



DISEÑO DE ROBOT SEMIAUTOMATIZADO PARA DESINFECCIÓN DE HOSPITALES Y CONSULTORIOS UTILIZANDO LUZ ULTRAVIOLETA (UV)

Aurora Aparicio Castillo
ESIME Unidad Azcapotzalco
aaparicioc@ipn.mx

Ramón Rodríguez Luna
ESIME Unidad Azcapotzalco
lunaa3019@gmail.com

Hugo Armando Guerra Calva
ESIME Unidad Azcapotzalco
lunaa3019@gmail.com

Resumen

This document describes the process of designing a semi-automated robot for disinfection of hospitals and clinics using ultraviolet (UV) light, this project arises from the need to reduce the number of infected by the SARS-CoV-2 virus that causes the disease known as COVID-19. It begins with the study of the background that we have about this project analyzing the ways in which the problem can be attacked to find an appropriate solution to meet this need. Subsequently, the linear methodology is developed using the QFD tool, with which we begin by knowing the requirements of the clients, through surveys and thus starting with the development and design of the prototype of the mobile robot. With the idea and the concept about the design, the relevant calculations are made for the correct selection of the mechanical, electrical and electronic components that allow the displacement and disinfection. The detailed construction plans of the main parts of the robot are made by the support of design software, all this under established regulations. Finally, there are the direct and indirect costs, within which we have reference of each price of the components used in this project, as well as a total projection of the cost of carrying it out.

Palabras clave: Robot semiautomatizado, desinfección hospitalaria, desinfección con luz ultravioleta.

La desinfección hospitalaria siempre ha sido de suma importancia para el sector salud debido a la alta carga bacteriana de las superficies que podemos encontrar en instituciones de salud, tanto

pública como privada, consultorios médicos, salas de espera, salas de urgencias, entre muchos otros.

Este proyecto surge a partir de la pandemia generada por el virus SARS-CoV-2 causante de la



enfermedad conocida como COVID-19, con el motivo de emplear un sistema robotizado semiautomático para disminuir el número de individuos infectados por este virus y poder prevenir de manera más eficiente esta enfermedad.

Antecedentes

La desinfección es un proceso que busca eliminar, reducir y evitar la proliferación de agentes infecciosos (microorganismos) en distintas superficies.

En el antiguo Egipto utilizaban distintas sustancias como el tono, alquitrán, resinas e inclusive ciertos compuestos aromáticos eran utilizados para evitar que los cuerpos a embalsamar contrajeran alguna infección (Skellie, 2010).

Con el paso del tiempo, las nuevas tecnologías permitieron descubrir nuevos compuestos mucho más eficientes y menos dañinos para los seres humanos al momento de utilizarlos.

Hoy en día se ha descubierto que la luz ultravioleta puede utilizarse como desinfectante de superficies. La luz ultravioleta, también denominada luz UV, es un tipo de radiación electromagnética de onda corta con un largo de aproximadamente 400 nanómetros, lo que lo hace imperceptible por el ojo humano. “Mientras más morada sea la luz, la onda será más corta (Definición XYZ, 2020).

También se ha comprobado que en longitudes de onda que van desde 200 a 30 nanómetros se encuentra la región germicida, denominada así, debido a que esta área es letal para todos los microorganismos ya que puede destruir el ADN. Como consecuencia, cuando las bacterias, los virus y los protozoos se exponen a estas determinadas

longitudes de onda de esta luz UV quedan inactivos (ONU, 2020).

El virus que genera la enfermedad COVID-19 sobrevive en un amplio rango de valores del PH y temperaturas ambientales, sin embargo, es sensible al calor y los métodos de desinfección ordinarios., por lo que empresas como Siemens, Grupo ADD y Clece empezaron a fabricar dispositivos semiautomáticos y automáticos para desinfectar superficies utilizando la luz ultravioleta UV.

