



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Carrera de
Mecatrónica**



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería Mecatrónica

Tema:

Diseño e Implementación de un robot autónomo móvil para desinfectar ambientes médicos usando SLAM y UVC para OSH ECUADOR/
Consultorio Médico Jorge Luis Cárdenas.

Autor:

Silva Chato, Carlos Andrés

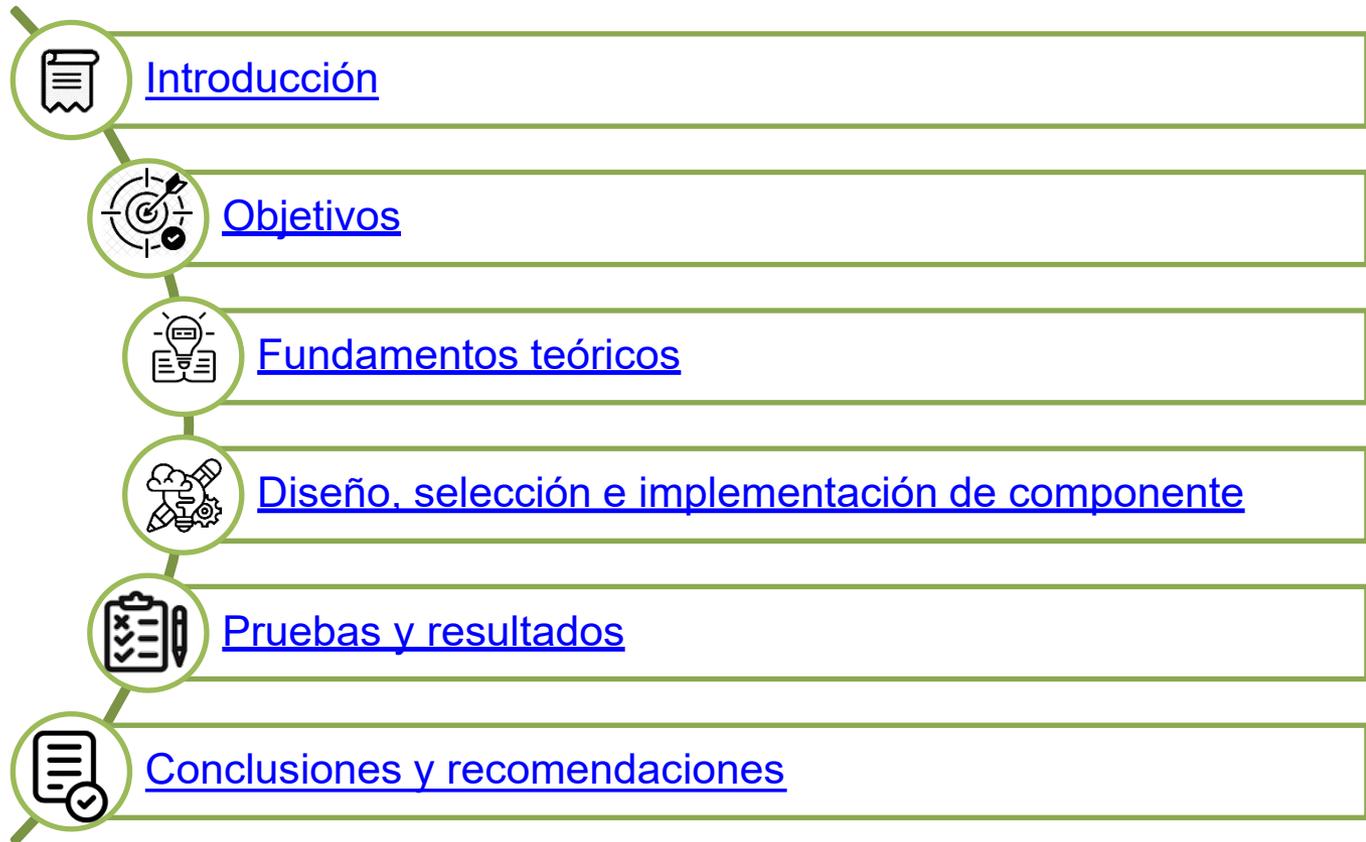
Director:

