

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ROBOT CARTESIANO PALETIZADOR

**OSCAR JAIMES FLOREZ
WILLIAM CUEVAS MARTINEZ**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA
ESCUELA DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIA
FACULTAD INGENIERIA MECATRONICA
BUCARAMANGA**

2006

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ROBOT CARTESIANO PALETIZADOR

TESIS DE GRADO

**OSCAR JAIMES FLOREZ
WILLIAM CUEVAS MARTINEZ**

DIRECTOR

Msc. Ing. EDUARDO CALDERON PORRAS

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA
ESCUELA DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIA
FACULTAD INGENIERIA MECATRONICA
BUCARAMANGA**

2006

DIRECTOR

EVALUADOR

EVALUADOR

JURADO

JURADO

DEDICATORIAS

A Dios que es el que me da la vida y la salud para poder alcanzar todos estos éxitos.

A mi familia que me han hecho de mí la persona que y por los que me levanto todos los días a luchar para salir adelante.

A todos los seres queridos que quisieran que estuvieran en este momento tan importante de mi vida.

A mi gran amigo y coautor William Cuevas al quien le deseo a el y a su familia lo mejor.

Oscar Jaimes Florez

DEDICATORIA

Quisiera dedicar mi trabajo y mi título profesional primeramente a Dios y a mis padres, quienes han estado durante el transcurso de la carrera apoyándome y respaldándome incondicionalmente.

Por otra parte quisiera dedicar esta tesis a las señoritas de biblioteca quienes hicieron de las horas de investigación y trabajo en biblioteca, un tiempo mas agradable, al Cuerpo de CUPE quienes nos facilitaron un lugar mas limpio y cómodo donde trabajar, al personal de vigilancia que nos brindaban un lugar seguro donde estudiar, a la Doctora Maritza Rondon y el señor Jhon Darío Cano, a Eduardo Cuevas e Isabel Cuevas, a Marthica, a Elcita y a los profesores.

También quisiera extender mi dedicatoria a Marvin y a Mauricio quienes siempre estuvieron dispuestos a ayudarnos a solucionar nuestros problemas cuando nadie mas lo hacia.

Y por ultimo también quisiera dedicar este libro a toda mi familia, amigos, a Nelson Ruiz y a Abraham Higuera quienes me han visto crecer como persona y como profesional durante estos últimos años de estudio. También a Mi Compañero de Proyecto Oscar Jaimes, y su familia quienes me brindaron su apoyo durante esta ultima etapa de mi carrera.

Por su invaluable compañía, a FcRI Gracias.

Gracias, ING. WILLIAM CUEVAS MARTINEZ

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos nuevamente a nuestro Dios por darnos la fuerza y la sabiduría para poder superar todos los obstáculos que nos encontramos en el transcurso de este proyecto de grado.

Gracias a todos los docentes y amigos que nos apoyaron en la realización de esta tesis por darnos todas las buenas ideas y los buenos consejos por compartir con nosotros todas las buenas y las malas experiencias que han hecho en nosotros poder culminar de esta manera esta etapa de nuestras vidas.

Les queremos agradecer de una manera muy especial a la empresa CEDSA S.A. especialmente al Ing. Juan C. Ramírez Rojas por habernos apoyado con su aporte material e intelectual también al señor Pedro Cuevas que nos facilitó su taller de metalmecánica.

INTRODUCCION

En el mundo actual la tecnología ha venido incursionando cada vez más en la vida de todos los seres de este mundo, gracias a estos avances todos hemos podido mejorar nuestra calidad de vida, como ya todos sabemos estos adelantos no solo se realizan a nivel personales o individuales estos se realizan con el fin de realizar tareas productivas que produzcan ganancias económicas cuando hablamos de esto nos referimos a trabajos industriales ya sea de producción o de prestación de servicios especiales.

A partir de todas estas necesidades es que se estudian y se realizan cada ves con mas frecuencias proyectos acerca nuevas tecnologías para procesos de producción, en todo esta gran explosión de investigación entramos los ingenieros que somos los grandes conocedores de esta materia y que podemos aplicar cada una de las nuevas tecnologías de la manera mas rentable para la compañía para la cual trabajamos y de aquí es de donde parte nuestro proyecto de grado de una necesidad que no es directamente sobre la producción principal si no sobre el almacenamiento y distribución de productos terminados esto quiere decir en una sola palabra paletización palabra no muy conocida pero que quiere decir facilidad de agrupamiento del producto terminado esto se vera mas claro cuando entremos en materia de lleno.

La robótica es la rama de la tecnología con la cual vamos a realizar nuestro proyecto por esta razón este proyecto se resume en el diseño y realización de un robot cartesiano aplicado en la paletización de objetos, se realizaran todos los estudios a partir de equipos ya realizados, trataremos de aplicar conocimientos adquiridos para entender y aplicar toda esta nueva tecnología en futuros sistemas robóticas o automáticos que se están implementando en la industria colombiana.

TABLA DE CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	15
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo general.....	16
2.2 Objetivos específicos	16
3. MARCO TEORICO.....	17
3.1 La Robótica	17
3.2 Tipos de Configuraciones para Robots Industriales.....	18
3.2.1 Configuración Cartesiana.....	18
3.3 Cinemática del Robot	19
3.3.1 Problema cinemático directo	20
3.3.2 Problema cinemático inverso	20
3.4 Dinámica del Robot.....	21
3.4.1 Modelo dinámico directo	22
3.4.2 Modelo dinámico inverso	22
3.5 Programación de Robots	22
3.6 Sensores.....	23
3.6.1 Sensores de desplazamiento angular	24
3.6.2 Potenciómetros	24
3.6.3 Encoders ópticos	25

3.6.4 Sensores de presencia	25
3.6.5 MicroSwitch (fines de carrera)	25
3.7 Transmisión de Movimiento.....	26
3.8 Actuadores	28
3.8.1 Actuadores neumáticos.....	29
3.8.2 Actuadores eléctricos.....	30
3.8.3 Motores DC (corriente continua).....	30
3.9 Elementos Terminales o Grippers	31
3.10 Sistemas de sujeción para robots	32
4. DISEÑO ROBOT CARTESIANO PALETIZADOR	33
4.1 Metodología de Diseño Mecatrónico	33
4.2 Software.....	36
4.3 Hardware	37
5. DISEÑO MECATRONICO ROBOT PALETIZADOR CARTESIANO.....	38
5.1 Robots Paletizadores (recopilación de información)	39
6. DISEÑO DE CONTROL	42
6.1 Modelo cinemático robot cartesiano paletizador	42
6.1.1 Cinemática Directa.....	42
6.2 Modelo dinámico de la estructura mecánica del robot cartesiano paletizador	44
6.3 Manipulación.....	48

6.4 Transferencia de material: paletización y pick & place.....	49
6.4.1 Pick & Place.....	50
6.4.2 Paletizado	51
6.5 Control automático del robot.....	53
6.5.1 Control de posición	54
6.6 Representación en Matlab y respuesta a lazo abierto.....	58
6.6.1 Función de Transferencia.....	58
6.6.2 Control proporcional	59
6.6.3 Controlador proporcional derivativo PD	61
6.6.4 Control Proporcional Integral Derivativo PID.....	62
6.6.5 Control por momento computado	64
7. DISEÑO MECANICO	71
7.1 Mecanismos de Transmisión de Movimiento Lineal (modelamiento mecánico con análisis computarizado).....	73
7.1.1 Tornillos de potencia	74
7.2 Diseño Mecánico Tornillo de Potencia.....	75
7.3 Terminología de la rosca de un tornillo de potencia.....	75
7.4 Formas de Rosca	77
7.4.1 Rosca Cuadrada.....	77
7.5 Coeficientes de fricción.....	80
7.6 Eficiencia de un tornillo de potencia	80

7.7 Esfuerzos en las rosca	81
7.8 Consideraciones Principales de Esfuerzo	82
7.8.1 Presión por Aplastamiento.....	82
7.8.2 Tensión debida a la Flexión	83
7.8.3 Tensión Cortante.....	84
7.9 Tornillos de bolas (husillos a bolas)	85
7.10 Diseño Mecánico de Tornillos Eje X.....	86
7.10.1 Resultado del Análisis	89
7.11 Análisis Tornillo Eje Y	90
7.11.1 Resultados del Análisis	93
7.12 Cilindro de Doble Efecto Movimiento Eje Z.....	94
7.12.1 Cilindros de doble efecto	95
7.12.2 Cálculos de Cilindros de Doble Efecto.....	95
7.13 Elemento Terminal o Gripper	99
7.13.1 Diseño de Gripper Neumático (vacío).....	100
7.13.2 Selección de Vacío.....	100
7.13.3 Definición de la Pieza a Manejar	101
7.13.4 Disposición de las Ventosas	101
7.13.5 Generador de Vacío	101
7.13.6 Movimiento de la Carga	103
7.13.7 Actuador	103

7.13.8 Diagramas de Fuerzas y Momentos.....	104
7.13.9 Esfuerzo de las Ventosas	104
7.14 Diseño de Gripper Mecánico.....	106
7.14.1 Modelo CAD Gripper Final.....	107
7.14.2 Análisis modelo mecánico Gripper robot cartesiano paletizador.	108
7.15 Sistemas de Transmisión de Movimientos Utilizados en el Robot Cartesiano Paletizador	109
7.15.1 Transmisión por Correas.....	110
7.15.2 Rodamientos	111
8. DISEÑO ELECTRONICO.....	113
8.1 Circuito de control prototipo robot cartesiano paletizador.	113
9. CONCLUSIONES.....	115
10. BIBLIOGRAFIAS	117
11. ANEXOS	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Características configuración cartesiana.	19
Figura 2: Diagrama cinemática de un robot.	21
Figura 3: Diagrama dinámica de un robot.	22
Figura 4: Principio de funcionamiento potenciómetro.	24
Figura 5: esquema final de carrera.	26
Figura 6: Ejemplo de transmisión de movimiento en un robot.	27
Figura 7: metodología del diseño mecatrónico.	33
Figura 8: diagrama de diseño robot paletizador.	35
Figura 9: ejemplos robots paletizadores.	41
Figura 10: esquema cinemático robot cartesiano paletizador.	43
Figura 11: Sistema de control de posición con retroalimentación unitaria.	56
Figura 12: Respuesta controlador lazo abierto.	58
Figura 13: Respuesta sistema subamortiguado.	59
Figura 14: Sistema de control de posición con retroalimentación tacométrica.	60
Figura 15: Respuesta con retroalimentación derivativa.	61
Figura 16: El motor con la carga mecánica, y el disturbio ($D(s)$)	63
Figura 17: Respuesta controlador PID.	63
Figura 18: Sistema de control de posición con retroalimentación tacométrica y momento computado.	65
Figura 19: Diagrama control mediante par computado usando un PD.	67
Figura 20: Representación de los pares aplicados τ_1 y τ_2	68
Figura 21: Diagrama control mediante par computado usando un PID.	69
Figura 22: Error en el caso de emplear un PD.	69
Figura 23: Primer diseño robot cartesiano paletizador.	71
Figura 24: diseño computarizado robot paletizador cartesiano final.	72

Figura 25: ejemplos tornillos de potencia.....	74
Figura 26: terminología de la rosca de un tornillo de potencia.	75
Figura 27: tipos de avance en las roscas de los tornillos de potencia.....	76
Figura 28: rosca cuadrada.....	78
Figura 29: diagrama de cuerpo libre tornillo de potencia.	78
Figura 30: tensión debida a la flexión en un tornillo de potencia.....	83
Figura 31: tornillo de bolas.	85
Figura 32: Resultado análisis eje X.	89
Figura 33: Factor de seguridad.....	89
Figura 34: Resultado análisis eje Y.	93
Figura 35: Factor de seguridad.....	94
Figura 36: esquema interno cilindro de doble efecto.	95
Figura 37: Esquema circuito neumático eje Z.....	97
Figura 38: diagramas consumo de aire, capacidad de aspiración, vació y consumo de aire de gripper neumático.	102
Figura 39: valores de fuerza, aceleración, velocidad y recorrido gripper neumático.	103
Figura 40: diagramas de fuerzas y momentos del gripper neumático.	104
Figura 41: fuerzas de las ventosas del gripper neumático.	105
Figura 42: diseño computarizado gripper robot paletizador.	107
Figura 43: Resultado Análisis gripper.	108
Figura 44: Factor de seguridad Gripper.....	109
Figura 45: transmisión por correas sincrónicas utilizado en el eje X del robot paletizador.	111
Figura 46: Circuito Electrónico Robot paletizador cartesiano.....	113
Figura 47: Tarjetas 1 y 2 control robot cartesiano paletizador.....	114

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: tipos de transmisiones de movimientos.	28
Tabla 2: tipos de actuadores para la robótica.	31
Tabla 3: tipos de sujeción, accionamiento y utilización de grippers.	32
Tabla 4: Parámetros D-H para robot paletizador cartesiano.	43
Tabla 5: valores de presión por aplastamiento debidos a los materiales de tornillo y tuerca.	83
Tabla 6: Resumen resultados análisis eje x.	90

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La manipulación manual de cargas es una tarea bastante frecuente en casi todas las empresas, independientemente del sector de actividad: industria, agricultura, hostelería, comercio, etc. Estas actividades se desarrollan a diario en nuestras empresas, y representa una de las causas más habituales de accidentabilidad en las empresas. Entre un 20 y un 25 % del total de los accidentes laborales son debidos a esta causa.

Las lesiones más frecuentes no suelen ser mortales, pero generan grandes costos económicos y humanos, ya que pueden tener una larga y difícil curación o provocar incapacidad. Se producen, fundamentalmente, problemas músculo-esqueléticos, especialmente en la espalda, aunque también son frecuentes en hombros, brazos y manos. Además de la fatiga física, la manipulación incorrecta de cargas, puede producir contusiones, cortes, heridas y fracturas.

Además de los problemas ya mencionados anteriormente cabe decir que existen un tipo de cargas que son muy peligrosas y que requieren de una manipulación especial en la que el hombre no este en contacto en ningún momento con la operación este tipo de cargas están normalizadas internacionalmente por las naciones unidas y se fundamenta de la siguiente manera:

El transporte de mercancías peligrosas esta reglamentado a fin de evitar, que esas mercaderías ocasionen accidentes que produzcan víctimas o daños en los medios de transporte utilizados o en otros bienes.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Diseñar y construir un prototipo de un robot cartesiano paletizador con su respectivo sistema de alimentación automático.

2.2 Objetivos específicos

- Desarrollar una metodología de diseño mecatrónico para el robot paletizador cartesiano.
- Realizar estudios acerca de robots paletizadores existentes en el mercado actual para desarrollar el diseño de nuestro robot.
- Diseñar el modelo mecánico siguiendo con los requerimientos y cualidades que debe tener un robot de este tipo.
- Diseñar el sistema eléctrico y electrónico del robot paletizador cartesiano.
- Diseñar el sistema de control para el robot cartesiano paletizador.
- Desarrollar el software para la programación del robot cartesiano paletizador.
- Diseñar el elemento terminal o gripper determinando las cualidades del robot paletizador cartesiano.

3. MARCO TEORICO

3.1 La Robótica

La robótica es un concepto de dominio público. La mayor parte de la gente tiene una idea de lo que es la robótica, sabe sus aplicaciones y el potencial que tiene; sin embargo, no conocen el origen de la palabra robot, ni tienen idea del origen de las aplicaciones útiles de la robótica como ciencia.¹

La robótica como hoy en día la conocemos, tiene sus orígenes hace miles de años. La robótica no era reconocida como ciencia, es mas, la palabra robot surgió hace mucho después del origen de los autómatas.

Desde el principio de los tiempos, el hombre ha deseado crear vida artificial. Se ha empeñado en dar vida a seres artificiales que le acompañen en su morada, seres que realicen sus tareas repetitivas, tareas pesadas o difíciles de realizar por un ser humano.

Los hombres creaban autómatas como un pasatiempo, eran creados con el fin de entretener a su dueño. Los materiales que se utilizaban se encontraban al alcance de todo el mundo, esto es, utilizaban maderas resistentes, metales como el cobre y cualquier otro material moldeable, esto es, que no necesitara o requiriera de algún tipo de transformación para poder ser utilizado en la creación de los autómatas.

¹ Ollero, A. Robótica. Manipuladores Robóticos y Robots Móviles.

Estos primeros autómatas utilizaban, principalmente, la fuerza bruta para poder realizar sus movimientos. A las primeras maquinas herramientas que ayudaron al hombre a facilitarle su trabajo no se les daba el nombre de autómata, sino más bien se les reconocía como artefactos o simples maquinas.

3.2 Tipos de Configuraciones para Robots Industriales

Cuando se habla de la configuración de un robot, se habla de la forma física que se le ha dado al brazo del robot. El brazo del manipulador puede presentar cuatro configuraciones clásicas: la cartesiana, la cilíndrica, la polar, la angular y otras no tan comunes como SCARA y paralela.

3.2.1 Configuración Cartesiana

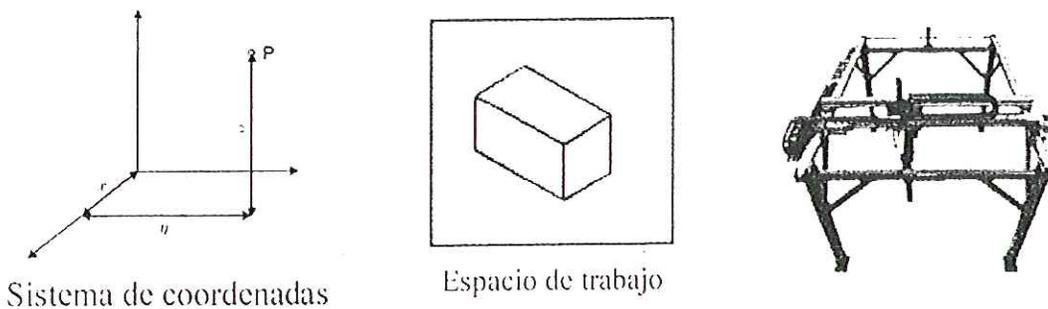
Posee tres movimientos lineales, es decir, tiene tres grados de libertad, los cuales corresponden a los movimientos localizados en los ejes X, Y y Z. Los movimientos que realiza este robot entre un punto y otro son con base en interpolaciones lineales. Interpolación, en este caso, significa el tipo de trayectoria que realiza el manipulador cuando se desplaza entre un punto y otro. A la trayectoria realizada en línea recta se le conoce como interpolación lineal y a la trayectoria hecha de acuerdo con el tipo de movimientos que tienen sus articulaciones se le llama interpolación por articulación.

Características principales:

La especificación de un punto del espacio se efectúa mediante coordenadas cartesianas (X, Y, Z), la precisión es uniforme en todo el espacio operativo, construcción

rígida, la distribución de cargas no presenta problemas especiales, no resulta adecuada para acceder a puntos situados en espacios cerrados.

Figura 1: Características configuración cartesiana.



M. Groover. Robótica Industrial.

3.3 Cinemática del Robot

La cinemática del brazo del robot trata con el estudio analítico de la geometría del movimiento de un brazo de un robot con respecto a un sistema de coordenadas de referencia fija sin considerar las fuerzas o momentos que originan el movimiento.

La cinemática se interesa por la descripción analítica del desplazamiento espacial del robot como función del tiempo en particular de las relaciones entre la precisión de las variables de articulación y la posición, y orientación del efector final del brazo del robot.

Los dos problemas de esta son:

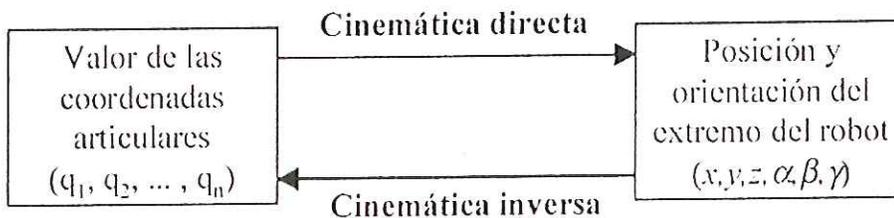
- Conocer el problema cinemático directo.
- problema cinemático inverso.

3.3.1 Problema cinemático directo: determinar la posición y orientación del extremo del robot, con respecto a un sistema de coordenadas de referencia, conocidos los valores de las articulaciones y los parámetros geométricos de los elementos del robot. Se utiliza fundamentalmente el álgebra vectorial y matricial para representar y describir la localización de un objeto en el espacio tridimensional con respecto a un sistema de referencia fijo. Dado que un robot puede considerarse como una cadena cinemática formada por objetos rígidos o eslabones unidos entre sí mediante articulaciones, se puede establecer un sistema de referencia fijo situado en la base del robot y describir la localización de cada uno de los eslabones con respecto a dicho sistema de referencia. De esta forma, el problema cinemático directo se reduce a encontrar una matriz homogénea de transformación T que relacione la posición y orientación del extremo del robot respecto del sistema de referencia fijo situado en la base del mismo. Esta matriz T será función de las coordenadas articulares.

3.3.2 Problema cinemático inverso: determinar la configuración que debe adoptar el robot para alcanzar una posición y orientación conocidas.

Así como es posible abordar el problema cinemático directo de una manera sistemática a partir de la utilización de matrices de transformación homogéneas, e independientemente de la configuración del robot, no ocurre lo mismo con el problema cinemático inverso, siendo el procedimiento de obtención de las ecuaciones fuertemente dependiente de la configuración del robot.

Figura 2: Diagrama cinemática de un robot.



A. Barrientos y otros. Fundamentos de Robótica.

3.4 Dinámica del Robot

Estudio de la relación matemática entre el movimiento del robot y las fuerzas implicadas en el mismo: localización del robot definida por sus variables articulares o por las coordenadas de localización de su extremo, y sus derivadas: velocidad y aceleración, fuerzas y pares aplicados en las articulaciones o en el extremo del robot, parámetros dimensionales del robot, como longitudes, masas e inercias de sus elementos.

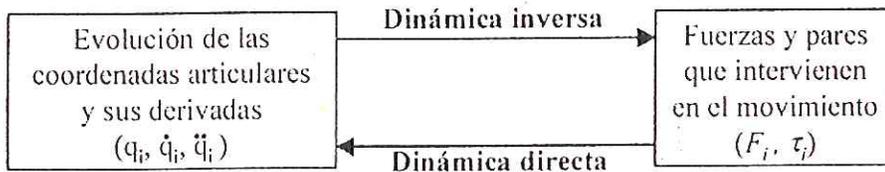
Obtención: complejidad aumenta con el número de grados de libertad, interacción entre movimientos, no siempre es posible su obtención en forma cerrada, procedimientos numéricos iterativos, necesidad de incluir los actuadores y su dinámica, necesidad de realizar simplificaciones y caso especial: robots flexibles.

Utilidad: simulación del movimiento del robot, diseño y evaluación de la estructura mecánica del robot, dimensionamiento de los actuadores, diseño y evaluación del control dinámico del robot.

3.4.1 Modelo dinámico directo: expresa la evolución temporal de las coordenadas articulares y sus derivadas, en función de las fuerzas y pares que intervienen.

3.4.2 Modelo dinámico inverso: expresa las fuerzas y pares que intervienen, en función de la evolución temporal de las coordenadas articulares y sus derivadas.

Figura 3: Diagrama dinámica de un robot.



A. Barrientos y otros. Fundamentos de Robótica.

3.5 Programación de Robots

Un robot industrial es básicamente un manipulador multifuncional reprogramable. La reprogramación es la capacidad que le permite su adaptación rápida y económica a diferentes aplicaciones.

La programación de un robot es el proceso mediante el cual se indica la secuencia de acciones que deberá llevar a cabo durante la realización de su tarea. Estas acciones consisten en su mayor parte en moverse a puntos predefinidos y manipular objetos del entorno.

Durante la ejecución del programa:

- lee y actualiza las variables utilizadas en el programa.

- Interacciona con el sistema de control cinemático y dinámico del robot, encargados de dar la señal de mando a los actuadores a partir de las especificaciones del movimiento que se les proporciona.
- Interacciona con las entradas y las salidas para la sincronización del robot con el resto de las maquinas y elementos que componen su entorno.

3.6 Sensores

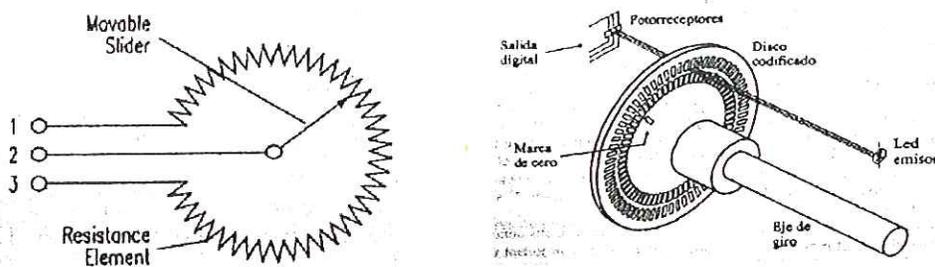
Los sensores son dispositivos muy importantes a la hora de darle percepciones del medio al robot que se vaya a realizar existen en grandes cantidades colores formas pero especialmente aplicaciones por que decimos esto porque de pendiendo de lo que queremos que haga nuestro robot debemos utilizar determinado sensor con toda la variedad que hay hoy en día no hay ningún problema en conseguir cualquier tipo de sensor según lo necesitemos pero debemos saber escoger muy bien para poder tener una alta eficiencia a la hora de trabajar y de escoger un sensor acorde al presupuesto que se maneja ya que muchas veces por facilitar el trabajo de diseño escogemos sensores relativamente costosos que al final de cuentas pueden ser que nos den una alta eficiencia pero que nos eleve mucho los costos pudiéndose haber trabajado con uno mas económico que nos puede dar la misma eficiencia.

Para la robótica existen dos clases de sensores: externo e internos, los internos son lo que me ayudan controlar todas las variables del robot y los externos son los que le brindan una percepción del entorno de trabajo al robot las dos clases tienen igual importancia a la hora de diseñar un robot, estos son algunas de las clasificaciones que se le dan a los sensores y la clase a la cual pertenecen:

3.6.1 Sensores de desplazamiento angular

3.6.2 Potenciómetros: sensor muy comúnmente usado y que a veces no se lo considera es el clásico potenciómetro. Estos son muy útiles para medir movimientos y determinar la posición de un mecanismo determinado como por ejemplo el eje de una articulación de un brazo mecánico. Debido a que los potenciómetros poseen un ángulo de giro de aproximadamente 270° , no es posible usarlos en mecanismos que deben realizar un giro completo o bien mas de una vuelta sobre su eje. Inconvenientes de los potenciómetros: Desgaste, Ruido eléctrico, Velocidad limitada.

Figura 4: Principio de funcionamiento potenciómetro.



Balcells, Josep y José LuíS Romeral. Autómatas Programables.

