



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA LA
DESINFECCIÓN Y LIMPIEZA DE MATERIALES DE VIDRIO**

AUTOR: ASITIMBAY ZURITA JOSÉ ANTONIO

JARAMILLO TORRES SARA ESTHER

DIRECTOR: ING. TERNEUS FRANCISCO

SANGOLQUÍ

2016



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGIA Y MECANICA
CARRERA DE INGENIERIA MECATRONICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente proyecto titulado, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA LA DESINFECCIÓN Y LIMPIEZA DE MATERIALES DE VIDRIO", realizado por el Señor **JOSÉ ANTONIO ASITIMBAY ZURITA** y la Señorita **SARA ESTHER JARAMILLO TORRES**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **JOSÉ ANTONIO ASITIMBAY ZURITA** y la Señorita **SARA ESTHER JARAMILLO TORRES**, para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 15 de septiembre del 2016


Ing. Francisco Terneus, Msc

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **JOSÉ ANTONIO ASITIMBAY ZURITA** con cédula de identidad N° 1722891205 y **SARA ESTHER JARAMILLO TORRES**, con cédula de identidad N° 1725491805, declaramos que este trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA LA DESINFECCIÓN Y LIMPIEZA DE MATERIALES DE VIDRIO**”, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 15 de septiembre del 2016

JOSÉ ANTONIO ASITIMBAY ZURITA

1722891205

SARA ESTHER JARAMILLO TORRES

1725491805



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **JOSE ANTONIO ASITIMBAY ZURITA** y **SARA ESTHER JARAMILLO TORRES**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA LA DESINFECCIÓN Y LIMPIEZA DE MATERIALES DE VIDRIO**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 15 de septiembre del 2016

JOSE ANTONIO ASITIMBAY ZURITA

1722891205

SARA ESTHER JARAMILLO TORRES

1725491805

Dedicatoria

Primeramente a Dios por ser el guía tanto en mi vida personal como académica. A mis padres Nelson y Gladys por su apoyo incondicional y su infinita paciencia. A mi hermana Jessica por brindarme su compañía, y ánimo en los buenos y malos momentos, a todos ellos que son mi motor para seguir adelante.

José Asitimbay

Dedicatoria

A Dios en primer lugar por guiar mi vida, a mi madre por ser mi ejemplo por su dedicación y sacrificio para verme crecer, a mi padre por su apoyo y su guía, y a mis hermanos por ser mis amigos.

Sara Jaramillo

Agradecimientos

A Dios por ser la luz y la voz en las decisiones que tomo, por ponerme a las personas correctas en mi vida y permitirme seguir alcanzando paso a paso las metas propuestas.

A mis padres, Nelson y Gladys, por su amor, apoyo y paciencia, por cada una de sus enseñanzas. Por sus consejos que me han llevado a siempre tratar de ser un mejor ser humano.

A mi hermana Jessica por brindarme tantos momentos de alegría, ánimo y consejos, y por ser ella el motivo para siempre mejorar en esta vida.

Al resto de mi familia por estar pendientes de mí, y toda la ayuda que me han brindado en este camino.

A mis amigos Alexis, Dianita, Gaby, Stefy, Jacqui, Juan, Karlita, Majo y los demás, que han hecho de la vida universitaria un trayecto lleno de momentos alegres y únicos que atesoraré por siempre.

Al Ing. Roberty Velasco y al Sr. Nelson Cárdenas por toda su ayuda y consejos, de los cuales estaré eternamente agradecido.

A todos y cada uno de los profesores que gracias a sus enseñanzas han hecho enriquecedor este largo camino.

Y finalmente a mi compañera Sara Jaramillo por ser ese apoyo y gran ayuda en este proyecto.

José Asitimbay

Agradecimientos

A mis padres Mónica y Juan por apoyarme e impulsarme en cada paso de mi vida y guiar mis pasos, a mis amigos por acompañarme a lo largo de este camino y por todo lo que he aprendido de ellos.

A mi amado Erick Alvear por cada momento y cada aventura, gracias por caminar de mi mano LUEP.

Al Ing. Roberty Velasco y al Sr. Nelson Cárdenas por sus consejos y estar dispuestos siempre a ayudar.

A mi compañero José Asitimbay por ser un buen amigo y por cada idea que aportó al desarrollo de este proyecto.

Sara Jaramillo

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA	
CERTIFICADO DE ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iii
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. Introducción	1
1.2. Definición del proyecto	1
1.3. Antecedentes	1
1.4. Alcance	2
1.5. Justificación e Importancia	3
1.6. Objetivos	5
1.6.1. Objetivo General	5
1.6.2. Objetivos Específicos	5

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Técnica de lavado de materiales de vidrio para la óptica	6
2.2. Sustancias utilizadas para el lavado de materiales de vidrio para óptica en Nanotecnología	8
2.3. La Robótica Industrial	12

2.3.1.	Morfología del Robot.....	13
2.3.1.1.	Estructura mecánica.....	13
2.3.1.2.	Transmisiones.....	17
2.3.1.3.	Actuadores.....	18
2.3.1.4.	Elementos terminales.....	22
2.1.	El Robot Cartesiano.....	24
2.1.1.	Aplicaciones Industriales.....	24

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL SISTEMA

3.1.	Planificación del desarrollo.....	28
3.1.1.	Declaración de la misión.....	28
3.2.	Desarrollo del concepto.....	29
3.2.1.	Identificación de las necesidades del personal del laboratorio de nanomateriales.....	29
3.2.1.1.	Recopilación de datos sin procesar de los clientes.....	30
3.2.1.2.	Interpretación de los datos sin procesar en términos de las necesidades de los clientes.....	31
3.2.1.3.	Organización de las necesidades en una jerarquía.....	32
3.2.1.4.	Establecimiento de la importancia relativa de las necesidades.....	33
3.2.1.5.	Análisis de los resultados y el proceso.....	35
3.2.2.	Establecimiento de las especificaciones del sistema.....	36
3.2.2.1.	Elaborar la lista de métricas.....	37
3.2.2.2.	Reflexionar en los resultados y procesos.....	38
3.2.3.	Generación de conceptos.....	38
3.2.3.1.	Establecimiento del problema.....	39
3.2.3.2.	Descomposición de un problema complejo en subproblemas más sencillos.....	39
3.2.3.3.	Búsqueda externa.....	40
3.2.3.4.	Búsqueda interna.....	40
3.2.3.5.	Exploración sistemática.....	40
3.2.3.6.	Reflexionar sobre las soluciones y el proceso.....	43
3.2.4.	Selección de conceptos.....	45

3.3.	Desarrollo de prototipos.....	50
3.3.1.	Desarrollo de prototipos orientados al diseño mecánico.....	52
3.4.	Selección de prototipos.....	58
3.5.	Definición de la arquitectura del producto	60
3.6.	Alternativas de selección de componentes mecánicos y eléctricos/electrónicos.....	63
3.6.1.	Sistema de movimiento lineal	63
3.6.2.	Sistema de transmisión de movimiento	64
3.6.3.	Motores	65
3.6.4.	Dispositivo generador de vibración	66
3.6.5.	Microcontrolador	67
3.6.6.	HMI	69
3.7.	Diseño Mecánico	70
3.7.1.	Diseño de ejes	70
3.7.2.	Diseño Estructura	83
3.7.3.	Análisis dinámico	84
3.8.	Diseño electrónico y de control.....	85

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

4.1.	Estructura mecánica.....	88
4.1.1.	Estructura principal.....	88
4.1.2.	Soporte contenedores.....	89
4.1.3.	Soporte de acrílicos.....	92
4.1.4.	Soporte acrílico eje Z	92
4.1.5.	Conexión eje z - gripper.....	93
4.1.6.	Estructura de acero inoxidable	93
4.1.7.	Gripper	93
4.2.	Instalación de componentes	94
4.2.1.	Instalación de componentes mecánicos.....	94
4.2.2.	Instalación de componentes eléctricos, electrónicos y de control	95
4.3.	Interfaz del usuario	97

4.3.1.	Pantalla principal.....	97
4.3.2.	Tipos de movimiento	97
4.3.2.1.	Modo Manual.....	98
4.3.2.2.	Modo automático	98
4.3.3.	Luces piloto y paro de emergencia	99

CAPÍTULO 5

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1.	Pruebas Funcionales	100
5.1.1.	Procesos	100
5.1.2.	Precisión y repetibilidad	100

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

6.1.	Análisis financiero.....	105
6.1.1.	Costos Directos.....	105
6.1.1.1.	Costos de materiales directos.....	105
6.1.1.2.	Costos de mano de obra directa.....	108
6.1.1.3.	Costos de máquinas herramientas.....	109
6.1.1.4.	Costos totales directos.....	109
6.1.2.	Costos Indirectos	109
6.1.2.1.	Costos de materiales indirectos.....	110
6.1.2.2.	Costos de mano de obra indirecta.....	110
6.1.2.3.	Costos totales indirectos.....	110
6.1.3.	Costos totales.....	111
6.2.	Análisis Económico	111
6.2.1.	Costo del uso de la máquina.....	111
6.2.1.1.	Costo del consumo energético	111
6.2.1.2.	Costo de mano de obra que opera la máquina	112
6.2.1.3.	Costo de depreciación	112
6.2.2.	Valor Actual Neto (VAN)	112

6.2.3. Tasa Interna de Retorno (TIR).....	112
6.2.4. Relación Beneficio Costo (B/C)	113

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones.....	114
7.2. Recomendaciones.....	115
Bibliografía.....	116
ANEXOS.....	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de los robots según la AFRI	12
Tabla 2 Sistemas de transmisión para robot	17
Tabla 3 Declaración de la Misión	28
Tabla 4 Documentación de interacción con el cliente	30
Tabla 5 Interpretar los datos sin procesa en términos de las necesidades de los clientes.....	31
Tabla 6 Organización en jerarquía.....	32
Tabla 7 Encuesta 1	33
Tabla 8 Encuesta 2	34
Tabla 9 Necesidades del cliente para el sistema de limpieza y desinfección de materiales de vidrio.....	36
Tabla 10 Lista de métricas	37
Tabla 11 Matriz de necesidades-métricas	38
Tabla 12 Problemas en la selección de concepto	39
Tabla 13 Solución subproblemas: recibir energía, transformar energía AC-DC.	41
Tabla 14 Soluciones subproblemas: Materiales de vidrio a usar, ubicación de materiales en la máquina	41
Tabla 15 Soluciones subproblemas: recibir señal de operación, mover el material	41
Tabla 16 Soluciones al subproblema: Limpieza profunda	41
Tabla 17 Concepto de solución del material a limpiar.....	43
Tabla 18 Concepto de solución escogida para envío de señales	43
Tabla 19 Concepto de solución sobre limpieza profunda.....	43
Tabla 20 Conceptos Generados	44
Tabla 21 Evaluación criterios de Selección por conceptos	45
Tabla 22 Matriz de selección	46
Tabla 23 Facilidad de manejo.....	47
Tabla 24 Facilidad de uso	47
Tabla 25 Facilidad de mantenimiento.....	47
Tabla 26 Precisión de movimiento	47
Tabla 27 Facilidad control automático.....	48
Tabla 28 Vida útil.....	48
Tabla 29 Costo materia prima	48
Tabla 30 Baja complejidad piezas	48
Tabla 31 Ergonomía.....	49
Tabla 32 Seguridad.....	49
Tabla 33 Medio ambiente.....	49
Tabla 34 Facilidad de manufactura.....	49
Tabla 35 Reducido tiempo de procesamiento	50
Tabla 36 Resultados parte 1.....	50
Tabla 37 Resultados parte 2.....	50
Tabla 38 Medidas Elementos de laboratorio	52
Tabla 39 Medidas tubo de ensayo.....	55

Tabla 40 Cuadro comparativo sistema de movimiento lineal.....	63
Tabla 41 Tabla de valoración del sistema de movimiento lineal.....	64
Tabla 42 Cuadro comparativo sistema de transmisión de movimiento.....	64
Tabla 43 Tabla de valoración del sistema de transmisión de movimiento	65
Tabla 44 Cuadro comparativo motores.....	65
Tabla 45 Tabla de valoración de motores.....	66
Tabla 46 Cuadro comparativo Dispositivos generadores de vibración	66
Tabla 47 Tabla de valoración dispositivo de generador de vibración	67
Tabla 48 Cuadro comparativo Microcontrolador	68
Tabla 49 Tabla de valoración de microcontrolador.....	68
Tabla 50 Cuadro comparativo HMI	69
Tabla 51 Tabla de valoración HMI	69
Tabla 52 Características motor NEMA 23.....	81
Tabla 53 Resumen de cálculos en los ejes	83
Tabla 54 Análisis dinámico de las vigas en el eje X.....	84
Tabla 55 Pruebas Funcionales.....	100
Tabla 56 Medidas Proceso 1	100
Tabla 57 Medidas Proceso 2	101
Tabla 58 Medidas Proceso 3	102
Tabla 59 Medidas Proceso 4	102
Tabla 60 Medidas Proceso 5	103
Tabla 61 Medidas Proceso 6	103
Tabla 62 Costos Mecánicos.....	105
Tabla 63 Costos eléctricos y electrónicos.....	106
Tabla 64 Costos materiales para la estructura.....	106
Tabla 65 Accesorios eléctricos y electrónicos.....	106
Tabla 66 Accesorios para la estructura.....	107
Tabla 67 Costos de accesorios	107
Tabla 68 Costos totales directos de materiales	108
Tabla 69 Costos de mano de obra directa	108
Tabla 70 Costo mano de obra directa	109
Tabla 71 Costos de máquinas y herramientas.....	109
Tabla 72 Costos totales directos	109
Tabla 73 Costos de instalación del laboratorio	110
Tabla 74 Costos mano de obra indirecta	110
Tabla 75 Costos totales indirectos	111
Tabla 76 Costos totales	111
Tabla 77 Costo consumo energético	112
Tabla 78 Costos depreciación	112
Tabla 79 Flujo de caja proyectado para 10 años	113
Tabla 80 Análisis económico	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura del robot industrial.....	13
Figura 2 Tipos de articulaciones para robots.....	14
Figura 3 Configuraciones robots industriales	14
Figura 4 Robot Cartesiano	15
Figura 5 Robot Cilíndrico.....	15
Figura 6 Robot Esférico	16
Figura 7 Robot SCARA.....	16
Figura 8 Robot Antropomórfico	17
Figura 9 Cilindros neumáticos	18
Figura 10 Motores neumáticos	19
Figura 11 Cilindro Hidráulico de doble efecto.....	19
Figura 12 Motores Hidráulicos.....	20
Figura 13 Motor DC.....	20
Figura 14 Motor de corriente alterna.....	20
Figura 15 Motor paso a paso.....	21
Figura 16 Esquema de un motor paso a paso	22
Figura 17 Muñeca.....	22
Figura 18 Grados de libertad de la muñeca	22
Figura 19 Garra Mecánica.....	23
Figura 20 Ventosas	23
Figura 21 Electroimán.....	24
Figura 22 Robot Cartesiano de Paletización	25
Figura 23 Robot Cartesiano Pick And Place	25
Figura 24 Robot Cartesiano Dosificación.....	26
Figura 25 Robot Cartesiano Precintado	26
Figura 26 Robot cartesiano de 4 ejes de soldadura de mesa.....	27
Figura 27 Robot cartesiano CNC de grabado	27
Figura 28 Descomposición del problema en subfunciones	39
Figura 29 Refinamiento de subfunciones.....	40
Figura 30 Diagrama de descomposición del problema de Energía.....	42
Figura 31 Diagrama de descomposición del problema de Material a limpiar y desinfectar	42
Figura 32 Diagrama de descomposición del problema de limpieza profunda	42
Figura 33 Diagrama de descomposición del problema de motor de corriente continua.....	42
Figura 34 Engrane dientes rectos	51
Figura 35 CAD Engrane dientes rectos.....	51
Figura 36 Gripper de cuatro dedos	53
Figura 37 Gripper y caja de sujeción	53
Figura 38 Acople de elemento contenedor de tubos de ensayo.....	54
Figura 39 Clip sujetador para matraz Erlenmeyer	54
Figura 40 Acople de gripper con placa.....	55

Figura 41 Gradilla para tubos de ensayo	55
Figura 42 Gripper 2 para tubos de ensayo y sustratos	56
Figura 43 Pieza de sujeción.....	56
Figura 44 Sistema de movimiento sobre carril	57
Figura 45 Sistema de movimiento con rodamientos.....	57
Figura 46 Elemento contenedor de recipientes	57
Figura 47 Esquema estructura principal.....	58
Figura 48 Prototipo gripper seleccionado	59
Figura 49 Prototipo seleccionado: sistema de movimiento	59
Figura 50 Prototipo final ensamble general	60
Figura 51 Representación del gripper con sujeción y sistema de movimiento	61
Figura 52 Esquema representación arquitectura modular de ranura.....	61
Figura 53 Esquema estructura	62
Figura 54 Esquema sistema de limpieza y desinfección de materiales de vidrio.....	70
Figura 55 Diagrama de cuerpo libre eje y	71
Figura 56 Diagrama Fuerza cortante.....	72
Figura 57 Diagrama Momento flector	72
Figura 58 Diagrama cuerpo libre eje y sin peso del motor	74
Figura 59 Diagrama Fuerza cortante segundo eje, mov.Y	74
Figura 60 Diagrama Momento flector segundo eje, mov.Y	74
Figura 61 Diagrama de cuerpo libre eje x.....	77
Figura 62 Diagrama Fuerza cortante del eje en x.....	77
Figura 63 Diagrama Momento flector, Máximo momento punto C.....	78
Figura 64 Deflexión perfil cuadrado estructura	83
Figura 65 Análisis de frecuencia en los ejes en X	84
Figura 66 Diagrama de bloques sistema control/potencia.....	85
Figura 67 Diagrama de flujo del proceso	86
Figura 68 Diseño de la placa	87
Figura 69 Diseño placa PCB.....	87
Figura 70 Estructura principal.....	89
Figura 71 Plancha contenedores.....	90
Figura 72 Mandrinado.....	90
Figura 73 Soldadura por punto.....	91
Figura 74 Piezas soldadas.....	91
Figura 75 Soldadura con plancha de contenedores	91
Figura 76 Estructura acrílico eje Z	92
Figura 77 Gradilla acero inoxidable	94
Figura 78 Colocación de rodamientos lineales en soportes de acrílico.....	94
Figura 79 Colocación protecciones y paneles de control	95
Figura 80 Pantalla TFT 2.4	95
Figura 81 Arduino Mega	95
Figura 82 Panel de control	96
Figura 83 Fuente de poder y ventiladores	96

Figura 84 Driver 4988a	96
Figura 85 Pantalla principal.....	97
Figura 86 Modos de operación.....	98
Figura 87 Modo Manual.....	98
Figura 88 Proceso	99

RESUMEN

El presente proyecto trata sobre el diseño y construcción de un sistema de limpieza y desinfección para materiales de vidrio para el Laboratorio de Nanomateriales de la Universidad de las Fuerzas Armadas. En la primera parte, en los capítulos 1 y 2, se da una breve introducción a la robótica, tipos de robots, y configuraciones de movimiento, también del protocolo de limpieza que se utiliza en el Laboratorio de Nanomateriales. En la segunda parte correspondiente al capítulo 3 se basa en el diseño, dimensionamiento y selección de los componentes mecánicos y eléctricos. En la cuarta parte descrita en el capítulo 4 se detalla la construcción y ensamble del proyecto y del diseño de la interfaz humano-máquina, mientras en el capítulo 5 se realizan las respectivas pruebas para comprobación del funcionamiento, precisión y repetibilidad de la máquina en el capítulo 6 se realiza el análisis económico del sistema para verificar si la máquina es rentable para la Universidad. Finalmente se detallan las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron durante el desarrollo del sistema.

PALABRAS CLAVES

- **ROBÓTICA**
- **REPETIBILIDAD**
- **PRECISIÓN**

ABSTRACT

This project deals with the design and construction of a system for cleaning and disinfecting glass materials for Nanomaterials Laboratory at the University of the Armed Forces. In the first part, chapters 1 and 2, there is a brief introduction to robotics, robot types and configurations of movement, also the cleaning protocol that is used in the Laboratory of Nanomaterials. In the second part corresponding to Chapter 3 it is based on the design, sizing and selection of mechanical and electrical components. In the fourth part described in chapter 4 the construction and assembly project design and human-machine interface as detailed in Chapter 5 the respective tests to check the functionality, accuracy and repeatability of the machine are performed; Chapter 6 economic system analysis is performed to check if the machine is profitable for the university. Finally, conclusions and recommendations were obtained during the development of the system are detailed.

KEYWORDS

- **ROBOTIC**
- **REPEATABILITY**
- **PRECISION**

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. Introducción

En el presente proyecto titulado “Diseño y construcción de un sistema para la desinfección y limpieza de materiales de vidrio” para el Laboratorio de Nanomateriales de la Carrera de Ingeniería en Biotecnología pretende diseñar y dejar completamente operable y automatizado el equipo para la limpieza y desinfección de materiales a usarse en el área de óptica, brindando una optimización de tiempo y seguridad al personal de laboratorio, debido a que el proceso actualmente se lo realiza de manera manual, al no existir en el mercado una máquina que realice el mismo.

1.2. Definición del proyecto

El propósito del presente proyecto es la automatización del proceso de limpieza que consta de varios pasos, los cuales se describirán más adelante, el sector que cubrirá es el de estudio en el laboratorio de nanomateriales para la Carrera de Biotecnología, principalmente en la limpieza y desinfección de los materiales de vidrio como el matraz de balón, sustratos de: vidrio, cuarzo, metálicos, matraz Erlenmeyer, cajas Petri, etc.

Al cubrir la necesidad de limpiar de manera automatizada los materiales de vidrio para las prácticas, optimizará el funcionamiento del laboratorio.

1.3. Antecedentes

Los Laboratorios de Investigación de Nanomateriales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE promueven la investigación, educación y transferencia de tecnología para aplicaciones de la biotecnología en beneficio del medio ambiente, la agricultura, la industria y la salud humana y animal, acorde con los adelantos científicos, tecnológicos y pedagógicos que la educación superior requiere. Están compuestos por personal altamente capacitado en investigación académica, catalizando la investigación interdisciplinaria,

promoviendo iniciativas de educación y fomentando la investigación de alta calidad.

El proceso de limpieza y desinfección de recipientes de vidrio que actualmente se realiza en el laboratorio de nanomateriales es hecho por el personal y por los alumnos manualmente.

Los procesos actuales de limpieza se encuentran regidos a protocolos de desinfección que con el pasar del tiempo se han ido modificando en función de las necesidades considerando las especificaciones de la superficie de los sustratos o vidriería que el laboratorista desee, ya sean superficies hidrofóbicas o hidrofílicas para la fabricación de nanomateriales o crecimiento de películas finas en escala nanométrica.

Si se requiere otro tipo de protocolo de limpieza se cambia el proceso, en función del tipo de material nanoestructurado u híbrido (orgánico+nanoestructura) que se va a utilizar en dichos recipientes.

1.4. Alcance

Para la elaboración del presente proyecto se establecen 3 etapas fundamentales:

- Componentes mecánicos

Para la estructura primeramente se pasará por la etapa de desarrollo de prototipos, que nos brindará una visión general de la estructura y nos garantice que cumpla con el funcionamiento del proyecto en cuestión de la parte mecánica para que en la etapa de arquitectura se realice su diseño respecto a medidas y simulación en el programa CAD correspondiente, y así finalmente en el diseño de detalle seleccionar el material, el proceso de fabricación y ensamblaje de la estructura.

- Componentes eléctricos y electrónicos

De manera simultánea en la etapa de arquitectura se realizará las respectivas simulaciones de los circuitos y elementos necesarios que se acoplarán a la estructura.

- Componentes de control

El sistema de control a usarse será un control en lazo abierto, porque no se necesita un sensor para la retroalimentación.

Después de cada etapa se realizarán sus respectivas pruebas y resultados; una vez construido cada uno de los componentes, se procederá al ensamblaje general para la verificación del funcionamiento en conjunto y posteriormente realizar de igual manera las pruebas y resultados del sistema completo.

1.5. Justificación e Importancia

El proyecto propuesto está dirigido al Departamento de Ciencias de la Vida, en su carrera de Biotecnología, con la finalidad de presentar un equipo que no existe en el mercado de limpieza y desinfección de materiales de vidrio para uso en óptica, el equipo será totalmente diseñado, construido y posteriormente implementado en el laboratorio de nanomateriales; permitiendo automatizar todo el proceso de limpieza y desinfección, que actualmente se lo realiza de manera manual.

La importancia de la automatización radica en mejorar y facilitar las labores dentro del área de bioseguridad y limpieza de un material, por lo cual se hace necesaria la implementación de la misma en el proceso de limpieza y desinfección de los recipientes de vidrio. Será de mayor utilidad al permitir optimizar tiempo de lavado de los distintos recipientes, evitando de esta manera que el personal se exponga al contacto de sustancias peligrosas y corrosivas y optimizar el tiempo en el Laboratorio de Nanomateriales.

El presente proyecto pretende brindar al estudiante y al personal mayor facilidad y seguridad en dicho proceso, ya que el contacto directo o inhalación de las mismas puede causar graves daños a largo tiempo y a un contacto prolongado como: quemaduras, lesiones, pérdida de conocimiento, daños en la nariz, garganta, irritación, etc.

Actualmente este proceso lo realizan los estudiantes y docentes manualmente y al tener que sumergirlos en diversas sustancias durante varios minutos, implica un costo de tiempo y una exposición a estas sustancias de las cuales las normas de la OSHA (Occupational Safety And Health Administration) obliga a todos los productos químicos posean las hojas de datos de seguridad de los materiales (MSDS Material Safety Data Sheets) en las que informen sobre los riesgos al contacto con dichas sustancias enumeradas en (NOM-010-STPS-1999, Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral., 1999) y son los siguientes peligros:

Riesgos del ácido nítrico

Riesgos de fuego y explosión: Puede generar óxidos de nitrógeno, muy tóxicos, cuando se calienta. Por ser un fuerte oxidante, su contacto con material combustible, hace que se incremente el riesgo de fuego o incluso explosión. Es no combustible, pero es peligrosamente reactivo con muchos materiales.

Riesgos a la salud: Este producto es principalmente irritante y causa quemaduras y ulceración de todos los tejidos con los que está en contacto.

Inhalación: Una inhalación aguda de este producto produce estornudos, ronquera, laringitis, problemas para respirar, irritación del tracto respiratorio y dolor del tórax. En casos extremos se presenta sangrado de nariz, ulceración de las mucosas de nariz y boca, edema pulmonar, bronquitis crónica y neumonía.

Riesgos de la acetona

Riesgos de fuego y explosión: Este es un producto inflamable. Los vapores pueden prenderse y generar un incendio en el lugar donde se generaron.

Riesgos a la salud: Este compuesto se ha utilizado por muchos años como disolvente y se ha informado de muy pocos efectos tóxicos, por lo que ha sido considerado como un producto poco peligroso, en este sentido.