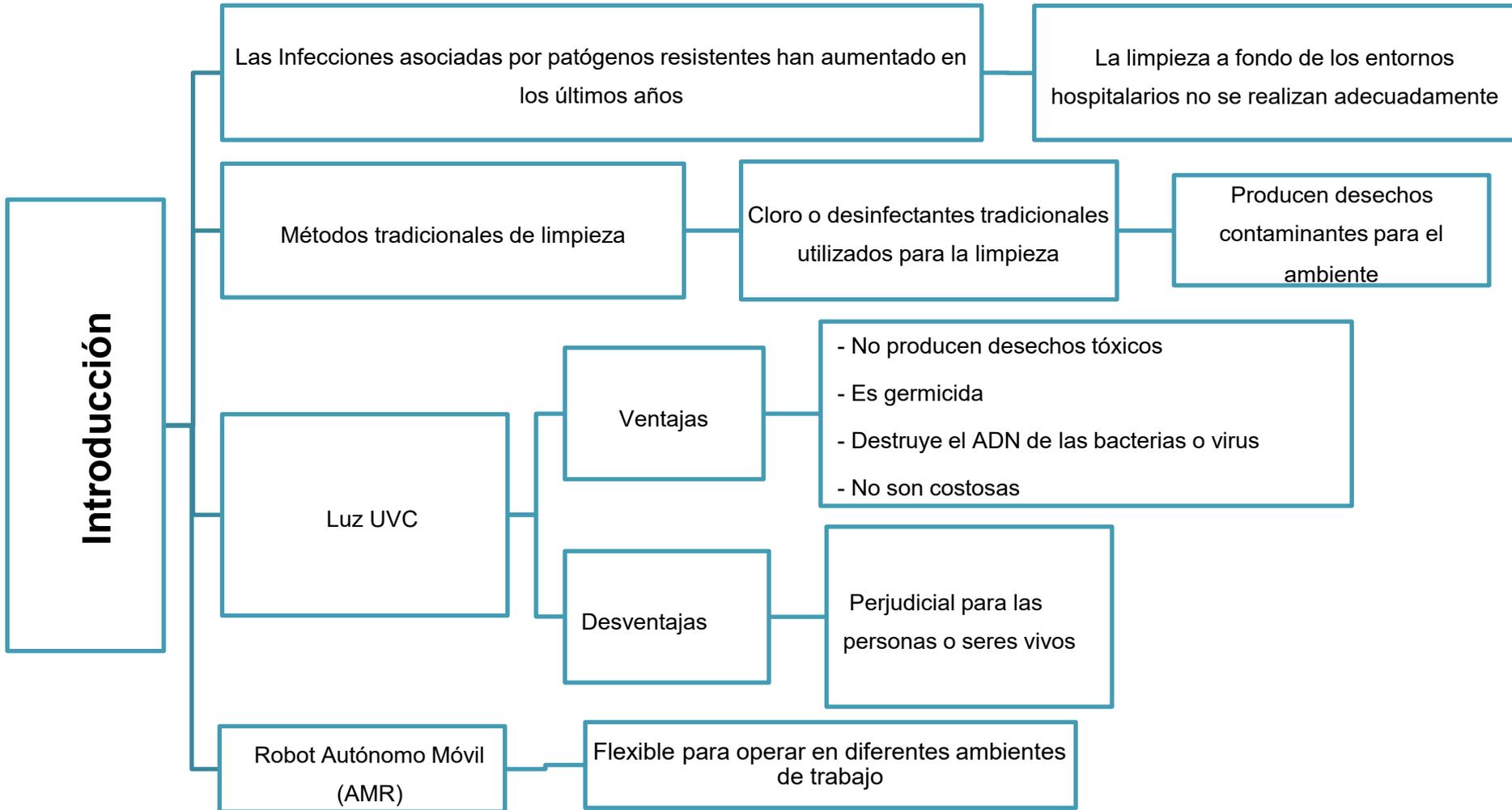
Ing. Mendoza Chipantasi, Darío José

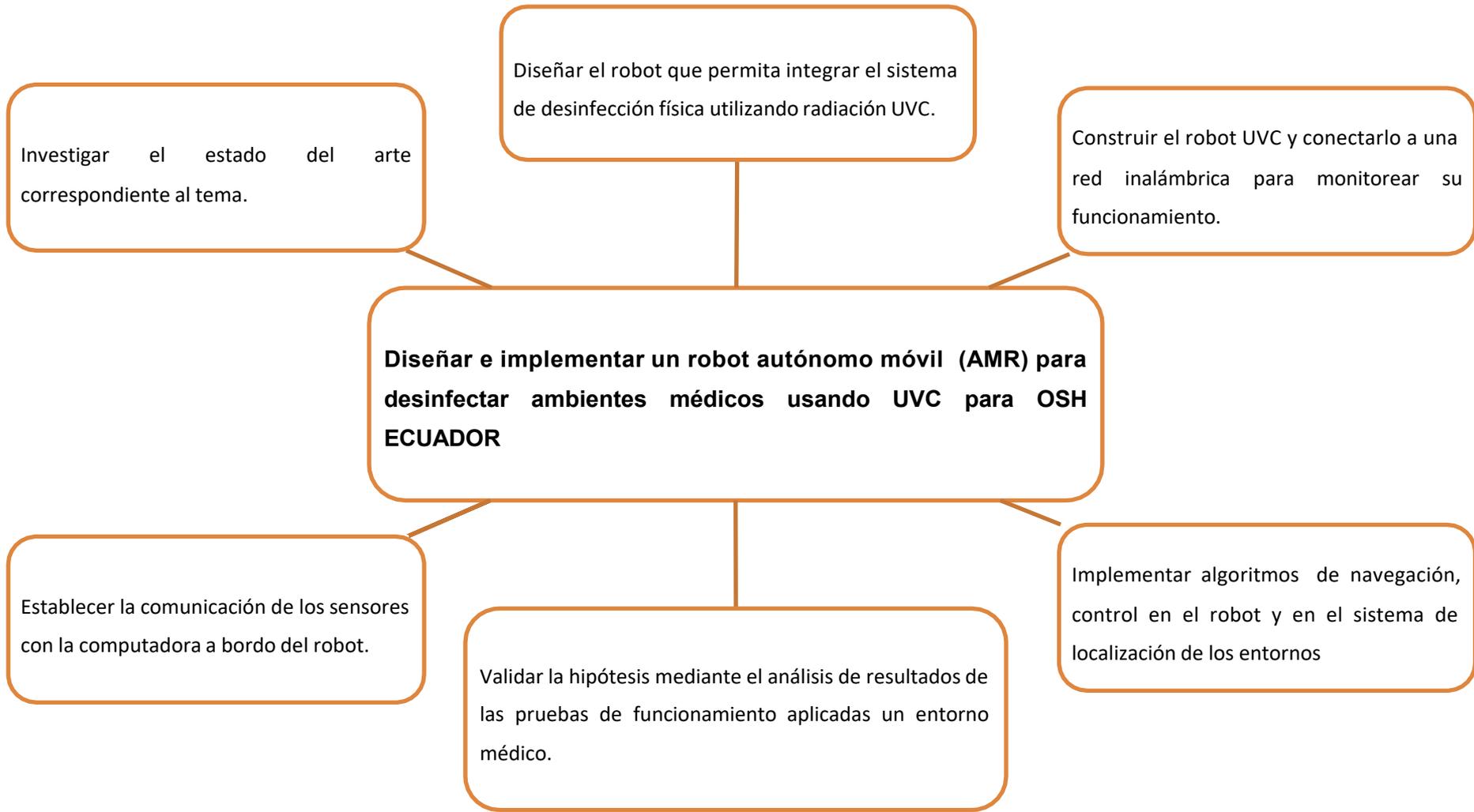
Latacunga, 2022



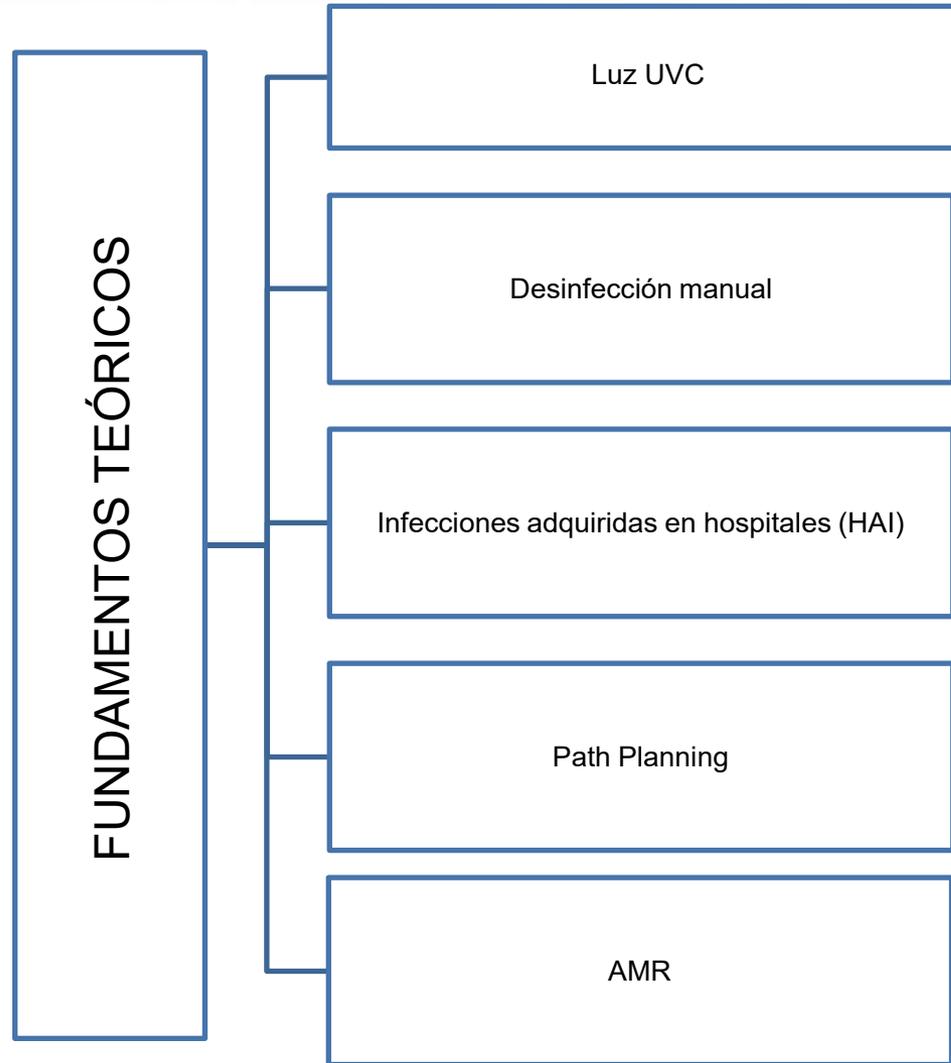
CONTENIDO





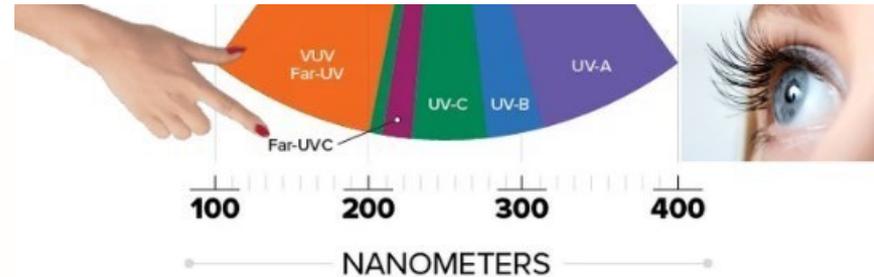
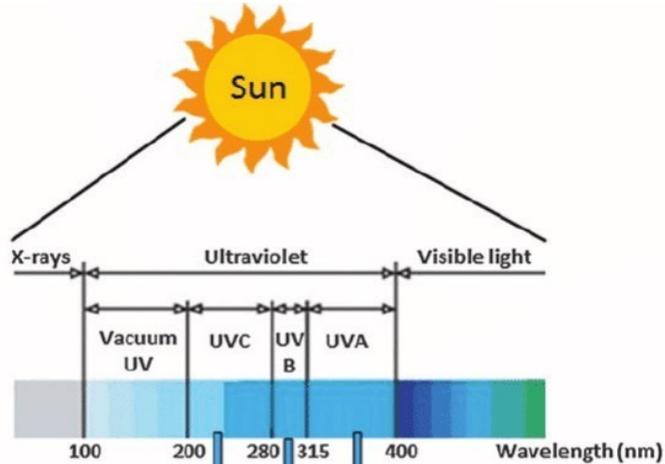


FUNDAMENTOS TEÓRICOS



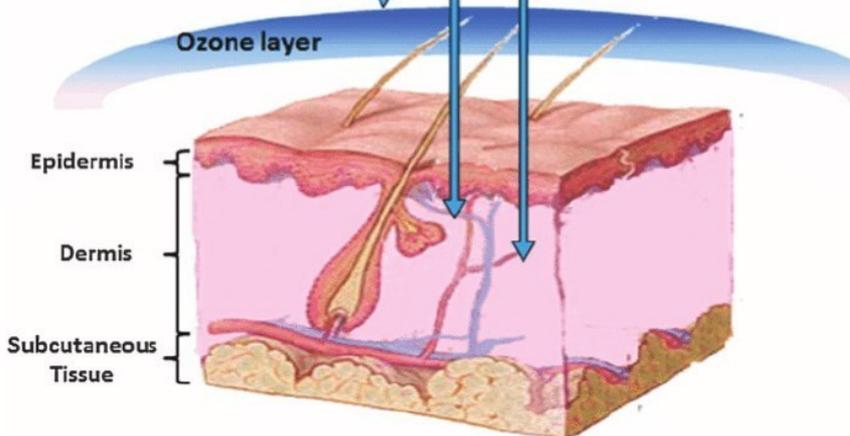
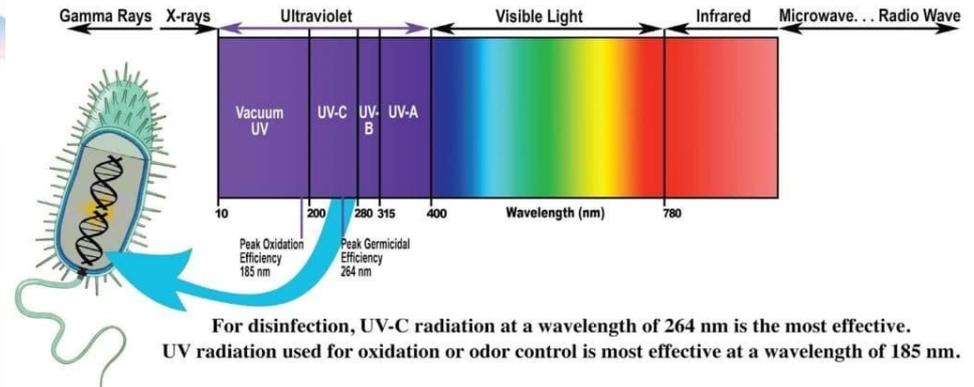
FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Luz UVC



VUV Far-UV	Far-UVC	UV-C	UV-B	UV-A (Near UV)
• 100nm-200nm	• 207nm-222nm	• 200nm-280nm	• 280nm-315nm	• 315nm-400nm
• Medical equipment	• Germicidal	• Germicidal	• Curing	• Printing
• Nanofabrication	• Most effective for disinfecting	• Most effective for disinfecting	• Tanning	• Curing
• Photochemistry	• Safe for skin and eyes	• Sensing	• Medical Applications	• Lithography
• Spectroscopy	• Sensing			• Sensing
				• Medical Applications

Light Spectrum (Electromagnetic Radiation)