Sanitización por luz UV

La Asociación Internacional Ultravioleta (IUVA), organización enfocada en el desarrollo y avance de las tecnologías UV para ayudar a enfrentar las amenazas microbiológicas como asunto de salud pública y de medio ambiente, avala el uso de la tecnología UV contra el COVID-19.

Método	Desinfección por radiación de luz UV.
Aplicabilidad	Toda la gama de establecimientos cerrados.
Forma de acción	Dstrucción del ADN y ARN de los microorganismos.
Equipos	Variada gama: Robots autónomos de desinfección, lámparas, etc.
Complejidad	El equipo en sí es de escasa o nula complejidad.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> No requiere del uso de ninguna sustancia química. Corto tiempo de exposición. No hay cambios organolépticos en el agua ni alimentos.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> La exposición a largo plazo del personal a los rayos UV puede provocar problemas en la piel y en los ojos. Para asegurar la dosis adecuada hay que contar con varios equipos de control.
Costo de capital	Moderado.
Disponibilidad	Amplia.
Mantenimiento	Simple.
Controles	Sólo hay que asegurarse de que las lámparas funcionen. Hay robots que se manejan fácilmente con una tableta.
Recomendaciones	Un método muy interesante por lo simple. Puede usarse en áreas cerradas de dimensiones grandes a medianas de las grandes ciudades, pero también es una buena opción para zonas rurales.

Figura 1. Características de la tecnología UV

Metodología del diseño

La metodología del despliegue de función de calidad es una herramienta esencial en la rama de la ingeniería para identificar las necesidades y expectativas de los usuarios para el diseño de un producto. Son tres los objetivos que persigue el QFD: 1) Dar prioridad a las necesidades expresadas y latentes de los clientes con respecto a un producto, 2) Traducir esas necesidades en términos de características y especificaciones técnicas y 3) Diseñar, producir y entregar un producto o servicio de calidad, centrándose en la satisfacción de los clientes.



Figura 2. Esquema QFD. Casa de la calidad.

1. Requerimientos de los clientes ¿Qué?: El qué se quiere obtener con sus productos.

2. Importancia para el cliente: Calificación subjetiva de la importancia que tiene cada uno de los requerimientos definidos anteriormente.

3. Requerimientos técnicos ¿Cómo?: Se listan todos aquellos requisitos que deben cumplir los procesos de producción para poder alcanzar los requerimientos listados de los clientes.

4. Matriz de relación entre los requerimientos del cliente y los atributos del producto: En esta matriz se evalúa que impacto tienen los diferentes requerimientos técnicos respecto a los requerimientos de los clientes.

5. Evaluación del mercado y de la percepción del cliente: Los clientes van a evaluar cómo se encuentra el producto respecto a las demás empresas del mercado que son competencia directa.

6. Evaluación técnica: Indica cómo se encuentra el producto en el mercado respecto a los requerimientos técnicos.

7. Evaluación de las relaciones entre los requerimientos técnicos: Indica si entre los diferentes requisitos técnicos hay relaciones.

Requerimiento de los clientes ¿Qué?

Se realizó una encuesta al personal de salud del Instituto Nacional de Nutrición Salvador Zubirán. En la encuesta se elaboraron una serie de preguntas para recabar información sobre los requerimientos

de los posibles usuarios y determinar las necesidades que requiere el personal. En resumen, se pidió al personal de salud que diera una escala de importancia del 1 al 5, arrojando los datos que se muestran en la siguiente figura

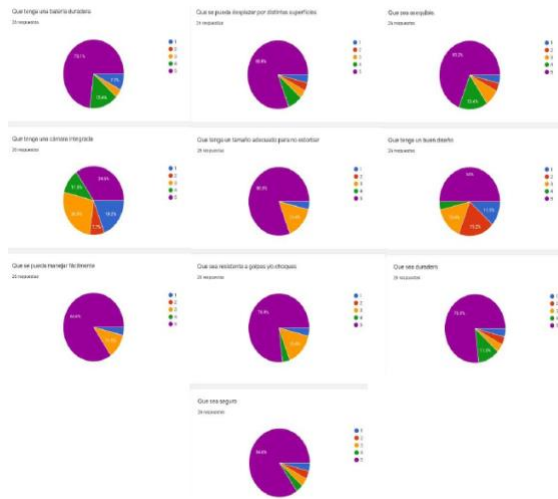


Figura 3. Gráficas de datos de la encuesta “desinfección de habitaciones”