Inhalación: En forma de vapor, causa irritación de ojos nariz y tráquea. En concentraciones muy altas (aproximadamente 12 000 ppm), puede afectar al sistema nervioso central, presentándose dolor de cabeza y cansancio.

Riesgos del alcohol isopropílico

Riesgos a la salud: Contactos repetidos en la piel pueden causar hipersensibilidad, irritación, resequedad y daños en el tejido.

Inhalación: Causa tos, mareo, irritación de mucosas y tracto respiratorio y los vapores causan irritación en ojos, conjuntivitis y visión borrosa.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Diseñar, construir y automatizar el proceso de limpieza y desinfección de materiales de vidrio del laboratorio de nanomateriales.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Diseñar y simular los distintos componentes de la parte mecánica.
- Dimensionar y seleccionar los componentes eléctricos, electrónicos y de control.
- Fabricar los distintos elementos que conforman la estructura del proyecto usando los conocimientos de procesos de manufactura, diseño de elementos de máquinas así como lo diseñado en el programa CAD.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se explicará el protocolo de limpieza y desinfección para materiales de vidrio utilizado en el Laboratorio de Nanomateriales, también se dará una breve explicación sobre robótica, las diferentes configuraciones y actuadores.

2.1. Técnica de lavado de materiales de vidrio para la óptica

La limpieza de materiales para la eliminación de contaminantes ha sido de vital importancia en diferentes sectores tanto industriales como alimenticios, hospitalarios o como en el caso del presente proyecto para laboratorios; como nos lo explica (Pereira, 2010) en el relatorio técnico RT-ATCP existen diversos tipos de limpiezas entre los cuales están:

- Alcalina
- Por disolventes
- Por emulsiones
- Por baño de sales fundidas
- Ultrasónico
- Ácido
- Mecánica

El proceso que se escoja depende del tipo de limpieza que se desee realizar así como del material a limpiar.

La limpieza mecánica será el proceso a usarse en el presente proyecto que consiste en sumergir los materiales en diversas sustancias y agitar ligeramente para el desprendimiento de películas de proteínas y grasas adheridas en la superficie, es de los métodos más económicos ya que no necesita de aparatos para generar el movimiento, solo el proporcionado por el laboratorista, y es este movimiento el que se desea simular con el presente proyecto.

El movimiento mecánico genera una vibración de las moléculas en el medio líquido creándose variaciones de presión en éstas que provocan su desplazamiento ayudando a la eliminación de pequeñas burbujas de aire que se puedan encontrar dentro del material a limpiarse y que impiden o dificultan el acceso del baño químico a dicha zona en menor tiempo que otro sistema como cepillado o limpieza con abrasivos además brinda mayor seguridad ya que elimina el riesgo a quemaduras lastimaduras y contaminaciones con agentes limpiadores agresivos como lo menciona (Vega Ortiz & Vinueza Valencia, 2005).

La variación de compresión y depresión en las moléculas del líquido a alta velocidad es a lo que se le llama cavitación.

El proceso de limpieza y desinfección de recipientes de vidrio que actualmente se realiza en el laboratorio de nanomateriales es hecho por el personal y por los alumnos manualmente.

Los procesos actuales de limpieza están regidos a protocolos de desinfección que con el pasar del tiempo se han ido modificando en función de las necesidades considerando las necesidades del laboratorista desee la superficie de los substratos o vidriera, si se desea superficies hidrofóbicas o hidrofílicas para la fabricación de nanomateriales o crecimiento de películas finas en escala nanométrica.

Si se requiere otro tipo de protocolo de limpieza se cambia el proceso, en función del tipo de material nanoestructurado o híbrido (orgánico+nanoestructura) que se va a utilizar en dichos recipientes.

El proceso de limpieza y desinfección es el siguiente:

PROCESO DE DESINFECCIÓN Y LIMPIEZA

1. El estudiante saca el exceso de material con detergente y agua normal. Si el material de vidrio no requiere cuidado de limpieza pasa directamente al paso cuatro de limpieza.

2. Si el material de vidrio requiere una limpieza más rigurosa, el material de vidrio pasa por una solución de detergente alcalino en agua destilada y

dependiendo del material de limpieza va desde 0,5 a 2% de detergente con una agitación vertical a una temperatura desde 30°C a 80°C dependiendo del material a un tiempo de 30min a 5min respectivamente, a la temperatura utilizada.

3. Una vez finalizado ese proceso se enjuaga en agua destilada a 100°C por tres veces.

4. Después de una limpieza de detergente y agua, se dirige el material de lavado a acetona al 100% con agitación vertical por 15min.

5. Luego se sumerge el material en alcohol isopropílico al 100% con igual agitación por 10min y temperatura de 80°C.

6. Una vez finalizado el proceso se dirige el material de lavado a una solución de ácido nítrico al 10%, el cual, queda sumergida hasta su previo uso.

7. Si el material de lavado se requiere transformar en material hidrofílica después del proceso de lavado se requiere los pasos 2,3,5 y se los lleva a otra solución de 10% de NaOH en agua destilada por 5min a temperatura ambiente.

8. Después de ese proceso se pasa a agua destilada a 100°C y agitación vertical por 5min.

9. Después se vierte el material en agua destilada fría menor a 20°C y agitación vertical por 5min.

10. Finalizado el proceso se coloca el material en un recipiente con agua destilada para su previo uso.

2.2. Sustancias utilizadas para el lavado de materiales de vidrio para óptica en Nanotecnología

Como se mencionó anteriormente la limpieza para la eliminación de contaminantes es importante, ya que en el caso de materiales de vidrio utilizados para óptica ayuda a obtener mejores resultados de las muestras a analizar.

Existen varias sustancias utilizadas para realizar dicho proceso, las cuales aportan un mejor resultado de limpieza al material, entre estas están:

- Detergentes alcalinos

Son sustancias que en la escala de pH tienen valores comprendidos entre 8 y 14 (por este motivo se dice que son alcalinos), y además tiene la capacidad de neutralizar los ácidos o reaccionar para la saponificación, es decir transformar un cuerpo graso en jabón.

Este tipo de detergentes son indicados para eliminar suciedad de tipo orgánico como grasas y proteínas. Los detergentes alcalinos de acción más fuerte se utilizan para eliminar grasa quemada y cera, además pueden dejar residuos en el material sobre el cual va a ser utilizado.

Los detergentes alcalinos de alta pureza se usan para aplicaciones en: componentes ópticos, limpieza de metales, componentes oftálmicos y cerámicas. Como lo explica (Reid).

Hay que mencionar que los limpiadores altamente alcalinos basados en sales de composición cáustica, no son seguros para metales suaves como: aluminio, piezas fundidas a base de zinc y aleaciones de zinc como el latón; como lo indica (Goodnight, 2013).

- Acetona

La acetona (C_3H_6O) también conocida como Propanona, es un solvente orgánico, carece de color y tiene un olor característico dulce y aromático.

Dentro de sus características más destacadas están: altamente inflamable, bajo contenido de residuos, de fácil evaporación, completamente soluble en agua, altamente soluble en alcohol etílico, dietil éter, cloroformo y benceno; así lo menciona (Reid).

Se usa como disolvente de: grasas, aceites, resina, plásticos y barnices, además en la elaboración de otras sustancias químicas, plásticos, fibras, entre otros.

Para tratar con este tipo de solvente es necesario tener buena ventilación y usar la indumentaria apropiada, evitando al mínimo el contacto directo, como lo recomienda (New Jersey Department of health, 2012).

- Alcohol Isopropílico

También conocido como Propanol o Isopropanol cuya fórmula química es C_3H_7O , es un alcohol incoloro, no corrosivo, altamente inflamable, con un fuerte olor y miscible en el agua, etanol, cloroformo, éter y glicerina, así lo describe (Consejería de Sanidad, 2007).

Se usa principalmente como producto de limpieza y como disolvente para ceras, aceites vegetales, resina naturales y sintéticas, entre otros; además no deja residuos y se evapora rápidamente.

Según lo menciona (Taborelli), es recomendable no manejar grandes cantidades de esta sustancia debido a su toxicidad e inflamabilidad, y evitar cualquier tipo de contacto.

- Ácido Nítrico

Conocido también como Nitrato de Hidrógeno, Nital, Hidróxido de nitrilo (HNO_3), es un ácido fuerte, corrosivo y de vapores sofocantes.

Es un líquido incoloro o amarillento, además posee un olor irritante muy fuerte en concentraciones altas y es completamente soluble en el agua.

El ácido nítrico al ser una sustancia oxidante muy fuerte reacciona violentamente con sustancias orgánicas como: acetona, ácido acético, anhídrido acético, alcoholes, trementina, causando riesgo de fuego y explosión, así lo menciona (Universidad Autónoma de España, 2010).

El ácido nítrico es comúnmente usado como reactivo en laboratorio, se lo usa también en los procesos de sanitización, fabricación de fertilizantes, limpieza de metales y en la elaboración de compuestos de nitrógeno y explosivos.

Hay que recordar que entre más fuerte sea la concentración, más cuidado se debe tener con el manejo de estas y otras sustancias, como lo recomienda (New Jersey Department of Health, 2011).

- Hidróxido de Sodio

Se lo conoce también como hidróxido sódico, soda cáustica o sosa cáustica y su fórmula química es NaOH; forma parte de las sales alcalinas cuyo pH se encuentra en un rango 12-14, es decir son altamente alcalinos.

Los productos de alta alcalinidad saponifican grasas y aceites vegetales; según lo indica (Sanko, 1999), no es seguro usar este tipo de sales en metales suaves como: aluminio y zinc.

El hidróxido de sodio en solución es un líquido viscoso, transparente, inodoro, libre de impurezas detectables a simple vista, no es inflamable, y puede dejar residuos.

Las sales alcalinas se usan principalmente para neutralizar contaminantes ácidos y ayudar en la dispersión de aceites, también se utiliza en la elaboración de limpiadores y desinfectantes, regeneración de resinas, tratamiento de aguas, entre otros.

- Agua destilada

Conocida también como agua de alta pureza (químicamente pura), no contiene gran parte de las sales minerales disueltas ni presencia microbiana, según lo describe (Random, 2010).

Es un líquido límpido, incoloro e inodoro, no es inflamable, soluble en etanol y no es tóxica,

Comúnmente se usa el agua destilada en laboratorios para baños de agua, como reactivo químico, también se lo usa en hospitales como medida higiénica, en el mantenimiento de máquinas y motores, en acuarios para reducir el pH del agua de las peceras artificiales, como disolvente en la industria alimentaria, entre otros.

2.3. La Robótica Industrial

La robótica actualmente tiene un lugar importante en la modernización y automatización de varios campos de la industria como nos lo explica (Kelly & Santibáñez, 2003), surge de la necesidad del hombre por solucionar problemas respecto a eficiencia, tiempo y productividad.

La robótica es un campo muy amplio que implica la combinación de varias disciplinas como La ingeniería Eléctrica, Ingeniería Mecánica, Ingeniería Industrial, Matemáticas, Computación, etc.

Un robot industrial según la Federación Internacional de Robótica (IFR) lo define como:

“Por robot industrial de manipulación se entiende a una máquina de manipulación automática, reprogramable y multifuncional con tres o más ejes que pueden posicionar y orientar materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales para la ejecución de trabajos diversos en las diferentes etapas de la producción industrial, ya sea en una posición fija o en movimiento”.

La IFR clasifica a los robots en 4 tipos:

Tabla 1

Clasificación de los robots según la AFRI

Tipo	Característica
Tipo A	Manipulador con control manual o telemando
Tipo B	Manipulador automático con ciclos preajustados; regulación mediante fines de carrera o topes; control por PLC; accionamiento neumático; eléctrico o hidráulico.
Tipo C	Robot programable con trayectoria continua o punto a punto. Carece de conocimientos sobre entorno.
Tipo D	Robot capaz de adquirir datos de su entorno, readaptando su tarea en función de éstos.

Fuente: (Barrientos, Peñín, Balaguer, & Aracil, 1997)

2.3.1. Morfología del Robot

Un robot industrial consta de los siguientes elementos:

- Estructura mecánica
- Transmisiones
- Sistemas de accionamiento
- Sistema sensorial
- Sistema de control
- Elementos terminales

2.3.1.1. Estructura mecánica

Un robot industrial está formado por eslabones unidos mediante articulaciones permitiendo el movimiento relativo entre los dos eslabones consecutivos.

La estructura del robot se basa a la anatomía del cuerpo humano haciendo referencia a partes del cuerpo como cuerpo, brazo, codo y muñeca (Figura 1).

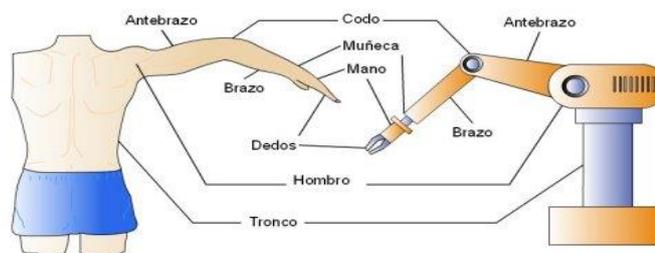


Figura 1 Estructura del robot industrial

Fuente: (Bueno, 2016)

El movimiento de las articulaciones pueden ser rotativas, axiales o una combinación de ellas, existen 6 tipos diferentes de articulaciones como se observa en la Figura 2.

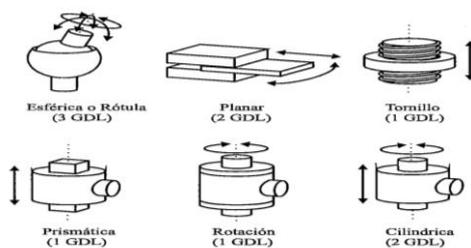


Figura 2 Tipos de articulaciones para robots

Fuente: (Barrientos, Peñín, Balaguer, & Aracil, 1997)

Los movimientos independientes que realice la articulación se los denomina grados de libertad, en la Figura 2 se observa el número de grados de libertad de cada una de los tipos de articulación.

Las diversas combinaciones entre estas articulaciones dan origen a las diferentes configuraciones de los robots (Figura 3) que son las más frecuentes en el campo industrial estas son:

- Robot cartesiano
- Robot cilíndrico
- Robot esférico
- Robot SCARA
- Robot antropomórfico

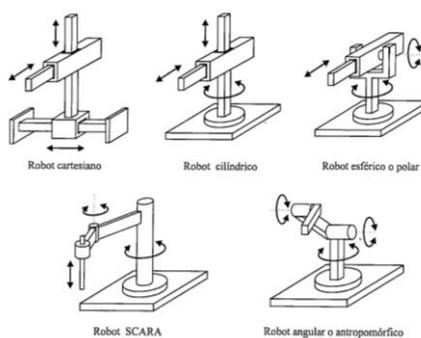


Figura 3 Configuraciones robots industriales

Fuente: (Barrientos, Peñín, Balaguer, & Aracil, 1997)

a) Robot Cartesiano

El robot cartesiano (Figura 4) posee 3 eslabones perpendiculares entre sí y poder desplazarse en los ejes X, Y y Z.

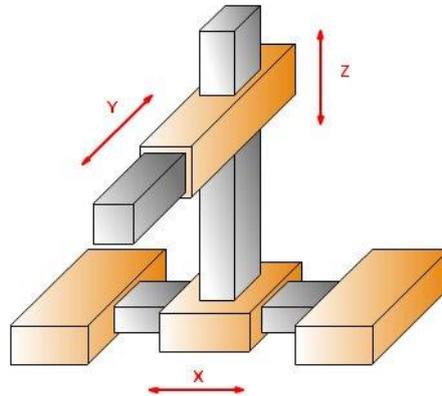


Figura 4 Robot Cartesiano

Fuente: (Bueno, 2016)

b) Robot Cilíndrico

El robot cilíndrico (Figura 5) tiene un movimiento rotatorio sobre su propia base y dos movimientos lineales de eslabones perpendiculares entre sí para desplazamiento en los ejes Y y Z.

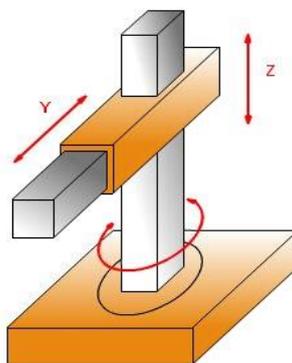


Figura 5 Robot Cilíndrico

Fuente: (Bueno, 2016)

c) Robot Esférico o Polar

La base del robot esférico (Figura 6) tiene un movimiento rotatorio, su siguiente eslabón utiliza un brazo telescópico que bascula en torno a un eje horizontal paralelo a la base, y su tercer eslabón posee un movimiento lineal permitiendo formar una zona de trabajo esférica.

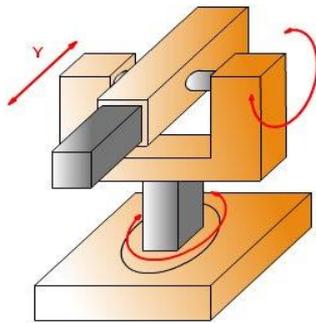


Figura 6 Robot Esférico

Fuente: (Bueno, 2016)

d) Robot SCARA

El robot SCARA o robot de brazo articulado (Figura 7) posee movimiento rotatorio en su base y en su segunda articulación, su tercera articulación se mueve linealmente en el eje z.

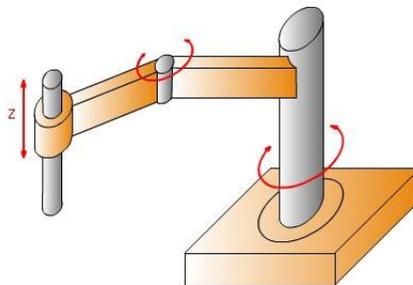


Figura 7 Robot SCARA

Fuente: (Bueno, 2016)

e) Robot antropomórfico

El robot antropomórfico (Figura 8) posee 3 movimientos rotatorios en sus articulaciones simulando el movimiento de un brazo humano.

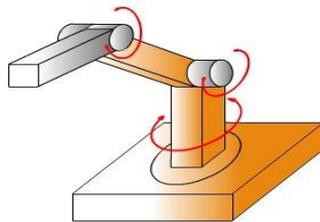


Figura 8 Robot Antropomórfico

Fuente: (Bueno, 2016)

2.3.1.2. Transmisiones

Las transmisiones sirven para trasladar el movimiento generado en los actuadores hasta las articulaciones.

Las transmisiones son usadas para transformar los movimientos circulares en lineales y viceversa.

Como nos lo explica (Barrientos, Peñín, Balaguer, & Aracil, 1997) existen algunos sistemas de transmisión para robots como lo vemos a continuación:

Tabla 2

Sistemas de transmisión para robot

Entrada – Salida	Denominación	Ventajas	Inconvenientes
Circular – Circular	Engranaje	Pares altos	Holguras
	Correa dentada	Distancia grande	-
	Cadena	Distancia grande	Ruido
	Paralelogramo	-	Giro limitado
	Cable	-	Deformabilidad
Circular – Lineal	Tornillo sin fin	Poca holgura	Rozamiento
	Cremallera	Holgura media	Rozamiento
Lineal – Circular	Paralelo articulado	-	Control difícil
	Cremallera	Holgura media	Rozamiento

Fuente: (Barrientos, Peñín, Balaguer, & Aracil, 1997)

2.3.1.3. Actuadores

Los actuadores son los encargados de generar el movimiento ordenado desde el sistema de control por el usuario.

Los actuadores usados en robótica son:

- a) Actuadores neumáticos
- b) Actuadores hidráulicos
- c) Actuadores eléctricos

Para la selección del actuador se deben tener ciertas consideraciones:

- Potencia
- Controlabilidad
- Peso y volumen
- Precisión
- Velocidad
- Mantenimiento
- Coste

a) Actuadores neumáticos

La fuente de energía de estos actuadores es aire a presión entre 5 y 10 bar.

Entre los actuadores neumáticos tenemos:

- Cilindros neumáticos (Figura 9)
- Motores neumáticos (Figura 10)

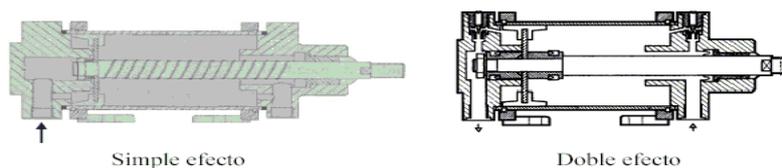


Figura 9 Cilindros neumáticos

Fuente: (Actuadores neumáticos, 2015)

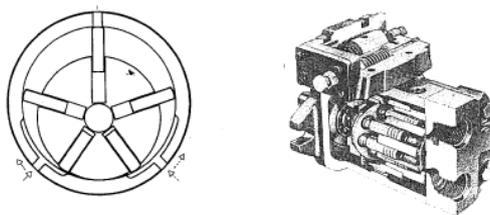


Figura 10 Motores neumáticos

Fuente: (Barrientos, Peñín, Balaguer, & Aracil, 1997)

Los actuadores neumáticos debido a la compresibilidad del aire no consiguen una gran precisión en su posicionamiento y no tienen una gran fuerza de trabajo.

b) Actuadores hidráulicos

A diferencia de los actuadores neumáticos, los actuadores hidráulicos utilizan aceite mineral a una presión entre 50 y 100 bar.

La precisión en la posición es mayor que de los actuadores neumáticos, tiene gran fuerza de trabajo, pero los inconvenientes existentes en ellos es las fugas de aceite y su control más complicado.

Entre los actuadores hidráulicos tenemos:

- Cilindros hidráulicos (Figura 11)
- Motores hidráulicos (Figura 12)



Figura 11 Cilindro Hidráulico de doble efecto

Fuente: (Hidráulica y Neumática de la Laguna S.A., 2014)

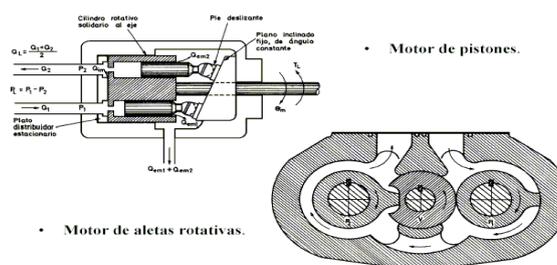


Figura 12 Motores Hidráulicos

Fuente: (Actuadores Hidráulicos, 2015)

c) Actuadores eléctricos

Debido a su control, sencillez y precisión son los más usados en la robótica industrial, entre ellos tenemos:

- **Motores de corriente continua (DC)**

Los motores de corriente continua (Figura 13) los más usados por ser fáciles de controlar al incorporar un codificador de posición (encoder) para realizar el control de posición o velocidad.



Figura 13 Motor DC

Fuente: (Prometec, 2014)

- **Motores de corriente alterna (AC)**



Figura 14 Motor de corriente alterna

Fuente: (Noria Corporation)

Los motores de corriente alterna al tener mayor dificultad en su control no han sido muy usados en el campo de la robótica pero en los últimos años, la construcción de rotores síncronos sin escobillas, el uso de variadores de frecuencia para el control de velocidad y posición del motor; están convirtiendo a los motores AC en la principal competencia de los motores DC.

- Motores paso a paso



Figura 15 Motor paso a paso

Fuente: (Techmake Electronics, 2016)

Industrialmente el motor a pasos (Figura 15) no ha sido utilizado debido a los pares para los que se encontraban disponibles eran muy pequeños pero actualmente existen motores paso a paso que desarrollan pares suficientes en pequeños pasos para uso industrial.

Permiten un movimiento preciso, a diferencia de los servomotores, el motor paso a paso puede girar de manera continua a velocidad variable; entre los inconvenientes tenemos un sobrecalentamiento trabajando a velocidades altas y al trabajar a velocidades bajas no es suave.

Su funcionamiento se basa en un tren de pulsos que va actuando rotativamente sobre electroimanes dispuestos en el estator (Figura 16), por cada pulso que cada bobina reciba, el rotor del motor gira un determinado número discreto de grados.

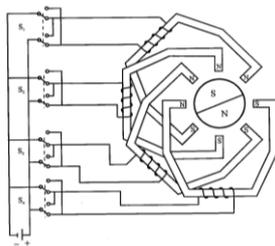


Figura 16 Esquema de un motor paso a paso

Fuente: (Barrientos, Peñín, Balaguer, & Aracil, 1997)

2.3.1.4. Elementos terminales

a) Muñeca



Figura 17 Muñeca

Fuente: (SuperRobótica, 2016)

La muñeca (Figura 17) es el elemento mecánico que realiza la orientación del actuador final del brazo del robot.

La muñeca posee 3 grados de libertad (Figura 18): giro (hand rotate), elevación (wrist rotate) y desviación (wrist flex)

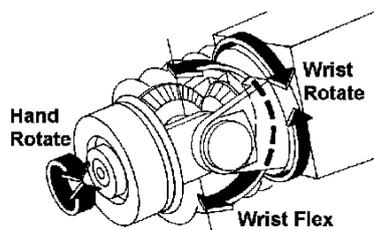


Figura 18 Grados de libertad de la muñeca

Fuente: (González, 2002)

b) Grippers

Cuando ya se ha posicionado el extremo final del robot y orientado gracias a la muñeca se debe acoplar un dispositivo para diferentes aplicaciones como: soldadura, pintura, corte, etc.

c) Garras

Son utilizadas para tomar un objeto que sería la pieza de trabajo en el proceso y sujetarlo durante el ciclo de trabajo, entre los tipos de garras tenemos:

- **Garras Mecánicas**



Figura 19 Garra Mecánica

Fuente: (Ribeirão Preto, 2016)

Las más usadas son las pinzas (Figura 19) que consisten en dos o más dedos para sujetar el objeto de trabajo, estos dedos no son articulados por lo que su construcción son más sencillas.

- **Ventosas**



Figura 20 Ventosas

Fuente: (Schmalz S.A. (Sermasa, 2016)

Las ventosas (Figura 20) usan el vacío para la sujeción de objetos que no son planos o con superficie porosa.

- **Garras magnéticas y herramientas**



Figura 21 Electroimán

Fuente: (Ingeniería Magnética Aplicada IMA, 2014)

Las garras magnéticas (Figura 21 Electroimán) permiten la sujeción de objetos metálicos o ferromagnéticos mediante la utilización de electroimanes.

2.1. El Robot Cartesiano

El robot cartesiano como se lo explicó anteriormente posee un movimiento de trabajo sobre los tres ejes coordenados X, Y y Z.

(Jara Páez & Pacheco Cunduri, 2013) nos explican otras características de este tipo de robot entre las cuales tenemos:

- Posee una estructura prismática prismática prismática (PPP)
- Su precisión es uniforme en el espacio operativo.
- Su uso es para seguir trayectorias específicas.
- La distribución de las cargas no es un problema especial (construcción rígida).
- No es usado para acceder a un punto específico en un espacio cerrado.

2.1.1. Aplicaciones Industriales

Los robots cartesianos poseen ventajas sobre los otras configuraciones de robots y es su facilidad de control y de movilidad.

