



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL  
DISEÑO**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Curso 2021/2022

**TRABAJO DE FIN DE GRADO:**

ESTUDIO Y DESARROLLO DE ILUMINACIÓN AUTÓNOMA PARA  
UN TROCAR QUIRÚRGICO DESECHABLE.

**DOCUMENTO 1. MEMORIA**

**AUTOR:** Jesús Rosal Alexandre

**TUTOR:** Dr. Enrique Berjano Zanón

**COTUTORA EXTERNA:** Dra. Ana González Suárez

# Índice

## Documento 1. Memoria

RESUMEN.....	3
1. Introducción.....	3
2. Objetivo.....	6
3. Estado del arte .....	6
4. Especificaciones .....	8
5. Posibles soluciones conceptuales .....	9
5.1 Solución 1: Ubicar LEDs en forma de anillo en el extremo del trócar .....	9
5.2 Solución 2: Ubicar LEDs en la parte superior del trócar y usar la reflexión de la luz a través de la pared del trocar.....	10
5.3 Solución 3: Integración de fibra óptica en las paredes del trócar.....	10
6. Cámara oscura para pruebas de banco.....	11
7. Pruebas preliminares con LEDs ‘reciclados’.....	13
7.1 Pruebas de laboratorio con LEDs ‘reciclados’ .....	14
7.2 Pruebas de campo con LEDs ‘reciclados’ .....	19
8. Solución técnica propuesta .....	23
9. Conclusiones .....	35
10. Referencias.....	36

## Documento 2. Planos

1. Plano de cámara oscura.....	38
--------------------------------	----

## Documento 3. Pliego de condiciones

1. Objeto.....	40
2. Lista de materiales .....	40
3. Prueba de servicio .....	40
3.1 Funcionamiento de los LEDs.....	40

## Documento 4. Presupuesto

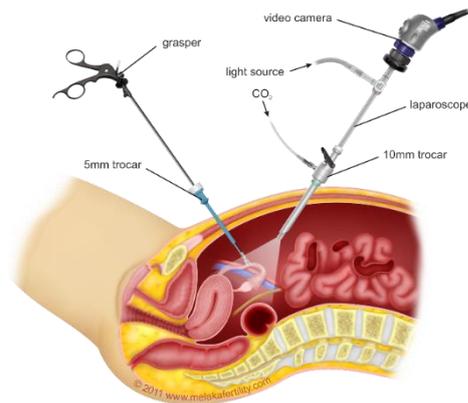
## **RESUMEN**

Los trocares quirúrgicos son dispositivos médicos destinados a dar un acceso mínimamente invasivo a la cavidad peritoneal durante la cirugía laparoscópica. Hasta la fecha ninguno de ellos posee capacidad de iluminar dicha cavidad, sino que la iluminación se logra introduciendo una fuente de luz externa proveniente de un equipo específico. Este TFG tiene los siguientes objetivos: 1) estudiar las necesidades lumínicas para el campo quirúrgico, y 2) proponer diferentes soluciones técnicas para dotar a un trocar desechable de iluminación autónoma basada en una batería que se alojaría en la cabeza del trocar (fuera del paciente) y de una o varias fuentes de luz basadas en LEDs que se alojarían en la parte distal (dentro de la cavidad del paciente).

### **1. Introducción**

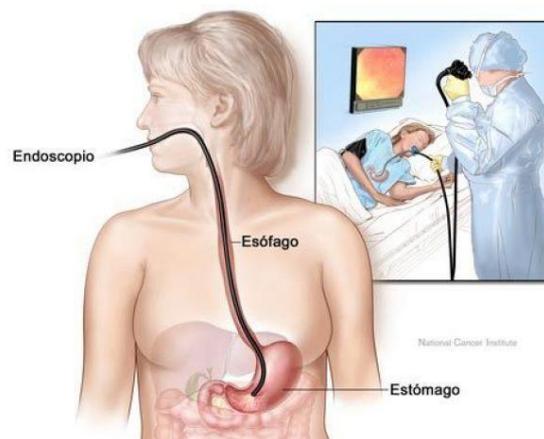
La laparoscopia es una técnica quirúrgica que permite observar el interior de la zona abdominal a través de una pequeña incisión en la pared abdominal (ver Figura 1). A través de estas incisiones se introducen trocares quirúrgicos. Estos dispositivos se usan como medio de introducción de cámaras y material quirúrgico necesario en la operación. Durante el proceso quirúrgico, se introduce en el abdomen un laparoscopio, que es un tubo que contiene un sistema óptico acoplado a una fuente de luz. De esta forma, se puede inspeccionar a través de un monitor el interior de la pared torácica. La laparoscopia pertenece a las denominadas cirugías mínimamente invasivas. Por ello permite que la estancia en el hospital por parte del paciente sea más corta, tenga una recuperación más rápida, padezca menos dolor y tenga cicatrices más pequeñas que con la cirugía tradicional. Aunque sea una técnica quirúrgica, la laparoscopia puede usarse para diagnosticar tumores, obstrucciones, infecciones y sangrado sin motivo aparente. En el caso de las mujeres, esta técnica se usa para diagnosticar y tratar fibromas, quistes ováricos, endometriosis, hacer una ligadura de trompas, hacer una histerectomía, etc. A pesar de una correcta técnica quirúrgica, pueden presentarse complicaciones. Pueden producirse enfisema subcutáneo, neumotórax y trombosis a nivel de las extremidades

entre otras. Estas complicaciones se resuelven generalmente con tratamiento médico, aunque puede que en algunos casos se requiera una intervención. Para la realización de este tipo de cirugía sólo se requieren 3 o 4 pequeñas incisiones a través de las cuales se introducen trocares con diámetros de 0.5 a 1 cm, en lugar de las incisiones de hasta 15-20 cm que se realizan con la cirugía abierta (laparotomía). Además, no requiere ninguna preparación especial, más allá de los estudios preoperatorios.



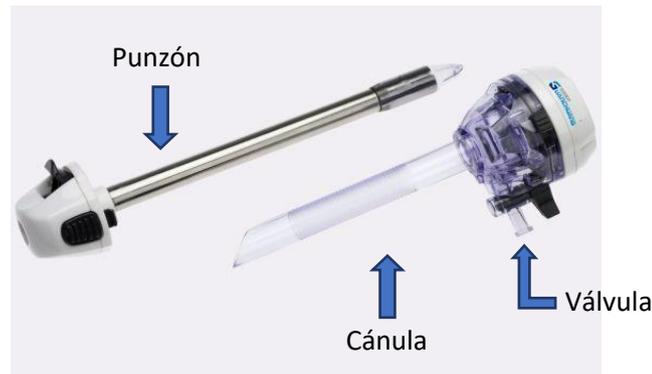
**Figura 1.** Procedimiento laparoscópico (tomado de [1]).

Existe también otra técnica llamada endoscopia, la cual consiste en la introducción de una cámara con su correspondiente fuente de luz a través de un orificio natural del cuerpo humano (ver Figura 2). A diferencia de la laparoscopia, en la endoscopia no se realiza ninguna incisión y es una técnica habitualmente diagnóstica.



**Figura 2.** Ilustración de una endoscopia superior (tomado de [2]).

Para poder llevar a cabo una laparoscopia es necesario el uso de trocares quirúrgicos. Estos trocares pueden ser desechables o no. La Figura 3 muestra un trocar desechable, que es un instrumento que consta de dos partes: un punzón y una cánula de plástico. El punzón es la parte metálica del trocar y va acoplado junto con la cánula mediante unas pestañas de plástico situados en la parte superior del punzón.



**Figura 3.** Partes de un trocar desechable

La cánula cuenta con una válvula por la que se introduce el dióxido de carbono en la cavidad del paciente, para crear un espacio de trabajo quirúrgico y facilitar la operación. Además, los trocares se caracterizan por el diámetro de incisión y el tipo de punta, que puede ser redonda (ver Figura 4) o de hoja (ver Figura 5), aunque algunos modelos pueden contar con balón, puerto de insuflación o vaina. Las dimensiones de incisión de los trocares laparoscópicos se encuentran en el rango entre 3 y 15 mm.



**Figura 4.** Trocar con punta redonda.



**Figura 5.** Trocar con punta de hoja.

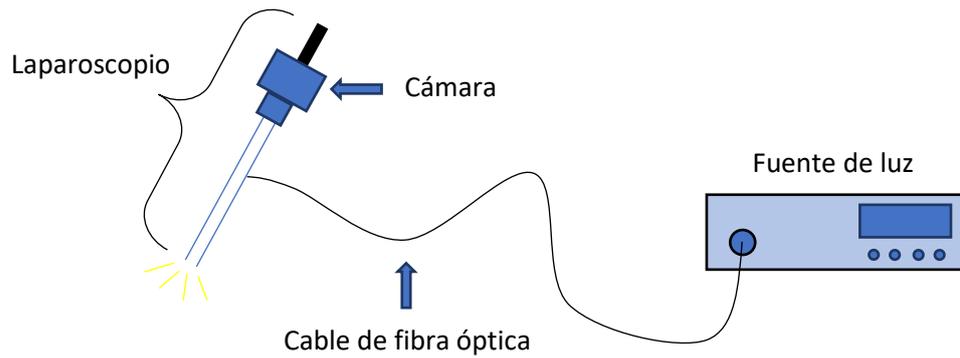
Tanto la laparoscopia como la endoscopia son técnicas que requieren una iluminación de las cavidades interiores. Esta iluminación se realiza a través de una fuente de luz externa a la que se le conecta un cable de fibra óptica el cual va unido junto con la cámara. Durante las operaciones realizadas mediante laparoscopia, la única fuente de luz es la que va incorporada a la cámara a través de un trocar, y en ocasiones se pueden producir sombras que pueden dificultar la operación, por lo que sería deseable contar con una fuente de luz complementaria, por ejemplo, disponible en cada uno de los trocates. Esta es la motivación del presente proyecto.

## **2. Objetivo**

El objetivo principal de este proyecto es explorar la posibilidad de dotar a un trocar quirúrgico desechable de una fuente de luz de tipo LED basado en una batería. Dicha batería quedaría ubicada en la cabeza del trocar (fuera del paciente) y la fuente o fuentes de luz irían ubicadas en la parte distal del trocar (dentro del paciente). Esta luz autónoma actuaría como una fuente de luz complementaria a la fuente de luz principal. Por lo tanto, esta nueva fuente de luz tendrá características distintas en términos de luminancia y potencia.