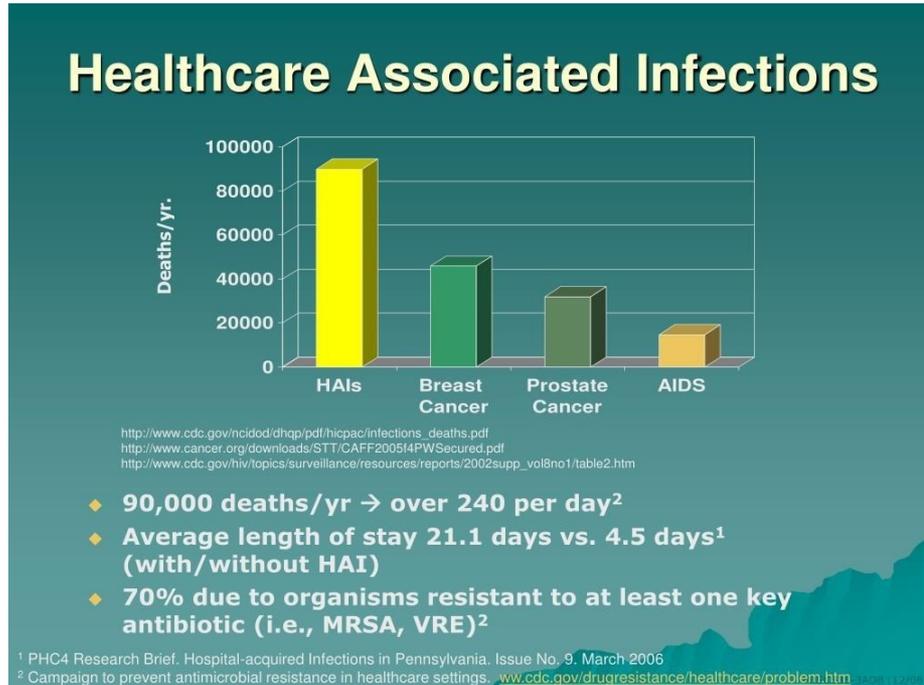


ESPE
 UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
 INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Desinfección Manual

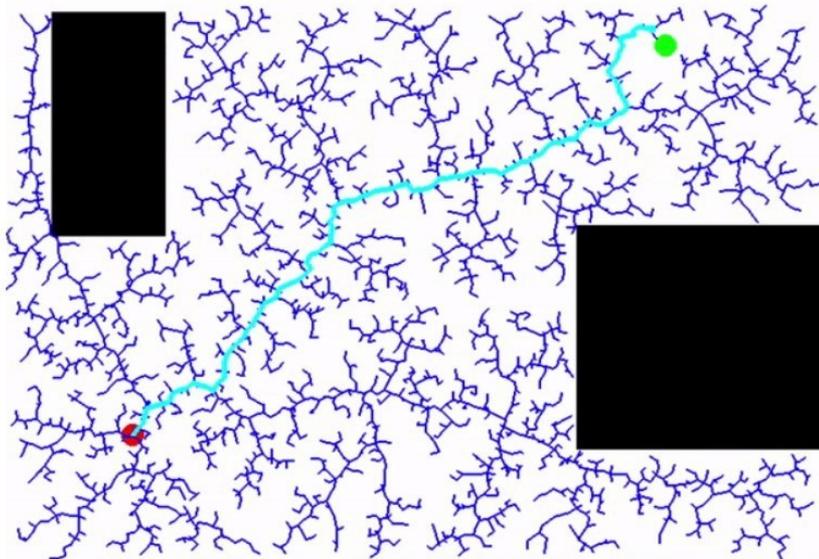


Healthcare - Associated Infections (HAIs)



Path Planning

RRT Algoritmo



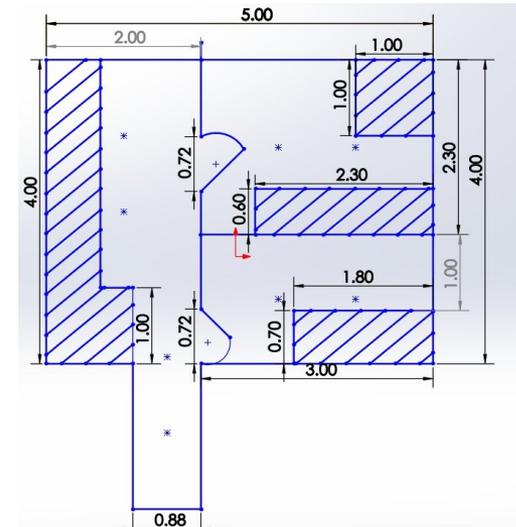
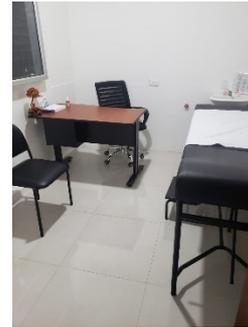
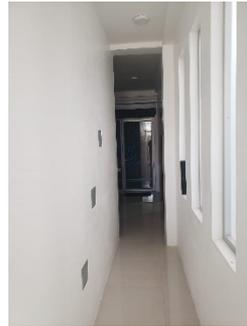
AMR



Diseño, selección e implementación de componentes

Diseño de dimensiones del robot

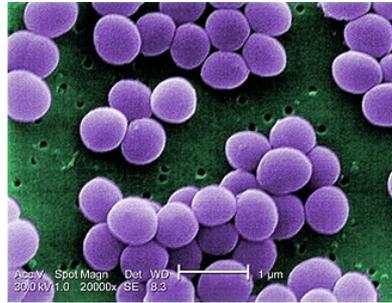
Objeto	Dimensiones
Puertas	0.72m (Ancho) 2m (Alto)
Pasillos	0.88 m (Ancho) 3m (Alto)
Escritorios	1m (Ancho) 1m (Largo) 0.74m(Alto)
Camillas	0.77 m (Ancho) 1.80 m (Largo) 0.80 m (Alto)



Diseño, selección e implementación de componentes

Selección de lámparas UVC

Staphylococcus aureas



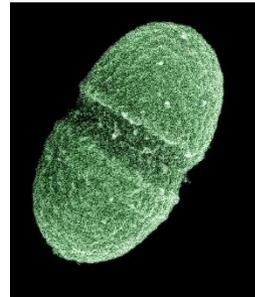
$$0,0066 \frac{J}{cm^2}$$

Escherichia Coli



$$0,0055 \frac{J}{cm^2}$$

Enterococcus Faecalis



$$0,002 \frac{J}{cm^2}$$



Diseño, selección e implementación de componentes

Cálculo de la intensidad mínima para las lámparas UVC

$$UV \text{ Dose} \left(\frac{J}{cm^2} \right) = UV \text{ intensity} \left(\frac{W}{cm^2} \right) \times \text{time}(\text{seg})$$

$$UV \text{ intensity} \left(\frac{W}{cm^2} \right) = \frac{UV \text{ Dose} \left(\frac{J}{cm^2} \right)}{\text{time}(\text{seg})}$$