Importancia para el cliente

Como se puede observar en la figura 3 cada uno de los aspectos cuestionados tiene una calificación y se ordenaran de acuerdo con esas valoraciones. La calificación al igual que en las encuestas se determinará en números cerrados del 1 al 5, siendo el 1 el que represente poca o nula importancia y los aspectos que sean evaluados con 5 representan gran importancia.

Evaluación del mercado y de la percepción del cliente

A continuación, se pretende analizar los requerimientos planteados, con la competencia, para así tener una ponderación sobre la importancia de cada uno.

1. Batería duradera. Se propone un valor de duración de 8 horas.

2. Buen desplazamiento. Se planea que pueda evitar obstáculos mediante el uso de software para reconocer y evitar obstáculos.

3. Asequible. Se pretende que pueda estar al alcanza de la mayoría de las personas en cuanto a su costo.

4. Cámara integrada.

5. Tamaño adecuado. Evitar que sea pesado o estorboso.

6. Buen diseño. Que tenga un diseño agradable a la vista del usuario.

7. Fácil manejo. Que tenga una interfaz amigable con el usuario.

8. Resistente. Se busca que los materiales sean aparte de cómodos, resistentes.

9. Duradero. Que tenga un tiempo de vida útil bastante largo, mínimo 8000 horas de funcionamiento.

10. Seguro. Se busca la confiabilidad entera con el producto, que no dañe al ser humano.

Requerimientos técnicos ¿Cómo?

Una vez analizados los aspectos que debe cumplir el robot semiautomatizado para desinfección de hospitales y consultorios utilizando luz ultravioleta, se definirán los requerimientos técnicos necesarios para que se cumplan los requerimientos de los clientes más importantes, los cuales son:

1. Batería. La capacidad de la batería del robot tendrá que ser la adecuada de tal modo que permita su óptimo funcionamiento durante el tiempo necesario para realizar una correcta sanitización.

2. Motor. El robot utilizará un motor eléctrico que desarrolle la potencia necesaria con la cual se pueda desplazar fácilmente a una velocidad moderada para realizar sus funciones.

3. Sistema de locomoción terrestre mediante ruedas. El sistema de tracción diferencial cuenta con ventajas en su implementación tales que es considerado un sistema relativamente barato.

4. Material. La selección de los materiales con los que se fabricará el robot es un punto importante, ya que afectan su inercia, su respuesta dinámica y su funcionamiento.

5. Componentes electrónicos. Los componentes electrónicos que se utilizarán en la fabricación del robot tendrán que estar presentes en el mercado nacional.

6. Peso. El robot tendrá que ser ligero para que así se pueda transportar de un lugar a otro.

7. Controlador. El controlador es uno de los componentes más importantes del robot porque regula todas las funciones, movimientos, cálculos y procesamientos de información.

8. Interfaz de usuario. Deberá ser diseñada de tal manera que el usuario pueda aprender rápidamente a controlar y manejar el robot de forma sencilla.

9. Forma. Las dimensiones del robot tendrán que ser las adecuadas para poderse desplazar fácilmente por los hospitales y consultorios sin estorbar.

Proceso del diseño de ingeniería

Sistema de locomoción por tracción diferencial

El movimiento del robot de desinfección está basado en una tracción diferencial, la cual se caracteriza porque el movimiento se consigue con dos ruedas, cada una acoplada a su propio motor, teniendo dos ruedas de apoyo. El cambio de dirección de esta configuración se realiza modificando la velocidad relativa de la rueda izquierda y derecha. Además, el sistema de locomoción diferencial es barato, fácil de implementar y su diseño es simple.

