

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE  
UN PROTOTIPO DE ÓRGANO  
TERMINAL PARA LEVANTAR  
PERIÓDICO DEL SUELO**

**TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERO MECÁNICO**

**PRESENTA  
CLAUDIO HANSBERG PASTOR**

**DIRECTORES  
M.I. ULISES M. PEÑUELAS RIVAS  
M.I. YUKIHIRO MINAMI KOYAMA**

**México D.F. Ciudad Universitaria**

**Diciembre de 2008**



*A Lu (in memoriam), a quien extraño y respeto por transmitirme el gusto por la  
resolución de problemas lógicos.*

*A mis padres, por enseñarme a hacer de todo un arte.*



## AGRADECIMIENTOS

Este ha sido el apartado que más he tardado en escribir. Esto se debe a que no había logrado resumir en pocas palabras lo muy agradecido que me siento hacia aquellas personas o instituciones que me ayudaron a llevar a cabo mi formación académica hasta el final. Quiero disculparme de antemano con todas aquellas personas que, por falta de memoria, se me olvide mencionar.

Le agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por todo lo que me ha brindado a lo largo de estos años, y en especial a la Facultad de Ingeniería, donde gracias a la enseñanza de muchos profesores y compañeros obtuve mi formación universitaria.

A mis padres, hermanas y abuela, quienes con mucho cariño y sobre todo paciencia me apoyaron a seguir siempre adelante. En especial quiero agradecerles a Teresa, Valeria y Olga por haber sido un apoyo excepcional en la realización de mi tesis.

Durante la carrera traté de inscribirme en aquellas asignaturas en las que se resolviesen problemas diseñando modelos en físico. Fue también un capricho mío que en el trabajo de tesis sucediera lo mismo. Y fue una verdadera suerte encontrar un grupo de académicos de áreas tan diversas y tan comprometidos con la realización de su trabajo, que no me quedó más remedio que ayudar a resolver uno de los proyectos que me propusieron. Agradezco sinceramente el apoyo, las recomendaciones y el conocimiento que me transmitieron el Dr. Jesus Savage y mis asesores, colegas y amigos Ulises M. Peñuelas y Yukihiro Minami, a quienes respeto y admiro.

También quiero agradecerles a los compañeros del equipo de desarrollo del diseño mecánico, que trabajaron conmigo aportando ideas en el Departamento de Ingeniería Mecatrónica, Andrew Ayala y Bruno Senzio. Así mismo, al equipo

del Laboratorio de Biorbótica, Adalberto Hernández, Sergio Cuellar, Rafael Sobrevilla, Rogelio de la Cruz, y en especial a David Esparza, Francisco Ayala y Gerardo Carrera, quienes me apoyaron en todo momento como colegas y sobre todo como amigos.

Al Dr. Jesus Manuel Dorador y al Ing. Mariano García, quienes en diferentes momentos de la carrera me brindaron su apoyo y conocimiento, y que ahora lo han vuelto a hacer.

Y cómo olvidarme de mi queridísima Yosh, quien me apoyó sentimentalmente en todo momento y se fletó la mayor parte de mis bruscos cambios de ánimo.

Por último, agradezco a mis amigos de toda la vida, que si no han sido de toda así los considero, Daniel Villanueva, Diego Arroyo, Ivan Esquivél, Luis Vargas, Marco De La Lama, Paul Richter y Yoshi Kashiwagi, quienes fueron piezas clave en mi desarrollo profesional y que de alguna forma han permanecido siempre en contacto apoyándome.

# CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	11
<b>1 ANTECEDENTES</b>	15
<b>1.1 Mecanismos similares a través de la historia</b>	15
1.1.1 Sistemas simples	16
1.1.2 Sistemas compuestos	18
<b>1.2 Conceptos básicos y morfología de un órgano terminal</b>	20
1.2.1 Robots de servicio	21
1.2.2 Estructura general de un brazo mecánico	21
1.2.3 Transmisiones, reducciones y acoplamientos	24
1.2.4 Actuadores	26
1.2.5 Sensores	26
1.2.6 Elementos terminales	26
<b>2 METODOLOGÍA DE DISEÑO Y DESARROLLO DE PROTOTIPOS</b>	29
<b>2.1 Diseño y metodología de diseño</b>	29
2.1.1 Métodos convencionales	30
2.1.2 Métodos intuitivos	31

<b>2.2</b>	<b>Diseño y desarrollo de prototipos</b>	<b>33</b>
<b>2.3</b>	<b>Planeación</b>	<b>34</b>
<b>2.4</b>	<b>Diseño conceptual</b>	<b>34</b>
2.4.1	Necesidades y Especificaciones	35
2.4.2	Generación del concepto	35
2.4.3	Búsqueda externa	36
2.4.4	Búsqueda interna	36
2.4.5	Selección de concepto	36
2.4.6	Construcción y prueba de prototipos	37
<b>2.5</b>	<b>Diseño de configuración</b>	<b>37</b>
<b>2.6</b>	<b>Diseño de detalle y análisis</b>	<b>37</b>
<b>2.7</b>	<b>Construcción, pruebas y resultados</b>	<b>37</b>
<b>3</b>	<b>DISEÑO CONCEPTUAL Y DE CONFIGURACIÓN</b>	<b>39</b>
<b>3.1</b>	<b>Planeación</b>	<b>39</b>
<b>3.2</b>	<b>Diseño conceptual</b>	<b>40</b>
3.2.1	Reglamento	40
3.2.2	Necesidades y especificaciones	41
3.2.3	Aclaración del problema	46
3.2.4	Análisis de <i>subproblemas</i> críticos, avance sistemático	51
3.2.5	Sistema de suministro y almacenamiento de energía	52
3.2.6	Sistema de acercamiento	52
3.2.7	Sistema de sujeción	56
3.2.8	Sistema de elevación	58
3.2.9	Sistema de montaje en los robots	59
3.2.10	Selección del concepto	60
3.2.11	Construcción y prueba de prototipos experimentales	61
<b>3.3</b>	<b>Diseño de configuración</b>	<b>62</b>
<b>4</b>	<b>DISEÑO DE DETALLE Y ANÁLISIS</b>	<b>65</b>
<b>4.1</b>	<b>Enfoque estructural</b>	<b>65</b>
<b>4.2</b>	<b>Análisis matemático</b>	<b>66</b>

4.2.1	Análisis geométrico con enfoque interno para el sistema de agarre	66
4.2.2	Análisis geométrico para el sistema de transmisión	70
<b>4.3</b>	<b>Análisis probabilístico de la forma de doblado del periódico</b>	<b>73</b>
<b>4.4</b>	<b>Material</b>	<b>75</b>
<b>4.5</b>	<b>Transmisiones y Actuadores</b>	<b>76</b>
4.5.1	Transmisión para el sistema de agarre	76
4.5.2	Transmisión para el sistema de elevación	77
4.5.3	Actuador propuesto para el sistema de agarre	78
4.5.4	Actuador propuesto para el sistema de elevación	79
<b>4.6</b>	<b>Sensores internos</b>	<b>79</b>
<b>4.7</b>	<b>Sensores externos</b>	<b>80</b>
<b>4.8</b>	<b>Dimensiones del mecanismo de agarre y transmisiones</b>	<b>82</b>
<b>4.9</b>	<b>Sistema de montaje en los robots</b>	<b>83</b>
<b>4.10</b>	<b>Diseño final</b>	<b>84</b>
<b>5</b>	<b>CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS</b>	<b>87</b>
<b>5.1</b>	<b>Construcción del prototipo alfa</b>	<b>87</b>
<b>5.2</b>	<b>Pruebas finales</b>	<b>91</b>
5.2.1	Prueba de masas	92
5.2.2	Prueba para ángulos de levantamiento sobre el suelo	93
5.2.3	Prueba de velocidades	94
5.2.4	Prueba de tiempos	95
5.2.5	Ángulo de inclinación de las espátulas en el mecanismo de agarre	96
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>97</b>
	<b>REFERENCIAS</b>	<b>99</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>103</b>
<b>1</b>	<b>Manual de uso</b>	<b>103</b>
<b>2</b>	<b>Planos, dimensiones y piezas utilizadas</b>	<b>107</b>



## INTRODUCCIÓN

Los problemas de diseño, al igual que cualquier problema complicado que requiera creatividad, se resuelven mediante un simple y arduo trabajo mental. Los métodos o metodologías ayudan a los diseñadores a mantenerse activos, a sobrepasar de forma útil esos periodos de tiempo en los que la inspiración no llega, o a romper argumentos circulares. Les ayuda a encontrar el extremo del hilo conductor que los guiará a la solución que merodea dentro de los límites de la imaginación, para poder ser dibujada en un pizarrón y descubrir que a menudo ni siquiera es funcional. Sin embargo, aún siendo este el caso, el método permitirá ver de manera más rápida que se trata de una solución inútil [4].

Con este trabajo de tesis se pretende abordar el proceso de diseño empleado para desarrollar, construir e instalar un prototipo de órgano terminal, que levanta periódicos.

El prototipo propuesto sirve también para mostrar que el desarrollo de un diseño innovador como producto de rápida elaboración, en el cual se corre el riesgo de fracasar en la resolución del problema o de gastar mucho dinero para resolverlo, puede llevarse a buen término si se tiene una buena dirección del

proyecto, responsabilidad, perseverancia, motivación, claro entendimiento del problema, lógica, metodología, conocimiento, creatividad, respeto y muchas otras características que permiten llevar a cabo un buen trabajo en equipo.

A continuación se dan a conocer los objetivos, que serán la pauta que rige y guía el desarrollo de este trabajo.

### **Objetivo general**

- Diseñar un prototipo de órgano terminal, ajustable al robot TPR8 del laboratorio de Biorobótica de la facultad de Ingeniería de la UNAM, que permita recoger, transportar y soltar un periódico de magnitudes físicas conocidas.

### **Objetivos específicos**

- Diseñar un mecanismo sencillo, práctico, ligero, de bajo costo, de dimensiones reducidas, versátil, de fácil montaje y que utilice pocos actuadores.
- Realizar el diseño propuesto en este trabajo bajo los parámetros del desarrollo de un proyecto de rápida elaboración.
- Brindar la posibilidad al equipo Pumas-México de competir en la prueba de manipulación de objetos de la categoría RoboCup@Home en la competencia internacional de robótica RoboCup 2007 Atlanta.
- Promover el desarrollo de tecnología mexicana para diseños en el mercado del futuro. Dar una prueba de que los robots no son sólo tecnología de los países del primer mundo y que sí se pueden desarrollar y a un bajo costo.

La tesis está estructurada como se muestra a continuación. La constituye una breve introducción, en donde se dan a conocer los objetivos y una descripción

de cómo está conformado y distribuido el trabajo; cinco capítulos, de los que a continuación se dará detalle; y un último apartado dedicado a las conclusiones.

En el primer capítulo se muestra un resumen de los diferentes sistemas mecánicos que se han diseñado a través de la historia para levantar objetos, empezando por los simples y terminando con los compuestos. Además, cuenta con una pequeña introducción sobre los conceptos básicos y morfológicos de un órgano terminal.

En el segundo capítulo se introducen los conceptos de diseño y algunas de las diferentes metodologías existentes, y se justifican las modificaciones hechas en uno de los métodos del proceso genérico de desarrollo de productos empleado para la solución del problema. Además, se muestra de manera desglosada cada uno de los pasos que se llevaron a cabo durante el proceso de diseño, desarrollo y construcción del prototipo.

En el tercer capítulo principalmente y como estructura fundamental del mismo, se aclara cómo se llevaron a cabo los procesos de planeación, de desarrollo del concepto y de diseño a nivel sistema del prototipo. Además, proporciona una breve explicación del surgimiento del proyecto, una completa descripción de la prueba en la que se pretende participar con el prototipo y se expone también el reparto de tareas que se hizo entre los dos grupos que componen al equipo.

En el capítulo cuarto se describe el proceso de diseño de detalle y el análisis correspondiente realizado. Comienza con el análisis geométrico de los mecanismos propuestos para obtener relaciones espaciales y angulares, grados de libertad y magnitudes de movimiento, entre otros. Además se plantea un enfoque externo e interno del sistema, para poder analizarlo ya sea como brazo o como mecanismo. También se incluye un pequeño análisis probabilístico para obtener el doblado más adecuado del periódico. Por último se dan a conocer materiales, sistemas de transmisión, actuadores, sensores y todos los dispositivos utilizados para la construcción del brazo, así como las dimensiones u hojas de especificaciones de cada uno.

El capítulo quinto corresponde a la construcción del prototipo. Se describen brevemente cada una de las etapas de la construcción, así como las pruebas a las que fue sometido para garantizar el correcto funcionamiento del diseño. También muestra los resultados de cada una de las pruebas, cuyos valores son comparados con los propuestos en las especificaciones técnicas del tercer capítulo para corroborar que se han cumplido los objetivos.

Por último se dan a conocer las conclusiones y algunas observaciones de lo que se podría mejorar a futuro en la construcción de un nuevo mecanismo.

# **CAPÍTULO 1**

## **ANTECEDENTES**

### **1.1 Mecanismos similares a través de la historia**

En los últimos años, sobre todo en China y en Japón, se ha incrementado la necesidad de enfocar la investigación científica y tecnológica en el área de la robótica, en especial en la rama de robots de servicio [14]. Esto se debe básicamente al crecimiento demográfico que resultó por el aumento en la esperanza de vida y la baja tasa de natalidad fomentada por las campañas de control poblacional de los países desarrollados. El aumento en la población adulta generará necesidades de cuidado y bienestar de los mismos, que no podrán ser satisfechas por personal joven y que tendrán que ser reemplazadas por robots de servicio [18]. Al mismo tiempo, estos robots generarán un aumento en el nivel de vida, que a su vez incrementará la esperanza de vida y el número de la población adulta, generando una demanda de robots tal que beneficiará a quienes hayan previsto y solucionado las necesidades de ese mercado.

Sin embargo, no es el interés de este trabajo difundir ideas sobre el mercado del futuro, pero sí es importante mostrar qué se está haciendo y hacia dónde se enfoca la ingeniería mundial. Particularmente conviene saber que la mayoría de estos robots contarán con uno o varios órganos terminales diseñados para realizar tareas específicas. Una de las probables operaciones es aquella que consiste en levantar objetos que se encuentran en el piso y trasladarlos a lugares deseados. A continuación se muestran los diferentes sistemas mecánicos que se han diseñado a través de la historia para realizar estas actividades y que luego se han transformado en mecanismos o máquinas compuestas.

### 1.1.1 Sistemas simples

**Palanca.** Se trata de uno de los sistemas mecánicos más simples y antiguos descubiertos por el hombre. Puede ser utilizado para múltiples funciones como levantar, agarrar o transportar objetos. De este descubrimiento surgen ideas como la pala, la pinza y la carretilla, mostradas en la Figura 1.1.

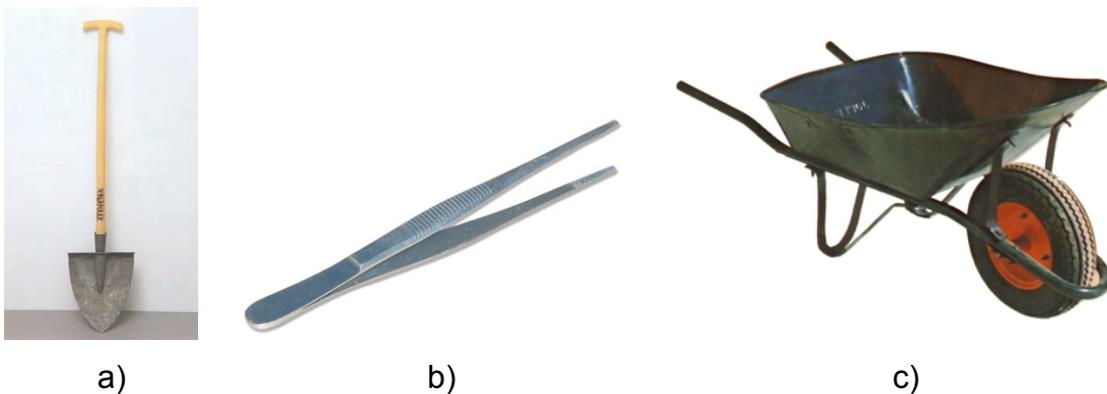


Figura 1.1 Ejemplos de tipos de palanca: a) pala, b) pinza y c) carretilla [36] [34] [19].

**Plano inclinado.** Desde los antiguos egipcios se viene usando este sistema tan simple cuyo estudio ha generado ideas como la del tornillo de Arquímedes para elevar agua, harina o cereales, ver Figura 1.2. Posteriormente ha resultado en la invención de la broca y el mismísimo tornillo, los cuales son planos inclinados colocados en forma helicoidal. [3] [5]

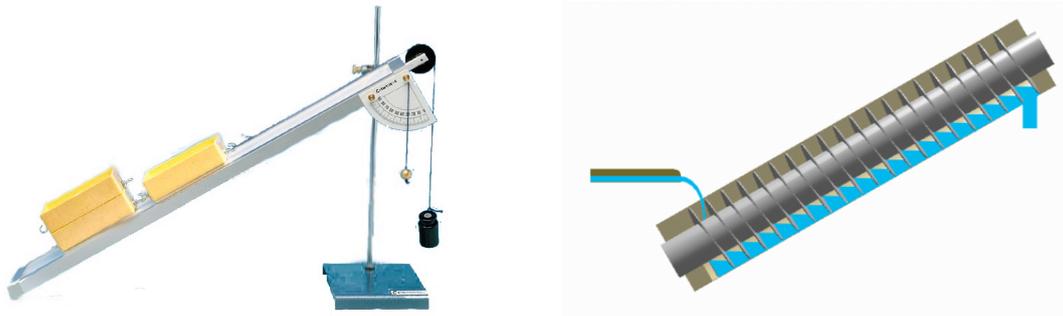


Figura 1.2 Plano inclinado y tornillo de Arquímedes [16] [17].

**Polea.** Es otro sistema práctico y tan simple que podría suponerse que es tan antiguo como la misma rueda. En realidad tardó bastante en ser descubierto, pues aparece por primera vez en un bajo relieve del periodo asirio (alrededor del 800 a. de C.) en Mesopotamia [12], mientras que la rueda data desde 3500 a. de C. [11] De este sencillo invento y la combinación del mismo (el polipasto), ver Figura 1.3, se generan ideas tales como las grúas mecánicas, muy útiles para levantar y trasladar objetos. Un invento de los antiguos griegos o romanos respecto al cual no hay indicios hasta el siglo I de nuestra era [10].

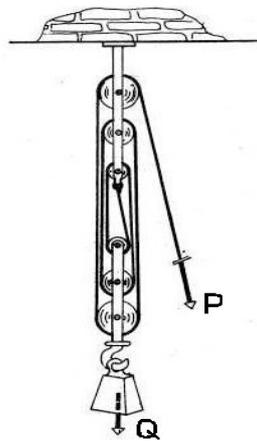


Figura 1.3 Poleas [20].

**Electroimán.** fue inventado por el electricista británico William Sturgeon en 1825 [26]. Se trata de una bobina con forma de tubo recto a la que se hace circular corriente eléctrica. Se le llama solenoide y si se curva de tal forma que los extremos coinciden se denomina toroide. Se logra producir campos magnéticos mucho más fuertes si se introduce un núcleo de material paramagnético o ferromagnético en la bobina [5]. Puede utilizarse para atraer o levantar objetos ferromagnéticos para luego trasladarlos. Una de las

aplicaciones más utilizadas se encuentra en los motores eléctricos cuyo uso es muy variado.

### 1.1.2 Sistemas compuestos

De los ejemplos anteriores y de otros que no se describen en este resumen histórico, se obtienen los siguientes sistemas que permiten levantar y trasladar objetos de diferentes tamaños.

**Gato hidráulico y mecánico.** Es un sistema para levantar objetos pesados de forma estática. Los gatos mecánicos de cremallera (o husillo) son adecuados para elevar pesos pequeños, mientras que los gatos hidráulicos se emplean para elevar grandes pesos [31].

**Montacargas.** Es un vehículo de uso rudo e industrial que se utiliza para transportar tarimas con mercancías y acomodarlas en almacenes [29]. Consta de un sistema prismático accionado por cadenas, cables o pistones y dos horquillas en donde se apoya la carga, generalmente colocadas al frente del sistema de transporte, que suele ser un carrito eléctrico, como el de la Figura 1.4, o en el caso de ser manual un trío de ruedas.



Figura 1.4 Montacargas [22].

**Pala cargadora.** Es una máquina para movimiento de tierra de uso frecuente en construcción y minería. Si se desea cargar troncos u otros materiales se puede sustituir la pala por horquillas. Se construyen de tipo frontal, sobre

neumáticos u orugas. La pala, parecida a un recogedor (con dientes o sin ellos), está unida a eslabones controlados por pistones, ver Figura 1.5.



Figura 1.5 Pala cargadora (al frente del tractor) [28].

**Pala excavadora.** Es una máquina utilizada en construcción para excavar en la tierra. Se construyen de tipo frontal y de tipo retroexcavadora (como la que tiene atrás el tractor de la Figura 1.5), sobre neumáticos u orugas, como la que se muestra en la Figura 1.6. Es un sistema de eslabones con forma de palanca acodada o manivela de campana cuya parte terminal es una pala cóncava hacia abajo cuyos movimientos se controlan por medio de pistones.



Figura 1.6 Pala excavadora [35].

**Aspiradora mecánica, luego eléctrica.** Aparato de uso doméstico para la limpieza del hogar. Succiona partículas al disminuir la presión del interior de la misma ya sea por un fuelle, ventilador o bomba de vacío [2].

**Recogedor eléctrico.** Aparato de uso doméstico para la limpieza. Funciona haciendo girar escobillas circulares que introducen las partículas hacia el interior del contenedor de forma automática y sin requerir del uso de una escoba, como lo muestra la Figura 1.7.



Figura 1.7 Recogedor eléctrico [25].

**Camilla automática.** Camilla para levantar pacientes que se encuentran en el suelo evitando el contacto humano y que luego pueden ser transportados. Se trata de “...una cinta transportadora ubicada en un chasis que gira y retrocede a la misma velocidad que avanza el chasis”, según palabras del inventor C. Blotta [37] [24]. En la Figura 1.8 se muestra el bosquejo del diseño publicado en la patente.

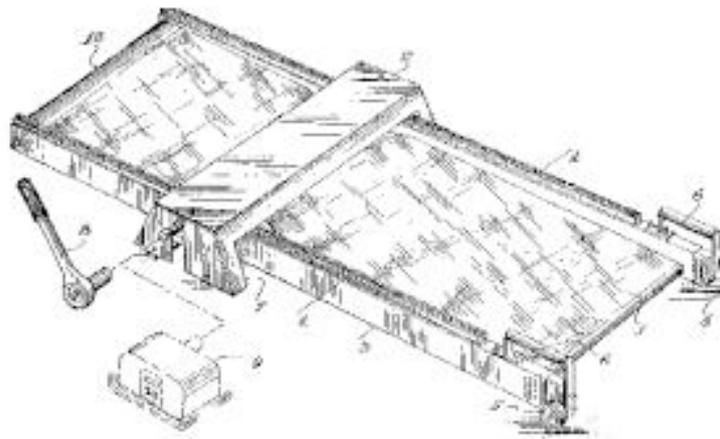


Figura 1.8 Camilla automática [24].

## 1.2 Conceptos básicos y morfología de un órgano terminal

A lo largo de la historia se han diseñado diferentes sistemas mecánicos para levantar objetos del piso y poder transportarlos a lugares deseados. Cuando se pretende diseñar un sistema de este tipo, es importante revisar de manera objetiva los conceptos y la información relacionada con el tema para tener un punto de partida o una referencia general que nos permita conocer, entender y relacionar ideas. Para la comprensión de este trabajo es de interés conocer la información relacionada con órganos terminales en robots de servicio.

### 1.2.1 Robots de servicio

Según la Federación Internacional de Robótica, (IFR) de sus siglas en inglés, un robot de servicio es aquél que opera de manera semi o totalmente autónoma para realizar servicios útiles a los humanos y equipos, excluidas las operaciones de manufactura y que a veces puede estar equipado con uno o varios órganos terminales. Estos últimos son generalmente brazos mecánicos cuya configuración depende de la(s) tarea(s) a realizar y están controlados de la misma manera que los robots industriales [1]. En la Figura 1.9 se muestra uno de los robots más avanzados que se encuentra en el mercado actual.



Figura 1.9 Robot de servicio ASIMO diseñado por la compañía HONDA [33].

Dentro de los diferentes tipos de robots de servicio se encuentran los robots domésticos o personales definidos por la IFR como:

“Aquel robot destinado a ser usado por humanos sin formación técnica específica, con el objeto de servirle como ayudante o colaborador en sus quehaceres o actividades diarias.”

Para los robots domésticos hay una clasificación más detallada según el área de aplicación, pero no se dará a conocer puesto que no es de interés para el desarrollo de este trabajo.

### 1.2.2 Estructura general de un brazo mecánico

Un brazo mecánico suele estar constituido por eslabones o elementos unidos por articulaciones que le permiten tener cierto movimiento relativo entre ellos,

generalmente debido al accionamiento de actuadores, para alcanzar con su extremo o elemento terminal la coordenada deseada en el espacio y realizar la tarea específica [1]. A continuación se presentan algunos conceptos básicos relacionados con la estructura de un brazo mecánico:

**Eslabón.** Es un cuerpo rígido que tiene dos o más pares o elementos de apareamiento, por medio de los cuales se pueden conectar cuerpos entre sí, con el fin de transmitir la fuerza o movimiento. Por lo general, un eslabón o unión es un miembro rígido que tiene en ambos extremos la posibilidad de conectarse a otro eslabón. Sin embargo, esto se puede extender a tres, cuatro o incluso más conexiones. Cuando se conecta un número de eslabones por medio de articulaciones, el sistema se convierte en una cadena cinemática [8]. Si se puede llegar desde cualquier eslabón a cualquier otro mediante al menos dos caminos, se dice que se trata de una cadena cinemática cerrada. En caso de que sólo haya un camino posible se dirá que se trata de una cadena cinemática abierta. La estructura mecánica de un brazo robot constituye una cadena cinemática. [1]

**Articulación.** Es la forma geométrica mediante la cual se unen dos miembros de un mecanismo de manera que el movimiento relativo entre ambos sea consistente. Para dar una idea del tipo de articulaciones que existen para un brazo mecánico hay que conocer los diferentes tipos de movimientos posibles. Estos son: movimiento plano, helicoidal y esférico. El movimiento plano se subdivide en traslación rectilínea, traslación curvilínea y rotacional [8]. De estos movimientos surgen seis diferentes tipos de articulaciones, también conocidas como pares de Reuleaux [1] (ver figura 1.10):

- **Planar.** Lleva a cabo movimientos planos.
- **Prismática.** Movimiento plano de traslación rectilínea a lo largo de un eje.
- **Rotacional.** Movimiento plano rotacional, gira sobre su propio eje.
- **Cilíndrica.** Combinación de pares prismático y rotacional en un mismo eje.
- **De tornillo.** Movimiento helicoidal cuyo resultado depende de qué parte de la articulación permanece fija.
- **Esférica.** Movimiento esférico.

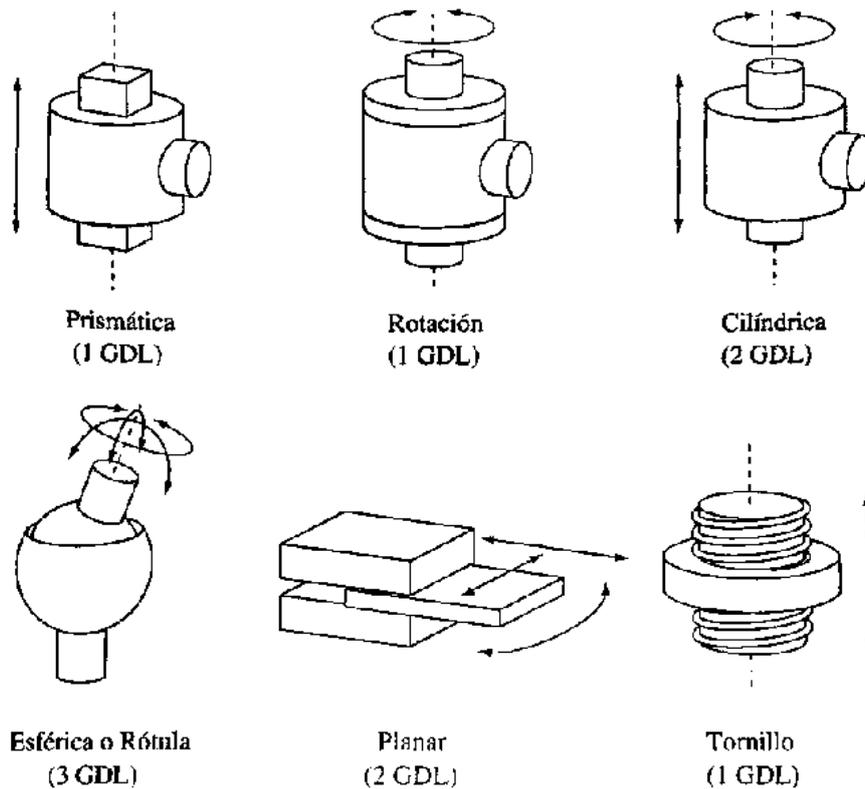


Figura 1.10 Pares inferiores de Reuleaux [1].

**Grado de libertad (GDL).** Se trata de cada uno de los movimientos independientes que puede realizar cada articulación con respecto a la anterior. Matemáticamente se puede obtener el número de grados de libertad de una cadena cinemática mediante la ecuación de Grübler [1]. Físicamente se entiende como el número mínimo de variables que se requieren para definir la posición de un cuerpo en el espacio con respecto a un sistema de referencia. Si un robot se diseña con mayor GDL de los que se requieren para las funciones deseadas se dice que tiene una configuración redundante.

Ecuación de Grübler: 
$$GDL = \lambda \cdot (n - j - 1) + \sum f_i \quad (1.1)$$

donde

$\lambda$ : GDL del espacio de trabajo       $j$ : número de articulaciones  
 $n$ : número de eslabones               $f_i$ : GDL de la  $i$ ésima articulación,  $i = 1, 2, \dots, j$

**Configuración [1].** Debido a que se tienen diferentes articulaciones y que la cadena cinemática puede ser abierta o cerrada, se obtienen varias configuraciones posibles a las que con el afán de identificarlas se les ha dado diferentes nombres. Estos nombres provienen algunas veces del sistema de referencia que se utiliza para describir el movimiento. En el caso de cadenas cinemáticas abiertas las configuraciones más frecuentes son: cartesiana, cilíndrica, esférica o polar, SCARA y angular o antropomórfica. Para el caso de sistemas con cadena cinemática cerrada se tienen los denominados “de estructura paralela”.

**Elemento terminal.** Se trata del último eslabón en la cadena cinemática de un brazo mecánico. Generalmente es ahí donde se encuentra(n) la(s) herramienta(s) con la(s) que interactúa el sistema con el o los objetos. Es la parte del brazo cuya ubicación y/o posición es importante conocer.

### **1.2.3 Transmisiones, reducciones y acoplamientos**

Un brazo manipulador mueve su extremo o elemento terminal con aceleraciones de magnitudes elevadas generando momentos de inercia que impiden su control y ubicación. Así mismo, los pares estáticos que deben vencer los actuadores dependen directamente de la distancia de las masas al actuador. Por estos motivos se procura que los actuadores se encuentren lo más cerca de la base del robot y que los sistemas de reducción empleados transformen velocidades elevadas en pocos pasos. Todo ello conlleva a utilizar sistemas de transmisión que trasladen el movimiento desde el actuador hasta la articulación [1].

**Modos de transmisión.** Sin considerar la acción de fuerzas naturales de atracción y repulsión, una pieza no puede mover a otra si no se encuentran en contacto o si no están conectadas entre sí por medio de algún cuerpo intermedio que comunique el movimiento. El movimiento se transmite del impulsor al impelido por contacto directo o por medio de conectores intermedios, ya sean rígidos, flexibles o fluidos [7].

**Transmisiones en brazos manipuladores.** No existe un sistema específico, pero hay algunos usados con mayor frecuencia. Las características básicas que hacen que una transmisión sea más adecuada son el tamaño y peso reducido, poco juego u holgura y gran rendimiento [1].

**Modos de reducción.** Existen muchas maneras de hacer reducciones, y todas tienen aplicaciones según sus características específicas, pero existen también muchas limitantes que generan variaciones en la eficiencia [1]. Por motivos de diseño, para dar un ejemplo, se tiene una velocidad máxima de entrada admisible que aumenta a medida que disminuye su capacidad de transmitir par.

**Reducciones en brazos manipuladores.** A diferencia de las transmisiones, sí existen reductores determinados de uso preferente. Esto se debe a que las características específicas que se exige que tengan estos sistemas son de alta precisión y velocidad de posicionamiento. Se requiere que sean de bajo peso, reducido tamaño, bajo rozamiento, baja inercia y que al mismo tiempo sean capaces de realizar una reducción elevada en un solo paso. Por otro lado, tienen que soportar pares elevados puntuales, deben de tener un juego angular reducido y soportar una alta rigidez a la torsión [1].

Hoy en día existen brazos que utilizan sistemas de accionamiento directo que permiten conectar al actuador directamente con la carga o la articulación, sin necesidad de utilizar un reductor intermedio.

**Acoplamiento por accionamiento directo.** Se utilizan en aquellos brazos que exigen gran precisión con altas velocidades. Aún así, estos reductores generan efectos negativos como juego angular, rozamiento o poca rigidez, que impiden a su vez alcanzar valores adecuados de precisión y velocidad requerida [1]. Por otro lado, se compensan estas desventajas debido a que no dependen de los sistemas de transmisión que generan rozamientos y juegos innecesarios, a que tienen mayor control del sistema y a que se simplifican por no tener reductores de por medio.

#### 1.2.4 Actuadores

Los actuadores son aquellos sistemas encargados de generar la fuerza y/o el movimiento de los elementos que constituyen el mecanismo o máquina. Para el caso específico de los actuadores usados en brazos manipuladores, se consideran aquéllos que emplean energía neumática, hidráulica o eléctrica, cuyas características varían de un sistema a otro generalmente en: potencia, control, peso y volumen, precisión, velocidad, mantenimiento y costo.

#### 1.2.5 Sensores

Es importante que los brazos manipuladores obtengan información de su propio estado y de su entorno para poder realizar las actividades de forma adecuada. Para ello se requiere usar sensores internos y externos [1].

**Sensores internos.** Se usan para conocer información relacionada con la posición y velocidad de sus eslabones, sobre todo para poder controlar la ubicación del elemento terminal que es con el que se trabaja o realiza actividades.

**Sensores externos.** Se usan para explorar el entorno en el que trabajan, evitar daños materiales externos e internos, prever situaciones o sucesos que de otra forma sería difícil controlar. Son los sistemas que perciben los cambios del entorno y alertan al sistema de inteligencia o control.

Existe una variedad inmensa de sensores. Los más usados en robótica son los llamados de presencia, de posición (analógicos y digitales) y los de velocidad.

#### 1.2.6 Elementos terminales

Los elementos terminales son los encargados de interactuar con el entorno. Puede tratarse tanto de elementos de aprehensión como de herramientas. Ambos son generalmente diseñados para realizar tareas específicas y no suelen ser muy versátiles.

Los elementos de sujeción más comunes son las pinzas, aunque también existen los de succión o vacío. La selección de los primeros se hace por el tipo de movimiento de los dedos (lineal o angular), el recorrido de éstos, la fuerza que ejercen, el número de dedos, si se requiere ejercer fuerza tanto en la apertura como en el cierre y por tiempo de respuesta. Para el cálculo de la fuerza de agarre debe considerarse el peso de la pieza, la forma, el material de la pieza y las aceleraciones con que se pretende mover. Por lo general suele ser necesario diseñar los dedos de la pinza para que tengan las medidas para poder manipular la pieza, para así conseguir la mayor superficie de contacto posible entre dedos y pieza. En el caso de los elementos de succión, se emplean ventosas de diferentes materiales, éstas sólo pueden ser usadas en superficies lisas de plástico, vidrio, papel o metal [1].

Para las operaciones que no consisten en la manipulación de objetos, están los elementos terminales herramientales. Entre estos se puede encontrar todo tipo de herramientas que pueden servir para la manufactura de piezas u otras actividades.



## **CAPÍTULO 2**

# **METODOLOGÍA DE DISEÑO Y DESARROLLO DE PROTOTIPOS**

### **2.1 Diseño y metodología de diseño**

Todo proceso de diseño tiene su parte creativa en el que se requiere tanto de la intuición como del conocimiento tecnológico. En muchas ocasiones no se requiere tanta inventiva como en otras, ya que la mayoría de los diseños van evolucionando gradualmente, haciendo una serie de modificaciones al diseño original. La mayoría de los productos de ingeniería están diseñados para encajar en un sistema determinado; si éste cambia, el producto debe de evolucionar para adaptarse al cambio [6].

Por otro lado están las innovaciones. En este caso no se hacen modificaciones y por lo tanto se tiene el riesgo de fracasar en la resolución del problema o de gastar mucho dinero para resolverlo [6]. Para evitar estos problemas y asegurar un diseño exitoso, se han concebido metodologías que, llevadas a

buen término, pueden lograr objetivos más concretos. Aún así, existen ventajas y desventajas que exceden o limitan el diseño de productos.

### **2.1.1 Métodos convencionales**

**Búsqueda de literatura.** Las actualizaciones tecnológicas les brindan a los diseñadores información valiosa que proporciona diferentes soluciones conocidas. Se encuentra en libros y revistas tecnológicas, archivos de patentes y folletos publicados por la competencia. Esta información suele archivar en computadoras como fuente para futuros nuevos diseños [9].

**Análisis de sistemas naturales.** El estudio de formas, estructuras, organismos y procesos naturales, pueden ofrecer soluciones tecnológicas útiles. La naturaleza suele ser un estímulo para la creatividad de los diseñadores [9].

**Análisis de sistemas tecnológicos existentes.** Es uno de los medios más importantes para generar variantes de solución nuevas o mejoradas. Se hace un análisis seccionado de un producto terminado en forma mental y/o a veces física. Podría considerarse como un análisis estructural donde la meta consiste en descubrir las relaciones características lógicas, físicas y estructurales del diseño. El estudio de sistemas existentes considera el análisis de: productos o métodos de producción de otras compañías y de productos o ensambles similares, en donde sólo algunas subfunciones o funciones estructurales corresponden con aquellas soluciones buscadas [9].

**Analogías.** En la búsqueda de soluciones y en el análisis de propiedades de sistemas, se sustituyen otros problemas o sistemas equivalentes y se toman como modelo. Además de ayudar en la búsqueda de soluciones, las analogías también son útiles para el estudio del comportamiento de sistemas en los primeros pasos del desarrollo, lo que implica usar técnicas de simulación y modelado, y para la identificación de nuevas subfunciones que tendrán una optimización pronta [9].

**Mediciones y pruebas a modelos.** Las mediciones obtenidas de sistemas existentes, las pruebas realizadas en modelos con análisis similares y otros estudios experimentales, son de entre las fuentes de información, de las más importantes para el desarrollo de productos [9].

### **2.1.2 Métodos intuitivos**

Por lo general los diseñadores descubren por intuición soluciones para problemas difíciles, después de un periodo de búsqueda y reflexión. Estas soluciones aparecen de repente como pensamientos concientes, y muchas veces no puede ser rastreado su origen. Un buen método de diseño, lejos de querer eliminar este proceso, debe servir como apoyo. Los métodos puramente intuitivos tienen las desventajas siguientes: una buena idea no siempre aparece en el tiempo adecuado, debido a que no puede ser forzada a salir. Los prejuicios personales y convenciones actuales pueden inhibir el desarrollo de ideas originales. Debido a la falta de información, puede suceder que los procesos o tecnología nuevos no alcancen a llegar a la mente del diseñador. Estos peligros se incrementan con la especialización, la división de tareas y la presión del tiempo. Los métodos que se muestran a continuación llevan a cabo dinámicas de grupo que generan un ancho intervalo de ideas posibles [9].

**Lluvia de ideas o “Brainstorming”.** Se puede describir como el método que consiste en crear un mar de ideas nuevas. Cada uno de los integrantes de un grupo, mayor de cinco pero menor de quince personas de tan diferentes esferas como sea posible, proponen cualquier pensamiento o estímulo que genere nuevas ideas en la mente de los otros participantes. Intenta estimular la memoria y fomentar la asociación de ideas que nunca antes se habían considerado en ese contexto, o que nunca antes habían llegado a un estado mental conciente.

**Método 635.** Es el método de lluvia de ideas transformado por Rohrbach. Después de familiarizarse con el problema y analizarlo cuidadosamente, se les pide a cada uno de los seis participantes que escriban con palabras clave tres soluciones toscas. Pasado un determinado tiempo, se pasan las soluciones al

compañero de al lado y éste, a su vez, después de leerlas, escribe tres ideas consecuentes o desarrollos de las mismas. Este proceso continúa hasta que cada conjunto de tres ideas haya sido completado o desarrollado mediante asociación por los otros cinco participantes.