Sus aplicaciones industriales son variadas (Cuaycal Bastidas & Tituaña Dávila, 2015), pueden ir desde trabajos grandes y pesados como la transportación

de materiales en robot tipo grúa, hasta trabajos pequeños como las máquinas CNC o impresoras 3D.

Dependiendo del trabajo y del efector final acoplado en la muñeca del robot se presentan los diferentes usos del robot cartesiano en el uso industrial:

- **Paletización**



Figura 22 Robot Cartesiano de Paletización

Fuente: (Direct Industry, 2016)

Esta aplicación consiste en agrupar sobre una superficie una cierta cantidad de productos (Figura 22), con la finalidad de conformar una unidad de manejo que pueda ser transportada con el mínimo esfuerzo, también se los usa en aplicaciones como alimentación de máquinas herramientas.

- **Pick And Place**



Figura 23 Robot Cartesiano Pick And Place

Fuente: (Direct Industry, 2016)

Consiste básicamente en levantar piezas y colocarlas en algún otro lugar para su empaque o almacenaje (Figura 23), otra aplicación consiste en la inserción de la etiqueta y la extracción simultánea de piezas moldeadas.

- **Dosificación**



Figura 24 Robot Cartesiano Dosificación

Fuente: (Direct Industry, 2016)

El robot suministra cierta cantidad de fluido a varios recipientes a la vez, ofrecen una dosificación precisa que además reduce los costos de material y mano de obra, suelen ser utilizados en la industria farmacéutica para el llenado de recipientes de laboratorio.

- **Precintado**



Figura 25 Robot Cartesiano Precintado

Fuente: (Direct Industry, 2016)

En este uso el robot cartesiano coloca cinta adhesiva en las cajas para su sellado y posterior transporte, en uso conjunto con una cinta transportadora.

- **Soldadura**



Figura 26 Robot cartesiano de 4 ejes de soldadura de mesa

Fuente: (Direct Industry, 2016)

Debido a la excelente precisión que posee el robot cartesiano es ideal para trabajos en soldadura de placas PCB (Figura 26).

- **CNC corte y grabado**

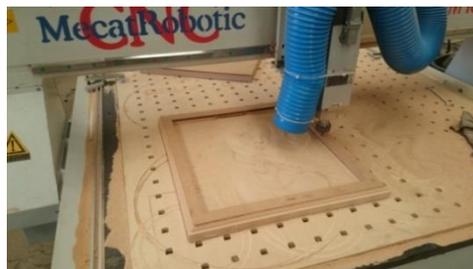


Figura 27 Robot cartesiano CNC de grabado

Fuente: (MecatRobotic, 2009)

Los diferentes actuadores finales que se acople a un robot cartesiano puede permitir diferentes operaciones en el material de trabajo, tales son los casos de las cnc de corte o grabado en madera o vidrio (Figura 27).

Los usos que nos brinda a nivel industrial el robot cartesiano son amplios ya que su facilidad a nivel de control, su precisión en movimientos, su robustez en su estructura lo hacen de gran utilidad a nivel profesional.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL SISTEMA

El presente capítulo aborda lo referente a la selección del concepto, ponderación dada a cada elemento que conforma el sistema de limpieza y desinfección y los respectivos cálculos realizados para dimensionar los componentes del sistema.

3.1. Planificación del desarrollo

La etapa de planeación como lo explica (Ulrich & Eppinger, 2013) es la etapa inicial para el diseño del proyecto; denominado “fase cero” la planeación del desarrollo del proyecto.

En esta etapa se tiene la declaración de la misión del proyecto en la que se establece los objetivos comerciales del sistema, las metas comerciales, las suposiciones básicas y sus limitaciones.

3.1.1. Declaración de la misión

Tabla 3

Declaración de la Misión

Declaración de la misión: Sistema para la desinfección y limpieza de materiales del laboratorio de nanomateriales	
Descripción del producto	<ul style="list-style-type: none"> • Limpieza y desinfección de materiales del Laboratorio de Nanomateriales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
Propuesta de valor	<ul style="list-style-type: none"> • Automatización en el proceso de limpieza y desinfección de los materiales. • Limpieza que elimine residuos de grasa y proteínas de la superficie del material de vidrio. • Mando manual y automático para usos específicos del laboratorista y estudiantes. • Optimización del tiempo ejercido por el operario.
Objetivos clave del negocio	<ul style="list-style-type: none"> • Brindar apoyo al laboratorista para la optimización de su tiempo y al mismo tiempo dar una limpieza de calidad a los diversos materiales del Laboratorio de Nanomateriales. • Brindar mayor seguridad en lo que respecta a distribución del producto por peso. • Minimizar tiempo y aumentar la productividad en el proceso.

CONTINUA 

Mercado Primario	<ul style="list-style-type: none"> • En todo proceso que requiera de limpieza y desinfección de materiales y sustratos de vidrio.
Mercados secundarios	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Nanomateriales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE para prácticas realizadas por los estudiantes o laboratorista.
Suposiciones y restricciones	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos para robot CNC manufacturados en Ecuador, EEUU y China • Equipos de mando humano - máquina manufacturados en EEUU y China.
Involucrados	<ul style="list-style-type: none"> • Operaciones de manufactura • Operaciones de servicio

3.2. Desarrollo del concepto

Para el desarrollo del concepto se analiza las necesidades del personal de laboratorio de nanomateriales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, se evalúa sistemas alternativos y se selecciona uno o varios conceptos con el fin de realizar varias pruebas y escoger el más indicado.

3.2.1. Identificación de las necesidades del personal del laboratorio de nanomateriales

La identificación de las necesidades del cliente es un paso sutil pero de gran importancia al igual del establecimiento de las especificaciones del proyecto esto dependerá del alcance tecnológico y económico, como de las necesidades del usuario.

El proceso de identificación de necesidades presentado por (Ulrich & Eppinger, 2013) consta de 5 pasos:

1. Recopilar datos sin procesar de los clientes
2. Interpretar los datos sin procesar en términos de las necesidades de los clientes
3. Organizar las necesidades en una jerarquía de necesidades primarias, secundarias y, de ser necesario, terciarias.
4. Establecer la importancia relativa de las necesidades.
5. Reflexionar en los resultados y el proceso.

3.2.1.1. Recopilación de datos sin procesar de los clientes.

El canal de información que se usó para tomar datos directamente del cliente que en este caso era el Laboratorio de Nanomateriales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, para esto se usó dos métodos:

Entrevistas: Se entrevista a los encargados del proceso de limpieza y desinfección de materiales de vidrio del Laboratorio y detallan las necesidades que tienen.

Observar el proceso de limpieza: Al ser un proceso que se lo realiza manualmente se observa los pasos, materiales y tiempo empleado, se habla con los laboratoristas de las posibles fallas existentes en el proceso actual que es manual y de las mejoras que desean con él, enfocándose más en la optimización del tiempo del usuario.

Se realizara varias entrevistas para tener en detalle el proceso de limpieza, el espacio disponible, los reactivos y materiales usados.

Documentación de las interacciones con el cliente: Se obtuvo una documentación basados en (Ulrich & Eppinger, 2013)

Notas: Se anotó todas las necesidades y requerimientos del cliente y se las enumera a continuación.

Tabla 4

Documentación de interacción con el cliente

Cliente: Laboratorio de Nanomateriales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE	Entrevistadores: José Asitimbay, Sara Jaramillo	
Dirección: Avenida General Rumiñahui	Fecha: 20 de Noviembre del 2015	
	Actualmente usa: Proceso de limpieza y desinfección manual	
	Tipo de usuario: Limpieza y desinfección de materiales de vidrio para óptica para el Laboratorio de Nanomateriales.	
Pregunta/sugerencia	Enunciado del cliente	Necesidad Interpretada
Usos típicos	Necesito limpiar y desinfectar materiales de vidrio como tubos de ensayo, matraces de balón, cajas Petri y sustratos de vidrio.	Se necesita un sistema para limpieza y desinfección de materiales frágiles de vidrio.

CONTINÚA 

	Necesito sumergirlos en reactivos como ácidos y sustancias alcalinas y que la limpieza elimine proteínas y grasas adheridas en la superficie del vidrio.	El sistema que va a estar en contacto con los materiales de vidrio debe resistir la corrosión de los reactivos y el proyecto debe contar con un sistema que permita la eliminación.
	Deseo que el proceso sea automático y no el laboratorista se encuentre presente en todo el proceso de limpieza.	El proceso al ser realizado por una persona conlleva a una mala optimización del tiempo en el laboratorio.
Le gusta: Método actual (proceso manual)	Es fácil de realizar	El proceso el laboratorista lo realiza sin ninguna dificultad
No le gusta: Método actual (proceso manual)	El laboratorista mantiene los materiales de vidrio sumergidos en los reactivos por un tiempo de 45 min en todo el proceso aproximadamente	El proceso de limpieza y desinfección conlleva a pérdidas de tiempo para el laboratorista.
	Al cambiar los materiales de vidrio a diferentes reactivos implica cambiar y llenar nuevamente el recipiente con el nuevo reactivo	El cambio de reactivos de la limpieza genera inconvenientes y tiempo muerto al laboratorista
Mejoras sugeridas	Que sea duradero y fácil de manejar	Que sea robusto y ergonómico

3.2.1.2. Interpretación de los datos sin procesar en términos de las necesidades de los clientes.

En este paso las necesidades anteriormente mencionadas por el cliente se traducirán en términos de lo que el producto tiene como objetivo realizar.

Tabla 5

Interpretar los datos sin procesa en términos de las necesidades de los clientes

Cliente: Laboratorio de Nanomateriales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE	Entrevistadores: José Asitimbay, Sara Jaramillo
Dirección: Avenida General Rumiñahui	Fecha: 20 de Noviembre del 2015
	Actualmente usa: Proceso de limpieza y desinfección manual
	Tipo de usuario: Limpieza y desinfección de materiales de vidrio para óptica

CONTINÚA 

para el Laboratorio de Nanomateriales.

Pregunta/sugerencia	Enunciado del cliente	Necesidad Interpretada
Usos típicos	Necesito limpiar y desinfectar materiales de vidrio como tubos de ensayo, matraces de balón, cajas Petri y sustratos de vidrio.	El sistema limpia y desinfecta materiales frágiles de vidrio.
	Necesito sumergirlos en reactivos como ácidos y que la limpieza elimine proteínas y grasas adheridas en la superficie del vidrio.	El sistema sumerge los materiales de vidrio en los reactivos y generará un movimiento para la eliminación de residuos contaminantes en su superficie.
	Deseo que el proceso sea automático y no el laboratorista se encuentre presente en todo el proceso de limpieza.	El proceso de limpieza y desinfección operará automáticamente
Le gusta: Método actual (proceso manual)	Es fácil de realizar	El proceso actual es de fácil entendimiento y realización para el usuario
No le gusta: Método actual (proceso manual)	El laboratorista mantiene los materiales de vidrio sumergidos en los reactivos por un tiempo de 45 min en todo el proceso aproximadamente	El sistema garantiza una optimización en tiempo del laboratorista.
	Al cambiar los materiales de vidrio a diferentes reactivos implica cambiar y llenar nuevamente el recipiente con el nuevo reactivo	El proyecto posee varios recipientes para evitar el cambio de reactivos.
Mejoras sugeridas	Que sea duradero y fácil de manejar	El sistema está asegurado una vida útil de 6 a 8 años aproximadamente y posee un sistema de fácil uso y comprensión para el operario.

3.2.1.3. Organización de las necesidades en una jerarquía.

Una vez realizados los pasos 1 y 2 se organizará las ideas en una lista de jerarquías guiándonos en las recomendaciones de (Ulrich & Eppinger, 2013), esta lista contiene necesidades primarias complementadas con necesidades secundarias.

Tabla 6

Organización en jerarquía

El sistema limpia y desinfecta materiales frágiles de vidrio de manera automática.	El sistema de limpieza y desinfección es fácil de usar
*** El producto limpia y desinfecta materiales de vidrio de manera automatizada.	* El sistema de limpieza y desinfección es fácil de encender.
* El sistema de limpieza y desinfección también deberá funcionar por movimiento manual del usuario.	* El sistema cuenta con accesorios de

CONTINÚA 

El sistema limpia y desinfecta los materiales de vidrio y sustratos de acuerdo a los protocolos

*** Sumerge el producto en los diferentes reactivos el tiempo establecido en los protocolos.

*** El sistema generará movimiento para una limpieza más efectiva.

El sistema de limpieza realiza la limpieza para materiales frágiles

*** El sistema simulará la agitación de la mano del laboratorista.

fácil colocación.

El sistema tiene una larga vida útil

*** El sistema mecánico tiene una duración a

largo plazo 8 años

aproximadamente.

*** La parte de control tienen una duración a

largo plazo de 7 u 8 años

aproximadamente.

*** No requiere demasiado mantenimiento.

El sistema de limpieza es seguro para el laboratorista

*** El sistema provee de mayor comodidad de manejo para el operario.

3.2.1.4. Establecimiento de la importancia relativa de las necesidades.

Una vez que tenemos la lista jerárquica en el paso 3 procedemos a darles una ponderación numérica.

(Ulrich & Eppinger, 2013) Nos hablan de dos métodos básicos para realizarlo:

1. Apoyarse en el consenso de los miembros del grupo.
2. Basar la evaluación de importancia en más encuestas a los clientes.

Se optó por el primer método, los integrantes del consenso fueron los dos autores del presente proyecto: José Asitimbay y Sara Jaramillo.

Tabla 7

Encuesta 1

Encuesta sobre el sistema de limpieza y desinfección de materiales de vidrio para miembros del consenso (José Asitimbay)

Para cada una de las siguientes funciones del sistema de limpieza y desinfección de materiales de vidrio, por favor indique en una escala del 1 al 5 que tan importante es esa función para usted. Por favor use la siguiente escala:

1. La función es indeseable. No consideraría un producto con esta función.
 2. La función no es importante, pero no me importaría tenerla.
 3. Sería bueno tener esa función, pero no es necesaria.
 4. La función es altamente deseable, pero consideraría un producto sin ella.
 5. La función es de importancia crítica. No consideraría el producto sin esta función.
-

CONTINUA 

Importancia de la función en escala de 1 a 5.	Función
5	El sistema es completamente automatizado
5	El sistema realiza una limpieza profunda para la eliminación de proteínas y grasas adheridas en las superficies.
4	El sistema es de fácil uso para el operario
3	El sistema tiene una larga vida útil.
3	El sistema permite optimizar el tiempo y el trabajo del laboratorista.

Tabla 8

Encuesta 2

Encuesta sobre el sistema de limpieza y desinfección de materiales de vidrio para miembros del consenso (Sara Jaramillo)

Para cada una de las siguientes funciones del sistema de limpieza y desinfección de materiales de vidrio, por favor indique en una escala del 1 al 5 que tan importante es esa función para usted. Por favor use la siguiente escala:

1. La función es indeseable. No consideraría un producto con esta función.
2. La función no es importante, pero no me importaría tenerla.
3. Sería bueno tener esa función, pero no es necesaria.
4. La función es altamente deseable, pero consideraría un producto sin ella.
5. La función es de importancia crítica. No consideraría el producto sin esta función.

Importancia de la función en escala de 1 a 5.	Función
5	El sistema es completamente automatizado
5	El sistema realiza una limpieza profunda para la eliminación de proteínas y grasas adheridas en las superficies.
3	El sistema es de fácil uso para el operario
2	El sistema tiene una larga vida útil.
2	El sistema permite optimizar el tiempo y el trabajo del laboratorista.

3.2.1.5. Análisis de los resultados y el proceso

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Resultado sobre la primera función sobre si el sistema debe ser completamente automatizado.

El grupo determina que el sistema debe ser automatizado ya que es un requerimiento propio del cliente y una necesidad de alta importancia, para acelerar el proceso.

- Resultado sobre la segunda función sobre si el sistema realiza el limpieza de baño ultrasónico de acuerdo a los protocolos establecidos.

El grupo determina que el sistema debe realizar una limpieza profunda de acuerdo a los protocolos de limpieza del laboratorio ya que es un requerimiento propio del cliente y una necesidad de alta importancia.

- Resultado sobre la tercera función sobre si el sistema debe ser de fácil uso para el operario.

El grupo determina que el sistema debe ser de fácil uso para el usuario, debido a que una mala operación del equipo puede causar futuros daños.

- Resultado sobre la cuarta función sobre si el sistema debe tener una larga vida útil.

El grupo determina que la vida útil no es un factor decisivo ya que el sistema no estará en operación las 24 horas sino de 2 o una hora máximo por día y el movimiento del sistema es lento por lo que implicará un desgaste mínimo es sus partes mecánicas.

- Resultado sobre la quinta función sobre si el sistema debe optimizar el tiempo y el trabajo del laboratorista

El grupo determina que la optimización del tiempo del laboratorista no es un elemento importante en el diseño ya que al ser un sistema automatizado inherentemente la mano del hombre no entra mucho en contacto en este proceso de limpieza e indirectamente el tiempo y trabajo del laboratorista disminuye y será optimizado.

3.2.2. Establecimiento de las especificaciones del sistema

Para establecer las especificaciones del producto se establece las restricciones económicas y tecnológicas para su construcción, se obtendrá las necesidades primarias del cliente y se las traducirá a un lenguaje técnico que explicará lo que el producto tiene que hacer, a continuación se realiza una tabla de las necesidades presentadas por el personal del laboratorio de Nanomateriales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Tabla 9

Necesidades del cliente para el sistema de limpieza y desinfección de materiales de vidrio.

Num.	Necesidad	Imp.
1	Limpieza y desinfección de materiales de vidrio El proceso debe ser automático	5
2	Limpieza y desinfección de materiales de vidrio Se debe realizar una limpieza profunda con movimiento para la eliminación de agentes contaminantes como proteínas y grasas.	5
3	Limpieza y desinfección de materiales de vidrio Debe ser de fácil uso para el operario	4
4	Limpieza y desinfección de materiales de vidrio El sistema debe optimizar el tiempo del laboratorista y estudiantes	4
5	Limpieza y desinfección de materiales de vidrio Debe ser de fácil mantenimiento.	4
6	Limpieza y desinfección de materiales de vidrio Fácil reposición de piezas desgastadas	3
7	Limpieza y desinfección de materiales de vidrio Larga vida útil	4

(Ulrich & Eppinger, 2013) Nos menciona 4 pasos para establecer las especificaciones objetivo de los cuales usaremos 2 ya que los pasos de la compración con competencia no es factible debido a que un sistema de limpieza y desinfección automático no hay en el mercado, los productos similares a lo que se desea diseñar y el cliente quiere son las máquinas CNC o impresoras 3D que cumplen con la estructura de un robot cartesiano los pasos a usarse son los siguientes:

- Elaborar la lista de métricas.
- Reflexionar en los resultados y procesos.

3.2.2.1. Elaborar la lista de métricas

Las métricas son útiles porque explican la manera en que el producto o sistema satisface las necesidades del cliente; se deberá traducir las necesidades del cliente en especificaciones medibles y precisas.

Tabla 10

Lista de métricas

Métrica Num.	Num. de necesidad	Métrica	Imp.	Unidades
1	1,4	Tiempo de colocación de materiales de vidrio en cabezal del sistema	2	s
2	1,4	Tiempo de programación de arranque de proceso	2	s
3	1,2	Generación de movimiento para limpieza de materiales de vidrio	5	Hz
4	1,4	Movimiento entre cada reactivo para su limpieza	5	mm
5	5	Tiempo de desensamble/ensamble para mantenimiento	3	s
6	6	Herramientas necesarias para mantenimiento	3	Lista
7	7	Resistencia a la flexión	5	kN

Ahora veremos la relación entre las necesidades y la lista de métricas y ver en qué grado el proyecto satisface las necesidades del cliente.

Tabla 11

Matriz de necesidades-métricas

Necesidad		Métrica						
		1	2	3	4	5	6	7
		Tiempo de colocación de materiales de vidrio en cabezal del sistema	Tiempo de programación de arranque de proceso	Generación de movimiento para limpieza de materiales de vidrio	Movimiento entre cada reactivo para su limpieza	Tiempo de desensamble/ensamble para mantenimiento	Herramientas necesarias para mantenimiento	Resistencia a la flexión
1	El proceso debe ser automático	●	●	●	●			
2	Se debe realizar una limpieza profunda para eliminar residuos orgánicos en la superficie			●				
3	Debe ser de fácil uso para el operario	●					●	
4	El sistema debe optimizar el tiempo del laboratorista y estudiantes	●	●		●			
5	Debe ser de fácil mantenimiento.					●		
6	Fácil reposición de piezas desgastadas						●	
7	Larga vida útil							●

3.2.2.2. Reflexionar en los resultados y procesos

Una vez que se ha relacionado las necesidades con la métrica se tiene una visión amplia de como el proyecto va a satisfacer las necesidades del personal de laboratorio de Nanomateriales y poder continuar con la generación de conceptos solución observando los casos explicados en los capítulos anteriores sobre la limpieza de materiales de vidrio y los diferentes usos de robots cartesianos.

3.2.3. Generación de conceptos

La generación de conceptos del sistema de limpieza y desinfección de materiales de vidrio dará una descripción aproximada de la tecnología, principios de trabajo y la forma del proyecto.

Se mantendrá en consideración las necesidades vistas previamente por los laboratoristas.

(Ulrich & Eppinger, 2013) Nos brinda el método de los 5 pasos para generar un concepto estos son:

- Aclarar el problema
- Buscar externamente
- Buscar internamente
- Exploración sistemática
- Reflexionar sobre las posibles soluciones

3.2.3.1. Establecimiento del problema

Se desarrolla el entendimiento global del proceso y se especifica los problemas en la selección de concepto de un sistema de limpieza y desinfección de materiales de vidrio.

Tabla 12

Problemas en la selección de concepto

Problemas en la selección de concepto de un sistema de limpieza y desinfección de materiales de vidrio

- Soporte para la sujeción de piezas de vidrio
- Movimiento en los 3 ejes
- Eliminación de residuos orgánicos en la superficie
- Método de interfaz usuario-máquina

3.2.3.2. Descomposición de un problema complejo en subproblemas más sencillos

Primero se representa el problema en subfunciones para crear una descripción más específica de lo que los elementos del sistema de limpieza y desinfección podrían hacer para implementar la función general del producto.

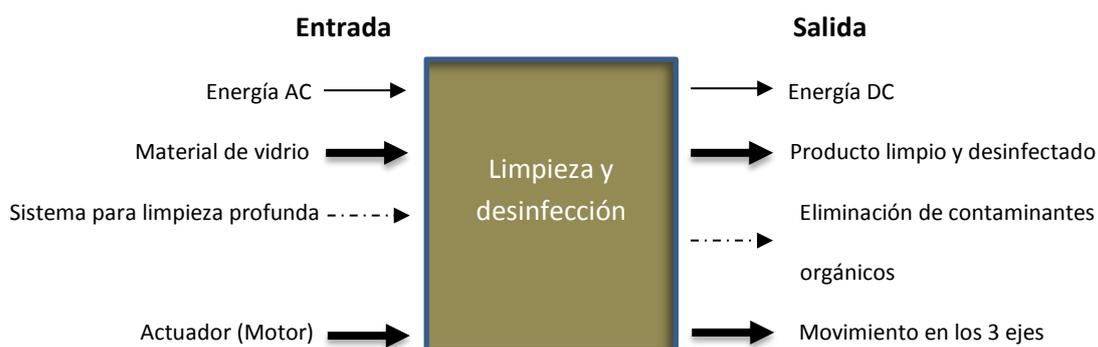


Figura 28 Descomposición del problema en subfunciones

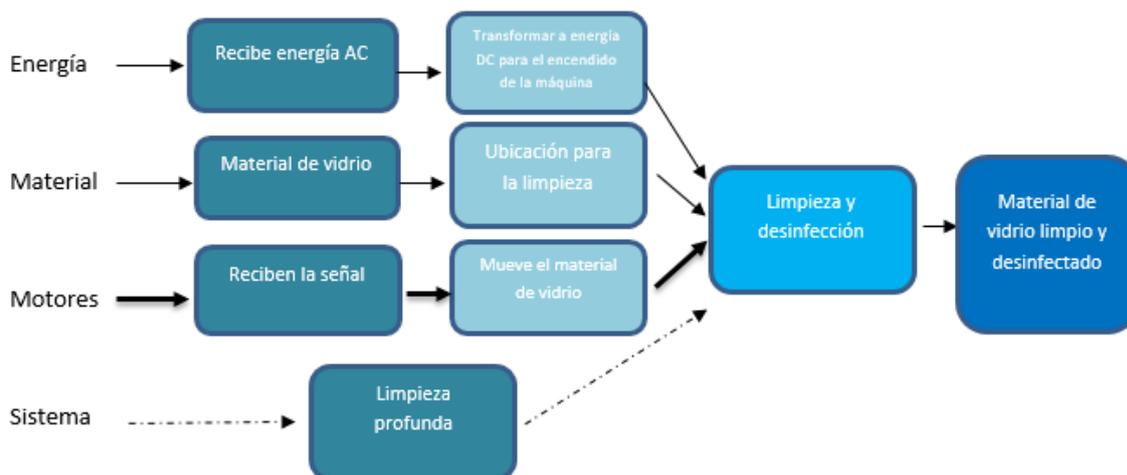


Figura 29 Refinamiento de subfunciones

3.2.3.3. Búsqueda externa

Al investigar sobre sistemas de limpieza y desinfección con las características que desea el usuario no se encontró productos iguales pero sistemas con funciones por separado.

Como se explica en los capítulos 1 y 2 se tomará como guías las características y funcionamientos de varias aplicaciones de los robots cartesianos que poseen movimiento en los 3 ejes coordenados.

3.2.3.4. Búsqueda interna

Internamente en el grupo de trabajo se planteó varias ideas de diseño con las que se obtuvo diferentes tipos de soluciones para el problema de limpieza y desinfección y varios modelos de diseño como se los explicará más adelante en la sección de prototipado.

3.2.3.5. Exploración sistemática

Como consecuencia de los pasos 3 y 4 se obtuvieron varias ideas de como solventar la necesidad de limpiar y desinfectar los materiales de vidrio del laboratorio de Nanomateriales de la Universidad de las Fuerzas Armadas.

Tabla de combinación de conceptos

Se considerará diferentes soluciones para los subproblemas existentes.

Tabla 13

Solución subproblemas: recibir energía, transformar energía AC-DC.