El desplazamiento del robot a lo largo de la trayectoria está determinado por la siguiente ecuación:

$$D = D_l + D_r \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

D = Desplazamiento del robot

D_l = Desplazamiento de la rueda izquierda

D_r = Desplazamiento de la rueda derecha

La velocidad del robot está determinada por la siguiente ecuación:

$$V = V_l + V_r \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

V = Velocidad del robot

V_l = Velocidad de la rueda izquierda

V_r = Velocidad de la rueda derecha

El robot deberá avanzar a una velocidad lineal constante de 0.8 m/s, por lo que cada rueda deberá tener una velocidad lineal de 0.8 m/s para que el robot avance linealmente.

Para determinar el comportamiento del robot se debe tener un modelo más completo del mismo, en la siguiente figura se muestran las variables dinámicas involucradas con el movimiento del robot.

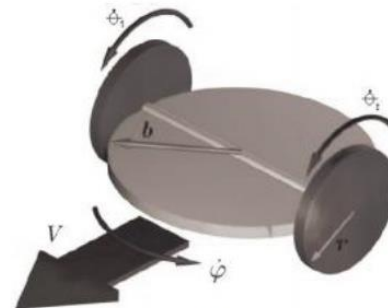


Figura 4. Variables involucradas en el movimiento del robot.

Donde:

θ₁ = Velocidad angular de la rueda 1

θ₂ = Velocidad angular de la rueda 2

V = Velocidad lineal del robot

φ = Velocidad angular del robot

r = Radio de las ruedas

b = Radio del robot

Otras variables involucradas con los parámetros físicos del robot son:

M = Masa del robot

m = Masa de cada rueda,
 (x,y) = Variables de posición absoluta del
 centroide de masa del robot
 φ = Ángulo entre la dirección de movimiento
 del robot y el eje x

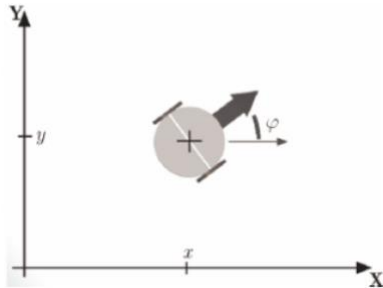


Figura 5. Variables de la posición absoluta del robot.

Una vez descritas las variables generales del modelo matemático se procede a obtener las ecuaciones cinemáticas que relacionan la velocidad de giro de cada una de las ruedas con las variables de posición y giro del robot, variables dinámicas, y para el control de los motores a emplear.

Diseño del apartado mecánico

El diseño mecánico se basa en estudios sobre cuestiones como el límite de fluencia de los materiales y el valor de esfuerzo aplicado con el cual los materiales comienzan a deformarse de forma permanente.

Propuesta de diseño de la estructura

En este trabajo se ha propuesto dividir la estructura del robot en varias partes con el objetivo de distribuir el peso en la armadura y de generar un espacio de trabajo suficiente. De acuerdo con un análisis del número de componentes y de los diferentes sistemas y subsistemas que contendrá el robot es conveniente que se divida en tres secciones.

Estas tres secciones se clasificarán de la siguiente manera:

Sección A: Se conformará de una placa de metal que se encontrará en la parte inferior del robot, que contendrá el sistema de locomoción, es decir, los motores seleccionados para el movimiento y el sistema de transmisión de energía hacia las ruedas, también se encontrará el sistema de alimentación del robot, tales como baterías y la tarjeta de componentes eléctrico/electrónico.

Sección B: Se conformará de una placa metálica que se encontrara justo por encima de la sección A y donde está planeado contener el sistema de control, el cableado para la alimentación de los componentes y algunos otros componentes como son el inversor de onda y los balastos de lámparas.

Sección L: Se conformará del apartado que contendrá las lámparas ultravioletas, así como los componentes con los que se alimentarán de corriente y que servirán de soporte.