$$UV \text{ intensity} \left(\frac{W}{cm^2} \right) = \frac{0,0066 \left(\frac{J}{cm^2} \right)}{60(\text{seg})}$$

$$UV \text{ intensity} = 0,00011 \left(\frac{W}{cm^2} \right)$$

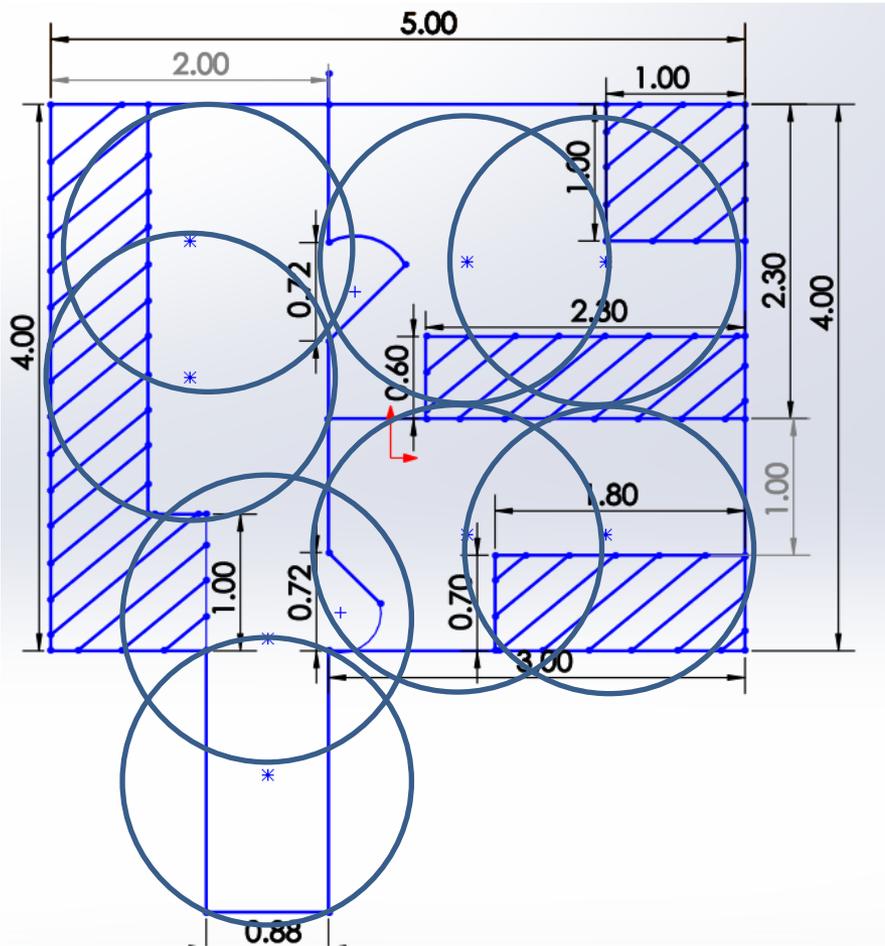
$$UV \text{ intensity} = 110 \left(\frac{\mu W}{cm^2} \right)$$

Irradiance values		$\mu W/cm^2$
Philips TUV 4W	T5	9
Philips TUV 6W	T5	15
Philips TUV 8W	T5	21
Philips TUV 10W	T8	23
Philips TUV 11W	T5	26
Philips TUV 15W	T8	48
Philips TUV 16W	T5	45
Philips TUV F17T8	T8	88
Philips TUV 25W	T5	69
Philips TUV 25W	T8	
Philips TUV 30W	T8	100
Philips TUV 36W	T8	145
Philips TUV 55W HO	T8	150
Philips TUV 75W HO	T8	220
Philips TUV 115W-R.VHO	T12	610



Diseño, selección e implementación de componentes

Cálculo de la velocidad del robot



Distancia entre puntos de desinfección = 1m

Tiempo de espera en cada punto = 60 seg

$$Velocidad = \left(\frac{distancia}{tiempo} \right)$$

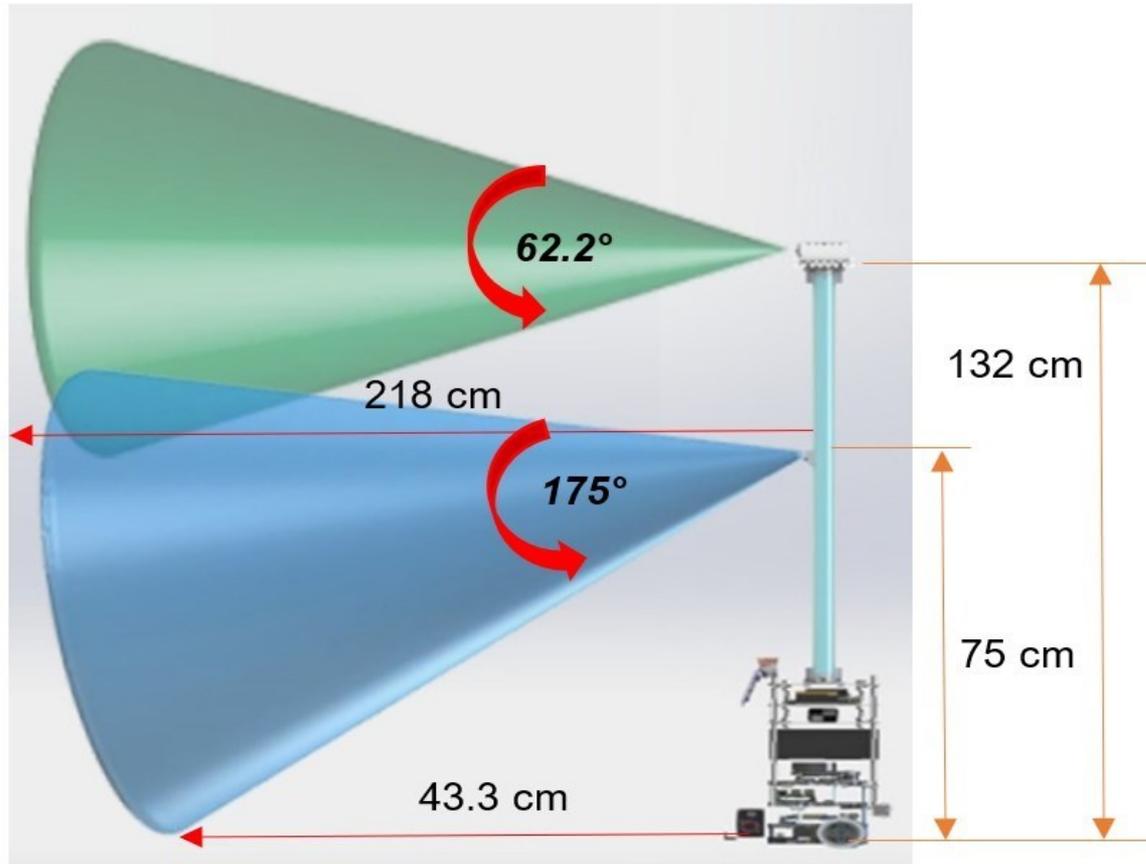
$$Velocidad = \left(\frac{1\ m}{60\ segundos} \right)$$