## **3. Estado del arte**

Para poder implementar una luz complementaria es necesario conocer el tipo y características de luz que se usan en laparoscopia y también en endoscopia, al tratarse de procesos similares en cuestión de iluminación. El proceso por el cual se consigue que el laparoscopio pueda tener luz es el siguiente. A través de una fuente luz se conecta a la salida de dicha fuente un cable de fibra óptica, el cuál irá acoplado al laparoscopio (ver Figura 6).



**Figura 6.** Elementos necesarios en el proceso de iluminación en laparoscopia.

El tipo de luces más comunes son las basadas en LED y xenón, aunque también existen luces de tipo láser y halógenos, aunque son menos frecuentes. La mayoría de las fuentes de luz cuentan con un regulador que permite subir o bajar la intensidad de la luz dependiendo de las necesidades. Respecto a las características de la luz, se puede afirmar que todas las fuentes de luz usadas en laparoscopia emiten una luz fría (6000 – 7000 K) aunque hay modelos que permiten alternar entre luz fría y luz cálida. Además, todas las fuentes de luz cuentan con un protector térmico en el bulbo para evitar dañar al paciente. Por último, se estima que la iluminancia usada en estos aparatos ronda los 50.000 lux. Esta iluminancia correspondería con la luz que produciría el sol en un día normal. La Tabla 1 muestra una comparativa entre distintas fuentes de luz que se usan en esta clase de procedimientos.

**Tabla 1.** Comparativa de fuentes de luz usadas en laparoscopia.

Marca	Modelo	Tipo de luz	Potencia	Temperatura del color (K)	Imagen del producto
 WISAP medical technology	7720 L300	Combinación entre láser y LED	300 W	6000 – 6500	
 WISAP medical technology	7720 X3	Xenón y halógena	300 W / 150 W	6000	
 Euroclinic MediCareSolutions	ED300	LED	--	5500	
 ESC MEDICAMS	ESC – 120W	LED	120 W	5700 – 6500	
 ELEPS ENDOSCOPES	OSV - 03	LED	--	6500	
 bob Technika Swiatlowodowa®	BOB ROM 150	LED	--	3000 / 6000	
 M.I one	Insight-IL	Xenón	--	6500	

#### 4. Especificaciones

Se requiere que la cánula del trocar posea una luz independiente de la luz principal y que actúe como luz secundaria, por lo que la luminancia requerida será en principio muy inferior al orden de kiloluxes. El lugar donde deberá ir la iluminación es la parte de la cánula que se encuentra dentro de la cavidad abdominal del paciente. También se requiere que el coste de los componentes electrónicos añadidos al trocar no exceda los 10 €, pues el precio de venta de un trocar simple ronda los 30 € y el de uno sofisticado los 150-200 €, por lo que el coste de fabricación del nuevo trocar no debería sobrepasar los 30-40 €.

## 5. Posibles soluciones conceptuales

Para abordar este problema, gran parte de las posibles soluciones se basan en la iluminación de tipo LED, al tener un bajo coste, unas dimensiones adecuadas y un bajo consumo.

### 5.1 Solución 1: Ubicar LEDs en forma de anillo en el extremo del trocar

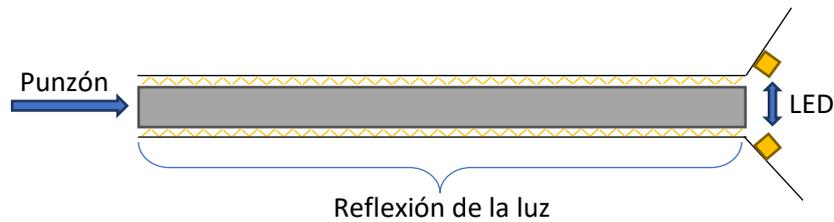
Se trata de incorporar luces de tipo LED en forma de anillo alrededor del tubo de la cánula, en la parte exterior del mismo (ver Figura 7). Al situarse en el exterior, estos LEDs deberán contar con una protección superficial. Además, estos LEDs no deberán ser demasiado gruesos en perfil, ya que de lo contrario sobresaldrían de la superficie del trocar, con el riesgo de dañarse al introducir el trocar a través de la piel del paciente. La alimentación de dichos LEDs será en principio mediante una pila de botón, ya que el espacio es bastante limitado en la zona proximal (cabeza) del trocar, la que no se encuentra dentro del paciente.



**Figura 7.** Disposición de la pila y LEDs en un trocar en la solución 1.

## 5.2 Solución 2: Ubicar LEDs en la parte superior del trocar y usar la reflexión de la luz a través de la pared del trocar

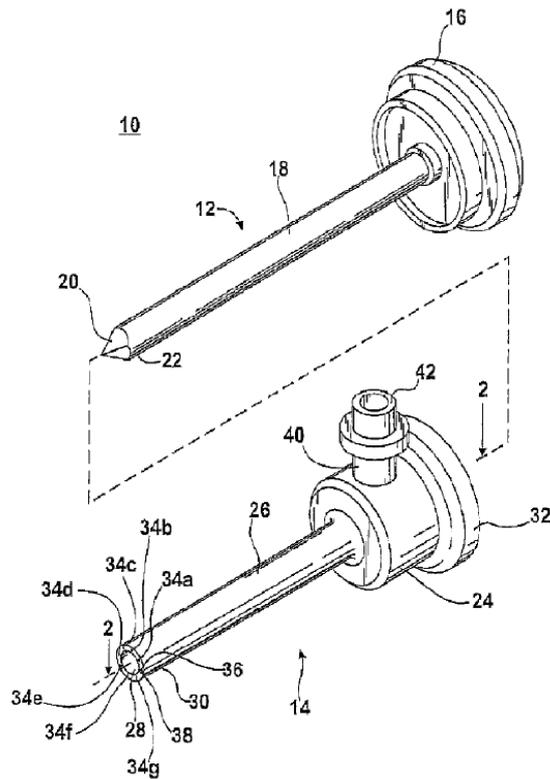
Se trata también de usar iluminación tipo LED alimentada por una pila de botón. Pero en este caso los LED irían en la parte superior e interior de la cánula. El lugar donde se ubicarían los LED correspondería con el exterior del paciente, pero la luz emitida pasaría a través del propio tubo de plástico del trocar mediante reflexión de la luz y llegaría hasta la parte distal (ver Figura 8).



**Figura 8.** Disposición de los LEDs en un trocar en la solución 2.

## 5.3 Solución 3: Integración de fibra óptica en las paredes del trocar

Se trataría de una idea ya patentada pero no comercializada, que consiste en la integración de fibra óptica en las paredes del trocar (ver Figura 9). Esta fibra óptica irá conectada a un recipiente o conector en el puerto de acceso. De esta forma, habría una fuente de luz en la parte distal de la cánula, produciendo la luz complementaria que se requiere. Este tipo de solución es demasiado compleja para lo que se requiere, que es una luz complementaria a la fuente de luz principal. Además, integrar fibra óptica en un trocar sobrepasaría posiblemente el límite de coste de 10 €.



**Figura 9.** Solución basada en fibras ópticas embebidas en la propia pared del trocar [3].

## 6. Cámara oscura para pruebas de banco

Para poder abordar el problema fue necesario poder cuantificar cuanta luz es requerida en un procedimiento de laparoscopia. Para ello se le preguntó al cliente, en este caso los cirujanos, el volumen aproximado en el que suelen realizar las operaciones. El volumen indicado fue de unos 4 litros aproximadamente. Con ello, se diseñó y construyó una cámara oscura un volumen aproximado (ver Figura 10), dotada en la parte superior de un orificio de un diámetro similar a los trocares usados en laparoscopia (ver Figura 11). Además, se ha añadido una abertura en la base para poder alojar un luxómetro modelo LX-101 (LUTRON, Coopersburg, Estados Unidos) en el interior y así poder medir de forma exacta la luz dentro de la cámara cuando se introducen diferentes fuentes de luz.



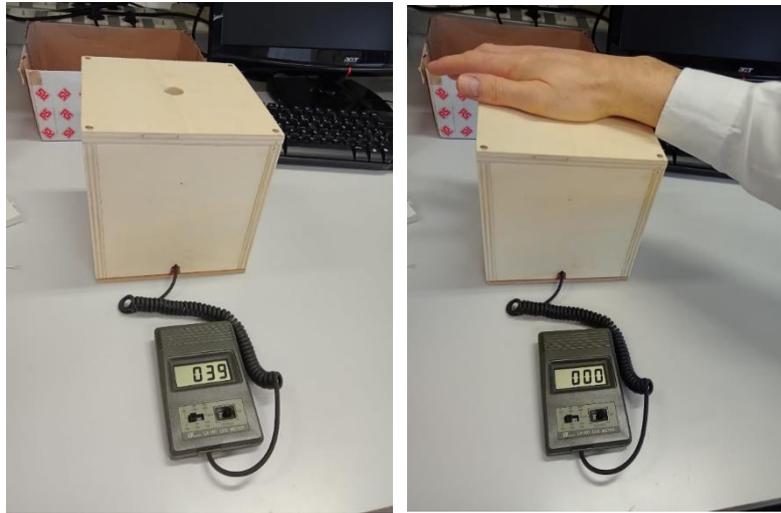
**Figura 10.** Imagen frontal de la cámara oscura construida para simular el interior de la pared abdominal de un paciente.



**Figura 11.** Imagen cenital de la cámara oscura mostrando el orificio de un diámetro similar a los trocares usados en laparoscopia.

Se llevó a cabo una comprobación preliminar del efecto que tendría el orificio superior sobre las medidas de luminosidad. Se observó que en un ambiente de iluminación como el del laboratorio Mestral de la ETSID (UPV), el orificio no deja

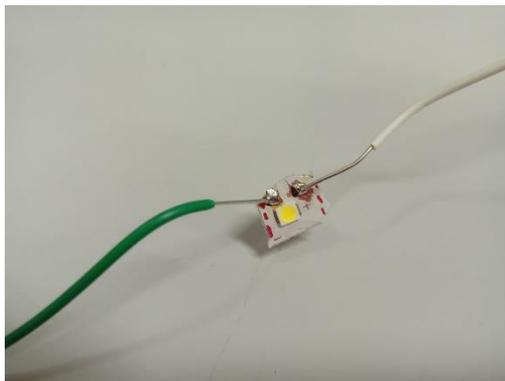
pasar más de 40 luxes, lo que se considera insignificante en el contexto de los valores que se pretenden medir (ver Figura 12).