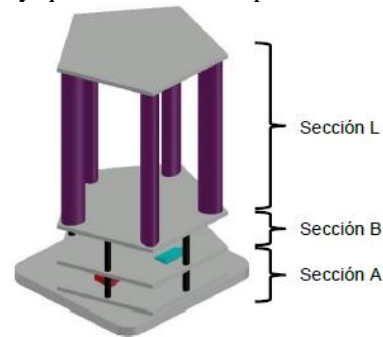


Figura 6. Primer boceto de la estructura del robot

Como se puede apreciar y comprender en la descripción de cada sección el peso estará distribuido en cada piso de la estructura, y se planea que la mayor parte de la carga se encuentre a lo largo de la sección A y B. La sección L soportara un peso considerablemente inferior a la anteriormente mencionada.

Modificaciones del diseño de la estructura del robot y distribución de los componentes

El cambio más significativo es la reducción a solamente dos niveles para la distribución de los elementos, como puede apreciarse en la figura 6, lo que se realizó fue unir la sección L y la sección B, nombrándose simplemente como sección L, esto es observable en la siguiente figura:

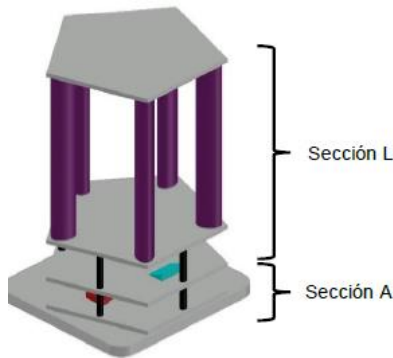


Figura 7. Boceto modificado de la estructura del robot.

Modificación del diseño y componentes de la sección L

Esta sección seguirá conteniendo el soporte de las lámparas de aluminio 6061 que puede apreciarse en la figura 8 con algunas modificaciones en la tapa que puede apreciarse en la figura 9. Aunque con la idea de disminuir el peso se redujeron las dimensiones de la placa L.

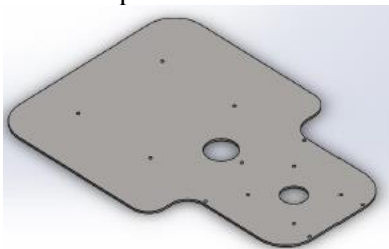


Figura 8. Placa sección L actualizada.

El rediseño de la placa otorgó beneficios al robot, tales como la reducción del peso de una placa de acero 304 que es una de las principales cargas del sistema. Además, se optó por subir de nivel el inversor de onda pues se planea que en la parte

posterior del robot exista una puerta que facilite el apagado y encendido del mismo.

- Placa de sección L.
- 4 lámparas UV, 4 canaletas.
- Soporte de las canaletas, Inversor de onda.

Modificación del diseño y componentes de la sección A

La sección A fue sujeta a varias correcciones debido a las dimensiones de los componentes. El motor seleccionado obligó a cambiar las dimensiones de la placa, el robot debía tener un ancho superior para poder albergar los motores, así que el modelo de la placa A fue drásticamente modificado como se muestra a continuación:

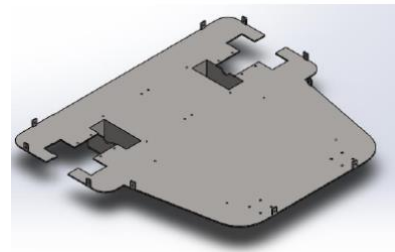


Figura 9. Placa sección A actualizada

Una de las baterías seleccionadas también excedió las dimensiones que se tenían contempladas, así que la separación entre las placas de acero inoxidable AISI 304 tendría que ser superior, por lo tanto la longitud de los pedazos de perfil cuadrado tenía que aumentar, así que gracias a la ayuda visual que otorga el software SolidWorks, se determinó que con una longitud de 25 centímetros sería más que suficiente para asegurar el funcionamiento de los componentes. Los componentes que estarán sujetos en esta placa inferior son:

- Placa de sección A.
- 5 soportes, 2 balastos.
- Batería UE-12Li22BL.
- Batería de litio UE-12-Li125BL.