Existen dos tipos de potenciómetros en el mercado: Lineares y Logarítmicos (estos últimos usados normalmente en audio). Los del tipo lineal varían su valor en forma constante (linealmente), los de tipo logarítmicos poseen una curva de variación del tipo logarítmica, esto es decir que su valor aumenta lentamente en los extremos y luego los valores cambian cada vez más rápidamente. Los mas recomendados a la hora de sensor posiciones de mecanismos son los del tipo lineal.

3.6.3 Encoders ópticos: Convierten movimiento en una secuencia de pulsos digitales, contando un solo bit o decodificando un conjunto de ellos, los pulsos se pueden convertir en medidas de posiciones relativas o absolutas.

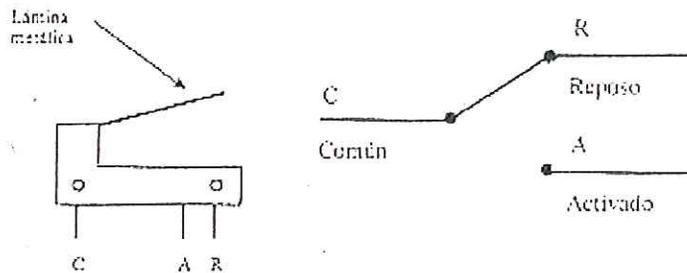
Configuración lineal o rotativa (más utilizada). Los rotativos se componen de un disco plástico (transparente), al cual se acopla el eje cuya posición se quiere medir, con una serie de marcas (opacas) colocadas radialmente y equidistantes entre sí; de elementos emisores de luz y de fotorreceptores. A medida que el eje gira, el haz de luz se interrumpe con las marcas y se generan pulsos en el receptor. Contando estos pulsos es posible conocer la posición del eje. Problema de detección del sentido de giro.

3.6.4 Sensores de presencia

- Mecánicos: fines de carrera problemas de mantenimiento: mecánico y desgaste de contactos.
- Ópticos: emisor y receptor en un único encapsulado emisor y receptor independientes: barreras fotoeléctricas.
- Inductivo: detección de variación de consumo debido a corrientes de Foucault sólo sirve para materiales metálicos.
- Capacitivo: medida de variación de capacidad materiales metálicos y no metálicos.

3.6.5 MicroSwitch (fines de carrera): Un tipo de switch muy útil en robótica es el microswitch como el que se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 5: esquema final de carrera.



Balcells, Josep y José Luís Romeral. Autómatas Programables.

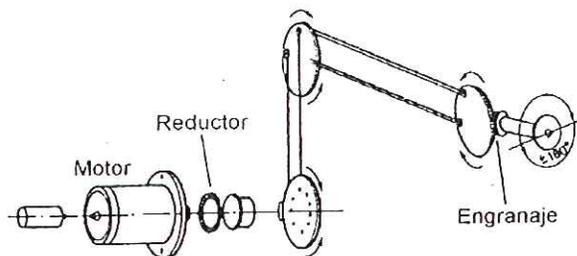
Al presionar la lámina, el borne común C pasa a conectarse con el borne activado A. Si la lámina no está presionada, el borne C está unido con R (reposo). En la práctica el borne R viene identificado como NC (normal closed) y el borne A viene identificado como NO (normal open).

3.7 Transmisión de Movimiento

La transmisión del movimiento desde un mecanismo o elemento de máquina a otro se puede realizar en forma directa, como por ejemplo el caso de un engranaje montado sobre el eje de un motor y que engrana con otro engranaje al que le transmite el movimiento de rotación del eje, o a través de vínculos intermedios que transmiten el movimiento que tiene el elemento motor al elementos conducido. Este vínculo intermedio puede ser sólido o fluido, en el primer caso podrá ser rígido, como la biela de un mecanismo, o flexible como una correa plana o trapezoidal, y en el segundo caso puede ser líquido, presentándose este caso en los mecanismos hidráulicos. Los vínculos intermedios puede ser correas planas o trapezoidales, cadenas, engranajes, tornillo sin fin y rueda helicoidal, bielas, manivelas, aceites, etc.

Para la robótica la transmisión de movimiento es uno de los problemas en el cual se debe estudiar muy bien para escoger mecanismos que nos puedan brindar tanto una buena precisión en el movimiento como en las fuerzas que deben trabajar estos mecanismos recordemos que muchos de los robots son utilizados en la industria manipulando cargas elevadas y que depende mucho de la transmisión mecánica si estos robots sean un éxito en la función que deben cumplir, estos son algunos de los mecanismos mas usados en el diseño de los robots que nos dan alta precisión y grandes fuerzas de trabajo.

Figura 6: Ejemplo de transmisión de movimiento en un robot.



Transmisión de movimiento correspondiente a la muñeca de un robot

BARRIENTOS, Antonio. Fundamentos de Robótica.

Tabla 1: tipos de transmisiones de movimientos.

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

BARRIENTOS, Antonio. Fundamentos de Robótica.

Como se puede ver existen mecanismos para cualquier movimiento que se quiera producir desde cualquier fuente se tienen que tener en cuenta las ventajas y desventajas que cada uno tienen según la aplicación que vayamos a realizar, también el factor que siempre debemos estudiar en todo mecanismo que se vaya a implementar es el rozamiento debemos tratar siempre de minimizarlo al máximo ya que esto es el mas grave problema para una transmisión si no existe ninguna manera de expulsar este fenómeno se debe pensar en maneras de lubricación solo con esto podemos garantizar la transmisión aplicada en los robots recuérdese que la fricción es el fenómeno mas negativo para las transmisiones mecánicas.

3.8 Actuadores

Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica y gaseosa. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y

da una salida necesaria para activar a un elemento final de control como lo son las válvulas.

Existen tres tipos de actuadores:

- Hidráulicos
- Neumáticos
- Eléctricos

Los actuadores hidráulicos, neumáticos eléctricos son usados para manejar aparatos mecatrónicos. Por lo general, los actuadores hidráulicos se emplean cuando lo que se necesita es potencia, y los neumáticos son simples posicionamientos. Sin embargo, los hidráulicos requieren demasiado equipo para suministro de energía, así como de mantenimiento periódico. Por otro lado, las aplicaciones de los modelos neumáticos también son limitadas desde el punto de vista de precisión y mantenimiento.

Los actuadores eléctricos también son muy utilizados en los aparatos mecatrónicos, como por ejemplo, en los robots. Los servomotores CA sin escobillas se utilizarán en el futuro como actuadores de posicionamiento preciso debido a la demanda de funcionamiento sin tantas horas de mantenimiento, por todo esto es necesario conocer muy bien las características de cada actuador para utilizarlos correctamente de acuerdo a su aplicación específica.

3.8.1 Actuadores neumáticos

A los mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico se les denomina actuadores neumáticos. Aunque en esencia son idénticos a los actuadores hidráulicos, el rango de compresión es mayor en este caso, además de que

hay una pequeña diferencia en cuanto al uso y en lo que se refiere a la estructura, debido a que estos tienen poca viscosidad. En esta clasificación aparecen los fuelles y diafragmas, que utilizan aire comprimido y también los músculos artificiales de hule, que últimamente han recibido mucha atención.

3.8.2 Actuadores eléctricos

La estructura de un actuador eléctrico es simple en comparación con la de los actuadores hidráulicos y neumáticos, ya que sólo se requieren de energía eléctrica como fuente de poder. Como se utilizan cables eléctricos para transmitir electricidad y las señales, es altamente versátil y prácticamente no hay restricciones respecto a la distancia entre la fuente de poder y el actuador.

Existe una gran cantidad de modelos y es fácil utilizarlos con motores eléctricos estandarizados según la aplicación. En la mayoría de los casos es necesario utilizar reductores, debido a que los motores son de operación continua. Cuando hablamos de motores para robótica se tienen en cuenta principalmente los motores AC y DC, los motores paso a paso y los servomotores.

3.8.3 Motores DC (corriente continua): son micromotores DC (Direct Current) o también llamados CC (corriente continua) son usados generalmente en robótica. Los hay de distintos tamaños, formas y potencias, pero todos se basan en el mismo principio de funcionamiento.²

Accionar un motor DC es muy simple y solo es necesario aplicar la tensión de alimentación entre sus bornes. Para invertir el sentido de giro basta con invertir la

² www.x-robotics.com

alimentación y el motor comenzará a girar en sentido opuesto. A diferencia de los motores Paso a Paso y los servomecanismos, los motores DC no pueden ser posicionados y/o enclavados en una posición específica. Estos simplemente giran a la máxima velocidad y en el sentido que la alimentación aplicada se los permite.

Tabla 2: tipos de actuadores para la robótica.

	Neumático	Hidráulico	Eléctrico
Energía	-Aire a presión	-Aceite mineral	-Corriente eléctrica
Opciones	-Cilindros -Motor de paletas -Motor de pistón	-Cilindros -Motor de paletas -Motor de pistones axiales	-Corriente continua -Corriente alterna -Motor paso a paso
Ventajas	-Baratos -Rápidos -Sencillos -Robustos	-Rápidos -Alta relación potencia-peso -Alta capacidad de carga	-Precisos -Fiabiles -Fácil control -Silenciosos
Desventajas	-Dificultad de control continuo -Accesorios -Ruidoso	-Difícil mantenimiento -Accesorios -Fugas -Caros	-Potencia limitada

BARRIENTOS, Antonio. Fundamentos de Robótica.

3.9 Elementos Terminales o Grippers

El elemento terminal en un robot industrial es el órgano de aprehensión adecuado para efectuar la manipulación o el soporte de la herramienta necesaria para la realización del trabajo asignado.

Las pinzas han sido diseñadas para que el robot cargue y descargue objetos, transporte materiales y ensamble piezas. Los tipos de pinzas más comunes pertenecen al tipo llamado pivotante. Los dedos de la pinza giran en relación con los puntos fijos del pivote. De esta manera, la pinza se abre y se cierra.

Características básicas:

- Capacidad de carga que debe soportar
- Fuerza de aprehensión
- Tolerancias máximas admisibles en su estructura geométrica
- Tipo de energía para su actuación

3.10 Sistemas de sujeción para robots

Tabla 3: tipos de sujeción, accionamiento y utilización de grippers.

Tipo de sujeción	Accionamiento	Utilización
Pinza de presión: - Despl. angular - Despl. lineal	- Neumático - Eléctrico	Transporte y manipulación de piezas sobre las que no importe presionar.
Pinza de enganche	- Neumático - Eléctrico	Piezas de grandes dimensiones o sobre las que no se puede ejercer presión.
Ventosa de vacío	- Neumático	Cuerpos con superficie lisa poco porosa (cristal, plástico, etc.).
Electroimán	- Eléctrico	Piezas ferromagnéticas.

Ollero, A. Robótica. Manipuladores Robóticos y Robots Móviles.

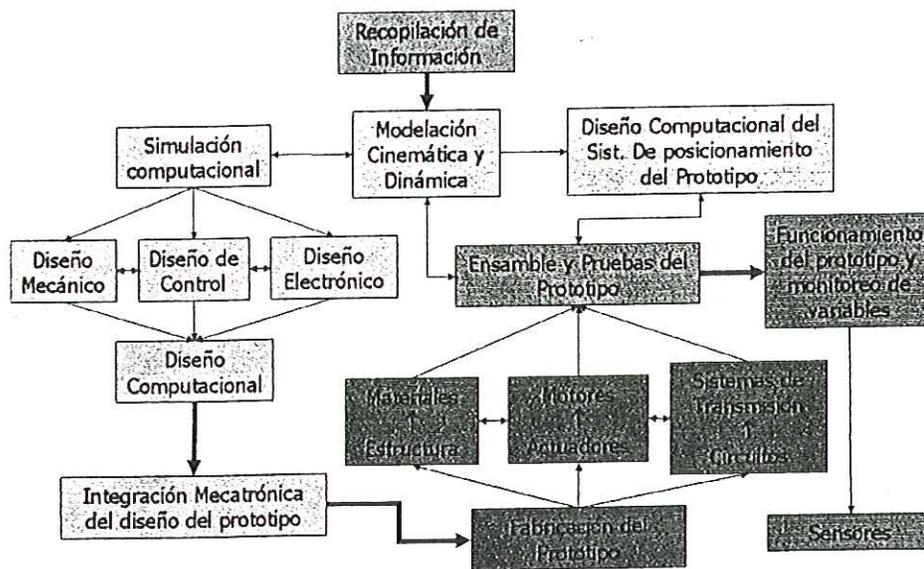
Estos son algunos ejemplos de elementos terminales que hay que decir que existen muchos más y que estos existen de todas las formas tantas como se quieran pensar.

4. DISEÑO ROBOT CARTESIANO PALETIZADOR

4.1 Metodología de Diseño Mecatrónico

El diseño mecatrónico que se implemento para nuestro robot cartesiano paletizador tiene como base el diseño CAD para plasmar la idea principal a partir de toda la investigación que se realizo con anterioridad con esta herramienta podemos construir la estructura principal del robot sin necesidad de realizarlo físicamente, se pueden realizar pruebas como si el diseño fuera real y se puede variar cualquier objeto convirtiéndolo en un sistema muy flexible y de bajo costo, claro a nivel académico.

Figura 7: metodología del diseño mecatrónico.

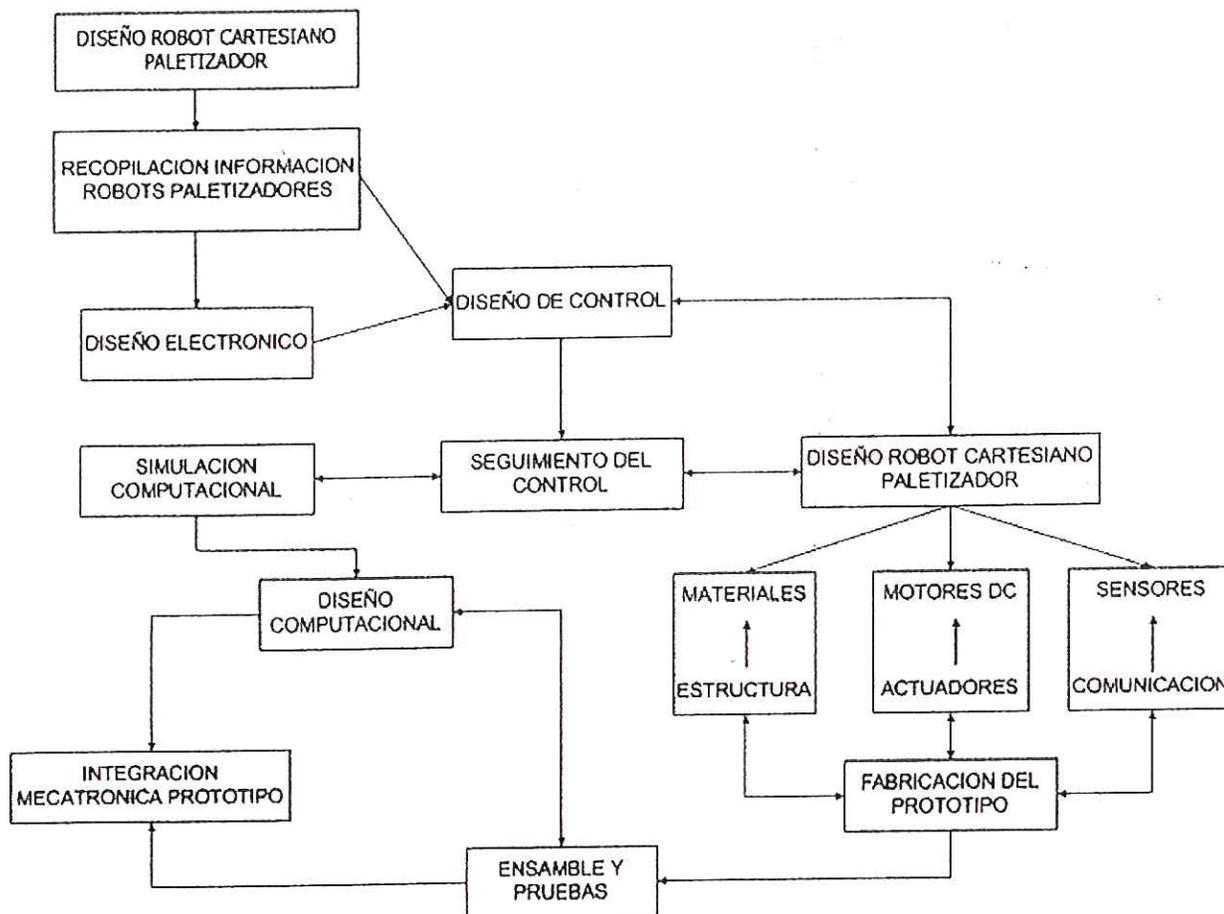


DISEÑO, CONSTRUCCION Y PROGRAMACION DE UN MANIPULADOR SCARA (Selective Compliant Assembly Robot)

En el diagrama mostrado a continuación podemos ver que con la metodología que se implemento podemos realizar cualquier proyecto mecatrónico puesto que en el se suman todas las distintas asignaturas, las cuales el ingeniero mecatrónico maneja como por ejemplo: la electrónica, la mecánica, el control y por ende la automatización pero lo interesante de todo esta combinación en la interacción que hay entre cada una de estas ramas y por lo cual son los ingenieros mecatrónicos tan importantes a la hora del diseño de este tipo, en el diagrama observamos que ninguna de las ramas se trabajan independientemente motivo por el cual antes habían tantos problemas a la hora de realizar este tipo de proyectos esto es bien importante para el éxito del proyecto y a la vez que este no sea costoso esto se debe a que muchas veces hay que hacer cambios debido a la falta de interacción produciendo un incrementos en los costos.

En el diseño para un robot específicamente debemos tener en cuenta todos los aspectos que en el existen por eso para complementar la metodología hay un esquema de diseño para un robot al aplicar la metodología para este se ve una mayor facilidad al momento de llevar a cabo cada una de las etapas pudiendo cambiar flexiblemente aspectos que se van presentando por esta razón es muy importante siempre mantener la metodología y no dejar aislado ninguna parte del diseño del robot.

Figura 8: diagrama de diseño robot paletizador.



Del Autor

Cuando se dio inicio al diseño del robot cartesiano paletizador la primera tarea fue llevar a cabo la estructura mecánica del robot que fue hecha en el software Solid Works 2006 se tomaron ideas en base a unos robots ya existentes para esta aplicación se estudiaron varios mecanismos y sistemas de transmisión de movimiento luego de esto al finalizar este diseño ya en CAD se empezaron a hacer los cálculos de la cinemática y la dinámica, con la ayuda de MATLAB, del manipulador aquí se encontraron los

primeros problemas ya que debido a los problemas de las dimensiones con las cuales se estaba trabajando la dinámica nos arrojaba valores de actuadores muy elevados complicando el diseño debido a lo difícil y costoso de conseguir unos actuadores con las características que se necesitaban gracias al diseño computarizado se hicieron algunos cambios y se logro sobrepasar este problema sin embargo esto atraso un poco el tiempo de entrega del proyecto al mismo tiempo que se corregía este problema se hacían por medio del software ANSYS algunos estudios de resistencia mecánica de cada uno de las articulaciones y de los eslabones algo muy importante para poder garantizar la vida útil y eficaz del robot.

Queremos aclarar que fue muy importante el haber utilizado los métodos de la metodología del diseño mecatrónico para de esta manera llevar a cabo exitosamente este proyecto, también que los software y los hardware utilizados creemos han sido los mas adecuados para la aplicación de este proyecto hay que decir que existen muchos mas que de igual manera pueden servir y que no hay que cerrarse las puertas a mas conocimientos. Estos fueron los sistemas utilizados en nuestro proyecto:

4.2 Software:

- SolidWorks 2006: software CAD (diseño asistido por computador) con el cual realizaremos el diseño computarizado del robot cartesiano para poder simular y evaluar el diseño estructural.

- Matlab 7.0: herramienta matemática computacional con la cual se desarrollaron los sistemas cinemáticos y dinámicos del robot.

- Labview 7.0: software de adquisición de datos y de control con el cual se manipularon todas las variables a controlar del manipulador, herramienta en la cual se desarrollo el programa de control con su respectiva interfaz de usuario.
- Ansys 8.1: software CAE (ingeniería asistida por computador) con la cual se complemento el diseño CAD para el análisis de esfuerzos y deformaciones de cada una de las articulaciones y eslabones del paletizador.
- Eagle 4.14: software especializado en diseño y simulación de circuitos electrónicos con el cual se logro el desarrollo de la parte de potencia y parte de la etapa de control del robot.

4.3 Hardware:

- Herramientas computacionales
- Tarjetas de adquisición de datos NI USB 6009
- Actuadores manipulador
- Taller metalmecánica

5. DISEÑO MECATRONICO ROBOT PALETIZADOR CARTESIANO

La primera etapa que se realizo en el diseño de este proyecto fue definir cual debería ser el modelo mecánico, en el cual se incluye la estructura mecánica, el modelo cinemático y dinámico, los mecanismos de transmisión de movimiento y potencia y los actuadores que se deben trabajar de acuerdo a todo lo anteriormente mencionado. Todos estos diseños se realizaron con base a no sobrepasar el presupuesto preestablecido en la ponencia de este proyecto así que se tomaron decisiones que fueran económicas así estas no fueran las mas eficientes además recordemos que siempre el presupuesto con el que se cuenta para esta clase de proyectos es un poco reducido por lo cual debemos siempre en pensar en métodos que economicen los proyectos de tal manera que cumplan con su propósito y no devengan valores elevados.

Antes de empezar cualquier cosa debemos tener muy claro el concepto de robot paletizador de por que es que existe una línea especifica acerca de este tipo de robots, saber en este momento el estado del arte de esta tecnología, su configuración morfológica y de sus distintas características tanto de diseño como de aplicación, aunque recordemos que este es un robot convencional por lo que las etapas de diseño se realizan de la misma manera con el cual se desarrollan los demás tipos de robots. Para entrar ya mas en el tema comenzaremos a desarrollar cada uno de estos temas con el cual se realizo todo el diseño de este proyecto.

5.1 Robots Paletizadores (recopilación de información)

La paletización es un proceso básicamente de manipulación, consistente en disponer de piezas sobre una plataforma o bandeja (palet). Las piezas en un palet ocupan normalmente posiciones predeterminadas, procurando asegurar la estabilidad, facilitar su manipulación y optimizar su extensión. Los palets son transportados por diferentes sistemas (cintas transportadoras, carretillas, etc.) llevando su carga de piezas, bien a lo largo del proceso de fabricación, bien hasta el almacén o punto de expedición.³

Dependiendo de la aplicación concreta, un palet puede transportar piezas idénticas (para almacenamiento por lotes por ejemplo), conjuntos de piezas diferentes, pero siempre los mismos subconjuntos procedentes de ensamblados) o cargas de piezas diferentes y de composición aleatoria (formación de pedidos en un almacén de distribución).

Existen diferentes tipos de máquinas específicas para realizar operaciones de paletizado. Estas frente al robot, presentan ventajas en cuanto a velocidad y coste, sin embargo, son rígidas en cuanto a su funcionamiento, siendo incapaces de modificar su tarea de carga y descarga. Así pues, los robots realizan con ventaja aplicaciones de paletización en las que la forma, número o características generales de los productos a manipular, cambian con relativa frecuencia. En estos casos, un programa de control adecuado permite resolver la operación de carga y descarga, optimizando los movimientos del robot, aprovechando la capacidad del palet o atendiendo a cualquier otro imperativo.

³ www.mundoembalaje.com/Maquinaria/Paletizadores.htm

Generalmente, las tareas de paletización implican el manejo de grandes cargas, de peso y dimensiones elevadas. Por este motivo, los robots empleados en este tipo de aplicaciones acostumbran a ser robots de gran tamaño, con una capacidad de carga de 10 a 100kg. No obstante, se pueden encontrar aplicaciones de paletización de pequeñas piezas, en las que un robot con una capacidad de carga de 5Kg. es suficiente. Las denominadas tareas de Pick and place, aunque en general con características diferentes al paletizado, guardan estrecha relación con este.

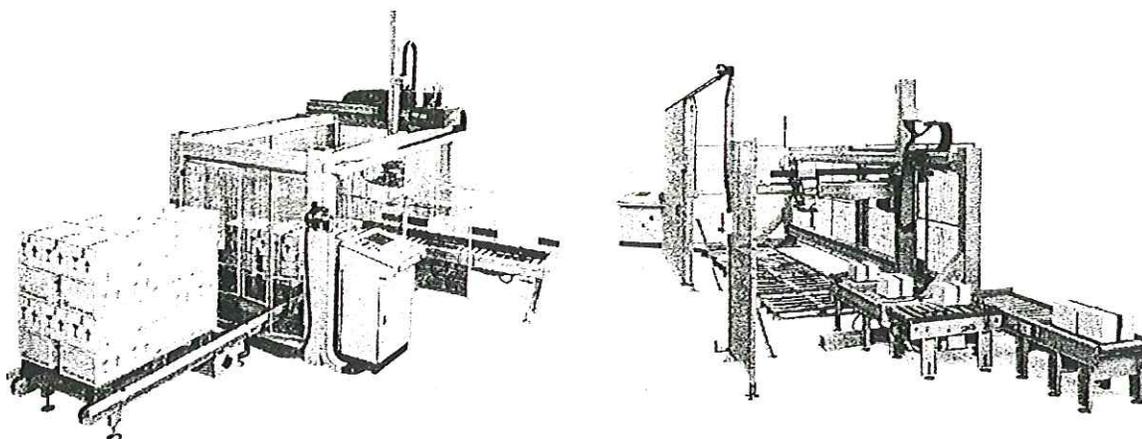
La misión de un robot trabajando en un proceso de pick and place consiste en recoger piezas de un lugar y depositarlas en otro. La complejidad de este proceso puede ser muy variable, desde el caso más sencillo en el que el robot recoge y deja las piezas en una posición prefijada, hasta aquellas aplicaciones en las que el robot precise de sensores externos, como visión artificial o tacto, para determinar la posición de recogida y colocación de las piezas. Al contrario que en las operaciones de paletizado, las tareas de picking suelen realizarse con piezas pequeñas (peso inferior a 5Kg) necesitándose velocidad y precisión.

Un ejemplo típico de aplicación de robot al paletizado sería la formación de palets de cajas de productos alimenticios procedentes de una línea de empaquetado. En estos casos, cajas de diferentes productos llegan aleatoriamente al campo de acción del robot. Ahí son identificadas bien por una célula de carga, por alguna de sus dimensiones, o por un código de barras. Conocida la identidad de la caja, el robot procede a recogerla y a colocarla en uno de los diferentes palets que, de manera simultánea, se están formando. El propio robot gestiona las líneas de alimentación de las cajas y de palets, a la vez que toma las decisiones necesarias para situar la caja en el palet con la posición y orientación adecuadas de una manera flexible.

Cuando se define un robot paletizador se puede observar que su aplicación es muy variada por lo cual siempre se debe tener en cuenta que nuestro proyecto puede ser modificado y aprovechado de mejor manera con solo realizar algunos cambios se pueden realizar desde aplicaciones muy sencillas hasta algunas muy avanzadas por lo que es muy importante no dejar concluido este estudio y intentar continuar con el mejoramiento continuo de este tipo de manipuladores aprovechando que este tipo de robots están comenzando a adquirir fuerza en los proyectos de mejoramientos de las empresas colombianas debido a su grande eficiencia flexibles aplicaciones y ante todo lo sencillo que es un manipulador de este tipo.