**Figura 12.** Comprobación de la luz residual que pasa a través del orificio superior.

## 7. Pruebas preliminares con LEDs ‘reciclados’

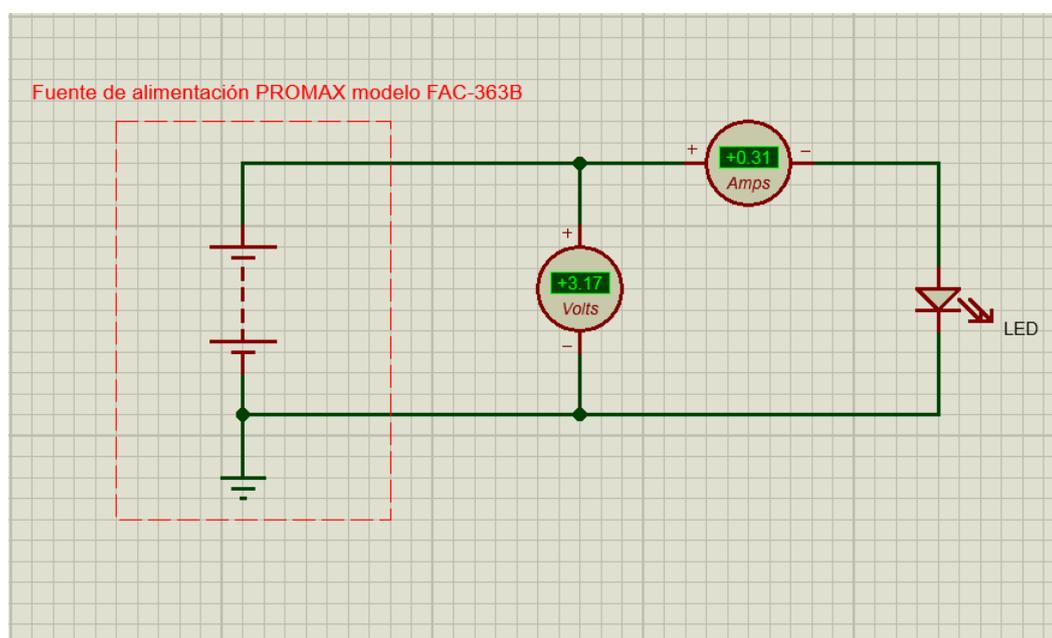
Antes de elegir un modelo de LED en particular, se decidió llevar a cabo unos ensayos preliminares usando LEDs provenientes de una tira de LEDs de una lámpara de uso doméstico. Se seleccionaron aquellos LEDs que aparentemente proporcionan luz fría y se le soldaron cablecillos para poder llevar a cabo las primeras pruebas (ver Figura 13). Los ensayos se llevaron a cabo en el laboratorio Mestral de la ETSID (UPV).



**Figura 13.** LED extraído de una tira de LEDs de una lámpara de uso doméstico.

## 7.1 Pruebas de laboratorio con LEDs ‘reciclados’

El primero de los ensayos no hizo uso de la cámara oscura, pues el objetivo era obtener la curva características del LED que relaciona caída de tensión con corriente. Para esta prueba se hizo uso de una fuente de alimentación modelo FAC-363B de Promax (Barcelona, España). En la figura 14 se muestra el esquema de conexiones de un LED, al cual se le han añadido dos multímetros, uno de ellos para medir la tensión suministrada por la fuente, que será la tensión ánodo-cátodo del LED, y el otro funcionará a modo de amperímetro para medir la corriente que atraviesa el LED.

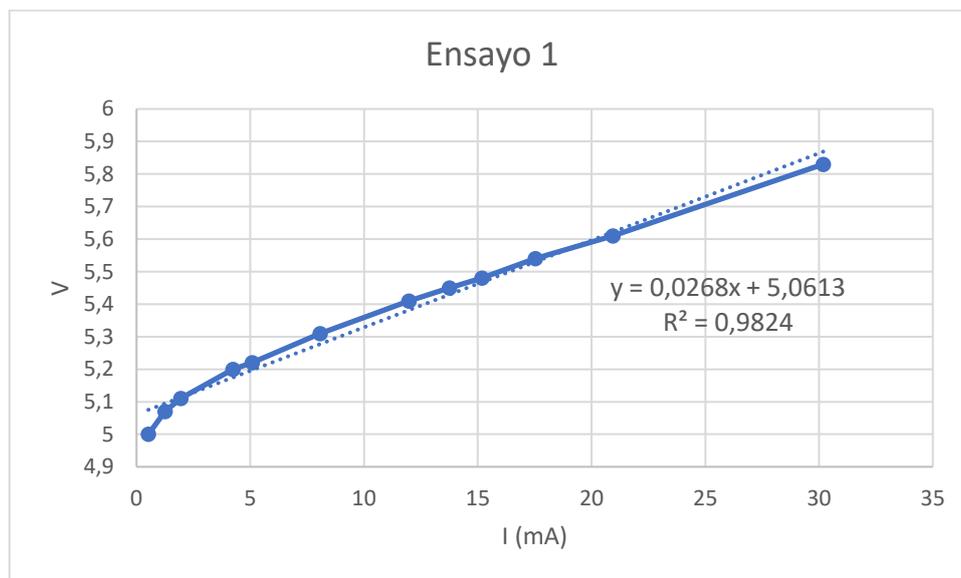


**Figura 14.** Esquema de conexiones de un LED

La Tabla 2 muestra los resultados de esta primera prueba, y la Figura 15 la curva característica tensión-corriente obtenida a partir de los resultados. Se observa una relación tensión-corriente bastante lineal en la zona de conducción. Además, este LED en concreto necesita de una tensión ánodo-cátodo relativamente alta para la conducción y por consiguiente para producir luz, del orden de 5 V, lo que podría suponer un impedimento para una alimentación autónoma basada en pilas de litio.

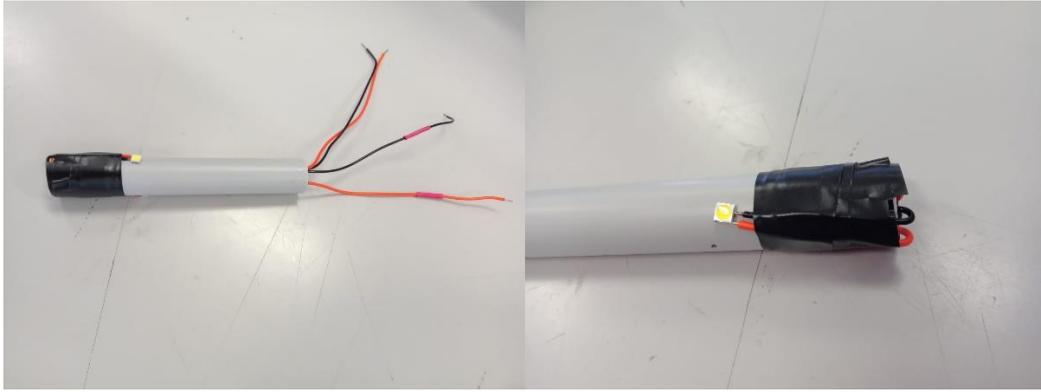
**Tabla 2.** Relación entre tensión y corriente de los LEDs ‘reciclados’.

Tensión ánodo – cátodo (V)	Corriente de diodo (mA)
5,00	0,52
5,07	1,25
5,11	1,94
5,20	4,23
5,22	5,08
5,31	8,06
5,41	11,97
5,45	13,75
5,48	15,18
5,54	17,52
5,61	20,93
5,83	30,18



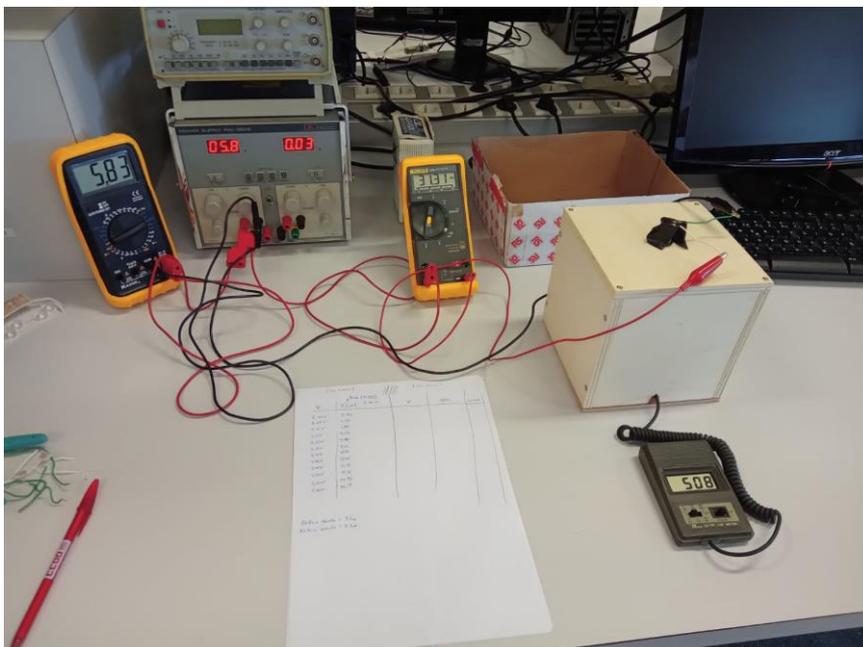
**Figura 15.** Representación gráfica de los resultados de la Tabla 2.

Los siguientes ensayos se llevaron a cabo usando la cámara oscura, primero con un solo LED y luego con dos, ya que la solución final podría estar compuesta de dos LEDs, diametralmente opuestos sobre la superficie interior del trocar. Para poder introducir los LEDs en la cámara, se instalaron sobre la superficie exterior de un tubo de plástico rígido que imitó la estructura distal de un trocar (ver Figura 16).



**Figura 16.** LEDs adheridos en el tubo.

Los cablecillos que salen del tubo de plástico se conectaron directamente a una fuente de alimentación, en la cual se instalaron dos multímetros. Uno era para medir la tensión aplicada y el otro era para medir la corriente (ver Figura 17). Las pruebas se realizaron dentro de la cámara oscura, por lo que se midió la intensidad luminosa mediante un luxómetro introducido en la parte inferior de la cámara oscura. Se fueron tomando medidas hasta alcanzar los 1000 luxes, una intensidad luminosa que podría considerarse aceptable para la aplicación.