Cableado, 2 motores.
Placa de componentes eléctricos y electrónicos.

Diseño del recubrimiento de la estructura

El último elemento que se diseñó para la estructura fue el recubrimiento del robot, la placa A tiene 10 piezas de acero soldadas en las orillas que con ayuda de tornillos sujetaran el recubrimiento. Así mismo la placa L tiene orificios que servirán como sujetadores, el recubrimiento puede apreciarse en la siguiente figura.

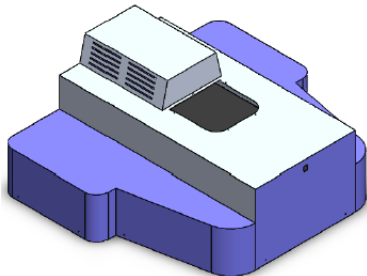


Figura 10. Recubrimiento del robot.

Programación.

La programación es la parte que nos va a permitir controlar los movimientos y las acciones del robot mediante un conjunto de instrucciones consecutivas y ordenadas.

Mediante este programa se controlará el encendido y apagado del robot. También se controlará el giro de los motores para que el robot pueda moverse hacia enfrente o hacia atrás, y para que pueda girar sobre su propio eje, ya sea en sentido de las manecillas del reloj o en sentido contrario. También se controlará la velocidad de giro de los motores, se realizará con PWM, la velocidad del motor se regulará con la modulación por ancho de pulso, con un mayor ciclo de trabajo aumenta la velocidad de giro del motor, y viceversa.

Con este programa se controlará el encendido y apagado de las lámparas UV, así como el de la cámara. Este programa realizará la conexión vía bluetooth entre el Arduino y el celular con el que se controlará el robot.

Tiempo de desinfección del robot

Los datos que se relacionan a la cantidad de radiación ultravioleta son escasos y en su mayoría se obtienen censando los lugares donde actúan los sistemas de lámparas ultravioleta, es por esta razón que se determinaran los tiempos dependiendo el área con base a productos similares existentes en el mercado.

Productos similares plantean el tiempo de desinfección con base en tres rangos de áreas, los rangos son los mostrados a continuación:

Tabla 1. Comparación de proyecto respecto a la lámpara comercial.

Área a desinfectar.	Tiempo requerido para la desinfección.
De 0 a 10 metros cuadrados.	15 minutos de desinfección mediante lámparas ultravioleta.
De 10 a 20 metros cuadrados.	30 minutos de desinfección mediante lámparas ultravioleta.
De 20 a 50 metros cuadrados.	60 minutos de desinfección mediante lámparas ultravioleta.

El área normalizada donde se plantea utilizar el robot es de 14 m² por lo que generalmente el robot debe desinfectar cada habitación durante 30 minutos de acuerdo con la lista anterior.

De acuerdo con la tabla anterior, el área máxima recomendada donde el robot puede operar de manera eficaz es de 50 m².

Análisis económico

Costos directos

Este tipo de costos son los que están directamente relacionados para poder poner en marcha el primer



prototipo, como la materia prima, los procesos que debe tener dicha materia y los componentes comerciales existentes en el mercado

Costo de la estructura del robot

En esta sección se abordarán los costos aproximados necesarios para la construcción de la estructura del robot.

Tabla 2. Lista de materiales de la estructura.

