

Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería

## Diseño, Simulación y Construcción Mediante Sistemas CAD/CAM de un robot educativo

TESIS COLECTIVA

Que como parte de los requisitos para obtener el TÍTULO de  
INGENIERO EN AUTOMATIZACIÓN

Presenta

RUBIO RAMÍREZ JUAN FRANCISCO

SÁNCHEZ AGUILAR SARITALIA

Dirigida por: Dr. Edgar Alejandro Rivas Araiza

C.U. Santiago de Querétaro, Qro., Septiembre 2011



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería

Diseño, Simulación y Construcción Mediante Sistemas CAD/CAM de un Robot Educativo

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el Título de Ingeniero en Automatización

Especialidad en Sistemas Mecatrónicos y

Especialidad en Instrumentación y Control de Procesos

**Presenta:**

Rubio Ramírez Juan Francisco

Sánchez Aguilar Saritalia

**Dirigido por:**

Dr. Edgar Alejandro Rivas Araiza

**SINODALES**

Dr. Edgar Alejandro Rivas Araiza  
Presidente

\_\_\_\_\_  
Firma

M.C. Gonzalo Macías Bobadilla  
Secretario

\_\_\_\_\_  
Firma

M.C. Billerman Robles Ocampo  
Vocal

\_\_\_\_\_  
Firma

Dr. Juvenal Rodríguez Reséndiz  
Suplente

\_\_\_\_\_  
Firma

\_\_\_\_\_  
Gilberto Herrera Ruiz  
Director de la Facultad

\_\_\_\_\_  
Manuel Toledano Ayala  
Coordinador de la carrera de Ingeniería en  
Automatización

Centro Universitario, Querétaro, Qro. Septiembre 2011. México

# ÍNDICE GENERAL

|  |                    |
|--|--------------------|
| <b>ÍNDICE GENERAL</b> .....  | <b><i>i</i></b>    |
| <b>INDICE DE FIGURAS</b> .....                                     | <b><i>ii</i></b>   |
| <b>RESUMEN</b> .....   | <b><i>v</i></b>    |
| <b>SUMMARY</b> .....   | <b><i>vi</i></b>   |
| <b>DEDICATORIAS</b> .....  | <b><i>vii</i></b>  |
| <b>AGRADECIMIENTOS</b> .....                                       | <b><i>viii</i></b> |
| <b>I. OBJETIVOS</b> .....  | <b>1</b>           |
| <b>II. INTRODUCCIÓN</b> .....                                      | <b>2</b>           |
| <b>III. MARCO TEORICO</b> .....                                    | <b>4</b>           |
| 3.1 Sistemas CAD/CAM.....  | 4                  |
| 3.1.1 Conceptos básicos del CAD/CAM .....                          | 4                  |
| 3.1.2 Procesos de fabricación mediante sistemas CAD/CAM.....       | 4                  |
| 3.2 Automatización y robótica.....                                 | 5                  |
| 3.3 Arquitectura de los robots.....                                | 7                  |
| 3.3.1 Configuración general de un robot (Brazo Manipulador).....   | 7                  |
| 3.3.2 Principales características mecánicas de los robots .....    | 10                 |
| 3.3.3 La diversidad de los robots .....                            | 12                 |
| 3.3.4.1 Configuración cartesiana .....                             | 12                 |
| 3.3.4.2 Configuración cilíndrica .....                             | 13                 |
| 3.3.4.3 Configuración polar .....                                  | 13                 |
| 3.3.4.4 Configuración angular (Brazo Articulado).....              | 13                 |
| 3.3.4.5 Robot tipo SCARA .....                                     | 14                 |
| 3.4 Motores de corriente directa .....                             | 14                 |
| 3.5 Elementos de automatización neumática y sistemas de vacío..... | 16                 |
| 3.5.1 Producción de aire comprimido .....                          | 16                 |
| 3.5.2. Unidad de mantenimiento.....                                | 19                 |
| 3.5.3 Válvulas de vías.....  | 19                 |
| 3.5.3.1 Válvulas de 3/2 vías .....                                 | 20                 |
| 3.5.4 Sistemas de Neumáticos de Vacío .....                        | 21                 |
| 3.6 Fuentes de voltaje reguladas.....                              | 23                 |
| <b>IV. METODOLOGIA</b> .....                                       | <b>29</b>          |
| 4.1 DISEÑO CONCEPTUAL.....   | 29                 |
| 4.2 GENERACIÓN DEL CODIGO DE MAQUINADO CON SOLIDCAM.....           | 59                 |
| 4.3 MANUFACTURA .....  | 62                 |
| 4.4 ENSAMBLE Y PRUEBAS FÍSICAS.....                                | 66                 |
| 4.5 ACABADO FINAL.....   | 69                 |
| 4.6 FUENTE DE ALIMENTACION.....                                    | 71                 |
| 4.7 CONTROL DE MOTORES.....  | 73                 |
| 4.8 CIRCUITO NEUMÁTICO-ELECTRICO.....                              | 76                 |
| <b>V. RESULTADOS Y CONCLUSIONES</b> .....                          | <b>80</b>          |
| 5.1 Resultados .....   | 80                 |
| 5.2 Conclusiones .....   | 82                 |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....                            | <b>84</b>          |

## INDICE DE FIGURAS

|   |                  |
|---|------------------|
| Figura 1. Sistema general de un brazo manipulador.....  | 8                |
| Figura 2. Eslabones de diferente orden. (Norton, 2004).....   | 10               |
| Figura 3. Cadena de mecanismos, a) Mecanismo de cadena abierta y b) Mecanismo de cadena cerrada (Norton,2004).....          | 11               |
| Figura 4. Robot de configuración cartesiana.....  | 12               |
| Figura 5. Robot de configuración cilíndrica.....  | 13               |
| Figura 6. Robot de configuración polar.....   | 13               |
| Figura 7. Robot de configuración angular.....   | 14               |
| Figura 8. Robot SCARA.....  | 14               |
| Figura 9. Partes del motor de corriente directa (Cervantes, 2009).....  | 16               |
| Figura 10. Tipos de compresores (Martínez, 2006).....   | 17               |
| Figura 11. Partes de un compresor.....  | 18               |
| Figura 12. Símbolo de la unidad de mantenimiento.....   | 19               |
| Figura 13. Válvula de 3/2 vías, cerrada posición normal.....  | 20               |
| Figura 14. Válvula de 3/2 vías, abierta posición normal.....  | 21               |
| Figura 15. Representación de los niveles de presión (Martínez, 2006).....   | 22               |
| Figura 16. Esquema de vacío utilizando un tubo Venturi en combinación con una ventosa.....                                  | 23               |
| Figura 17. Símbolo de válvula de soplado de vacío.....  | 23               |
| Figura 18. Entrada y salida del rectificador de onda completa.....  | 25               |
| Figura 19. Símbolo del rectificador de onda completa.....   | 25               |
| Figura 20. Encapsulado TO3 de metal.....  | 28               |
| Figura 21. Pantalla de inicio y botón para crear nuevo documento.....   | 30               |
| Figura 22. Tipo de documentos a crear.....  | 30               |
| Figura 23. Icono para crear croquis ( <i>sketch</i> ).....  | 31               |
| Figura 24. Icono para dibujar rectángulo.....   | 31               |
| Figura 25. Barra de ayuda para dibujar rectángulo.....  | 32               |
| Figura 26. Dibujo de rectángulo utilizado para la elaboración de la base.....   | 32               |
| Figura 27. Icono para dibujar círculos.....   | 33               |
| Figura 28. Círculos dibujados dentro del rectángulo.....  | 33               |
| Figura 29. Icono de herramienta Offset.....   | 34               |
| Figura 30. Offset del rectángulo.....   | 34               |
| Figura 31. Corte de Líneas en Rectángulo Base.....  | 34               |
| Figura 32. Perfil para la base.....   | 35               |
| Figura 33. Icono de extrusión de perfil.....  | 35               |
| Figura 34. Extrusión 1 para base.....   | 36               |
| Figura 35. Solido para base.....  | 36               |
| Figura 36. Extrusión 2 para solido.....   | 37               |
| Figura 37. Solido de extrusión 1 y 2.....   | 37               |
| Figura 38. Vista frontal de la base.....  | 38               |
| Figura 39. Círculos para ranuras.....   | 38               |
| Figura 40. Extrusión de círculos para generar ranuras.....  | 39               |
| Figura 41. Base ranurada para robot.....  | 39               |
| Figura 42. Base de robot.....   | 39               |
| Figura 43. Croquis del círculo.....   | 40               |
| Figura 44. Extrusión del círculo.....   | 40               |
| Figura 45. Cilindro, pieza solida generada a partir de la extrusión.....  | 41               |
| Figura 46. Croquis 2 para cilindro.....   | 41               |
| Figura 47. Extrusión para generar el hueco en el cilindro, a) Círculo antes de la extrusión<br>después de la extrusión..... | b) Círculo<br>42 |
| Figura 48. Cilindro hueco.....  | 42               |
| Figura 49. Cilindro hueco, a) Extrusión con corte. b) Cilindro hueco con alojamiento.....                                   | 43               |

|   |    |
|---|----|
| Figura 50. Cilindro con el segundo corte de alojamiento. ....   | 43 |
| Figura 51. Croquis para alojamiento parte inferior del cilindro. ....   | 43 |
| Figura 52. Extrusión con corte. ....  | 44 |
| Figura 53. Vista del solido con transparencias. ....  | 44 |
| Figura 54. Croquis para segundo alojamiento en parte inferior.....  | 45 |
| Figura 55. Vista del solido con transparencias con segundo alojamiento parte inferior. ....   | 45 |
| Figura 56. Vista del solido sin transparencias. a) Vista superior del cilindro, b) Vista inferior del cilindro. ....  | 46 |
| Figura 57. Croquis para el hueco en la superficie del cilindro. ....  | 46 |
| Figura 58. Extrusión con corte para el hueco. ....  | 47 |
| Figura 59. Vista del solido sin transparencias, a) Vista inclinada del cilindro, b) Vista frontal del cilindro ....   | 47 |
| Figura 60. Vista del solido con transparencias ....   | 47 |
| Figura 61. Croquis para el perfil de la pieza de unión. ....  | 48 |
| Figura 62. Círculos para acabado en pieza. ....   | 48 |
| Figura 63. Perfil de pieza para unión. ....   | 49 |
| Figura 64. Extrusión de perfil para convertir a solido.....   | 49 |
| Figura 65. Ranura de brida en solido. ....  | 50 |
| Figura 66. Ranura para alojamiento del balero. ....   | 50 |
| Figura 67. Perfil base para croquis, a) Base de la pieza, b) Parte superior del eje central ....  | 50 |
| Figura 68. Líneas y centro de referencia.....   | 51 |
| Figura 69. Croquis para perfil circular en pieza unión. ....  | 51 |
| Figura 70. Extrusión 2 en pieza unión.....  | 51 |
| Figura 71. Acabado parte inferior del eje. ....   | 52 |
| Figura 72. Croquis de referencia.....   | 52 |
| Figura 73. Rectángulo para generar perfil. ....   | 52 |
| Figura 74. Rectángulo para generar perfil, a) Círculo y rectángulo que componen el perfil, b) Perfil inferior.....  | 53 |
| Figura 75. Extrusión y corte en parte inferior para alojamiento de flecha, a) Vista inferior, b) Vista frontal. ....  | 53 |
| Figura 76. Vista del solido con transparencias, a) Vista frontal, b) Vista de perfil. ....  | 54 |
| Figura 77. Brazo principal y brazo tubular, a) Brazo principal, b) Brazo tubular. ....  | 54 |
| Figura 78. Pieza unión de brazo tubular y brazo principal.....  | 54 |
| Figura 79. Bridas para unión de brazos. ....  | 55 |
| Figura 80. Flecha y Motor (Simulación), a) Fecha de motor, b) Motor (simulación).....   | 55 |
| Figura 81. Proyecto para ensambles ....   | 55 |
| Figura 82. Insertar componentes.....  | 56 |
| Figura 83. Primer componente (Base). ....   | 56 |
| Figura 84. Segundo componente (cilindro). ....  | 56 |
| Figura 85. Posicionar componente. ....  | 57 |
| Figura 86. Componentes alineados. ....  | 57 |
| Figura 87. Componentes ensamblados base-cilindro.....   | 58 |
| Figura 88. Cambio de apariencia. ....   | 58 |
| Figura 89. Ensamble flecha y pieza unión.....   | 58 |
| Figura 90. Vista de Primeros Ensamblés.....   | 59 |
| Figura 91. Vistas del ensamble completo del robot. ....   | 59 |
| Figura 92. Placa de aluminio para eje.....  | 60 |
| Figura 93. Menú configuración de Fresado. ....  | 61 |
| Figura 94. Herramienta de corte vertical - End Mill. ....   | 62 |
| Figura 95. Herramienta de taladrado (Drill). ....   | 63 |
| Figura 96. Procedimiento para direccionamiento coordinado a HOME.....   | 63 |
| Figura 97. Movimiento de la herramienta de corte en CNC para ajustar las coordenadas.....   | 64 |
| Figura 98. Simulación del movimiento del husillo en pantalla del CNC.....   | 65 |
| Figura 99. Desbaste de la pieza de Nylamid, a) Vista lateral del desbaste de la pieza de Nylamid, b) Vista superior del desbaste de la pieza de Nylamid. ....         | 65 |
| Figura 100. Desbaste de la pieza de aluminio, a) Manufactura del eje de aluminio del brazo en CNC, b) Pieza de aluminio terminada después de ser tratada en CNC. .... | 66 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 101. Ensamble mecánico de las piezas del manipulador, a) Perforaciones para colocar brida conectora entre brazo y base del robot, b) Ensamble mecánico del brazo y el eje de la base del robot. .... | 67 |
| Figura 102. Ensamble mecánico del la base y el brazo del robot. ....  | 67 |
| Figura 103. Movimiento de prueba del brazo con voltaje de fuente regulada. ....   | 68 |
| Figura 104. Conexiones provisionales para validar movimientos del robot. ....   | 68 |
| Figura 105. Manufactura del contrapeso de hierro. ....  | 69 |
| Figura 106. Robot ensamblado en primera etapa. ....   | 69 |
| Figura 107. Pulimiento de las superficies de Nylamid del robot. ....  | 70 |
| Figura 108. Aplicación de pintura a las piezas el robot, a) Aplicación de pintura de base a las piezas del robot, b)Proceso de pintado final a las piezas del robot. ....                                   | 70 |
| Figura 109. Apariencia final de la pintura del robot, ....  | 71 |
| Figura 110 .Diagrama general de las fuentes de alimentación. ....   | 73 |
| Figura 111. Joystick y mecanismo interno del mismo utilizado en brazo manipulador. ....   | 74 |
| Figura 112. Posición inicial en el control de giro en los motores. ....   | 74 |
| Figura 113. Segunda posición en el control de giro en los motores. ....   | 75 |
| Figura 114 Tercera posición en el control de giro en los motores ....   | 75 |
| Figura 115. Esquema del caso aislado, ambos interruptores conectados a positivo. ....   | 76 |
| Figura 116. Esquema general del circuito neumático eléctrico. ....  | 77 |
| Figura 117. Diagrama Neumático activando el “Botón de captura”. ....  | 78 |
| Figura 118. Diagrama Neumático activando el “Botón de captura”. ....  | 79 |
| Figura 119. Sistema completo del brazo manipulador. ....  | 80 |
| Figura 120. Tablero de control del sistema, en el cual se ilustran la dirección y sentido de los movimientos del robot. ....  | 81 |
| Figura 121.Mecanismo de Captura. ....   | 81 |

## RESUMEN

Este trabajo se desarrollo pensando en la mejora que los sistemas CAD/CAM ofrecen en el diseño de ingeniería, construyendo un robot (brazo manipulador) de cuatro grados de libertad usando las ventajas que ofrecen los sistemas CAD/CAM. La metodología en diseño del mismo comienza con el diseño conceptual utilizando SolidWorks como plataforma de diseño (CAD) con herramientas de modelado y ensamble virtual; la parte del CAM es llevada a cabo en SolidCam permitiendo llevar el diseño al mundo real maquinando cada pieza. El control del robot es puramente basado en circuitos analógicos (abierto/ cerrado) de tal forma que al manipularlo con un tablero del tipo que es usado en los videojuegos se tenga control de cada una de las posiciones de mismo. Dicho proyecto es una aplicación de un brazo manipulador con fines didácticos, la función de éste será fortalecer la capacidad de retención y coordinación en infantes, sin descuidar el interés que despertara en otras personas de mayor edad y al impulsar la implementación de herramientas CAD/CAM para el desarrollo de nuevas tecnologías y mejorar la automatización en diferentes procesos, en especial todos aquellos que tengan que ver con la manipulación de objetos.

(Palabras clave: Robótica, Neumática, Diseño de piezas, CAD/CAM)

## **SUMMARY**

This work was developed by thinking in the improvement that the CAD/CAM systems offer in the engineering design, building a robot (a manipulating arm) with four degrees freedom using the advantages that the CAD/CAM systems offer. The methodology in its design begins with the conceptual design using SolidWorks as a design platform (CAD) with modeling tools and virtual ensemble; the CAM part is executed in SolidCam allowing taking design into the real world plotting every piece. The robot control is purely based in analogical circuits (open/close) so that, during manipulation with a keyboard the same type used for videogames, the control can be kept of each one of its positions. This project is an application of a manipulating arm with didactic purposes, its function is to strengthen the retention capacity and the coordination of children, without neglecting the interest aroused in older people and to boost the implementation of CAD/CAM tools for the development of new technologies and to improve the automation in different processes, specially all them which have to do with object manipulation.

(Key words: Robotics, Pneumatic, Pieces Design, CAD/CAM)



## DEDICATORIAS

A Dios, por el magnífico regalo de la vida y el pensamiento,  
a mi madre y a ti Edgar *por* el apoyo y comprensión incondicional en este camino.

*Saritalia*

Agradezco infinitamente a Dios por la oportunidad que me dio y me sigue dando de vivir y crecer como persona y como estudiante, siempre vigilando celosamente cada uno de mis pasos cada una de mis decisiones.

A mis padres y mis hermanas que siempre me impulsaron a superarme día a día y que tal vez muchas veces pensaron lo difícil que podía ser mi camino pero nunca dudaron que podía enfrentarlo y estar ahí cuando más necesitaba de ellos en lo económico, lo moral y lo espiritual.

A Edgar y a ti Sara por confiar en mí y brindarme su apoyo incondicional en esta gran etapa,  
gracias amigos.

Juan

## **AGRADECIMIENTOS**

- Al CONCYTEQ que con su apoyo hizo posible este proyecto desde el inicio.
- Al CEDIT que nos brindo un espacio para poder desarrollar el proyecto.
- A la Universidad Autónoma de Querétaro por brindarnos la oportunidad de desarrollarnos y crecer como ingenieros.
- A Ana Cárdenas por el tiempo que invirtió y apporto con sus ideas en nuestro proyecto
- Al Dr. Edgar Rivas Araiza por las becas alimenticias, el apoyo técnico y dirección brindado para este proyecto.
- A Nuestros sinodales por sus comentarios y recomendaciones en este trabajo.
- A nuestros amigos: Isis, Alex, Choco, Paz, Ana y todos los compañeros que durante la carrera se convirtieron en nuestra segunda familia, Gracias amigos.
- Al M.C. Julio Cesar Gutiérrez por el apoyo entusiasmo, ayuda y tiempo invertido en este proyecto.

## I. OBJETIVOS

### 1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un robot tipo brazo manipulador de cuatro grados de libertad, apoyado en herramientas de diseño y manufactura CAD/CAM para selección de dimensiones, formas y materiales más adecuados para cada pieza. Dicho robot debe contar con una interfaz de operación intuitiva y amigable, para ser operado por niños de 4 a 8 años.

### 1.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Diseñar la estructura mecánica de un brazo manipulador de cuatro grados de libertad.
- Seleccionar los materiales más adecuados para la construcción del robot mediante las herramientas que ofrece el software SolidCam.
- Realizar simulaciones de movimiento y esfuerzos que nos permita observar sus alcances antes de proceder a su fabricación, es decir tener en claro cual serán sus movimientos al llevarlo a una aplicación real.
- Proponer una aplicación para el brazo manipulador con fines didácticos, la función de éste será fortalecer la capacidad de retención y coordinación en infantes, sin descuidar el interés que despertara en otras personas de mayor edad.
- Diseñar y construir un tablero de control que permita controlar los movimientos del robot de manera manual. Dicho tablero debe ofrecer una operación intuitiva y sencilla para los niños.
- Impulsar la implementación de herramientas CAD/CAM para el desarrollo de nuevas tecnologías y mejorar la automatización en diferentes procesos, en especial todos aquellos que tengan que ver con la manipulación de objetos.

## II. INTRODUCCIÓN

El diseño de ingeniería se ha definido como el proceso de aplicar las diversas técnicas y principios científicos con el propósito de definir un dispositivo, un proceso o un sistema con suficientes detalles que permita su realización. El diseño puede ser simple o muy complejo, fácil o difícil, matemático o no matemático, puede implicar un problema trivial o uno de gran importancia (Norton, 2004).

En la actualidad los sistemas de *Diseño Asistido por Computadora/Fabricación Asistida por Computadora* (CAD/CAM por sus siglas en inglés) son disciplinas que estudian a los sistemas informáticos como herramientas de soporte en todos los procesos involucrados en el diseño y fabricación de cualquier tipo de producto, estos sistemas nos permiten conocer de manera anticipada como el comportamiento, las limitantes y la apariencia real que tendrán nuestros diseños al transportarse al mundo real.

Los sistemas CAD/CAM son también herramientas que brindan ayuda al momento de diseñar cualquier prototipo que se tenga en mente, pues mediante la simulación por computadora podemos elegir el tipo de material, el tipo de pieza y el tamaño idóneo para un mejor diseño.

Históricamente los CAD comenzaron como una ingeniería tecnológica computarizada, mientras que los CAM eran una tecnología semiautomática para el control de máquinas de forma numérica. Estas dos disciplinas nacieron separadas pero se han ido mezclando gradualmente hasta conseguir una tecnología suma de las dos de tal forma que los sistemas CAD/CAM son considerados hoy en día como una disciplina única identificable.

Estos sistemas han sido empleados con éxito en fabricación de moldes de fundición, diseño de dados para operaciones de trabajo de metales, diseño de herramientas, así como para el diseño de componentes para sistemas robóticos. Este último caso, debido a su impacto en la industria, será nuestro caso de estudio.

La aparición de la robótica viene a mejorar sin lugar a duda la eficiencia en los sistemas de producción, no solo realizando tareas que ponen en riesgo al ser humano, sino también, ayuda

a mejorar los tiempos de manufactura al apoyarse en sistemas CAD/CAM lo que se ve traducido en reducción de costos a la hora de fabricar un producto.

La implementación de robots en la industria de nuestro país suele ser bastante costosa, ya que es por lo general tecnología desarrollada por otros países. Una forma para poder impulsar de mejor manera la automatización en nuestro país es precisamente generar tecnología propia lo que le abrirá paso a nuestras industrias para competir en un mercado global.

Aunque existe la preocupación de que los programas de diseño vienen a reemplazar a los clásicos dibujantes o diseñadores de papel y lápiz pero la verdad es muy distinta, ya que sólo es una herramienta para mejorar los bosquejos que éstos realizan y dar un mejor panorama de ellos. Tan solo ésta preocupación es una de las problemáticas para evitar, no solo conocer, sino también, aprender y manejar estas herramientas por lo que en éste proyecto se propondrá utilizar herramientas CAD/CAM apoyándose en el software de SolidWorks y SolidCam para obtener un diseño de una manera más eficiente y flexible.

### **III. MARCO TEORICO**

En este capítulo se abordaran los conceptos y metodologías fundamentales necesarias para la comprensión y realización del trabajo que nos permitirá lograr los objetivos. Entre los temas a tratar se incluyen los sistemas CAD/CAM, nociones sobre robótica, conceptos de neumática y electrónica.

#### **3.1 SISTEMAS CAD/CAM**

##### *3.1.1 Conceptos básicos del CAD/CAM*

El diseño y fabricación con ayuda de la computadora comúnmente llamado CAD/CAM, es una tecnología que podría descomponerse en numerosa disciplinas, pero normalmente abarca el diseño gráfico, el manejo de bases de datos para el diseño y la fabricación, control numérico de máquinas y herramientas, robótica y visión por computadora.