Estos son algunos ejemplos de lo que es un robot paletizador y de las aplicaciones que se manejan aquí se refleja como puede un sistema de estos a producir grandes utilidades a sistemas de producción.

Figura 9: ejemplos robots paletizadores.



<http://www.mundoembalaje.com/Maquinaria/Paletizadores.htm>

6. DISEÑO DE CONTROL

6.1 Modelo cinemático robot cartesiano paletizador

6.1.1 Cinemática Directa

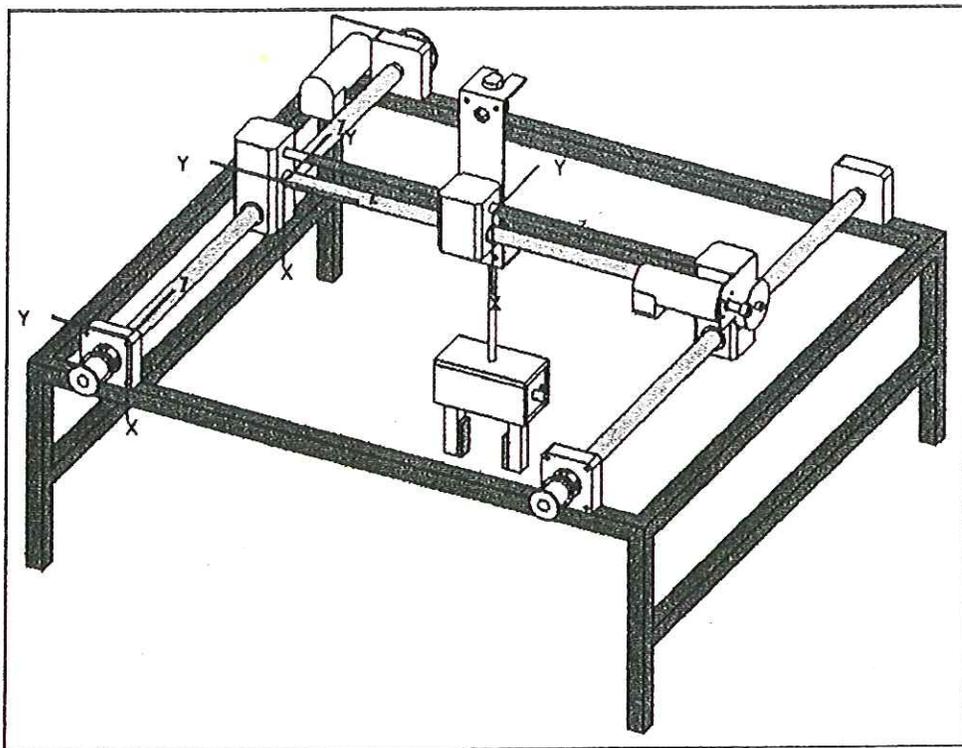
Se utiliza fundamentalmente el álgebra vectorial y matricial para representar y describir la localización de un objeto en el espacio tridimensional con respecto a un sistema de referencia fijo. Dado que un robot se puede considerar como una cadena cinemática formada por objetos rígidos o eslabones unidos entre si mediante articulaciones, se puede establecer un sistema de referencia fijo situado en la base del robot y describir la localización de cada uno de los eslabones con respecto a dicho sistema de referencia. De esta forma, el problema cinemático directo se reduce a encontrar una matriz homogénea de transformación T que relacione la posición y orientación del extremo del robot respecto del sistema de referencia fijo situado en la base del mismo. Esta matriz T será función de las coordenadas articulares.

En primer lugar, y siguiendo el algoritmo de Denavit-Hartenberg, se localizan los sistemas de referencia de cada una de las articulaciones del robot. Posteriormente se determinan los parámetros de Denavit-Hartenberg del robot, con los que se construye la tabla mostrada a continuación. Se calculan ahora las matrices A , sustituyendo en la expresión general de la siguiente manera:

Tabla 4: Parámetros D-H para robot paletizador cartesiano.

Articulación	θ	d	a	α
1	0	d_1	0	0
2	0	0	0	90°
3	0	d_2	0	0

Figura 10: esquema cinemático robot cartesiano paletizador.



Del autor.

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^1A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^2A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Así pues, se pueden calcular la matriz T que indica la localización del sistemas asociado al extremo del robot con respecto al sistema de referencia de la base del robot.

$$T = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -d_2 \\ 0 & 1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

6.2 Modelo dinámico de la estructura mecánica del robot cartesiano paletizador

La obtención del modelo dinámico de un mecanismo, y en particular de un robot, se basa fundamentalmente en el planteamiento del equilibrio de fuerzas establecido en la segunda ley de Newton, o su equivalente para movimientos de rotación, la denominada ley de Euler:

$$\Sigma F = m \dot{v} \quad \Sigma T = I \dot{\omega} + \omega \times (I \omega)$$

El planteamiento del equilibrio de fuerzas en un robot de 5 o 6 grados de libertad, es mucho mas complicado. Debe tenerse en cuenta que junto con las fuerzas de inercia y gravedad, aparecen fuerzas de Coriolis debidas al movimiento relativo existente entre

los diversos elementos, así como de fuerzas centrípetas que dependen de la configuración instantánea del manipulador.

Con la ayuda del programa HEMERO herramienta computacional matemática del software MATLAB se realizó el respectivo modelo cinemático del robot cartesiano paletizador.

Este programa tiene una función que tiene como propósito: calcular el modelo dinámico completo del manipulador mediante el método recursivo de Newton-Euler.

La siguiente es una breve descripción de lo que realiza este programa para realizar esta tarea. La función se encarga de calcular las ecuaciones del movimiento para proporcionar el par total en función de la posición, velocidad y aceleración articulares.

Si q , q_d y q_{dd} son vectores fila, el par τ es un vector fila. En el caso de que q , q_d y q_{dd} sean matrices, cada fila se interpretará como un vector de posiciones/velocidades/aceleraciones articulares y el resultado será una matriz τ en la que cada fila tendrá el par correspondiente.

El vector de aceleración de la gravedad deseado se le puede pasar en el parámetro $grav$. Si no se le da este parámetro, se toma por defecto una aceleración de $9.81 \frac{m}{s^2}$ en la dirección y sentido del vector $-\hat{Z}$ (es decir, se asume que $grav = [0 \ 0 \ 9.81]$).

También es posible especificar una fuerza/momento externo actuando al final del manipulador mediante un vector de 6 elementos $f_{ext} = [F_x \ F_y \ F_z \ M_x \ M_y \ M_z]$ expresado en el sistema de referencia del efector final.

El par total que devuelve la función también contiene términos debidos a la inercia de armadura y a las fricciones. Dichos términos se calculan a partir de ciertos parámetros de la matriz dyn mediante el modelo de la función Fricción.

Los resultados del programa solo arrojaron valores de torques puesto que para nuestro estudio es el único valor que nos interesa en estos momentos para la selección de actuadores el programa se alimento con los siguientes valores de los eslabones del robot cartesiano paletizador.

Articulación 1

Masa = 1456.78 gramos

Centro de masa:

$$X = 200.34$$

$$Y = 100.34$$

$$Z = -291.07$$

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: Medido desde el centro de masa.

$$I_x = (0.00, 0.00, 1.00) \quad P_x = 63338.14$$

$$I_y = (0.71, -0.71, 0.00) \quad P_y = 51958170.10$$

$$I_z = (0.71, 0.71, 0.00) \quad P_z = 51958170.10$$

Articulación 2

Masa = 1556.04 gramos

Centro de masa:

$$X = 20.89$$

$$Y = 10.00$$

$$Z = -47.01$$

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia:

Medido desde el centro de masa.

$$I_x = (0.00, 0.00, 1.00) \quad P_x = 667059.18$$

$$I_y = (0.00, -1.00, 0.00) \quad P_y = 1681342.02$$

$$I_z = (1.00, 0.00, -0.00) \quad P_z = 1683767.09$$

Articulación 3

Masa = 848.09 gramos

Centro de masa: (milímetros)

$$X = 115.34$$

$$Y = 198.76$$

$$Z = -232.32$$

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: Medido desde el centro de masa.

$$\begin{aligned}
 I_x &= (0.00, 0.00, 1.00) & P_x &= 25064.03 \\
 I_y &= (0.71, -0.71, 0.00) & P_y &= 21705674.10 \\
 I_z &= (0.71, 0.71, 0.00) & P_z &= 21705674.10
 \end{aligned}$$

Resultado del análisis de torques

$$\text{Tau} = [m_2 \cdot (tdd_1 + tdd_2) + m_1 \cdot tdd_1, \quad m_2 \cdot (tdd_1 + tdd_2), \quad m_2 \cdot (tdd_1 + tdd_2)]$$

Donde tau es el valor los pares que realiza cada una de las articulaciones se deja indicada para facilitar el entendimiento del análisis

6.3 Manipulación

Se consideran aplicaciones de manipulación todas aquellas en las que la función del robot es transferir o mover piezas, materiales o herramientas de un lugar a otro. Dentro de estas aplicaciones se incluyen:

- Paletización.
- Pick & place, transferencia de artículos de un punto a otro.
- Empaquetado.
- Ensamblado.
- Atención de máquinas: carga y descarga de prensas, máquinas-herramienta u hornos de fundición.

Se trata de una de las aplicaciones en las que se ocupan más robots industriales, un 44 por 100 el total en el año 1997, principalmente debido a que engloba tareas simples y

repetitivas en un entorno muy estructurado, Además, son tareas indeseables para el hombre por su monotonía, el esfuerzo físico que requieren y la peligrosidad de las maquinas implicadas (hornos, prensas, maquina-herramienta).

Estos fueron los factores que permitieron la introducción de los primeros robots industriales, que, instalados en 1961, se dedicaron a operaciones de manipulación.

Existen dos puntos clave a tener en cuenta al introducir un robot en una aplicación de manipulación:

- El diseño de la garra. Las características de los objetos a manipular y las variaciones que puedan sufrir durante el ciclo de trabajo determinan el tipo de garra.
- La presentación de las piezas a manipular. La introducción de un robot para manipular piezas obliga a incluir dispositivos de alimentación, posicionamiento y orientación de piezas. Estos dispositivos deben ser capaces de presentar la pieza al robot siempre en la misma posición y con la misma orientación. Otra posibilidad es tratar de localizar las piezas mediante dispositivos sensores o sistemas de visión artificial.

Tanto los criterios de selección de garras como la descripción de algunas de las soluciones más comunes para la presentación de las piezas son: minimización del espacio en planta y tolerancias en la recogida/posicionamiento de las piezas.

6.4 Transferencia de material: paletización y pick & place

Uno de los aspectos más críticos, en cualquier proceso automatizado, es la transferencia o transporte de material y piezas. En el diseño de una planta es esencial

estudiar la circulación de los materiales para evitar la generación de stocks intermedios y el consumo de tiempo en su transporte.

Desde el punto de vista del robot industrial se pueden diferenciar dos tiempos de aplicaciones de transferencia: pick & place (recoger y colocar) y paletizado.

6.4.1 Pick & Place

Bajo este nombre se agrupan las operaciones que consisten en trasladar una pieza de un punto a otro.

En el caso más simple, las piezas provienen de un transporte por cinta o en rodillos, a cuya salida un empujador las lleva hasta la posición fija de recogida. Mediante un simple detector de presencia, el robot reconoce si debe comenzar el ciclo, recoger la pieza y situarla en el sistema de salida. En estos casos, los movimientos necesarios son simples y repetitivos, a puntos fijos.

Estas aplicaciones con frecuencia se solucionan mediante manipuladores por su sencillez y bajo coste. Sin embargo, los manipuladores dejan de ser adecuados, a poco que aumente la complejidad de la tarea, con la introducción de distintos tipos de piezas que el robot deba clasificar en diferentes lugares, o bien sean necesarios sensores externos para determinar la posición de recogida y de colocación de la pieza.

Los sensores habituales en este tipo de aplicaciones son: sensores táctiles y de proximidad para determinar la presencia de la pieza, sensores de posición y velocidad, que permitan sincronizar la recogida de la pieza en movimiento (generalmente encoders ópticos), o cámaras de visión artificial que permitan el reconocimiento de la pieza y/o de su posición.

Las tareas de pick & place generalmente involucran piezas ligeras (de menos de unos cinco kilos) y de materiales delicados, lo que hace que las garras mas habituales en estas tareas sean garras de ventosas o garras mecánicas.

La disposición de los sistemas de transporte alrededor del robot permite que todos los movimientos se realicen en un plano, sin problemas de acceso que provoquen que el brazo deba realizar trayectorias complejas. Por tanto se utilizan robots de tipo SCARA o cartesianos tipo pórtico con cuatro grados de libertad. El robot pórtico presenta el inconveniente de ocupar un mayor espacio en planta y se reserva para aquellos casos en los que se deban cubrir grandes áreas de trabajo.

La capacidad de carga suele oscilar entre los 3 y los 20 Kg. con repetibilidad de entre $\pm 0,02$ y $\pm 0,1$ mm para alcances máximos de 0,8 m. En casos en los que se requieran mayores prestaciones en velocidad y precisión se recurre a robots SCARA de accionamiento directo. Las especificaciones de velocidad de este tipo de robots se dan frecuentemente como tiempos de ciclos definidos de pick & place.

6.4.2 Paletizado

El termino palet sirve para denominar cualquier elemento que pueda contener diferentes piezas distribuidas de modo ordenado. Por tanto, existen numerosos tipos de palets, desde simples plataformas de madera donde se pueden apilar cajas a bandejas con alojamientos específicos para optimizarla distribución y garantizar el equilibrio de un determinado producto. Las aplicaciones de paletizado y despaletizado consisten en apilar o desapilar (según el caso) piezas en palets o contenedores, siguiendo un orden que, sin que peligre la estabilidad del palet, permita un mínimo tiempo de ciclo.

El paletizado de material tiene como objeto facilitar la circulación de la mercancía durante el proceso de fabricación, el almacenaje o la preparación para la entrega de pedidos de cliente. Especialmente en este último caso, el mismo robot deberá enfrentarse a gran variedad de secuencias de paletización, debido a que pueden alternarse palets de diferentes dimensiones, o bien puede que el mismo palet deba llenarse con diferentes tipos de productos.

Para permitir la sujeción de distintos tipos de piezas, es frecuente en este tipo de aplicaciones que la apertura y el cierre de los dedos de la garra sean servocontrolados. Generalmente se utilizan garras híbridas con dos dedos mecánicos y ventosas, tratando de manipular si es posible varias piezas simultáneamente.

Otro de los requisitos en este tipo de garras para paletizado es que su diseño no entorpezca las operaciones de apilado/desapilado, de modo que, por ejemplo, en el caso de uso de garras mecánicas, se diseñan dedos estrechos.

Además de los sensores que permiten detectar la presencia de la pieza y del palet en el sistema de entrada, se utilizan sensores para identificar la configuración del palet, generalmente lectores de código de barras o cámaras de visión artificial que interpretan otro tipo de marcas en el palet. Mediante esta identificación, el robot podrá seleccionar de su memoria el conjunto de acciones necesarias para completar el palet.

Los robots utilizados en operaciones de paletizadores suelen ser de tipo SCARA, pórtico o angular, con cuatro grados de libertad. Estos últimos, por su mejor maniobrabilidad permiten una mayor flexibilidad en la configuración de los palets. Además, presentan mejor relación espacio en planta/campo de trabajo, lo que puede suponer atender a varios palets de grandes dimensiones en la misma instalación. Los valores típicos para la capacidad de carga varían entre los 30 y 150 kg, con repetibilidad $\pm 0,5$ para alcances máximos entre 0,8 y 2 m.

Algunos fabricantes de robots han introducido en sus series robots específicos para paletizado, robots angulares de cuatro grados de libertad que presentan una mínima

flexión del brazo extendido y ocupan espacio mínimo en planta, integrando parte del controlador en la base del robot.

En los robots paletizadores, los fabricantes han desarrollado funciones que facilitan la introducción de la geometría del palet y la secuencia de llenado. Esto simplifica la programación al máximo, minimizando los tiempos de reprogramación y la necesidad de recurrir a personal cualificado.

Un ejemplo típico de aplicación del robot al paletizado es la formación de palets de cajas de productos alimenticios procedentes de la línea de empaquetado.

6.5 Control automático del robot

Como se menciona al comienzo, existen varios métodos de control de robots manipuladores, el más sencillo de los cuales es el control de posición por bucle cerrado de cada articulación, ignorando los efectos de acoplamiento. Como la mayoría de las articulaciones, si se aproximan por un sistema de segundo orden, son sumamente subamortiguadas, cuando se usa control de posición independiente para cada articulación, se añade control de velocidad (retroalimentación tacométrica), lo cual mejora la respuesta notablemente. Otro método que mencionamos es el de momento calculado. Por último, se han propuesto muchos métodos de control por medio de redes neuronales de los cuales discutiremos algunos. Ahora nos limitaremos al control de posición de cada articulación y al de momento calculado.

6.5.1 Control de posición

Para aplicar este método deben conocerse, como es sabido, la inercia, coeficiente de fricción y coeficiente de torsión para cada articulación. Generalmente el coeficiente de torsión es despreciable en robots industriales. La inercia puede calcularse para cada eslabón conociendo las dimensiones y el material, y el coeficiente de fricción puede determinarse experimentalmente. El motor que mueve la articulación a través de un tren de engranajes, también tiene parámetros conocidos. Se tienen, entonces, todos los datos necesarios para diseñar un sistema de control de posición para cada articulación.

El momento desarrollado por el motor tiene dos componentes: el momento necesario para que el motor mismo gire y el momento necesario para mover la carga, o sea el eslabón respectivo, referido al eje del motor. El uso de un tren de engranajes es necesario debido a que la inmensa mayoría de los motores tiene alta velocidad (cientos o moles de rpm) y bajo momento, y para mover un eslabón en un brazo manipulador se necesita precisamente lo opuesto: baja velocidad y alto momento. El momento desarrollado por el motor debe estar en equilibrio con el momento de la carga (incluyendo el propio motor). Sea $\tau(t)$ el momento desarrollado por el motor, $\tau_m(t)$ el momento necesario para mover el motor, $\tau_l(t)$ el momento necesario para mover la carga, $J_e(t)$ la inercia total referida al eje del motor, $B_e(t)$ el coeficiente de fricción total referido al eje del motor, $\theta(t)$ el ángulo de giro del motor, en radianes:

$$\tau(t) = \tau_m(t) + \tau_l(t) = J_e \frac{d^2\theta}{dt^2} + B_e \frac{d\theta}{dt}$$

Para un servomotor de corriente continua, el momento desarrollado es proporcional a la corriente de armadura

$$\tau(t) = K_a i_a(t)$$

Y la tensión aplicada es igual a la caída en la resistencia ohmica mas la fuerza contraelectromotriz, que a su vez es proporcional a la velocidad angular, o sea

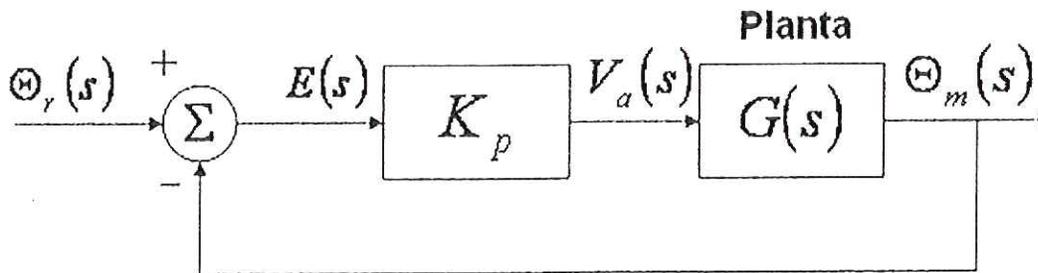
$$v_a(t) = R_a i_a(t) + K_b \frac{d\theta}{dt}$$

Obteniendo la transformada de Laplace de las ecuaciones anteriores y combinando el resultado obtenemos la función transferencia del motor mas carga,

$$\frac{\Theta_m(s)}{V_a(s)} = \frac{K_a}{s(sR_a J_e + R_a B_e + K_a K_b)} = \frac{K}{s(T_m s + 1)} = G(s)$$

La figura muestra un sistema de control de posición con retroalimentación unitaria. En nuestro caso, la inercia equivalente tiene un valor numérico mucho más alto que el coeficiente de fricción equivalente, con el resultado de que un sistema del tipo indicado resultaría altamente oscilatorio, una situación inadmisibles para un brazo robotico

Figura 11: Sistema de control de posición con retroalimentación unitaria



Robótica y manipuladores. A. Ollero.

En este sistema $E(s)$ es la diferencia entre el ángulo de referencia y el de salida (en el eje del motor) en el dominio "s". K_p Es la constante de proporcionalidad, que se obtiene del amplificador de potencia (fuente controlada de c.c.) y $G(s)$ es el motor con el tren de engranajes y la carga reflejada a su eje. La función de transferencia de bucle cerrado es

$$\frac{\Theta_m}{\Theta_r} = \frac{K_p K}{s(T_m s + 1) + K_p K} = \frac{K_p \frac{K}{T_m}}{\left(s^2 + \frac{s}{T_m} + \frac{K_p K}{T_m} \right)}$$

En el sistema SI, las constantes K_a y K_b , son numéricamente iguales (en forma aproximada; serian exactamente iguales si el motor tuviera rendimiento 100%). K y T_m en función de parámetros ya definidos para el motor, son

$$K = \frac{K_a}{R_a B_e + K_a K_b}$$

$$T_m = \frac{R_a J_e}{R_a B_e + K_a K_b}$$

En nuestro proyecto utilizamos dos motores de corriente continua marca Carnegie Mellon y estos fueron los datos que nos dan acerca de estos:

Momento de inercia del motor (J) = $0.01 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$

Coefficiente de amortiguamiento del sistema mecánico (b) = 0.1 Nm/s

Constante de fuerza electromotriz ($K = K_e = K_t$) = 0.1 Nm/Amp

Resistencia eléctrica (R) = 1 ohm

Inductancia eléctrica (L) = 0.5 H

Entrada (V) = 12 V

Salida (θ): posición del eje

El rotor y eje se consideran rígidos

Quisiéramos poder posicionar muy precisamente al motor, entonces el error de estado estacionario de la posición del motor debería ser cero. Además quisiéramos que el error de estado estacionario debido a una perturbación también sea nulo. El otro requerimiento a la performance es que el motor alcance muy rápidamente su posición final. En este caso, queremos tener un tiempo de establecimiento de 40ms. y un sobrepico menor que 16%.

Si simulamos la entrada de referencia (R) por una entrada escalón unitario, entonces la salida velocidad del motor debería tener:

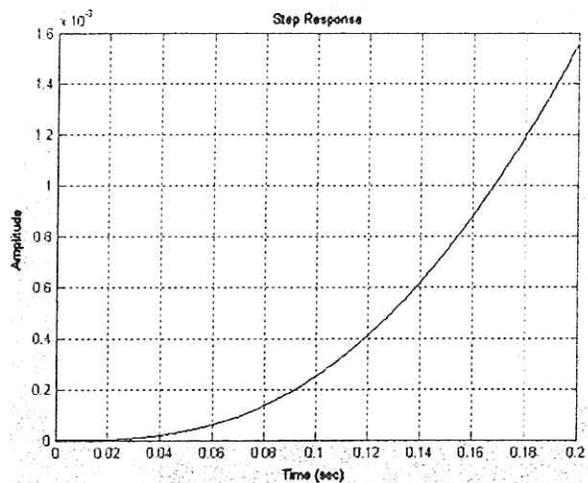
- Tiempo de establecimiento menor que 40 milisegundos
- Sobrepico menor que 16%
- Error de estado estacionario nulo
- Sin error de estado estacionario debido a una perturbación

6.6 Representación en Matlab y respuesta a lazo abierto

6.6.1 Función de Transferencia

Ahora veamos qué hace el sistema original a lazo abierto.

Figura 12: Respuesta controlador lazo abierto

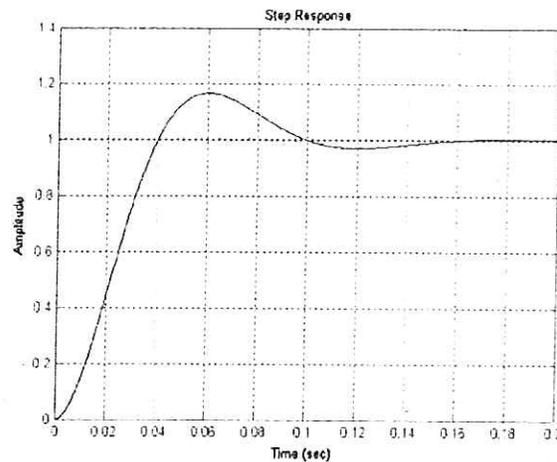


Del autor.

6.6.2 Control proporcional

Tratemos de usar primero un controlador proporcional con una ganancia de 1.7.

Figura 13: Respuesta sistema subamortiguado

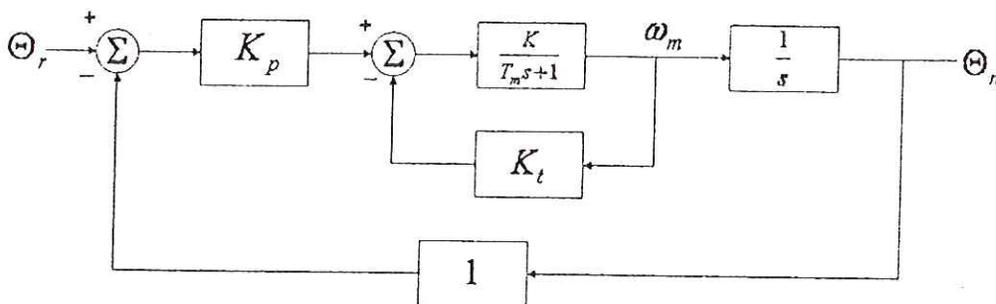


Del autor.

Podría lograrse un coeficiente de amortiguación mas alto reduciendo K_p (o sea haciéndolo menor que uno). Sin embargo, esto tendría un efecto negativo en el error estacionario para entrada "rampa" velocidad constante, como cuando el robot sigue una trayectoria determinada (sabemos de teoría de control, que para que un sistema con una integración, como el que estamos tratando, el error estacionario es cero para entrada escalón e inversamente proporcional a K_p para entrada rampa). La única forma de aumentar el coeficiente de amortiguación sin afectar el ancho de banda del sistema es usando retroalimentación tacométrica o añadiendo a k_p un termino proporcional a la derivativa del error. La retroalimentación tacométrica puede

implementarse fácilmente en un sistema analógico (como su nombre lo indica) mediante un tacómetro en el bucle de retroalimentación. Si el sistema es digital, es fácil añadir un término dependiente de la velocidad angular del motor. En la figura a continuación se indica (en forma analógica) como añadir retroalimentación tacométrica al sistema.