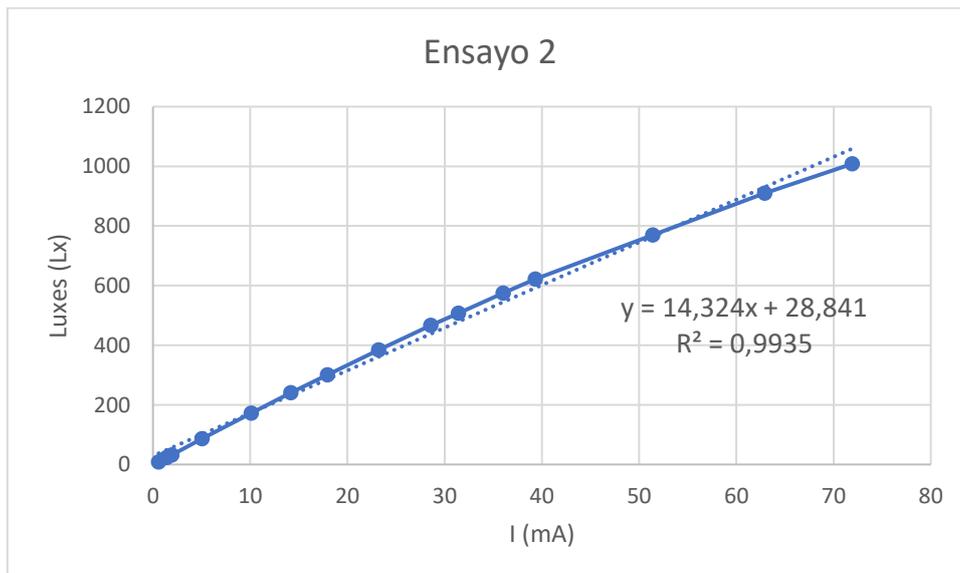


**Figura 17.** Montaje para las pruebas de laboratorio usando la cámara oscura.

La Tabla 3 muestra los resultados de la segunda prueba (con un solo LED), y la Figura 18 la curva corriente vs. intensidad luminosa. Se confirma la necesidad de una tensión ánodo-cátodo relativamente alta para la conducción y se observa una relación muy lineal entre la corriente y la luminosidad.

**Tabla 3.** Relación tensión-corriente e iluminación obtenida con un solo LED ‘reciclado’.

Tensión ánodo – cátodo (V)	Corriente de diodo (mA)	Intensidad luminosa (Lux)
5,00	0,58	8
5,07	1,40	23
5,10	1,91	32
5,22	5,04	86
5,36	10,11	172
5,45	14,17	240
5,54	17,95	300
5,65	23,19	384
5,79	28,55	466
5,85	31,40	507
5,96	36,00	575
6,03	39,30	622
6,34	51,40	769
6,65	62,90	910
6,83	71,90	1008

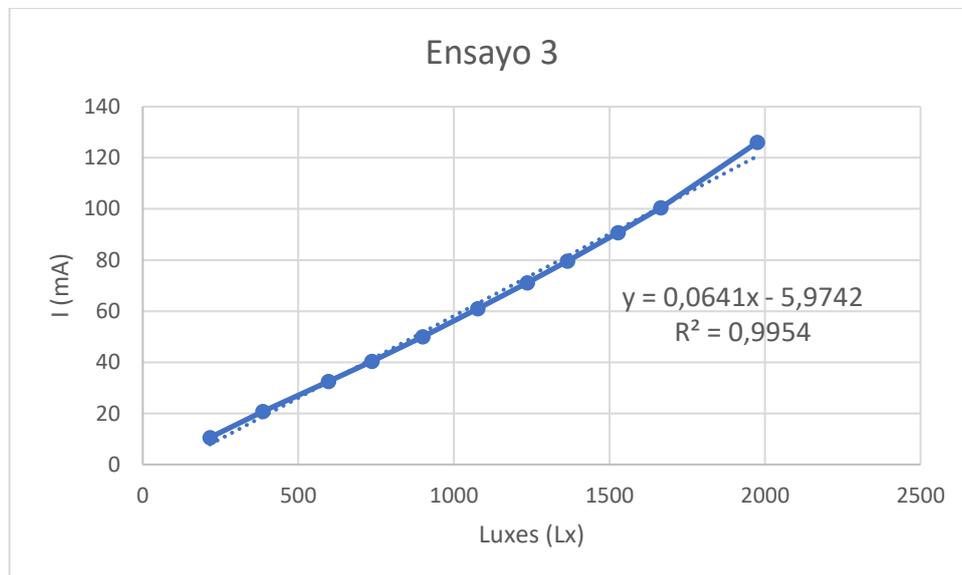


**Figura 18.** Representación gráfica de los resultados de la Tabla 3.

Se repitió la prueba usando dos LEDs conectados en paralelo. La Tabla 4 muestra los resultados de la tercera prueba (con dos LEDs), y la Figura 19 la curva corriente vs. intensidad luminosa. Se confirma la relación lineal entre la corriente y la luminosidad.

**Tabla 4.** Relación tensión-corriente e iluminación obtenida con dos LEDs ‘reciclados’.

Tensión ánodo – cátodo (V)	Corriente de diodo (mA)	Intensidad luminosa (Lux)
5,26	10,55	216
5,39	20,75	386
5,54	32,47	597
5,64	40,40	736
5,75	50,00	900
5,87	61,00	1077
5,98	71,10	1236
6,07	79,60	1365
6,18	90,70	1527
6,28	100,40	1665
6,53	126,00	1975



**Figura 19.** Representación gráfica de los resultados de la Tabla 4.

A priori, al añadir en paralelo un LED de las mismas características, se espera obtener los mismos datos que en el ensayo 2 pero con el doble de valores de corriente y luxes. Los datos de la Tabla 4 confirman aproximadamente este comportamiento. Las discrepancias son posiblemente debidas a la tolerancia en las características de los LEDs, que implican que ninguno es exactamente igual a otro en términos de funcionamiento eléctrico.

## **7.2 Pruebas de campo con LEDs ‘reciclados’**

Para poder determinar las especificaciones necesarias del LED que será alojado en el trocar, fue necesario obtener la realimentación de los usuarios (médicos) respecto a la intensidad luminosa requerida. Para ello me desplazé al quirófano de cirugía experimental del Hospital Universitario y Politécnico La Fe de Valencia (ver Figura 20). El objetivo fue cuantificar mediante la cámara oscura y el luxómetro la intensidad luminosa proporcionada por una fuente de luz de las que se usan habitualmente en laparoscopia y que un usuario (médico) diera su opinión sobre cuánta luz accesoria generada por un LED (instalado en un trocar) sería necesaria. Para poder probar la fuente de luz usada en laparoscopia fue necesario realizar otro orificio en la parte superior de la cámara oscura. Éste tenía un diámetro menor, unos 10 mm aproximadamente (ver Figura 21).



**Figura 20.** Quirófano de cirugía experimental del Hospital Universitario y Politécnico La Fe de Valencia donde se realizaron las pruebas de campo.



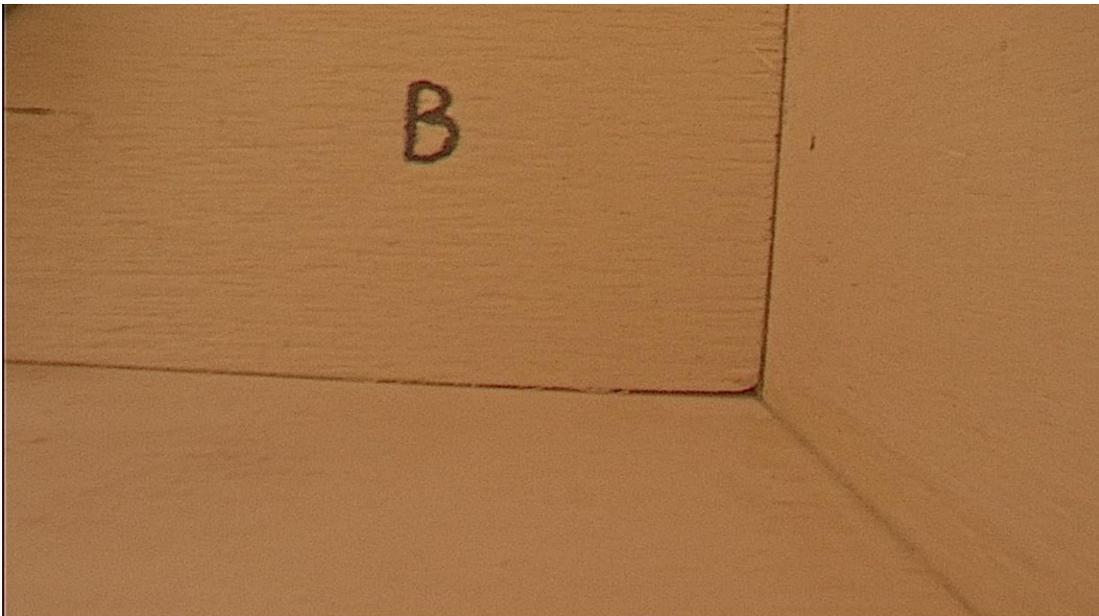
**Figura 21.** Imagen cenital de la cámara oscura mostrando el orificio accesorio para la introducción de una fuente de luz de laparoscopia.