La evolución del CAD/CAM ha sido debida en gran parte a que esta tecnología es fundamental para obtener ciclos de producción más rápidos y productos elaborados de mayor calidad. Las condiciones que deben reunir los sistemas CAD/CAM podrían resumirse en:

- El sistema debe ayudar al diseñador a realizar el trabajo, es decir el sistema debe realizar aquellas tareas en las que es más eficiente que el operador humano.
- El sistema debe ayudar en todos los procesos, desde el diseño conceptual al control numérico.
- En la etapa del diseño conceptual, el sistema deberá facilitar una presentación del objeto diseñado.

##### *3.1.2 Procesos de fabricación mediante sistemas CAD/CAM*

SolidWorks es un software de modelación el cual puede trabajar sobre la plataforma de Windows y que sirve como herramienta para el diseño mecánico. Proporciona un espacio virtual en el cual se puede trabajar en 2D y 3D generando diferentes tipos de vistas y realizar el ensamble de varios componentes.

La fabricación para una pieza se hace normalmente con tres diferentes programas:

- Primero se hace el diseño de la pieza con un software CAD, para este caso es el SolidWorks.

Un sistema CAD no puede crear por sí mismo. El dibujante debe concebir el dibujo (Sanz y Blanco, 2002), es decir; un diseño y un dibujo bien definidos siguen siendo esenciales. Esta es una etapa muy importante puesto que en el trabajo de un proyectista la creatividad abarca un 10% del tiempo y el 90% restante es de tipo mecánico es aquí donde toma fuerza esta herramienta ya que permite disminuir el tiempo total del diseño y a su vez aumentar el dedicado a labores creativas.

- Después se calculan las trayectorias para poder realizar la pieza anteriormente diseñada y se añade las velocidades de avance, velocidades de giros y diferentes herramientas de corte con el software CAM, SolidCam.

- Por último el software de Control recibe las instrucciones del CAM y hace que la fresadora se mueva según esas trayectorias, empezando el maquinado de la pieza en el CNC.

El conocimiento y comprensión de los sistemas CAD/CAM y las relaciones entre ellos constituyen la base esencial para el proceso de aprendizaje. Dar a conocer el fundamento de las técnicas existentes, mejora tanto la utilización de los sistemas actuales, como el desarrollo de nuevas aplicaciones de diseño y fabricación.

### **3.2 AUTOMATIZACIÓN Y ROBÓTICA**

La palabra robot se utilizó por primera vez en 1920 en una obra llamada "Los Robots Universales de Rossum", escrita por el dramaturgo checo Karel Capek. La palabra checa "Robota" significa servidumbre o trabajado forzado, y cuando se tradujo al inglés se convirtió en el término robot. Luego, Isaac Asimov comenzó en 1939 a contribuir con varias relaciones referidas a robots y a él se le atribuye el acuñamiento del término "Robótica" y con él surgen las denominadas "Tres Leyes de Robótica" que son las siguientes:

- 1) Un robot no puede actuar contra un ser humano o, mediante la inacción, que un ser humano sufra daños.
- 2) Un robot debe de obedecer las órdenes dadas por los seres humanos, salvo que estén en conflictos con la primera ley.
- 3) Un robot debe proteger su propia existencia, a no ser que esté en conflicto con las dos primeras leyes.

Los primeros sistemas semejantes a los robots, que existen en la actualidad, son los Teleoperadores (Mompin, 1986), que fueron desarrollados tras la segunda guerra mundial. Su campo de utilización fue el manejo de sustancias radiactivas sin riesgo para el operario. Consistían en un servomecanismo que, mediante dispositivos mecánicos, repetía las acciones que el operador realizaba simultáneamente.

Posteriormente, se sustituyó la unión mecánica, entre el dispositivo que manejaba el operador y el que actuaba sobre el objeto a manipular, por una unión eléctrica. Ello supuso una aproximación hacia los robots actuales, y dio pie al paso decisivo que fue la introducción de las computadoras, como elemento de control, con la característica de permitir la definición de los movimientos del sistema por medio de un programa.

El primer robot comercial fue desarrollado a principios de la década de los sesentas por GC Devol, y presentó el inicio de la robótica industrial.

El verdadero desarrollo de la robótica se inicia en la primera mitad de los años setenta. En estas mismas fechas se crean las primeras asociaciones nacionales de robótica, siendo las más importantes la Japan Industrial Robot Association (JIRA).

En 1970 se organiza el 1<sup>er</sup> International Symposium on Industrial Robots (ISIR) que se convierte, pasando unos años, en el foro más importante de intercambio de opiniones y experiencias sobre el tema.

La definición dada por la RIA es aceptada por la mayoría de los expertos del tema:

“Un robot es un manipulador reprogramable y multifuncional, diseñado para mover cargas, piezas, herramientas o dispositivos especiales, según variadas trayectorias, programadas para realizar diferentes trabajos” (Mompin, 1986).

Actualmente, el concepto de robótica ha evolucionado hacia los sistemas móviles autónomos, que son aquellos que son capaces de desenvolverse por sí mismos en entornos desconocidos y parcialmente cambiantes sin necesidad de supervisión.

En California, se desarrolló un manipulador polivalente realmente flexible conocido como Brazo Manipulador Universal Programable (PUMA, por sus siglas en inglés). El PUMA era capaz de mover un objeto y colocarlo en cualquier orientación en un lugar deseado que estuviera a su alcance. El concepto básico matriculado del PUMA es la base de la mayoría de los robots actuales (Cervantes, 2009).



En general la historia de la robótica la podemos clasificar en cinco generaciones: las dos primeras, ya alcanzadas en los ochenta, incluían la gestión de tareas repetitivas con autonomía muy limitada. La tercera generación incluiría visión artificial, en lo cual se ha avanzado mucho en los ochenta y noventa. La cuarta incluye movilidad avanzada en exteriores e interiores y la quinta entraría en el dominio de la inteligencia artificial en lo cual se está trabajando actualmente.

Los robots actuales son obras de ingeniería y como tales concebidas para producir bienes y servicios o explotar recursos naturales.

### **3.3 ARQUITECTURA DE LOS ROBOTS**

#### *3.3.1 Configuración general de un robot (Brazo Manipulador)*

Dentro de los robots existe una gran variedad de modelos que responden a necesidades específicas, como por ejemplo, robots móviles, robots controlados por visión, robots médicos, androides y otros más pero en el que este proyecto está enfocado es en los robots manipuladores.

El diseño de un manipulador robótico se inspira en el brazo humano, aunque con algunas diferencias. Por ejemplo, un brazo robótico puede extenderse telescópicamente, es decir, deslizando unas secciones dentro de otras para mover el brazo. También pueden construirse brazos robóticos de forma que puedan doblarse como la trompa de un elefante. Hay una parte final llamada captador que está diseñado para imitar la función y estructura de la mano humana. Muchos robots están equipados con capturadores especializados para agarrar dispositivos concretos, pinzas para mover objetos, un arco soldador etc. (Cervantes, 2009). Las articulaciones de un brazo robótico suelen moverse mediante motores eléctricos. En la mayoría de los robots, el captador se mueve de una posición a otra cambiando su orientación.

Cualquier robot diseñado para moverse en un entorno no estructurado o desconocido necesita múltiples sensores y controles (por ejemplo, sensores ultrasónicos o infrarrojos) para evitar obstáculos.

Es de gran ayuda conocer el sistema de un robot considerando también la interacción con su entorno.

En un robot manipulador se distinguen dos elementos claramente diferenciados, el sistema mecánico y el sistema de control aunados a la configuración física del robot, en su modo de funcionamiento habitual, el entorno, y el sistema de generación de tareas.

La ingeniería mecánica es íntimamente relacionada con el estudio de las máquinas en situaciones estáticas y dinámicas. Las matemáticas proveen de herramientas que nos ayudan a describir los movimientos específicos de los manipuladores (Mompin, 1986).

Por otro lado la ingeniería eléctrica también tiene su papel dentro de estos sistemas y se aplica en el diseño de sensores e interfaces para robots industriales.

#### - Sistema Mecánico

Está constituido por su estructura mecánica, formada por una serie de elementos mecánicos denominados eslabones, unidos entre sí por articulaciones. Estos elementos conforman tres dispositivos denominados: brazo, muñeca y elemento final, normalmente una pinza.

Los encargados de transmitir el movimiento a cada uno de los componentes mecánicos son una serie de actuadores que se activan de acuerdo a la posición, velocidad, etc., requerida y que a su vez esta dada por un conjunto de sensores internos mandan información al sistema de control.

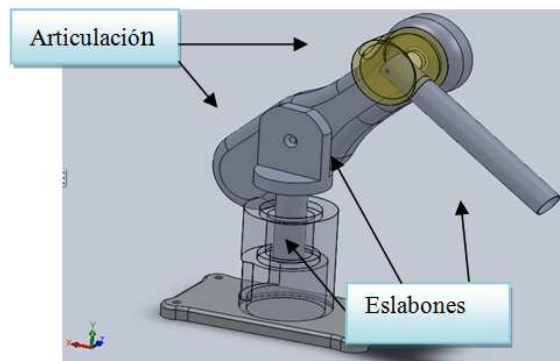


Figura 1. Sistema general de un brazo manipulador.

Se puede estar compuesto entonces por varias articulaciones aunque el aumento de estas aporta mayor maniobrabilidad pero dificulta el problema de control, obteniéndose normalmente menores precisiones por acumulación de errores.

Por esto hoy en día muchos robots industriales tienen menos de seis grados de libertad de rotación o traslación que se requieren en general para posicionar y orientar en el espacio el elemento final. Para mejorar esta situación actualmente se trabaja más con manipuladores altamente redundantes con múltiples articulaciones que permitan trabajar en áreas de trabajo de difícil acceso. Entre estos cabe destacar los robots tipo serpiente.

#### - **Sistema de Control**

Está formado por uno o varios sistemas de control que permiten manipular en tiempo real los movimientos del robot a través de la información que suministran los sensores internos.

La mayor parte de los robots industriales actuales emplean servomecanismos convencionales con retroalimentaciones de posición y velocidad para generar señales de control sobre actuadores de las articulaciones.

#### - **Generación de la Tarea**

En los robots es necesario contar con un sistema de generación de tareas complejas a muy alto nivel, como puede ser atornillar, seguimiento de objetos móviles, etc. Este sistema necesita también el modelado del entorno del robot utilizando ocasionalmente la información proporcionada por los sensores del mismo.

Estas tareas, dicho de otro modo, con el fin de mover al robot de un punto a otro de una forma suave y controlada, se dan por una función continua del tiempo. Comúnmente, cada articulación inicia y termina su movimiento al mismo tiempo, de manera que parezca un movimiento coordinado del manipulador.

#### - **Entorno**

Se entiende por tal, el conjunto de objetos que están o por su movimiento dentro del área de trabajo que tiene el robot.

Por tanto el sistema mecánico tiene interacción bidireccional con el entorno lo que puede provocar que existan variaciones ya sea por este ó por el robot mismo que puedan afectar, para corregir estas variaciones se pueden utilizar sensores externos que pueden estar físicamente a el robot o fuera de él (Mompin, 1986).

En la robótica existe el área de la manipulación. Donde la manipulación es la capacidad de actuar sobre los objetos, trasladándolos o modificándolos. Esta área se centra en la construcción de manipuladores y brazos robóticos.

Se incluye en esta definición la necesidad de que el robot tenga varios grados de libertad. Una definición más completa es la establecida por la Asociación Francesa de Normalización (AFNOR) que define primero el manipulador y, basándose en dicha definición, el robot:

**Manipulador:** Mecanismo formado generalmente por elementos en serie, articulador entre sí, destinado al agarre y desplazamiento de objetos. Es multifuncional y puede ser gobernado directamente por un operador humano o mediante dispositivos lógicos.

**Robot:** Manipulador automático servo controlado, reprogramable apropiado, capaz de posicionar y orientar piezas, útiles o dispositivos especiales, siguiendo trayectorias variables reprogramables, para la ejecución de tareas variadas. Normalmente tiene la forma de uno o varios brazos terminados en una muñeca. Su unidad de control incluye un dispositivo.

### 3.3.2 Principales características mecánicas de los robots

Los eslabonamientos son bloques de construcción básicos en todos los mecanismos, los eslabonamientos se componen de eslabones y juntas.

Un eslabón, es un cuerpo rígido (supuesto) que posee por lo menos dos nodos que son puntos de unión con otros eslabones.

Eslabón binario: el que tiene dos nodos.

Eslabón ternario: el que tiene tres nodos.

Eslabón cuaternario: el que tiene cuatro nodos.

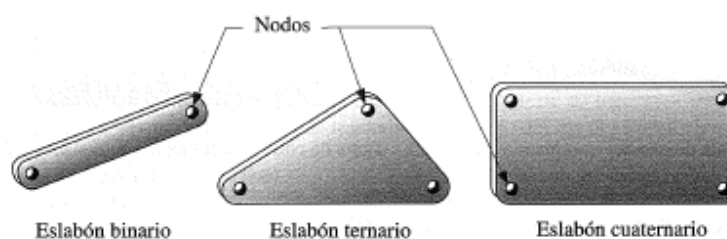


Figura 2. Eslabones de diferente orden. (Norton, 2004).

Una junta es una conexión entre dos o más eslabones (en sus nodos), la cual permite algún

Movimiento, o movimiento potencial, entre los eslabones conectados. Las juntas (también llamadas pares cinemáticos) se pueden clasificar de varias maneras:

- Por el tipo de contacto entre los elementos, de línea, de punto o de superficie.
- Por el número de grados de libertad GDL permitidos en la junta.
- Por el tipo de cierre físico de la junta: cerrada por fuerza o por forma.
- Por el número de eslabones unidos (orden de la junta).

El concepto de grado de libertad (GDL) es fundamental tanto para la síntesis como para el análisis de mecanismos. El grado de libertad (también llamado movilidad (M) de un sistema) se define como (Norton, 2004):

### **Grado de libertad (GDL)**

“El número de entradas que se necesita proporcionar para crear una salida predecible” o también: “Como el número de coordenadas independientes requerido para definir su posición”.

Las cadenas cinemáticas o mecanismos pueden ser abiertos o cerrados. Un mecanismo cerrado no tendrá puntos de fijación abiertos o nodos y puede tener uno o más grados de libertad. Un mecanismo abierto con más de un eslabón siempre tendrá más de un grado de libertad. Por lo que requiere tantos actuadores (motores) como grados de libertad tenga.

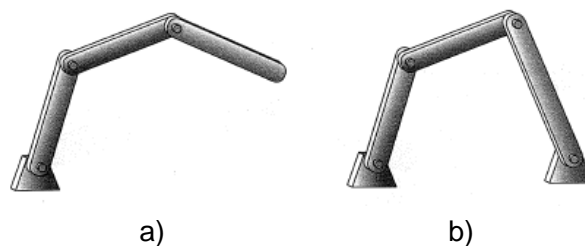


Figura 3. Cadena de mecanismos, a) Mecanismo de cadena abierta y b) Mecanismo de cadena cerrada (Norton,2004).

### 3.3.3 La diversidad de los robots

En la actualidad existen una gran cantidad de posibles configuraciones técnicas de robots, esto de acuerdo con los desplazamientos o rotaciones que pueden seguir cada uno de los grados de libertad que conforman un robot.

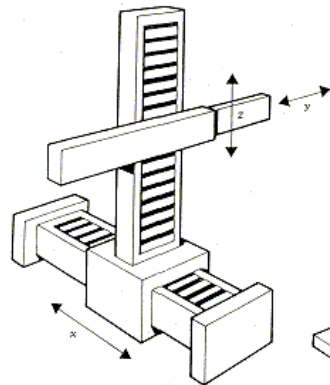
Cuando se habla de la diversidad de un robot, se habla de la forma física que se le ha dado al brazo del robot.

El brazo del manipulador puede presentar cuatro configuraciones clásicas: la cartesiana, la cilíndrica, la polar y la angular.

#### 3.3.4.1 Configuración cartesiana

Posee tres movimientos lineales, es decir, tiene tres grados de libertad, los cuales corresponden a los movimientos localizados en los ejes X, Y y Z.

Los movimientos que realiza este robot entre un punto y otro son con base en interpolaciones lineales.



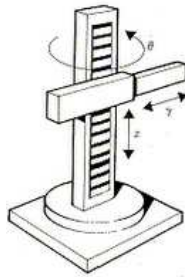
\* <http://ariel-a-viscarra.blogspot.com/2008/12/grados-de-libertad.html>

Figura 4. Robot de configuración cartesiana.

A la trayectoria realizada en línea recta se le conoce como interpolación lineal y a la trayectoria hecha de acuerdo con el tipo de movimiento que tienen sus articulaciones se le llama interpolación por articulación.

### 3.3.4.2 Configuración cilíndrica

Puede realizar dos movimientos lineales y uno rotacional, o sea, que presenta tres grados de libertad. El robot de configuración cilíndrica está diseñado para ejecutar los movimientos conocidos como interpolación lineal e interpolación por articulación.



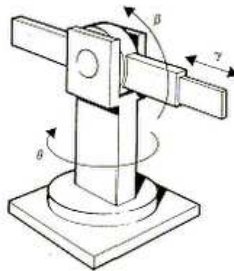
\* <http://ariel-a-viscarra.blogspot.com/2008/12/grados-de-libertad.html>

Figura 5. Robot de configuración cilíndrica.

La interpolación por articulación se lleva a cabo por medio de la primera articulación, ya que ésta puede realizar un movimiento rotacional.

### 3.3.4.3 Configuración polar

Tiene varias articulaciones. Cada una de ellas puede realizar un movimiento distinto: rotacional, angular y lineal. Este robot utiliza la interpolación por articulación para moverse en sus dos primeras articulaciones y la interpolación lineal para la extensión y retracción.

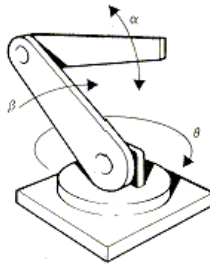


\* <http://ariel-a-viscarra.blogspot.com/2008/12/grados-de-libertad.html>

Figura 6. Robot de configuración polar.

### 3.3.4.4 Configuración angular (Brazo Articulado)

El robot usa 3 juntas de rotación para posicionarse. Generalmente, el volumen de trabajo es esférico. Estos tipos de robot se parecen al brazo humano, con una cintura, el hombro, el codo y la muñeca.



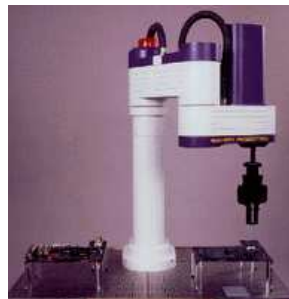
\* <http://ariel-a-viscarra.blogspot.com/2008/12/grados-de-libertad.html>

Figura 7. Robot de configuración angular.

Presenta una articulación con movimiento rotacional y dos angulares. Aunque el brazo articulado puede realizar el movimiento llamado interpolación lineal (para lo cual requiere mover simultáneamente dos o tres de sus articulaciones), el movimiento natural es el de interpolación por articulación, tanto rotacional como angular.

#### 3.3.4.5 Robot tipo SCARA

Similar al de configuración cilíndrica, pero el radio y la rotación se obtiene por uno o dos eslabones. Este brazo puede realizar movimientos horizontales de mayor alcance debido a sus dos articulaciones rotacionales. El robot de configuración SCARA también puede hacer un movimiento lineal (mediante su tercera articulación).



\* <http://ariel-a-viscarra.blogspot.com/2008/12/grados-de-libertad.html>

Figura 8. Robot SCARA.

### 3.4 MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA

Los motores de corriente continua son similares en su construcción a los generadores. De hecho podría describirse como generadores que funcionan al revés. Cuando la corriente pasa a través de la armadura de un motor de corriente continua, se genera un par de fuerzas debido a la acción del campo magnético, y la armadura que gira. La función del conmutador y de las



conexiones de las bobinas del campo de los motores es exactamente la misma que en los generadores. La revolución de la armadura induce un voltaje en las bobinas de ésta. Este voltaje es opuesto al voltaje exterior que se aplica a la armadura, y de ahí que se conozca como voltaje inducido o *fuerza contraelectromotriz*. Cuando el motor gira más rápido, el voltaje inducido aumenta hasta que es casi igual al aplicado. La corriente entonces es pequeña y la velocidad del motor permanecerá constante siempre que el motor no esté bajo carga y tenga que realizar otro trabajo mecánico que no sea el requerido para mover la armadura. Bajo carga, la armadura gira más lentamente, reduciendo el voltaje inducido y permitiendo que fluya una corriente mayor en la armadura (Cervantes,2009).

Los motores de corriente alterna y los de corriente continua se basan en el mismo principio de funcionamiento, el cual establece que si un conductor por el que circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de la acción de un campo magnético, éste tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas de acción del campo magnético.

La velocidad a la que funciona un motor depende de la intensidad del campo magnético que actúa sobre la armadura, así como de la corriente de esta. Cuanto más fuerte es el campo, más bajo es el grado de rotación necesario para generar un voltaje inducido lo bastante grande como para contrarrestar el voltaje aplicado. Por esta razón, la velocidad de los motores de corriente continua puede controlarse mediante la variación de la corriente del campo.

El motor de CD es básicamente un transductor de par que convierte la energía eléctrica en energía mecánica. El par desarrollado por el eje del motor es directamente proporcional al flujo en el campo y a la corriente en la armadura.

$$T_m = K_m \phi i_a \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde  $T_m$  es el par del motor (N-m, lb-pie, u oz.-plg.),  $i_a$  es la corriente de armadura (amperes), y  $K_m$  es una constante de proporcionalidad.

Además cuando el conductor se mueve en el campo magnético se genera un voltaje entre sus terminales. Este voltaje **la fuerza contraelectromotriz**, la cual es proporcional a la velocidad del eje, tiende a oponerse al flujo de la corriente. La relación entre la fuerza contraelectromotriz y la velocidad del eje es:

$$e_b = K_m \phi \omega_m \quad \text{Ec.( 2 )}$$

En donde  $e_b$  denota la fuerza contra electromotriz (volts), y  $\omega_m$  es la velocidad del eje(rad/s) del motor. Las ecuaciones 1 y 2 forman la base de la operación del motor de CD

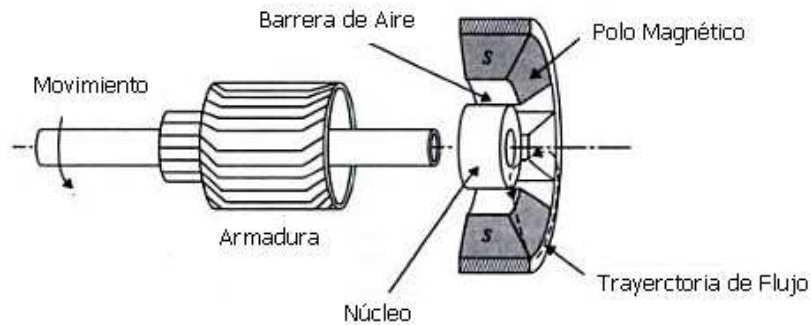


Figura 9. Partes del motor de corriente directa (Cervantes, 2009).

### 3.5 ELEMENTOS DE AUTOMATIZACIÓN NEUMÁTICA Y SISTEMAS DE VACIO

Los cilindros neumáticos, los actuadores de giro y los motores de aire suministran la fuerza de movimiento en la mayoría de los sistemas de control neumático para sujetar, mover, formar y procesar el material (Martínez, 2006).

Para accionar y controlar estos actuadores, se requieren otros componentes neumáticos, por ejemplo unidades de accionamiento de aire para preparar el aire comprimido y válvulas para controlar la presión, el caudal y el sentido de movimiento de los actuadores.

#### 3.5.1 Producción de aire comprimido

Compresor: el aire tomado a presión atmosférica se comprime y posteriormente se entrega a presión más elevada al sistema neumático. Así se transforma la energía mecánica en energía neumática.

Según las exigencias de los sistemas neumáticos referentes a la presión de trabajo y al caudal suministrado, se pueden emplear diversos tipos de compresores, de los cuales se distinguen dos tipos básicos:

-El primero trabaja según el principio de desplazamiento, en el cual la compresión se obtiene por la admisión del aire en un recinto, donde luego se reduce su volumen, esto se realiza en un compresor de émbolo (oscilante o rotativo).

-El segundo trabaja según el principio de la dinámica de los fluidos, en donde el aire es aspirado por un lado y comprimido como consecuencia de la aceleración del mismo mediante una turbina.