Soluciones al subproblema de recibir energía	Soluciones al subproblema de transformar energía
<ul style="list-style-type: none"> • Baterías • Generadores a base de gasolina • Energía Eólica • Energía solar 	<ul style="list-style-type: none"> • Circuitos Integrados • Conversores AC-DC • Diodos de potencia

Tabla 14

Soluciones subproblemas: Materiales de vidrio a usar, ubicación de materiales en la máquina

Soluciones al subproblema de materiales de vidrio a limpiar	Soluciones al subproblema de ubicación de materiales en la máquina
<ul style="list-style-type: none"> • Matraz de Balón • Tubos de Ensayo • Cajas Petri • Sustratos 	<ul style="list-style-type: none"> • Ventosas • Gripper manual

Tabla 15

Soluciones subproblemas: recibir señal de operación, mover el material

Soluciones al subproblema de recibir la señal	Soluciones al subproblema de Mover el producto
<ul style="list-style-type: none"> • Señal eléctrica • Señal neumática • Señal hidráulica 	<ul style="list-style-type: none"> • Motor a pasos • Motor dc • Motor hidráulico bidireccional

Tabla 16

Soluciones al subproblema: Limpieza profunda

Soluciones al subproblema de limpieza profunda
<ul style="list-style-type: none"> • Movimiento de cabezal • limpieza ultrasónica

Se procede a esquematizar la descomposición de los diferentes problemas



Figura 30 Diagrama de descomposición del problema de Energía

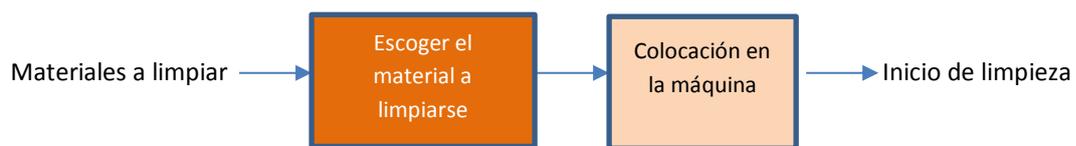


Figura 31 Diagrama de descomposición del problema de Material a limpiar y desinfectar

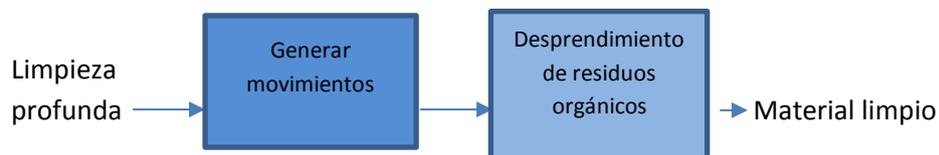


Figura 32 Diagrama de descomposición del problema de limpieza profunda



Figura 33 Diagrama de descomposición del problema de motor de corriente continua

Ahora se realizará los conceptos solución para cada uno de los problemas planteados.

Tabla 17

Concepto de solución del material a limpiar

Materiales a limpiar	Facilitar la colocación de dichos materiales
Matraces de Balón Tubos de Ensayo Cajas Petri Sustratos	Gripper fijo Ventosas

Tabla 18

Concepto de solución escogida para envío de señales

Alimentar energía al controlador	Identificación del inicio del proceso	Enviar señal obtenida a los actuadores
Voltaje DC	frecuencia	Analógica
Baterías recargables	Variación de voltaje	Digital

Tabla 19

Concepto de solución sobre limpieza profunda

Limpieza profunda	Tipo de limpieza
Movimiento de cabezal	movimiento lineal del material sumergido
Generación de ondas	baño ultrasónico

3.2.3.6. Reflexionar sobre las soluciones y el proceso

Una vez analizadas las posibles soluciones para el funcionamiento general de nuestro sistema vamos a elaborar los posibles conceptos y después escoger el más factible y que satisfaga las necesidades del usuario

Tabla 20

Conceptos Generados

Conceptos

1. El sistema de limpieza y desinfección constará de un gripper fijo en el que el usuario ubicará manualmente los materiales de vidrio, una vez colocados las piezas, el laboratorista manda la orden de inicio de del proceso, el objeto se moverá linealmente y se sumergirá en los diferentes reactivos, esta limpieza empieza con el movimiento lineal del cabezal que producirá el desprendimiento de residuos orgánicos adheridos en la superficie del material de vidrio; todo el movimiento lineal es generado por motores a paso que brindan una mayor exactitud.

2. El sistema de limpieza y desinfección constará de una ventosas en el que el usuario ubicará manualmente y ellas sujetan a los materiales de vidrio, una vez colocados las piezas, el laboratorista manda la orden de inicio de del proceso, el objeto se moverá linealmente y se sumergirá en los diferentes reactivos, esta limpieza empieza con la activación de un generador de ondas ultrasónico que producirá vibraciones entre 20KHz y 40KHz lo que producirá una limpieza muy profunda e ideal para materiales frágiles como el vidrio; todo el movimiento lineal es generado por motores a paso que brindan una mayor exactitud.

3. El sistema de limpieza y desinfección constará de un gripper fijo en el que el usuario ubicará manualmente los materiales de vidrio, una vez colocados las piezas, el laboratorista manda la orden de inicio de del proceso, el objeto se moverá linealmente y se sumergirá en los diferentes reactivos, esta limpieza empieza con la activación de un generador de ondas ultrasónico que producirá vibraciones entre 20KHz y 40KHz lo que producirá una limpieza muy profunda e ideal para materiales frágiles como el vidrio; todo el movimiento lineal es generado por motores a paso que brindan una mayor exactitud.

4. El sistema de limpieza y desinfección constará de una ventosas en el que el usuario ubicará manualmente y ellas sujetan a los materiales de vidrio, una vez colocados las piezas, el laboratorista manda la orden de inicio de del proceso, el objeto se moverá linealmente y se sumergirá en los diferentes reactivos, esta limpieza empieza con el movimiento lineal del cabezal que producirá el desprendimiento de residuos orgánicos adheridos en la superficie del material de vidrio; todo el movimiento lineal es generado por motores a paso que brindan una mayor exactitud.

3.2.4. Selección de conceptos

Se ha realizado 4 conceptos:

A. Sistema de limpieza con movimiento lineal, gripper fijo para colocación de material de vidrio de manera manual y limpieza profunda con generador de ondas ultrasónicas.

B. Sistema de limpieza con movimiento lineal, ventosas para colocación de material de vidrio de manera manual y limpieza profunda con generador de ondas ultrasónicas.

C. Sistema de limpieza con movimiento lineal, gripper fijo para colocación de material de vidrio de manera manual y limpieza con movimientos lineales dentro de los reactivos.

D. Sistema de limpieza con movimiento lineal, ventosas para colocación de material de vidrio de manera manual y limpieza con movimientos lineales dentro de los reactivos.

Tabla 21

Evaluación criterios de Selección por conceptos

Conceptos				
Criterios de Selección	A	B	C	D
Facilidad de manejo	+	0	0	0
Facilidad de uso	0	0	0	0
Facilidad de mantenimiento	0	0	0	-
Precisión de movimiento	0	0	0	0
Facilidad de control automático	+	-	-	-
Vida útil	+	0	+	0
Costo de materia prima	-	+	0	-
Baja complejidad de piezas	+	-	+	-
Ergonomía	+	0	+	0
Seguridad	+	-	+	-
Medio ambiente	0	0	0	0
Facilidad de manufactura	+	0	+	0
Tiempo de procesamiento	0	0	0	0
SUMA +	7	1	5	0
SUMA 0	5	9	7	9
SUMA -	1	3	1	4
EVALUACIÓN NETA	8	-2	4	-4
LUGAR	1	3	2	4
CONTINUAR:	SI	Revisar	Revisar	NO

Tabla 22

Matriz de selección

	Facilidad de manejo	Facilidad de uso	Facilidad de mantenimiento	Precisión de movimiento	Facilidad de control automático	Vida útil	Costo de materia prima	Baja complejidad de piezas	Ergonomía	Seguridad	Medio ambiente	Facilidad de manufactura	Reducido tiempo de procesamiento	$\Sigma+1$	Pondera.
Facilidad de manejo		2,5	0	2,5	2,5	2,5	0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	26	0,065
Facilidad de uso	2,5		0	2,5	2,5	2,5	0	0	0	0	0	2,5	2,5	16	0,040
Facilidad de mantenimiento	5	5		5	5	5	0	5	2,5	2,5	0	5	5	46	0,115
Precisión de movimiento	2,5	2,5	0		2,5	2,5	0	0	0	0	2,5	0	0	13,5	0,034
Facilidad de control automático	2,5	2,5	0	2,5		2,5	0	0	0	0	0	2,5	2,5	16	0,040
Vida útil	2,5	2,5	0	2,5	2,5		0	0	0	0	0	0	0	11	0,027
Costo de materia prima	5	5	5	5	5	5		5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	48,5	0,121
Baja complejidad de piezas	2,5	5	0	5	5	5	0		0	2,5	2,5	5	5	38,5	0,096
Ergonomía	2,5	5	2,5	5	5	5	2,5	5		2,5	0	2,5	2,5	41	0,102
Seguridad	2,5	5	2,5	5	5	5	2,5	2,5	2,5		0	2,5	2,5	38,5	0,096
Medio ambiente	2,5	5	5	2,5	5	5	2,5	2,5	5	5		0	0	41	0,102
Facilidad de manufactura	2,5	2,5	0	5	2,5	5	2,5	0	2,5	2,5	5		0	31	0,077
Reducido tiempo de procesamiento	2,5	2,5	0	5	2,5	5	2,5	0	2,5	2,5	5	5		33,5	0,084
														400,5	1

Tabla 23

Facilidad de manejo

Facilidad manejo	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A		2.5	0	2.5	6	0.18
B	2.5		0	5	8.5	0.25
C	5	5		2.5	13.5	0.40
D	2.5	0	2.5		6	0.18
				Suma	34	1.00

Tabla 24

Facilidad de uso

Facilidad uso	A	B	C	D	S+1	Ponderación
A		0	0	2.5	3.5	0.10
B	5		2.5	5	13.5	0.40
C	5	2.5		2.5	11	0.32
D	2.5	0	2.5		6	0.18
				Suma	34	1.00

Tabla 25

Facilidad de mantenimiento

Facilidad Mantenimiento	A	B	C	D	S+1	Ponderación
A		5	5	5	16	0.47
B	0		2.5	2.5	6	0.18
C	0	2.5		2.5	6	0.18
D	0	2.5	2.5		6	0.18
				Suma	34	1.00

Tabla 26

Precisión de movimiento

Precisión movimiento	A	B	C	D	S+1	Ponderación
A		5	5	2.5	13.5	0.40
B	0		2.5	2.5	6	0.18
C	0	2.5		2.5	6	0.18
D	2.5	2.5	2.5		8.5	0.25
				Suma	34	1.00

Tabla 27

Facilidad control automático

Facilidad control automático	A	B	C	D	S+1	Ponderación
A		2.5	2.5	5	11	0.32
B	2.5		2.5	2.5	8.5	0.25
C	2.5	2.5		2.5	8.5	0.25
D	0	2.5	2.5		6	0.18
				Suma	34	1.00

Tabla 28

Vida útil

Vida útil	A	B	C	D	S+1	Ponderación
A		5	5	5	16	0.47
B	0		2.5	2.5	6	0.18
C	0	2.5		2.5	6	0.18
D	0	2.5	2.5		6	0.18
				Suma	34	1.00

Tabla 29

Costo materia prima

Costo Materia Prima	A	B	C	D	S+1	Ponderación
A		0	0	2.5	3.5	0.10
B	5		2.5	2.5	11	0.32
C	5	2.5		2.5	11	0.32
D	2.5	2.5	2.5		8.5	0.25
				Suma	34	1.00

Tabla 30

Baja complejidad piezas

Baja complejidad Piezas	A	B	C	D	S+1	Ponderación
A		2.5	2.5	5	11	0.32
B	2.5		2.5	2.5	8.5	0.25
C	2.5	2.5		2.5	8.5	0.25
D	0	2.5	2.5		6	0.18
				Suma	34	1.00

Tabla 31

Ergonomía

Ergonomía	A	B	C	D	S+1	Ponderación
A		5	5	5	16	0.47
B	0		5	2.5	8.5	0.25
C	0	0		2.5	3.5	0.10
D	0	2.5	2.5		6	0.18
				Suma	34	1.00

Tabla 32

Seguridad

Seguridad	A	B	C	D	S+1	Ponderación
A		5	5	5	16	0.47
B	0		5	2.5	8.5	0.25
C	0	0		2.5	3.5	0.10
D	0	2.5	2.5		6	0.18
				Suma	34	1.00

Tabla 33

Medio ambiente

Medio ambiente	A	B	C	D	S+1	Ponderación
A		5	5	5	16	0.47
B	0		5	2.5	8.5	0.25
C	0	0		2.5	3.5	0.10
D	0	2.5	2.5		6	0.18
				Suma	34	1.00

Tabla 34

Facilidad de manufactura

Facilidad Manufactura	A	B	C	D	S+1	Ponderación
A		0	0	0	1	0.03
B	5		5	5	16	0.47
C	5	0		5	11	0.32
D	5	0	0		6	0.18
				Suma	34	1.00

Tabla 35

Reducido tiempo de procesamiento

Reducido tiempo de procesamiento	A	B	C	D	S+1	Ponderación
A		5	5	2.5	13.5	0.40
B	0		2.5	5	8.5	0.25
C	0	2.5		5	8.5	0.25
D	2.5	0	0		3.5	0.10
				Suma	34	1.00

Tabla 36

Resultados parte 1

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	0.0098	0.0035	0.0487	0.0114	0.0110	0.0110	0.0117	0.0266
B	0.0139	0.0135	0.0182	0.0051	0.0085	0.0041	0.0369	0.0205
C	0.0220	0.0110	0.0182	0.0051	0.0085	0.0041	0.0369	0.0205
D	0.0098	0.0060	0.0182	0.0072	0.0060	0.0041	0.0285	0.0145

Tabla 37

Resultados parte 2

10	11	12	13	14	S	Prioridad
0.0300	0.0411	0.0462	0.0023	0.0347	0.35	1
0.0232	0.0219	0.0245	0.0361	0.0219	0.23	2
0.0232	0.0090	0.0101	0.0248	0.0219	0.24	3
0.0164	0.0154	0.0173	0.0135	0.0090	0.18	4
					1.00	

Como se observa en la Tabla 37 el concepto con mayor viabilidad de realización es el concepto número 1 que consistía en un sistema de limpieza y desinfección con movimientos lineales, un gripper fijo.

3.3. Desarrollo de prototipos

(Ulrich & Eppinger, 2013) definen al prototipo como “una aproximación al producto en una o más dimensiones de interés”.

Los prototipos no solo ayudan a desarrollar rápidamente un producto exitoso, sino también a asegurar la confiabilidad del mismo en el campo al que fueron destinados.

Un prototipo se puede presentar de diversas formas, ya sea: modelos matemáticos, bosquejos de conceptos, simulaciones, componentes de prueba y versiones completamente funcionales previas a la producción de un producto (Ulrich & Eppinger, 2013).

Los tipos de prototipos se clasifican de manera útil en dos dimensiones.

La primera dimensión corresponde a:

- Prototipos físicos: son objetos tangibles que se asemejan al producto deseado.



Figura 34 Engrane dientes rectos

Fuente: (Huco Dynatork)

- Prototipos analíticos: representan al producto en una forma no tangible, que generalmente es matemática o visual.

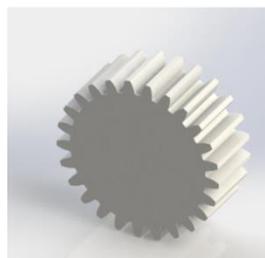


Figura 35 CAD Engrane dientes rectos

Fuente: (Malagón, 2015)

La segunda dimensión corresponde a:

- Prototipos integrales: estos ejecutan la mayor parte de los atributos de un producto, es una versión a plena escala y por completo operacional del producto.
- Prototipos enfocados: estos se centran en el modo de funcionamiento del producto y contienen uno o pocos atributos del mismo.

Según lo mencionan (Ulrich & Eppinger, 2013), usualmente se usan dos o más prototipos enfocados a la vez para investigar el funcionamiento general de un producto.

Generalmente los prototipos analíticos son más flexibles que los prototipos físicos, ya que dentro de estos se puede realizar cambios y correcciones o cambiar cualquier parámetro de manera más sencilla que dentro de los prototipos físicos. Los prototipos físicos se usan para afirmar o confirmar el diseño del producto.

3.3.1. Desarrollo de prototipos orientados al diseño mecánico

El prototipo orientado al sistema mecánico se encuentra dentro de la categoría de prototipo analítico-enfocado.

Lo que se busca con el desarrollo de prototipos es mostrar los diferentes diseños CAD que se realizó previamente a escoger un prototipo final.

Para el diseño del prototipo del gripper se tomaron en cuenta las medidas de los diferentes elementos que debe contener como: matraz de balón, matraz Erlenmeyer, vaso de precipitación, presentado en la siguiente tabla:

Tabla 38

Medidas Elementos de laboratorio

Elemento	Capacidad	Ø Cuello	Ø Fondo	Altura
Matraz Erlenmeyer	250ml	34 mm	85 mm	145 mm
Matraz de balón	250 ml	34mm	85mm	138 mm
Vaso de precipitación	250 ml	25 mm	70 mm	95 mm

- **Prototipo 1: Gripper 1**

Este diseño se basa en un gripper tipo garra que permita sujetar los materiales de laboratorio de forma segura. Posee cuatro dedos o garras con unas pequeñas muescas que evitarán que el material resbale, este gripper a su vez irá dentro de una caja la cual tiene tres funciones: la primera es que permita al gripper asegurar el material de laboratorio por medio del acople de resortes en sus dedos y estos a su vez irán acoplados en la caja, la segunda es brindar mayor seguridad en el caso de que el material que sujeta el gripper resbale, y la tercera es con el fin de adaptar en la parte inferior de la caja un elemento que permita contener los tubos de ensayo.

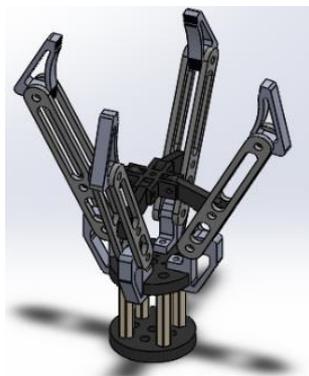


Figura 36 Gripper de cuatro dedos

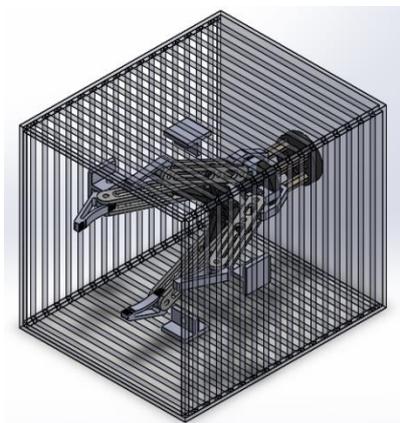


Figura 37 Gripper y caja de sujeción

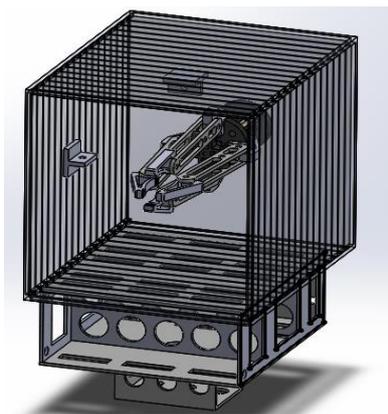


Figura 38 Acople de elemento contenedor de tubos de ensayo

- **Prototipo 2 : Gripper 1**

Para el segundo prototipo se tomó como referencia un producto existente en el mercado, como lo muestra la Figura 47, pero se realizó modificaciones en el modelo. Una de las pestañas del gripper gira para poder introducir más fácilmente los materiales de laboratorio y consta de un resorte en la parte superior que permite ajustar las pestañas para brindarle mayor seguridad y sujeción.

Para que el gripper pueda intercambiarse de manera más sencilla se acoplaron unos pernos en la parte trasera del mismo.



Figura 39 Clip sujetador para matraz Erlenmeyer

Fuente: (RYE)

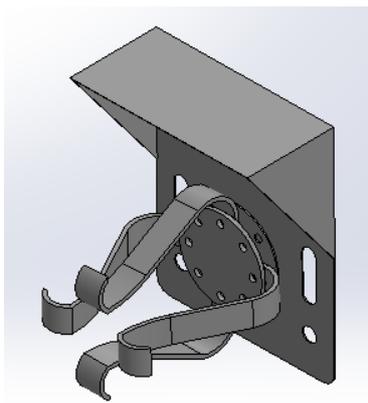


Figura 40 Acople de gripper con placa

Para el diseño del prototipo del gripper 2 se tomó en consideración las medidas y cantidad de elementos que contendrá:

Tabla 39

Medidas tubo de ensayo

Elemento	Ø	Altura
Tubo de ensayo	16mm	123mm

- **Prototipo gripper 2:**

Para este diseño se tomó como referencia un producto existente en el mercado como se muestra en la Figura 49, se adaptó a las medidas requeridas y se acopló un pequeño elemento que contendrá una caja con sustratos de vidrio.

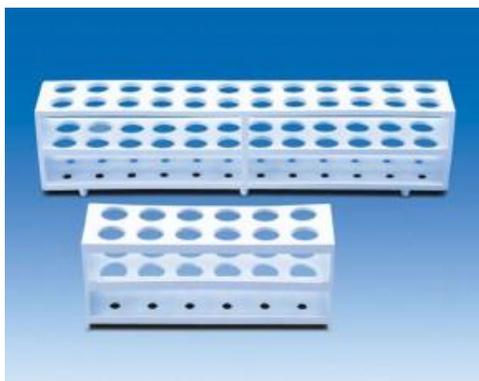


Figura 41 Gradilla para tubos de ensayo

Fuente: (VITLAB)

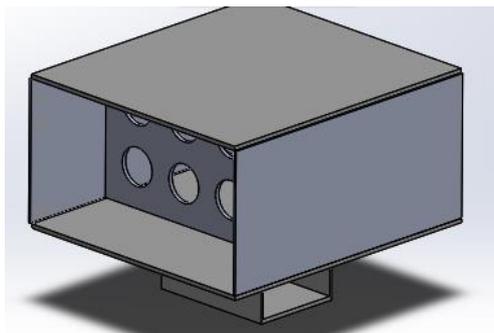


Figura 42 Gripper 2 para tubos de ensayo y sustratos

- **Prototipo Sujeción del gripper**

Para acoplar el gripper con el motor que le permitirá moverse, se consideró un elemento en forma de manija, está unido a la placa del gripper en dos lados para brindarle mayor agarre y fuerza, y consta de una hendidura para sujetar el elemento que irá acoplado al eje del motor

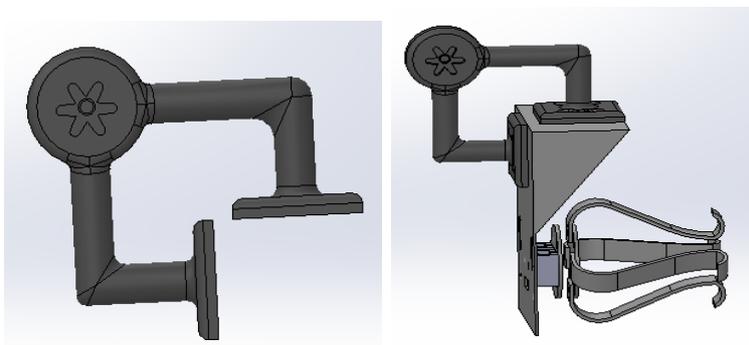


Figura 43 Pieza de sujeción

- **Prototipo 1: Sistema de movimiento**

Para el sistema que permitirá el movimiento se consideró utilizar un canal tipo C, unas ruedas que irán adaptadas en un pequeño carrito, el cual permitirá el movimiento a través del canal.

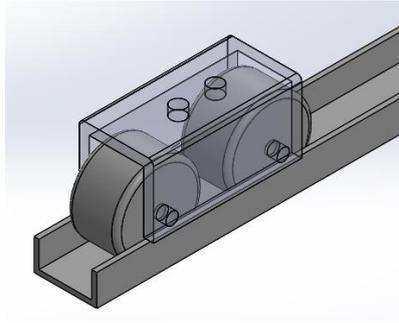


Figura 44 Sistema de movimiento sobre carril

- **Prototipo 2: Sistema de movimiento**

Para este diseño se consideró generar el movimiento con la ayuda de rodamientos, los mismos que estarán sujetos en una placa, los rodamientos se deslizarán a través de varillas circulares.

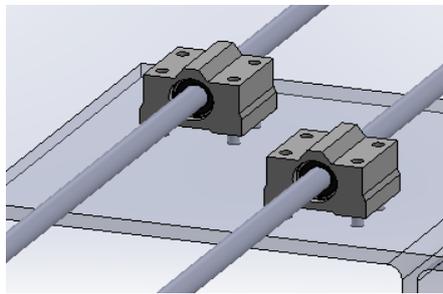


Figura 45 Sistema de movimiento con rodamientos

- **Prototipo Contenedor de recipientes**

Este diseño se trata de una placa perforada con la forma de los recipientes que contendrá y permitiendo que estos sean removibles.

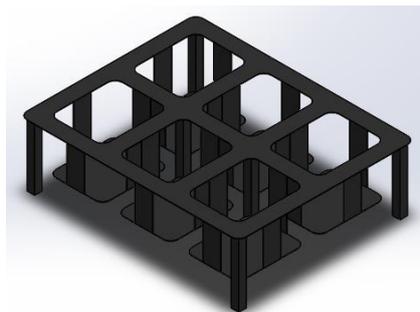


Figura 46 Elemento contenedor de recipientes

- **Prototipo Estructura**

Para este diseño se consideró el modelo del robot cartesiano tipo pórtico ya que este es el más adecuado para la aplicación requerida, además su estructura es fuerte y estable.

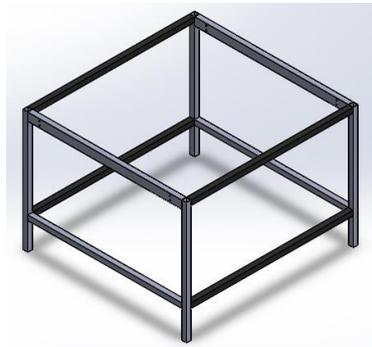


Figura 47 Esquema estructura principal

3.4. Selección de prototipos

Para verificar que prototipo funcionaría mejor con los requerimientos del sistema, es necesario evaluar cada prototipo por separado y posteriormente en conjunto.

Una vez obtenido el prototipo final, se requiere refinar ciertos detalles que quizá se hayan pasado por alto.

Prototipos mecánicos

Gripper

Prototipo 1: se comprobó que este prototipo presenta detalles complejos en su estructura, y ya que tiene dimensiones pequeñas es mucho más difícil manufacturar cada parte y detalle; pudiendo a su vez presentarse errores al momento de ensamblar el conjunto.

Además al incorporarse una caja como complemento, aumenta el tamaño del espacio de trabajo, por lo que también aumenta el tamaño del contenedor que va a recibir al gripper.

Por este motivo se ha descartado el primer prototipo del gripper.

Prototipo 2: este modelo presenta una forma más sencilla y adaptable, las partes que la conforman son mucho más fáciles de manufacturar y únicamente está unido a una placa que lo sujeta y permite el intercambio de así requerirlo.

El prototipo 2 es el escogido ya que presenta adaptabilidad y facilidad de uso.