Utilizando la fuente de video de la que dispone el equipo de imagen de laparoscopia, se tomaron videos y fotografías para comparar la propia fuente de luz frente a los LEDs. De esta forma, el médico pudo especificar cuánta intensidad luminosa sería suficiente para poder ver de forma clara el interior de la cavidad del paciente. Se dibujó dentro de la cámara oscura una marca (letra B) para valorar la claridad y visibilidad de la propia

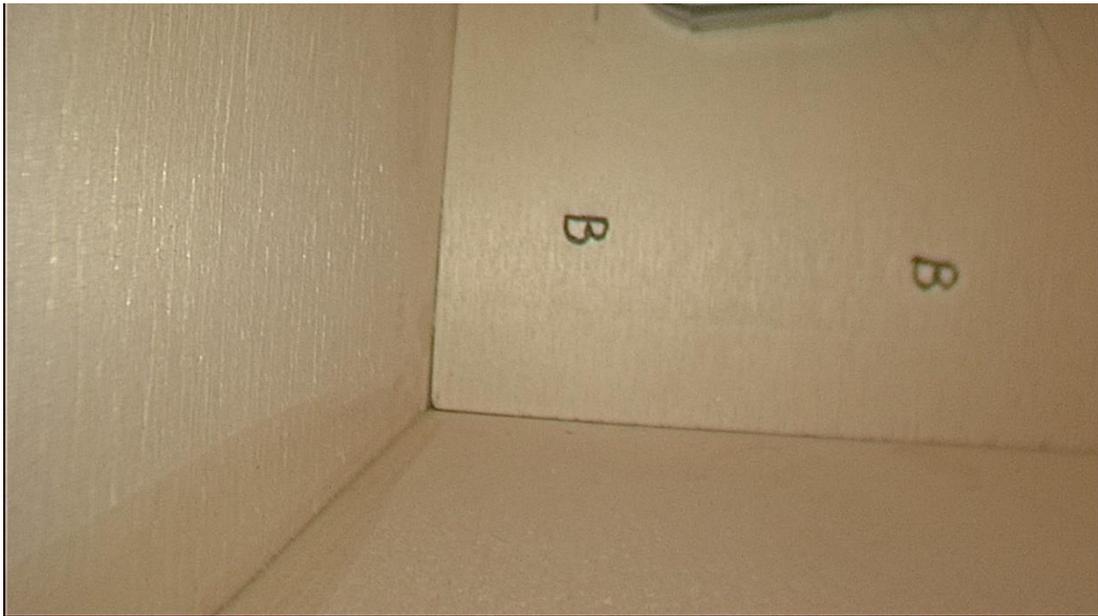
marca cuando se iluminara el interior. Las Figuras 22, 23 y 24 muestran algunas de las imágenes tomadas.



**Figura 22.** Imagen tomada usando la fuente de luz del propio equipo de laparoscopia al 100% de luminosidad. Se obtuvo un valor de 1150 Luxes.



**Figura 23.** Imagen tomada usando la luz producida por un 1 LED con una corriente de 72 mA. Se obtuvo un valor de 1600 Luxes.



**Figura 24.** Imagen tomada al combinar la fuente de luz del propio equipo de laparoscopia al 25% de luminosidad (lo que podría simular una fuente envejecida o deteriorada) y la luz producida por un 1 LED con una corriente de 38 mA. Se obtuvo un valor de 1400 Luxes.

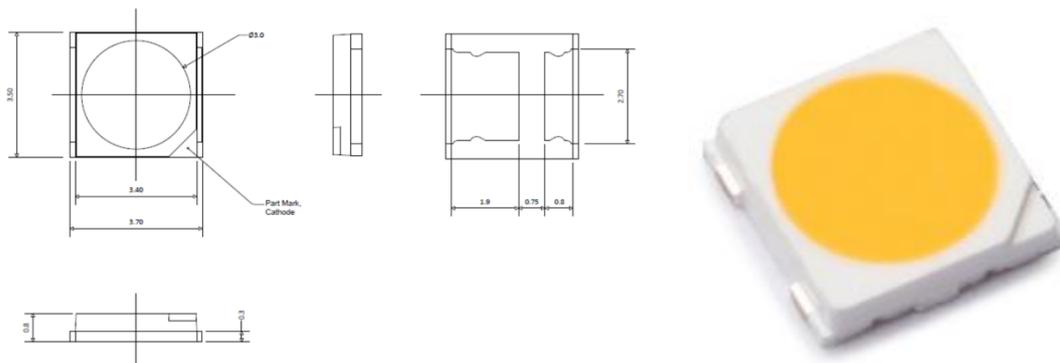
Por lo que se puede apreciar en las imágenes, la luz generada por el LED no es tan fría como se esperaba comparada con la ofrecida por la fuente de laparoscopia. Además, una mayor cantidad de Luxes no significa que se consiga una imagen más nítida. De hecho, en cierto punto de intensidad luminosa, el ojo humano ya no nota la diferencia. Por lo tanto, conseguir una imagen nítida no depende tanto de la intensidad luminosa, sino que podría depender más de la temperatura del color del LED. Los LED que se usaron fueron reciclados de una tira de LEDs de una lámpara para uso doméstico. De hecho, tal como se puede observar en las Figuras 22-24, una luz más fría, pero con menor intensidad luminosa ofrece una imagen más clara que una luz menos fría, pero con mayor intensidad luminosa.

Los resultados tanto de las pruebas de laboratorio como de las pruebas de campo sugieren que los LEDs a ser incorporados en el trocar deberían suministrar una intensidad luminosa de alrededor de 500 luxes y que la temperatura de color debía ser

mucho más fría que la de los LEDs ‘reciclados’, posiblemente por encima de 6000 K (como sugieren los datos de la Tabla 1).

## 8. Solución técnica propuesta

Completadas las pruebas de laboratorio y de campo, se determinaron las especificaciones para seleccionar un modelo de LED que puedan cumplir con las especificaciones del TFG. La intensidad luminosa necesaria debe ser de unos 500 luxes aproximadamente, y la temperatura de color del LED deberá ser más fría, alrededor de unos 6000 – 7000 K. Se ha optado por LEDs modelo LUXEON 3535L Line número de serie MXA7 - PW65 - S001 de la marca LUMILEDS (Ámsterdam, Países Bajos) (ver Figura 25).



**Figura 25.** LED modelo LUXEON 3535L Line número de serie MXA7 - PW65 - S001 de la marca LUMILEDS (Ámsterdam, Países Bajos) seleccionado para el diseño.

Atendiendo a los valores extraídos de su hoja de características (Figuras 26, 27 y 28), se puede concluir que este LED cumple con las especificaciones requeridas.

## Product Selection Guide

Table 1. Product performance of LUXEON 3535L Line at 100mA and 65mA,  $T_j=25^\circ\text{C}$ .

PRODUCT	NOMINAL CCT <sup>[1]</sup>	MINIMUM CRI <sup>[2]</sup>	LUMINOUS FLUX <sup>(lm)</sup>		TYPICAL LUMINOUS EFFICACY (lm/W)	TYPICAL LUMINOUS FLUX (lm)	TYPICAL LUMINOUS EFFICACY (lm/W)	PART NUMBER
			MINIMUM	TYPICAL				
			100mA					
LUXEON 3535LS	4000K	70	38	44	147	30	158	MXA7-PW40-S001
	5000K	70	38	44	147	30	158	MXA7-PW50-S001
	5700K	70	38	44	147	30	158	MXA7-PW57-S001
	6500K	70	38	46	154	31	166	MXA7-PW65-S001
	2200K	80	26	30	100	20	108	MXA8-PW22-S001
	2500K	80	26	32	107	22	116	MXA8-PW25-S001
	2700K	80	30	38	127	26	137	MXA8-PW27-S001
	3000K	80	30	39	130	26	141	MXA8-PW30-S001
	3500K	80	30	41	137	28	148	MXA8-PW35-S001
	4000K	80	34	43	144	29	155	MXA8-PW40-S001
	5000K	80	34	43	144	29	155	MXA8-PW50-S001
	5700K	80	30	42	140	28	151	MXA8-PW57-S001
	6500K	80	30	42	140	28	151	MXA8-PW65-S001
	2700K	85	30	33	110	22	119	MXA9-PW27-S111
	4000K	85	24	32	107	22	116	MXA9-PW40-S111
	2700K	90	26	32	107	22	116	MXA9-PW27-S001
	3000K	90	26	32	107	22	116	MXA9-PW30-S001

Figura 26. Temperatura de color en relación con el modelo de LED.

## Electrical and Thermal Characteristics

Table 3. Electrical and thermal characteristics for LUXEON 3535L Line at 100mA,  $T_j=25^\circ\text{C}$ .

PART NUMBER	FORWARD VOLTAGE (V) <sup>[1]</sup>			TYPICAL TEMPERATURE COEFFICIENT OF FORWARD VOLTAGE (mV/°C) <sup>[2]</sup>	TYPICAL THERMAL RESISTANCE — JUNCTION TO SOLDER PAD (°C/W)
	MINIMUM	TYPICAL	MAXIMUM		
MXAx-PWxx-S001	2.8	3.0	3.4	-2.0 to -4.0	22
MXAx-PWxx-0000	2.8	3.0	3.4	-2.0 to -4.0	18
MXAx-PWxx-H001	2.7	2.9	3.2	-2.0 to -4.0	18

Notes for Table 3:

- Lumileds maintains a tolerance of  $\pm 0.06\text{V}$  on forward voltage measurements.
- Measured between  $25^\circ\text{C}$  and  $110^\circ\text{C}$ .

Figura 27. Características eléctricas para poner en funcionamiento el LED.

## Luminous Flux Bins

Table 5 lists the standard photometric luminous flux bins for LUXEON 3535L Line emitters. Although several bins are outlined, product availability in a particular bin varies by production run and by product performance. Not all bins are available in all CCTs.

Table 5. Luminous flux bin definitions for LUXEON 3535L Line.

BIN	LUMINOUS FLUX (lm)	
	MINIMUM	MAXIMUM
J	24	28
K	28	32
L	32	36
M	36	40
P	40	44
Q	44	48
R	48	52
S	52	56
T	56	60

Notes for Table 5:

- Lumileds maintains a tolerance of  $\pm 6.5\%$  on luminous flux measurements.

**Figura 28.** Flujo luminoso mínimo y máximo dependiendo del modelo

Dado el modelo y número de serie visto en la Figura 28, el flujo luminoso correspondiente se ubica entre 52 y 56 lm. Para comprobar en este rango de valores se convierte a luxes.

$$1 \text{ lux} = 1 \text{ lumen/m}^2$$

Sabiendo que la superficie será la base de la cámara oscura, su valor será el área de un cuadrado de 16 cm de lado. Por lo tanto

$$\text{Superficie} = 16 \cdot 16 = 256 \text{ cm}^2 = 0.0256 \text{ m}^2$$

Valor máximo y mínimo

$$\frac{56 \text{ lm}}{0.0256 \text{ m}^2} = 2187.5 \text{ luxes}$$

$$\frac{52 \text{ lm}}{0.0256 \text{ m}^2} = 2031.25 \text{ luxes}$$

El LED como mínimo será capaz de proporcionar 2031.25 luxes, lo que quiere decir que cumple con la especificación de proporcionar 500 luxes. Tal como se hizo con los LEDs ‘reciclados’, se han realizado pruebas de laboratorio para determinar la curva tensión-corriente y la intensidad luminosa.