**Método de galería.** Combina el trabajo individual y el de grupo. Es muy parecido al “Brainstorming” pero se hace por medio de bosquejos. Una vez familiarizados con el problema, los integrantes del grupo crean soluciones de forma intuitiva y las esquematizan, apoyándose algunas veces con un poco de texto. Los bocetos se cuelgan, cual galería, de tal forma que los otros participantes puedan ver y discutir las ideas expuestas. Las ideas o asociaciones generadas se desarrollan de forma individual por cada miembro del grupo. Una vez terminadas se revisan y clasifican, y aquéllas que sean prometedoras se seleccionan.

**Método Delphi.** En este método se les pide su opinión escrita a diferentes expertos de un determinado campo. Todas las ideas recabadas son enlistadas y se les pregunta por la opinión que tienen de ellas. Se evalúan las respuestas y se seleccionan las posibles soluciones aceptables, y luego se les pide por último que decidan cuál es la mejor de ellas.

**“Synetics”.** El método consiste en que un grupo de no más de siete personas relacione conceptos que aparentemente son independientes. La meta es obtener ideas fructíferas con la ayuda de analogías con otros campos no técnicos o semitécnicos. Si el resultado no es satisfactorio, debe repetirse el proceso con una analogía diferente.

**Combinación de métodos.** Consiste en hacer una combinación de los diferentes métodos existentes para resolver de esta forma casos particulares. Un acercamiento pragmático asegura mejores resultados.

## 2.2 Diseño y desarrollo de prototipos

En el inciso anterior se dieron a conocer algunos de los métodos utilizados para asegurar un diseño exitoso y lograr objetivos concretos. Sin embargo, estos métodos son sólo herramientas útiles que pueden o no ser empleadas dentro de los pasos correspondientes al desarrollo de productos. Es importante mencionar que para diseñar algo no existe una receta y que los métodos pueden o no seguirse al pie de la letra. Cada proyecto adapta de manera particular diversos puntos del proceso genérico de desarrollo de productos. Un ejemplo similar al método empleado para la elaboración de este trabajo se describe a continuación:

**Productos de rápida elaboración [15].** En algunos procesos, tales como el desarrollo de software y de productos electrónicos, la construcción y prueba de modelos prototipo se ha convertido en un proceso tan rápido, que el ciclo de diseño-construcción-prueba llega a repetirse muchas veces. De esta forma se logra un proceso de desarrollo de productos más flexible y perceptivo, denominado en ocasiones *proceso de desarrollo de producto en espiral*. La fase de diseño a nivel sistema, conlleva la descomposición del producto en características de alta, mediana y baja prioridad. Esto es seguido por varios ciclos de actividades de diseño, construcción, integración y prueba, comenzando con los puntos de mayor prioridad. Una vez que se ha agotado el tiempo o el presupuesto, por lo general todas las características de alta y mediana prioridad ya se han incorporado en el producto que se está desarrollando, y las características de baja prioridad se pueden omitir hasta la siguiente generación del producto.

En la Figura 2.1 se muestra un diagrama de una variante del proceso genérico de desarrollo de productos conocida como proceso de desarrollo de productos en espiral [15]. El resultado ha sido modificado para adaptarse a lo realizado en este trabajo, esto es, en vez de que el último paso del proceso sea la producción piloto del producto, se termina con la construcción de un prototipo. A éste se le denomina prototipo alfa, por hacerse de forma artesanal y ser el primero en armarse.

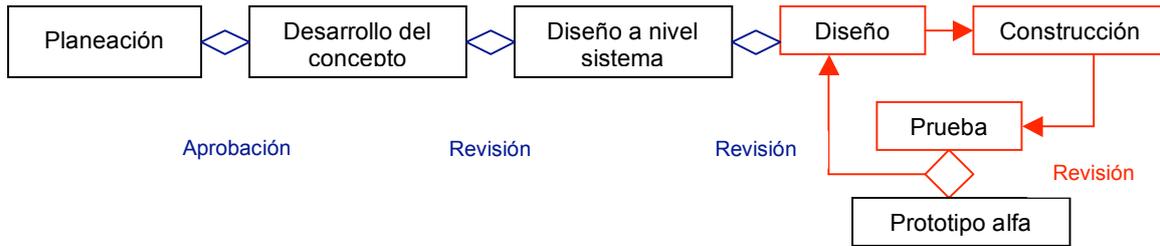


Figura 2.1 Proceso genérico de desarrollo de productos en espiral modificado.

Para el caso de este trabajo y con la intención de no perder de vista los objetivos, no se trató de diseñar un producto, se solucionó un problema físico desarrollando un prototipo alfa como parte de las finalidades de un proyecto. Por ésta razón, en vez de usar el nombre de la definición anterior, se hará referencia a la variante del proceso de desarrollo de productos como un “proyecto” de rápida elaboración. Asimismo, se sustituirá en caso de ser necesario, la palabra “producto” por la de “proyecto” o la de “prototipo”, según sea conveniente.

## 2.3 Planeación

El proceso de planeación es el paso previo al comienzo del desarrollo del concepto. Se plantean las necesidades generales entre los miembros de mayor jerarquía, quienes a su vez se encargan de reunir y seleccionar al resto del equipo. Una vez conformado el equipo, se exponen las problemáticas a detalle y se encomiendan tareas específicas a los diferentes grupos de trabajo. Se establecen formas de trabajo, horarios, tiempos de entrega, fechas de juntas, etc. El compromiso que se tenga con el desarrollo del proyecto será la base para el avance y terminación del mismo.

## 2.4 Diseño conceptual

Cuando se trata del desarrollo de *prototipos fundamentalmente nuevos*, como es el caso de este trabajo, la etapa de diseño conceptual puede volverse interminable debido a la innumerable cantidad de ideas que pueden resolver el

problema. El diseño conceptual consiste básicamente en la elaboración de uno o varios conceptos, que “aseguren” la solución del problema según un número finito de características [15]. La elección del concepto “adecuado” depende de la capacidad del equipo de diseño en proponer y seleccionar las ideas más prometedoras, esto es, las más factibles de ser realizadas. Antes de poder generar un nuevo concepto, se tienen que proponer las características del prototipo en una lista que permita enfocar mejor los problemas. A esta lista se le conoce como *lista de necesidades del cliente*. Y a éste último se le entiende como el o los interesados en el desarrollo del producto.

#### **2.4.1 Necesidades y especificaciones**

La lista de necesidades es un conjunto de ideas que describen al prototipo final en términos de lo que tiene que hacer. Se escriben en lenguaje sencillo y tan específico como sea posible. Se expresan como atributos del prototipo y por lo general con frases positivas [15]. Algunas necesidades tienen mayor prioridad que otras, y muchas veces se les pone un valor calificador para formular el grado de importancia.

Las especificaciones técnicas son la transformación de cada una de las necesidades a un lenguaje más técnico. Incluyen generalmente medidas y magnitudes físicas fáciles de obtener, que orientan a los ingenieros en cuanto a las finalidades del prototipo.

Tanto unas como otras son propuestas por los miembros del equipo de diseño, y dependen de la habilidad de éstos para escoger las más adecuadas.

#### **2.4.2 Generación del concepto**

Se trata de desarrollar varios bosquejos o modelos tridimensionales que cumplan con las necesidades del proyecto. Cuentan con una descripción aproximada de la tecnología, los principios de funcionamiento y la forma que tendrá el prototipo final [15].

Se dice que la mitad de la solución de un problema se resuelve con el correcto entendimiento del mismo. Para poder comprender bien un problema hay que analizarlo a detalle, pero antes hay que observarlo desde afuera. La idea general es afrontar el problema desde el macrocosmos e ir acercándose al microcosmos, para solucionar problemas individuales también llamados *subproblemas*. Una de las formas para hacerlo se muestra a continuación.

Aclaración del problema:

- Entendimiento general
- Desarticulación del problema
- Análisis de *subproblemas* críticos.

#### **2.4.3 Búsqueda externa**

La búsqueda externa se da de manera continua durante todo el proceso de desarrollo del prototipo y está dirigida a encontrar soluciones existentes [15]. En principio, se trata de una investigación minuciosa de las soluciones relacionadas con el problema, sin importar el área de búsqueda.

#### **2.4.4 Búsqueda interna**

Consiste en el desarrollo de conceptos de solución a partir del conocimiento existente y la capacidad creativa del equipo de trabajo [15]. Se hace uso de metodologías de diseño, como las vistas anteriormente, para facilitar el surgimiento de ideas. Es un proceso que también se da de manera continua.

#### **2.4.5 Selección de concepto**

En este punto se eligen aquellos conceptos que mejor cumplan con las especificaciones del proyecto, y que a la vez puedan realizarse dentro de los límites económicos y temporales. En ocasiones los conceptos propuestos se resuelven con tecnología que no existe en el país, y que si no se cuenta con el tiempo suficiente, pueden no alcanzar a llegar los insumos. Es muy importante

llevar a cabo la elaboración de conceptos tridimensionales, ya que con ellos se pueden verificar muchas propiedades que no se han considerado durante su bosquejo.

#### **2.4.6 Construcción y prueba de prototipos**

Los conceptos en forma tridimensional dan una mejor idea de cómo se verá el diseño final e inclusive muestran algunos de sus movimientos, pero la mayoría de ellos no permite analizar sus propiedades físicas. Un prototipo experimental permite comprobar que los movimientos pueden llevarse a cabo, y ayuda a solucionar problemas no antes vistos.

### **2.5 Diseño de configuración**

También conocido como diseño a nivel sistema. Se propone en forma esquematizada la distribución de los elementos que harán funcionar a los diferentes componentes del sistema, incluyendo la mejor ubicación espacial para cada uno.

### **2.6 Diseño de detalle y análisis**

Consiste en hacer un análisis matemático o físico del sistema y una descripción detallada de cada uno de los componentes, en donde se proponen y/o seleccionan dimensiones, materiales, tipo de actuadores y sensores con los que se desea implementar al sistema en desarrollo.

### **2.7 Construcción, pruebas y resultados**

Debido a que se trata de un proyecto de rápida elaboración, cuando se llega a este punto ya se tienen por lo menos, las características de alta y mediana prioridad incorporadas. Cualquier proyecto de este tipo es difícil que se termine en su totalidad, pues al ir avanzando van surgiendo más requisitos en cada mejoría, y si no se llega a optimizar, simplemente se discontinúa su evolución y

surge la búsqueda de un nuevo concepto. Las pruebas se hacen con respecto a los datos de las especificaciones técnicas, y se espera que los valores de los resultados sean lo más cercanos a éstas, o que en todo caso, se superen.

## CAPÍTULO 3

### Diseño conceptual y de configuración

#### 3.1 Planeación

El Laboratorio de Biorobótica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM ha participado activamente en la competencia internacional de robótica llamada RoboCup (Copa de Robots). En el 2006 compitió, por primera vez, en la categoría RoboCup@Home (Copa de Robots de Servicio) en cuatro de sus pruebas. En el 2007 decidió participar además en una quinta prueba, titulada “*manipulate*”, traducida como manipulación de objetos. En esta prueba se requería contar con un manipulador instalado en los robots TX8 y TPR8 (ver Figuras 3.8 a y 3.8 b) que les facilitara realizar alguna de las actividades estipuladas en las bases de la competencia. Una de las tareas consistía en recoger un periódico del suelo.

Para llevar a cabo este cometido se dividió el trabajo de la siguiente manera:

- El Laboratorio de Biorobótica: control e inteligencia
- El Departamento de Ingeniería Mecatrónica: diseño mecánico.

## 3.2 Diseño conceptual

### 3.2.1 Reglamento

En el reglamento de la RoboCup en la categoría RoboCup at Home de 2006 se especifican las características de la tarea a realizar en la prueba “*manipulate*” o manipulación de objetos. De este reglamento se obtienen las bases para desarrollar el primer prototipo experimental, y los antecedentes que permiten identificar y entender mejor algunas de las necesidades del cliente. Se presentan los siguientes datos [27]:

#### *Tarea u objetivo de la prueba*

*El robot tendrá que abrir una puerta con manija y pasar a través del marco de la puerta, abrir la puerta del refrigerador y sacar una lata de refresco o ir por el periódico. El equipo elige una de las tareas. El robot debe estar alejado por lo menos tres metros de la puerta, refrigerador o periódico dentro del escenario 2006.*

#### *Primera fase: prueba del concepto*

*La prueba se considera exitosa si el robot logra pasar el marco de la puerta, es capaz de tomar la lata o el periódico. El equipo puede elegir la posición de inicio. Está permitido el uso de plumones marcadores, añadir equipo o traer su propio periódico.*

#### *Segunda fase: aplicabilidad general*

*La prueba se considera exitosa si el robot logra pasar el marco de la puerta y la cierra, si toma una lata y cierra (suavemente) la puerta del refrigerador, o logra ir a buscar el periódico desde la sala hasta la puerta y regresa con él al lugar inicial. El comité técnico elegirá la posición de inicio.*

*Extensiones posibles para competencias futuras:*

- *Entregar un objeto a otro robot*
- *Manipulación monitoreada por voz*
- *Manipular objetos frágiles*
- *Moverse portando una bandeja con bebidas*
- *Saludar de mano y presentarse.*

### **3.2.2 Necesidades y especificaciones**

De las normas expuestas anteriormente, se identificaron los problemas relacionados con las funciones del equipo a diseñar. Con el análisis de estos datos se obtuvo una lista de necesidades que se muestran a continuación. En cada punto se adjunta un número que indica el grado de importancia de la característica deseada, cuyo valor fue considerado en el desarrollo del concepto. La escala de valores indica la relevancia, donde (1) es alta, (2) es regular y (3) es baja.

#### **Necesidades del cliente para el prototipo**

- Recoge un periódico de dimensiones conocidas (1)
- Utiliza pocos actuadores para mover el mecanismo (1)
- Cuenta con suficiente potencia para levantar y sostener el periódico (1)
- Ocupa poco espacio (1)
- Cuenta con un sistema quita/pon de fácil montaje (1)
- Es ligero (2)
- Cuenta con un sistema para reconocer la ubicación de sus eslabones (2)
- Cuenta con un sistema que permite identificar la presencia y/o sujeción del periódico (2)
- Puede montarse en los robots TPR8 y TX8 (2)
- Mantiene fijo el periódico cuando el robot gira sobre su eje o se mueve en línea recta (2)
- Es robusto (3)
- Es fácil de controlar (3)

- Puede recoger el periódico en diferentes escenarios (3)
- Tiene movimientos rápidos que agilizan la tarea y permiten hacer varios intentos en poco tiempo (3).

Cada uno de los puntos anteriores tienen una correspondencia directa con los que se muestran más adelante bajo el nombre de especificaciones técnicas. Se intentó traducirlos a un lenguaje más técnico, de manera que al incluir medidas y magnitudes de algunas variables se pudieran comprender mejor los objetivos. Además, dichas especificaciones permitieron que los diseñadores pudieran compararlas con datos arrojados en las pruebas de prototipos y ayudaron para la toma de decisiones.

Cuando se trata de desarrollar “prototipos” esencialmente nuevos, no existen por lo general datos que orienten a los diseñadores para elegir las magnitudes de las medidas propuestas. A veces, estos valores tienen que asignarse a criterio del equipo de diseño. En ocasiones se pueden obtener magnitudes al comparar otros sistemas que simulen al que se ha propuesto. Algunos de los siguientes datos fueron obtenidos de esta manera, otros se asignaron a criterio y los demás se obtuvieron de valores reales, generalmente redondeados.

### **Especificaciones técnicas**

- Dimensiones del periódico: largo 30 *cm*, ancho 13 *cm*, espesor 1.7 *cm*
- Máximo número de actuadores: 3
- Máximo peso del periódico: 200 *g*
- Medida del radio del robot al perímetro de seguridad: 5 *cm*
- Tiempo de montaje: 30 *s*
- Máxima masa total del prototipo: 1.5 *kg*
- Sensores internos
- Sensores de presencia
- Diámetro de los cilindros de TPR8 y TX8: 50 *cm* y 30 *cm* respectivamente; altura máxima disponible: 45 *cm* desde el suelo
- Máxima velocidad tangencial del TPR8: 33.3 *cm/s*
- Material: ver Tabla 3.1

- Subjetivo: configuración sencilla
- Máxima fuerza sobre el piso con el TPR8: 12  $kg_f$  puntuales
- Máximo número de intentos: 2 para un tiempo máximo de prueba de 10 *min.*

Tabla 3.1 Lista de materiales.

<b>Materiales</b>
Acero
Aluminio
Nylamid
Poliestireno (de alto impacto)
Polietileno (UHMWPE)

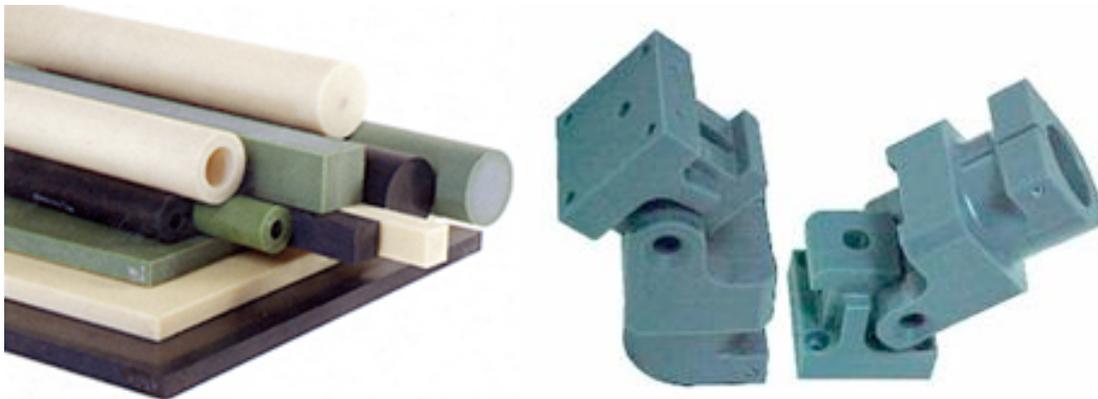


Figura 3.1 Ejemplos de piezas de Nylamid [43] y Polietileno [21].

Durante el proceso de desarrollo del concepto se aumentó la lista de necesidades del cliente, con sus respectivas especificaciones técnicas. A continuación se muestran las dos listas con el adjetivo “secundarias”, de manera que se diferencien éstas de las anteriores, y que se constate que durante la primera parte del proceso no se conocían estos datos, y se pueda tener un mejor seguimiento de la resolución del problema.

### **Necesidades secundarias del cliente para el prototipo**

- Suelta el periódico al finalizar la tarea (1)
- Puede recoger otros objetos (1)
- Cuenta con un manual para el programador (1)
- Puede agarrar el periódico en cualquier posición sobre el piso (2)

- Se le puede dar mantenimiento con herramientas fácilmente disponibles (2)
- Permite un mantenimiento cómodo (2)
- Permite fácil reemplazo de piezas dañadas (2)
- Es de bajo costo (2)
- Usa materiales y componentes del mercado nacional y/o pertenecientes al Departamento de Mecatrónica (2)
- Se fabrica fácilmente (3)
- Es cómodo de ajustar mecánicamente (3).

### Especificaciones técnicas secundarias

- Sistema para soltar el periódico
- Compatibilidad para recoger otros objetos: ver Tabla 3.2
- Manual de uso: ver Anexo 1
- Prueba para ángulos de levantamiento sobre el suelo
- Herramientas requeridas para el mantenimiento: ver Tabla 3.3
- Tiempo de desarmado y armado para mantenimiento: 10 *min*
- Piezas intercambiables: ver Tabla 3.4
- Costo total aproximado: \$ 5000
- Materiales y componentes para la construcción: ver Tabla 4.1 y capítulo 4 incisos 4.4, 4.5 y 4.6 respectivamente
- Número de piezas diferentes manufacturadas
- Tiempo de ajuste: 60 s.

Tabla 3.2 Lista de objetos que se pueden recoger.

<b>Objetos compatibles</b>	<b>Dimensiones</b>
revista	grueso < 18 <i>mm</i>
pantufas	grueso < 18 <i>mm</i>
pelota	52 < $\varnothing$ ≤ 100 <i>mm</i>

Tabla 3.3 Lista de herramientas para mantenimiento.

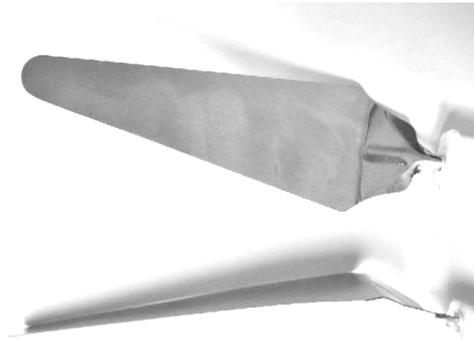
Herramientas requeridas
Brocha de limpieza
Llave inglesa # 9
Llave inglesa # 7
Llave Allen 1/8 in
Llave Allen 1/16 in
Desarmador de cruz
Desarmador plano
Lubricante compatible con plásticos



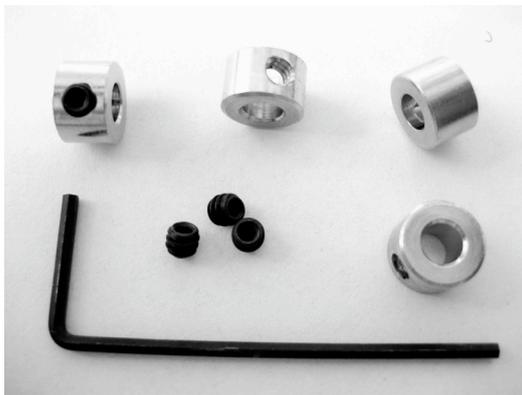
Figura 3.2 Herramientas requeridas para mantenimiento.

Tabla 3.4 Lista de piezas de repuesto.

Piezas
Espátulas
Varillas roscadas
Tuercas de presión
Tuercas
Tornillos
Rondanas
Mariposa con orificio
Ejes
Collarín con prisionero
Coples para varillas roscadas
Micro interruptor con palanca
Micro interruptor con palanca y rodaja



a)



b)



c)

Figura 3.3 a) Espátulas propuestas, b) Collarines con prisionero y c) Tuercas, rondanas y tuerca de mariposa con agujero.

### 3.2.3 Aclaración del problema

#### \* Entendimiento general

Uno de los dos robots, ya sea el TPR8 o el TX8, debe detectar al periódico con su sistema de visión e intentar acercarse lo más posible a aquél. Dado que no estaba claro si los robots podían colocarse y “abordar” al periódico en una posición determinada, se tomó el centro de éste como referencia. Cualquiera de los dos robots debía poder usar el prototipo instalado en ellos para recoger el periódico del suelo. Acto seguido, lo transportaría a la posición de inicio. Se decidió que el periódico tendría una configuración rectangular y sería doblado en tres partes, como se muestra en la Figura 3.4.

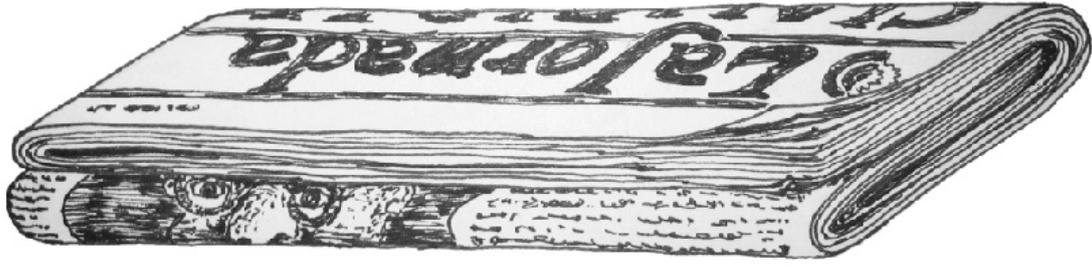


Figura 3.4 Periódico *La Jornada* doblado en tres.

Es importante tener una buena idea global de todo el problema, pues muchas veces hay detalles importantes que no se toman en cuenta por estar enfocados en la solución específica del problema. Algunos ejemplos son el ambiente natural al que se va a exponer el diseño, el tipo de usuarios que lo van a manipular o si hay animales domésticos que puedan acercarse y dañarlo. La idea no es ser exhaustivo y tratar de diseñar algo considerando todas las variables, pero si es importante suponer los escenarios reales más probables e ir descartando algunas variables internas sin llegar al grado de idealizarlos. De esta manera, si se perfecciona el diseño, se pueden ir rellenando con el tiempo los huecos de los casos menos frecuentes.

- **El escenario**

Los escenarios son espacios diseñados por los organizadores, que por lo general intentan ser objetivos y que dependen de las condiciones espaciales, económicas y culturales del lugar en donde se hace la competencia. El problema que generan estas circunstancias es la infinita gama de posibilidades que existen dentro de la idea de simulación de una casa, aún cuando en general se trata de espacios reales en condiciones semi-ideales.

A continuación se muestra un conjunto de características de diferentes escenarios generalizados en donde se pudiera encontrar el periódico:

- Suelo uniforme: madera, cemento, mármol, etc.

- Suelo no uniforme: tapetes fijos, tapetes sueltos, tapetes sobre tapetes, tapetes de entrada ásperos, sueltos o enmarcados en el piso, baldosas y pasto sintético entre otros.
- Suelo variables: escalones, rampas, zoclos con ángulos pronunciados, piedras fijas o sueltas, grava, etc.

- **El periódico**

En teoría, el robot debe tomar el periódico dentro de sus limitaciones físicas y funcionales. Debido a que al acoplarle un órgano terminal se aumenta la maniobrabilidad del robot, antes de limitarlo a ciertos movimientos, conviene considerar cuáles son las posiciones posibles en las que se puede encontrar un periódico en la entrada de una casa. Según el posible escenario y pensando que por lo menos un lado del periódico debe estar tocando el piso, se tienen las siguientes posiciones dentro del espacio que forman tres planos mutuamente perpendiculares:

- Paralelo a cualquier plano (haciendo contacto con uno, dos o tres planos)
- Con inclinaciones variables (haciendo contacto con dos o tres planos).

En las especificaciones técnicas se proporcionan las dimensiones del periódico pero no se toma en cuenta la variación de una de ellas con el tiempo. El espesor va disminuyendo conforme se usa, pues al principio tiene cierta resistencia a permanecer doblado en tres, debido seguramente a la tensión en que se encuentran las fibras del papel dentro de su límite elástico, y que poco a poco van cediendo hasta deformarse por completo. Esta variación es milimétrica, pero es importante tomarla en cuenta para un adecuado diseño del prototipo. Otro aspecto a considerar es cómo debe estar doblado el periódico para asegurar que se mantenga compacto y evitar posibles daños materiales al agarrarlo. Existen dos formas de doblarlo, en “S” y en espiral (ver Figura 3.4). Se acordó que en espiral sería más conveniente debido a que cuenta con más superficies curvas para agarrarlo. En el Capítulo 4 se hace un análisis más detallado al respecto.

- **Los robots**

Los dos robots son de base cilíndrica y cuentan con poco espacio para acoplarle nuevas partes, a excepción de las paredes exteriores de los cilindros. Evitando entrar mucho en detalles de configuración, es importante destacar los sistemas de navegación que tienen, el tipo de movimientos que pueden llevar a cabo (maniobrabilidad) y qué sistemas cuentan para ello. Ambos robots se mueven impulsados por ruedas y pueden hacer giros sobre su propio eje. El TX8 navega por medio de 16 sonares y rayos infrarrojo, y el TPR8 por medio de dos sensores láser y cámaras de video. La velocidad de ambos es variable y pueden seguir patrones determinados, si se les programa para ello. Las Figuras 3.5 a) y b) muestran al robot TX8 y al TPR8, respectivamente.

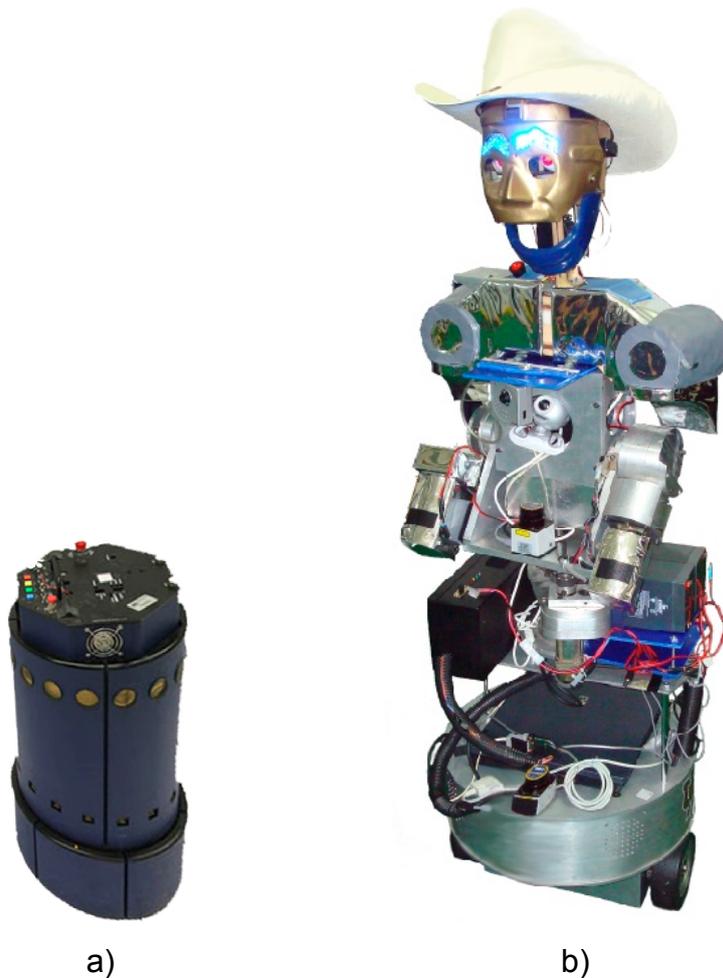


Figura 3.5 a) Robot TX8 [30] y b) Robot TPR8.

## \* Desarticulación del problema

Julio César decía: “divide y vencerás”, y de esta misma forma se simplifica la resolución de este tipo de problemas. Del problema general se identifican cinco *subproblemas* que pueden analizarse por separado, a los que se les ha dado el nombre de sistemas.

- a) Sistema de suministro y almacenamiento de energía
- b) Sistema de acercamiento
- c) Sistema de sujeción
- d) Sistema de elevación
- e) Sistema de montaje en los robots.

La acción de recoger el periódico es la solución conjunta de los incisos b, c y d. El análisis de cada *subproblema* por separado puede incluir o no la solución de los tres sistemas al mismo tiempo. Se subdividieron de esta manera, de tal forma que no se limitaran las soluciones en un inicio, aunque en la mayoría de las ideas propuestas se considerasen implícitamente algunas soluciones. En algunas ocasiones se descartaron soluciones de *subproblemas* debido a lo mucho que complicaban la solución de otros sistemas. Aún así, esas ideas se han incluido en este trabajo, ya que la originalidad de las mismas podrían solucionar el problema cuando la complejidad de otros sistemas se reduzca o se solucione. Como ejemplos se muestran las Figuras 3.6 y 3.7.

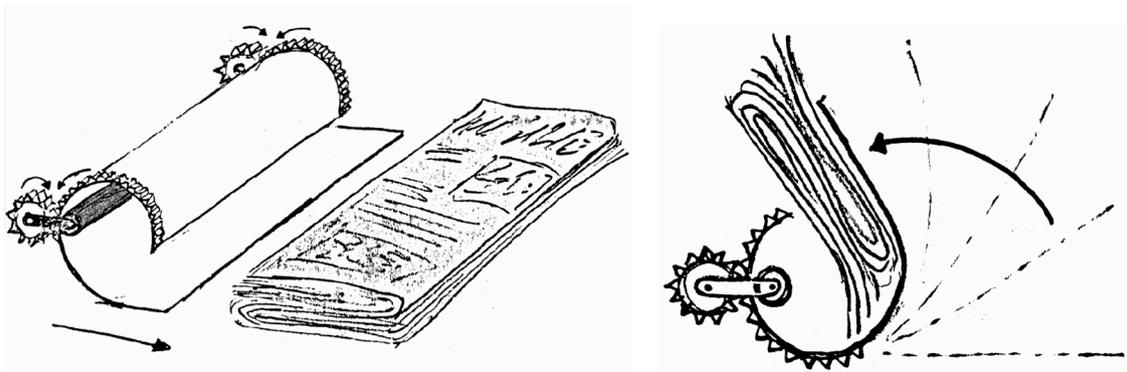


Figura 3.6 Ilustraciones del sistema con lámina enrollada.

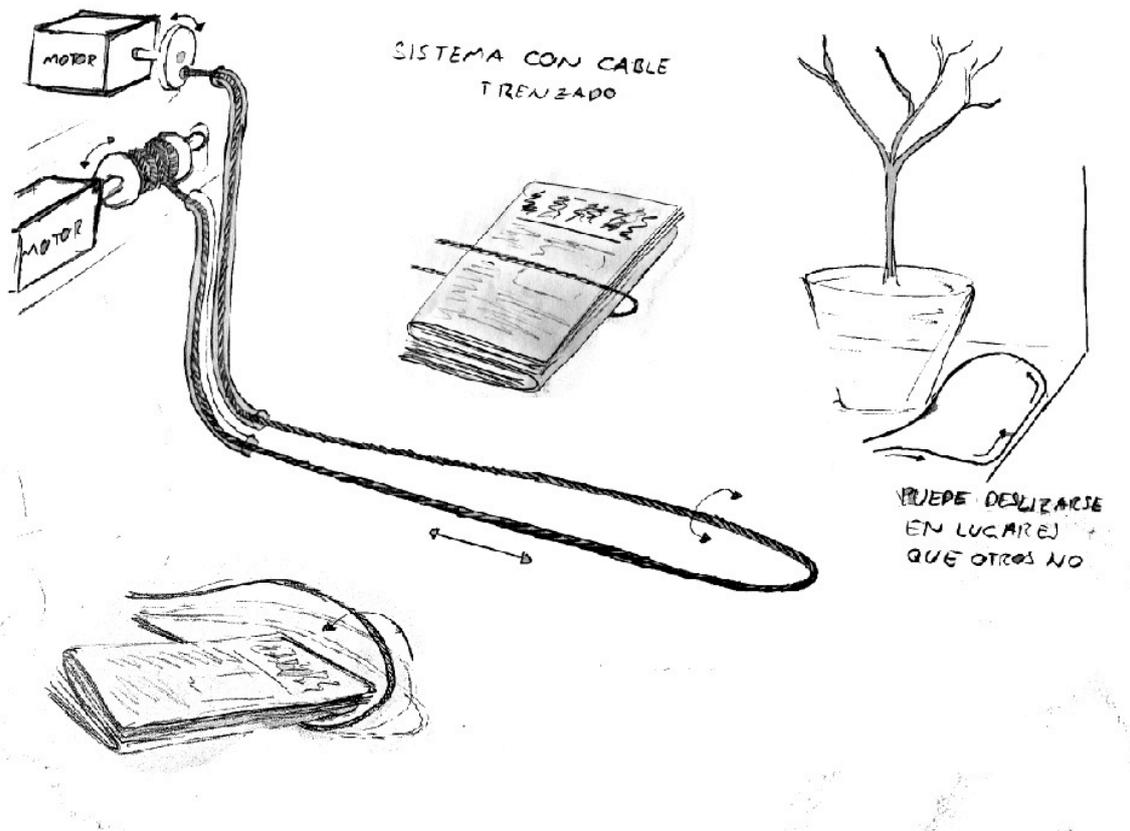


Figura 3.7 Descripción gráfica de los movimientos y cualidades del sistema con cable trenzado.

### 3.2.4 Análisis de *subproblemas* críticos, avance sistemático

Se hizo un avance sistemático analizando los puntos importantes en el orden como se encuentran enlistados los sistemas, de manera que cada solución diera pie al desarrollo del siguiente sistema. Algunos *subproblemas* se resolvieron al mismo tiempo, pero la solución de los mismos se explica de manera separada.

Se hicieron sesiones de grupo programadas, para analizar las ideas generadas durante el proceso de solución de los problemas de manera individual. Estas ideas se presentaron en forma esquemática. De los conceptos generados al final de cada sesión surgieron tareas individuales para mejorarlos o buscar opciones paralelas de solución.

De este proceso se obtuvieron conceptos nuevos que abrieron la puerta a resultados más factibles cuyas combinaciones podrían generar la solución del problema.

Las sesiones se organizaron dos veces por semana y se hicieron juntas cada quince días con miembros del equipo del Laboratorio de Biorrobótica a quienes se les mostraron los avances. En estas reuniones se dieron opiniones, aprobaciones y rechazos de los conceptos generados. En ocasiones se aumentó el número de necesidades permitiendo limitar más los conceptos.

### **3.2.5 Sistema de suministro y almacenamiento de energía**

Por consenso se decidió que el suministro de energía sería el mismo que utilizan los robots, esto es, energía eléctrica almacenada en baterías de 12 V (Figura 3.8), debido a que otro tipo de energía, hidráulica, neumática, etc. complicaría la instalación del mismo y podría generar problemas diversos como cortos, fugas, mayor peso debido al incremento de componentes, etc.



Figura 3.8 Batería utilizada en los robots.

### **3.2.6 Sistema de acercamiento**

Mediante el ejercicio físico de recoger y sostener en forma burda, pero estable, un periódico, utilizando elementos no diseñados para ello, se observó que se requieren como mínimo tres puntos de apoyo para llevarlo a cabo; dos que se coloquen por debajo de éste y uno que presione por arriba. A partir de esta idea surgió la pregunta de cómo colocar dos puntos de apoyo por debajo de un periódico que se encuentra en el suelo. En consecuencia se propuso la idea de deslizar “algo” por debajo.

Al analizar problemas de mecánica para identificar las fuerzas que actúan sobre el objeto de estudio, se identifican primero los cuerpos que actúan sobre éste. De la misma forma, pero con la ventaja de que se eligen los cuerpos que van a interactuar (exceptuando la Tierra), puede ser analizado este problema. Contemplando que el robot se encontraría a corta distancia del periódico, se consideró lo siguiente:

Deslizamiento: la Tierra y el elemento deslizante son los dos cuerpos que interactúan con el periódico (que es el objeto de estudio). La Tierra se encuentra fija y tanto el elemento deslizante como el periódico son posibles móviles. Entonces, como dice el refrán: *si la montaña no va a Mahoma, Mahoma va a la montaña*. Se tienen dos soluciones: el periódico es móvil y se desliza sobre el elemento fijo o el elemento es móvil y se desliza bajo el periódico.

**Solución 1.** Debido a que el periódico no cuenta con un sistema para moverse por sí mismo, se requiere la acción de una fuerza que lo haga moverse. Se propusieron varias ideas: un rastrillo o escobilla que mediante un constante movimiento, ya sea debido a la fricción de los dientes o cerdas sobre el periódico, o por encontrarse éste entre ambos elementos, lo fuera acercando hasta colocarlo sobre el elemento deslizante; añadir una cinta metálica al periódico y atraerlo mediante un electroimán (esta idea fue rechazada en tanto no hubiese confirmación de que en el nuevo reglamento se permitiera añadirle objetos y también debido a que se trataba de una solución “poco elegante”, por no decir poco profesional, que esquivaba o parchaba la verdadera forma de solucionarlo); y por último otra idea propuesta fue la de generar un diferencial de presión de manera que la presión atmosférica empujara al periódico en dirección del objeto deslizante. En este último caso se podría eliminar el objeto deslizante si la presión interna fuera suficientemente pequeña para que además de acercarlo al robot pudiese luego levantarlo.

**Solución 2.** Tomando en cuenta que el periódico es el que permanece fijo, debido a la acción de la fuerza gravitacional, se colocaría el objeto deslizante por debajo de éste bajo las siguientes consideraciones: que el área del objeto

deslizante fuese considerablemente menor a la del periódico sobre el piso, de tal forma que al introducirse bajo éste, la fricción generada fuese mucho menor que la que tendría en ese momento el periódico con el suelo. El factor velocidad de entrada debería de ser tomado en cuenta a la hora de introducir el objeto deslizante o el movimiento debería de ser controlado, por ejemplo a razón de dos a uno, entrando y saliendo paulatinamente hasta alcanzar la distancia deseada. Una alternativa para no contemplar la fricción entre el suelo y el periódico sería la de dos láminas deslizando en oposición, encontrándose el periódico entre ellas.