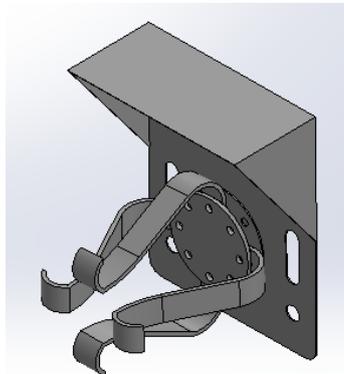


Figura 48 Prototipo gripper seleccionado

Sistema de movimiento lineal

Prototipo 1: este modelo es sencillo, su principal desventaja es que pueda existir desbalance al momento que deslice sobre el canal o que las ruedas no deslicen de la forma esperada y exista demasiada fricción.

Prototipo 2: la ventaja de este modelo es que no se produce fricción ni desbalance cuando se realice el movimiento, es un modelo que se adapta a las necesidades requeridas.

Por tal motivo se elige este prototipo

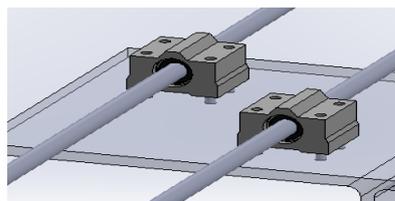


Figura 49 Prototipo seleccionado: sistema de movimiento

Una vez seleccionado cada prototipo mecánico y eléctrico, se procede a unir cada parte para comprobar que funcionan de manera conjunta.

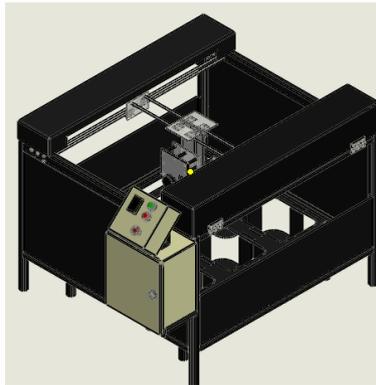


Figura 50 Prototipo final ensamble general

Algunos detalles que se le dio a la estructura y sus componentes, son el redondeo de aristas y ángulos vivos, con el fin de evitar concentración de esfuerzos y posteriormente que el elemento sufra algún tipo de rotura.

Se agregaron pequeñas placas para sujetar los elementos y se verifico que cada elemento quepa en la zona que le corresponde sin que existan colisiones o interferencias.

3.5. Definición de la arquitectura del producto

Para (Ulrich & Eppinger, 2013) un producto puede considerarse en términos funcionales y físicos. Los elementos funcionales de un producto son las operaciones y transformaciones individuales que contribuyen a su rendimiento general.

Los elementos físicos son las partes, componentes y subconjuntos que ponen en práctica las funciones del producto. A su vez se define un trozo como el o los elementos físicos de construcción del producto.

Por lo tanto se define a arquitectura del producto como el esquema por el cual los elementos funcionales del producto se acomodan en trozos físicos y por medio del cual estos interactúan.

El diseño del sistema de desinfección y limpieza presenta una arquitectura modular de tipo ranura, se dice que es modular ya que la estructura está formada por trozos como se muestra en la figura 39 y de tipo ranura

porque cada trozo requiere una interface diferente para realizar tareas específicas, los diversos trozos del producto no se pueden intercambiar.

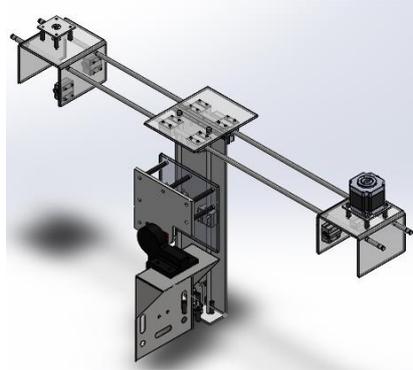


Figura 51 Representación del gripper con sujeción y sistema de movimiento

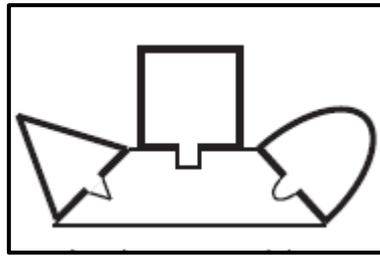


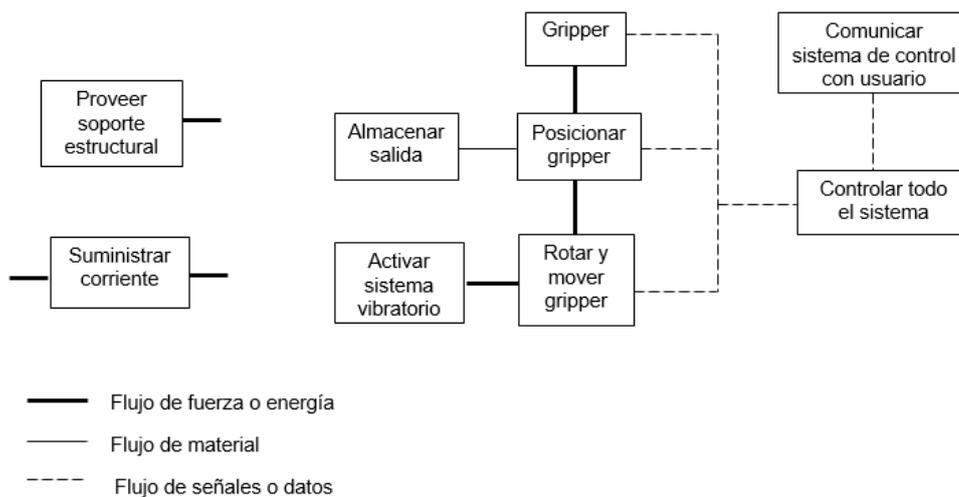
Figura 52 Esquema representación arquitectura modular de ranura

Fuente: (Ulrich & Eppinger, 2013)

Como lo recomienda (Ulrich & Eppinger, 2013) es importante para establecer la arquitectura del producto seguir una serie de pasos, cuyo resultado final será obtener: una disposición geométrica aproximada del producto, descripción de los trozos principales y documentación de las interacciones clave entre estos.

1. Crear un esquema del producto

Se trata de representar mediante un diagrama, la idea que tiene el equipo de los elementos constitutivos del producto



2. Crear una disposición geométrica aproximada

Como lo menciona (Ulrich & Eppinger, 2013), es posible crear una disposición geométrica aproximada en dos o tres dimensiones, para ello se usan dibujos, modelos de computadora o modelos físicos.

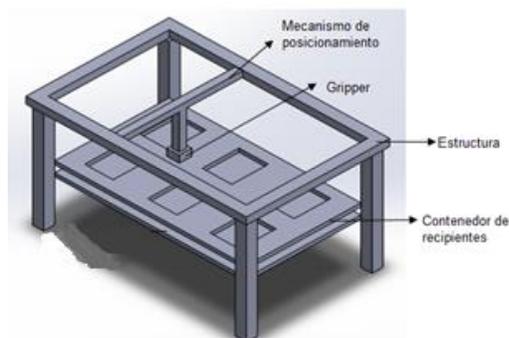


Figura 53 Esquema estructura

3. Identificar interacciones fundamentales e incidentales

En este paso se detalla las interacciones que deberán ser tomadas en cuenta para el desarrollo de cada trozo.

3.6. Alternativas de selección de componentes mecánicos y eléctricos/electrónicos.

En esta sección se considerarán los sistemas mecánicos, eléctricos/electrónicos de mayor importancia para elaborar los correspondientes cuadros comparativos y las tablas de valoración.

3.6.1. Sistema de movimiento lineal

Para la selección del sistema de movimiento lineal, se tomaron en cuenta dos opciones: ejes sencillos y guías lineales.

Tabla 40

Cuadro comparativo sistema de movimiento lineal

Parámetros	Ejes	Guía lineal
Sujeción		
Flexión	Depende del diámetro y del material utilizado	Debido a su construcción, el fleje está minimizado
Disponibilidad	Se encuentran disponibles en la mayoría de locales distribuidores de acero	Ya que su uso es limitado, puede obtenerse bajo pedido en el local distribuidor
Costo	Costo bajo	Costo alto

Tabla 41

Tabla de valoración del sistema de movimiento lineal

Parámetros	Ponderación	Ejes		Guía lineal	
		Valor	Valor P.	Valor	Valor P.
Sujeción	10%	2	0.2	3	0.3
Flexión	40%	3	1.2	4	1.6
Disponibilidad	20%	4	0.8	1	0.2
Costo	30%	3	0.9	2	0.6
Total	100%		3.1		2.7

Los ejes son utilizados en máquinas CNC, presentan un costo relativamente bajo y se encuentran disponibles en el mercado local, además son fácilmente adaptables a la estructura.

3.6.2. Sistema de transmisión de movimiento

Para la selección del sistema de transmisión de movimiento se consideraron dos opciones: husillo de bolas y correa dentada.

Tabla 42

Cuadro comparativo sistema de transmisión de movimiento

Parámetros	Husillo de bolas	Correa dentada
		
Eficiencia	Su eficiencia se encuentra en el rango de 90-95%	Su eficiencia oscila entre 92-97%
Adaptabilidad	Para conectar el husillo al eje del motor necesita un acople	La correa se une a unas poleas que van directamente acopladas en el eje del motor
Costo	Costo alto	Costo bajo

Tabla 43

Tabla de valoración del sistema de transmisión de movimiento

Parámetro	Ponderación	Husillo de bolas		Correa dentada	
		Valor	Valor P.	Valor	Valor P.
Eficiencia	35%	5	1.75	5	1.75
Adaptabilidad	25%	3	0.75	3	0.75
Costo	40%	2	0.8	3	1.2
Total	100%		3.3		3.7

Las correas dentadas son fáciles de adaptar y su costo es muy bajo en comparación con el husillo de bolas, además no se requiere mucha precisión como en el caso de tornos, fresadoras o impresoras 3D.

3.6.3. Motores

Los motores son elementos esenciales para el completo funcionamiento del sistema, se han tomado en cuenta motores a pasos, motores DC y servomotores.

Tabla 44

Cuadro comparativo motores

	Servomotor	Motor paso a paso	Motor DC
Parámetros			
Precisión	Para alcanzar alta precisión, se necesita un circuito de retroalimentación con un encoder.	Ya que incluye un mayor número de polos que el servomotor, se puede considerar más preciso.	Pueden llegar a ser muy precisos si se realiza el adecuado control de posición.
Funcionamiento	Solo trabajan con la corriente que necesitan para moverse de una posición a otra.	Operan en lazo abierto con corriente constante, lo que puede ocasionar calentamiento del motor	Se alimentan de corriente continua y necesita un control de velocidad para aplicaciones específicas.
Torque	Mantiene su torque a altas velocidades.	Tiene gran capacidad de torque, sin embargo a altas velocidades, este disminuye.	Presenta bajo torque pero alta velocidad de giro.

CONTINUA 

Vida útil	Aproximadamente 2000 horas. Pasado ese tiempo se requiere mantenimiento de componentes como escobillas.	Si las limitaciones del motor no son excedidas, se pueden alcanzar 10000 horas.	Se puede conseguir una vida útil del motor superior a las 20 000 horas bajo condiciones favorables.
Costo	Costo muy elevado.	Relativamente barato	Costo medio

Tabla 45

Tabla de valoración de motores

Parámetro	Ponderación	Servomotor		Motor paso a paso		Motor DC	
		Valor	Valor P.	Valor	Valor P.	Valor	Valor P.
Precisión	20%	3	0.6	5	1	3	0.6
Funcionamiento	15%	4	0.6	3	0.45	3	0.45
Torque	35%	5	1.75	3	1.05	2	0.7
Vida útil	10%	1	0.1	4	0.4	4	0.4
Costo	20%	2	0.4	5	1	3	0.6
Total	100%		3.45		3.9		2.75

Con un motor a pasos es posible conseguir una mayor precisión y realizar un control más sencillo, además posee una prolongada vida útil y su precio es bajo en relación al servomotor.

3.6.4. Dispositivo generador de vibración

Este elemento se emplea para generar movimiento y aumentar el desprendimiento de impurezas en la superficie del material de vidrio.

Tabla 46

Cuadro comparativo Dispositivos generadores de vibración

	Transductor ultrasónico	Motor con eje desbalanceado	Movimiento Lineal con motores a paso
Parámetros			
Funcionamiento	Este dispositivo puede convertir energía eléctrica en mecánica en forma de onda	Su eje posee un contrapeso, el cual al producirse el movimiento, cabecea y genera la	El motor a pasos en el eje Y mueve al gripper en distancias muy cortas aproximadamente de 5

CONTINUA →

	gracias al elemento piezoeléctrico, y generar la vibración requerida.	vibración. Esta vibración no es precisa	pasos, permitiendo un movimiento lineal y una ligera vibración dentro del líquido para la limpieza
Durabilidad	Larga vida útil y alta confiabilidad	Depende del mantenimiento que se le dé al motor y al contrapeso	Larga vida útil con mantenimiento del motor y correcta disipación de calor a su driver
Costo	Costo medio	Costo bajo	Costo medio

Tabla 47

Tabla de valoración dispositivo de generador de vibración

Parámetro	Ponderación	Transductor ultrasónico		Motor con eje desbalanceado		Movimiento Lineal con motores a paso	
		Valor	Valor P.	Valor	Valor P.	Valor	Valor P.
Funcionamiento	40%	5	2	3	1.2	4	1.6
Durabilidad	30%	4	1.2	3	0.9	4	1.2
Costo	30%	1	0.3	4	1.2	3	0.9
Total	100%		3.5		3.3		3.7

El motor con eje desbalanceado requiere un cálculo exhaustivo para determinar el contrapeso requerido en el eje que se necesita para generar la frecuencia solicitada, el transductor ultrasónico es una opción adecuada pero muy costosa su instalación, debido a que el objetivo del proyecto es crear un sistema de limpieza y desinfección económico se optó por la opción del movimiento lineal con motores a pasos.

3.6.5. Microcontrolador

Este elemento nos servirá para controlar todo el proceso de lavado.

Tabla 48

Cuadro comparativo Microcontrolador

	Placa Arduino MEGA	Microcontrolador PIC 16F877
Parámetros		
Programabilidad	No se requiere de avanzados conocimientos en lenguaje de programación, disponibilidad de todo tipo de librerías en la red	Su programación es más detallada y compleja, requiere conocimientos previos de lenguaje de programación.
Transmisión de datos	La transmisión de datos se realiza mediante un cable USB.	Se necesita de un dispositivo electrónico para grabar los datos, conocido como “quemador”, y posteriormente se necesita de un circuito de reloj para activar el pic.
Terminales de conexión	Posee 54 pines de E/S digitales (de los cuales 14 son usados como salidas PWM), 16 como entradas analógicas.	Posee las siguientes E/S: 6 del puerto A, 8 del puerto B, 8 del puerto D y 3 del puerto E, además de 8 entradas analógicas
Costo	Costo medio	Costo bajo

Tabla 49

Tabla de valoración de microcontrolador

Parámetro	Ponderación	Placa Arduino		Microcontrolador PIC	
		Valor	Valor P.	Valor	Valor P.
Programabilidad	40%	5	2	3	1.2
Transmisión de datos	20%	4	0.8	2	0.4
Terminales de conexión	20%	4	0.8	3	0.6
Costo	20%	3	0.6	4	0.8
Total	100%		4.2		3.0

La placa Arduino MEGA está compuesta por un microcontrolador ATmega 328, dispone de un alto número de E/S, así como también una amplia gama de librerías que facilitan su programación.

3.6.6. HMI

El HMI nos servirá para visualizar la información requerida de los diferentes parámetros del proceso de limpieza.

Tabla 50

Cuadro comparativo HMI

	Pantalla táctil TFT 2.4"	Pantalla LCD 16x2
Parámetros		
Uso	En este dispositivo se pueden visualizar textos e imágenes, posee un panel táctil sobre la pantalla LCD y cuenta con un lector de tarjetas SD.	Sirve únicamente para mostrar texto y algunos caracteres especiales.
Conexión	Esta pantalla posee un shield para conectarse de manera directa en la placa de Arduino.	La pantalla debe colocarse sobre un protoboard o pcb ya que no posee un shield para conexión directa con Arduino
Costo	Costo bajo	Costo bajo

Tabla 51

Tabla de valoración HMI

Parámetro	Ponderación	Pantalla táctil TFT 2.4"		Pantalla LCD 16x2	
		Valor	Valor P.	Valor	Valor P.
Uso	50%	5	2.5	2	1.0
Conexión	30%	4	1.2	3	0.9
Costo	20%	3	0.6	3	0.6
Total	100%		4.3		2.5

Con la pantalla TFT podemos tener mayores aplicaciones ya que cuenta con un lector de tarjetas SD, se puede eliminar el uso de botoneras, únicamente necesita librerías adecuadas para el correcto funcionamiento de la misma.

Diseño

En esta sección se detalla la realización de cálculos y diseño de los diferentes elementos que conforman el sistema de limpieza y desinfección.

3.7. Diseño Mecánico

Teniendo en cuenta la idea básica del sistema, se procede a realizar el diseño CAD, donde se muestra en detalle los componentes que integran el equipo como se aprecia en la figura 54.

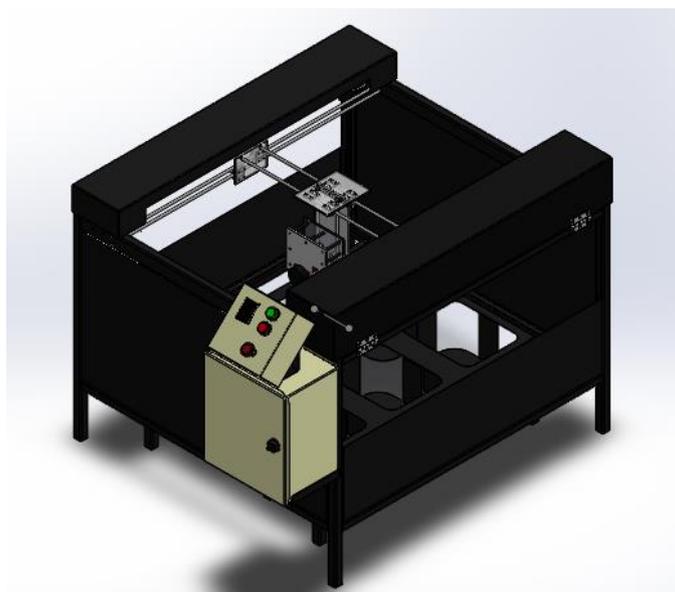


Figura 54 Esquema sistema de limpieza y desinfección de materiales de vidrio

3.7.1. Diseño de ejes

Para diseñar los ejes que servirán de apoyo de los diferentes componentes y guía en la realización del movimiento sobre los ejes x, y e z, deben considerarse factores como: peso del carro, peso del motor, entre otros.

Estos ejes además estarán sometidos a cargas que generan momentos flectores y por lo tanto podrían pandear al eje por ello es necesario dimensionar correctamente los mismos.

Diseño de los ejes que soportan el carro con y sin motor para el movimiento a lo largo del eje y

Los ejes soportan el peso de los carros móviles y sirven de guía de movimiento, por lo tanto es necesario que no sufran mayor deformación para que el movimiento sea uniforme y no existan obstrucciones. Se procederá a realizar un análisis de las fuerzas que actúan sobre los mismos.

Hay que considerar que para el movimiento en el eje "y" se utilizan dos ejes ubicados paralelamente, idealmente la carga aplicada debería distribuirse uniformemente en ambos ejes pero debido al juego producido por los rodamientos se considera que el primer eje soporta un 60% de la carga aplicada.

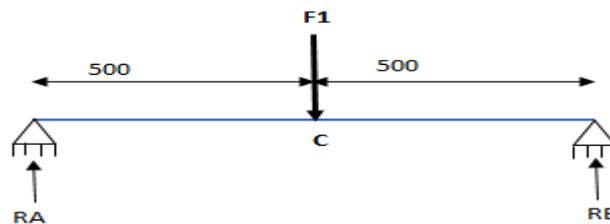


Figura 55 Diagrama de cuerpo libre eje y

Las fórmulas mostradas a continuación fueron tomadas del libro "Diseño e Ingeniería Mecánica de Shigley" (Budynas & Nisbett, 2008)

$$F_{Total} = 11,76N$$

$$F_1 = 7,06 N$$

$$\sum F_Y = 0 \Rightarrow R_A + R_B - 7,06 = 0 \Rightarrow R_A = 7,06 - R_B \quad (3-1)$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow RB(1000) - 7,06(500) = 0 \Rightarrow RB = 3,53 [N] \quad (3-2)$$

$$\therefore R_A = 7,06 - 3,53$$

$$\therefore R_A = 3,53 [N]$$

Cálculos de la fuerza cortante:

De $0 < x < 500$ [mm]:

$$\sum F_Y = 0 \Rightarrow 3,53 = V_A$$

De $500 < x < 1000$ [mm]

$$\sum F_Y = 0 \Rightarrow 3,53 - 7,06 = V_B$$

$$\therefore V_C = -3,53 \text{ [N]}$$

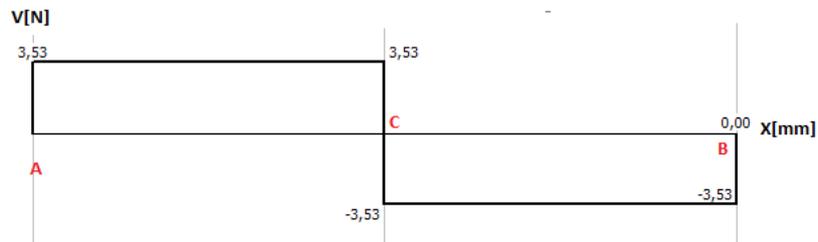


Figura 56 Diagrama Fuerza cortante

Cálculos del momento flector:

De $0 < x < 500$ [mm]:

$$M_A = 0$$

$$M_C = 0 + 3,53 * (500)$$

$$M_C = 1765 \text{ [N. mm]}$$

De $500 < x < 1000$ [mm]:

$$M_B = 1765 - 3,53(500)$$

$$\therefore M_B = 0 \text{ [N. mm]}$$

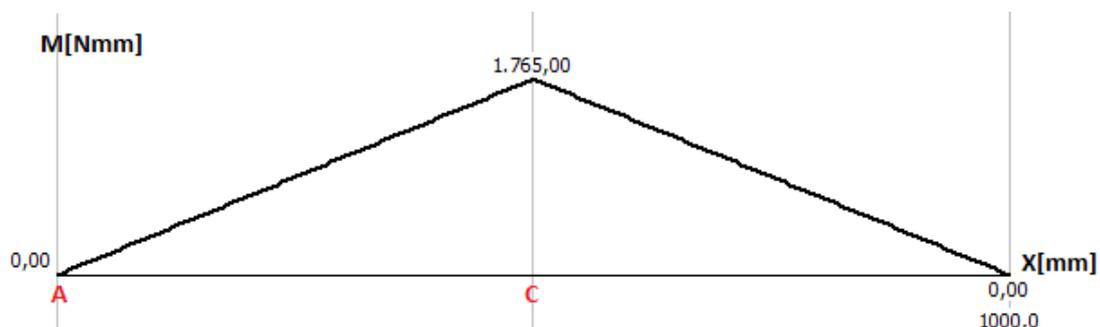


Figura 57 Diagrama Momento flector

Para el cálculo del diámetro del eje se usará el criterio de ED-Goodman (Budynas & Nisbett, 2008), con $M_m = T_m = T_a = 0$

$$d = \left(\frac{32nK_f M_a}{\pi S_e} \right)^{1/3} \quad (3-3)$$

Se considera como material de los ejes al acero AISI 304 laminado en frío cuya resistencia a la tensión es de 515 MPa.

$n=2$ Factor de seguridad

$K_f = 1,7$ (factor de concentración de esfuerzo)

$M_a = 1,77$ [Nm] (Momento flector en el punto crítico)

S_e : Límite de resistencia a la tensión en el punto crítico

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S_e' \quad (3-4)$$

Siendo $K_a, K_b, K_c, K_d, K_e, K_f$ los factores de modificación por condición superficial, carga, temperatura, confiabilidad y efectos varios, dichos valores se pueden encontrar en el libro referencial (Budynas & Nisbett, 2008).

$$K_a = a S_{ut}^b \quad (3-5)$$

$$K_a = 4,51 \times 515^{-0,265} = 0,86 \quad (3-6)$$

$$K_b = 1,24 d^{-0,107} = 1,24 (8)^{-0,107} = 0,99 \quad (3-7)$$

$$K_c = 1 \quad (3-8)$$

$$S_e' = 0,5 S_{ut} \quad S_{ut} \leq 1400 \text{ MPa} \quad (3-9)$$

$$S_e = 0,86 \times 0,99 \times 257,5 = 219,24 \text{ [MPa]}$$

Reemplazando datos:

$$d = \left(\frac{32 \times 2 \times 1,7 \times 1,77}{\pi \times 219,24 \times 10^6} \right)^{1/3}$$

$$\mathbf{d = 6,53 \text{ mm}}$$

Determinación del diámetro para el eje que soporta el carro sin motor

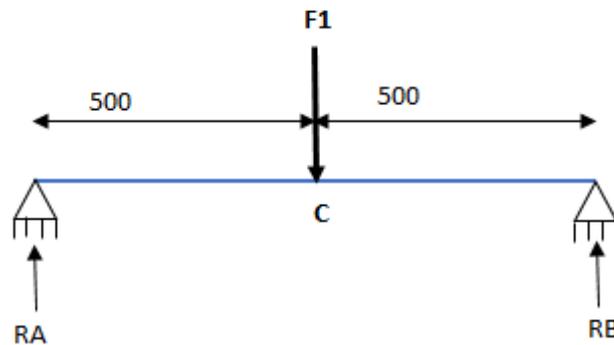


Figura 58 Diagrama cuerpo libre eje y sin peso del motor

$$F_{Total} = 1,96 [N]$$

$$F_1 = 1,18 [N]$$

$$\sum F_Y = 0 \Rightarrow R_A + R_B - 1,18 = 0 \Rightarrow R_A = 1,18 - R_B \quad (3-10)$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow R_B(1000) - 1,18(500) = 0 \Rightarrow R_B = 0,59 [N] \quad (3-11)$$

$$\therefore R_A = 1,18 - 0,59$$

$$\therefore R_A = 0,59 [N]$$

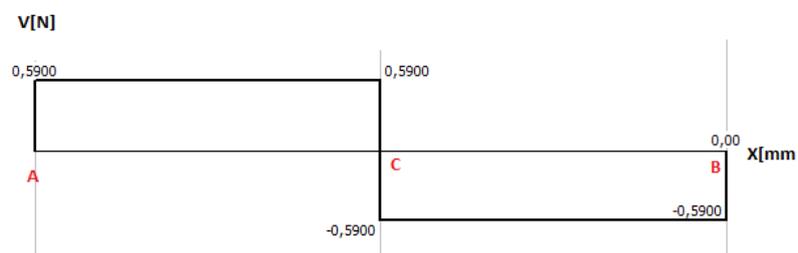


Figura 59 Diagrama Fuerza cortante segundo eje, mov.Y

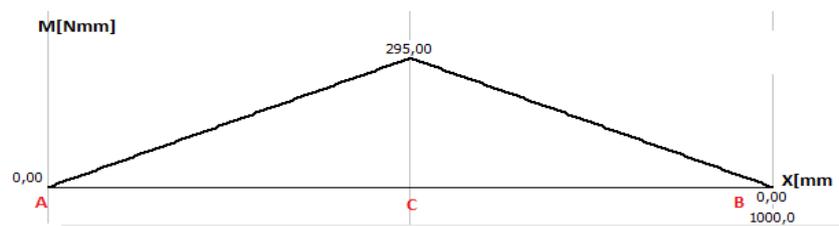


Figura 60 Diagrama Momento flector segundo eje, mov.Y

Al igual que el cálculo en el eje anterior se utiliza el criterio de ED-Goodman (Budynas & Nisbett, 2008)

$$d = \left(\frac{32nK_fM_a}{\pi S_e} \right)^{1/3} \quad (\text{Ec. 3-12})$$

$$n=2$$

$$K_f = 1,7$$

$$M_a = 0,295[\text{Nm}]$$

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S_e' \quad (3-13)$$

Los valores $K_a, K_b, K_c, K_d, K_e, K_f$, se encuentran tabulados y se pueden encontrar en el libro referencial (Budynas & Nisbet, 2010) páginas 366-368

$$K_a = a S_{ut}^b \quad (3-14)$$

$$K_a = 4,51 \times 515^{-0,265} = 0,86 \quad (3-15)$$

$$K_b = 1,24 d^{-0,107} = 1,24(8)^{-0,107} = 0,99 \quad (3-16)$$

$$K_c = 1 \quad (3-17)$$

$$S_e' = 0,5 S_{ut} \quad S_{ut} \leq 1400 \text{ MPa} \quad (3-18)$$

$$S_e = 0,86 \times 0,99 \times 257,5 = 219,24 [\text{MPa}]$$

Reemplazando datos:

$$d = \left(\frac{32 \times 2 \times 1,7 \times 0,295}{\pi \times 219,24 \times 10^6} \right)^{1/3}$$

$$\mathbf{d = 3,59 \text{ mm}}$$

Obtenemos un diámetro de 6,53 mm y 3,59 mm respectivamente por lo tanto seleccionamos un valor de 8mm para cada eje, ya que este es un valor comercial que cumple con las características de diseño y para exista uniformidad en toda la estructura.