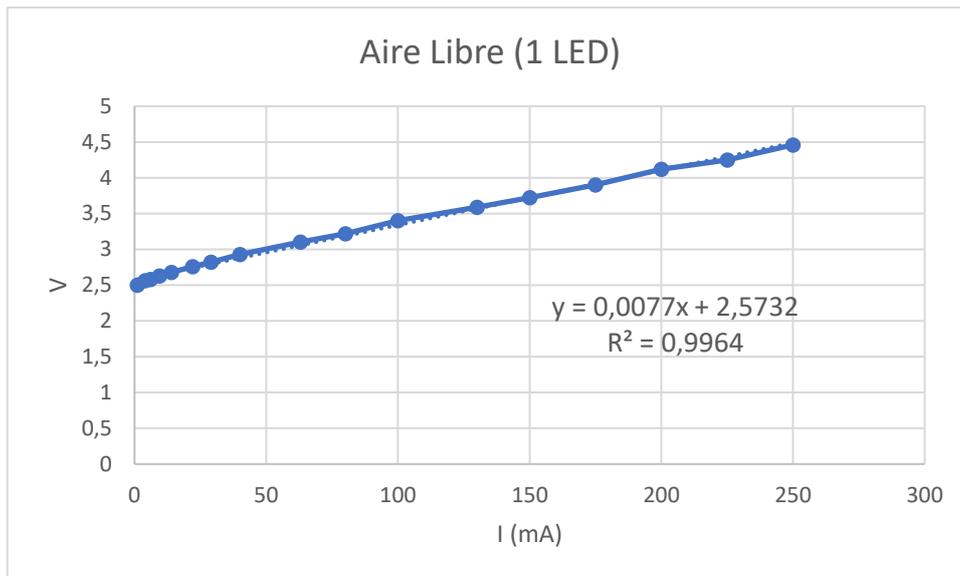
En este caso se realizaron un total de 4 pruebas. Dos de ellas fuera de la cámara oscura y otras dos dentro. En las dos primeras se probó primero un solo LED y luego con dos LEDs en paralelo. En las dos pruebas realizadas en el interior de la cámara oscura, primero se hizo la prueba con un solo LED y luego con 2 LEDs en paralelo. Los resultados obtenidos en las pruebas fuera de la cámara oscura se muestran en las Tablas 5 y 6 y su respectiva representación gráfica en las Figuras 29 y 30.

**Tabla 5.** Relación entre tensión y corriente de un LED fuera de la cámara oscura.

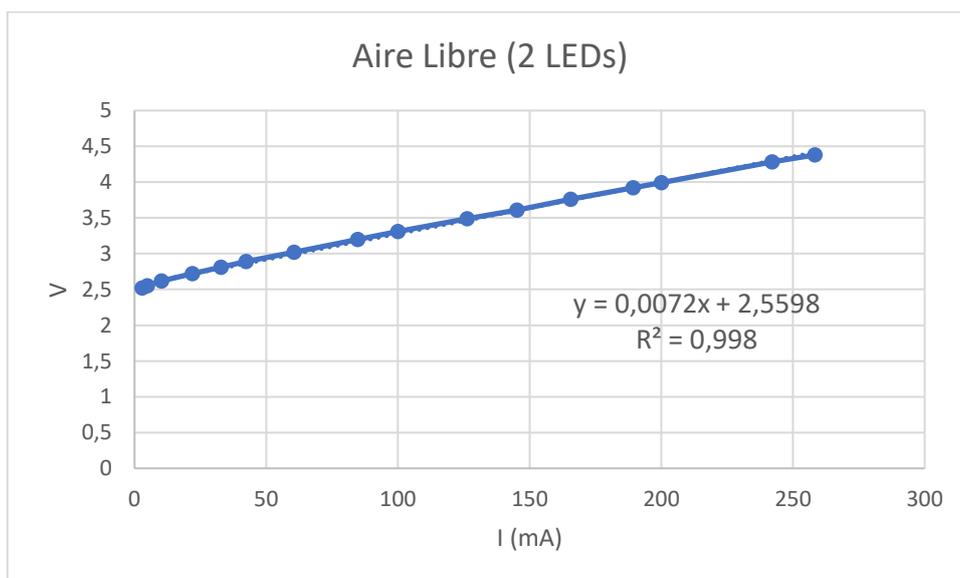
<b>Tensión ánodo – cátodo (V)</b>	<b>Corriente de diodo (mA)</b>
2,50	1
2,56	4
2,58	6
2,63	9,5
2,68	14
2,76	22
2,82	29
2,93	40
3,10	63
3,22	80
3,40	100
3,59	130
3,72	150
3,90	175
4,12	200
4,25	225
4,46	250

**Tabla 6.** Relación entre tensión y corriente de un LED fuera de la cámara oscura.

<b>Tensión ánodo – cátodo (V)</b>	<b>Corriente de diodo (mA)</b>
2,52	2,80
2,55	4,77
2,62	10,25
2,72	21,86
2,81	32,8
2,89	42,3
3,02	60,5
3,20	84,7
3,31	100
3,49	126,2
3,61	145,1
3,76	165,5
3,92	189,2
3,99	200
4,28	242
4,38	258,3



**Figura 29.** Representación gráfica de la primera prueba



**Figura 30.** Representación gráfica de la segunda prueba

Vistas las tablas 5 y 6, se puede apreciar que este LED, en relación con los anteriores, requiere una tensión ánodo – cátodo bastante inferior (2.5 V frente a 5.0 V). Sin embargo, en relación con la corriente, éste requiere mucha más (130 mA frente a 40 mA). En las Figuras 29 y 30 se puede apreciar que la relación tensión/corriente en este

LED también es lineal y también se mantiene la linealidad cuando se añade otro LED en paralelo.

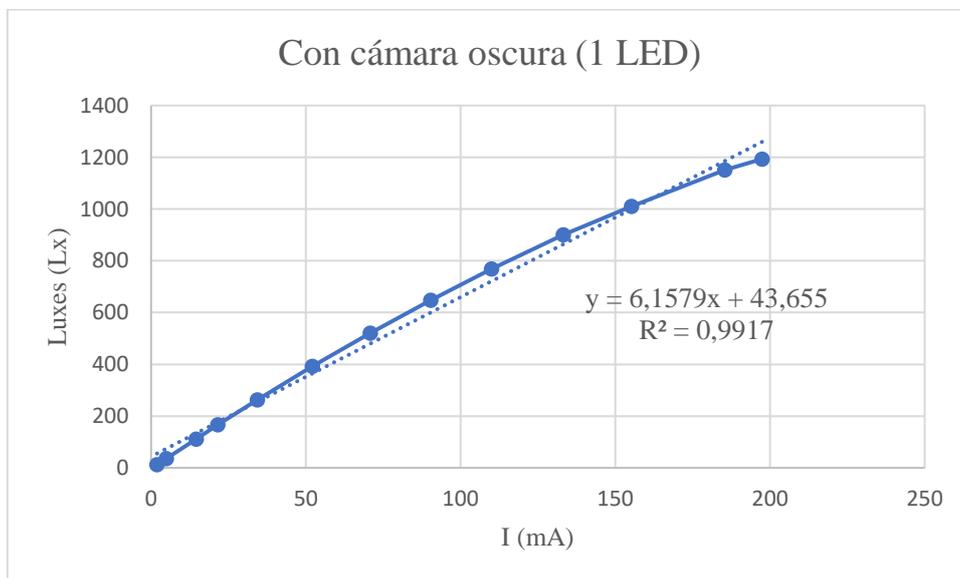
Se realizaron dos pruebas más, pero esta vez en el interior de la cámara oscura. Los resultados obtenidos quedan reflejados en las Tablas 7 y 8, junto con su representación gráfica con las Figuras 31 y 32.

**Tabla 7. 1 LED en la cámara oscura**

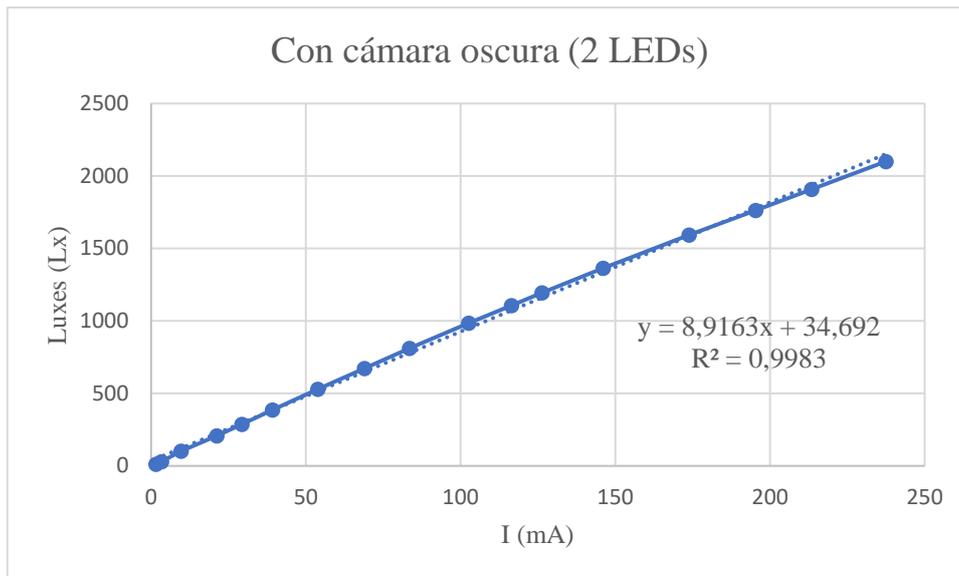
<b>Tensión ánodo – cátodo (V)</b>	<b>Corriente de diodo (mA)</b>	<b>Intensidad luminosa (Lux)</b>
2,51	1,91	12
2,57	4,87	35
2,68	14,55	111
2,75	21,52	166
2,86	34,30	262
3,01	52,10	392
3,16	70,80	520
3,31	90,30	647
3,46	110,00	768
3,62	133,20	900
3,78	155,20	1010
4,00	185,40	1150
4,08	197,40	1193

**Tabla 8. 2 LEDs en la cámara oscura**

Tensión ánodo – cátodo (V)	Corriente de diodo (mA)	Intensidad luminosa (Lux)
2,47	1,54	12
2,51	3,32	30
2,59	9,65	102
2,70	21,17	207
2,77	29,30	288
2,84	39,20	386
2,95	53,90	529
3,06	68,90	672
3,16	83,50	812
3,30	102,60	985
3,39	116,40	1107
3,46	126,30	1194
3,59	146,10	1364
3,78	173,80	1593
3,92	195,30	1762
4,05	213,40	1907
4,21	237,40	2100



**Figura 31.** Resultados obtenidos en la tercera prueba



**Figura 32.** Resultados obtenidos en la cuarta prueba

En este caso, tanto en la prueba de 1 LED como en la de 2 LEDs se alcanzan valores similares de intensidad luminosa, teniendo en cuenta las diferencias entre ambos LEDs. Visto en las Figuras 31 y 32 se mantiene en ambos casos la relación lineal entre la corriente y la intensidad luminosa y también al añadir el segundo LED se sigue manteniendo la relación lineal.