$$Velocidad = 0.02 \left(\frac{m}{segundos} \right)$$



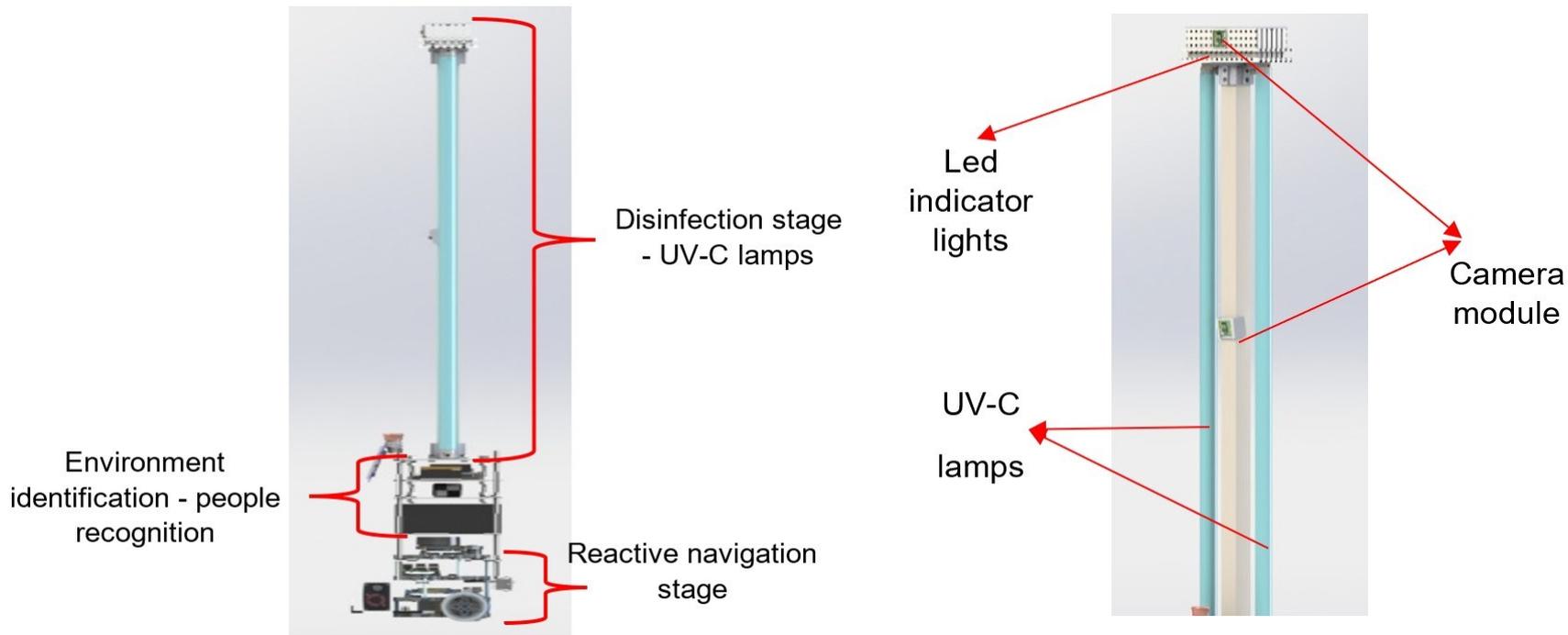
Diseño, selección e implementación de componentes

Campo de Visión del robot



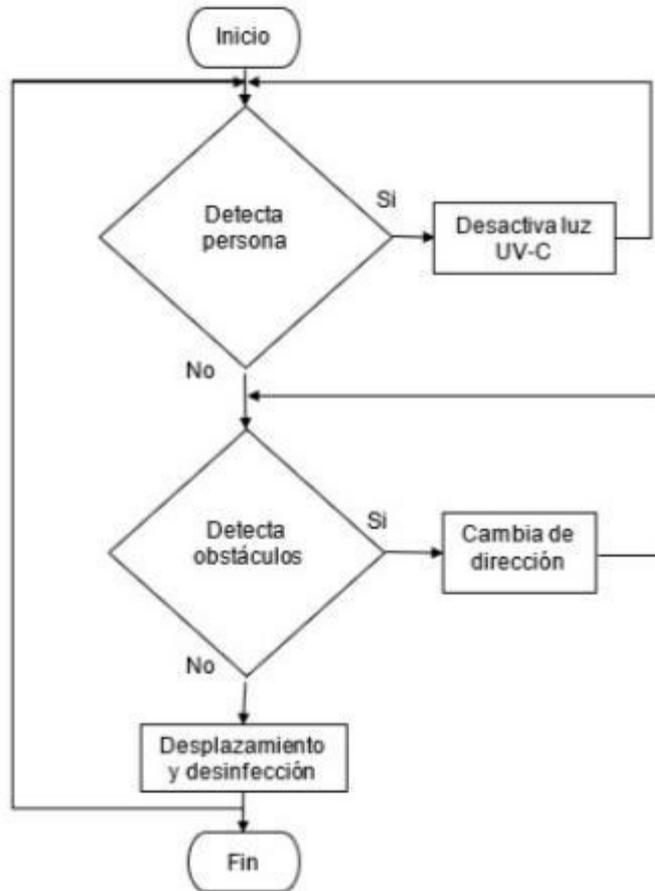
Diseño, selección e implementación de componentes

Implementación del robot



Diseño, selección e implementación de componentes

Diseño del algoritmo de control del robot



Diseño, selección e implementación de componentes

Implementación del robot



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Verificación de luz UVC



RAPID UVGI INTENSITY TEST

Germicidal UVC Wavelength Indicator

Step 1:
Confirm optimal UVGI wavelength

When green **UV-C** is shown
250-270 nm light is present



REUSABLE UV/UVC TEST CARD

Step 2:
Confirm UVGI intensity
Reference color change to the correct UV intensity scale using wavelength indicator

Wide-band UV indicator is sensitive to wavelengths of light between 200-400 nm



UVC/UVGI Scale	MODERATE	HIGH	VERY HIGH	EXTREME
UVA/UVB Scale	Low	Moderate	High	Very High