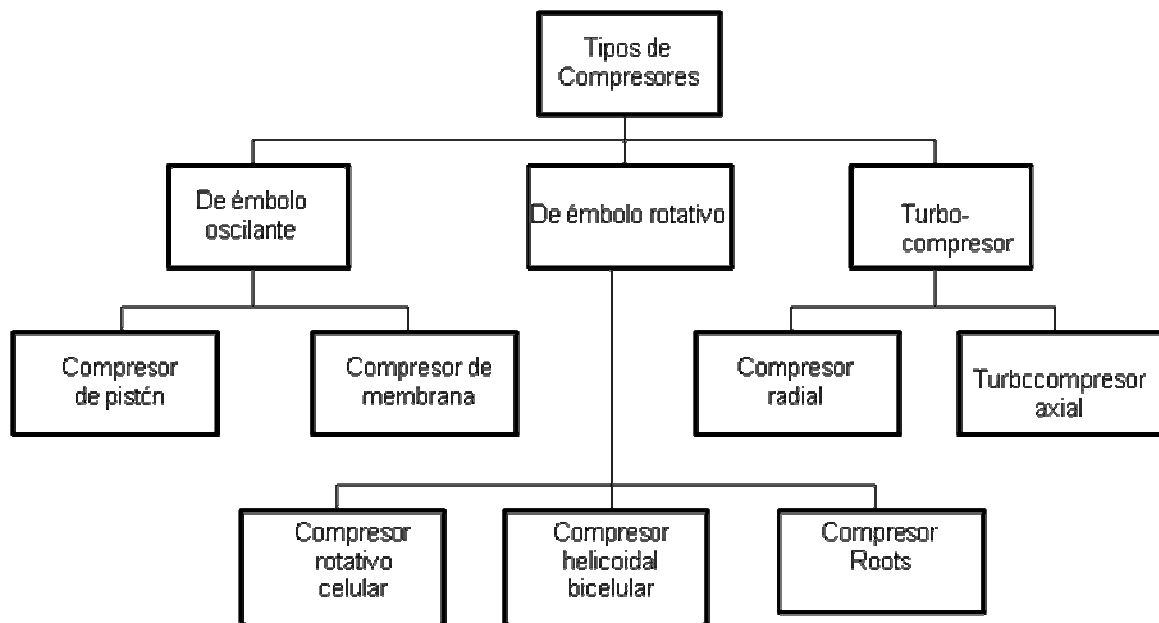


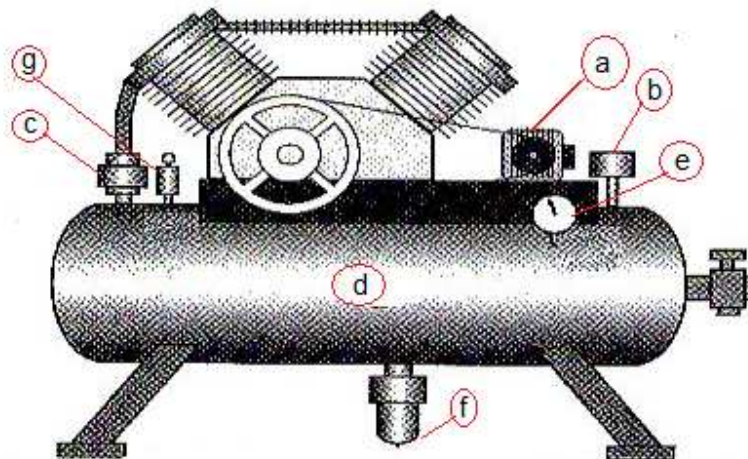
Figura 10. Tipos de compresores (Martínez, 2006).

El compresor más frecuentemente empleado es el émbolo oscilante, puede emplearse como unidad estacionaria o móvil y es apropiado para comprimir a baja media o alta presión, entregando caudales superiores a los 500 m<sup>3</sup>/min con presiones hasta de varios miles de KPa.

Las partes que componen un compresor son las siguientes:

- a) **Motor eléctrico:** suministra la energía mecánica al compresor (movimiento), transforma la energía eléctrica en energía mecánica.

- b) **Presostato:** controla el accionamiento del motor eléctrico detectando la presión en el depósito. Se ajusta a la presión máxima a la que debe desconectar el motor y a la presión mínima a la que vuelve a arrancar el motor.
- c) **Válvula anti-retorno:** deja pasar el aire comprimido del compresor al depósito e impide su retorno cuando el compresor está parado.
- d) **Deposito:** almacena el aire comprimido su tamaño está definido por la capacidad del compresor. Cuanto más grande sea su volumen, más largos son los intervalos entre los accionamientos del compresor.
- e) **Manómetro:** El manómetro es un instrumento utilizado para la medición de la presión en los fluidos, generalmente determinando la diferencia de la presión entre el fluido y la presión local.
- f) **Purga automática:** purga o drena toda el agua que se condensa en el depósito sin necesidad de supervisión.
- g) **Válvula de seguridad:** expulsa parte del aire comprimido si la presión en el depósito sobrepasa la presión permitida; logrando con esto establecer una presión máxima.



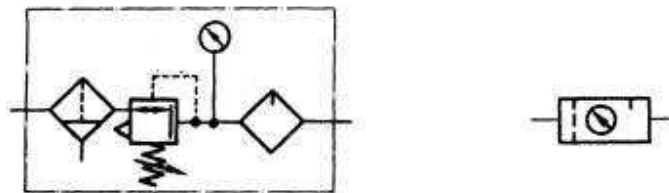
\*<http://lh6.ggpht.com/ra.juan.jose/R9Efltr2NAI/AAAAAAAAATw/CY39HJCu-2M/basico1.png.jpg>

Figura 11. Partes de un compresor.

### 3.5.2. Unidad de mantenimiento

Las tres funciones básicas del acondicionamiento del aire a presión son filtrar, regular y lubricar el aire proveniente del compresor.

El elemento que se encarga de estas funciones es la unidad de mantenimiento; también conocida como conjunto FRL, que está formado por un filtro, un regulador de presión con manómetro y un lubricador. El símbolo del conjunto completo es:



[\\*http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/neumatica-y-oleohidraulica/trasparencias/unidadMantenimiento.pdf](http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/neumatica-y-oleohidraulica/trasparencias/unidadMantenimiento.pdf)

Figura 12. Símbolo de la unidad de mantenimiento.

Su función principal es el acondicionamiento del aire comprimido, para suministrar el aire limpio a una presión óptima y ocasionalmente añade lubricante, para alargar la duración de los componentes del sistema neumático que necesitan lubricación (Martínez, 2006)

### 3.5.3 Válvulas de vías

Las válvulas de vías son dispositivos que influyen en el paso, el bloqueo y la dirección de flujo de aire. El símbolo de las válvulas informa sobre la cantidad de conexiones, la posición de conmutación y sobre el tipo de accionamiento.

La posición inicial de una válvula equipada con un sistema de reposición (un muelle, por ejemplo) se refiere a la posición que ocupan las piezas móviles de la válvula cuando no está conectada (Vargas, 2003).

Diseños de válvulas:

-Válvulas de asiento

Asiento de bola

Asiento de plato

-Válvulas de corredera

Longitudinal (válvulas de émbolo)

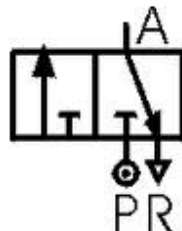
Longitudinal plana

Plato giratorio

### 3.5.3.1 Válvulas de 3/2 vías

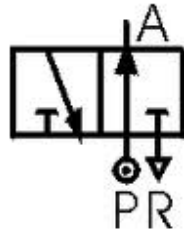
Estas válvulas tienen tres conexiones y dos posiciones. La tercera conexión R permite la evacuación del aire del conducto transmisor de la señal.

La válvula que es accionada manualmente con un pulsador, se encuentra en estado normal de bloqueo. La conexión **P** está bloqueada y la evacuación del aire del cilindro se efectúa a través del paso de **A** hacia **R**. Oprimiendo el pulsador, el aire a presión puede pasar de **P** hacia **A**, con lo que el émbolo del cilindro avanza superando la fuerza del muelle de reposición. Si se suelta el pulsador, la válvula conmuta por acción de su muelle y en consecuencia, el cilindro retrocede hasta su posición de final de carrera posterior por acción de la fuerza que ejerce su muelle de reposición.



\*[http://www.smc.eu/portal/NEW\\_EBP/18%29Introduction\\_of\\_cat/18.1%29Intro/c%29Pneumatics\\_S/pn\\_symbols\\_ES.pdf](http://www.smc.eu/portal/NEW_EBP/18%29Introduction_of_cat/18.1%29Intro/c%29Pneumatics_S/pn_symbols_ES.pdf)

Figura 13. Válvula de 3/2 vías, cerrada posición normal.



\*[http://www.smc.eu/portal/NEW\\_EBP/18%29Introduction\\_of\\_cat/18.1%29Intro/c%29Pneumatics\\_S/pn\\_symbols\\_ES.pdf](http://www.smc.eu/portal/NEW_EBP/18%29Introduction_of_cat/18.1%29Intro/c%29Pneumatics_S/pn_symbols_ES.pdf)

Figura 14. Válvula de 3/2 vías, abierta posición normal.

Donde:

Tuberías o conductos de trabajo A, B, C

Empalme de energía P

Salida de escape R, S, T

Tuberías o conductos de pilotaje Z, Y, X

Las válvulas coaxiales de accionamiento directo trabajan desde 0 bar en adelante. Son completamente de mando directo, de manera que cualquier presión de entrada no produce ningún efecto en las características de conmutación de la válvula. El fluido a controlar, fluye a través de la válvula sin cambios de dirección significativos.

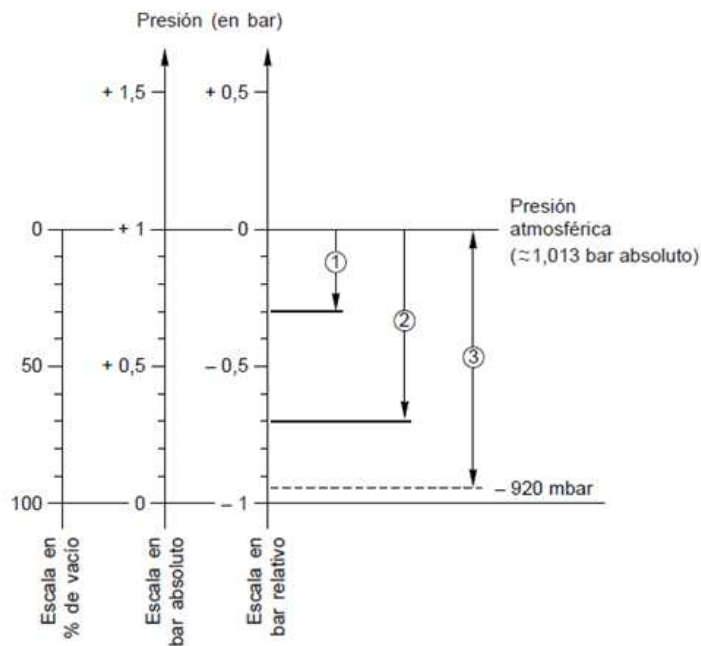
#### 3.5.4 Sistemas de Neumáticos de Vacío

El vacío corresponde al estado de un gas cuya densidad de moléculas es inferior a la del ambiente, y la presión inferior a la presión atmosférica.

La unidad habitual en técnica de vacío es el milibar (mbar).

Con el fin de evitar cualquier ambigüedad, es necesario precisar cómo se expresa el nivel de éste:

- Nivel de depresión (valor en presión relativa, con relación a la presión atmosférica).
- Nivel de vacío en valor absoluto (definido con relación al cero absoluto).



- +1 Valor de esta depresión vacío:
  - - 300 mbar (relativos o - 0,3 bar relativo) o • + 700 mbar absolutos (o + 0,7 bar absoluto)
- +2 Valor de esta depresión vacío:
  - - 700 mbar (relativos o - 0,7 bar relativo) o • + 300 mbar absolutos (o + 0,3 bar absoluto)
- +3 Zona de utilización de los componentes Joucomatic para la presión por vacío (de 0 a - 920 mbar relativos).

Figura 15. Representación de los niveles de presión (Martínez, 2006).

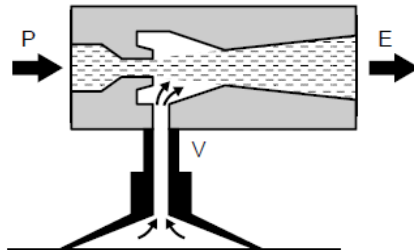
El efecto Venturi (también conocido tubo de Venturi) consiste en que un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado disminuye su presión al aumentar la velocidad después de pasar por una zona de sección menor. Si en este punto del conducto se introduce el extremo de otro conducto, se produce una aspiración del fluido contenido en este segundo conducto. Este efecto, demostrado en 1797, recibe su nombre del físico italiano Giovanni Battista Venturi (1746-1822).

Entre los diferentes medios de crear una depresión, los generadores de vacío de efecto Venturi presentan numerosas ventajas: técnica simple y competitiva, sin desgaste (ninguna pieza en movimiento), reducida dimensiones, compacto, gran ligereza permitiendo su montaje directamente sobre los sistemas utilizados en robótica. Esta disposición reduce la longitud de las tuberías y mejora el tiempo de respuesta.

El efecto Venturi de estos aparatos permite obtener, a partir de una fuente de aire comprimido de 2 a 6 bar, un vacío de alrededor de 920 mbar.

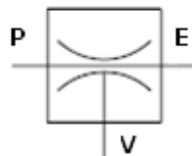


Atravesando la boquilla de eyección del Venturi, la alimentación de aire comprimido (**P**) provoca una aspiración (**V**) y crea una depresión en el circuito de presión (- 920 mbar a partir de 5 bar). El aire es evacuado a través de un silencioso de escape situado en (**E**).



\* [http://www.asconumatics.eu/images/site/upload/\\_es/pdf1/p900aES.PDF](http://www.asconumatics.eu/images/site/upload/_es/pdf1/p900aES.PDF)

Figura 16. Esquema de vacío utilizando un tubo Venturi en combinación con una ventosa.



\*[http://www.smc.eu/portal/NEW\\_EBP/18%29Introduction\\_of\\_cat/18.1%29Intro/c%29Pneumatics\\_S/pn\\_symbols\\_ES.pdf](http://www.smc.eu/portal/NEW_EBP/18%29Introduction_of_cat/18.1%29Intro/c%29Pneumatics_S/pn_symbols_ES.pdf)

Figura 17. Símbolo de válvula de soplado de vacío.

### 3.6 FUENTES DE VOLTAJE REGULADAS

Los motores eléctricos requieren de una fuente de alimentación adecuada capaz de suministrar la corriente de carga, sin variaciones considerables de voltaje, de acuerdo a las condiciones del sistema mecánico. En esta sección se abordan los conceptos teóricos para comprender el diseño y cálculo de los componentes de una fuente regulada de voltaje ajustable.

Puesto que casi todos los circuitos electrónicos trabajan con corriente directa, es necesario realizar la conversión de la corriente alterna que se transmite en el país. Para convertir la tensión alterna en continua se utilizan los circuitos rectificadores. Sin embargo, la tensión continua disponible a la salida del filtro del rectificador puede que no sea lo suficientemente buena, debido al rizado, para una aplicación particular o que varíe su magnitud ante determinados tipos de perturbaciones que puedan afectar al sistema como por ejemplo variaciones de la carga, de la temperatura o de la red hasta un 10%. En estos casos se

precisan circuitos de estabilización o de regulación para conseguir que la tensión continua a utilizar sea lo más constante posible.

De aquí, el concepto de fuente regulada de alimentación, como un dispositivo electrónico encargado de suministrar un voltaje o una corriente continua, lo más estable posible, a los distintos elementos que se conecte a él.

Una fuente de tensión regulada utiliza normalmente un circuito automático de control que detecta, prácticamente de un modo instantáneo, las variaciones de la tensión de salida y las corrige automáticamente. En general, todo sistema de control requiere los siguientes elementos básicos:

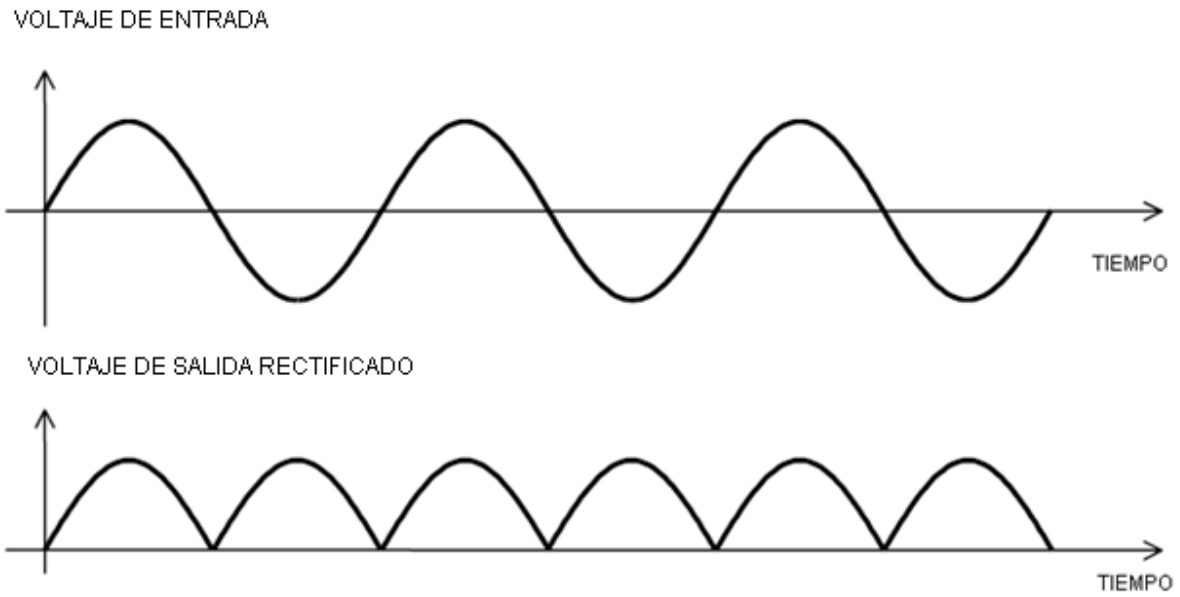
- *Transformación de voltaje*

En algunos casos, es necesario reducir o aumentar el voltaje o la corriente disponible para alimentar un circuito determinado. Para estos fines, se emplea un dispositivo eléctrico conocido como el transformador de poder. El transformador permite obtener voltajes mayores o menores que los producidos por una fuente de energía eléctrica de corriente alterna, por lo general entre 105 y 120 voltios RMS.

Un transformador se compone de dos enrollamientos o embobinados eléctricamente aislados entre sí, devanados sobre el mismo núcleo de hierro o de aire. Una corriente alterna que circula por uno de los devanados genera en el núcleo un campo magnético alterno, del cual la mayor parte atraviesa al otro devanado e induce en él una fuerza electro- motriz también alterna. La potencia eléctrica es transferida así de un devanado a otro, por medio del flujo magnético a través del núcleo. El devanado al cual se le suministra potencia se llama primario, y el que cede potencia se llama secundario. En cualquier transformador, no todas las líneas de flujo están enteramente en el hierro, porque algunas de ellas vuelven a través del aire.

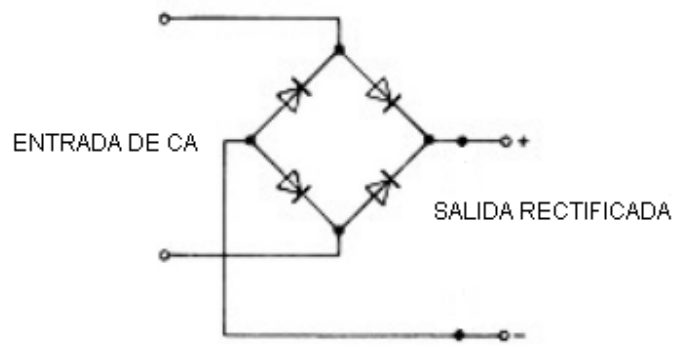
- *Rectificación*

Un circuito rectificador que convierte la corriente alterna en corriente directa pulsante que luego puede filtrarse en corriente directa pura, emulando la producida por las baterías. Para hacerlo, el rectificador debe conducir corriente con el mínimo de resistencia en dirección hacia la carga y bloquear su flujo en dirección inversa. El diodo, dispositivo semiconductor con sus características de corriente unidireccional y unipolar, es muy adecuado para rectificar.



<http://www.fceia.unr.edu.ar/enica3/rectif.pdf>

Figura 18. Entrada y salida del rectificador de onda completa.



<http://www.fceia.unr.edu.ar/enica3/rectif.pdf>

Figura 19. Símbolo del rectificador de onda completa.

- *Filtros*

Los filtros son dispositivos eléctricos que tienden a adecuar una tensión alterna para utilizarla como alimentación continua de cualquier circuito.

## - Regulación

El concepto de fuente de alimentación engloba el conjunto de transformación, rectificación y regulación de la fuente eléctrica primaria. El regulador es el componente de la fuente que se intercala entre la fuente de alimentación con salida no regulada, es decir rectificadora y filtrada, y la carga.

El regulador es un dispositivo activo en el que se producen los cambios pertinentes para que la salida permanezca estable. Esto se consigue comparando la salida con una referencia de buena estabilidad y utilizando el resultado de dicha comparación para producir los cambios internos precisos. El regulador opera, por lo tanto, como un servomecanismo cuyo tiempo de respuesta es finito y cuyo error en la estabilidad es función de la ganancia del bucle de realimentación.

### *Clasificación y tipos de reguladores*

Existen fundamentalmente dos clases de reguladores:

- Reguladores lineales
- Reguladores conmutados

**Los reguladores lineales** operan con corriente continua a la entrada de un nivel siempre superior a la salida deseada, y equivalen a una resistencia cuyo valor se ajusta automáticamente, y está conectada entre la entrada y la salida que, por efecto Joule, disipa en forma de calor el exceso de potencia eléctrica disponible en la fuente primaria, lógicamente siempre superior a la que exige la carga. Su rendimiento energético es por tanto siempre inferior a la unidad, pues lo contrario significaría la inexistencia del regulador.

**Los reguladores conmutados** operan de forma absolutamente diferente, con el fin de no desperdiciar energía en forma de calor. Para ello se hace intervenir un parámetro no eléctrico: el tiempo.

Como su nombre indica, su principio de funcionamiento está basado en un conmutador que interrumpe el suministro de corriente en la fuente primaria, a intervalos de duración variable con respecto a los de conducción, haciendo automáticamente que el valor medio de la energía conducida coincida con las necesidades de la carga. Como no existe en ellos ninguna pérdida

intencionada de energía, el rendimiento teórico será la unidad. Además, en algunos casos, pueden funcionar con corriente continua pulsante como es una señal alterna rectificadas sin filtrar.

Los reguladores conmutados pueden funcionar a frecuencia fija o variable, pues lo importante es la relación de tiempos de conducción y bloqueo. No obstante, su control resulta más fácil si la frecuencia es constante, de un valor que en principio puede ser cualquiera. Cuando se utiliza la red como fuente primaria, resulta muy cómodo utilizar su frecuencia, que ya está disponible, y como la simplificación es importante, se debe proceder a la rectificación simultáneamente con la regulación.

Los reguladores lineales de voltaje son prácticos, económicos y de fácil manejo; a continuación se presentarán las características y configuración para uno de los reguladores de tres terminales más populares.

El Regulador de **LM338K**, del fabricante National Semiconductor, es un regulador de voltaje positivo de 3 terminales, capaz de suministrar hasta 5 amperes de corriente, dentro de un rango de 1,2 V a 32 V de voltaje de salida, se requieren sólo dos resistencias para ajustar la tensión de salida.

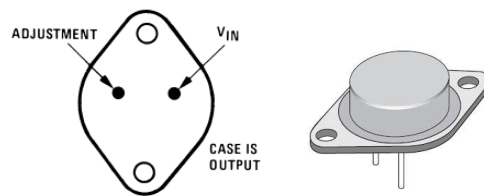
Una característica única de la familia LM138 es la limitación de la corriente pendiente del tiempo función del tiempo. La circuitería de alimentación de corriente permite que picos de corriente de hasta 12 amperes sean disipados por el regulador por cortos periodos de tiempo, esto permite que el LM338 se pueda utilizarse con cargas de transiciones pesadas y velocidades de arranque bajo condiciones de carga completa. Bajo condiciones de carga sostenida, el límite de corriente decrece a un valor seguro protegiendo al regulador.

El circuito incluye una protección contra sobre carga térmica para el transistor de potencia. La protección contra la sobrecarga funciona aun si el pin de ajuste se deja desconectado accidentalmente. Este regulador viene en dos versiones de encapsulado el TO3 y el TO220. La temperatura de operación es de 0°C a 125°C.

