLII (I)	No	Marcado ENEC	F	HFS	850/5	TL-D	36	2
910402217203	Marcado CE	CLII (I)	No	Marcado ENEC	F	HFS	850/5	TL-D	58	2
04495600	Marcado CE	CLII (I)	No	Marcado ENEC	F	HF	850/5	TL-D	36	2
04497000	Marcado CE	CLII (I)	No	Marcado ENEC	F	HF	850/5	TL-D	58	2
910402217503	Marcado CE	CLII (I)	No	Marcado ENEC	F	HFS	850/5	TL-D	36	1
910925850303	Marcado CE	CLII (I)	No	Marcado ENEC	F	HF	850/5	TL-D	36	1
04496300	Marcado CE	CLII (I)	No	Marcado ENEC	F	HF	850/5	TL-D	58	1

General Information (2/2)

order code	Optic accessory type	Product Family Code	Suspension accessories
910402217103	No	TMS028	No
910402217203	No	TMS028	No
04495600	No	TMS028	No
04497000	No	TMS028	No
910402217503	No	TMS028	No
910925850303	No	TMS028	No
04496300	No	TMS028	No

order code	Input Voltage
910402217503	220-240
910925850303	220-240
04496300	220-240

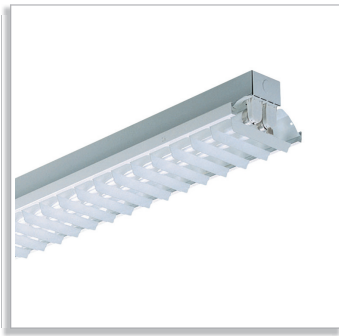
Approval and Application

order code	Ingress protection code
910402217103	IP20
910402217203	IP20
04495600	IP20
04497000	IP20
910402217503	IP20
910925850303	IP20
04496300	IP20

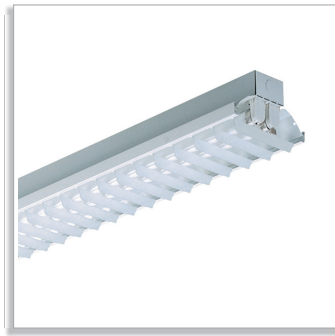
Operating and Electrical

order code	Input Voltage
910402217103	220-240
910402217203	220-240
04495600	220-240
04497000	220-240

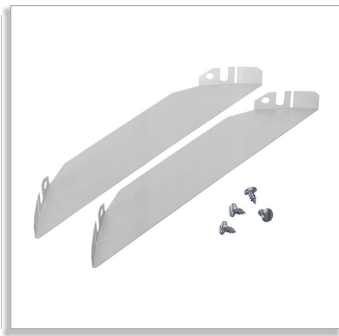
Accesorios

**GMS028 1/2 36 L**

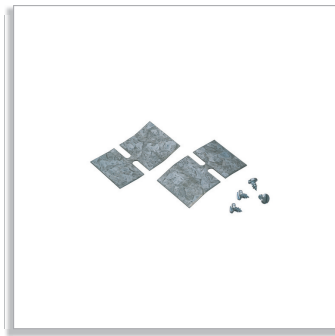
TMS028 con rejilla de lamas blancas
GMS028 L.

**GMS028 1/2 58 L**

TMS028 con rejilla de lamas blancas
GMS028 L.

**ZMS028 EP (2PCS)**

Conjunto de tapas finales / blanco

**ZMS028 CP (2PCS)**

Conjunto de placas de unión

Accesorios

order code	Descripción	
910400627918	GMS028 1/2 36 L	Lama de rejillas
910400628018	GMS028 1/2 58 L	Lama de rejillas

order code	Descripción	
910400628118	ZMS028 EP (2PCS)	Final de pieza
20828299	ZMS028 CP (2PCS)	Pieza de unión



© 2015 Philips Lighting Holding B.V.
Todos los derechos reservados.

Las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso. Las marcas registradas son propiedad de Koninklijke Philips N.V. (Royal Philips) o de sus respectivos propietarios.

www.philips.com/lighting

2015, Diciembre 23
Datos sujetos a cambios