Una vez comprobadas las especificaciones para el LED, el siguiente paso será buscar la forma de alimentarlos. Para ello, se ha pensado en una pila de botón, ya que la idea es implementar alimentación autónoma. Por lo tanto, las especificaciones para la pila de botón dependerán de la tensión y corriente que requieran los LED. Observando los resultados de las pruebas realizadas en el laboratorio, cuando se probaron 2 LEDs en el interior de la cámara oscura, se alcanzaban los 500 luxes usando 2 LEDs en paralelo con un valor de tensión ánodo – cátodo cercano a 3V y una corriente de unos 55 mA. Además de esto, se debe tener en cuenta que todo este montaje no debe sobrepasar los 10€, por lo que el precio máximo que puede tener la pila de botón se fijará en unos 5€.

Para hacer una búsqueda de esta pila en rs-amidata primero será necesario calcular cual será la capacidad de pila en mAh sabiendo la corriente que consume. También será necesario saber cuánto tiempo deberá estar en funcionamiento la pila, 5 horas como máximo.

$$\text{Capacidad} = 55 \text{ mA} \cdot 5 \text{ h} = 275 \text{ mAh}$$

Por lo tanto, las especificaciones requeridas para la pila de botón serán las siguientes:

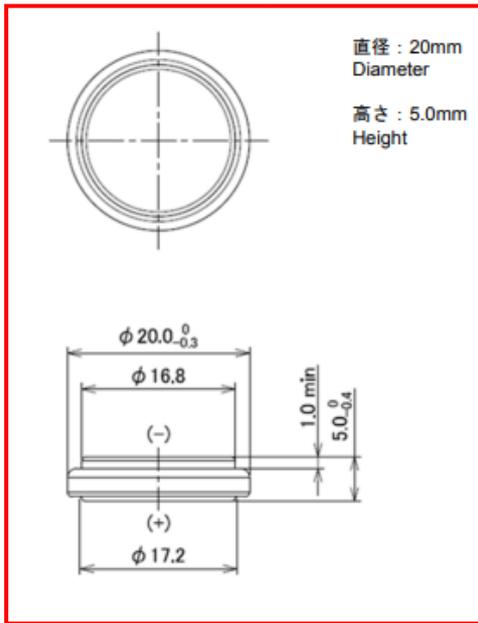
- Tensión nominal de 3V
- Capacidad igual o superior a 275 mAh
- Precio máximo de 5€
- Diámetro máximo de 10 mm

Se han barajado varias opciones que pueden cumplir con las especificaciones (ver figura 34). Se trata de la pila de botón CR2050 (ver figura 33) de la marca Murata (Nagaokakyo, Japón) con un precio de 1.80€ la unidad.



**Figura 33.** Pila de botón CR2050

■外形寸法 Dimensions(mm)



■定格 Specifications

公称電圧 Nominal Voltage	3 V
公称容量 (終止電圧 2.0V) Nominal Capacity (2.0V cutoff)	345 mAh
推奨連続放電電流値 (容量利用率高) Recommended Continuous Discharge Current (High capacity usage rate)	$\leq 1$ mA
標準質量 Weight	4.2 g
使用温度範囲 Operating Temperature	-40 ~ +125°C
用途 Applications	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● TPMS(タイヤ空気圧監視システム)</li> <li>● ETC</li> <li>● FA機器</li> <li>● SRAMやリアルタイムクロック等メモリーバックアップ</li> <li>● その他高温/低温環境で使われる機器</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>● TPMS (Tire Pressure Monitoring System)</li> <li>● ETC (Electronic Toll Collection System)</li> <li>● Factory Automation Instruments</li> <li>● Memory Back-up Power Source for SRAM and Real Time Clock (RTC)</li> <li>● Other devices used in wide temperature environment</li> </ul>	

**Figura 34.** Especificaciones de la pila de botón. Se han remarcado las características que se necesitan: dimensiones, tensión nominal y capacidad.

En este caso, esta pila no cumple con las especificaciones debido a sus dimensiones, ya que tiene un diámetro mucho mayor al mínimo especificado.

Ya que las dimensiones de la pila han sido el factor limitante en la pila de botón propuesta anteriormente, se ha optado por buscar pilas de botón con un diámetro igual o inferior a 10mm (ver Figura 36). Se trata de la pila de botón SR57 (ver Figura 35) de la marca RS PRO (Madrid, España) con un precio de 1.29 € la unidad.



**Figura 35.** Pila de botón SR57

**Specifications:**

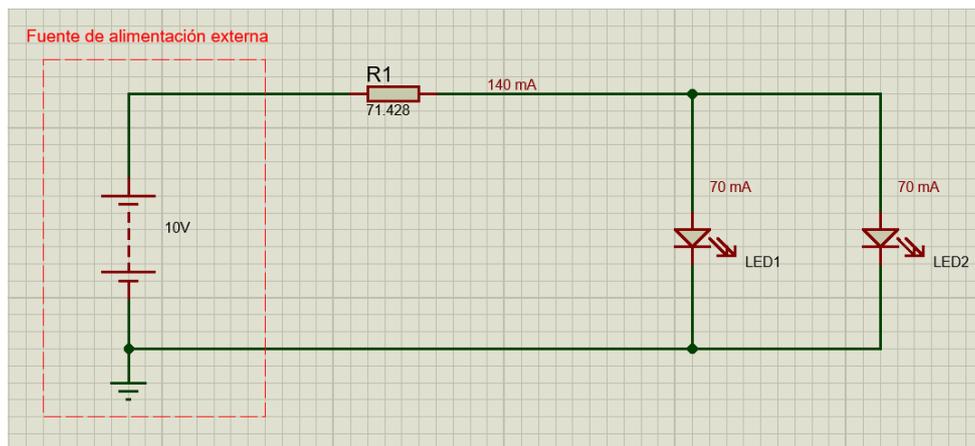
Also Known As	395, SR926SW, SR927, SB-AP/DP, 280-48, LA, V395, D395, 610, S926E
Brand Range	RS
Chemistry	Silver Oxide
Size	SR57
Terminal Type	Standard
Capacity	55 mAh
Diameter	9.5 mm
Dimensions	9.5 x 2.7 mm
Maximum Operating Temperature	+50°C
Minimum Operating Temperature	-10°C
Nominal Voltage	1.55 V
Operating Temperature Range	-10 to +50°C
Size	SR57
Weight	0.8 g
Typical Application	Cameras, Clocks, Watches, Calculators

**Figura 36.** Especificaciones de la pila de botón SR57

Tal como se puede observar en la Figura 36, esta pila de botón cumple con las dimensiones requeridas, pero no cumple con la tensión y la capacidad mínima requerida. Se han buscado alternativas que cumplan con estas dimensiones, pero ninguna de las pilas con un diámetro igual o inferior a 10 mm tiene una tensión nominal de 3 V o una capacidad igual o superior a 275 mAh, por lo que una alimentación basada en una pila de botón es inviable y por lo tanto se requerirá de una fuente de alimentación externa.

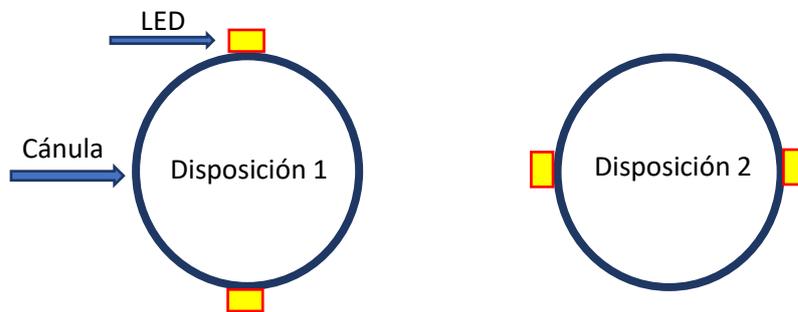
Al ser necesaria una alimentación externa, habrá que diseñar un circuito que pueda fijar una corriente a un valor específico de tal forma que por los LEDs siempre circule la corriente necesaria. También será necesario decidir si los 2 LEDs irán en serie o en paralelo.

El circuito a diseñar deberá garantizar que por cada LED siempre circule una corriente igual o mayor a 55 mA. Al ser necesaria una fuente de alimentación externa, la tensión aplicada ya no está limitada a 3V, sino que se pueden trabajar con tensiones de 10V. Otra de las cuestiones a resolver es decidir la disposición de los LEDs. Se ha decidido optar por una configuración en paralelo por los siguientes motivos. Una disposición en paralelo permite reducir la tensión máxima aplicada, siendo mucho menor a la tensión que habría que aplicar si fuera una disposición en serie. La disposición en paralelo permite también distribuir uniformemente la corriente entre las líneas de LEDs con la selección adecuada del valor de resistencia. Por último, en caso de avería de uno de los LED, el otro LED seguiría funcionando, aunque con el doble de corriente, pero en este caso en particular, doblar la corriente a un solo LED no estropearía el LED, ya que la corriente a la que estaba sometido antes de una posible avería (alrededor de 60 mA) está muy por debajo de la corriente que puede soportar antes de la rotura (200 mA). La Figura 37 muestra el esquema del circuito para fijar la corriente.



**Figura 37.** Esquema del circuito para fijar la corriente

Para la implementación de los LEDs, se ha planteado instalarlos en la cánula (ver Figura 38) del trocar de tal forma que estén geométricamente opuestos uno del otro.



**Figura 38.** Diseño de las posibles ubicaciones de los LEDs.

## 9. Conclusiones

En este apartado quedarán reflejadas las conclusiones que se han obtenido a lo largo del proyecto.

En primer lugar ha sido necesario hacer un estudio sobre las aplicaciones quirúrgicas en las que se usan los trócares, así como estudiar las distintas partes que conforman un trocar quirúrgico desechable.

