

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN
MODULO MUÑECA-GRIPPER**

**CLAUDIA CAROLINA JARAMILLO SATIZABAL
OSCAR EDUARDO VASQUEZ GUTIERREZ**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERIAS
INGENIERIA MECATRONICA
SANTIAGO DE CALI**

2004

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN
MODULO MUÑECA-GRIPPER**

**CLAUDIA CAROLINA JARAMILLO SATIZABAL
OSCAR EDUARDO VASQUEZ GUTIERREZ**

**Proyecto de Grado para optar al Título de
Ingeniero Mecatrónico**

Director

ANDRÉS FELIPE NAVAS E.

Ingeniero Mecatrónico

Docente Del Programa De Ingeniería Mecatrónica

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE

FACULTAD DE INGENIERIAS

INGENIERIA MECATRONICA

SANTIAGO DE CALI

2004

Nota de aceptación:

Trabajo Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecatrónico.

JOSÉ TOMÁS BUITRAGO

Firma Jurado

OSCAR MAURICIO AGUDELO

Firma Jurado

Santiago de Cali, Febrero 20 del 2004

“A mis padres quienes han sido la luz y la guía a lo largo de mi vida, por sus esfuerzos para sacarme adelante y culminar con satisfacción cada propósito que emprendía. A mi novio por su apoyo incondicional. A Oscar, mi compañero y amigo, por su trabajo y dedicación. A Edwin y Andrés, por sus sabios consejos. A Rendón, nuestro amigo y compañero, quien formó parte del proyecto”.

Claudia

“A mis padres que me inculcaron todos los buenos valores que poseo, quienes me apoyaron en la realización de mis metas. A mi hermano que con su manera de ser y pensar se convirtió en un ejemplo a seguir. A nuestro tutor y amigo Andrés, quien nos brindó su conocimiento y colaboración para la realización de este proyecto. A Claudia, mi compañera y amiga, por su perseverancia e inteligencia. A mis amigos que me acompañaron durante estos años de estudio”.

Oscar.

AGRADECIMIENTOS

A nuestro orientador y amigo Andrés, por su gran apoyo en el proyecto. A los profesores del área de Mecánica y de Mecatrónica, quienes nos brindaron su ayuda en la investigación y desarrollo del proyecto. Al Señor Mark Rosheim, por sus libros y consejos, los cuales fueron una guía importante para la concepción del diseño en la muñeca. A los auxiliares de laboratorios, y a todos aquellos que no menos importantes han contribuido a la realización de este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	17
1. OBJETIVOS	18
2. LA MUÑECA (WRIST)Y EL EFECTOR FINAL (GRIPPER) EN UN BRAZO MANIPULADOR	19
2.1. EL PAPEL DE LA ROBÓTICA	19
2.2. ROBOT MANIPULADOR	20
2.3. LA MUÑECA (WRIST)	20
2.3.1. La Muñeca Humana	21
2.3.2. Panorama de la Muñeca Robótica	23
2.3.2.1. Singularidades en la Muñeca Robótica	24
2.4. EL GRIPPER O EFECTOR FINAL	26
2.4.1. La Mano Humana	27
2.4.2. Clasificación Sistemática de los Gripper	29
4. DESARROLLO DEL PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	31
4. NECESIDADES DEL CLIENTE	33
4.1. MEDIDAS Y SUS UNIDADES	34
4.2. RELACIÓN DE LAS MEDIDAS CON LAS NECESIDADES	36
4.3. BENCHMARKING COMPETITIVO	37
4.4. ESPECIFICACIONES PRELIMINARES	41
5. CLARIFICACIÓN DEL PROBLEMA	43
5.1. CAJA NEGRA	44
5.1.1. Descomposición en Subsistemas más simples	45
6. GENERACIÓN DE CONCEPTOS	46
6.1. GENERACIÓN DE CONCEPTOS GRIPPER (Sujeción del Objeto)	46
6.1.1. Árbol de Clasificación Conceptos Gripper	46

	Pág.
6.1.2. Conceptos Generados Gripper	48
6.2. GENERACIÓN DE CONCEPTOS MUÑECA (Orientación del Objeto)	51
6.2.1. Árbol de Clasificación Conceptos Muñeca	51
6.2.2. Conceptos Generados Muñeca	51
6.3. ÁRBOL DE CLASIFICACIÓN CONCEPTOS CONTROLADOR	53
6.4. COMBINACIÓN DE CONCEPTOS	54
7. SELECCIÓN DE CONCEPTOS	57
7.1. CONCEPTO DE REFERENCIA	57
7.2. MATRIZ DE TAMIZAJE DE CONCEPTOS	59
7.3. MATRIZ PARA EVALUAR CONCEPTOS	60
8. DESARROLLO DE LA ARQUITECTURA DEL PRODUCTO	61
8.1. ANÁLISIS DEL LA ARQUITECTURA DEL PRODUCTO	61
8.1.1. Esquema del Producto	61
8.1.1.1. Acople	62
8.1.1.2. Gripper	62
8.1.1.3. Muñeca (Wrist)	63
8.1.1.4. Interfaz	63
8.1.1.5. Control	63
8.2. DISTRIBUCIÓN GEOMÉTRICA (Layout)	64
8.3. INTERACCIONES ENTRE CONJUNTOS	64
8.3.1. Interacciones Fundamentales	64
8.3.2. Interacciones Incidentales	65
8.4. ANÁLISIS DE LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA ELÉCTRICO	66
9. DISEÑO INDUSTRIAL	67
9.1. VALORACIÓN DEL DISEÑO INDUSTRIAL	67
9.1.1. Facilidad de Uso	67
9.1.2. Facilidad de Mantenimiento	67
9.1.3. Cantidad de Interacciones	67
9.1.4. Novedad de las Interacciones	67

	Pág.
9.1.5. Seguridad	68
9.1.6. Diferenciación Visual del Producto	68
9.1.7. Orgullo, posesión, imagen y moda	68
9.1.8. Motivación el Grupo	68
9.2. CLASIFICACIÓN DEL PRODUCTO	68
9.3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL DISEÑO INDUSTRIAL	69
9.3.1. Calidad de las interfases	69
9.3.2. Requerimientos emocionales	69
9.3.3. Facilidad de mantenimiento y reparación	69
9.3.4. Uso apropiado de los recursos	69
9.3.5. Diferenciación del Producto	69
10. DISEÑO PARA MANUFACTURA (DPM)	70
10.1. MODELO DEL SISTEMA DE MANUFACTURA	70
10.1.1. Equipo	71
10.1.2. Información	71
10.1.3. Maquinado	71
10.1.4. Mano de Obra	71
10.1.5. Lista de Componentes	71
10.1.5.1. Partes Estándares (Preliminar)	71
10.1.5.2. Partes Propias (Preliminar)	72
10.1.5.3. Materia Prima (Preliminar)	73
10.2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO PARA MANUFACTURA	73
10.3. REDUCCIÓN DEL COSTO DE LOS COMPONENTES	75
10.4. COSTOS DE MANUFACTURA (PRELIMINAR)	76
11. DISEÑO PARA ENSAMBLAJE	78
11.1. REDUCCIÓN DEL COSTO PARA ENSAMBLAJE	78
11.1.1. Estimación del Tiempo de Ensamblaje	78
11.2. MAXIMIZACIÓN DE LA FACILIDAD DE ENSAMBLAJE	79

	Pág.
11.3. REDUCCIÓN DE LOS COSTOS DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	79
12. PROTOTIPADO	80
12.1. CLASIFICACIÓN DEL PRODUCTO	80
12.2. USOS DEL PRODUCTO	80
12.3. TÉCNICAS DE PROTOTIPADO	80
12.3.1. Modelación 3D (Prototipo Virtual)	80
12.3.2. Prototipado Tradicional.	81
12.4. PROTOTIPO A PRESENTAR	81
13. DISEÑO DETALLADO.	82
13.1. DISEÑO DEL GRIPPER	82
13.1.1. Diseño del Dedo	85
13.1.2. Trayectorias Generadas por las Falanges	87
13.1.3. Movimiento del Dedo	88
13.2. DISEÑO DE LA MUÑECA	92
13.2.1. Cinemática Directa de la Muñeca	93
13.2.1.1. Representación Denavit-Hartenberg Modificado	95
13.2.2. Diseño del Sin Fin Corona	99
13.2.3. Diseño de los ejes de la Muñeca	102
14. FUTURAS MEJORAS	110
15. CONCLUSIONES	111
BIBLIOGRAFÍA	112
ANEXOS	

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Necesidades del Cliente	33
Cuadro 2. Medidas y sus unidades	34
Cuadro 3. Relación de las medidas con las unidades	36
Cuadro 4. Especificaciones Preliminares	41
Cuadro 5. Matriz de Tamizaje de Conceptos	59
Cuadro 6. Matriz para Evaluar Conceptos	60
Cuadro 7. Lista de Partes Estándares (Preliminar)	71
Cuadro 8. Lista de Partes Propias (Preliminar)	72
Cuadro 9. Materia Prima (Preliminar)	73
Cuadro 10. Costos de Manufactura (Preliminar)	76
Cuadro 11. Magnitud de la Fuerza en las Falanges del dedo	90
Cuadro 12. Parámetros Denavit-Hartenberg Modificado	96

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Robot Manipulador de 6 GDL	20
Figura 2. Estructura de los huesos en la Muñeca Humana	21
Figura 3. Modos de Desviación Radio / Ulnar y Flexión / Extensión	22
Figura 4. Movimiento de Roll en la Muñeca Humana	23
Figura 5. Clasificación de la Muñeca Robótica	24
Figura 6. Singularidad en una Muñeca RPR	25
Figura 7. Juntura Universal Tipo Cardan	26
Figura 8. Estructura de los huesos en la Mano Humana	27
Figura 9. Principales Tipos de agarre en la Mano Humana	28
Figura 10. Cinemática de la Mano Humana	29
Figura 11. Movimientos de la Mano Humana	29
Figura 12. Tipos de Gripper: a)Externo b)Interno	30
Figura 13. Diagrama de Flujo para un Gripper	30
Figura 14. Transmisión de Movimiento en los Grippers	30
Figura 15. SCORBOT ER PLUS	37
Figura 16. WAM ARM	38
Figura 17. Armdroid 2001 Plus	38
Figura 18. Gripper Concéntrico	38
Figura 19. Gripper Paralelo	38
Figura 20. OMNI Wrist III	38
Figura 21. Casa de Calidades	39
Figura 22. Representación en Caja Negra del Sistema	44
Figura 23. Descomposición en Subsistemas	45
Figura 24. Árbol de Clasificación de Conceptos Gripper	46
Figura 25. Gripper de dos dedos lineal	48
Figura 26. Gripper de dos dedos angular	48

	Pág.
Figura 27. Gripper de tres dedos lineal	49
Figura 28. Gripper de tres dedos angular	49
Figura 29. Gripper de tres dedos articulados	50
Figura 30. Electroimán	50
Figura 31. Árbol de Clasificación de Conceptos Wrist	51
Figura 32. Configuración Roll-Pitch	51
Figura 33. Configuración Roll-Pitch-Roll	52
Figura 34. Configuración Roll-Pitch-Yaw	52
Figura 35. Configuración Roll-Pitch-Yaw Juntura Universal tipo Cardan	53
Figura 36. Árbol de Clasificación de Conceptos Controlador	53
Figura 37. WAM Arm (Barrett)	57
Figura 38. Robot Manipulador de 7 GDL	58
Figura 39. B01 C1 Muñeca RPR	58
Figura 40. Barrett Hand	58
Figura 41. Esquema del Producto	61
Figura 42. Distribución Geométrica (Layout)	64
Figura 43. Análisis de la Arquitectura del Sistema Electrónico	66
Figura 44. Valoración del Diseño Industrial	67
Figura 45. Clasificación del Producto	68
Figura 46. Evaluación de la Calidad del Diseño Industrial	69
Figura 47. Modelo del Sistema de Manufactura	70
Figura 48. Clasificación del Prototipo	80
Figura 49. Prototipo Virtual	81
Figura 50. Prototipo Físico	81
Figura 51. Diseño Gripper 3 dedos Articulado	82
Figura 52. Diseño del dedo	83
Figura 53. Giro de los dedos en el Gripper	83
Figura 54. Configuración Triangular en el Gripper	84
Figura 55. Configuración Paralela en el Gripper	84

	Pág.
Figura 56. Configuración Pinza en el Gripper	85
Figura 57. Prototipo Físico del Gripper	85
Figura 58. Prototipo en madera y balsa	86
Figura 59. Trayectoria Generada por la Falange 1	87
Figura 60. Trayectoria Generada por la Falange 2	87
Figura 61. Trayectoria Generada por la Falange 3	88
Figura 62. Curva Empuje (Newton) vs. Pulsos por segundo	89
Figura 63. Movimiento en el Dedo	89
Figura 64. Gráfica Magnitud Fuerza (N) vs. Tiempo	91
Figura 65. Diseño Muñeca Yaw-Pitch-Roll	92
Figura 66. Prototipo Físico de la Muñeca	93
Figura 67. Representación Denavit-Hartenberg Modificada	95
Figura 68. Ejes de las Articulaciones en la Muñeca	96
Figura 69. Teorema de los 3 Momentos	103
Figura 70. Momentos en el Plano YZ	105
Figura 71. Momentos en el Plano XZ	106

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Sensor de Posición Inteligente	115
Anexo 2. Puente H Dual para manejo de Motores DC	117
Anexo 3. Ensamble Dedo	119
Anexo 4. Ensamble Gripper	121
Anexo 5. Ensamble Muñeca	123

RESUMEN

En este trabajo se presenta el Proceso de Diseño del Módulo Muñeca-Gripper *ACOI*. El principal objetivo para llevar a cabo el proyecto es la construcción de un Dispositivo Mecatrónico con características de tipo industrial que permita la manipulación, sujeción y orientación de objetos.

El desarrollo de la Robótica se ha enfocado principalmente en la manipulación de objetos creando la necesidad de posicionarlo en cualquier lugar del espacio cartesiano, donde se encuentran seis grados de libertad, 3 de posición y 3 de orientación. Adicionalmente es importante poder manipular objetos de diferentes formas y tamaños, es por esta razón que se planteó como proyecto el diseño de un gripper con la posibilidad de asir objetos de diferentes formas y tamaños, y el desarrollo de una muñeca de 3 grados de libertad con capacidad de acoplarse a un robot que posea mínimo 3 grados para posición, obteniendo de esta manera los 6 de grados de libertad para poder posicionar un objeto en el espacio cartesiano.

A continuación una breve descripción de los capítulos:

Introducción: Presenta un breve panorama y justificación del Proyecto.

Capítulo 1: Presenta los objetivos del Proyecto.

Capítulo 2: Inicia con una descripción del papel de la Robótica en la actualidad. Posteriormente presenta un marco teórico sobre la muñeca y la mano, describiendo las características tanto humanas como robóticas.

Capítulo 3: Aquí se lleva a cabo el planteamiento del problema, objetivo principal y premisas del diseño.

Capítulo 4: Presenta las necesidades del cliente y las especificaciones preliminares del dispositivo.

Capítulo 5: Se lleva a cabo una descomposición del sistema, lo cual permite identificar los puntos más críticos del mismo.

Capítulo 6: Se presenta una descripción sobre los diferentes conceptos generados por el grupo los cuales buscan satisfacer de la mejor manera las necesidades del cliente antes planteadas.

Capítulo 7: Los conceptos generados en el capítulo 5, son valorados de forma conjunta, calificados y evaluados de acuerdo a criterios que permitan elegir los conceptos mas adecuados para proseguir con la fase de diseño.

Capítulo 8: La Arquitectura de Productos tiene como objetivo definir los bloques físicos de construcción del producto (chunks) en términos de lo que ellos hacen y lo que sus interfases hacen con el resto del dispositivo, permitiendo así la prueba y diseño detallado de estos bloques para ser asignados al grupo de desarrollo.

Capítulo 9: Muestra la evaluación de las necesidades ergonómicas y estéticas con el fin de establecer el nivel de importancia del Diseño Industrial (DI) del producto y ver como se satisfacen las necesidades del cliente.

Capítulo 10 y 11: Muestra un análisis del Diseño para Manufactura (DPM) y Diseño para Ensamble (DPE), cuyo fin principal es la reducción de costos (componentes y ensamble) sin sacrificar la calidad del producto.

Capítulo 12: Presenta la fase de prototipado del producto.

Capítulo 13: Descripción del diseño en la muñeca y el gripper.

Finalmente se presentan las conclusiones y futuras mejoras para el dispositivo.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas industriales modernos se caracterizan por la integración extensiva de diferentes tecnologías en su ambiente operacional. Esta integración que incluye la mecánica, la electrónica, el control y la informática aprovecha y supera las ventajas de cada una de estas disciplinas, a la vez que la unión entre ellas asegura unos mejores niveles de funcionamiento. De ahí la necesidad de crear dispositivos mecatrónicos, cuya funcionalidad y confiabilidad satisfagan de la mejor manera las exigencias de la industria actual.

La necesidad de utilizar manipuladores en entornos de trabajo adversos para el hombre ha impulsado la evolución de la robótica. De igual manera los requerimientos de procesos más confiables y precisos han demandado el uso de brazos manipuladores multifuncionales con capacidades de programación para realizar tareas diversas.

La destreza de un manipulador depende de su habilidad para coordinar dos subsistemas: El brazo y la muñeca, el brazo es el responsable del posicionamiento del efector final, y la muñeca es la responsable de dar su orientación. En la industria actual la mayoría de los brazos robóticos poseen seis *grados de libertad*¹, los cuales por tratarse de un espacio tridimensional les permiten tres desplazamientos (X, Y, Z) y tres giros (*Roll-Pitch-Yaw*), los cuales permiten el posicionamiento y orientación del efector final. El gripper o efector final juega un papel importante en el manipulador: realizar la sujeción de los diferentes objetos con los cuales se desee trabajar.

¹ Se entiende por Grado de Libertad, a cada movimiento independiente que es capaz de realizar una articulación.

1. OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

- Diseñar y construir un Módulo Muñeca-Eector Final que permita la orientación, manipulación y sujeción de objetos bajo la concepción del diseño mecatrónico.
- Aplicar los conocimientos adquiridos en nuestra formación como Ingenieros Mecatrónicos para obtener un dispositivo con características óptimas que cumplan los requerimientos de aplicaciones industriales.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diseñar un mecanismo que permita la fácil adaptación del Módulo (Muñeca-Eector Final) a un brazo manipulador.
- Diseñar un Gripper liviano y eficiente que permita la manipulación y sujeción de objetos con diferentes formas geométricas.
- Diseñar una muñeca que permita la orientación en el espacio para el Eector final a diseñar.
- Maquinar las partes diseñadas para la construcción y ensamble del módulo Muñeca – Eector final.
- Realizar el ensamble de todas las piezas que conforman el Módulo Muñeca – Gripper.

2. LA MUÑECA (WRIST) Y EFECTOR FINAL (GRIPPER) EN UN BRAZO MANIPULADOR

2.1. EL PAPEL DE LA ROBÓTICA

La Robótica ha experimentado en los últimos años un gran auge y cada vez es más frecuente en los medios universitarios e industriales.

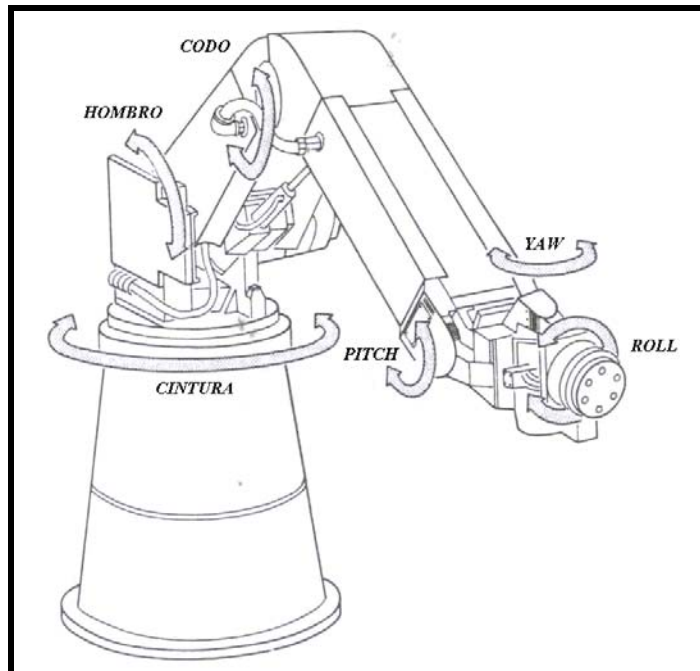
La aparición de máquinas con herramientas modernas y por consiguiente la posibilidad de manufacturar máquinas más precisas, ha impulsado la evolución de la Robótica creando demandas para su uso. Los trabajos repetitivos y monótonos en la fábricas, la confiabilidad y precisión de los procesos, entornos de trabajo adversos para el hombre, han introducido un ambiente ideal para la nueva generación de robots, motivando de esta manera a la Industria a considerar la automatización como camino para aumentar y mejorar su productividad.

Inicialmente por su simplicidad e implementación de la cinemática, los robots manipuladores tipo Polar y Cilíndrico fueron creados. Los actuadores hidráulicos eran usados ampliamente por su alta disponibilidad para propósitos generales, siendo posteriormente reemplazados por eléctricos más eficientes. Sumado esto a nuevos y prácticos mecanismos en la robótica se crearon nuevos manipuladores más flexibles, con altos torques y bajas velocidades. Sin embargo, con el creciente interés desarrollado por el hombre de emular las características humanas, como manos, muñecas, piernas y hombros, se desarrolló un mejor diseño cinemático el cual proveía articulaciones más flexibles, llevando esto a diseños como los Robots Antropomórficos. En otras palabras, la estructura de los robots pasó del uso de mecanismos y características convencionales a la armonización de las formas y las funciones, donde la modularidad de los diseños jugaba un papel importante.

2.2. ROBOT MANIPULADOR

Es el encargado de posicionar y orientar un objeto en el espacio, para ello son necesarios mínimo 6 Grados de Libertad, 3 de orientación y 3 de posición, los cuales permiten replicar los movimientos básicos del brazo y la muñeca humanos. La mayoría de los Robots Industriales cuentan con estos 6 GDL, sin embargo un mayor número de estos conlleva a un aumento de la flexibilidad en el posicionamiento del *Gripper* o *Efecto Final*. Estos 6 grados de libertad corresponde en un robot manipulador a los movimientos de *Cintura*, *Hombro*, *Codo* (posición) y *Roll*, *Pitch*, *Yaw* (orientación).

Figura 1. Robot Manipulador de 6 GDL



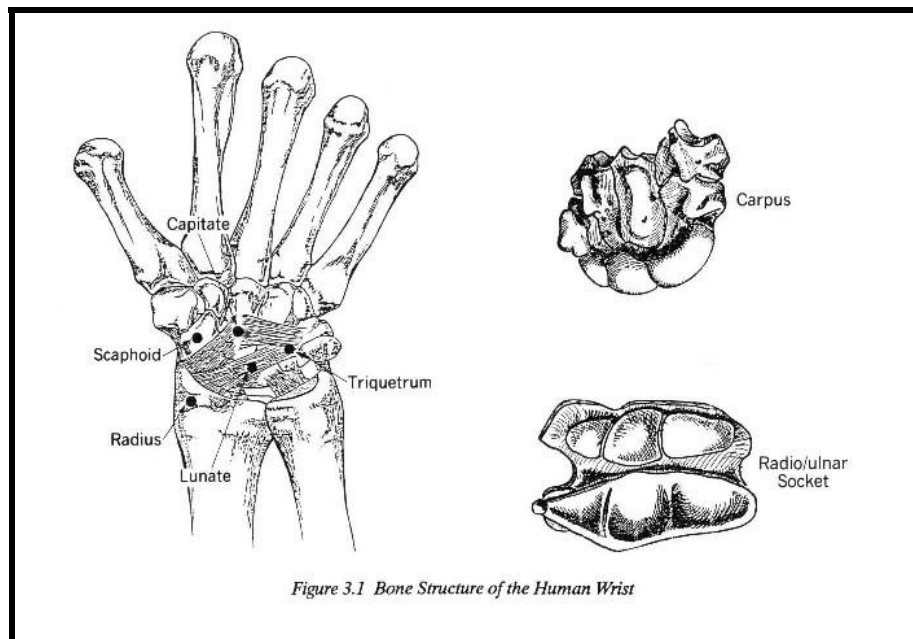
2.3. LA MUÑECA (WRIST)

La muñeca tiene como función principal la de orientar el gripper o efector final en un robot manipulador. La muñeca robótica al igual que la humana, se encuentra ubicada al final del antebrazo del robot. En un robot manipulador la muñeca es esencial para obtener un alto

rendimiento. Por ejemplo en un robot manipulador convencional con 6 GDL, 3 de ellos están ubicados en la muñeca, los cuales son necesarios para operar efectivamente en ambientes complejos tridimensionales, como por ejemplo, actividades de pintura y soldadura.

2.3.1. La Muñeca Humana. Usando como ejemplo la muñeca humana, las muñecas robóticas tienen sus actuadores localizados en la parte superior del brazo o en la base de la muñeca.

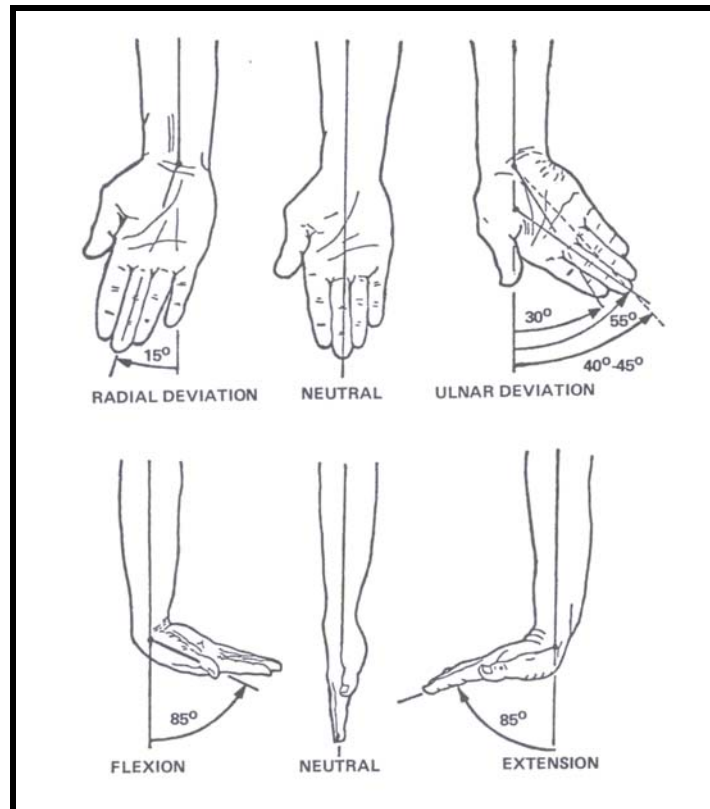
Figura 2. Estructura de los huesos en la Muñeca Humana



La muñeca provee una interfase flexible entre el antebrazo y la mano. Esta compuesta por 8 huesos, *las articulaciones medio carpianas*, las cuales se encuentran unidas por una compleja red de tendones. La muñeca humana es manejada por músculos lejanos a la muñeca (hombro, brazo), tendones y huesos en el brazo, los cuales unidos proveen la fuerza necesaria para manejar el grupo de huesos de la misma.