Figura 14: Sistema de control de posición con retroalimentación tacométrica



Robótica y manipuladores. A. Ollero

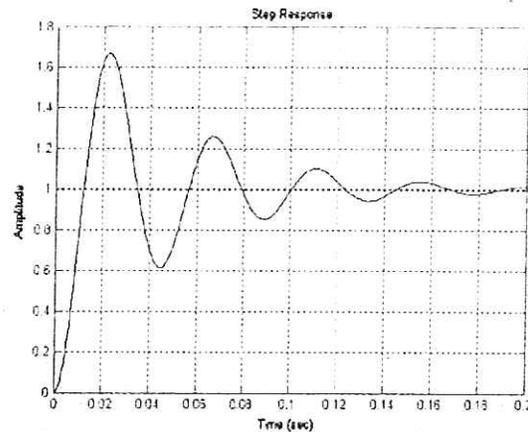
La función de transferencia de bucle cerrado para el sistema de la figura es

$$\frac{\Theta_m}{\Theta_r} = \frac{K_p \frac{K}{T_m}}{s^2 + s \frac{(KK_t + 1)}{T_m} + \frac{K}{T_m}}$$

6.6.3 Controlador proporcional derivativo PD

Ahora agregamos una retroalimentación derivativa y este es el comportamiento para este controlador

Figura 15: Respuesta con retroalimentación derivativa



Del autor.

Nótese que a pesar de haber aumentado K_p casi el doble, (lo que reduce el error estacionario para entrada rampa) la respuesta con retroalimentación tacométrica es subamortiguada y tiene un tipo de asentamiento muy inferior al sistema con solo K_p . Esto nos indica que si elegimos controlar el brazo con un simple sistema de control de posición, es imprescindible incluir retroalimentación derivativa.

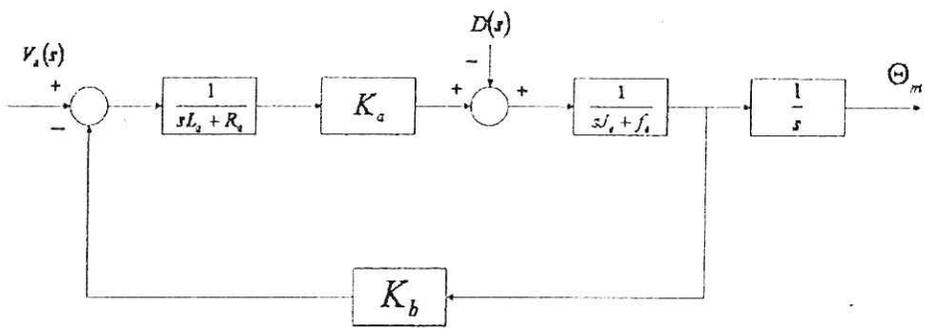
6.6.4 Control Proporcional Integral Derivativo PID

Si además se incluye retroalimentación integrativa (o sea un término K_i/s) el error estacionario para entrada rampa será cero. Sin embargo, la retroalimentación integrativa tiene un efecto desestabilizador en el sistema (el sistema ahora es de tercer orden, en vez de segundo orden) y debe diseñarse cuidadosamente para que sea estable.

En el desarrollo anterior no hemos tomado en cuenta el efecto de la gravedad. Este efecto puede considerarse como una perturbación, o sea una entrada indeseada al sistema. Esta perturbación ocurre en la parte mecánica del brazo, o sea, como se indica en la figura, a la entrada del bloque inercia/fricción.

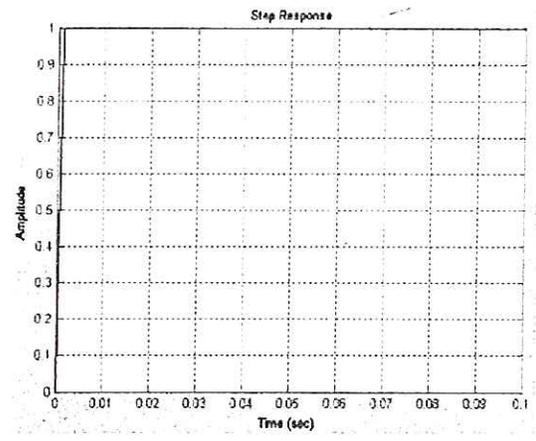
Es posible compensar, al menos en parte, el efecto de la gravedad por medio de "alimentación adelantada" (feed-forward compensation). En el mismo punto donde ocurre la perturbación, se aplica una señal igual a $D(s)$ con signo positivo. El problema es que $D(s)$ no es una constante, ya que al variar de posición los eslabones del brazo y al variar la carga, varía el efecto de la gravedad. En general puede decirse que aunque sea imperfecta, la compensación de gravedad produce una prestación mejor que si no se aplica. También hay que recordar que en aplicaciones en las cuales el robot solo debe moverse entre puntos, sin seguir una trayectoria determinada, este efecto tiene poca importancia. Como mencionamos más arriba, si se desea que el error estacionario para entrada rampa (movimiento continuo siguiendo una trayectoria) sea cero, debemos incorporar control integrativo en el sistema.

Figura 16: El motor con la carga mecánica, y el disturbio ($D(s)$)



Robótica y manipuladores. A. Ollero.

Figura 17: Respuesta controlador PID



Del autor.

6.6.5 Control por momento computado

Según vimos es posible obtener un modelo dinámico relativamente exacto del robot que toma en cuenta las interacciones debidas a fuerzas centrífugas y de coriolis, gravedad, etc. Usando este modelo, puede diseñarse un sistema de control para el conjunto del robot que es mucho más efectivo que el control de posición de cada articulación independientemente. Este sistema de control se llama control por momento computado ya que hace uso del modelo dinámico que expresa el vector de momentos en función de la posición instantánea de los eslabones.

De acuerdo con la ecuación tenemos

$$\tau(t) = D[q(t)] \frac{d^2 q}{dt^2} + h[q, \dot{q}] + c[q(t)]$$

$D[q(t)] \frac{d^2 q}{dt^2}$ Es el término que "mueve el brazo"

$h[q, \dot{q}]$ Representa el efecto indeseado de fuerzas centrífugas y de coriolis

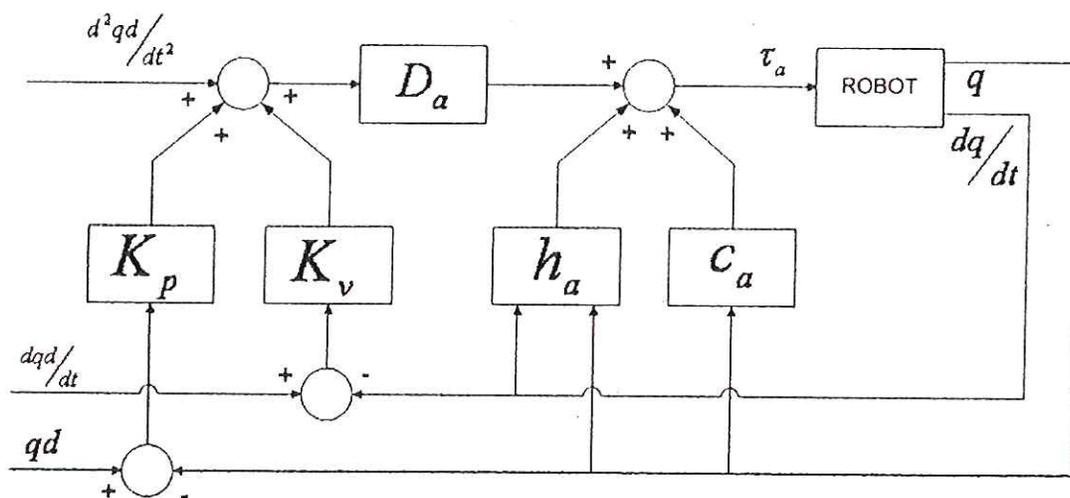
$c[q(t)]$ Representa la carga debida a la gravedad

Nota: no se considera la fricción.

Para robots manipuladores la matriz $D[q]$ es siempre no singular, de modo que el valor de K_v y el de K_p determinan la velocidad a la cual $e(t)$ tiende a cero. Si las igualdades entre los valores de D , h y c no son exactas, habrá un error adicional que también tenderá a cero con el tiempo. La figura muestra un diagrama de bloques del sistema

con control de posición, retroalimentación tacométrica y control por momento computado. Nótese que la matriz D_a es función de $q(t)$ y los vectores h_a y c_a son función de $\begin{bmatrix} q(t), \dot{q}(t) \end{bmatrix}$ y de $q(t)$, respectivamente.

Figura 18: Sistema de control de posición con retroalimentación tacométrica y momento computado



Robótica y manipuladores. A. Ollero.

En la figura, D_a es una matriz $n \times n$ (n es el número de grados de libertad), h_a y c_a son vectores $n \times 1$, τ_a es el vector $n \times 1$ de momentos, y q es el vector $n \times 1$ de variables de eslabón.

En una aplicación real, el bloque "ROBOT" representa el robot. Como la señal que controla los servomotores (en corriente continua) es la tensión de armadura, esta debe

expresarse en función del momento (usando $\tau = K_t i_a$). Para el caso de una simulación, el robot se simula de la siguiente forma:

$$\frac{d^2 q}{dt^2} = D^{-1}(\tau - h - c)$$

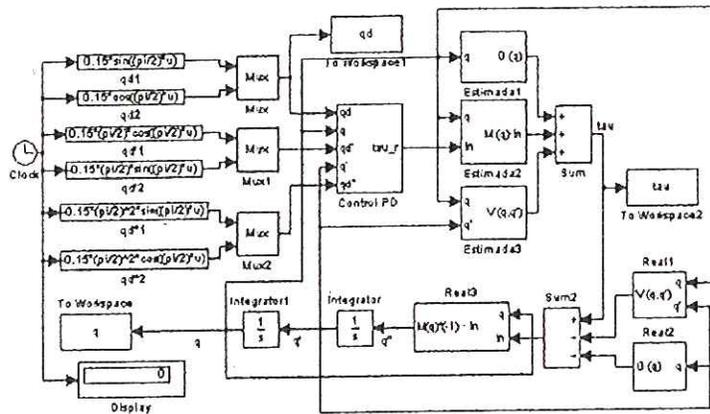
Conviene usar valores ligeramente distintos para D_a y D , lo mismo que para los vectores h_a , h y c_a , c para que la simulación sea mas ajustada a la realidad. En caso contrario, si se usan valores iguales y $q_a(0) = q(0)$, el error será cero en todo instante.

Se trata ahora de simular la respuesta del sistema con esta ley de control. Para ello, puede emplearse Simulink. Para ello se utiliza el esquema que se muestra en la siguiente figura.

Los valores de los parámetros elegidos para el PD son:

$$k_p = \begin{bmatrix} 40 & 0 \\ 0 & 40 \end{bmatrix} \quad k_v = \begin{bmatrix} 20 & 0 \\ 0 & 20 \end{bmatrix}$$

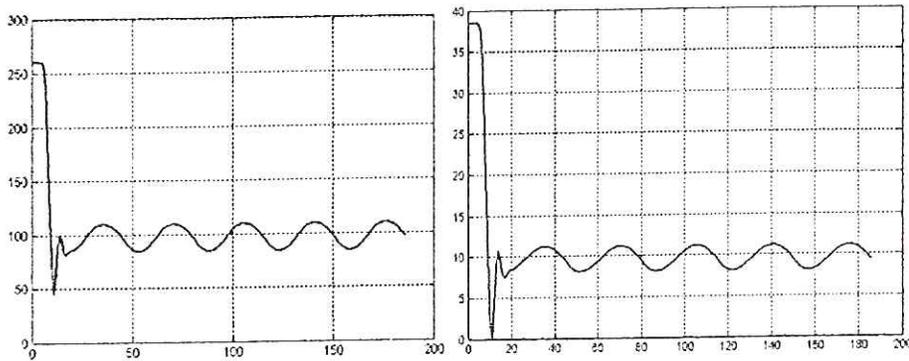
Figura 19: Diagrama control mediante par computado usando un PD



Matlab. Hemero.

Las matrices K_p y K_v se introduzca en el bloque de "Control PD", y se establecen condiciones iniciales nulas en los bloques integradores. El esquema anterior permite realizar simulaciones para obtener en el espacio de trabajo de MATLAB las variables que se deseen estudiar. En este caso, se han realizado una simulación de 20 segundos de duración y se han guardado las variables q , \dot{q} y τ para su estudio posterior. A partir de ellas es posible elaborar una serie de graficas de las cuales vemos como se comporta nuestro control del robot cartesiano paletizador.

Figura 20: Representación de los pares aplicados τ_1 y τ_2 .

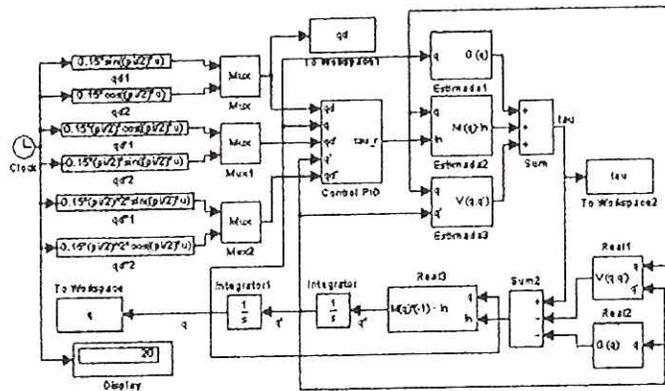


Del autor.

En la figura aparecen los pares de control τ_1 y τ_2 aplicados a las articulaciones. Se observa que el par aplicado en la articulación 1 es mayor que el de la articulación 2, lo cual es lógico, ya que la articulación 1 tiene que mover dos enlaces, mientras que la articulación 2 solo tiene que mover uno.

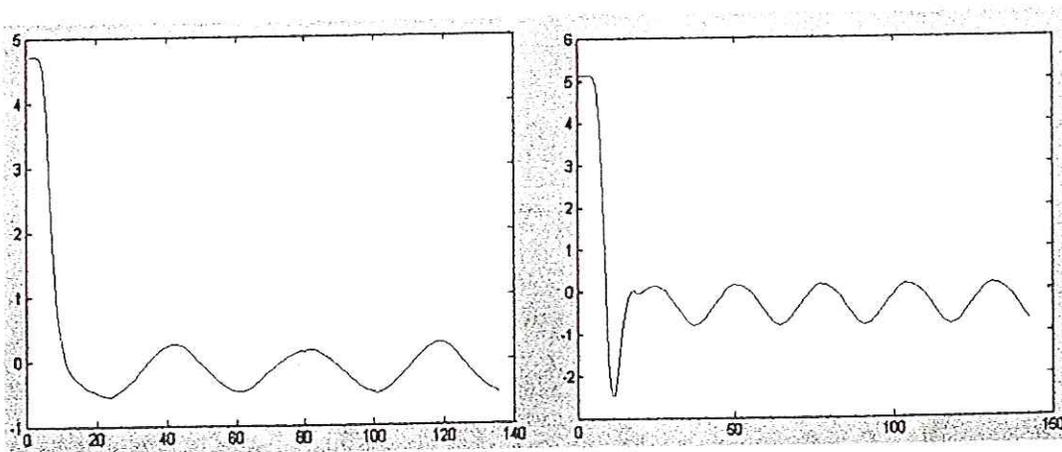
Uno de los graves inconvenientes de este tipo de control es cuando se cometen errores en la estimación de masas, cuando ocurre esto los errores de posición impiden seguir la trayectoria adecuadamente y el manipulador no alcanza la posición deseada debido al error en régimen permanente, ahora para eliminar este problema se realiza un controlador PID el cual logra anular este problema.

Figura 21: Diagrama control mediante par computado usando un PID



Matlab.Hemero.

Figura 22: Error en el caso de emplear un PD



Del autor.

Los valores de los parámetros elegidos para el PID son:

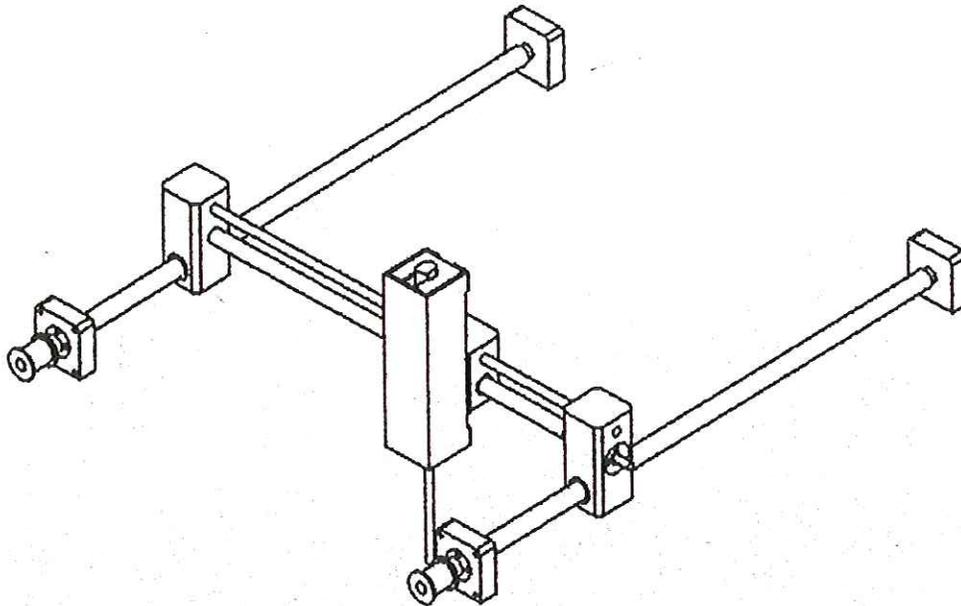
$$k_p = \begin{bmatrix} 40 & 0 \\ 0 & 40 \end{bmatrix} k_v = \begin{bmatrix} 20 & 0 \\ 0 & 20 \end{bmatrix} k_i = \begin{bmatrix} 100 & 0 \\ 0 & 100 \end{bmatrix}$$

Es decir, se mantienen los mismos valores de k_p y k_v empleados en el controlador PD anterior y se elige un valor para k_i tal que se logre error nulo en régimen permanente en poco tiempo, pero sin llegar a inestabilizar el sistema. Estos valores son los que se introducen en el "Control PID".

7. DISEÑO MECANICO

para elaborar el diseño definitivo del robot cartesiano paletizador se realizaron dos diseños los cuales se evaluaron y se determino cual de estos diseños cumplía mas con lo que se quería que hiciera, para nosotros fue muy importante realizar diseños que no fueran muy complejos en su fabricación para no tener inconvenientes en el momento de la fabricación a continuación se muestra el primer diseño que se realizo y que fue base del diseño final este nos sirvió para evidenciar algunos de los errores que mas adelante nos encontraríamos.

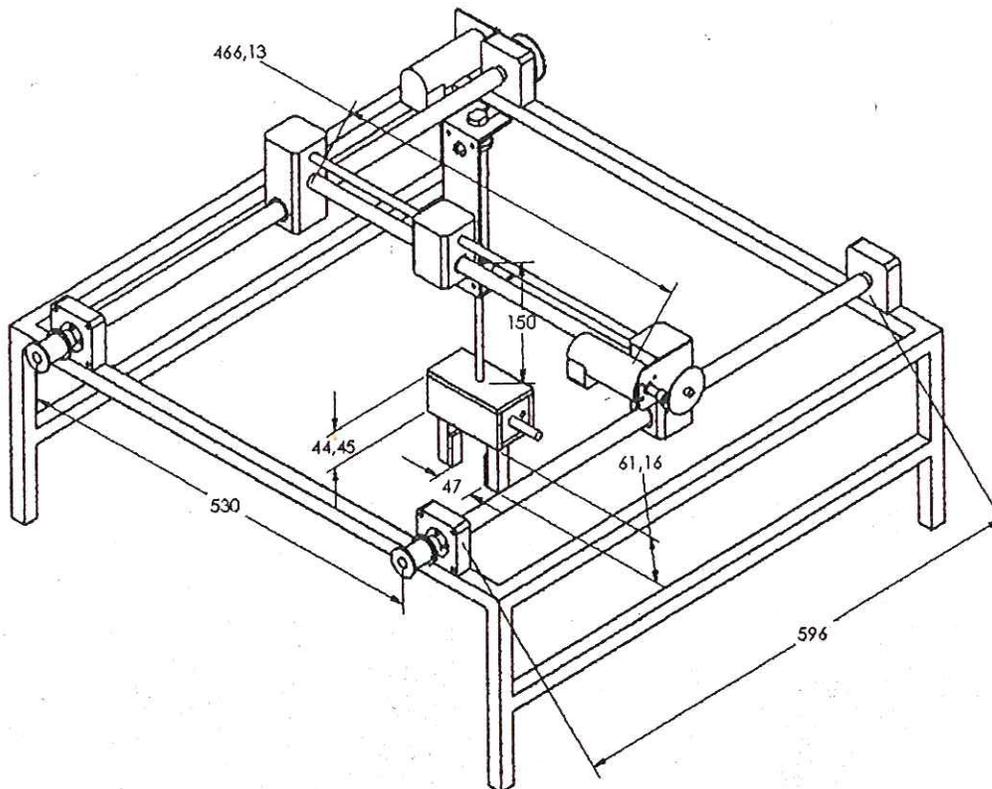
Figura 23: Primer diseño robot cartesiano paletizador



Del autor.

Con este primer diseño fue que nació la idea al principio se pensaba en un tercer tornillo para el eje Z este diseño nos revelo muchos defectos que se podían presentar y gracias a este pudimos dar con la estructura que mas se acoplaba a lo que necesitábamos y a lo que podíamos lograr para este proyecto.

Figura 24: diseño computarizado robot paletizador cartesiano final.



Del Autor

Con esta estructura que se diseño ahora se entra en la etapa de encontrar los mecanismos adecuados para la realización de estos movimientos lineales debemos tener en cuenta que aquel mecanismo que sea elegido debe darnos una ventaja

mecánica grande con una velocidad aceptable decimos aceptable puesto que es muy difícil diseñar mecanismos con estas dos características al mismo nivel y muy buena precisión de movimientos. Para este objetivo hay dos grandes grupos los mecanismos y los actuadores neumáticos estos son los que mandan en las articulaciones robóticas pero debemos recordar que los actuadores lineales neumáticos son muy costosos aunque son lo que mejor se acomodan a este tipo de robot por esta razón no vamos a tratar este tema solo hablaremos de los mecanismos que de cierto modo no son iguales a los actuadores neumáticos pero bien implementados nos brindan cualidades muy parecidas a los de estos.

7.1 Mecanismos de Transmisión de Movimiento Lineal (modelamiento mecánico con análisis computarizado)

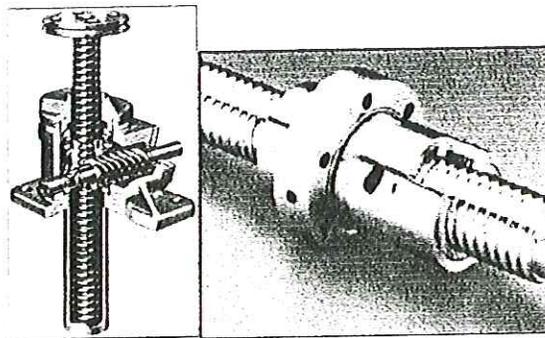
Un mecanismo esta compuesto por un conjunto de elementos que cumplen una función para lograr un fin específico, Los mecanismos de transmisión se encargan de transmitir movimientos de giro entre ejes alejados. Están formados por un árbol motor (conductor), un árbol resistente (conducido) y otros elementos intermedios, que dependen del mecanismo particular. Una manivela o un motor realizan el movimiento necesario para provocar la rotación del mecanismo. Las diferentes piezas del mecanismo transmiten este movimiento al árbol resistente, solidario a los elementos que realizan el trabajo útil. El mecanismo se diseña para que las velocidades de giro y los momentos de torsión implicados sean los deseados, de acuerdo con una relación de transmisión determinada.

7.1.1 Tornillos de potencia

Los tornillos de transmisión de potencia son un dispositivo para cambiar movimiento angular por lineal y, usualmente para transmitir potencia. Los tornillos de potencia se utilizan:

- Para obtener una ventaja mecánica mayor con el objeto, por ejemplo. levantar pesos (Ej: gatos del tipo de tornillo de los automóviles)
- Para ejercer fuerzas de gran magnitud; como en los casos de los compactadores o prensas.
- para obtener un posicionamiento preciso de un movimiento axial, como en el tornillo de un micrómetro o en el tornillo de avance de un torno.

Figura 25: ejemplos tornillos de potencia.



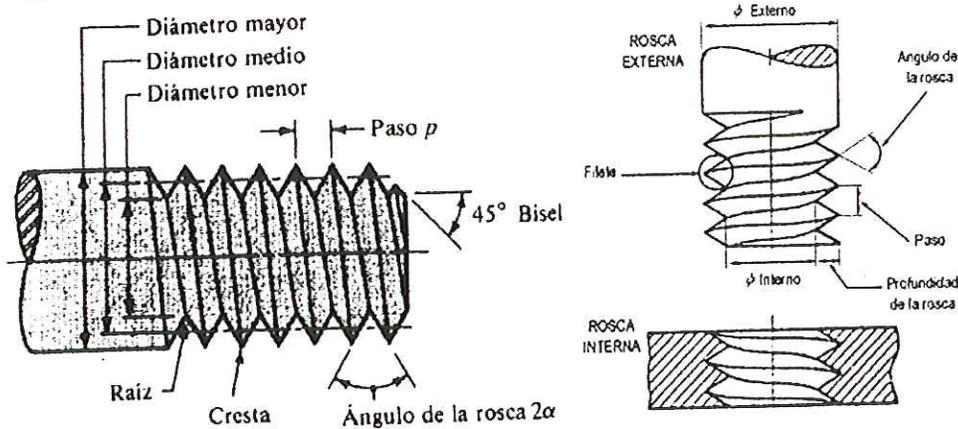
DEUTSCHMAN, Aaron D. Diseño de maquinas. Teoría y Práctica.

7.2 Diseño Mecánico Tornillo de Potencia

Hay dos tipos de tornillos de potencia el convencional y el de bolas los dos son iguales solo que el de bolas nos da un poco mas de ventajas a la hora de realizar esta aplicación debido a que por su sistema de tuerca con esferas elimina de cierto modo la fricción y hace mucho mas rápido el movimiento de la tuerca con un menor desgaste que la del tornillo convencional pero existe un inconveniente con este tipo, puesto que su maquinada es tan compleja su costo es muy elevado y no en todos lados los fabrican haciendo que tengamos que escoger el tipo convencional de tornillo, ahora no es que el tornillo convencional sea facil de maquinar este también tiene complejidad eso lo veremos en seguida, aunque hablaremos de los dos puesto que su diseño mecánico es el mismo y se deja abierta la posibilidad de utilizar en algún momento este tipo de tornillo.