Descripción del elemento.	Cantidad.	Descripción de manufactura.	Precio total.
Chapa de acero inoxidable AISI 304 para la placa A.	1	Fresado, doblado, soldado y taladrado.	\$1630.00
Chapa de acero inoxidable AISI 304 para la placa L.	1	Fresado y taladrado.	\$530.00
Perfil cuadrado Acero AISI 304	1	Corte.	\$349.00
Chapa de aluminio 6061 para el soporte de las lámparas UV.	1	Corte, doblado y soldadura.	\$504.00
Chapa de aluminio 6061 para la tapa del soporte de las lámparas UV.	1	Corte y soldado.	\$252.00
Chapa de aluminio 6061 para los soportes de los motores.	1	Corte y taladrado.	\$2914.00
Chapa de aluminio 3003 para recubrimiento.	1	Corte, soldado y taladrado.	\$4717.00
Chapa de acero inoxidable AISI 304 para los soportes de las chumaceras.	1	Fresado y taladrado.	\$57.00
Chapa de acero AISI 304 para cubrir el eje.	1	Fresado, doblado y taladrado.	\$77.00
Aluminio 3003 para soportes de las baterías.	1	Cortado, doblado y soldadura.	\$1724.00
Tornillería	39	-	\$248.50
Cable calibre 10, 10 metros.	1	-	\$80.00
Cable calibre 16, 10 metros.	1	-	\$60.00
Rueda rotante SITASA 29-220.	2	-	\$398.00
Costo final			\$13507.50

Costo de los componentes eléctrico - electrónicos

Tabla 3. Lista de los componentes eléctricos -. Electrónicos.

Descripción del elemento.	Cantidad.	Precio unitario.	Precio total.
Lámpara TUV 36W SLV6	4	\$1239.00	\$4956.00
Canaleta WGA-002	4	\$58.00	\$232.00
Balastro electrónico HF-B 136/236 TL-D EII	2	\$583.14	\$1166.28
Inversor de onda sinusoidal pura SWI 400 - 12	1	\$4122.04	\$4122.04
Batería UE-12L122BL	1	\$4610.46	\$4610.46
Batería de litio UE-12-L1125BL	1	\$26748.81	\$26748.81
Cámara Pixy2	1	\$1195.22	\$1195.22
Motorreductor serie RI tipo 036	2	\$2574.05	\$5148.10
Arduino UNO	1	\$183.22	\$183.22
Módulo bluetooth HC06	1	\$95.00	\$95.00
Puente H VNH2SP30	2	\$165.50	\$331.00
Convertidor DC - DC Step Down LM2596	1	\$26.00	\$26.00
Transistor NPN 2N2222	1	\$2.00	\$2.00
Diodo rectificador 1N4007	1	\$2.00	\$2.00
Relevador SRD-12VDC-SL-C	1	\$14.00	\$14.00
Resistencia	3	\$1.00	\$3.00
Led	2	\$3.00	\$6.00
Cargador de baterías OptiMate Lithium 4s 10A	1	\$4102.46	\$4102.46
Costo final de los componentes eléctrico - electrónicos			\$52943.59

Costo del acoplamiento del motor a la rueda

En esta sección se abordarán los costos para llevar a cabo la conexión del eje del motor a la rueda motriz.

Tabla 4. Lista de materiales y componentes del acoplamiento del eje.

Descripción del elemento.	Cantidad.	Precio unitario.	Precio total.
Rueda SITASA 160 EGR5.	2	\$395.21	\$790.42
Barra acero 1010 para el eje.	1	\$250.00	\$250.00
Pieza de acero 1045 para cuñas.	1	\$66.00	\$66.00
Acoplamiento QUADRA-FLEX.	2	\$2720.00	\$5440.00
Anillo de retención SHR-75 ST PA S.	2	\$131.25	\$262.50
Anillo de retención SH-93 ST PA S.	2	\$117.25	\$234.50
Rodamiento inserto SNR US203G2.	2	\$625.88	\$1251.76
Chumacera SNR USF203.	2	\$180.00	\$360.00
Costo final			\$8655.18

Costo de servicios

Aquí se abordarán los costos de servicios que serán requeridos para el desarrollo del prototipo, es decir para el ensamblaje de piezas o pagos a personas externas a los integrantes del equipo.