Verificación de luz UVC



Pruebas de evasión y detección de personas



Pruebas de reconocimiento de personas



Pruebas de desinfección



Pruebas Microbiológicas

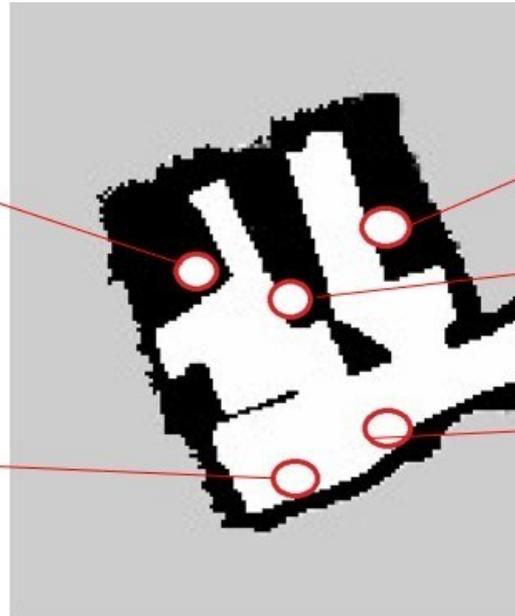


S1 – Silla-escritorio consultorio



S3 – Silla recepción

Tomas de Muestra



S5 – Camilla consultorio 2

S2 – Camilla consultorio

S4 – Isla Recepción



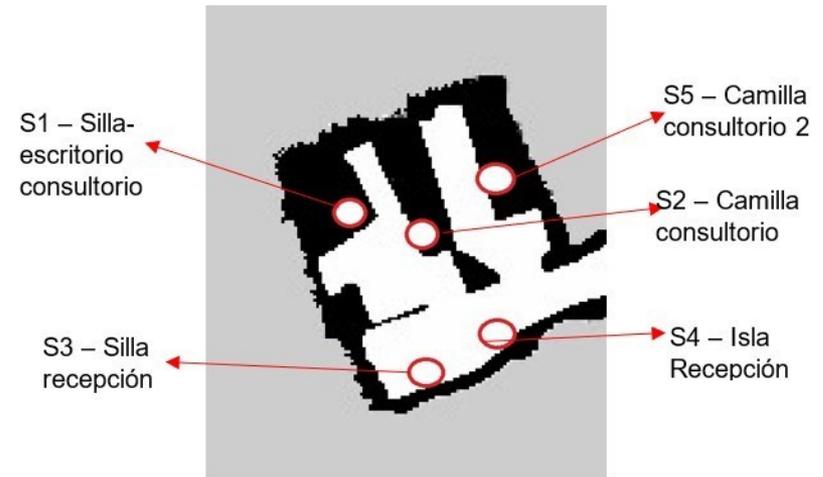
Pruebas Microbiológicas

Tomas de Muestra

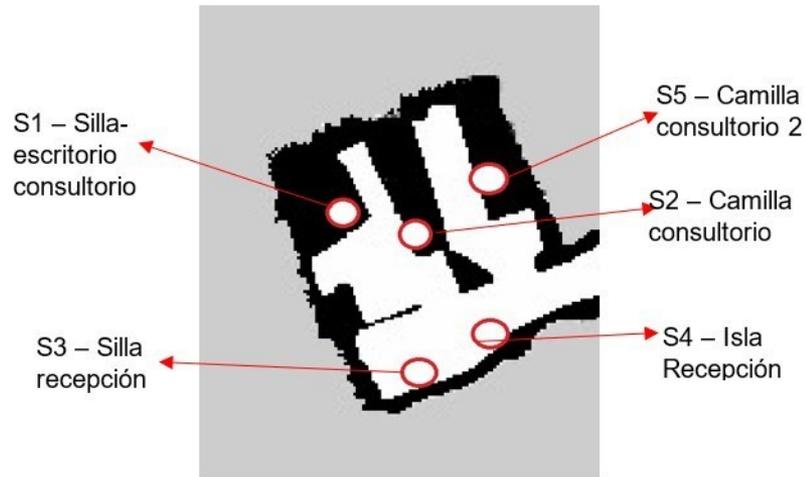


Resultados Microbiológicos Semana 1

Código	Resultado antes (UFC/ml)	Código	Resultado después (UFC/ml)
S1	70.000	S1.1	<10.000
S2	40.000	S2.1	<10.000
S3	< 10.000	S3.1	<10.000
S4	>100.000	S4.1	<10.000
S5	70.000	S5.1	<10.000



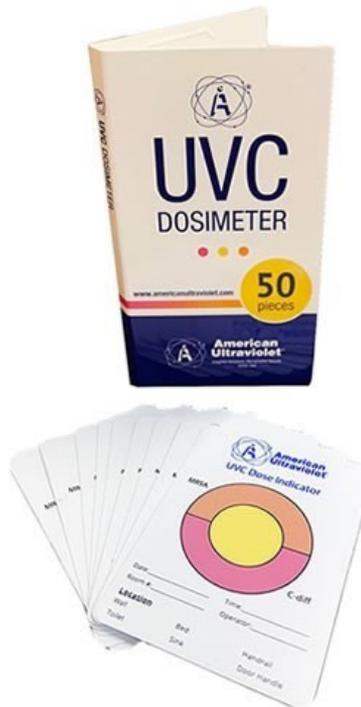
Resultados Microbiológicos Semana 2



Código	Resultado antes (UFC/ml)	Código	Resultado después (UFC/ml)
S1	80.000	S1.1	<10.000
S2	90.000	S2.1	<10.000
S3	< 10.000	S3.1	<10.000
S4	40.000	S4.1	<10.000
S5	70.000	S5.1	<10.000

Resultado de UVC Dose

Cantidad de UVC Dose



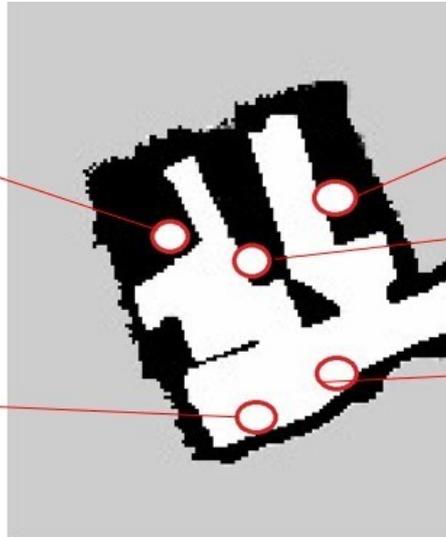
Resultado de UV Dose



Cantidad de UVC Dose

S1 – Silla-escritorio consultorio

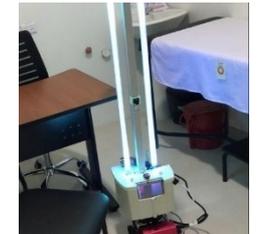
S3 – Silla recepción



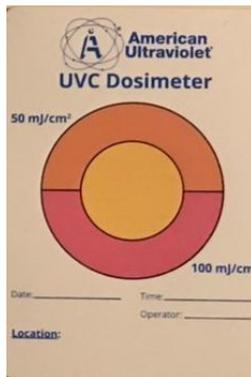
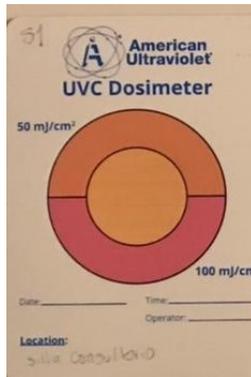
S5 – Camilla consultorio 2