7.3 Terminología de la rosca de un tornillo de potencia

Figura 26: terminología de la rosca de un tornillo de potencia.



DEUTSCHMAN, Aaron D. Diseño de maquinas. Teoría y Práctica.

Rosca: es un filete continuo de sección uniforme y arrollada como una elipse sobre la superficie exterior e interior de un cilindro.

Rosca externa: es una rosca en la superficie externa de un cilindro.

Rosca Interna: es una rosca tallada en el interior de una pieza, tal como en una tuerca.

Diámetro Interior: es el mayor diámetro de una rosca interna o externa.

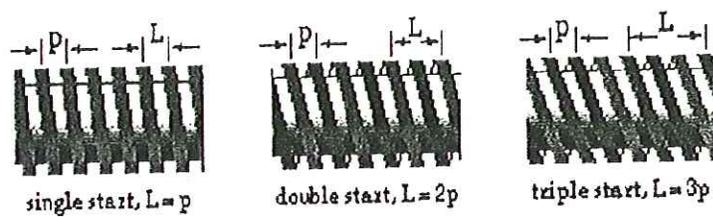
Diámetro del núcleo: es el menor diámetro de una rosca interna o externa.

Diámetro en los flancos (o medio): es el diámetro de un cilindro imaginario que pasa por los filetes en el punto en el cual el ancho de estos es igual al espacio entre los mismos.

Paso: es la distancia entre las crestas de dos filetes sucesivos. Es la distancia desde un punto sobre un filete hasta el punto correspondiente sobre el filete adyacente, medida paralelamente al eje.

Avance: es la distancia que avanzaría el tornillo relativo a la tuerca en una rotación. Para un tornillo de rosca sencilla el avance es igual al paso, para uno de rosca doble, el avance es el doble del paso, y así sucesivamente.

Figura 27: tipos de avance en las roscas de los tornillos de potencia.



DEUTSCHMAN, Aaron D. Diseño de maquinas. Teoría y Práctica.

El ángulo de la hélice o rosca (α): Esta relacionado en el avance y el radio medio (r_m) por la ecuación:

$$\tan \alpha = \frac{\text{avance}}{2 * \pi * r_m}$$

En algunos casos se utilizará el ángulo θ_n que mide la pendiente del perfil de la rosca en la sección normal, esta relacionado en el ángulo θ en la sección axial y el ángulo de la hélice como sigue para rosca cuadrada en nuestro caso:

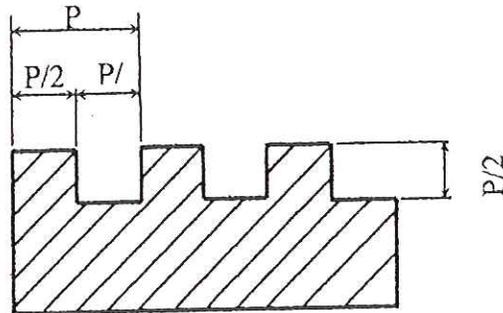
$$\tan \theta_n = \tan \theta * \cos \alpha$$

Nota: Cuando aparece $\cos \theta_n$ en las ecuaciones, se reemplazan con frecuencia por $\cos \theta$. Esto da una ecuación aproximada pero, para los valores normalmente pequeños de α , no introduce error apreciable.

7.4 Formas de Rosca

7.4.1 Rosca Cuadrada: es el tipo de tornillo más eficiente en cuanto a fricción por deslizamiento pero tiene ventaja mecánica baja, es difícil y cara de maquinar, Esta rosca puede transmitir todas las fuerzas en dirección casi paralela al eje, a veces se modifica la forma de filete cuadrado dándole una conicidad o inclinación de 5° a los lados.

Figura 28: rosca cuadrada.



CAMPUS TECNOLÓGICO UNIVERSIDAD DE NAVARRA Tornillos y uniones atornilladas.

Sea el tornillo de potencia de la figura, en la que.

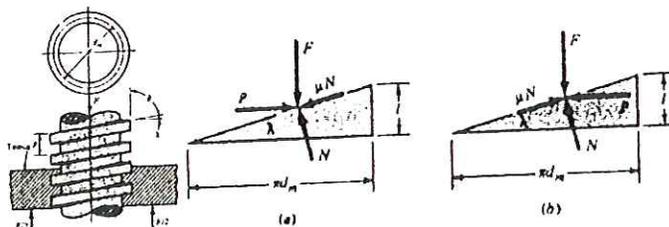
d_m = diámetro medio.

p = paso.

λ = ángulo de hélice, o de avance.

Se quiere calcular la relación entre el par T necesario para bajar y subir la carga y la fuerza F .

Figura 29: diagrama de cuerpo libre tornillo de potencia.



CAMPUS TECNOLÓGICO UNIVERSIDAD DE NAVARRA Tornillos y uniones atornilladas.

El filete de la rosca del tornillo se desarrolla sobre un plano una longitud equivalente a una vuelta. Se hace un análisis de las fuerzas actuantes para subir la carga figura a) y para bajarla figura b).

Planteando el equilibrio, $\Sigma F_x=0$ y $\Sigma F_y=0$:

Caso a)

$$P = \frac{F(\operatorname{sen}\lambda + \mu\cos\lambda)}{\cos\lambda - \mu\operatorname{sen}\lambda}$$

Caso b)

$$P = \frac{F(\mu\cos\lambda - \operatorname{sen}\lambda)}{\cos\lambda + \mu\operatorname{sen}\lambda}$$

Sustituyendo en las dos ecuaciones anteriores:

$$\tan\lambda = \frac{l}{\pi d_m} \quad T = P \cdot \frac{d_m}{2}$$

Se hallan las expresiones que ligan la carga, F, y el para a realizar, T, según se trate de subir o bajar:

Caso a) subir carga

$$T = \frac{F \cdot d_m}{2} \left(\frac{l + \pi\mu d_m}{\pi d_m - \mu l} \right)$$

Caso b) bajar carga

$$T = \frac{F d_m}{2} \left(\frac{\pi\mu d_m - l}{\pi d_m + \mu l} \right)$$

En el caso b) estamos calculando el momento necesario para vencer parte de la fricción para que la carga baje. Se pueden distinguir dos casos diferentes:

Tornillo autoasegurante: $T > 0$

$$\text{si } \pi \mu d_m > l \Leftrightarrow \mu > \tan \lambda$$

La carga baja sola: $T < 0$

$$\text{si } \pi \mu d_m < l \Leftrightarrow \mu < \tan \lambda$$

7.5 Coeficientes de fricción

La siguiente tabla contiene coeficientes de fricción para roscas de tornillos y collarines de empuje obtenidos experimentalmente en un amplio rango de condiciones operativas. *Ham and Ryan* encontraron que los coeficientes son prácticamente independientes de la carga y varían relativamente poco con las diferentes combinaciones de materiales.

7.6 Eficiencia de un tornillo de potencia

Para calcular la eficiencia, e , de un tornillo comparamos el par, T , que hay que realizar con el par, T_0 , que habría que realizar si el rozamiento fuera nulo. T_0 puede calcularse a partir del caso a) haciendo $\mu = 0$:

$$T_0 = \frac{F \cdot l}{2\pi} \quad e = \frac{T_0}{T}$$

Generalmente cuando se carga el tornillo axialmente hay que emplear un collarín (Figura 8.6) y entonces hay que considerar el par, T_c , necesario para vencer la fricción entre collarín y carga. Se puede aproximar:

$$T_c = \frac{F \mu_c d_c}{2}$$

Las ecuaciones anteriores son para roscas cuadradas. En el caso de roscas Acme la carga normal queda inclinada respecto al eje.

7.7 Esfuerzos en las rosca

Comúnmente se ha aceptado que la carga soportada por tornillo y tuerca se distribuye en forma uniforme en el acoplamiento. Esto, de hecho no es del todo cierto; Goodier demuestra que debido a la deflexión, solamente la primera o las 2 primeras vueltas de la rosca soportan la parte principal de la carga, las restantes vueltas llevan menos carga o porciones mayores de la carga dependen de la deformación elasto-plástica de las primeras dos vueltas de las roscas.⁴

El análisis de Goodier no hace la suposición de que el esfuerzo por aplastamiento está uniformemente distribuido en todo el acoplamiento, sin embargo con lubricación adecuada puede ser un factor de apoyo a dicha hipótesis. El esfuerzo de tensión en el Ar es mayor en el punto donde la carga "fluye" del tornillo a la tuerca que en cualquier otro punto del área de raíz. Por último se observa que algunos otros factores adicionales tales como los radios del filete, el acabado de la superficie y la clase de ajuste tienen también efectos significativos en los valores del esfuerzo real. Debido a lo anterior es que, a la hora de proyectar un tornillo de transmisión de potencia se deberán de tomar las precauciones necesarias en cuanto a factor de seguridad (F.S.) se refiere.

⁴ CAMPUS TECNOLÓGICO UNIVERSIDAD DE NAVARRA Tornillos y uniones atornilladas.

7.8 Consideraciones Principales de Esfuerzo

- Presión por aplastamiento
- Esfuerzo por pandeo
- Esfuerzo de corte y flexión en la rosca
- Esfuerzo de tracción o compresión (cuerpo)
- Esfuerzo combinado (cuerpo)
- Velocidad crítica de descenso

7.8.1 Presión por Aplastamiento: Es el esfuerzo que se tiene por aplastamiento entre la superficie de rosca del tornillo y la superficie de contacto con la tuerca. La relación para este esfuerzo es:

$$\sigma_B = \frac{W}{\pi D_m h n}$$

W = carga, (lb)

D_m = diámetro medio de la rosca del tornillo, (in)

H = altura de la rosca, (in)

n = número de cuerdas en contacto (usualmente 2 o 3)

Como, para una combinación dada de materiales en contacto y un grado de lubricación determinado, el trabajo de fricción es proporcional al producto de la presión de contacto y velocidad de deslizamiento.

La poca información de diseño disponible está basada casi por completo en análisis experimentales y los criterios de diseño están generalmente dados como valores admisibles de $p \cdot v_{des}$, donde p es la presión de contacto en psi y v_{des} es la velocidad de deslizamiento en fpm . (Ver tabla).

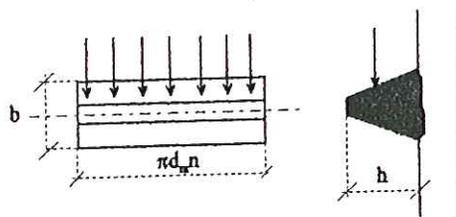
Tabla 5: valores de presión por aplastamiento debidos a los materiales de tornillo y tuerca.

Tipo servicio	Materiales		Presión de diseño por aplastamiento (psi)	Vel. De rozamiento en el D_m de la rosca (fpm)
	Tornillo - Tuerca			
Prensa manual	Acero	Bronce	2500-3500	Vel baja, bien lubricado
Tornillo de gato	Acero	Fundición	1800-2500	Vel baja, ≤ 8 fpm
Tornillo de gato	Acero	Bronce	1600-2500	Vel baja, ≤ 10 fpm
Tornillo de elev.	Acero	Fundición	600-1000	Vel media, $20 \leq v \leq 40$ fpm
Tornillo de elev.	Acero	Bronce	800-1400	Vel media, $20 \leq v \leq 40$ fpm
Tornillo avance	Acero	Bronce	150-240	Vel alta, ≥ 50 fpm

Departamento de Diseño Mecánico. Elementos de Máquinas. IIMPI.

7.8.2 Tensión debida a la Flexión: Se obtiene considerando como si se tuviera una viga corta cantilever con una carga en el extremo en el D_r . La carga W se supone que está uniformemente repartida en el diámetro medio del tornillo (es decir, que la carga W actúa a la mitad de la altura h de la rosca). Se supone la carga F uniformemente distribuida en la rosca a lo largo de todo el diámetro.

Figura 30: tensión debida a la flexión en un tornillo de potencia.



Departamento de Diseño Mecánico. Elementos de Máquinas. IIMPI.

Momento máximo:

$$M = \frac{F \cdot h}{2}$$

Tensión máxima:

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot F \cdot h}{\pi d_m^3 n b^2}$$

7.8.3 Tensión Cortante: tanto las roscas en el tornillo como en la tuerca están sujetas a cortante debido a la flexión (Jourawski). Para deducir estas expresiones recuérdese que en el caso de una sección rectangular A, la tensión cortante máxima es:

$$\tau = \frac{3}{2} \frac{F}{A}$$

En nuestro caso habrá que distinguir entre tornillo y tuerca:

Tornillo:

$$\tau = \frac{3 \cdot F}{2 \pi d_i n b}$$

Tuerca:

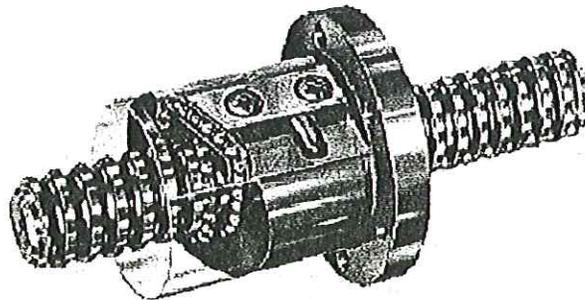
$$\tau = \frac{3 \cdot F}{2 \pi d_o n b}$$

Donde d_i es el diámetro interior y d_o es el mayor.

7.9 Tornillos de bolas (husillos a bolas)

Los husillos a bolas (*ball screw* en inglés) se encargan de convertir un movimiento de rotación en otro lineal (operación normal) y viceversa (operación back-drive). También pueden ser utilizados como reductores de velocidad, convirtiendo un desplazamiento lineal en otro menor, como alternativa a motores lineales o cilindros hidráulicos o neumáticos. Un par pequeño es convertido en una gran fuerza de empuje con mayor eficiencia y precisión que la conseguida con un tornillo de potencia. El husillo consta básicamente del eje o husillo propiamente dicho, tuerca, bolas y un sistema de recirculación para éstas últimas. Las bolas giran entre el eje y la tuerca para reducir el rozamiento y elevar el rendimiento de la transferencia de movimiento. Al llegar al final de la carrera vuelven al punto de partida gracias a diversos sistemas de recirculación.⁵

Figura 31: tornillo de bolas.



CAMPUS TECNOLÓGICO UNIVERSIDAD DE NAVARRA Tornillos y uniones
atomilladas.

⁵ Departamento de Diseño Mecánico. Elementos de Máquinas. IIMPI.

los tornillos de potencia que se usaron en el proyecto son de rosca cuadrada ganando mayor eficiencia respecto al control de posición del robot gracias a que fueron contruidos en acero con tuercas en bronce nos garantiza un buen funcionamiento debido a la fricción que existe entre estas dos los tornillos se le realizaron los análisis de materiales correspondientes a sus acciones mas criticas de aquí es de donde se asegura su buen funcionamiento a condiciones normales sin sobrepasar los limites permitidos.

7.10 Diseño Mecánico de Tornillos Eje X

Esta es una etapa muy importante en el diseño ya que con esta herramienta computacional llamada COSMOSXPRESS, ANSYS podemos estar seguros de los pasos que damos hacia la realización de nuestro proyecto con el fin de no tener ningún problema a la hora del ensamblaje final y a la hora de definir los actuadores de estos eslabones, partimos de la base de que nosotros conocemos de antemano todas las medidas y fuerzas que tiene que soportar nuestro robot para de esta manera poder predecir como trabajaría a condiciones normales, por lo tanto hay que entender y analizar muy bien los resultados de estos estudios de materiales teniendo siempre en cuenta de que este es un mecanismo con un alto grado de fricción variable que siempre ocasiona problemas en los dispositivos mecánicos.

Especificaciones de construcción tornillo de rosca cuadrada:

Diámetro mayor tornillo = 19.05 mm.

Paso del tornillo = 4 mm.

Avance = simple entrada = 4 mm.

Coefficiente = 0.10

Carga de esta articulación = 20 N

Diámetro medio = 15.05 mm.

Altura de la rosca = 2 mm.

Numero de cuerdas en contacto = 3

Angulo de hélice:

$$\tan \alpha = \frac{4\text{mm}}{2 \times \pi \times 7.525\text{mm}} = \frac{4\text{mm}}{47,2809\text{mm}} = 0,0846$$

Para el caso particular de rosca cuadrada: $\phi = 0$ por lo que el par requerido es:

$$T = 20N \frac{15,05\text{mm}}{2} \left(\frac{0,10 + 0,0846}{1 - 0,0846} \right) + \frac{20N \cdot 0,10 \cdot 19,05\text{mm}}{2} = 150,5N \cdot \text{mm} \left(\frac{0,1846}{0,9154} \right) + 19,05N \cdot \text{mm}$$

$$T = 43,3999N \cdot \text{mm} = 0,0433N \cdot \text{m}$$

Eficiencia del tornillo para el caso particular de rosca cuadrada:

$$\eta = 0,0846 \left(\frac{1 - 0,10 \cdot 0,0846}{0,0846 + 0,10} \right) = 0,0846 \left(\frac{0,99154}{0,1846} \right) = 0,4544 = 45,44\%$$

Presión por aplastamiento:

$$\sigma_B = \frac{20N}{\pi \cdot 15,05\text{mm} \cdot 2\text{mm} \cdot 3} = \frac{20N}{283,6858\text{mm}^2} = 0,0705 \text{N/mm}^2 = 70500,5326 \text{N/m}^2 = 10,2252 \text{PSI}$$

Flexión:

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot 20N \cdot 2mm}{\pi \cdot 15,05mm \cdot 3 \cdot (2mm)^2} = \frac{120N \cdot mm}{567,3716mm^3} = 0,2115 N/mm^2 = 211501,5978 N/m^2 = 30,6757PSI$$

Corte Tornillo:

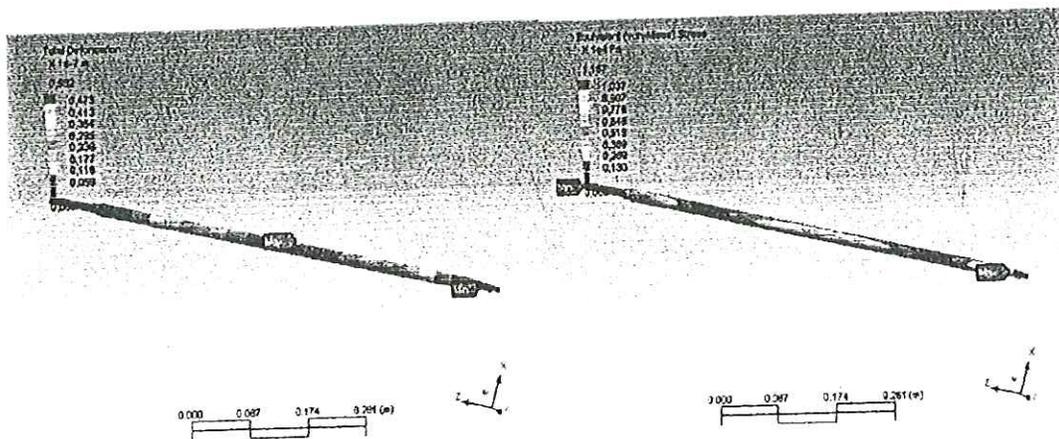
$$\tau_b = \frac{3}{2} \frac{20N}{\pi \cdot 15,05mm \cdot 3 \cdot 2mm} = \frac{60N}{567,3716mm^2} = 0,1057 N/mm^2 = 105750,7989 N/m^2 = 15,3378PSI$$

Corte Tuerca:

$$\tau_b = \frac{3}{2} \frac{20N}{\pi \cdot 19,05mm \cdot 3 \cdot 2mm} = \frac{60N}{718,1680mm^2} = 0,0835 N/mm^2 = 83545,9112 N/m^2 = 12,1173PSI$$

7.10.1 Resultado del Análisis

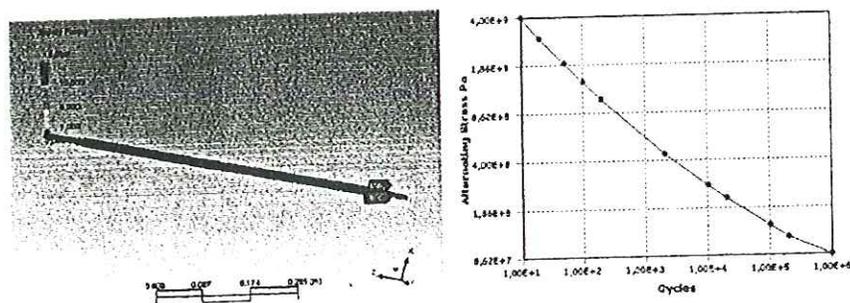
Figura 32: Resultado análisis eje X.



Del autor.

Carga con la que se realizó el análisis fue de 20 N al igual que en los cálculos. Dio como resultado un factor de seguridad de 15 y no se percibieron problemas con esta articulación aquí el resumen del análisis.

Figura 33: Factor de seguridad.



Del autor.

Tabla 6: Resumen resultados análisis eje x.

Table A2.1. "Structural Steel" Constant Properties

Name	Value
Compressive Ultimate Strength	0.0 Pa
Compressive Yield Strength	2.5×10^8 Pa
Density	7,850.0 kg/m ³
Ductility	0.2
Poisson's Ratio	0.3
Tensile Yield Strength	2.5×10^8 Pa
Tensile Ultimate Strength	4.6×10^8 Pa
Young's Modulus	2.0×10^{11} Pa
Thermal Expansion	1.2×10^{-5} 1/°C
Specific Heat	434.0 J/kg·°C
Relative Permeability	10,000.0
Resistivity	1.7×10^{-7} Ohm·m

Del autor.

7.11 Análisis Tornillo Eje Y

Este eje tiene como fin el de manipular la carga a trabajar es decir tiene que soportar la carga y el gripper que la sostiene además de esta depende mucho el buen posicionamiento del robot teniendo en cuenta de que cualquier desvío de este puede provocar una falla a la hora de manipular la carga por esta razón a este eje se le acoplo una guía con la cual se reduce los riesgos de alguna falla y le da un movimiento uniforme a este eje.

Especificaciones de construcción tornillo de rosca cuadrada:

Diámetro mayor tornillo = 15.87 mm.

Paso del tornillo = 4 mm.

Avance = simple entrada = 4 mm.

Coefficiente = 0.10

Carga de esta articulación = 10 N

Diámetro medio = 11,87 mm.

Altura de la rosca = 2 mm.

Numero de cuerdas en contacto = 3

Angulo de hélice:

$$\tan \alpha = \frac{4\text{mm}}{2 \times \pi \times 5,935\text{mm}} = \frac{4\text{mm}}{37,2907\text{mm}} = 0,1072$$

Para el caso particular de rosca cuadrada: $\phi = 0$ por lo que el par requerido es:

$$T = 10N \frac{11,87\text{mm}}{2} \left(\frac{0,10 + 0,1072}{1 - 0,1072} \right) + \frac{10N \cdot 0,10 \cdot 15,87\text{mm}}{2} = 59,35N \cdot \text{mm} \left(\frac{0,2072}{0,8928} \right) + 7,935N \cdot \text{mm}$$

$$T = 21,7088N \cdot \text{mm} = 0,0217N \cdot \text{m}$$

Eficiencia del tornillo para el caso particular de rosca cuadrada:

$$\eta = 0,1072 \left(\frac{1 - 0,10 \cdot 0,1072}{0,1072 + 0,10} \right) = 0,1072 \left(\frac{0,9892}{0,2072} \right) = 0,5117 = 51,17\%$$

Presión por aplastamiento:

$$\sigma_B = \frac{10N}{\pi \cdot 11,87mm \cdot 2mm \cdot 3} = \frac{10N}{223,7442mm^2} = 0,0446 \text{ N/mm}^2 = 44693,8959 \text{ N/m}^2 = 6,4823 \text{ PSI}$$

Flexión:

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot 10N \cdot 2mm}{\pi \cdot 11,87mm \cdot 3 \cdot (2mm)^2} = \frac{60N \cdot mm}{447,4884mm^3} = 0,1340 \text{ N/mm}^2 = 134081,6879 \text{ N/m}^2 = 19,4469 \text{ PSI}$$

Corte Tornillo:

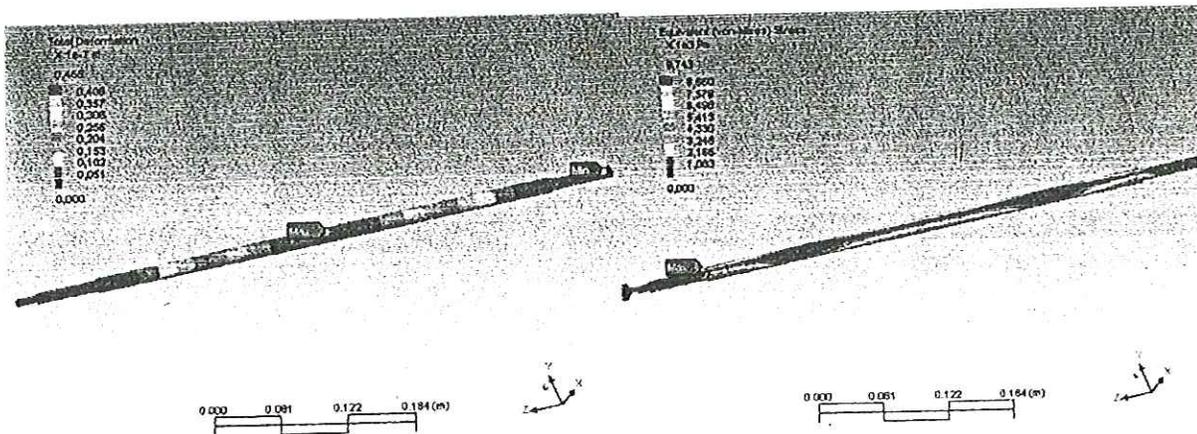
$$\tau_b = \frac{3}{2} \frac{10N}{\pi \cdot 11,87mm \cdot 3 \cdot 2mm} = \frac{30N}{447,4884mm^2} = 0,0670 \text{ N/mm}^2 = 67040,8439 \text{ N/m}^2 = 9,7234 \text{ PSI}$$

Corte Tuerca:

$$\tau_b = \frac{3}{2} \frac{10N}{\pi \cdot 15,87mm \cdot 3 \cdot 2mm} = \frac{30N}{598,2849mm^2} = 0,0501 \text{ N/mm}^2 = 50143,3347 \text{ N/m}^2 = 7,2726 \text{ PSI}$$

7.11.1 Resultados del Análisis

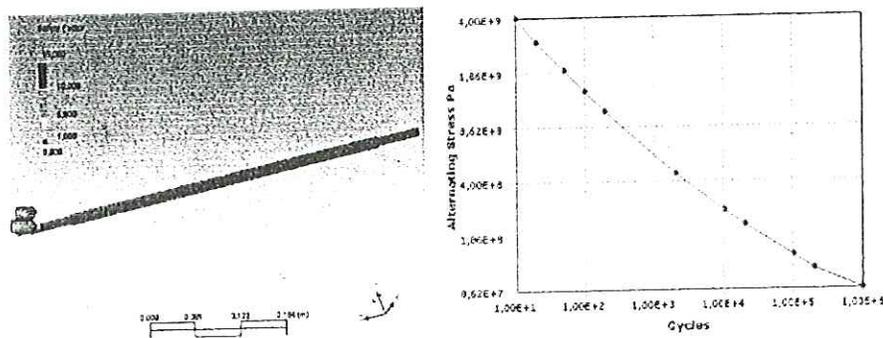
Figura 34: Resultado análisis eje Y.



Del autor.

Este análisis al igual que el anterior se realizó bajo una carga de 10 N y nos arroja igualmente un factor de seguridad de 15 en si la estructura posee algunos inconvenientes que se pueden solucionar fácilmente con un buen mantenimiento del robot incluida la lubricación muy importante para la vida útil del manipulador, aquí se aprecia los demás resultados.

Figura 35: Factor de seguridad.



Del autor

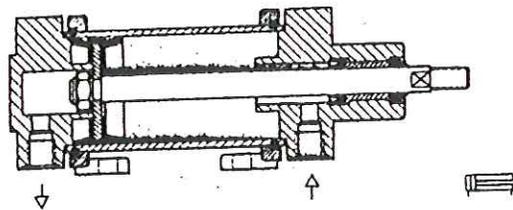
7.12 Cilindro de Doble Efecto Movimiento Eje Z

Para este eslabón se decidió tomar un mecanismo un poco mas sencillo de manejar y de controlar con el fin de bajar los costos del proyectos ya que después de tener que maquinar tres tornillos de potencia con rosca cuadrada el presupuesto se estaba subiendo demasiado y se hacia inconcebible maquinar otro de estos pero este no era el único inconveniente también existe el problema del control de este tipo de mecanismos que requieren de encoders y con dispositivos capaces de captar las señales de estos y con lo que poseíamos no nos alcanzaba otro sistema de estos de todo esto radico la decisión de usar un cilindro de doble efecto, con este cilindro solo vamos a tener dos posiciones del eslabón por lo que limita un poco el movimiento pero recordemos que para nuestra aplicación con esto basta aunque seria muy bueno que mas adelante se pueda mejorar esta cuestión.

7.12.1 Cilindros de doble efecto

La fuerza ejercida por el aire comprimido anima al émbolo, en cilindros de doble efecto, a realizar un movimiento de traslación en los dos sentidos. Se dispone de una fuerza útil tanto en la ida como en el retorno. Los cilindros de doble efecto se emplean especialmente en los casos en que el émbolo tiene que realizar una misión también al retornar a su posición inicial. En principio, la carrera de los cilindros no está limitada, pero hay que tener en cuenta el pandeo y doblado que puede sufrir el vástago salido. También en este caso, sirven de empaquetadura los labios y émbolos de las membranas.

Figura 36: esquema interno cilindro de doble efecto.



GUILLÉN SALVADOR, Antonio. Introducción a la Neumática

7.12.2 Cálculos de Cilindros de Doble Efecto

Fuerza del émbolo: La fuerza ejercida por un elemento de trabajo depende de la presión del aire, del diámetro del cilindro del rozamiento de las juntas. La fuerza teórica del émbolo se calcula con la siguiente fórmula:

$$F_{teór} = A \cdot p$$

$F_{teór}$ = Fuerza teórica del émbolo (N)
 A = Superficie útil del émbolo (cm²)
 p = Presión de trabajo (kPa, 10⁵ N/m², bar)

En la práctica es necesario conocer la fuerza real. Para determinarla hay que tener en cuenta los rozamientos. En condiciones normales de servicio (presiones de 400 a 800 kPa/4 a 8 bar) se puede suponer que las fuerzas de rozamiento representan de un 3 a un 20% de la fuerza calculada.

Cilindro de doble efecto (en el avance)

$$F_n = A \cdot p - F_R$$

F_n = Fuerza efectiva o real del émbolo
 A = Superficie útil del émbolo
 $= \left(\frac{D^2 \cdot \pi}{4} \right)$

A' = Superficie útil del anillo de émbolo (cm²)
 $= (D^2 - d^2) \frac{\pi}{4}$

p = Presión de trabajo (kPa, 10⁵ N/m², bar)
 F_R = Fuerza de rozamiento (3-20%) (N)
 F_F = Fuerza del muelle de recuperación (N)
 D = Diámetro del émbolo (mm)
 d = Diámetro de vástago (mm)

Cilindro de doble efecto (en el retorno)

$$F_n = A' \cdot p - F_R$$

F_n (N)
 A' (cm²)

(cm²)

(kPa, 10⁵ N/m², bar)

(N)

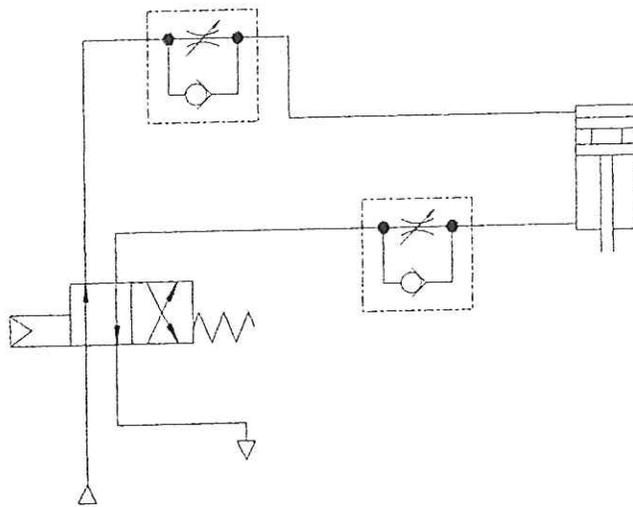
(N)

(mm)

(mm)

En nuestro diseño se utilizó un cilindro de doble efecto FESTO DSNU-20-100-PPV-A el cual va ser detallado en los anexos; por ahora solo nos interesan los cálculos de funcionamiento de este para nuestro sistema neumático que acciona este. Aquí mostramos como es el esquema del circuito neumático para hallar los valores de funcionamiento de nuestro cilindro para una carga de 5 N.

Figura 37: Esquema circuito neumático eje Z.



Del autor.

El circuito es muy simple en este se realiza por medio de una válvula direccional 4-2 accionada por solenoide a 24 Vdc el control del de apertura o cierre del vástago del cilindro en una posición de la válvula esta alimenta el pistón y el vastazo sale cuando esta la válvula en la otra posición simplemente hace lo contrario entra el vástago lo único que se agrego a este sistema fueron las válvulas reguladoras de caudal ya que se requiere de una suave apertura y cierre del cilindro sin disminuir el caudal de entrada al circuito ahora veremos los valores nominales de este circuito para este cilindro.

Fuerza requerida = 5 N

Fuerza de rozamiento = 0.11

Carrera del cilindro = 100 mm

Diámetro del embolo = 20 mm

Diámetro del vástago = 10 mm

Cilindro de doble efecto (en el avance)

Superficie útil del embolo:

$$A = \left(\frac{(20mm)^2 \cdot \pi}{4} \right) = 314,1592mm^2 = 3,1415cm^2$$

Presión de trabajo

$$P = \frac{5N}{3,1415cm^2} + 0,11 = 1,7015 \frac{N}{cm^2} = 17015,9637 \frac{N}{m^2} = 2,4678PSI$$

Cilindro de doble efecto en el retorno

Superficie útil del anillo del embolo:

$$A' = \left((20mm)^2 - (10mm)^2 \right) \frac{\pi}{4} = 300mm^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 235,6194mm^2 = 2,3561cm^2$$

Presión de trabajo

$$P' = \frac{5N}{2,3561cm^2} + 0,11 = 2,2321 \frac{N}{cm^2} = 22321,5101 \frac{N}{m^2} = 3,2374PSI$$

Longitud de carrera: La longitud de carrera en cilindros neumáticos no debe exceder de 2000 mm. Con émbolos de gran tamaño y carrera larga, el sistema neumático no resulta económico por el elevado consumo de aire. Cuando la carrera es muy larga, el esfuerzo mecánico del vástago y de los cojinetes de guía es demasiado grande. Para evitar el riesgo de pandeo, si las carreras son grandes deben adoptarse vástagos de diámetro superior a lo normal. Además, al prolongar la carrera la distancia entre cojinetes aumenta y, con ello, mejora la guía del vástago.

La velocidad media del émbolo, en cilindros estándar, está comprendida entre 0,1 y 1,5 m/s. Con cilindros especiales (cilindros de impacto) se alcanzan velocidades de hasta 10 m/s. La velocidad del émbolo puede regularse con válvulas especiales. Las válvulas de estrangulación, antiretorno y de estrangulación, y las de escape rápido proporcionan velocidades mayores o menores.

7.13 Elemento Terminal o Gripper

El elemento Terminal de nuestro robot es una pieza que se podría decir que es otro robot dentro de un robot ya que su función es la más importante de todas las demás partes del manipulador es la que al final del trabajo determinara si fue o no un éxito el desarrollo de este proyecto, gracias a la gran variedad de grippers que existen; se evaluaron varios diseños y se pudo tener proponer dos opciones las cuales fueron las que más se acoplaron hacia lo que se necesitaba. Estas dos opciones fueron:

La primera y la que más tenía fuerza entre nosotros era la de usar un gripper accionado por vacío es decir neumático por medio de ventosas esto es debido a que es un sistema muy confiable con una fácil manipulación y control sin ningún problema además es de fácil mantenimiento con una gran vida útil.

7.13.1 Diseño de Gripper Neumático (vacío)

Este fue el resultado de nuestra investigación acerca de los grippers accionados por vacío (o sea ventosas) estos estudios se realizaron por medio del software Selección de Vacío (versión 3.16) de la empresa FESTO acerca de diseño de este tipo de elementos terminales ya que como esta tecnología es reciente no se tienen muchos datos acerca de los cálculos de estos sistemas y suele ser muy dispendioso y poco efectivo realizarlo por los métodos convencionales de la neumática.⁶

7.13.2 Selección de Vacío

La tecnología de vacío se vuelve cada vez más popular para manipulación de piezas, como alternativas a las pinzas mecánicas. Sin embargo para aprovechar completamente las ventajas de esta sencilla y relativamente nueva tecnología, deben cumplirse ciertas condiciones:

- Superficie de sujeción plana.
- Superficies que no sean porosas y no demasiado rugosas.
- Una fuerza de sujeción máxima de 7 N por cm² de superficie de sujeción

Si las condiciones cumplen con estos parámetros, será posible crear soluciones de automatización utilizando componentes de vacío.

⁶ www.festo.com

7.13.3 Definición de la Pieza a Manejar: lo primero que debemos definir es como va ser nuestra pieza, su forma, sus dimensiones y el material que lo compone de aquí parte la selección de los componentes para trabajar elementos de vacío.

Se definió una pieza con forma cúbica de 50mm de longitud (X), con 50mm de anchura (Y) y 50mm de altura (Z), esta compuesta por plomo un material con alta densidad esto es con el fin de que pueda manejar los demás materiales que estén por debajo del peso generado por esta pieza el cual es de 1,419 kg.

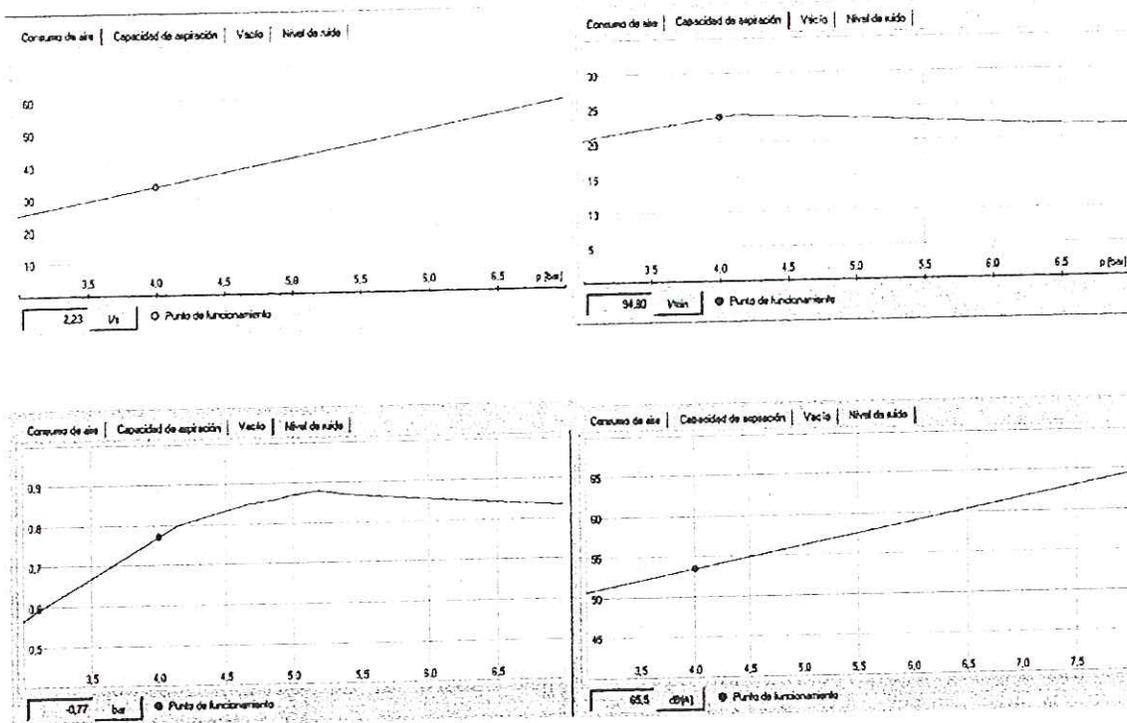
7.13.4 Disposición de las Ventosas: hay una elección de varias configuraciones fijas para las ventosas, por ejemplo, dispuestas en círculo, en las cuatro esquinas de la pieza, etc. En este paso se debe pensar muy bien en esta distribución ya que si sobredimensionamos el número de ventosas nos puede incrementar el valor de la aplicación sin necesidad. Para nuestra pieza lo mejor sería por su forma una en cada esquina con esto es suficiente para este trabajo y aseguramos de manera segura el manejo de la carga.

7.13.5 Generador de Vacío: para seleccionar un generador de vacío, primero se debe introducir el número de ventosas de aspiración, la presión de funcionamiento y el vacío que se precisa. Las restantes características (por ejemplo roscas de conexión, conmutación de la salida, módulo, electroválvula integrada) pueden elegirse en cualquier orden. Se selecciono una válvula para trabajar con 4 ventosas ya definidas a una presión de funcionamiento de 4 bar máximo y con una generación de vacío de -0.8 bar esta válvula se le agrego el accionamiento eléctrico una válvula antiretorno integrada que evita la inversión del flujo en el aire de aspiración, y con ello una caída de presión cuando se desconecta el generador de vacío. Cuando se ha alcanzado el nivel

de vacío deseado, la electroválvula desactiva el generador de vacío, mientras que la válvula antiretorno impide que se disipe el vacío.

Diagramas de funcionamiento generador de vacío elegido

Figura 38: diagramas consumo de aire, capacidad de aspiración, vacío y consumo de aire de gripper neumático.



FESTO. Selección de vacío.

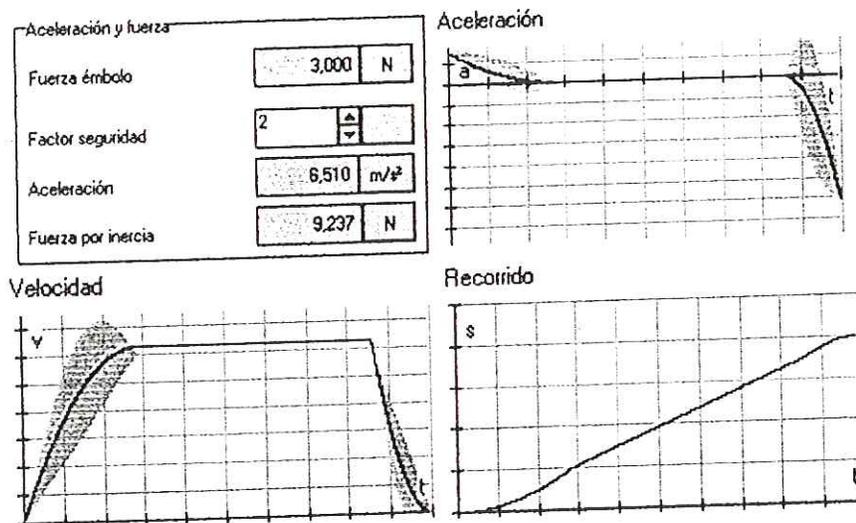
Estos valores que arrojan estos diagramas son muy positivos ya que nos aseguran un buen funcionamiento del sistema en todo momento solo hay un dato que no es muy bueno que es el de generación de ruido que esta alto pero esto es algo fácil de

solucionar utilizando filtros y silenciadores además debemos tratar de economizar el aire ya que esta comprobado que la producción de aire comprimido es costosa.

7.13.6 Movimiento de la Carga: esto es algo que pareciera no importar pero es preciso para este tipo de aplicaciones tener bien claro hacia donde y cuanto es lo que se va a mover la carga además sabemos que no solo el peso de la carga afecta nuestro modelo también el peso de los dispositivos los cuales componen este, por eso es claro definir estas variables para tener resultados mas reales y creíbles.

7.13.7 Actuador: en esta etapa se tiene en cuenta que el actuador es un cilindro neumático lineal el cual funciona a 4 bar y maneja en total un peso de 1,942 kg, estos son los resultados que arroja el programa determinando de esta manera aceleración y fuerza necesaria para el movimiento de esta carga en un tiempo dado:

Figura 39: valores de fuerza, aceleración, velocidad y recorrido gripper neumático.

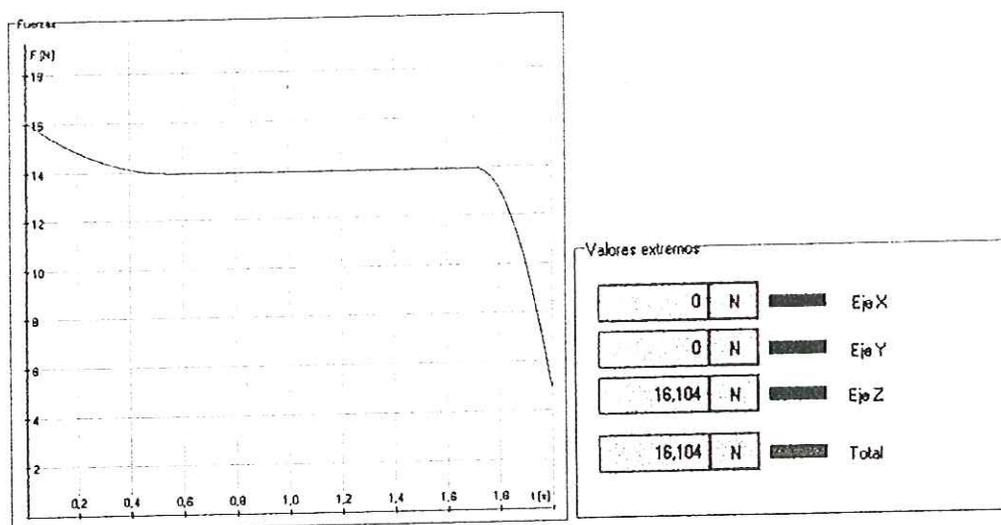


FESTO. Selección de vacío.

El grafico muestra las curvas de aceleración, velocidad y distancia recorrida en función del tiempo.

7.13.8 Diagramas de Fuerzas y Momentos: como se puede anticipar en este diagrama solo se encuentra un solo eje por el cual se realiza la fuerza para desplazar la carga hasta ahora el diseño esta trabajando muy bien y responde a todas las acciones que tiene que vencer.

Figura 40: diagramas de fuerzas y momentos del gripper neumático.

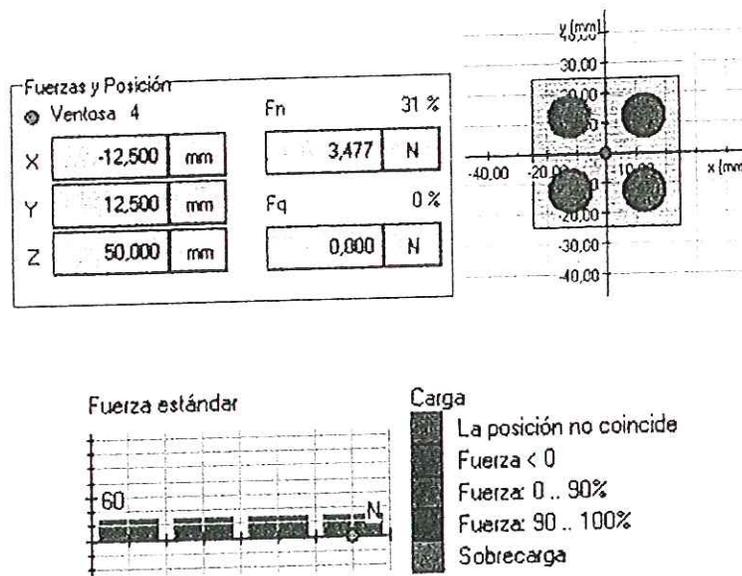


FESTO. Selección de vacío.

7.13.9 Esfuerzo de las Ventosas: gracias al buen diseño de este sistema podemos ver que los resultados es muy bueno en ningún momento existe un esfuerzo crítico que pueda ocasionar problemas en nuestro gripper las ventosas están bien ubicadas por no decir que están sobradas para esta carga por lo que puede llegar a trabajar aun con aciagas mas pesadas pero no es recomendable trabajar a mas de estos valores ya que

esto es solo un estudio matemático que debe ser confirmado por medio de la experimentación real de este dispositivo ya que muy claro dice el realizador de este software que esto es solo una ayuda al diseño y no el diseño absoluto como tal por eso se tiene que aclarar que todos estos valores se debe confirmar.

Figura 41: fuerzas de las ventosas del gripper neumático.



FESTO. Selección de vacío.

Es muy claro que este es un gripper que funciona en todos los aspectos necesarios para este robot nos brinda muchas facilidades y confianza para no tener preocupaciones con este modelo cosas que si secunden con los otros modelos de elementos terminales, este gripper se pensó en todo momento ponerlo en marcha sin embargo al cotizar los materiales que se necesitaban para la implementación de la aplicación nos encontramos con la sorpresa que nuestro presupuesto no daba para poder adquirir este sistema por lo cual inmediatamente se cambió al que se realizo

realmente eso si dejando en claro que este dispositivo si se puede usar en este caso y que sería algo muy interesante lograrlo implementar en algún momento.

7.14 Diseño de Gripper Mecánico

Este fue el diseño el cual implementamos como ya habíamos utilizado repetidamente los tornillos pues nos decidimos en utilizarlos nuevamente eso si como en esta ocasión la tarea no es tan especial se tomaron algunas decisiones para facilitar un poco mas el trabajo y el avance del proyecto ya que tuvimos que realizar mucho cambios que nos obligaron a replantear ideas que llevaron de un tiempo que no se nota al final del proyecto pero que también son parte de ello.

Esta idea de usar nuevamente tornillos surgió de que existen muchos sistemas de sujeción que utilizan tornillos como son las prensas, los gatos, entre otros; y a final de cuentas un gripper eso es lo que es un mecanismo de sujeción primero se pensó en hacerlo en forma de prensa es decir con una pinza móvil y la otra fija pero esto nos podía traer problemas a la hora del posicionamiento del robot, se trato de implementar uno con cilindro neumático pero era muy basto para manejar cargas delicadas pero después de darles vueltas al tema encontramos un dispositivo sencillo por su principio y con un gran ingenio ya que no es muy común entre los grippers normalmente utilizados, consiste en un tornillo con una rosca derecha en un lado y con rosca izquierda en el otro eso si las tuercas con las roscas contrarias para culminar con el correcto diseño.

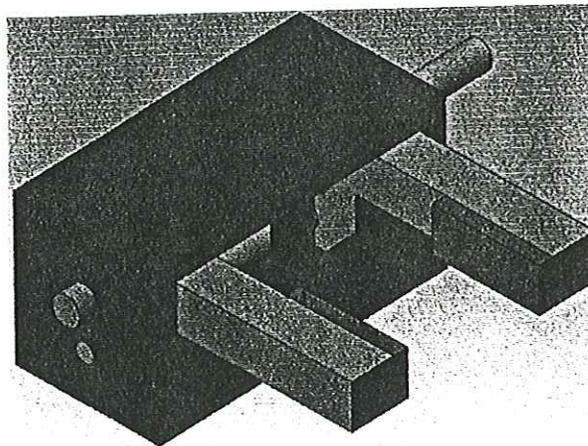
De manera mas clara este modelo lo que hace es que con un solo eje compuesto de un tornillo con las dos roscas (derecha e izquierda) a cada uno de sus lados pueda producir el movimiento de una pinza con solo cambiar el giro del eje haciendo que las tuercas que deben poseer el mismo sistema de roscas del tornillos en un sentido se

atraigan y hacia el otro se alejen, en la siguiente imagen podemos ver un gripper de estos que fue ya implementado.

Ahora partiendo de este ya implementado fue que se llevo a cabo el nuestro eso si conservando las dimensiones y las especificaciones de nuestro robot esto nos lleva a un problema ya que la manufactura de este tipo de tornillos a tan baja escala dificulta un poco que se de esa sincronización necesaria por eso este modelo no es del todo sencillo y siempre requiere de bastante trabajo de maquinado para poderlo sacarlo de la mejor manera.

7.14.1 Modelo CAD Gripper Final

Figura 42: diseño computarizado gripper robot paletizador.

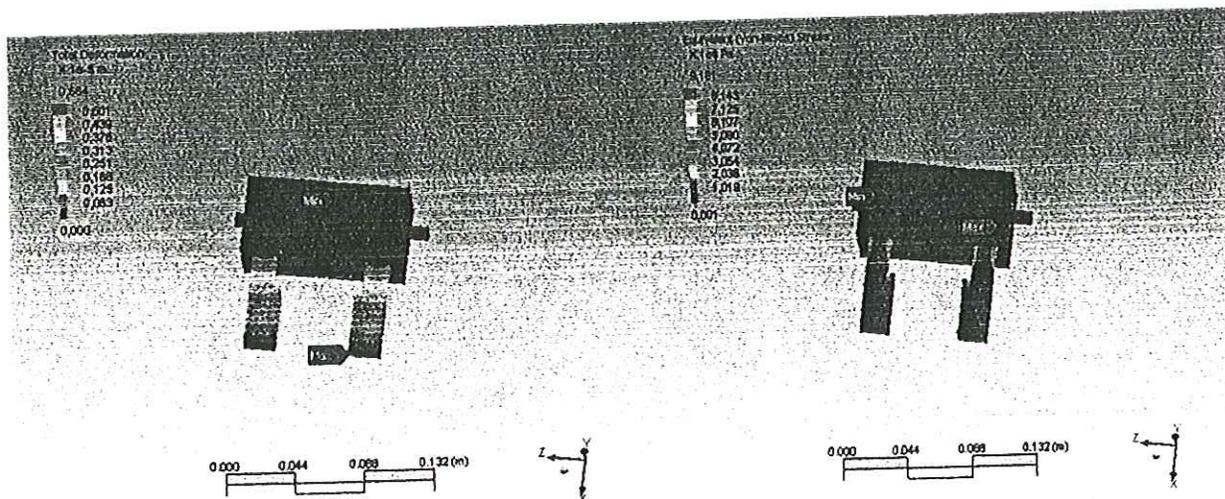


Del autor.