Entre las aplicaciones de este circuito se encuentran las fuentes de voltaje ajustable, regulador de corriente constante y cargadores de baterías.

En funcionamiento, el LM138 desarrolla una referencia de voltaje nominal de 1.25V,  $V_{REF}$ , entre las terminales de salida y de ajuste. El voltaje de referencia se impresiona a través de la resistencia R1 y, puesto que el voltaje es constante, una corriente constante  $I_1$  entonces fluye a través de la resistencia R2 de salida, dando un voltaje de salida de:

$$V_{OUT} = V_{REF} \left( 1 + \frac{R2}{R1} \right) + I_{ADJ} R2 \quad \text{Ec. (3)}$$



\*<http://www.national.com/ds/LM/LM138.pdf>

Figura 20. Encapsulado TO3 de metal.

## IV. METODOLOGIA

La elaboración de este proyecto se llevó a cabo dentro del Centro de Diseño e Innovación Tecnológica (CEDIT) que se encuentra en la facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro. La parte de diseño conceptual del brazo manipulador se elaboró dentro del centro de cómputo de dicho laboratorio pues cuenta con el software requerido (SolidWorks) para el diseño del mismo, la manufactura se efectuó en el taller que se encuentran en este mismo lugar, el cual cuenta con un centro de maquinado (CNC) DYNAMYTE DM4326 indispensable para la elaboración de las principales piezas del robot.

El proyecto tiene cuatro etapas principales para su elaboración:

- Diseño conceptual
- Manufactura
- Ensamble y pruebas (físicas)
- Acabado final

Estas cuatro etapas del proyecto se abordarán a detalle en las siguientes secciones, con el fin de dar una descripción profunda de cada una de las etapas del proceso construcción de este brazo manipulador.

### 4.1 DISEÑO CONCEPTUAL

Para el diseño se parte del proceso previo de configuración mental y bosquejo (“papel y lápiz”), esto quiere decir, que fue importante basar la idea del diseño en modelos reales de robots forma como en su desempeño. Este proceso fue una parte medular en el proyecto, ya que en él se pudo establecer desde la cantidad de ejes que tendría el robot, hasta la apariencia que tendría el mismo en cuestión de tamaño y alcance.

Con una idea clara de lo que se pensaba implementar se comenzó el diseño con ayuda de herramientas de diseño en 3D, la ventaja de usar dichas herramientas es que permiten obtener diferentes vistas de cada una de las piezas diseñadas, siendo el *SolidWorks* la herramienta utilizada en este punto del proyecto.

El inicio del diseño del robot se comienza con la elaboración individual de cada pieza del mecanismo para así después realizar el ensamble del brazo, dándonos la oportunidad de decidir si las longitudes de cada una de las piezas son las adecuadas y las tolerancias de movimiento que se están considerando están dentro de los límites que previamente se establecieron para el mecanismo.

Para elaborar cada una de estas piezas seguimos los siguientes pasos:

Para el modelado de cada pieza, se inicializa el programa y se crea un nuevo documento pulsando el botón correspondiente, tal como se muestra en la Fig. 21.

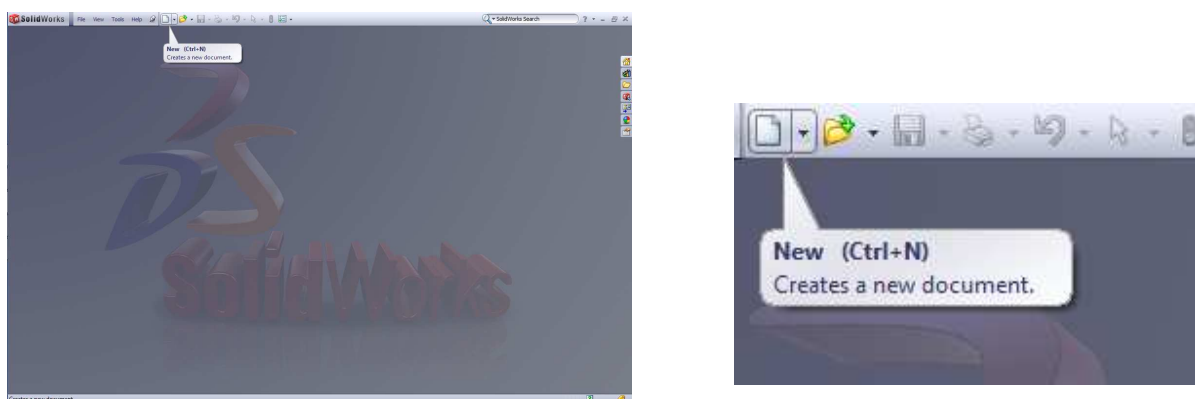


Figura 21. Pantalla de inicio y botón para crear nuevo documento.

La siguiente ventana en aparecer permite especificar el tipo de documento que se desea crear (una pieza, un ensamble, o un dibujo de ingeniería 2D). En este punto, seleccionamos la opción crear nueva pieza (Figura 22).

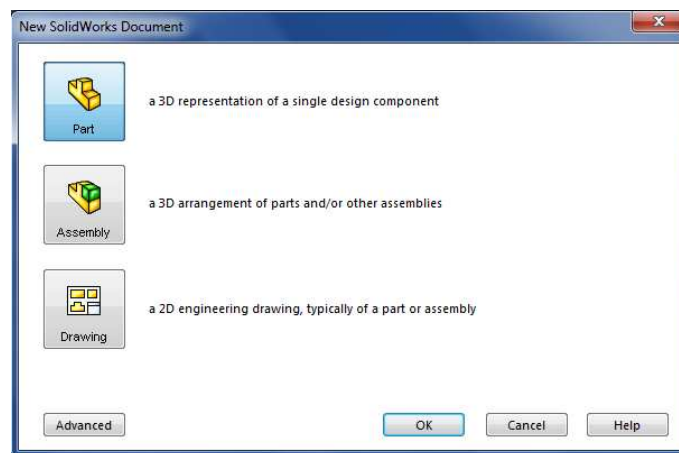


Figura 22. Tipo de documentos a crear.



La primera pieza a modelar fue la parte de la base del robot, la importancia de esta pieza radica en que hace posible que el robot permanezca estable.

Para el comienzo de la base, se elaboró un croquis (*sketch*), se seleccionó el plano sobre el cual se realizó el primer bosquejo. Hay que mencionar que se tienen los ejes X, Y y Z por lo tanto al escoger un plano se sobre entiende que se trabajara con la combinación de dos ejes cuales quiera.



Figura 23. Icono para crear croquis (*sketch*).

Dentro de la barra de diseño se selecciona el icono del rectángulo, dibujando un rectángulo de 12.50 x 6.00pulgadas de esta manera, en la siguiente figura se aprecia la ubicación de dicho icono dentro de la ventana de diseño.

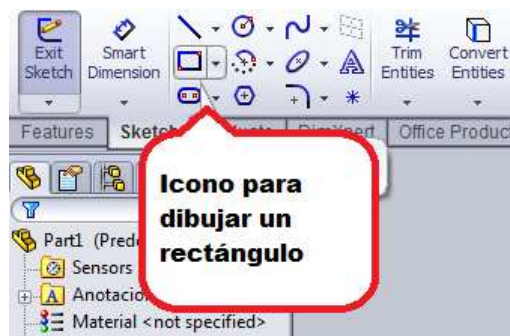


Figura 24. Icono para dibujar rectángulo.

Este programa de diseño ofrece diferentes tipos de ayuda durante el proceso de diseño, las cuales nos encaminan para lograr que la pieza que estamos diseñando este de acuerdo a las expectativas requeridas por el diseñador.

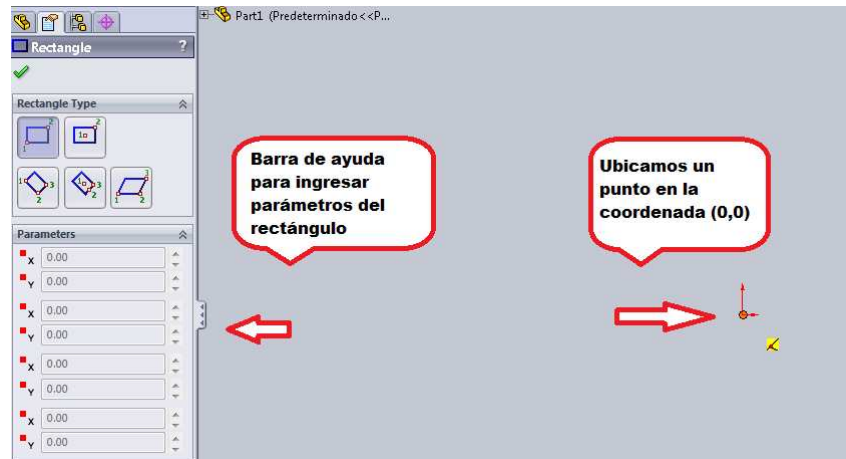


Figura 25. Barra de ayuda para dibujar rectángulo.

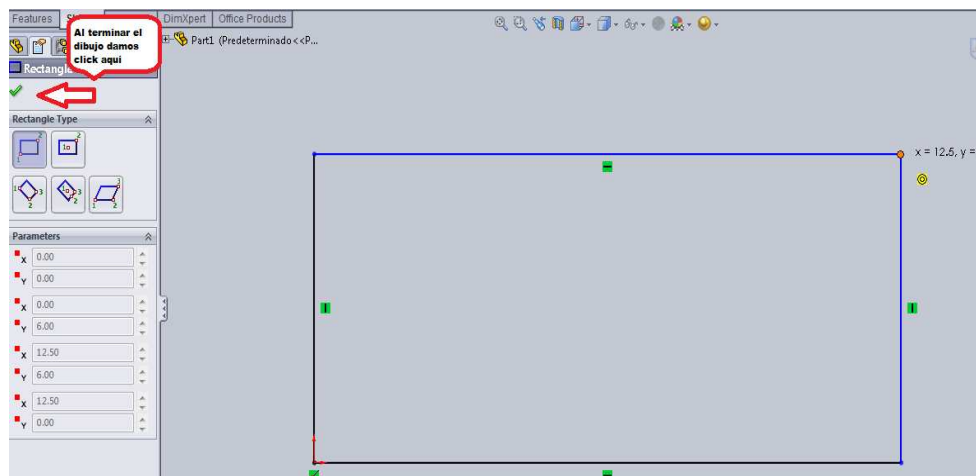


Figura 26. Dibujo de rectángulo utilizado para la elaboración de la base.

Posteriormente una vez dibujado el rectángulo se dibuja un círculo en cada vértice del rectángulo con un radio de 1.25 pulgadas.

Nuevamente para dibujar este círculo se hace uso del icono para dibujar círculos que se encuentra en la barra de dibujo.

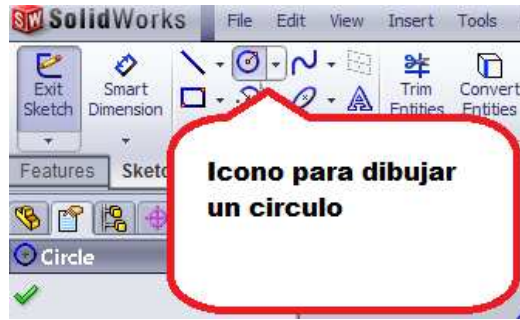


Figura 27. Icono para dibujar círculos.

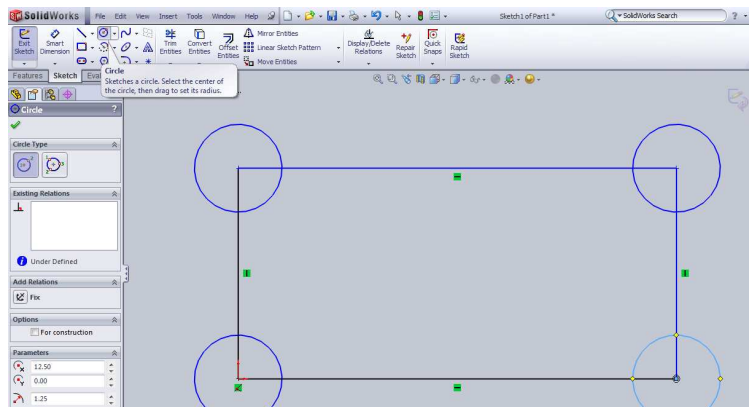


Figura 28. Círculos dibujados dentro del rectángulo.

Al colocar el cursor sobre cualquiera de los vértices y seleccionarlo, se tomara en ese punto el centro del círculo. Después se dibuja otro rectángulo concéntrico al rectángulo anterior, con las siguientes dimensiones 14.00 x 7.5pulgadas.

Haciendo un offset al primer rectángulo automáticamente se genera otro de manera concéntrica que es lo que se buscaba, ahora bien el offset fue de 0.750 pulgadas, como el offset va a generar un rectángulo al exterior del que ya se tiene, al darle un offset de 0.75 pulgadas será lo necesario para que el nuevo rectángulo obtenga las dimensiones de 14.00 x 7.50 pulgadas, ya que ya que se hace uno nuevo a partir del rectángulo anterior de 0.75 pulgadas en cada uno de sus lados.

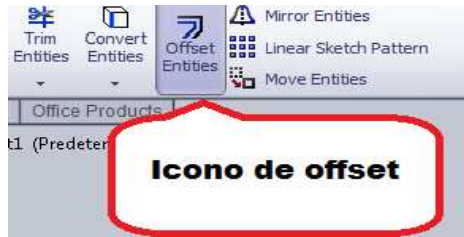


Figura 29. Icono de herramienta Offset.

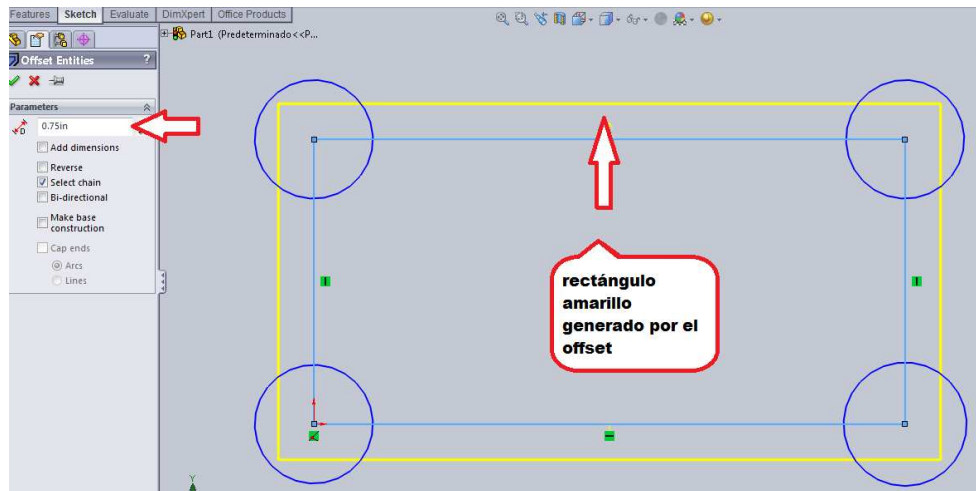


Figura 30. Offset del rectángulo.

Ahora con la herramienta "Trim Entities" se cortaron las secciones de líneas que se utilizó en el dibujo, esto con el fin de ir dando forma al diseño de la base.

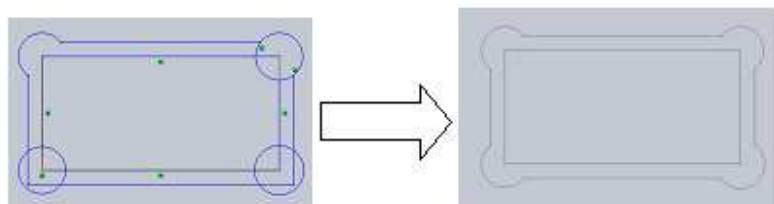


Figura 31. Corte de Líneas en Rectángulo Base.

El siguiente paso fue salir de la función "croquis" y darle dimensiones de profundidad al dibujo, con esto la base comenzó a tener forma en 3D, seleccionando primero las líneas que forman el rectángulo interno.

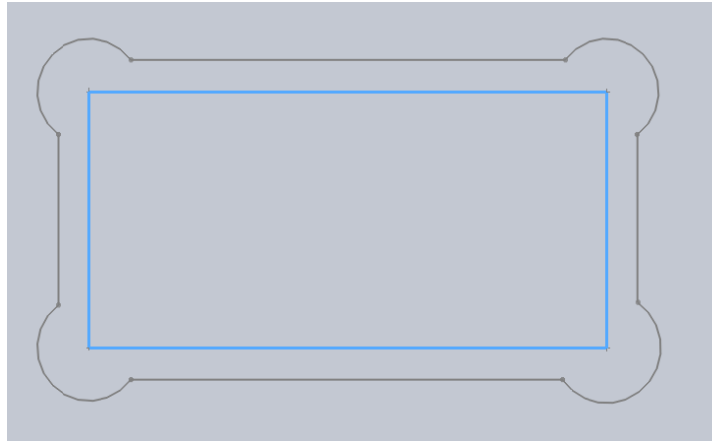


Figura 32. Perfil para la base.

El objetivo fue que la parte seleccionada obtenga la forma de un bloque sólido al darle profundidad, con ayuda de la herramienta “*Extruded Boss/Base*” (extrusión) que se encuentra en la pestaña de “*Features*”.

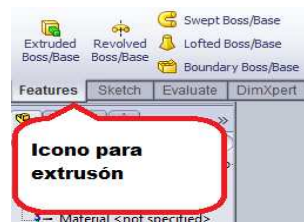


Figura 33. Icono de extrusión de perfil.

Al seleccionar la extrusión el sistema pide la selección de un plano y la cara sobre la cual se realizaría la extrusión, luego entonces, se selecciona la cara frontal con la que se ha trabajado en el croquis anterior. Cuando se hace la extrusión, automáticamente se despliega una simulación de cómo puede quedar el sólido.

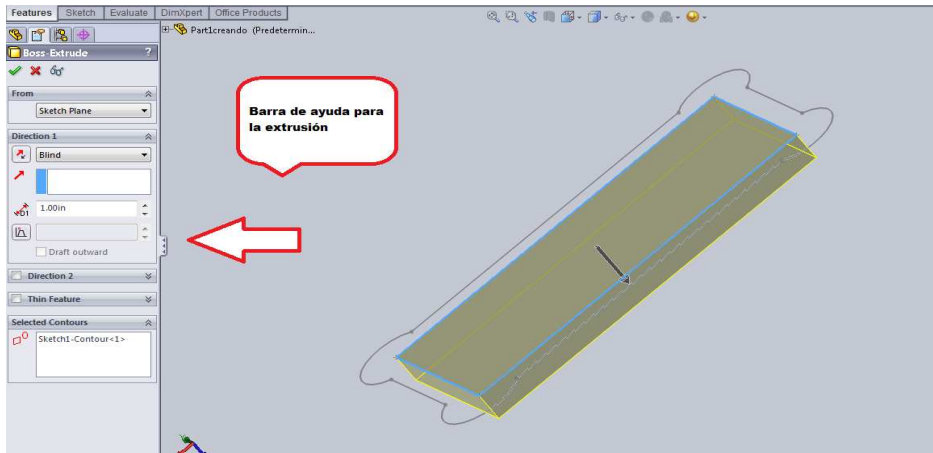


Figura 34. Extrusión 1 para base.

La línea azul hace referencia a la base de donde parte la extrusión y la amarilla marca el final de la misma. La flecha gris especifica el sentido de la extrusión. Si se desea hacer la extrusión en sentido contrario y modificar la distancia o tamaño de extrusión se puede hacer desde la barra de ayuda de la extrusión en donde están las propiedades.

La dimensión de extrusión fue de 1.00 pulgada, siendo el grosor que se le dio a la placa de la base, quedando de la siguiente forma:

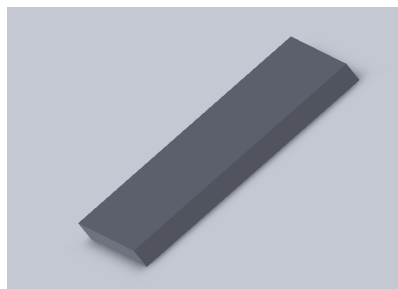


Figura 35. Solido para base.

Posteriormente se realizó la extrusión de la parte restante del bosquejo. Como se puede observar las otras líneas que no se utilizaron para la extrusión se han ocultado, para poder verlas de nueva cuenta y extruirlas hay que ubicarse sobre "Boss-Extrude1" que está en el historial y luego en "Sketch1" que se encuentran en la barra de "featureManager design tree".

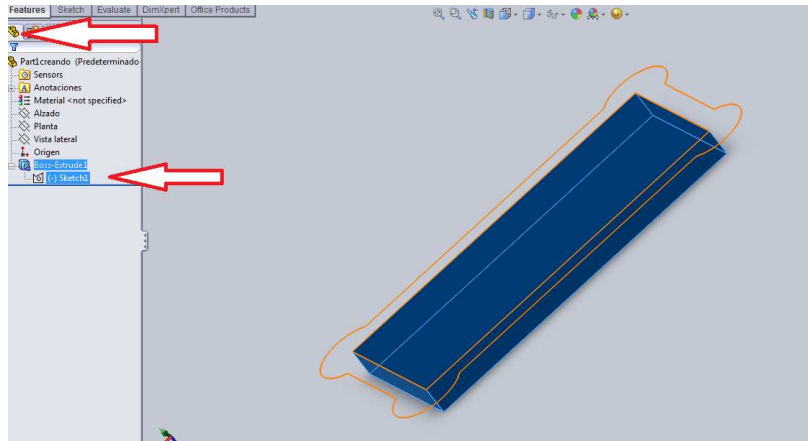


Figura 36. Extrusión 2 para solido.

Al seleccionarlo y aplicar la opción de “*Extruded Boss/Base*” se realizó el mismo procedimiento que el anterior y con las mismas dimensiones así como su dirección. El resultado fue el siguiente:

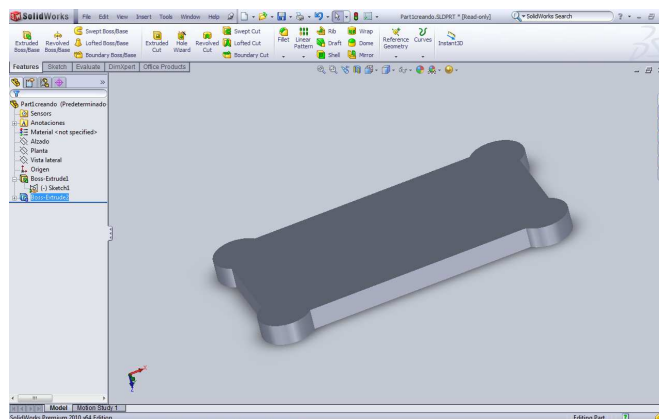


Figura 37. Solido de extrusión 1 y 2.

Fueron necesarios hacer unos orificios en el centro de los círculos que se ubican en las esquinas, esto sirvió para poder fijar la base a la mesa en donde se presentaría el robot. Orientando de nueva cuenta a la vista frontal del sólido, permitió mostrar los trazos del bosquejo y poder ubicar el centro de las circunferencias.

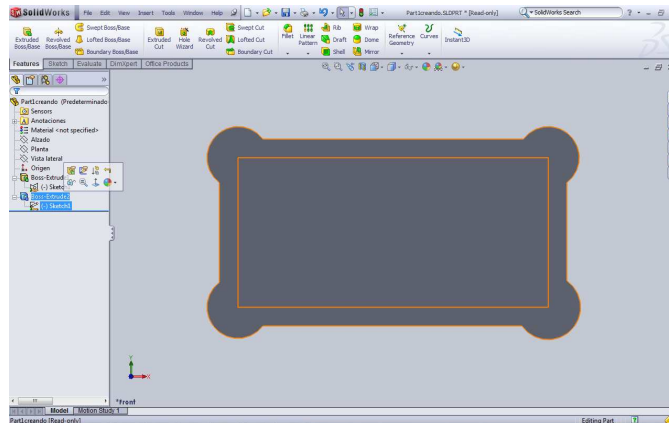


Figura 38. Vista frontal de la base.

Para las ranuras se utilizó la herramienta “*Extruded Cut*”. La función de esta herramienta es crear una extrusión sobre el sólido y extraer esa parte.

Se localiza en “*Feature*” y luego “*Extruded Cut*”.

Al seleccionarlo se pide se seleccione de nueva cuenta una cara del plano, ya que crea un nuevo croquis para este procedimiento, así que se seleccionó el mismo plano en el que se estuvo trabajando. Una vez dentro del “*sketch2*” se realizaron cuatro círculos con un radio de 0.25 pulgadas, uno para cada esquina de de la base esto con la herramienta “*circle*” implementada anteriormente.

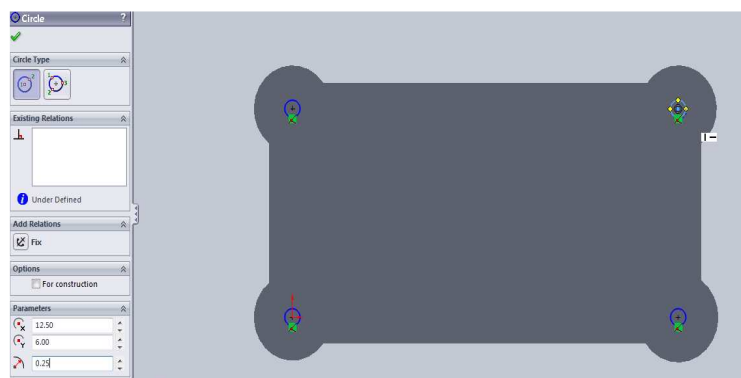


Figura 39. Círculos para ranuras.

Automáticamente se despliegan las opciones de la extrusión para crear los orificios.



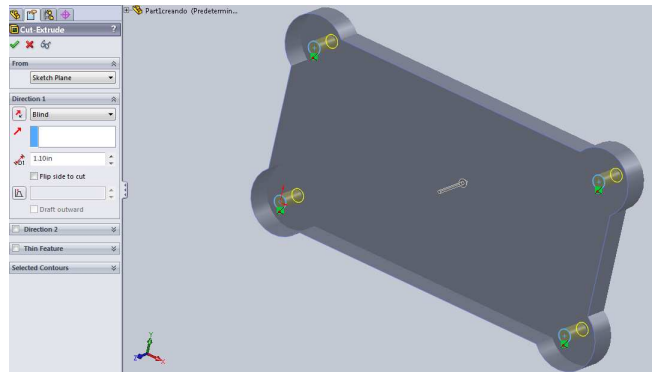


Figura 40. Extrusión de círculos para generar ranuras.

Se generó una extrusión de 1.10 pulgadas para que el orificio se hiciera a través de todo el sólido y queda de la siguiente manera:



Figura 41. Base ranurada para robot.

Por último para la pieza base, se realizó otra ranura, esta ranura sirvió para colocar el robot sobre la base con el fin de que este tuviera una mejor estabilidad. En teoría se utilizó el mismo procedimiento que el anterior pero esta vez la profundidad de la extrusión es mínima pues no se necesitó que atravesara toda la placa, la profundidad de la extrusión fue de 0.15 pulgadas y un círculo de 6.00 pulgadas de diámetro en el centro de la base.

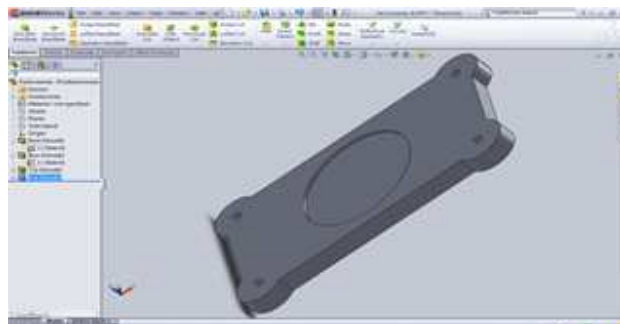


Figura 42. Base de robot.

Posteriormente se elaboró una nueva pieza del robot, que es la parte que sostiene los dos brazos principales de éste. Esta parte es un cilindro que por dentro tiene un espacio para poder introducir un motor unido a un eje, que le dio movimiento a uno de los brazos.

Se abrió un croquis para realizar un círculo el cual fue el punto de partida del modelado de esta pieza. Éste círculo permitió que al momento de aplicarle una extrusión generara un cilindro. La dimensión del círculo fue de 3.00 pulgadas de diámetro.

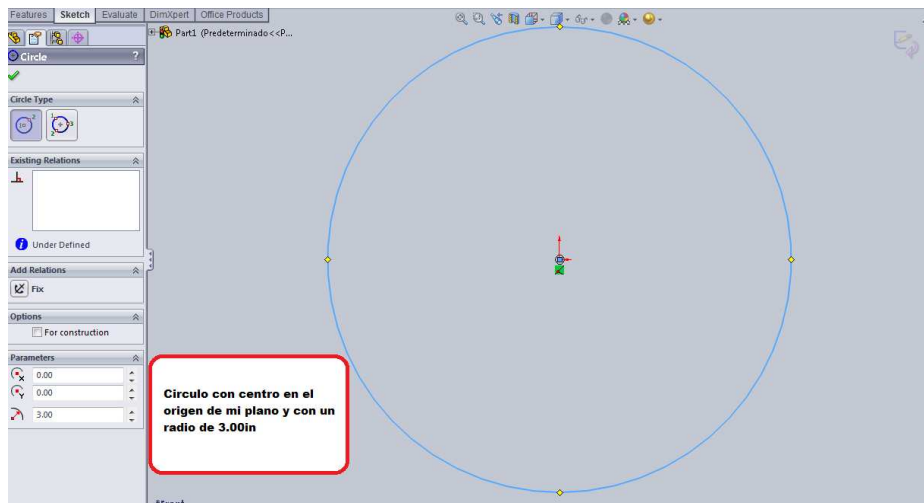


Figura 43. Croquis del círculo.

Al terminar el bosquejo salimos de la función “croquis”.

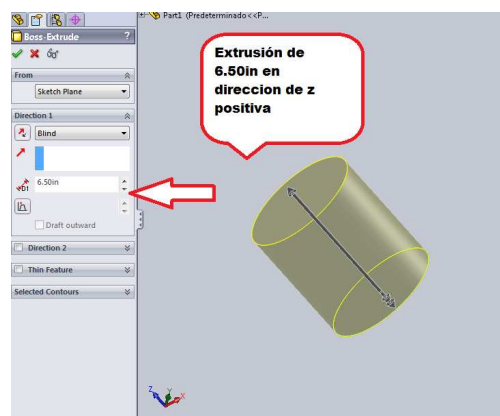


Figura 44. Extrusión del círculo.

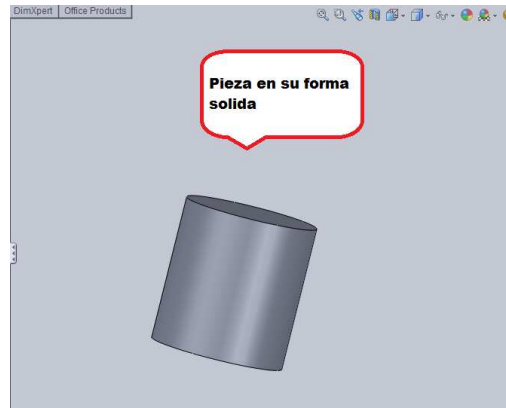


Figura 45. Cilindro, pieza solida generada a partir de la extrusión.

Después se hizo la parte hueca del cilindro que permitió introducir un motor y un eje en el centro, además de los espacios dentro del mismo para poder colocar los dos baleros que se utilizaron para que el “eje” lograra rotar sobre su eje libremente y el cilindro quedase fijo. Estos pasos se realizan con la herramienta “*Extruded cut*”.

Esta herramienta, como ya se ha mencionado en la pieza anterior, genera un nuevo croquis donde se dibujó la forma del orificio para después hacer la extrusión, todo el espacio que ocupó la extrusión es el material que se eliminó del cilindro.

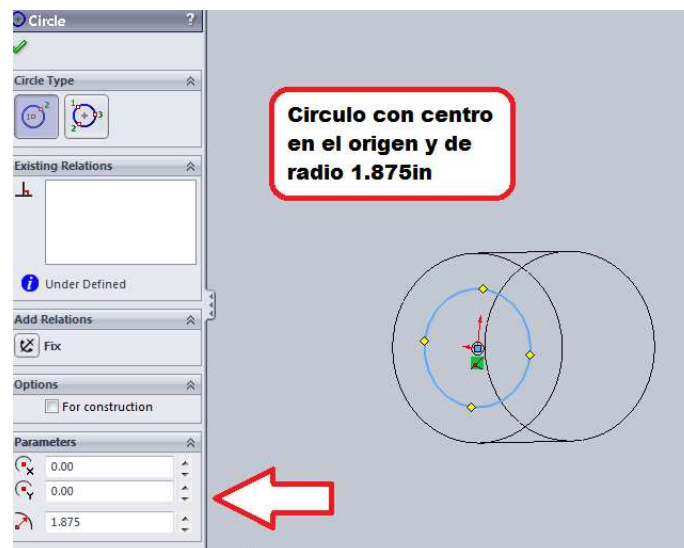


Figura 46. Croquis 2 para cilindro.

Después salir de la función “croquis”.

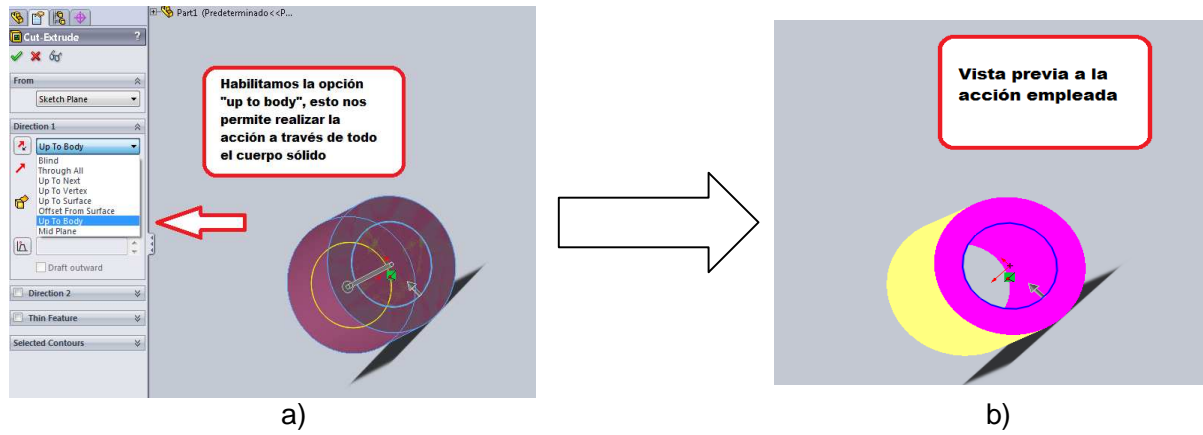


Figura 47. Extrusión para generar el hueco en el cilindro, a) Círculo antes de la extrusión b) Círculo después de la extrusión.

Este fue el primer resultado

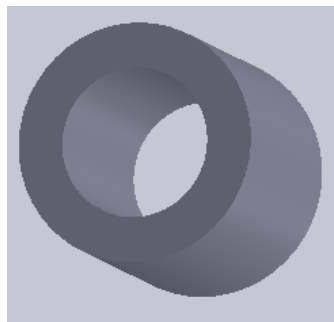


Figura 48. Cilindro hueco.

Después se hizo un corte concéntrico en donde se colocaría uno de los baleros. Se hizo el mismo procedimiento solo que ahora la extrusión no fue por todo el cuerpo, sino solo hasta donde el balero se debía asentar.

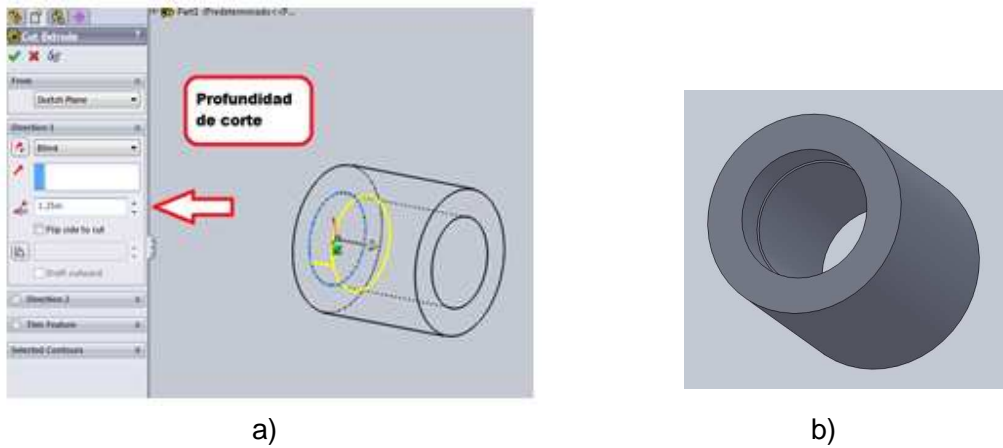


Figura 49. Cilindro hueco, a) Extrusión con corte. b) Cilindro hueco con alojamiento.

El siguiente paso fue hacer la parte en donde se montó el soporte del brazo y que fue fijado con el eje que va dentro del cilindro. Este se realizó con un radio de 2.5 pulgadas. Se siguió el mismo procedimiento y este fue el resultado:

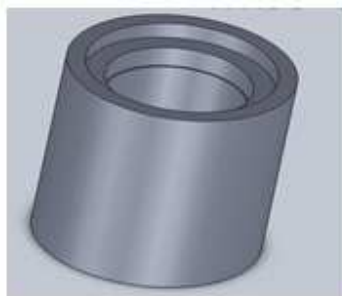


Figura 50. Cilindro con el segundo corte de alojamiento.

La siguiente acción se hizo con el fin de generar el orificio del segundo balero pero que se introducirá del lado opuesto al que se realizó anteriormente. El radio de la circunferencia fue de 2.372 pulgadas.

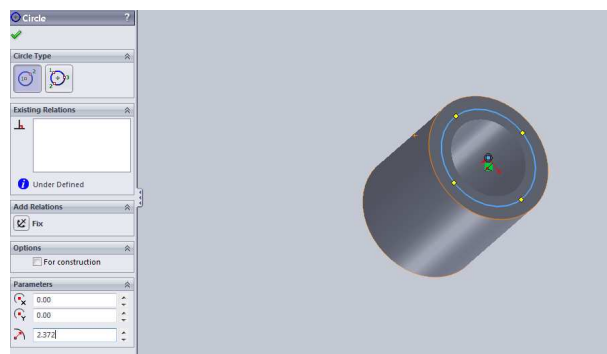


Figura 51. Croquis para alojamiento parte inferior del cilindro.

La extrusión de fue de 3.58 pulgadas.

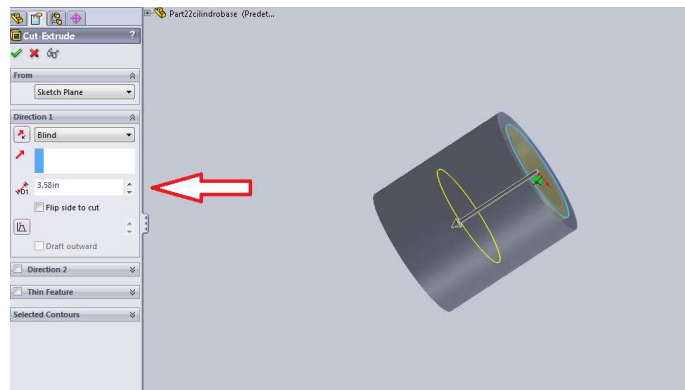


Figura 52. Extrusión con corte.

Una vez que se aplicó este procedimiento y se le cambia la apariencia al sólido para hacerlo traslucido, se obtuvo la siguiente forma.

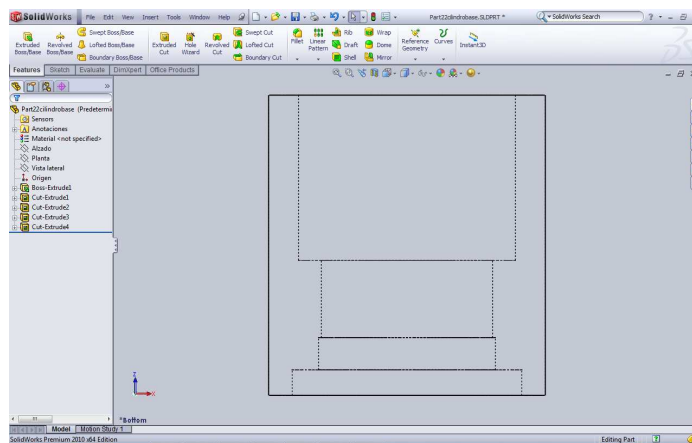


Figura 53. Vista del sólido con transparencias.

El último corte realizado es el que viene de la parte superior y en donde termina es la referencia donde tiene que llegar el balero, se realizó otro corte pero este no quedo por arriba, pues se elaboró una especie de “caja” al balero. El radio fue de 2.50 pulgadas.

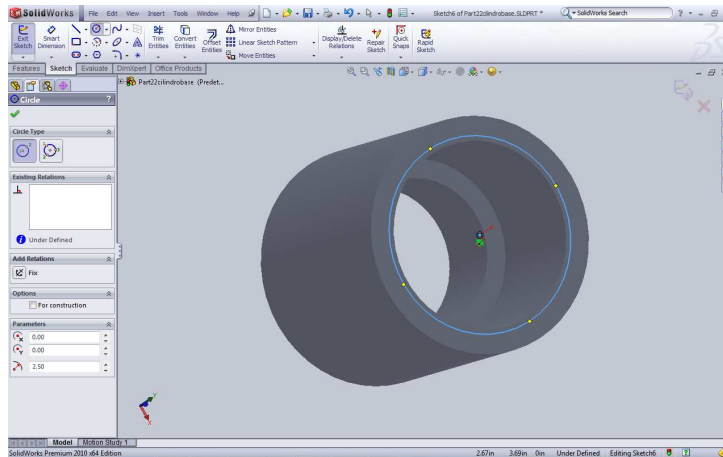


Figura 54. Croquis para segundo alojamiento en parte inferior.

Apariencia de la pieza en vista lateral, donde se aprecian los diferentes cortes al cilindro.

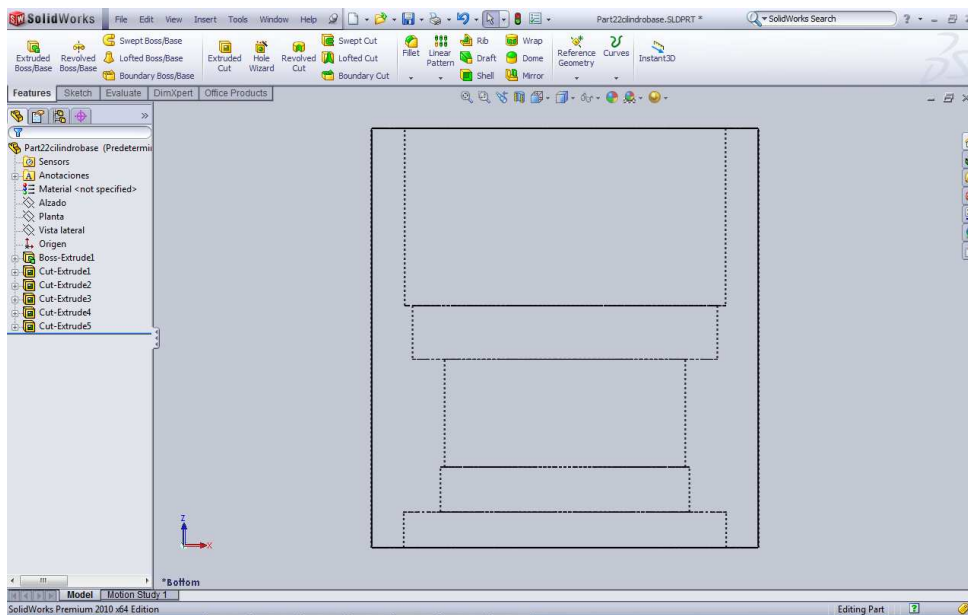
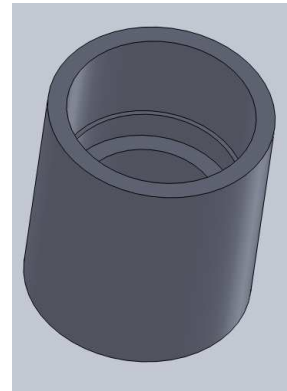


Figura 55. Vista del solido con transparencias con segundo alojamiento parte inferior.



a)



b)

Figura 56. Vista del sólido sin transparencias. a) Vista superior del cilindro, b) Vista inferior del cilindro.

Debido a las dimensiones del motor, se hizo un hueco en la cara del cilindro para poder introducirlo, de otra forma no se tendría el espacio para acomodarlo de la forma correcta.

El procedimiento fue similar a los anteriores solo que esta vez se realizó un hueco en forma rectangular y solo atravesó por un costado del cilindro.

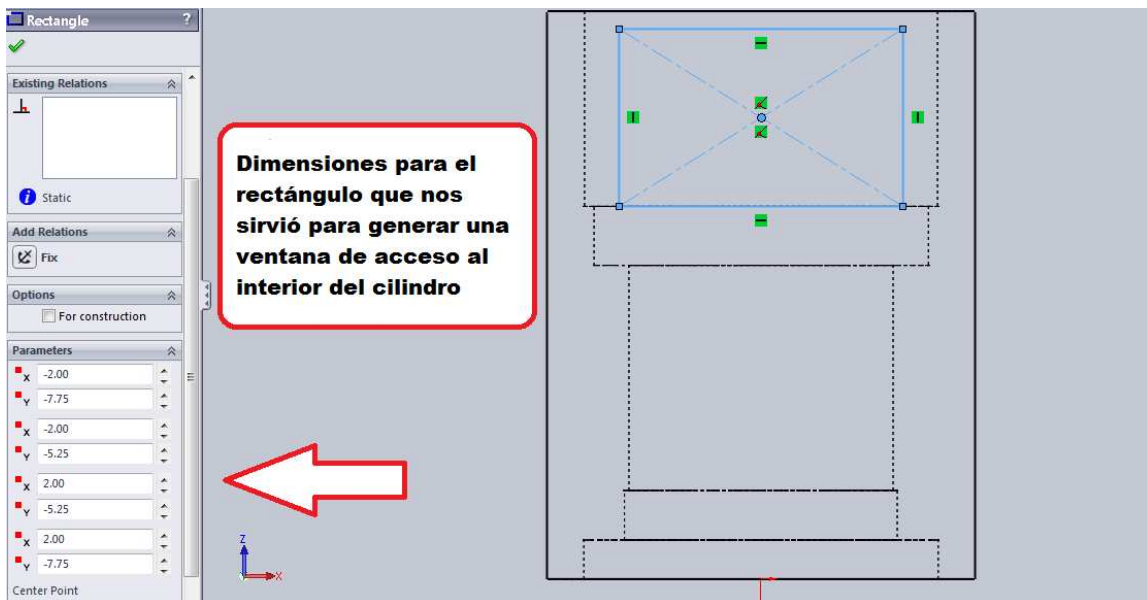


Figura 57. Croquis para el hueco en la superficie del cilindro.



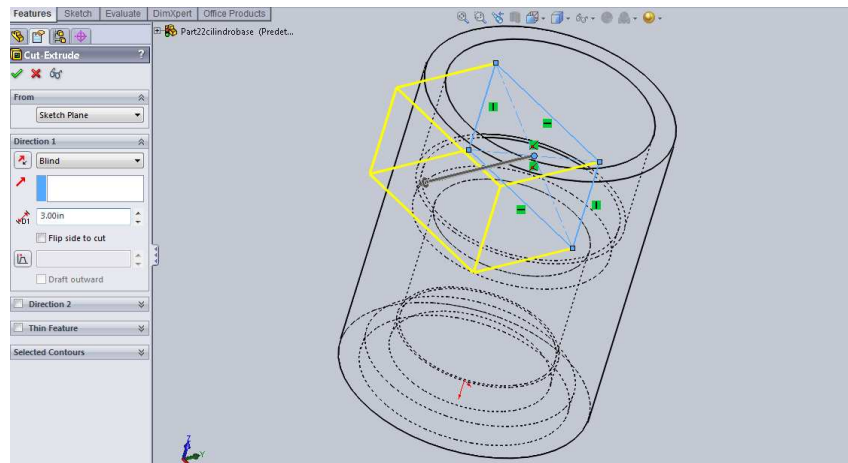


Figura 58. Extrusión con corte para el hueco.

Resultado obtenido:



a)



b)

Figura 59. Vista del solido sin transparencias, a) Vista inclinada del cilindro, b) Vista frontal del cilindro

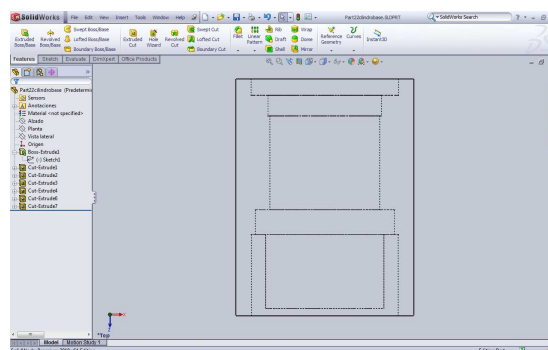


Figura 60. Vista del solido con transparencias

La siguiente pieza a modelada fue el punto de unión entre el cilindro base del robot y los dos brazos con los que cuenta el mismo. Esta pieza fue montada en sobre un eje de movimiento y sobre el cilindro base, también sobre éste se montó el brazo principal del robot.

El primer paso fue de igual forma hacer un croquis de la siguiente manera:

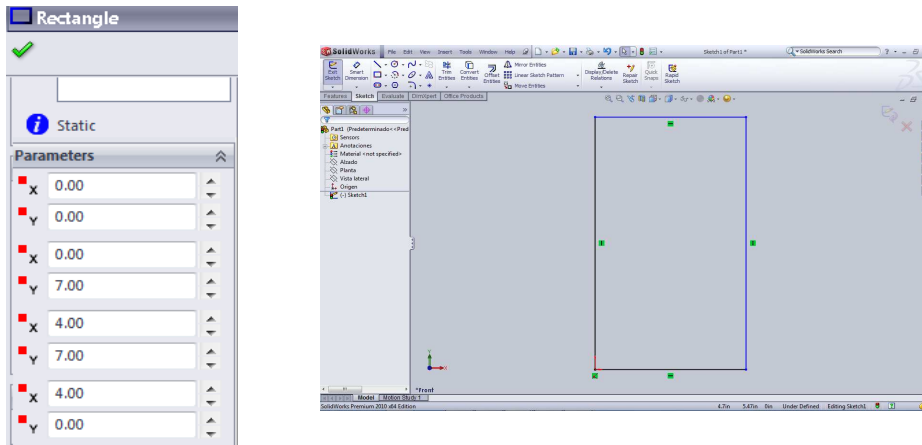


Figura 61. Croquis para el perfil de la pieza de unión.

Se dibujaron dos círculos:

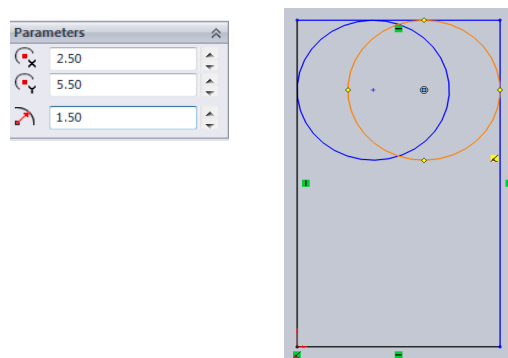


Figura 62. Círculos para acabado en pieza.

Se cortaron las líneas que no se utilizaron para darle la forma deseada.

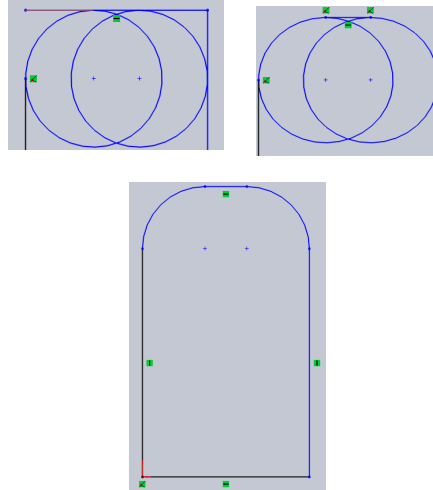


Figura 63. Perfil de pieza para unión.

Se le aplicó una extrusión a este dibujo para hacerlo sólido.



Figura 64. Extrusión de perfil para convertir a sólido.

En esta parte de la pieza se realizó un orificio el cual sirvió para unirla con el brazo con ayuda

de una brida y un balero.



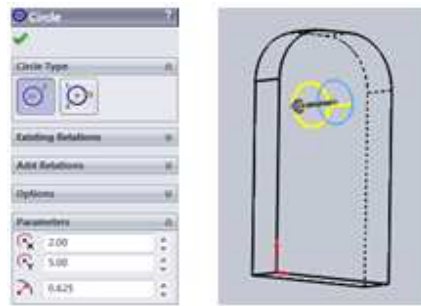


Figura 65. Ranura de brida en solido.

Se le aplico otro orificio que sirvió para el alojamiento del balero

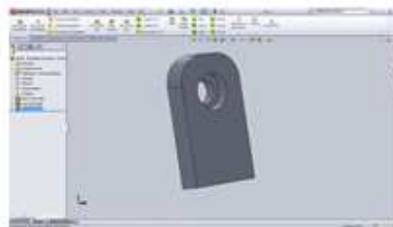


Figura 66. Ranura para alojamiento del balero.

Al seleccionar la parte inferior de la pieza se puede hacer un croquis y realizar el dibujo de la parte que se sirvió de soporte de la pieza y donde se aloja el eje que le trasmite el movimiento proveniente del motor de la parte inferior del cilindro.

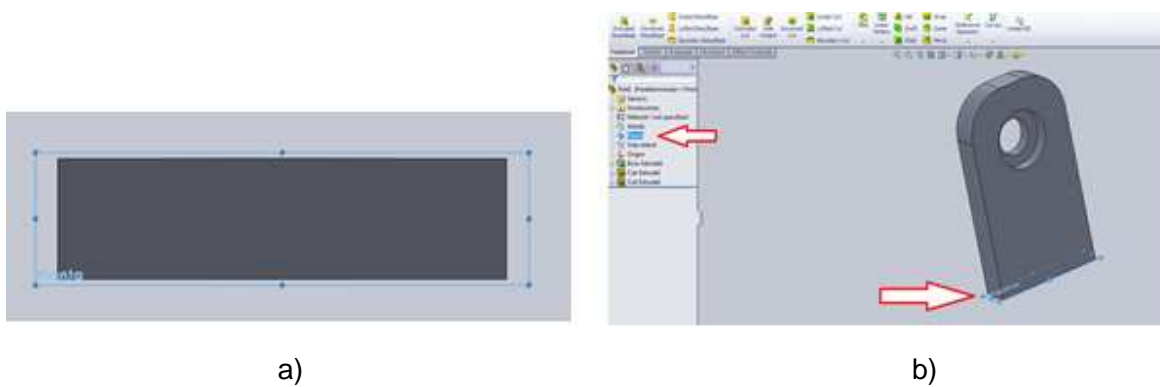


Figura 67. Perfil base para croquis, a) Base de la pieza, b) Parte superior del eje central

En esta área de la base se realizó el croquis. Se marcaron los centros de las líneas, lo que ayudo a que los ejes quedaran centrados

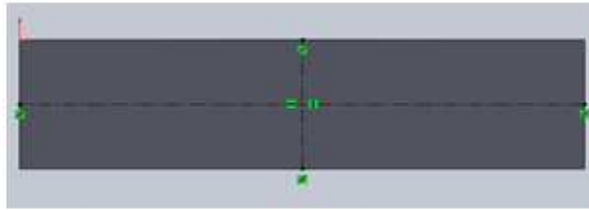


Figura 68. Líneas y centro de referencia.

Se dibujó un círculo de 5.00 pulgadas de diámetro

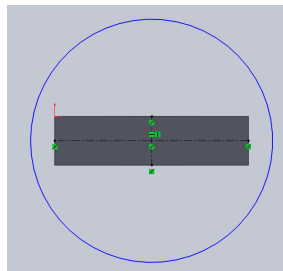


Figura 69. Croquis para perfil circular en pieza unión.

Con una extrusión de 1.38 pulgadas la pieza quedo de la siguiente manera

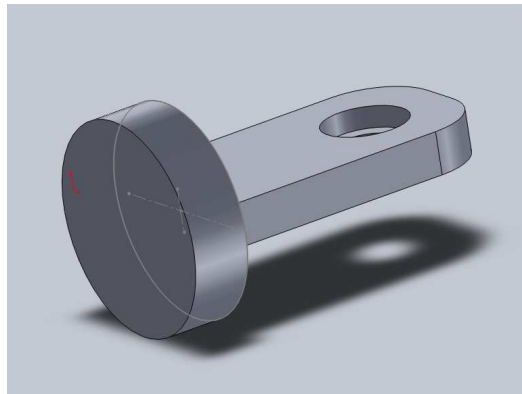


Figura 70. Extrusión 2 en pieza unión.

Se hizo otro círculo que concéntrico al del anterior con un diámetro de 3.25 pulgadas y lo extrudimos 1.25 pulgadas



Figura 71. Acabado parte inferior del eje.

El paso siguiente fue hacer la ranura en donde se inserta el eje que transmite el movimiento, así que se hizo un nuevo croquis en donde realizo el dibujo del primero círculo. Para la realizar la ranura fue conveniente apoyarnos de la herramienta “*extruded hole*”

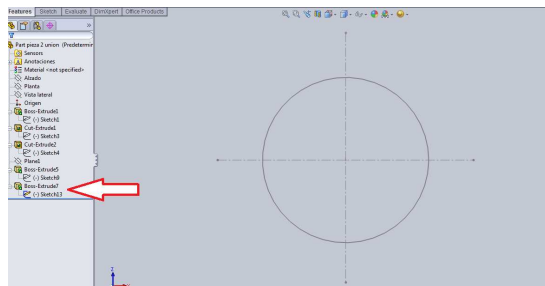


Figura 72. Croquis de referencia.

Se dibujó un rectángulo de 2.00 x1.00 pulgadas con un centro coincidente con el de la circunferencia

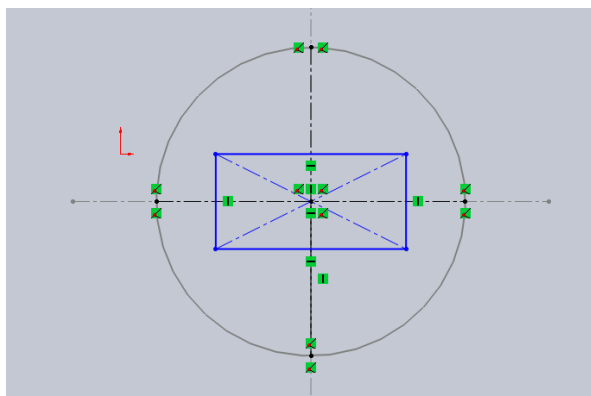


Figura 73. Rectángulo para generar perfil.

Después se traza un círculo en el centro de los extremos que mide 1.00 pulgada de diámetro y se cortan las líneas accedentes.

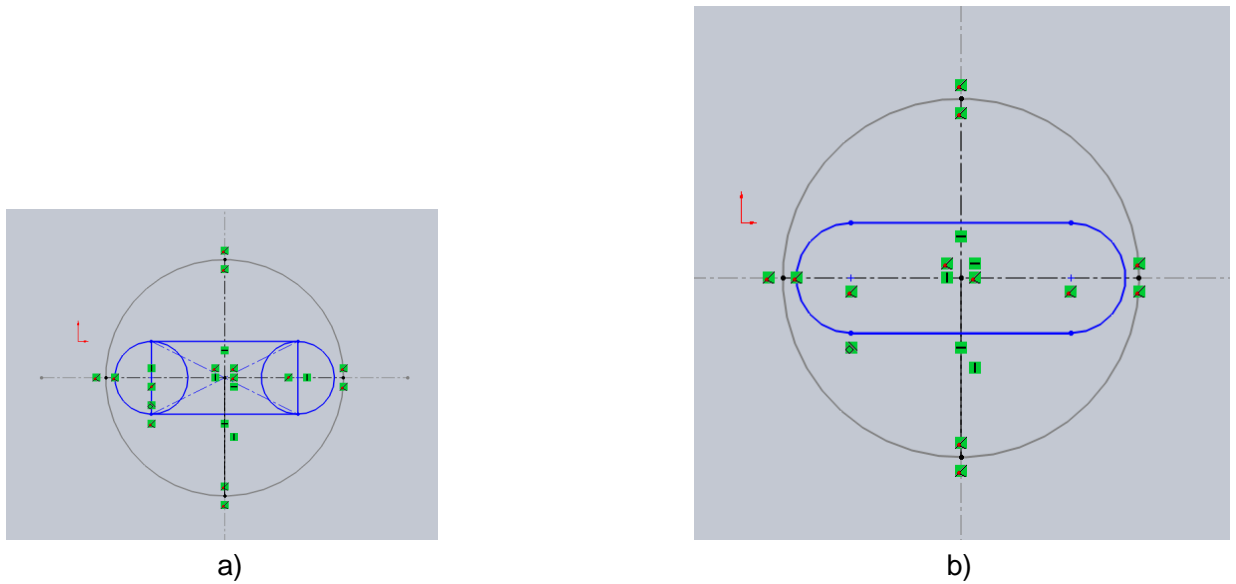


Figura 74. Rectángulo para generar perfil, a) Círculo y rectángulo que componen el perfil, b) Perfil inferior.

Se hace la extrusión que será de 1.26 pulgadas hacia dentro de la pieza.

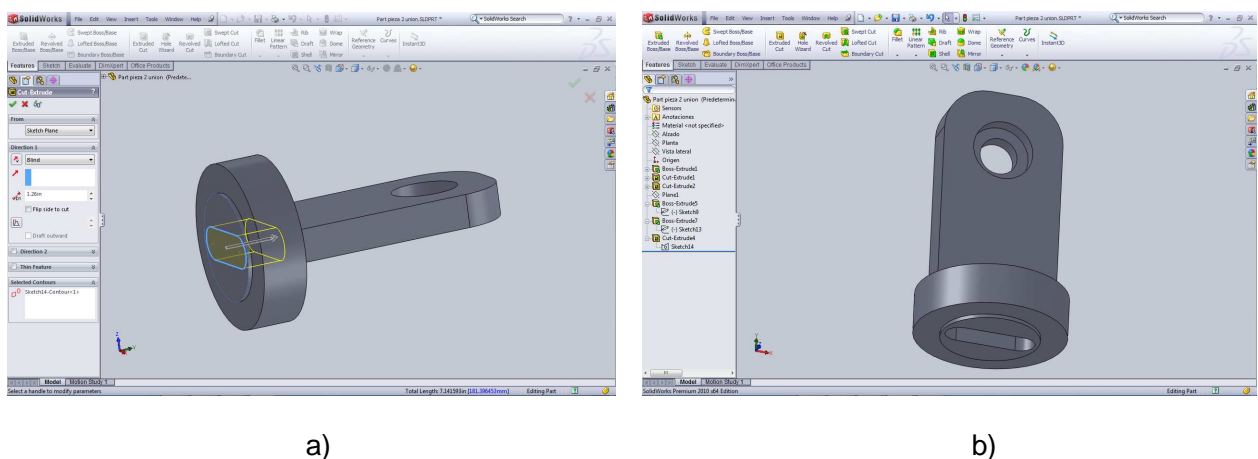
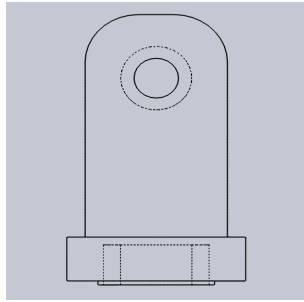
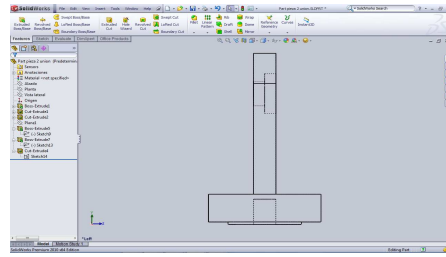


Figura 75. Extrusión y corte en parte inferior para alojamiento de flecha, a) Vista inferior, b) Vista frontal.



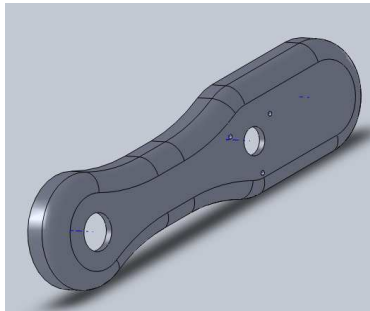
a)



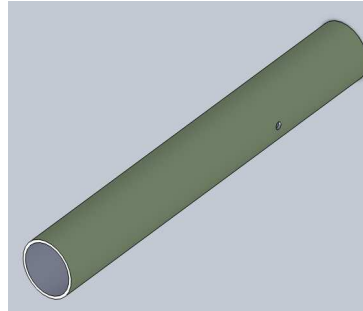
b)

Figura 76. Vista del solido con transparencias, a) Vista frontal, b) Vista de perfil.

Las otras partes que conforman el robot son las siguientes para su elaboración se utilizaron las herramientas básicas explicadas anteriormente para modelarlas



a)



b)

Figura 77. Brazo principal y brazo tubular, a) Brazo principal, b) Brazo tubular.

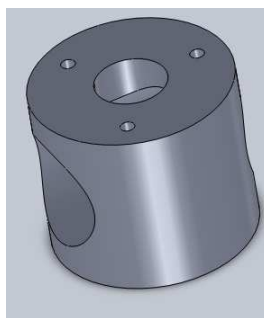


Figura 78. Pieza unión de brazo tubular y brazo principal.



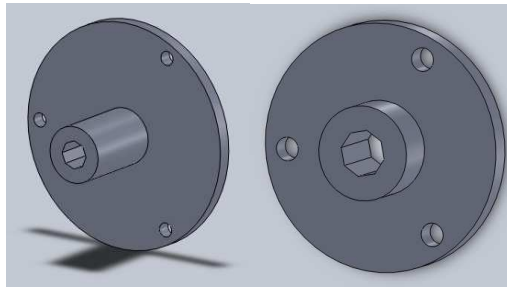
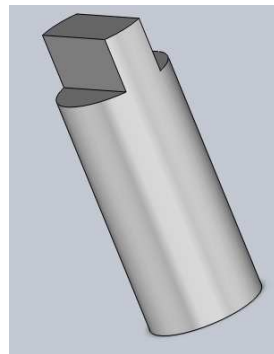
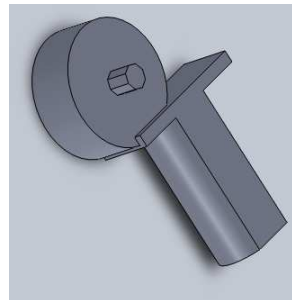


Figura 79. Bridas para unión de brazos.



a)



b)

Figura 80. Flecha y Motor (Simulación), a) Flecha de motor, b) Motor (simulación)

Después de haber creado todos los componentes del robot el siguiente paso fue el ensamble de cada una de las piezas para así poder armar el robot. Para realizar este paso es necesario especificarlo habilitando las herramientas necesarias que permiten el ensamble de las piezas en un mismo espacio:

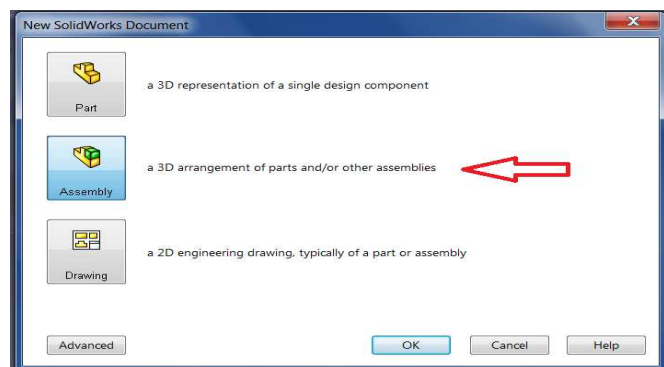


Figura 81. Proyecto para ensambles.

En la pantalla principal, se despliegan algunas de las herramientas básicas para hacer los ensambles. Esta pantalla permite agregar componentes o piezas a nuestro ensamble desde cualquier carpeta en donde se encuentren.

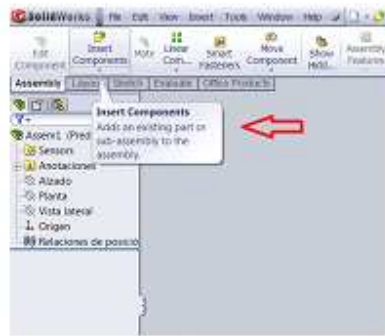


Figura 82. Insertar componentes.

La primera pieza que se agrega para conformar el robot es la base, en la cual éste se encontrara sostenido

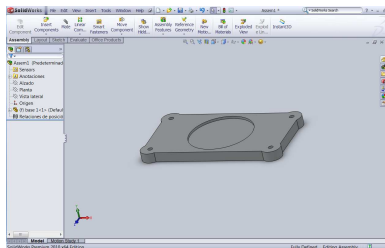


Figura 83. Primer componente (Base).

La base agregada es el punto de referencia para el ensamblaje del robot, el siguiente elemento a ensamblar es el cilindro base.

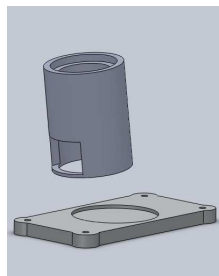


Figura 84. Segundo componente (cilindro).

No importa el sentido ni la posición en la que se agrega de primera instancia al ensamble, ya que se puede orientar y posicionar como sea requerido en el ensamble. Para realizar esto, la herramienta que se implemento fue “mate” que se encuentra en la barra de herramientas principal.

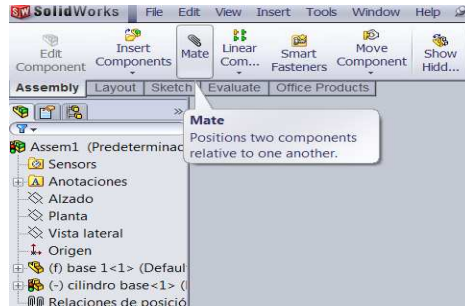


Figura 85. Posicionar componente.

Al seleccionar la herramienta se visualiza una barra de ayuda en la cual se puede elegir la opción de ensamble apropiada, para este caso en específico se utilizó “concentricidad” ya que se ensamblan dos piezas con perfiles circulares por lo tanto es necesario que sus ejes centrales coincidan, por supuesto la selección de los elementos, en este caso los perfiles, se identifican dando un *click* en ellos.

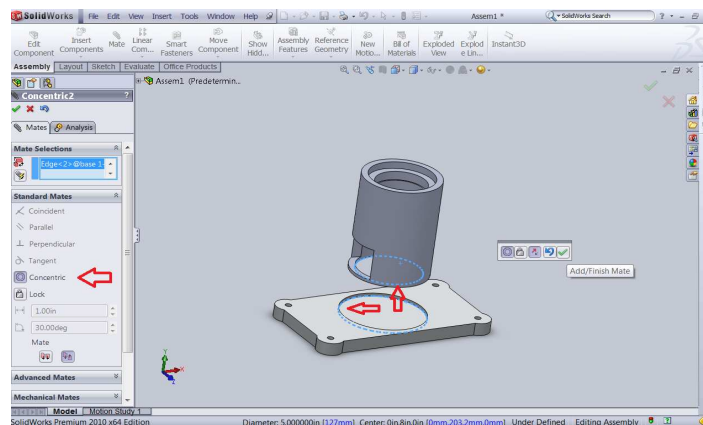


Figura 86. Componentes alineados.

De esta manera se logró alinear la base con el cilindro utilizando los ejes centrales, pero aún se encuentran separadas una de otra, una de las opciones que se utilizó para unir las piezas fue “*move component*”, esta herramienta facilita el traslado de un objeto en específico desde un lugar a otro y permite detener su recorrido en un lugar determinado.

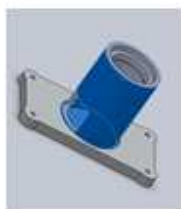


Figura 87. Componentes ensamblados base-cilindro.

Para una mejor identificación de los componentes que se van ensamblado se puede modificar la apariencia de los mismos con el siguiente icono:

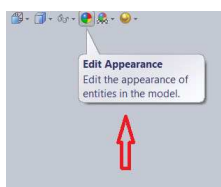


Figura 88. Cambio de apariencia.