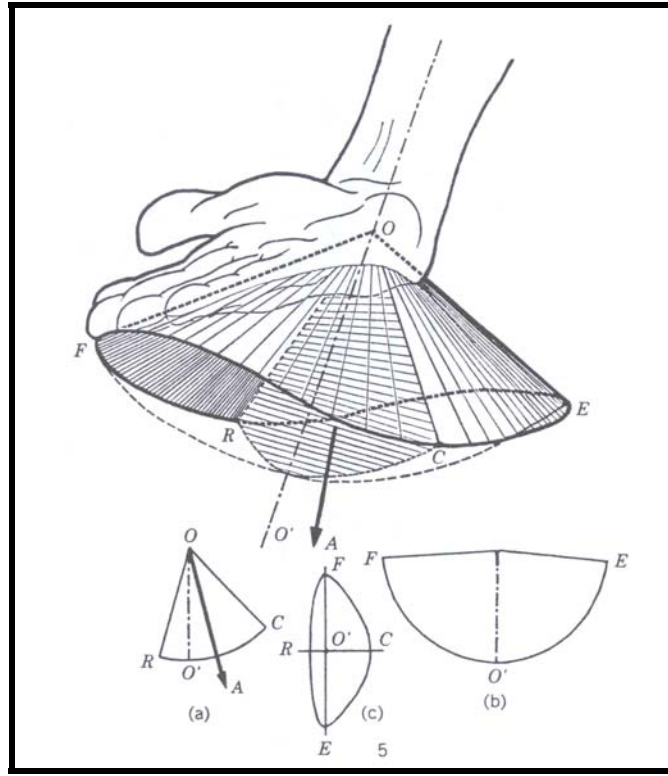
La muñeca humana es capaz de mover la mano 70° (grados) en el modo de *desviación radio / ulnar* (movimiento de la mano de lado a lado) y 170° (grados) en el modo de *flexión / extensión* (movimiento de la mano de arriba hacia abajo). Estos modos operacionales equivalen a los movimientos de *Yaw* y *Pitch*.

Figura 3. Modos de Desviación Radio / Ulnar y Flexión / Extensión



Además, la muñeca se puede mover simultáneamente en cualquier combinación de estos dos ejes, con su intersección formando un centro común. Esto produce el tercer Grado de libertad de la muñeca, el *Roll*. La máxima rotación de la muñeca es de 270° (grados) en total.

Figura 4. Movimiento de Roll en la Muñeca Humana

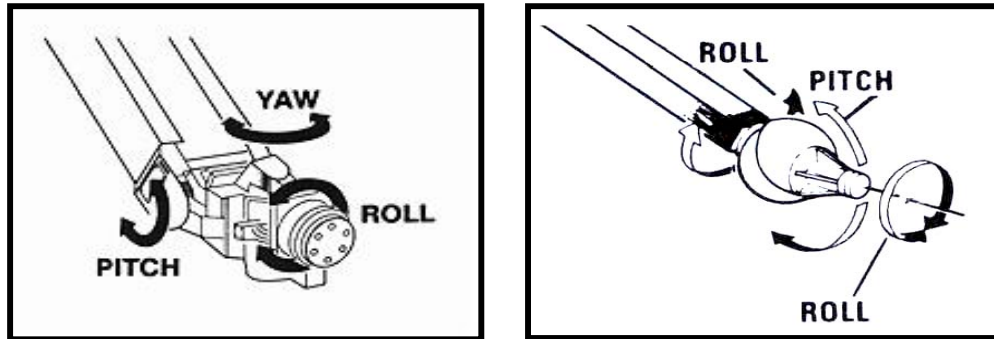


2.3.2. Panorama de la Muñeca Robótica. La primeras muñecas robóticas fueron inventadas para robots de pintura en 1930, y a mediados de 1940, fueron desarrollados robots teleoperados para el manejo de materiales radioactivos. Desde el advenimiento de los robots industriales en 1960, diseños más sofisticados con mayor destreza han sido desarrollados.

Las muñecas robóticas típicamente se pueden dividir en 2 categorías, dependiendo de la orientación de sus ejes:

- Pitch-Yaw-Roll (PYR), como la muñeca humana.
- Roll-Pitch-Roll (RPR).

Figura 5. Clasificación de la Muñeca Robótica



PITCH-YAW-ROLL WRIST

ROLL-PITCH-ROLL WRIST

Haciendo una semejanza entre una muñeca robótica y una muñeca humana, el *Pitch*, equivale al movimiento de arriba hacia abajo (flexión / extensión), el *Yaw*, es el movimiento de lado a lado (desviación radio / ulnar), y el *Roll*, es la rotación entorno a un eje que se encuentra alineado con el brazo (supinación / pronación).

Los ejes del Pitch y el Yaw se encuentran a 90° uno respecto del otro, su rango es generalmente de 180° . El Roll rota el efector final y puede variar de una fracción de revolución a 360° de rotación continua.

La Configuración PYR es libre de singularidades y mucho más flexible que otros tipos, pero son más complejas mecánicamente. La Configuración RPR son las mas usadas en Robótica y sistemas teleoperados. En muchos casos su simplicidad mecánica provee diseños mas robustos. Sin embargo ellas poseen serios problemas mecánicos de singularidad.

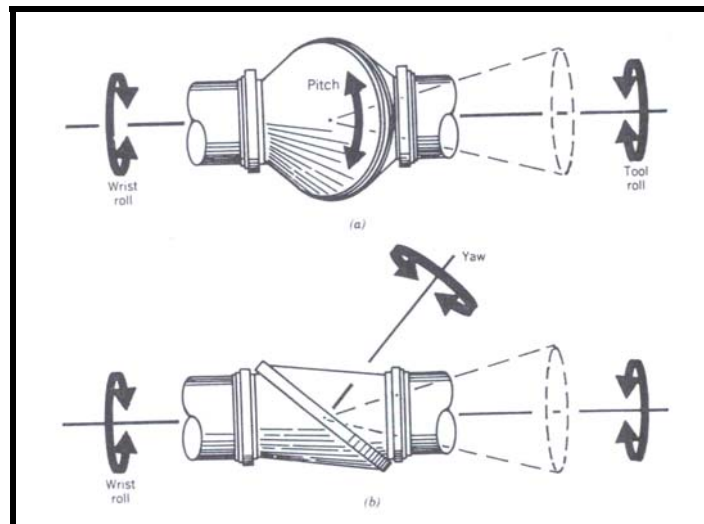
2.3.2.1. Singularidades en la Muñeca Robótica. Las singularidades en una muñeca equivalen al área en el espacio de trabajo que debe ser evitado por causas de defectos en el diseño mecánico. Las singularidades causan embotellamientos en las articulaciones impidiendo el movimiento dentro de un área donde no existe eje de rotación o rango de

movimiento. Como un problema dinámico, estas aparecen cuando la muñeca se encuentra en movimiento.

La configuración RPR posee estos problemas de singularidad, esto se debe a que para poder mover el efector final en un eje perpendicular al eje Pitch (Yaw) es necesario girar la muñeca sobre el eje Roll. Debido a que esto no es hecho de forma instantánea, un vacío cónico es generado en el espacio de trabajo (Figura 6).

Por ejemplo, cuando la muñeca desea pasar de Pitch a Yaw, la muñeca completa debe ser rotada 90° sobre el eje del antebrazo. La ineficiencia de este movimiento correctivo puede ser visualizado moviendo la mano verticalmente (Pitch) y luego usar la pronación / supinación (Roll) para reponer la muñeca a la posición de Yaw.

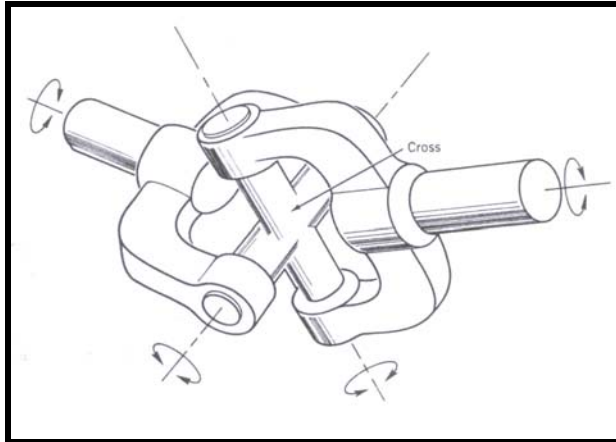
Figura 6. Singularidad en una Muñeca RPR



Para un robot esto puede significar un aumento en el tiempo de la aplicación que lleva a cabo, en actividades como pintura, un cambio de Pitch a Yaw (giro de la muñeca), pueden causar pérdida de tiempo. Además el hecho de que un área cónica dentro del espacio de trabajo de la muñeca deba ser evitado, afecta la destreza de la misma.

En contraste, la Configuración PYR es libre de singularidades en su rango de operación. Basadas en los principios de la Juntura Universal de la muñeca humana, son capaces de posicionar el efector final en Pitch o en Yaw sin girar la muñeca, esto debido a la independencia de sus ejes.

Figura 7. Juntura Universal Tipo Cardan



2.4. EL GRIPPER O EFECTOR FINAL

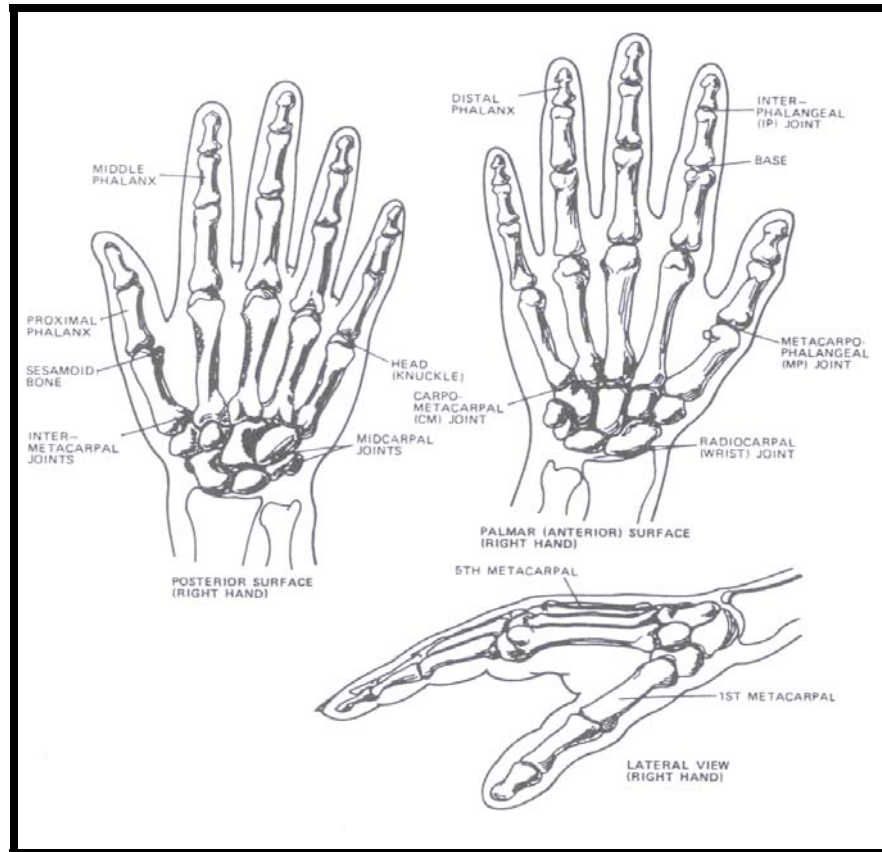
En ambientes industriales, las capacidades del robot deben aumentarse por medio de dispositivos adicionales, estos podrían ser considerados como los periféricos del robot. Es aquí donde el término elementos finales (efector final) se utiliza para describir la mano o herramienta que está unida a la muñeca del robot. El efector final representa el instrumental especial que permite al robot realizar una aplicación particular. Este instrumental especial debe diseñarse específicamente para la aplicación.

Los efectores finales pueden dividirse en dos categorías: pinzas y herramientas. Las pinzas se utilizarían para tomar un objeto, normalmente la pieza de trabajo, y sujetarlo durante el ciclo de trabajo del robot. Hay una diversidad de métodos de sujeción que pueden utilizarse, además de los métodos mecánicos obvios de agarrar la pieza entre dos o más dedos.

La función principal de las pinzas, mas conocidas como grippers, es asir objetos para manipulación, sostenerlo durante su manipulación en un proceso determinado, y dejarlo en su posición de destino. Varios factores influyen en el diseño y construcción de una pinza: estos están relacionados con las características del objeto, como su forma, masa, dimensiones, distribución de masa, material, superficie, temperatura, etc.

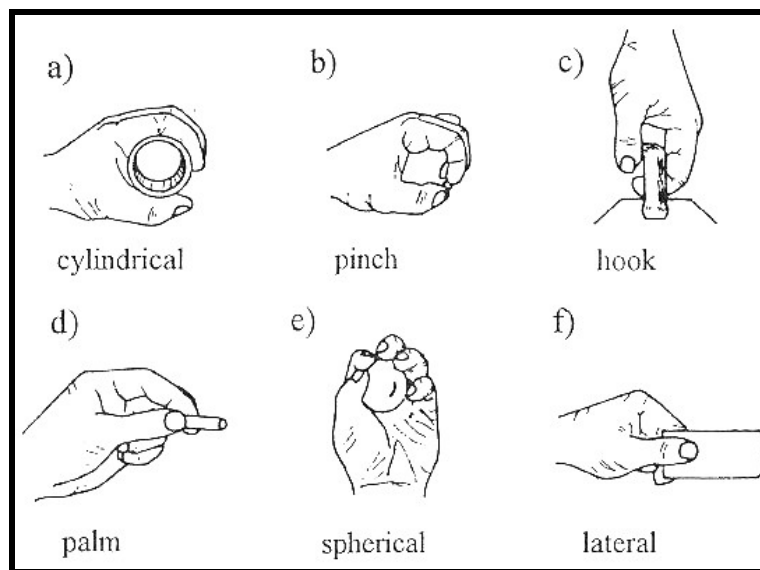
2.4.1. La Mano Humana. Compuesta por huesos, músculos, cartílagos y tendones, la mano humana ha fascinado tanto a artistas como científicos por siglos. Conectada a la muñeca por la palma, la mano humana tiene un total de 20 GDL (4 por dedo) y es manejada aproximadamente por 40 músculos. Algunos de los músculos están localizados en la mano, pero la mayoría de ellos están en el antebrazo y son conectadas a las articulaciones de la mano por medio de los tendones.

Figura 8. Estructura de los huesos en la Mano Humana.



Los músculos de la mano proveen los movimientos coordinados necesarios para la sujeción y manipulación. La estructura del esqueleto de la mano esta formada por los huesos carpianos y metacarpianos, los cuales crean la estructura de las palmas y los dedos. Articulaciones esféricas en los nudillos principales de los dedos permiten la aducción y abducción de los dedos (yaw). Los músculos para manejar el yaw se encuentran en la palma, mientras los músculos del antebrazo unen los tendones que manejan el pitch de los dedos. La palma es flexible y esta compuesta por 4 huesos metacarpianos unidos por tendones y músculos. El pulgar es casi idéntico a los demás dedos, pero se encuentra ubicado en la parte baja de la palma y de este modo facilita la aducción y la abducción. La posibilidad del pulgar de tocar los otros dedos, es una de las características clave del Homo Sapiens que nos separa de otros mamíferos y es esencial para el manejo de herramientas.

Figura 9. Principales Tipos de Agarre en la Mano Humana.



La figura 9 muestra los principales tipos de agarre que pueden ser identificados en la mano humana al sujetar un objeto, ilustrando su gran versatilidad. La cinemática de la mano es mostrada en la figura 10 y sus movimientos en la figura 11.

Figura 10. Cinemática de la Mano Humana.

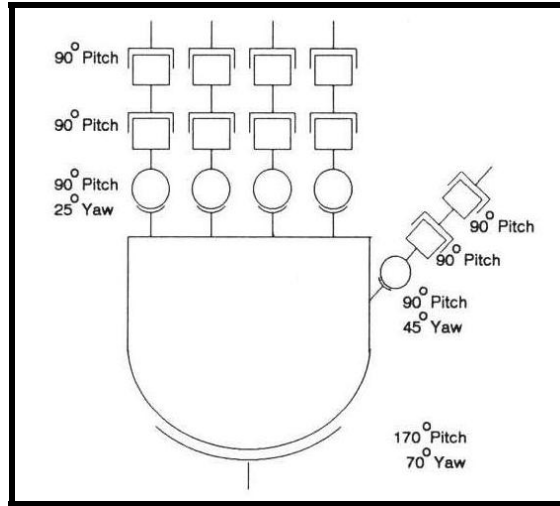
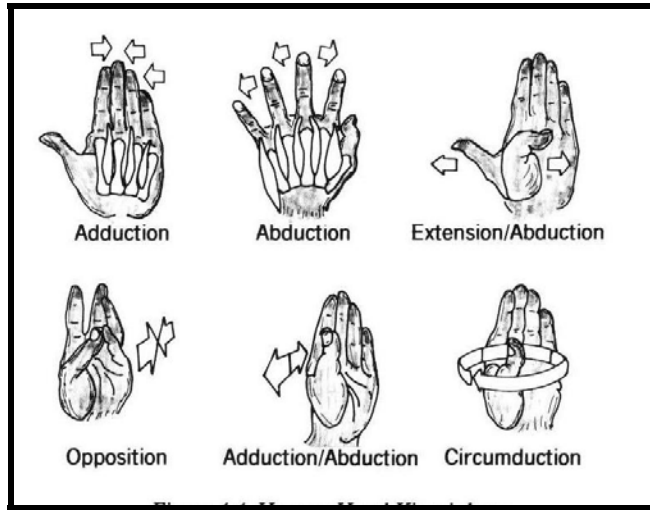
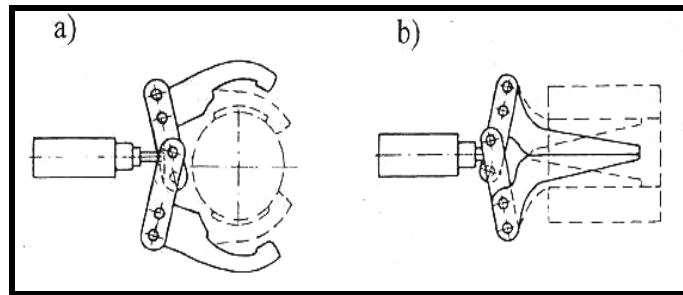


Figura 11. Movimientos de la Mano Humana.



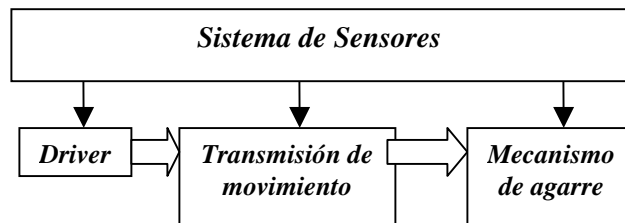
2.4.2. Clasificación Sistemática de los Grippers. Existen varios criterios de clasificación que pueden ser el número de dedos, articulaciones, grados de libertad, o tipos de manejo; la combinación de estos factores conlleva en otros modelos diferentes. Asumiendo una clasificación de acuerdo al número de dedos, estos pueden ser de dos dedos (comúnmente usado en la industria), tres y cinco dedos (manipuladores protésicos). Otra clasificación envuelve las pinzas en dos conjuntos que son las pinzas externas y las internas; el sistema de agarre utilizado también puede ser otro sistema de clasificación.

Figura 12. Tipos de gripper: a) Externa b) Interna



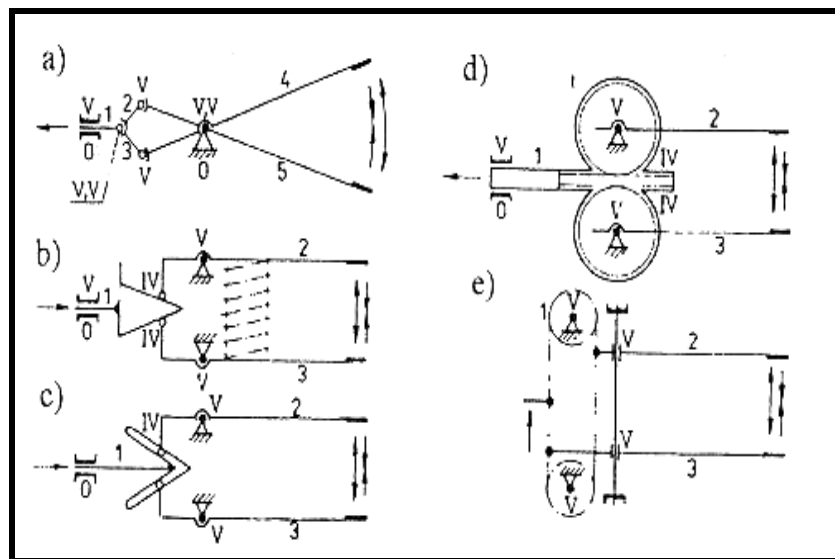
El diagrama de flujo para el sistema de sujeción por grippers se ilustra de la siguiente manera.

Figura 13. Diagrama de flujo para un gripper.



Los mecanismos de grippers más utilizados se pueden observar en la figura 14.

Figura 14. Transmisión de movimiento en los Grippers.



3. DESARROLLO DEL PLANTEAMIENTO DE LA MISIÓN DEL PROYECTO

DESCRIPCION DEL PRODUCTO: Módulo Wrist – Gripper (Muñeca – Efecto Final) que permite la orientación, manipulación y sujeción de objetos.

PRINCIPAL OBJETIVO DE MARKETING

- Diseñar y construir un dispositivo mecatrónico que permita una aproximación a las aplicaciones industriales en el ámbito de la Robótica.

MERCADO PRIMARIO

- Universidad Autónoma de Occidente (Laboratorio de Robótica)

MERCADO SECUNDARIO

- Otras Universidades interesadas en adquirir equipos que permitan a los estudiantes diseñar, innovar e instrumentar.

PREMISAS Y RESTRICCIONES

- Dispositivo mecatrónico que permita la orientación, sujeción y manipulación de objetos .
- Carga máxima 1 Kg.
- Mecanismo de acople entre el Módulo y el brazo manipulador.
- Mecanismo de acople que permita el cambio de gripper.
- Capacidad del gripper para manipular objetos de diferentes formas y tamaños.
- Amplio rango de agarre para la sujeción de piezas.
- Amplio rango para la orientación del Gripper.

PARTES IMPLICADAS

- Universidad Autónoma de Occidente.
- Profesores y estudiantes.

4. NECESIDADES DEL CLIENTE

Cuadro 1. Necesidades del Cliente

NECESIDADES		IMP
1.	El dispositivo permite la manipulación y sujeción de objetos.	5
2.	El dispositivo permite la orientación del efector final (gripper)	5
3.	El dispositivo tiene la capacidad de sujetar objetos con diferentes tamaños y formas geométricas	5
4.	El dispositivo es preciso y repetitivo	5
5.	El dispositivo posee un sistema de control para sus movimientos	5
6.	El dispositivo posee una buena capacidad de carga	5
7.	El dispositivo presenta un diseño agradable	4
8.	El dispositivo posee sensores para medir los ángulos de orientación en la muñeca.	5
9.	El dispositivo suministra una presión adecuada al objeto a manipular	5
10.	El dispositivo ejecuta rápidamente las operaciones deseadas	4
11.	El dispositivo presenta un mecanismo de acople que permite su fácil fijación a un determinado manipulador	5
12.	El dispositivo posee un mecanismo de acople que permite el cambio del Gripper.	5
13.	El número de piezas del dispositivo es reducido	3
14.	Fácil mantenimiento y reparación	4
15.	El dispositivo posee un peso y tamaño adecuados para su óptimo funcionamiento	5
16.	El dispositivo tiene un amplio rango de agarre para la sujeción de piezas	5
17.	Las piezas que conforman el dispositivo son fáciles de manufacturar	4
18.	El dispositivo posee sensores para medir la posición de los dedos	5
19.	El dispositivo posee un rango amplio para la orientación del gripper.	5

4.1. MEDIDAS Y SUS UNIDADES

Cuadro 2. Medidas y sus Unidades

	MEDIDAS	UNIDADES	IMP
1	Nº de dedos	#	4
2	Articulaciones por dedo	#	4
3	Actuadores Gripper	#	5
4	Abertura Máxima Gripper	mm	5
5	Sensores Gripper(Presión)	Lista	4
6	Sensores Gripper(Posición)	Lista	5
7	Peso Gripper	Kg.	5
8	Tiempo Gripper (abierto-cerrado)	Seg.	4
9	Nº de ejes Wrist	#	5
10	Wrist Roll	Grados	5
11	Wrist Pitch	Grados	5
12	Wrist Yaw	Grados	5
13	Actuadores Wrist	#	5
14	Sensores Wrist(Posición)	Lista	5
15	Peso Wrist	Kg.	5
16	Velocidad máxima Wrist	Rad./seg.	4
17	Dimensiones del gripper (LargoxAltoxAncho)	mm	4
18	Dimensiones de la muñeca (LargoxAltoxAncho)	mm	4
19	Máxima Capacidad de Carga	Kg	5
20	Precisión	grados	5
21	Repetibilidad	mm	5
22	Transmisión Muñeca	Lista	4
23	Transmisión Gripper	Lista	4
24	Controlador	Si/No	5
25	Modularidad del Diseño	Subjetivo	4
26	Mecanismo de acople para fijar Muñeca	Subjetivo	5

	MEDIDAS	UNIDADES	IMP
27	Mecanismo de acople para fijar Gripper	Subjetivo	5
28	Fabricantes de Repuestos y piezas	Lista	3
29	Diseño Agradable	Subjetivo	5
30	Herramientas especiales requeridas para mantenimiento	Lista	3

4.2. RELACIÓN DE LAS MEDIDAS CON LAS NECESIDADES

Cuadro 3. Relación de las Medidas con las unidades.

	NEC.	MEDIDAS	UNIDADES	IMP
1	1,3	Nº de dedos	#	4
2	1	Articulaciones por dedo	#	4
3	1	Actuadores Gripper	#	5
4	3,15	Abertura Máxima Gripper	mm	5
5	9	Sensores Gripper(Presión)	Lista	4
6	18	Sensores Gripper(Posición)	Lista	5
7	15	Peso Gripper	Kg	5
8	10	Tiempo Gripper (abierto-cerrado)	Seg.	4
9	2	Nº de ejes Wrist	#	5
10	2,19	Wrist Roll	Grados	5
11	2,19	Wrist Pitch	Grados	5
12	2,19	Wrist Yaw	Grados	5
13	2	Actuadores Wrist	#	5
14	8	Sensores Wrist(Posición)	Lista	5
15	15	Peso Wrist	Kg.	5
16	10	Velocidad máxima Wrist	Rad./seg.	4
17	15	Dimensiones del gripper (LargoxAlttoxAncho)	mm	4
18	15	Dimensiones de la muñeca (LargoxAlttoxAncho)	mm	4
19	6	Máxima Capacidad de Carga	Kg	5
20	4	Precisión	grados	5
21	4	Repetibilidad	mm	5
22	6	Transmisión Muñeca	Lista	4
23	6	Transmisión Gripper	Lista	4
24	5	Controlador	Si/No	5
25	13	Modularidad del Diseño	Subjetivo	4
26	11	Mecanismo de acople para fijar Muñeca	Subjetivo	5

	NEC.	MEDIDAS	UNIDADES	IMP
27	12	Mecanismo de acople para fijar Gripper	Subjetivo	5
28	14,	Fabricantes de Repuestos y piezas	Lista	3
	17			
29	7	Diseño Agradable	Subjetivo	5
30	14	Herramientas especiales requeridas para mantenimiento	Lista	3

4.3. BENCHMARKING COMPETITIVO

La razón principal para usar la Casa de Calidades en el desarrollo de un producto, una vez clara las necesidades del cliente, es que permite ayudar al grupo de desarrollo a entender y clarificar sus especificaciones preliminares. Para lograr esto es necesario realizar comparaciones entre diversos productos con características similares al que se desea desarrollar.

Los productos (dispositivos) seleccionados para realizar el BenchMarking fueron:

Figura 15. SCORBOT ERV PLUS

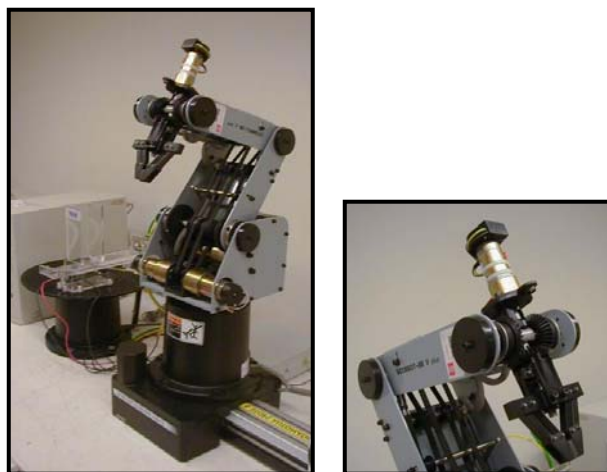


Figura 16. WAM Arm



Figura 17. Armdroid 2001 Plus

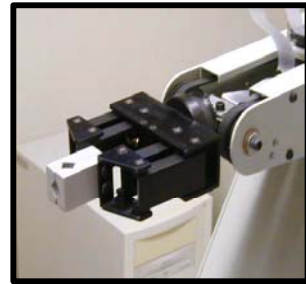


Fig. 18. Gripper Concéntrico.