Una vez que se han obtenido los valores de los diámetros, se procede a realizar el cálculo de deflexiones, con el fin de determinar que tanto fleja la viga y si es aceptable el valor calculado.

$$I_Y = \frac{\pi r^4}{4} \Rightarrow I_Y = \frac{\pi(4)^4}{4} \quad (3-19)$$

$$I_Y = 201,06 \text{ [mm}^4\text{]}$$

El módulo de elasticidad correspondiente al acero AISI 304 es: E=210 GPa (Goodfellow, 2016).

Con P=11,76 [N]

$$Y_{m\acute{a}x} = \frac{PL^3}{48EI} \quad (3-20)$$

$$Y_{m\acute{a}x} = \frac{(7,06N)(1000mm)^3}{48 \left(210000 \frac{N}{mm^2} \right) (201,06mm^4)}$$

$$Y_{m\acute{a}x} = 3,1 \text{ [mm]}$$

Con P=1,18 [N]

$$Y_{m\acute{a}x} = \frac{PL^3}{48EI} \quad (3-20)$$

$$Y_{m\acute{a}x} = \frac{(1,18N)(1000mm)^3}{48 \left(210000 \frac{N}{mm^2} \right) (201,06mm^4)}$$

$$Y_{m\acute{a}x} = 0,58 \text{ [mm]}$$

Diseño de los ejes que soportan el carro con motor para el movimiento a lo largo del eje x

Se procederá a realizar el análisis de cuerpo libre, tomando en cuenta el peso del carro acoplado con el gripper y el motor.

Hay que considerar que para el movimiento en el eje "x" se utilizan dos ejes ubicados paralelamente por lo tanto la carga aplicada se distribuye uniformemente en ambos.

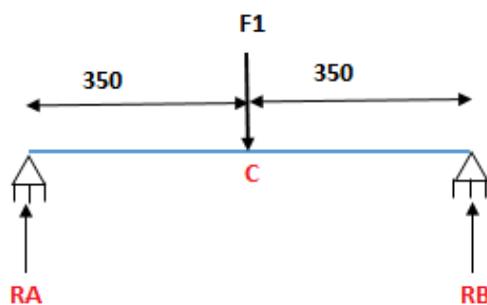


Figura 61 Diagrama de cuerpo libre eje x

$$F_{Total} = 14,7 \text{ [N]}$$

$$F_1 = 7,35 \text{ [N]}$$

Se procede a calcular las respectivas reacciones que actúan sobre los apoyos:

$$\sum F_Y = 0 \Rightarrow R_A + R_B - 7,35 = 0 \Rightarrow R_A = 7,35 - R_B \quad (3-19)$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow R_B(700) - 7,35(350) = 0 \Rightarrow R_B = 3,675 \text{ [N]} \quad (3-20)$$

$$\therefore R_A = 7,35 - 3,675$$

$$\therefore R_A = 3,675 \text{ [N]}$$

Cálculos de la fuerza cortante:

De $0 < x < 350$ [mm]:

$$\sum F_Y = 0 \Rightarrow 3,675 = V_A$$

De $350 < x < 700$ [mm]

$$\sum F_Y = 0 \Rightarrow 3,675 - 7,35 = V_B$$

$$\therefore V_C = -3,675 \text{ [N]}$$

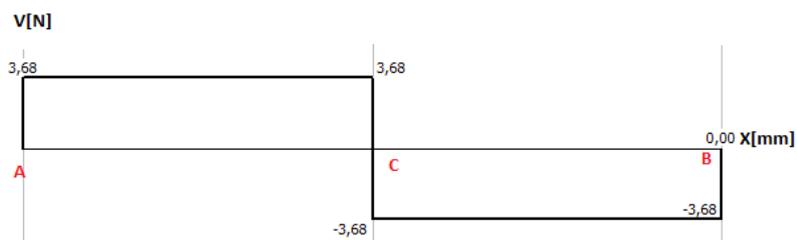


Figura 62 Diagrama Fuerza cortante del eje en x

Cálculos del momento flector:

De $0 < x < 350$ [mm]:

$$M_A = 0$$

$$M_C = 0 + 3,675 * (350)$$

$$M_C = 1286,25 \text{ [N. mm]}$$

De $350 < x < 700$ [mm]:

$$M_B = 1286,25 - 3,675(350)$$

$$\therefore M_B = 0 \text{ [N. mm]}$$

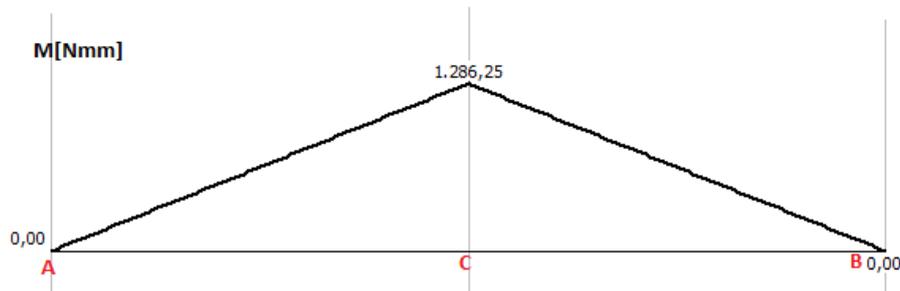


Figura 63 Diagrama Momento flector, Máximo momento punto C

El cálculo del diámetro del eje se lo realiza usando el criterio de ED-Goodman (Budynas & Nisbett, 2008), con $M_m = T_m = T_a = 0$

$$d = \left(\frac{32nK_f M_a}{\pi S_e} \right)^{1/3} \quad (3-21)$$

Se considera como material de los ejes al acero AISI 304 laminado en frío cuya resistencia a la tensión es de 515 MPa.

$n=2$ Factor de seguridad

$$K_f = 1,7$$

$$M_a = 1,28 \text{ [Nm]} (\text{Momento flector en el punto crítico})$$

Los valores $K_a, K_b, K_c, K_d, K_e, K_f$, se encuentran tabulados y se pueden encontrar en el libro referencial (Budynas & Nisbet, 2010) páginas 366-368.

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S_e' \quad (3-22)$$

$$K_a = a S_{ut}^b \quad (3-23)$$

$$K_a = 4,51 \times 515^{-0,265} = 0,86 \quad (3-24)$$

$$K_b = 1,24 d^{-0,107} = 1,24(8)^{-0,107} = 0,99 \quad (3-25)$$

$$K_c = 1 \quad (3-26)$$

$$S_e = 0,86 \times 0,99 \times 257,5 = 219,24 \text{ [MPa]}$$

Reemplazando datos:

$$d = \left(\frac{32 \times 2 \times 1,7 \times 1,28}{\pi \times 219,24 \times 10^6} \right)^{1/3}$$

$$\mathbf{d = 5,86mm}$$

EL diámetro obtenido nos da un valor de 5,86mm, por lo tanto seleccionamos un diámetro de valor 8mm que cumple con las características de diseño y que además brinda uniformidad a toda la estructura.

Una vez que se ha obtenido el valor del diámetro, se procede a realizar el cálculo de deflexiones, con el fin de determinar que tanto fleja la viga y si es aceptable el valor calculado.

Se toma el valor de inercia calculado anteriormente:

$$I_y = 201,06 \text{ [mm}^4\text{]}$$

El módulo de elasticidad correspondiente al acero AISI 304 es: E=210 GPa (Goodfellow, 2016).

Con P=19,6 [N]

$$Y_{m\acute{a}x} = \frac{PL^3}{48EI} \quad (3-29)$$

$$Y_{m\acute{a}x} = \frac{(7,35N)(1000mm)^3}{48 \left(210000 \frac{N}{mm^2} \right) (201,06mm^4)}$$

$$Y_{m\acute{a}x} = 3,4[mm]$$

Cálculo para el motor a pasos que permitirá el movimiento en el eje y

Para la selección del motor se debe considerar el peso de los carros que se mueven a la largo del eje y.

$m_1 = 1,2 [Kg]$ masa del carro que soporta el eje y con motor

$m_2 = 0,200 [Kg]$ masa del carro que soporta el eje y sin motor

$g = 9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right]$ aceleración de la gravedad

El valor del coeficiente de rozamiento para rodamientos lineales de bolas es $\mu=0.004$ (Bosch Group, 2014)

Eje del lado del carro con motor:

$$N_1 = m_1 \times g \Rightarrow N_1 = 1,2 \times 9,8 = 11,76 [N] \quad (3-27)$$

$$F_1 = \mu_1 \times N_1 \Rightarrow F_1 = 0,004 \times 11,76 = 0,047 [N] \quad (3-28)$$

Eje del lado del carro sin motor:

$$N_2 = m_2 \times g \Rightarrow N_2 = 0,2 \times 9,8 = 1,96 [N] \quad (3-29)$$

$$F_2 = \mu_2 \times N_2 \Rightarrow F_2 = 0,004 \times 1,96 = 0,0078 [N] \quad (3-30)$$

Fuerza en Y generada por ambos carros:

$$F_Y = F_1 + F_2 \Rightarrow F_Y = 0,047 + 0,0078 = 0,0548 [N]$$

$$T_{mY} = F_Y \times \text{radio del piñon} \quad (3-31)$$

$$T_{mY} = 0,0548 \times 0,006$$

$$T_{mY} = 0,00328 \text{ [Nm]}$$

Se optó por colocar dos motores con el fin de obtener un movimiento sincronizado.

Tabla 52

Características motor NEMA 23

Length	Mounted Rated Current	Holding Torque	Rotor Inertia	Detent Torque	Step Angle	Step per revolution
48,8 mm	2A	1,98 N.m	0,18 Kg-cm ²	0,051Ncm	1,8°	200

Fuente: Datasheet motor a pasos NEMA23

En la Tabla 52 podemos observar que el torque del motor NEMA 23 es de 0,051 Ncm y que el torque requerido para el funcionamiento del sistema es de 0,00328 Ncm, por lo tanto se escoge este motor ya que cumple con las características de diseño.

Adicionalmente se añadió otro motor NEMA 23 al movimiento en el eje Y, con el fin de mejorar la sincronización de los pasos del motor.

Cálculo para el motor a pasos que permitirá el movimiento en el eje x

Debe considerarse el peso del carro que se mueven a la largo del eje x.

$$m_1 = 2 \text{ [Kg]} \text{ masa del carro que soporta el eje x}$$

$$g = 9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right] \text{ aceleración de la gravedad}$$

El valor del coeficiente de rozamiento para rodamientos lineales de bolas es $\mu=0.004$ (Bosch Group, 2014)

$$N_1 = m_1 \times g \Rightarrow N_1 = 2 \times 9,8 = 19,6 \text{ [N]} \quad (3-32)$$

$$F_1 = \mu_1 \times N_1 \Rightarrow F_1 = 0,004 \times 19,6 = 0,0784 \text{ [N]} \quad (3-33)$$

Fuerza en Y

$$F_Y = F_1 \Rightarrow F_Y = 0,0784 \text{ [N]}$$

$$T_{mY} = F_Y \times \text{radio del piñon} \quad (3-34)$$

$$T_{mY} = 0,0784 \times 0,006$$

$$T_{mY} = 0,0047[Nm]$$

Según la Tabla 52 se observa que el torque del motor NEMA 23 es de 0,051 Ncm y que el torque requerido para el funcionamiento del sistema es de 0,0047 Ncm, por lo tanto se escoge este motor ya que cumple con las características de diseño.

Cálculo para el motor a pasos que permitirá el movimiento en el eje z.

Para la selección del motor se considera el peso del gripper y del mecanismo que permite el movimiento a lo largo del eje z

$$m_1 = 0,65[Kg] \text{ masa del gripper y el mecanismo de movimiento}$$

$$g = 9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right] \text{ aceleración de la gravedad}$$

$$F_1 = 0,65 \times 9,8 \Rightarrow F_1 = 6,37[N] \quad (3-36)$$

$$T_{mY} = F_1 \times \text{radio del piñon} \quad (3-37)$$

$$T_{mY} = 0,038[Ncm]$$

Como se observa en Tabla 52 el torque del motor NEMA 23 es de 0,051 Ncm y que el torque requerido para el funcionamiento del sistema es de 0,029Ncm, por lo tanto se escoge este motor ya que cumple con las características de diseño.

Se realizaron varios prototipos y tablas de ponderación de cada elemento, con el fin de seleccionar la mejor alternativa que cumpla con los requerimientos.

Dentro de diseño mecánico están los cálculos correspondientes de los diferentes componentes y mecanismos del sistema de desinfección y limpieza, con el fin de determinar puntos críticos, factores de seguridad, torque, etc.

Tabla 53

Resumen de cálculos en los ejes

Eje	Fuerza total aplicada	Diámetro obtenido	Diámetro seleccionado	Deflexión máxima
Y [sin motor]	1,96 N	3,59 mm	8mm	0,58mm
Y [con motor]	11,76N	6,53 mm	8mm	3,1mm
X [con gripper y motor (ejes paralelos)]	19,6 N	5,86	8mm	3,4mm

3.7.2. Diseño Estructura

El diseño de la estructura se realizó tomando en cuenta las dimensiones de los elementos principales, los perfiles seleccionados son perfiles cuadrados de 30x30 mm y de 1,5 mm de espesor, se realizó una simulación CAE sobre el perfil que soportará mayor peso (1,5Kg) y como se puede observar en la figura 64 la deflexión es de 0,02mm la cual se considera relativamente pequeña en relación al tamaño de la estructura cuyas dimensiones son 1x1x0.75 [m].

Ya que la deflexión es mínima con la mayor carga aplicada se concluye que toda la estructura formada por perfil cuadrado soportará el peso de cada componente sin sufrir mayores deformaciones o deflexiones.

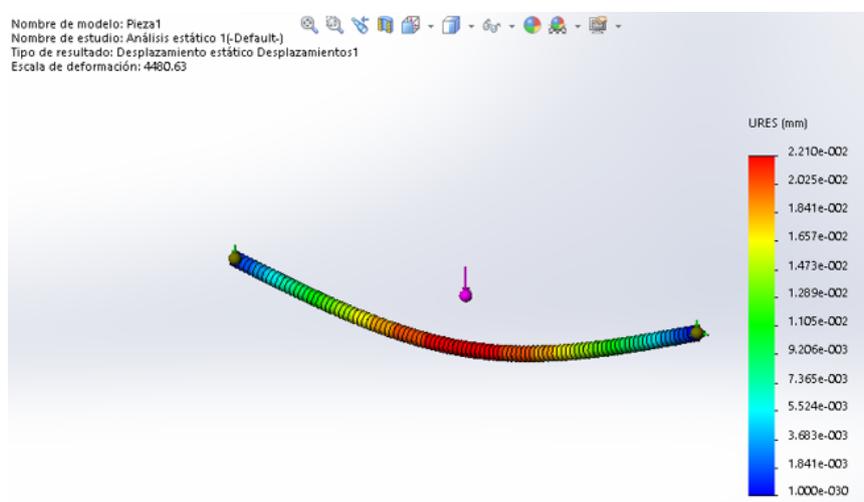


Figura 64 Deflexión perfil cuadrado estructura

3.7.3. Análisis dinámico

El presente análisis se llevó a cabo con el fin de obtener las frecuencias presentes a lo largo de los ejes que permiten el movimiento en X, si el valor la frecuencia calculada interfiere con el valor de la frecuencia del motor el equipo podría entrar en resonancia y producir graves daños.

En la Figura 65 se observa la frecuencia que se produce a lo largo de las vigas cuando se aplica una carga de 1,5[Kg] y la velocidad del motor es de 15[rpm].

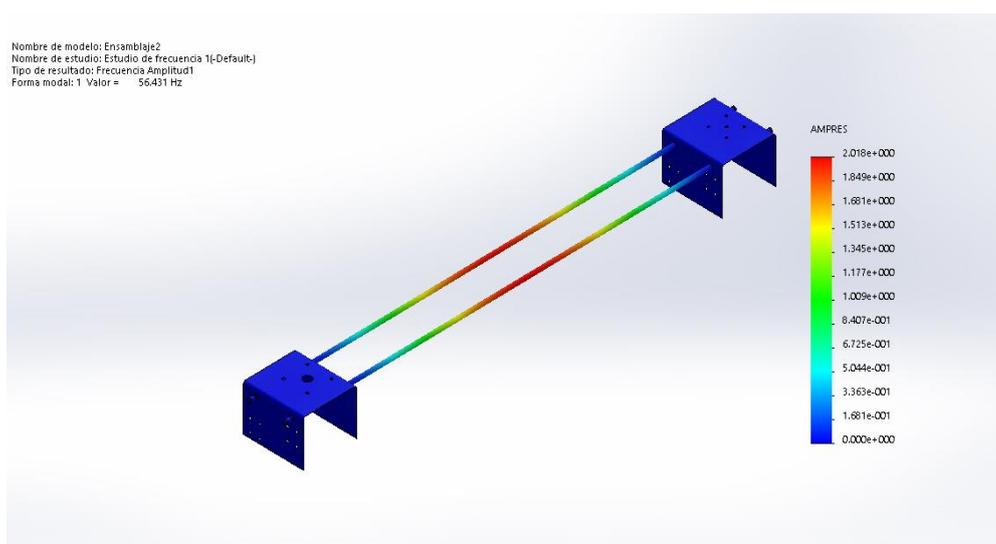


Figura 65 Análisis de frecuencia en los ejes en X

La Tabla 54

Análisis dinámico de las vigas en el eje X muestra las distintas frecuencias obtenidas en diferentes tiempos.

Tabla 54

Análisis dinámico de las vigas en el eje X

Número de frecuencias	Rad/seg	Hertz	Segundos
1	354.56	56.431	0.017721
2	359.06	57.146	0.017499
3	359.75	57.256	0.017466
4	360.81	57.424	0.017414
5	487.76	77.63	0.012882

La primera frecuencia obtenida indica la frecuencia crítica, transformando la misma a rpm:

$$56,431 \text{ Hz} = 3385,86 \text{ rpm}$$

Comparamos la frecuencia crítica con la frecuencia forzada:

$$\frac{W_n}{W_f} = \frac{3385,86 \text{ rpm}}{15 \text{ rpm}} = 225,75$$

Lo cual indica que la frecuencia natural o crítica de los ejes está alejada 225 veces de la frecuencia de funcionamiento.

En diseño se mantendrá la frecuencia forzada por debajo de la frecuencia crítica obtenida, según (Universidad de los Andes, 2010) se aconseja que estas dos frecuencias se encuentren distantes 3 o 4 veces, en el sistema dicha separación está sobre las 200 veces por lo tanto se comprueba que el sistema no entrará en resonancia y la máquina podrá operar normalmente.

3.8. Diseño electrónico y de control

El diseño electrónico se divide en dos partes: control y potencia, entendiéndose por control a aquellos componentes que se encargan de producir, recibir, administrar y dirigir señales; mientras que potencia son los elementos eléctricos comandados por estas señales, como los motores a pasos.

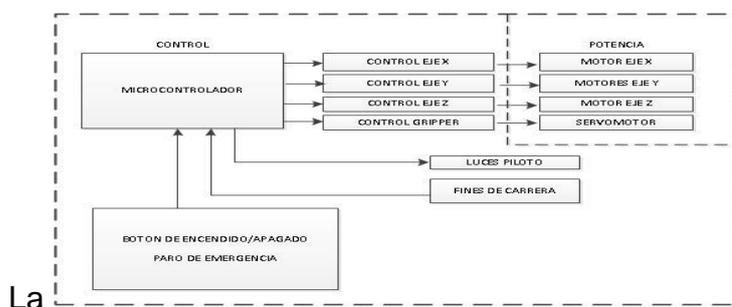


Figura 66 presenta un diagrama de bloques de los sistemas de control y potencia.

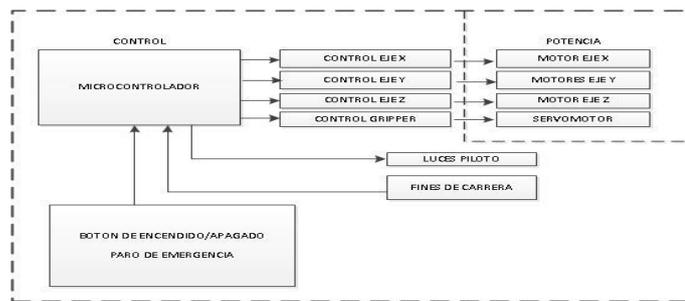


Figura 66 Diagrama de bloques sistema control/potencia

En la Figura 67 se puede apreciar el diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de limpieza y desinfección, el control que se realiza dentro del proceso corresponde a un sistema de lazo abierto, controlado mediante conteo de pasos que permite el posicionamiento del actuador.

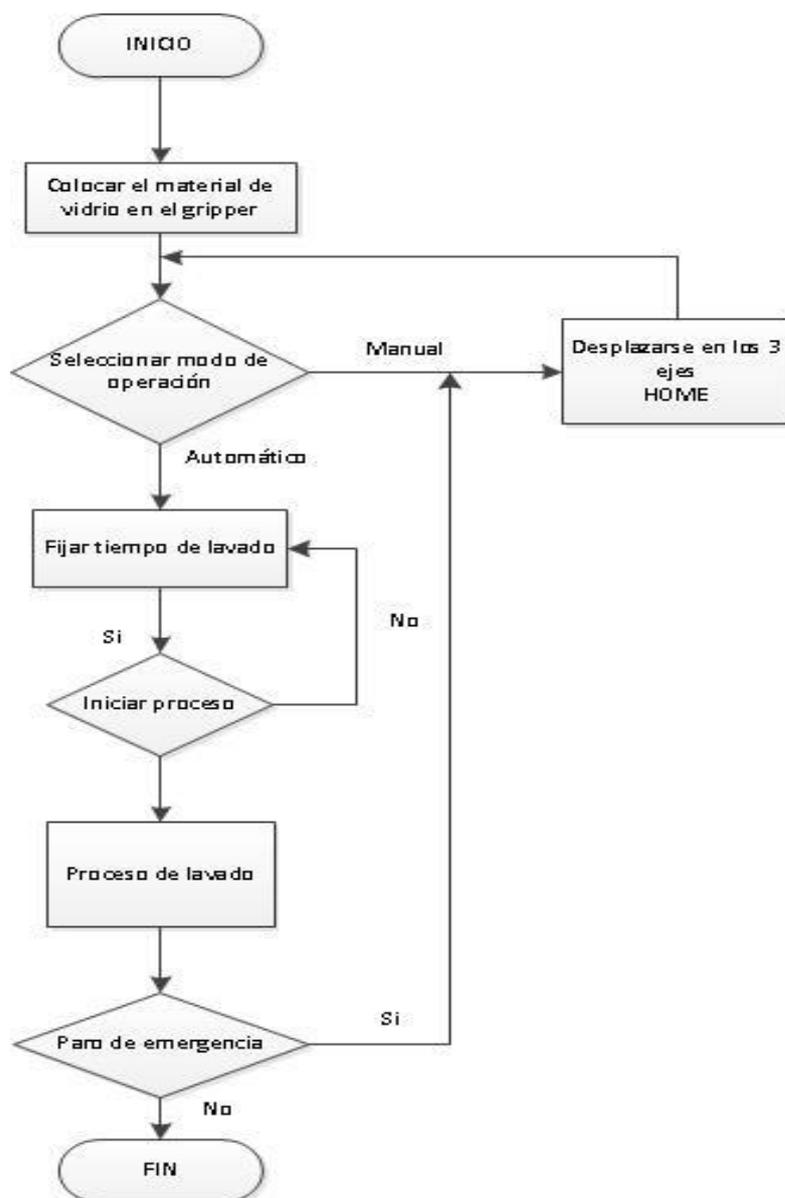


Figura 67 Diagrama de flujo del proceso

Para una mejor ubicación tanto de los pines del driver como de las bobinas de los motores se realizó la simulación Figura 68 y posteriormente una placa PCB Figura 69 que contendría a los drivers y a los motores.