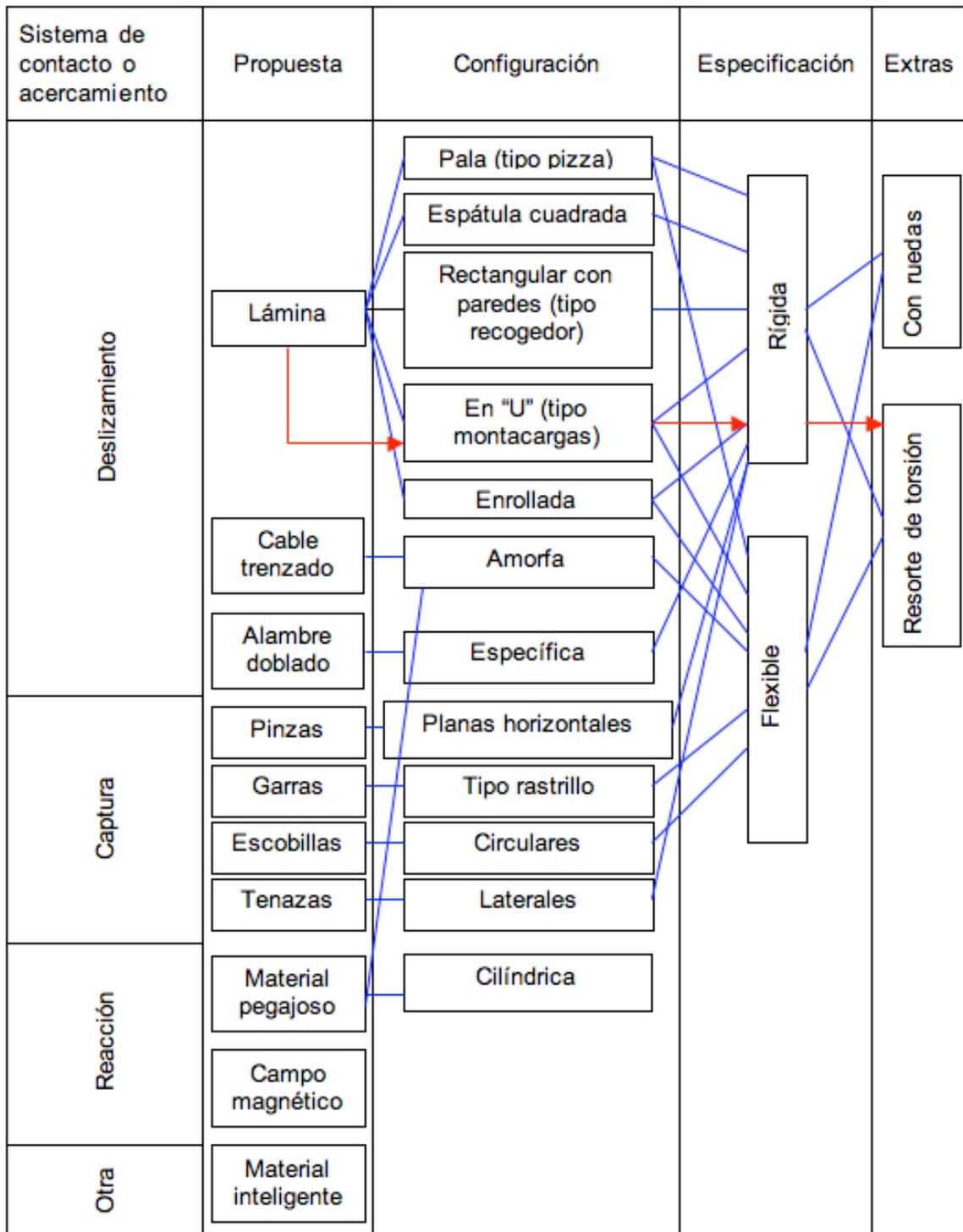
Más adelante se muestra en la Tabla 3.5 un ejemplo con ideas propuestas en algunas reuniones para solucionar y seleccionar el sistema de acercamiento. Estas propuestas se plantearon de forma esquemática, dibujadas en un pizarrón durante las sesiones en equipo, y por lo tanto, no se tiene registro gráfico de la mayoría de ellas. La tabla muestra una simulación del conjunto de posibilidades que se plantearon, así como la gama de opciones que surgen de la combinación entre ellas.

En dicha Tabla las flechas en rojo muestran una de las soluciones más prometedoras para la solución del sistema de acercamiento. Se trata de una lámina cuya configuración en U es parecida a la de las horquillas de un montacargas (ver Figura 3.9), y lleva dos resortes de torsión en los talones para evitar daños con las variaciones del piso.



Figura 3.9 Montacargas manual [38].

Tabla 3.5 Propuestas para el sistema de acercamiento.



De todas las soluciones propuestas se seleccionaron dos, ambas utilizando el sistema de deslizamiento para acercarse al periódico:

- Lámina en forma de pala para pizza, semiflexible, con resortes de torsión y ruedas.
- Lámina en "U" estilo montacargas, rígida, con resortes de torsión.

Para llegar a la selección de estas soluciones, se comparó cada una con las necesidades del cliente. Se hizo hincapié, sobre todo, en el número total de actuadores que se requerirían para realizar los movimientos, y en que pudiera plegarse para ocupar poco espacio cuando no se estuviese utilizando. A comparación de otros sistemas, en estas dos soluciones era el robot quien realizaba el movimiento para acercarse con la lámina al periódico, ahorrándose así el uso de un posible actuador. Por otro lado, el espesor reducido de la lámina permitía colocarla de manera vertical ocupando menos espacio, y sólo se requería un actuador para cambiarla de una posición paralela al piso a otra tangente al cilindro del robot.

### **3.2.7 Sistema de sujeción**

Dadas las configuraciones de los sistemas de acercamiento seleccionados se requería proponer un sistema de sujeción adecuado que permitiese llevar a cabo los movimientos propuestos, con y sin periódico, ya que debía ocupar poco espacio para mejor maniobrabilidad en la navegación. Además debía mantener fijo el periódico de manera que al transportarlo no fuera a caerse. Por otro lado, se esperaba que no fuera a dañar las hojas del periódico al sujetarlas con demasiada fuerza. Se pensó que si el sistema de sujeción se colocaba en el centro de cualquiera de las dos láminas, la lámina en “U” estilo montacargas permitiría un mejor sistema de plegado, debido a que al encontrarse en posición vertical podrían permanecer ambos en un mismo plano imaginario. Además, sosteniendo al periódico de esta forma, éste se curvaría envolviendo así al órgano terminal ocupando menor espacio. En cambio, en la configuración de lámina tipo pala para pizza, tendrían que colocarse la pala y el sistema de sujeción en diferentes planos, ocupando mayor espacio, sobre todo al transportar el periódico que no se curvaría mucho.

Debido a que la categoría “RoboCup@Home” en la competencia mundial de robótica “RoboCup” es de reciente aparición, todavía se encuentra en constante evolución y aún se le están haciendo ajustes al reglamento, además de que año con año se incrementa el grado de dificultad de las pruebas, de manera que haya un avance tecnológico notable. Durante el proceso de

generación del concepto se publicó el nuevo reglamento, obligando a limitar aún más el diseño con necesidades nuevas. Los integrantes del equipo de robots de servicio efectuaron también otras peticiones.

Dados estos cambios, se compararon las nuevas necesidades con las decisiones tomadas en el proceso de generación del concepto, y se verificó que no hubiese necesidad de hacer cambios drásticos en las ideas elegidas. Las necesidades agregadas y sus respectivas especificaciones técnicas se muestran en los últimos dos apartados del punto 3.2.2 de este capítulo como necesidades secundarias del cliente.

Los cambios no requirieron de la elección de un nuevo diseño para el sistema de acercamiento, y se siguió con las soluciones propuestos, tomando en cuenta que ahora el sistema debía soltar el periódico al terminar la tarea, y que la configuración elegida debía poder ser adaptada para recoger otros objetos no especificados.

Llegado a este punto, se propuso la elaboración de modelos físicos, para poder analizar de manera visual los posibles problemas de las soluciones expuestas. Para llevar a cabo esta tarea y facilitar la representación física de éstos, se planteó el uso de juguetes técnicos como MECCANO y LEGO, entre otros.

A continuación se muestran dos modelos experimentales en las Figuras 3.10 y 3.11 a), y un esquema de la propuesta seleccionada en la Figura 3.11 b).

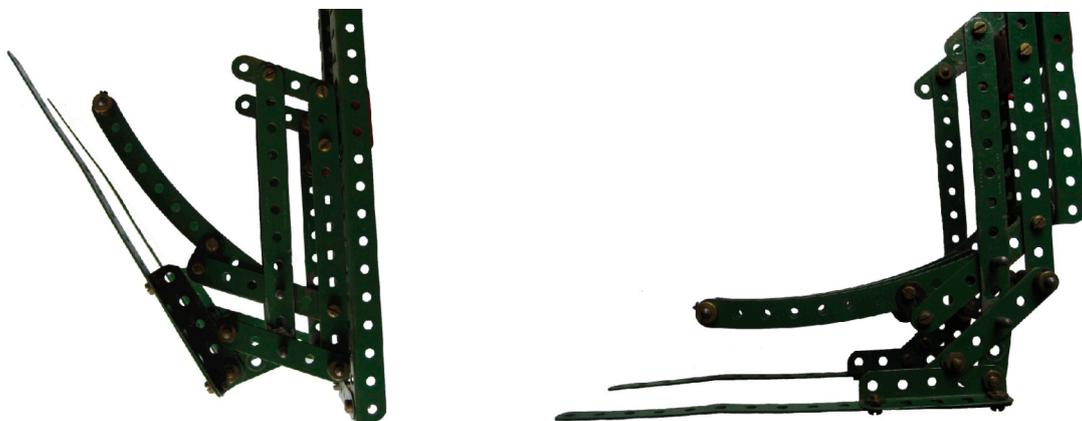


Figura 3.10 Modelo experimental estilo montacargas.

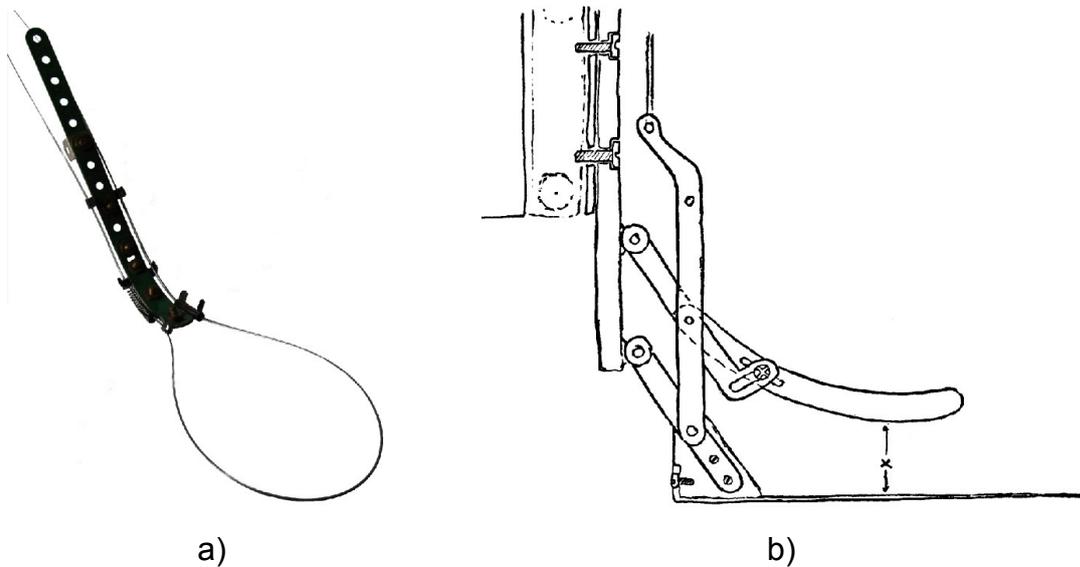


Figura 3.11 a) Modelo experimental con cable trenzado y b) Dibujo de la propuesta estilo montacargas.

Como se puede ver, el sistema de sujeción está unido al sistema de acercamiento por un eslabón, el cual permite llevar a cabo el movimiento de ambos sistemas por medio de un solo actuador. Además, al colocarse éstos en forma vertical se separan lo suficientemente del piso como para permitirle navegar al robot, evitando la necesidad de un sistema de elevación. Aún así, para poder reducir el espacio ocupado por el mecanismo, se prosiguió en la búsqueda de un sistema de elevación. Además, éste permitiría colocar el periódico a diferentes alturas (dentro de sus limitaciones).

### 3.2.8 Sistema de elevación

Con los sistemas de acercamiento y sujeción seleccionados, no hubo mucho problema para proponer sistemas de elevación, debido a que sólo consistía en un movimiento rectilíneo a lo largo del eje z y se podían buscar sistemas comerciales prefabricados. Este sistema debía de ser delgado y robusto. En principio, se trataba de un movimiento extra que aumentaría el número de actuadores, pero que serviría para poder poner el periódico en diferentes alturas. Se buscaba que fuera un producto comercial que garantizara uso rudo y bajo costo. Se propuso la idea de un riel para cajón y se examinaron los

diferentes productos del mercado nacional. El resultado final fue un riel de extensión para archivero como el que se muestra en la Figura 3.12.

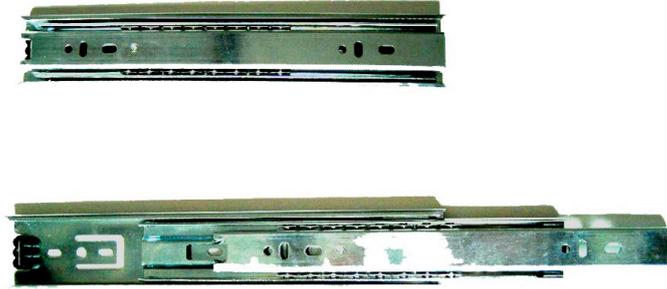


Figura 3.12 Riel de extensión para archivero.

### 3.2.9 Sistema de montaje en los robots

Se buscaba un sistema variable, de fácil montaje y que no requiriese de grandes cambios en los robots. Algunas de las ideas que se propusieron fueron las de usar: abrazaderas ideales de acero (Figura 3.13 a), ángulos con tornillos, alcayatas con rosca, armellas abiertas y cerradas, etc. Al final se llegó a la conclusión que podría funcionar hacer dos ranuras parecidas a las de los pasadores con cadena usados en las puertas de entrada de algunas casas (Figura 3.13 b), puestas de forma vertical una encima de otra, y acoplando la base al robot por medio de ángulos y tornillos. En el órgano terminal se encontrarían dos tornillos con tuercas ciegas o con embellecedores esféricos en la punta, como el que se muestra en la Figura 3.13 c). Durante todo el proceso de generación del concepto, se jugó con la idea de poder instalar el brazo mecánico en cualquiera de los dos robots, pero al final se acordó que sólo se montaría en el TPR8, simplificando la necesidad de fabricar un sistema de montaje para cada uno.



a)

b)

c)

Figura 3.13 a) Abrazadera ideal, b) Pasador con cadena y c) Embellecedor.

### 3.2.10 Selección del concepto

En total, se hicieron cuatro prototipos experimentales para la selección del concepto, pues se requería comprobar que las ideas en los esquemas estuviesen de acuerdo con las leyes físicas, y que los movimientos efectivamente se pudiesen lograr. Además muchas veces la idea que se tiene de los dibujos en papel no es tan fácil de apreciar por todos los otros miembros del equipo, y es importante que las buenas ideas se transmitan y no se pierdan por falta de comprensión. En la Figura 3.14 se muestra el concepto seleccionado.

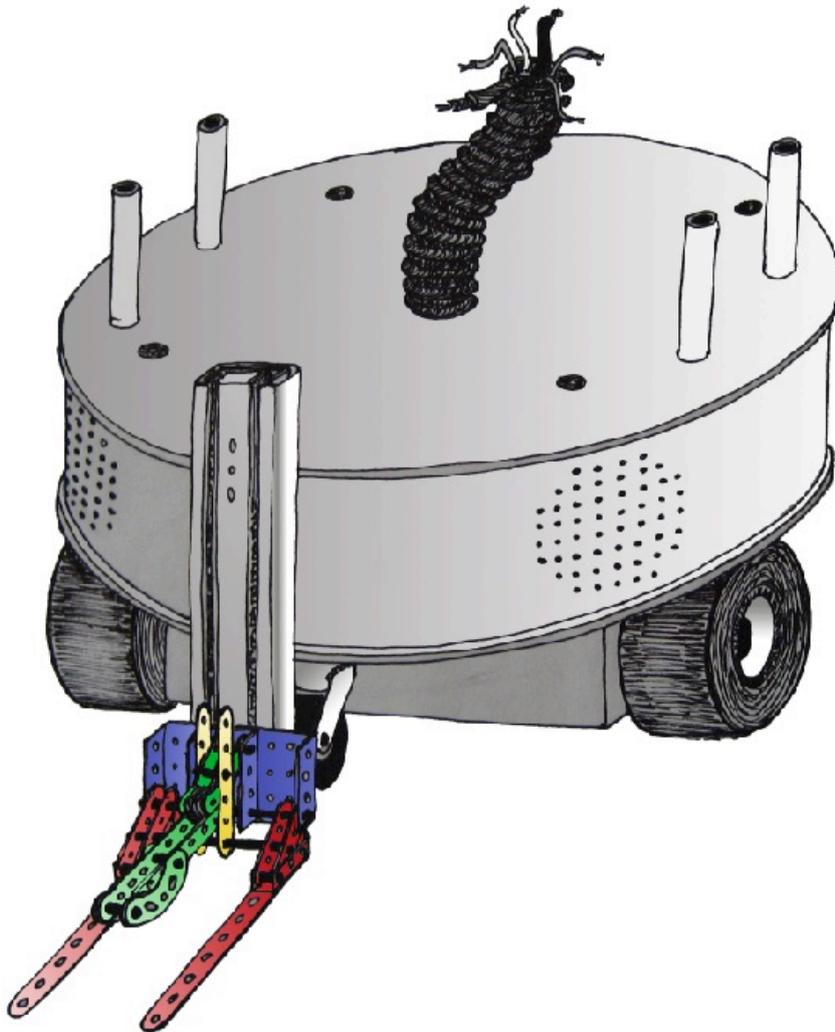


Figura 3.14 Concepto seleccionado, montado en la base del robot TPR8.

### 3.2.11 Construcción y prueba de prototipos experimentales

De los conceptos elegidos, sólo se desarrolló un prototipo experimental completamente, pues los otros mostraban problemas para el control de las partes móviles o las partes armadas no eran lo suficientemente convincentes para el equipo. En una de las consultas a uno de los expertos en diseño mecánico, se propuso la idea de construir el prototipo alfa en su mayor parte de MECCANO, debido a que manufacturar todas las piezas atrasaría considerablemente la terminación del proyecto antes del concurso.

Las pruebas del concepto tridimensional se hicieron usando el primer prototipo experimental (Figuras 3.10 y 3.11 b) e instalándolo de forma provisional en ambos robots. Los movimientos principales se hicieron manualmente y para presionar el periódico se colocaron poderosos imanes. En la Figura 3.15 se muestra un avance de lo que sería después el sistema de agarre del prototipo alfa, y está construido únicamente con piezas de MECCANO, proporcionadas para el proyecto por el Departamento de Ingeniería Mecatrónica.

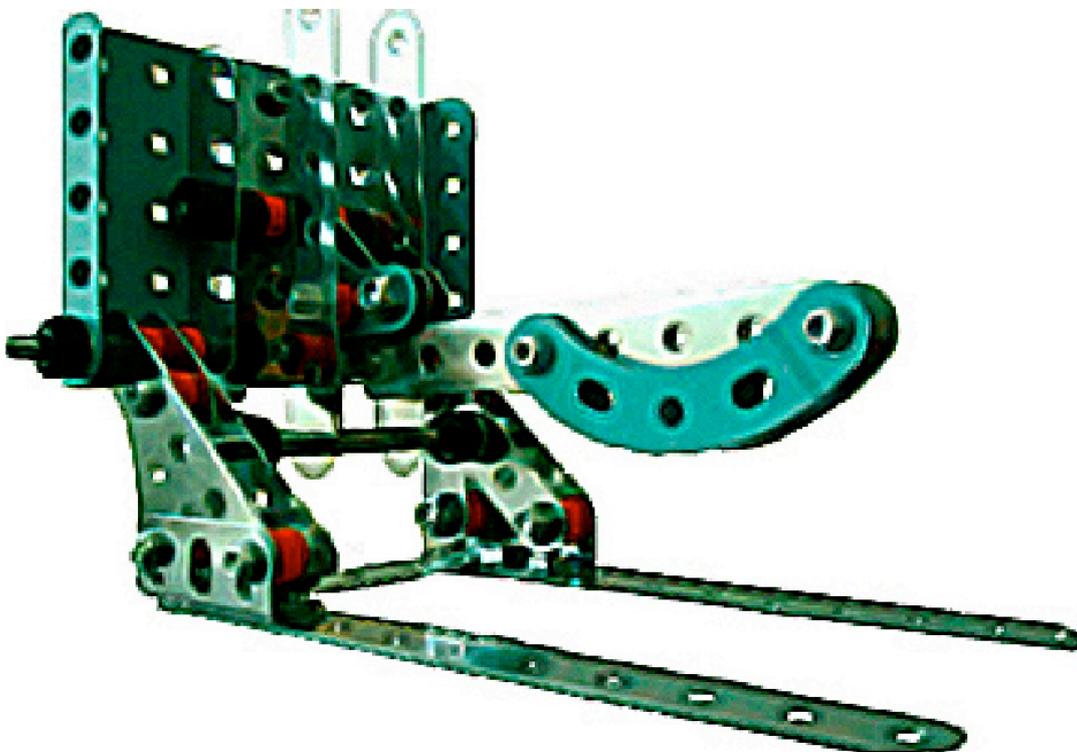


Figura 3.15 Sistema de agarre construido con piezas de MECCANO para el prototipo alfa.

### 3.3 Diseño de configuración

Debido a que se trató de un proyecto de rápida elaboración, la estructura mecánica del prototipo ya estaba básicamente definida, e inclusive se tenían armados algunos prototipos experimentales con los que se realizaban pruebas y cuyas características se fueron mejorando paulatinamente en forma directa. Por ello es que en este apartado sólo se muestran las diferentes configuraciones con respecto a la ubicación de los actuadores, el sistema de control y los sensores, y además se proponen algunas ideas para la forma de hacer el cableado.

- **Ubicación de actuadores**

Uno de los actuadores, el que controlaría el movimiento de apertura del conjunto sujeción-acercamiento renombrado como sistema de agarre, se propuso colocarlo dentro de la parte móvil del riel. El otro, el del sistema de elevación, podría encontrarse en la parte móvil o fija, dependiendo del sistema de transmisión seleccionado. A continuación se muestran esquemas con las partes móvil (Figura 3.16 a) y fija (Figura 3.16 b) sombreadas.

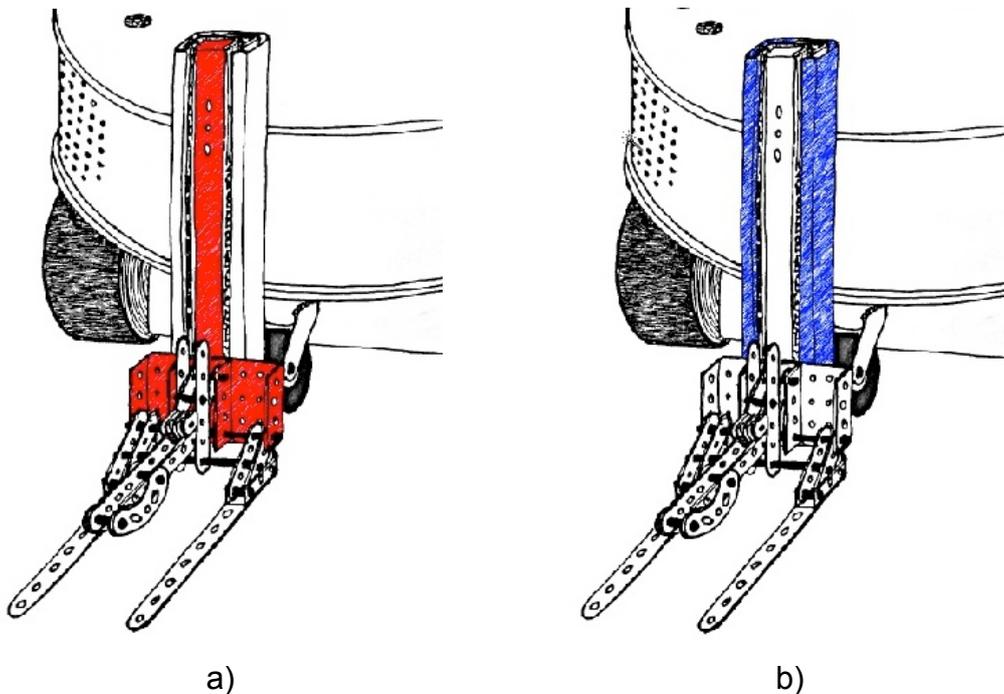


Figura 3.16 a) La parte móvil del riel y fija del sistema de agarre (sombreada en rojo) y b) La parte fija del riel (sombreada en azul).

- **Ubicación del sistema de control**

Como se mencionó al inicio de este capítulo, se repartió el trabajo entre el laboratorio de Biorrobótica y el Departamento de Ingeniería Mecatrónica, ocupándose el primero del sistema de control e inteligencia. Para poder diseñar este sistema se requería tener la información básica de lo que se iría a controlar, esto es: información sobre el tipo de actuadores, sensores, secuencias de movimientos, restricciones, etc. Es por ello que la ubicación del sistema de control dependía del número de tarjetas utilizadas, o el volumen que tendrían en conjunto. Si no ocupaban mucho espacio, se encontrarían unidas a la parte fija del órgano terminal permitiendo una mejor manipulación de éste al ponerlo o quitarlo. Además, se evitaría la desconexión o tensión del cableado. Las zonas disponibles para colocar el sistema se muestran sombreadas en la Figura 3.17.

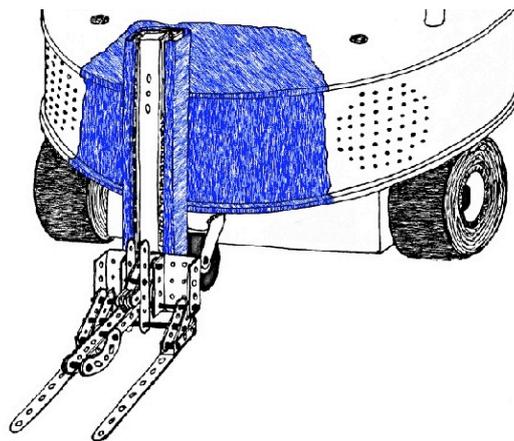


Figura 3.17 Zonas disponibles para ubicar el sistema de control.

- **Ubicación de los sensores**

La ubicación de los sensores internos dependería del sistema de transmisión escogido, ya que éstos ayudarían a tener un mayor control del movimiento y posición de los eslabones. Se propuso colocarlos cercanos a los ejes de los eslabones finales como se muestra en la Figura 3.18 en los ejes de los propios actuadores.

Se propuso colocar los sensores externos cerca del sistema de sujeción, para asegurar el agarre del periódico. Posiblemente se usaría algún sensor de presencia, como el óptico o de presión. Se colocarían micro interruptores como “fin de carrera” para controlar fácilmente el movimiento del riel.

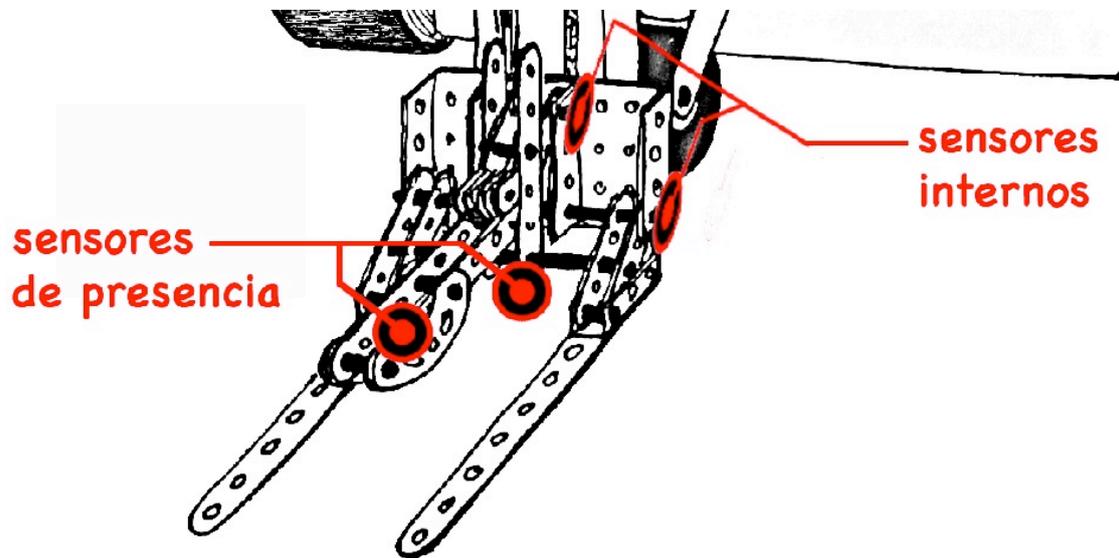


Figura 3.18 Ubicación de sensores internos y externos de presencia.

- **Formas de cableado según configuración**

Se propuso colocar el cableado en mangueras flexibles tipo “arco iris”, independientemente de la ubicación de los demás sistemas, para que los cables se mantengan juntos y no se enreden o desgarran con las partes móviles del brazo.

## CAPÍTULO 4

### Diseño de detalle y análisis

#### 4.1 Enfoque estructural

**Enfoque interno:** Simplificando el dispositivo lo más posible, se trata básicamente de una cadena cinemática cerrada o mecanismo de cuatro barras articuladas, sujetas a un par prismático (ver Figura 4.1). El eslabón lateral izquierdo es estacionario y corresponde a la parte móvil del riel. Los eslabones superior e inferior oscilan y el eslabón lateral derecho es el conector y motriz del sistema. Si únicamente se analizan los segmentos de las barras limitados por las cuatro articulaciones cilíndricas, se observará que los que se encuentran opuestos tienen la misma longitud, siendo ésta una configuración de barras paralelas. El mecanismo está limitado de tal forma que los eslabones oscilantes no coincidan con la línea de acción de la fuerza motriz, evitando la generación de puntos muertos.

**Enfoque externo:** se trata de una cadena cinemática abierta con tres eslabones, unidos primero por una articulación prismática y luego otra rotacional. Físicamente, se requieren sólo dos variables para definir la posición

en el espacio del elemento terminal, en consecuencia se trata de una estructura con dos grados de libertad.

En la Figura 4.1 se muestra un esquema simplificado del mecanismo y un bosquejo del órgano terminal instalado en la base cilíndrica del TPR8.

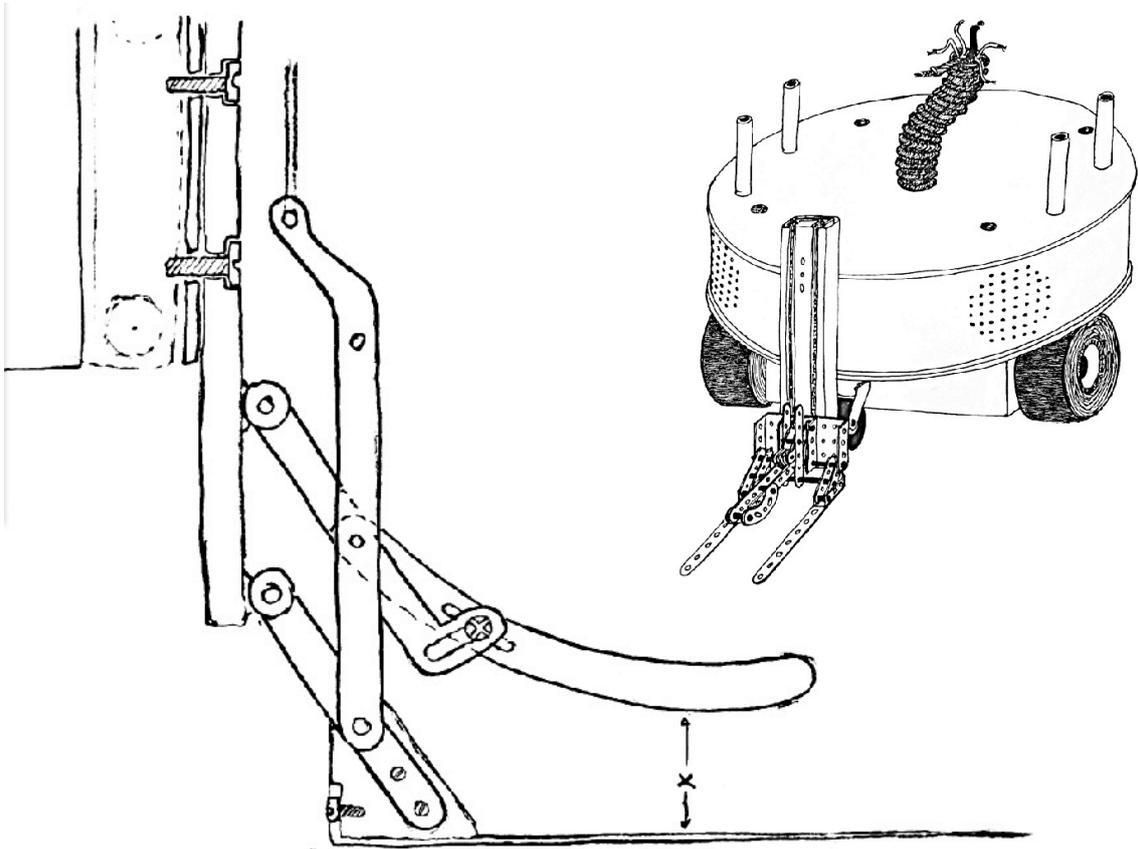
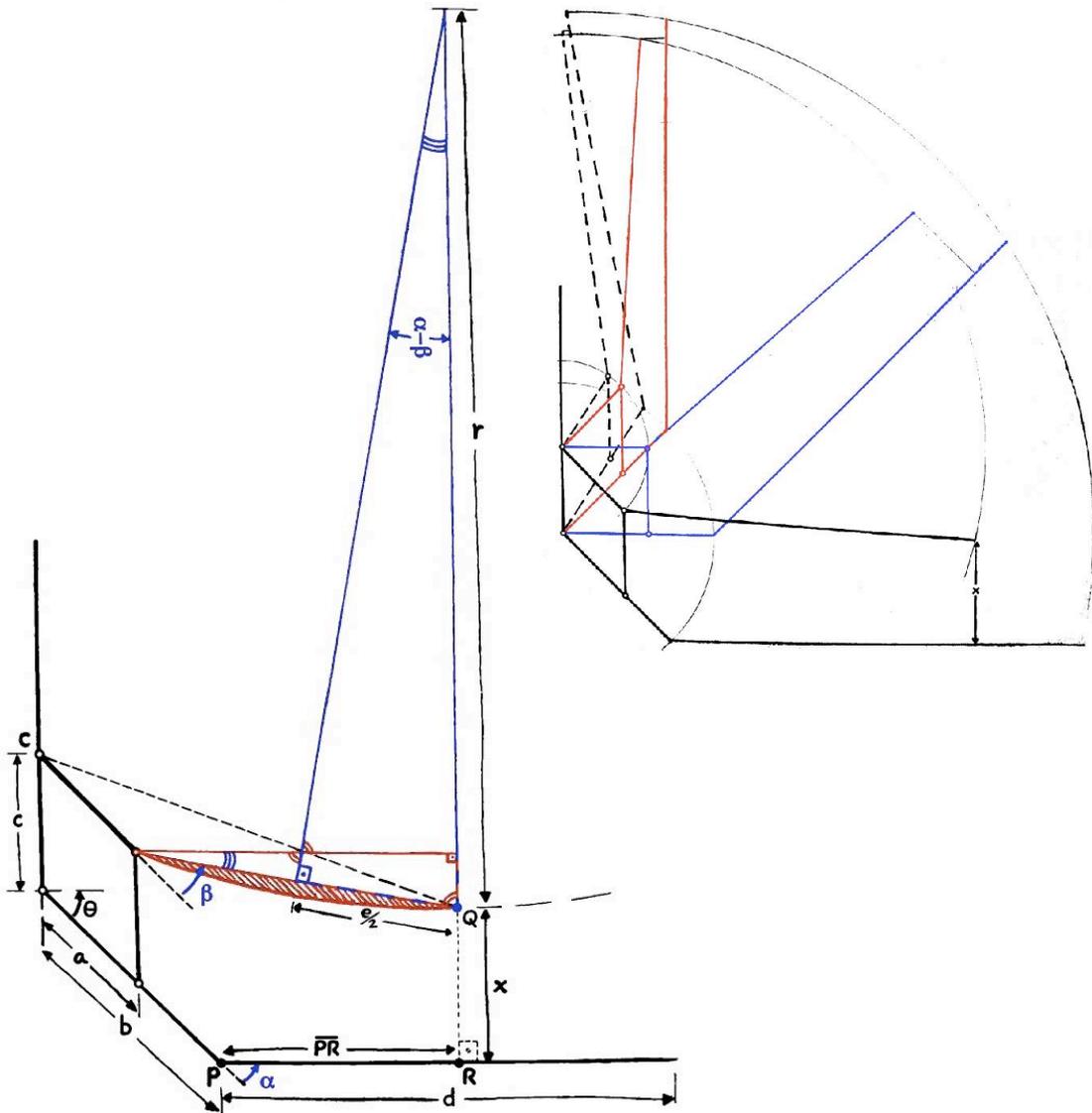


Figura 4.1 Esquema simplificado del mecanismo de agarre y bosquejo del TPR8 con órgano terminal.

## 4.2 Análisis matemático

### 4.2.1 Análisis geométrico con enfoque interno para el sistema de agarre

Del mecanismo expuesto anteriormente, se obtiene un sistema más simple y unidimensional, en donde se aprecian mucho mejor las características geométricas, como se ve en el esquema de la izquierda de la Figura 4.2. A la derecha de ésta misma Figura se muestran las barras en cuatro posiciones diferentes simulando el movimiento de las mismas.



Figuras 4.2 simplificación geométrica del prototipo y ejemplificación del movimientos en cuatro posiciones

Como se puede ver, se trata de cuatro barras, dos de las cuales siempre permanecen en forma vertical y son paralelas entre si, y otras dos que tienen una forma acodada o acampanada. Estos eslabones se encuentran unidos por articulaciones rotacionales, las cuales delimitan un sistema de cuatro barras paralelas. Los eslabones acodados son paralelos dentro de este sistema, pero sus extremos se encuentran girados  $\alpha$  y  $\beta$  grados respecto de los segmentos delimitados por las articulaciones, de tal forma que al girar el sistema en sentido anti-horario, se acercan el punto **Q** y el segmento de recta **PR** una distancia **x**, como se muestra en la figura del movimiento. La razón por la que



En geometría analítica existe una expresión que permite calcular la distancia,  $x$ , de un punto fijo  $Q$  a una recta  $L$  que pasa por el punto  $P$  y es paralela a un vector  $u$  mediante el producto vectorial [13]:

$$x = \frac{|(q - p) \times u|}{|u|} \quad (4.1)$$

Donde  $p$  y  $q$  son los vectores de posición de los puntos  $P$  y  $Q$ , respectivamente.

Para el análisis siguiente se toma en cuenta que se conocen los valores de  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $e$ ,  $\alpha$  y  $\beta$ , mostrados anteriormente en la Figura 4.3. Además, se considera que el sentido positivo para la medición de los ángulos es en sentido anti-horario (por la regla de la mano derecha).

Las componentes del vector  $p$  se obtienen del esquema anterior por pura observación, ya que se trata de un vector de posición. De la misma forma se obtienen las componentes del vector  $u$ , debido que se trata de un vector paralelo a la recta  $L$  y puede tomarse como un vector de posición:

$$p = (b \cdot \cos \theta, b \cdot \sen \theta) \quad (4.2)$$

$$u = \{\cos(\theta + \alpha), \sen(\theta + \alpha)\} \quad (4.3)$$

Para el punto  $Q$  hay que tomar en cuenta que éste se mueve con respecto a la barra oscilante superior, cuyo centro de rotación se encuentra en el punto  $C$  y no en el origen. Entonces, para encontrar el vector  $q$ , se hace lo siguiente:

Si se prolonga la barra oscilante superior hasta la altura del punto  $Q$  se puede ver que se forma un triángulo rectángulo entre dicha barra y la barra imaginaria  $CQ$ , como el que se muestra con línea segmentada en la Figura 4.3. Este triángulo es equivalente al de la Figura 4.4 en donde se muestra la relación geométrica de variables para la determinación del vector de posición  $Q$ .

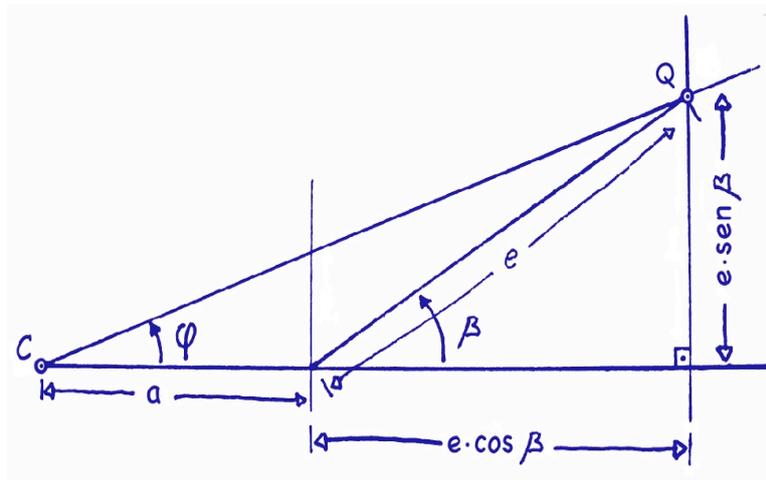


Figura 4.4 Relación geométrica de variables del triángulo rectángulo.

Del esquema anterior se observa que:

$$CQ = (a + e \cos \beta) / \cos \varphi \quad (4.4)$$

$$\tan \varphi = (e \sin \beta) / (a + e \cos \beta) \quad (4.5)$$

Considerando que el centro de rotación de la barra oscilante superior se encuentra ubicado en el **eje y** a una distancia **c** del origen, se obtiene por observación el vector **q** para toda posición del punto **Q**:

$$\mathbf{q} = [CQ \cos (\theta + \varphi), c + CQ \sin (\theta + \varphi)] \quad (4.6)$$

Sustituyendo los vectores **p**, **q** y **u** en la ecuación vectorial (4.1), **CQ** y **tan φ** en la ecuación resultante y haciendo algunas manipulaciones trigonométricas se obtiene la siguiente expresión, la cual relaciona la distancia **x** con el ángulo **θ**:

$$x = | (a - b) \sen \alpha - c \cos (\theta + \alpha) + e \sen (\alpha - \beta) | \quad (4.7)$$

#### 4.2.2 Análisis geométrico para el sistema de transmisión

El sistema de transmisión está constituido por dos eslabones y una varilla roscada acoplada a un motor. Cuenta con tres articulaciones, dos de las cuales son rotacionales (ver Figura 4.5), a las que llamaremos **A** y **B** para

diferenciarlas, y la tercera es de tornillo. Si se observa la figura girándola 90° a la derecha, siendo ésta la posición original según el sistema de referencia, se puede distinguir que el eslabón lateral derecho **BB'B''** del mecanismo de agarre está conectado con el eslabón **AB** del sistema de transmisión por el par rotacional **B**. Esta conexión restringe el giro de la articulación de tornillo obteniendo así sólo un movimiento rectilíneo. Cuando el motor gira permite que el primer eslabón se desplace a lo largo del eje de la varilla transmitiendo el movimiento al segundo eslabón, quien a su vez hace girar al conjunto de eslabones del sistema de agarre. A continuación se muestra el esquema del sistema de transmisión acoplado al mecanismo de agarre y al motor.

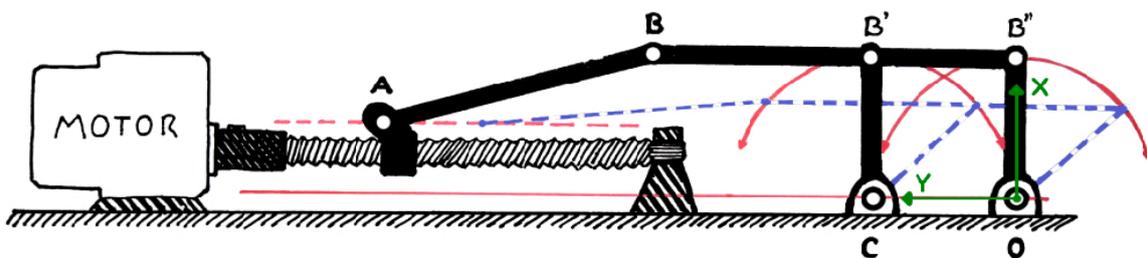


Figura 4.5 Sistema de transmisión entre motor y mecanismo de agarre.

Para verificar la movilidad del mecanismo plano mostrado y comprobar que la cadena cinemática sólo genera el movimiento descrito, es importante analizar el número de grados de libertad del sistema. Para ello se utilizó el criterio de Grübler, mencionado en el capítulo primero.

$$GDL = \lambda (n - j - 1) + \sum f_i = 3 (6 - 7 - 1) + 7 = 1 \quad (4.7)$$

De la ecuación se obtiene que **GDL=1** y por lo tanto queda comprobado que al mover el mecanismo se tiene como resultado un sólo movimiento.

En la Figura 4.5 se observa que los puntos **B**, **B'** y **B''** repiten trayectorias iguales debido a que todos pertenecen a un mismo eslabón que se encuentra restringido por el movimiento oscilante de dos eslabones paralelos de igual longitud. Para el análisis de posición del mecanismo sólo interesa saber qué tipo de trayectoria tiene el punto **B**. Por lo tanto basta con simplificar el sistema

colocando un eslabón oscilante de longitud “ $a$ ” en este punto con una articulación rotacional  $B$  unida al segundo eslabón, nombrado anteriormente como  $AB$ . También se puede ver, como ya se ha mencionado, que el primer eslabón se mueve en forma rectilínea y está constituido por dos articulaciones tan cercanas una de otra que fácilmente se pueden convertir en un sistema más sencillo. En la Figura 4.6 se muestra la simplificación del sistema de la Figura 4.5 e incluye algunos datos técnicos que serán de utilidad para el análisis siguiente. Se ha colocado en forma vertical debido a que, como muestra el sistema de referencia, es la posición real del diseño.

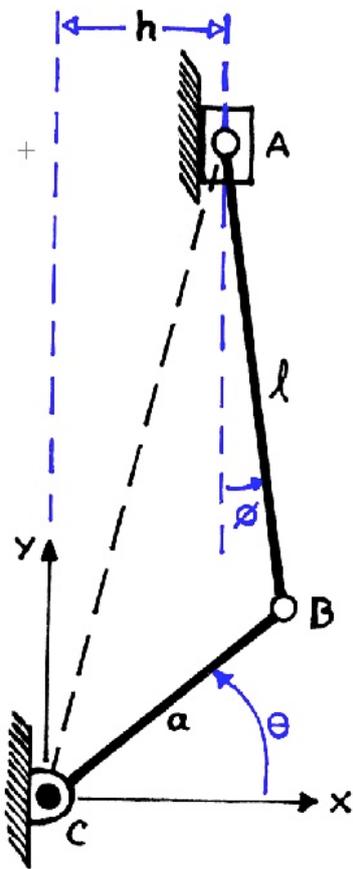


Figura 4.6 Mecanismo biela-manivela-corredera descentrado.

Se trata de un mecanismo de biela-manivela-corredera descentrado.  $h$  es la distancia del desfase entre los centros de las articulaciones que tienen contacto con el eslabón fijo. Si se toma al punto  $C$  como origen se puede pensar que el eslabón  $BC$  es un vector de posición con magnitud  $a$  al que se llamará  $R_{BC}$ . De igual forma se nombra al otro vector  $R_{AB}$  de magnitud  $l$ . Del triángulo imaginario  $ABC$  se obtiene la siguiente suma vectorial:

$$R_A = R_{AB} + R_{BC} \quad (4.8)$$

$$R_A = a \cos\theta i + a \sen\theta j - l \sen\phi i + l \cos\phi j \quad (4.9)$$

Del sistema de coordenadas se observa que:

$$R_A = h i + y j \quad (4.10)$$

Igualando las ecuaciones 4.9 y 4.10 se tiene que:

$$h = a \cos\theta - l \sen\phi \quad (4.11)$$

$$y = a \sen\theta + l \cos\phi \quad (4.12)$$

Despejando  $\phi$  de la ecuación (4.11) y sustituyendo el resultado en la ecuación (4.12) se obtiene entonces que:

$$y = a \operatorname{sen} \theta + \ell \operatorname{cos} \{ \operatorname{angsen} [(h - a \operatorname{cos} \theta) / \ell] \} \quad (4.13)$$

La corredera se mueve a lo largo del **eje y** una distancia **k** (que es la carrera de la corredera), que es igual a:

$$k = y_{\max} - y_{\min} \quad (4.14)$$

El valor máximo y mínimo de **y** corresponde con el intervalo  $-45^\circ \leq \theta < 45^\circ$ , según las restricciones físicas. Si **a = 1 in** al sustituir los valores de  $\theta_{\max}$  y  $\theta_{\min}$  en la ecuación (4.14) se observará que se eliminan todos los términos que son desconocidos dando como resultado **k = 2<sup>1/2</sup> in**. Este valor ya se esperaba de ante mano, pues mientras los ángulos de entrada y salida sean iguales el resultado será correspondiente a **2** veces el valor de la magnitud de la proyección de **R<sub>BC</sub>** sobre el **eje y**.

Como **R<sub>AB</sub>** y **R<sub>BC</sub>** para  $\theta_{\max}$  y  $\theta_{\min}$  no llegan a alinearse de tal forma que las articulaciones de los eslabones coincidan con la línea de acción de la fuerza que transmiten, no hay forma que se generen puntos muertos, los cuales se tendrían cuando:

$$h = (\ell + a) \operatorname{cos} \theta \quad (4.15)$$

### 4.3 Análisis probabilístico de la forma de doblado del periódico

Si se toma en cuenta que las horquillas o espátulas del sistema de agarre se deslizarán bajo el periódico, conviene asegurarse de que éstas no dañarán las hojas del mismo. Para ello interesa saber cuál es la configuración de doblado más adecuada. Como ya se había mencionado anteriormente, existen dos formas para doblarlo en tres, una es en "S" y la otra es en espiral. En la Figura

4.7 se muestran las diferentes posiciones en las que se puede o no “abordar” al periódico según el tipo de doblado y lado por el que sea “abordado”. Independientemente de que doblado se elija, las superficies del periódico que estarán tocando el suelo serán las dos de mayor área. Por ello, en los dibujos de la Figura 4.7 sólo aparecen las vistas frontales (F), laterales (izquierda, LI, y derecha, LD) y posteriores (P) de ambos doblados. Las letras A y B muestran la posición hacia arriba o hacia abajo para el doblado en “S”. Las del doblado en espiral se indican con los números 1 y 2.

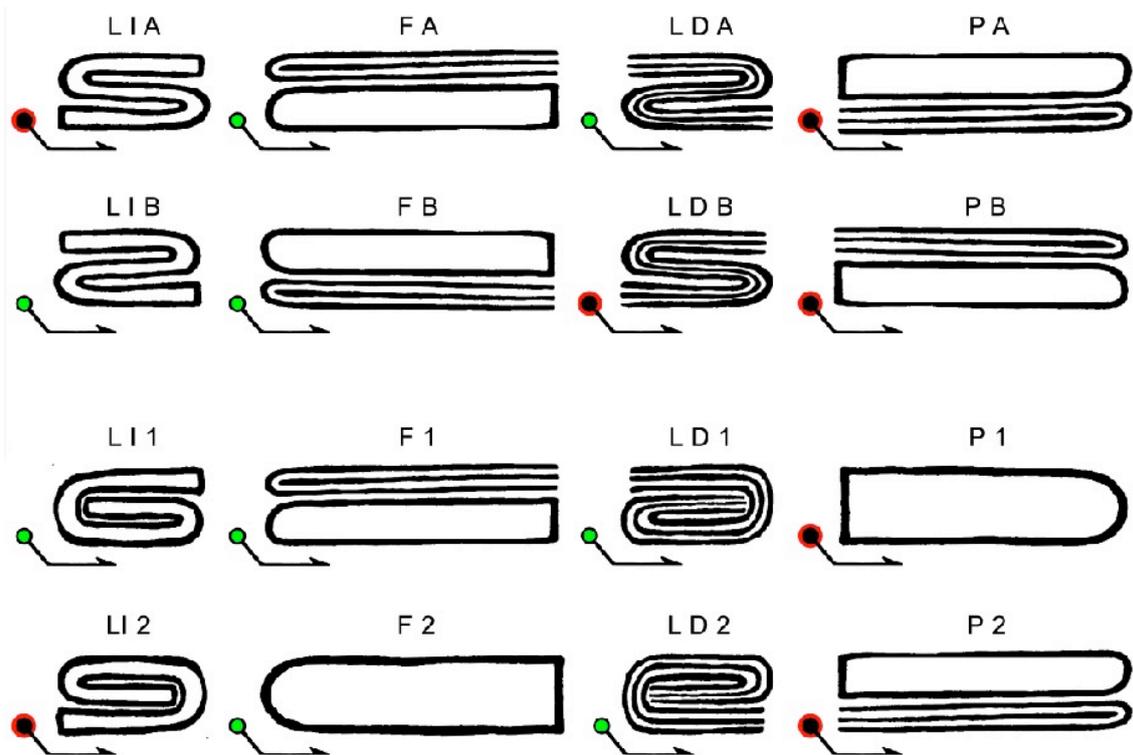


Figura 4.7 Vistas laterales, frontales y posteriores del periódico doblado en “S” y en espiral.

Las flechas con bolita que se muestran en la esquina inferior izquierda de cada una de las figuras simulan la entrada de las palitas del prototipo. Las bolitas indican si se trata de una posición adecuada para abordar al periódico o no. Por ejemplo para el caso de la primera figura superior izquierda se muestra la vista lateral izquierda del periódico doblado en “S” que no permite ser “abordado” cómodamente.

Para el doblado en “S” la probabilidad de toparse con una posición adecuada para evitar dañar las hojas del periódico es del 50%. Para el doblado en espiral la probabilidad de toparse una buena posición es del 62.5% contra un 37.5% de no ser tan adecuada. Debido a estos resultados se optó por ésta última configuración y también por que de esta forma se desdobra menos el periódico.

#### 4.4 Material

Como se menciona en el capítulo anterior, se propuso construir la mayor parte del prototipo en MECCANO debido a cuestiones de manufactura y tiempo. El juguete está constituido básicamente por piezas barrenadas de acero cuyos orificios tienen una distancia entre centros de media pulgada. Debido a que el primer prototipo se había elaborado con un MECCANO antiguo, se escogieron dos modelos, de los juguetes a la venta en México en esa temporada, verificando en los manuales que incluyeran piezas semejantes al prototipo 1 (Figuras 3.13 y 3.14) o que en dado caso permitiesen un diseño similar. En los nuevos modelos, algunas de las piezas antiguas han sido cambiadas por otras más comerciales y de diferentes materiales. Los collarines con prisionero, por dar un ejemplo, se han sustituido por gomas de hule o por simples cilindros de plástico que hacen a los modelos más fáciles de armar y desarmar, más ligeros y menos rígidos. Para corregir éstos y otros problemas, se consiguieron collarines, ejes, tuercas de presión, rondanas y piezas faltantes, todo de acero inoxidable. Se trató de incluir piezas de aluminio para aligerar el mecanismo, pero fueron pocas, pues la mayoría de las piezas diseñadas y manufacturadas artesanalmente se hicieron también con láminas de acero. Básicamente el prototipo nuevo se construyó con acero, incluyendo el riel. En la Tabla 4.1 se muestran los diferentes materiales utilizados para la construcción.

Tabla 4.1 Materiales utilizados para la construcción del prototipo alfa.

<b>Cantidad</b>	<b>Material utilizado</b>
3.66 m	Canal de aluminio 1 × 0.9 × 0.9 mm
12 piezas	Collarín de acero niquelado 5/32 in
1 m	Eje de acero 5/32 in
2 piezas	Embellecedor esférico 5/32 in

2 piezas	Espátula para pizza
2 juegos	MECCANO
Pedacería	Lámina acero calibre 20
1 par	Riel de extensión para archivero 25 cm (acero inox.)
6 piezas	Rondanas 5/32 in
12 ft	Solera natural de aluminio 1/16 in × 1/2 in
12 ft	Solera natural de aluminio 1/8 in × 5/4 in
12 ft	Tubo redondo estirado 3/8 in
12 ft	Tubo redondo estirado 1/4 in
5 piezas	Tuercas de acero inox. de presión 5/32 in
2 piezas	Tuercas de acero inox. 5/16 in
2 piezas	Tuerca mariposa 5/16 in
1 m	Varilla roscada de acero inox. 5/16 in

## 4.5 Transmisiones y actuadores

En general, tanto en los dibujos como en la descripción del mecanismo de agarre, sólo se ha manejado la idea de que el eslabón conector sería además motriz. Pero durante la construcción de los prototipos experimentales, también se consideró la posibilidad de que uno de los dos eslabones oscilantes fuera el impulsor, acoplando un actuador a uno de los ejes de las articulaciones. Esta configuración permitiría lo que se conoce como un “acoplamiento por accionamiento directo” que, además, facilitaría el control del mecanismo. Las razones por las que no se optó por esta alternativa fueron el reducido espacio disponible en esa zona, y que los ejes del mecanismo se encuentran sueltos e independientes de las piezas y se dificultaba fijarlos a los eslabones.

La selección de los dos actuadores se hizo con base en el tamaño, el tipo de corriente y el alto torque de los motores disponibles en el almacén de ambos grupos (Biorrobótica y Mecatrónica). Fueron propuestos por el jefe del proyecto de diseño mecánico del prototipo, basándose en la transmisión que se eligió para cada mecanismo.

### 4.5.1 Transmisión para el sistema de agarre

Debido a que existe poca variación en la linealidad del movimiento del eslabón conector  $BB'B''$ , se propuso acoplarlo, por medio de una articulación rotacional, a otro eslabón que a su vez estuviese unido, por un par rotacional, a

un eslabón en forma de media tuerca de mariposa. Ésta tendría barrenada una de sus alas y la otra completamente limada. De esta forma, estaría atornillada a un trozo de varilla roscada acoplada al eje del motor, simulando una articulación de tornillo, como se muestra en la Figura 4.8.

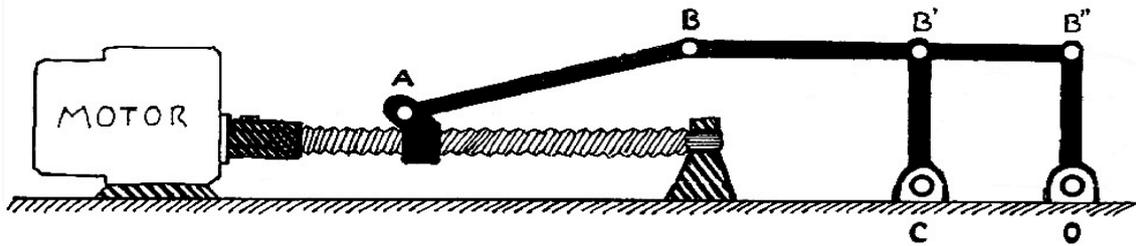


Figura 4.8 Sistema de transmisión del sistema de agarre.

El sistema de transmisión, mostrado en la Figura 4.8, se eligió debido a que el espacio disponible sobre la parte móvil del riel (o eslabón estacionario) permitía fijar un motor a suficiente distancia del mecanismo de agarre, para no estorbar el cerrado del mismo. Además, se obtendría un sistema que ocuparía poco espacio hacia afuera del brazo al estar casi pegado al riel. Por otro lado, si la varilla roscada estuviese fija al eje del motor por medio de un cople con prisionero, permitiría remover el motor, para mantenimiento, movilizándolo el mecanismo de forma manual evitando desmontar todo el equipo, como se muestra a continuación en la secuencia de la Figura 4.9.

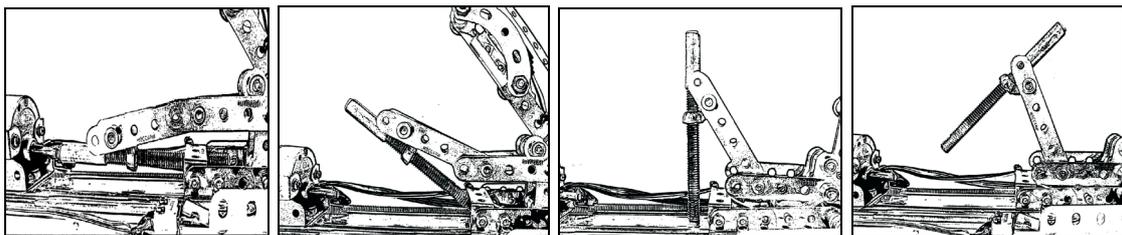


Figura 4.9 Secuencia del movimiento para remover la unión entre el motor y el mecanismo.

#### 4.5.2 Transmisión para el sistema de elevación

Se propusieron cadenas y bandas dentadas para transmitir el movimiento, pero el poco espacio disponible y la dificultad de encontrar los engranes y estrellas correspondientes eliminaron ésta posibilidad. Se optó, nuevamente, por la

transmisión de una varilla roscada acoplada al eje de un motor y su contraparte helicoidal unida al conjunto del mecanismo de agarre (ver figura 4.10).

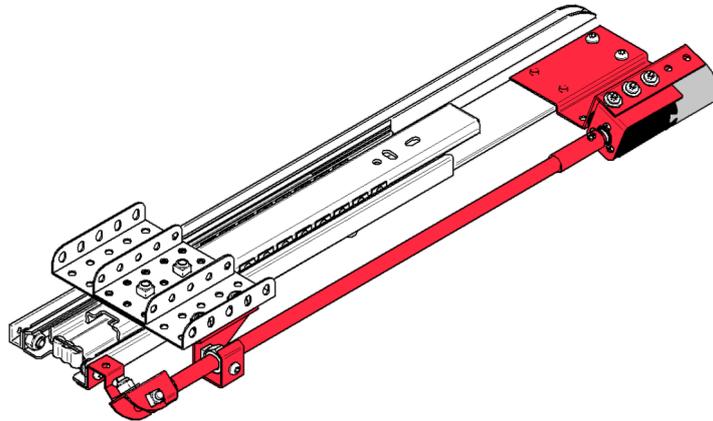


Figura 4.10 Transmisión para el sistema de elevación.

#### 4.5.3 Actuador propuesto para el sistema de agarre

##### Motor HSIANG NENG HN-GH12-1632T [41]

- Intervalo de operación: 4.5-12 V CD
- Intensidad de corriente: 75 mA
- Corriente a máx. eficiencia (bajo carga): 275 mA
- Torque (w/carga) a máx. eficiencia: 2.2  $kg_f \cdot cm$
- Velocidad de carga: 69 rpm
- El motor de corriente directa gira en ambas direcciones al intercambiar la polaridad
- Velocidad a máx. eficiencia (bajo carga): 57 rpm
- Relación de reducción: 100:1
- Tamaño: 1.5"  $\varnothing$   $\times$  0.7" L (motor); 1.3"  $\varnothing$   $\times$  0.9" L
- Peso: 0.3 lb (aprox. 136 gf).

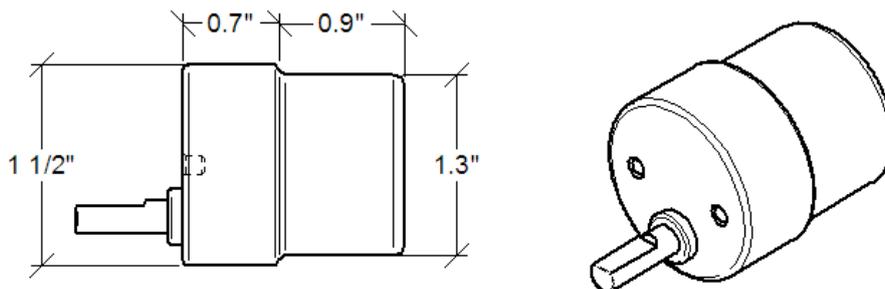


Figura 4.11 Motor HASIAN NENG.

#### 4.5.4 Actuador propuesto para el sistema de elevación

##### Motor Maxon A-MAX 250443 [39]

- Diámetro exterior: 25 mm
- Altura exterior: 44.3 mm
- Diámetro de eje de salida: 3 mm
- Voltaje de operación: 12 V CD
- Potencia: 0.5 - 20 W
- Motor de corriente directa, con escobillas y magnetos con AlNiCo
- Relación de reducción del tren planetario: 19:1
- Con encóder rotatorio.



Figura 4.12 Motor Maxon.

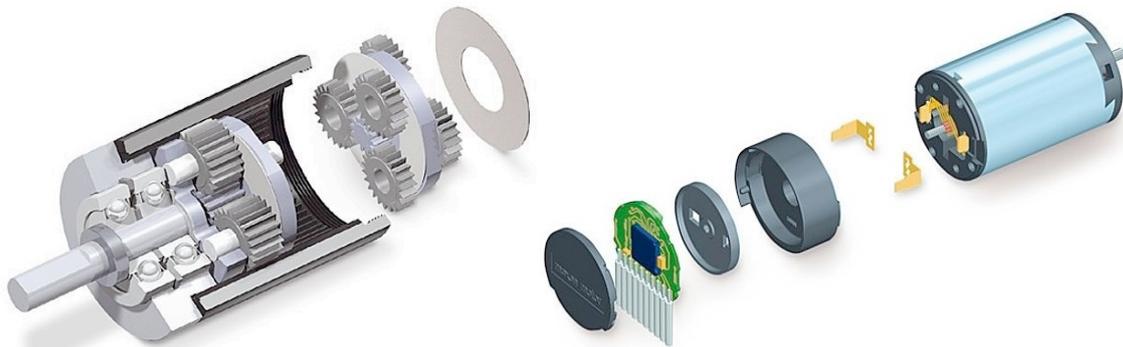


Figura 4.13 Reductor con tren planetario, encóder rotatorio y motor [23].

## 4.6 Sensores internos

Con el propósito de obtener información relacionada con la posición de los eslabones del mecanismo de agarre, se propuso instalarle un potenciómetro a uno de sus ejes. Nuevamente la dificultad de fijar el eje al eslabón y el reducido espacio descartó esta solución. La alternativa fue instalarle un sensor óptico, como el de la Figura 4.14, que detectaría el número de revoluciones dadas por uno de los tornillos que sujetan el eje del motor al cople, unido a su vez a la varilla roscada.

## Sensor óptico-hermético HOA1404-2 Honeywell International Inc [32]

- Número de canales: 1
- Tipo de circuito de salida: transistor
- Distancia nominal: 5.08 mm
- Máx. corriente hacia adelante: 50 mA
- Máx. corriente de salida: 800  $\mu A$
- Voltaje CD (en condiciones de prueba): 5 V
- Corriente (en condiciones de prueba): 30 mA
- Voltaje (colector-emisor) máx. =30 V
- Máx. tiempo de respuesta: 8.0  $\mu s$
- Paquete: distancia nominal-1e.



Figura 4.14 Sensor HOA1404-2.

## 4.7 Sensores externos

Con el interés de obtener información de la presencia del periódico en el mecanismo de agarre, se instaló un sensor de fuerza en el presionador. Al ir cerrando el sistema de agarre, se advertiría al centro de control la presencia del periódico al registrarse variaciones en la fuerza: si marcase cero, indicaría que no logró agarrar el periódico; si marcase cualquier otro valor mayor que cero, revelaría la presencia de aquél.

### Sensor de fuerza PH1106 [40]

- Consumo máx. de corriente: 500  $\mu A$
- Impedancia de salida: 10  $k\Omega$
- Carga máxima: 4  $kg_f$
- Carga recomendada: 1.5  $kg_f$
- Entrada analógica
- No es recomendado para hacer mediciones de peso debido a su baja precisión.

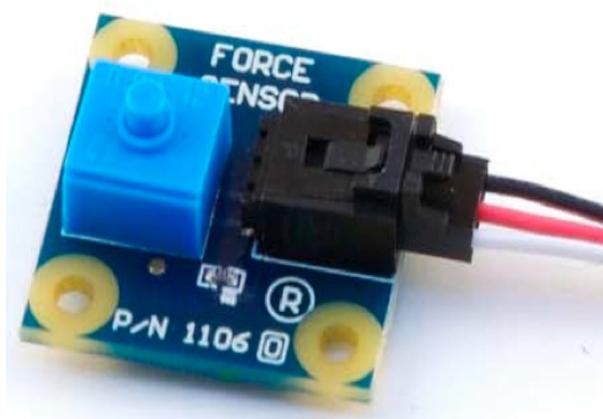


Figura 4.15 Sensor de fuerza PH1106 [40].

Por otro lado, y con el afán de facilitar el control de los eslabones vistos desde el enfoque estructural externo, esto es, como brazo manipulador, se instalaron dos micro interruptores con palanca de lámina y rodaja paralelos a las espátulas del sistema de agarre. La tarea específica de estos interruptores se aclara detalladamente en el manual de uso que se encuentra en el Anexo 1. Las especificaciones de estos micro interruptores son las siguientes:

#### **Micro interruptor MSW-1 [42]**

- Intensidad de corriente alterna: 5 A
- Voltaje: 110-250 V
- Vida útil de 200,000 operaciones eléctricas y 100,000 mecánicas.



Figura 4.16 Micro interruptor MSW-1 [42].

Para bloquear el sistema en caso de falla, se colocó al final de la carrera del riel un micro interruptor con palanca de lámina. De esta manera no rebasaría el nivel del piso, evitando así tener que cargar con la parte equivalente que le correspondería del peso del robot, con un valor aproximado de 12  $kg_f$ . Las especificaciones de estos micro interruptores son igual a las arriba descritas para el micro interruptor con palanca de lámina y rodaja.

En el otro extremo del riel se colocó otro de estos interruptores para frenar la carrera del riel hacia arriba, cuya ubicación podía ser modificada manualmente. El objetivo fue utilizarlo como fin de carrera, para enviar una señal al sistema de control y frenar el motor. Además, se propuso la implementación de un perfil de velocidades programado en el sistema de control para distancias fijas.

No se instalaron más sensores de presencia, pues en el caso de que tuviera que recoger otros objetos, el robot TPR8 lograría detectarlos con cámaras de video.

## 4.8 Dimensiones del mecanismo de agarre y transmisiones

Los valores que se muestran a continuación, se obtuvieron físicamente del mecanismo que se muestra en la Figura 4.17 y mediante cálculos y aproximaciones utilizando las ecuaciones del inciso 4.2.

- $a = 1 \text{ in}$
- $b = 2.55 \text{ in}$
- $c = 1 \text{ in}$
- $d = 4 \text{ in}$
- $e = 3 \text{ in}$
- $\alpha = 45^\circ$
- $\beta = 21.45^\circ$ , para  $x_0 = 0.67 \text{ in}$
- $h = 5/8 \text{ in}$
- $\ell = 2 \text{ in}$
- $-40^\circ \leq \theta < 45^\circ$
- $2.35^\circ \leq \phi < 10.8^\circ$
- $k = 1.41 \text{ in}$ .

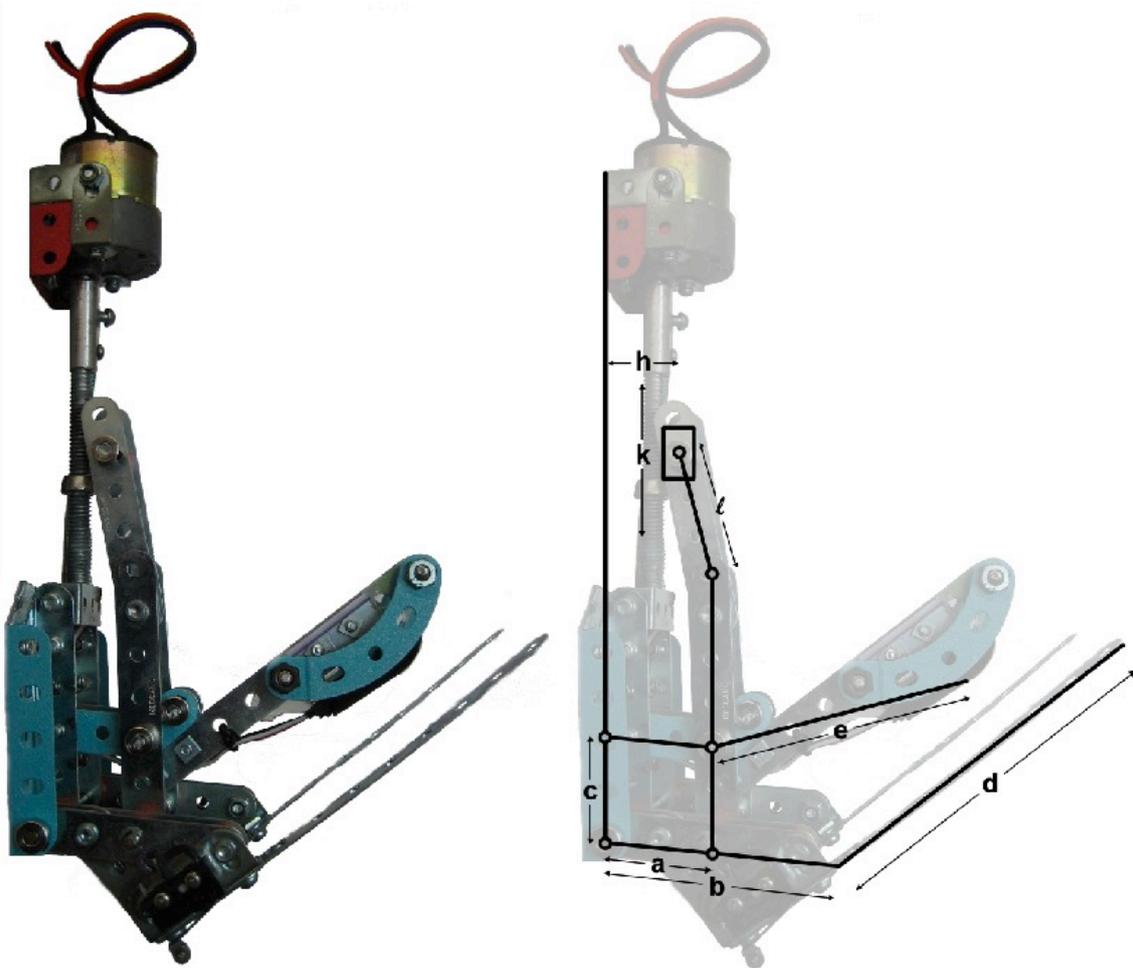


Figura 4.17 Mecanismo de agarre y transmisión.

La posición en la que se encuentra el mecanismo de la Figura 4.17, muestra una apertura del ángulo  $\theta$  alrededor de  $0^\circ$ , lo que corresponde al ángulo máximo para  $\phi$  próximo a  $10^\circ$ .

Para el valor de  $\ell$  se tenían cuatro posibilidades: 1, 1.5, 2 y 2.5 *in*, debido a la separación de 0.5 *in* entre agujeros en las piezas de MECCANO. Se escogió el valor de 2 *in*, ya que así se obtenían pequeños valores para  $\phi$  y se requería alcanzar mayores valores en  $\theta_{\text{máx}}$  para llegar al punto muerto.

La varilla roscada del sistema de elevación tendría un largo no mayor a 30 *cm*, dando espacio para 25 *cm* de carrera (la extensión máxima del riel), 3 *cm* para el cople del motor y 2 *cm* para un rodamiento que estaría fijo al riel. La altura máxima de todo el sistema no debía superar 40 *cm*. Una imagen del sistema de transmisión instalado se muestra en la Figura 4.18.

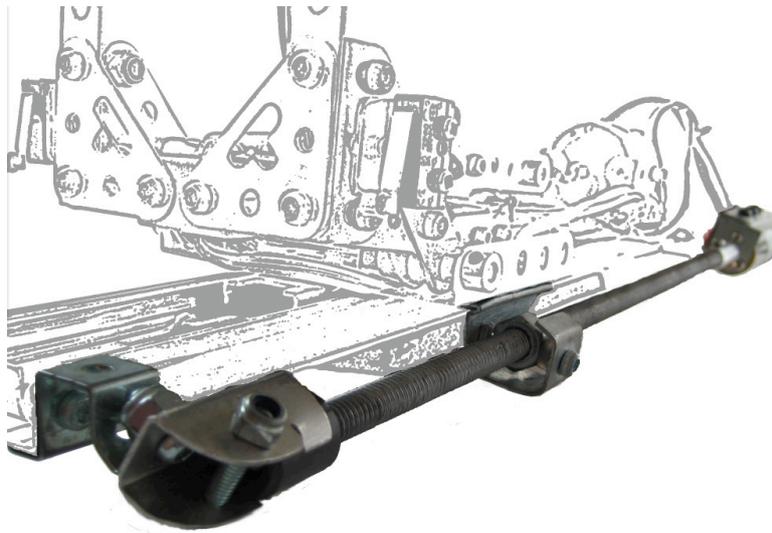


Figura 4.18 transmisión para el riel.

#### 4.9 Sistema de montaje en los robots

Como se menciona en el Capítulo 3, el sistema de montaje en los robots estaría configurado por dos tornillos colocados en la parte posterior del riel, cuyas salientes estarían cubiertos con embellecedores esféricos, como se muestra en la vista lateral de la Figura 4.19.



Figura 4.19 Vista lateral del riel mostrando los salientes del sistema de montaje.

Los extremos de los tornillos serían colocados dentro de los agujeros en forma de lágrima invertida (ver Figura 3.19) de la contraparte colocada en el TPR8 a la altura correspondiente. La ubicación de los agujeros sería determinante para el buen funcionamiento del sistema de elevación, ya que la altura con respecto del piso a la que debía estar colocado el riel, dependía de la distancia que sobresaliese el sistema de agarre, con  $\theta = 45^\circ$ , menos 5 *mm* de protección para pisos irregulares. Ésta altura sería fija, y una vez colocado el prototipo de órgano terminal podría ser usado como se especifica en el manual para el programador (ver Anexo 1).

#### **4.10 Diseño final**

Conforme se fueron seleccionando los diferentes sistemas, materiales y equipo electrónico, se fue perfeccionando el diseño final. En algunas ocasiones se tuvo que desarmar y reacomodar el mecanismo de agarre para darle más espacio a los nuevos componentes. También se sustituyeron los ejes de MECCANO por otros comerciales con mayor diámetro, debido a que los originales tenían cierto juego dentro de los orificios de las piezas. Además, se diseñaron piezas de forma artesanal para todas aquellas situaciones en que el MECCANO no permitía acoplar los componentes electrónicos y mecánicos propuestos. Para variar la carrera del riel de manera manual, se diseñaron sistemas quita/pon para los micro interruptores de palanca que irían fijos a un

perfil de aluminio en U colocado a un costado del riel. También se diseñó un sistema para portar el sensor óptico y darle la distancia y ángulo necesarios. En la Figura 4.20 se muestra el diseño final, en el que se señalan algunos de los componentes eléctricos y electrónicos que se describieron en los incisos anteriores de este capítulo.

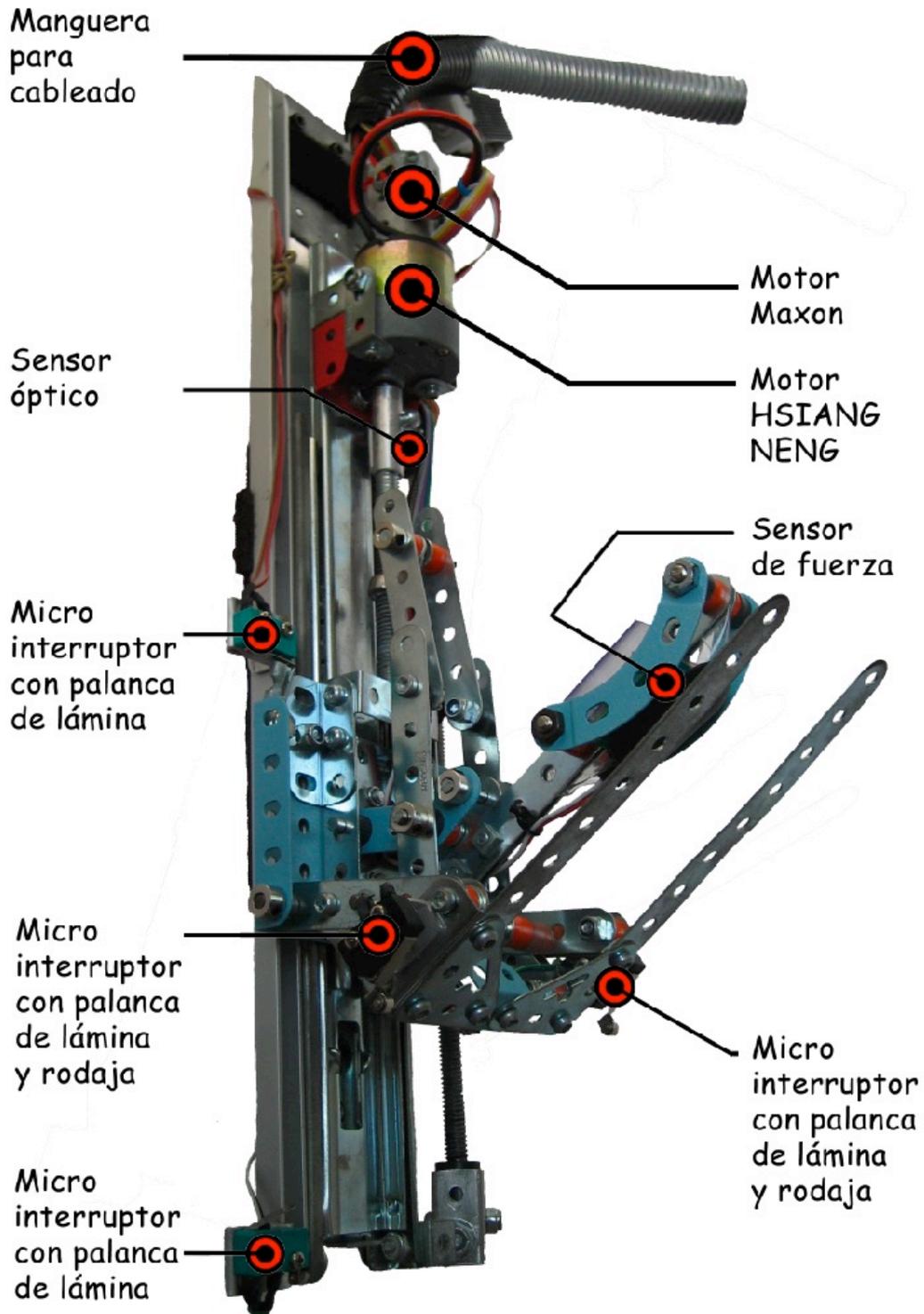


Figura 4.20 Prototipo alfa terminado.



## **CAPÍTULO 5**

### **Construcción y pruebas**

#### **5.1 Construcción del prototipo alfa**

Una vez seleccionado el concepto, se inició la construcción del prototipo alfa continuando con el desarrollo del proceso de diseño de manera paralela. Como ya se ha mencionado a lo largo de este trabajo, las primeras pruebas se hicieron con el prototipo experimental (Figura 3.10) instalado provisionalmente en los robots TX8 y TPR8. En ellas se logró recoger el periódico haciendo una simulación del movimiento de plegado del sistema de agarre de forma manual. Logrado este primer objetivo de funcionamiento, se compraron los materiales que permitirían la construcción del prototipo final. Así como se muestra en la variante del proceso genérico de desarrollo de productos en espiral (ver Figura 2.1), se llevó a cabo el ciclo diseño-construcción-prueba hasta que se acabó el tiempo. Una vez llegados a este punto, ya se habían incorporado casi por completo las características de alta, mediana y algunas de baja prioridad.

Para que se pudiera avanzar de manera ordenada en la construcción del mecanismo y evitar la acumulación de errores técnicos, se hicieron pruebas de

funcionamiento para cada etapa, tomando una etapa como la implementación de un sistema, un movimiento o un componente clave en la construcción del prototipo. En resumen, el armado se llevo a cabo de la siguiente manera.

- Etapa 1

Se hizo una primera prueba para verificar el correcto movimiento y funcionamiento físico del mecanismo, utilizando el primer prototipo experimental. La prueba fue satisfactoria tanto para el Laboratorio de Biorobótica como para el Departamento de Ingeniería Mecatrónica.

- Etapa 2

Con un MECCANO nuevo, se construyó un mecanismo de agarre similar al experimental, intentando alejarse lo menos posible del diseño original, debido a las diferencias que hay entre las piezas antiguas y las existentes en el mercado actual. Las partes que, con las nuevas piezas, permitían mejoras fueron modificadas para perfeccionar el mecanismo. Se montó el nuevo mecanismo en los orificios inferiores de la parte móvil del riel, y en los orificios superiores se instaló el motor HSIANG NENG. Se manufacturaron las piezas necesarias para instalar la transmisión entre motor y mecanismo. Se hizo la prueba de funcionamiento utilizando una fuente de poder, variable, para mover el motor y levantar el periódico con el mecanismo de agarre. La prueba fue exitosa, aunque no satisfactoria en lo referente a la velocidad de apertura y cierre del mecanismo.

- Etapa 3

Hubo mejoras y simplificaciones en la forma de sostener el motor HSIANG NENG, y se le aumentó la velocidad cambiando la configuración de los engranes en el reductor del mismo. Se hizo una prueba de funcionamiento con resultados negativos al intentar levantar el periódico.

- Etapa 4

Se reajustaron los engranes del reductor del motor HSIANG NENG para aumentar el torque y revertir las modificaciones anteriores. Mediante cambios de configuración y utilizando nuevas piezas manufacturadas se instaló un sensor de fuerza en el presionador. La prueba de funcionamiento fue exitosa.

- Etapa 5

Se manufacturó una placa con cierto ángulo de inclinación para instalar un sensor óptico cerca del eje del motor HSIANG NENG, que permitiera ajustar de manera manual la distancia entre ambos. Se instaló la placa y el sensor en el mecanismo, verificando que la distancia entre el tornillo del cople del eje del motor y la cabeza del sensor fuera la distancia nominal (ver especificaciones del sensor óptico en el punto 4.6). Se hizo una extensión hacia arriba de la parte fija del riel utilizando para ello una solera de aluminio barrenada y colocándola en su parte posterior. Se montó el motor Maxon mediante dos placas de acero dobladas y barrenadas a la medida, acopladas sobre la saliente de la solera. Utilizando coples manufacturados, láminas dobladas, un perfil en “U”, piezas de MECCANO y otras, se instaló la transmisión del sistema de elevación a un costado del riel. Se llevó a cabo una prueba manual del movimiento del sistema de elevación, la cual resultó satisfactoria. No se llevó a cabo la prueba del sensor óptico por no contar con el sistema mecatrónico correspondiente terminado.

- Etapa 6

Utilizando un perfil en “U” barrenado, se manufacturó un dispositivo para posicionar los micro interruptores con palanca y rodaja en los costados inferiores del mecanismo de agarre, que permitiese variar la distancia que los separa de las espátulas. Una vez instalados los interruptores se hizo una prueba de su funcionamiento, colocando el mecanismo de agarre abierto y paralelo al piso, y simulando el movimiento del mecanismo de elevación manualmente. La prueba resultó satisfactoria.

- Etapa 7

Se instaló un canal de aluminio en el costado que quedaba libre del riel para poner dos piezas, diseñadas para portar un micro interruptor de palanca en cada una, las cuales permiten ser colocadas a alturas diferentes de forma manual, de manera que los micro interruptores funciones como fines de carrera en el sistema de elevación. Se hizo una prueba manual de funcionamiento con resultados aceptables al mover el sistema de elevación de un micro interruptor a otro.

- Etapa 8

Se soldaron los extremos de cables (de 1 m de longitud para dar suficiente margen de separación al sistema de control) a cada uno de los componentes eléctricos y/o electrónicos del brazo. Orientando todos los cables en una sola dirección y reagrupándolos en el costado superior derecho del brazo, se aseguró que no estuviesen sueltos y permitieran la movilidad correcta de los mecanismos. Se realizó una prueba general de funcionamiento con resultados exitosos, utilizando una fuente de poder variable para mover los motores.

- Etapa 9

Se manufacturó un dispositivo de montaje quita/pon para ser instalado en el robot TPR8. El sistema funcionó de manera satisfactoria al realizar la prueba de montaje.

- Etapa 10

Se hizo entrega del prototipo alfa al Laboratorio de Biorrobótica para permitir que se finalizara con la construcción del sistema de control y se pudieran hacer las pruebas pertinentes. Asimismo, se incluyó un manual de uso con recomendaciones y aclaraciones para el programador. Una vez concluida la programación y armado el sistema de control, se hizo una prueba con resultados negativos debido a un ligero daño en la transmisión del mecanismo

de agarre, por hacerse variaciones en la rutina acordada para el funcionamiento del prototipo. Se regresó el brazo al Departamento de Ingeniería Mecatrónica para hacer las modificaciones pertinentes y corregir los daños.

- Etapa 11

Mediante la manufactura de una nueva transmisión de acero inoxidable se corrigieron los daños y se previeron futuros fallos en caso de un uso no tan adecuado. Nuevamente se hizo entrega del brazo al Laboratorio de Biorobótica. Se hicieron pruebas utilizando el prototipo alfa montado en el robot TPR8 con resultados exitosos, al lograr recoger el periódico del suelo y transportarlo a otra ubicación utilizando la secuencia correcta.

Debido a que se trata de un proyecto de rápida elaboración, algunas de las piezas que se diseñaron para instalar los diferentes componentes se manufacturaron artesanalmente, ajustando y reajustando cada una, según las necesidades y medidas correspondientes. Los planos y dimensiones de cada una de las piezas manufacturadas se encuentran en el Anexo 2 de este trabajo. También se incluyen todas las otras piezas de MECCANO utilizadas, algunas de las cuales fueron modificadas para la construcción del prototipo.

## **5.2 Pruebas finales**

Las pruebas que se mencionan en el apartado anterior se hicieron para verificar el correcto funcionamiento de cada sistema durante la construcción y diseño del prototipo alfa. Las pruebas finales corresponden al correcto funcionamiento del sistema en conjunto, utilizando al prototipo como órgano terminal del robot TPR8.

Durante este proceso de pruebas se hicieron algunos ajustes mecánicos, como reemplazo de piezas desgastadas por mal uso, y se le dio constante mantenimiento al prototipo para asegurar un buen funcionamiento.

Las siguientes pruebas se hicieron con el objetivo de comparar los resultados arrojados con los de las especificaciones técnicas y verificar que se había llegado a soluciones adecuadas para las diferentes necesidades.

### 5.2.1 Prueba de masas

En la tabla 5.1 se pueden ver las diferentes masas relacionadas con el prototipo alfa. Se indica el nombre del sistema, se subdivide en partes, y se adjunta la masa por parte individual y/o en conjunto. Por ejemplo, el sistema de elevación está conformado por dos eslabones, uno estacionario y otro móvil. El último es a su vez el sistema de agarre cuyas partes se subdividen en cuatro eslabones. La masa total del prototipo, sin contemplar el periódico ni el sistema de control, es aproximadamente 1.5 kg, cuyo valor entra dentro del margen esperado.

Tabla 5.1 Masas relacionadas con el prototipo alfa.

MASAS DEL PROTOTIPO ALFA				
NOMBRE	ESLABÓN		MASA	MASA TOTAL
Sistema de agarre	Móvil	Estacionario (parte móvil riel)	440 g	700 g
		Oscilante sup. (presionador)	80 g	
		Oscilante inf. (Espátulas)	50 g	
		Conector y motriz	130 g	
Sistema de elevación	Estacionario		780 g	780 g
				<b>= 1.48 kg</b>
Sistema de control			650 g	820 g
Periódico			170 g	
				<b>= 2.30 kg</b>

Si se suman las masas de las partes móviles del sistema de agarre se obtiene un resultado de 260 g más la masa del periódico da un total de 430 g que estaría cargando de forma estática el segundo eslabón (**AB**) del sistema de transmisión, sin tomar en cuenta que los eslabones están unidos y restringidos por articulaciones al eslabón estacionario. Para el caso del sistema de elevación sólo se requieren mover 870 g que corresponden a la suma de la masa total del sistema de agarre y el periódico. En ambos casos se toman como las masas estáticas que cargaría cada articulación de tornillo al girar la

varilla roscada, la cual reduce la fuerza que requiere el motor para moverse al tratarse de un plano inclinado colocado en forma helicoidal.

Si el micro interruptor con palanca, que se encuentra en la parte inferior del lateral del riel, no llegase a indicar el paro del mecanismo cuando se ha excedido la distancia permitida, entonces el brazo empezaría a empujar contra el piso provocando un posible daño del sistema. Para tener una idea aproximada de la fuerza que tendría que soportar el brazo en esta situación se obtuvieron los valores que se muestran en la siguiente tabla. De ellos se destaca los 12  $kg_f$  puntuales aproximados que tendría que soportar el brazo en esa posición.

Tabla 5.2 Repartición de peso del robot TPR8.

Repartición del peso			
Tipo de apoyo	Número de puntos de apoyo	Carga Total	Fuerza por punto de apoyo
Ruedas	4	60 $kg_f$	15 $kg_f$
Ruedas más brazo	5	60 $kg_f$	12 $kg_f$

### 5.2.2 Prueba para ángulos de levantamiento sobre el suelo

Se colocó el periódico frente al robot TPR8 a una distancia acordada tomando como referencia los centros de cada uno. Se hizo avanzar al robot esa distancia menos 35  $cm$  y recoger el periódico, el cual se fue girando cierto ángulo con respecto a la posición original en cada prueba. La distancia que se disminuye corresponde al radio del robot más el valor de la distancia radial que hay del perímetro del robot al centro de las palitas del brazo. En el esquema de la Figura 5.1 se muestra la prueba para ángulos vista desde un plano superior. Como se puede intuir el robot empuja al periódico, en ocasiones, colocándolo en una posición mucho más conveniente y de esta forma es que logra agarrarlo. Esto sólo sucede si el periódico y el robot se encuentran mutuamente centrados.

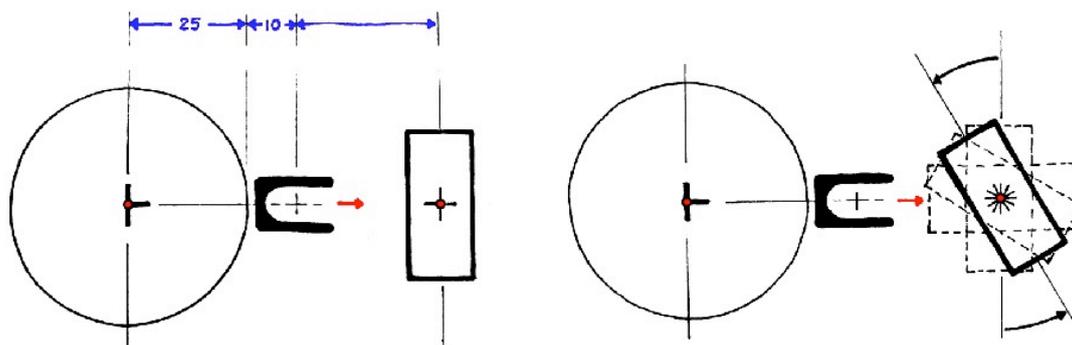


Figura 5.1 Esquema de prueba para ángulos.

El círculo representa al robot TPR8, la cuña al brazo manipulador y el rectángulo al periódico, todos vistos desde un plano superior.

### 5.2.3 Prueba de velocidades

Las velocidades que interesa conocer, son las relacionadas con las posiciones de los eslabones vistos desde el enfoque externo, esto es, tomando al prototipo como brazo manipulador. Además, se requiere conocer la velocidad tangencial máxima que alcanza el robot al avanzar. Todas las velocidades se tomaron estando las pilas totalmente cargadas. En la Tabla 5.3 se muestran los valores de los recorridos, los tiempos y las velocidades de cada sistema.

Tabla 5.3 Velocidades del prototipo y el robot TPR8

VELOCIDADES DEL PROTOTIPO ALFA Y EL TPR8			
SISTEMAS	RECORRIDO	TIEMPO	VELOVIDAD
Eslabón 1 (riel)	250 mm	20.68 s	12 mm/s
Elemento terminal (mec. de agarre)	85°	27.71 s	0.5 rpm
Robot TPR8	1 m	3 s	333 mm/s

Tomando en cuenta el recorrido que deberá seguir el robot TPR8, y cada uno de los pasos que realizará el brazo según la secuencia descrita en el manual (ver Anexo 1), el tiempo máximo aproximado para recoger el periódico en un solo intento es de 3 min. Esto quiere decir que, si se permiten hacer dos intentos en una prueba de diez minutos, quedarán 4 min para hacer ajustes en caso de tener que repetir el intento.

Una de las preocupaciones que se tenía es si se caería el periódico a la hora de transportarlo, por ejemplo, al hacer un giro con el robot y frenar el movimiento súbitamente. La fuerza tangencial que se transmitiría al periódico tendría que ser menor a la resultante en sentido contrario de la fuerza de presión y rozamiento en el sistema de cerrado, para evitar la caída. Además dependería de la manera en que se hubiese agarrado el periódico, pues los momentos resultantes serían distintos para posiciones diferentes. Por otro lado, se había observado una pequeña variación en el espesor del periódico que podría causar problemas. Al doblarse en tres por primera vez, éste tiene una constante de resorte de cierta magnitud muy diferente a la que tiene después de varias pruebas. La tendencia de las fibras recién dobladas a regresar a su posición original y el aire entre las hojas que es expulsado al comprimirse, hacen parecer al periódico un resorte que con el tiempo va cediendo su fuerza. Podría parecer insignificante, pero a la larga el periódico podría salir volando al girar el robot. Esta problemática inicial se eliminó por completo, pues se observó que al agarrar el periódico éste se curvaba alrededor del presionador, impidiendo el movimiento hacia los lados y evitando así que se caiga en el giro. Por otro lado, la variación en el espesor sólo se daría en caso de hacerse pruebas utilizando durante un periodo largo el mismo periódico.

#### 5.2.4 Prueba de tiempos

Los tiempos relacionados con la instalación del prototipo en el robot y su adecuada calibración y ajustes previos a la prueba, dan una idea de lo fácil que puede ser ponerlo, quitarlo y/o ajustarlo. También es de interés conocer el tiempo que se requiere para mantenimiento general del equipo.

Tabla 5.4 Tiempos de preparación y mantenimiento.

<b>Tiempos</b>		
<b>Actividad</b>		<b>Tiempo</b>
<b>Preparación para prueba</b>	Colocado en robot TPR8	0.5 <i>min</i>
	Calibración y ajuste	1.0 <i>min</i>
<b>Mantenimiento general</b>	Desarmado	3.5 <i>min</i>
	Armado	4.5 <i>min</i>

### 5.2.5 Ángulo de inclinación de las espátulas en el mecanismo de agarre

Como ya se ha mencionado anteriormente, el prototipo tiene posiciones determinadas para recoger el periódico en el suelo y para transportarlo ¿pero qué sucede si el periódico se encuentra en una pendiente positiva o negativa? Para empezar se debe contar con un sistema de control sumamente preciso, ya que no es fácil realizar los movimientos necesarios para recoger el periódico en esta situación, aún cuando mecánicamente podrían colocarse las palitas con cierto ángulo. Suponiendo que se cuenta con ese sistema y que una arista del periódico se encuentra tocando el suelo, entonces es importante conocer cuáles son los grados máximos y mínimos de inclinación permitidos. Además, para soltar el periódico se requiere inclinar las espátulas cierto ángulo hacia abajo, de manera que resbale y caiga al piso. En la Tabla 5.5 se muestra la relación que existe entre los valores de apertura de las espátulas (distancia  $x$ ), los valores de giro del eslabón oscilante inferior del mecanismo de agarre (ángulo  $\theta$ ) y los valores del ángulo de inclinación de las espátulas con respecto al piso (al que llamaremos  $\lambda$ ). Sólo se incluyen los valores más importantes y las observaciones correspondientes.

Tabla 5.5 Relaciones de posición

<b>RELACIONES DE POSICIÓN</b>			
$\theta$	$x$	$\lambda$	<b>Observaciones</b>
40°	> 0	85°	Las palitas han sobrepasado el plano del presionador.
39°	0.0019 in = 0.04826 mm	84°	Mínimo valor de $x$ , antes de que coincidan palitas y presionador.
37°	0.0365 in = 0.9271 mm	82°	Máxima inclinación cuando se ha agarrado el periódico.
-10°	0.7165 in = 18.1991 mm	35°	Máximo valor para agarrar el periódico en una pendiente positiva.
-45°	0.8974 in = 22.79396 mm	0°	Posición para agarrar el periódico en el suelo.
-65°	0.8371 in = 21.26234 mm	-20°	Mínimo valor para agarrar el periódico en una pendiente negativa y/o para soltarlo.

## CONCLUSIONES

Se logró cumplir con el objetivo general de este trabajo, que consiste en diseñar un prototipo de órgano terminal, ajustable al robot TPR8 del Laboratorio de Biorrobótica de la UNAM, que permita recoger, transportar y soltar un periódico de magnitudes físicas conocidas.

Además, se superaron las expectativas en algunas de las características deseadas para el diseño del brazo, como por ejemplo, el número reducido de actuadores para realizar la tarea específica, el sistema quita/pon de fácil montaje, el bajo costo comparado con los brazos de la competencia para esa misma categoría, la sencillez en la configuración del mecanismo y las facilidades que brinda para el mantenimiento y ajuste.

Sin embargo, el prototipo tiene una versatilidad reducida, como le sucede generalmente a los órganos terminales diseñados para realizar tareas específicas, aunque no se hicieron las suficientes pruebas para recoger otros objetos y verificar qué otras posibilidades de uso podría ofrecer.

Al utilizar MECCANO para la construcción del mecanismo, se sacrificó la ligereza del prototipo por una mayor facilidad y un menor tiempo de armado.

Por otro lado, se aumentó considerablemente el número de piezas utilizadas para configurar el mecanismo, el cual puede disminuirse si cada grupo de piezas que conforman a un eslabón se manufactura como una sola.

Se superaron los tiempos esperados de la secuencia para recoger el periódico, así como los tiempos de armado y desarmado para mantenimiento, y los de montado en el robot.

Se aumentó el perímetro de seguridad del robot TPR8 diez centímetros, lo cual puede limitar sus movimientos si se trata de un área circular, pero proponiendo una configuración elíptica podría corregirse esta desventaja.

Se logró recoger el periódico en todas las posiciones de la prueba para ángulos de levantamiento sobre el suelo, dejando como tarea siguiente la búsqueda de soluciones para mejorar el agarre en superficies con pendiente o en posiciones inclinadas del periódico.

Se brindó al equipo Pumas-México la posibilidad de competir y superar las dos pruebas de manipulación de objetos en la categoría "RoboCup@Home" en la competencia internacional de robótica RoboCup 2007 Atlanta.

Por otro lado, no se implementaron los resortes de torsión propuestos para evitar posibles daños a la lámina en "U" estilo montacargas, ni las palitas para pizza sugeridas para disminuir la fricción.

Además, se recomienda implementar algunas de las ideas que surgieron posteriores al desarrollo de este trabajo. Se propone sustituir el riel junto con el sistema de elevación por otro sistemas de transmisión lineal mucho más adecuado, como por ejemplo un "husillo a bolas" con acoplamiento directo, para disminuir la fricción. También se plantea una solución para que las palitas se liberen de forma automática al chocar con una baldosa sobresaliente. Asimismo, se opina que la implementación de un sistema de muelles podría ayudar para corregir las variaciones en el piso.

## REFERENCIAS

- 1 Barrientos, A., y otros. (2007). *Fundamentos de Robótica (2 ed.)*. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana.
- 2 Bender, L. (1994). Inventos para el hogar. En *Los inventos* (pp. 54-55). Madrid: Biblioteca Visual Altea.
- 3 Bender, L. (1994). La trayectoria de un invento. En *Los inventos* (pp. 8-9). Madrid: Biblioteca Visual Altea.
- 4 French, M. J. (1985). *Conceptual Design for Engineers (2 ed.)*. London: The Design Council.
- 5 Ingpen, R. y Wilkinson, P. (1993). Simple Machines. En *Encyclopedia Of Ideas That Changed the World* (pp. 86-91). Italy: Viking Studio Books.
- 6 Leech, D. J. y Turner, B. T. (1985). *Engineering Design for Profit*. Great Britain: Ellis Horwood Limited.
- 7 Levy Doughtie, W. y James, W. H. (1974). *Elementos de Mecanismos (3 ed.)*. México: Compañía Editorial Continental S.A.

- 8 Mabie, H. H. y Ocvirk, F. W. (1978). *Mecanismos y Dinámica de Maquinaria*. México: Limusa.
- 9 Pahl, G. y Beitz, W. (1999). *Engineering Design a Systematic approach (2 ed.)*. Great Britain: Springer.
- 10 Salvat Editores (1984). La grúa. En *Historia de los inventos* (pp. 82). España: Autor.
- 11 Salvat Editores (1984). La rueda. En *Historia de los inventos* (pp. 18). España: Autor.
- 12 Salvat Editores (1984). Poleas y engranajes. En *Historia de los inventos* (pp. 50). España: Autor.
- 13 Solis, R., y otros. (1997). *Geometría analítica (5 ed.)*. México: Limusa.
- 14 Sugano, S. (2007). Human Symbiotic Robots. Conferencia Magistral en 3er Concurso Mexicano de Robotica, Mexico, Estado de Puebla, UPAEP, (paper).
- 15 Ulrich, K. T. y Eppinger, S. D. (2004). *Diseño y desarrollo de productos (3 ed.)*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- 16 <http://cienciafacil.com/planoinclinado> (22 feb. 2008).
- 17 [http://es.wikipedia.org/wiki/Tornillo\\_de\\_Arquímedes](http://es.wikipedia.org/wiki/Tornillo_de_Arquímedes) (4 oct. 2007).
- 18 <http://hdl.handle.net/10016/787> (6 sep. 2007).
- 19 [http://industrialjoper.minored.com/sacpublico/media/catalogo/carretilla\\_3.jpg](http://industrialjoper.minored.com/sacpublico/media/catalogo/carretilla_3.jpg) (22 feb. 2008).
- 20 <http://intranet.frsfco.utn.edu.ar/gfiv/temas/poleas/poleas.htm> (14 feb. 2008).
- 21 [http://materiales.eia.edu.co/ciencia de los materiales/articulo-plasticos de ingenieria.htm](http://materiales.eia.edu.co/ciencia_de_los_materiales/articulo-plasticos_de_ingenieria.htm) (28 feb. 2008).

- 22 <http://montacargas.com/> (9 oct. 2007).
- 23 <http://pdf.directindustry.com/pdf/maxon-motor/Maxon-A-max-7173.html> (13 feb. 2008).
- 24 <http://www.1000inventions.com/detail2.php?id=1043> (8 oct. 2007).
- 25 <http://www.acambiode.com/> (14 feb. 2008).
- 26 [http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia\\_Electricidad.htm](http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm) (4 oct. 2007).
- 27 <http://www.ai.rug.nl/robocupathome/documents/rulebook.pdf> (3 oct. 2007).
- 28 <http://www.amarconi.com.ar/maquinasViales.php> (14 feb. 2008).
- 29 <http://www.ascensoresyelevadores.com/montacargas.htm> (4 oct. 2007).
- 30 <http://www.conacyt.mx/comunicacion/Agencia/notas-vigentes/robotathome.htm> (14 ene. 2008).
- 31 [http://www.construmatica.com/construpedia/Gato\\_Mecánico](http://www.construmatica.com/construpedia/Gato_Mecánico) (4 oct. 2007).
- 32 <http://www.datasheetarchive.com/specsheet/HOA1404-2.html> (13 feb. 2008).
- 33 <http://www.diseno-art.com/encyclopedia/archive/ASIMO.html> (14 feb. 2008).
- 34 [http://www.elda.hr/english/HTML/slusni\\_aparati/pinceta.htm](http://www.elda.hr/english/HTML/slusni_aparati/pinceta.htm) (6 jun. 2008).
- 35 <http://www.encuentrolaboral.com/imagen-42906> (14 feb. 2008).
- 36 <http://www.heartfineart.com/Fluxlist.html> (22 feb. 2008).
- 37 [http://www.lacapital.com.ar/2007/10/07/seniales/noticia\\_420274.shtml#](http://www.lacapital.com.ar/2007/10/07/seniales/noticia_420274.shtml#) (9 oct. 2007).

- 38 <http://www.liftruck.co.uk/images/jcb-hand-pallet-truck.jpg> (9 oct. 2008).
- 39 <http://www.maxonmotorusa.com/A-max.asp> (13 feb. 2008).
- 40 [http://www.phidgets.com/products.php?product\\_id=1106](http://www.phidgets.com/products.php?product_id=1106) (22 feb. 2008).
- 41 <http://www.robotstore.com/store/product.asp?pid=806&catid=1565> (13 feb. 2008).
- 42 <http://www.steren.com/catalogo> (13 feb. 2008).
- 43 <http://www.tecniaceros.com/images/nylamid2.jpg> (27 feb. 2008).

## ANEXO 1

### MANUAL DE USO

#### **Recomendaciones para óptimo funcionamiento del brazo y para el programador**

Conviene desarrollar dos programas por separado, uno de calibrado y otro para recoger el periódico, de manera que si se desea hacer varios intentos consecutivos para recogerlo, se evite realizar la secuencia de calibración para cada uno.

Secuencia para calibrar el brazo y asegurar una apertura correcta de la pinza:

- 1 El brazo se encuentra recogido, esto es, con el máximo valor en el eje z y la pinza cerrada.
- 2 Se abre la pinza hasta que visualmente se tienen  $90^\circ$  con respecto al riel y  $0^\circ$  con respecto al piso.
- 3 Se cierra la pinza hasta que el sensor óptico ha detectado “n” vueltas del eje del motor HSIANG NENG, donde “n” es menor a 25 vueltas.  $n=25$  es

el número de vueltas máximo sin periódico. Considerar que cuando existe periódico, el número debe ser menor, de tal forma que las espátulas no se vayan doblando con el tiempo, pues esto aumentaría el ángulo de incidencia con el suelo.

- 4 Se genera una señal visual que indica que el brazo está listo para ser usado.

Al ir cerrando la pinza con el periódico, se generará una curva de fuerzas provenientes del sensor de fuerza. Se recomienda programar dos secuencias: una para cuando existe esta curva y otra para cuando no. De esta forma se puede saber si hay que cerrar la pinza 25 vueltas (cuando no hay periódico ni curva de presiones) o sólo unas 20 o menos (cuando hay periódico o curva de presiones)

Secuencia para recoger un periódico:

- 1 Se verifica que se tiene la señal visual encendida para ser usado (ver paso 4 en el programa de calibrado).
- 2 Se coloca al robot apuntando con el brazo hacia el centro del periódico y con una distancia entre centros de 60 *cm*, por ejemplo. Si el robot detectara la posición y ángulo de ataque más conveniente, se colocaría en esa posición apuntando siempre hacia el centro del periódico.
- 3 Sin cambiar la posición de *z* (estando cerrando el circuito del micro interruptor superior con palanca, color pistache) se inicia la apertura de la pinza desde la posición -25 vueltas hasta las 0 vueltas, llegando así a una apertura de 90° aproximadamente. El mecanismo tiene cierto juego y puede parecer que son más de 90°, esto se corrige cuando llega al piso.
- 4 Se desciende, cambiando la posición de *z*. Los dos micro interruptores (con palanca y rodaja, color negro) que se encuentran en los talones de la pinza, indicarán el frenado de la carrera. De esta forma se asegura que se ha llegado al suelo (se tenga el piso que se tenga: tapete, baldosas...) y que la pinza está abierta de forma paralela a éste.

- 5 El robot se acerca con el brazo  $0.25\text{ m}$  y se introduce el periódico en la pinza.
- 6 Se cierra la pinza 22 vueltas si se detectan variaciones en el sensor de fuerza; se cierra 25 vueltas si no hay variaciones.
- 7 Se eleva el nivel del riel (eje z) hasta que llega a la posición del micro interruptor superior (con palanca, color pistache).
- 8 Si se cerró 22 vueltas se traslada el periódico con el robot hasta la posición deseada, si se cerró 25 se enciende nuevamente la señal visual para ser usado y se vuelve al paso 1.
- 9 Se abre la pinza contando -25 vueltas hasta llegar a una posición mayor de  $90^\circ$  (esto es, si se encontraba a -3 vueltas del cero, ahora se encuentra a  $-3 - 25 = -28$  vueltas ) y se retira el robot  $0.25\text{ m}$  hacia atrás.
- 10 Se cierra la pinza 28 vueltas y se enciende la señal visual que indica que puede volverse a usar, pues se encuentra calibrado.

El micro interruptor con palanca (color pistache), que se encuentra en la parte inferior a un costado del riel, sirve como “**Stop Button**” (o botón de paro) para no dañar el sistema en caso de que el programa falle, o se exceda el límite en el eje z.



## ANEXO 2

### PLANOS, DIMENSIONES Y PIEZAS UTILIZADAS

- **Tabla de piezas del prototipo**

Cantidad			Nombre	Dimensiones y Referencias
100			Prototipo de brazo mecánico	Plano 27
	101		Parte externa del riel de extensión modificada	Plano 12
	102		MECCANO pieza (111)	Lista T. y T.
	110		MECCANO pieza (37B)	Lista T. y T.
	105		MECCANO pieza (111C)	Lista T. y T.
	101		Tuerca de presión	Lista T. y T.
	101		Riel para porta micro interruptores de palanca	Plano 2
	102		Solera porta micro interruptores de palanca	Plano 4
	102		MSW-1 (de palanca)	Apartado 4.7
	104		Tornillo b M2.5x0.45x9	Lista T. y T.
	101		Solera porta lámina 1 motor MAXON	Plano 3
	101		MECCANO pieza (103H)	Plano 22
	103		MECCANO pieza (37A)	Plano 23
	102		Embellecedor esférico	Plano 20
	101		Parte interna del riel de extensión	Plano 27
	101		Parte superior del riel de extensión	Plano 27

	104			MECCANO pieza (38)	Plano 23
	200			Mecanismo de agarre	Plano 27
		201		MECCANO pieza (53)	Plano 22
		203		Tuerca de presión	Lista T. y T.
		207		MECCANO pieza (37B)	Lista T. y T.
		208		MECCANO pieza (37H)	Plano 23
		201		MECCANO pieza (212)	Plano 15
		201		MECCANO pieza (48)	Plano 22
		202		MECCANO pieza (9F)	Plano 22
		300		Sistema de sujeción	Plano 27
			301	MECCANO pieza (51F)	Plano 22
			301	Eje 1 3/4"	Plano 19
			301	Eje 2"	Plano 19
			302	Eje 1 1/4"	Plano 19
			301	Eje 3.4"	Plano 19
			309	Collarín 5/32"	Plano 19
			314	MECCANO pieza (38)	Plano 23
			304	MECCANO pieza (37A)	Plano 23
			302	Tuerca	Lista T. y T.
			302	Tornillo BSW 5/32" - 32	Lista T. y T.
			323	MECCANO pieza (38A)	Plano 23
			302	MECCANO pieza (111C)	Lista T. y T.
			301	MECCANO pieza (111A)	Lista T. y T.
			302	MECCANO pieza (37B)	Lista T. y T.
			302	MECCANO pieza (77)	Plano 22
			302	MECCANO pieza (2A)	Plano 18
			302	MECCANO pieza (133C)	Plano 22
			301	Tuerca de mariposa con sólo un ala	Plano 17
			302	MECCANO pieza (3)	Plano 18
			302	MECCANO pieza (4)	Plano 18
			302	Porta sensor de fuerza	Plano 16
			301	PH1106	Apartado 4.7
			304	Tornillo BSW 1/16" - 60	Lista T. y T.
			301	Protector de sensor de fuerza	Plano 24
			302	MECCANO pieza (90A)	Plano 22
		202		Collarín 5/32"	Plano 19
		201		Eje 4"	Plano 19
		400		Sistema de acercamiento	Plano 27
			402	MECCANO pieza (9F)	Plano 22
			408	MECCANO pieza (37B)	Lista T. y T.
			402	Porta micro interruptores de palanca y rodaja	Plano 1
			404	Tornillo M2.5x0.45x9	Lista T. y T.
			402	MSW-1 (de palanca y rodaja)	Apartado 4.7
			406	MECCANO pieza (147D)	Lista T. y T.
			406	MECCANO pieza (37A)	Plano 23
			406	MECCANO pieza (38)	Plano 23
			402	Sistema de aseguramiento para ejes (armella)	Plano 19

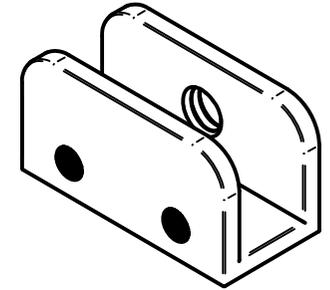
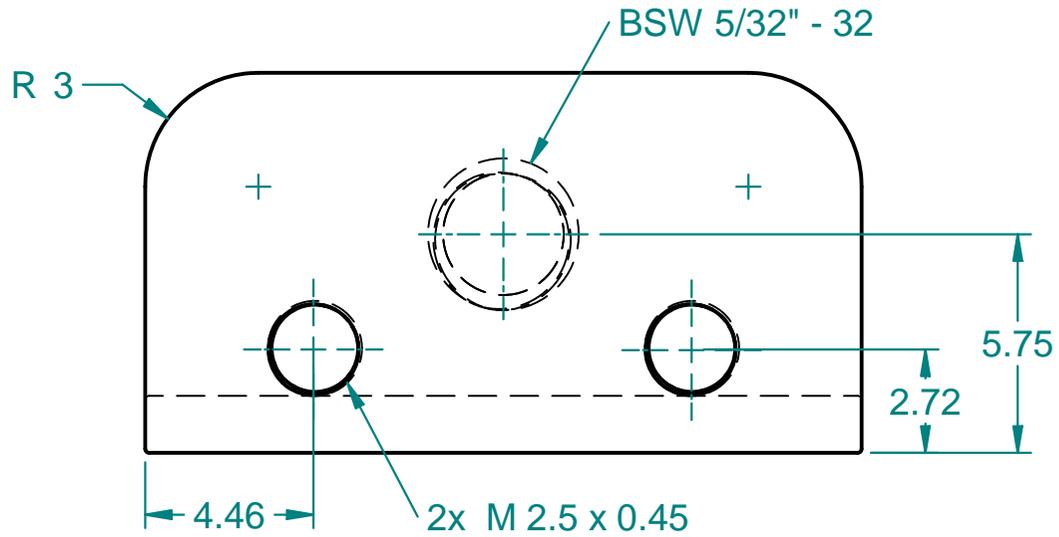
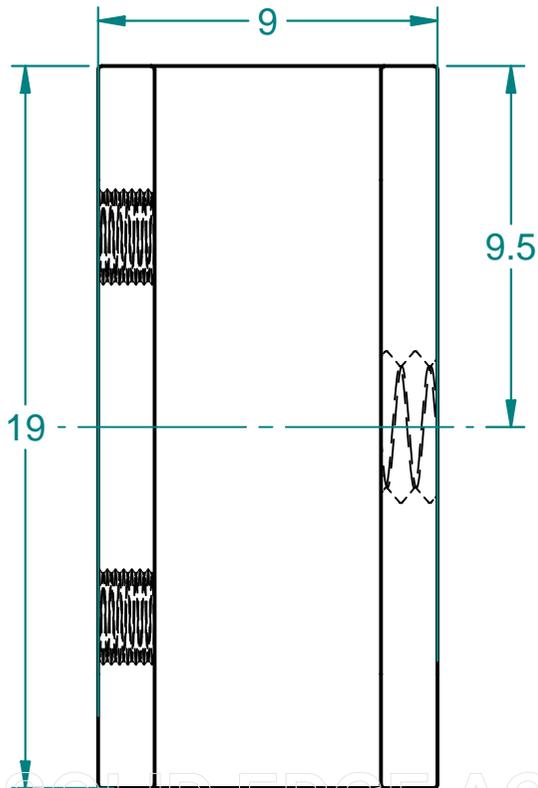
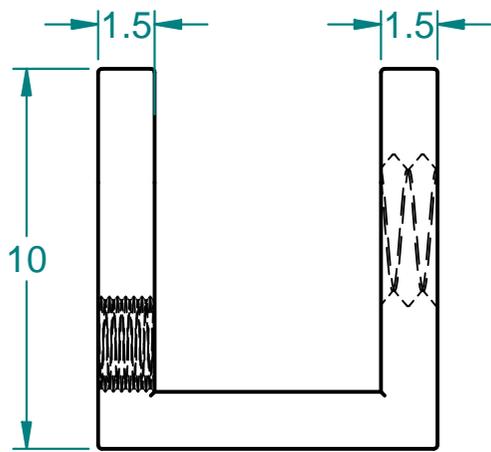
		404	MECCANO pieza (5)	Plano 18
		412	MECCANO pieza (38A)	Plano 23
		404	MECCANO pieza (133C)	Plano 22
		402	MECCANO pieza (38B)	Plano 23
		406	MECCANO pieza (37H)	Plano 23
		401	MECCANO pieza (51C)	Plano 22
		402	MECCANO pieza (2)	Plano 18
		404	MECCANO pieza (133)	Plano 22
	500		Sistema de transmisión para mecanismo de agarre	Plano 27
		501	MECCANO pieza (74)	Plano 22
		501	MECCANO pieza (46A)	Plano 22
		501	MECCANO pieza (51D)	Plano 22
		505	MECCANO pieza (37H)	Plano 23
		501	MECCANO pieza (37A)	Plano 23
		502	MECCANO pieza (111A)	Lista T. y T.
		503	MECCANO pieza (37B)	Lista T. y T.
		502	Tornillo a M2.5x0.45x5	Lista T. y T.
		501	Tornillo b M2.5x0.45x5	Lista T. y T.
		502	MECCANO pieza (38)	Plano 23
		502	MECCANO pieza (12B)	Plano 22
		501	HN-GH12-1632T	Apartado 4.5.3
		501	Cople motor HSIANG NENG	Plano 13
		501	Varilla roscada pequeña	Plano 14
		502	MECCANO pieza (38A)	Plano 23
		501	Placa porta sensor óptico	Plano 11
		501	Tornillo M2.5x0.45x9	Lista T. y T.
		501	HOA1404-2	Apartado 4.6
	600		Transmisión para sistema de elevación	Plano 27
		601	Transmisión varilla roscada grande	Plano 9
		602	MECCANO pieza (37A)	Plano 23
		602	MECCANO pieza (59B)	Plano 23
		604	MECCANO pieza (37B)	Lista T. y T.
		601	Tuerca 5/16", barrenada	Plano 10
		601	Varilla roscada grande	Plano 8
		601	Cople motor MAXON	Plano 7
		602	Tornillo b M2.5x0.45x5	Lista T. y T.
		601	MECCANO Pieza (45)	Plano 15
		601	Tuerca de presión	Lista T. y T.
		601	Porta rodamiento varilla roscada	Plano 12
		602	MECCANO pieza (111C)	Lista T. y T.
		601	MECCANO pieza (147G)	Lista T. y T.
	700		Motor para sistema de elevación	Plano 27
		701	Lámina 1 motor MAXON	Plano 5
		707	MECCANO pieza (37B)	Lista T. y T.
		703	MECCANO pieza (38)	Plano 23
		701	Lámina 2 motor MAXON	Plano 6
		703	MECCANO pieza (37A)	Plano 23

		701		A-MAX 250443	Apartado 4.5.4
		703		Tornillo M2.5x0.45x3.5	Lista T. y T.
800				Sistema de montaje	Plano 28
	801			Soporte para montar brazo mecánico	Plano 25
	804			Ángulos para soporte	Plano 26
	816			Tornillo BSW 3/16" - 24	Lista T. y T.