S2 – Camilla consultorio

S4 – Isla Recepción



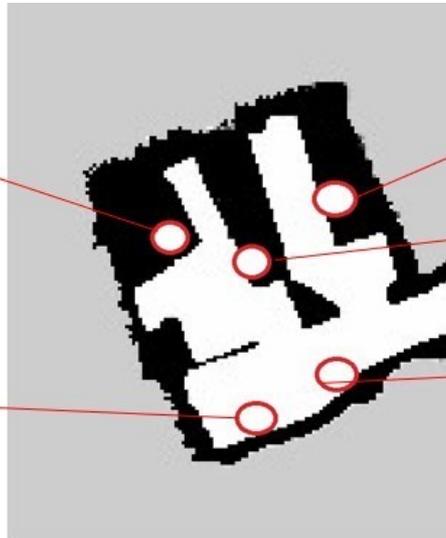
Resultado de UV Dose



Cantidad de UVC Dose

S1 – Silla-escritorio consultorio

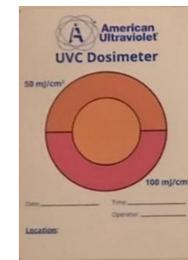
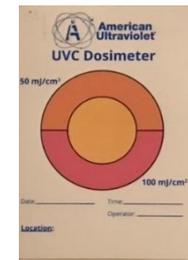
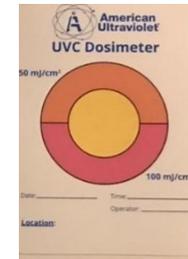
S3 – Silla recepción



S5 – Camilla consultorio 2

S2 – Camilla consultorio

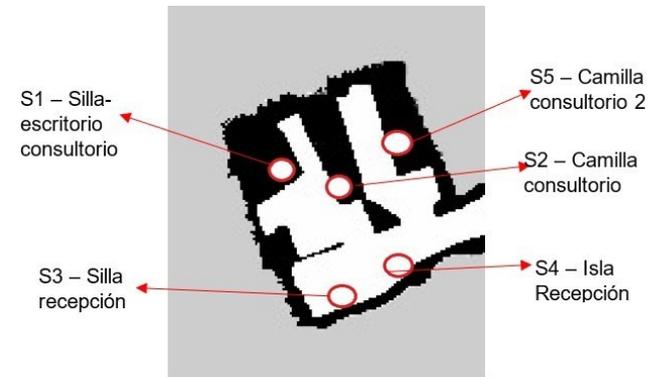
S4 – Isla Recepción



Resultado de UV Dose

Cantidad de UVC Dose

Ubicación	Código	Posición	Tiempo de exposición (s)	Resultado $\frac{cm^2}{m^2}$
Silla consultorio	S1	Vertical	3	40
Camilla consultorio	S2	Vertical	3	40
Silla recepción	S3	Vertical	3	45
Isla recepción	S4	Vertical	3	50
Camilla consultorio 2	S5	Horizontal	3	25



Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Mediante la investigación del estudio del arte, se determinó que el desarrollo de los AMRs son los más eficientes para el presente proyecto. La desinfección mediante luz UV-C, tiene la capacidad de eliminar bacterias con mayor eficiencia especialmente al staphylococcus aureus, Escherichia coli y faecalis. Mediante el sistema operativo ROS, el cual permite conjugar diferentes etapas como la navegación, detección de obstáculos y creación de nuevas rutas.
- Se determinó, que para una correcta desinfección de las bacterias que son más frecuentes en los consultorios médicos, se necesita una dosis de luz UV-C de $10 \text{ mJ}[\text{cm}]^2$, el cual corresponde al staphylococcus aureus y el robot debe movilizarse a una velocidad de 0.3 m/s , la etapa de control también se diseñó con un sistema de seguridad, el cual desactiva las lámparas UVC automáticamente con la presencia de algún individuo.
- Se determinó que para una correcta comunicación entre el AMR y el monitor de control ambos debes estar conectados a la misma dirección IP de la red local.
- Validar la hipótesis mediante el análisis de resultados de las pruebas de funcionamiento aplicadas en un entorno médico. Mediante la validación de la hipótesis, se concluyó que el AMR cumple con la función de desinfección, el cual se demostró con la ayuda de la aplicación de dosímetros UV-C, ubicados en diferentes puntos del centro médico, los cuales miden la cantidad de luz UVC que llegó a ese lugar, de igual manera se comprobó la hipótesis a través de pruebas microbiológicas, tomando muestras antes y después de la aplicación de luz UV-C y obteniendo una reducción desde 100.000 UFC a un valor menor de 10.000 UFC, lo cual representa una desinfección del 99%.

Conclusiones y Recomendaciones

Recomendaciones

- El balastro PSP2GPH40HOIVDW – 3P20166 de Marca Robertson utilizado para activar las lámparas UVC de 55 W de marca PHILIPS producen interferencia con las cámaras conectadas a la Jetson Xavier Nx , se recomienda aislar la Computadora abordo con alguna carcasa que aislé los campos magnéticos producidos por fuentes exteriores.
- El poder de procesamiento de la Raspberry pi 3 es demasiado lento para poder realizar visión artificial de 2 cámaras en tiempo real , se recomienda utilizar una computadora dedicada solo para fines de visión artificial como por ejemplo la computadora Jetson Xavier Nx..
- La utilización del sistema operativo robótico (ROS) en su ultima versión no puede ser la mejor opción para el desarrollo de un producto final debido que no existe mucho soporte técnico del mismo, se recomiendo utilizar un sistema operativo robótico que tenga el mayo soporte técnico para poder encontrar una solución temprana a problemas que se susciten en el desarrollo del producto final.
- Para el diseño de la locomoción del robot se utilizó un sistema diferencial de 2 ruedas debido a su bajo costo y rápida implementación, pero este sistema produce muchas vibraciones a la estructura al momento de trasladar pesos en su estructura, se recomienda para futuros trabajos realizar la locomoción del robot con 4 ruedas para eliminar las vibraciones.
- El centro de masa debe estar ubicado lo más cerca del suelo posible con el fin de eliminar inestabilidad del robot a momento de trasladarse, estas vibraciones pueden causar que el robot pierda su estabilidad o ingreso de ruido a algún sensor instalado en el robot.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA