



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL  
ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍAS  
APLICADAS**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DEDICADA A  
REALIZAR LA EXTRACCIÓN DE POLVO Y PELUSA DEL  
HARDWARE EN EQUIPOS INFORMÁTICOS**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
MECATRÓNICA**

**JOSÉ ANTONIO STADLER ROMÁN**

**DIRECTORA:**

**ING. JENNY ELIZABETH CABASCANGO CALDERÓN, MSc.**

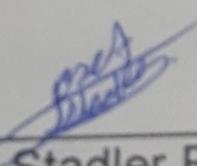
**D.M. Quito,**

**2016**

## DECLARACIÓN

Yo José Antonio Stadler Román declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que se ha investigado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Internacional del Ecuador, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por su normativa institucional vigente.

  
\_\_\_\_\_  
José Antonio Stadler Román

C.I. 1719460832

## **DEDICATORIA**

A mis padres por enseñarme a ser responsable, honesto y que en esta vida todo se puede conseguir con perseverancia, y gracias al apoyo y respaldo que me han dado en esos momentos difíciles que nos pone la vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

A todos los profesores de la facultad de mecánica que me han brindado todas las bases necesarias para llegar a ser la persona que soy ahora.

A mi hermano, quien me ha apoyado en todo y gracias a quien decidí seguir una ingeniería.

A mi hermana también ya que ha sido como una madre que me ha apoyado igual en todas las ocasiones buenas o malas en esta vida.

Deseo agradecer también a mi directora del proyecto de titulación Ing. Jenny Cabascango por todo el tiempo y ayuda.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	1
1.1. SITUACIÓN ACTUAL.....	1
1.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	2
1.2.1. COMPUTADOR .....	2
1.2.1.1. Componentes del computador .....	2
1.2.1.2. Tipos de case .....	3
1.2.1.3. Tiempo de vida de los computadores de escritorio .....	5
1.2.2. ROBÓTICA.....	5
1.2.2.1. Constitución de un robot.....	5
1.2.2.1.1 Mecanismos de eslabones articulados.....	6
1.2.2.1.2 Articulaciones .....	6
1.2.2.1.3 Efecto final .....	7
1.2.2.1.4 Actuadores .....	7
1.2.2.1.5 Espacio de Trabajo.....	7
1.2.2.2. Configuraciones de Robots .....	7
1.2.2.2.1 Robot cartesiano (PPP).....	7
1.2.2.2.2 Robot Cilíndrico (RPP o PRP).....	8
1.2.2.2.3 Robot esférico o polar (RRP) .....	8
1.2.2.2.4 Configuración angular o antropomórfica (RRR) .....	9
1.2.2.2.5 Configuración SCARA.....	10
1.2.3. MOTORES PASO A PASO .....	10
1.2.3.1. Tipos de motores paso a paso .....	11
1.2.3.1.1 Motor paso a paso de rotor de imán permanente.....	11
1.2.3.1.2 Motor paso a paso de reluctancia variable (VR).....	11
1.2.3.1.3 Motores híbridos.....	11
1.2.3.2. Parámetros de los motores paso a paso .....	12
1.2.3.2.1 Par dinámico de trabajo (working torque).....	12
1.2.3.2.2 Par de retén.....	12
1.2.3.2.3 Ángulo de paso .....	12
1.2.3.2.4 Frecuencia de paso máximo .....	13
1.2.4. MOTOR DE ASPIRADORA.....	13
1.2.5. AFECCIONES DE SALUD PROVOCADAS POR EL POLVO.....	15

1.2.6. EL POLVO Y LAS PELUSAS EN LOS COMPUTADORES .....	16
CAPÍTULO II: ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....	18
2.1. ANTECEDENTES .....	18
2.2. DESARROLLO DEL MÉTODO PARA EL ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS ..	19
2.2.1. VOZ DEL USUARIO.....	21
2.2.2. VOZ DEL INGENIERO .....	22
2.2.3. ANÁLISIS Y CONCLUSIÓN DE LA CASA DE LA CALIDAD .....	22
2.3. FORMULACIÓN DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS .....	24
2.4. ANÁLISIS FUNCIONAL.....	26
2.4.1. FUNCIÓN GLOBAL DEL PROTOTIPO - NIVEL 0 .....	26
2.4.2. FUNCIÓN DETALLADA DEL PROTOTIPO - NIVEL 1 .....	26
2.4.3. FUNCIONES DETALLADAS DE CADA SISTEMA - NIVEL 2 .....	27
2.4.3.1. Sistema de control.....	27
2.4.3.2. Proceso de limpieza del case .....	27
2.4.4. FUNCIÓN DETALLADA DEL SISTEMA DE CONTROL - NIVEL 3.....	27
2.5. DEFINICIÓN DE MÓDULOS FUNCIONALES .....	28
2.5.1. SOLUCIONES PARA CADA MÓDULO.....	28
2.5.1.1. Módulo 1: Sistema de control .....	29
2.5.1.1.1 Comprobar si el equipo está cerrado.....	29
2.5.1.1.2 Comprobar funcionamiento del robot cartesiano .....	29
2.5.1.1.3 Comprobar tamaño del case .....	29
2.5.1.1.4 Comprobar posición de la fuente de poder.....	30
2.5.1.2. Módulo 2: Sistema de limpieza.....	30
2.5.1.2.1 Sistema de extracción de polvo y pelusas.....	30
2.5.1.2.2 Soplado .....	30
2.5.1.2.3 Limpieza a fondo .....	30
2.5.1.3. Módulo 3: Sistema de avisos al usuario .....	31
2.5.1.4. Módulo 4: Robot cartesiano.....	31
2.5.1.4.1 Movimiento de los tres ejes cartesianos.....	31
2.5.1.4.2 Movimiento en el eje X .....	32
2.5.1.4.3 Movimiento en el eje Y .....	32
2.5.1.4.4 Movimiento en el eje Z .....	32

2.5.1.4.5 Comprobar la altura del robot.....	32
2.5.2. MATRIZ MORFOLÓGICA .....	32
2.5.3. MATRIZ DE RESIDUOS PONDERADOS .....	34
2.5.3.1. Análisis de soluciones para la máquina.....	34
2.5.3.1.1 Criterios a evaluar .....	35
2.5.3.1.2 Evaluación de las soluciones con respecto a cada criterio.....	35
2.5.3.1.3 Análisis de las tablas de ponderación .....	37
2.5.3.2. Solución para el sistema de control.....	38
CAPÍTULO III: DISEÑO DE LA MÁQUINA.....	42
3.1. DISEÑO MECÁNICO DEL ROBOT CARTESIANO .....	42
3.1.1. SUBCONJUNTO EJE X .....	42
3.1.1.1. Diámetro eje en X.....	42
3.1.1.2. Estructura del robot cartesiano.....	45
3.1.1.3. Sistema de transmisión de potencia del eje X.....	46
3.1.2. SUBCONJUNTO EJE Y .....	50
3.1.2.1. Diámetro eje en Y .....	50
3.1.2.2. Soporte para motor en el eje Y.....	52
3.1.2.3. Soporte para piñón en el eje Y .....	53
3.1.2.4. Estructura movimiento del eje Y .....	54
3.1.2.5. Sistema de transmisión de potencia para el eje Y.....	54
3.1.3. SUBCONJUNTO EJE Z .....	55
3.1.3.1. Diámetro eje en Z.....	55
3.1.3.2. Soporte para motor en el eje Z.....	57
3.1.3.3. Soporte derecho en el eje Z .....	57
3.1.3.4. Estructura movimiento del eje Z .....	58
3.1.3.5. Sistema de transmisión de potencia del eje Z.....	58
3.2. SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE POLVO Y PELUSAS .....	60
3.3. DIMENSIONAMIENTO DEL CONTROL ELECTRÓNICO.....	62
3.3.1. ESQUEMA DE TODOS LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS .....	62
3.3.2. DIMENSIONAMIENTO DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA.....	62
3.3.3. MOTORES PASO A PASO A UTILIZAR.....	63

3.3.4. CONTROLADORES DE MOTORES PASO A PASO.....	64
3.3.4.1. Placa para dos motores paso a paso bipolares.....	65
3.3.4.2. Circuito de control para motores paso a paso bipolares de dos fases ....	66
3.3.5. DIMENSIONAMIENTO DEL MOTOR PARA ASPIRACIÓN.....	68
3.3.6. DIMENSIONAMIENTO PARA EL SISTEMA DE SOPLADO.....	69
3.3.7. CIRCUITO UTILIZADO PARA ENCENDER EL SISTEMA DE AIRE .....	70
3.3.8. SENSOR ULTRASÓNICO PARA MEDIR LA ALTURA EN EL EJE Z.....	71
3.3.9. INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA (HMI).....	72
3.3.10. DIAGRAMAS DE FLUJO DE LA PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR.....	74
CAPÍTULO IV: CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	80
4.1. CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA .....	80
4.1.1. ESTRUCTURA DEL ROBOT CARTESIANO .....	80
4.1.2. CUBIERTA LATERAL .....	84
4.1.3. CUBIERTA SUPERIOR Y CUBIERTA FRONTAL .....	85
4.2. PRUEBAS PRELIMINARES.....	85
4.2.1. PRUEBA DEL MOVIMIENTO EN LOS EJES X, Y, Z.....	85
4.2.2. PRUEBA DEL CONTROL ELECTRÓNICO DE LOS EJES X, Y, Z .....	86
4.2.3. PRUEBAS DEL SISTEMA DE AIRE .....	86
4.2.3.1. Fugas en tuberías .....	86
4.2.3.2. Sistema de absorción de pelusas.....	86
4.2.3.3. Sistema de soplado .....	87
4.3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA IMPLEMENTADO.....	88
4.3.1. TIEMPO EN COMPLETAR LA LIMPIEZA.....	88
4.3.2. PORCENTAJE DE LIMPIEZA DEL CASE AL FINALIZAR CICLO.....	91
CONCLUSIONES.....	93
RECOMENDACIONES .....	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Componentes del computador .....	2
Figura 1.2. Tipos de articulaciones de los robots .....	6
Figura 1.3. Robot Cartesiano. ....	7
Figura 1.4. Robot Cilíndrico.....	8
Figura 1.5. Robot Esférico.....	9
Figura 1.6. Esquema del brazo antropomórfico.....	9
Figura 1.7. Esquema del robot SCARA.....	10
Figura 1.8. Configuración de cables de motores paso a paso unipolar.....	12
Figura 1.9. Configuración de cables del motor a paso bipolar. ....	12
Figura 1.10 Escobillas de un motor de aspiradora .....	13
Figura 1.11. Motor de aspiradora directo .....	14
Figura 1.12. Motor de aspiradora de bypass periférico .....	14
Figura 1.13. Motor de aspiradora de bypass tangencial.....	15
Figura 1.14. Partes del sistema respiratorio humano .....	15
Figura 1.15. Fotografía de la fuente de poder con polvo en su ventilador.....	16
Figura 1.16. Posición del socket del procesador en una tarjeta madre genérica .	16
Figura 2.1. Ejemplo de Casa de la calidad.....	21
Figura 2.2. Casa de la calidad aplicada a la determinación de características técnicas del sistema. ....	23
Figura 2.3. Descripción básica del proceso.....	26
Figura 2.4. Descripción detallada del proceso.....	26
Figura 2.5. Sistema de control.....	27
Figura 2.6. Proceso de limpieza del case.....	27
Figura 2.7. Proceso de control del robot cartesiano. ....	28
Figura 2.8. Modelado del robot cartesiano. ....	31
Figura 2.9. Modelado de la solución escogida .....	37
Figura 2.10. Módulo Raspberry PI.....	38
Figura 2.11. Módulo Arduino Mega .....	39
Figura 2.12. Módulo Texas Instruments Tiva C Series TM4C123G .....	39
Figura 3.1. Diagrama de cuerpo libre de los ejes en X.....	42
Figura 3.2. Deflexión eje X calculada por computador. ....	45

Figura 3.3. Factor de seguridad de la estructura del robot cartesiano obtenido por computador.....	46
Figura 3.4. Diagrama de cuerpo libre carro del eje X. ....	46
Figura 3.5. Representación del sistema de poleas.....	49
Figura 3.6. Diagrama de cuerpo libre de la polea del motor.....	49
Figura 3.7. Par de detención para los motores paso a paso híbridos de la corporación NMB .....	50
Figura 3.8. Deflexión eje Y calculada por computador. ....	52
Figura 3.9. Desplazamiento en mm del soporte eje Y.....	52
Figura 3.10. Factor de seguridad para el soporte eje Y. ....	53
Figura 3.11. Desplazamiento en mm del soporte para piñón en el movimiento Y.....	53
Figura 3.12. Factor de seguridad del soporte para piñón en el movimiento Y. ....	54
Figura 3.13. Factor de seguridad para el conjunto de piezas en el movimiento Y.....	54
Figura 3.14. Diagrama de cuerpo libre eje Z. ....	56
Figura 3.15. Deflexión eje Z calculada por computador. ....	57
Figura 3.16. Factor de seguridad para el soporte del motor en el movimiento Z..	57
Figura 3.17. Factor de seguridad para el soporte derecho en el movimiento Z....	58
Figura 3.18. Factor de seguridad de la estructura del movimiento en Z.....	58
Figura 3.19. Diagrama de cuerpo libre carro del eje Z. ....	59
Figura 3.20. Diagrama de cuerpo libre polea con banda para mover el eje Z.....	59
Figura 3.21. Diagrama de cuerpo libre polea con banda hacia reductora motor..	60
Figura 3.22 Flujo de aire dentro de la máquina .....	61
Figura 3.23. Diagrama esquemático de componentes electrónicos.....	62
Figura 3.24. Diagrama de componentes del sistema. ....	62
Figura 3.25. Especificaciones por modelo de los motores paso a paso de la corporación NMB .....	64
Figura 3.26. Aplicación recomendada por el fabricante para el controlador A4988.....	66
Figura 3.27. Circuito del driver controlador de motores paso a paso .....	66
Figura 3.28 Fotografía motor directo de aspiradora modelo CJC-VB5425.....	69

Figura 3.29. Circuito de relé para encender el sistema de extracción de polvo y pelusas.....	70
Figura 3.30. Configuración de pines del Sensor ultrasónico HC-SR04.....	71
Figura 3.31. Fotografía del LCD 16x2. ....	73
Figura 3.32. Diagrama de flujo programa principal.....	75
Figura 3.33. Diagrama de flujo Subproceso Comprobación del robot cartesiano .....	76
Figura 3.34. Diagrama de flujo para la comprobación del tamaño del case. ....	77
Figura 3.35. Diagrama de flujo de la comprobación del tamaño de la fuente.....	78
Figura 3.36. Diagrama de flujo del proceso de limpieza del case. ....	79
Figura 4.1 Modelo de la máquina a ser construida.....	80
Figura 4.2. Fotografía de la estructura del robot cartesiano.....	81
Figura 4.3. Modelado del subconjunto eje Y. ....	81
Figura 4.4. Fotografía del subconjunto eje Y construido. ....	81
Figura 4.5. Modelado del subconjunto eje Z.....	82
Figura 4.6. Modelado del soporte derecho.....	82
Figura 4.7. Modelado del soporte para motor.....	82
Figura 4.8. Fotografía del soporte derecho construido.....	83
Figura 4.9. Fotografía del soporte para motor construido. ....	83
Figura 4.10. Modelado de la unión de los subconjuntos Y, Z.....	84
Figura 4.11. Fotografía de la cubierta lateral máquina. ....	84
Figura 4.12. Fotografía de la máquina con la cubierta lateral y superior. ....	85
Figura 4.13. Fotografía de la caja del filtro de aire .....	87
Figura 4.14. Fotografía del filtro de aire con pelusas removidas en la limpieza de un case. ....	87
Figura 4.15. Tuberías de soplado.....	87
Figura 4.16. Fotografía del case 1: Computador marca COMPAQ. ....	88
Figura 4.17. Fotografía del case 2: Computador genérico. ....	89
Figura 4.18. Fotografía del case 3: Computador marca Speedmind 21. ....	89
Figura 4.19. Case de prueba 2 dentro de la máquina para iniciar la etapa de limpieza.....	90
Figura 4.20. Fotografía de prueba de limpieza del case de prueba 2 .....	91
Figura 4.21 Fotografía de la máquina construida.....	92

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Medidas de los diferentes tipos de case.....	4
Tabla 2.1. Formulación de especificaciones técnicas de la máquina.....	25
Tabla 2.2. Matriz morfológica de las alternativas disponibles.....	33
Tabla 2.3. Evaluación criterios de ponderación de partes y piezas para la máquina.....	35
Tabla 2.4. Análisis de las soluciones, según el criterio de evaluación: Precisión.....	36
Tabla 2.5. Análisis de las soluciones, según el criterio de evaluación: Peso.....	36
Tabla 2.6. Análisis de las soluciones, según el criterio de evaluación: Costo.....	36
Tabla 2.7. Análisis de las soluciones, según el criterio de evaluación: Manejabilidad.....	36
Tabla 2.8. Análisis de resultados de las tablas de ponderación.....	37
Tabla 2.9. Evaluación de criterios de ponderación.....	40
Tabla 2.10. Criterio de evaluación: Precio.....	40
Tabla 2.11. Criterio de evaluación: Rapidez de programación.....	40
Tabla 2.12. Criterio de evaluación: Soporte técnico en línea.....	40
Tabla 2.13. Análisis de las tablas de ponderación para la placa de control.....	41
Tabla 2.14. Resumen de características del módulo de Arduino Mega.....	41
Tabla 3.1. Serie y coeficiente de rozamiento rodamientos lineales.....	48
Tabla 3.2 Detalle de potencias consumidas por cada elemento conectado a la fuente de alimentación de energía.....	63
Tabla 3.3. Características eléctricas controlador Dual Bipolar Stepper Motor Shield.....	65
Tabla 3.4. Configuración de pines para el control de los micro pasos mediante el controlador A4988.....	65
Tabla 3.5. Descripción pines de manejo del circuito integrado controlador de motores paso a paso L297.....	67
Tabla 3.6. Pines de conexión del LCD.....	73
Tabla 4.1. Pruebas de funcionamiento sin motor.....	85
Tabla 4.2. Prueba de movimiento con motor.....	86
Tabla 4.3. Tiempos tomados en prueba de limpieza.....	90
Tabla 4.4. Tiempos tomados en prueba de mejora.....	90

Tabla 4.5. Porcentaje de limpieza. ....	91
---	----

## RESUMEN

La empresa ZEITTECH CIA LTDA, una empresa dedicada a la venta y mantenimiento de equipos informáticos, cuenta con personal capacitado para el mantenimiento de estos, pero la limpieza de los mismos ensucia el lugar de trabajo y, por lo tanto se necesita asear el sitio cada cierto tiempo. Al realizar esta limpieza constantemente se pierde un tiempo muy importante en el cual se podría realizar más mantenimientos por esta razón se propuso la construcción de una máquina que ayude con la limpieza del polvo y las pelusas de los case /keys/ en las computadoras de escritorio, la propuesta consiste en el diseño y construcción de una máquina cerrada que no permita que las pelusas retiradas de los case ensucien el lugar de trabajo.

La máquina se diseñó y construyó utilizando un robot cartesiano dedicado a la extracción del polvo y las pelusas mediante aire, ya que este es el más apto para estar dentro de una caja cerrada ocupando el menor espacio posible; un compresor que impulsa el aire a través de las tuberías de soplado para el movimiento de las partículas y un motor directo de aspiradora que extrae las pelusas permitiendo así la limpieza del equipo. Esta suciedad extraída de los case es almacenada en un compartimento donde se encuentra un filtro de aire, el cual debe ser limpiado cada cierto tiempo según su uso para el correcto funcionamiento de la máquina.

## **ABSTRACT**

The company ZEITTECH CIA LTDA, a company dedicated to the sale and maintenance of computer equipment, which has trained people for the maintenance of these staff, but the cleaning of those staff makes all the workplace dirty and therefore need to be cleaned every time. The performing of this cleaning loses a very important time in which they could do more work, for this reason the idea of building a machine to help cleaning the dust and lint that is in the case in desktop computers was proposed, this was the design and construction of a closed machine that will not allow lint to be spread in the workplace.

The machine was designed and built using a Cartesian robot dedicated to the extraction of dust and lint by air, since this is the most suitable for being inside a closed box occupying the smallest possible space; a compressor that forces air through the blow pipes for particle movement and a direct motor which absorbs the lint cleaning the equipment. This dirt is stored in a compartment where an air filter is, which must be cleaned from time to time for the correct operation of the machine.

## INTRODUCCIÓN

El diseño que se propone en el presente proyecto, el cual es una máquina dedicada a realizar la extracción de polvo y pelusa del hardware en equipos informáticos, tiene como propósito satisfacer los requerimientos de la empresa ZEITTECH CIA LTDA. La compañía se encuentra ubicada en el distrito metropolitano de Quito, sector La Luz, con dirección Abelardo Montalvo E6-42 y Gonzalo Zaldumbide.

Actualmente, la empresa cuenta con personal capacitado para el mantenimiento de equipos informáticos, pero la labor de limpieza interna de los gabinetes ensucia el lugar de trabajo y, por lo tanto se necesita asear el sitio cada cierto tiempo. Al realizar esta limpieza constantemente se pierde un tiempo muy importante en el cual se podría realizar más mantenimientos y no retrasar estos para el día siguiente ya que existen días en que llegan muchos equipos y no se cumple con el cronograma establecido.

Por esta razón la máquina debe ser cerrada eliminando la posibilidad de que se ensucie el sitio de trabajo, por lo tanto se utiliza un robot cartesiano que se encarga del movimiento de la manguera de aire, ya que este es el más apto para estar dentro de una caja cerrada ocupando el menor espacio posible; un compresor que impulsa el aire a través de las tuberías de soplado para el movimiento de las partículas y un motor directo de aspiradora que extrae las pelusas permitiendo así la limpieza del equipo.

Por otro lado también existe el personal de mantenimiento que lo realiza a domicilio, dicho personal también se enfrenta al mismo problema ya que son oficinas o casas de clientes que no se pueden dejar sucias. Esto también genera demora en trabajos a realizar.

Este proyecto intenta satisfacer la creciente demanda con que cuenta la empresa, logrando la limpieza de por lo menos tres tipos de case, y también cuidar la salud del personal de trabajo ya que el polvo y las pelusas extraídas en los mantenimientos pueden llegar a provocar problemas de salud en los trabajadores.

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

### 1.1. SITUACIÓN ACTUAL

El avance de la tecnología ha convertido a los computadores de escritorio en un instrumento necesario en el desarrollo de actividades ya sean de ocio como de trabajo. Es necesario un cuidado especial si se desea aumentar su vida útil, para esto se debe realizar un mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo del equipo informático se divide en dos partes esenciales: el mantenimiento en software y el mantenimiento en hardware. El primero se lo realiza para la detección y eliminación de malware, que es todo tipo de código o programa cuya función es dañar un sistema o causar un mal funcionamiento [1]. Además, también realiza la exploración de programas incompatibles que puedan afectar el rendimiento del sistema operativo. Por otra parte, el segundo se basa en la limpieza y cuidado de todos los sistemas tangibles como lo son el case, teclados, pantalla, parlantes, mouse, etc. Mediante este proceso se evita que el computador se sobrecaliente y se evitan daños en el procesador, el disco duro, las memorias RAM y la fuente de alimentación de energía.

Al realizar el mantenimiento de hardware se encuentra con un grave problema que es la cantidad de polvo y pelusas que el computador ha ido acumulado durante su funcionamiento. Al momento de limpiar el case este polvo y pelusas se levanta y se esparce en el lugar donde se esté realizando el mantenimiento, provocando que todo el sitio se ensucie.

Dentro de las compañías que se dedican a la venta y mantenimiento de computadores y accesorios, como la empresa ZEITTECH, el hecho de que el sitio donde se realiza la limpieza se ensucie provoca una pérdida de tiempo sustancial ya que el entregar el área libre de suciedad es esencial al finalizar cada trabajo. Sin embargo, los problemas de salud como afecciones en el tracto respiratorio u órgano de la vista representan el mayor problema por la aspiración de pelusas por el personal de mantenimiento.

## 1.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 1.2.1. COMPUTADOR

Es un sistema informático compuesto por diversos componentes electrónicos que al trabajar conjuntamente pueden realizar diferentes funciones y entregar al usuario resultados procesados de una manera muy veloz.

#### 1.2.1.1. Componentes del computador [2]

El computador se divide en el case<sup>1</sup> o gabinete, donde se encuentra la tarjeta madre con sus componentes como son:

- Unidad central de procesamiento (Microprocesador), el cual es el cerebro del computador.
- Memoria RAM, esta se encarga de guardar la información utilizada por el microprocesador mientras el computador se encuentra encendido.

Asimismo dentro del case se encuentran la fuente de alimentación de energía, el disco duro, las unidades de almacenamiento óptico y todos los que se encuentran fuera del case, denominados dispositivos externos o periféricos, como lo son: pantalla, teclado, dispositivo señalador (mouse), parlantes, etc.

En la Figura 1.1 se observa los componentes del computador y su posición.

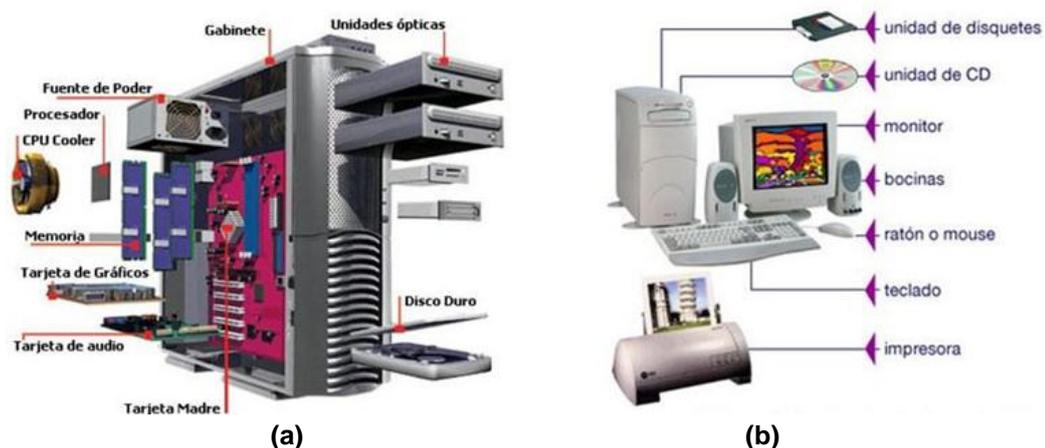


Figura 1.1. Componentes del computador: (a) Partes internas; (b) Partes externas adaptada de [3].

<sup>1</sup> Case /keis/: Caja rectangular de metal y plástico que está diseñada para que en su interior se coloque la placa madre, la fuente de alimentación de energía, el disco duro y las unidades de almacenamiento óptico.

### 1.2.1.2. Tipos de case

Existen en el mundo varios tipos de case [4], [5] los cuales se detallan a continuación:

- **Case horizontal:** Este case como su nombre lo dice presenta una forma horizontal. Antiguamente todas las computadoras venían en esta presentación pero por la comodidad de los componentes se cambió al estilo vertical.
- **Case vertical:** Esta es la forma que más se utiliza en este tiempo, según el tipo de case vertical se dividen en:
  - **Mini torre (Mini tower):** Normalmente se lo usaba para placas de Pentium II, Pentium III, y Pentium IV. Su tamaño es muy variado dependiendo de la marca del mismo.
  - **Torre mediana (Mid tower):** Son los más utilizados cuando se requiere que contengan de 2 a 4 puestos para insertar unidades ópticas.
  - **Torre completa (Full tower):** Este es más grande que los case típicos porque permite agregar más discos duros, son comúnmente usados con procesadores de gran performance y en servidores.
  - **Línea delgada (Slim line Case):** Son case tipo torre modificados para ganar espacio y hacerlos de menor tamaño.

En la Tabla 1.1 se especifican las medidas comunes de los tipos de case del mercado recopilando información de [4], [5].

Tabla 1.1. Medidas de los diferentes tipos de case.

Tipo de case	Medidas (cm)	Figura
Case horizontal	12,7 (Alto) 35,56 (ancho) 40,64 (Fondo)	
Mini Torre	30 – 45 (Alto)	
Torre mediana	40 – 60 (Alto)	
Torre completa	Más de 76 (Alto)	
Línea delgada	30,2 (Alto) 10,5 (Ancho) 38,9 (Fondo)	

### **1.2.1.3. Tiempo de vida de los computadores de escritorio**

Hoy en día es normal encontrar gran variedad de computadores todo en uno (“All in One”). Su atractivo diseño sumado a grandes financiaciones hace que este tipo de equipos se conviertan en posibles reemplazantes de los antiguos computadores de escritorio [6].

Néstor Russaz<sup>2</sup> en el artículo [7], explicó que los componentes de los computadores todo en uno son muy similares, si no son idénticos, a los que llevan los computadores portátiles. Esto genera que al momento de actualizarlos o repararlos, estos equipos tengan las mismas limitaciones, ya que muchos componentes internos son fabricados exclusivamente por los fabricantes y por esta razón sus costos incrementan.[7]

Los computadores de escritorio seguirán existiendo en el mercado ya que el usuario puede ensamblar uno eligiendo bien sus componentes para satisfacer sus necesidades.

## **1.2.2.ROBÓTICA**

La robótica es una ciencia o una rama de la tecnología, la cual estudia el diseño y construcción de máquinas que puedan realizar tareas que han sido siempre realizadas por el ser humano o que requieren del uso de inteligencia. Las ciencias y tecnologías de las que deriva podrían ser: el álgebra, los autómatas programables, las máquinas de estados, la mecánica o la informática [8].

La historia de la robótica se basa en la construcción de máquinas, las cuales lograrían cumplir el deseo humano de crear seres semejantes que libren del trabajo mecánico a la humanidad.

### **1.2.2.1. Constitución de un robot [9]**

Se detallan los conceptos básicos de los robots manipuladores.

---

<sup>2</sup> Instructor del instituto C.E.T.I.A.

### 1.2.2.1.1 Mecanismos de eslabones articulados

Es un conjunto de sólidos, conocidos como eslabones, articulados entre sí de tal manera que puedan conducir al órgano terminal a las posiciones necesarias para la realización de las tareas asignadas.

### 1.2.2.1.2 Articulaciones

Las articulaciones están diseñadas para permitir al robot desplazar su efector final a una posición deseada dentro de los límites del tamaño y los movimientos del robot.

En la Figura 1.2 se muestran los diferentes tipos de articulaciones de los robots, donde las más utilizadas son la del tornillo, la prismática y la de rotación que solo tienen un grado de libertad<sup>3</sup> por ser las más fáciles de implementar:

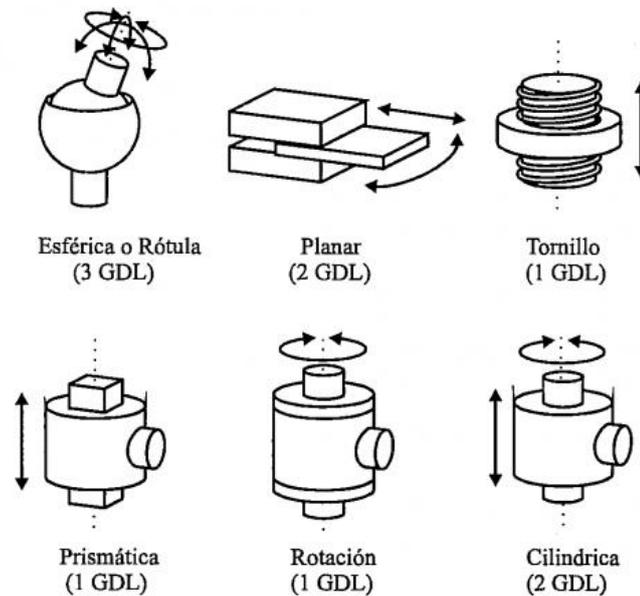


Figura 1.2. Tipos de articulaciones de los robots adaptada de [10].

<sup>3</sup> Grado de libertad es el número de movimientos independientes que puede realizar.

### 1.2.2.1.3 Efector final

Dispositivo que se encuentra al final del robot manipulador, el cual interactúa con los objetos del entorno. Consiste en un sistema mecánico capaz de sujetar objetos; por ejemplo, pinza mecánica o una herramienta capaz de realizar alguna operación como una pistola de soldadura.

### 1.2.2.1.4 Actuadores

Son los dispositivos que producen la potencia mecánica que se requiere para mover los eslabones del robot. Por ejemplo, motores eléctricos, pistones, etc.

### 1.2.2.1.5 Espacio de Trabajo

Es la zona del espacio físico que puede ser alcanzada por el órgano terminal.

## 1.2.2.2. Configuraciones de Robots

La ciencia ficción ha mostrado siempre el humanoide en sus películas y la mayoría de personas al momento de hablar del término robot se basa en esta visión. Sin embargo, existen varias configuraciones de robots.

### 1.2.2.2.1 Robot cartesiano (PPP)

Cuando el brazo de un robot se mueve de modo rectilíneo, es decir, en las direcciones de las coordenadas X, Y, Z del sistema de coordenadas cartesianas rectangulares, se le llama tipo cartesiano o rectangular [10]. Su espacio de trabajo tiene la forma de una caja o de un prisma rectangular como se observa en la Figura 1.3.

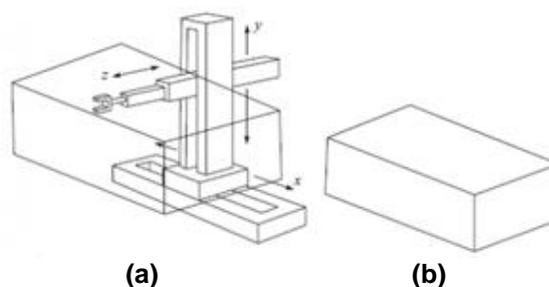


Figura 1.3. Robot Cartesiano: (a) Configuración del brazo; (b) Espacio de trabajo adaptada de [11].

### 1.2.2.2.2 Robot Cilíndrico (RPP o PRP)

Cuando el brazo de un robot tiene una articulación de revolución y dos prismáticas, es decir, si la primera articulación prismática del tipo cartesiano, es reemplazada por una articulación de revolución, los puntos que pueden alcanzar pasan a ser especificados con coordenadas cilíndricas; es decir, ángulo  $\theta$ , altura  $Y$  y radio  $Z$ . Un robot de este tipo podrá tener problemas para tocar el piso cerca de la base [10]. En la Figura 1.4 se observa un modelo del robot cilíndrico.

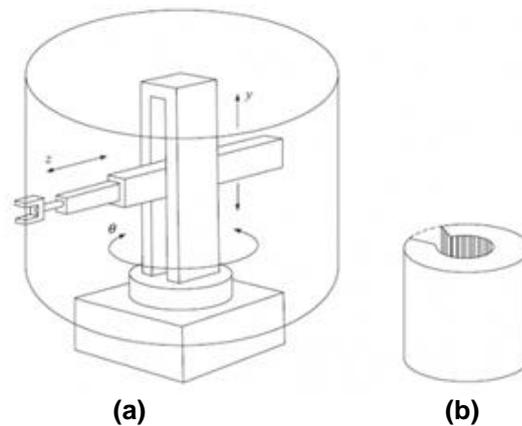


Figura 1.4. Robot Cilíndrico: (a) Configuración del brazo; (b) Espacio de trabajo adaptada de [11].

### 1.2.2.2.3 Robot esférico o polar (RRP)

Cuando el brazo de un robot es capaz de cambiar su configuración moviendo sus dos articulaciones de revolución y su articulación prismática, es decir, cuando la segunda articulación prismática a lo largo de la altura  $Y$  del tipo cilíndrico es reemplazada por una articulación de revolución, se denomina brazo de robot esférico o polar; la posición del brazo se describe convenientemente por medio de las coordenadas esféricas  $\theta$ ,  $\Phi$ ,  $Z$  [10]. En la Figura 1.5 se observa un modelo del robot esférico.

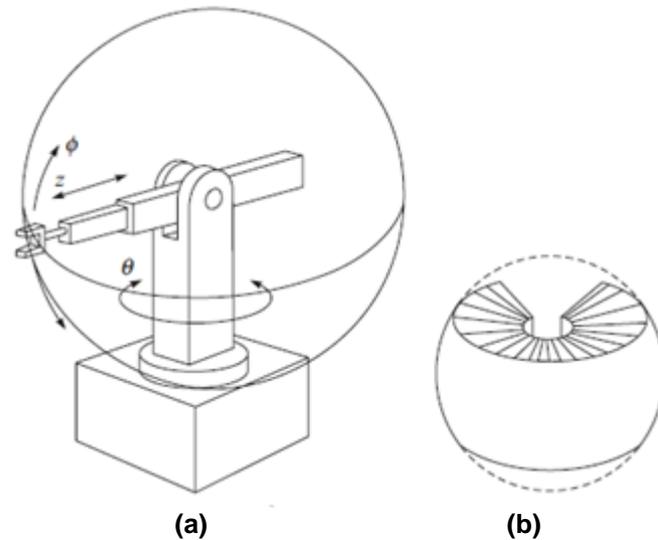


Figura 1.5. Robot Esférico: (a) Configuración del brazo; (b) Espacio de trabajo adaptada de [11].

#### 1.2.2.2.4 Configuración angular o antropomórfica (RRR)

Cuando el brazo de robot consiste en tres articulaciones de revolución, es decir, cuando la tercera articulación prismática se cambia por una de revolución, la posición del brazo se describe mediante las coordenadas angulares ( $\theta$ ,  $\Phi$ ,  $\beta$ ), este tipo de robot es relativamente más sencillo de construir pero para la realización de tareas en coordenadas cartesianas se requiere de transformaciones matemáticas [11]. En la Figura 1.6 se observa un modelo del brazo antropomórfico.

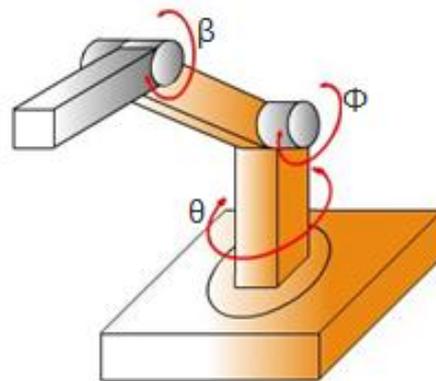


Figura 1.6. Esquema del brazo antropomórfico adaptada de [12].

### 1.2.2.2.5 Configuración SCARA

Es un tipo cilíndrico cuyo alcance se logra mediante el uso de una articulación de revolución en lugar de una articulación prismática. Un robot SCARA es muy conveniente para operaciones de ensamble; por lo tanto, su uso en varias industrias es muy frecuente [10]. En la Figura 1.7 se observa un modelo del robot SCARA.

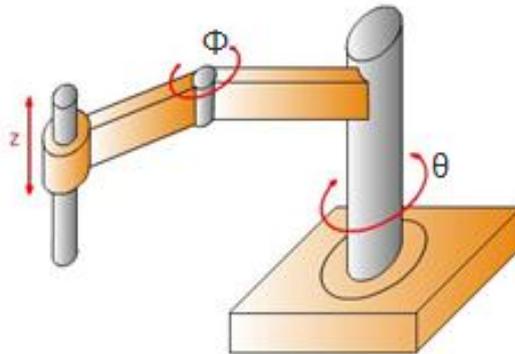


Figura 1.7. Esquema del robot SCARA adaptada de [12].

### 1.2.3. MOTORES PASO A PASO

Este motor realiza la transformación de energía eléctrica en mecánica de una manera tan característica que se encuentra dentro de una categoría distinta. Es así que, mientras un motor convencional gira libremente al aplicarle voltaje, el motor paso a paso está construido de tal manera que gira un determinado ángulo proporcional a la “codificación” de tensiones aplicadas a sus entradas. Al poder controlar esta codificación para que el motor se mueva permite realizar desplazamientos angulares lo suficientemente precisos, dependiendo el ángulo de paso o resolución angular la cual puede variar desde 0,72 hasta más de 30 grados por paso.

Por ejemplo, si el número de grados por paso es de  $1,8^\circ$ , se necesitaría 200 pasos para completar un giro (una vuelta del motor), permitiendo posicionar el motor en lugares requeridos por el trabajo de una forma bastante precisa. De esto se deduce que el motor paso a paso presenta una precisión y repetitividad que lo habilita para trabajar en sistemas abiertos sin realimentación [13].

### 1.2.3.1. Tipos de motores paso a paso

Existen tres tipos de motores paso a paso:

#### 1.2.3.1.1 Motor paso a paso de rotor de imán permanente

Permite mantener un par de retén<sup>4</sup> diferente de cero cuando el motor no está energizado. Dependiendo de la construcción del motor, es típicamente posible obtener pasos angulares de 7,5; 11,25; 15; 18; 45 o 90° [14].

#### 1.2.3.1.2 Motor paso a paso de reluctancia variable (VR)

Estos motores se caracterizan por tener un rotor múltiple de hierro suave y un bobinado en el estator. Operan generalmente con pasos de ángulo entre 5 y 15 grados a una velocidad de pasos relativamente alta, y no tienen par de retén [14].

#### 1.2.3.1.3 Motores híbridos

El motor paso a paso híbrido es una mezcla de los tipos de reluctancia variable e imán permanente, para obtener algunos de los comportamientos deseables de cada uno de ellos. Este tipo de motor tiene una alta precisión y alto par de retén y se puede configurar para suministrar un paso angular desde 0,9 grados [14].

Los motores paso a paso híbridos son diseñados como unipolares o como bipolares, uno de los aspectos que confunden en los motores híbridos son la cantidad de alambres de salida, los cuales pueden ser 4, 5 o 6; esto se basa en el tipo de diseño del motor si es unipolar o bipolar [15], para identificarlos se basa en la cantidad de cables que posee si tiene 5 o 6 cables es un motor unipolar como se observa en la Figura 1.8 en cambio sí son 4 cables es un motor bipolar como se observa en la Figura 1.9.

---

<sup>4</sup> Par de retén es el par de mantenimiento cuando no está fluyendo corriente en el motor.

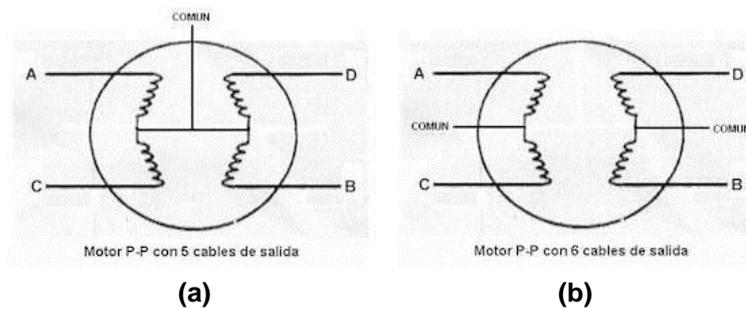


Figura 1.8. Configuración de cables de motores paso a paso unipolar. (a) 5 cables de salida; (b) 6 cables de salida adaptada de [16].

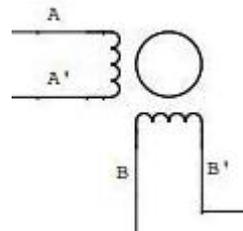


Figura 1.9. Configuración de cables del motor a paso bipolar adaptada de [16].

### 1.2.3.2. Parámetros de los motores paso a paso [9]

Desde un punto de vista mecánico y eléctrico, se necesita conocer el significado de algunas de las principales características y parámetros de un motor paso a paso:

#### 1.2.3.2.1 Par dinámico de trabajo (*working torque*)

Este es el momento máximo que el motor es capaz de realizar.

#### 1.2.3.2.2 Par de retén

Es un par de frenado que es propio de los motores de imán permanente, es la fuerza del rotor cuando este está desconectado para detener el movimiento del mismo.

#### 1.2.3.2.3 Ángulo de paso

Es el avance angular que se produce por cada pulso enviado.

#### 1.2.3.2.4 Frecuencia de paso máximo

El número máximo de pasos por segundo que puede realizar el motor.

#### 1.2.4.MOTOR DE ASPIRADORA [17]

El motor de aspiradora es un motor de excitación en serie, el cual al moverse genera una depresión que se utiliza para llevar el polvo o líquidos, según sea el caso, hasta el depósito de la aspiradora donde se encuentra el filtro de retención.

Una característica importante en el motor de aspiradora es que al reducir el flujo de entrada de aire este aumenta las revoluciones y por tanto crea más depresión. Esto se debe a que el rozamiento de las turbinas con el aire disminuye permitiendo al motor girar a mayor velocidad.

El poder de succión con el que el motor cuenta dependerá del número de turbinas que este tenga. Un motor con varias turbinas funciona como si estas estuvieran en serie ya que el aire pasa a través de las turbinas. Los motores de alta potencia son de una sola turbina, son más pequeños y su velocidad es muy alta. En estos motores se consigue la aspiración mediante una velocidad muy elevada pero esto afecta en la vida del motor la cual es superior a 500 horas de funcionamiento continuo, aunque el precio de este motor disminuye.

Los motores de 2 turbinas funcionan a menor velocidad por el mayor rozamiento con el aire. El gasto de las escobillas, es menor y la vida del motor es mayor, puede llegar a más de 1.000 horas de uso. En la Figura 1.10 se muestran escobillas de un motor de aspiradora.



Figura 1.10 Escobillas de un motor de aspiradora

Para la salida del aire de expulsión hay que definir primero los diferentes modelos de motor de aspiradora:

- **Motor Directo:** Este tipo de motor se muestra en la Figura 1.11 se caracteriza porque el aire pasa a través del bobinado del rotor y refrigera el bobinado del inducido o rotor y del inductor o estator. Estos motores sólo pueden aspirar polvo.

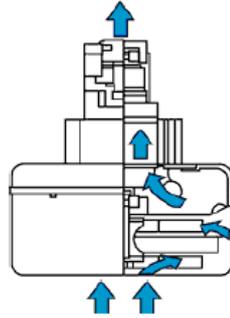


Figura 1.11. Motor de aspiradora directo adaptada de [17]

- **Motor Bypass:** El aire que entra a la turbina es expulsado antes de llegar al bobinado para proteger el bobinado de la humedad y del polvo. Para refrigerar el bobinado del inducido y del inductor hay una pequeña turbina en el lado del colector que hace circular el aire. Permiten aspirar polvo y agua.

Hay 2 tipos de motores de aspiradora bypass, según la zona de expulsión del aire:

- **Motor aspiradora bypass periférico:** Cuenta con ventanas en todo el diámetro exterior del chasis en la zona final de las turbinas; tal como se muestra en la Figura 1.12.

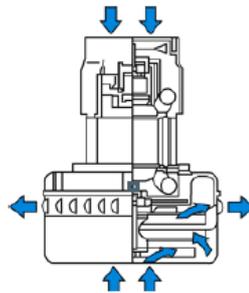


Figura 1.12. Motor de aspiradora de bypass periférico adaptada de [17]

- Motor aspiradora bypass tangencial, con un tubo lateral por donde expulsa el aire; tal como se muestra en la Figura 1.13.

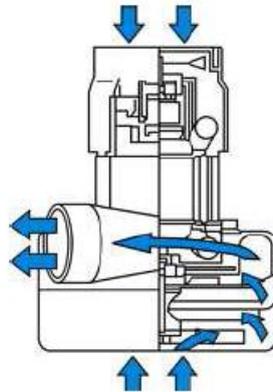


Figura 1.13. Motor de aspiradora de bypass tangencial adaptada de [17]

### 1.2.5. AFECCIONES DE SALUD PROVOCADAS POR EL POLVO

Las enfermedades de pulmón provocadas por inhalación de polvo se llaman “neumoconiosis” o “pulmón polvoriento” pero las afecciones dependen del lugar donde se queden las partículas de polvo. Por ejemplo si el polvo se queda en la nariz puede provocar rinitis, o si se queda en la tráquea provoca traqueítis o si se queda en los bronquios provoca bronquitis, y si se quedan en los sacos o al final de las vías respiratorias y la cantidad de polvo es muy grande puede provocar daños a los pulmones, la cantidad del polvo influye en cuan seria puede llegar a ser la lesión del pulmón [18].

El sistema respiratorio del ser humano y sus partes se observa en la Figura 1.14.

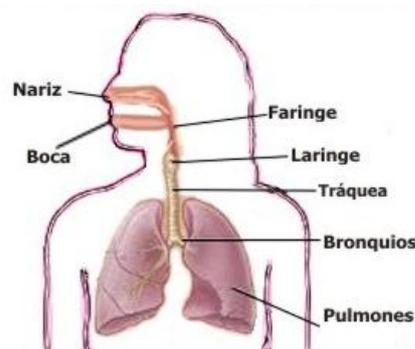


Figura 1.14. Partes del sistema respiratorio humano, adaptada de [19].

### 1.2.6. EL POLVO Y LAS PELUSAS EN LOS COMPUTADORES [20]

El polvo y las pelusas en los computadores obstaculizan el libre flujo del aire necesario para mantener la temperatura del computador estable, impidiendo así que partes y piezas del mismo se sobrecalienten, por esta razón los fabricantes recomiendan que los computadores sean colocados en un sitio libre de polvo. Generalmente cuando la temperatura dentro del case sobrepasa los  $35^{\circ}\text{C}$  el riesgo de que componentes internos se dañen aumenta considerablemente. La causa más común de sobrecalentamiento es la acumulación de polvo, ya que los componentes eléctricos generan calor y los ventiladores del equipo ayudan que el aire circule manteniendo todos los componentes en temperaturas de trabajo normal. Dentro del case existen sitios donde se acumula la mayor cantidad de polvo y pelusas estas son:

- La fuente de alimentación de energía se observa en la Figura 1.15.



Figura 1.15. Fotografía de la fuente de poder con polvo en su ventilador.

- El procesador se observa en la Figura 1.16.

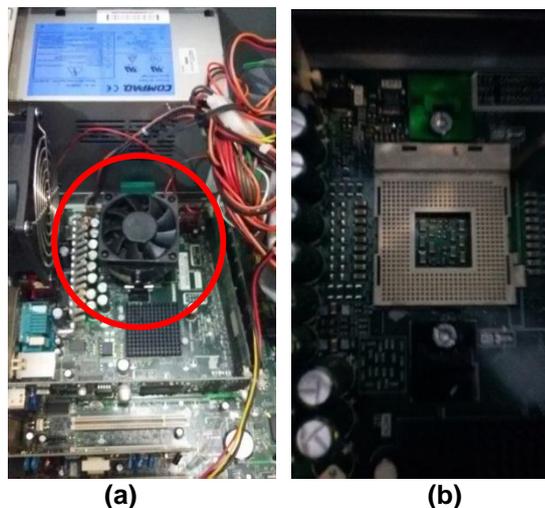


Figura 1.16. Posición del socket del procesador en una tarjeta madre genérica: (a) Con ventilador; (b) Sin ventilador.

Estos componentes son los que mayor limpieza necesitan ya que una refrigeración inadecuada puede dañar los componentes.

Algunos problemas causados por sobrecalentamiento del equipo son:

- El computador deja de responder durante el uso.
- Los ventiladores comienzan a generar más ruido, esto se debe a que comienzan a girar con mayor velocidad para disipar el calor.
- El mouse y el teclado dejan de responder.
- En sistemas operativos de Windows como las versiones: 10, 8, 7, Vista o XP el equipo se reinicia de forma inesperada, esto se debe a que cuentan con una protección contra el sobrecalentamiento y reinicia el sistema para evitar el daño de componentes internos.

## CAPÍTULO II

### ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

#### 2.1. ANTECEDENTES

En el campo de la ingeniería se realiza muchas actividades, como indica Riba en [21], la más compleja es el proceso de creación y desarrollo de un producto. En los últimos años se ha ido desarrollando una nueva visión de la ingeniería en la que el diseño acumula cada vez más responsabilidades, lo que compone en una mejor garantía de funcionamiento y cumplimiento de los requerimientos del cliente.

Esta nueva perspectiva toma el nombre de ingeniería concurrente y se apoya en estos nuevos métodos:

- Diseño para la fabricación y el montaje (DFMA<sup>5</sup>).

El diseño para la fabricación se basa en que el producto sea fácil y económico de producir.

El montaje de un producto consiste en la manipulación de diversas piezas y componentes, su unión, ajuste, puesta a punto y la verificación del conjunto logrando así que este adquiera la función para la que fue creado.

- Diseño para la calidad (DFQ<sup>6</sup>).

Se basa en buscar la conformidad de un producto o servicio con las especificaciones previstas, proporcionando así satisfacción a las expectativas del usuario.

- Diseño para el entorno (DFE<sup>7</sup>).

Toma en consideración los impactos ambientales y los requerimientos bajo el concepto de factor humano (ergonomía, seguridad, accesibilidad) aspectos que están cada vez más sometidos a normativas y legislaciones.

En el diseño de esta máquina se busca la conformidad y satisfacción a las expectativas propuestas por la empresa ZEITTECH las mismas que se describen en la sección 2.2.1, se enfocará en el diseño para la calidad (DFQ).

---

<sup>5</sup> DFMA: De sus siglas en inglés Design For Manufacture And Assembly.

<sup>6</sup> DFQ: De sus siglas en inglés Design For Quality.

<sup>7</sup> DFE: De sus siglas en inglés Design For The Environment.

Esto significa que se considerará los requerimientos de calidad desde la etapa del diseño, esto asegurará que la máquina responda a los requerimientos y necesidades de los usuarios.

## 2.2. DESARROLLO DEL MÉTODO PARA EL ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

En el análisis de alternativas se comenzará utilizando la casa de la calidad, la cual es parte del diseño para la calidad (DFQ) basado en transformar las demandas de la empresa en los requerimientos técnicos, evaluados según su importancia al momento de seleccionar la mejor alternativa. Para esto la casa de la calidad sigue los siguientes pasos [21]:

- Paso 1: Las demandas del usuario corresponden a la parte más importante del método de la casa de la calidad y la que conduce todo el proceso de diseño de un nuevo producto, esta es la voz del usuario donde se consulta a los usuarios del producto cuáles son sus requerimientos y deseos para la máquina.
- Paso 2: Se realiza el análisis de la competencia donde se determinará cómo se encuentra la máquina con respecto a las de la competencia, calificándolas de 1 al 5. (En este paso al ser un producto completamente innovador, no posee competencia por lo tanto se insertará el valor 1 para la máquina dedicada a realizar la extracción de polvo y pelusa del hardware en equipos informáticos y de igual manera en la variable de la competencia).

A partir de esto se debe colocar objetivos a cumplir al completar la máquina portable dedicada a realizar la extracción de polvo y pelusa del hardware en equipos informáticos con respecto a las demandas del cliente.

Luego de este análisis se obtendrá el índice de mejora considerando la relación descrita en (1):

$$\text{Índice de mejora} = \frac{\text{Objetivos}}{\text{Evaluación de la máquina}} \quad (1)$$

Se hace un gran énfasis en las demandas que se consideran puntos fuertes para la venta del producto o la máquina, este es el factor de venta. La importancia de cada demanda se la obtiene de los usuarios calificándola de igual manera con valores del 1 al 5. Finalmente se establece una ponderación para cada una de las demandas del cliente.

- Paso 3: Se traducirá las demandas del usuario en características técnicas de la máquina a las que se la denomina la voz del ingeniero.
- Paso 4: En este paso se obtiene las capacidades de cada característica técnica en satisfacer las necesidades del cliente. Estas son las correlaciones que existen entre las características técnicas con las demandas del cliente.
- Paso 5: Se realiza la evaluación de las características técnicas donde se determina la importancia de cada una considerando (2):

$$Incidencia = \sum Correlación \cdot ponderación \quad (2)$$

- Paso 6: En el techo de la casa de la calidad se encuentran los compromisos entre las características técnicas, estos se dividen en correlación positiva donde si se mejora una característica técnica, también lo hace la otra; correlación negativa donde si se mejora una característica técnica, se empeora otra, y sin correlación donde la variación de las características no influyen en la otra [21].

En la Figura 2.1 se observa una casa de la calidad aplicada a un caso de definición de características de un fogón de camping, se observa al lado izquierdo los requerimientos del usuario y en la parte superior se encuentran las características técnicas, en los compromisos se observa como al incrementar el tamaño del depósito tiene una mejora también en el tiempo a llama máxima, pero también se incrementa el nivel de ruido. En la parte inferior se encuentra como resultado que los puntos más importantes en el diseño del fogón de camping son:

- El tiempo a llama máxima.
- Número de recargas del depósito.

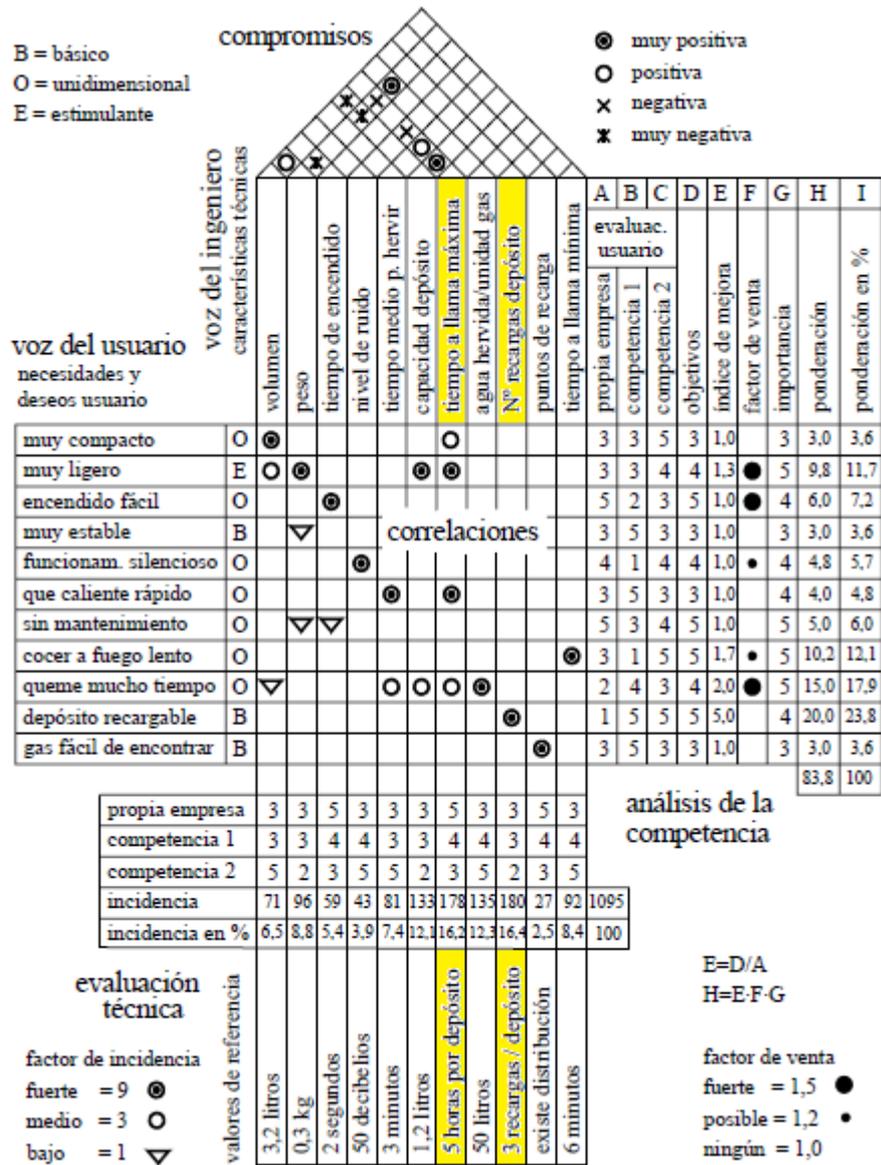


Figura 2.1. Ejemplo de Casa de la calidad adaptada de [21].

### 2.2.1. VOZ DEL USUARIO

La voz del usuario determina los requerimientos de la máquina, los cuales son:

- Ayudar a mantener limpio el ambiente en el cual se desarrollan los procesos de mantenimiento de hardware para prevenir enfermedades respiratorias y oculares en el personal de trabajo.

- Que funcione para al menos tres modelos de case.
- Utilizar un robot para la limpieza del equipo informático.
- Utilizar una pantalla, con el fin de poder visualizar el funcionamiento de la máquina.
- Optimizar los procesos de mantenimiento preventivo en hardware en equipos informáticos específicos.

### **2.2.2. VOZ DEL INGENIERO**

La voz del ingeniero presenta los datos técnicos de la máquina, los cuales son:

- Que la máquina sea cerrada.
- Tenga el menor peso.
- Tenga el menor tamaño.
- La adaptabilidad a diferentes modelos de case.
- Utilizar un robot tipo cartesiano porque es la mejor opción para poner dentro de una caja cerrada.
- Que sea fácil de operar.
- Tiempo empleado para la limpieza de cada case sea mínimo.

### **2.2.3. ANÁLISIS Y CONCLUSIÓN DE LA CASA DE LA CALIDAD**

La casa de la calidad aplicada a la determinación de características técnicas de la máquina para limpiar polvo y pelusa de equipos informáticos mostrada en la Figura 2.2.

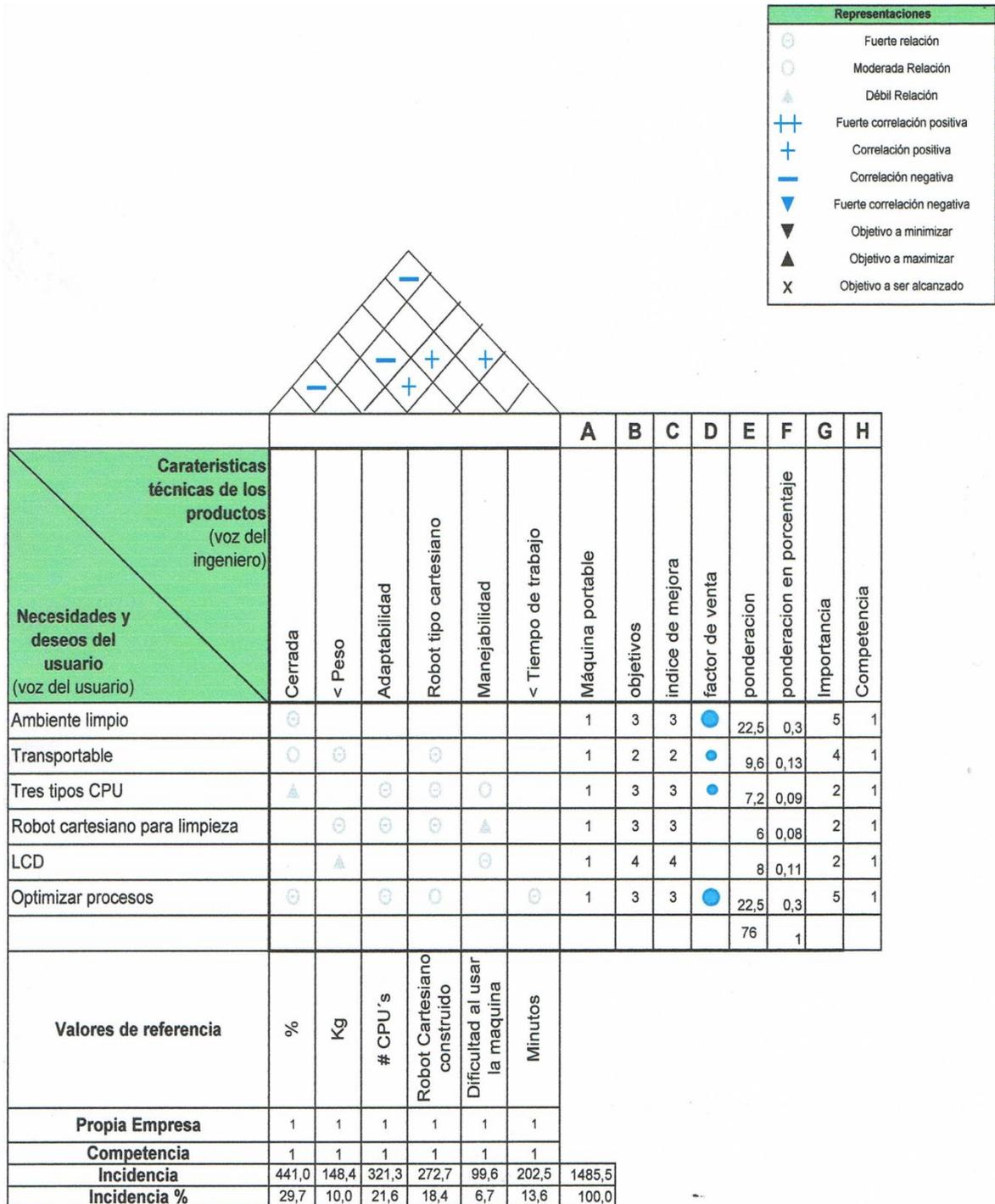


Figura 2.2. Casa de la calidad aplicada a la determinación de características técnicas del sistema.

Al realizar la casa de la calidad se obtienen los siguientes resultados para las características técnicas de la máquina como se observa en la Figura 2.2:

- Que la máquina sea cerrada —————> 29,7 %
- Peso —————> 10 %
- Adaptabilidad —————> 21,6 %
- Robot tipo cartesiano —————> 18,4 %
- Facilidad de operación —————> 6,7 %
- Tiempo de trabajo—————> 13,6 %

Los parámetros más importantes a tomar en cuenta en la realización de este prototipo son:

- El robot cartesiano.
- Que la máquina sea cerrada.
- Su adaptabilidad a diferentes modelos de case.

### **2.3. FORMULACIÓN DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS [21]**

En la Tabla 2.1 se muestra las especificaciones técnicas para el diseño de este proyecto, estas deben dividirse en dos grupos:

- Requerimientos (R): Especificaciones sin las cuales la máquina pierde su objetivo; y,
- Deseos (D): Especificaciones que no son completamente necesarias pero que mejorarían aspectos de esta.

El modelo a utilizar para la formulación de especificaciones técnicas contiene además de un encabezado con la empresa contratante, la denominación del producto y las fechas de inicio y última revisión, contiene las siguientes columnas:

- Concepto: Esta facilita la agrupación de las especificaciones para que así sea más fácil su ubicación.
- Fecha: determina la fecha en que la especificación fue acordada o modificada.
- Propone: Su funcionalidad es definir el responsable por cada especificación.
- Tipo: Se indica si la especificación es un deseo o un requerimiento, así como también a las especificaciones que se incluyan posteriormente las que se representarían como un nuevo requerimiento o nuevo deseo.

- Descripción: Explicación breve de la especificación.

Tabla 2.1. Formulación de especificaciones técnicas de la máquina.

<b>Empresa:</b> ZEITTECH CIA LTDA.		<b>Producto:</b> Diseño y construcción del prototipo dedicado a realizar una parte de los mantenimientos preventivos de hardware en equipos informáticos		<b>Fecha inicial:</b> 25/06/2014  <b>Última revisión:</b>
<b>Diseñador:</b> José Antonio Stadler Román				Página 1
<b>Especificaciones</b>				
Concepto	Fecha	Propone	Tipo	Descripción
Movimientos	30/06/2014	C	D	Debe tener un robot cartesiano que se mueva en los planos X, Y, Z.
Señales y control	15/07/2014	D	R	Control de máquina lista para el funcionamiento mediante sensores.
	25/06/2014	C	R	Señales de inicio ingresadas mediante pulsadores.
Seguridad y Ergonomía	25/06/2014	M	R	Debe ser estético no se deben ver engranes fuera de la máquina.
	05/07/2014	D	NR	No debe funcionar la máquina si la compuerta de entrada del case se encuentra abierta.
Energía	25/06/2014	C	D	Debe funcionar al conectarlo a 110 V.
Función	25/06/2014	C	R	Retirar el polvo de los case.
	25/06/2014	C	R	Absorber el polvo retirado del case para no permitir que se esparza en el ambiente de trabajo.

**Propone:** C = Cliente; M = Marketing; D = Diseño

**Tipo:** D= Deseo; R= Requerimiento; NR = Nuevo Requerimiento.

## 2.4. ANÁLISIS FUNCIONAL

El propósito del análisis funcional es el resolver los problemas dentro del diseño utilizando el concepto de funciones, las cuales son transformaciones entre flujos de entrada y de salida. Comenzando por la función global o nivel 0, el que muestra lo que debe realizar el producto que se diseñará, luego de este nivel se continúa con representaciones más precisas de lo que el producto debe realizar buscando su función principal, de las cuales se obtendrán los módulos funcionales.

### 2.4.1. FUNCIÓN GLOBAL DEL PROTOTIPO - NIVEL 0

El nivel 0, representa los flujos de entrada que obtiene el prototipo dedicado a realizar una parte de los mantenimientos preventivos de hardware en equipos informáticos y cuáles son sus flujos de salida los que se observan en la Figura 2.3.

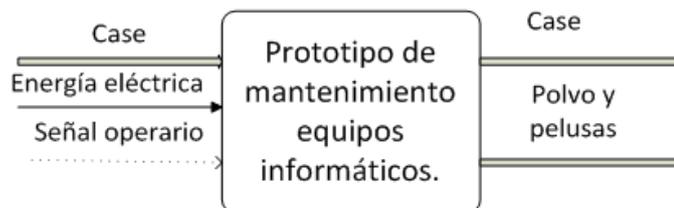


Figura 2.3. Descripción básica del proceso.

### 2.4.2. FUNCIÓN DETALLADA DEL PROTOTIPO - NIVEL 1

El nivel 1 representa de manera más detallada el proceso que se cumplirá desde que se ingresa el case desarmado a la máquina hasta la obtención del case completamente limpio el cual se observa en la Figura 2.4.

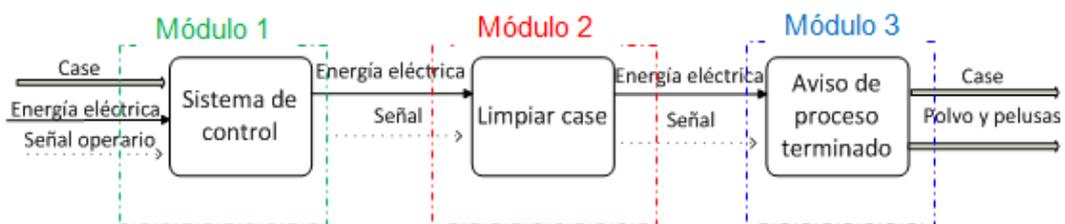


Figura 2.4. Descripción detallada del proceso.

### 2.4.3. FUNCIONES DETALLADAS DE CADA SISTEMA - NIVEL 2

El nivel 2 representa los procesos que cumplirán los sistemas que no han quedado completamente explicados en el nivel 1 como lo son:

- El sistema de control
- El proceso de limpieza del case

#### 2.4.3.1. Sistema de control

En la Figura 2.5 se presenta el diagrama de flujo que deberá seguir el módulo 1 o sistema de control.

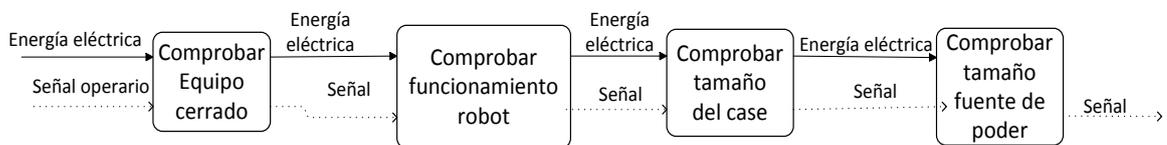


Figura 2.5. Sistema de control.

#### 2.4.3.2. Proceso de limpieza del case

En la Figura 2.6 se detalla el proceso de la limpieza del case ingresado.

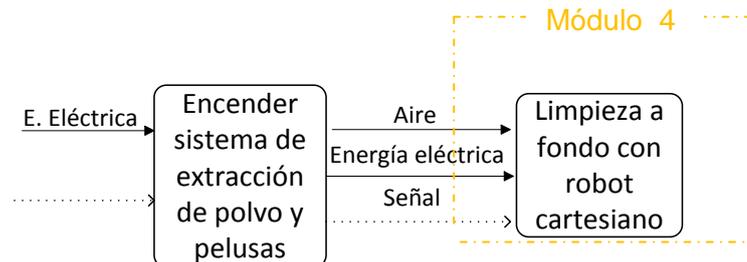


Figura 2.6. Proceso de limpieza del case.

### 2.4.4. FUNCIÓN DETALLADA DEL SISTEMA DE CONTROL - NIVEL 3

El nivel 3 representa el proceso a cumplir por el sistema de control del robot cartesiano, los subprocesos necesarios para su ejecución se observa en la Figura 2.7.

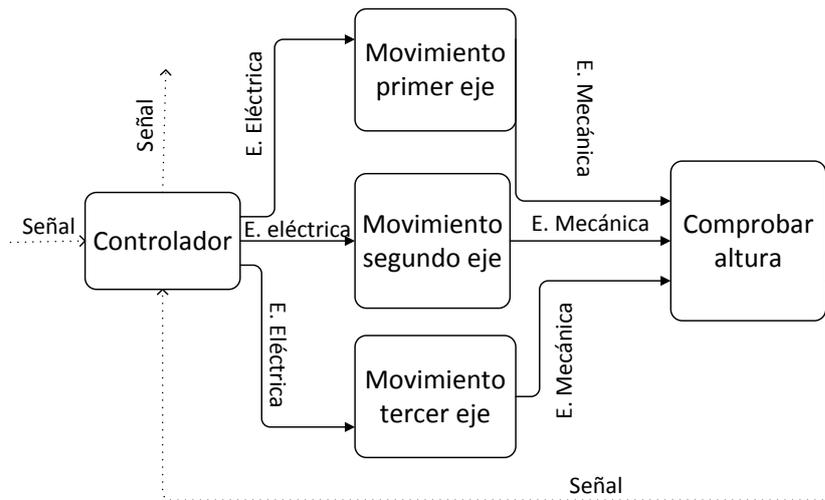


Figura 2.7. Proceso de control del robot cartesiano.

Este nivel describe con exactitud los procesos que la máquina deberá cumplir, por lo tanto se establece que no es necesario crear niveles adicionales.

## 2.5. DEFINICIÓN DE MÓDULOS FUNCIONALES

La modularidad consiste en definir varios bloques funcionales o constructivos, los cuales aportan en el diseño de la máquina en: reducción de costos, mantenimiento, facilidad de producción, entre otros.

Al analizar los diagramas funcionales, se establece cuatro conjuntos principales de funciones las cuales son:

- Módulo 1 —————> Sistema de control.
- Módulo 2 —————> Sistema de limpieza.
- Módulo 3 —————> Sistema de avisos al usuario.
- Módulo 4 —————> Robot Cartesiano.

### 2.5.1. SOLUCIONES PARA CADA MÓDULO

Se plantean soluciones para cada función dentro de los módulos, hasta obtener varias alternativas que se pueden ocupar en el diseño de la máquina permitiendo así determinar la más adecuada a desarrollar.

### **2.5.1.1. Módulo 1: Sistema de control**

Las funciones principales de este módulo son:

- Comprobar si el equipo está cerrado.
- Comprobar funcionamiento del robot cartesiano.
- Comprobar tamaño del case.
- Comprobar posición de la fuente de alimentación de energía.

A continuación se proponen soluciones para las funciones propuestas:

#### *2.5.1.1.1 Comprobar si el equipo está cerrado*

La comprobación de que la compuerta del prototipo se encuentre cerrada se realizará con un fin de carrera por su facilidad de instalación y manipulación.

#### *2.5.1.1.2 Comprobar funcionamiento del robot cartesiano*

En la comprobación del funcionamiento del robot cartesiano se necesita constatar el movimiento del mismo en cada eje. Por esto, para el movimiento de los dos ejes superiores X, Y se utilizarán fines de carrera en los dos extremos de cada eje.

En el eje Z se pone en consideración los siguientes sensores:

- Sensor ultrasónico
- Sensor infrarrojo de proximidad

Los cuales ayudan a medir la distancia entre el robot y el piso, o la superficie próxima en su trayectoria.

#### *2.5.1.1.3 Comprobar tamaño del case*

Para comprobar el tamaño del case se pone en consideración las siguientes opciones:

- Solicitar al usuario que ingrese el tamaño específico del case.
- Utilizar sensores de proximidad para medir el tamaño del case.
- Utilizar la señal del mismo sensor de proximidad propuesto en la subsección 2.5.1.1.2.

#### *2.5.1.1.4 Comprobar posición de la fuente de poder*

En la comprobación de la posición de la fuente de alimentación de energía del case la cual se puede encontrar en sus dos esquinas posteriores se propone las siguientes opciones:

- Pedir al usuario que ingrese las coordenadas de la posición de la fuente de alimentación de energía.
- Utilizar la señal del mismo sensor de proximidad propuesto en la subsección 2.5.1.1.2.

#### **2.5.1.2. Módulo 2: Sistema de limpieza**

Las funciones principales de este módulo son:

- Encender el sistema de extracción de polvo y pelusas.
- Limpieza a fondo.

##### *2.5.1.2.1 Sistema de extracción de polvo y pelusas*

Para la recolección del polvo y las pelusas se utilizará con un motor de aspiradora directo.

##### *2.5.1.2.2 Soplado*

Para el soplado se pone en consideración las siguientes soluciones:

- Sopladores.
- Compresores de aire.
- Ventiladores.

##### *2.5.1.2.3 Limpieza a fondo*

Se determina que el robot cartesiano es el más apto, por su espacio de trabajo el cual es en forma de un prisma rectangular como se encuentra explicado en la subsección 1.2.2.2.1 por esta razón es factible colocarlo dentro de una caja cerrada. Su aplicación se detalla en la subsección 2.5.1.4.

### 2.5.1.3. Módulo 3: Sistema de avisos al usuario

Las funciones principales de este módulo son:

- El aviso de los procedimientos a realizar por el prototipo al usuario.
- Aviso de fallos al usuario.
- Aviso de la finalización del proceso.

En este módulo se utiliza una pantalla de cristal líquido (LCD), en la cual se observa todos los procedimientos realizados por la máquina, o los fallos que pudieran existir.

### 2.5.1.4. Módulo 4: Robot cartesiano

Para el robot cartesiano se ha modelado una alternativa en Autodesk Inventor 2015 versión estudiantil que se observa en la Figura 2.8.



Figura 2.8. Modelado del robot cartesiano.

Las funciones principales de este módulo son:

- Movimientos de los tres ejes a utilizar para el robot cartesiano.
- Comprobar la altura del robot cartesiano hacia la superficie más cercana a este.

#### 2.5.1.4.1 Movimiento de los tres ejes cartesianos

El movimiento de los ejes X, Y, Z; detallados en la Figura 2.8 ya mencionada, se los analiza por separado.

#### *2.5.1.4.2 Movimiento en el eje X*

Se propone utilizar un motor paso a paso, por la facilidad de poder controlarlo con un sistema de lazo abierto y por la precisión que este tipo de motor brinda.

#### *2.5.1.4.3 Movimiento en el eje Y*

De la misma manera que en el eje X se propone utilizar un motor paso a paso.

#### *2.5.1.4.4 Movimiento en el eje Z*

Se pone en consideración la utilización de:

- Motor paso a paso.
- Motor de corriente continua.

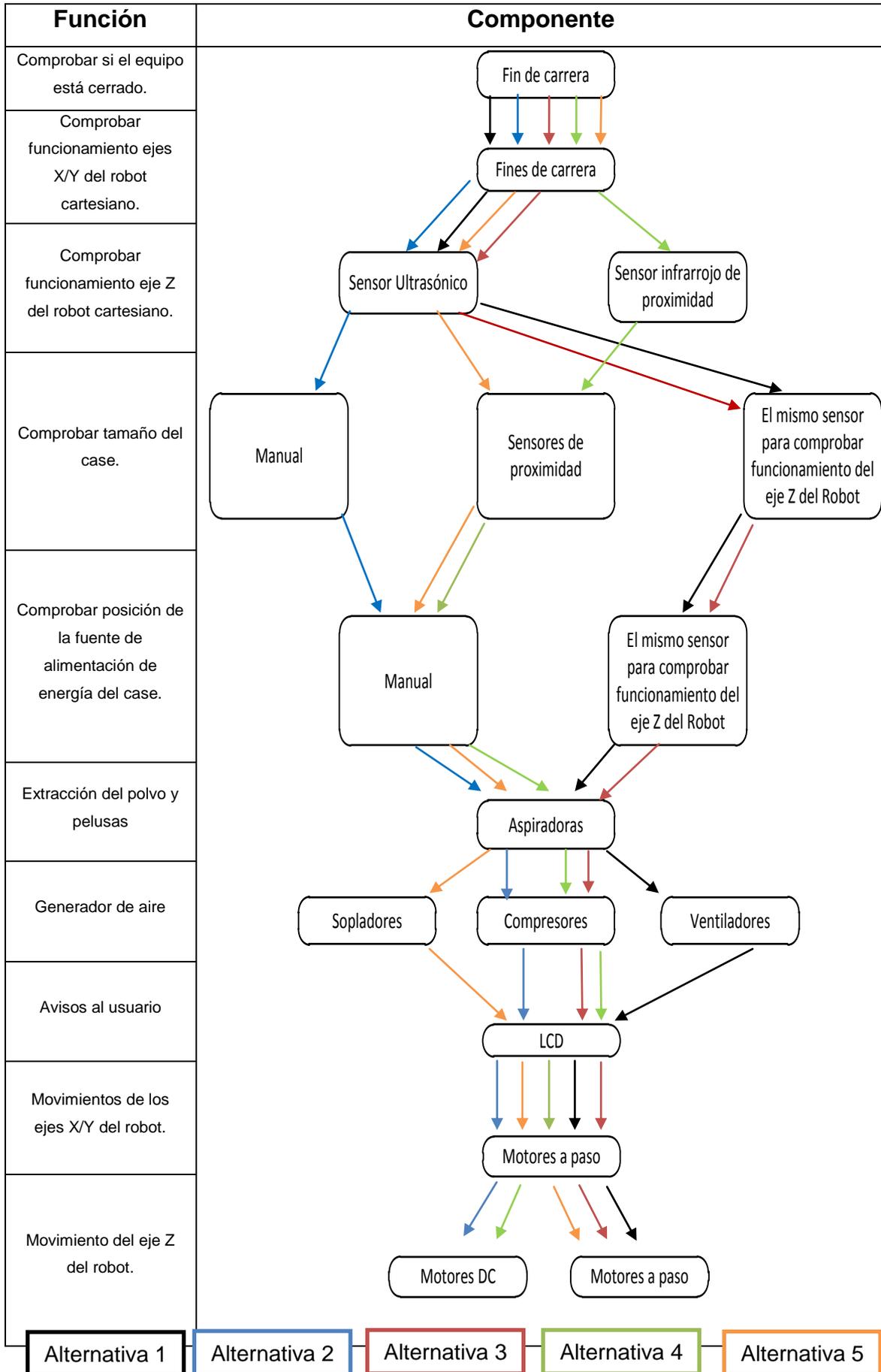
#### *2.5.1.4.5 Comprobar la altura del robot*

Utilizar la señal del mismo sensor de proximidad propuesto en la subsección 2.5.1.1.2.

### **2.5.2. MATRIZ MORFOLÓGICA**

En esta matriz se colocan las soluciones propuestas según la función requerida y los componentes disponibles, con el fin de encontrar las alternativas posibles para el diseño de la máquina, como se observa en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Matriz morfológica de las alternativas disponibles.



### 2.5.3. MATRIZ DE RESIDUOS PONDERADOS

Para la decisión entre las diferentes alternativas encontradas en la matriz morfológica se utilizará el método ordinal corregido de criterios ponderados, el cual permite obtener resultados globales y encontrar así la alternativa más apropiada para el diseño.

Esta se basa en tablas donde cada solución o criterio se compara con las restantes soluciones o criterios donde se les asignará los siguientes valores:

- Si la solución de la fila es mejor que la de las columnas se asignará un valor de 1.
- Si la solución de la fila es igual que la de las columnas se asignará un valor de 0,5.
- Si la solución de la fila es peor que la de las columnas se asignará un valor de 0.

Luego de esto se sumarán los valores asignados en cada fila y para que ninguna solución quede con un valor nulo se sumará 1 a los resultados, luego de esto se calcularán los valores ponderados para cada solución. [21]

A continuación se realiza el cambio a soluciones planteadas, las cuales son cada alternativa propuesta las cuales se encuentran detalladas en la Tabla 2.2.

- Solución A —→ Alternativa 1
- Solución B —→ Alternativa 2
- Solución C —→ Alternativa 3
- Solución D —→ Alternativa 4
- Solución E —→ Alternativa 5

#### 2.5.3.1. Análisis de soluciones para la máquina

En esta sección se realiza la evaluación de las alternativas detalladas en la Tabla 2.2, determinando la mejor solución a implementar.

### 2.5.3.1.1 Criterios a evaluar

Se evaluará dentro de los criterios seleccionados para la determinación de la mejor alternativa y se ponderará la importancia de cada criterio con respecto al otro; en los criterios a evaluar que se encuentran listados a continuación, se considera primordial: costo de la máquina bajo, peso de la estructura bajo y facilidad en el manejo del equipo.

Los criterios a evaluar en las tablas de ponderación son:

- Alta Precisión. —————→ A
- Bajo Peso. —————→ B
- Bajo Costo. —————→ C
- Manejabilidad —————→ D

En la Tabla 2.3 se realiza la evaluación de los criterios de ponderación y el peso de cada uno de estos.

Tabla 2.3. Evaluación criterios de ponderación de partes y piezas para la máquina.

	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A	1	0	0	0	1	0,1
B	1	1	0	0,5	2,5	0,25
C	1	1	1	1	4	0,4
D	1	0,5	0	1	2,5	0,25
					10	1

### 2.5.3.1.2 Evaluación de las soluciones con respecto a cada criterio

En esta sección se realiza la evaluación de las soluciones con respecto a cada criterio de evaluación.

En las Tablas 2.4, 2.5, 2.6 y 2.7 se observa el análisis con respecto a cada criterio de evaluación al utilizar las diferentes alternativas de combinación de soluciones detalladas en la Matriz Morfológica presentada en la subsección 2.5.2.



### 2.5.3.1.3 Análisis de las tablas de ponderación

Para obtener la tabla de conclusiones se multiplica la ponderación adquirida por cada criterio con la ponderación de cada solución, después se suma los resultados obtenidos y se escoge la alternativa con la respuesta más alta.

Como se observa en la Tabla 2.8 la solución C es la más adecuada para ser realizada ya que esta obtiene una ponderación del 30,17%.

Tabla 2.8. Análisis de resultados de las tablas de ponderación.

	Precisión	Peso	Costo	Manejabilidad	Suma
Solución A	0,027	0,067	0,08	0,075	0,248
Solución B	0,01	0,067	0,107	0,017	0,2
Solución C	0,027	0,067	0,133	0,075	<b>0,301</b>
Solución D	0,01	0,025	0,053	0,041	0,13
Solución E	0,027	0,025	0,027	0,041	0,12

Una vez establecida la mejor solución a diseñar se realiza un esquema de la máquina, Figura 2.9, en Autodesk Inventor 2015 versión estudiantil.

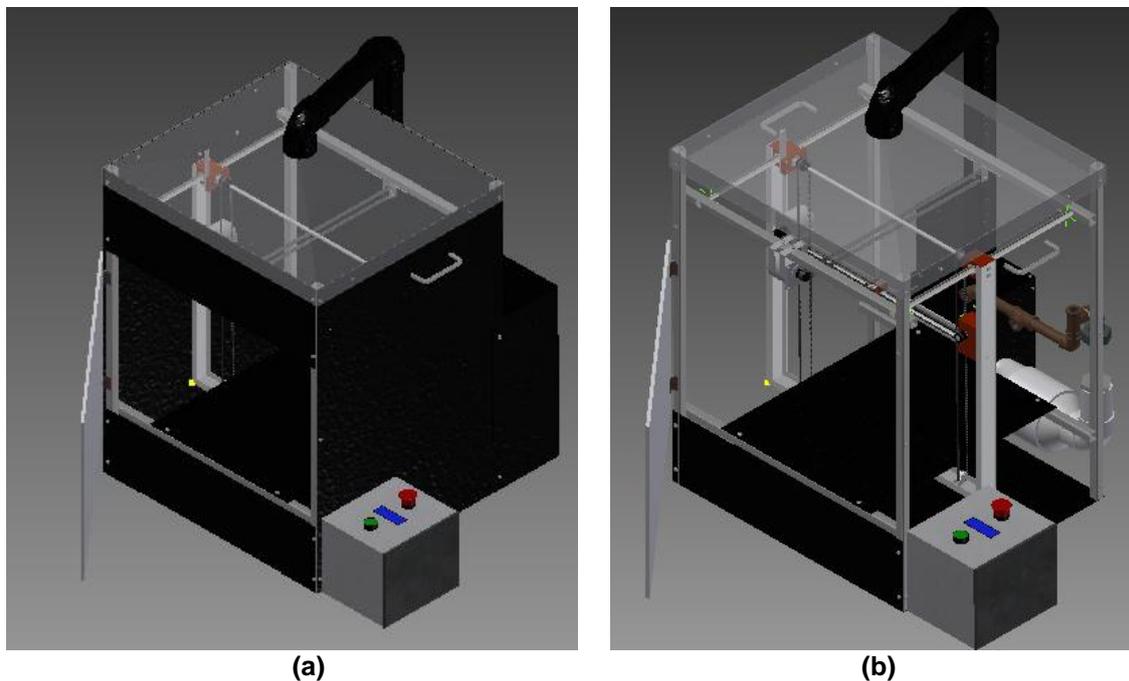


Figura 2.9. Modelado de la solución escogida: (a) Vista externa; (b) Vista de la parte interior.

### 2.5.3.2. Solución para el sistema de control

Una vez establecidas las tablas de ponderaciones de la máquina se continúa con la revisión de la mejor opción para el controlador a utilizar, tomando en cuenta que esta máquina es de oficina y no un equipo industrial. Se descarta el uso de un PLC<sup>8</sup>, por dos razones: la cantidad de puertos de entrada y salida necesarios (alrededor de 22 pines I/O para esta aplicación); y su costo. El costo de un PLC incrementa según la cantidad de pines con los que cuenta. Por ejemplo el costo aproximado de un PLC Logo de Siemens<sup>®</sup> de 8 entradas y 4 salidas es de 130 USD y cada módulo de expansión de entradas o salidas supera los 50 USD. Luego de analizar esta posibilidad se detalla otra solución que considera las placas de controladores, donde se encuentran las siguientes opciones:

- Solución A —————> Módulo Raspberry PI.
- Solución B —————> Módulo Arduino Mega.
- Solución C —————> Módulo de Texas Instruments Tiva C Series TM4C123G.

#### Módulo Raspberry PI

Placa de controlador que se observa en la Figura 2.10 desarrollada por la fundación Raspberry PI, basado en el microcontrolador Broadcom BCM2835 con procesador ARM hasta de 1 GHz de velocidad y 512 MB de memoria RAM.



Figura 2.10. Módulo Raspberry PI adaptada de [22].

<sup>8</sup> Controlador lógico programable o PLC es un dispositivo electrónico digital con el cual se controlan procesos en tiempo real.

### Módulo Arduino Mega

Placa de controlador que se observa en la Figura 2.11 basada en el microcontrolador ATmega1280 con 54 entradas y salidas digitales, de las cuales 14 pueden ser utilizadas como salidas PWM, 16 entradas analógicas y un cristal oscilador de 16 MHz.



Figura 2.11. Módulo Arduino Mega adaptada de [23].

### Módulo de Texas Instruments Tiva C Series TM4C123G

Placa de controlador que se observa en la Figura 2.12 basado en microcontroladores de Texas Instruments como el TM4C123GH6PM.



Figura 2.12. Módulo Texas Instruments Tiva C Series TM4C123G adaptada de [24].

Se procede a evaluar los siguientes criterios:

- A —————> Precio: el precio no debe ser muy elevado.
- B —————> Rapidez de programación: Debe ser fácil de controlar.
- C —————> Ayuda en línea: Fácil acceso a soporte técnico en línea.

En la Tabla 2.9 se evalúa los criterios de ponderación y los pesos de cada uno de estos.

Tabla 2.9. Evaluación de criterios de ponderación.

	A	B	C	$\Sigma+1$	Ponderación
A		0,5	1	2,5	0,42
B	0,5		1	2,5	0,42
C	0	0		1	0,16
				6	1

En la Tabla 2.10 se detalla la diferencia de precios de cada solución.

- Módulo Raspberry PI \$ 66
- Módulo Arduino Mega \$ 45
- Módulo Tiva C Series TM4C123G \$ 34

Tabla 2.10. Criterio de evaluación: Precio.

	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	0	1	0,167
Solución B	1		0	2	0,333
Solución C	1	1		3	0,5
				6	1

En la Tabla 2.11 se observa la rapidez en el desarrollo de la aplicación y su facilidad para cada solución, en el ANEXO A se encuentran ejemplos de códigos para el control de motores paso a paso.

Tabla 2.11. Criterio de evaluación: Rapidez de programación.

	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	1	2	0,333
Solución B	1		1	3	0,5
Solución C	0	0		1	0,167
				6	1

En la Tabla 2.12 se detalla la facilidad de encontrar soporte técnico en línea para cada solución propuesta. Las páginas de soporte analizadas para cada solución se encuentran en el ANEXO B.

Tabla 2.12. Criterio de evaluación: Soporte técnico en línea.

	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
Solución A		0	0,5	1,5	0,25
Solución B	1		1	3	0,5
Solución C	0,5	0		1,5	0,25
				6	1

En la Tabla 2.13 se observa la suma de cada criterio con su peso para cada solución propuesta y se resalta la opción a escoger, la cual se determina con el mayor puntaje obtenido en la ponderación.

Tabla 2.13. Análisis de las tablas de ponderación para la placa de control.

	Precio	Rapidez	Ayuda	Suma
Solución A	0,058	0,033	0,05	0,141
Solución B	0,117	0,05	0,1	<b>0,267</b>
Solución C	0,175	0,017	0,05	0,242

En la Tabla 2.14 se presenta un resumen de las características principales del controlador a utilizar.

Tabla 2.14. Resumen de características del módulo de Arduino Mega [23].

Descripción	Características
Microcontrolador	Atmega2560
Voltaje de operación	5 V
Voltaje de ingreso (Recomendado)	7 – 12 V
Voltaje de ingreso (Límites)	6 – 20 V
Pines digitales	54
Pines Analógicos	16
Corriente continua por Pin	40mA
Corriente continua en pin de 3.3V	50mA
Memoria Flash	256KB (donde 8 son ocupados por bootloader)
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Velocidad del reloj	16MHz
Largo	101,52mm
Ancho	53,3mm
Peso	36g

## CAPÍTULO III

### DISEÑO DE LA MÁQUINA

#### 3.1. DISEÑO MECÁNICO DEL ROBOT CARTESIANO

##### 3.1.1. SUBCONJUNTO EJE X

##### 3.1.1.1. Diámetro eje en X

Para el cálculo de los diámetros de los ejes en X, que soportarán todo el peso del sistema, se realiza las siguientes suposiciones:

- No trabajará con cargas variables.
- El peso de todo el sistema a soportar será de 3,5kg aproximadamente incluyendo el peso de estos ejes.

En la Figura 3.1 se presenta el diagrama de cuerpo libre de los ejes en X. Se supondrá una carga puntual, la cual se ubicará en el centro para el análisis. Al utilizar dos ejes cada uno soportará el 50% de la carga.

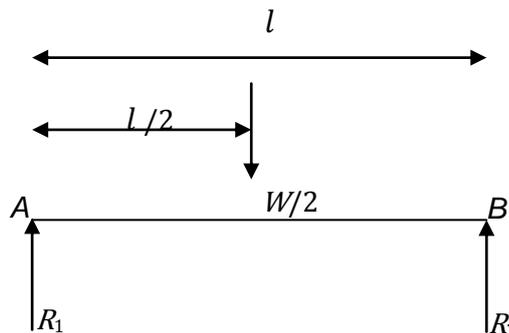


Figura 3.1. Diagrama de cuerpo libre de los ejes en X.

Datos:

- $W$  peso del sistema, kg;
- $l$  longitud del eje, m;
- $R_1$  y  $R_2$  reacciones de los soportes, kg.

Para determinar la deflexión máxima del eje se utiliza (3).

$$y_{m\acute{a}x} = -\frac{Fl^3}{192EI} \quad (3)$$

Donde:

- $y_{m\acute{a}x}$  deflexión máxima, m;
- $F$  carga, N;
- $I$  momento de inercia circular,  $m^4$ ;
- $E$  módulo de elasticidad del acero,  $N/m^2$ .

La carga se calcula utilizando (4):

$$F = \frac{W}{2} \cdot g \quad (4)$$

Donde:

- $g$  gravedad de la tierra,  $m/s^2$ .

Reemplazando los valores de  $W = 3,5\text{kg}$  y  $g = 9,81\text{m/s}^2$  en (4):

$$F = \frac{3,5 \text{ [kg]}}{2} \cdot 9,81 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$F = 17,17 \text{ [N]}$$

Según Cazco Silva y García Coral [25], una deflexión de 0,1mm es aceptable para la función de este eje. Por esta razón se estima que la deflexión sea máximo de 0,1mm = 0,0001m.

Se calcula el momento de inercia circular  $I$ , despejando de (3) y reemplazando los valores de  $F = 17,17\text{N}$ ,  $l = 0,45\text{m}$ ,  $E = 2,06 \times 10^{11}\text{N/m}^2$ .

$$I = - \frac{F \cdot l^3}{192 \cdot E \cdot y_{m\acute{a}x}}$$

$$I = - \frac{17,17\text{[N]} \cdot 0,45^3\text{[m}^3\text{]}}{192 \cdot 2,06 \times 10^{11} \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] \cdot (-0,0001\text{[m]})}$$

$$I = 3,956 \times 10^{-10}\text{[m}^4\text{]}$$

Aplicando la definición del momento de inercia circular (5) se determina el diámetro (mínimo) requerido para estos ejes.

$$I = \frac{\pi \cdot r^4}{4} \quad (5)$$

Donde:

- $r$  radio del eje, m.

Conociendo (6):

$$r = \frac{d}{2} \quad (6)$$

Se reemplaza (6) en (5):

$$\left(\frac{d}{2}\right)^4 = \frac{I \cdot 4}{\pi} \quad (7)$$

Despejando la variable  $d$  de (7) se obtiene:

$$d^4 = \frac{I \cdot 64}{\pi}$$

$$d^4 = \frac{3,956 \times 10^{-10} [\text{m}^4] \cdot 64}{\pi}$$

$$d = 0,009474 [\text{m}]$$

$$d = 9,47 [\text{mm}]$$

Debido a los rodamientos lineales disponibles en el mercado nacional, se utilizará ejes con un diámetro de 14mm.

Utilizando el diámetro de 14mm para los ejes se procede a realizar la simulación por el método de elementos finitos<sup>9</sup> en Autodesk Inventor 2015 versión estudiantil de la deflexión máxima con el fin de validar que esta sea menor a 0,1 mm (una deflexión aceptable para este tipo de movimiento [25]), y se obtiene el siguiente resultado mostrado en la Figura 3.2 donde se evidencia que el eje se flexiona un máximo de 0,008909mm.

---

<sup>9</sup> El método numérico de los elementos finitos se utiliza para la aproximación de soluciones a ecuaciones diferenciales, su desarrollo se obtiene mediante el uso de computadores por su complejidad de cálculo.

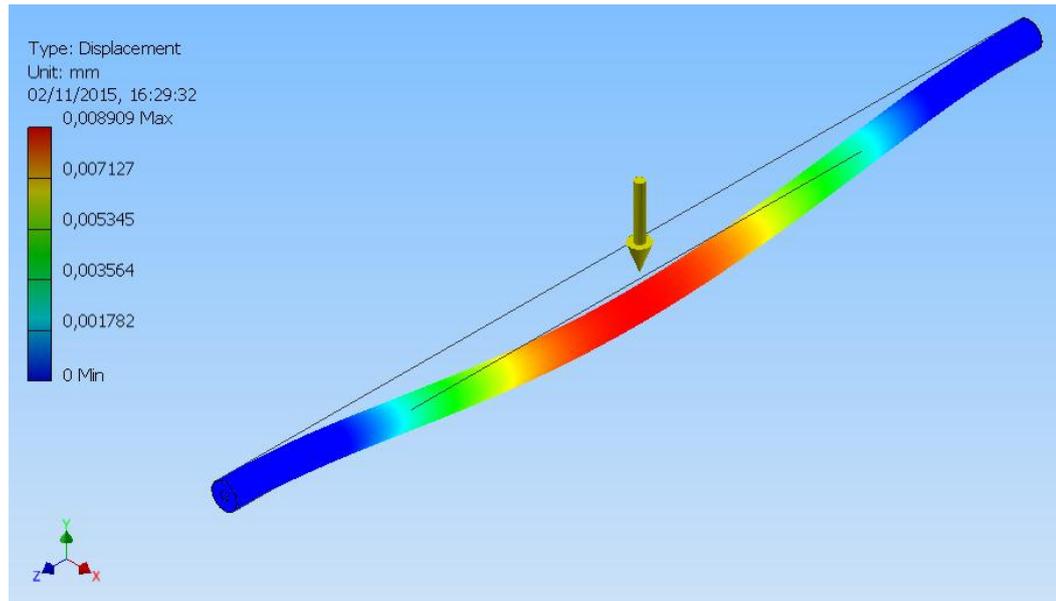


Figura 3.2. Deflexión eje X calculada por computador.

### 3.1.1.2. Estructura del robot cartesiano

En esta sección se realiza la simulación por el método de elementos finitos utilizando el software Autodesk Inventor 2015 versión estudiantil, con el peso que soportarán los ejes en X mencionado en la sección 3.1.1.1. En la Figura 3.3 se observa el resultado obtenido para el factor de seguridad de la estructura del robot cartesiano, que se basa en la relación entre el valor máximo del esfuerzo a flexión y el esfuerzo máximo permisible (8).

$$F_s = \frac{\sigma}{\sigma_{m\acute{a}x}} \quad (8)$$

Donde:

- $F_s$  factor de seguridad;
- $\sigma$  esfuerzo a flexión, MPa;
- $\sigma_{m\acute{a}x}$  esfuerzo a flexión máxima, MPa.

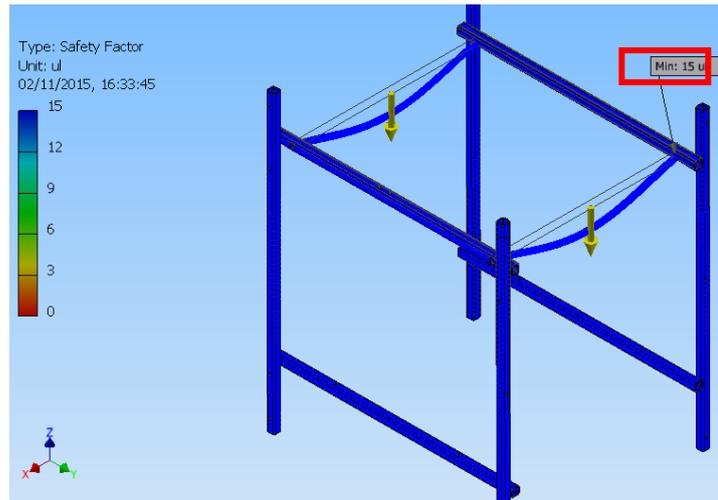


Figura 3.3. Factor de seguridad de la estructura del robot cartesiano obtenido por computador.

El factor de seguridad determina el margen extra con el que la estructura del robot cartesiano se encuentra construida, partiendo de las características mínimas requeridas, donde se demuestra que la máquina no tendrá ningún fallo.

### 3.1.1.3. Sistema de transmisión de potencia del eje X

Primero se calcula la fuerza necesaria en el movimiento del sistema en el eje X. Para esto se presenta el diagrama de cuerpo libre del carro en la Figura 3.4.

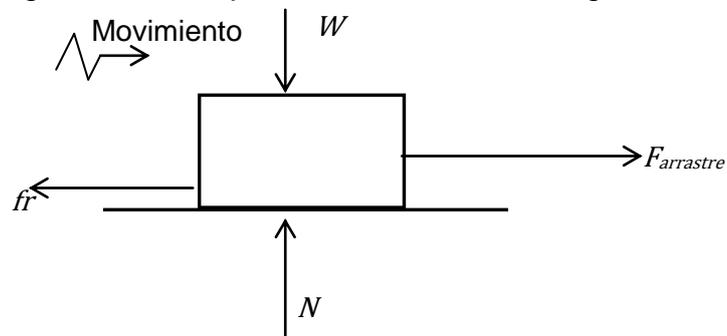


Figura 3.4. Diagrama de cuerpo libre carro del eje X.

Aplicando la ecuación de energía cinética (9):

$$U = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (9)$$

Donde:

- $m$  masa del carro X y lo que éste soporta, kg.
- $v$  velocidad del carro, m/s.
- $U$  energía cinética que consume, Nm.

La energía consumida para el movimiento del carro es (10):

$$U = (F_{arrastrre} - fr) \cdot dist \quad (10)$$

Donde:

- $F_{arrastrre}$  fuerza requerida para el movimiento, N.
- $fr$  fuerza de rozamiento entre eje y el rodamiento lineal, N.
- $dist$  distancia recorrida por el carro, m.

Igualando (9) y (10):

$$(F_{arrastrre} - fr) \cdot dist = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (11)$$

La velocidad de movimiento del robot cartesiano se obtiene utilizando la ecuación de velocidad (12) para conseguir que el movimiento total de cada uno de los ejes cartesianos se realice en 4 segundos aproximadamente.

$$v = \frac{dist}{t} \quad (12)$$

Donde:

- $v$  velocidad, m/s.
- $dist$  longitud del eje, m.
- $t$  tiempo, s.

$$v = \frac{0,45 \text{ [m]}}{4 \text{ [s]}}$$

$$v = 0,11 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Conociendo que la fricción es (13):

$$fr = \mu \cdot N \quad (13)$$

Donde:

- $\mu$  coeficiente de fricción.

Y que la normal es (14):

$$N = m \cdot g \quad (14)$$

Donde:

- $g$  gravedad de la tierra.

Reemplazando  $m = 2,5\text{kg}$  y  $g = 9,81\text{m/s}^2$  en (14):

$$N = 2,5[\text{kg}] \cdot 9,81 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$N = 24,53 \text{ [N]}$$

El coeficiente de fricción del rodamiento lineal se detalla en la Tabla 3.1:

Tabla 3.1. Serie y coeficiente de rozamiento rodamientos lineales [26].

Serie	Coficiente de rozamiento
KH	0,003 - 0,005
KN-B, KNO-B	0,001 – 0,0025
KS, KSO	0,001 – 0,0025
KB, KBS, KBO	0,001 – 0,0025

Reemplazando en (13):

$$fr = 0,005 \cdot 24,53 \text{ [N]}$$

$$fr = 0,1227 \text{ [N]}$$

Reemplazando en (11):

$$(F_{\text{arrastre}} - 0,1227)[\text{N}] \cdot 0,45 \text{ [m]} = \frac{1}{2} \cdot 2,5[\text{kg}] \cdot 0,11^2 \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right]$$

$$(F_{\text{arrastre}} - 0,1472)[\text{N}] \cdot 0,45[\text{m}] = 0,015[\text{Nm}]$$

$$F_{\text{arrastre}} = 0,181 \text{ [N]}$$

Para la transmisión de potencia desde los motores hacia el sistema se utilizan bandas de transmisión. Al usar banda (o cadena) como elemento transmisor se establece la representación del sistema de poleas como se muestra en la Figura 3.5:

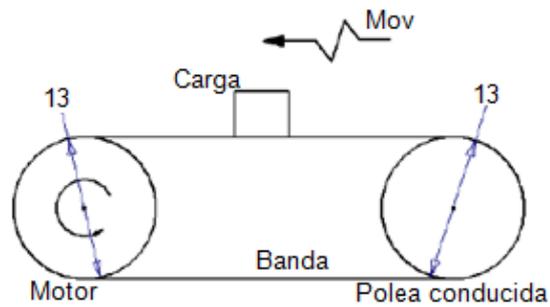


Figura 3.5. Representación del sistema de poleas adaptada de [25].

De donde se obtiene el diagrama de cuerpo libre de la polea del motor, representado en la Figura 3.6.

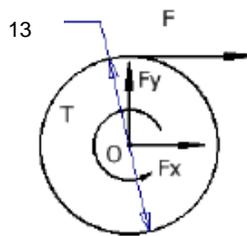


Figura 3.6. Diagrama de cuerpo libre de la polea del motor adaptada de [25].

Para determinar el torque requerido se hacen las siguientes suposiciones.

- El peso de la banda es despreciable.
- La inercia de las poleas es mínima.
- La banda no se desliza.

A partir de (15) se determina el torque:

$$\tau = F_{arrastre} \cdot r \quad (15)$$

Donde:

- $\tau$  Torque requerido por el motor, Nm;
- $F_{arrastre}$  Fuerza para mover el carro X, N;
- $r$  Es el radio de la polea a utilizar, m.

Reemplazando  $r = 12,8\text{mm}$  y  $F_{arrastre} = 0,181\text{N}$  en (15):

$$\tau = 0,181 \text{ [N]} \cdot 0,0128 \text{ [m]}$$

$$\tau = 2,31 \times 10^{-3} \text{ [Nm]}$$

Utilizando el catálogo de la corporación NMB<sup>10</sup>, el cual se puede encontrar en el ANEXO C, se determina que el motor adecuado para ser utilizado es el motor paso a paso híbrido 23LM-C343, considerando las siguientes características:

- Que tenga un ángulo de paso de los motores paso a paso híbridos para mayor precisión en el movimiento.
- Que tenga el mayor par de detención posible, según los datos del fabricante mostrados en la Figura 3.7.

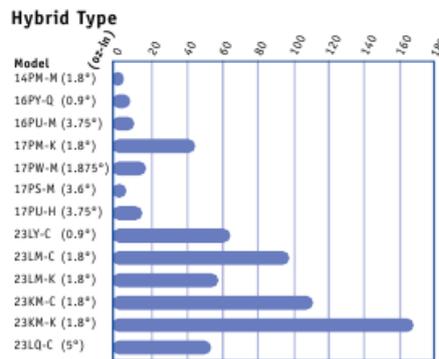


Figura 3.7. Par de detención para los motores paso a paso híbridos de la corporación NMB adaptada de [15].

Determinando así las siguientes posibilidades para el motor:

- 23LM-C
- 23KM-C
- 23KM-K

Después de la obtención de las 3 posibilidades se procede a observar los gráficos de relación torque/velocidad los cuales se encuentran en el ANEXO C de cada uno para determinar cuál es el más apropiado.

### 3.1.2. SUBCONJUNTO EJE Y

#### 3.1.2.1. Diámetro eje en Y

En este dimensionamiento se utiliza el mismo método que para el eje en X.

La carga sobre cada eje será de 0,864kg aproximadamente incluyendo el peso de los ejes. La longitud de estos será de 43cm. Se requiere que tenga una deflexión máxima de 0,1mm.

<sup>10</sup> Corporación NMB: Industria de Estados Unidos del grupo Minebea líder en el diseño y construcción de motores paso a paso.

Datos:

- $W = 0,864\text{kg}$
- $l = 0,43\text{m}$
- $y_{m\acute{a}x.} = 0,1\text{mm} = 0,0001\text{m}$

Reemplazando los valores de  $W = 0,864\text{kg}$  y  $g = 9,81\text{m/s}^2$  en (4):

$$F = \frac{0,864 \text{ [kg]}}{2} \cdot 9,81 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$F = 2,12 \text{ [N]}$$

Reemplazando los valores:  $F = 2,12\text{N}$ ,  $l = 0,43\text{m}$ ,  $E = 2,06 \times 10^{11}\text{N/m}^2$  en (3):

$$I = - \frac{2,12 \text{ [N]} \cdot 0,43^3 \text{ [m}^3\text{]}}{192 \cdot 2,06 \times 10^{11} \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] \cdot (-0,0001 \text{ [m]})}$$

$$I = 4,26 \times 10^{-11} \text{ [m}^4\text{]}$$

Reemplazando  $I$  en (7).

$$d^4 = \frac{4,26 \times 10^{-11} \text{ [m}^4\text{]} \cdot 64}{\pi}$$

$$d = 0,00542 \text{ [m]}$$

$$d = 5,42 \text{ [mm]}$$

Se utiliza un eje con un diámetro de 14mm debido a la disponibilidad en el mercado nacional y rodamientos lineales compatibles. Se procede a realizar la simulación por el método de elementos finitos en Autodesk Inventor 2015 versión estudiantil de la deflexión máxima con el cual se obtiene el siguiente resultado mostrado en la Figura 3.8, donde se observa que el eje se flexiona un máximo de 0,001211mm.

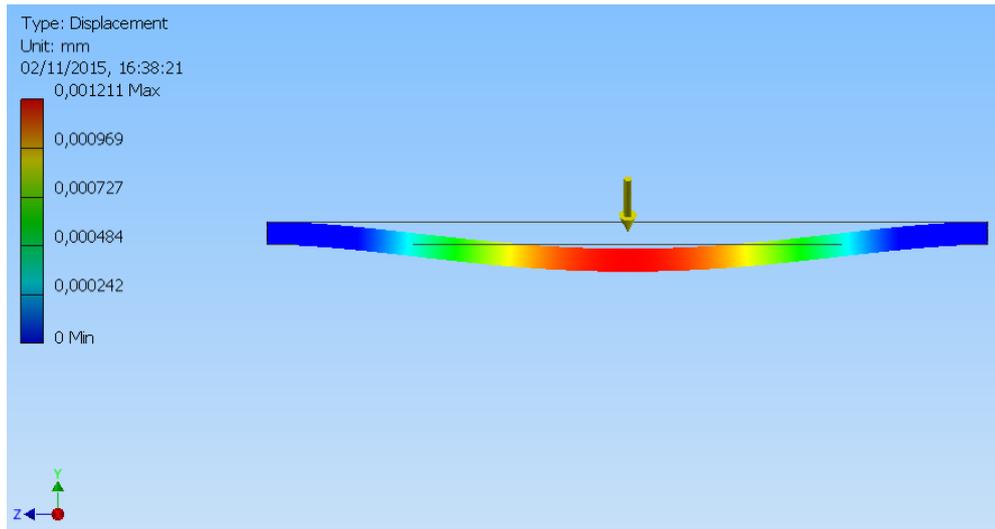


Figura 3.8. Deflexión eje Y calculada por computador.

### 3.1.2.2. Soporte para motor en el eje Y

En esta sección se realiza la simulación mediante elementos finitos del soporte eje Y, donde en la Figura 3.9 se observa el desplazamiento máximo que tendrá y en la Figura 3.10 el factor de seguridad obtenido en Autodesk Inventor 2015 versión estudiantil con un valor de 15, lo que significa que esta 15 veces por encima del valor del esfuerzo máximo permisible.

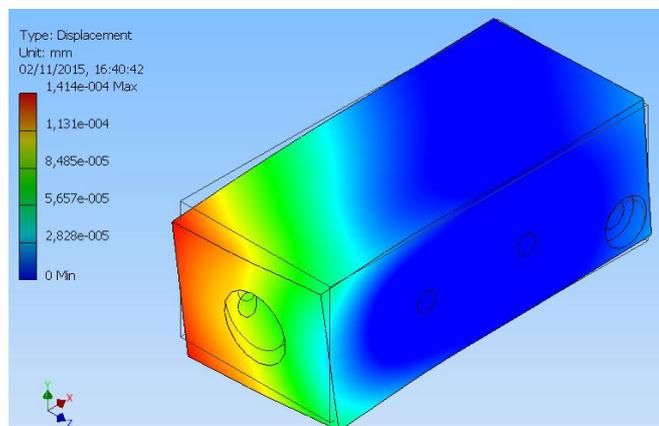


Figura 3.9. Desplazamiento en mm del soporte eje Y.

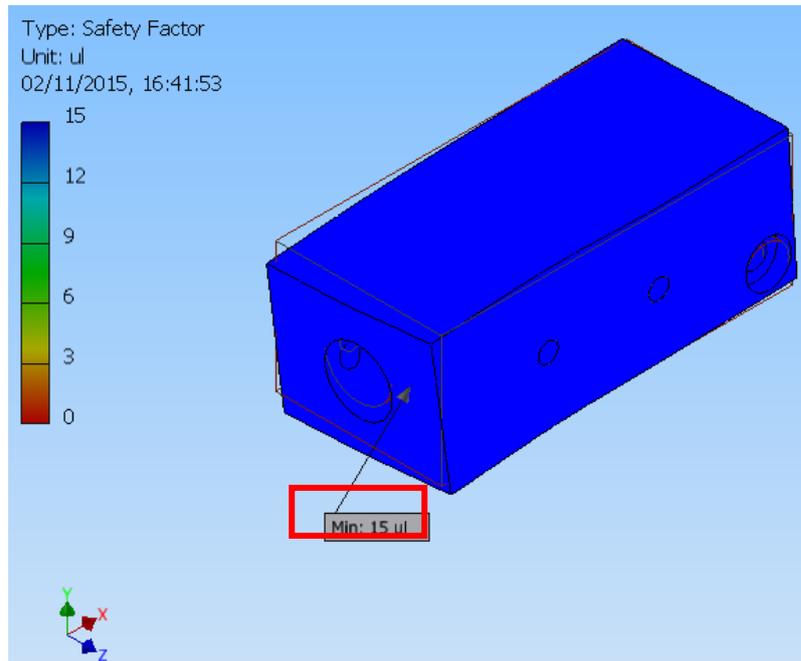


Figura 3.10. Factor de seguridad para el soporte eje Y.

### 3.1.2.3. Soporte para piñón en el eje Y

Se realiza la simulación en Autodesk Inventor 2015 versión estudiantil por el método de elementos finitos obteniendo el factor de seguridad y el desplazamiento máximo del soporte para el piñón y el eje en el movimiento en Y. En la Figura 3.11 se observa el desplazamiento máximo de esta pieza, mientras tanto en la Figura 3.12 se observa su factor de seguridad.

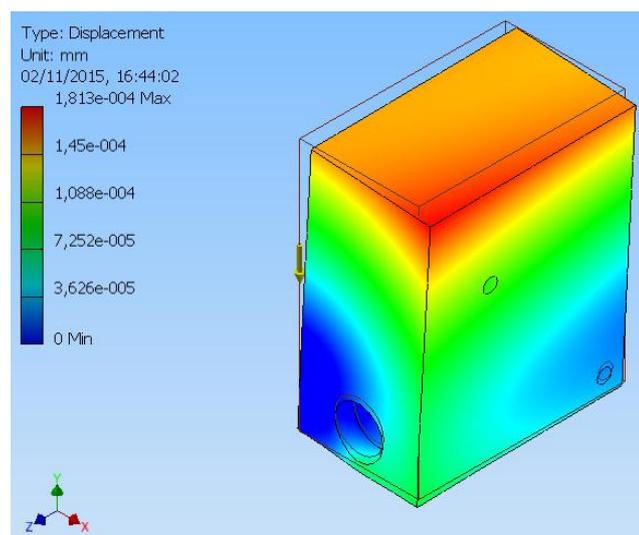


Figura 3.11. Desplazamiento en mm del soporte para piñón en el movimiento Y.

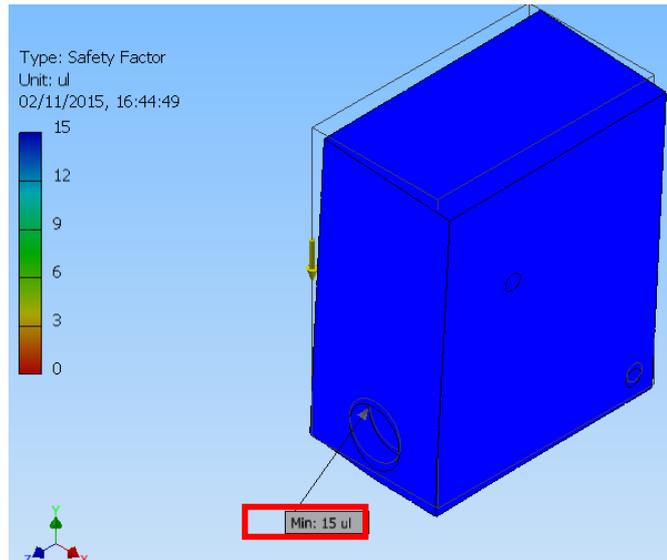


Figura 3.12. Factor de seguridad del soporte para piñón en el movimiento Y.

#### 3.1.2.4. Estructura movimiento del eje Y

Al finalizar con la simulación de partes y piezas se procede a la simulación de las mismas en conjunto en Autodesk Inventor 2015 versión estudiantil obteniendo así un factor de seguridad de 15 que se observa en la Figura 3.13.

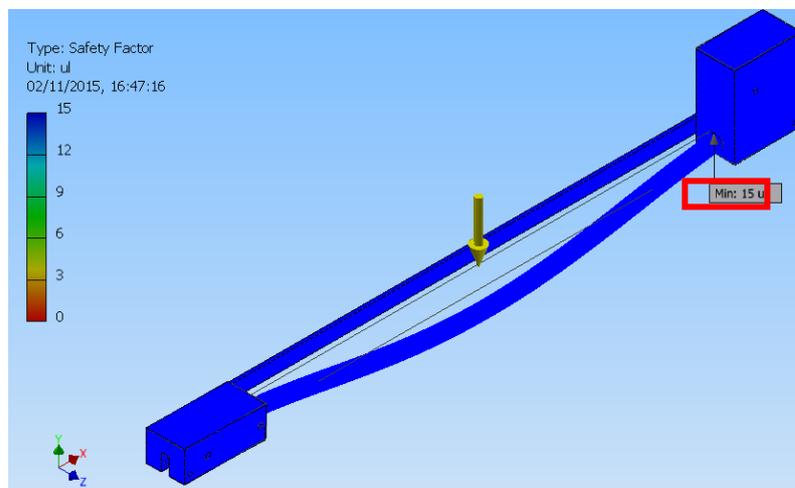


Figura 3.13. Factor de seguridad para el conjunto de piezas en el movimiento Y.

#### 3.1.2.5. Sistema de transmisión de potencia para el eje Y

Primero se procede a calcular la fuerza necesaria en el movimiento del sistema en el eje Y. Para esto se presenta el diagrama de cuerpo libre del carro que es el mismo del eje X el cual se observa en la Figura 3.4.

Reemplazando en (14) los valores de peso del carro  $Y = 0,15\text{kg}$  y la gravedad  $= 9,81\text{m/s}^2$ :

$$N = 0,15[\text{kg}] \cdot 9,81 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$N = 1,47 [\text{N}]$$

Calculando la fricción del rodamiento con los valores del  $\mu = 0,005$  y  $N = 1,47\text{N}$  en (13):

$$fr = 0,005 \cdot 1,47 [\text{N}]$$

$$fr = 0,00735 [\text{N}]$$

Reemplazando los valores de  $fr = 0,00735\text{N}$ ,  $dist = 0,43\text{m}$ ,  $W_{carroY} = 0,15\text{kg}$  y  $v = 0,11\text{m/s}$  en (11):

$$(F_{arrastre} - 0,00735)[\text{N}] \cdot 0,43 [\text{m}] = \frac{1}{2} \cdot 0,15[\text{kg}] \cdot 0,11^2 \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right]$$

$$(F_{arrastre} - 0,00735) [\text{N}] \cdot 0,43[\text{m}] = 0,000908[\text{Nm}]$$

$$F_{arrastre} = 0,009 [\text{N}]$$

Para la transmisión de potencia desde los motores hacia el sistema se utiliza bandas de transmisión. Se emplea los esquemas presentados en las Figuras 3.5 y 3.6.

Para determinar el torque requerido se establece las siguientes suposiciones:

- El peso de la banda es despreciable.
- La inercia de las poleas es mínima.
- La banda no se desliza.

Reemplazando los valores  $F_{arrastre} = 0,009\text{N}$  y  $r = 12,8\text{mm}$  en (15):

$$\tau = 0,009 [\text{N}] \cdot 0,00128[\text{m}]$$

$$\tau = 1,21 \times 10^{-5}[\text{Nm}]$$

De la misma manera que en el eje X se determina que el motor adecuado para Y es el motor paso a paso híbrido 23LM-C355.

### 3.1.3. SUBCONJUNTO EJE Z

#### 3.1.3.1. Diámetro eje en Z

Se utiliza el mismo método de análisis de los ejes en X, a partir del diagrama de cuerpo libre del sistema mostrado en la Figura 3.14.

La carga sobre el eje será de 1,5kg aproximadamente incluyendo el peso de los ejes. La longitud de este será de 46cm basándose en el modelado de la solución presentado en la subsección 2.5.3.1. Se requiere que tenga una deflexión máxima de 0,1mm.



Figura 3.14. Diagrama de cuerpo libre eje Z.

Reemplazando los valores de  $W = 1,5\text{kg}$  y  $g = 9,81\text{m/s}^2$  en (4):

$$F = \frac{1,5 \text{ [kg]} \cdot 9,81 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]}{2}$$

$$F = 7,36 \text{ [N]}$$

Reemplazando los valores:  $F = 7,36\text{N}$ ,  $l = 0,46\text{m}$ ,  $E = 2,06 \cdot 10^{11}\text{N/m}^2$  en (3):

$$I = - \frac{7,36 \text{ [N]} \cdot 0,46^3 \text{ [m}^3\text{]}}{192 \cdot 2,06 \times 10^{11} \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] \cdot (-0,0001 \text{ [m]})}$$

$$I = 1,81 \times 10^{-10} \text{ [m}^4\text{]}$$

Reemplazando  $I$  en (7).

$$d^4 = \frac{1,81 \times 10^{-10} \text{ [m}^4\text{]} \cdot 64}{\pi}$$

$$d = 0,007793 \text{ [m]}$$

$$d = 7,793 \text{ [mm]}$$

Se utiliza un eje con un diámetro de 8mm. Se realiza la simulación por el método de elementos finitos en Autodesk Inventor 2015 versión estudiantil de la deflexión máxima con la cual se obtiene el siguiente resultado mostrado en la Figura 3.15, donde se observa que el eje se flexiona un máximo de 0,004321mm.

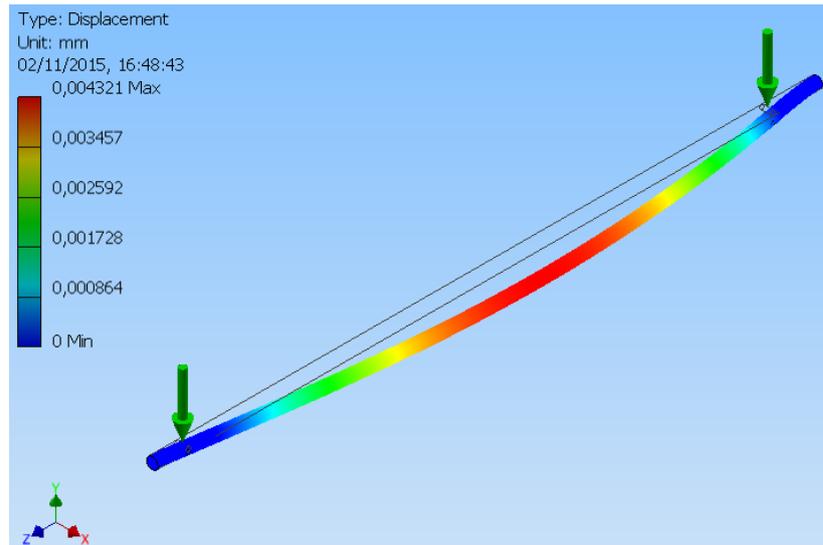


Figura 3.15. Deflexión eje Z calculada por computador.

### 3.1.3.2. Soporte para motor en el eje Z

Se realiza la simulación en Autodesk Inventor 2015 versión estudiantil obteniendo el factor de seguridad de 15 del soporte para el motor en el movimiento en Z el que se observa en la Figura 3.16.

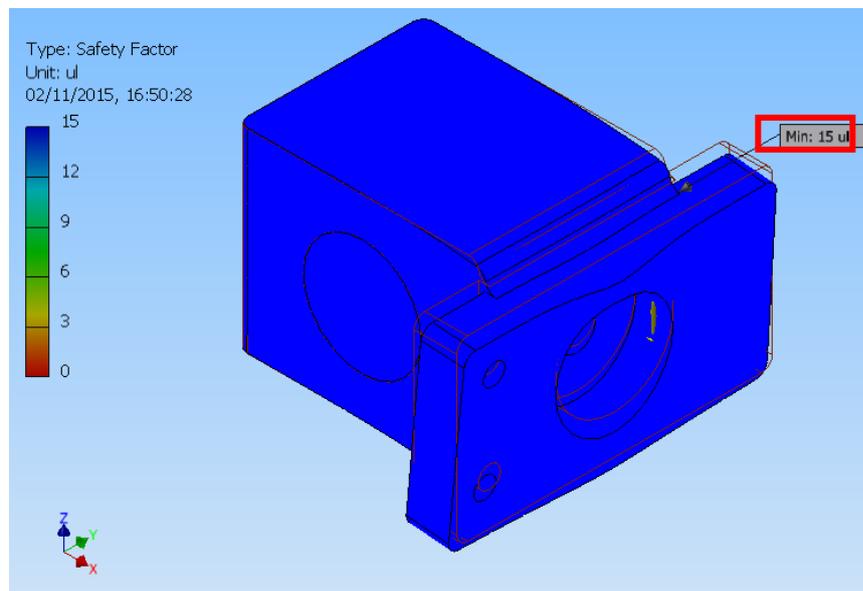


Figura 3.16. Factor de seguridad para el soporte del motor en el movimiento Z.

### 3.1.3.3. Soporte derecho en el eje Z

Se realiza la simulación por elementos finitos en Autodesk Inventor 2015 versión estudiantil obteniendo el factor de seguridad de 15 del soporte derecho en el movimiento en Z el que se observa en la Figura 3.17.

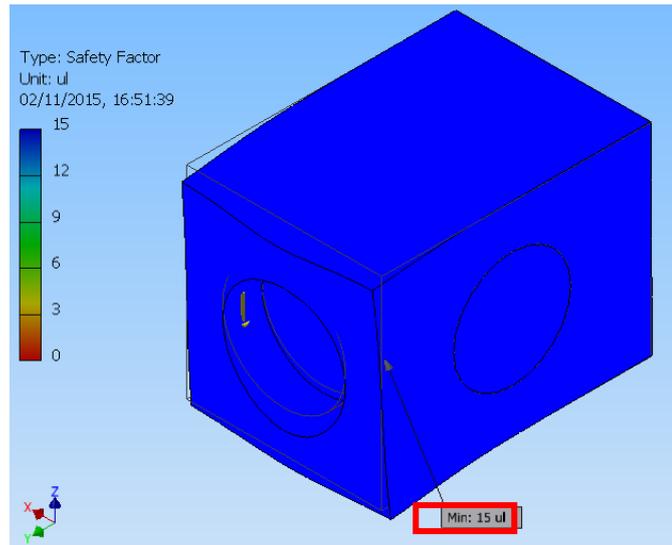


Figura 3.17. Factor de seguridad para el soporte derecho en el movimiento Z.

### 3.1.3.4. Estructura movimiento del eje Z

En esta sección se encuentra la simulación de la estructura del movimiento en eje Z con las partes y piezas para el movimiento en Z calculadas anteriormente. En la Figura 3.18 se observa el factor de seguridad obtenido en Autodesk Inventor 2015 versión estudiantil para esta estructura determinando que esta no presentará ningún fallo.



Figura 3.18. Factor de seguridad de la estructura del movimiento en Z.

### 3.1.3.5. Sistema de transmisión de potencia del eje Z

Para esta sección se presenta el diagrama de cuerpo libre del carro en la Figura 3.19.

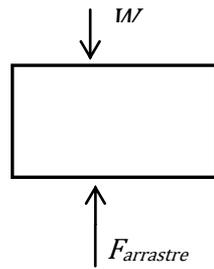


Figura 3.19. Diagrama de cuerpo libre carro del eje Z.

Considerando que la masa del carro en el eje Z es de 1,5 kg, el peso resultante es de 7,36 N, por lo tanto la fuerza aplicada debe superar los 7,36 N para lograr que el eje Z suba.

Con este dato se calcula el torque necesario para el movimiento del carro, comenzando por el torque generado por el carro del movimiento en Z hacia el eje de 8mm establecido en la sección 3.1.3.1, con los diámetros de los piñones que son de 17,3 mm los que se disponen en el mercado para este eje. En la Figura 3.20 se observa el diagrama de cuerpo libre de la polea con banda del movimiento en Z.

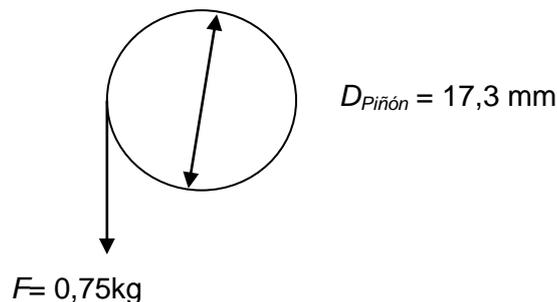


Figura 3.20. Diagrama de cuerpo libre polea con banda para mover el eje Z.

Reemplazando en (15):

$$\tau = 7,36[\text{N}] \cdot 0,00865[\text{m}]$$

$$\tau = 0,06366 [\text{Nm}]$$

Como son dos poleas las que soportan el peso del carro eje Z se duplica su valor para obtener el torque necesario para que el eje de 8mm gire y el eje Z suba, este sería de  $\tau = 0,1273\text{Nm}$ . El diámetro de la polea para que el motor realice el movimiento del eje Z es de 21 mm.

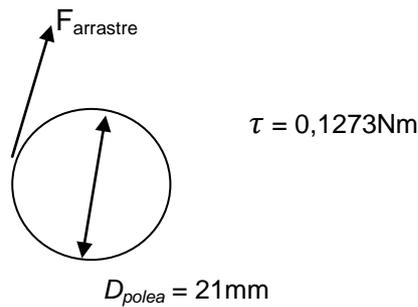


Figura 3.21. Diagrama de cuerpo libre polea con banda hacia reductora motor.

La fuerza necesaria para crear este torque se calcula a partir de (15):

$$0,1273 = 0,0105 \cdot F_{arraastre}$$

$$F_{arraastre} = 12,12 \text{ [N]}$$

La fuerza que deberá ejercer el motor para realizar el movimiento del eje Z es de

$$F_{arraastre} = 12,12 \text{ N.}$$

### 3.2. SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE POLVO Y PELUSAS

Se realiza el cálculo de las áreas de ingreso de aire hacia la máquina mediante la obtención del área circular en (16).

$$A = \frac{\pi \cdot d_{agujero}^2}{4} \quad (16)$$

- $A$                     área del círculo,  $m^2$ ;
- $d_{agujero}$             diámetro de los agujeros de ingreso de aire, m.

$$A = \frac{\pi \cdot 0,015^2 [m^2]}{4}$$

$$A = 0,0002 [m^2]$$

Al ser 5 agujeros de ingreso de aire se obtiene un área total de  $0,001 \text{ m}^2$ .

En la Figura 3.22 se muestra el flujo de aire dentro de la máquina con sus entradas de aire.

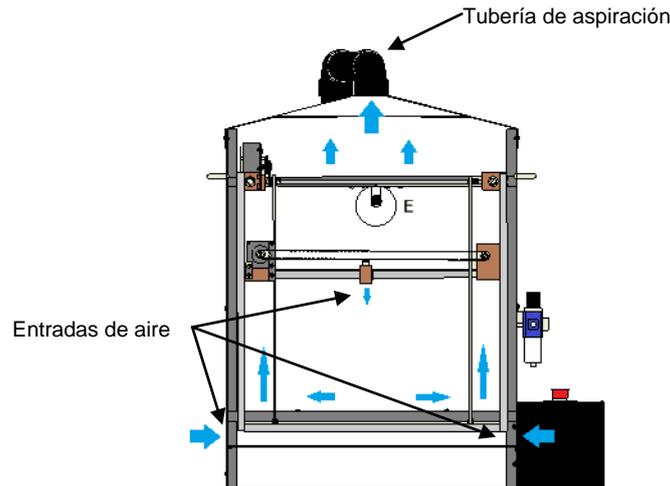


Figura 3.22 Flujo de aire dentro de la máquina

Para que el sistema de extracción sea efectivo se asegura una velocidad mínima de captación de 20 m/s o 1200m/min, (esta es la velocidad del aire para arrastrar el polvo en el punto más distante de la cabina [27]).

Mediante la fórmula de caudal (17), se obtiene la cantidad de aire que ingresa por las cinco entradas de aire.

$$Q = v_c \cdot A_{total} \quad (17)$$

Donde:

- $Q$  caudal de aire
- $v_c$  velocidad de captación

Reemplazando los valores de área total y velocidad de captación en (17).

$$Q = 1200 \left[ \frac{\text{m}}{\text{min}} \right] \cdot 0,001[\text{m}^2]$$

$$Q = 1,2 \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right]$$

El caudal de aire que ingresa a la máquina mediante la tubería de soplado es 0,01 m<sup>3</sup>/min.

Al caudal de aire que ingresa por las entradas de aire se le suma el caudal de aire de la tubería de soplado obteniendo un caudal de 1,21 m<sup>3</sup>/min.

Determinando así que se necesita un extractor de aire con un flujo de aire mayor a 1,21 m<sup>3</sup>/min.

### 3.3. DIMENSIONAMIENTO DEL CONTROL ELECTRÓNICO

#### 3.3.1. ESQUEMA DE TODOS LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS

En la Figura 3.23 se muestra un esquema de los componentes electrónicos a utilizar para el funcionamiento del prototipo.

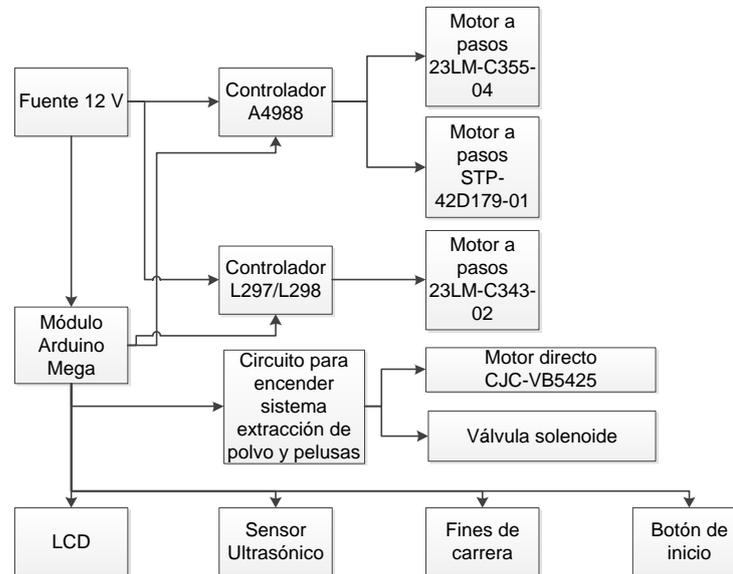


Figura 3.23. Diagrama esquemático de componentes electrónicos.

#### 3.3.2. DIMENSIONAMIENTO DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA

Para el dimensionamiento de la fuente de alimentación de energía se realiza el diagrama mostrado en la Figura 3.24 donde se observa el consumo de cada elemento conectado a la misma.

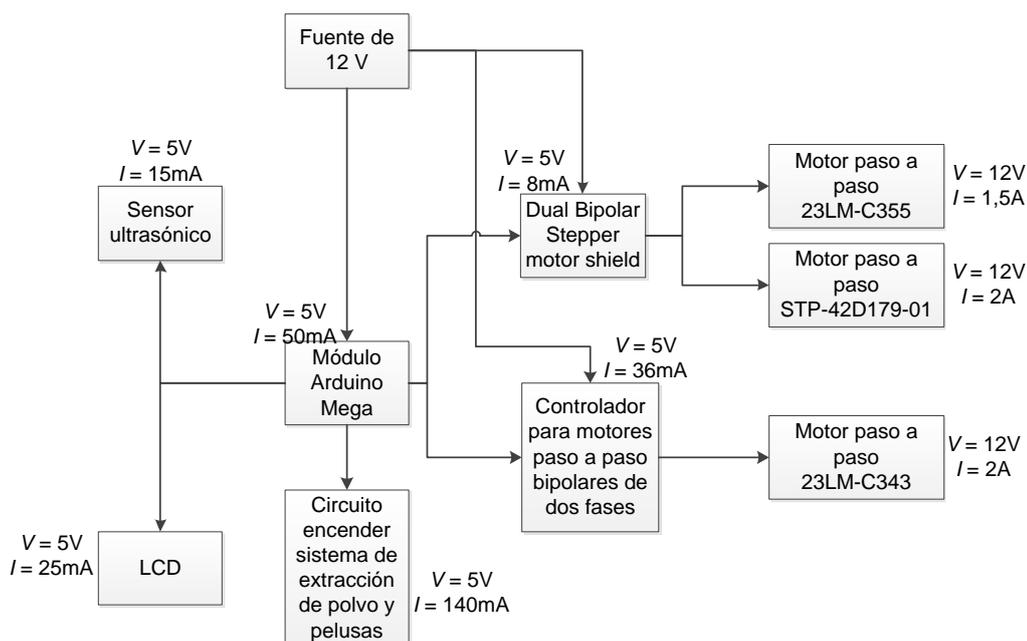


Figura 3.24. Diagrama de componentes del sistema.

Para el dimensionamiento se realiza el cálculo de las potencias consumidas por cada elemento detalladas en la Tabla 3.2, conociendo (18).

$$P = V \cdot I \quad (18)$$

Tabla 3.2 Detalle de potencias consumidas por cada elemento conectado a la fuente de alimentación de energía.

Elemento	Parámetros	Potencia
LCD	Voltaje = 5V Corriente = 25mA	0,125 W
Sensor ultrasónico HC-SR04	Voltaje = 5V Corriente = 15mA	0,075 W
Módulo Arduino Mega	Voltaje = 5V Corriente = 50mA	0,25 W
Circuito para encender sistema de extracción de polvo y pelusas	Voltaje = 5V Corriente = 140mA	0,7 W
Controlador para motores paso a paso bipolares de dos fases	Voltaje = 5V Corriente = 36mA	0,18 W
Placa para dos motores paso a paso bipolares	Voltaje = 5V Corriente = 8mA	0,04 W
Motor paso a paso 23LM-C355	Voltaje = 12V Corriente = 1,5A	18 W
Motor paso a paso STP-42D179-01	Voltaje = 12V Corriente = 2A	24 W
Motor paso a paso 23LM-C343	Voltaje = 12V Corriente = 2A	24 W

Se suman las potencias de cada elemento y se obtiene que la potencia máxima consumida por todos los elementos es de 67,37 W, se establece que la fuente sea de 12 V con lo que se utiliza (18) para determinar la corriente que deberá entregar la fuente de alimentación de energía.

$$I = \frac{67,37 \text{ [W]}}{12 \text{ [V]}}$$

$$I = 5,61 \text{ [A]}$$

Por fiabilidad de elementos y disponibilidad en el mercado se utiliza una fuente conmutada de 110 VAC a 12 VDC-10 A.

### 3.3.3. MOTORES PASO A PASO A UTILIZAR

En este proyecto se utilizan tres motores paso a paso:

- El 23LM-C355-04 para el movimiento del eje Y.
- El 23LM-C343-02 para el movimiento del eje X.

- El STP-42D179-01 para el movimiento del eje Z.

En donde los motores 23LM-C355-04 y 23LM-C343-02 tienen las siguientes características:

- Ángulo de paso =  $1,8^\circ$
- Precisión en el ángulo de paso =  $\pm 5\%$
- Temperatura máxima =  $80^\circ \text{C Max.}$
- Rango de temperatura ambiente =  $-20^\circ - 50^\circ \text{C}$

En la Figura 3.25 se indica las especificaciones por modelo de los motores paso a paso de la corporación NMB donde se encuentran el 23LM-C355-04 y el 23LM-C343-02.

MODEL SPECIFICATIONS								
Model Number	Rated Voltage V	Rated Current/ Phase A	Winding Resistance/ Phase	Holding Torque g-cm	Inductance mH	Rotor Inertia g-cm <sup>2</sup>	Detent Torque g-cm	Weight g
23LM-C250V	3.00	1.50	2.00	3,200	2.5	55.0	500	360
23LM-C213V	2.20	2.00	1.10	3,200	1.3	55.0	500	360
→ 23LM-C343V	3.30	1.50	2.20	4,300	3.5	110.0	550	450
→ 23LM-C355V	2.50	2.00	1.25	4,300	2.3	110.0	550	450
23LM-C047V	4.70	1.50	3.10	5,200	6.1	160.0	600	540
23LM-C055V	3.40	2.00	1.70	5,200	3.5	160.0	600	540

Figura 3.25. Especificaciones por modelo de los motores paso a paso de la corporación NMB adaptada de [15].

Por otro lado el motor STP-42D179-01 cuenta con las características siguientes:

- Ángulo de paso =  $1,8^\circ$
- Precisión en el ángulo de paso =  $\pm 10\%$
- Resistencia =  $4.5 \Omega$
- Caja reductora =  $1/3$

### 3.3.4. CONTROLADORES DE MOTORES PASO A PASO

Se utiliza dos tipos de controladores para los tres motores paso a paso, estos fueron seleccionados basándose en la facilidad de control, la cantidad de pines necesarios para su manejo, su corriente máxima de control y su disponibilidad en el mercado. Del análisis se determina el uso de:

- Una placa para dos motores paso a paso bipolares (Dual Bipolar Stepper Motor Shield).
- Un circuito de control para motores paso a paso bipolares de dos fases.

### 3.3.4.1. Placa para dos motores paso a paso bipolares

Se utiliza este controlador de motores paso a paso para los movimientos de los ejes Y, Z el cual necesita solo dos entradas para el control del motor, estos son:

- Los pasos en donde cada pulso enviado es un paso para el motor.
- Entrada digital donde se controla el sentido de giro del motor.

Este controlador cuenta con una protección de sobre corriente de 2,1 A como se detalla en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Características eléctricas controlador Dual Bipolar Stepper Motor Shield [28].

CARACTERÍSTICAS	MIN.	MÁX.	UNIDADES
Voltaje al motor	8,0	35,0	V
Voltaje de control	3,0	5,5	V
Protección de sobre corriente	2,1	-	A
Protección de sobre temperatura	-	165	°C

El controlador cuenta con dos interruptores DIP que se encuentran conectados a los tres pines que posee el A4988: MS1, MS2 y MS3 se manejan como entradas lógicas y controlan la resolución de los micro pasos con los que el circuito integrado A4988 enviará las señales de movimiento al motor, los niveles lógicos de estos pines se detallan en la Tabla 3.4:

Tabla 3.4. Configuración de pines para el control de los micro pasos mediante el controlador A4988 [29].

MS1	MS2	MS3	MICRO PASOS
0	0	0	Paso completo
1	0	0	Medio paso
0	1	0	1/4 de paso
1	1	0	1/8 de paso
1	1	1	1/16 de paso

En la Figura 3.26 se muestra la configuración típica para el controlador A4988:

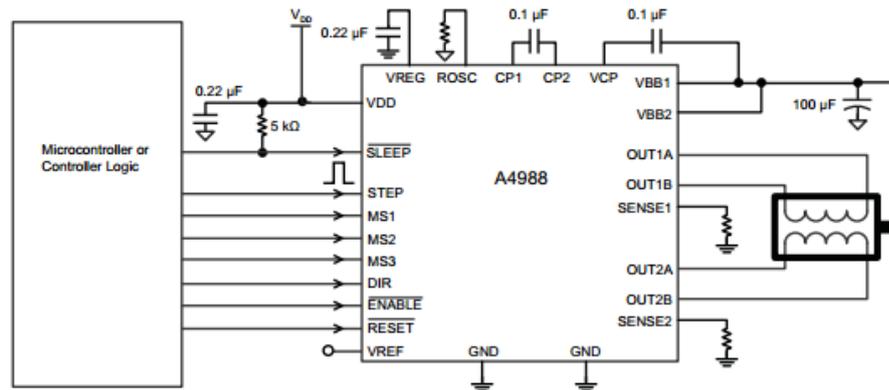


Figura 3.26. Aplicación recomendada por el fabricante para el controlador A4988 adaptada de [28].

### 3.3.4.2. Circuito de control para motores paso a paso bipolares de dos fases

El circuito controlador para el motor paso a paso bipolar del eje X utilizado es la combinación del integrado L297 (controlador de motores paso a paso), con el integrado L298 (Puente H comercial), mostrado en la Figura 3.27, el integrado L298 contiene dos puentes H los que permiten controlar los motores paso a paso bipolares y el L297 es el integrado que genera la codificación de señales necesarias para controlar los motores, esta combinación permite manejar corrientes de hasta 2A en los bobinados del motor.

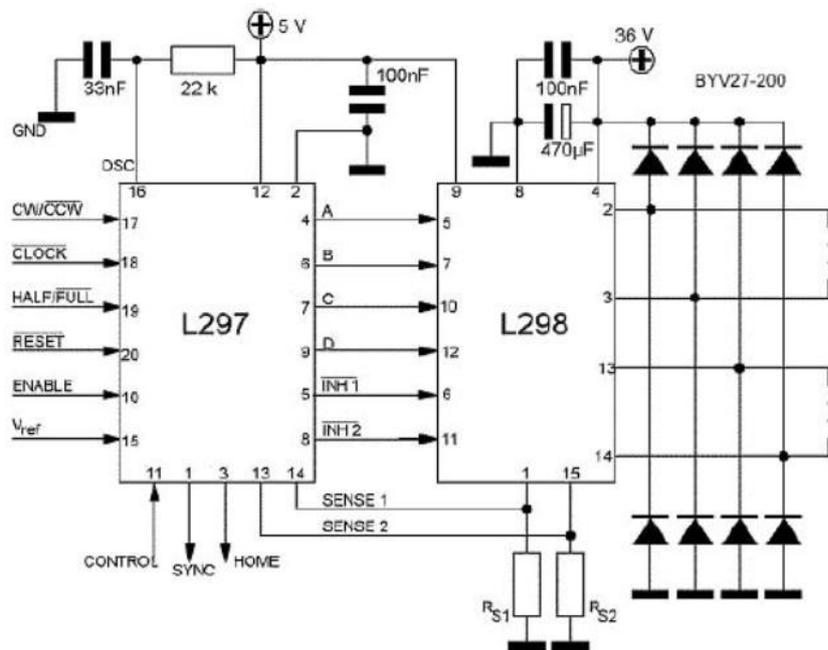


Figura 3.27. Circuito del driver controlador de motores paso a paso<sup>11</sup> adaptada de [30].

<sup>11</sup> Por recomendación del fabricante  $R_{S1} = R_{S2} = 0,5 \Omega$ .

El primer circuito integrado que se utiliza en el driver se trata del L297, el cual, mediante su lógica interna, envía a sus pines de salida (4 a 9) todas las combinaciones necesarias para manejar las parejas de bobinas en el motor bipolar. Sus salidas controlan el manejo y sentido de rotación del motor, mientras que los pines 13 y 14 se utilizan para controlar la corriente máxima que se permitirá absorber a las bobinas del motor.

El voltaje de referencia ingresado en el pin 15 del integrado, sirve para determinar la corriente de manejo del motor y es mediante este control que con esta configuración se permite manipular todo tipo de motores paso a paso.

Para conocer el valor del voltaje de referencia en función de la corriente, que se permitirá absorber al motor, se utiliza la ley de Ohm (19) [31]:

$$V = I \cdot R \quad (19)$$

Dónde:

- $V$  Voltaje que ingresa al pin 15 del integrado L297.
- $I$  Corriente permitida para el uso de las bobinas del motor.
- $R$  Resistencia colocada en los pines 13 y 14 del integrado L297.

Considerando que el fabricante recomienda utilizar resistencias  $0,5 \Omega$  para los pines 13 y 14 y conociendo que el motor consume  $1,5 \text{ A}$ , se reemplaza en (19) para determinar el voltaje de referencia que debe ingresar en el pin 15 del integrado L297.

Las otras entradas en el circuito integrado L297 tienen las siguientes funciones detalladas en la Tabla 3.5 [31][31][31]:

Tabla 3.5. Descripción pines de manejo del circuito integrado controlador de motores paso a paso L297 [31].

Pin	Nombre	Descripción L297
10	Habilitar	5 [V] para permitir al integrado manejar el motor
17	Dirección	0 (Lógico): Giro contrario a manecillas del reloj 1 (Lógico): Giro sentido manecillas del reloj
19	Medio/Completo	0 (Lógico): Pasos completos 1 (Lógico): Medios pasos
18	Reloj	Recibe una onda cuadrada, en la que la frecuencia determina la velocidad de giro del motor, esto se debe a que el cambio del nivel lógico de 0 a 1 determina un paso para el motor.

El segundo circuito integrado es el L298 este recibe todas las señales del L297 para así manejar los ocho transistores de potencia que tiene en su interior. Estos transistores forman dos puentes H los cuales controlan las bobinas del motor. Este circuito integrado es capaz de entregar una corriente máxima de 2 amperios en sus salidas para alimentar a los motores bipolares.

Las resistencias conectadas a los pines 1 y 15 son las que controlan la corriente que circula por las bobinas del motor. De esta manera, si la corriente sobrepasa la que se ha fijado mediante el voltaje de referencia en el integrado L297 este limita inmediatamente la corriente de salida del L298, para evitar daños al motor y al circuito integrado.

Los pines 9, 11 y 12, están conectados a 5 voltios, mientras que al pin 4 se le aplica un voltaje continuo de hasta 46 voltios que servirá para alimentar las bobinas del motor [31].

### 3.3.5. DIMENSIONAMIENTO DEL MOTOR PARA ASPIRACIÓN

Por los cálculos realizados en la sección 3.2 se determinó que se necesita un extractor de aire con un flujo de aire mayor a 1,21 m<sup>3</sup>/min. Realizando el análisis de varios proveedores se determina el uso del el motor de aspiradora directo modelo CJC-VB5425 cuyas características son:

- Voltaje = 110 V/ 60 Hz
- Diámetro = 106 mm × 98 mm
- Fuerza de succión = 16 kPa
- Flujo de aire máximo = 2 m<sup>3</sup>/min
- Potencia = 400 W

Reemplazando en (18):

$$I = \frac{400 \text{ [W]}}{110 \text{ [V]}}$$

$$I = 3,63 \text{ [A]}$$

En la Figura 3.28 se muestra una fotografía del motor directo de aspiradora modelo CJC-VB5425.



Figura 3.28 Fotografía motor directo de aspiradora modelo CJC-VB5425.

### 3.3.6. DIMENSIONAMIENTO PARA EL SISTEMA DE SOPLADO

Para el sistema de soplado se determina en la sección 3.2 que se necesita un compresor con un caudal mayor a  $0,01 \text{ m}^3/\text{min}$  por esta razón se utiliza el compresor Porten PCO-0224 con las siguientes características:

- Caudal = 3,5 cfm @ 90 psi
- Presión máxima = 8 bar
- Motor = 2Hp
- Tanque de aire = 6,3 gal

El compresor al ser un elemento externo a la máquina se debe leer el manual de operación del mismo antes de encenderlo.

Al utilizar un compresor para el sistema de soplado se coloca un filtro regulador de 1/4 de pulgada con drenaje manual para proporcionar una alta calidad de aire hacia la máquina, donde no exista humedad que afecte a los equipos informáticos.

Se utiliza una válvula solenoide de acción directa para permitir el paso de aire desde el compresor hacia la tubería de soplado al momento de la limpieza del case, las características de esta válvula son:

- Voltaje = 110 V/ 60 Hz
- Potencia aparente = 2,5 VA

Reemplazando en (18):

$$I = \frac{2,5 \text{ [VA]}}{110 \text{ [V]}}$$

$$I = 0,023 \text{ [A]}$$

### 3.3.7. CIRCUITO UTILIZADO PARA ENCENDER EL SISTEMA DE AIRE

Para el sistema de aire se utiliza un motor de aspiradora directo modelo CJC-VB5425 cuyas características mencionadas en la sección 3.3.5 y un compresor de aire para el sistema de soplado, sus características se encuentran en la sección 3.3.6. El motor de aspiradora se encuentra dentro de la tubería del sistema de aire para aspirar las pelusas retiradas del case.

El circuito utilizado para encender el motor de aspiradora y la válvula solenoide de acción directa que permite el paso del aire desde el compresor hacia la tubería de soplado se observa en la Figura 3.29 realizado en Proteus 8 versión de prueba.

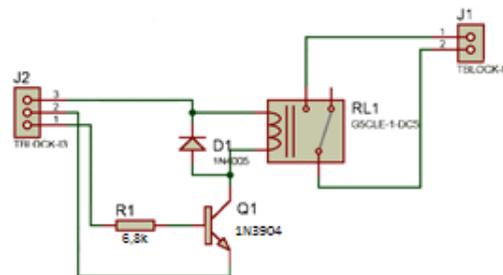


Figura 3.29. Circuito de relé para encender el sistema de extracción de polvo y pelusas.

Para determinar el dimensionamiento del relé se realiza una prueba física de la corriente que consume el motor de aspiradora y se determina que son 4A y conociendo que la válvula solenoide tiene un consumo de corriente de 0,023A se coloca un relé de 110V y 5A para sus contactos y el voltaje de la bobina será de 5V.

Al manejar un voltaje de 5V y una corriente de 40mA se escoge un transistor 2N3904 y se procede a calcular la resistencia a utilizar en el circuito para la saturación del transistor la que se calcula con (20):

$$R = \frac{V - 0,7}{\frac{I}{hFe}} \quad (20)$$

Donde:

- $R$  resistencia,  $\Omega$ ;
- $V$  voltaje, V;
- $I$  corriente, A;
- $hFe$  ganancia de corriente que tiene el transistor.

Reemplazando los valores:  $V = 5V$ ,  $I = 40mA$  y  $hFe = 60$

$$R = \frac{5 [V] - 0,7}{\frac{0,04 [A]}{30}}$$

$$R = \frac{4,3 [V]}{0,00067}$$

$$R = 6.417,91 [\Omega]$$

Conociendo que  $6,4k\Omega$  no es una resistencia común se busca un valor comercial aproximado escogiendo una resistencia de  $6,8k\Omega$ .

### 3.3.8. SENSOR ULTRASÓNICO PARA MEDIR LA ALTURA EN EL EJE Z

Se utiliza el sensor ultrasónico HC-SR04 el cual tiene las siguientes características [32]:

- Voltaje de trabajo = 5 V
- Corriente de trabajo = 15 mA
- Frecuencia de trabajo = 40 Hz
- Rango de trabajo = 2 cm – 4 m
- Dimensiones = 42 mm × 20 mm × 15 mm

Este sensor cuenta con cuatro pines de conexión los cuales se observan en la Figura 3.30:



Figura 3.30. Configuración de pines del Sensor ultrasónico HC-SR04 adaptada de [32].

- Vcc Voltaje de trabajo;
- Trig El puerto al que se envía un pulso de por lo menos 10 microsegundos;
- Echo El puerto en el que el sensor devuelve el tiempo que tarda en ir y volver la onda enviada;
- GND Referencia de voltaje 0V, Tierra.

Para el cálculo de la distancia que existe desde el sensor hacia la superficie más cercana dentro de su rango de visión se utiliza (21) [32]:

$$dis = \frac{t \cdot V_{sonido}}{2} \quad (21)$$

Donde:

- *dis* distancia desde el sensor hacia la superficie más cercana.
- *t* tiempo que devuelve el sensor desde que se envió la onda de sonido hasta que esta retorna al mismo.
- *V<sub>sonido</sub>* Velocidad del sonido (340m/s [32]).

El tiempo máximo que este sensor calcula y envía al controlador de esta máquina se obtiene mediante (21), conociendo que la distancia máxima que puede existir entre el controlador y la superficie donde se coloca el case es de 29cm:

$$t = \frac{2 \cdot 0,29 \text{ [m]}}{340 \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]}$$

$$t = 0,0017 \text{ [s]}$$

Este tiempo se lo utiliza para comprobar que un case ha sido ingresado a la máquina al momento de comenzar el ciclo de limpieza.

### 3.3.9. INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA (HMI)

Las LCD son utilizadas para la comunicación entre máquinas y usuarios permitiendo en estas mostrar cualquier tipo de caracter ASCII, con los cuales se muestran mensajes de error, datos obtenidos, o instrucciones de manejo que son necesarias para que el usuario entienda qué está haciendo la máquina.

Existen varios tipos de LCD, de las cuales varía la cantidad de caracteres que se pueden publicar por fila o cuantas filas tiene la misma, también existen LCD con o sin luz de fondo.

La LCD a utilizar es una de 16x2 (16 caracteres por fila, y dos filas) con luz de fondo, para facilitar el uso de la máquina en lugares con poca luz.

En la Tabla 3.6 se muestran los pines de conexión que tiene la LCD.

Tabla 3.6. Pines de conexión del LCD [13], [33].

Pin	Símbolo	Descripción de los pines de conexión
1	Vss	Tierra del LCD
2	Vdd	Voltaje de trabajo (5[V])
3	Vo	Contraste del LCD (0 – 5 [V])
4	RS	Selección del registro 0 [V] = Registro , 5 [V] = Datos
5	R/W	5 [V] = Lectura , 0 = Escritura
6	E	Habilitación 0 [V] = Desactivado, 5[V] = Activado
7	D0	(bus de datos bidireccional)
8	D1	(bus de datos bidireccional)
9	D2	(bus de datos bidireccional)
10	D3	(bus de datos bidireccional)
11	D4	(bus de datos bidireccional)
12	D5	(bus de datos bidireccional)
13	D6	(bus de datos bidireccional)
14	D7	(bus de datos bidireccional)
15	A	Alimentación de la luz de fondo
16	K	Tierra de la luz de fondo

La LCD se controla utilizando los 8 pines del bus de datos para aplicaciones donde se requiera mayor velocidad de respuesta o utilizando solo 4 de estos cuando la velocidad de trabajo de la LCD no afecta al funcionamiento de la máquina como en este caso [13].

En la Figura 3.31 se muestra una fotografía de la LCD 16x2.



Figura 3.31. Fotografía del LCD 16x2.

### 3.3.10. DIAGRAMAS DE FLUJO DE LA PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR

El diagrama principal mostrado en la Figura 3.32 detalla el proceso que efectuará la máquina desde que se enciende hasta que termina todo el ciclo de limpieza, dentro de este se encuentran los subprocesos, los cuales son:

- Comprobación del funcionamiento del robot cartesiano: comienza comprobando si el eje Z se encuentra en su posición inicial y almacenando la distancia entregada por el sensor ultrasónico HC-SR04, después de esto realiza el movimiento del mismo eje hacia su posición final y comprueba que la altura entregada por el sensor sea diferente y para finalizar realiza el movimiento de los ejes X, Y desde la posición final hacia la inicial. Para comprobar su funcionamiento este subproceso se encuentra detallado en la Figura 3.33.
- Comprobación del tamaño del case: este subproceso realiza el movimiento de los ejes X, Y buscando que la altura entregada por el sensor ultrasónico sea la misma a la que fue guardada en la comprobación del funcionamiento del robot cartesiano y almacena la cantidad de pasos realizados por cada motor para determinar el tamaño del case. El procedimiento de este se encuentra detallada en la Figura 3.34.
- Comprobación del tamaño de la fuente: el cual se encuentra detallado en la Figura 3.35. Comienza comprobando la altura del eje Z y moviendo los ejes X, Y respectivamente hasta encontrar un cambio en la altura medida al comenzar este subproceso.
- Limpieza a fondo con el robot cartesiano: comienza comprobando que el case a ser limpiado ha sido ingresado a la máquina; al haber realizado esta comprobación, acerca el órgano terminal hacia el case y enciende el motor de aspiradora el cual genera el movimiento del aire para comenzar la limpieza y finaliza con el retorno del robot cartesiano a su posición inicial para que el case que ha sido limpiado pueda ser retirado y si es necesario ingresar un nuevo case. Este subproceso se detalla en la Figura 3.36.

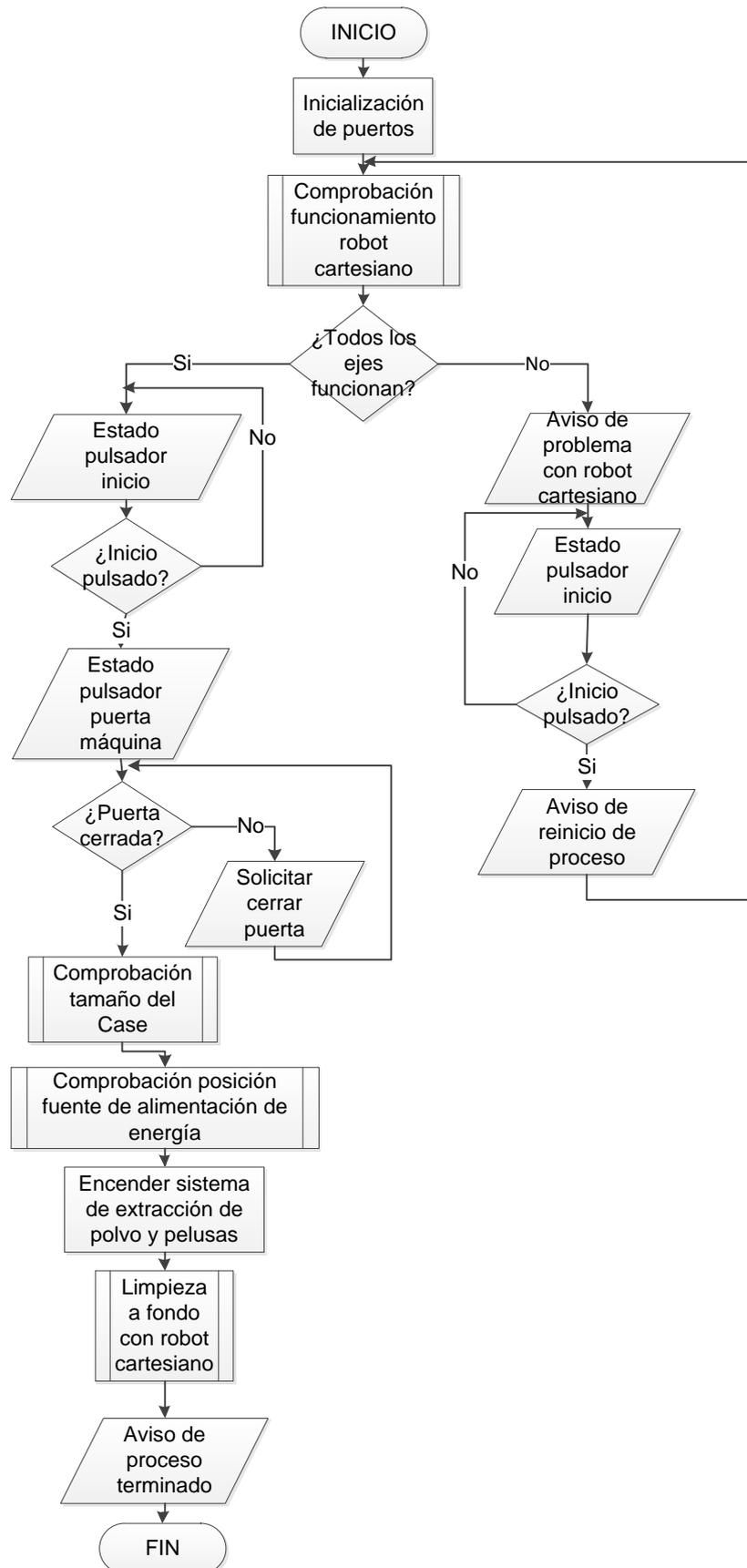


Figura 3.32. Diagrama de flujo programa principal.

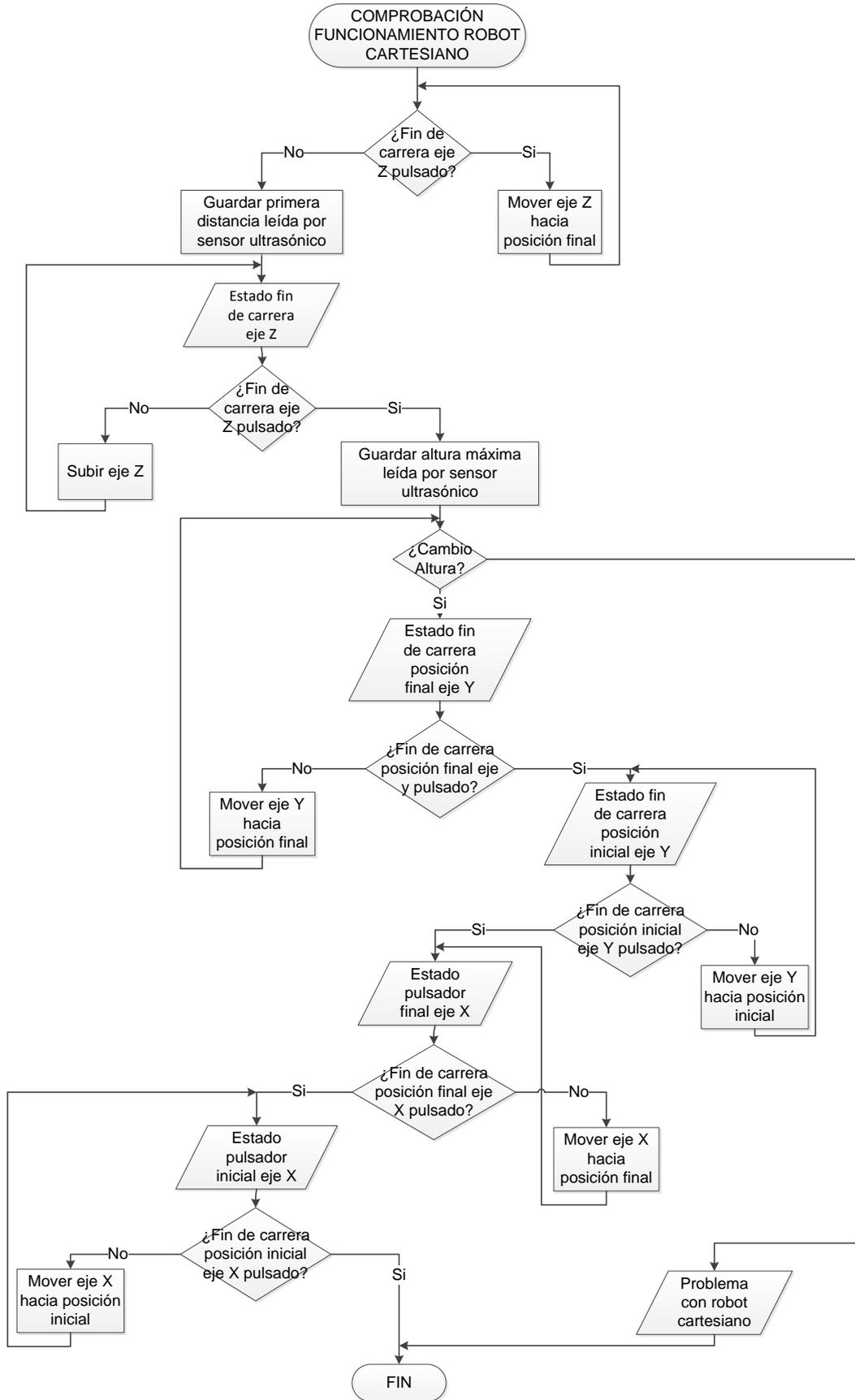


Figura 3.33. Diagrama de flujo Subproceso Comprobación del robot cartesiano.

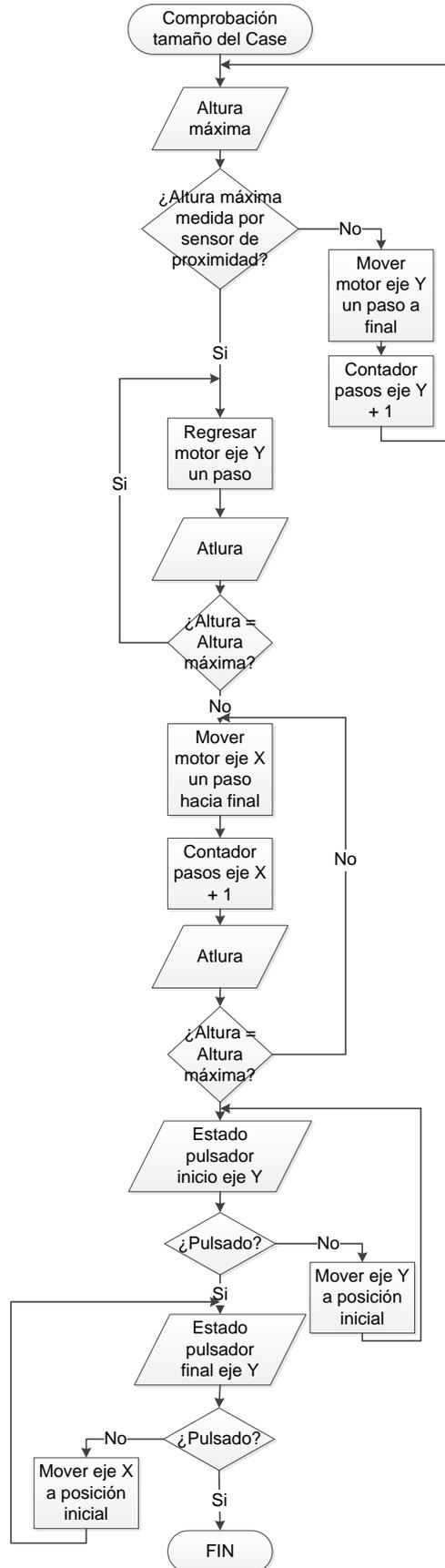


Figura 3.34. Diagrama de flujo para la comprobación del tamaño del case.

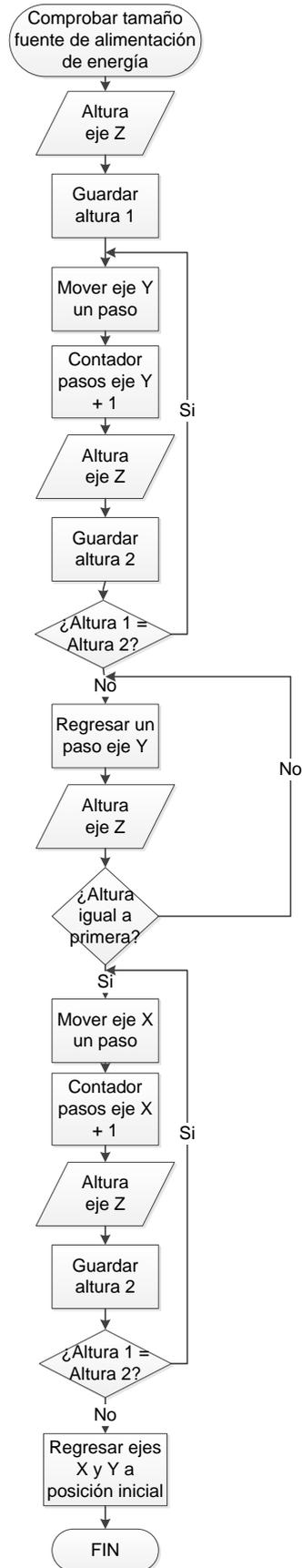


Figura 3.35. Diagrama de flujo de la comprobación del tamaño de la fuente.

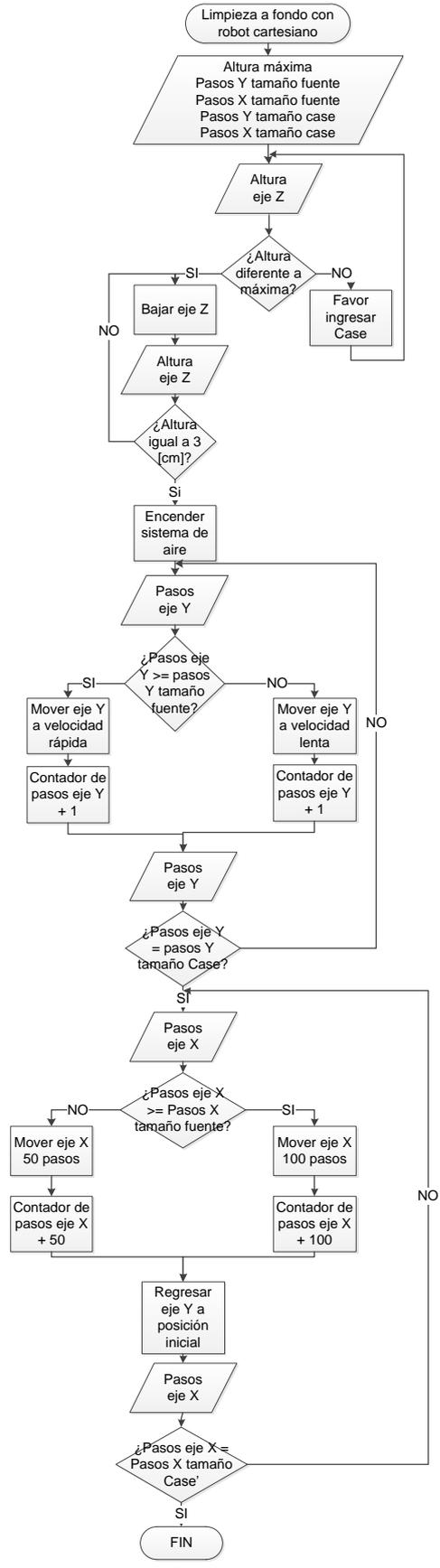


Figura 3.36. Diagrama de flujo del proceso de limpieza del case.

## CAPÍTULO IV

### CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

#### 4.1.CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA

En este capítulo se presenta el procedimiento para la construcción de la máquina según los planos mecánicos del ANEXO F, en la Figura 4.1 se muestra el modelo del prototipo a ser construido; además de incluir las pruebas de funcionamiento como son: movimiento de los ejes, fugas en el sistema de aire, tiempo y porcentaje de limpieza.

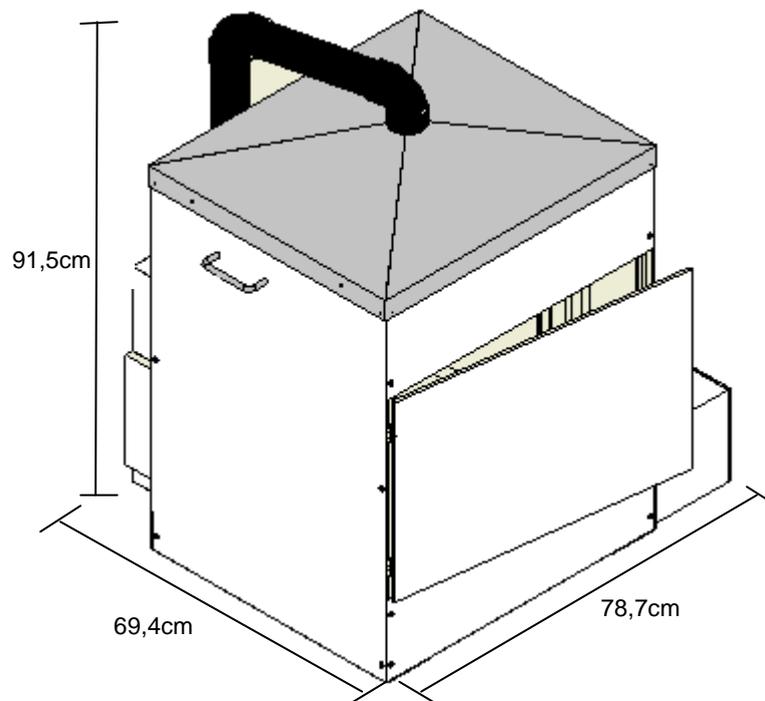


Figura 4.1 Modelo de la máquina a ser construida.

##### 4.1.1.ESTRUCTURA DEL ROBOT CARTESIANO

La construcción de la máquina se inicia con el ensamble del robot cartesiano que se muestra en la Figura 4.2.



Figura 4.2. Fotografía de la estructura del robot cartesiano.

En la Figura 4.3 se muestra el modelado del subconjunto Y, el cual es el primero a construir para el ensamble del robot cartesiano. Las partes y piezas necesarias para su construcción se detallan en el plano D03-003 (Anexo D).

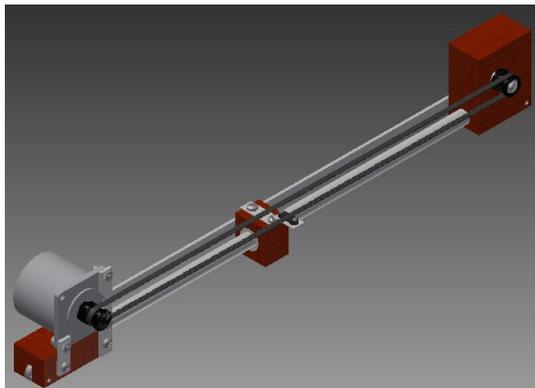


Figura 4.3. Modelado del subconjunto eje Y.

Al finalizar la construcción del subconjunto eje Y como se observa en la Figura 4.4, se construye el subconjunto eje Z el cual se observa en la Figura 4.5 y se detalla en el plano D03-004 (Anexo D).



Figura 4.4. Fotografía del subconjunto eje Y construido.

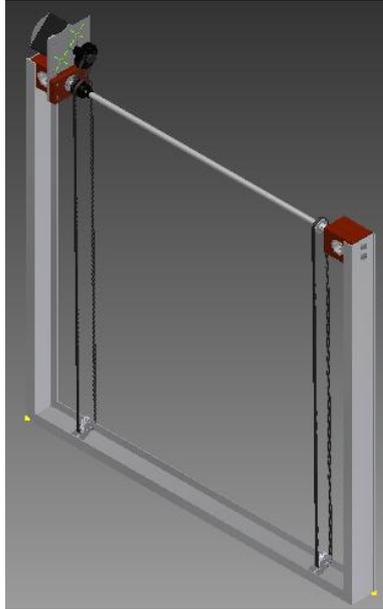


Figura 4.5. Modelado del subconjunto eje Z.

Para el subconjunto eje Z se construye el soporte derecho, el modelado se observa en la Figura 4.6 y del soporte del motor, en la Figura 4.7.

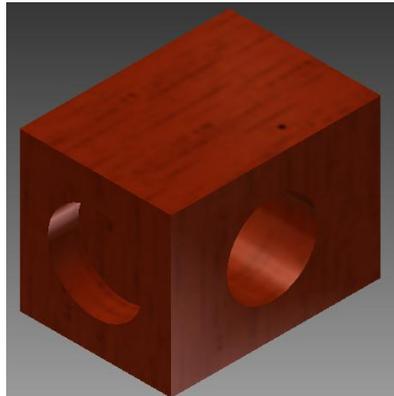


Figura 4.6. Modelado del soporte derecho.

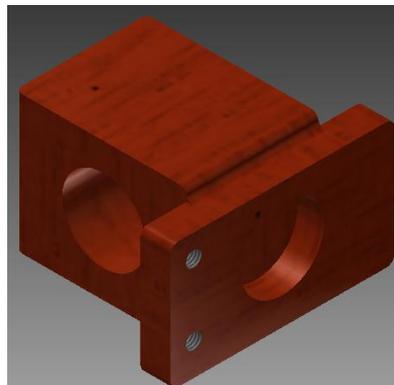


Figura 4.7. Modelado del soporte para motor.

Para la construcción del soporte derecho se parte de un tablero de pino de medidas (35x49x37) milímetros, al cual utilizando un taladro se le realizan los orificios detallados en el plano D03-403 (Anexo D).

En la Figura 4.8 se observa el soporte derecho finalizado e instalado en la máquina.

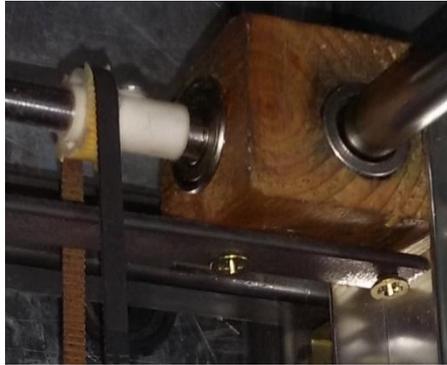


Figura 4.8. Fotografía del soporte derecho construido.

Para la construcción del soporte para el motor se parte de un tablero de pino de medidas (54x59x37) milímetros, al cual se lo corta para remover el material sobrante y también se realizan los orificios detallados en el plano D03-404 (Anexo D).

En la Figura 4.9 se observa el soporte para el motor finalizado e instalado en la máquina.

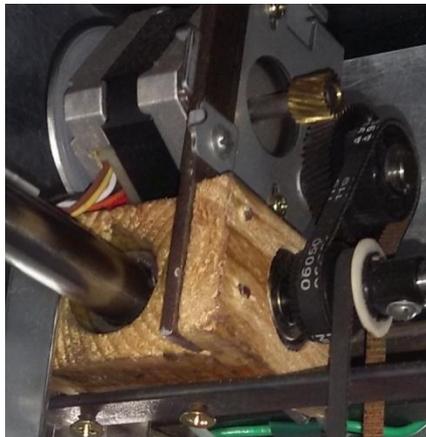


Figura 4.9. Fotografía del soporte para motor construido.

Al finalizar con la construcción de los subconjuntos ejes Y, Z se procede con la unión de los mismos la cual se observa en la Figura 4.10.

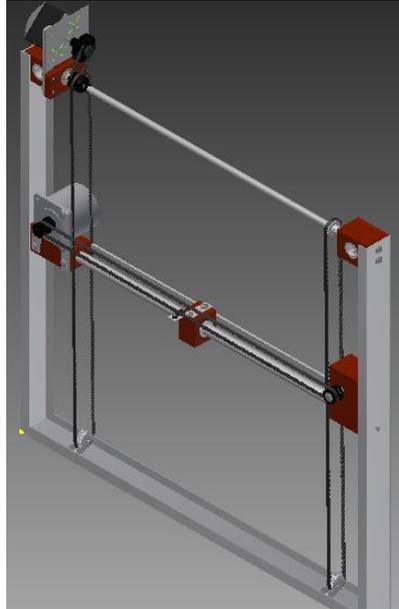


Figura 4.10. Modelado de la unión de los subconjuntos Y, Z.

La unión de los movimientos Y, Z se la coloca dentro de la estructura del robot cartesiano así como se ha mostrado en la Figura 4.2.

#### 4.1.2. CUBIERTA LATERAL

En la Figura 4.11 se observa la colocación de la cubierta lateral de la máquina la cual fue fabricada en acero A36 siguiendo el plano D03-105 (Anexo D). Esta cubierta se la realiza partiendo de una plancha de medidas (1654x850x0,5) milímetros.

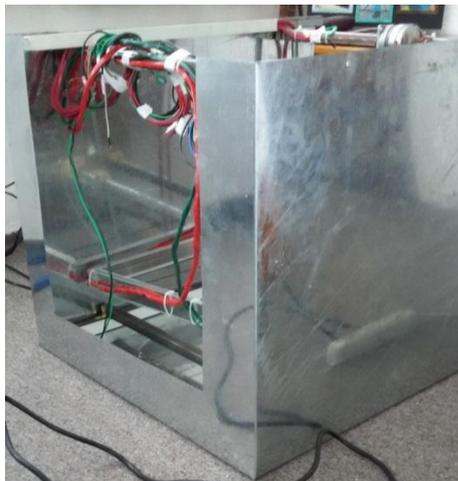


Figura 4.11. Fotografía de la cubierta lateral máquina.

### 4.1.3. CUBIERTA SUPERIOR Y CUBIERTA FRONTAL

En la Figura 4.12 se observa la máquina con las cubiertas frontal y superior colocadas. La cubierta frontal es realizada en acero A36 siguiendo el plano D03-104 (Anexo D) y la cubierta superior se encuentra fabricada en policarbonato sólido con las dimensiones detalladas en el plano D03-106 (Anexo D).



Figura 4.12. Fotografía de la máquina con la cubierta lateral y superior.

## 4.2. PRUEBAS PRELIMINARES

### 4.2.1. PRUEBA DEL MOVIMIENTO EN LOS EJES X, Y, Z

Para la realización de esta prueba se desmonta la cubierta lateral lo que permite el alcance óptimo a cada movimiento. En la Tabla 4.1 se muestran los resultados obtenidos en las pruebas de movimiento sin motor, considerando:

- Correcto: el libre movimiento de cada eje.
- Incorrecto: La desviación de los ejes y su movimiento con dificultad.

Tabla 4.1. Pruebas de funcionamiento sin motor.

Movimiento en eje X	Movimiento en eje Y	Movimiento en eje Z
1. Falló*	Correcto	Correcto
2. Correcto		

\* Existe una desviación en el módulo del movimiento Y, Z, y por ello este movimiento presenta dificultades para completar su trayectoria. Para solucionar este fallo se coloca una lámina de metal que ayudará a mantener firme este módulo impidiendo de esta manera la desviación y permitiendo así el libre movimiento en este eje.

La desviación obtenida en la prueba del movimiento del eje X disminuyó casi en su totalidad con la colocación de la lámina de metal obteniendo así el movimiento esperado en este eje.

#### 4.2.2. PRUEBA DEL CONTROL ELECTRÓNICO DE LOS EJES X, Y, Z

Luego del análisis de los movimientos de los ejes sin motor se inicia la prueba con los motores y los fines de carrera específicos, comprobando así el funcionamiento de los controladores, los motores, los fines de carrera y el sensor de proximidad utilizados para el funcionamiento del robot cartesiano.

Esta prueba se realiza con el código de comprobación del robot cartesiano descrito en la sección 3.2.8 con el diagrama de flujo de la Figura 3.33, el cual realiza el movimiento completo de cada eje desde su posición inicial hacia la posición final comprobando, con los sensores y fines de carrera, que el recorrido de los mismos se complete con éxito, en un tiempo aproximado al que se muestra en la Tabla 4.2 junto a los resultados obtenidos en esta prueba.

Tabla 4.2. Prueba de movimiento con motor.

	<b>Movimiento en eje X</b>	<b>Movimiento en eje Y</b>	<b>Movimiento en eje Z</b>
	Correcto	Correcto	Correcto
<b>Tiempo en segundos</b>	14	7,50	5

#### 4.2.3. PRUEBAS DEL SISTEMA DE AIRE

##### 4.2.3.1. Fugas en tuberías

Se enciende el sistema de extracción de polvo y pelusas y se procede a revisar si existen fugas de aire en las uniones entre tuberías y en la caja del filtro de aire. Debido a que estas son inexistentes esta prueba ha sido superada con éxito.

##### 4.2.3.2. Sistema de absorción de pelusas

Con el motor de aspiradora encendido se realiza la verificación de la tubería de aspirado y se comprueba que esta se encuentra funcionando. La posición del filtro de aire se observa en la Figura 4.13. En la Figura 4.14 se muestra las pelusas absorbidas por la máquina que se encuentran atrapadas en el filtro de aire

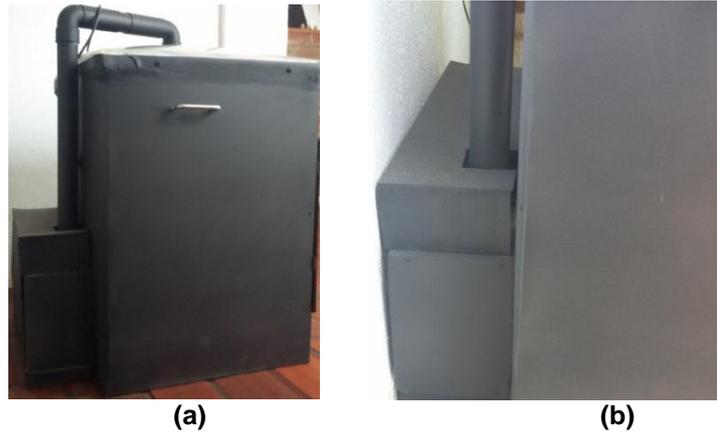


Figura 4.13. Fotografía de la caja del filtro de aire: (a) Posición en la Máquina;(b) Ampliación del área.



Figura 4.14. Fotografía del filtro de aire con pelusas removidas en la limpieza de un case.

#### 4.2.3.3. Sistema de soplado

Luego de haber sido revisado el sistema de absorción de pelusas se procede a verificar que esté saliendo el aire por la tubería de soplado que se muestran en la Figura 4.15 y que no existan fugas en las uniones de la tubería.



Figura 4.15. Tuberías de soplado.

## 4.3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA IMPLEMENTADO

### 4.3.1. TIEMPO EN COMPLETAR LA LIMPIEZA

El subproceso: comprobación del funcionamiento del robot cartesiano, ya explicado en el diagrama 3.33, que consiste en realizar una prueba del movimiento de los tres ejes del robot (X, Y, Z) toma 24,5 segundos, tiempo que se descartará en el periodo invertido por la máquina en completar la limpieza, ya que se realiza únicamente cuando la máquina es encendida; es decir, al colocar un segundo case dentro de la máquina para la limpieza el subproceso no se realiza, razón por la cual dicho tiempo no se toma en cuenta.

Se describirá a continuación tres tipos de Case utilizados para las pruebas y los tiempos obtenidos en completar la limpieza se detallan en la Tabla 4.3.

- Case de prueba 1: Case de un computador COMPAQ, Pentium 4 la cual se muestra en la Figura 4.16:
  - Alto: 36 cm.
  - Ancho: 17,5 cm.
  - Profundidad: 40 cm.



Figura 4.16. Fotografía del case 1: Computador marca COMPAQ.

- Case de prueba 2: Case genérico de un computador core i3, el cual se observa en la Figura 4.17:
  - Alto 40,5 cm.
  - Ancho: 18,5 cm.
  - Profundidad: 38,5 cm.



Figura 4.17. Fotografía del case 2: Computador genérico.

- Case de prueba 3: Case Speedmind 21, el cual se observa en la Figura 4.18.
  - Alto: 36 cm.
  - Ancho: 18 cm.
  - Profundidad: 44 cm.



Figura 4.18. Fotografía del case 3: Computador marca Speedmind 21.

Tabla 4.3. Tiempos tomados en prueba de limpieza.

Descripción	Tiempo (s)
CASE DE PRUEBA 1:	130
CASE DE PRUEBA 2:	145
CASE DE PRUEBA 3:	140

Se determina un tiempo medio de limpieza de 138,33 segundos. En la Figura 4.19 se muestra el Case de prueba 2 antes de iniciar la etapa de limpieza.



Figura 4.19. Case de prueba 2 dentro de la máquina para iniciar la etapa de limpieza.

Al realizar las pruebas se puede observar que el tiempo tomado en la comprobación del tamaño del case y en la localización de la fuente son tiempos que se pueden retirar para así disminuir el tiempo necesario para completar la limpieza del case.

Se procede a realizar el cambio para que la máquina no realice estos dos procesos y limpie instantáneamente utilizando completamente los recorridos disponibles en los ejes X, Y. En la Tabla 4.4 se detallan los tiempos obtenidos en la prueba después de realizada la mejora en la máquina.

Tabla 4.4. Tiempos tomados en prueba de mejora.

Descripción	Tiempo (s)
CASE DE PRUEBA 1:	95
CASE DE PRUEBA 2:	90
CASE DE PRUEBA 3:	93

Promedio de tiempo de 92,67 segundos.

Comprobando de esta manera que el cambio fue efectivo con respecto al tiempo utilizado en la limpieza del case, ya que disminuyó de una media de 138,33 a 92,67 segundos, con lo cual se determina una mejora del 33%.

#### 4.3.2. PORCENTAJE DE LIMPIEZA DEL CASE AL FINALIZAR CICLO

Se realiza la prueba de limpieza de los case especificados en la sección 4.3.1.

Los porcentajes que se muestran en la Tabla 4.5, se obtuvieron mediante un cálculo basado en el peso del polvo y las pelusas obtenido después de la limpieza del case en el filtro de aire, la máquina y el de la suciedad extraída manualmente, la que se realizó al finalizar la rutina con el equipo.

Tabla 4.5. Porcentaje de limpieza.

Descripción	Porcentaje
CASE DE PRUEBA 1:	70 %
CASE DE PRUEBA 2:	89 %
CASE DE PRUEBA 3:	85 %

Obteniendo un porcentaje medio de limpieza de 81,33 %. En la Figura 4.20 se observan las fotografías de una de las pruebas de limpieza del case de prueba 2.

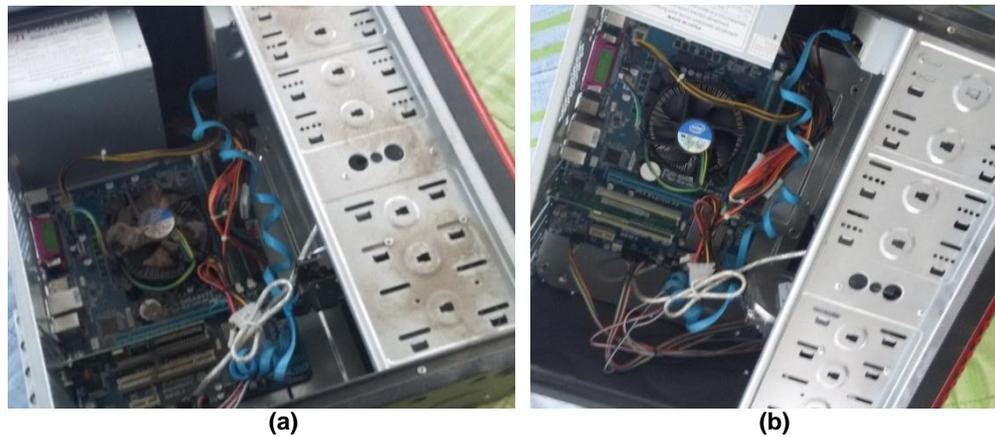


Figura 4.20. Fotografía de prueba de limpieza del case de prueba 2: (a) Antes de la limpieza; (b) Después de la limpieza.

Realizando un análisis de los resultados se determina que el menor porcentaje obtenido, el cual fue en el caso de prueba 1, se debe a la disposición de los cables de alimentación y los buses de datos que se encuentran cruzados e impiden que la máquina realice una mejor limpieza, por lo que se recomienda para este tipo de casos la desconexión de dichos elementos o mejorar la distribución de los cables.

En la Figura 4.21 se muestra una fotografía de la máquina construida.



Figura 4.21 Fotografía de la máquina construida.

Al finalizar la limpieza del case con la máquina desarrollada en este proyecto de investigación, se da paso al técnico de mantenimiento, quien continuará el proceso de limpieza de los demás componentes electrónicos de forma manual, pues es necesario desmontar ciertas piezas como el disipador de calor del procesador, la extracción de memorias RAM, y demás componentes que acumulan suciedad en zonas de difícil acceso.

Después de realizada la limpieza completa de los case se verificó que no hayan ocurrido daños dentro de los mismos y que funcionen en su totalidad.

## CONCLUSIONES

- La construcción de la máquina fue posible y aunque se necesitan realizar algunos cambios para que esta salga en condiciones óptimas al mercado, realiza la limpieza de los case con una efectividad en cumplir su objetivo de 81,33%.
- El órgano terminal del robot cartesiano tiene dificultades en alcanzar puntos difíciles del case, debido a que el eje Z desciende máximo hasta las paredes del case.
- El tiempo de limpieza para cada case con esta máquina tiene un promedio de 92,67 segundos, lo cual es equiparable con una limpieza manual, pero el beneficio del uso de esta máquina está en que se optimiza el tiempo al tener la posibilidad de desarmar o armar un case mientras la máquina realiza la limpieza de otro. Además, la máquina evita el esparcimiento de pelusas.
- El prototipo es útil debido a que al realizar la limpieza del case con la máquina ya no se ensucia el sitio de trabajo.
- Tiene protocolos de seguridad el cual cuenta con un paro de emergencia.
- Se deshabilitan las rutinas de comprobación de tamaño del case y el tamaño de la fuente de alimentación de energía ya que sin estas se consigue una mejora en el tiempo de limpieza de un 33%.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda la colocación de una manguera extra de aspiración de pelusas que este en el efector terminal del robot cartesiano para que ayude a absorber mejor las mismas, ya que algunas pelusas no son removidas por el sistema de aspiración por la altura a la que este se encuentra.
- Disminuir la altura total de la máquina en un rango de 10 a 20 centímetros para facilitar la captación de pelusas por la tubería que se encuentra en la tapa superior de la misma.
- Realizar un rediseño de la máquina para permitir el ingreso de tipos de case de torre completa a ser limpiados.
- Utilizar un sensor de proximidad que permita una mayor precisión al momento de medir la altura del eje Z, y que no tenga ángulo de detección para la habilitación de las rutinas donde se comprueba el tamaño del case y el tamaño de la fuente de alimentación de energía.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Panda, "Antimalware," *Panda world wide*, 2015. [En línea]. Disponible: <http://www.pandasecurity.com/ecuador/enterprise/solutions/security-appliances/anti-malware.htm>. Accedido: 31-Aug-2015.
- [2] A. Ballisteri, "Partes De La Computadora," 2013. [En línea]. Disponible: <http://partesdelacomputadora.info/componentes-de-una-computadora/>. Accedido: 04-Dec-2014.
- [3] D. L. Montoya, "Computación," Instituto Miguel Ángel Suárez, Loja, Ecuador, 2012.
- [4] J. C. Guaman, "Case y tipos de case," 2012. [En línea]. Disponible: <http://es.slideshare.net/juan182cuervos/case-y-tipos-de-case-13326898>. Accedido: 21-Jun-2015.
- [5] Themexpert, "Tipos de Gabinetes," 2014. [En línea]. Disponible: <http://www.identi.li/index.php?topic=312565>. Accedido: 21-Jun-2015.
- [6] G. Mayoraz, "¿Sirven las PC 'All in one'?", *Tecnovortex*, 2011. [En línea]. Disponible: <http://tecnovortex.com/sirven-las-pc-todo-en-uno/>. Accedido: 25-Jan-2016.
- [7] L. Gonzáles Pérez, "Cómo elegir una de las nuevas computadoras Todo en uno," 2012. [En línea]. Disponible: [http://www.clarin.com/sociedad/elegir-nuevas-computadoras\\_0\\_827317337.html](http://www.clarin.com/sociedad/elegir-nuevas-computadoras_0_827317337.html). Accedido: 25-Jan-2016.
- [8] Y. Morales, "Robotica," 2006. [En línea]. Disponible: <http://robotica.wordpress.com/about/>. Accedido: 24-Sep-2014.
- [9] J. L. López Segovia, M. Alamilla, and F. Domínguez, "ROBOT CARTESIANO : seguimiento de trayectorias irregulares arbitrarias mediante computadora," Universidad Autonoma del estado de Hidalgo, 2007.
- [10] Ingenieros construyendo el Futuro, "Estructura mecánica de un robot," *Creando el Futuro*, 2013. [En línea]. Disponible: <http://creandoelfuturo.net/es/morfologia-del-robot/estructura-mecanica-robot>. Accedido: 24-Sep-2014.
- [11] S. K. Sahar, *Introducción a la Robótica*, Primera. México: McGraw-Hill, 2010.
- [12] A. Bueno, "Control y Robótica." [En línea]. Disponible: [http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web\\_robot\\_3/robot\\_indice.html](http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_robot_3/robot_indice.html). Accedido: 25-Aug-2014.
- [13] Universidad tecnica de Ambato, "BASCOS AVR help Reference," Ambato, Ecuador, 2010.
- [14] C. Canto, "Motores de Paso o Steppers Motors," 2010. [En línea]. Disponible: [http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/microcontroladores/SLIDES\\_8051\\_PDF/21\\_MOTOR.PDF](http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/microcontroladores/SLIDES_8051_PDF/21_MOTOR.PDF). Accedido: 20-May-2014.
- [15] A Minebea Group Company, "Precision Step Motors," *NMB Corporation*. [En línea]. Disponible: [www.nmbcorp.com](http://www.nmbcorp.com). Accedido: 27-May-2014.
- [16] TodoRobot, "Tutorial sobre Motores Paso a Paso (Stepper motors)." [En línea]. Disponible: <http://www.todorobot.com.ar/tutorial-sobre-motores-paso-a-paso-stepper-motors/>. Accedido: 21-Jun-2015.
- [17] J. Carreras Raset, *Informe especial sobre motores de aspiradoras "Funcionamiento y Características de los Motores de Aspiradoras"*, Version 01. Gerona, España, Comercial Jorca, 2015.
- [18] Centro de salud y seguridad ocupacional Canadiense, "¿Cuáles son los Efectos del Polvo en los Pulmones?" [En línea]. Disponible: [http://www.ccsso.ca/oshanswers/chemicals/lungs\\_dust.html](http://www.ccsso.ca/oshanswers/chemicals/lungs_dust.html). Accedido: 23-Aug-2015.

- [19] Cuidado de la salud, "Partes que integran el aparato respiratorio y sus funciones que realiza," *Como vivir saludable*, 2015. [En línea]. Disponible: <http://www.cuidadodelasalud.com/salud/partes-que-integran-el-aparato-respiratorio-y-sus-funciones-que-realiza/>. Accedido: 24-Aug-2015.
- [20] Hewlett-Packard Development Company, "Reducción del calor en el interior del equipo para evitar el sobrecalentamiento," 2015. [En línea]. Disponible: <http://support.hp.com/ec-es/document/c01710035>. Accedido: 24-Aug-2015.
- [21] C. Riba Romeva, *Diseño concurrente*, Illustrate. Catalunya, España, Univ. Politecnica de Catalunya, 2002.
- [22] Raspberry Pi, "Raspberry Pi," 2015. [En línea]. Disponible: <https://www.raspberrypi.org/>. Accedido: 17-Sep-2015.
- [23] Arduino, "ArduinoBoardMegaADK," 2015. [En línea]. Disponible: <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMegaADK>. Accedido: 19-Jun-2015.
- [24] Texas Instruments, "Tiva C Series TM4C123GXL," 2015. [En línea]. Disponible: <http://www.ti.com/tool/ek-tm4c123gxl>. Accedido: 17-Sep-2015.
- [25] P. A. Cazco Silva and J. A. García Coral, "Diseño y construcción de un prototipo de robot cartesiano para tareas de clasificación por peso.," Título de pregrado, Ing. Mecánica, ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, Quito, Ecuador, 2010.
- [26] SCHAEFFLER, "Fundamentos técnicos Sistemas de guiado por eje Rozamiento," *Medias Professional*, 2014. [En línea]. Disponible: [http://medias.schaeffler.com/medias/es!hp.tg.cat/tg\\_wf\\*ST4\\_307654667](http://medias.schaeffler.com/medias/es!hp.tg.cat/tg_wf*ST4_307654667). Accedido: 25-Sep-2014.
- [27] C. Neal and J. Rudolph, "Sistemas de Ventilación," *Real Farm. Española I Tomo. Madrid*, España, vol. 1, p. 347, 1997.
- [28] Allegro, "DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection A4988," Datasheet., 2012. Accedido: 19-Feb-2015.
- [29] DfRobot, "Stepper Motor Shield For Arduino (SKU:DRI0023)," Datasheet., 2013. Accedido: 19-Feb-2015.
- [30] S. T. Microelectronics, "L297, L297D," Datasheet., Accedido: 19-Feb-2015.
- [31] Jvmbots, "Controlador de motores PAP.," 2005. [En línea]. Disponible: [www.jvmbots.com](http://www.jvmbots.com). Accedido: 27-May-2014.
- [32] E. Freaks, "Ultrasonic Ranging Module HC-SR04." [En línea]. Disponible: <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>. Accedido: 14-Jun-2015.
- [33] Arduino, "LiquidCrystal," 2015. [En línea]. Disponible: <http://www.arduino.cc/en/Tutorial/LiquidCrystal>. Accedido: 07-Mar-2015.