- **Lista de tornillos y tuercas utilizadas**

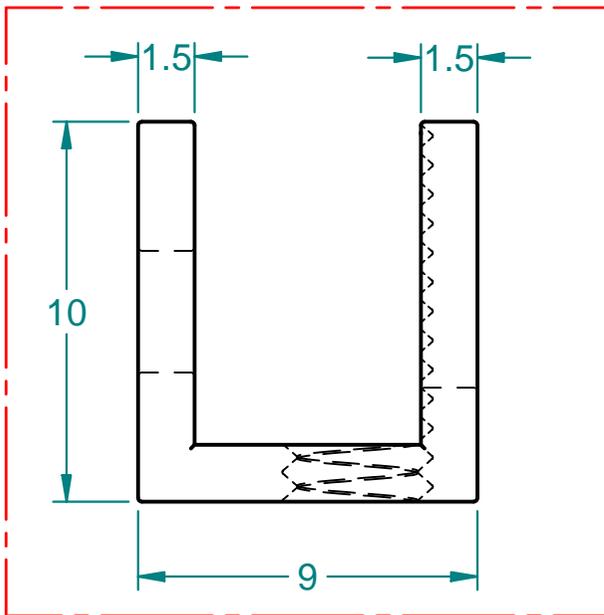
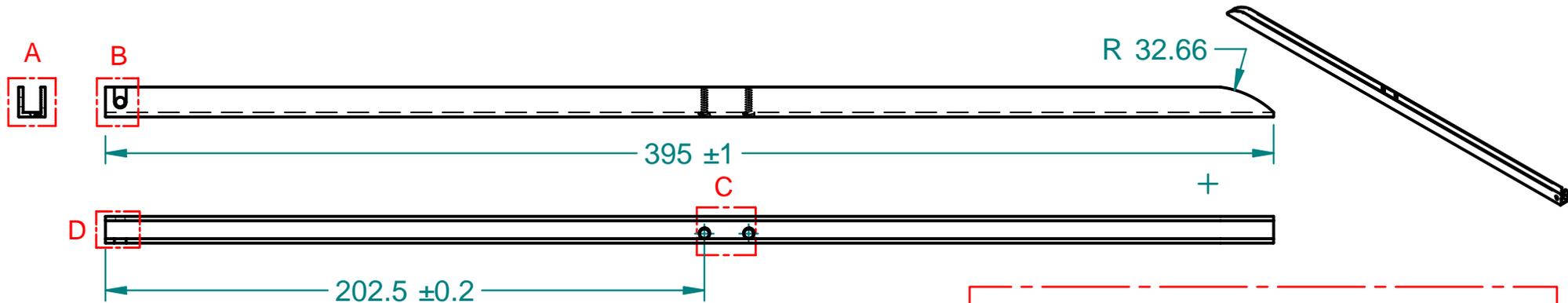
Tornillos y Tuercas ( Lista T. y T.)					
Nombre	Cabeza y/o Configuración	Paso	Ø	L	Tipo de Apriete
MECCANO (37B)	Cilíndrica	Normal	5/32"	15/64"	Allen
MECCANO (111C)	Cilíndrica	Normal	5/32"	3/8"	Allen
MECCANO (111A)	Cilíndrica	Normal	5/32"	1/2"	Allen
MECCANO (147D)	Cilíndrica	Normal	5/32"	9/16"	Allen
MECCANO (111)	Cilíndrica	Normal	5/32"	3/4"	Allen
MECCANO (111E)	Cilíndrica	Normal	5/32"	1"	Allen
MECCANO (147G)	Cilíndrica	Normal	5/32"	29/32"	Allen
MECCANO (111D)	Cilíndrica	Normal	5/32"	1 1/8"	Allen
Tornillo M2.5x0.45x3.5	Semiesférica	Normal	2.5 mm	3.5 mm	Cruz
Tornillo a M2.5x0.45x5	Tanque	Normal	2.5 mm	5 mm	Cruz
Tornillo b M2.5x0.45x5	Semiesférica	Normal	2.5 mm	5 mm	Cruz
Tornillo M2.5x0.45x9	Semiesférica	Normal	2.5 mm	9 mm	Cruz
Tornillo BSW 1/16" - 60	Tanque	Normal	1/16"	1/4"	Cruz
Tornillo BSW 3/16" - 24	Avellanada	Normal	3/16"	1/2"	Ranura
Tornillo BSW 5/32" - 32	Semiesférica	Normal	5/32"	21/16"	Cruz
MECCANO (37A)	Cuadrada	Normal	5/32"	2	Inglesa
MECCANO (37H)	Cuadrada	Normal	5/32"	5.78	Inglesa
Tuerca	Hexagonal	Normal	5/32"	0.1"	Inglesa
Tuerca de presión	Hexagonal	Normal	5/32"	0.225"	Inglesa

- **Planos y dimensiones**

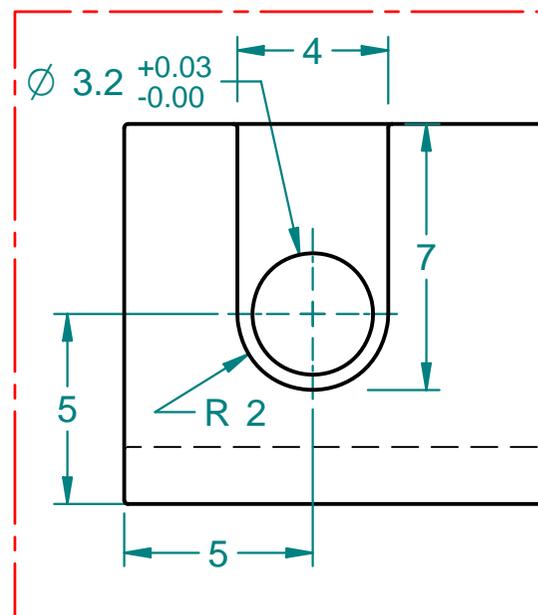


Escala: 5:1	Prototipo de brazo mecánico	
Pieza: Porta micro interruptores de P. y R.		
Autor: CLAUDIO HANSBERG PASTOR		Fecha: 21/10/08
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Aluminio	No. Plano: 01
	Acotaciones: mm	Formato: A4

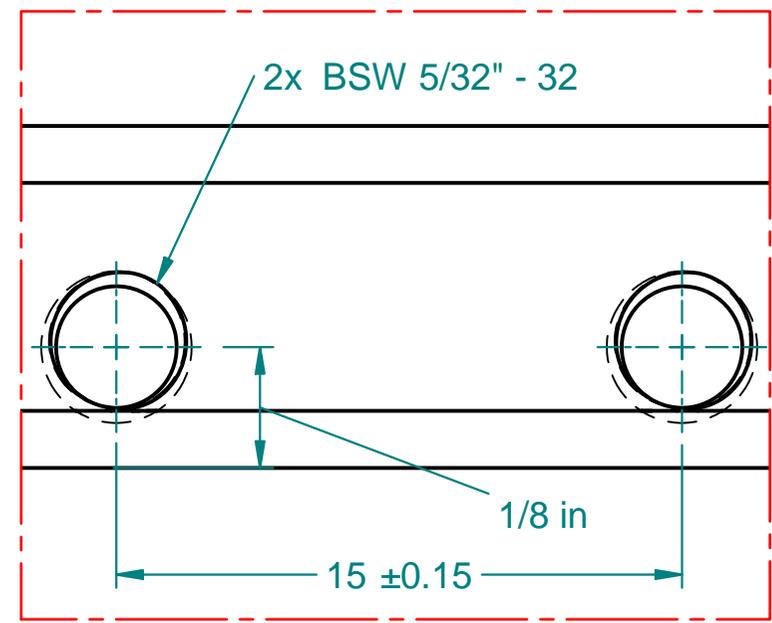
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



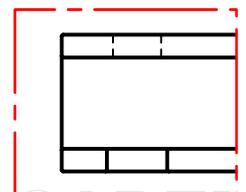
DETALLE A



DETALLE B



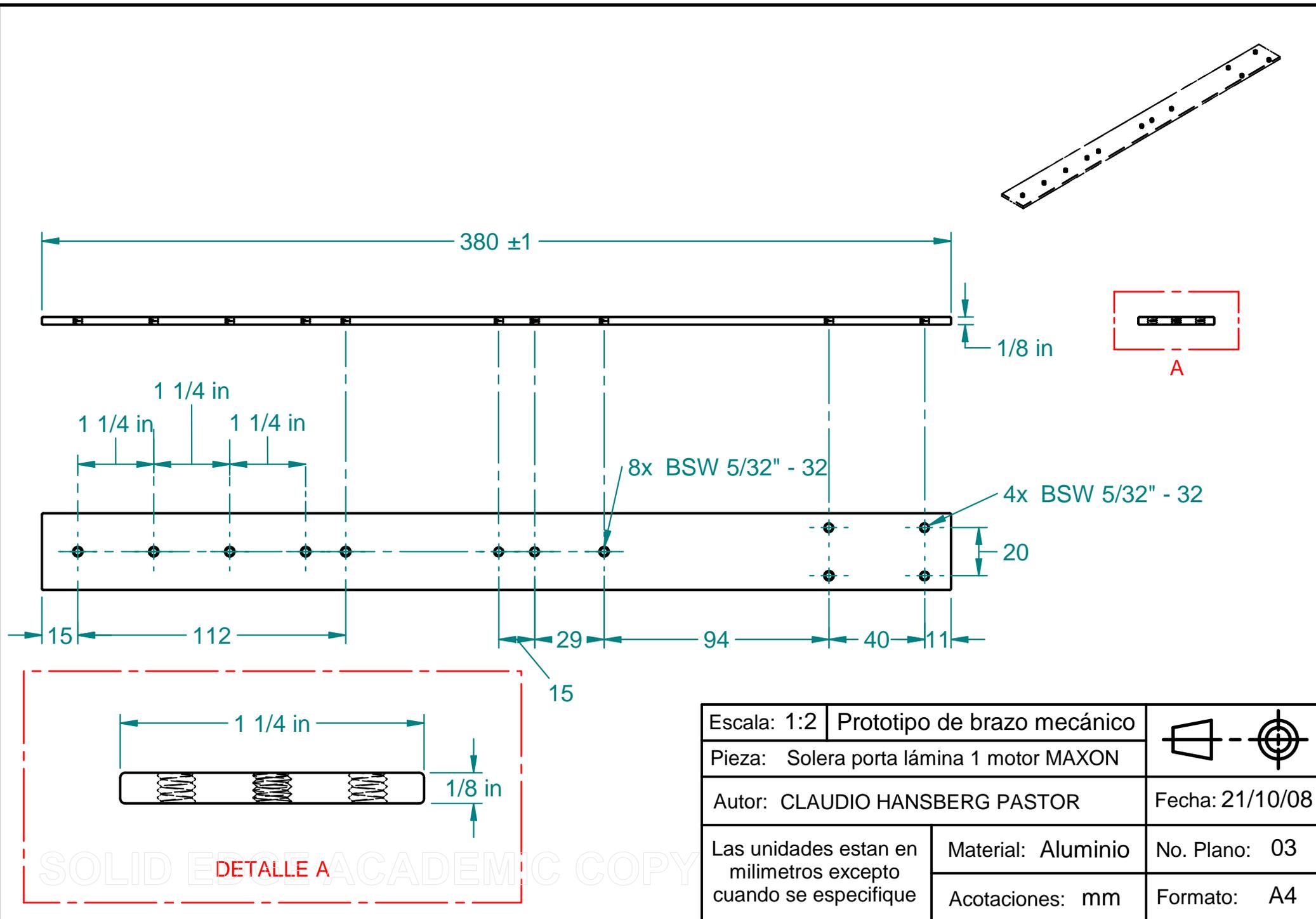
DETALLE C



DETALLE D

Escala: 1:2		Prototipo de brazo mecánico		
Pieza: Riel para porta micro interruptores de P.				
Autor: CLAUDIO HANSBERG PASTOR			Fecha: 21/10/08	
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Aluminio		No. Plano: 02	
	Acotaciones: mm		Formato: A4	

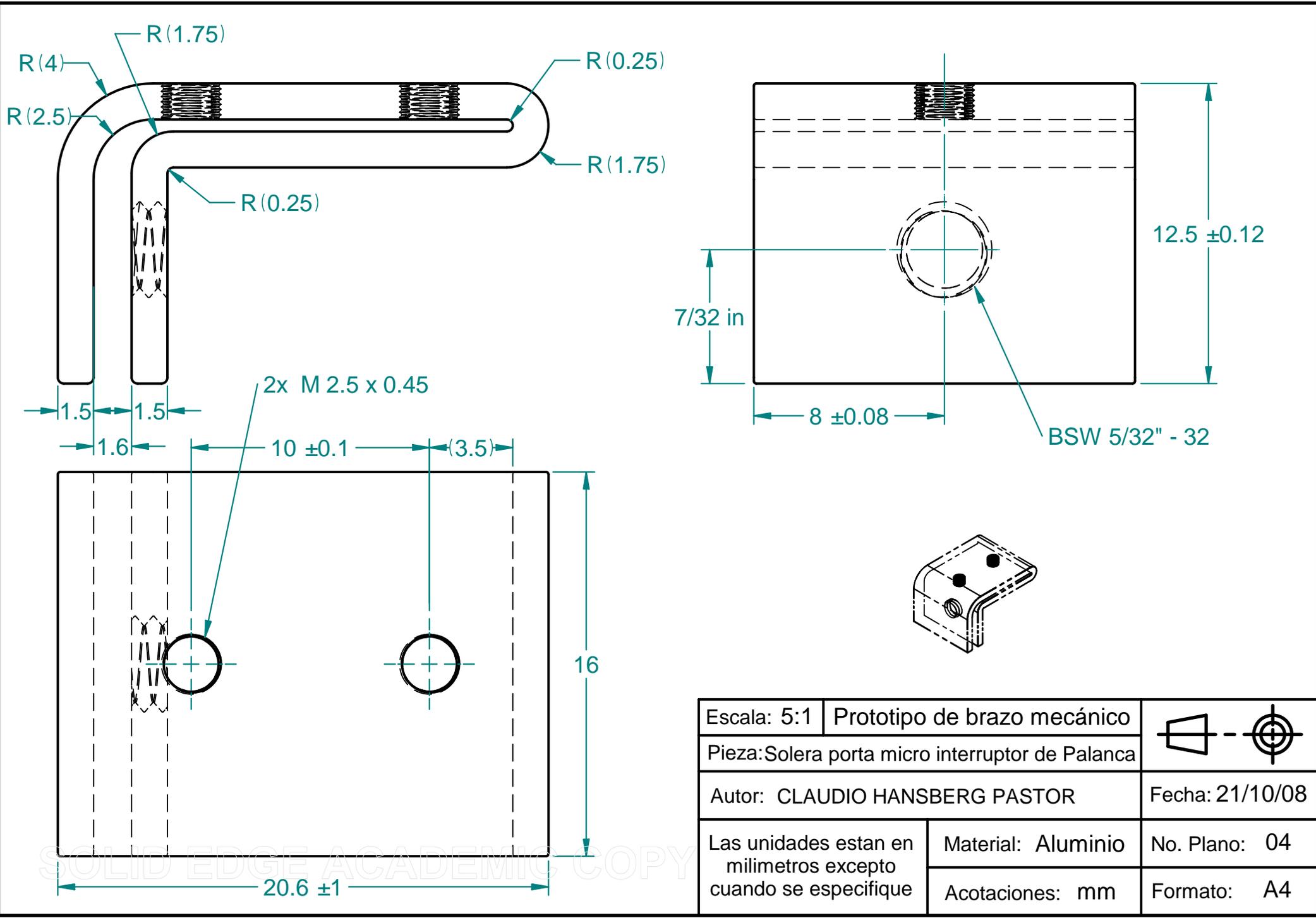
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



Escala: 1:2   Prototipo de brazo mecánico		
Pieza: Solera porta lámina 1 motor MAXON		
Autor: CLAUDIO HANSBERG PASTOR	Fecha: 21/10/08	
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Aluminio	No. Plano: 03
	Acotaciones: mm	Formato: A4

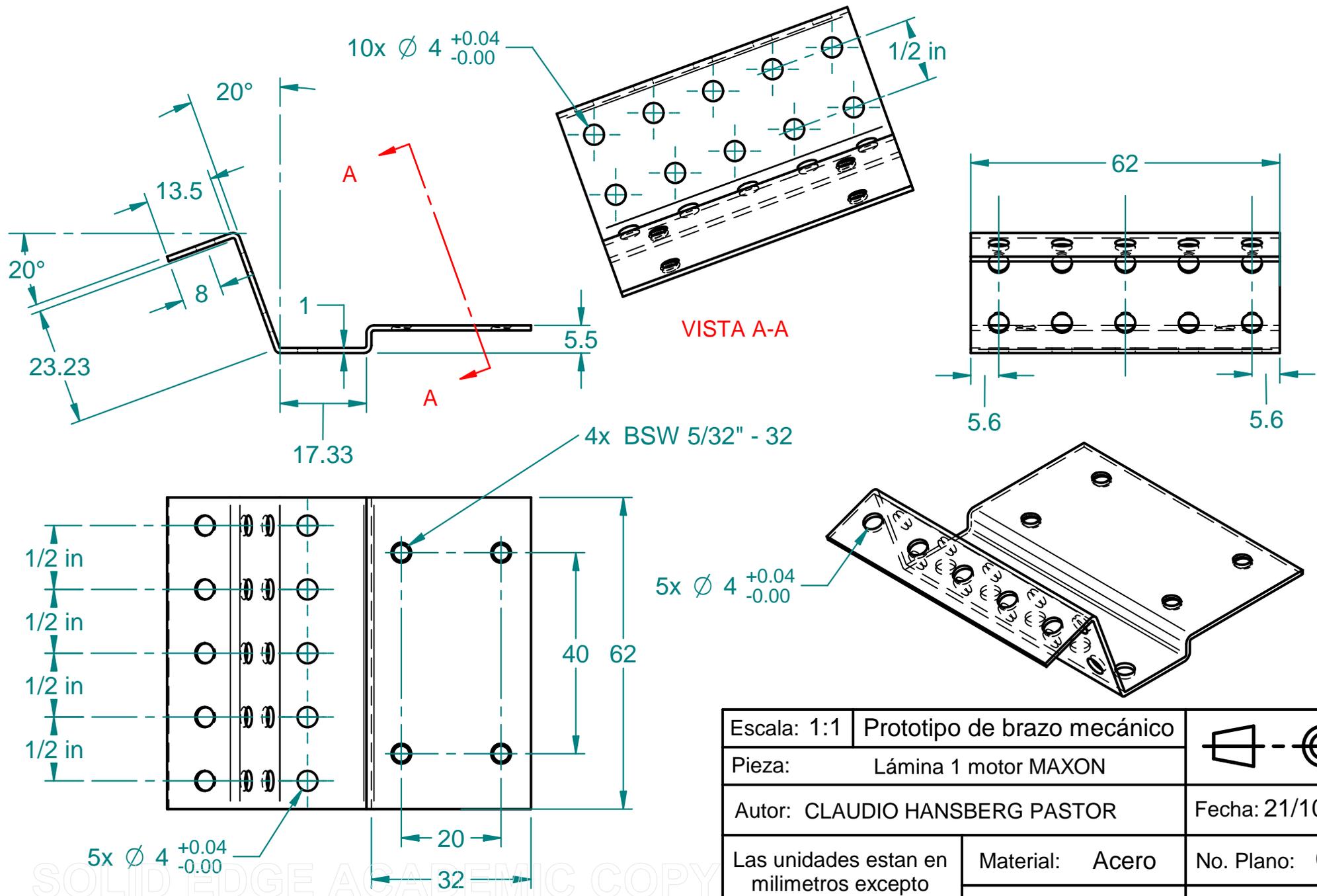
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

DETALLE A



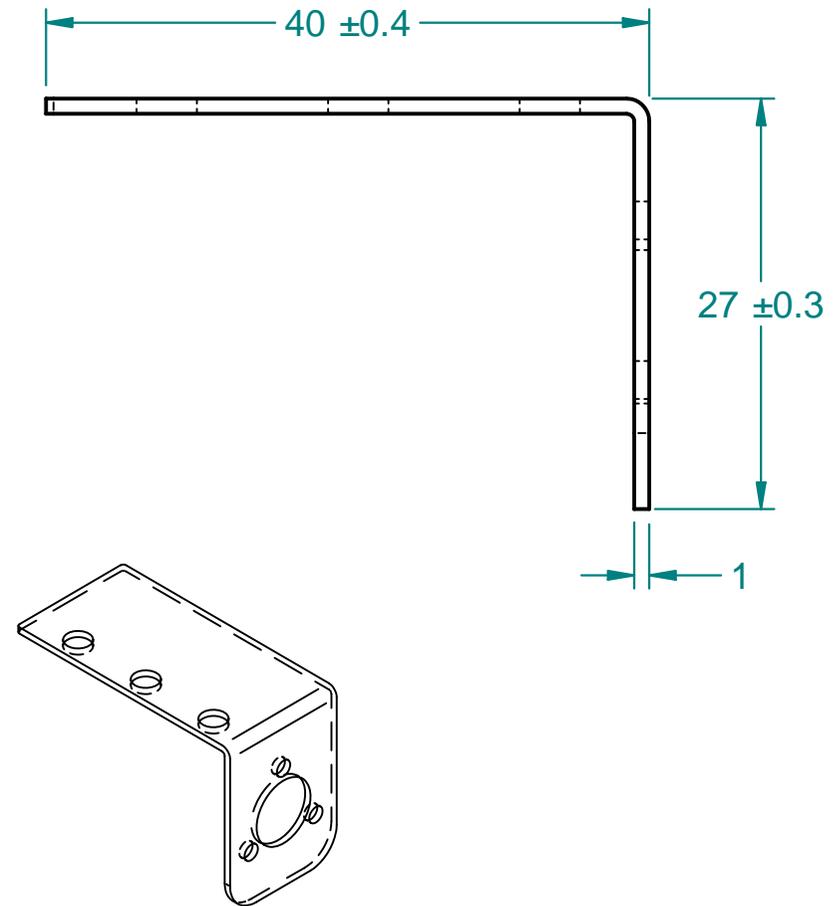
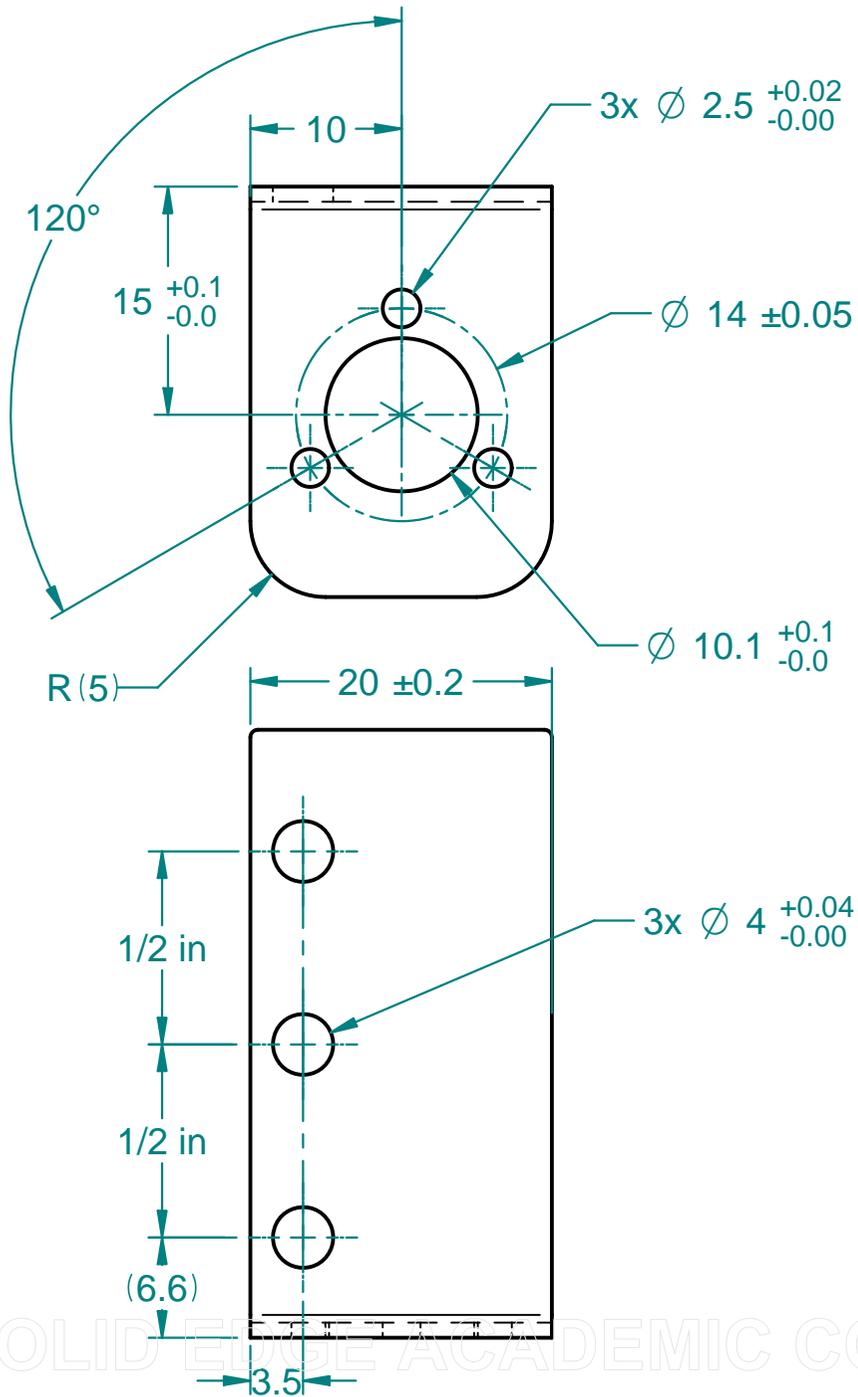
Escala: 5:1   Prototipo de brazo mecánico		
Pieza: Solera porta micro interruptor de Palanca		
Autor: CLAUDIO HANSBERG PASTOR		Fecha: 21/10/08
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Aluminio	No. Plano: 04
	Acotaciones: mm	Formato: A4

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



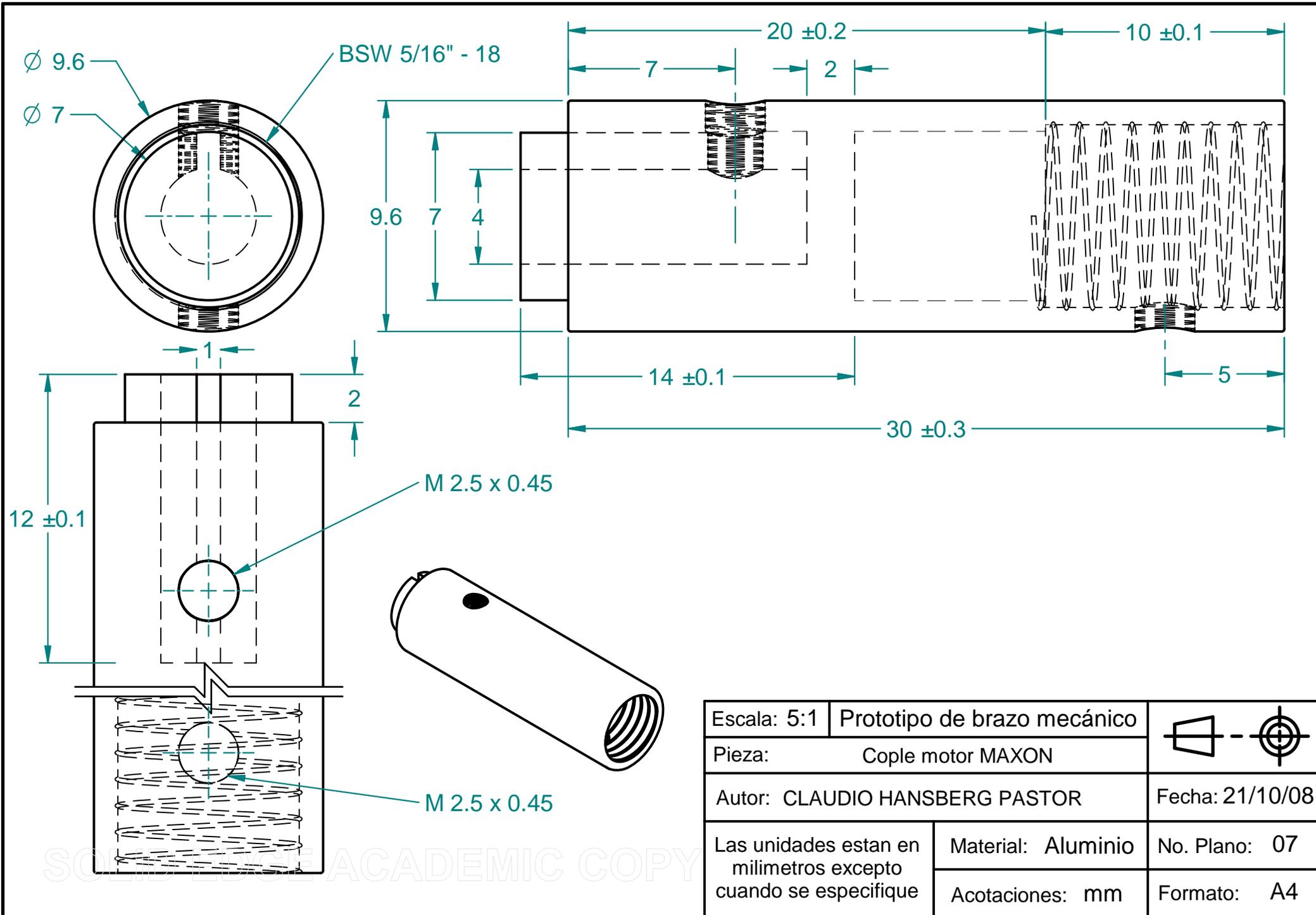
Escala: 1:1	Prototipo de brazo mecánico	
Pieza: Lámina 1 motor MAXON		
Autor: CLAUDIO HANSBERG PASTOR		Fecha: 21/10/08
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Acero	No. Plano: 05
	Acotaciones: mm	Formato: A4

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



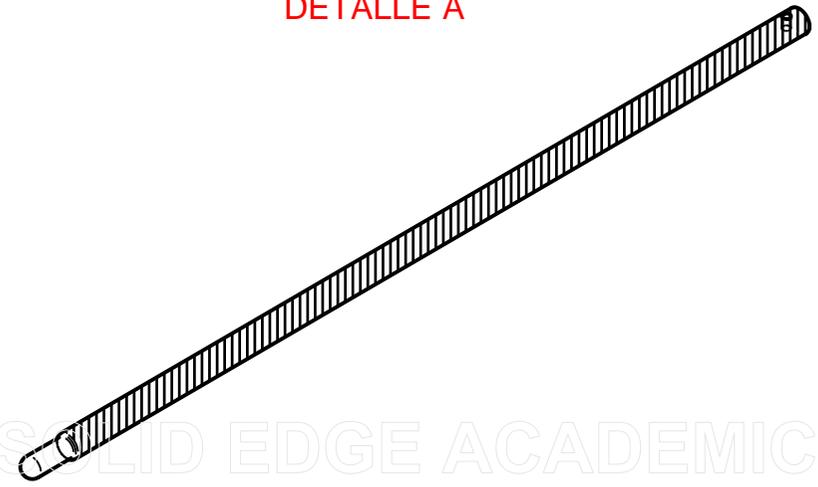
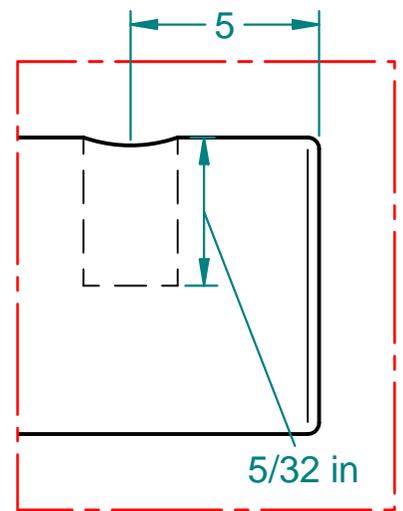
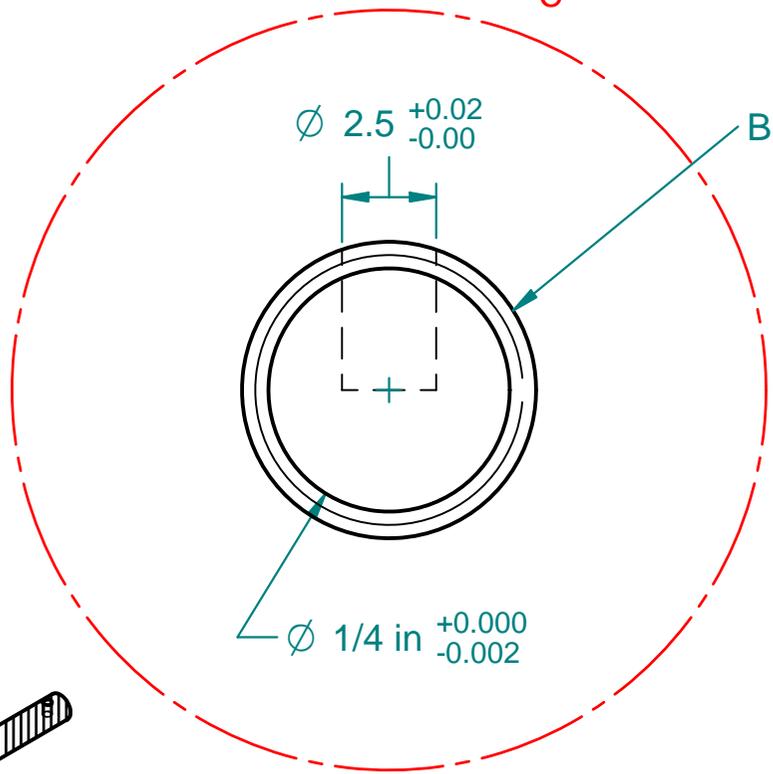
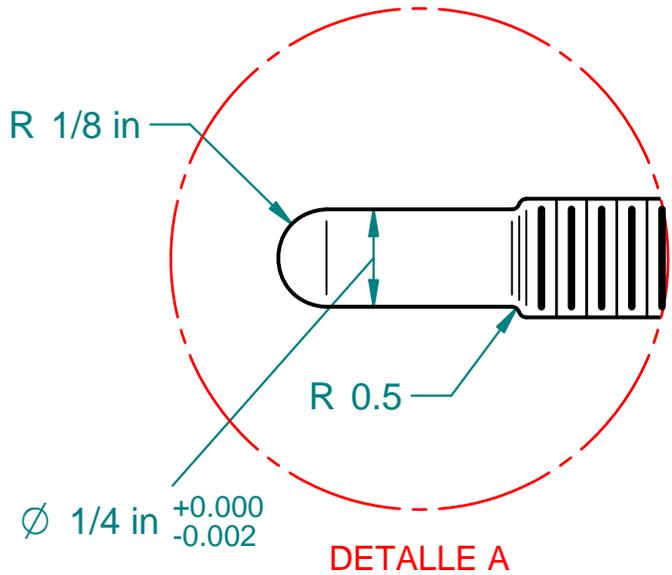
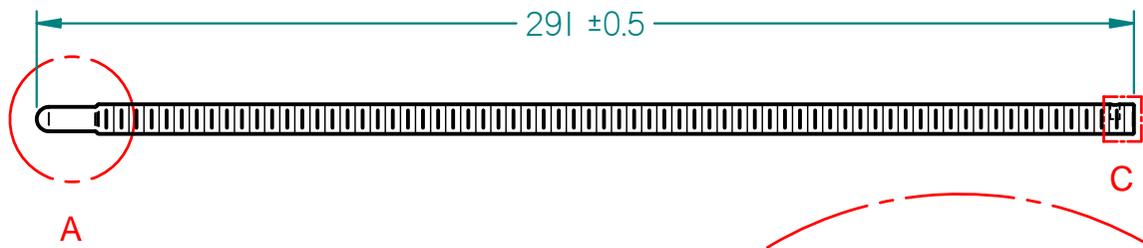
Escala: 2:1	Prototipo de brazo mecánico	
Pieza: Lámina 2 motor MAXON		
Autor: CLAUDIO HANSBERG PASTOR		Fecha: 21/10/08
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Acero	No. Plano: 06
	Acotaciones: mm	Formato: A4

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



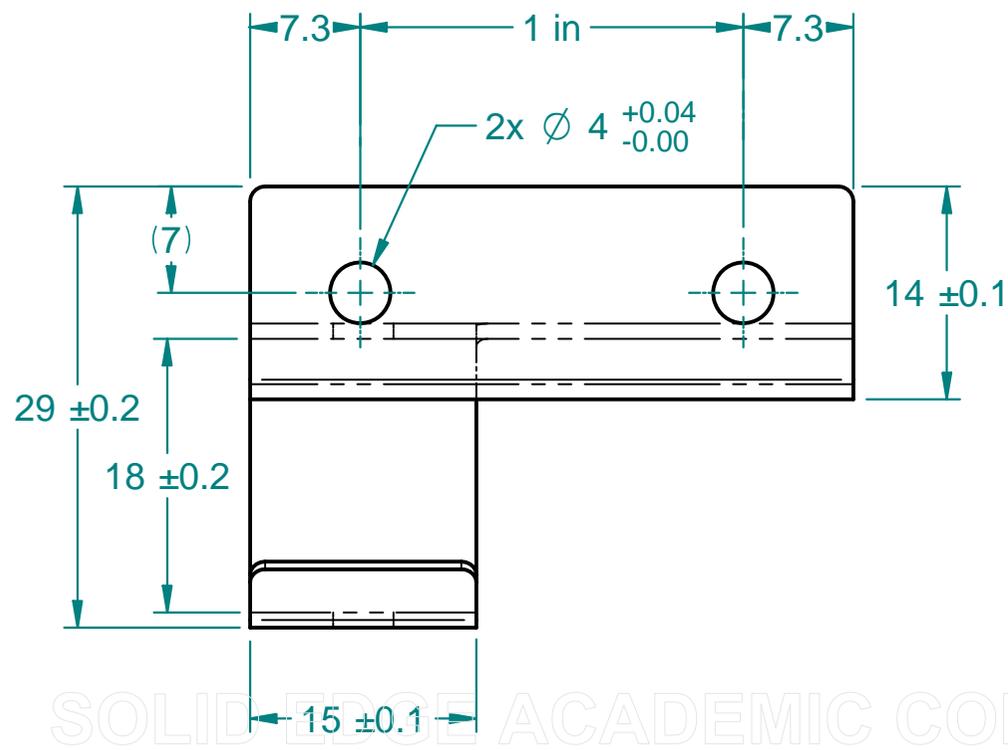
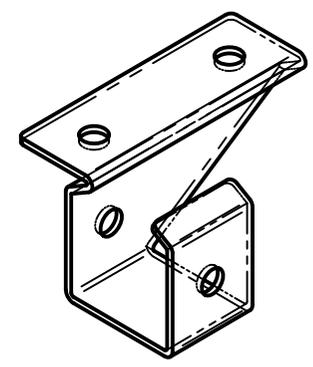
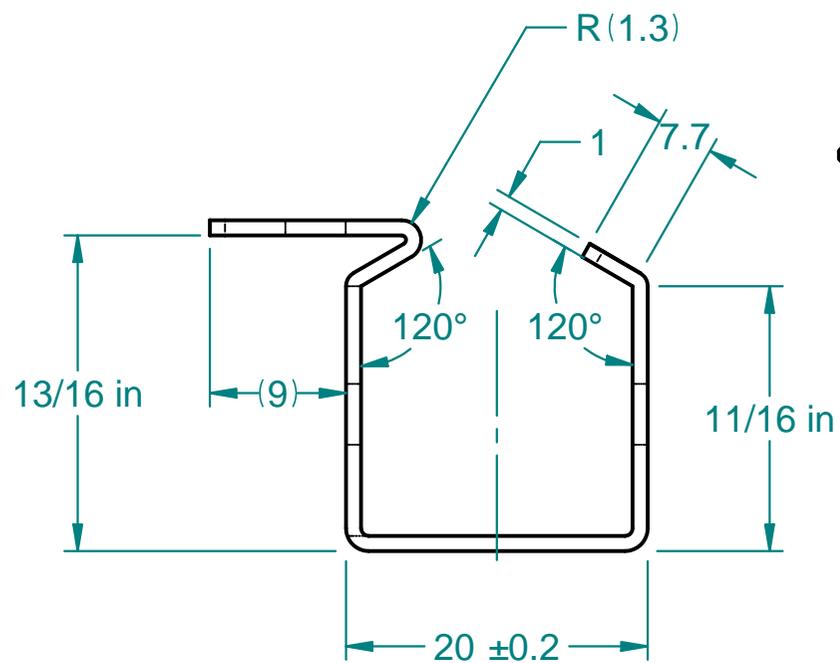
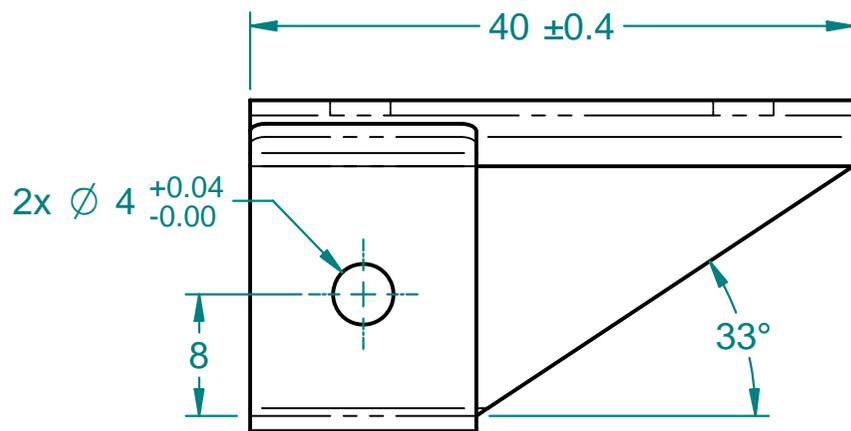
Escala: 5:1	Prototipo de brazo mecánico	
Pieza:	Cople motor MAXON	
Autor:	CLAUDIO HANSBERG PASTOR	Fecha: 21/10/08
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Aluminio	No. Plano: 07
	Acotaciones: mm	Formato: A4