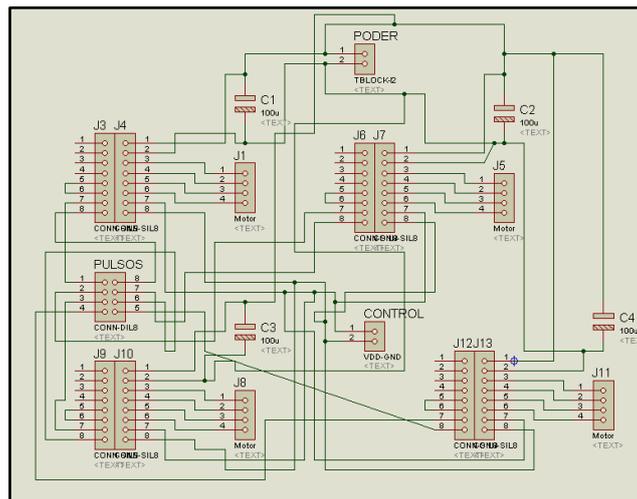


Figura 68 Diseño de la placa

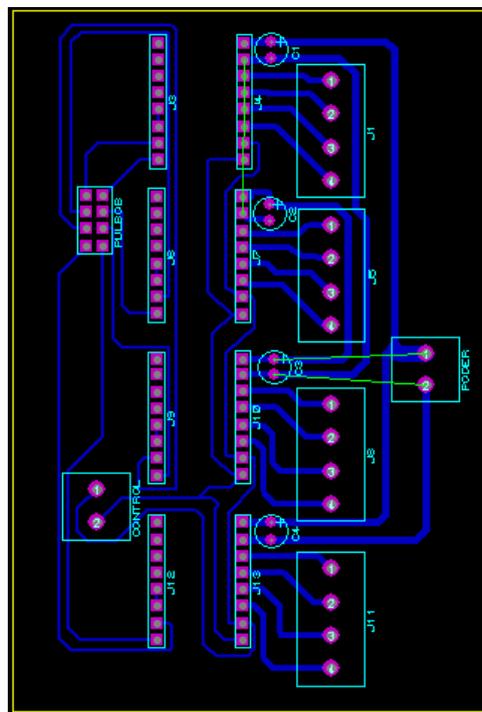


Figura 69 Diseño placa PCB

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

En el presente capítulo se describirá el proceso de construcción y ensamblaje de los sistemas mecánicos, electrónicos y de control.

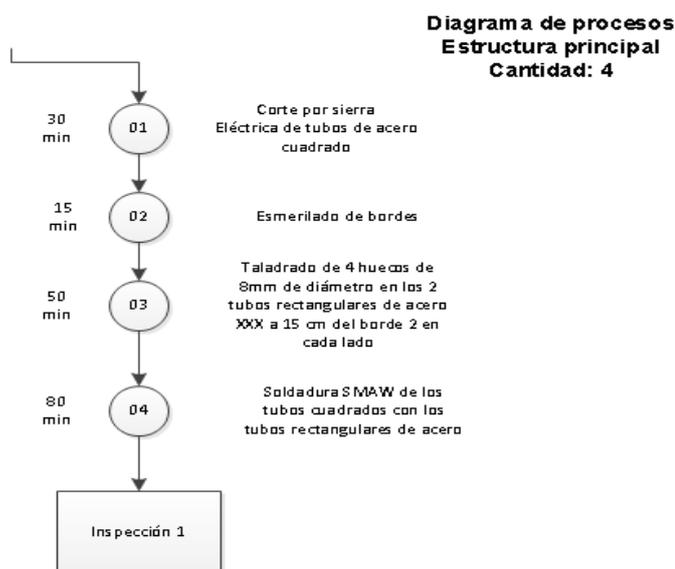
4.1. Estructura mecánica

A continuación se presentan los diversos procesos de construcción para los subsistemas de la estructura mecánica.

4.1.1. Estructura principal

Una vez realizado los cálculos se procede a la elaboración de la estructura mecánica, para el sistema de limpieza y desinfección de materiales de vidrio se escogió en su mayoría tubo cuadrado de acero ASTM A500 de dimensiones 30x30x1.5 mm y tubo rectangular de acero ASTM A500 de dimensiones 30x50x1.5 mm, se realizó la totalidad de la estructura en el Laboratorio de Procesos de Manufactura de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

El proceso de fabricación fue el siguiente:



En la Figura 70 se puede observar la estructura principal finalizada:

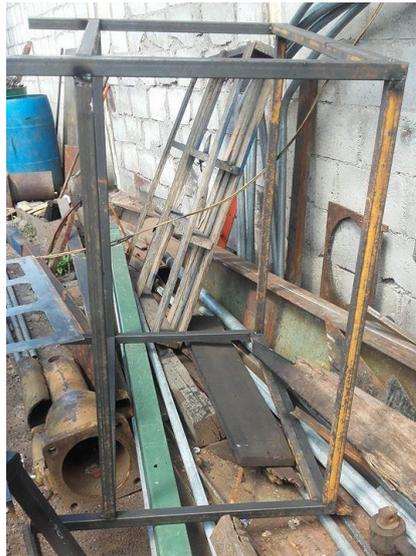
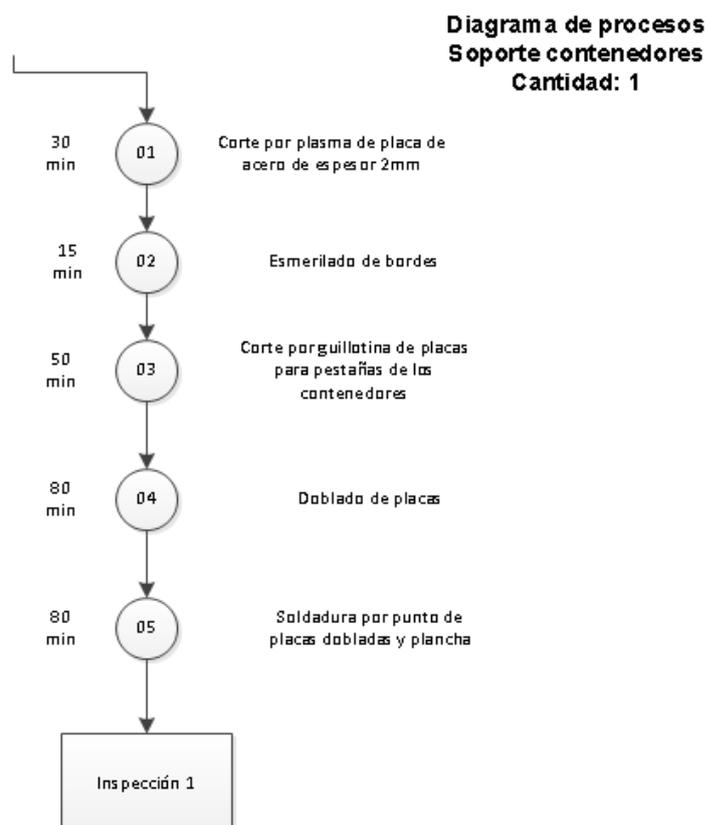


Figura 70 Estructura principal

4.1.2. Soporte contenedores

Para el soporte de los contenedores se usó una plancha de acero A36 de 2 mm de espesor.

De igual manera este proceso se realizó en el Laboratorio de Procesos de Manufactura con el siguiente proceso:



Las planchas una vez realizadas el corte por plasma y esmerilar con piedra de desbaste obtenemos los espacios para los contenedores como en la Figura 71, para mayor firmeza de esta pieza se dobló a 1 cm del borde de cada lado, de esta manera se elimina aristas vivas y la pieza tiene una mayor rigidez.



Figura 71 Plancha contenedores

Para la construcción de los contenedores de corto en la guillotina la plancha de acero A36 y se obtuvieron varias piezas que se doblaron en 90 grados, posteriormente en placas cuadradas de 30x30 cm se realizó orificios mediante la mandrinadora Figura 72,



Figura 72 Mandrinado

Se soldaron a las piezas dobladas mediante soldadura de punto Figura 73, para la soldadura de punto las piezas fueron previamente lijadas y limpiadas con gasolina para eliminar residuos de óxido o grasa.



Figura 73 Soldadura por punto

Las piezas que sujetaran a los contenedores son en total 6 como de la Figura 74, y se soldarán de igual manera a la plancha de los contenedores Figura 75.



Figura 74 Piezas soldadas



Figura 75 Soldadura con plancha de contenedores

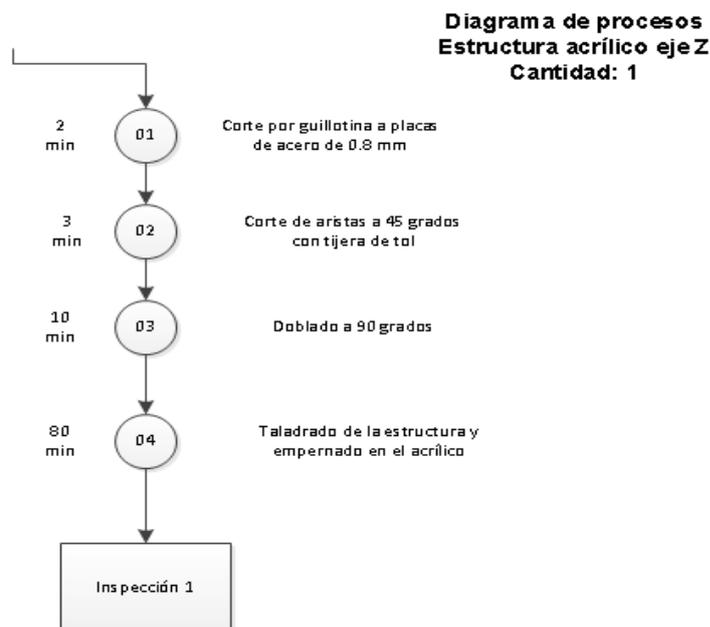
4.1.3. Soporte de acrílicos

Para los soportes laterales donde se ubicará el motor que permitirá el movimiento en el eje Y se decidió usar acrílico de 6 mm de espesor debido a su resistencia y peso ligero lo cual evitará una deflexión en los ejes de acero inoxidable.

El acrílico que soportará al servomotor fue diseñado en un programa CAD y cortado en laser para una mayor precisión.

4.1.4. Soporte acrílico eje Z

El eje Z contendrá un peso de aproximadamente 2 Kg como carga máxima por lo cual el acrílico de 6mm de espesor tendrá tendencia a una deflexión, para lo que se procedió a realizar un marco en acero de 1 mm de espesor de la siguiente manera:



La estructura del acrílico es de la Figura 76



Figura 76 Estructura acrílico eje Z

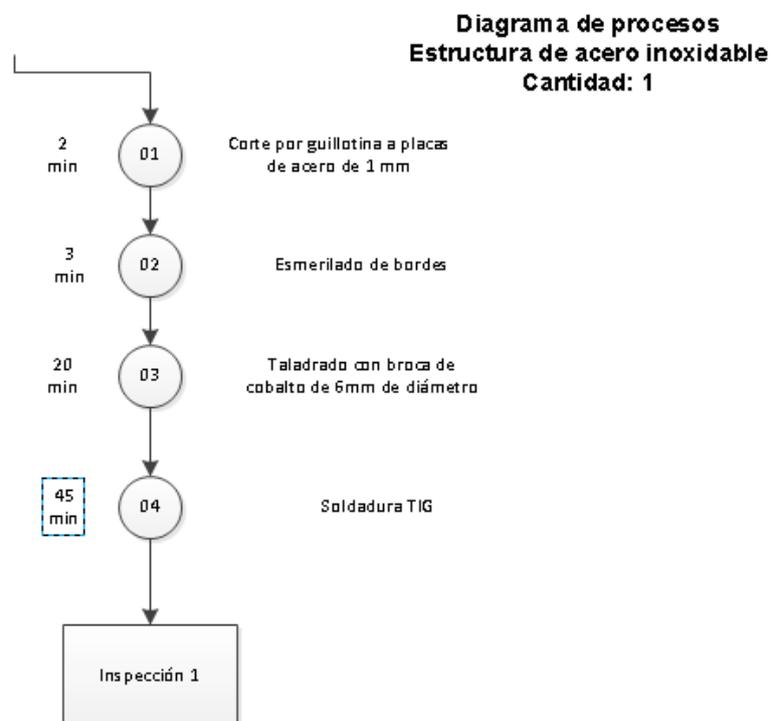
4.1.5. Conexión eje z - gripper

La conexión entre el servomotor y el gripper debe ser de un material ligero y resistente, se optó por la impresión 3D en material ABS.

Las impresiones 3D son generalmente de dos materiales: ABS y PLA, el PLA no permite trabajos de post-procesados a diferencia del ABS que permite taladrado para una mejor sujeción entre el servomotor y la conexión en ABS.

4.1.6. Estructura de acero inoxidable

El gripper así como la estructura que lo contendrá estarán en contacto con sustancias alcalinas, agua y ácidos deberán ser construídas en dos materiales: acero inoxidable o teflón; por motivos económicos se optó por el acero inoxidable A304 es un acero inoxidable usado en la industria alimenticia; el proceso de construcción se detalla a continuación:



4.1.7. Gripper

El gripper igualmente será fabricado en acero inoxidable A304, serán 2 grippers: un gripper para la colocación de matraces de balón y matraces Erlenmeyer.

Además se diseñó y construyó mediante soldadura TIG una gradilla de acero inoxidable para la colocación de tubos de ensayo y un compartimiento para la ubicación de los sustratos.



Figura 77 Gradilla acero inoxidable

4.2. Instalación de componentes

4.2.1. Instalación de componentes mecánicos

En la parte mecánica se procedió a ubicar los ejes de acero inoxidable A304 y los rodamientos lineales en los soportes de acrílico Figura 78.



Figura 78 Colocación de rodamientos lineales en soportes de acrílico

Una vez colocados los 3 ejes y realizado el carril como soporte para los rodamientos se realizó la estructura para la ubicación de los tableros de potencia y control y paneles de protección para las guías Figura 79.

Y colocación de planchas de acero A36 de espesor de 1.1 mm en los laterales.



Figura 79 Colocación protecciones y paneles de control

4.2.2. Instalación de componentes eléctricos, electrónicos y de control

Una vez concluido la parte mecánica se procede a instalar los componentes electrónicos que conforman el sistema como fuente de poder Figura 83, arduino Figura 81, driver de motores a pasos, pantalla tft de 2.4' Figura 80, ventiladores, luces piloto y paro de emergencia Figura 82.

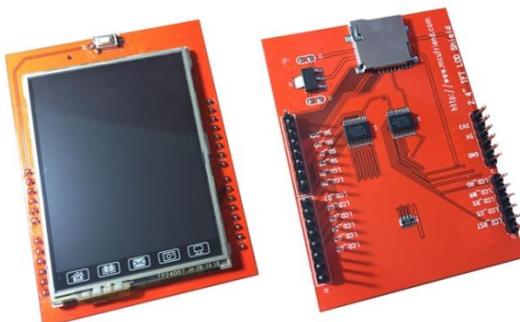


Figura 80 Pantalla TFT 2.4

Fuente: (Electrónica de invierno, 2015)



Figura 81 Arduino Mega

Fuente: (Arduino, 2016)



Figura 82 Panel de control



Figura 83 Fuente de poder y ventiladores

Para el control de los motores a paso se utilizó los driver A4988a Figura 84



Figura 84 Driver 4988a

Fuente: (DealExtreme, 2015)

4.3. Interfaz del usuario

De acuerdo a la Figura 80 se utilizará una pantalla resistiva TFT de 2.4 pulgadas, esta posee una ranura para el uso de una tarjeta micro SD para el almacenamiento de imágenes, con la cual llamaremos a los diferentes Menús que se explicarán a continuación:

4.3.1. Pantalla principal

Al encender la máquina la pantalla de la Figura 85 aparece, la última articulación del robot cartesiano se coloca en posición para que el usuario coloque el gripper, una vez colocado el laboratorista pulsa Inicio

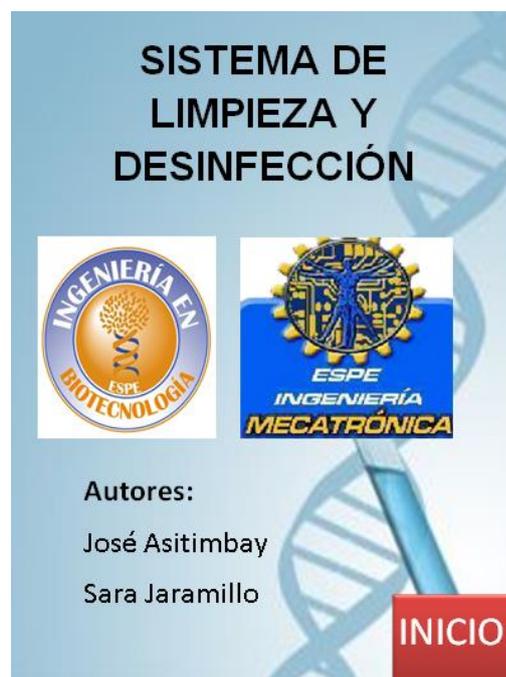


Figura 85 Pantalla principal

4.3.2. Tipos de movimiento

En esta pantalla Figura 86 el usuario escoge como realizar el movimiento: Modo Manual o Modo Automático.



Figura 86 Modos de operación

4.3.2.1. Modo Manual

El usuario en esta pantalla Figura 87 puede mover al sistema en las 3 coordenadas, enviar a Home al sistema o regresar al menú Principal Figura 86.

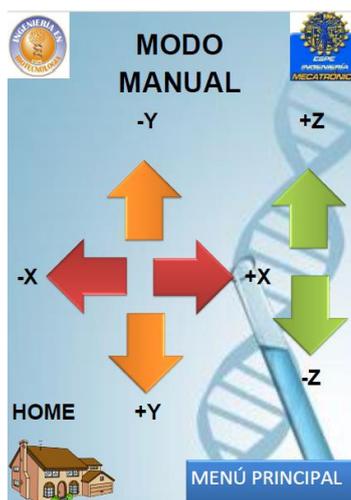


Figura 87 Modo Manual

4.3.2.2. Modo automático

Para el proceso de limpieza y desinfección son necesario 6 limpiezas en el caso más completo, el estudiante colocará los minutos de duración de cada uno de los 6 procesos en las pantallas de proceso Figura 88.

Una vez colocados los 6 tiempos se iniciará el proceso, el material se sumergirá en cada uno de los estanques y se moverá de manera lineal dentro de cada uno, los pasos que se programó al motor del movimiento lineal son de 5 pasos que genera una agitación similar a la proporcionada por el movimiento manual del laboratorista.



Figura 88 Proceso

4.3.3. Luces piloto y paro de emergencia

El sistema posee 2 luces piloto y un paro de emergencia como lo indica la Figura 82, las luces piloto que posee son:

- **Verde** cuando el proceso ha empezado de manera automática.
- **Rojo** cuando se ha pulsado el paro de emergencia

El paro de emergencia al ser pulsado detiene al sistema, y en la HMI nos presenta la pantalla de Modo Manual para que el usuario pueda operar al robot cartesiano en caso de alguna interferencia u obstrucción.

CAPÍTULO 5

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se someterá al sistema a pruebas para evaluar su funcionamiento, se realizarán pruebas funcionales, para comprobar los parámetros de funcionamiento.

5.1. Pruebas Funcionales

5.1.1. Procesos

Al ejecutar los 6 procesos todos se ejecutaron normalmente, de igual manera el modo manual como el paro de emergencia.

Tabla 55

Pruebas Funcionales

Proceso	Funcionalidad	Estado
Función 1	OK	Aprobado
Función 2	OK	Aprobado
Función 3	OK	Aprobado
Función 4	OK	Aprobado
Función 5	OK	Aprobado
Función 6	OK	Aprobado

5.1.2. Precisión y repetibilidad

Para el análisis de precisión y repetibilidad se realizaron los 6 procesos en 3 diferentes situaciones: sin grippers que genera el movimiento ideal, con gripper para matraces (pinza), gripper gradilla; las medidas se tabularon en las siguientes tablas.

Tabla 56

Medidas Proceso 1

1er proceso	Peso 1 Gradilla [cm]	Promedio Peso 1 [cm]	Peso 2 Pinza [cm]	Promedio Peso 2 [cm]	Sin peso Sin Gripper [cm]	Promedio sin peso [cm]	Error Peso 1 Gradilla %	Error Peso 2 Pinza %
X	16,60	16,59	16,75	16,68	16,50	16,52	0,45	0,97
X	16,60		16,65		16,54			

CONTINUA 

X	16,59		16,60		16,50			
X	16,59		16,60		16,50			
X	16,58		16,80		16,55			
Y	6,92		7,01		7,00			
Y	6,95		7,10		7,05			
Y	6,90	6,91	7,05	7,03	7,01	7,01	1,48	0,28
Y	6,90		7,00		7,00			
Y	6,87		7,00		7,00			
Z	24,01		24,00		24,00			
Z	24,01		24,00		24,00			
Z	24,01	24,01	24,00	24,00	24,00	24,00	0,03	0,00
Z	24,01		24,00		24,00			
Z	24,00		24,00		24,00			

Tabla 57

Medidas Proceso 2

2do proceso	Peso 1 Gradilla [cm]	Promedio Peso 1 [cm]	Peso 2 Pinza [cm]	Promedio Peso 2 [cm]	Sin peso Sin Gripper [cm]	Promedio sin peso [cm]	Error Peso 1 Gradilla %	Error Peso 2 Pinza %
X	47,10		47,10		47,20			
X	47,15		47,10		47,18			
X	47,16	47,16	47,16	47,12	47,20	47,20	0,08	0,16
X	47,19		47,15		47,21			
X	47,20		47,10		47,20			
Y	6,78		6,98		7,00			
Y	6,75		6,95		7,00			
Y	6,85	6,82	6,89	6,96	6,95	6,99	2,43	0,31
Y	6,90		7,00		6,98			
Y	6,80		7,00		7,00			
Z	24,00		24,00		24,00			
Z	24,00		24,00		24,00			
Z	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	0,00	0,00
Z	24,00		24,00		24,00			
Z	24,00		24,00		24,00			

Tabla 58

Medidas Proceso 3

3er proceso	Peso 1 Gradilla [cm]	Promedio Peso 1 [cm]	Peso 2 Pinza [cm]	Promedio Peso 2 [cm]	Sin peso Sin Gripper [cm]	Promedio sin peso [cm]	Error Peso 1 Gradilla %	Error Peso 2 Pinza %
X	47,00		47,00		47,00			
X	47,15		47,06		47,00			
X	47,16	47,10	47,05	47,09	47,01	47,01	0,20	0,18
X	47,08		47,05		47,03			
X	47,12		47,30		47,00			
Y	32,15		32,25		32,30			
Y	32,16		32,26		32,32			
Y	32,18	32,12	32,27	20,64	32,32	32,31	0,59	0,22
Y	32,10		32,20		32,30			
Y	32,00		32,20		32,30			
Z	24,00		24,00		24,00			
Z	24,00		24,00		24,00			
Z	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	0,00	0,00
Z	24,00		24,00		24,00			
Z	24,00		24,00		24,00			

Tabla 59

Medidas Proceso 4

4to proceso	Peso 1 Gradilla [cm]	Promedio Peso 1 [cm]	Peso 2 Pinza [cm]	Promedio Peso 2 [cm]	Sin peso Sin Gripper [cm]	Promedio sin peso [cm]	Error Peso 1 Gradilla %	Error Peso 2 Pinza %
X	16,70		16,90		16,70			
X	16,68		16,80		16,70			
X	16,66	16,67	16,82	16,74	16,70	16,71	0,23	0,22
X	16,66		16,75		16,74			
X	16,65		16,90		16,70			
Y	32,10		32,20		32,30			
Y	32,20		32,20		32,30			
Y	32,25	32,18	32,26	32,20	32,31	32,31	0,40	0,32
Y	32,26		32,18		32,32			
	32,07		32,00		32,30			
Z	24,00		24,00		24,00			
Z	24,00		24,00		24,00			
Z	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	0,00	0,00
Z	24,00		24,00		24,00			
Z	24,00		24,00		24,00			

Tabla 60

Medidas Proceso 5

5to proceso	Peso 1 Gradilla [cm]	Promedio Peso 1 [cm]	Peso 2 Pinza [cm]	Promedio Peso 2 [cm]	Sin peso Sin Gripper [cm]	Promedio sin peso [cm]	Error Peso 1 Gradilla %	Error Peso 2 Pinza %
X	16,70		16,90		16,80			
X	16,75		16,77		16,79			
X	16,66	16,67	16,81	16,82	16,80	16,80	0,75	0,13
X	16,66		16,82		16,80			
X	16,59		16,80		16,80			
Y	58,00		58,00		57,90			
Y	58,00		57,88		57,90			
Y	58,00	57,85	57,82	57,88	57,90	57,90	0,09	0,03
Y	57,75		57,90		57,90			
Y	57,50		57,80		57,90			
Z	24,00		24,00		24,00			
Z	24,00		24,00		24,00			
Z	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	0,00	0,00
Z	24,00		24,00		24,00			
Z	24,00		24,00		24,00			

Tabla 61

Medidas Proceso 6

6to proceso	Peso 1 Gradilla [cm]	Promedio Peso 1 [cm]	Peso 2 Pinza [cm]	Promedio Peso 2 [cm]	Sin peso Sin Gripper [cm]	Promedio sin peso [cm]	Error Peso 1 Gradilla %	Error Peso 2 Pinza %
X	47,20		47,20		47,00			
X	47,06		47,15		47,00			
X	47,08	47,10	47,06	47,09	47,10	47,02	0,17	0,15
X	47,05		47,04		47,00			
X	47,10		47,00		47,00			
Y	57,70		57,80		57,80			
Y	57,81		57,80		57,80			
Y	57,79	57,65	57,75	57,65	57,80	57,80	0,26	0,27
Y	57,76		57,70		57,82			
Y	57,20		57,20		57,80			
Z	24,00		24,00		24,00			
Z	24,00		24,00		24,00			
Z	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	0,00	0,00
Z	24,00		24,00		24,00			
Z	24,00		24,00		24,00			

Como se puede observar los errores tienen un valor de menos del 5% lo que significa que el sistema tiene una repetibilidad y precisión aceptable.

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

En el presente capítulo se verificará si el proyecto es rentable para la Universidad, se analizará los diferentes costos directos, indirectos y de fabricación y se obtendrá los valores de valor actual neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y la relación Beneficio costo

6.1. Análisis financiero

En el análisis financiero debemos considerar 3 aspectos:

- Costos Directos
- Costos Indirectos
- Costos de Fabricación

6.1.1. Costos Directos

En (Macchia, 2008) se refiere a costos directos todos aquellos que se unen directamente con el producto y la realización de la obra de estudio, es decir, sin los costos directos no hay producto final.

Estos costos se detallan a continuación:

- Materiales mecánicos
- Materiales eléctricos y electrónicos
- Materiales para la estructura
- Accesorios eléctricos y electrónicos
- Accesorios para la estructura

6.1.1.1. Costos de materiales directos

Tabla 62

Costos Mecánicos

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Costo total
Brocas de cobalto	3	3,5	10,5
Soportes de acrílico	4	7,5	30
Rodamientos	8	3	24
Piñones	4	2	8
Total			72,5

Tabla 63

Costos eléctricos y electrónicos

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Costo total
Fuente DC 24 [V]/3 [A]	1	20	25
Motores a paso 12V/2[A]	4	30	120
Botón de paro de emergencia	1	2,5	2,5
Ventilador 12 [V]	1	2	2
Luz piloto	2	1,5	3
Cajas de control	2	22	44
Pantalla TFT	1	39	39
Arduino Mega	1	20	20
Driver A4988	4	5	20
Materiales PCB	1	10	10
Fines de carrera	5	0,9	4,5
Servomotor	1	15	15
Total			305

Tabla 64

Costos materiales para la estructura

Descripción	cantidad	Precio Unitario	Costo Total
Tubo cuadrado 1,1/4 x 1,5	2	7	14
tubo rectangular 25x50x1,5	1	7,43	7,43
Tool caliente 2mm	2	23,03	46,06
Varilla de acero inoxidable a304	2	9	18
Total			85,49

Tabla 65

Accesorios eléctricos y electrónicos

Descripción	cantidad	Precio Unitario	Costo Total
Postes de 15[mm]	12	0,35	4,2
Borneras	5	1	5
Cable multiflex 4 en 1	15	0,98	14,7
Cable multiflex 2 en 1	2	0,98	1,96
Abrazadera	1	1,5	1,5
termoencogible [m]	3	0,55	1,65
Terminales macho hembra	1	3,4	3,4
Total			32,41

Tabla 66

Accesorios para la estructura

Descripción	cantidad	Precio Unitario	Costo Total
Broca de cobalto 3[mm]	1	1,8	1,8
Broca de cobalto 6[mm]	1	2,5	2,5
Cargador de pared con puerto USB	1	4,89	4,89
Bandejas plásticas	6	2,6	15,6
Bisagras galvanizadas	2	0,98	1,96
Disco de corte	3	3,1	9,3
Plaquetas adhesivas	40	0,13	5,2
Organizadores de cable	1	4,38	4,38
tornillos de 6 [mm]	30	0,11	3,3
Tornillos de 4 [mm]	30	0,1	3
tornillos de 3 [mm]	30	0,1	3
Broca de concreto de 4 [mm]	1	1,2	1,2
Arandelas de presión 8[mm]	24	0,2	4,8
Pintura negra	1	7	7
Masking 48 mm rollo	1	2,19	2,19
cinta doble fas	1	2	2
Silicona	5	0,3	1,5
tiñer	1	3	3
lijas	6	0,5	3
total			79,62

Tabla 67

Costos de accesorios

Descripción	Costos
Accesorios eléctricos y electrónicos	32,41
Accesorios para estructura	79,62
Total	112,03

Una vez tabulado, los costos directos totales del sistema son los representados en la Tabla 68.

Tabla 68

Costos totales directos de materiales

Descripción	Costos
Elementos mecánicos	72,5
Elementos eléctricos y electrónicos	305
Elementos para la estructura	85,49
Costos Accesorios	112,03
Total	575,02

6.1.1.2. Costos de mano de obra directa

Para los costos de mano de obra directa se toman en cuenta a las personas que forman parte de la construcción y diseño del proyecto, aquí se incluirá la mano de obra para la fabricación de las piezas de la estructura del sistema de limpieza y desinfección como se observa en la Tabla 69.

Tabla 69

Costos de mano de obra directa

Persona a cargo	Actividad	Días	N.- de horas
	Diseño de la estructura.	15	60
Tesistas	Medición de piezas	2	2
	Generación de planos	4	4
Director del Proyecto	Revisión y aprobación de planos	2	2
	Compra de materiales	8	3
Tesistas	Fabricación de piezas.	24	7
	Pintura de la estructura y piezas fabricadas.	1	1
Total		56	79

En aproximadamente en 11 semanas de trabajo se emplearon 77 horas para el diseño y construcción del sistema.

A continuación se procederá a realizar el análisis del costo de la hora de trabajo de las personas que intervienen en el proyecto Tabla 70, para esto tomaremos en cuenta el salario básico para los tesistas, el salario básico es de 366 lo cual dividido para las 8 horas laborales los 5 días de la semana el costo de trabajo por hora es de \$2.29; para el caso del director del proyecto el salario es de \$2400, el costo por hora es de \$15.

Tabla 70

Costo mano de obra directa

Descripción	N de horas	costo por hora	costo total
Tesistas	77	2,29	176,33
Director del Proyecto	2	15	30
Total			206,33

6.1.1.3. Costos de máquinas herramientas

Se hará un análisis al costo del uso de máquinas y herramientas Tabla 71 para la fabricación tanto de la estructura como de las piezas que la conforman.

Tabla 71

Costos de máquinas y herramientas

Descripción	N de horas	costo por hora	costo total
Sierra	2	10	20
Torno mandrinadora	4	20	80
Taladro fresadora	10	15	150
Rectificadora	1	20	20
Soldadora	8	20	160
Total			430

6.1.1.4. Costos totales directos

Los costos totales directos empleados en el presente proyecto se los detalla en la Tabla 72.

Tabla 72

Costos totales directos

Descripción	Costo
Materiales Directos	575,02
Mano de obra directa	206,33
Maquinas herramientas	430
Total	1211,35

6.1.2. Costos Indirectos

Se denomina costos indirectos todos aquellos que no intervienen directamente en la implementación del sistema, pero son necesarios para la elaboración del proyecto.

6.1.2.1. Costos de materiales indirectos

En materiales indirectos se toman en cuenta los servicios básicos, el uso del laboratorio, es decir el uso completo del laboratorio de procesos de manufactura de la Universidad de las Fuerzas Armadas Tabla 73.

Tabla 73

Costos de instalación del laboratorio

Descripción	días	horas	Costo por hora	Costo total
Laboratorio	120	960	0,25	240
Herramientas	120	960	0,4	384
Electricidad	120	960	0,0824	79,104
Internet	120	960	0,055	52,8
Agua potable	120	960	0,1	96
Total				851,904

6.1.2.2. Costos de mano de obra indirecta

Mano de obra indirecta se refiere a las personas que no intervienen de manera directa en el proyecto pero que su participación fue igualmente importante como los ingenieros y técnicos del laboratorio de procesos de manufactura.

Tabla 74

Costos mano de obra indirecta

Descripción	N.- de horas	Costo por hora	Costo
Director de tesis	16	15	240
Asesoramiento de Ingenieros y técnicos del laboratorio de Procesos de Manufactura	30	15	450
Total			690

6.1.2.3. Costos totales indirectos

A continuación se presentarán los costos totales indirectos Tabla 75 en la elaboración del sistema de limpieza y desinfección de materiales de vidrio.

Tabla 75

Costos totales indirectos

Descripción	Costo
Costos de instalación del laboratorio	851,904
Mano de obra indirecta	690
Total	1541,904

6.1.3. Costos totales

Para la obtención de los costos totales se suma los costos directos e indirectos.

Tabla 76

Costos totales

Descripción	Costo
Costos Directos	1211,35
Costos Indirectos	1541,904
Total	2753,254

6.2. Análisis Económico

En esta sección se analizará si el presente proyecto es rentable para la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Se utilizará 3 indicadores rentabilidad:

- Valor actual neto (VAN)
- Tasa Interna de Retorno (TIR)
- Relación beneficio costo (B/C)

6.2.1. Costo del uso de la máquina

En el costo del uso del proyecto se considera varios factores, como el consumo energético, la mano de obra de operación, la depreciación de la misma.

Se asume que la máquina tendrá un uso de 15 horas semanales.

6.2.1.1. Costo del consumo energético

Aquí se considerará el consumo energético de la máquina como los motores, para eso se toma el valor de la potencia y se calcula el costo por hora.

Tabla 77

Costo consumo energético

Parámetro	Valor
Potencia de la maquina [Kwh]	0,5
potencia de motores a paso [Kwh]	0,15
Costo del Kwh	0,091
Costo total del Kwh	0,05915

6.2.1.2. Costo de mano de obra que opera la máquina

Para el costo de la mano de obra de operación de la máquina se toma en cuenta el salario de un laboratorista que es de \$2400 que equivale a \$15 el día.

6.2.1.3. Costo de depreciación

En el costo de depreciación se toma en cuenta la vida útil de la máquina el cual es de 8 años (min). Si se utiliza un total de 15 horas habrá trabajado.

Tabla 78

Costos depreciación

Parámetros	Valor
Potencia de la maquina [Kwh]	0,5
potencia de motores DC [Kwh]	0,15
Costo del Kwh	0,091
Costo total del Kwh	0,05915

Con estos valores podemos saber el costo de la máquina por año que es de \$5235,19.

6.2.2. Valor Actual Neto (VAN)

Como lo explica (Enciclopediafinanciera, 2016), es la suma de todos los flujos efectivos futuros de una inversión, restando las salidas del mismo, el valor actual neto permite conocer el valor monetario que va a recibir la máquina a futuro con el interés de un período determinado.

Si el valor del VAN es positivo el proyecto es rentable, si es negativo deberá rechazarse.

6.2.3. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es es la actualización máxima que disminuye a cero el valor actual neto (VAN).

Mientras más alta sea el valor de la TIR mayor éxito presenta el proyecto.

6.2.4. Relación Beneficio Costo (B/C)

La relación Beneficio/costo es el resultado de dividir el valor de los ingresos y los egresos a una tasa de actualización igual a la tasa de rendimiento mínima aceptable.

Para esto se realiza un flujo de caja proyectado a 10 años del modelo para el sistema de limpieza y desinfección.

Tabla 79

Flujo de caja proyectado para 10 años

Año	Ingresos	Egresos	Flujo de efectivo	tasa $[(1+r)^n]$	Ingresos Actualizados	egresos Actualizados
0	0	2753,254	-2753,25	1,000	0	2753,254
1	5235,2	0	5235,2	1,100	4759,272727	0
2	5235,2	0	5235,2	1,210	4326,61157	0
3	5235,2	0	5235,2	1,331	3933,283246	0
4	5235,2	0	5235,2	1,464	3575,712042	0
5	5235,2	0	5235,2	1,611	3250,64731	0
6	5235,2	0	5235,2	1,772	2955,133919	0
7	5235,2	0	5235,2	1,949	2686,485381	0
8	5235,2	0	5235,2	2,144	2442,259437	0
9	5235,2	0	5235,2	2,358	2220,235852	0
10	5235,2	0	5235,2	2,594	2018,396229	0
	Total				32168,03771	-2753,25

Realizado el flujo de caja podemos observar los resultados del VAN, TIR y la relación costo/beneficios, en la que se observa el proyecto es rentable para la universidad.

Tabla 80

Análisis económico

Análisis	Valor
van	\$ 34.921,29
tir	190%
B/c	-11,68

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- Se diseñó, simuló y construyó un sistema de limpieza y desinfección de materiales de vidrio para el Laboratorio de Nanomateriales de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE recurriendo a herramientas CAD/CAM/CAE y aplicando los conocimientos adquiridos se dimensionó tanto las piezas como la estructura, sin embargo debido a limitaciones económicas el laboratorio aceptó el diseño inicial pero se realizaron cambios durante la construcción y ensamblaje con el objetivo de economizar su construcción y para adaptarse a nuevas necesidades del laboratorio.
- Se dimensionó y seleccionó los componentes de la parte eléctrica y electrónica; se utilizó un sistema embebido para el control debido a su facilidad de programación, costo y eficiencia de comunicación con los drivers A4988 de los motores a paso, los drivers nos brindan protección térmica (shut down) en caso de sobrecalentamiento, manteniendo protegida la parte de control de la potencia en caso de exceder los límites de corriente.
- El sistema cumple con las especificaciones de posicionamiento para los 6 contenedores de limpieza, presentado errores menores al 5% equivalentes a 5 mm, lo cual es un valor aceptable.
- El parámetro de precisión es la prioridad en el sistema por lo cual se realizó el estudio de deflexión para las guías de acero inoxidable con lo que se obtuvo los resultados siguientes explicados en la Tabla 53
- Resumen de cálculos en los ejes, una vez analizados estos datos se deduce que la deflexión con la que se diseñaron entra en el rango de trabajo adecuado.

7.2. Recomendaciones

- Antes de utilizar el sistema de limpieza y desinfección, se debe leer el manual de usuario que se encuentra en el en la que se detalla los aspectos para el correcto funcionamiento de la máquina.
- Para aumentar la vida útil de los motores se recomienda una limpieza por baño ultrasónico y de esta manera evitar el movimiento lineal generado por el motor del eje X; para la instalación de los transductores ultrasónicos se necesita de las sustancias en las que se sumergirá las piezas de vidrio estar en baño maría a distintas temperaturas, con lo que los contenedores deberán ser de acero inoxidable y tener un control de caudal y temperatura.
- Realizar periódicamente pruebas de posicionamiento y de tensión en las bandas y corregirlas de ser necesario.
- El diseño del sistema está contemplado para una limpieza completa de 40 minutos con un intervalo de descanso de 20 minutos para la próxima limpieza, si se desea operar la máquina por varias horas de manera continua se recomienda cambiar los drivers de los motores a paso de trabajo de operación de 2A a otros de 3A o aumentando un sistema de disipación de calor.

Bibliografía

- Univeridad Autónoma de España. (4 de Marzo de 2010). *Ácido Nítrico-AUB*. Obtenido de Ácido Nítrico-AUB: http://www.uab.cat/doc/DOC_RiscosLab13_DF_Guia_us_Acid_Nitric
- Actuadores Hidráulicos*. (2015). Obtenido de <http://www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/electronica/elementos/hidraulicos.htm>
- Actuadores neumáticos*. (2015). Obtenido de Actuadores neumáticos: <http://www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/electronica/elementos/Neumaticos.htm>
- Advanced Micro Controls, Inc. (2014). *Advanced Micro Controls, Inc*. Obtenido de <http://www.amci.com/tutorials/tutorials-stepper-vs-servo.asp>
- Anaheim Automation. (2011). *Anaheim Automation*. Obtenido de [http://www.anaheimautomation.com/images/servo/specifications/Stepper%20Motor%20vs.%20Servo%20Motor%20\(800x682\).png](http://www.anaheimautomation.com/images/servo/specifications/Stepper%20Motor%20vs.%20Servo%20Motor%20(800x682).png)
- Arduino*. (2016). Obtenido de www.arduino.cc
- Automation Technologies . (12 de Noviembre de 2012). *Automation Technologies INC*. Obtenido de <http://www.automationtechnologiesinc.com/wp-content/uploads/downloads/2012/11/USB-Motion-Card-AKZ250-Manual-v1.17-EN.pdf>
- Barrientos, A., Peñín, L. F., Balaguer, C., & Aracil, R. (1997). *Fundamentos de Robótica*. Madrid: McGraw-Hill.
- Baturone, A. O. (2001). *Robótica: manipuladores y robots móviles*. Barcelona: Boixareu.
- Beijing Ultrasonic*. (2016). Obtenido de Beijing Ultrasonic: <https://www.bjultrasonic.com>
- Bosch Group. (2014). *Abina*. Obtenido de <http://www.abina.com/Catalogos/117/STAR%20ROD.%20LINEAL.pdf>
- Budynas, R. G., & Nisbet, J. K. (2010). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México: Mc Graw Hill.
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *Diseño e Ingeniería Mecánica de Shigley*. Mexico: McGraw-Hill.
- Bueno, A. (31 de Marzo de 2016). *Control y Robótica*. Obtenido de Control y Robótica: http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_robot_3/robot_indice.html

- Burris, M. (2014). *About Technology*. Obtenido de <http://components.about.com/od/Components/a/Stepper-Motors-Vs-Servo-Motors-Selecting-A-Motor.htm>
- Calvos Electrónica. (2015). *Riel DIN perforado*. Obtenido de <http://www.calvoselectronica.com/rieles/658-riel-din-perforado-11370.html>
- CNC Router Source. (2011). *CNC Router Source*. Obtenido de <http://www.cncroutersource.com/>
- Cnice. (2011). *Concurso Cnice*. Obtenido de http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/maquinas/maq_mecanismos.htm
- Colombia, U. N. (Agosto de 2014). *Portal UNAL Virtual*. Obtenido de http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/mecatronica/docs_curso/Anexos/TUTORIALcnc/DOCUMENTOS/TEORIA/CAD-CAM%20INTRODUCCION%20UPIISA.pdf
- Consejería de Sanidad. (Junio de 2007). *Riesgo químico-Accidentes graves*. Obtenido de Riesgo químico-Accidentes graves: <http://www.murciasalud.es/recursos/ficheros/105452-Isopropanol.pdf>
- Cuaycal Bastidas, A. F., & Tituaña Dávila, L. R. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT CARTESIANO PARA LA CLASIFICACIÓN DE DOCUMENTOS EN FUNCIÓN DE UN CÓDIGO DE BARRAS*. Quito.
- DealExtreme. (2015). Obtenido de http://www.dx.com/es/p/a4988-3d-printer-reprap-stepper-motor-driver-green-260021#.V7xaJ_nhDIU
- Direct Industry. (2016). *SOCO System*. Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/soco-system/product-15426-33695.html>
- Disensa. (2013). *Características Generales de los Conductores Eléctricos*. Obtenido de http://disensa.com/main/images/pdf/electro_cables.pdf
- Dongguan Instituto Tailandia Precision Machinery Co., L. (2013). *ytkyt*. Obtenido de www.ytkyt.cn
- DORMER. (2012). *Fuerza específica de corte*.
- Electrónica de invierno*. (2015). Obtenido de <https://electronicavm.net/2015/03/05/tft-lcd-touch-2-4-shield-para-arduino-uno/>
- Enciclopediafinanciera. (22 de 08 de 2016). *www.encyclopediainanciera.com*. Obtenido de <http://www.encyclopediainanciera.com/finanzas-corporativas/valor-presente-neto.htm>
- Equipo Automotriz Javaz*. (s.f.). Obtenido de Equipo Automotriz Javaz: https://equipoautomotrizjavaz.com/datos_tecnicos/inyectores.pdf
- FundamentosFinanzasC. (22 de 08 de 2016). *biblio3.url.edu.gt*. Obtenido de <http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/FundamentosFinanzasC/09.pdf>

- FUTPER. (2013). *Futper*. Obtenido de Carpintería para la decoración:
<http://www.futper.com/blog/2011/08/propiedades-fisicas-de-la-madera/>
- Galindo Martín, M. (2008). *Diccionario de Economía Aplicada: Política Económica, Economía Mundial y Estructura Económica*. Madrid: Ecobook.
- Global Motion Technology Inc. (2014). *Motiontek*. Obtenido de <http://www.motiontek.ca/>
- González, V. (2002). *Estructura de un robot industrial*. Obtenido de
http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/sistema/morfologia.htm
- Goodfellow. (2016). *Propiedades acero AISI 304*. Obtenido de <http://www.goodfellow.com/S/Acero-Inoxidable-AISI-304.html>
- Goodnight, N. (1 de Diciembre de 2013). *Asterion*. Obtenido de Asterion:
<http://asterionstc.com/2013/12/the-basics-of-alkaline-cleaning/>
- HepcoMotion Inc. (2014). *HepcoMotion- Soluciones Lineales Avanzadas*. Obtenido de
<http://www.hepcotion.com/es/ejes-de-precision-en-acero-y-en-aluminio-catalogos-pg-16-get-408>
- Hidráulica y Neumática de la Laguna S.A. (2014). *Cilindros Hidráulicos*. Obtenido de Cilindros Hidráulicos: <http://www.hnl.com.mx/cilindros-hidraacuteulicos1.html>
- Honeywell International Inc. (2014). *Honeywell Sensing and Control*. Obtenido de
<http://sensing.honeywell.com>
- Huco Dynatork. (s.f.). *Direc Industry*. Obtenido de Direc Industry:
http://www.directindustry.es/prod/huco-engineering-industries/product-7162-460116.html#product-item_460174
- Ingeniería Magnética Aplicada IMA. (2014). *Electroimanes*. Obtenido de
<http://www.ima.es/productos-magneticos/electroimanes.html>
- Jara Páez, M. A., & Pacheco Cunduri, M. A. (2013). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT CARTESIANO, PARA EL MONTAJE DE TAPA Y/O PASADOR, EN EL PROCESO DE PALETIZADO*. Riobamba.
- Kelly, R., & Santibáñez, V. (2003). *Control de Movimiento de Robots Manipuladores*. Madrid: Pearson Educación.
- Kollmorgen. (2013). *Kollmorgen*. Obtenido de <http://www.kollmorgen.com/en-us/products/motors/servo/akm-series/akm-series-ac-synchronous-motors/ac-synchronous-servo-motors/>
- Krar, S., Gill, A., & Smid, P. (2009). *Tecnología de las máquinas herramienta*. Alfaomega.
- Leadshine Technology Co. (2015). *Leadshine*. Obtenido de
<http://www.leadshine.com/UploadFile/Down>

- Legrand. (2013). *SOLUCIONES EN ACCESORIOS ELÉCTRICOS INDUSTRIALES*. Obtenido de <http://www.legrand.com.mx/inter/liblocal/Gabinetes%20Industriales%20y%20Accesorios.pdf>
- Macchia, J. L. (2008). *Cómputos, Costos y Presupuestos*. Argentina: Nobuko.
- Malagón, G. (2015). *Diseño y modelado de engranajes en SolidWorks*. Obtenido de Diseño y modelado de engranajes en SolidWorks: <https://buffalojournalutd.files.wordpress.com/2015/08/disec3b1o-de-engranes-en-solidworks.pdf>
- MecatRobotic. (2009). *MecatRobotic*. Obtenido de <http://www.mecatrobotic.com/grabado-y-corte-con-router-cnc.html>
- Miranda, J. J. (2008). *Gestión de Proyectos*. Colombia: MM Editores.
- New Jersey Department of Health. (2011). *Hoja informativa sobre sustancias peligrosas*. Obtenido de Hoja informativa sobre sustancias peligrosas: <http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1356sp.pdf>
- New Jersey Department of health. (Marzo de 2012). *Derecho a Saber*. Obtenido de Derecho a Saber: <http://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0006sp.pdf>
- NOM-010-STPS-1999. (1999). Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.
- NOM-010-STPS-1999. (1999). Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.
- Nook. (2015). *Nook Industries*. Obtenido de http://www.nookindustries.com/LinearLibraryItem/Col_Stren_w_EZM
- Noria Corporation. (s.f.). *Reliable Plant*. Obtenido de <http://www.reliableplant.com/Read/7052/dc-motors-ac>
- Pereira, A. H. (5 de Abril de 2010). *Limpieza por Ultrasonido: Información general y estado de la técnica*. Obtenido de [http://www.atcp.com.br/imagenes/productos/ceramicas/articulos/RT-ATCP-02-\[ES\].pdf](http://www.atcp.com.br/imagenes/productos/ceramicas/articulos/RT-ATCP-02-[ES].pdf)
- Prometec. (2014). *Prometec*. Obtenido de Prometec: <http://www.prometec.net/motorcc/>
- Random, R. (8 de 3 de 2010). *Agua filtros y tratamientos de agua*. Obtenido de Usos y propiedades del agua destilada: <http://agua.globered.com/categoria.asp?idcat=41>
- Reid, R. J. (s.f.). *Cleaning for Vacuum service*. Obtenido de Cleaning for Vacuum service: http://vacuumcursus.nl/casussen/Cleaning_Chapter.pdf

- Renold plc. (2006). *RENOLD*. Obtenido de <http://www.renold.es/Products/TransmissionChainSprockets/TransmissionChainIndexPage.aspx>
- Ribeirão Preto. (2016). *BuildBot*. Obtenido de BuildBot: <http://www.buildbot.com.br/produto/garra-mecanica/>
- RYE. (s.f.). *Reactivosy Equipos*. Obtenido de Accesorios para laboratorio: <http://www.reactivosyequipos.com.mx/producto/20900-clip-sujetador-para-matraz-erlenmeyer-de-200250-ml>
- SANDVIK. (2012). *SANDVIK Coromant*. Obtenido de www.sandvik.com
- Sanko, G. (1 de Enero de 1999). *Alkaline Cleaning Guide*. Obtenido de Alkaline Cleaning Guide: <http://www.pfonline.com/articles/alkaline-cleaning-guide>
- Schmalz S.A. (Sermasa. (2016). *Schmalz*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Logistica/FeriaVirtual/Producto-Ventosas-para-manipulacion-de-chapa-53918.html>
- Sensing*. (30 de marzo de 2016). Obtenido de Sensing: http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Sensores-de-distancia_36/Sensores-de-distancia-magnetostriictivos_51/
- Sick. (2013). *Sick*. Obtenido de Sick: www.sick.com
- Solar1. (2010). *Solar1.net*. Obtenido de Solar1.net: http://solar1.net/drupal/plasma_cnc
- Specialty Motions, Inc. (2014). *SMI4Motion*. Obtenido de <http://www.smi4motion.com/whitepapers/ball-screws-vs-lead-screws.pdf>
- SUH, S.-H., & STOUD, I. (2008). *Theory and Desing of CNC Systems*. London: Springer.
- SuperRobótica. (4 de Enero de 2016). *Ampliación giro de muñeca para robot 5 ejes S300137*. Obtenido de <http://www.superrobotica.com/S300137.htm>
- Taborelli, M. (s.f.). *Cleaning and surface properties*. Obtenido de <https://cds.cern.ch/record/1047073/files/p321.pdf>
- Techmake Electronics. (2016). *Motor de pasos con cable*. Obtenido de <http://www.techmake.com/00011.html>
- TECHNOINC. (2013). *Technoautomation*. Obtenido de www.technoautomation.com
- Tschätsch, H., & Reichelt, A. (2009). *Applied Machining Technology*. New York: Springer.
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. México: McGraw Hill.
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. McGraw Hill.

- Ureta P., S. (5 de Enero de 2015). *Dima3d*. Obtenido de Dima3d: <http://www.dima3d.com/motores-paso-a-paso-en-impresion-3d-i-nociones-basicas-2/>
- Vega Ortiz, N. F., & Vinueza Valencia, R. X. (2005). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO DE LIMPIEZA POR ULTRASONIDO PARA MUESTRAS METALOGRAFICAS Y FRACTOGRÁFICAS CON APLICACIÓN A UN BANCO DE PRUEBAS Y LIMPIEZA DE INYECTORES A GASOLINA PARA EL LABORATORIO DE METALURGIA DE LA ESPE*. Sangolquí.
- Vega, N. F., & Vinueza Valencia, R. X. (2005). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO DE LIMPIEZA POR ULTRASONIDO PARA MUESTRAS METALOGRAFICAS Y FRACTOGRÁFICAS CON APLICACIÓN A UN BANCO DE PRUEBAS Y LIMPIEZA DE INYECTORES A GASOLINA PARA EL LABORATORIO DE METALURGIA DE LA ESPE*. Sangolquí.
- VinilShop. (2012). Herramientas de corte y Grabado.
- VITLAB. (s.f.). *Competence in Labware*. Obtenido de Gradillas para tubos de ensayo.
- Warfield, B. (2010). *CNC Cookbook*. Obtenido de <http://www.cnccookbook.com/CCBreakoutBoards.htm>
- Wittenstein. (2014). *Wittenstein-alpha*. Obtenido de http://www-alt.alphagetriebe.de/pdf/alpha_gk_14_ritzel-zahnstangees0614.pdf
- Zampaker. (2013). *Zampaker*. Obtenido de <http://zapmaker.org/projects/grbl-controller-3-0/>

ANEXOS