En segundo lugar, también ha sido necesario realizar un estudio sobre las fuentes de luz usadas en procesos laparoscópicos, que son los procesos quirúrgicos en los que se usan trocares.

En tercer lugar, ha sido necesaria la construcción de una cámara oscura para simular el interior de un paciente y de esta forma obtener que intensidad luminosa y temperatura de color era suficiente en el proyecto. Gracias a la cámara oscura y a las pruebas realizadas en el Hospital Universitario y Politécnico La Fe de Valencia, se pudieron establecer unas especificaciones para los LEDs.

En cuarto lugar, ha quedado demostrado que una pila de botón no cumple con las especificaciones necesarias en esta aplicación, ya que el factor limitante han sido las

dimensiones de la propia pila, por lo que ha sido necesario usar una fuente externa como parte de la solución final.

Por último, ha quedado demostrado la importancia que tiene la temperatura de color frente a la intensidad luminosa para el ojo humano. Una imagen con una gran intensidad luminosa (mayor de 1000 luxes) pero con una luz cálida, es menor clara para el ojo humano que una imagen con menor intensidad luminosa pero con una luz mucho más fría.

## **10. Referencias**

- a. [http://bloginformaticaprotocolosdeenfermeria.blogspot.com/2018/12/preparacion-del-paciente-para\\_47.html](http://bloginformaticaprotocolosdeenfermeria.blogspot.com/2018/12/preparacion-del-paciente-para_47.html) (accedido el 2/05/2022).
- b. <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/endoscopia-superior> (accedido el 2/05/2022)
- c. Dmitri Menn. Trocar with integrated light and/or scope optical fibers. CA Patent 2,772,195 (21 March 2012).



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL**  
**DISEÑO**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Curso 2021/2022

**TRABAJO DE FIN DE GRADO:**

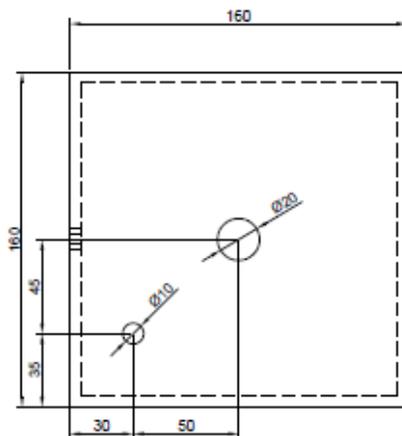
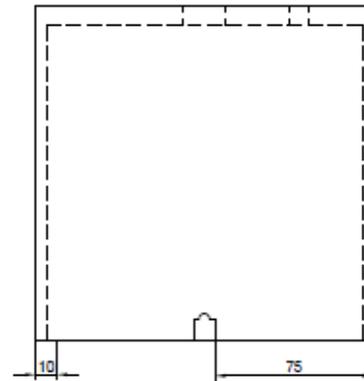
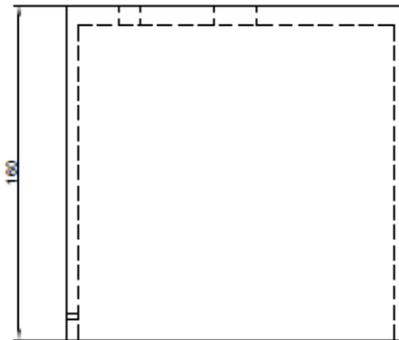
ESTUDIO Y DESARROLLO DE ILUMINACIÓN AUTÓNOMA PARA  
UN TROCAR QUIRÚRGICO DESECHABLE.

**DOCUMENTO 2. PLANOS**

**AUTOR:** Jesús Rosal Alexandre

**TUTOR:** Dr. Enrique Berjano Zanón

**COTUTORA EXTERNA:** Dra. Ana González Suárez



Nr de Plano: 1	Autor: Jesús Rosal Aleixandre
Escala: 1/2	Tutor: Enrique Berjano Zanón
Proyecto: Estudio y Desarrollo De Iluminación Autónoma para un trocar quirúrgico desechable	
Universidad politécnica de Valencia	
Escuela técnica superior de ingeniería del diseño	
Ingeniería electrónica industrial y automática	



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL**  
**DISEÑO**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Curso 2021/2022

**TRABAJO DE FIN DE GRADO:**

ESTUDIO Y DESARROLLO DE ILUMINACIÓN AUTÓNOMA PARA  
UN TROCAR QUIRÚRGICO DESECHABLE.

**DOCUMENTO 3. PLIEGO DE CONDICIONES**

**AUTOR:** Jesús Rosal Alexandre

**TUTOR:** Dr. Enrique Berjano Zanón

**COTUTORA EXTERNA:** Dra. Ana González Suárez

## **1. Objeto**

La presente especificación técnica se refiere al estudio y desarrollo de una iluminación autónoma implementada en un trocar quirúrgico desechable. Quedan excluidos todos los trabajos correspondientes que se refieren a la instalación de los LEDs en el trocar.

## **2. Lista de materiales**

En la siguiente lista de materiales se contemplan los necesarios para la instalación de los LEDs en el trocar quirúrgico desechable descrito en el objeto, se describen los materiales sin especificar la cantidad necesaria de cada uno para llevar a cabo la instalación.

- LEDs

De la marca LUMILEDS modelo LUXEON 3535L Line número de serie MXA7 - PW65 - S001, con una tensión de polarización de 2.5V y una intensidad luminosa máxima de 2031.25 luxes.

- Resistencias

De la marca Vishay, de valor 71.5  $\Omega$  y perteneciente a la serie MRS25.

## **3. Prueba de servicio**

Con el objetivo de comprobar que la instalación ha sido exitosa se deberán cumplir como mínimo, la prueba descrita a continuación:

### **3.1 Funcionamiento de los LEDs**

Una vez finalizada la instalación se deberá comprobar que los LEDs funcionan correctamente, corroborando que suministran una intensidad luminosa de alrededor de 500 luxes y circula por cada uno de los LED una corriente próxima a 70 mA.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DEL**  
**DISEÑO**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Curso 2021/2022

**TRABAJO DE FIN DE GRADO:**

ESTUDIO Y DESARROLLO DE ILUMINACIÓN AUTÓNOMA PARA  
UN TROCAR QUIRÚRGICO DESECHABLE.

**DOCUMENTO 4. PRESUPUESTO**

**AUTOR:** Jesús Rosal Alexandre

**TUTOR:** Dr. Enrique Berjano Zanón

**COTUTORA EXTERNA:** Dra. Ana González Suárez

En este apartado del proyecto se reflejan los costes que supone la instalación de un sistema de iluminación en un trocar quirúrgico desechable.

Quedan reflejados los gastos relativos a los materiales de la instalación, equipos electrónicos y materiales necesarios para el diseño del proyecto.

### **Equipos electrónicos**

Los equipos electrónicos utilizados en este proyecto han sido la fuente de alimentación PROMAX FAC-363B, dos multímetros FLUKE 73 III y un luxómetro marca LUTRON modelo LX-101.

### **Materiales del diseño**

Para llevar a cabo la instalación ha sido necesario el montaje de una cámara oscura hecha con madera de contrachapado, por lo que este gasto quedará también reflejado en el presupuesto.

### **Materiales de la instalación**

Para llevar a cabo la instalación han sido necesarios dos LEDs de la marca LUMILEDS modelo LUXEON 3535L y una resistencia de valor  $71.5 \Omega$  de la serie MRS25.

Las tablas 9, 10, 11, 12 y 13 muestran las partidas resumidas del presupuesto.

**Tabla 9.** Cuadro de precios elementales

Cuadro de precios elementales			
Tipo	Fabricante	Descripción	Precio (€)
Materiales			
M1	-	Madera de contrachapado	25€
M2	-	Tubo de plástico	3€
M3	Lumileds	LED LUMILEDS modelo LUXEON 3535L Line número de serie MXA7 - PW65 - S001	0.358€
M4	Vishay	Resistencia marca Vishay de valor 71.5 $\Omega$ , serie MRS25	0.102€
Equipos electrónicos			
E1	Promax	Fuente de alimentación PROMAX FAC-363B	600€
E2	Fluke	Multímetro FLUKE 73 III	200€
E3	Lutron	Luxómetro LX-101	80€
<b>MEDIOS AUXILIARES SOBRE COSTES DIRECTOS</b>			
<b>5%</b>			

**Tabla 10.** Cuadro de precios descompuestos

Cuadro de precios descompuestos					
Tipo	Fabricante	Descripción	Cantidad (ud)	Precio (€)	Importe (€)
Materiales					
M1	-	Madera de contrachapado	-	25€	25€
M2	-	Tubo de plástico	1.00	3€	3€
M3	Lumileds	LED LUMILEDS modelo LUXEON 3535L Line número de serie MXA7 - PW65 - S001	2.00	0.358€	0.716€
M4	Vishay	Resistencia marca Vishay de valor 71.5 $\Omega$ , serie MRS25	1.00	0.102€	0.102€
Equipos electrónicos					
E1	Promax	Fuente de alimentación PROMAX FAC-363B	1.00	600€	600€
E2	Fluke	Multímetro FLUKE 73 III	2.00	200€	400€
E3	Lutron	Luxómetro LX-101	1.00	80€	80€
<b>MEDIOS AUXILIARES SOBRE COSTES DIRECTOS</b>					
5%			1108.818€		1164.259€

**Tabla 11.** Estado de mediciones

Estado de mediciones			
Referencia	ud	Descripción	Cantidad
D1	1.00	Instalación de dos LEDs y una resistencia limitadora de corriente	1.00

**Tabla 12.** Valoración de descompuestos

Valoración de descompuestos					
Referencia	ud	Descripción	Precio (€)	Cantidad	Importe (€)
D1	1.00	Instalación de dos LEDs y una resistencia limitadora de corriente	1164.259€	1.00	1164.259€

<b>TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL</b>	<b>1164.259€</b>
---	------------------

**Tabla 13.** Resumen del presupuesto

Resumen del presupuesto		
Referencia	Descripción	Importe (€)
D1	Instalación de dos LEDs y una resistencia limitadora de corriente	1164.259€
<b>TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL</b>		<b>1164.259€</b>
13%	GASTOS GENERALES	151.354€
6%	BENEFICIO INDUSTRIAL	69.856€
<b>SUMA PARCIAL</b>		<b>1385.469€</b>
21%	IVA	1676.417€

<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA</b>	<b>1676.417€</b>
--	------------------