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



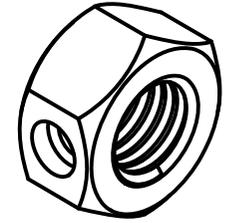
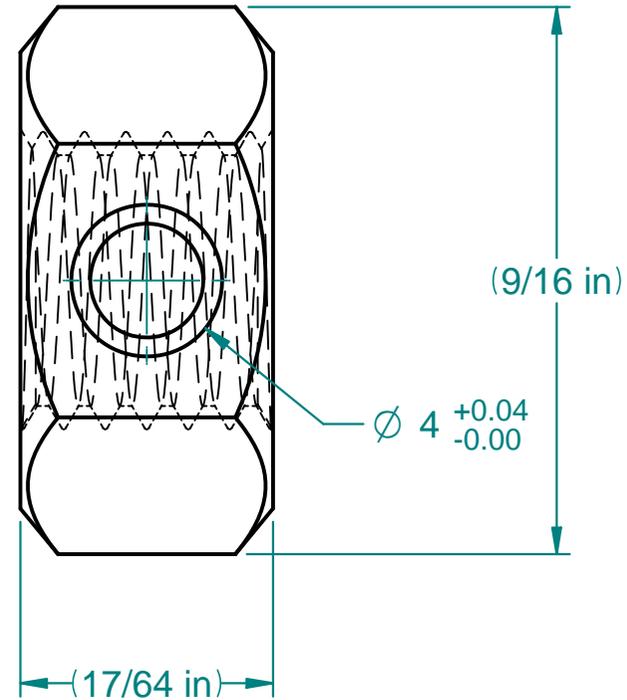
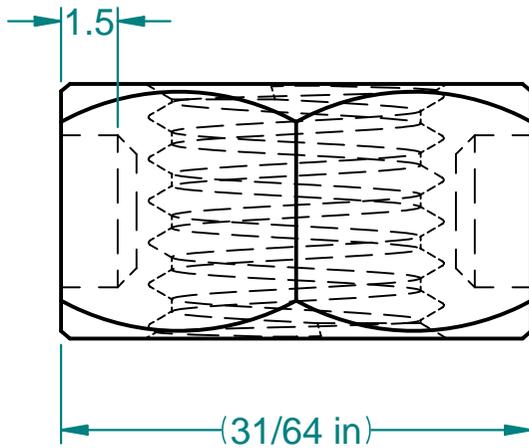
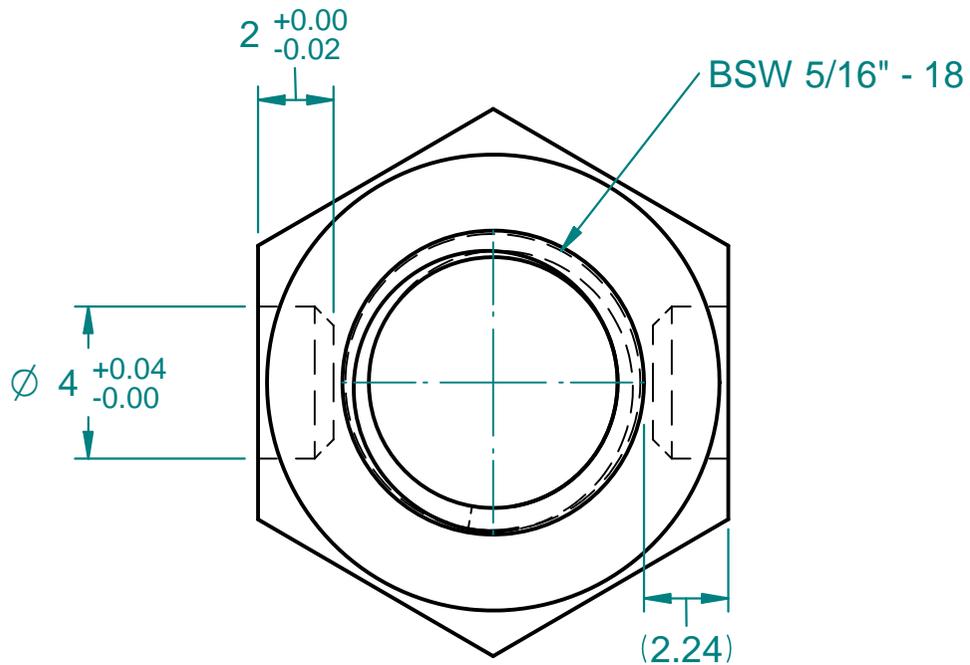
Escala: 1:2	Prototipo de brazo mecánico	
Pieza:	Varilla roscada grande	
Autor:	CLAUDIO HANSBERG PASTOR	Fecha: 21/10/08
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Acero inox.	No. Plano: 08
	Acotaciones: mm	Formato: A4

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

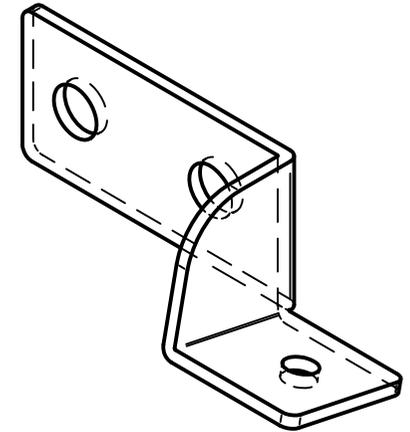
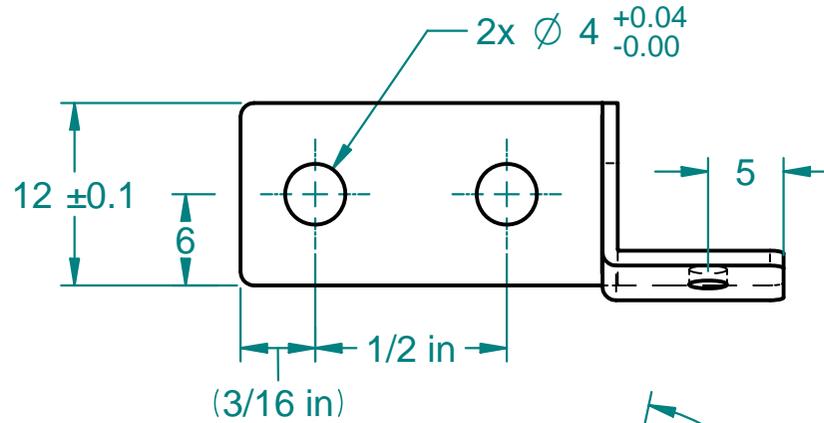
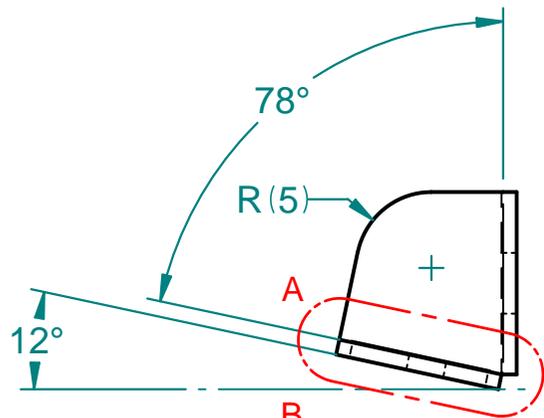


Escala: 2:1   Prototipo de brazo mecánico		
Pieza: Transmisión varilla roscada grande		
Autor: CLAUDIO HANSBERG PASTOR		Fecha: 21/10/08
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Acero	No. Plano: 09
	Acotaciones: mm	Formato: A4

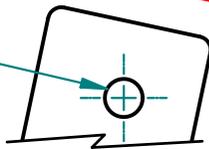
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



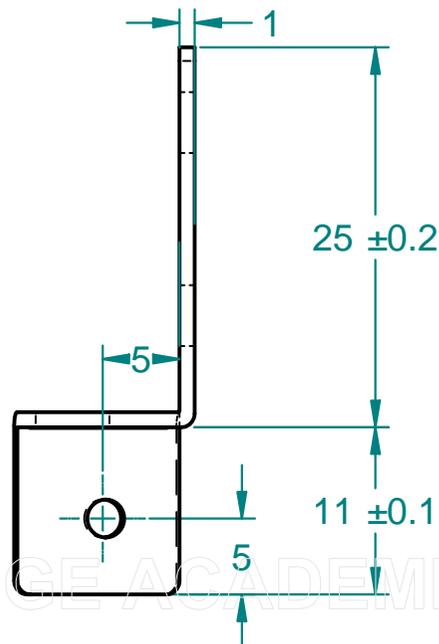
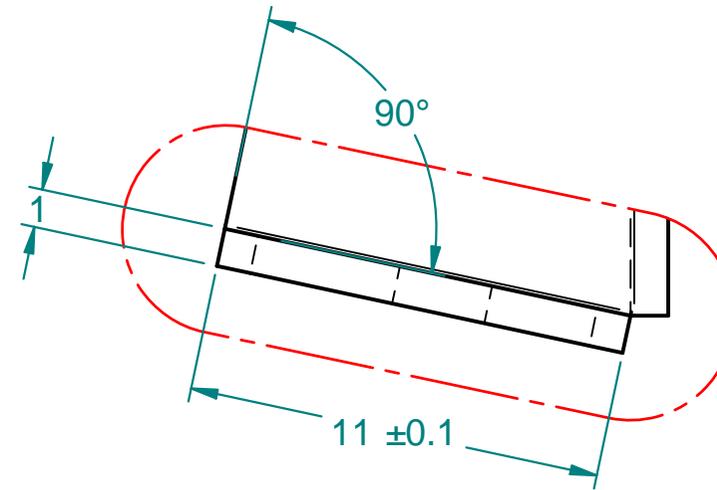
Escala: 5:1	Prototipo de brazo mecánico	
Pieza:	Tuerca 5/16 in, barrenada	
Autor:	CLAUDIO HANSBERG PASTOR	Fecha: 21/10/08
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Acero Inox.	No. Plano: 10
	Acotaciones: mm	Formato: A4



M 2.5 x 0.45

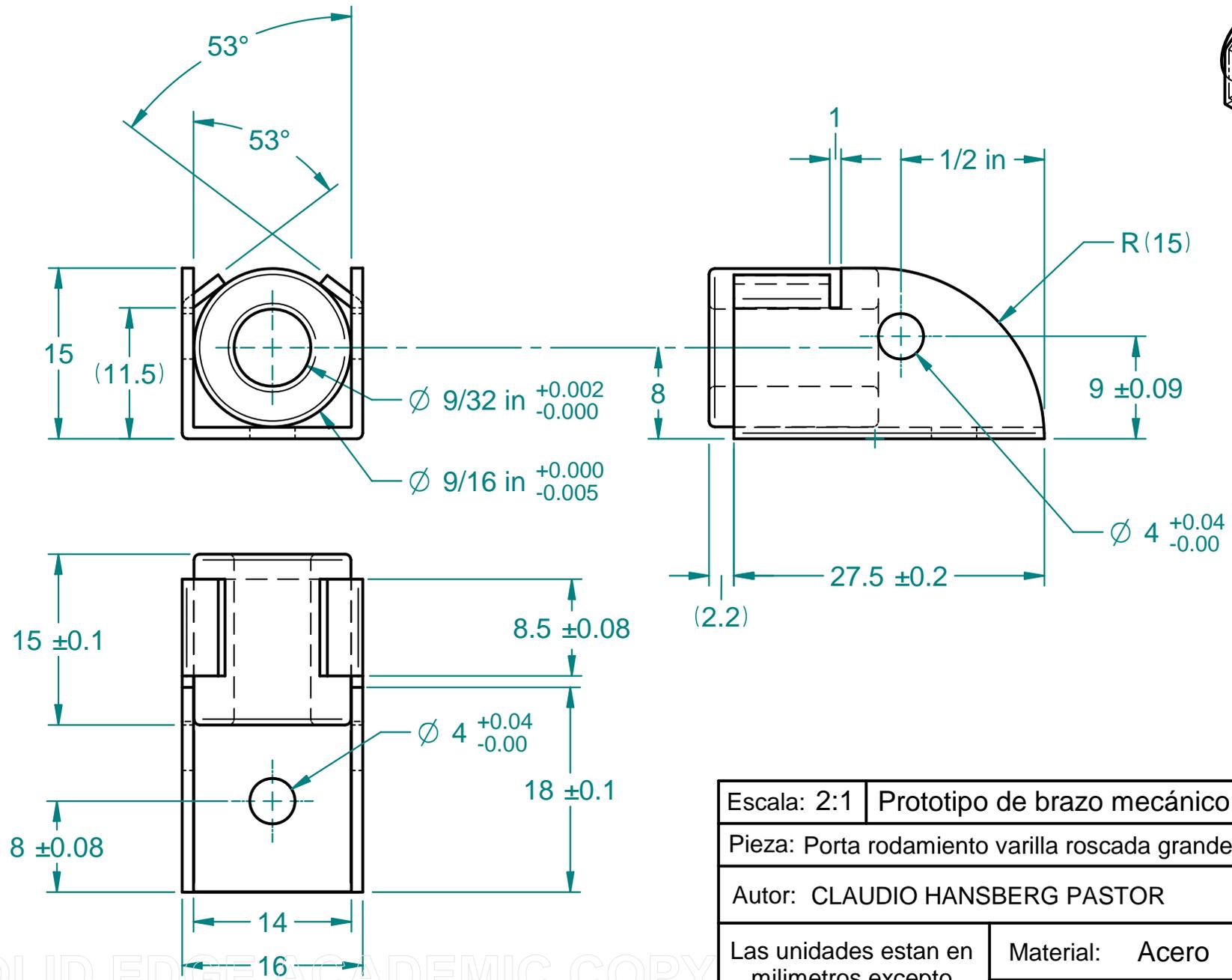


VISTA B-B



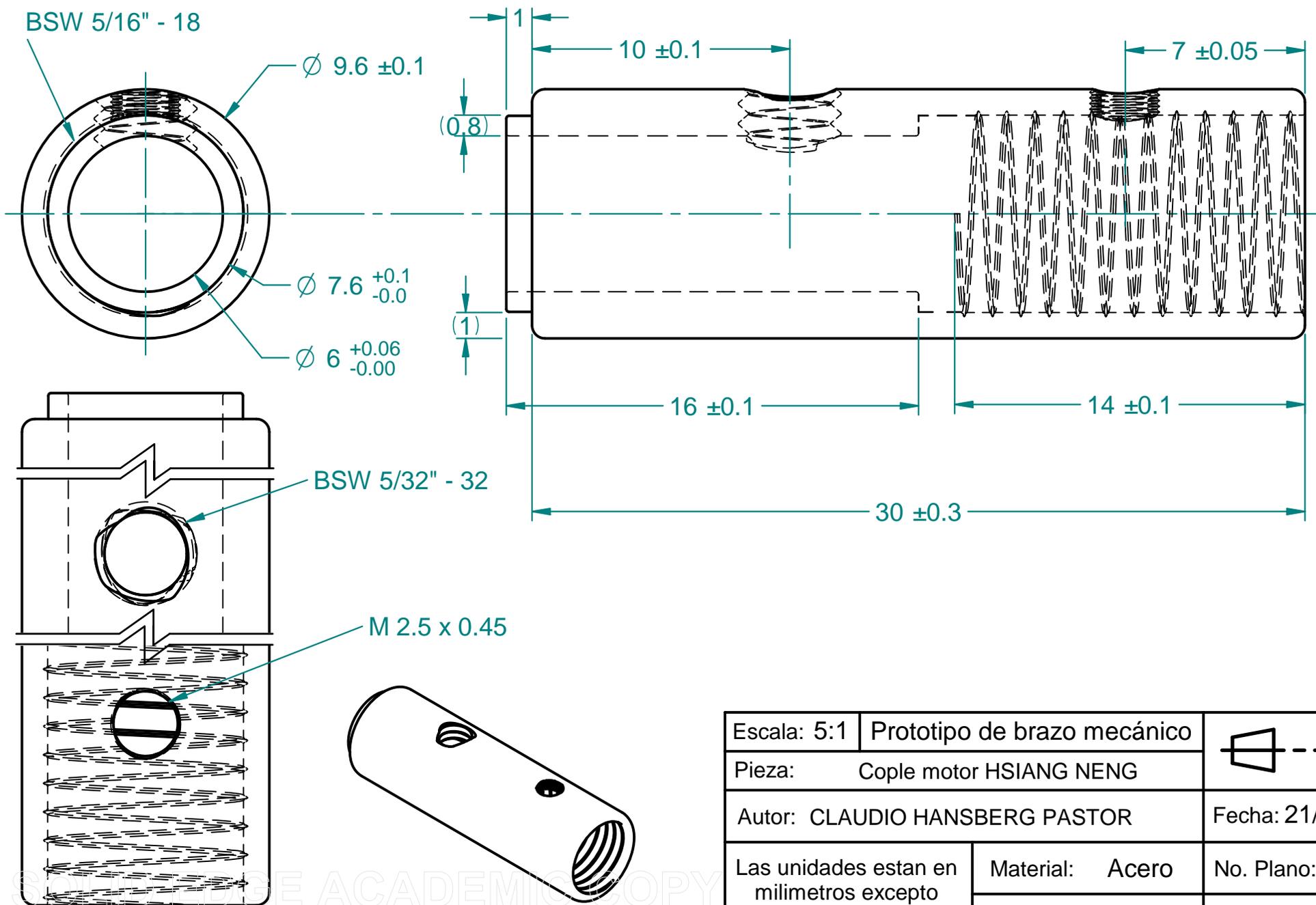
Escala: 2:1	Prototipo de brazo mecánico	
Pieza:	Placa porta sensor óptico	
Autor:	CLAUDIO HANSBERG PASTOR	Fecha: 21/10/08
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Acero	No. Plano: 11
	Acotaciones: mm	Formato: A4

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

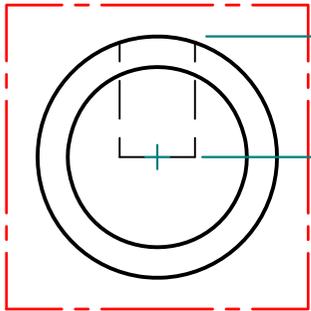


Escala: 2:1   Prototipo de brazo mecánico		
Pieza: Porta rodamiento varilla roscada grande		
Autor: CLAUDIO HANSBERG PASTOR		Fecha: 21/10/08
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Acero	No. Plano: 12
	Acotaciones: mm	Formato: A4

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

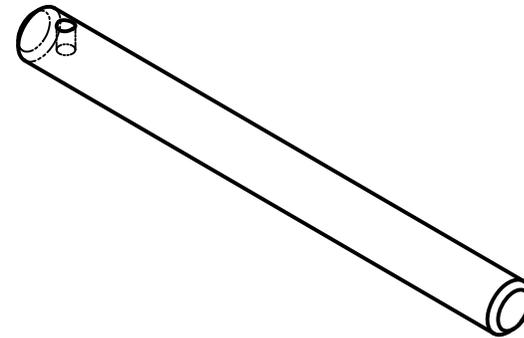


Escala: 5:1		Prototipo de brazo mecánico			
Pieza:		Cople motor HSIANG NENG			
Autor:		CLAUDIO HANSBERG PASTOR		Fecha: 21/10/08	
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique		Material: Acero		No. Plano: 13	
		Acotaciones: mm		Formato: A4	

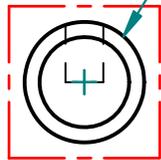


DETALLE A

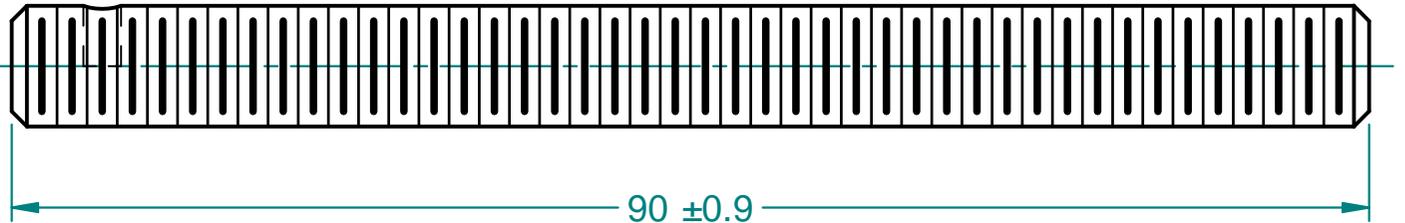
5/32 in



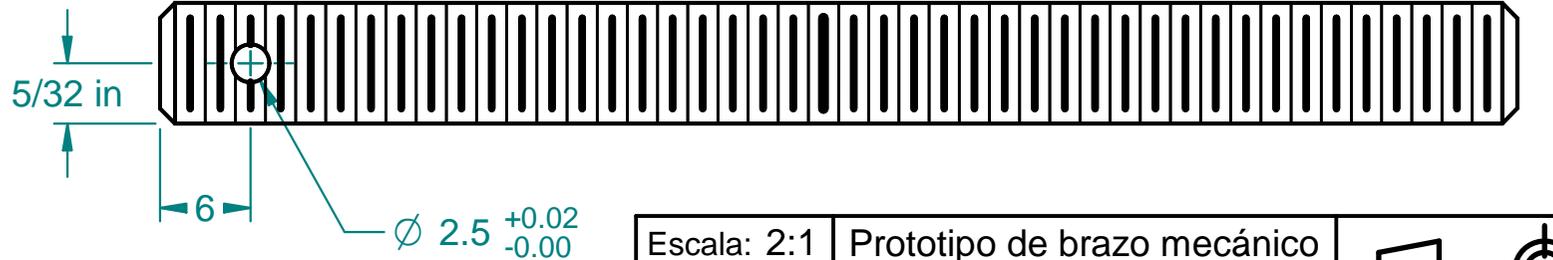
BSW 5/16" - 18



A



90 ±0.9



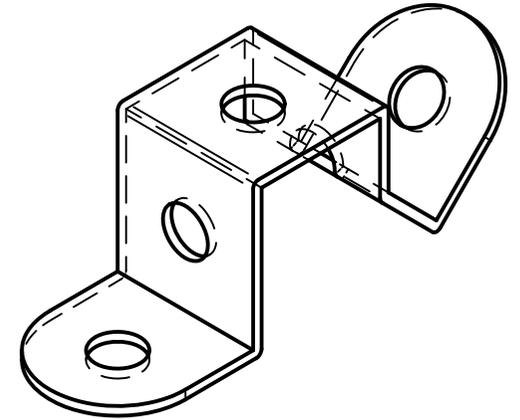
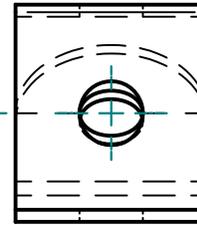
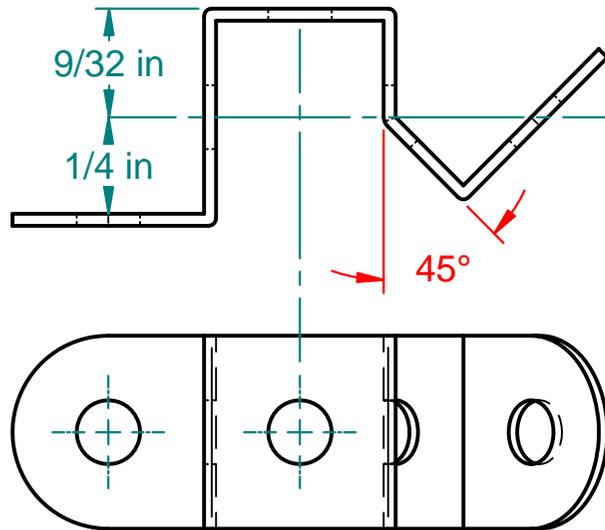
5/32 in

6

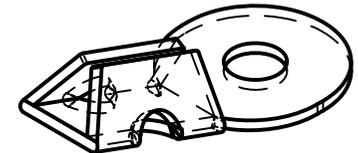
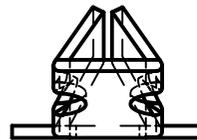
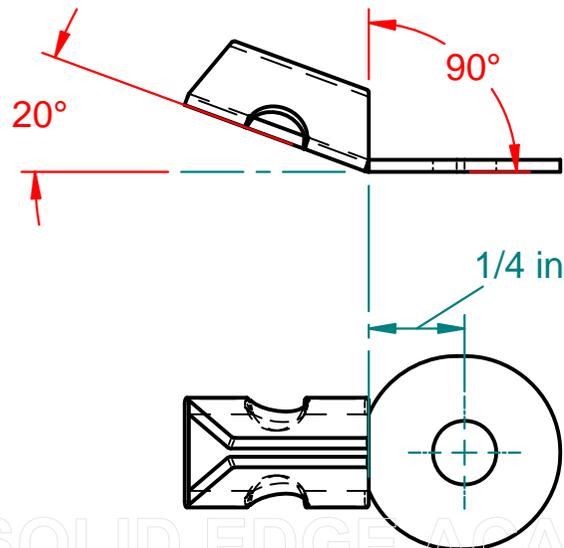
∅ 2.5 <sup>+0.02</sup> <sub>-0.00</sub>

Escala: 2:1	Prototipo de brazo mecánico	
Pieza:	Varilla roscada pequeña	
Autor: CLAUDIO HANSBERG PASTOR		Fecha: 21/10/08
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Acero	No. Plano: 14
	Acotaciones: mm	Formato: A4

Pieza 45

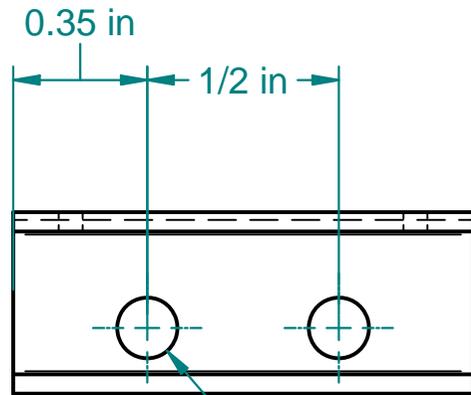


Pieza 212

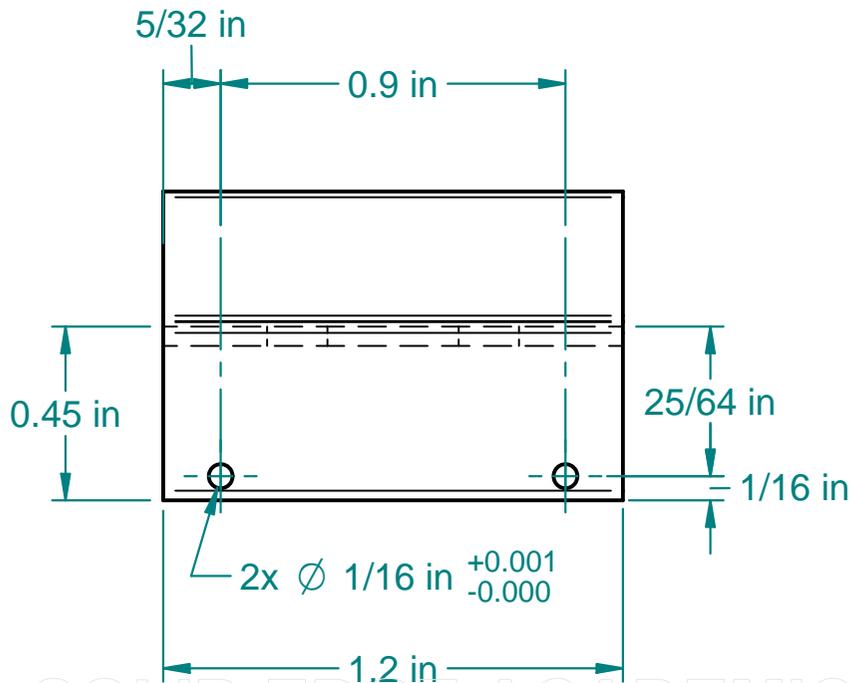
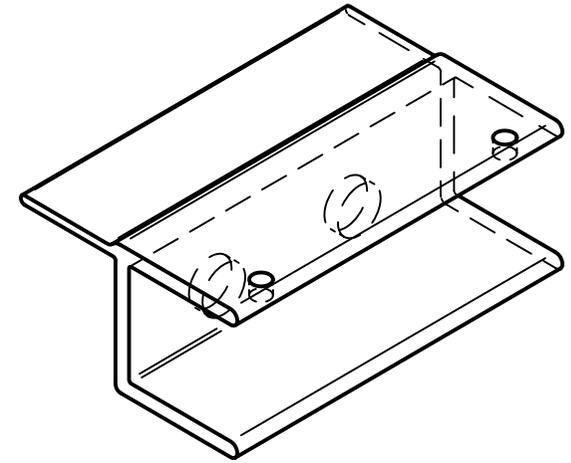
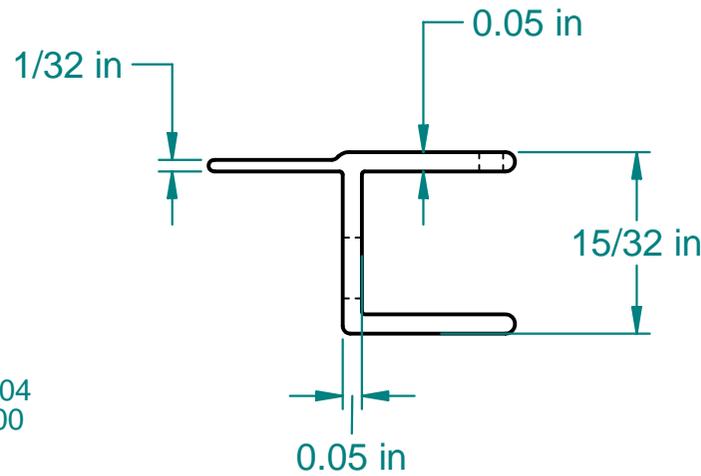


Escala: 2:1   Prototipo de brazo mecánico		
Pieza: MECCANO piezas 45 y 212 modificadas		
Autor: CLAUDIO HANSBERG PASTOR		Fecha: 21/10/08
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Acero	No. Plano: 15
	Acotaciones: mm	Formato: A4

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



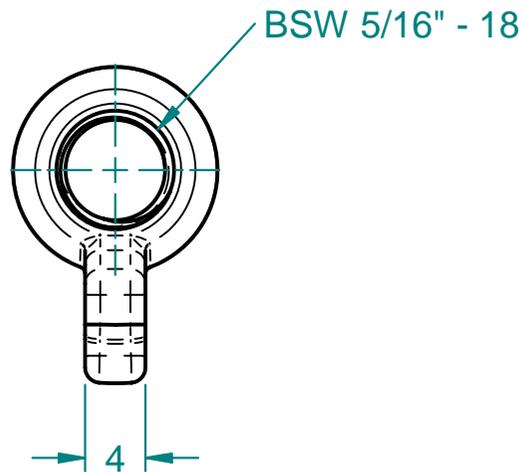
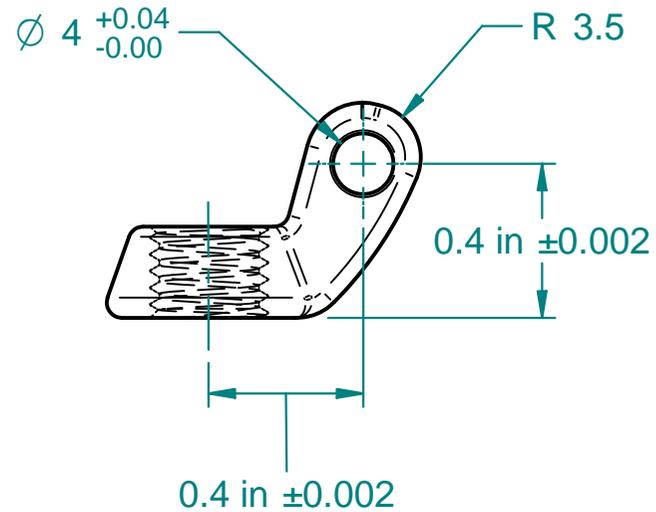
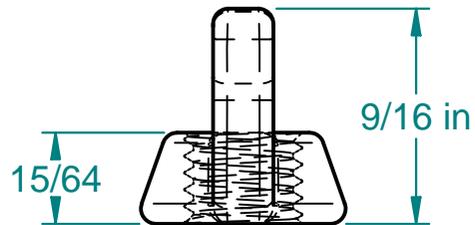
2x  $\varnothing$  4  $\begin{matrix} +0.04 \\ -0.00 \end{matrix}$



2x  $\varnothing$  1/16 in  $\begin{matrix} +0.001 \\ -0.000 \end{matrix}$

Escala: 2:1	Prototipo de brazo mecánico	
Pieza: Porta sensor de fuerza		
Autor: CLAUDIO HANSBERG PASTOR		Fecha: 21/10/08
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Plastico	No. Plano: 16
	Acotaciones: mm	Formato: A4

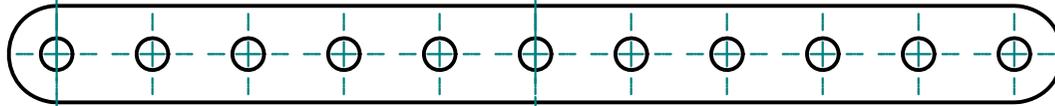
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



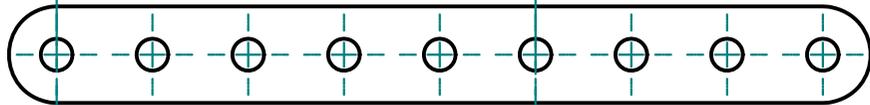
Escala: 2:1	Prototipo de brazo mecánico	
Pieza: Tuerca de mariposa con sólo un ala		
Autor: CLAUDIO HANSBERG PASTOR		Fecha: 21/10/08
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Acero Inox.	No. Plano: 17
	Acotaciones: mm	Formato: A4



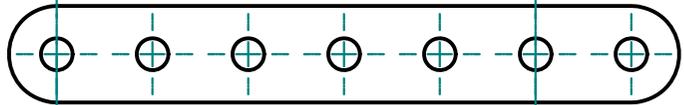
Pieza 2



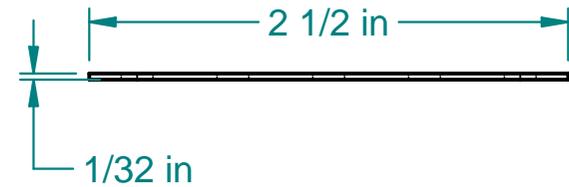
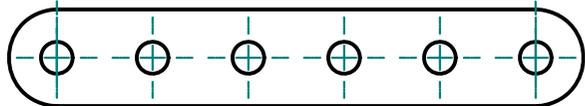
Pieza 2A



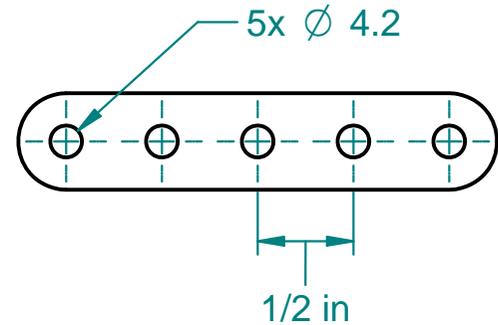
Pieza 3



Pieza 4

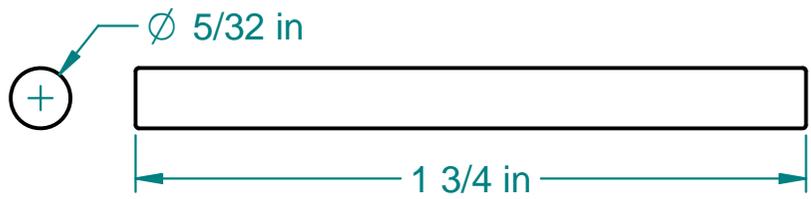
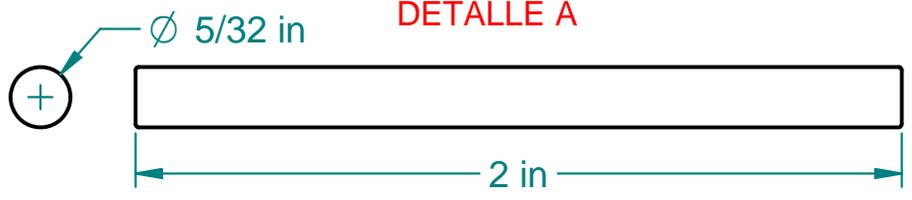
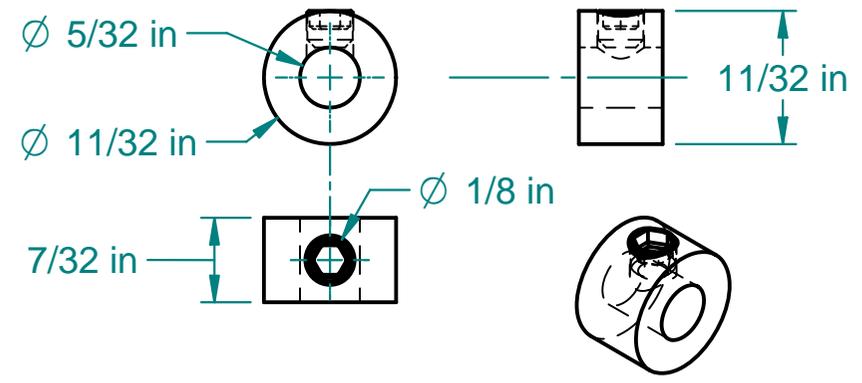
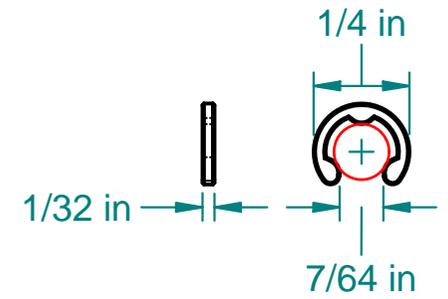
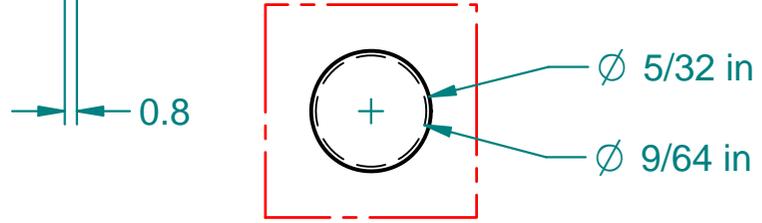
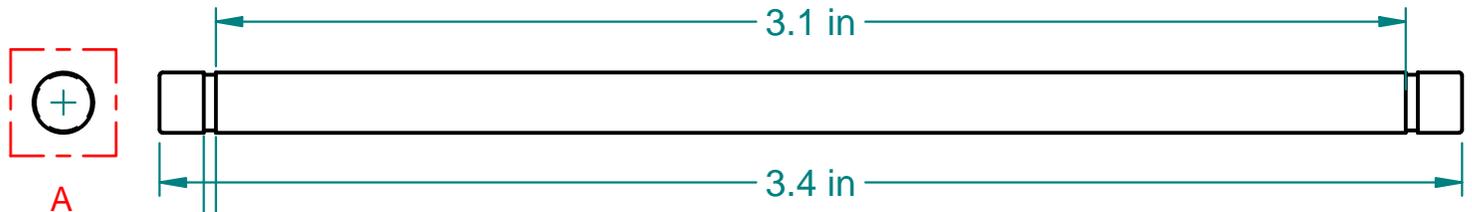