Posteriormente se agrega componentes de la misma forma ya especificada, se pueden agregar más de un componente a la vez, y para el siguiente ensamble se agregó la base del brazo principal y la flecha o eje que le transmitirá el movimiento.

Para facilitar el ensamble primero se decide trabajar con los dos componentes agrados recientemente, una vez ensamblados se unirán con otro, cilindro base. Para este procedimiento se utilizó la opción de coincidencia de ejes, caras paralelas y distancia entre caras.

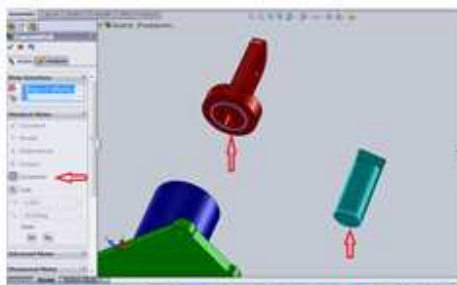


Figura 89. Ensamble flecha y pieza unión.

Ensamble de los primeros 4 componentes:

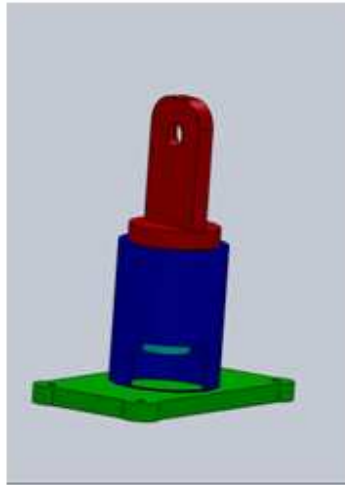


Figura 90. Vista de Primeros Ensamblés.

Uno a uno o de forma masiva se van agregando los componentes.

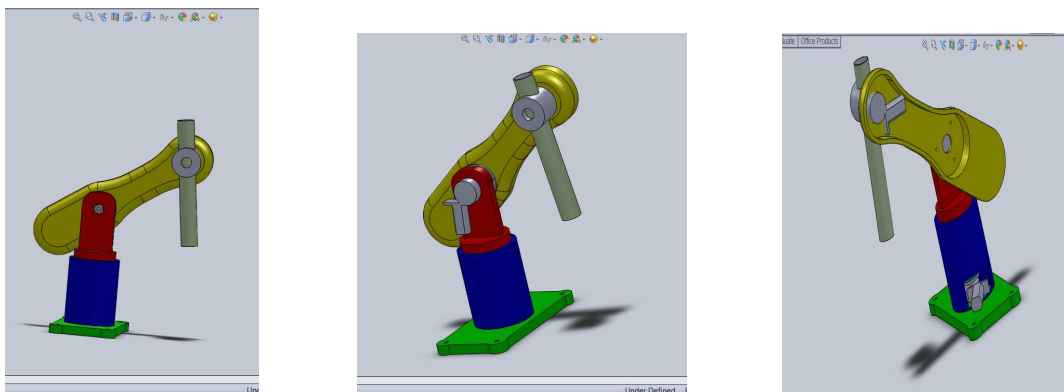


Figura 91. Vistas del ensamble completo del robot.

## 4.2 GENERACIÓN DEL CODIGO DE MAQUINADO CON SOLIDCAM

Para definir el proceso de la pieza que se desea maquinado en SolidCAM, se deben establecer ciertos parámetros sobre el modelo previamente desarrollado en SolidWorks, estos parámetros iniciales son los siguientes:

- Coordinate System (Sistema coordenado)

- Stock (Geometría de la pieza antes de ser maquinada)
- Target (Geometría a la que se desea llegar con el maquinado)

Cuando se empieza a programar una pieza-CAM, se debe partir de la geometría del material que se desea maquinar (Stock), la primera pieza del brazo con la cual se empezó a trabajar es con el eje (pieza de transición entre el cilindro y el brazo principal.) el material que se selecciona para esta pieza es una placa de aluminio.

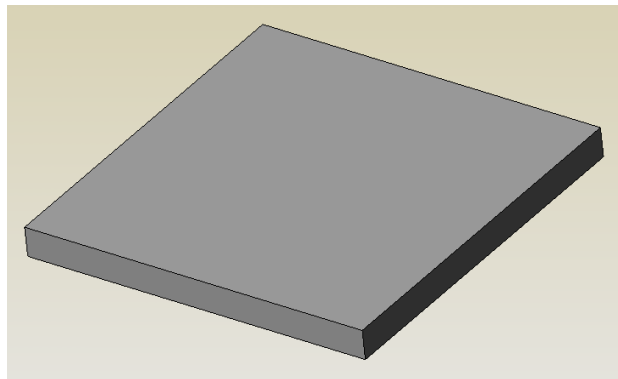


Figura 92. Placa de aluminio para eje.

Una vez inicializado el programa SolidCAM en configuración de Fresado, a través de la barra de menú de la ventana de SolidWorks, se presenta un cuadro de diálogo en el que se establecen tres, parámetros iniciales previamente mencionados.

*Coordinate System.*- El sistema de coordenadas puede ser definido seleccionando caras, vértices o aristas de la pieza. La dirección del eje Z es paralela al eje de la herramienta del centro de maquinado. Algunos valores se deben ingresar como parte de la definición del sistema coordinado como son:

- Tool Start level = 5 mm
- Clearance level = 2 mm
- Part Upper level = 0 mm
- Parte Lower level = -6.35 mm (1/4 in)

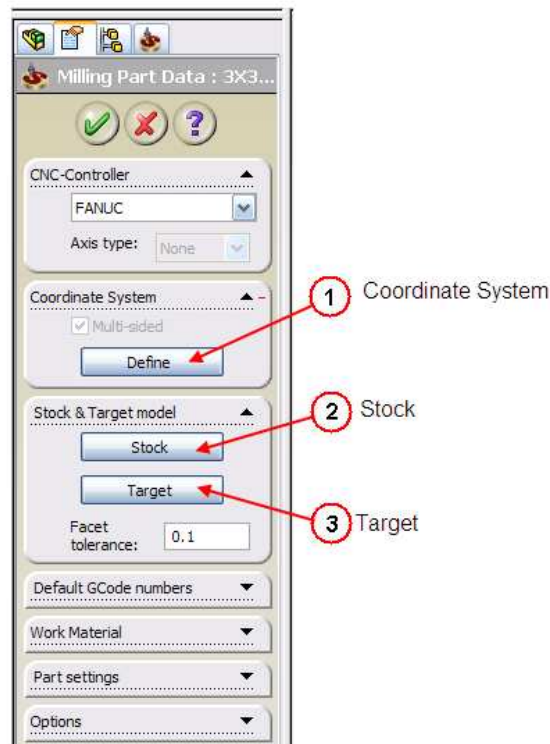


Figura 93. Menú configuración de Fresado.

*Stock*.- Es la geometría de la pieza antes de ser maquinada, esta puede ser redefinida en cada proceso de maquinado o una sola vez al inicio de todos ellos. Para definir la geometría Stock se selecciona la pieza entera directamente del modelo 3D.

*Target*.- Es la geometría de la pieza después de ser maquinada, definición que también se establece seleccionando la pieza del modelo 3D.

Una vez establecida la definición de la pieza-CAM, un directorio de SolidCAM Manager es habilitado, en el que los parámetros de la primera etapa CAM-Part ya están definidos, quedando por desarrollar las operaciones de maquinado que se llevarán a cabo para alcanzar la geometría de la pieza deseada.

El código G generado por el programa SolidCAM es un archivo de extensión txt (Texto); este código fue ingresado al CNC utilizando un Diskett de 3.5". Se copia el archivo en la unidad de memoria de la máquina para evitar falla alguna en la lectura del código durante el transcurso del maquinado.

### 4.3 MANUFACTURA

El código generado con ayuda de SolidCam puede transportarse a una máquina de control numérico computarizado (CNC) el cual permite realizar operaciones de desbaste, semiacabado, acabado y taladrado de una pieza.

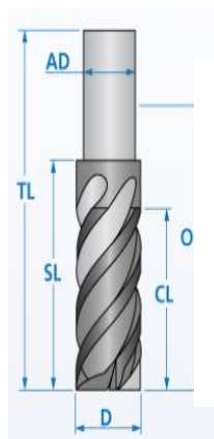
Por medio de una interfaz serial se transporta el código G al CNC de acuerdo al diseño de la pieza. Antes de poder comenzar con las operaciones de maquinado de la placa, se asegura de que se contará con todo el instrumental necesario al igual que todos los implementos de apoyo para llevarlo a cabo. A continuación se muestran todos los elementos que fueron utilizados.

Cono de sujeción.- El extremo de menor diámetro del cono es sujetado de manera neumática al centro de maquinado, al ser un elemento separado del CNC brinda mayor facilidad para el cambio de herramienta.

Conos de presión para herramienta de corte.- Estos conos de diámetros preestablecidos para cada herramienta de corte son oprimidos por el cono de sujeción, afirmando la herramienta de corte deseada.

Llave del cono.- Llave para asegurar el cono de presión al cono de sujeción.

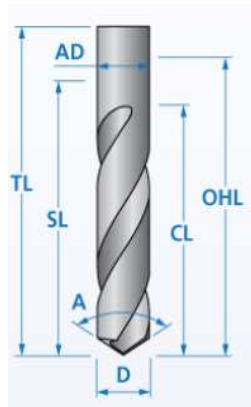
Herramientas de corte vertical.-



|       | Herramienta 1 | Herramienta 2 |
|-------|---------------|---------------|
| D =   | 1 mm          | 3.2 mm        |
| AD =  | 3.2 mm        | 3.2 mm        |
| TL =  | 40 mm         | 40 mm         |
| OHL = | 25 mm         | 30 mm         |
| SL =  | 10 mm         | 20 mm         |
| CL =  | 6 mm          | 15 mm         |

Figura 94. Herramienta de corte vertical - End Mill.





Herramienta 1

- D = 3.2 mm
- AD = 3.2 mm
- A = 118 °
- TL = 60 mm
- OHL = 50 mm
- SL = 40 mm
- CL = 35 mm

Figura 95. Herramienta de taladrado (Drill).

Llave para ajuste de mesa.- Llave para asegurar la pieza a la prensa de la mesa de trabajo del centro de maquinado.

Placas de acero rectificadas.- Utilizadas para calzar la pieza en la mesa de trabajo.

Una vez con que se tenia listo todo el herramental el primer paso para poner en marcha el centro de maquinado fue mandar a home o a posicon cero maquina la bancada para a partir de ahí establecer el sistema de cooredenas necesario.

Para establecer el sistema de ejes coordenados (X=0, Y=0, Z=0) en la pieza, primero se debe ordenar a la maquina se dirija a HOME que son sus coordenadas 0,0,0 por default.

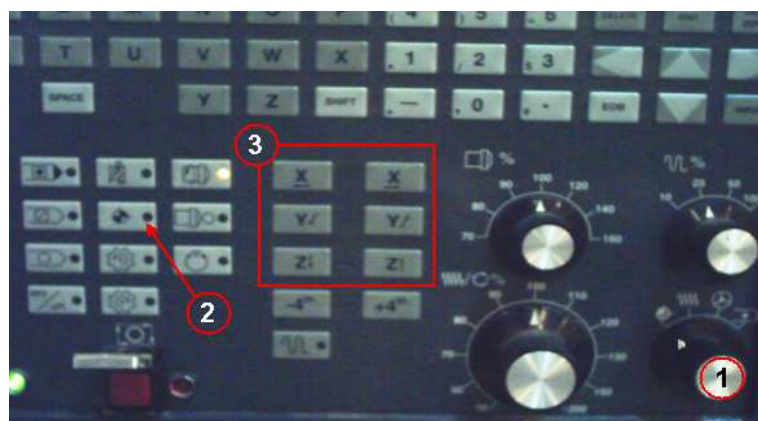


Figura 96. Procedimiento para direccionamiento coordinado a HOME.

- 1 La perilla de operación debe estar ubicada en sistema coordinado.
- 2 Apretar botón de sistema coordinado.
- 3 Botones para movimiento de ejes por separado, apretar uno sin importar cual sea.

Una vez que los ejes de la máquina llegaron a cero, se prosiguió a desplazarlos hasta ubicar el extremo de la herramienta de corte en el punto sobre la pieza que se consideró como el nuevo origen de sistema coordinado para el maquinado. Alcanzado el nuevo origen se restablecieron nuevos ceros para cada eje oprimiendo el botón de sistema coordinado seguido por el botón de movimiento del eje que se desea restablecer y por último el botón de sistema coordinado nuevamente.



Figura 97. Movimiento de la herramienta de corte en CNC para ajustar las coordenadas.

Con el sistema listo para ser implementado se comenzó realizando una corrida de prueba para simular el recorrido del husillo en el panel.

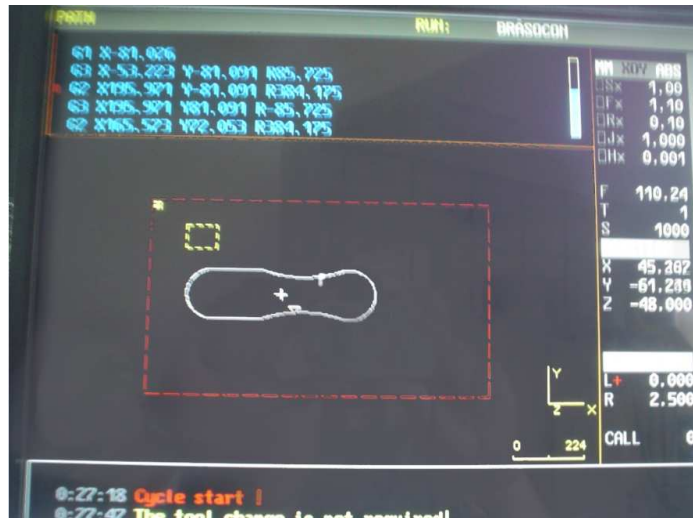


Figura 98. Simulación del movimiento del husillo en pantalla del CNC.

En esta simulación se logro verificar no solo el recorrido, sino que también se ajustaron las velocidades de desplazamiento de la bancada y la profundidad del desbaste en cada ciclo.

Una vez que se aseguro el recorrido y avance del maquinado se dispuso a colocar un bloque solido de NYLAMID para comenzar a darle forma a lo que seria el brazo principal del robot.



a)



b)

Figura 99. Desbaste de la pieza de Nylamid, a) Vista lateral del desbaste de la pieza de Nylamid, b) Vista superior del desbaste de la pieza de Nylamid.

Para maquinar las partes de aluminio se realizo el mismo procedimiento, solo que se logro aumentar el tiempo de recorrido, puesto que las propiedades físicas del aluminio son mas

estables cuando se les aplica calor y no se deforma tan rapido en comparación con el material plástico que alcanza temperaturas de fundicion mas rapidas que el aluminio.



a)



b)

Figura 100. Desbaste de la pieza de aluminio, a) Manufactura del eje de aluminio del brazo en CNC, b) Pieza de aluminio terminada después de ser tratada en CNC.

Cabe señalar que utilizo también la ayuda de un torno para realizar lo que fueron las bridas o uniones de componentes, puesto que eran piezas mas sencillas.

#### 4.4 ENSAMBLE Y PRUEBAS FISICAS

Una vez que se termino con el maquinado de las partes del robot, se realizo lo que fue el ensamble mecanico de los componentes. Se comenzó insetando los baleros que se encuentran dentro del cilindro, en el cual tiene la función del soporte de la flecha que daría movimiento al brazo principal del robot. Posteriormente se inserto la flecha y verifiko el correcto rodamiento que tendría.

Cuando quedo ensamblada la flecha con el cilindro, la base y el motor que va a la flecha fueron los siguientes elementos para poder seguir con el ensamble. El motor se fijo a la base con ayuda de un par de pijas y a la flecha se le coloco una brida con la forma del engrane que tiene el eje para poder transmitir el movimiento. La base quedo finalmente ensamblada con el cilindro y también se le fijo con pijas. Despues la pieza "unión" se ensamblo con el brazo principal, también se le colocaron un par de bridas y un motor dentro que movería el brazo tubular. Para

este ensamble también fue necesario insertar un balero en la pieza “union” y otro en el brazo principal, que permitieron que ambos brazos giraran libremente.



a)



b)

Figura 101. Ensamble mecánico de las piezas del manipulador, a) Perforaciones para colocar brida conectora entre brazo y base del robot, b) Ensamble mecánico del brazo y el eje de la base del robot.

Posteriormente se realizó el ensamble del brazo principal con la base. Este procedimiento fue mas sencillo puesto que la pieza “unión” tenía un hueco donde se alojaría el eje y no se necesitó de alguna pieza de transición.



Figura 102. Ensamble mecánico del la base y el brazo del robot.

Se realizaron pruebas para ver el comportamiento del brazos en movimiento, aplicándole voltaje desde una fuente variable a los motores



Figura 103. Movimiento de prueba del brazo con voltaje de fuente regulada.



Figura 104. Conexiones provisionales para validar movimientos del robot.

Para mejorar la dinámica de movimiento en el brazo tubular y el brazo principal, se necesitaron contrapesos para compensar la diferencia de pesos entre piezas. Estos contrapesos se hicieron de hierro.



Figura 105. Manufactura del contrapeso de hierro.

Finalmente ya con los contra pesos y con las primeras pruebas de ensamble el robot quedo listo en una primera etapa, a la cual solo le hacía falta los componentes neumáticos como las mangueras, ventosa y electroválvula. Por supuesto también hacia falta la fuerza que le diera movimiento a robot, así que paralelo a todo esto se trabajo también en las fuentes de alimentación.



Figura 106. Robot ensamblado en primera etapa.

#### 4.5 ACABADO FINAL

Listos lo componentes mecánicos, se comenzó a pintar el robot y de esa forma darle una mejor estética.

Se le aplico pasta (Fig. 105 (a) y (b)) junto con un catalizador (95% y 5% respectivamente) para ajustar las imperfecciones que tenían las piezas de nylamid y una vez seca la pasta se lijo la superficie (fig 105 (c)).

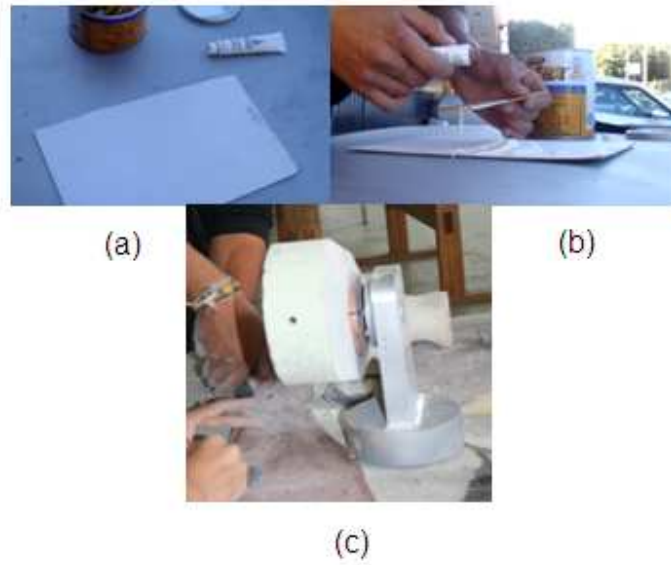


Figura 107. Pulimiento de las superficies de Nylamid del robot.

Posterior a resanar el robot, se comenzó a pintarlo. Para esto se limpiaron perfectamente las piezas con quita silicona y un paño absorbente de polvo. Después vino la aplicación de la pintura con la ayuda de un compresor y una pistola neumática.

Primero se aplica una pintura de base y después la pintura roja.



a)



b)

Figura 108. Aplicación de pintura a las piezas el robot, a) Aplicación de pintura de base a las piezas del robot, b) Proceso de pintado final a las piezas del robot

Y al final una laca para darle una apariencia brillante





Figura 109. Apariencia final de la pintura del robot,

#### 4.6 FUENTE DE ALIMENTACION

Debido a las exigencias en cuanto a la corriente necesaria para mover los motores de cada articulación del brazo manipulador, se utilizaron dos fuentes regulables capaces de suministrar hasta 5 amperes. Para mover de posición la ventosa del brazo se utiliza un motor cuyo consumo máximo de corriente es de 250 mA, además de este motor se requiere energizar la electroválvula, que permite el accionamiento de la ventosa, dichas fuentes necesitan para su perfecto funcionamiento un entornó este fresco, por lo cual se requiere también la presencia de un ventilador en el tablero eléctrico - neumático.

Los instrumentos para los cuales se requiere suministro eléctrico son los siguientes:

- Motor 1 (Base del instrumento)
- Motor2 (Brazo del instrumento)
- Motor 3 (Tubo posicionador)
- Motor4 (Muñeca con ventosa)
- Electroválvula
- Ventilador

Para energizar estos instrumentos requerimos cuatro fuentes de alimentación, dos de ellas regulables, y dos con voltaje fijo, los componentes de dichas fuentes son los siguientes:

**T1** - Transformador con primario adecuado para la red eléctrica (110 ó 220V) y secundario de 24V@5A.

**T2** - Transformador con primario adecuado para la red eléctrica (110 ó 220V) y secundario de 24V@3A.

**T3** - Transformador con primario adecuado para la red eléctrica (110 o 220V) y secundario de 24V@1A.

**IC1, IC2**- Circuito Integrado LM338

**IC3** Circuito Integrado 7812

**IC4** Circuito Integrado 7805

**D1 D4 D7** Puente rectificador para 4A

**D2, D3,D5 Y D6** Diodos 1N4002

**C1 Y C5** Condensador electrolítico (filtro) 4700uF, 50V

**C2 Y C6** Condensador electrolítico (filtro) 22uF, 50V

**C3Y C7** Condensador electrolítico (filtro) 100uF, 50V

**C4 Y C8** Condensador 0.1uF, 50V

**C9** Condensador electrolítico (filtro) 2500uF, 50V

**C10** Condensador 0.1uF, 50V

**R1 Y R3** Resistencia de 270 ohm, 1W

**R2 Y R4**- Potenciómetro 5K ohm

La fuente 1 que es capaz de suministrar hasta 5 Amperes, es la encargada de mover los motores de la base y el motor del tubo posicionador, cuyos consumos de corriente son 2.5 y 1.8 Amperes respectivamente. La fuente 2 de 3 Amperes suministra la corriente para mover el motor de brazo, las fuentes de voltaje fijo 3 y 4 de las cuales el consumo de corriente no es mayor a 1 Amper, mueven la electroválvula de 12 V, el motor de la ventosa (Motor 4) de 5 Volts así como el ventilador de 12V.

En la siguiente figura se puede apreciar el diagrama eléctrico de las fuentes de alimentación:

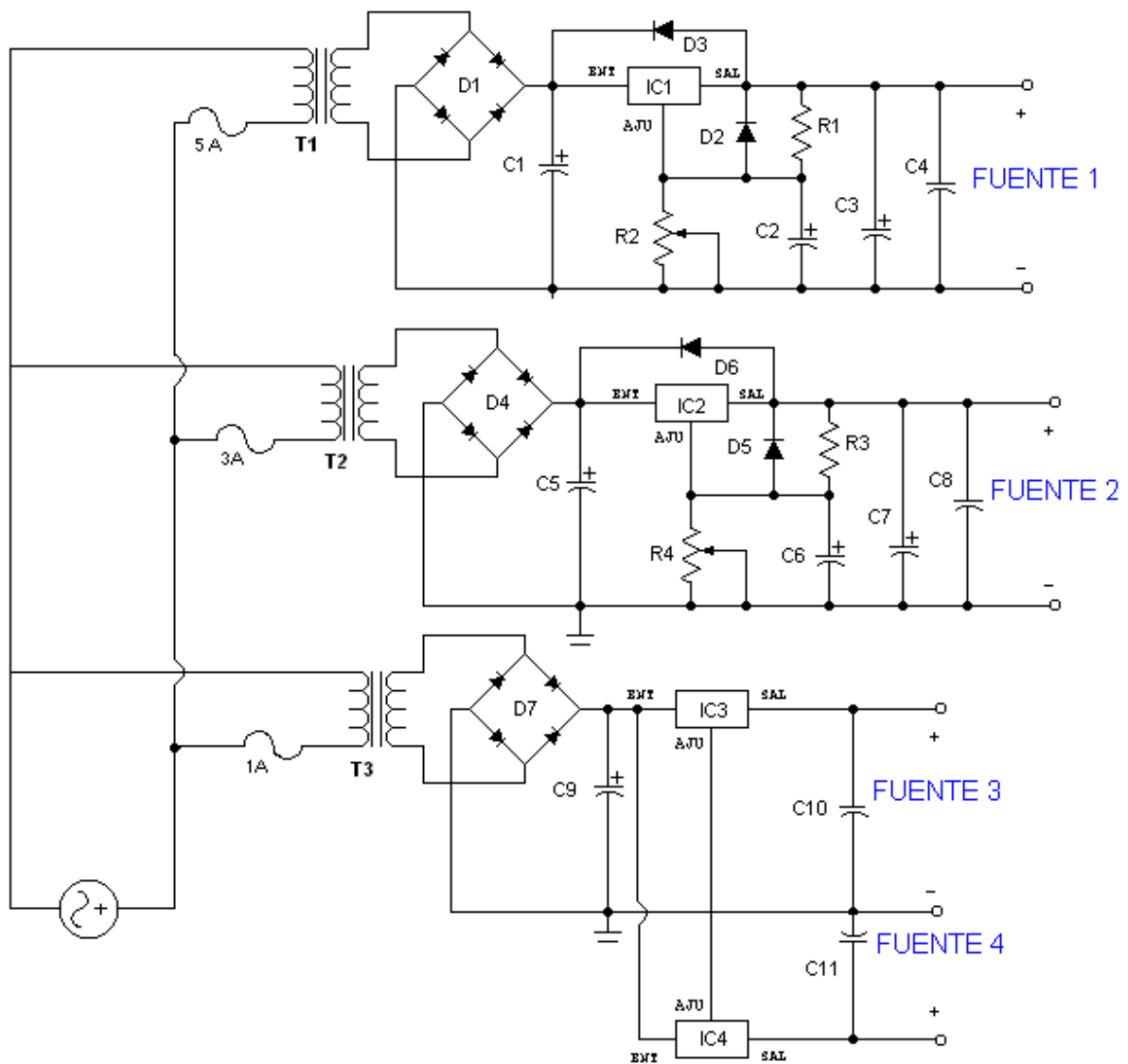


Figura 110 .Diagrama general de las fuentes de alimentación.