Tabla 5. Lista de costos de servicio

Servicio contratado.	Horas de servicio.	Precio unitario.	Precio total.
Tornero, barrenado y acabado de las piezas.	36	\$55.38	\$1993.68
Corte de material.	24	\$40.00	\$960.00
Herrería.	24	\$43.12	\$1034.88
Costo final			\$3988.56

De acuerdo con las tablas mostradas anteriormente se puede obtener que el costo aproximado es de \$79094.83, además se hará un cargo extra con concepto de pruebas y arreglos de \$10000.00, lo que da un total de costos directos de \$89094.83 (ochenta y nueve mil noventa y cuatro 83/100 M.N.).

Costos indirectos

Los costos indirectos son aquellos costos cuya existencia no depende de la ejecución del robot y que van a seguir existiendo, aunque este no se ejecute, por ejemplo, los gastos de luz, salarios del operador o áreas no vinculadas a este proyecto.

Tabla 6. Lista de costos indirectos.

Descripción.	Horas de servicio en un mes.	Precio unitario.	Precio total.
Servicio de electricidad.	330	\$0.795	\$262.35
Servicio de internet.	-	\$349.00	\$349.00
Papelaría	-	-	\$500.00
Costo final			\$1111.35



Costo total

La suma de los costos directos e indirectos hasta el momento es de \$88134.18, esta cifra deberá tener un aumento cuando se evalúen los costos que se han generado por diseño y desarrollo del prototipo, así como el costo que tienen los softwares que se han utilizado para la elaboración del robot.

Tabla 7 Costos de licencias de software utilizados.

Descripción.	Costo de licencia por mes.	Costo de licencia anual.
SolidWorks.	\$182.30	\$2187.60
Proteus.	\$1617.05	\$19404.60
Costo final	\$1799.35	\$21592.20

Tabla 8 Costos de desarrollo ingenieril.

Actividad.	Horas de servicio.	Precio unitario (promedio por hora de ingeniero robótico)	Precio total.
Desarrollo del proyecto en SolidWorks.	180	\$125.29	\$22552.20
Trabajo de investigación	250	\$125.29	\$31322.50
Desarrollo del proyecto en Proteus.	10	\$125.29	\$1252.90
Desarrollo del proyecto en Arduino.	20	\$125.29	\$2505.80
Ingeniería.	150	\$125.29	\$18793.50
Costo final			\$76426.90

Realizando la suma de los costos reflejados en las tablas 4.6 (mensual) y 4.7 se obtiene la cifra de \$78226.25, esta cifra se puede definir como el costo de desarrollo pues incluye la retribución del trabajo de ingeniería y las licencias de los softwares requeridos para el desarrollo del prototipo.

El costo total sería de \$168432.43 (ciento sesenta y ocho mil cuatrocientos treinta y dos 43/100 M.N.), esta cifra representaría el desarrollo del primer prototipo funcional del robot semiautomatizado desinfectante mediante rayos ultravioleta.

Referencias

Molina, R. & García, O. (2003). Manual de limpieza y desinfección hospitalaria. Colombia: Comité de infecciones Intrahospitalarias.

Homero. (2018). La Odisea. México: Ediciones Leyenda.

Delgado, E. & Díaz, P. (2006). Elaboración y documentación del programa de limpieza y desinfección de los laboratorios del Departamento de Microbiología de la Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.

Martinez, M. & Zúñiga, G. (2012, septiembre 1). Los efectos de la luz ultravioleta. La ciencia y el hombre, Volumen XXV, p.3.

Hernando, L. (2014). Implementación de un robot móvil terrestre omnidireccional semiautónomo y telecontrolado a través de un teléfono inteligente android (Tesis de grado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

García, A. (2010). Desarrollo del sistema de locomoción de una plataforma hardware para robocup small soccer league (SSL) (Proyecto fin de carrera). Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, España.

Madecentro. (2014). Ficha técnica ALUMINIO. Medellín, Colombia: Madecentro.

Celigieta, J. (2000). Método de los Elementos Finitos para Análisis Estructural. España: UNICOPIA C.B.

Frías, E. (2004). Aportaciones al estudio de las maquinas eléctricas de flujo axial mediante la aplicación del método de elemento finito. Departamento de Ingeniería Eléctrica: UPC.