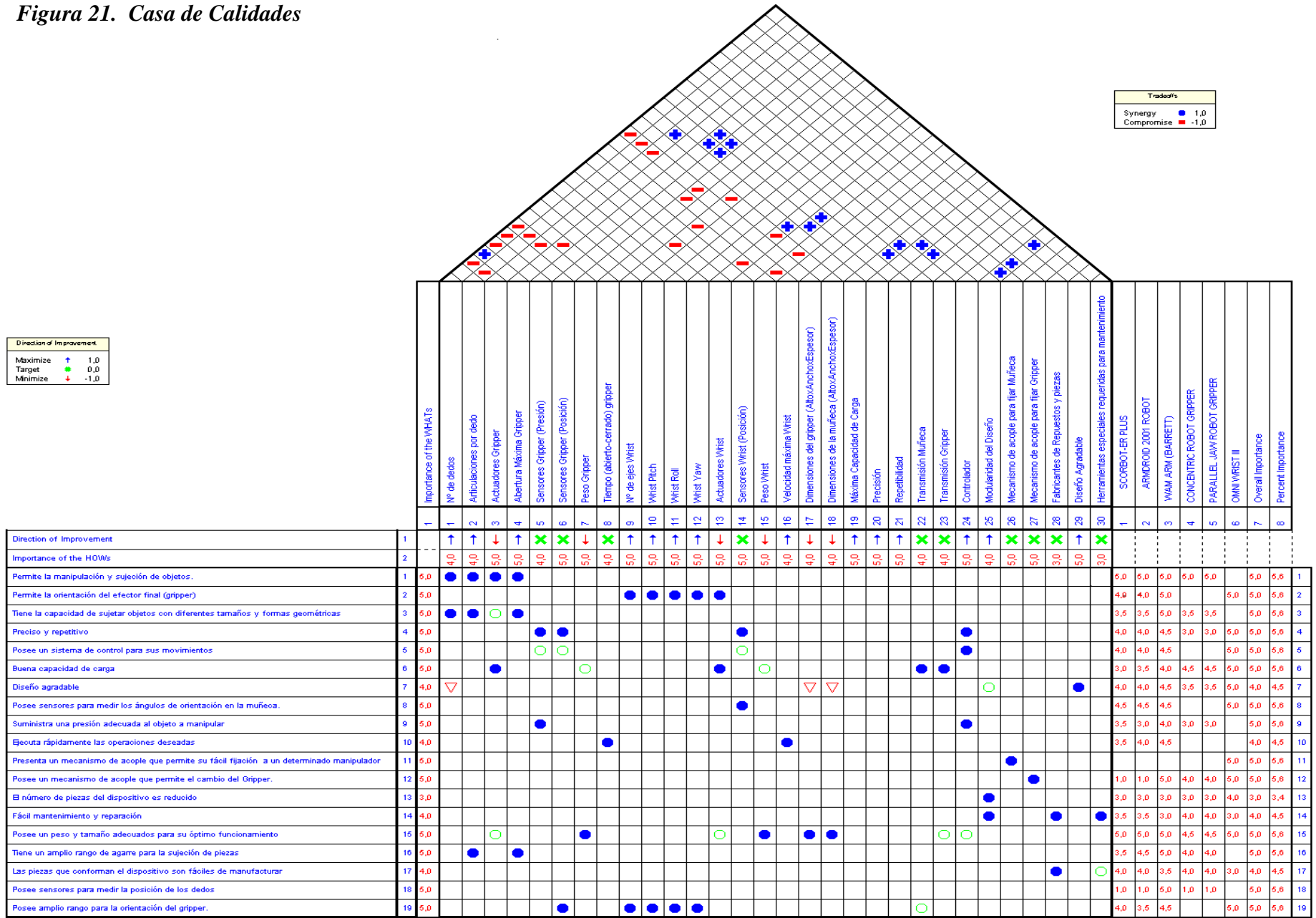
Fig. 19. Gripper Paralelo.



Figura 20. OMNI Wrist III



Figura 21. Casa de Calidades



4.4. ESPECIFICACIONES PRELIMINARES

Cuadro 4. Especificaciones Preliminares.

MEDIDAS		UNIDADES	IMP
1	N° de dedos	≥ 2	4
2	Articulaciones por dedo	≥ 1	4
3	Actuadores Gripper	≥ 1	5
4	Abertura Máxima Gripper	> 90 mm	5
5	Sensores Gripper(Presión)	No	4
6	Sensores Gripper(Posición)	Encóder incremental, switches	5
7	Peso Gripper	≤ 1.38 Kg	5
8	Tiempo Gripper (abierto-cerrado)	≤ 2 seg.	4
9	N° de ejes Wrist	≥ 2	5
10	Wrist Pitch	≥ 130 grados	5
11	Wrist Roll	≥ 350 grados	5
12	Wrist Yaw	≥ 180 grados	5
13	Actuadores Wrist	≥ 2	5
14	Sensores Wrist(Posición)	Encóder incremental	5
15	Peso Wrist	< 10 kg	5
16	Velocidad máxima Wrist		4
17	Dimensiones del gripper (AltoxAnchoxProf)	≤ 210 mm ≤ 317 mm ≤ 89 mm	4
18	Dimensiones de la muñeca (AltoxAnchoxProf.)	≤ 462 mm ≤ 203 mm ≤ 203 mm	4
19	Máxima Capacidad de Carga	≥ 1 Kg	5
20	Precisión	≤ 1.8 grados	5
21	Repetibilidad	≤ 2.54 mm	5
22	Transmisión Muñeca	Engranés	4
23	Transmisión Gripper	Barras paralelas, engranés	4
24	Controlador	Sí	5
25	Modularidad del Diseño	Sí	4
26	Mecanismo de acople para fijar Muñeca	Sí	5

	MEDIDAS	UNIDADES	IMP
27	Mecanismo de acople para fijar Gripper	Sí	5
28	Fabricantes de Repuestos y piezas	Lista	3
29	Diseño Agradable	Sí	5
30	Herramientas especiales requeridas para mantenimiento	Lista	3

6. CLARIFICACIÓN DEL PROBLEMA

NECESIDADES

- ▶ Permite la orientación, manipulación y sujeción de objetos.
- ▶ Buena capacidad de carga.
- ▶ Preciso y repetitivo
- ▶ Posee un sistema de control para sus movimientos.
- ▶ Tiene la capacidad de sujetar elementos con diferentes tamaños y formas geométricas.
- ▶ Posee sistemas para medir el ángulo de orientación en la muñeca.
- ▶ Suministra una presión adecuada al objeto a manipular.
- ▶ Posee mecanismo de acople para la muñeca y el Gripper.
- ▶ Posee un peso y tamaño adecuados para su óptimo funcionamiento
- ▶ Posee sensores para medir la posición de los dedos.
- ▶ Posee un amplio rango de agarre para la sujeción de piezas.
- ▶ Posee un rango amplio para la orientación del gripper.

ESPECIFICACIONES PRELIMINARES

▶ Gripper	Nº de dedos	≥ 2
	Articulaciones por dedo	≥ 1
	Actuadores	≥ 1
	Abertura máxima	> 90 mm
	Peso	< 1.38 Kg
	Tiempo (abierto-cerrado)	≤ 2 seg
	Sensores de posición	Encoder, switches
▶ Wrist (Muñeca)	Nº de ejes	≥ 2
	Wrist Roll	≥ 350 grados
	Wrist Pitch	≥ 130 grados
	Wrist Yaw	≥ 180 grados
	Actuadores Wrist	≥ 2

	Peso	<10 Kg.
▶	Dimensiones del gripper (AlttoxAnchoxProf.)	<=210 mm <=317 mm <=89 mm
▶	Dimensiones de la muñeca (AlttoxAnchoxProf.)	<=462 mm <=203 mm <=203 mm
▶	Máxima capacidad de carga	>= 1 Kg

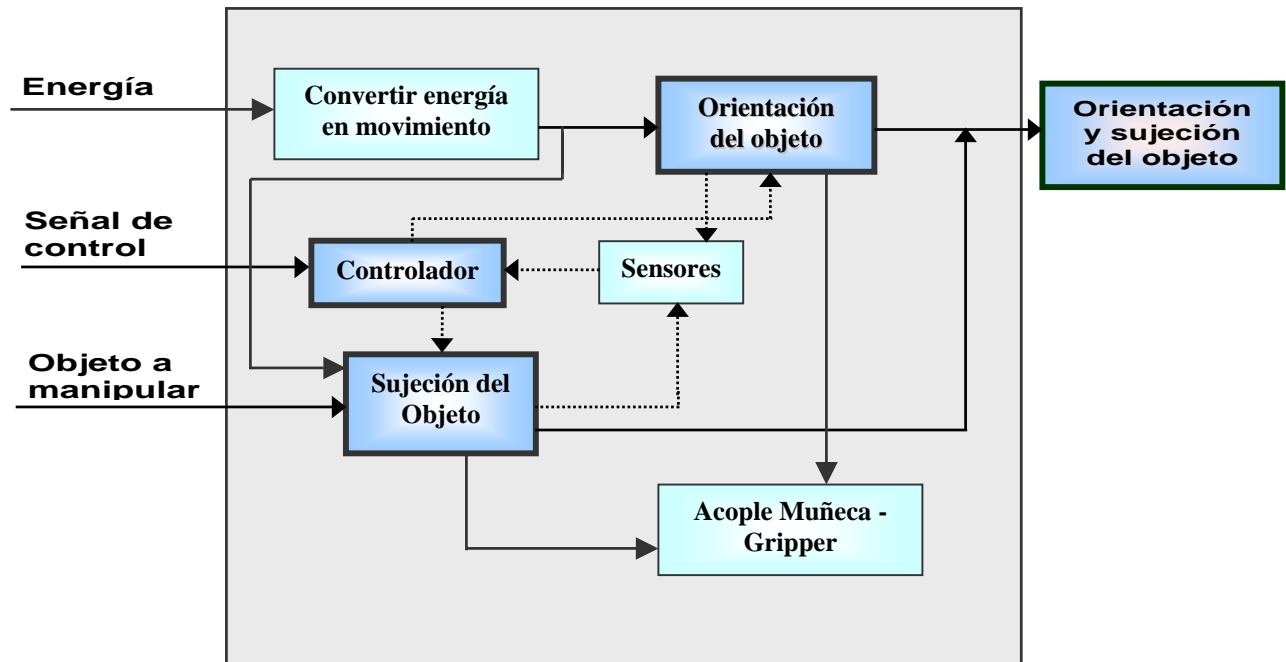
6.1. CAJA NEGRA

Figura 22. Representación Caja Negra del Sistema



6.1.1. Descomposición en subsistemas mas simples

Figura 23. Descomposición en Subsistemas



Subfunciones mas críticas:

- ✦ Orientación del objeto
- ✦ Sujeción del objeto
- ✦ Controlador

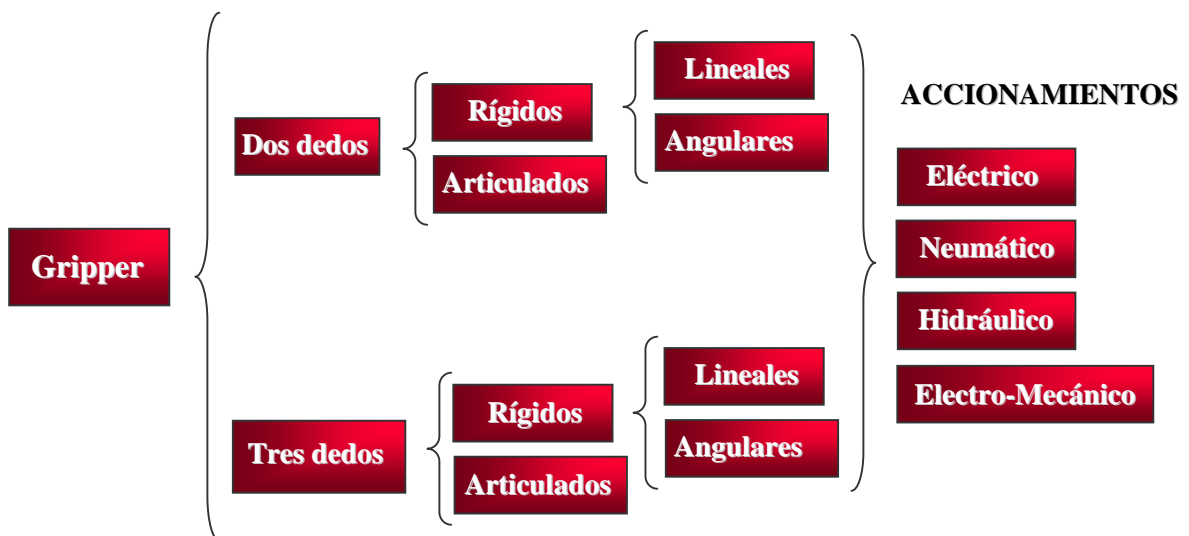
6. GENERACIÓN DE CONCEPTOS

6.1. GENERACIÓN DE CONCEPTOS GRIPPER (Sujeción del objeto)

- ⊕ Accionamientos eléctrico, neumático, hidráulico o electromecánico.
- ⊕ Gripper 2 dedos rígidos lineal
- ⊕ Gripper 2 dedos rígidos angular
- ⊕ Gripper 3 dedos rígidos lineal
- ⊕ Gripper 3 dedos rígidos angular
- ⊕ Gripper con dedos articulados
- ⊕ Electroimán

6.1.1. Arbol de clasificación de Conceptos Gripper

Figura 24. Arbol de Clasificación de Conceptos Gripper



Los actuadores hidráulicos poseen ventajas tales como:

- Buena relación peso-potencia.
- Desarrollan torques y fuerzas altas, evitando el uso de reductores.
- Soportan sobrecargas elevadas elevadas sin sufrir daños.
- Rápida respuesta.
- Movimientos suaves.
- Fácil de controlar su posición.

Pero también presentan desventajas tales como:

- Altos costos.
- Por las altas presiones se pueden presentar fugas de aceite.
- No trabajan en ciclos de alta velocidad.
- Requieren de un excelente mantenimiento.

Analizando tanto ventajas como desventajas se decidió no hacer uso de esta alternativa.

De igual forma los actuadores neumáticos, presentan ventajas y desventajas a saber:

Ventajas:

- Alta velocidad de acción.
- Sistemas simples.
- Soportan sobrecargas sin ser dañados.
- No contaminan el espacio de trabajo con fluídos.
- Modulares, ligeros y compactos.
- Económicos.
- Bajo costo de mantenimiento.

Desventajas:

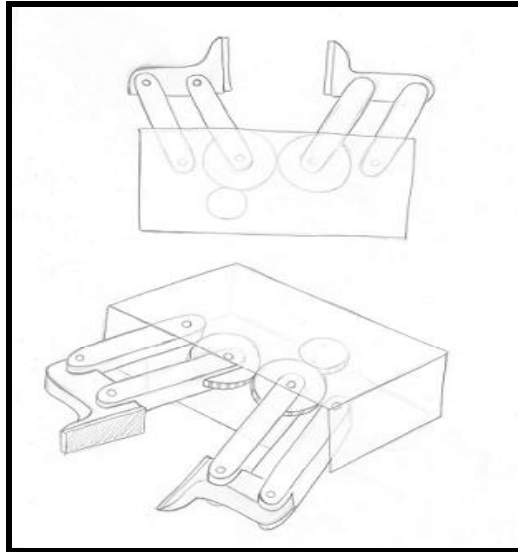
- Baja precisión.
- Dificultades en el control de la posición por alta velocidad, aceleración, inercias....
- Contaminación por ruido debido al escape de gases.

Al igual que los hidráulicos, esta alternativa fue descartada.

6.1.2. Conceptos generados Gripper

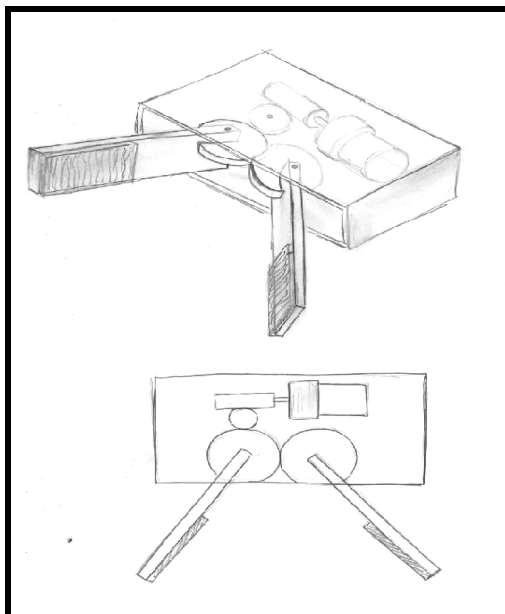
Concepto A: Gripper de dos dedos lineal

Figura 25. Gripper de dos dedos lineal



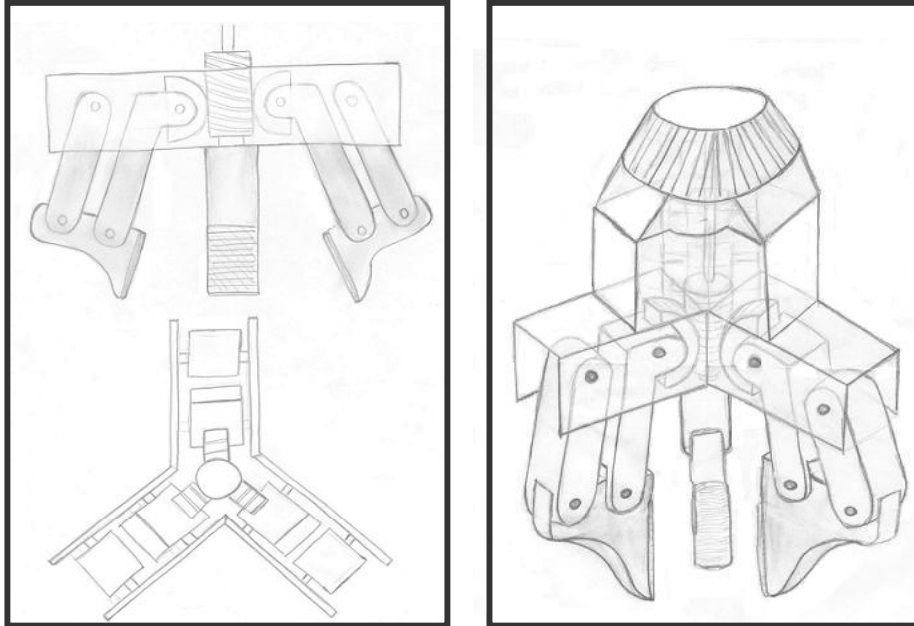
Concepto B: Gripper de dos dedos angular

Figura 26. Gripper de dos dedos angular



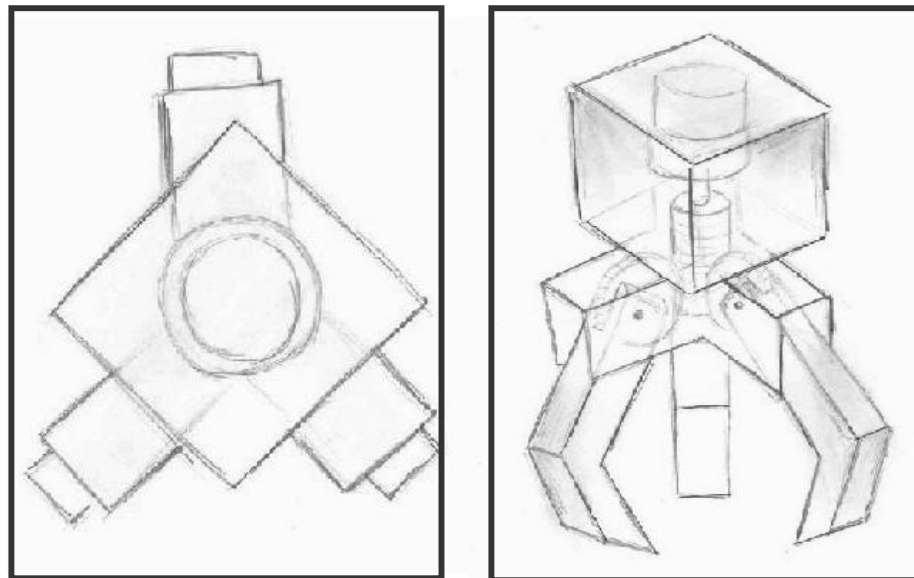
Concepto C: Gripper de tres dedos lineal

Figura 27. Gripper de tres dedos lineal.



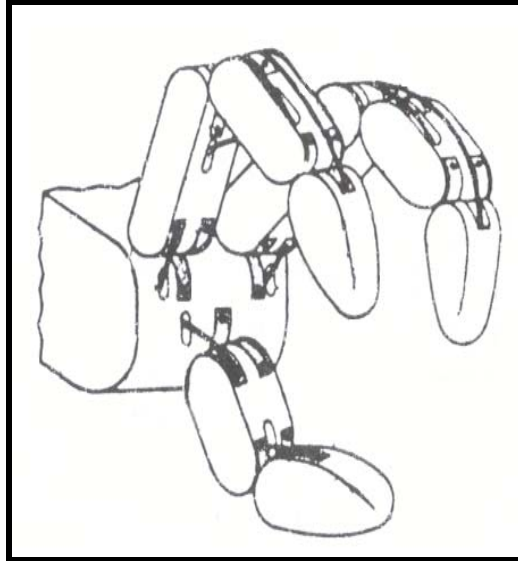
Concepto D: Gripper de tres dedos angular

Figura 28. Gripper de tres dedos angular



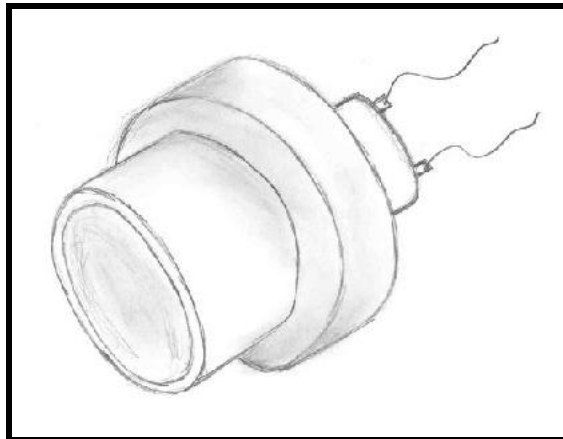
Concepto E: Gripper de tres dedos articulado

Figura 29. Gripper de tres dedos articulado



Concepto F: Electroimán

Figura 30. Electroimán



- Este concepto fue descartado ya que sólo permite la sujeción de elementos ferromagnéticos. Además la capacidad de sujeción que ofrece este es inferior a los gripper de dos o tres dedos, los cuales ofrecen mayores puntos de contacto con la pieza.

6.2. GENERACIÓN DE CONCEPTOS WRIST (Orientación del objeto)

- ⊕ Muñeca RP con engranajes diferenciales
- ⊕ Muñeca RPR con engranajes diferenciales
- ⊕ Muñeca RPY haciendo uso de una junta Universal tipo Cardan
- ⊕ Muñeca con articulación esférica (3 GDL)
- ⊕ Muñeca RPY con engranajes y configuración DirectDrive

6.2.1. Arbol de clasificación de conceptos Wrist

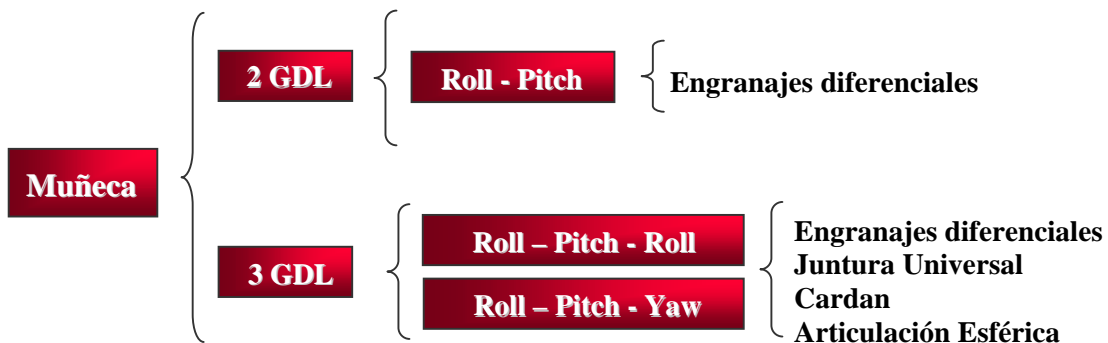
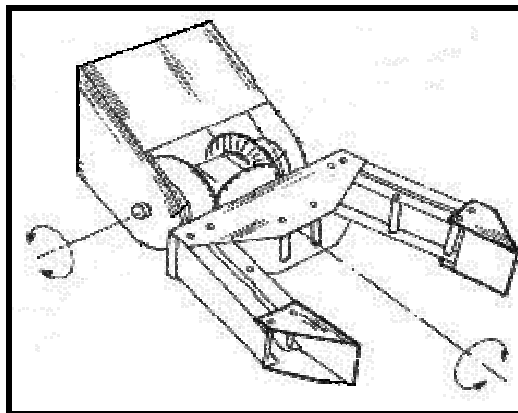


Figura 31. Arbol de clasificación de conceptos Wrist.

6.2.2. Conceptos generados Wrist

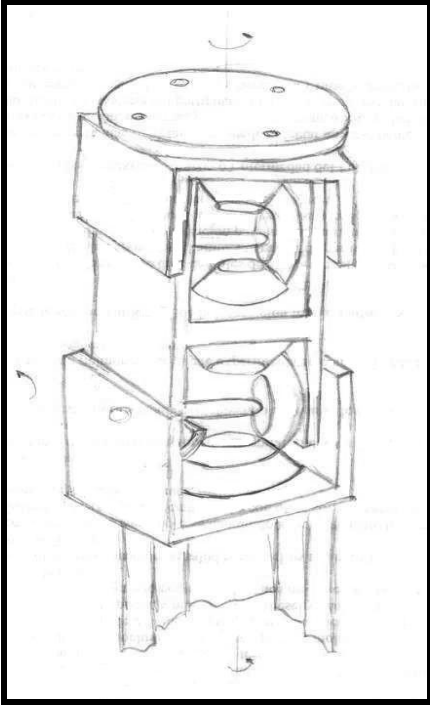
Concepto A: Configuración Roll-Pitch

Figura 32. Configuración Roll-Pitch



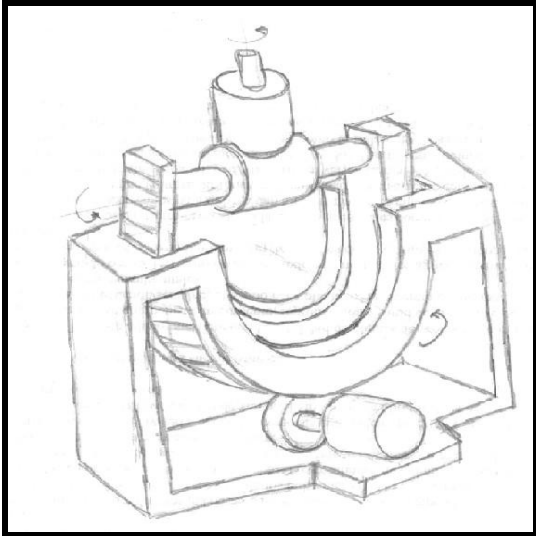
Concepto B: Configuración Roll-Pitch-Roll.