Con este gripper que se diseño damos por terminado la etapa del diseño mecanico de nuestro robot, cabe destacar que este gripper esta hecho de materiales livianos ya que es muy importante para la buena maniobra del gripper que este no sea tan rígido y tenga una gran libertad de movimiento entre otras ventajas de esto se encuentra junto con estas la que al ser de un material flexible la cargas delicadas no tendrán inconvenientes a la hora de una manipulación de este tipo de cargas también este gripper contiene un material antideslizante en las puntas para evitar cualquier tipo de caída de la carga en caso a que llegue a estar lisa o mojada eso si se debe garantizar que la pieza no este en un estado de deslizamiento total tales como con aceite grasas entre otros.

7.14.2 Análisis modelo mecánico Gripper robot cartesiano paletizador.

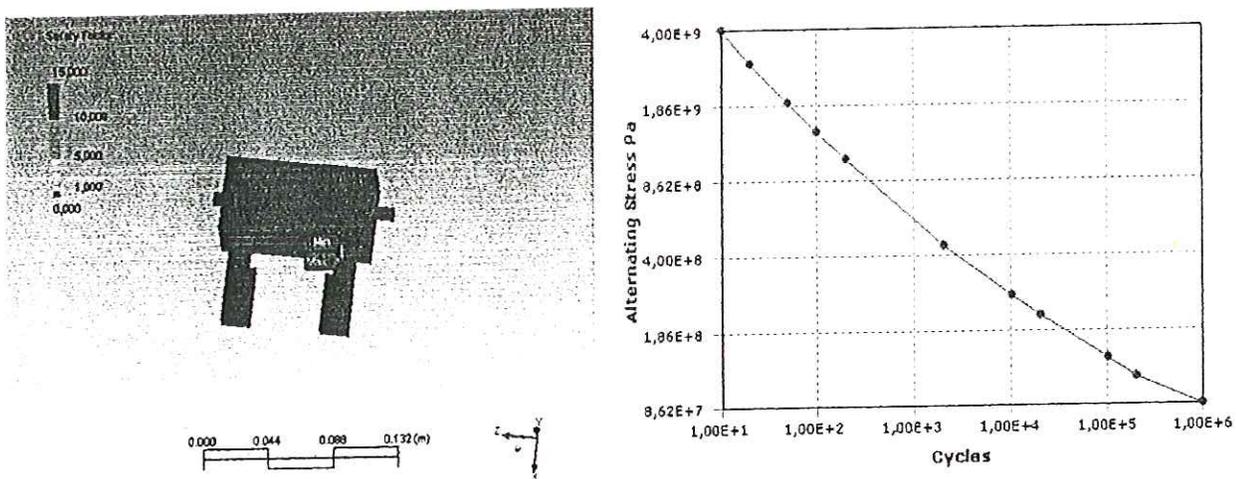
Figura 43: Resultado Análisis gripper.



Del autor.

En este análisis se quiso simular y observar lo que podía suceder con la pinza cuando esta sujeta a una carga de 10 N con estos resultado podemos estar tranquilos solo existe un inconveniente y es que en la construcción se cometió un error de alineación y el eje y la guía principal no quedaron alineados pero esto se puede solucionar por ahora sobredimensionamos un poco el actuador para de esta manera no tener problemas de obstrucción de movimiento, el factor de seguridad es bueno de 15 nuevamente.

Figura 44: Factor de seguridad Gripper.



Del autor

7.15 Sistemas de Transmisión de Movimientos Utilizados en el Robot Cartesiano Paletizador

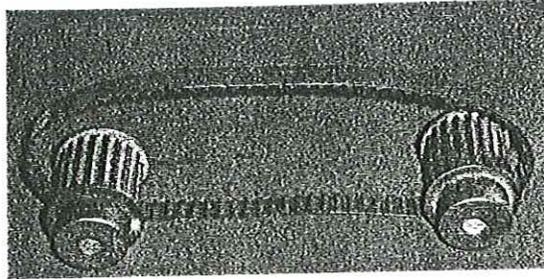
Cuando definimos como era nuestra estructura mecánica para nuestro robot encontramos el primer inconveniente para la alimentación de movimiento para los dos

eje paralelos principales del robot se buscaron algunos mecanismos que se veían capacitados para este tipo de trabajo estos eran los que trabajaban con poleas y bandas siempre utilizadas en estos casos solo que esta vez tenían que transmitir potencia pero sin variar velocidad en ninguno de los puntos que actuarían a partir de esto se busco hasta que se llego al mas apropiado.

7.15.1 Transmisión por Correas: El diseño de una correa implica la selección de la correa adecuada para transmitir una determinada potencia o bien, la determinación de la potencia que se puede transmitir con una correa plana o con una correa en V dada. En el primer caso, la anchura de la correa es desconocida, mientras que en el segundo caso es conocida. En ambos casos se supone el espesor de la correa. La potencia transmitida por una transmisión por correa es una función de las tensiones y de la velocidad de la correa.

Transmisión por correa dentada Es la transmisión de un movimiento giratorio de un cuerpo cilíndrico a otro mediante una correa con dientes. Las ventajas de este sistema de transmisión de movimiento es que los dos cuerpos cilíndricos pueden estar retirados. Esta transmisión fue la que se eligió para nuestro diseño puesto que nos da una duración mas larga y no tiende a destemplarse tan rápido debido a que no se patina en la polea sin embargo para no tener problemas con este tipo de mecanismo es mejor estar templando la banda o cambiarla periódicamente cuando se vea alguna variación de movimiento entre los dos ejes paralelos del robot. En este montaje se uso una polea de 16 dientes con medida XL y una banda 450 XL se usaron estas referencias puesto que nos arrojaban una buena transmisión de movimiento debido a su paso fino y que las poleas son mucho más sencillas que las demás medidas comerciales.

Figura 45: transmisión por correas sincrónicas utilizado en el eje X del robot paletizador.



Del autor.

7.15.2 Rodamientos

A diferencia de otros cálculos de elementos de máquinas, los cojinetes de rodamiento se seleccionan considerando la vida útil que se desea que tengan. Esto significa que la vida infinita no es posible de alcanzar y debemos pensar que los rodamientos son elementos de desgaste que deben ser reemplazados periódicamente para evitar daños al mecanismo en el cual están montados. Este reemplazo se realiza bajo el concepto de *mantención preventiva*, en donde el rodamiento es reemplazado justo antes de que falle. La falla debe entenderse como un grado de desgaste tal que provoca vibraciones en el eje, apreciables auditivamente por un zumbido característico.⁷

Son muchos los factores que afectan la vida útil, los más importantes son la magnitud de las cargas, la dirección de las cargas, la velocidad de giro, las deformaciones del eje, la desalineación, la calidad de la lubricación, la temperatura de operación y la limpieza.

⁷ www.skf.com

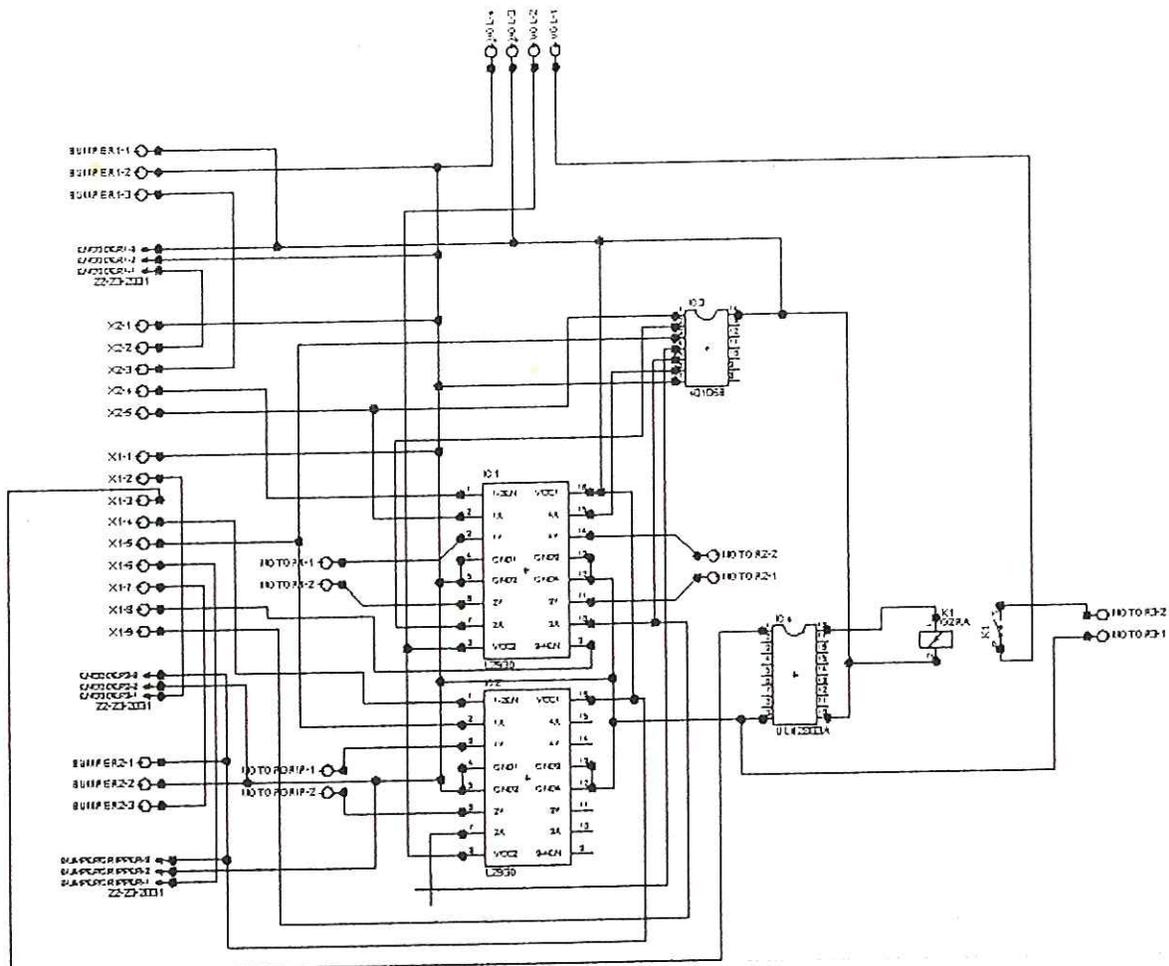
Se utilizarán en este capítulo tres fórmulas para estimar la vida del rodamiento, las cuales varían en complejidad al considerar más variables en el cálculo.

Otra característica de los rodamientos es la exactitud de sus dimensiones cada parte de tener tolerancias muy estrechas para un satisfactorio funcionamiento del conjunto. Existen rodamientos de muy variados tipos para adecuarse a las diversas aplicaciones, es muy importante escoger el rodamiento preciso, tomando la decisión en base a criterios tales como: costo, facilidad de montaje, vida útil, dimensiones generales, simpleza del conjunto, disponibilidad de repuestos y tipo de lubricación.

8. DISEÑO ELECTRONICO

8.1 Circuito de control prototipo robot cartesiano paletizador.

Figura 46: Circuito Electrónico Robot paletizador cartesiano.

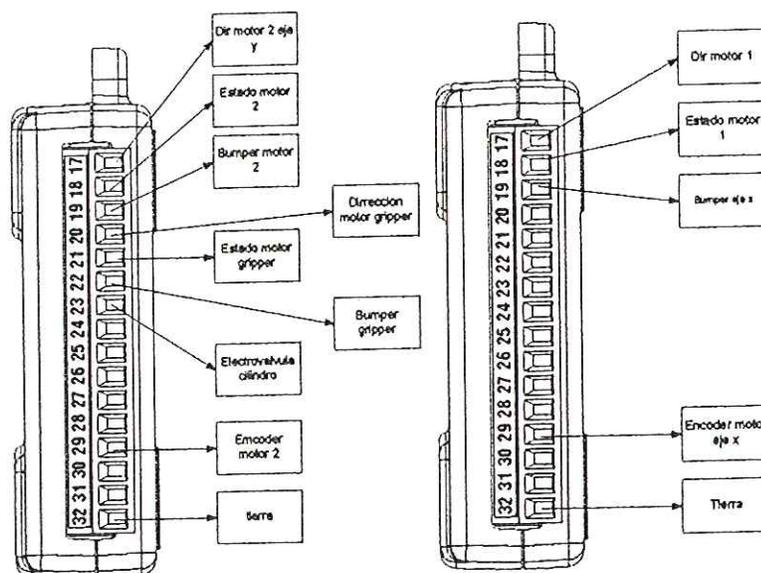


Del autor.

El circuito electrónico consta de dos Drivers para motores L293B, un ULN2803A, un HEF40106B, y un Relé a 5V. Los dos drivers están encargados del estado y el sentido de giro de los motores que gobiernan el carro transversal, longitudinal y la apertura o cierre del gripper, estos drivers son manejados directamente de las salidas lógicas de los controladores USB6009; el circuito ULN2803A es el encargado de activar el Relé que acciona la electroválvula del pistón neumático, al recibir la señal lógica del controlador, y el HEF40106B es un array de 6 negadoras tipo trigger encargadas de darle el sentido de giro a los motores.

Los conectores eléctricos son los encargados de llevar las señales lógicas recibidas de los finales de carrera y encoders del mecanismo al controlador para luego ser tratados en el programa.

Figura 47: Tarjetas 1 y 2 control robot cartesiano paletizador.



Del autor.

9. CONCLUSIONES

Al finalizar este proyecto de un robot paletizador cartesiano podemos concluir que a sido todo un éxito respecto a los objetivos planteados al inicio del mismo incluyendo algunas falencias que se presentaron debido al presupuesto reducido que se manejo, dando gracias a personas externas que apoyaron este proyecto con su aporte financiero e intelectual.

Un aspecto muy importante fue haber podido manejar todos los temas que concierne un diseño de estos con las herramientas correspondientes que son utilizadas en cualquier diseño industrial, conocimiento que nos ayudara en los próximos diseños ya a nivel profesional. Se fortaleció el diseño mecatrónico para este tipo de proyectos haciendo énfasis en cada una de las grandes ramas que utilizamos los ingenieros mecatrónicos tales como lo son: la mecánica, la electrónica y el control junto con la automatización, algo que en el campo profesional se esta empezando a dar a conocer y de aquí de la importancia de cada uno de nosotros como ingenieros especializados en este campo.

Respecto a un robot paletizador nos damos cuenta que es muy eficiente en su trabajo y muy útil además es flexible y muy fácil de cambiar su programación por lo que se acopla a cualquier sistema de producción, puede llegar a ser muy económico respecto a otros, no solo puede ser usado en los sistemas de paletizado si no también en apoyo a celdas de manufactura, alimentador de sistemas de producción; su montaje es sencillo y su interfaz con el operario es clara y entendible.

El diseño mecánico de este robot no es el mas adecuado pero deja abierta una gamma de posibilidades para poder mejorarlo en todos sus aspectos, además muestra que con un simple mecanismo de estos se pueden realizar aplicaciones interesantes y que no

siempre lo mas complicado es lo mejor, entendimos que siempre existirá la barrera económica la cual no es excusa para bajar la calidad de nuestros diseños como ingenieros.

El diseño del controlador fue una fase muy enriquecedora para nosotros ya que se utilizaron dispositivos muy utilizados en la industria que no fueron manipulados de tal manera en la academia actualmente es donde debemos ser mas fuertes como ingenieros mecatrónicos para podernos abrir campo en este medio tan competitivo por parte de otras carreras que también manejan estos aspectos y que no aceptan nuestro ingreso en la competencia como ingenieros especialistas en esta rama.

Debemos aclarar que las ayudas en el diseño tales como lo fueron los programas especializados en el diseño de este tipo, tuvieron un protagonismo importantísimo para el éxito final de este proyecto sin embargo no debemos olvidar que estas son solo herramientas matemáticas que nos ayudan; mas no nos proporcionan veredictos definitivos acerca del diseño. Siempre deberán existir las pruebas reales que nos pueden arrojar problemas de diseño, que solo son percibidos por este tipo de experiencias y que muy posiblemente nos ayuden en otros problemas que tengamos de este tipo en el futuro.

El robot que fue realizado debe ser operado según las especificaciones anexadas en este informe hay que tener claro que cada una de estas deberá ser cumplida a cabalidad y que cada vez que no se cumpla se estará disminuyendo la calidad la eficiencia y la vida útil del robot, muy importante la lubricación y el mantenimiento preventivo para este modelo.

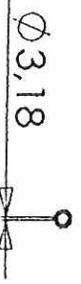
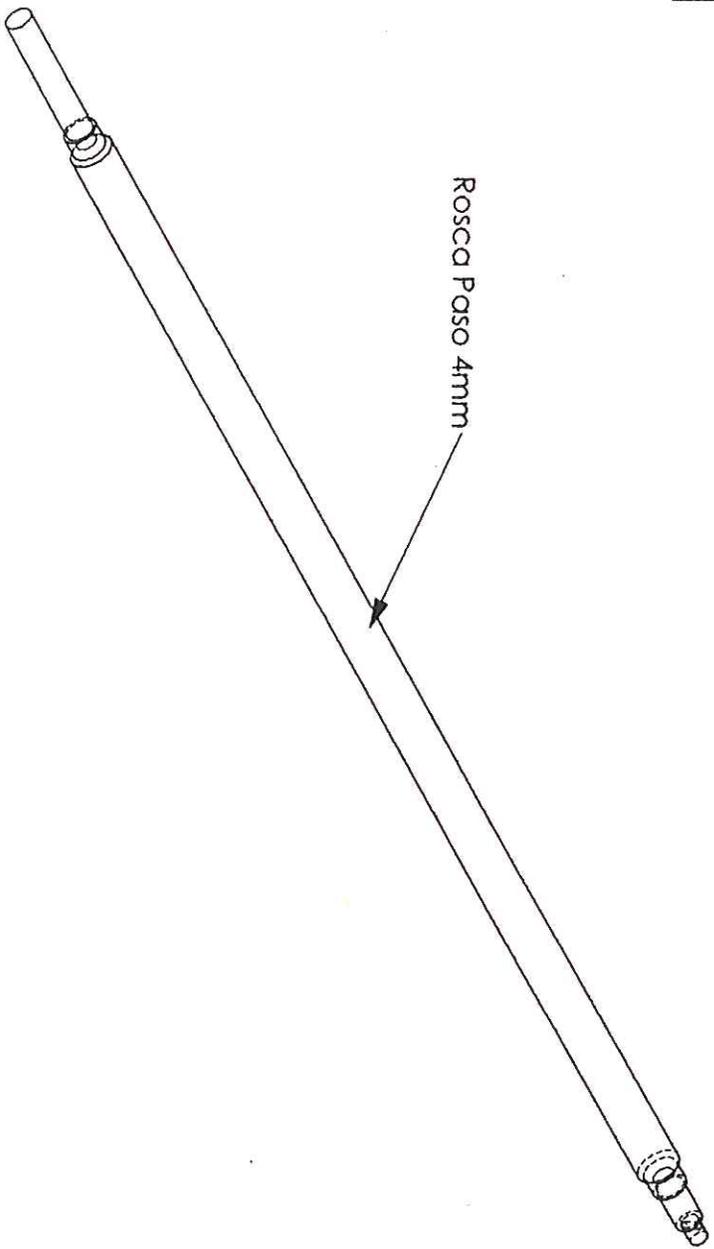
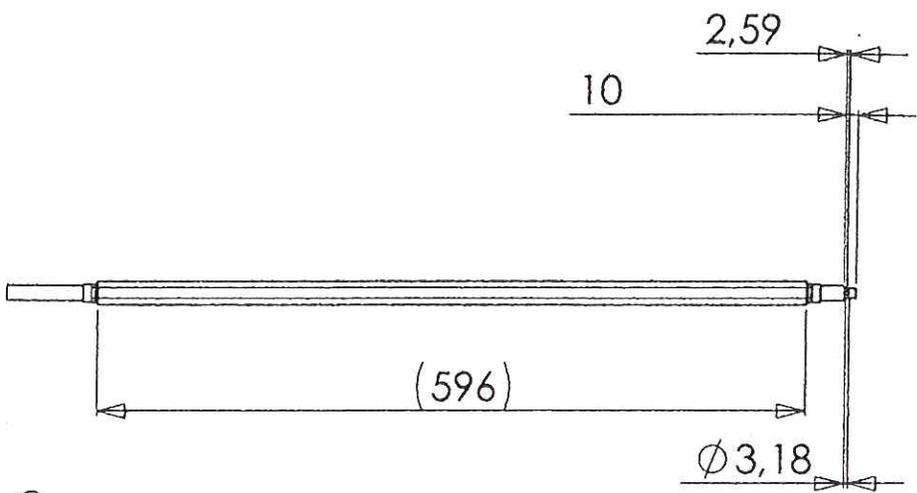
10. BIBLIOGRAFÍAS

- [1]. GARCIA-HERREROS PATIÑO, Luís Fernando, LACHE SALCEDO, Ivanovich y RODRIGUEZ FLOREZ, Sergio Alberto. Diseño de un AS/RS (AUTOMATED STORAGE & RETREIVAL SYSTEM), para implementación didáctica. Tesis (Ingeniero Mecatrónico). Universidad Autónoma de Bucaramanga. Facultad de Ingeniería Mecatrónica. Área de Robótica.
- [2]. BARRIENTOS, Antonio. Fundamentos de Robótica. Editorial McGraw Hill. 1997.
- [3]. OLLERO BATURONE, Aníbal. Robótica, Manipuladores y Robots Móviles. Editorial Alfaomega Marcombo. 2001.
- [4]. CHAPMAN, Stephen J. Maquinas Eléctricas. 3 ed. Bogota, Colombia: Mc Graw Hill.
- [5]. OGATA, Katsuhiko. Ingeniería de Control Moderna. México DF. Prentice Hall.
- [6]. DEUTSCHMAN, Aarón D. Diseño de maquinas. Teoría y Práctica. Editorial CECSA. 1995.
- [7]. IOVINE, Jhon. PIC Robotics. Editorial McGraw Hill. 2004.
- [8] DEPPERT W. / K. Stoll. "Aplicaciones de Neumática" Ed. Marcombo. España, Barcelona.

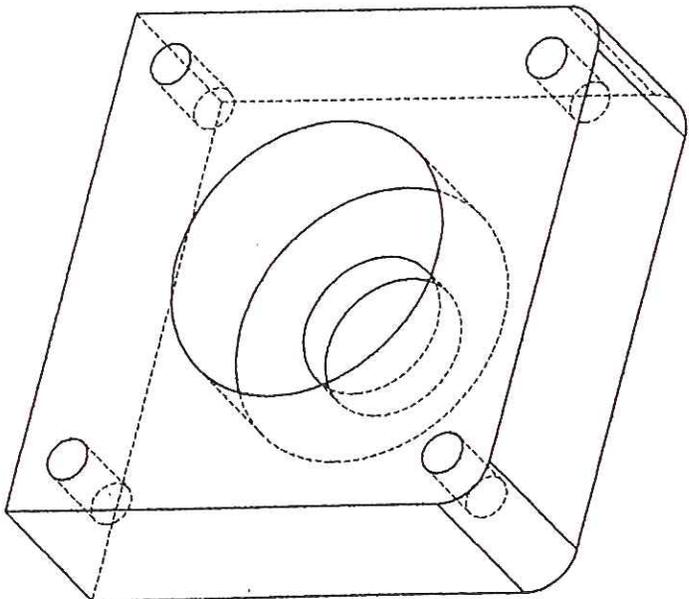
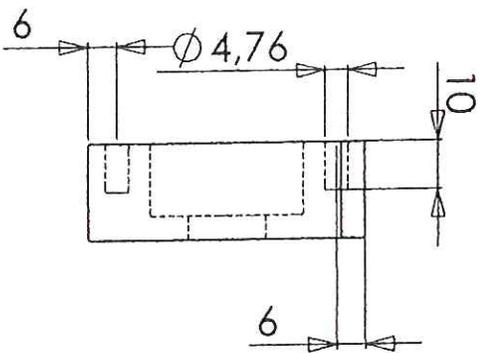
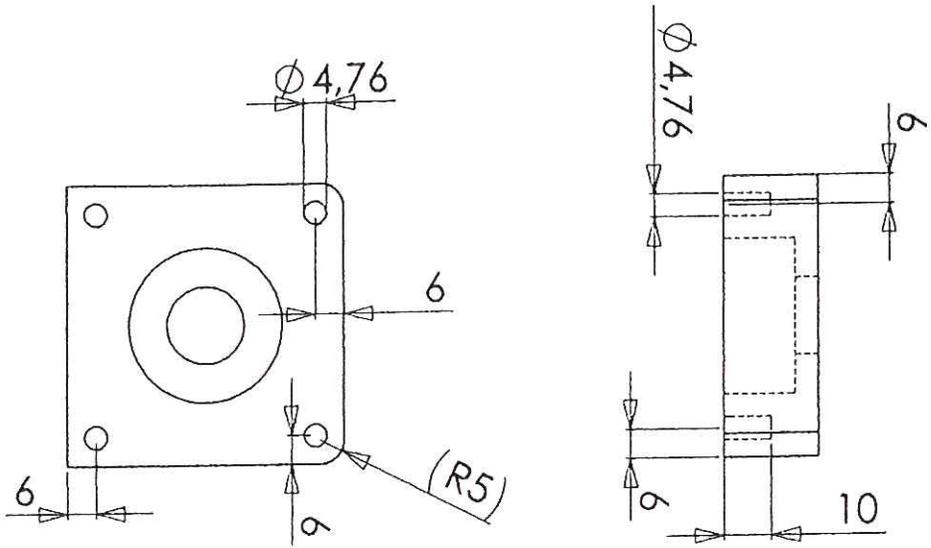
Sitios Web:

- www.x-robotics.com
- [www.learnaboutrobots.com/ images/scara.gif](http://www.learnaboutrobots.com/images/scara.gif)
- <http://www.mecc.polimi.it/rovetta/robotica/HTML/studentivaldata/filmati>
- [http://prime.jsc.nasa.gov/ ROV/images](http://prime.jsc.nasa.gov/ROV/images)
- <http://prt.fernuni-hagen.de/lehre/KURSE/PRT001/EXAMPLES/eqs6/node1>
- <http://www.gimatic.com>
- [http://gemwelding.com/img_ genr/pinzas/G01n.jpg](http://gemwelding.com/img_genr/pinzas/G01n.jpg)
- <http://www.festo.com>
- <http://www.sapiens.itgo.com/neumatica/neumatica19.htm>