#### 4.7 CONTROL DE MOTORES

El control del movimiento de los motores que mueven cada articulación del brazo manipulador, está basado en un puente H, debido a que en el tablero los elementos primarios para dar movimiento en cada articulación del brazo manipulador son dos palancas tipo Joystick.

El mecanismo interno de control de cada uno de los joystick, es por limit-switch, solamente haciendo contacto la palanca con el limit-switch el interruptor se cierra, de lo contrario el interruptor permanece abierto; aprovechando esta característica del joystick y el principio de operación del puente H, se utiliza un circuito de cuatro posiciones, dos de las cuales permiten hacer el cambio en el flujo de electrones (corriente) el cual permite el cambio en giro del motor. En las dos posiciones restantes al no haber diferencia de potencial el motor permanece inmóvil.



Figura 111. Joystick y mecanismo interno del mismo utilizado en brazo manipulador. El control de los cuatro motores, del brazo trabaja exactamente bajo el mismo principio, es decir los circuitos de operación de los motores son iguales, en los siguientes cuatro esquemas podemos apreciar los cuatro estados de trabajo del control de los motores.

El puente H que controla el sentido de giro del motor se encuentra conectado a una fuente de alimentación, esta debe ser capaz de satisfacer las necesidades de voltaje y corriente requerida para mover cada una de las articulaciones del brazo. Recordando que la necesidad de corriente de cada articulación es diferente, en los siguientes diagramas de control se muestran las letras A y B, que simbolizan el movimiento de las palancas de motor ya sea de derecha a izquierda, arriba y abajo según sea el caso para cada giro de las articulaciones del manipulador.

La posición uno del control de motor es la siguiente:

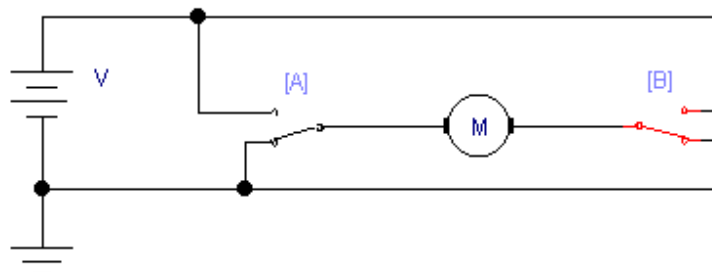


Figura 112. Posición inicial en el control de giro en los motores.

En la figura 112 muestra el selector ambos interruptores conectados a tierra, no existiendo diferencia de potencial el motor no tiene movimiento.

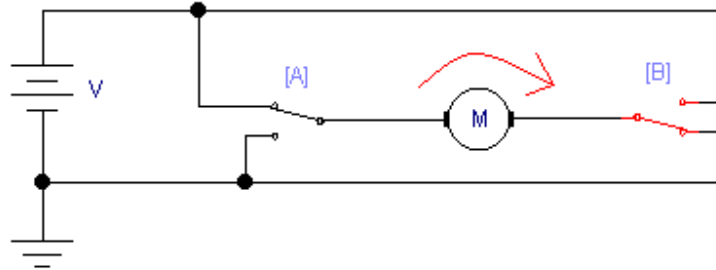


Figura 113. Segunda posición en el control de giro en los motores.

La figura anterior muestra el momento en cual el usuario al mover la palanca, de su estado inicial de reposo toca uno de los interruptores permitiendo que el selector de dicho interruptor haga contacto con positivo de la fuente, dando paso a que fluya la corriente de positivo a negativo, en este caso el giro del motor sería hacia la derecha. Cuando el usuario deja de mover el joystick, el interruptor vuelve a su posición inicial, suprimiendo el flujo de corriente.

La siguiente figura ilustra el mismo caso que la figura anterior, con la diferencia del cambio en el interruptor que toca el joystick, ahora el flujo de corriente es inverso, el giro del motor sería hacia la izquierda.

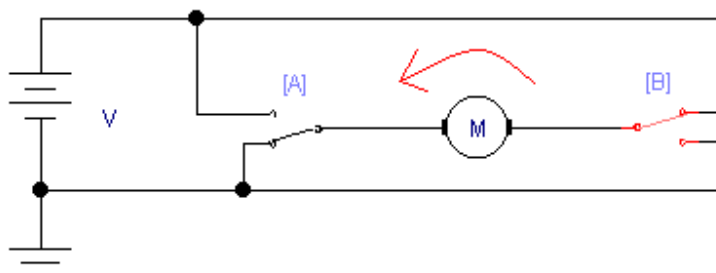


Figura 114 Tercera posición en el control de giro en los motores

En caso de que ambos interruptores quedarán directamente conectados, caso que no debería ocurrir bajo condiciones normales, hacia la fuente, el motor permanecería inmóvil pues existiría una diferencia de potencial de 0 Volts. Esta condición se representa en la Figura 115, cabe recalcar que esta condición no debería presentarse pues no es posible accionar ambos interruptores con el Joystick a menos que uno de ellos quedara activado.

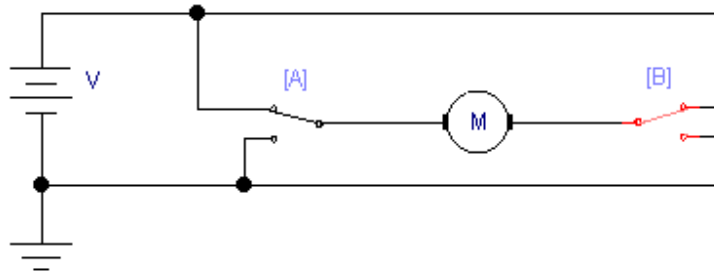


Figura 115. Esquema del caso aislado, ambos interruptores conectados a positivo.

#### 4.8 CIRCUITO NEUMÁTICO-ELECTRICO

La principal función de brazo manipulador, es capturar una pelota similar en peso y tamaño a una pelota de Golf, mediante un mecanismo de succión transportar dicha pelota de un lado a otro, esto con el fin de favorecer la capacidad de retención y coordinación del usuario del sistema.

Para llevar a cabo el proceso neumático- eléctrico donde la pelota es absorbida por una presión de vacío se utilizan los siguientes materiales:

- Electroválvula de 3/2 vías retorno por resorte
- Generador de vacío tipo Venturi
- Boquilla de aspiración
- Compresor
- Unidad de mantenimiento
- Fuente de alimentación de 12 V
- Dos interruptores, uno normalmente abierto (NA), otro normalmente cerrado (NC)

El circuito funciona de la siguiente manera: los botones de que permiten capturar y soltar la pelota, se encuentran en el tablero, denominados como “Botón Captura” y “Botón Suelta”, el botón Captura permanece en la posición NA, al presionar dicho botón se cierra el circuito (succionando la pelota) accionando el solenoide interno de la electroválvula, la válvula a su vez para accionar el solenoide debe estar energizada con 12V, tener una conectada la toma de aire (P); al cambiar de posición la válvula permite el paso de aire al generador de vacío, provoca una aspiración y crea una depresión en la boquilla de aspiración (Ventosa). El aire es evacuado a través de un silenciador de escape situado en la salida del generador de vacío, permaneciendo constante la depresión en la boquilla de aspiración, hasta que se oprime el “Botón suelta”, que permanece en estado NC, abre el circuito el cual interrumpe el paso de

energía a la válvula, retornándola a su posición normal, suprimiendo el flujo de aire hacia el tubo Venturi y por ende a la ventosa, soltando la pelota en la posición deseada por el usuario del sistema.

La siguiente figura muestra el diagrama general del circuito neumático - eléctrico:

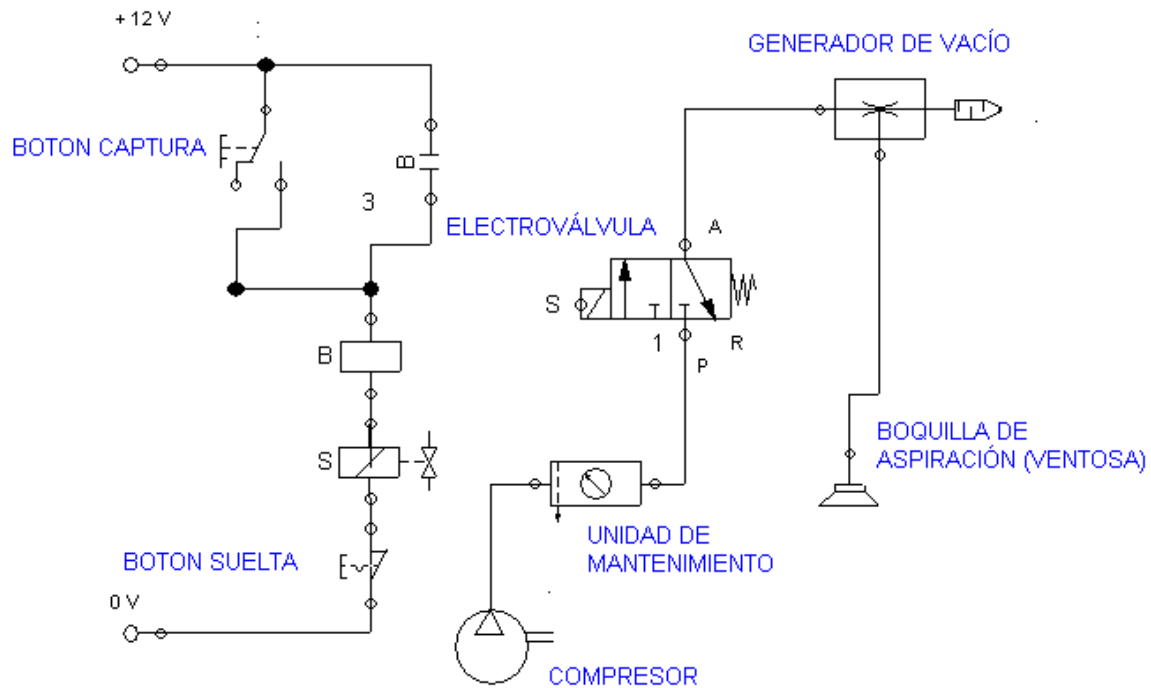


Figura 116. Esquema general del circuito neumático eléctrico.

El siguiente diagrama muestra el circuito activado, cuando se ha presionado el “Botón de captura”, dejando ver el paso del flujo de aire a través de la válvula hacia el generador de vacío.

Cabe señalar, que para que el accionamiento de la ventosa sea sostenido en respuesta a un impulso momentáneo (activación momentánea del botón de captura), se utiliza un esquema de enclavamiento con ayuda de un relevador, con realimentación de sus contactos, tal como se muestra en la figura anterior.

Durante el ciclo de trabajo del circuito neumático, hay varias pérdidas de presión al pasar por cada una de los elementos que componen el sistema, al salir el flujo de aire del compresor la primera pérdida de presión que experimenta el sistema es al pasar por la unidad de mantenimiento, posteriormente, existe una caída de presión cuando el flujo de aire atraviesa la válvula, esta caída de presión permanece constante hasta llegar al generador de vacío, aquí es donde mediante en principio del tubo Venturi, descrito anteriormente en el capítulo III, se crea un fenómeno de aspiración creando una depresión en el circuito de presión.

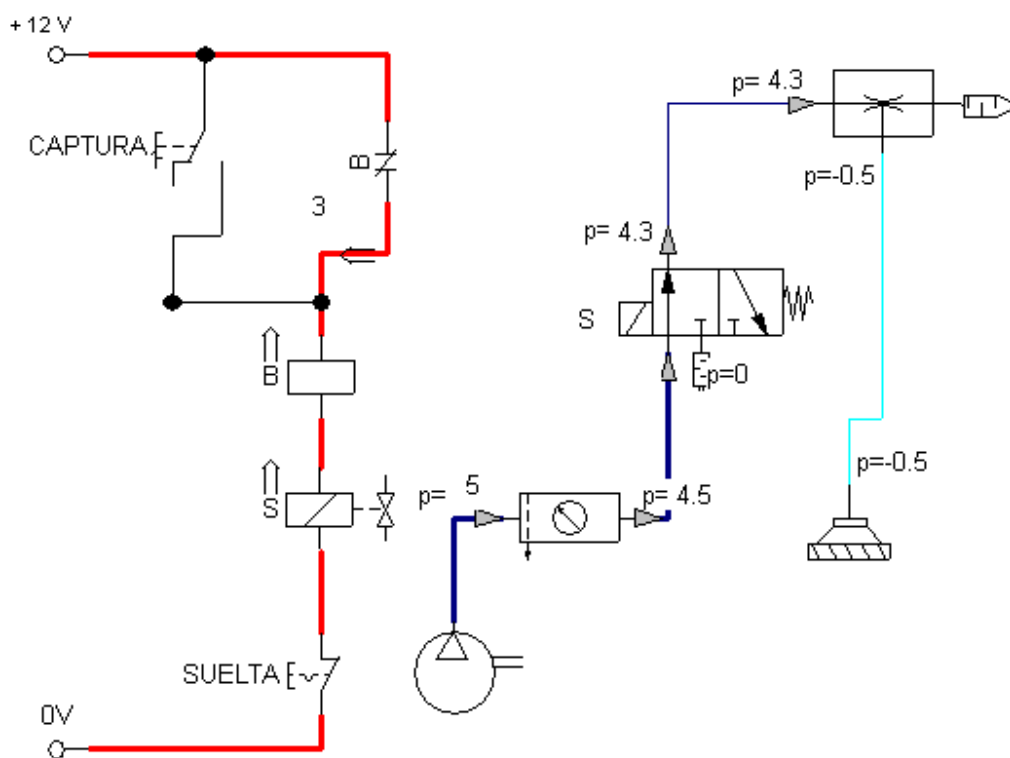


Figura 117. Diagrama Neumático activando el "Botón de captura".

El siguiente esquema muestra el circuito neumático cuando se ha presionado el "Botón suelta", pudiéndose observar la interrupción de flujo de aire en los elementos neumáticos del sistema al retornar la válvula a su posición inicial.



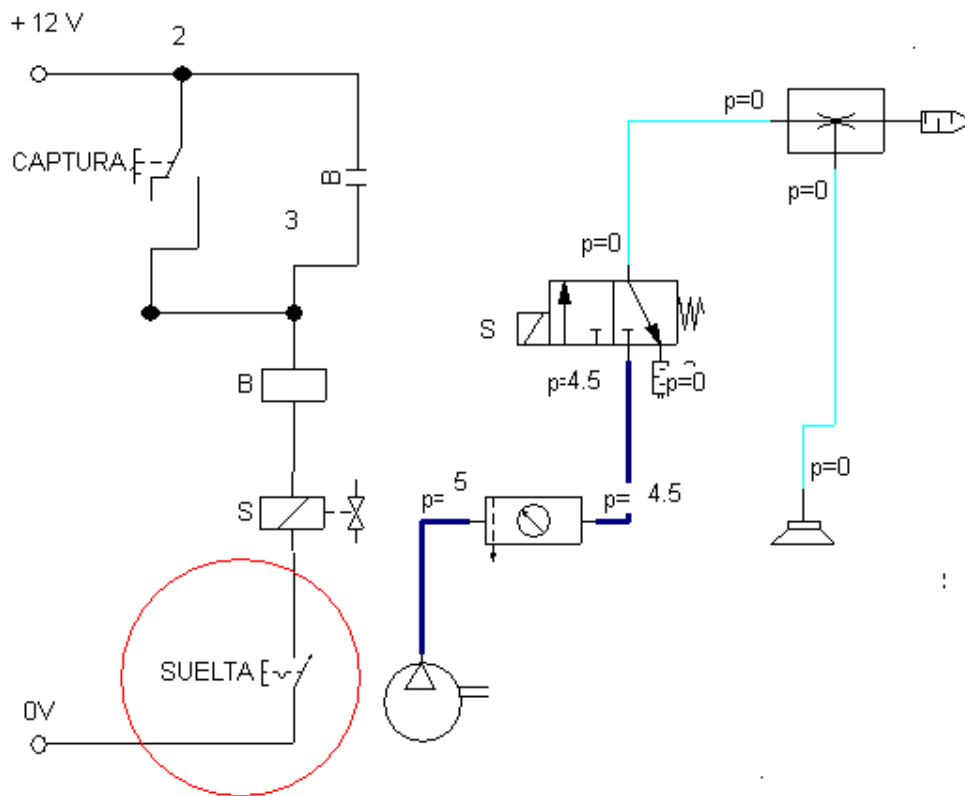


Figura 118. Diagrama Neumático activando el “Botón de captura”.

## V. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

### 5.1 RESULTADOS

Se construyó un brazo manipulador de 4 grados de libertad con fines didácticos, el diseño y la manufactura de dicho brazo fue apoyada principalmente con herramientas de diseño CAD/CAM. El sistema quedó compuesto por cuatro elementos: el brazo manipulador, el tablero de control, el tablero neumático-eléctrico y el compresor, estos se ilustran en la siguiente imagen:



Figura 119. Sistema completo del brazo manipulador.

El control del mecanismo se hizo mediante un tablero tipo video juego, este tablero dispone de dos palancas tipo Joystick que son las que tienen el control del movimiento de cada una de las articulaciones, el movimiento de cada una de estas, está indicado con una imagen, que ilustra la dirección y el sentido del movimiento. El movimiento de la cuarta articulación que posiciona la ventosa para poder llevar a cabo la captura de la pelota es controlado mediante dos botones,

es decir el movimiento permanece constante mientras el botón este presionado, al soltar el botón el movimiento se interrumpe, de igual manera en el tablero se ilustra la dirección y el sentido del movimiento.



Figura 120. Tablero de control del sistema, en el cual se ilustran la dirección y sentido de los movimientos del robot.

Como se menciona anteriormente, la función principal del brazo es desplazar un objeto (“bola de ping-pong”) de un lugar a otro, la captura se hace mediante una ventosa, adicionalmente el tablero cuenta con dos botones más (botón captura y botón suelta) para la captura de la pelota, al presionar el botón de captura la condición de vacío permanece constante (queda enclavada) y absorbe la pelota, hasta que el botón “suelta” sea presionado.



Figura 121. Mecanismo de Captura

## 5.2 CONCLUSIONES

En este trabajo se mostro una procedimiento de diseño de un robot mediante herramientas CAD y CAM, en la Facultad de Ingeniería de la UAQ se ha reportado el diseño y construcción de robots, los cuales aunque presentan arquitecturas bien definidas tienen limitaciones en cuanto al diseño. Ya que el uso de diagramas 2D representa más que nada una idea intuitiva, pues dificulta la visualización global de los componentes del mecanismo, de tal manera que se prefiera usar formas o estructuras sencillas para no complicar la etapa de diseño. Los programas CAD, en este caso particular SolidWorks, ofrecen herramientas de edición que permiten crear de manera rápida y sencilla modelos 3D de objetos, pero más allá ofrece características adicionales para la simulación y prueba de mecanismos. Esto facilito la labor de realizar ajustes a las dimensiones y forma de las piezas, se puede decir que con las simulaciones y observaciones realizaras en CAD se aseguro que las piezas tuvieran las especificaciones adecuadas, lo cual se demuestra a partir del hecho de que no fue necesario remanufacturar ninguna de las piezas realizadas y en el peor de los casos se realizaron modificaciones menores las cuales fueron validadas nuevamente en CAD.

El uso de herramientas CAM además de generar un código G que es directamente interpretado por maquinas CNC con las cuales se logra obtener gran precisión, también permite determinar la complejidad en la fabricación de las piezas y realizar simulaciones de las diferentes etapas de fabricación como desbaste, semiacabado y acabado.

Los problemas que se presentaron durante el diseño y la construcción del robot, se debieron principalmente a factores mecánicos, pues en el momento de la simulación del mismo en SolidWorks no se contemplo el equilibrio de los pesos de cada una de las articulaciones ni la fricción que existiría entre cada uno de los materiales al estar en movimiento el robot. Por lo cual los problemas mecánicos que se fueron presentando durante el ensamble se resolvieron durante la marcha, estos detalles no estaban contemplados en un inicio por lo cual se requirió de tiempo y recursos extra para las modificaciones adicionales.

Una herramienta que no se incluyo en este proyecto, para prever las dificultades mecánicas, fue el análisis de esfuerzos o tiempos ciclos para el funcionamiento de las partes mecánicas, ya que un alto porcentaje en el éxito a mediano y la largo plazo en estos sistemas, esta dado

principalmente por la correcta elección de los componentes mecánicos, y que fue una experiencia adquirida durante el desarrollo y la parte final del proyecto. Aunque para lograr lo anterior se requieren conocimientos más profundos como el análisis de elemento finito (FEA) apoyados en ingeniería asistida por computadora (CAE), lo cual sería una buena oportunidad para trabajos futuros.

Un punto importante fue que se logro la sinergia entre las herramientas de diseño CAD/CAM con la manufactura de las partes importantes y complicadas del proyecto, como lo fue el brazo principal del robot, un logro importante en donde se unieron todas la técnicas que queríamos implementar para su construcción como primera meta. Un proyecto en donde no solo lo la parte mecánica fue fundamental, sino que a su vez el aporte de la electrónica y neumática dieron ese complemento para poder dar sentido a lo plasmado en una computadora.

Durante la exposición de ciencia y tecnología que se llevo a cabo en Octubre del 2009 donde el robot fue expuesto, fue posible palpar los aciertos y carencias del proyecto, el objetivo de que fuera un robot que ayudara a la coordinación y retención en niños se cumplió, pues dicho mecanismo logro captar la atención de los niños que lo utilizaron durante la exposición, pero también se percibió que para futuros trabajos las recomendaciones serían considerar factores claves en el desempeño a mediano y largo plazo del robot.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Cervantes Sánchez Daniel, "Construcción y Control de un Robot de Tres Grados de Libertad", Tesis FI-UAQ, Junio 2009.

Creus Solé Antonio, "Neumática e Hidráulica 2da Edición" Marcombo, S.A. 2011.

Gómez González Sergio, "SolidWorks Simulation". Alfaomega Ra-Ma , 2010.

Maloney Timothy, "Electrónica Industrial Moderna 3er Edición", Prentice Hall 2001

Martínez Martínez Ivonne, "Neumática Básica". Tesina FI-UAQ, Marzo 2006.

Mompín Poblet José, "Sistemas CAD/CAM/CAE Diseño y Fabricación por Computadora", Marcombo, S.A.

Norton L. Robert, "Diseño de Maquinaria", Mc Graw Hill.

Sanz Adán Félix, Blanco Fernández Julio, "CAD-CAM Gráficos, Animación y Simulación por Computador", Thomson.

SolidWorks Corporation, "Introducción a SolidWorks", 1995-2002.

Vargas Luna Martha Guadalupe. "Automatización Básica". Tesina Marzo 2003.