Figura 33. Configuración Roll-Pitch-Roll



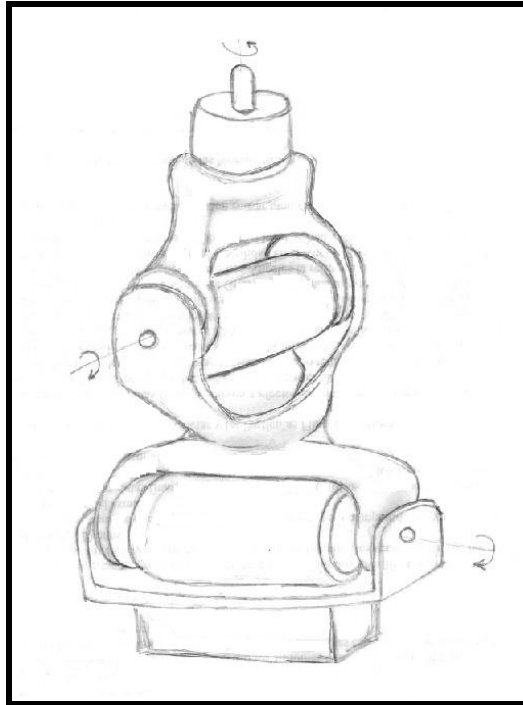
Concepto C: Configuración Roll-Pitch-Yaw

Figura 34. Configuración Roll-Pitch-Yaw



Concepto D: Configuración Roll-Pitch-Yaw Juntura Universal Tipo Cardan

Figura 35. Configuración Roll-Pitch-Yaw Juntura Universal Tipo Cardan.



* El concepto generado para la orientación del objeto haciendo uso de una articulación esférica fue descartado por su complejidad mecánica.

6.3. ARBOL DE CLASIFICACIÓN DE CONCEPTOS CONTROLADOR

Figura 36. Arbol de clasificación de conceptos Controlador.

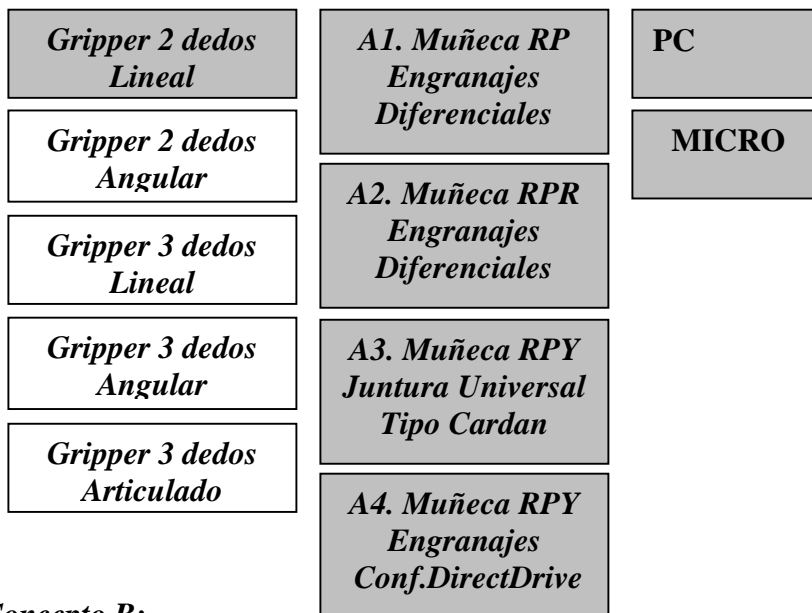


Para poder llevar a cabo el control del dispositivo se hará uso de un microcontrolador. De igual manera el PC brindará la interfaz para la interacción con el usuario.

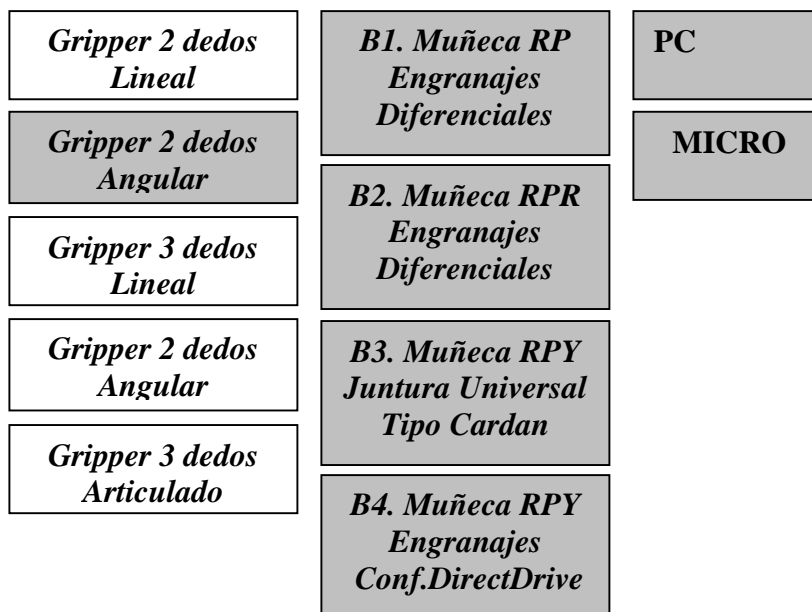
6.3.1. Combinación de Conceptos



Grupo Concepto A:



Grupo Concepto B:



Grupo Concepto C:

<i>Gripper 2 dedos Lineal</i>	<i>C1. Muñeca RP Engranajes Diferenciales</i>	PC
<i>Gripper 2 dedos Angular</i>		MICRO
<i>Gripper 3 dedos Lineal</i>	<i>C2. Muñeca RPR Engranajes Diferenciales</i>	
<i>Gripper 2 dedos Angular</i>	<i>C3. Muñeca RPY Juntura Universal Tipo Cardan</i>	
<i>Gripper 3 dedos Articulado</i>	<i>C4. Muñeca RPY Engranajes Conf.DirectDrive</i>	

Grupo Concepto D:

<i>Gripper 2 dedos Lineal</i>	<i>D1. Muñeca RP Engranajes Diferenciales</i>	PC
<i>Gripper 2 dedos Angular</i>		MICRO
<i>Gripper 3 dedos Lineal</i>	<i>D2. Muñeca RPR Engranajes Diferenciales</i>	
<i>Gripper 2 dedos Angular</i>	<i>D3. Muñeca RPY Juntura Universal Tipo Cardan</i>	
<i>Gripper 3 dedos Articulado</i>	<i>D4. Muñeca RPY Engranajes Conf.DirectDrive</i>	

Grupo Concepto E:

<i>Gripper 2 dedos Lineal</i>	<i>E1. Muñeca RP Engranajes Diferenciales</i>	PC
<i>Gripper 2 dedos Angular</i>		MICRO
<i>Gripper 3 dedos Lineal</i>	<i>E2. Muñeca RPR Engranajes Diferenciales</i>	
<i>Gripper 2 dedos Angular</i>	<i>E3. Muñeca RPY Juntura Universal Tipo Cardan</i>	
<i>Gripper 3 dedos Articulado</i>	<i>E4. Muñeca RPY Engranajes Conf.DirectDrive</i>	

7. SELECCIÓN DE CONCEPTOS

Después de realizar un análisis a los conceptos antes presentados se tomó la decisión de no considerar aquellos que utilizan la configuración Roll-Pitch con engranajes diferenciales (Conceptos A1, B1, C1, D1, E1), ya que esta es la configuración comúnmente usada en la mayoría de los manipuladores que poseen 5 GDL. Además como necesidad se plantea que el dispositivo tenga un amplio rango para la orientación de la pieza, esta configuración (RP) a diferencia de las otras configuraciones presentadas solo tiene 2 GDL, limitando de esta manera los rangos de orientación.

7.1. CONCEPTO DE REFERENCIA

Debido a la dificultad para encontrar un módulo Muñeca-Gripper como referencia, se seleccionó como Concepto de Referencia un Robot manipulador de 7 GDL, pero solo se considera para el análisis los 3 grados de orientación de la muñeca y el efector final (BarrettHand).

WAM ARM Barrett

Figura 37. WAM ARM (Barrett)



Fig. 38. Robot Manipulador de 7 GDL.



Fig. 39. BO1 C1 Muñeca RPR.



Fig. 40. BarrettHand



Especificaciones

BO1 C1 Muñeca RPR

<i>Nº de ejes</i>	<i>3</i>
<i>Wrist Roll</i>	<i>350°</i>
<i>Wrist Pitch</i>	<i>180°</i>
<i>Wrist Yaw</i>	<i>255°</i>
<i>Actuadores</i>	<i>3</i>
<i>Peso</i>	<i>2.1 Kg</i>
<i>Velocidad</i>	<i>500 mm/seg.</i>
<i>Sensores</i>	<i>Encóder</i>
<i>Transmisión</i>	<i>Engranés, cables</i>
<i>Dimensiones</i> <i>(AltoxAnchoxEspesor)</i>	<i>280x89x89 mm</i>

BarrettHand

<i>Nº dedos</i>	<i>3</i>
<i>Articulaciones por dedo</i>	<i>2</i>
<i>Actuadores</i>	<i>4</i>
<i>Abertura Máxima</i>	<i>300 mm</i>
<i>Actuadores</i>	<i>3</i>
<i>Peso</i>	<i>1.38 Kg.</i>
<i>Capacidad de carga</i>	<i>6 Kg.</i>
<i>Tiempo dedo</i> <i>(Abierto-Cerrado)</i>	<i>1 seg.</i>
<i>Transmisión</i>	<i>Engranés, Config.</i> <i>DirectDrive</i>
<i>Dimensiones</i> <i>(AltoxAnchoxEspesor)</i>	<i>210x317x89 mm</i>

7.2. MATRIZ DE TAMIZAJE DE CONCEPTOS

Cuadro 5. Matriz de Tamizaje de Conceptos

Criterio de selección.	A2	A3	A4	B2	B3	B4	C2	C3	C4	D2	D3	D4	E2	E3	E4	Ref
Permite la orientación, manipulación y sujeción de objetos.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Buena capacidad de carga.	-	-	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Preciso y repetitivo.	-	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0	0
Sistema de control para movimientos.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sujeta elementos con diferentes tamaños y formas geométricas.	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sistemas para medir el ángulo de orientación en la muñeca.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amplio rango de agarre.	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amplio rango de orientación.	+	0	+	+	0	+	+	0	+	+	0	+	+	0	+	0
Presión adecuada al manipular.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0
Mecanismo de acople para la muñeca y el Gripper.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
Peso y tamaño adecuados.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sensores para medir la posición de los dedos.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0
Positivos	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	
Iguales	4	6	6	4	6	6	7	9	8	7	8	8	9	11	10	
Negativos	6	5	4	6	5	4	3	2	2	3	2	2	1	0	0	
TOTAL	-4	-4	-2	-4	-4	-2	-1	-1	0	-1	-1	0	1	1	2	
Orden	15	13	11	14	12	10	9	7	5	8	6	4	3	2	1	
Continuar?	No	No	No	No	No	No	No	No	Si	No	No	Si	Si	Si	Si	

* Como se puede observar los conceptos que incluían grippers de 2 dedos rígidos fueron descartados en el tamizaje ya que estos no permiten la manipulación y sujeción de objetos con diferentes formas, además su rango de agarre es menor comparado con los de 3 dedos.

7.3. MATRIZ PARA EVALUAR CONCEPTOS

Cuadro 6. Matriz para evaluar Conceptos

		Variantes de Conceptos											
		Referencia		C4		D4		E2		E3		E4	
Criterio de Selección	%	Nota	Cp	Nota	Cp	Nota	Cp	Nota	Cp	Nota	Cp	Nota	Cp
Permite la orientación, manipulación y sujeción de objetos.	15	5	0.75	5	0.75	5	0.75	5	0.75	5	0.75	5	0.75
Buena capacidad de carga.	10	5	0.5	4	0.4	4	0.4	4	0.4	4	0.4	4	0.4
Preciso y repetitivo.	20	5	1	3	0.6	3	0.6	3.5	0.7	4	0.8	4.5	0.9
Amplio rango de agarre.	15	4.5	0.67	3.5	0.52	3.5	0.52	4	0.6	4	0.6	4	0.6
Amplio rango de orientación.	15	4	0.6	4.5	0.67	4.5	0.67	4.5	0.67	4	0.6	4.5	0.67
Presión adecuada al manipular.	10	4.5	0.45	3	0.3	3	0.3	4	0.4	4	0.4	4	0.4
Diseño Agradable	5	5	0.25	4	0.2	3.5	0.17	4	0.2	4	0.2	4.5	0.22
Piezas fáciles de manufacturar	5	4	0.2	4	0.2	4	0.2	3	0.15	3	0.15	4	0.2
Número de piezas reducido	5	4	0.2	4	0.2	4	0.2	3	0.15	3	0.15	4	0.2
TOTAL		4.62		3.84		3.81		4.02		4.05		4.34	
ORDEN		*		4		5		3		2		1	
CONTINUAR?				No		No		No		No		Desarrollar	

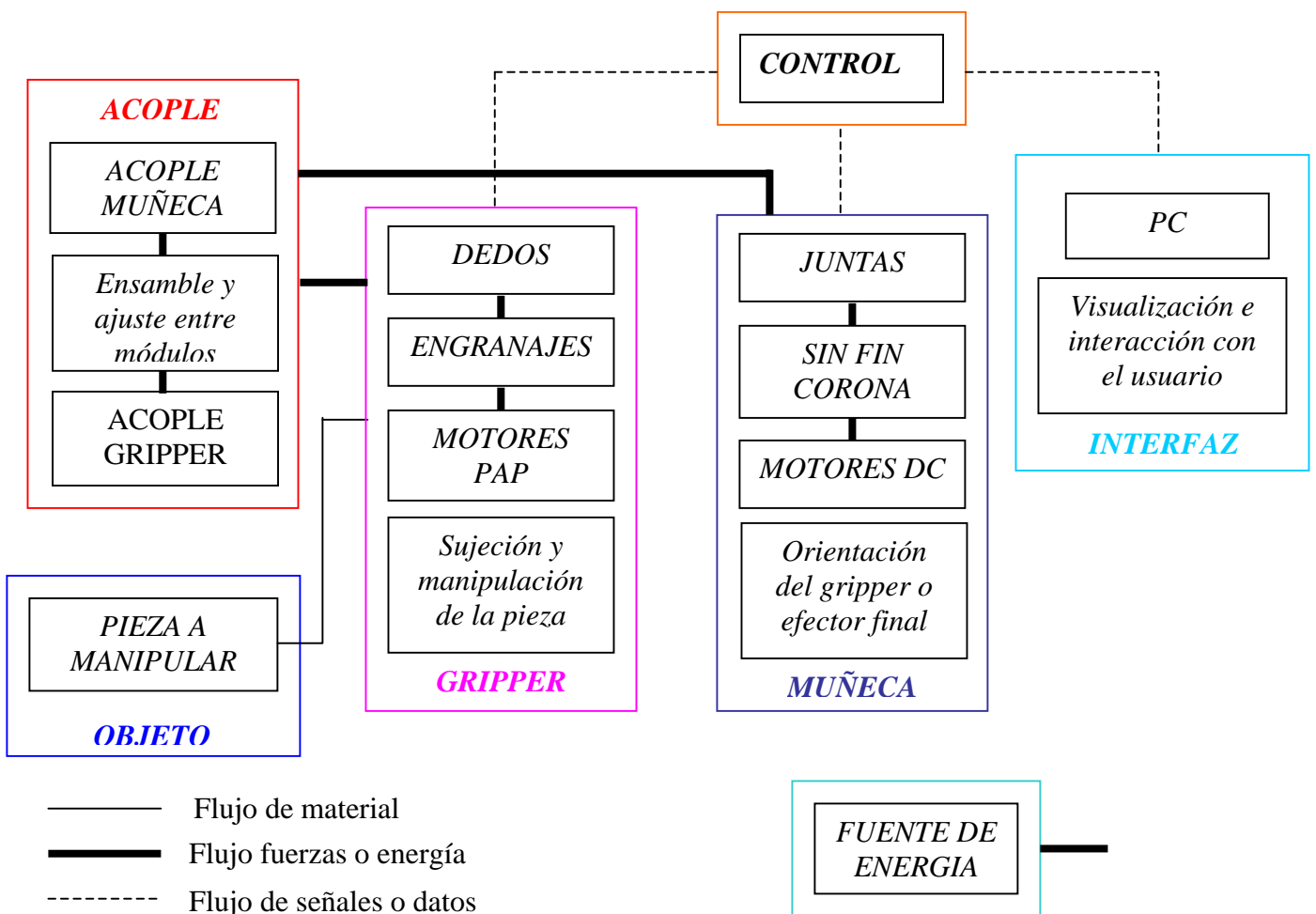
* De acuerdo con el análisis anterior el concepto más óptimo a desarrollar es el **E4**, el cual combina *el gripper articulado* para la sujeción y manipulación de objetos y *la muñeca RPY que utiliza una Juntura Universal Cardan* para la orientación del gripper, ya que este ofrece un mejor cubrimiento de los criterios de selección establecidos.

8. DESARROLLO DE LA ARQUITECTURA DEL PRODUCTO

8.1. ANÁLISIS DE LA ARQUITECTURA DEL PRODUCTO

8.1.1. Esquema del Producto

Figura 41. Esquema del Producto



A nivel de sistema predomina una arquitectura modular, se puede observar que cada elemento cumple una función específica que no es compartida por los demás elementos funcionales. A nivel de subsistema se presenta a continuación un análisis para cada *chunk*².

8.1.1.1. Acople

- Acople Muñeca
- Acople Gripper

Cada subsistema cumple una única función que es “permitir el ensamble y ajuste entre módulos” por lo cual se aprecia una arquitectura modular. El Acople muñeca permite que el módulo Muñeca – Gripper pueda ser adaptado a un determinado brazo manipulador. De igual manera el Acople gripper permite su unión con la muñeca, así como la posibilidad de adaptar otros grippers con características similares.

8.1.1.2. Gripper

- Dedos: permiten el contacto con la pieza a manipular.
- Actuadores: transforman la energía en movimiento.
- Transmisión: transmite el movimiento de los actuadores a los dedos del gripper.
- Sensores: permiten determinar la posición de los dedos que conforman el gripper.

Este subsistema tiene como función principal permitir la sujeción y manipulación de la pieza con la cual se desea trabajar. Predomina una arquitectura integral ya que cada elemento interactúa en forma directa con otros interviniendo así con sus funciones. Por ejemplo, sin el movimiento generado por los actuadores, no habría transmisión a los dedos, por tanto no se podría realizar la sujeción de la pieza; es decir cada elemento por si sólo no puede cumplir su función.

² Arreglo de elementos funcionales en conjuntos físicos.

8.1.1.3. Muñeca (Wrist)

- Juntas o articulaciones: permiten la conexión mecánica con la transmisión de la muñeca.
- Actuadores: transforman la energía en movimiento.
- Transmisión: transmite el movimiento de los actuadores a las juntas.
- Sensores: permiten determinar los ángulos de orientación de la muñeca.

Tiene como función principal la de permitir la orientación del gripper o efector final. Al igual que en el gripper la arquitectura predominante es integral.

8.1.1.4. Interfaz

- PC: permite la visualización e interacción con el usuario. Aquí el usuario ingresa los parámetros correspondientes a la orientación de la muñeca y la sujeción de las piezas.

Posee una arquitectura modular pues su función se encuentra bien definida y no interactúa con otros elementos.

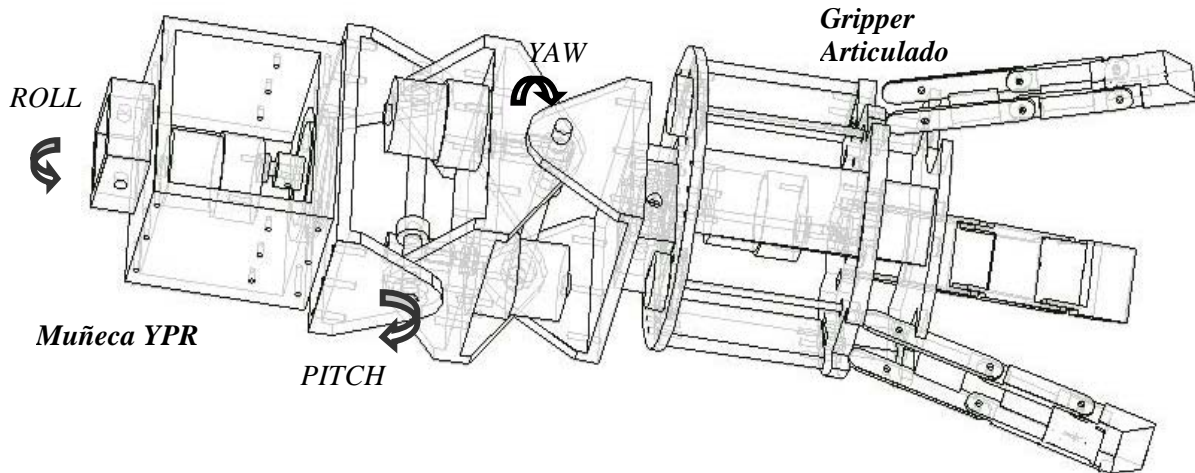
8.1.1.5. Control

- Orientación de la muñeca: controla los ángulos de orientación definidos por el usuario mediante el uso de sensores de posición (Encóder o potenciómetros lineales).
- Sujeción de la pieza: controla la posición de los dedos, al igual que la presión ejercida sobre la pieza a manipular.

En el control predomina una arquitectura modular, ya que las funciones para cada elemento están bien definidas y no hay interacción entre los diferentes elementos. Por ejemplo la posición de los dedos es indiferente de los ángulos de orientación de la muñeca.

8.2. DISTRIBUCIÓN GEOMÉTRICA (Layout)

Figura 42. Distribución Geométrica



La Distribución Geométrica o Layout permite determinar si es posible la distribución de los conjuntos en un espacio dado y si es posible mejorar la distribución o agrupar de forma diferente los mismos. En este caso, la ubicación de los motores tanto para la muñeca como para el gripper juega un papel importante, ya que a diferencia de un Robot Manipulador en donde generalmente los motores se encuentran en la base, los motores del Módulo Muñeca Gripper deben ser ubicados dentro del mismo.

8.3. INTERACCIONES ENTRE CONJUNTOS

8.3.1. Interacciones Fundamentales

Las interacciones que se deben tener en cuenta para el correcto funcionamiento del sistema son:

- Para obtener una manipulación adecuada y precisa se debe garantizar que el objeto de manipulación no se deslice con respecto al gripper, esto se logrará respetando los rangos de agarre del mismo y ejerciendo una presión apropiada.

- Para producir una adecuada y precisa orientación del efector final es importante tener en cuenta los rangos permitidos para ello y el peso determinado para su buen funcionamiento.

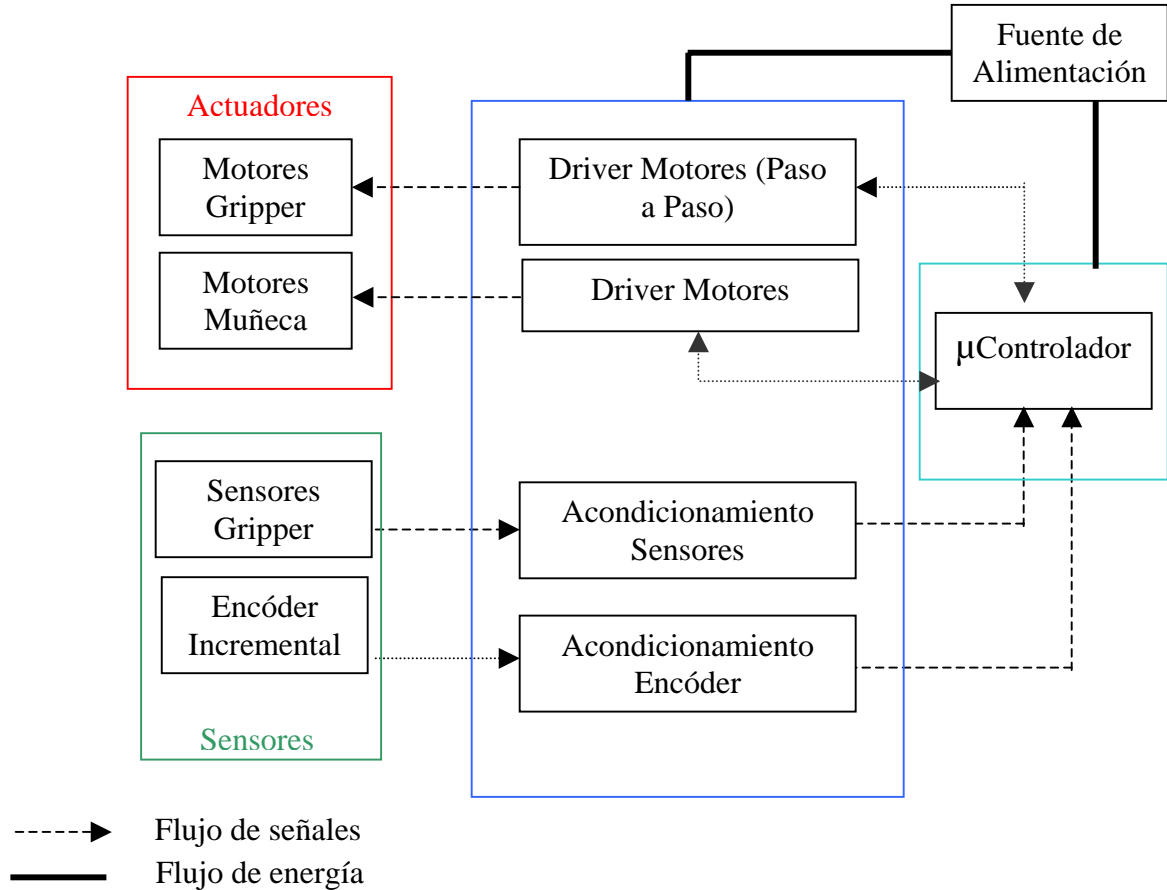
8.3.2. Interacciones Incidentales

Algunas de las interacciones incidentales que se pueden generar en el sistema son:

- Una fuente de energía cercana al controlador puede generar estática.
- La presencia de motores en el dispositivo puede alterar el correcto funcionamiento de la parte electrónica del mismo.

8.4. ANÁLISIS DE LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA ELECTRÓNICO

Figura 43. Análisis de la Arquitectura del Sistema Electrónico.

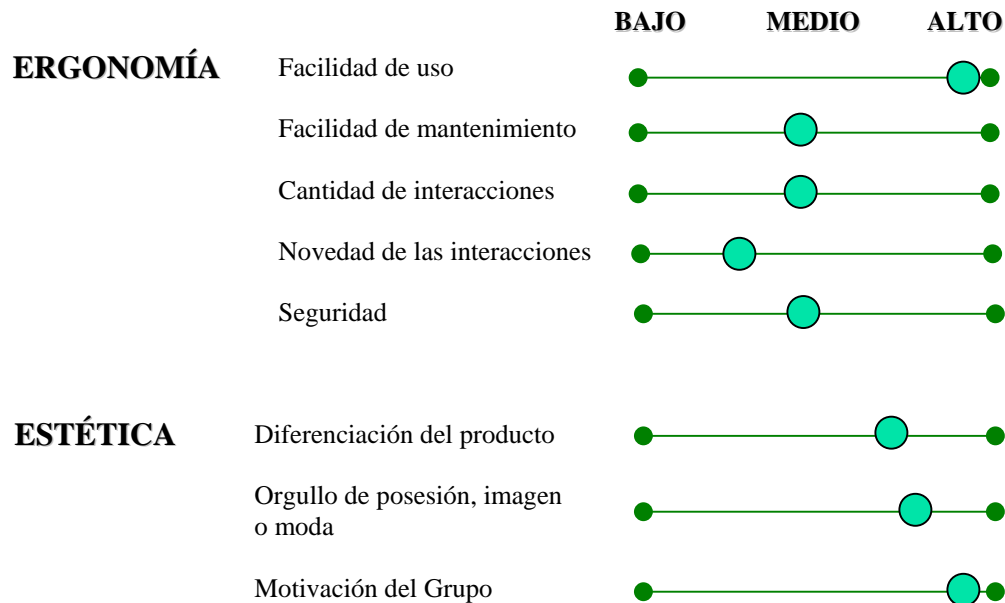


El análisis del sistema electrónico muestra una arquitectura modular dado que en este se pueden diferenciar claramente los diferentes elementos funcionales, donde cada uno cumple una labor específica. A nivel de subsistemas es integral, por ejemplo el Microcontrolador es el encargado de comparar los datos ingresados por el usuario (ángulos de orientación) con los datos entregados por los sensores para llevar a cabo el control.

9. DISEÑO INDUSTRIAL

9.1. VALORACIÓN DEL DISEÑO INDUSTRIAL

Figura 44. Valoración el Diseño Industrial



9.1.1. Facilidad de uso: alta, su uso debe ser fácil, razón por la cual las características del producto deben comunicar claramente su función.

9.1.2. Facilidad de mantenimiento: media, debido a que es un sistema de tipo industrial, requiere de un mantenimiento periódico, el cual debe ser realizado por personal capacitado.

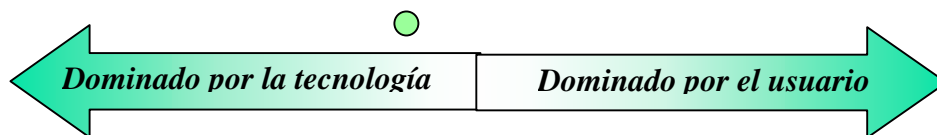
9.1.3. Cantidad de interacciones: media, porque el número de interacciones con el usuario es mínimo.

9.1.4. Novedad de las interacciones: Baja-Media, ya que la novedad de las interacciones en este producto no es muy significativa.

- 9.1.5. Seguridad:** media, porque el dispositivo al ser de tipo industrial, requiere de manejo de personal calificado, el cual se encuentra capacitado para el manejo del mismo.
- 9.1.6. Diferenciación visual del producto:** Medio-Alta, ya que en este tipo de dispositivos el impacto visual generado en el usuario juega un papel importante.
- 9.1.7. Orgullo, posesión, imagen y moda:** media-alta, es importante la armonía del diseño.
- 9.1.8. Motivación del grupo:** Alta. Es importante que el producto sea motivo de orgullo e inspiración para el grupo de desarrollo.

9.2. CLASIFICACIÓN DEL PRODUCTO

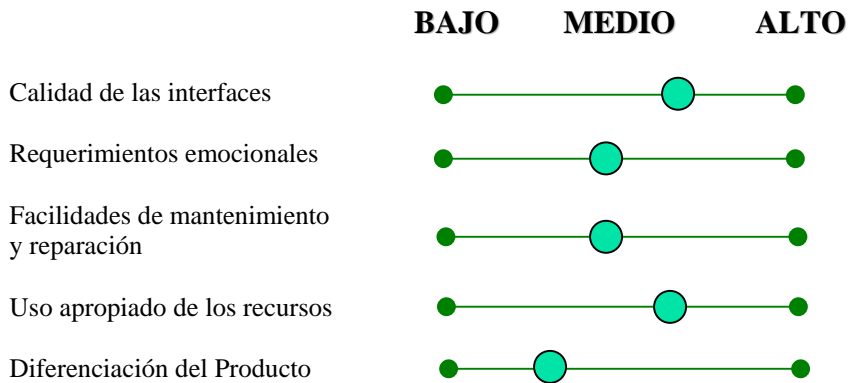
Figura 45. Clasificación del Producto



Es un producto dominado por la tecnología. Su beneficio principal está basado en la habilidad de cumplir con una tarea técnica específica (orientación, manipulación y sujeción de objetos). Las características ingenieriles y técnicas predominan sobre las ergonómicas y estéticas.

9.3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL DISEÑO INDUSTRIAL

Figura 46. Evaluación de la Calidad del Diseño Industrial



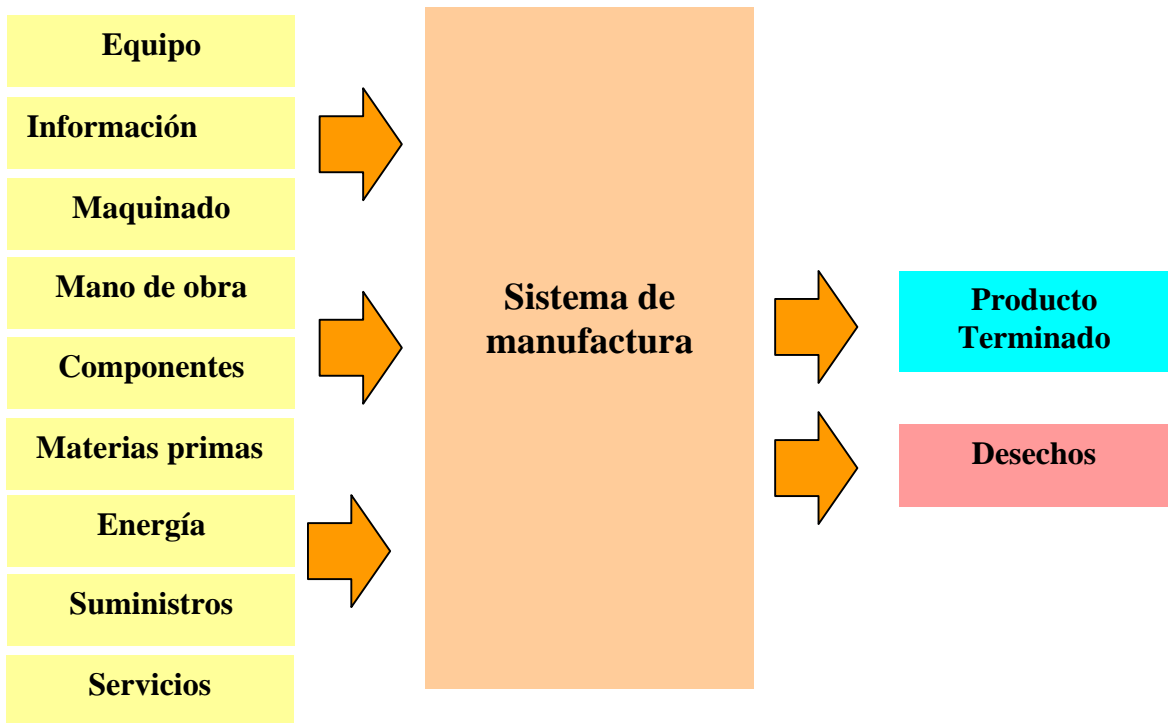
- 9.3.1. Calidad de las interfases:** medio-alto. Aunque no es intuitivo, sus características comunican su operación al usuario. Por ser un dispositivo mecatrónico, requiere de ciertos conocimientos del usuario para su correcto funcionamiento.
- 9.3.2. Requerimientos emocionales:** medio, se puede decir que por ser un producto de tipo industrial y no personal, los requerimientos emocionales por parte del consumidor serían la satisfacción por el buen funcionamiento del producto.
- 9.3.3. Facilidades de mantenimiento y reparación:** medio, pues como se dijo anteriormente este debe ser realizado por personal calificado.
- 9.3.4. Uso apropiado de los recursos:** medio-alto, los materiales han sido seleccionados teniendo en cuenta el diseño para manufactura, y las características del diseño son apropiadas para satisfacer las necesidades del cliente.
- 9.3.5. Diferenciación del producto:** bajo-medio, por ser un producto nuevo.

10. DISEÑO PARA MANUFACTURA (DPM)

El Diseño para Manufactura (DPM) es una práctica de desarrollo que enfatiza en los aspectos de manufactura (producción) a través de todo el proceso de desarrollo. El DPM tiene como fin principal la reducción de costos sin sacrificar la calidad del producto.

10.1. MODELO DEL SISTEMA DE MANUFACTURA

Figura 47. Modelo del Sistema de Manufactura



10.1.1. Equipo: Herramientas necesarias para la construcción del producto

- ❖ Torno
- ❖ Fresa
- ❖ Taladro
- ❖ Maquina Fresadora CNC

10.1.2. Información: Búsqueda de datos por parte del grupo de desarrollo para el diseño del producto. Asesorías con expertos y profesores de la Universidad, búsquedas en Internet.

10.1.3. Maquinado: Se refiere a las partes mecánicas que requieren de un proceso de maquinado: engranajes, juntas o articulaciones de la muñeca, falanges del dedo, barras de empuje, eslabones, etc.

10.1.4. Mano de obra: Personal contratado para la elaboración del maquinado de las piezas.

- Equipos y Servicios Estelar.
- Taller Cadena.
- El Tornillero Ltda..
- Arquiteg.

10.1.5. Lista de Componentes (Preliminar)

10.1.5.1. Partes Estándares (Preliminar)

Cuadro 7. Lista de Partes Estándares (Preliminar)

<i>Cantidad</i>	<i>Descripción</i>
3	Motores Paso a Paso Bipolares 12V. Marca HSI-INC.
4	Motoreductores 20RPM 12 Vdc. Ref. 2236. Marca Hsiang-Neng
3	Switches
3	Engranés Ref. 15T

<i>Cantidad</i>	<i>Descripción</i>
2	Engranajes Ref. 30T
2	Engranajes Sin Fin Corona
6	Balineras Ref. 618/8 (8x16x5 mm). Marca NTN
2	Balineras Ref. 696ZZ (6x15x5 mm). Marca KML
1	Balineras Ref. 61809T (45x58x7 mm). Marca ELGES
3	Control Motor Paso a Paso. Ref. L297
3	Manejador de potencia dual en puente H, Motores PAP Bipolares. Ref. L298
1	Microcontrolador BasicX-24
66	Pines de Seguridad
3	Sensores de Posición Inteligentes
41	Tornillos Allen 1/8"

10.1.5.2. Partes Propias (Preliminar)

Cuadro 8. Lista de Partes Propias (Preliminar)

<i>Cantidad</i>	<i>Descripción</i>
2	Palmas para Gripper
1	Base Motores
3	Soportes Gripper
3	Soportes Palma
12	Barras de Empuje
15	Eslabones
3	Tuerca Dedo
3	Bases Dedo
2	Ejes Piñones
2	Soportes Motor
4	Juntas Muñeca

10.1.5.3. Materia Prima (Preliminar)

Cuadro 9. Materia Prima (Preliminar)

<i>Descripción</i>
Aluminio
Acero Inoxidable 1/8"
Acrílico Espesor 4mm y 8mm
Acero Inoxidable 3/8"

10.2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO PARA MANUFACTURA

A continuación para cada pieza se describe el Proceso de manufactura utilizado (Proceso), el costo de maquinado y material (Costo), otras características (Detalles) la referencia asignada (REF).

Palmas, Base Motor, Soportes Motor, Soportes Palma

Proceso: Maquinado Fresa
Material : Acrílico
Costo: \$300.000 (Incluido Material)
Detalles: Acrílico Espesor 4mm y 8 mm. 2 Palmas, 1 Base Motor, 2 Soportes Motor, 3 Soportes Palma
REF: B01

Bases dedo, Eslabones

Proceso: Maquinado Fresa CNC
Material : Aluminio
Costo: \$100.000*
Detalles: 3 Bases dedo y 15 eslabones

REF: B02

Tuerca Dedo

Proceso: Maquinado Fresa CNC

Material : Empack N (Nylon)

Costo: \$40.000*

Detalles: 3 piezas

REF: B03

Barras de empuje, Falanges dedo

Proceso: Maquinado Fresa

Material : Aluminio

Costo: \$800.400

Detalles: 15 Barras de empuje, 9 Falanges dedo.

REF: B04

Juntas Muñeca

Proceso: Maquinado Fresa

Material : Aluminio

Costo: \$730.800

Detalles: 4 piezas

REF: B05

Ejes Piñones

Proceso: Maquinado Torno

Material : Aluminio

Costo: \$10.000*

Detalles: 2 piezas

REF: B06

Ejes Dedo

Proceso:	Maquinado Torno
Material :	Acero Inoxidable 1/8"
Costo:	\$4.000*
Detalles:	33 piezas
REF:	B07

Ejes Muñeca

Proceso:	Maquinado Torno
Material :	Acero Inoxidable 3/8"
Costo:	\$6.000*
Detalles:	3 piezas
REF:	B08

* Estas piezas fueron maquinadas en los laboratorios de la Universidad por tanto sólo se incluye el costo del material.

10.3. REDUCCIÓN DEL COSTO DE LOS COMPONENTES

Debido a que la mayoría de las piezas que conforman el dispositivo son diseñadas por el grupo de trabajo, el uso de partes estándares esta un poco restringido, ya que todas estas piezas deben ser maquinadas. Sin embargo en el diseño de las piezas propias se buscó minimizar el tiempo de maquinado, utilizando formas poco complejas que permitieran un maquinado más fácil y rápido. Por ejemplo en la muñeca se buscó la integración de las partes que la conforman, para reducir de esta forma el número de piezas.

10.4. COSTOS DE MANUFACTURA

El costo para Manufactura del Prototipo es calculado sumando los costos del material y el maquinado que fueron descritos anteriormente. De igual manera se incluyen aquellas partes estándares que forman parte del dispositivo. Los costos de ensamble no fueron considerados, ya que esto es realizado por el Grupo de Trabajo. Como misceláneos se entienden aquellas partes cuyo valor es menor a \$1000 , (resistencias, condensadores, tornillos), y se dio un costo aproximado de \$30.000.

Cuadro 10. Costos de Manufactura (Preliminar)

<i>Cantidad</i>	<i>Descripción</i>	<i>Costo Total (\$)</i>
3	Motores Paso a Paso Bipolares 12V.	1'209.416
4	Motoreductores 20RPM 12 Vdc.	526.176
3	Switches	1.500
3	Sensores de Posición Inteligentes	939.600
3	Engranés Ref. 15T	10.000
2	Engranés Ref. 30T	8.000
2	Engranajes Sin Fin Corona	50.000
6	Balineras Ref. 618/8	26.100
2	Balineras Ref. 696ZZ	6.960
1	Balineras Ref. 61809T	71.920
3	Control Motor Paso a Paso. L297.	89.958
3	Manejador de potencia dual en puente H. Ref. L298	41.934
1	Microcontrolador BasicX-24	252.760
66	Pines de Seguridad	8.000
41	Tornillos Allen 1/8"	3.500
1	B01	300.000
1	B02	100.000
1	B03	40.000
1	B04	800.400

<i>Cantidad</i>	<i>Descripción</i>	<i>Costo Total (\$)</i>
<i>1</i>	B05	730.800
<i>1</i>	B06	10.000
<i>1</i>	B07	4.000
<i>1</i>	B08	6.000
	Misceláneos	30.000
<i>TOTAL</i>		<i>5'247.024</i>

11. DISEÑO PARA ENSAMBLE (DPE)

El Diseño para Ensamble (DPE) es un subconjunto del DPM y busca disminuir el costo del ensamble. El ensamble contribuye en una pequeña fracción al costo total del producto, hacer énfasis sobre éste puede contribuir con algunos beneficios como disminución en la complejidad de fabricación de las piezas, integración de partes, entre otras.

11.1. REDUCCIÓN DE COSTOS PARA ENSAMBLAJE

11.1.1. Estimado del tiempo de Ensamblaje

Tiempo Estimado de Ensamble: 4 horas

Número de partes del dispositivo: 126

$$\text{Indice DPE} = \frac{\text{Número mínimo partes (teórico)} \times 3 \text{ segundos}}{\text{Tiempo total estimado para ensamble}}$$

$$\text{Indice DPE} = \frac{\text{Número mínimo partes (126)} \times 3 \text{ segundos}}{4 \text{ horas} = 14.400 \text{ segundos}}$$

$$\text{Indice DPE} = 0.026$$

La integración de partes permite reducir el número de las mismas, reduciendo de esta manera el tiempo de ensamble. Es importante también ya que proporciona que las características geométricas críticas de la pieza sean controladas durante el proceso de maquinado. Por ejemplo, inicialmente se había planteado que las juntas de la muñeca fueran divididas en varias partes para facilidad del maquinado. Posteriormente en el DPM y DPE, se concluyó que era mejor maquinar las piezas por completo, brindando mayor rigidez y seguridad a estas partes.

11.2. MAXIMIZACIÓN DE LA FACILIDAD DE ENSAMBLAJE

Para facilitar el ensamblaje se buscó la estandarización de los elementos de sujeción como tornillos, reduciendo de esta manera el número de herramientas requeridas para el ensamble. Debido a la complejidad de los mecanismos utilizados (sistema de barras, Juntura Universal), el uso de piezas auto ajustables, piezas que no requieran ser orientadas durante el ensamble, no pudo ser logrado, ya que es importante asegurar estas piezas con pines de seguridad (en los ejes), prisioneros, complicando un poco el ensamble, sin embargo esto es indispensable para el buen funcionamiento del sistema.

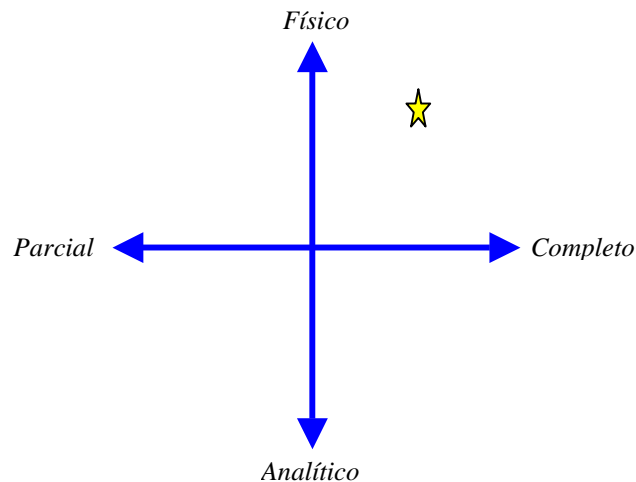
11.3. REDUCCIÓN DEL COSTO DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Un aspecto importante en el Costo de Aseguramiento de la Calidad son las *piezas a prueba de error*, las cuales buscan eliminar las diferencias sutiles entre las mismas. Se tuvo en cuenta la diferenciación de las piezas, evitando de esta manera confusiones en el ensamble. Por ejemplo, la diferenciación de las barras de empuje de los dedos está claramente definida, sus características son perceptibles a la vista y no se prestan para confusiones.

12. PROTOTIPADO

12.1. CLASIFICACIÓN DEL PROTOTIPO

Figura 48. Clasificación el Prototipo.



El prototipo realizado es *físico-completo*. Físico, porque es una aproximación que luce y funciona como el producto final. *Completo*, ya que implementa todos los atributos del producto en toda su escala y funcionalidad.

12.2. USOS DEL PROTOTIPO

- ❖ *Milestone*: el prototipo a presentar pretende demostrar que se ha alcanzado una funcionalidad y que el producto cumple con los requerimientos del cliente.

12.3. Técnicas de Prototipado

12.3.1. Modelación 3D (Prototipo Virtual). Se llevó a cabo haciendo uso de Solid Edge V.10. y Dynamic Designer, el cual permitió la visualización real del producto en su forma y estilo, calcular propiedades físicas tales como peso y volumen, determinar interferencias geométricas entre partes, ajustes y ensamblaje.

12.3.2. Prototipado Tradicional. Se recurrió a técnicas de maquinado (torno, fresa), para obtener el producto a presentar.

12.3.3. Prototipo a Presentar. El prototipo construido es un *prototipo alfa*, ya que se utilizará para evaluar el correcto funcionamiento del producto, y las partes son similares en material y geometría a las del producto final.

Figura 49. Prototipo Virtual

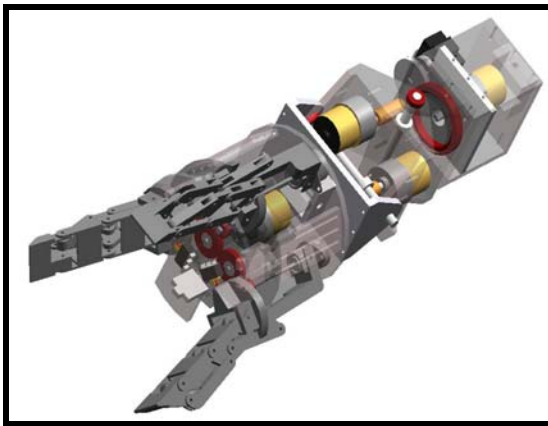
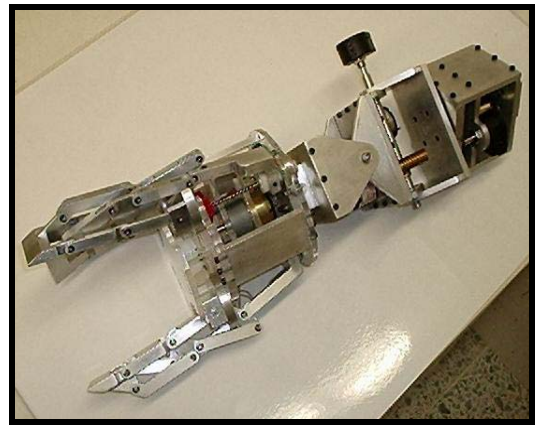


Figura 50. Prototipo Físico



13. DISEÑO DETALLADO

13.1. DISEÑO DEL GRIPPER

El gripper diseñado, mostrado en la figura 43, está formado por 3 dedos articulados. Cada uno de ellos posee tres falanges, las cuales son manejadas por sistemas de barras. Cada dedo está compuesto por cuatro (4) barras de empuje, cinco (5) eslabones, once (11) ejes, una (1) base, una (1) tuerca, y una (1) barra de empuje principal. Para producir el movimiento la barra principal se encuentra unida a la tuerca, la cual a su vez está acoplada a una pieza roscada que se desplaza sobre un tornillo sin fin. El actuador encargado de producir el movimiento es un motor paso a paso, cuyo eje es el tornillo sin fin del que se habló anteriormente. Este tiene un paso de 0.048 pulgadas (1.219 mm) y un avance de 0.096 pulgadas (2.438 mm). El motor cuenta con 24 pasos por revolución lo que equivale a 0.004 pulgadas (0.102 mm) por paso.

Figura 51. Diseño Gripper de tres dedos articulado

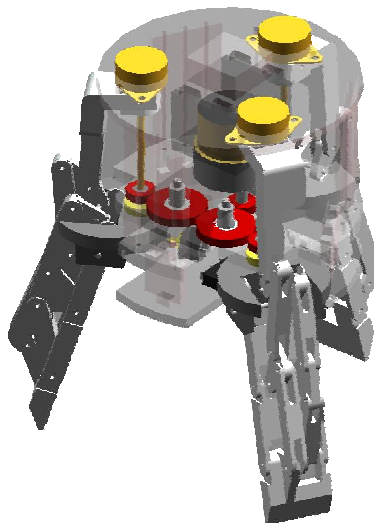
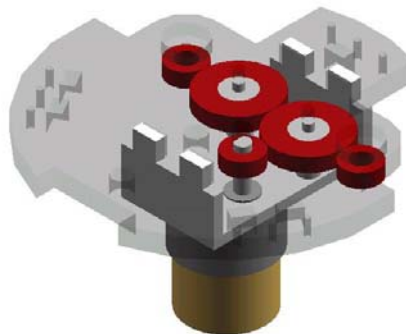


Figura 52. Diseño del dedo



Se ha concebido un diseño en el cual 2 de los dedos tienen la posibilidad de girar, mientras el otro permanece fijo. Para implementar el giro de los dedos se usó un motor de 12 VDC, marca Hsiang Neng, al cual se encuentran acoplados un juego de engranes con una relación de 1:1.

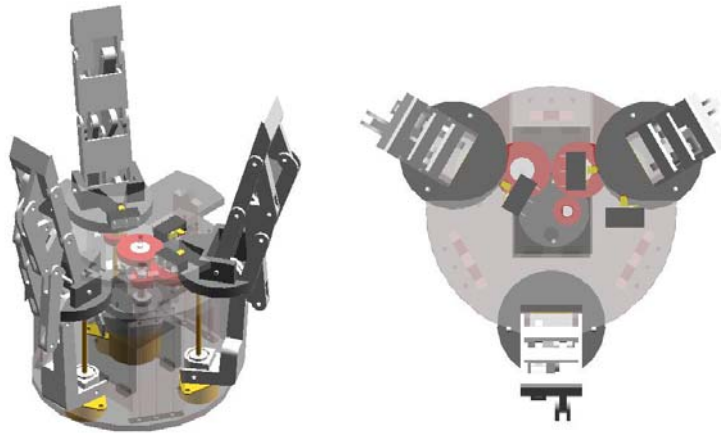
Figura 53. Giro de los dedos en el Gripper.



Se han establecido 3 configuraciones básicas para la posición de los dedos en el gripper, las cuales son determinadas por 3 switches ubicados en la palma superior del mismo. Las configuraciones son las siguientes:

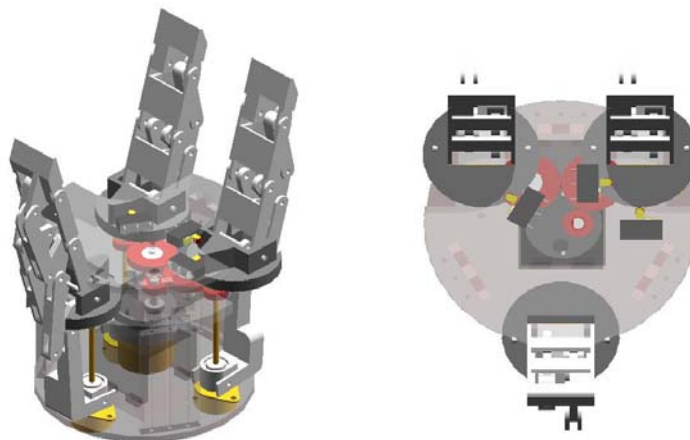
- ✦ **Triangular:** En esta configuración los dedos se encuentran a 120° (grados) uno respecto del otro. Es ideal para el manejo de piezas cilíndricas o esféricas.

Figura 54. Configuración Triangular en el Gripper



- ✦ **Paralela:** En esta configuración los dedos móviles se encuentran enfrentados con el dedo fijo.

Figura 55. Configuración Paralela en el Gripper.



- ✦ **Pinza:** En esta configuración el dedo fijo no realiza ningún movimiento. Aquí los dedos móviles se encuentran enfrentados uno del otro de modo que su movimiento es como una pinza o gripper de dos dedos.

Figura 56. Configuración Pinza en el Gripper

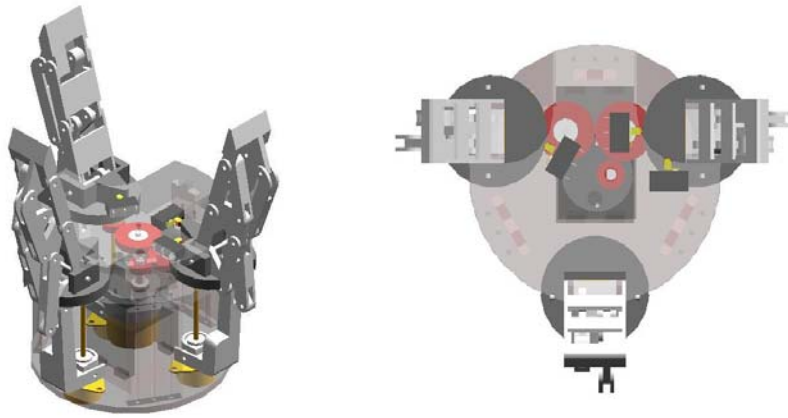
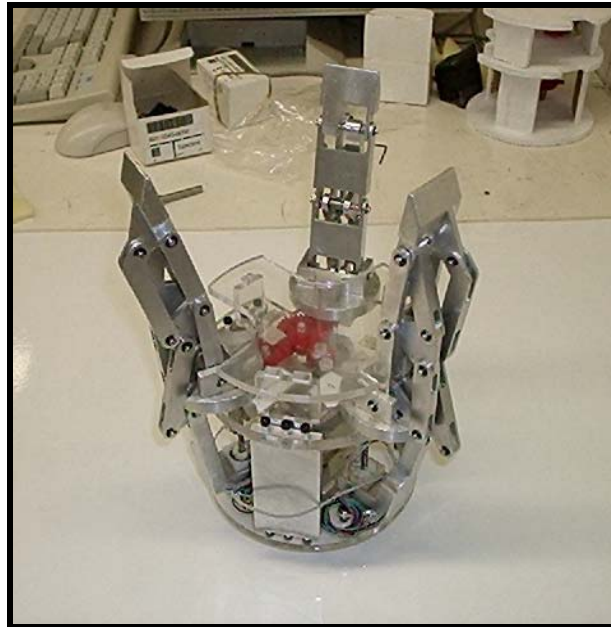


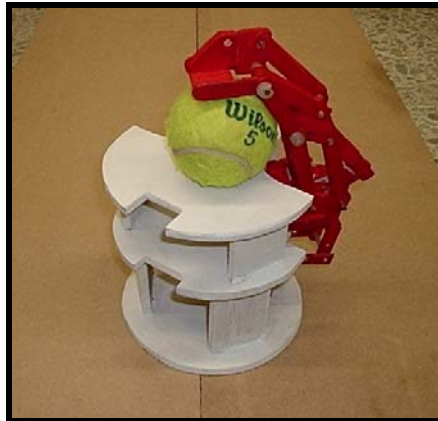
Figura 57. Prototipo Físico del Gripper



13.1.1. Diseño del dedo. Inicialmente para visualizar el mecanismo se recurrió a un prototipo en madera y balsa, el cual permitía una representación real en forma y tamaño. Haciendo uso de este se identificaron las principales interferencias entre las piezas del dedo, posibles problemas que se podrían generar en la transmisión del movimiento hacia las

barras, tamaño adecuado de ellas, reducciones en el recorrido del tornillo y correcta posición de los eslabones en el sistema de barras. Uno de los principales retos del diseño del dedo era el manejo de las dos falanges superiores con un solo movimiento de la barra de empuje principal, ya que para el movimiento de cada una de ellas se cuenta con un sistema de barras. Este prototipo permitió determinar la manera adecuada de transmitir el movimiento de la barra de empuje principal a los sistemas de barras de las falanges superiores. Posteriormente una vez obtenido un diseño que cumplía con el comportamiento deseado, se procedió a un refinamiento del mismo, haciendo uso de *Solid Edge* y *Dynamic Designer Motion*, el cual permitía el diseño de las piezas, cálculo de propiedades mecánicas (volumen, peso), interferencias geométricas entre las piezas, además de un análisis cinemático, y un modelamiento de la trayectoria del dedo. Se obtuvieron tablas sobre las fuerzas generadas en las falanges, aunque se presentaron problemas con el cálculo de fuerzas de contacto entre algunas piezas. Como posible causa se definió que el programa puede presentar errores en los cálculos de este tipo.