Pieza 5



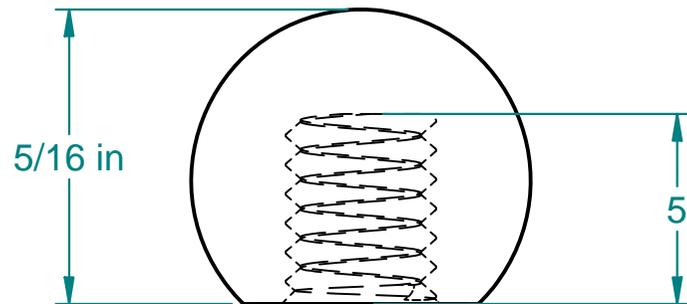
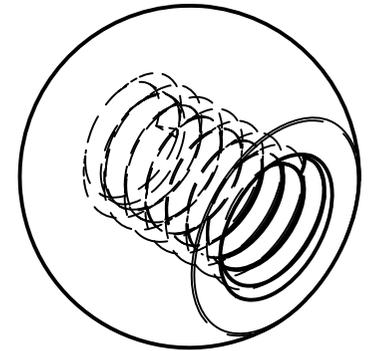
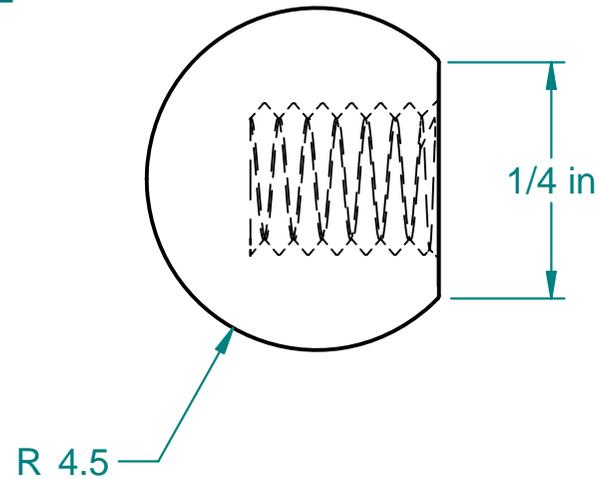
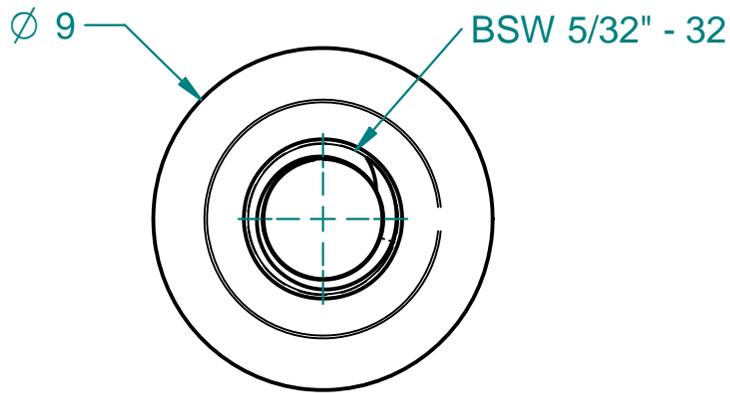
Escala: 2:1   Prototipo de brazo mecánico		
Pieza: MECCANO piezas 2, 2A, 3, 4 y 5		
Autor: CLAUDIO HANSBERG PASTOR		Fecha: 21/10/08
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Acero	No. Plano: 18
	Acotaciones: mm	Formato: A4

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



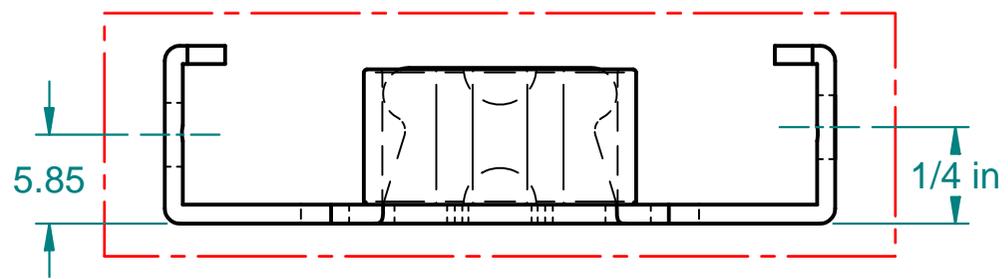
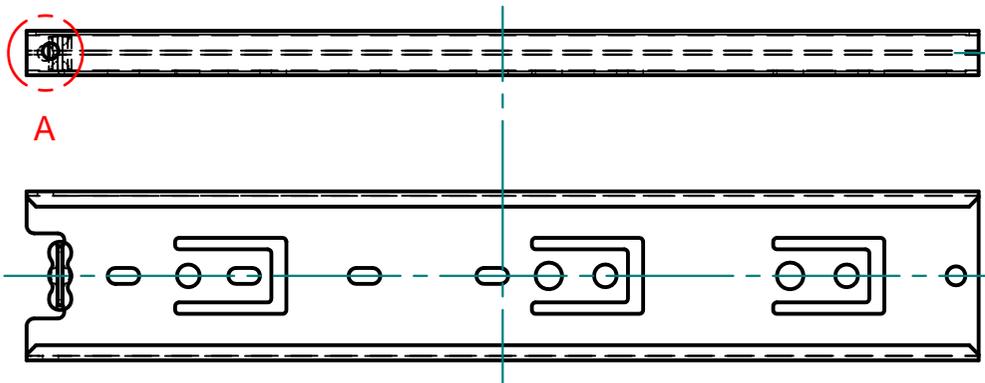
Escala: 2:1	Prototipo de brazo mecánico	
Pieza: Ejes y sistemas de aseguramiento		
Autor: CLAUDIO HANSBERG PASTOR		Fecha: 21/10/08
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Acero Inox.	No. Plano: 19
	Acotaciones: mm	Formato: A4

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

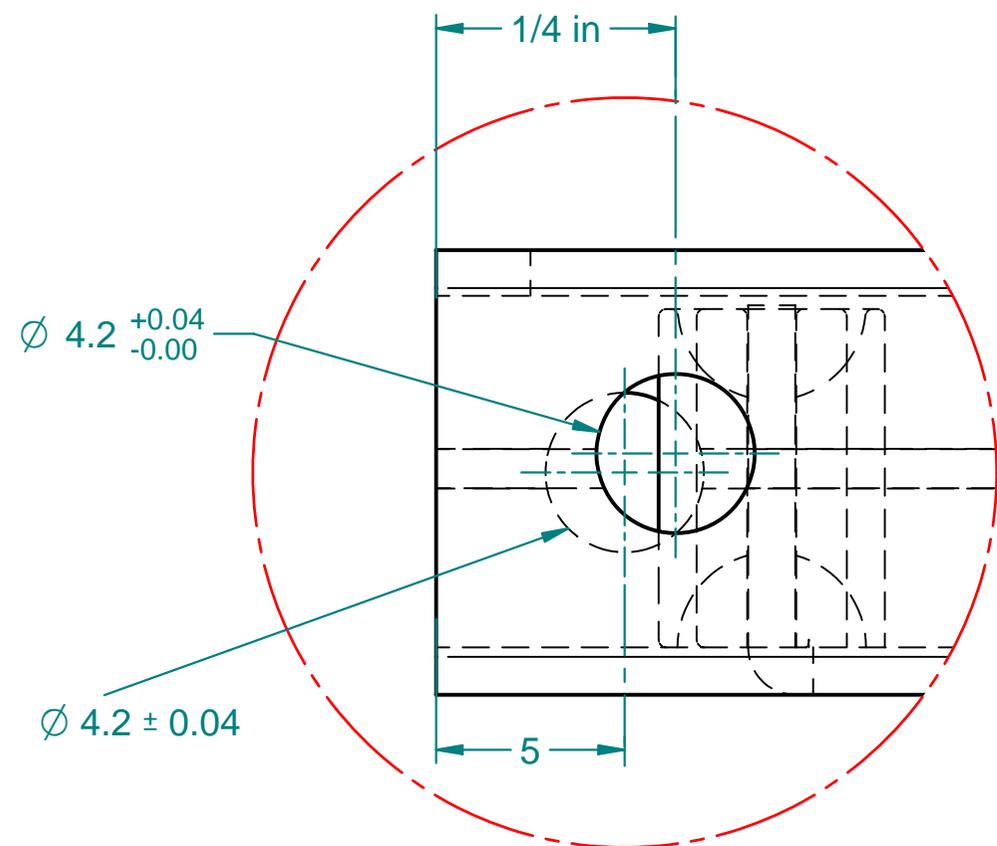
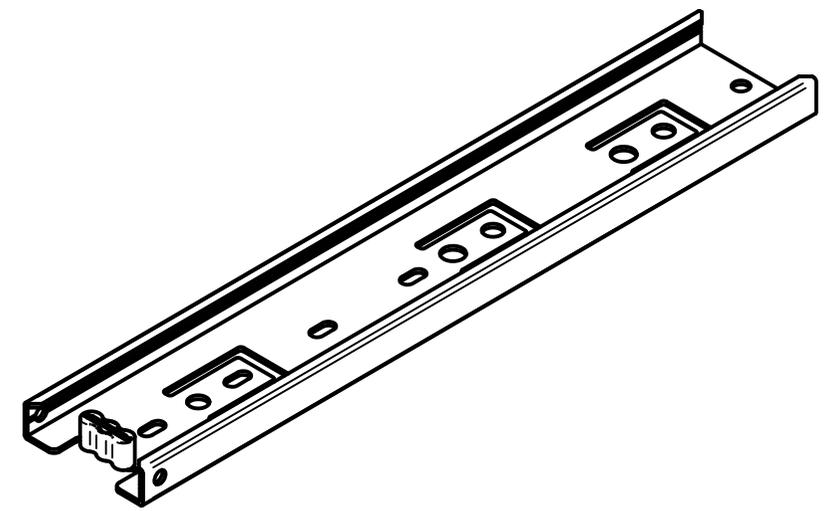


Escala: 5:1	Prototipo de brazo mecánico	
Pieza: Embellecedor esférico		
Autor: CLAUDIO HANSBERG PASTOR		Fecha: 24/11/08
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Acero Inox.	No. Plano: 20
	Acotaciones: mm	Formato: A4

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



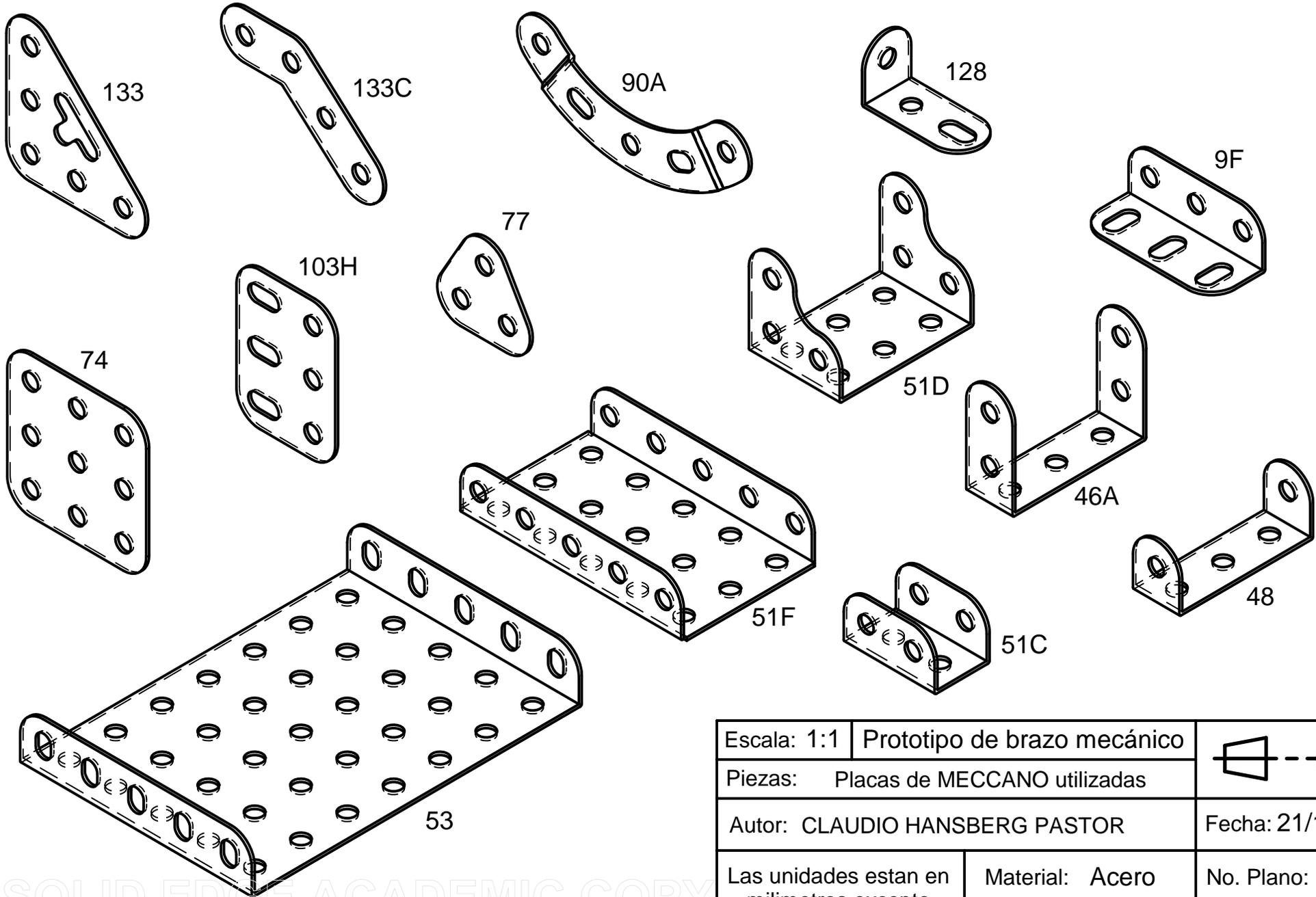
DETALLE B



DETALLE A

Escala: 2:1   Prototipo de brazo mecánico		
Pieza: Parte externa del riel de ext. modificada		
Autor: CLAUDIO HANSBERG PASTOR		Fecha: 21/10/08
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Acero Inox.	No. Plano: 21
	Acotaciones: mm	Formato: A4

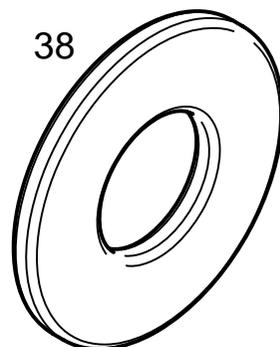
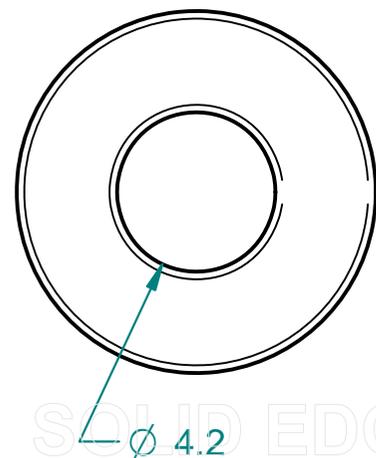
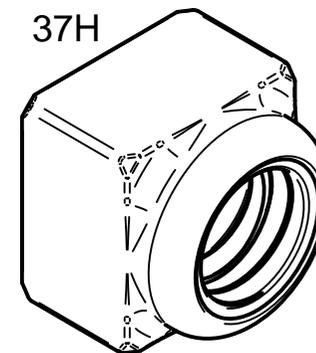
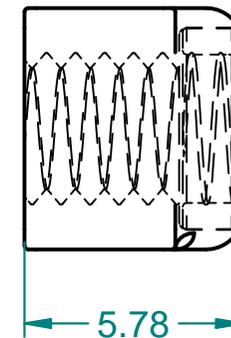
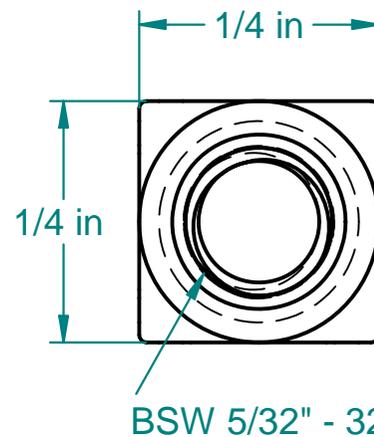
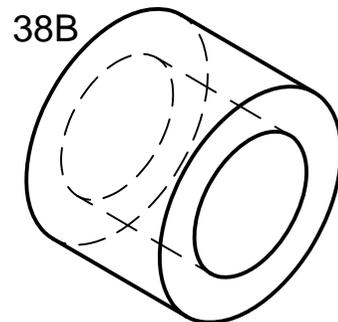
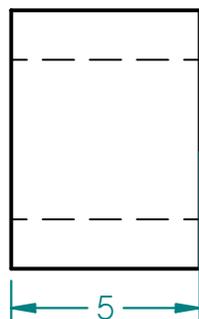
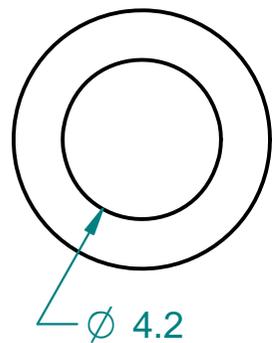
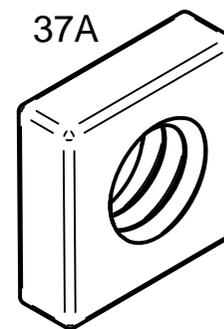
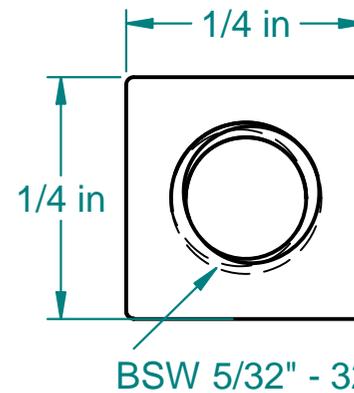
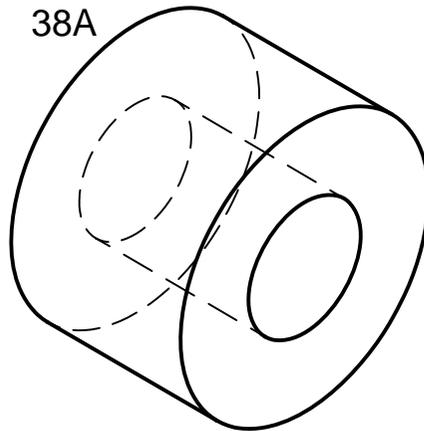
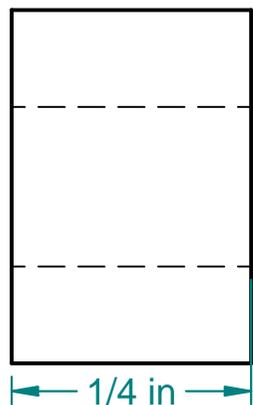
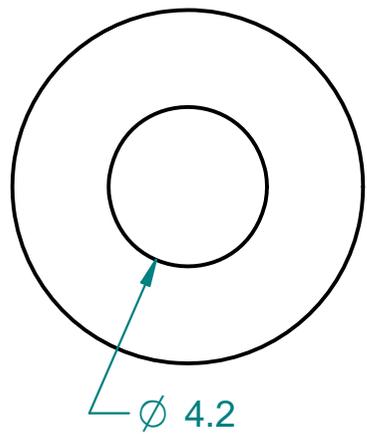
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



Todas las placas tienen un espesor de 1/32 in y una distancia entre centros de barreno de 1/2 in

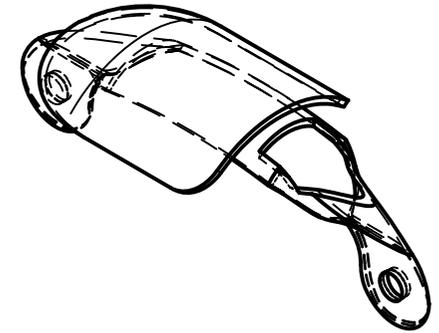
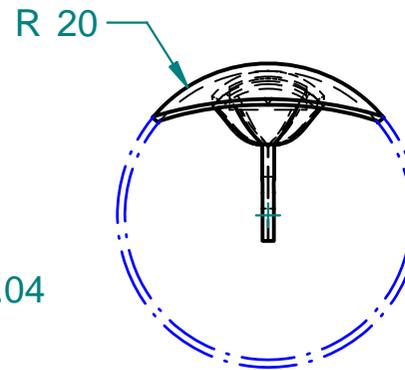
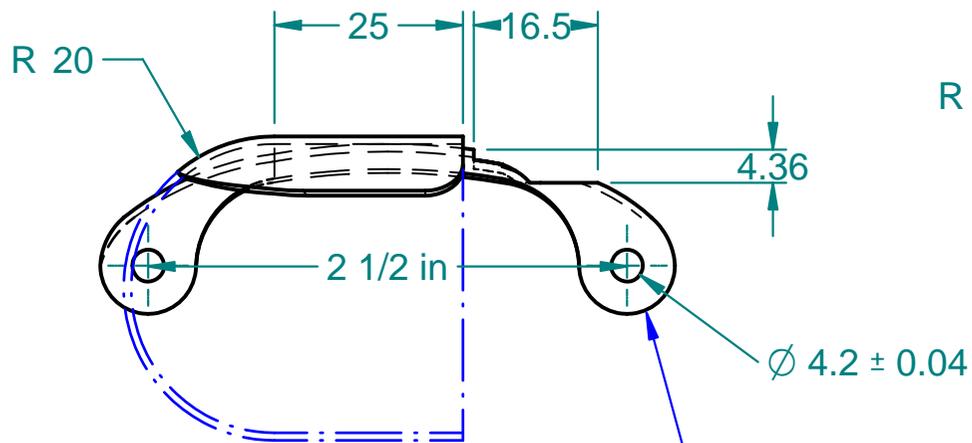
Escala: 1:1		Prototipo de brazo mecánico		
Piezas: Placas de MECCANO utilizadas				
Autor: CLAUDIO HANSBERG PASTOR				Fecha: 21/10/08
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique		Material: Acero		No. Plano: 22
		Acotaciones: mm		Formato: A4

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



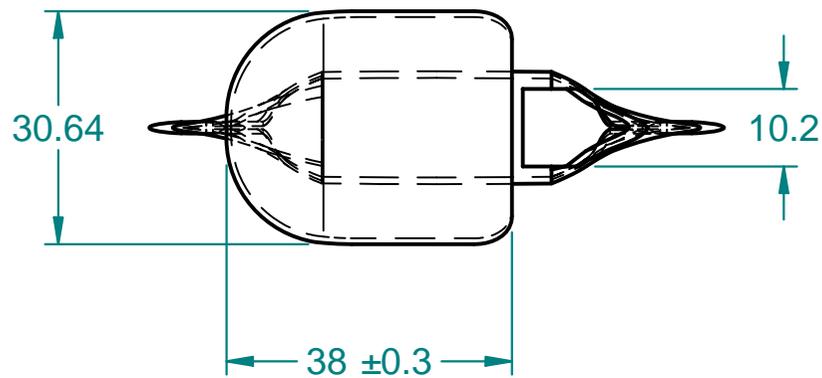
Escala: 5:1   Prototipo de brazo mecánico		
Pieza: MECCANO; tuercas, rondanas y otros		
Autor: CLAUDIO HANSBERG PASTOR		Fecha: 21/10/08
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Varios	No. Plano: 23
	Acotaciones: mm	Formato: A4

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



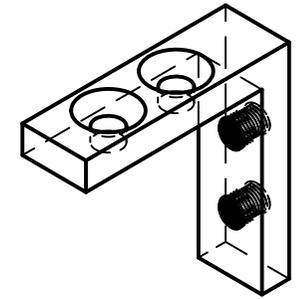
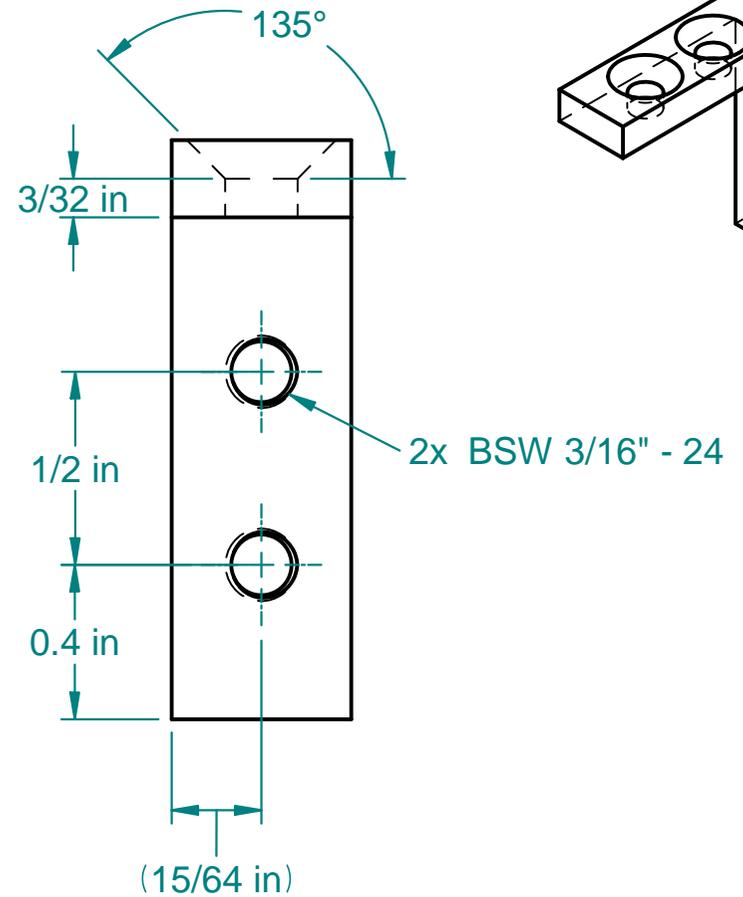
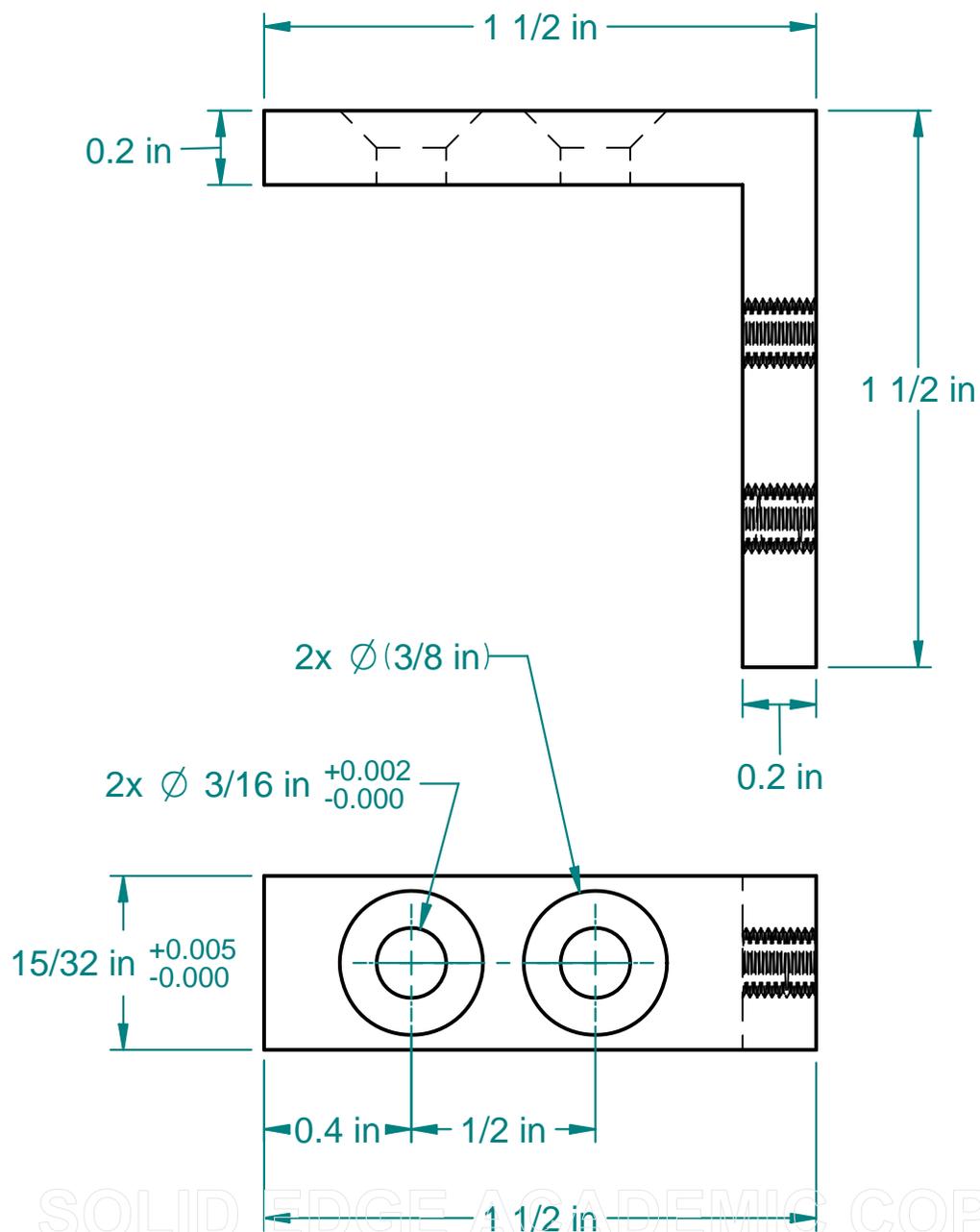
Tapa cilíndrica recortada, luego adherida con pegamento a la superficie de la manguera.

Pedazo de manguera recortada y doblada en sus extremos, y luego barrenada.



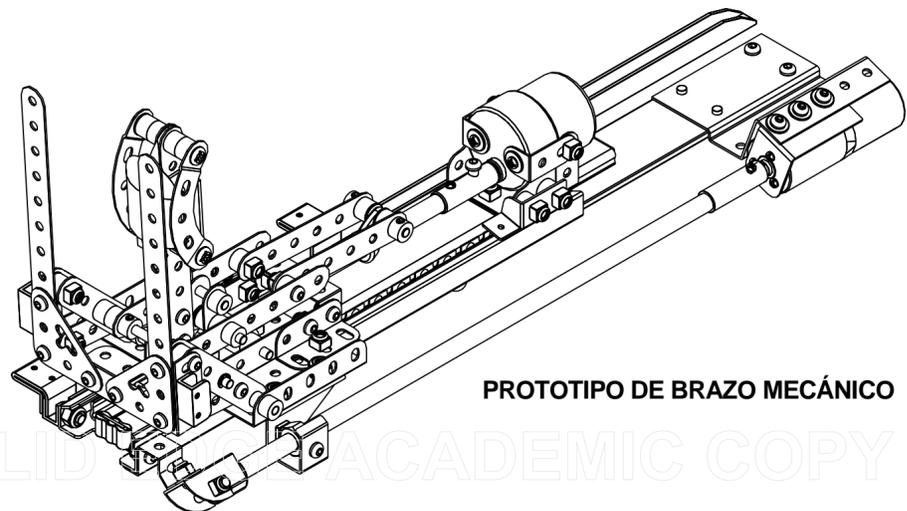
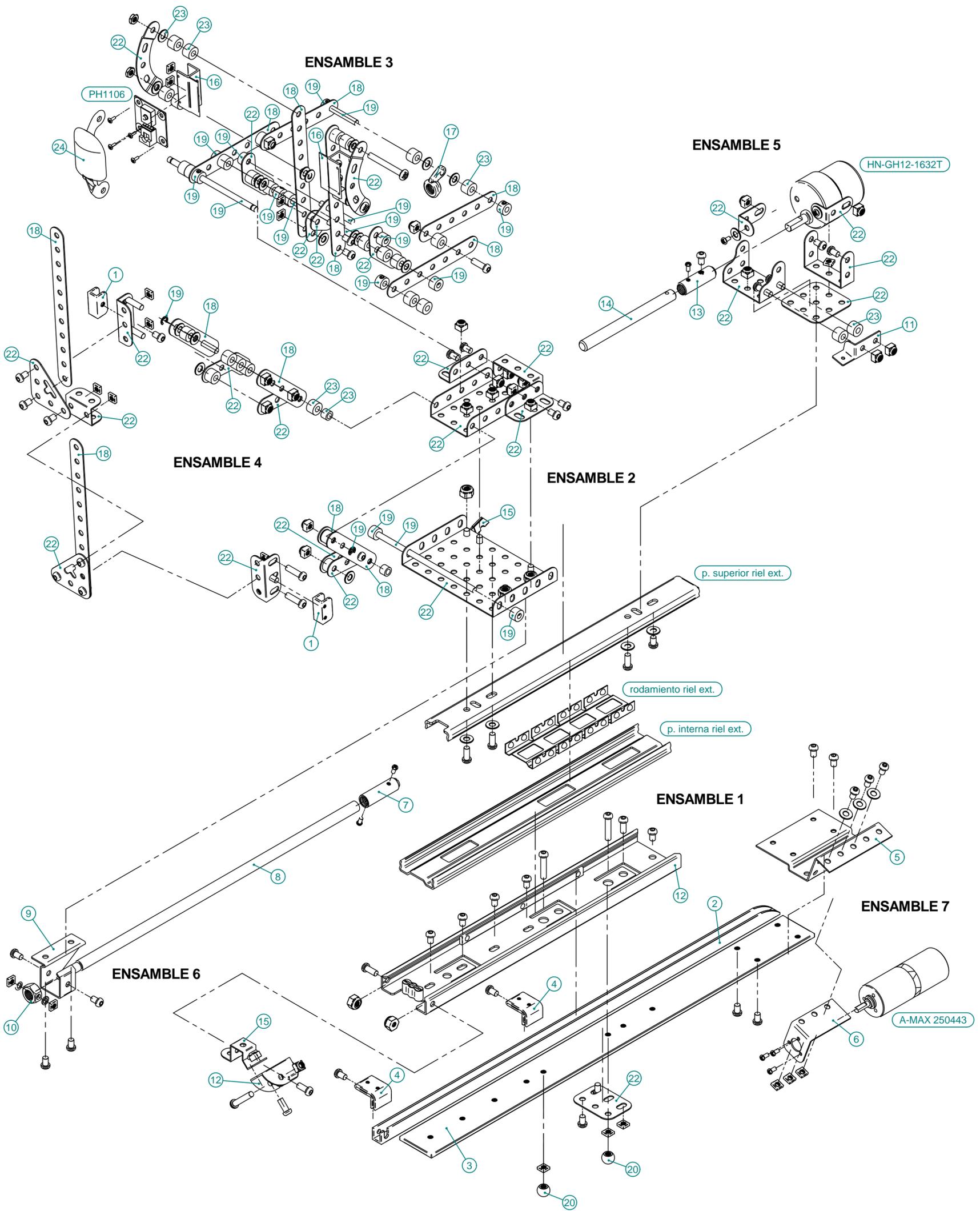
Escala: 1:1	Prototipo de brazo mecánico		
Pieza:	Protector de sensor de fuerza		
Autor:	CLAUDIO HANSBERG PASTOR	Fecha: 26/10/08	
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material:	Plástico	No. Plano: 24
	Acotaciones:	mm	Formato: A4





Escala: 2:1	Prototipo de brazo mecánico	
Pieza: Ángulos para soporte		
Autor: CLAUDIO HANSBERG PASTOR		Fecha: 21/10/08
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Aluminio	No. Plano: 26
	Acotaciones: mm	Formato: A4

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

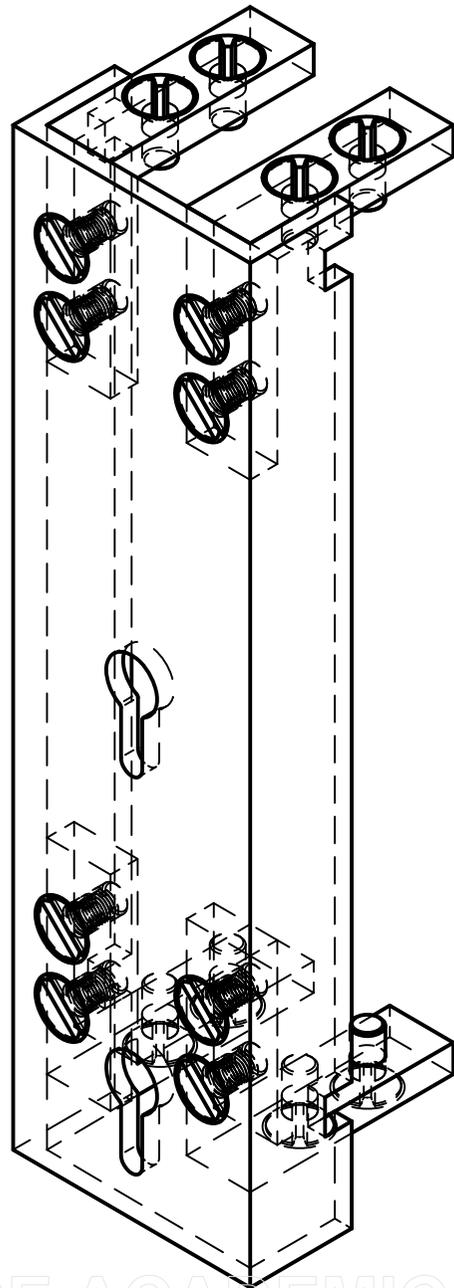


PROTOTIPO DE BRAZO MECÁNICO

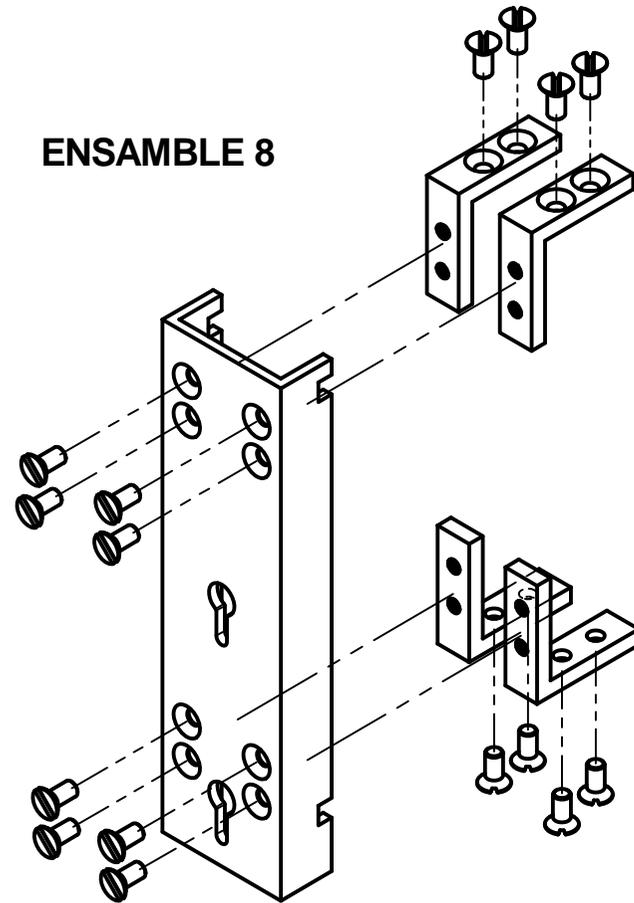
Escala: 1:2	Prototipo de brazo mecánico	
Ensamble:	1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7	
Autor: CLAUDIO HANSBERG PASTOR		Fecha: 21/10/08
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Varios	No. Plano: 27
	Acotaciones: mm	Formato: A2

SOLIDWORKS ACADEMIC COPY

SOPORTE



ENSAMBLE 8



Escala: 1:2	Prototipo de brazo mecánico	
Ensamble:	8	
Autor: CLAUDIO HANSBERG PASTOR		Fecha: 21/10/08
Las unidades estan en milímetros excepto cuando se especifique	Material: Aluminio	No. Plano: 28
	Acotaciones: mm	Formato: A4

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