Figura 58. Prototipo en madera y balsa



13.1.2. Trayectorias Generadas por las Falanges

Figura 59. Trayectoria Generada por la Falange 1

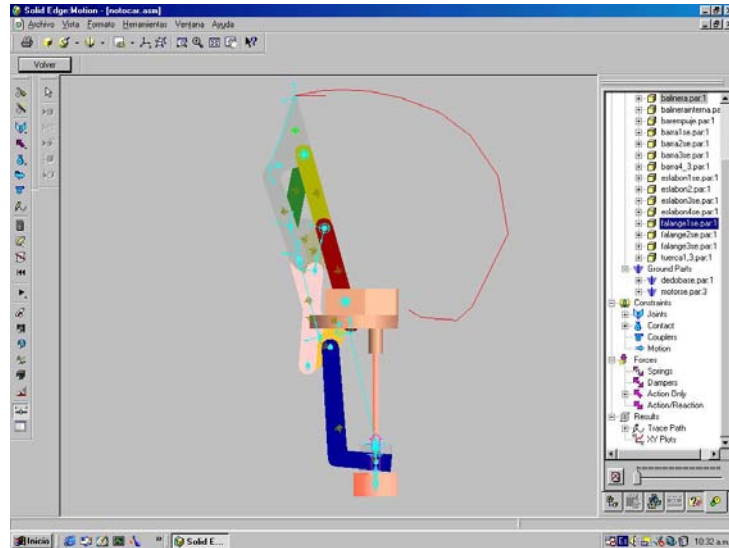


Figura 60. Trayectoria Generada por la Falange 2

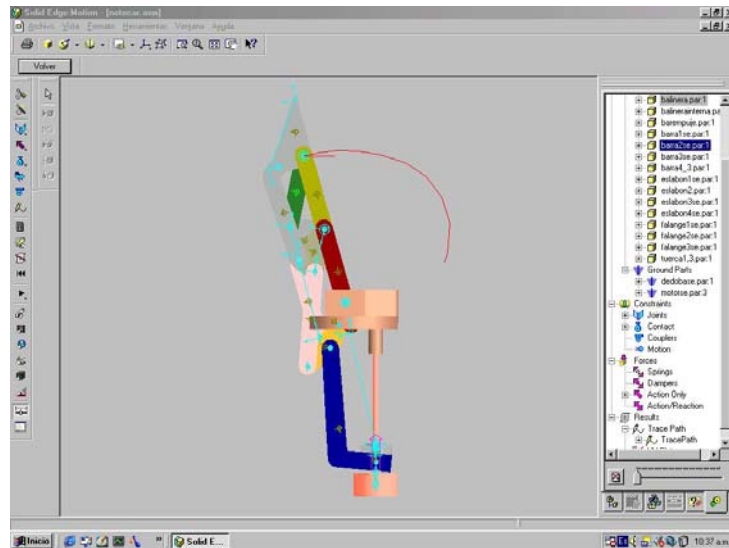
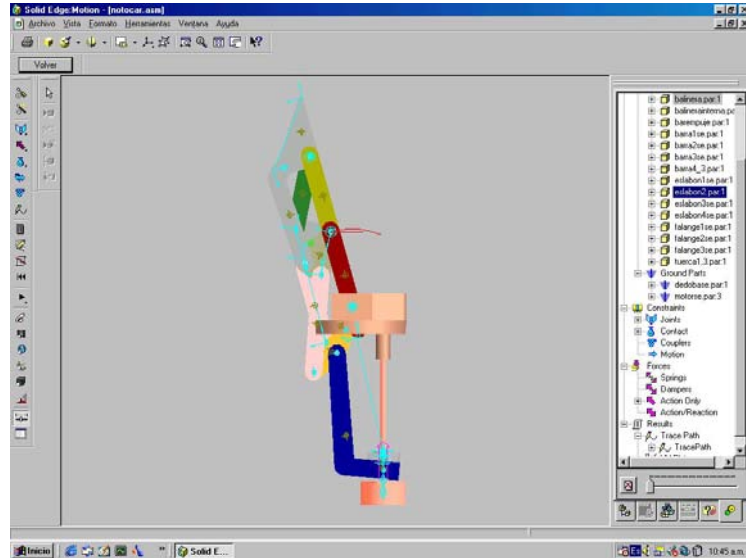
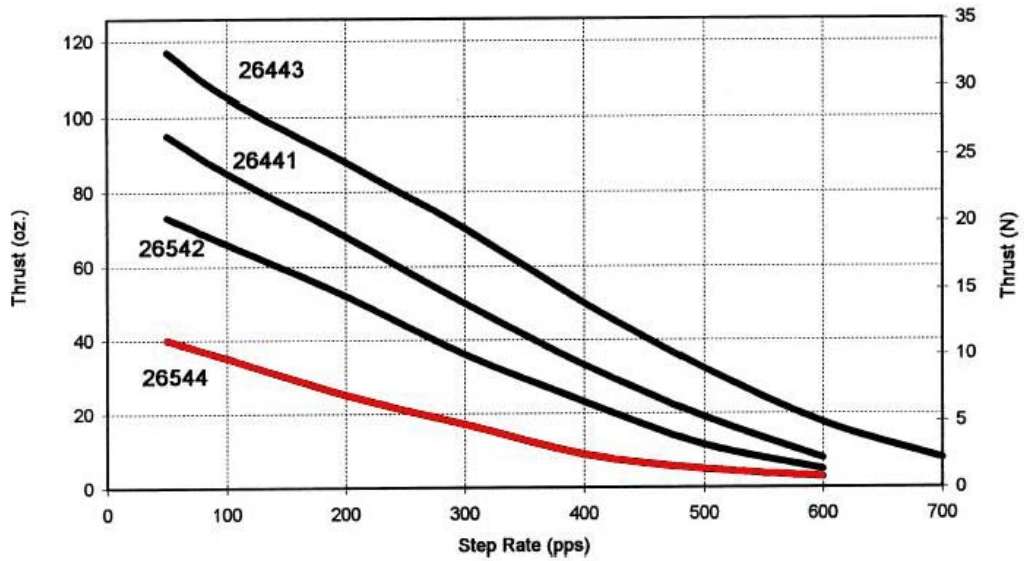


Figura 61. Trayectoria Generada por la Falange 3



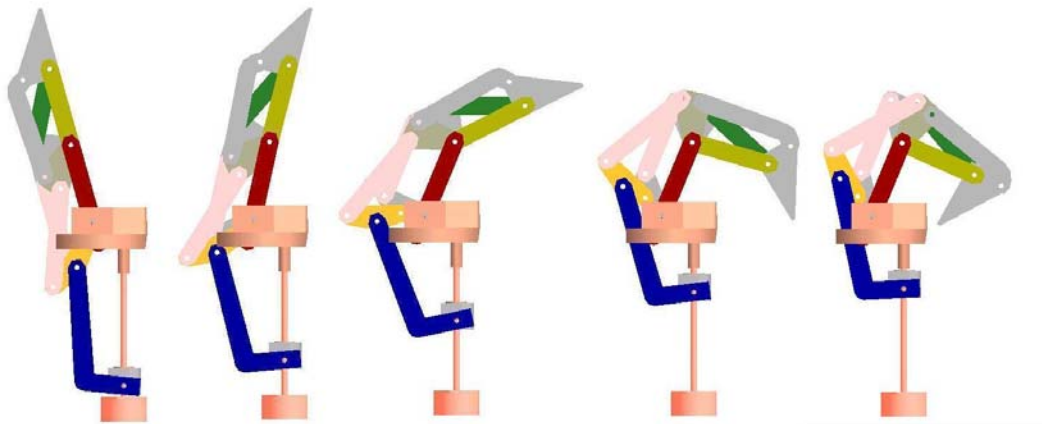
13.1.3. Movimiento en el Dedo. El recorrido total (desplazamiento lineal) de la tuerca sobre el tornillo sin fin para lograr obtener las trayectorias generadas en las falanges es de 52 mm . La fuerza aplicada sobre la tuerca en la simulación es de 8 Newton . Esta fuerza la provee el motor de pasos, cuya curva de *Empuje N (Newton) vs. PPS (Pulsos por segundo)* se muestra en la *figura 62* (curva de color rojo). La referencia del motor usada en los dedos es *Z26544-12-005 Marca HSI-Inc. (Haydon Switch and Instruments Motors)*, es un motor bipolar paso a paso, cuyo ángulo de paso es de 15° , con un voltaje de operación de 12 Vdc . La máxima fuerza que puede ser aplicada sin producir un desplazamiento de la tuerca sobre el tornillo (backdrivable force) es de $6\text{-}9\text{ Newton}$, lo que determina una capacidad de carga para cada dedo de 600 gramos . Como se puede observar en la *figura 62*, la fuerza de empuje obtenida será mayor en cuanto el número de pulsos por segundo generados sean menores.

Figura 62. Curva Empuje (Newton) vs. Pulsos por segundo



A continuación se muestra el movimiento del dedo obtenido en la simulación, haciendo uso de una secuencia de imágenes.

Figura 63. Movimiento en el dedo



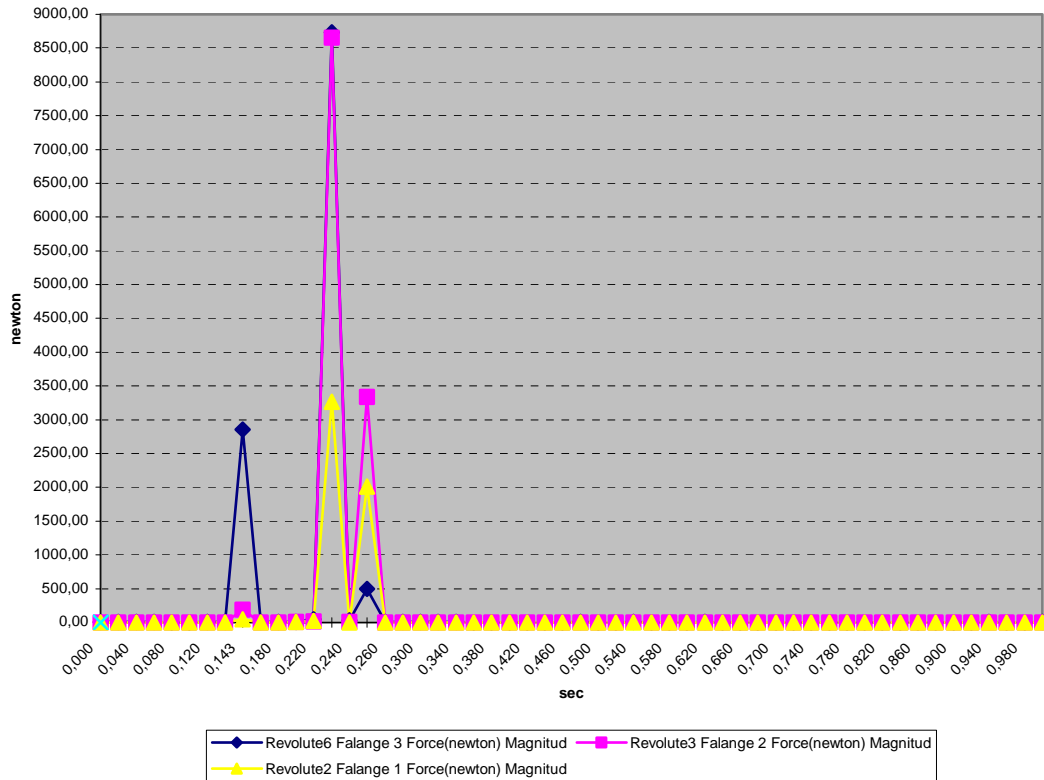
A continuación se muestra una tabla de la magnitud de la fuerza en las falanges obtenida en *Dynamic Designer Motion*. La simulación obtenida tiene una duración de 1 segundo.

Cuadro 11. Magnitud de la fuerza en las falanges del dedo.

		Revolute6	Revolute3	Revolute2
		Falange 3	Falange 2	Falange 1
		Force(Newton)	Force(Newton)	Force(Newton)
Frame	Time	Magnitud	Magnitud	Magnitud
1	0,000	4,21	1,96	0,80
2	0,020	4,37	2,10	0,83
3	0,040	4,26	2,11	0,84
4	0,060	4,09	2,11	0,85
5	0,080	3,78	2,06	0,54
6	0,100	3,84	2,25	1,07
7	0,120	4,03	2,49	1,25
8	0,140	4,64	3,01	1,57
9	0,143	2857,81	191,02	50,95
10	0,160	4,02	3,06	2,14
11	0,180	4,96	3,83	3,01
12	0,200	10,63	7,54	6,74
13	0,220	48,07	18,73	21,56
14	0,224	8734,50	8652,56	3264,30
15	0,240	27,76	4,65	3,57
16	0,246	495,43	3334,49	2011,60
17	0,260	5,40	0,73	0,51
18	0,280	4,77	0,94	1,05
19	0,300	4,46	0,15	0,69
20	0,320	4,43	0,10	0,71
21	0,340	4,18	0,09	0,67
22	0,360	2,39	0,67	0,63
23	0,380	2,17	0,82	0,69
24	0,400	2,71	0,76	0,69
25	0,420	3,41	0,39	1,07
26	0,440	3,35	0,33	0,61
27	0,460	2,93	0,08	0,51
28	0,480	4,00	1,94	1,15
29	0,500	3,71	0,52	1,07
30	0,520	3,89	0,90	1,38
31	0,540	4,84	0,86	1,24
32	0,560	3,64	0,06	0,66
33	0,580	3,69	0,09	0,67
34	0,600	3,33	0,09	0,68
35	0,620	6,01	3,21	1,93
36	0,640	2,92	1,71	0,55
37	0,660	3,63	0,14	0,71
38	0,680	3,65	0,09	0,67

Frame	Ma	d	Revolute6	Revolute3	Revolute2
			Falange 3	Falange 2	Falange 1
			Force(Newton)	Force(Newton)	Force(Newton)
Ma	d	Ma	d	Ma	d
39	0,700	3,64	0,17	0,68	
40	0,720	3,57	0,85	1,07	
41	0,740	3,47	0,71	1,05	
42	0,760	3,88	0,88	1,08	
43	0,780	3,63	0,27	0,58	
44	0,800	3,39	0,21	0,58	
45	0,820	3,64	0,13	0,71	
46	0,840	3,67	0,73	1,06	
47	0,860	3,64	0,13	0,71	
48	0,880	3,64	0,13	0,64	
49	0,900	3,65	0,18	0,71	
50	0,920	3,65	0,08	0,65	
51	0,940	11,48	2,74	2,52	
52	0,960	3,54	0,08	0,67	
53	0,980	3,63	0,14	0,69	
54	1,000	4,57	1,29	1,22	

Figura 64. Gráfica Magnitud Fuerza (N) vs. Tiempo
CS=Mano.asm, RF=Mano.asm



Los puntos resaltados en negrilla corresponden a los tiempos en donde se generan los contactos entre las piezas, como se observa, la magnitud de la fuerza obtenida en estos puntos es exageradamente alta con respecto a los puntos anteriores y posteriores a ella. Como conclusión se planteó que el modelamiento de colisiones en este programa (Dynamic Designer Motion) presenta algunas dificultades. Otra conclusión a la que se llegó es que este tipo de fuerzas pueden llegar a generarse en el sistema, pero que debido a su corta duración (milésimas de segundo) no tienen gran incidencia en el sistema.

13.2. DISEÑO DE LA MUÑECA

La muñeca diseñada está basada en una Juntura Universal Tipo Cardan y tiene una configuración Yaw-Pitch-Roll. Se emplearon 3 motores a 12 Vdc. Marca Hsiang Neng, con un torque de retención de 10 kg.cm. Ya que para los movimientos de Pitch y Yaw se necesitaba de un torque mayor (102 kg.cm y 85 kg.cm respectivamente), se acoplaron al eje de los motores engranajes sinfín corona con una relación de *15:1*.

Figura 65. Diseño Muñeca Yaw-Pitch-Roll.

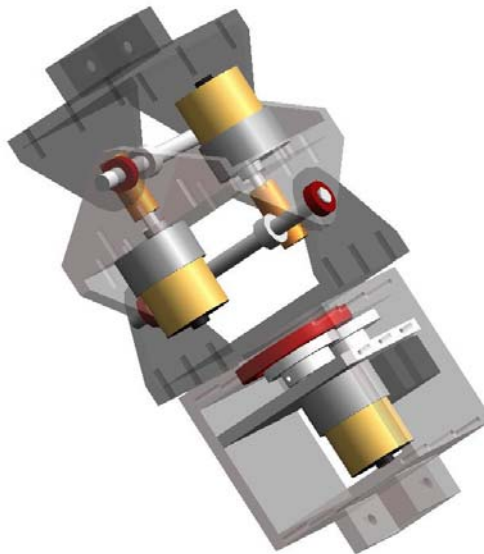
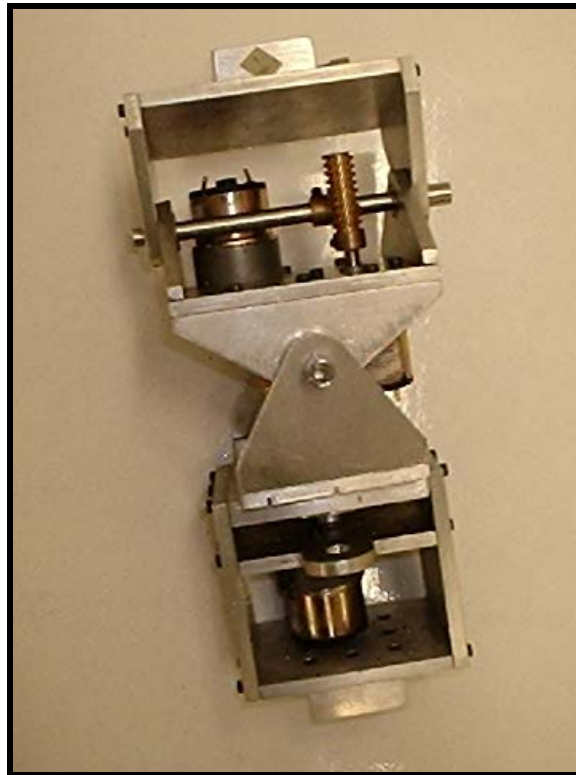


Fig. 66. Prototipo Físico de la Muñeca



13.2.1. Cinemática Directa de la Muñeca. Para llevar a cabo un adecuado control de la muñeca es necesario conocer el Modelo Cinemático de la misma. Como ya se mencionó anteriormente la muñeca cuenta con 3 GDL y sus articulaciones son rotacionales.

En su extremidad final se anexa el efector final o gripper, cuyo peso aproximado es de 1.3 Kg. La muñeca cuenta con 3 encoders absolutos (*Smart Position Sensor 601-1045*), los cuales tienen una resolución de 0.5° .

El Modelo Cinemático directo permite obtener un conjunto de ecuaciones para conocer la posición y orientación del extremo de la muñeca (gripper) con respecto a un marco de

referencia fijo establecido, medidos en el espacio cartesiano, si se conocen los desplazamientos angulares de las articulaciones de la muñeca.

La herramienta utilizada para obtener el modelo es la Representación Denavit – Hartenberg Modificada, lo cual plantea un método matricial que permite asignar sistemas coordenados a cada eslabón de la cadena cinemática, esto con el fin de describir la relación traslacional y rotacional entre los elementos adyacentes.

Una vez adaptada la muñeca a un manipulador, se obtendrá el Modelo Cinemático completo, posmultiplicando la matriz del manipulador con la presentada a continuación.

13.2.1.1. Representación Denavit – Hartenberg Modificado

Figura 67. Representación Denavit-Hartenberg Modificado

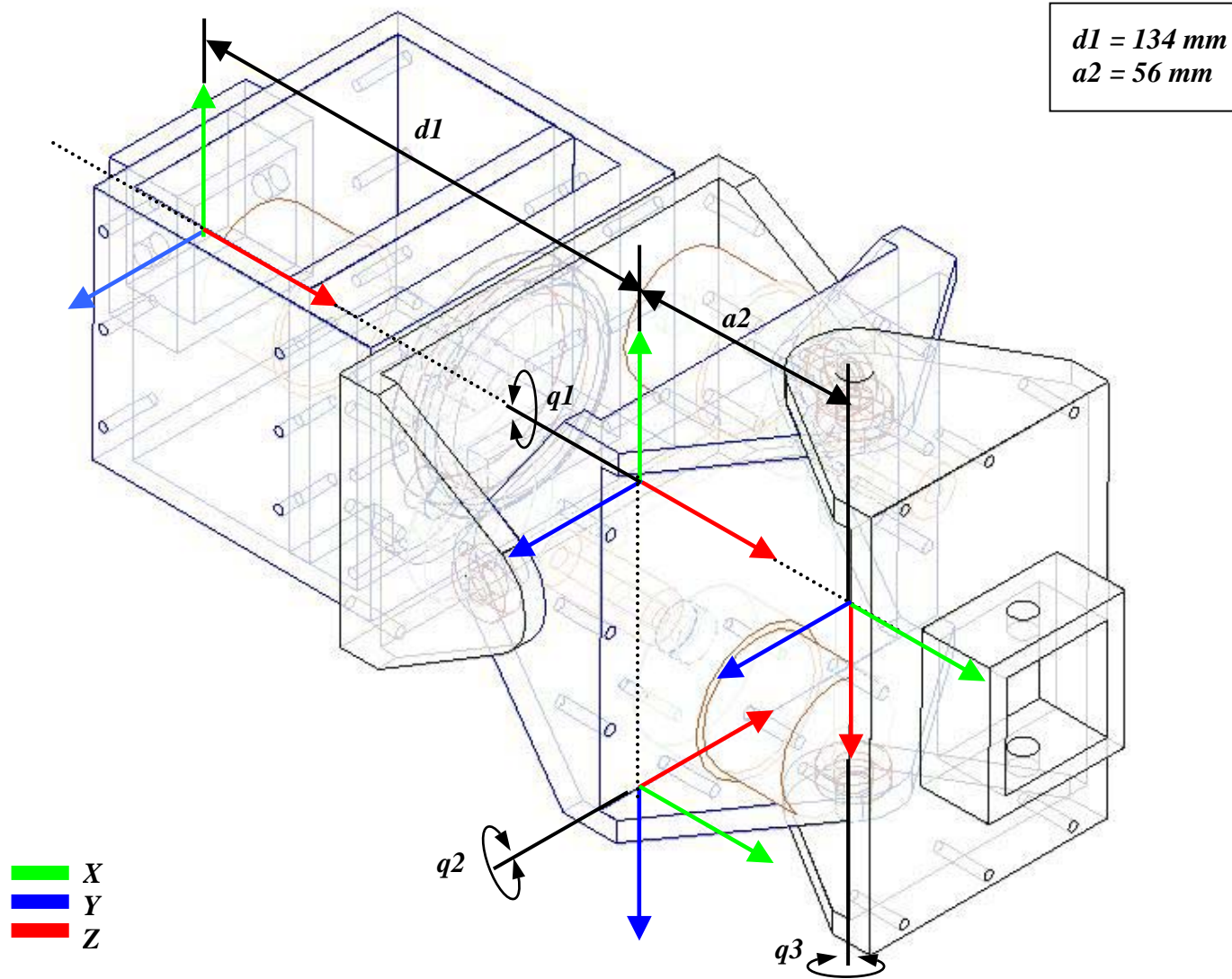
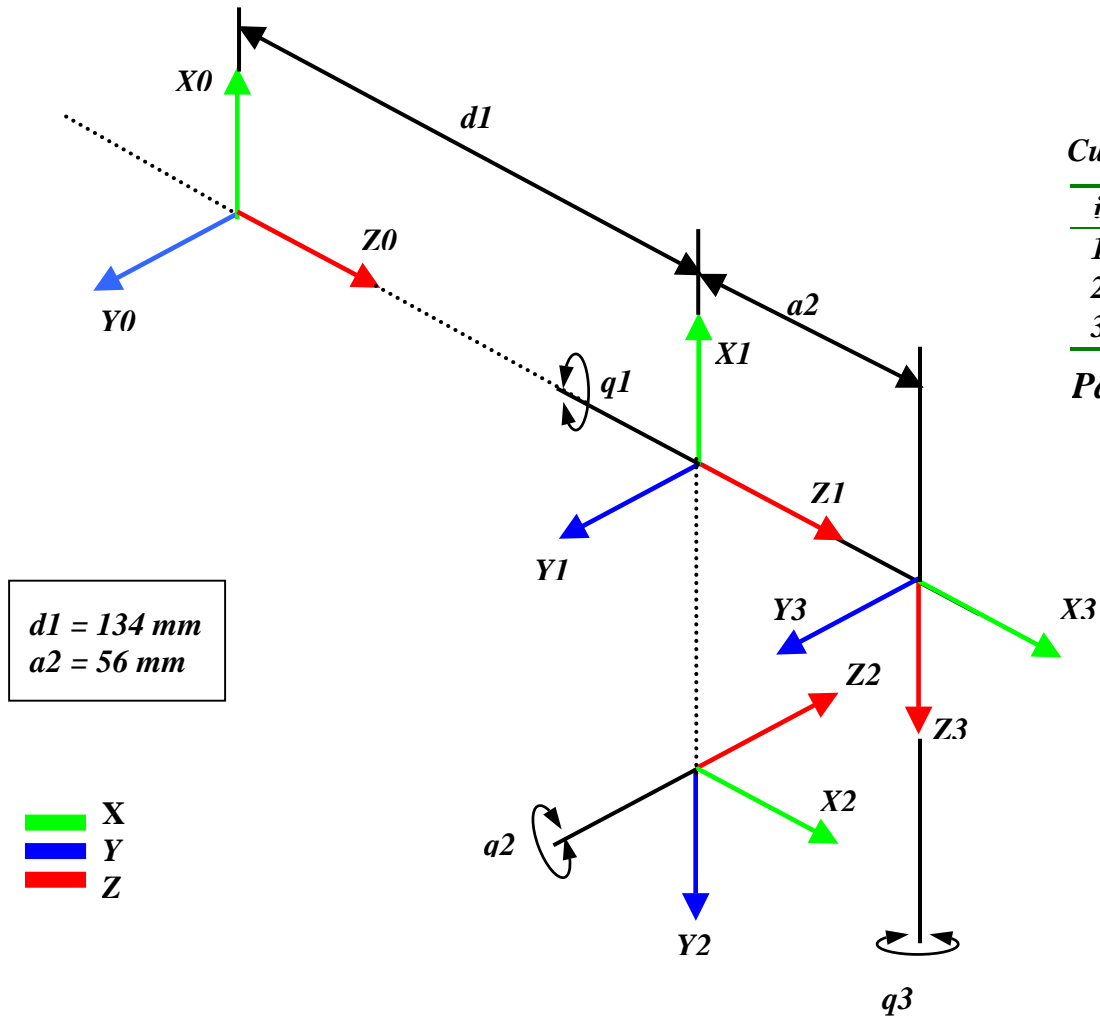


Figura 68. Ejes de las Articulaciones en la Muñeca



Cuadro 12. Parámetros D-H Modificado.

i	$\alpha(i-1)$	$a(i-1)$	d_i	θ_i
1	0	0	134 mm	θ_1
2	$-\pi/2$	0	0	$\theta_2 - \pi/2$
3	$\pi/2$	56 mm	0	θ_3

Parámetros D-H Modificado

La matriz resultante del método DH Modificado es regida por:

$${}^{i-1}T_i = Rot(X_i, \alpha_{i-1}) Trans(X_i, a_{i-1}) Rot(Z_i, \theta_i) Trans(Z_i, d_i)$$

Y está dada por:

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ s\theta_i c\alpha_{i-1} & c\theta_i c\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} d_i \\ s\theta_i s\alpha_{i-1} & c\theta_i s\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Donde las transformadas de cada junta están descritas por:

$${}^0T_1 = \begin{bmatrix} c\theta_1 & -s\theta_1 & 0 & 0 \\ s\theta_1 & c\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^1T_2 = \begin{bmatrix} c(\theta_2 - \pi/2) & -s(\theta_2 - \pi/2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s(\theta_2 - \pi/2) & -c(\theta_2 - \pi/2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_3^2 = \begin{bmatrix} c\theta_3 & -s\theta_3 & 0 & a_2 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ s\theta_3 & c\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

La transformada de la herramienta con respecto a la base de la muñeca es de la forma:

$${}^0_3T = {}^0_1T {}^1_2T {}^2_3T = \begin{bmatrix} n_{11} & s_{12} & a_{13} & p_x \\ n_{21} & s_{22} & a_{23} & p_y \\ n_{31} & s_{32} & a_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

con:

$$n_{11} = \cos\theta_1 \sin\theta_2 \cos\theta_3 - \sin\theta_1 \sin\theta_3$$

$$n_{21} = \sin\theta_1 \sin\theta_2 \cos\theta_3 + \cos\theta_1 \sin\theta_3$$

$$n_{31} = \cos\theta_2 \cos\theta_3$$

$$s_{12} = -\cos\theta_1 \sin\theta_2 \sin\theta_3 - \sin\theta_1 \cos\theta_3$$

$$s_{22} = -\sin\theta_1 \sin\theta_2 \sin\theta_3 + \cos\theta_1 \cos\theta_3$$

$$s_{32} = -\cos\theta_2 \sin\theta_3$$

$$a_{13} = -\cos\theta_1 \cos\theta_2$$

$$a_{23} = -\sin\theta_1 \cos\theta_2$$

$$a_{33} = \sin\theta_2$$

$$p_x = a_2 \cos\theta_1 \sin\theta_2$$

$$p_y = a_2 \sin\theta_1 \sin\theta_2$$

$$p_z = a_2 \cos\theta_2 + d_1$$

Donde n , representa las coordenadas del eje X en el Marco 3 , con respecto al Marco 0 (marco de referencia fijo), s las coordenadas del eje Y, a las coordenadas del eje Z y, p el vector de posición.

13.2.2. Diseño del Sin Fin Corona

Se desea obtener una relación de 15:1 con una velocidad de entrada al tornillo de 20 rpm.

$$m_g := 15 \quad d_{te} := 1 \quad n := 20$$

Se tiene un número de inicios en los dientes del sin fin de 1 $N_s := 1$

$$N_e := m_g \cdot N_s \quad N_e = 15 \cdot d_{te}$$

El número de hilos por pulgada para el sinfin es de 8

$$N_h := 8$$

Se tiene un paso de 0.125 plg, que por tratarse de un sinfin de un solo inicio, el avance es igual a paso

$$L := \left(\frac{1}{N_h} \right) \cdot \text{in} \quad L = 0.125 \cdot \text{in} \quad p_x := L$$

La altura de la cabeza a y la profundidad b de los dientes estan dados por:

$$\begin{aligned} a &:= 0.3183 \cdot p_x & a &= 0.04 \cdot \text{in} & a &= 1.011 \cdot \text{mm} \\ b &:= 0.3683 \cdot p_x & b &= 0.046 \cdot \text{in} & b &= 1.169 \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

El diámetro de paso del sin fin es, si se considera un diámetro exterior de 0.5 in

$$\begin{aligned} d_{ext} &:= 0.5 \cdot \text{in} \\ d_{ps} &:= d_{ext} - 2 \cdot a & d_{ps} &= 0.42 \cdot \text{in} & d_{ps} &= 10.679 \cdot \text{mm} \quad \text{Diametro de paso del sinfin} \end{aligned}$$

De acuerdo con la ecuacion, el diámetro de la rueda helicoidal es de:

$$d_e := \frac{L \cdot N_e}{\pi \cdot N_s} \quad d_e = 0.597 \cdot \text{in} \quad d_e = 15.16 \cdot \text{mm}$$

Entonces la distancia entre centros es:

$$C := \frac{d_e + d_{ps}}{2} \quad C = 0.509 \cdot \text{in} \quad C = 12.919 \cdot \text{mm}$$

El ángulo de avance es:

$$\lambda := \text{atan} \left(\frac{L}{\pi \cdot d_{ps}} \right) \quad \lambda = 5.406 \cdot \text{deg}$$

El ángulo λ es menor que 6° por tanto el sinfin sera autobloqueante

El ancho de la cara maximo es de:

$$F := 0.67 \cdot \text{dps} \quad F = 0.282 \cdot \text{in} \quad F = 7.155 \cdot \text{mm}$$

Suponiendo que el sinfin se fabricará en un bronce colado en arena:

Factor del material (Cs): Para un bronce colado en arena

$$Cs := 700$$

Factor de corrección de razón (Cm):

$$Cm := 0.0200 \sqrt{(-mg^2 + 40 \cdot mg) - 76 + 0.46} \quad Cm = 0.806$$

La velocidad tangencial Vt en el diámetro de paso del tornillo sin fin:

$$Vt := \left(\frac{\pi \cdot n \cdot \frac{\text{dps}}{\text{in}}}{12 \cdot \cos(\lambda)} \right) \cdot \frac{\text{ft}}{\text{min}} \quad Vt = 2.211 \cdot \frac{\text{ft}}{\text{min}} \quad Vt = 11.233 \cdot \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

Factor de seguridad (Cv): Como Vt es menor de 700 fpm

$$Cv := 0.659 e^{-\left(0.0011 \cdot Vt \cdot \frac{\text{min}}{\text{ft}}\right)} \quad Cv = 0.657$$

La carga tangencial es:

$$Wtg := \left[Cs \cdot Cm \cdot Cv \cdot \left(\frac{\text{de}}{\text{in}} \right)^{0.8} \cdot \frac{F}{\text{in}} \right] \cdot \text{lbf} \quad Wtg = 69.122 \cdot \text{lbf} \quad Wtg = 31.353 \cdot \text{kgf}$$

Coefficiente de fricción

$$\mu := 0.103 e^{-0.110 \cdot \left(Vt \cdot \frac{\text{min}}{\text{ft}} \right)^{0.450}} + 0.012 \quad \mu = 0.1$$

La fuerza de fricción, suponiendo un ángulo de presión ϕ de 25°

$$\phi := 25 \text{ deg} \quad Wf := \frac{(\mu \cdot Wtg)}{\cos(\lambda) \cdot \cos(\phi)} \quad Wf = 7.662 \cdot \text{lbf} \quad Wf = 3.475 \cdot \text{kgf}$$

La potencia nominal de salida es de:

$$\Phi_0 := \left(\frac{n \cdot \frac{\text{de}}{\text{in}} \cdot \text{Wtg}}{\text{in} \cdot \text{lbf}} \right) \cdot \text{hp} \quad \Phi_0 = 4.366 \cdot 10^{-4} \cdot \text{hp} \quad \Phi_0 = 0.326 \text{ W}$$

La potencia perdida es:

$$\Phi_1 := \left(\frac{Vt \cdot \frac{\text{min}}{\text{ft}} \cdot \frac{\text{Wf}}{\text{lbf}}}{33000} \right) \cdot \text{hp} \quad \Phi_1 = 5.134 \cdot 10^{-4} \cdot \text{hp} \quad \Phi_1 = 0.383 \text{ W}$$

La potencia de entrada nominal es:

$$\Phi := \Phi_0 + \Phi_1 \quad \Phi = 9.5 \cdot 10^{-4} \cdot \text{hp} \quad \Phi = 0.708 \text{ W}$$

La eficiencia del engranaje es:

$$\eta := \left(\frac{\Phi_0}{\Phi} \right) \cdot 100 \quad \eta = 45.955$$

El par de torsión nominal de salida es:

$$Tg := \text{Wtg} \cdot \frac{\text{de}}{2} \quad Tg = 20.627 \cdot \text{lbf} \cdot \text{in} \quad Tg = 23.765 \cdot \text{kgf} \cdot \text{cm}$$

13.2.3. Diseño de los ejes de la Muñeca

El par de torsión en la flecha es de 150 kgf.cm y la velocidad angular es de 1.33 rpm . Se desea una vida infinita.

$$\text{rpm} := \frac{2 \cdot \pi \cdot \text{rad}}{60 \cdot \text{sec}} \quad \omega := 1.333 \text{ rpm} \quad \omega = 0.14 \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \quad \text{kpsi} := 10^3 \cdot \text{psi}$$

$$T_m := 130.194 \text{ lbf} \cdot \text{in} \quad T_m = 14.71 \text{ N} \cdot \text{m} \quad T_m = 150 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

La potencia transmitida se calcula apartir de:

$$P := T_m \cdot \omega \quad P = 2.053 \text{ W} \quad d_{e1} := 0.6 \text{ in}$$

Para que el diseño se encuentre dentro de la zona segura propuesta por la ASME, se requiere un factor de seguridad tal que:

$$\left(\frac{\sigma_a}{S_e} \cdot f_s \right)^2 + \left(\frac{\tau_m}{S_{ys}} \cdot f_s \right)^2 = 1$$

Para hallar el diámetro de cada sección del eje se utiliza la fórmula:

$$d = \left[\frac{32 \cdot f_s}{\pi} \cdot \left[\left(k_f \cdot \frac{M_a}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \cdot \left(\frac{T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

La fuerzas tangencial y radial producidas en el engrane son de.

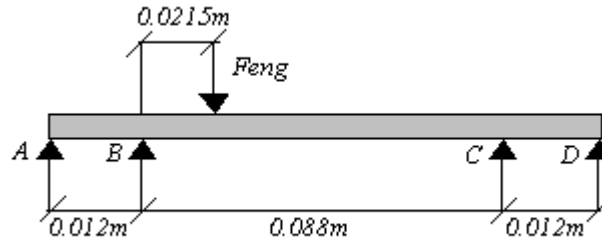
$$F_{t1} := \frac{T_m}{\left(\frac{d_{e1}}{2} \right)} \quad F_{t1} = 1.9304 \cdot 10^3 \text{ N} \quad F_{t1} = 196.85 \text{ kgf}$$

Con un angulo de presión en el engrane de 20°

$$F_{r1} := F_{t1} \cdot \tan(20 \cdot \text{deg}) \quad F_{r1} = 702.622 \text{ N} \quad F_{r1} = 71.648 \text{ kgf}$$

Se hallan las reacciones en los apoyos usando el Teorema de los tres Momentos:

Figura 69. Teorema de los Tres Momentos



$$M_A + 2M_B(L_1 + L_2) + M_C L_2 = \frac{-Pa}{L_1}(L_1^2 - a^2) - \frac{Pb}{L_2}(L_2^2 - b^2)$$

Teorema de los 3 Momentos

Por tratarse de una viga simplemente apoyada en el punto A y D, los momentos en estos puntos son iguales a cero.

$$M_A := 0 \text{ N}\cdot\text{m} \quad M_D := 0 \text{ N}\cdot\text{m} \quad a := 0.0215 \text{ m} \quad b := 0.0665 \text{ m}$$

$$L_1 := 0.012 \text{ m} \quad L_2 := 0.088 \text{ m} \quad L_3 := 0.012 \text{ m}$$

Como se tienen más de tres apoyos, el teorema se aplica en sucesión a juegos de 3 apoyos adyacentes, para obtener así un juego de ecuaciones que se pueda resolver simultáneamente para los momentos desconocidos.

Resolviendo se tiene que:

$$A := \begin{bmatrix} 0.2 & 0.088 \\ 0.088 & 0.2 \end{bmatrix}^{-1} \quad B := \begin{bmatrix} -4.84 \\ -3.43 \end{bmatrix} \quad y := A \cdot B \quad y = \begin{bmatrix} -20.65 \\ -8.06 \end{bmatrix}$$

Luego los valores para MB y MC son:

$$M_B := y_0 \text{ N}\cdot\text{m} \quad M_B = -20.65 \text{ N}\cdot\text{m} \quad M_C := y_1 \text{ N}\cdot\text{m} \quad M_C = -8.063 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Reacciones en el Plano YZ

Las ecuaciones para los tramos AB-BC y BC-CD son respectivamente:

$$0.2 \text{ m} \cdot \text{MB} + 0.088 \text{ m} \cdot \text{MC} + 4.84 \text{ N} \cdot \text{m}^2 = 0 \text{ N} \cdot \text{m}^2$$

$$0.088 \text{ m} \cdot \text{MB} + 0.2 \text{ m} \cdot \text{MC} + 3.43 \text{ N} \cdot \text{m}^2 = 0 \text{ N} \cdot \text{m}^2$$

Haciendo sumatoria de momentos con respecto a B:

$$\text{RAy} := \frac{\text{MB}}{\text{L1}} \quad \text{RAy} = -1.721 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Haciendo sumatoria de momentos a la izquierda de C:

$$\text{RBy} := \frac{-\text{RAy} \cdot (0.1 \text{ m}) + \text{Ft}_1 \cdot 0.0665 \text{ m} + \text{MC}}{\text{L2}} \quad \text{RBy} = 3.32288 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Haciendo sumatoria de momentos a la derecha de C:

$$\text{RDy} := \frac{\text{MC}}{\text{L3}} \quad \text{RDy} = -671.92 \text{ N}$$

Haciendo sumatorias de fuerzas en la flecha:

$$\text{RCy} := \text{Ft}_1 - \text{RAy} - \text{RBy} - \text{RDy} \quad \text{RCy} = 1.0005 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Diagrama de Momentos Flectores

$$x1 := 0..12$$

$$x2 := 12..33.5$$

$$x3 := 33.5..100$$

$$x4 := 100..112$$

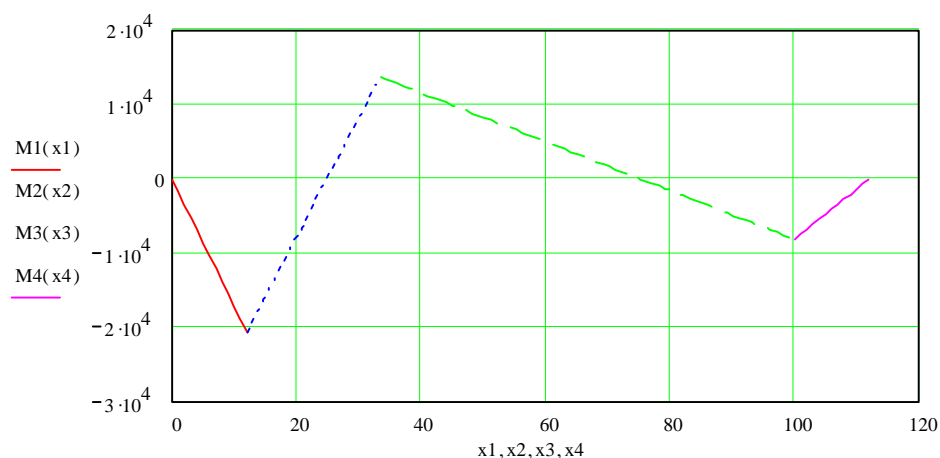
$$\text{M1}(x1) := \text{RAy} \cdot x1$$

$$\text{M2}(x2) := \text{RAy} \cdot x2 + \text{RBy} \cdot (x2 - 12)$$

$$\text{M3}(x3) := \text{RAy} \cdot x3 + \text{RBy} \cdot (x3 - 12) - \text{Ft}_1 \cdot (x3 - 33.5)$$

$$\text{M4}(x4) := \text{RAy} \cdot x4 + \text{RBy} \cdot (x4 - 12) - \text{Ft}_1 \cdot (x4 - 33.5) + \text{RCy} \cdot (x4 - 100)$$

Figura 70. Momentos en el Plano YZ



Momentos en el plano YZ:

$$M_{a_{yz}} := M1(12) \cdot \text{mm} \quad M_{b_{yz}} := M2(33.5) \cdot \text{mm} \quad M_{c_{yz}} := M3(100) \cdot \text{mm} \quad M_{d_{yz}} := M4(112) \cdot \text{mm}$$

$$M_{a_{yz}} = -20.652 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \quad M_{b_{yz}} = 13.788 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \quad M_{c_{yz}} = -8.063 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \quad M_{d_{yz}} = 4.002 \cdot 10^{-14} \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

Reacciones en el plano XZ:

Aplicando nuevamente el Teorema de los 3 momentos, las ecuaciones para los tramos AB-BC BC-CD son respectivamente:

$$A_x := \begin{bmatrix} 0.2 & 0.088 \\ 0.088 & 0.2 \end{bmatrix}^{-1} \quad B_x := \begin{bmatrix} 1.763 \\ 1.25 \end{bmatrix} \quad x := A_x \cdot B_x \quad x = \begin{bmatrix} 7.521 \\ 2.941 \end{bmatrix}$$

$$M_{A_x} := 0 \text{ N} \cdot \text{m} \quad M_{D_x} := 0 \text{ N} \cdot \text{m} \quad M_{B_x} := x_0 \text{ N} \cdot \text{m} \quad M_{B_x} = 7.521 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$M_{C_x} := x_1 \text{ N} \cdot \text{m} \quad M_{C_x} = 2.9407 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$(0.2 \text{ m} \cdot M_{B_x} + 0.088 \text{ m} \cdot M_{C_x}) - 1.763 \cdot \text{N} \cdot \text{m}^2 = 0 \cdot \text{N} \cdot \text{m}^2$$

$$(0.088 \text{ m} \cdot M_{B_x} + 0.2 \text{ m} \cdot M_{C_x}) - 1.25 \cdot \text{N} \cdot \text{m}^2 = 0 \cdot \text{N} \cdot \text{m}^2$$

$$R_{Ax} := \frac{M_{Bx}}{L1} \quad R_{Ax} = 626.757 \text{ N}$$

$$R_{Bx} := \frac{-R_{Ax} \cdot (0.1 \text{ m}) - Fr_1 \cdot 0.0665 \text{ m} + M_{Cx}}{L2} \quad R_{Bx} = -1.2098 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$R_{Dx} := \frac{M_{Cx}}{L3} \quad R_{Dx} = 245.06 \text{ N}$$

$$R_{Cx} := -Fr_1 - R_{Ax} - R_{Bx} - R_{Dx} \quad R_{Cx} = -364.6743 \text{ N}$$

Diagramas de momentos Flectores:

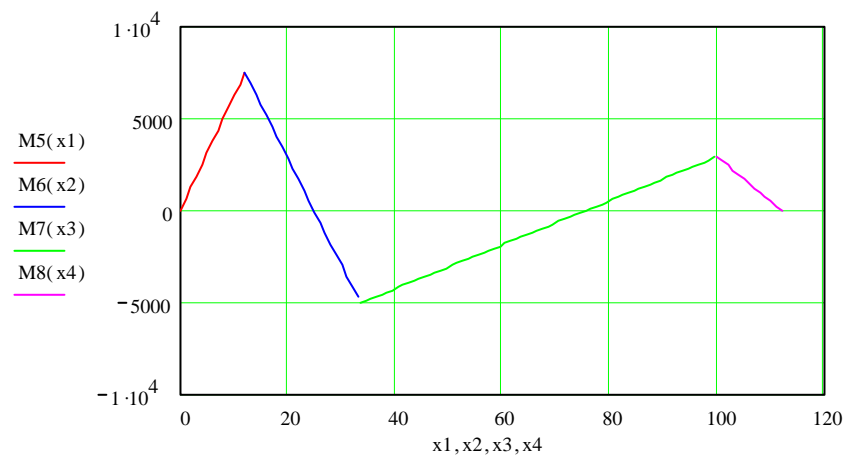
$$M5(x1) := R_{Ax} \cdot x1$$

$$M6(x2) := R_{Ax} \cdot x2 + R_{Bx} \cdot (x2 - 12)$$

$$M7(x3) := R_{Ax} \cdot x3 + R_{Bx} \cdot (x3 - 12) + Fr_1 \cdot (x3 - 33.5)$$

$$M8(x4) := R_{Ax} \cdot x4 + R_{Bx} \cdot (x4 - 12) + Fr_1 \cdot (x4 - 33.5) + R_{Cx} \cdot (x4 - 100)$$

Figura 71. Momentos en el Plano XZ



$$M_{a_{XZ}} := M5(12) \cdot \text{mm} \quad M_{b_{XZ}} := M6(33.5) \cdot \text{mm} \quad M_{c_{XZ}} := M7(100) \cdot \text{mm} \quad M_{d_{XZ}} := M8(112) \cdot \text{mm}$$

$$M_{a_{XZ}} = 7.521 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m} \quad M_{b_{XZ}} = -5.014 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m} \quad M_{c_{XZ}} = 2.941 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m} \quad M_{d_{XZ}} = -3.46 \cdot 10^{-14} \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$Ma := \sqrt{Ma_{xz}^2 + Ma_{yz}^2}$$

$$Ma = 21.979 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$Mb := \sqrt{Mb_{xz}^2 + Mb_{yz}^2}$$

$$Mb = 14.671 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$Mc := \sqrt{Mc_{xz}^2 + Mc_{yz}^2}$$

$$Mc = 8.583 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$Md := \sqrt{Md_{xz}^2 + Md_{yz}^2}$$

$$Md = 5.288 \cdot 10^{-14} \text{ N}\cdot\text{m}$$

SELECCION DEL MATERIAL

Se plantea el uso de acero inoxidable. Por su acabado, bajo costo y facilidad de fabricación. Como se debe considerar la deflexión, es bueno seleccionar esta material por su E grande.

Las propiedades del acero inoxidable son:

$$Su := 185 \text{ kpsi} \quad Sy := 160 \text{ kpsi}$$

$$Se = S_e \cdot C_{car} \cdot C_{tam} \cdot C_{sup} \cdot C_{tem} \cdot C_{conf} \quad S_e := 0.5 \cdot Su \quad S_e = 92.5 \text{ kpsi}$$

Se suponen diámetros para las secciones de la flecha:

$$da := 0.411 \quad db := 0.325 \quad dc := 0.301 \quad r := 0.05$$

Los factores de tamaño (Ctam) y Kf dependen de cada sección, los demás factores son constantes para todo el eje.

FACTOR DE CARGA Como soporta cargas a flexión es:

$$C_{car} := 1$$

FACTOR DE TAMAÑO Este se determina para cada sección del eje

$$C_{tam_a} := 0.869 \cdot da^{-0.097} \quad C_{tam_a} = 0.947$$

$$C_{tam_b} := 0.869 \cdot db^{-0.097} \quad C_{tam_b} = 0.969$$

$$C_{tam_c} := 0.869 \cdot dc^{-0.097} \quad C_{tam_c} = 0.976$$

FACTOR DE SUPERFICIE Depende de la calidad de acabado y de la resistencia a la tensión. Como el acabado es maquinado o estirado en frío, el C_{sup} es:

$$C_{sup} := 2.7 \cdot \left(\frac{S_u}{\text{kpsi}} \right)^{-0.265} \quad C_{sup} = 0.677$$

FACTOR DE TEMPERATURA Como el eje no trabajará a temperaturas mayores de 450°C

$$C_{tem} := 1$$

FACTOR DE CONFIABILIDAD Se plantea una confiabilidad del 50%.

$$C_{conf} := 1$$

FACTOR DE CONCENTRACION DE ESFUERZOS

La sensibilidad de las muescas q , se determina a partir de las curvas de sensibilidad a las muescas para aceros.

$$q := 0.67 \quad A_a := 0.97098 \quad b_a := -0.21796 \quad A_c := 0.95120 \quad b_c := -0.23757$$

$$\frac{d_a}{d_b} = 1.265 \quad k_{t_a} := A_a \cdot \left(\frac{r}{d_a} \right)^{b_a} \quad K_{f_a} := 1 + q \cdot (k_{t_a} - 1) \quad K_{f_a} = 1.36$$

$$k_{t_a} = 1.537 \quad K_{f_b} := 1$$

$$\frac{d_b}{d_c} = 1.08 \quad k_{t_c} := A_c \cdot \left(\frac{r}{d_c} \right)^{b_c} \quad K_{f_c} := 1 + q \cdot (k_{t_c} - 1) \quad K_{f_c} = 1.306$$

$$k_{t_c} = 1.457$$

$$S_{e_a} := S_e \cdot C_{car} \cdot C_{tam_a} \cdot C_{sup} \cdot C_{tem} \cdot C_{conf} \quad S_{e_a} = 59.317 \text{ kpsi}$$

$$S_{e_b} := S_e \cdot C_{car} \cdot C_{tam_b} \cdot C_{sup} \cdot C_{tem} \cdot C_{conf} \quad S_{e_b} = 60.684 \text{ kpsi}$$

$$S_{e_c} := S_e \cdot C_{car} \cdot C_{tam_c} \cdot C_{sup} \cdot C_{tem} \cdot C_{conf} \quad S_{e_c} = 61.137 \text{ kpsi}$$

Se supone un factor de seguridad de 1.5

$$fs := 1.5$$

$$da := \left[\frac{32 \cdot fs}{\pi} \cdot \left[\left(Kf_a \cdot \frac{Ma}{Se_a} \right)^2 + \left[\frac{3}{4} \cdot \left(\frac{Tm}{Sy} \right)^2 \right] \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

da = 0.41in da = 10.417mm

$$db := \left[\frac{32 \cdot fs}{\pi} \cdot \left[\left(Kf_b \cdot \frac{Mb}{Se_b} \right)^2 + \left[\frac{3}{4} \cdot \left(\frac{Tm}{Sy} \right)^2 \right] \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

db = 0.325in db = 8.262mm

$$dc := \left[\frac{32 \cdot fs}{\pi} \cdot \left[\left(Kf_c \cdot \frac{Mc}{Se_c} \right)^2 + \left[\frac{3}{4} \cdot \left(\frac{Tm}{Sy} \right)^2 \right] \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

dc = 0.3in dc = 7.623mm

14. FUTURAS MEJORAS

La presión ejercida por el gripper es importante en la manipulación de un objeto. El gripper diseñado no posee sensores que permitan determinar la presión ejercida sobre el objeto. En el diseño, esto es controlado sensando la corriente de los motores de paso encargados de transmitir el movimiento a los sistemas de barras en los dedos. Dotar al gripper de sensores de presión sería una buena opción para mejorar la flexibilidad de este.

Para obtener un mejor desempeño de la muñeca, es decir, tener una mayor capacidad de carga, se puede optimizar el peso del gripper diseñado, reemplazando algunas de las piezas realizadas en aluminio por otras elaboradas en un material más liviano, como por ejemplo el Empack N o Nylon, el cual ofrece unas buenas propiedades mecánicas para este tipo de aplicación.

Diseñar nuevos grippers con diferentes características, por ejemplo de tipo paralelo, angular, los cuales puedan ser acopladas a la muñeca diseñada, esto con el fin de ofrecer la posibilidad de seleccionar el efector final de acuerdo con la aplicaciones a realizar.

15. CONCLUSIONES

- ⊕ El principal objetivo del Modulo Muñeca - Gripper, era permitir la manipulación, sujeción y orientación de objetos. Este objetivo fue logrado con el diseño realizado, se obtuvieron 3 grados de orientación en la muñeca (Yaw-Pitch-Roll) y el diseño del gripper articulado permite la sujeción y manipulación de objetos con diferentes formas y tamaños.
- ⊕ El diseño presenta como era requerido un acople en muñeca y gripper, los cuales permiten su fijación a un brazo manipulador determinado y el cambio de gripper.
- ⊕ Las piezas que conforman el dispositivo fueron maquinadas en su totalidad logrando el ensamble final del mismo. Algunas fueron maquinadas por el grupo de trabajo, otras por personal contratado.
- ⊕ La realización de prototipos físicos funcionales y el uso de programas de modelación son una herramienta importante en el proceso de diseño ya que permiten visualizar de manera más clara la correcta funcionalidad del prototipo ayudando a identificar aquellos aspectos que pueden presentar problemas para su correcto funcionamiento a la vez que es un medio que amplía la visión del diseñador para generar mejoras que contribuyan a un mejor desempeño.
- ⊕ La función del controlador es manejar el movimiento del módulo (gripper y muñeca) al igual que otros dispositivos dentro del sistema, y realizar los ajustes necesarios con el fin de corregir cualquier error que se pueda presentar. Para llevar a cabo el control de los motores DC, se usó un control en lazo cerrado cuya realimentación son los sensores de posición inteligente. Una de las ventajas de estos es que tienen incorporado el sistema de acondicionamiento de la señal de salida, entregando una señal análoga de 0 a 5 Voltios, equivalentes a un rango de 0 a 360°.

BIBLIOGRAFÍA

ARTOBOLEVSKY, I. Mecanismos en la Técnica Moderna. Moscú : Mir 1976. Vol. 1, 2, 3 y 4.

CHIRONIS, Nicholas P. Mechanisms, Linkages and Mechanical Controls. New York: Mc. Graw Hill 1965.

CHIRONIS, Nicholas P. Machine Device and Instrumentation. New York : Mc. Graw Hill 1996.

CRAIG. Introduction to Robotics: Mechanics and Control. Massachusetts : Editorial Addison-Wesley. 1998.

ERDMAN, Arthur G.; SANDOR, George N. Diseño de Mecanismos. México : 3 ed. Prentice Hall. Vol.1 . 1998.

FAG Interamericana AG. Programa Standard FAG. Catálogo WL 41510/2 SE. Pág. 88-121.

MOTT, Robert L. Resistencia de Materiales Aplicada. México : Prentice Hall. 1996. Pág. 502 – 507.

MORECKI, Adam. KNAPCZYK, Jozef. Basics of Robotics : Theory and components of manipulators and robots. New York : Springer-Verlag, 1999.

NORTON, Robert I. Diseño de Máquinas. México: Prentice Hall. 1999. Pág. 794 – 807.

ROSHEIM, Mark. E. Robot Wrist Actuators. New York : John Wiley and Sons, Inc. 1989. Pág. 1 – 252.

ROSHEIM, Mark. E. Robot Evolution. New York : John Wiley and Sons, Inc. 1994. Pág. 37 – 225.

SHIGLEY, J. E. Teoría de Maquinas y Mecanismos. Mc.Graw Hill. 1990.

ANEXO 1 . SENSOR DE POSICIÓN INTELIGENTE

601-1045

Vishay Spectrol



Full 360° Smart Position Sensor



FEATURES

- Ratiometric output over 360° range with no dead band
- Self-contained package not requiring external electronic interface
- Angular response 50μ secs
- Reverse polarity protection
- Absolute and non volatile positioning output

The model 601-1045 represents a new generation of Smart Sensors. This unique electronic device is a self-contained package which provides an analogue electrical output over a full 360° without the need of external electronics. The low power consumption and non-volatile output makes this universal sensor the real cost-effective alternative to encoders. It's versatile design makes it suitable for a variety of industries and applications, such as CCTVs, Medical Instruments, Robotic arm control, CNC machinery, Rotational control systems, Pick n' place machines and Angular feedback applications.

STANDARD ELECTRICAL SPECIFICATIONS	
PARAMETER	
Supply	4.5 to 5.5VDC
Supply Current	20mA maximum
Absolute Maximum Supply	6V
Independant Linearity	± 1% Typical
Resolution	Resolves down to a minimum of 0.5°
Electrical Track	360° continuous
Analogue Voltage Output	Not less than 90% of supply (ratiometric) - see graphs on next page
Output Ramp Slope	Electrically switchable - see graphs below
Output Impedance	1Ω typical
Temperature Characteristic	±1° max. over - 40/+ 70°C
Insulation Resistance	1000MΩ minimum
Dielectric Strength	1000V _{RMS} , 50/60Hz

MECHANICAL SPECIFICATIONS	
Rotation	360° continuous
Rotational Speed	5 maximum revs/sec (duration 60 secs)
Operating Torque Maximum	3.68 (0.5) mNm (oz in)
Weight	30g

ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS	
Operating Life	5,000,000 Cycles
Operating Temp. Range	- 40°C to + 70°C
Storage Temp. Range	-40°C to + 105°C
Sealing	IP54

ORDERING INFORMATION

601-1045
MODEL

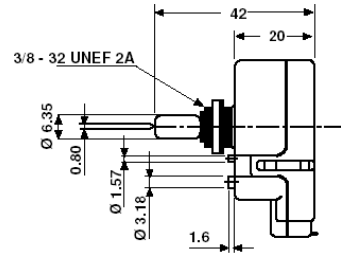
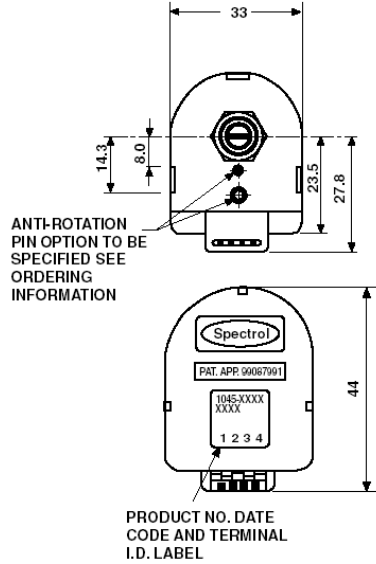
XXXX
STANDARD
CONFIGURATION
CODE

Example: 601 - 1045 - XXXX

PRODUCT NUMBER	ø 1.57 PIN	ø 3.18 PIN
0000	Yes	Yes
0001	Yes	-
0002	-	Yes
0003	-	-



DIMENSIONS in millimeters

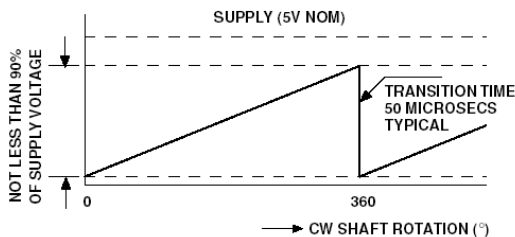


PIN CONNECTIONS	FUNCTION
1 + 5V	Supply
2 0V	
3 Output	O/P Voltage
4 Direction	Ramp Polarity

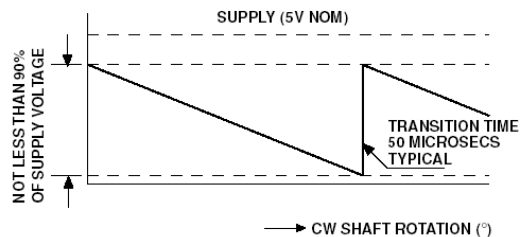
MATERIAL SPECIFICATIONS	
Housing	Plastic
Bushing	Brass, nickel plated
Shaft	Stainless steel
Pin Terminal Connector	Gold Plated
Output Connection	Pin header to suit IDC connectors. e.g. Panduit C100 - F22 and Molex 7880
Bushing Mount Hardware	
Lock Washer, Internal Tooth	Steel, nickel plated
Panel Nut	Brass, nickel plated



CABLE ASSEMBLY FOR CONNECTION	
Part Number	601-1056-0000
Description	Molex KK
	4-way crimp connector
	4 wire (250mm)



DEFAULT OUTPUT [Terminal #4 Open-Circuit]



REVERSE SLOPE [Terminal #4 Connected to 0V]

ANEXO 2. PUENTE H DUAL PARA MANEJO DE MOTORES DC

Puente H completo para manejo de dos motores DC desde 4.5Vdc hasta 36Vdc a 1A. Entrada de PWM y sentido de giro digital para cada motor. Posee sistema de auto apagado por temperatura. Se basa en el chip L293NE de la Texas Instruments.

Los elementos que componen éste sistema son:

- IC1 L293NE
- IC2 74LS08N
- IC3 LM7805
- C1 10uF
- C2 , C3 0.1uF
- R1, R3 1K
- R2, R4 470
- D1 – D8 1N4004
- T1, T2 2N3904

El sistema posee una regleta de entrada denominada “input” en la cual se ingresa el PWM y el bit de sentido de giro para cada motor así como el voltaje de alimentación para los motores. Existen dos regletas para la conexión de cada motor (*Motor1 – Motor2*).

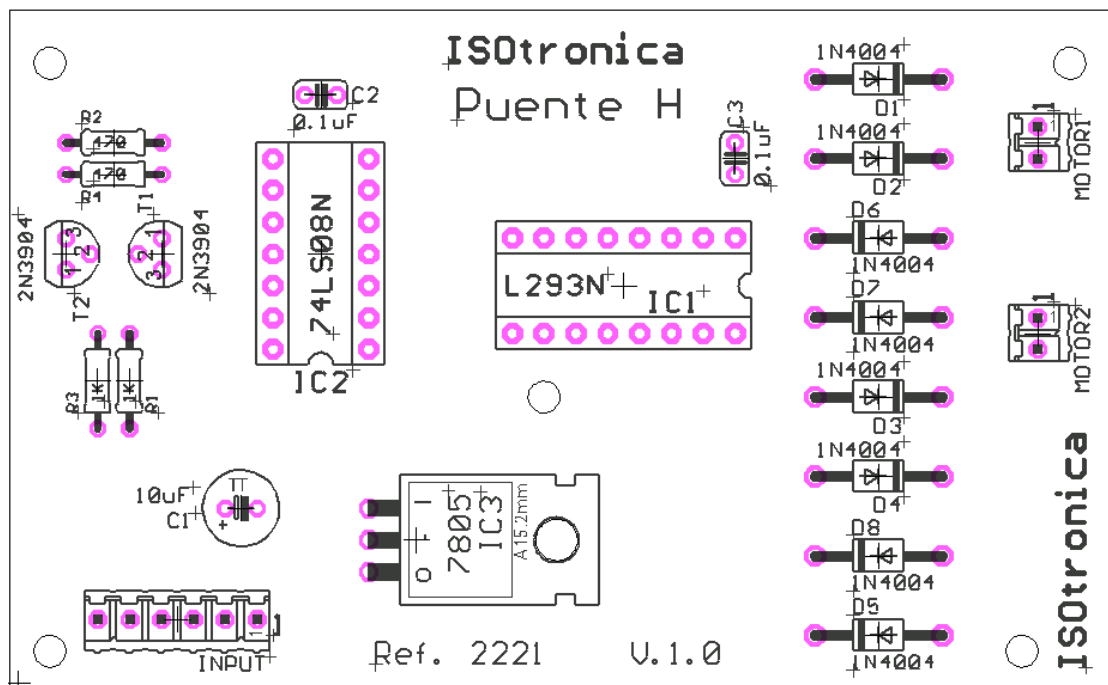


Fig. 1. Ubicación de componentes

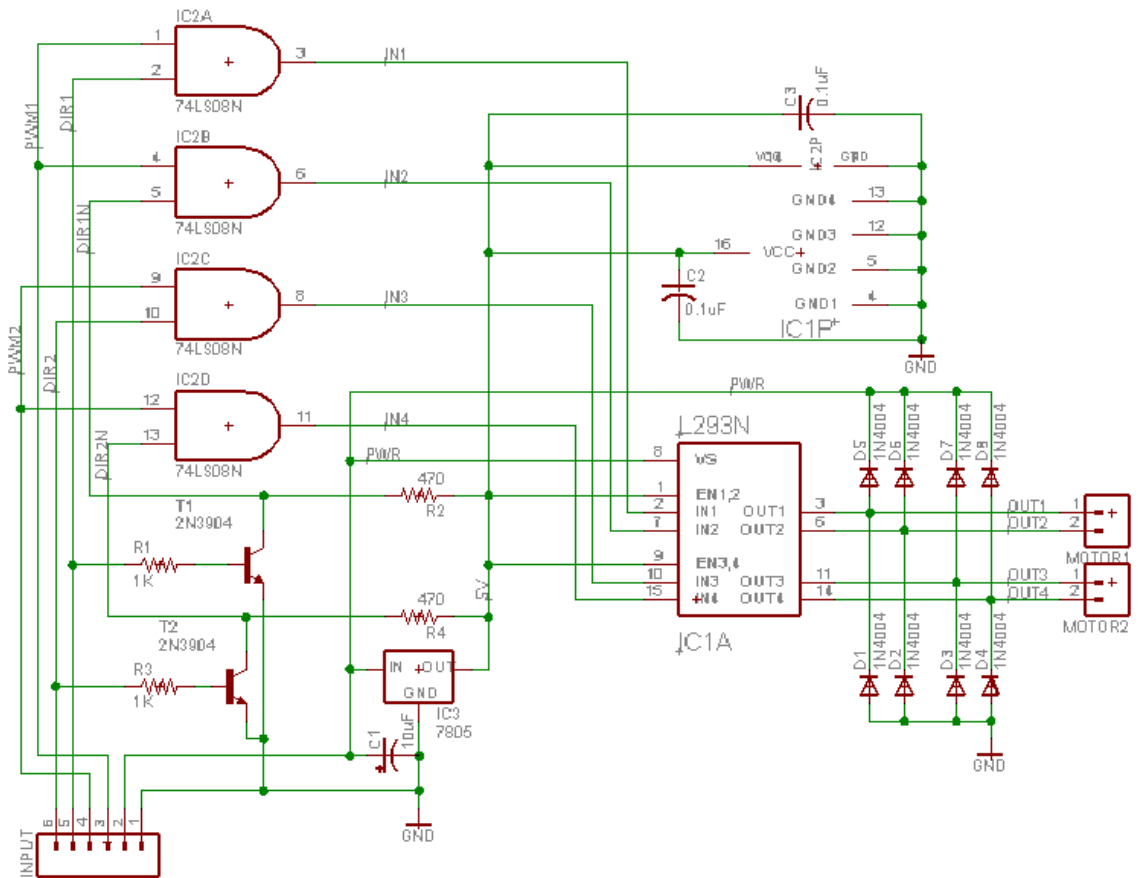


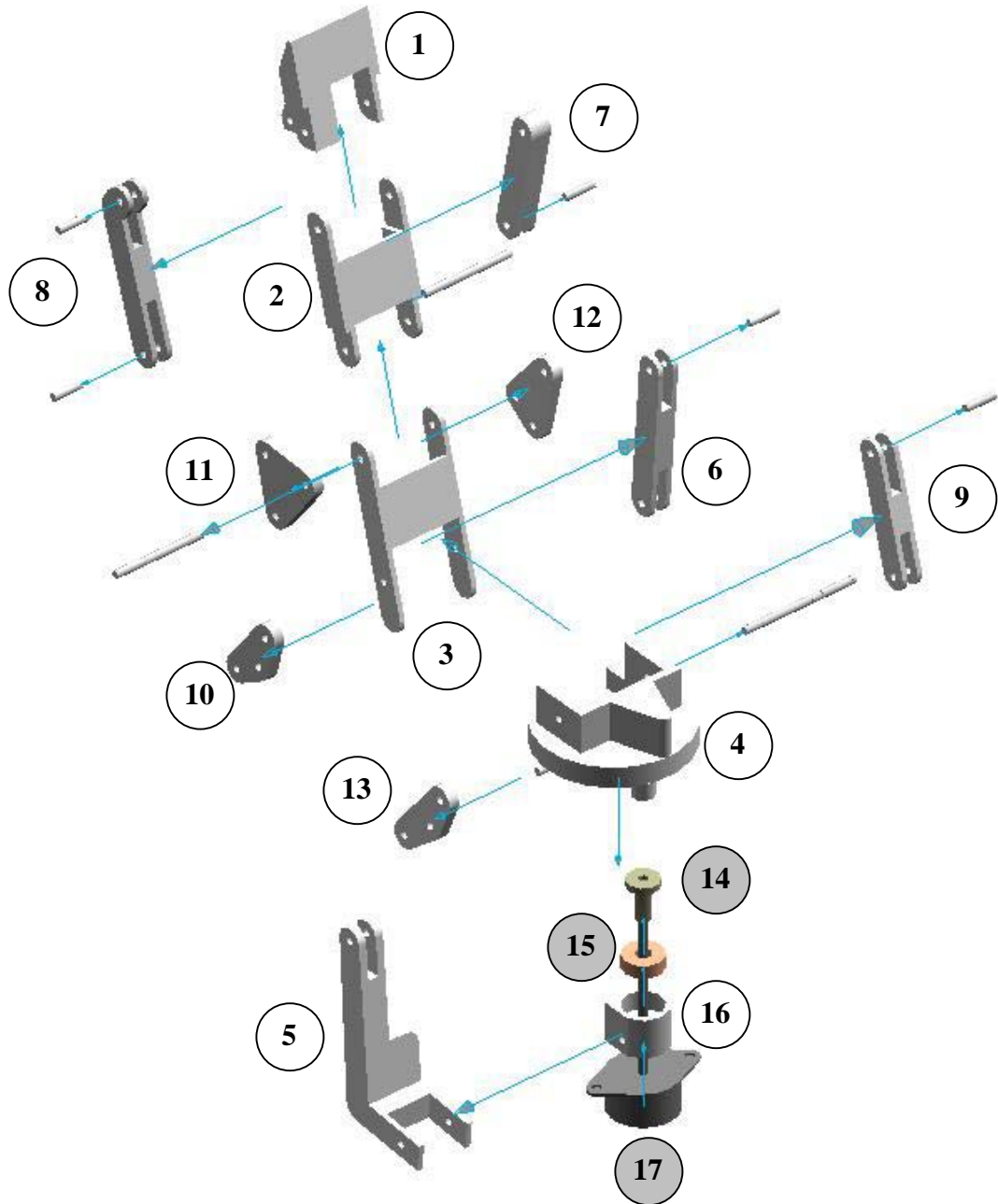
Fig. 2. Esquemático del circuito.

Definición de pines por puerto:

PUERTO	Pin	Descripción
INPUT	1	Tierra (GND)
	2	Voltaje de Alimentación del circuito y Motores (4.5V – 36V DC)
	3	Señal PWM para Motor1 (el PWM debe ser digital TTL : 0V – 5V)
	4	Señal PWM para Motor2 (el PWM debe ser digital TTL : 0V – 5V)
	5	Bit de sentido de giro para Motor1
	6	Bit de sentido de giro para Motor2
MOTOR1	1y2	Conexión al Motor1
MOTOR2	1y2	Conexión al Motor2

NOTA: La lógica del sistema es TTL (0V: Bajo – 5V: Alto) por lo tanto el bit de sentido de giro y la señal PWM debe tener éstos niveles de voltaje referenciados a la tierra común del pin 1 en el puerto INPUT.

ANEXO 3. ENSAMBLE DEDO

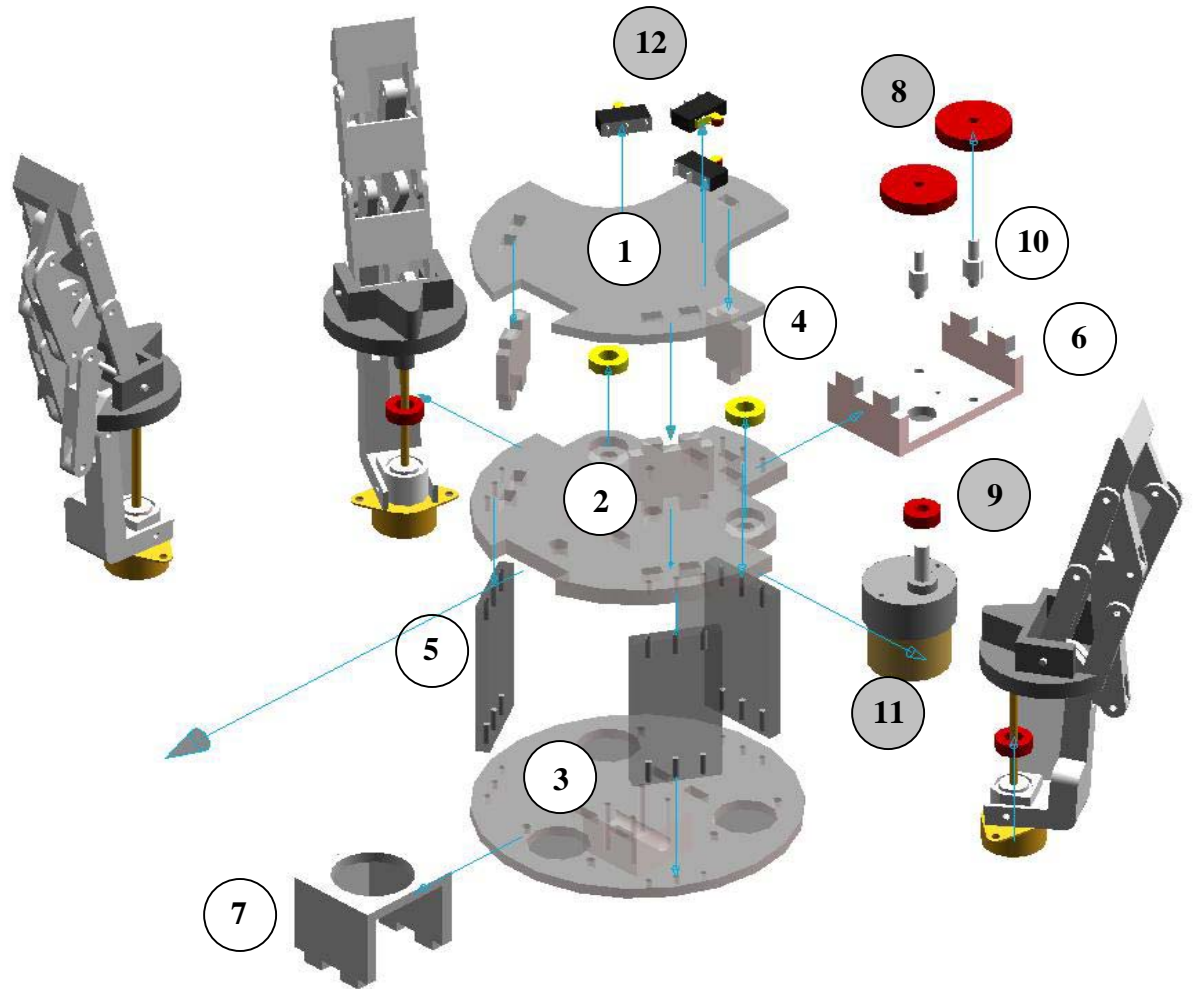


Estándares

LISTADO DE PARTES DEDO

- 1.** Falange 1
- 2.** Falange 2
- 3.** Falange 3
- 4.** Base Dedo
- 5.** Barra de Empuje Principal
- 6.** Barra de Empuje 1
- 7.** Barra de Empuje 2
- 8.** Barra de Empuje 3
- 9.** Barra de Empuje 4
- 10.** Eslabón 1
- 11.** Eslabón 2
- 12.** Eslabón 3
- 13.** Eslabón 4
- 14.** Rodamiento Ref. 618/8 (8x16x5 mm) Marca NTN
- 15.** Tuerca Desplazamiento
- 16.** Tuerca de Acople
- 17.** Motor Paso a Paso 12 VDC. Marca HSI (Haydon Switch and Instruments).

ANEXO 4. ENSAMBLE GRIPPER

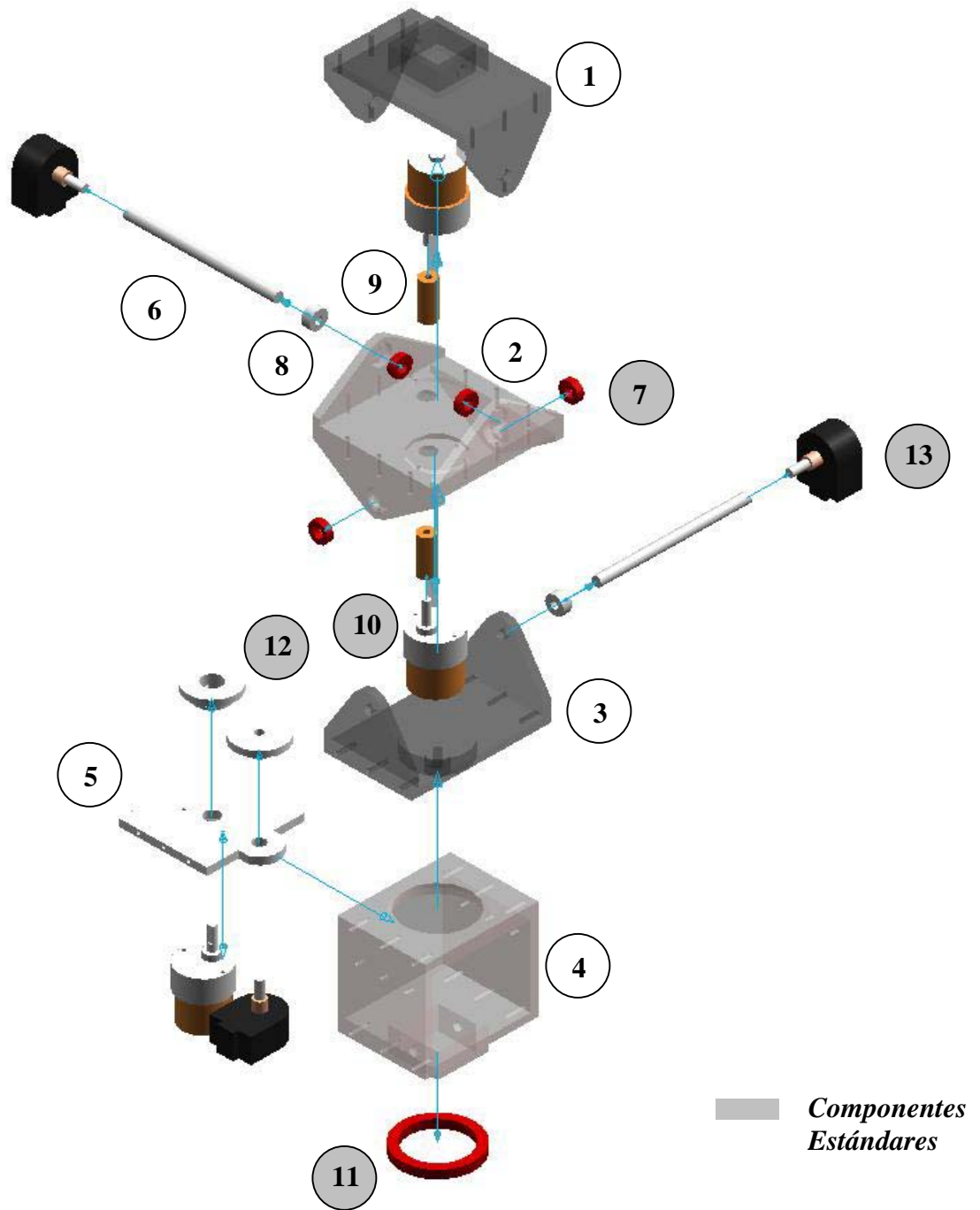


■ *Componentes Estándares*

LISTADO DE PARTES GRIPPER

- 1.** Palma 1
- 2.** Palma 2
- 3.** Soporte Motores Paso a Paso
- 4.** Soportes Palma
- 5.** Soportes Gripper
- 6.** Base 1 Motor Giro Dedos
- 7.** Base 2 Motor Giro Dedos
- 8.** Piñones Referencia 30T
- 9.** Piñones Referencia 15T
- 10.** Ejes Piñones
- 11.** Motoreductor 12 VDC. Marca Hsiang Neng.
- 12.** Switches.

ANEXO 5. ENSAMBLE MUÑECA



LISTADO DE PARTES MUÑECA

- 1.** Pieza 1 Muñeca.
- 2.** Pieza 2 Muñeca.
- 3.** Pieza 3 Muñeca.
- 4.** Pieza 4 Muñeca.
- 5.** Soporte Motor Roll.
- 6.** Ejes Muñeca.
- 7.** Rodamiento Ref. 618/8 (8x16x5 mm) Marca NTN
- 8.** Piñones.
- 9.** Tornillo Sin Fin.
- 10.** Motoreductor 12 VDC. Marca Hsiang Neng.
- 11.** Rodamiento Ref. 61809T (45x58x7 mm) Marca ELGES.
- 12.** Piñones Ref. 30T.
- 13.** Sensores de Posición Inteligente.