11. ANEXOS



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA	
TORNILLO EJE X	
Elaborado por:	Oscar Jalmes F. William Cuevas M.
Aprobo:	Msc. Eduardo Calderon

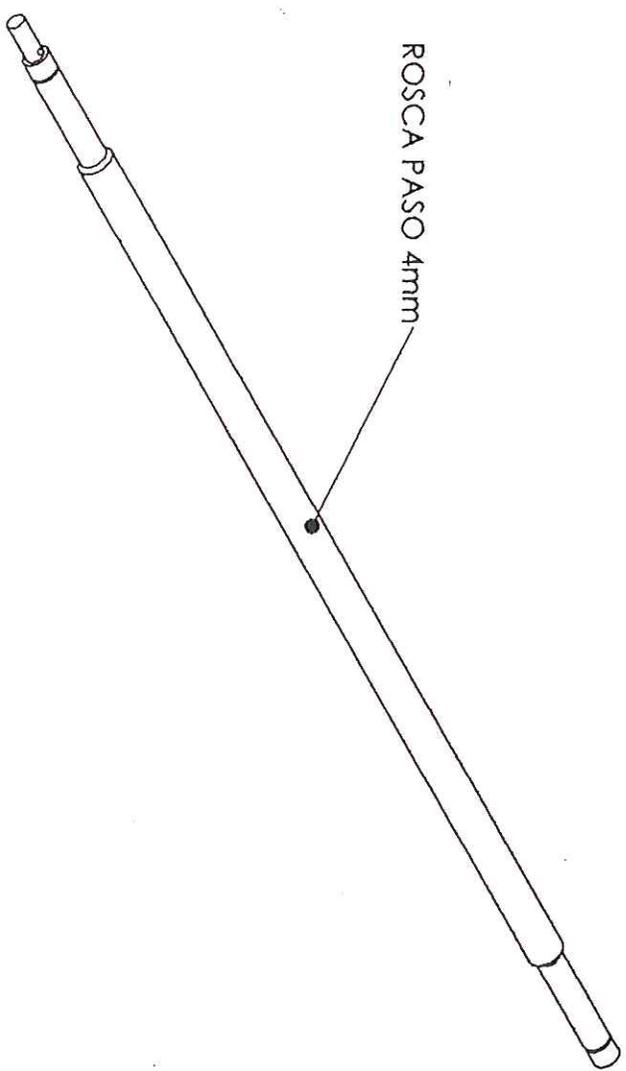
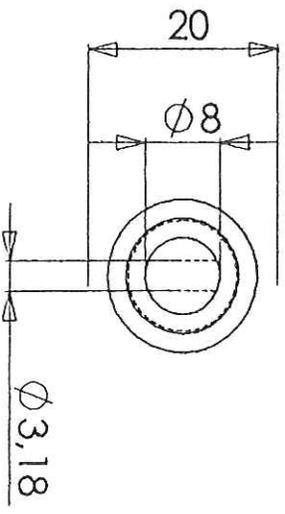
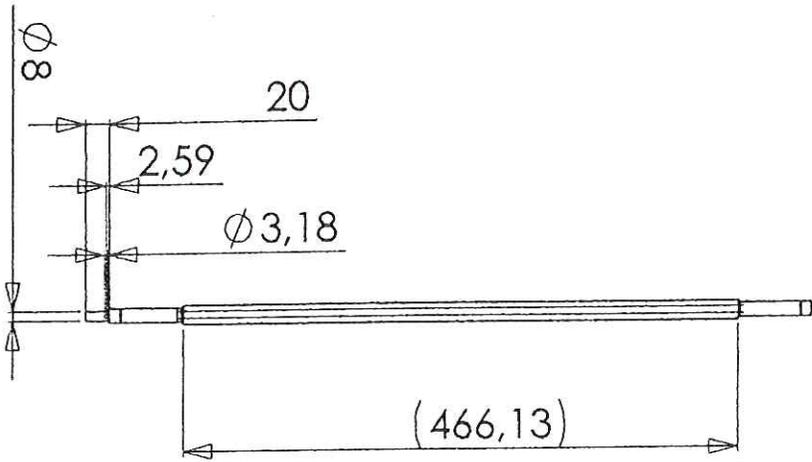


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE
BUCARAMANGA

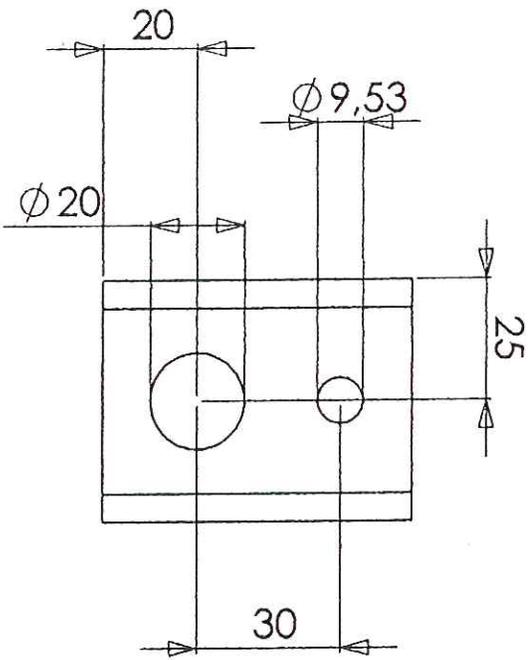
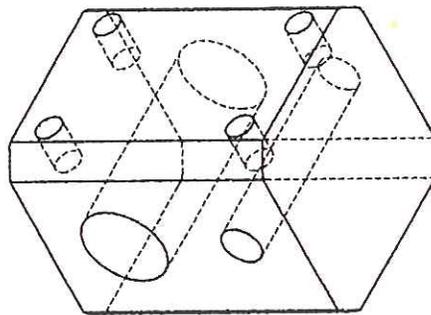
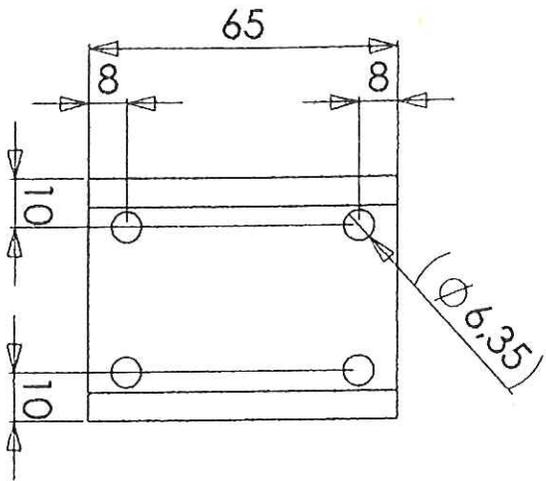
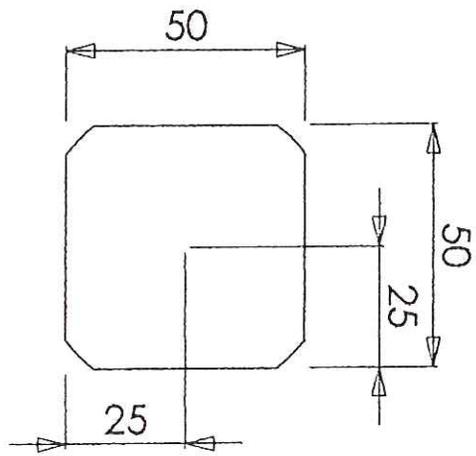
CAJA DE RODAMIENTOS

Elaborado por: Oscar Jaimés F.
William Cuevas M.

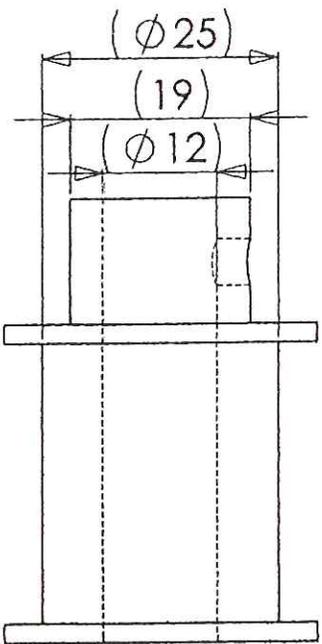
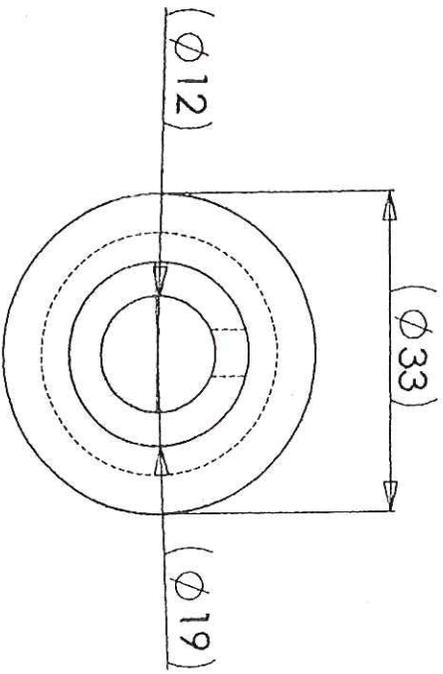
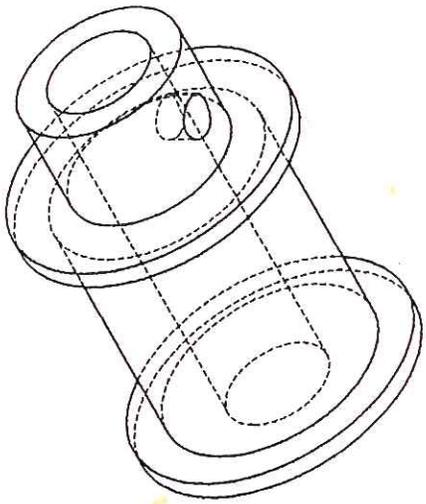
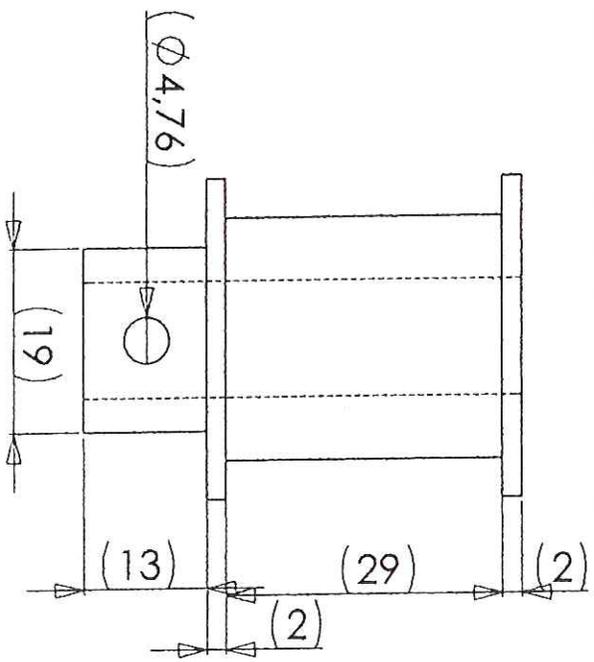
Aprobo: Msc. Eduardo Calderon



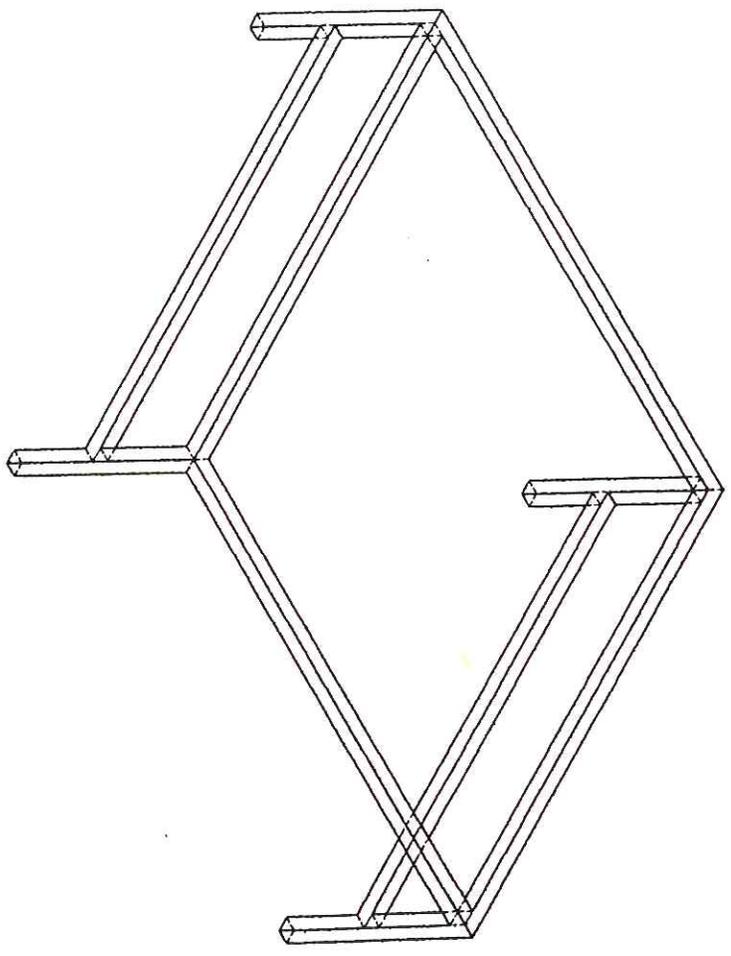
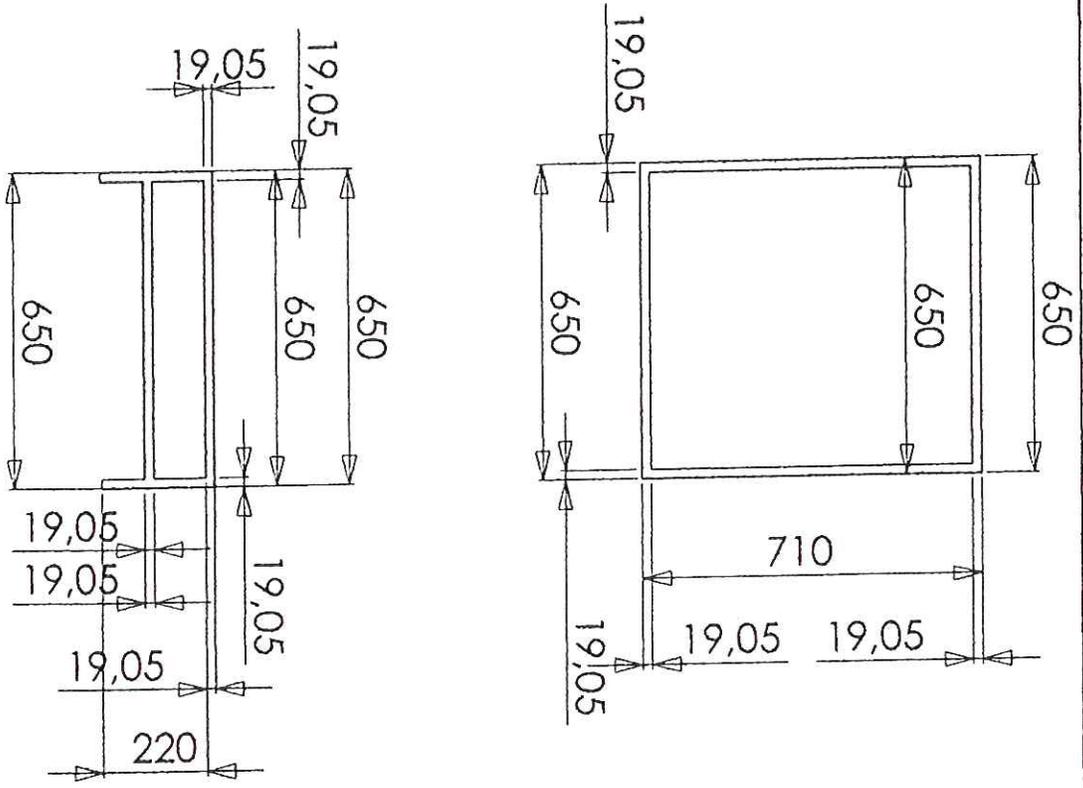
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA	
TORNILLO EJE Y	
Elaborado por:	Oscar Jalnes F. William Cuevas M.
Aprobo:	Msc. Eduardo Calderon



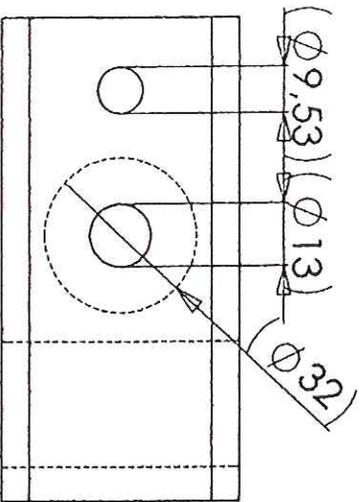
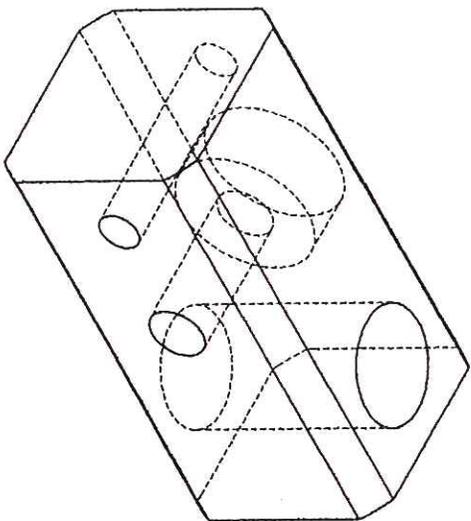
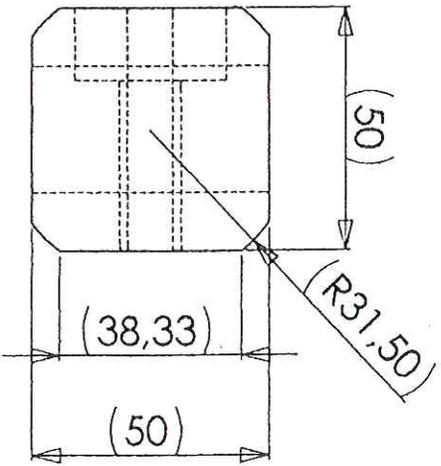
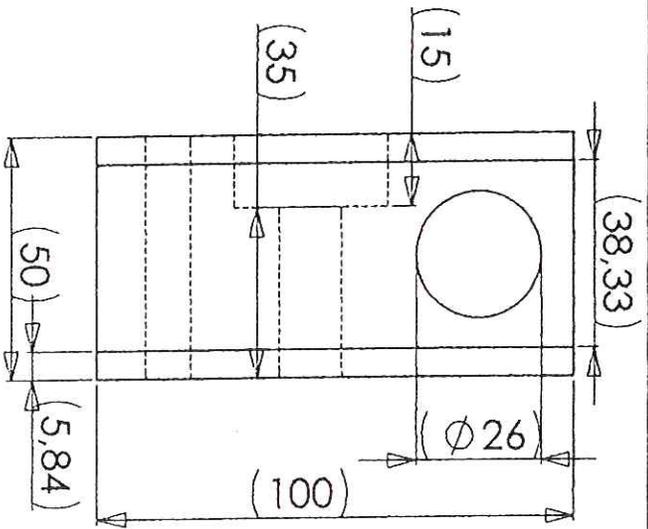
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA	
BLOQUE EJE X	
Elaborado por:	Oscar Jimenes F. William Cuevas M.
Aprobo:	Msc. Eduardo Calderon



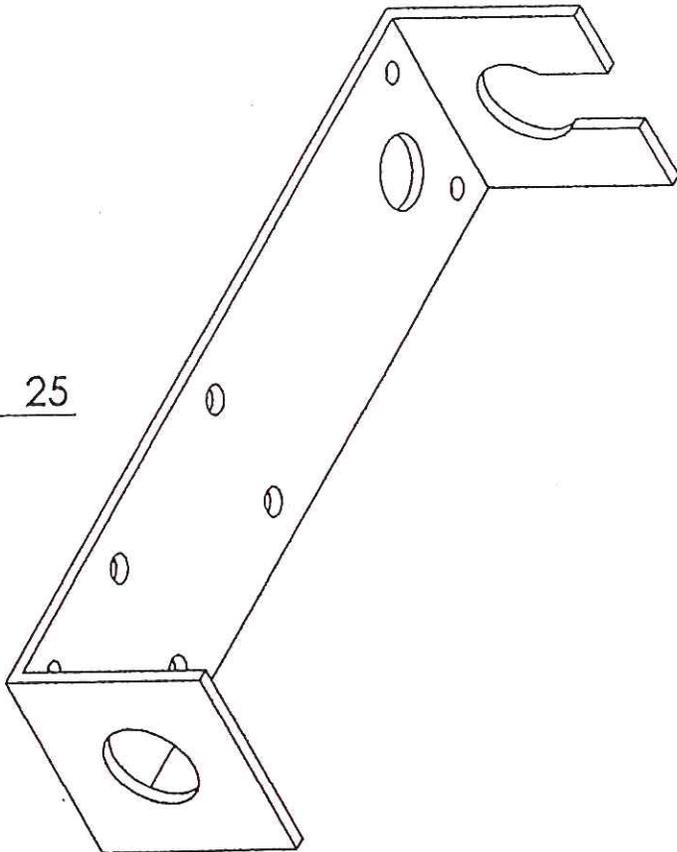
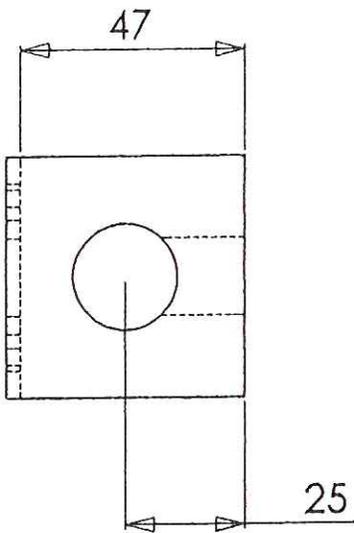
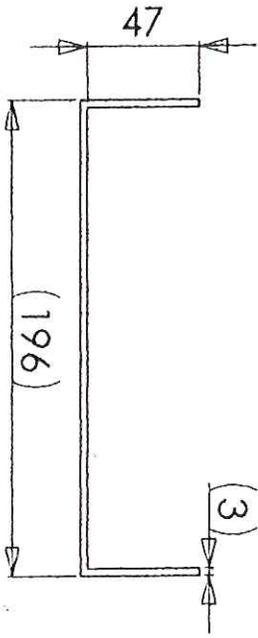
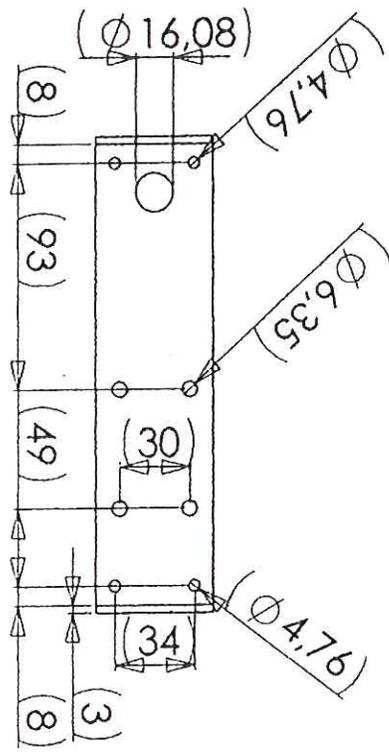
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA	
POLEA TRANSMISION	
Elaborado por:	Oscar Jalmes F. William Cuevas M.
Aprobo:	Msc. Eduardo Calderon



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA	
BASE ROBOT	
Elaborado por:	Oscar Jaimés F. William Cuevas M.
Aprobo:	Msc. Eduardo Calderon



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCCARAMANGA	
BLOQUE EJE X	
Elaborado por:	Oscar Jaimes F. William Cuevas M.
Aprobo:	Msc. Eduardo Calderon



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE
BUCARAMANGA

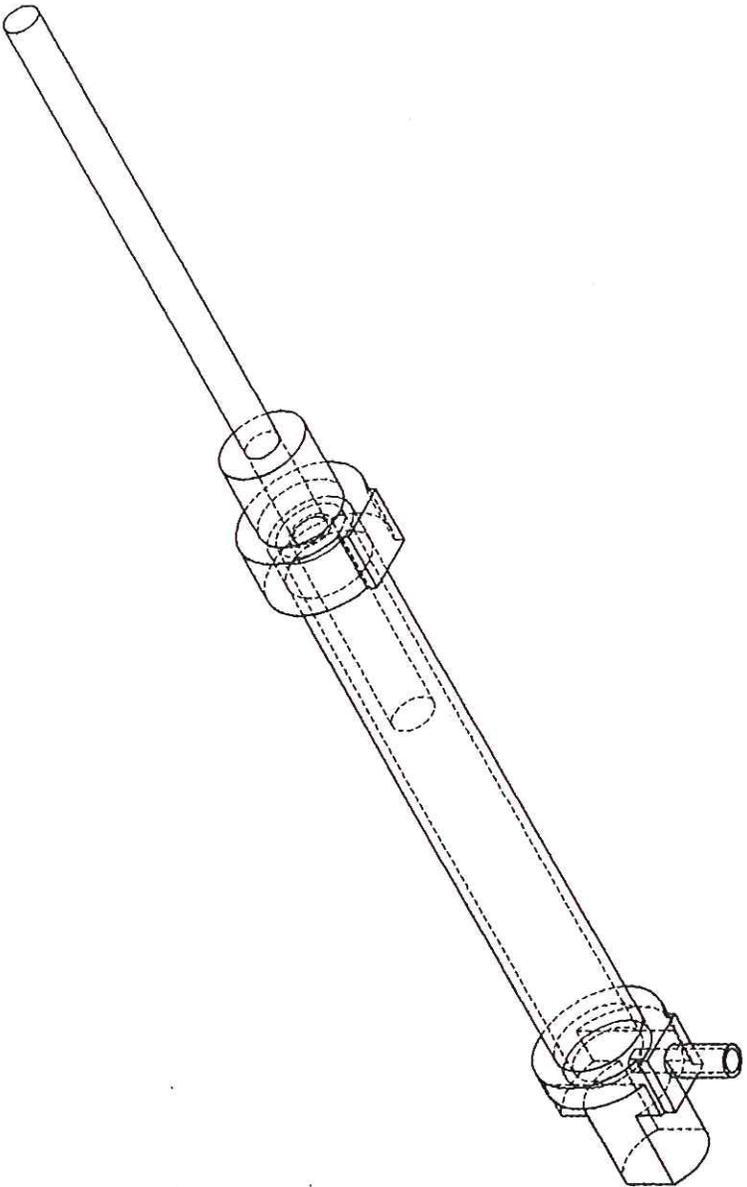
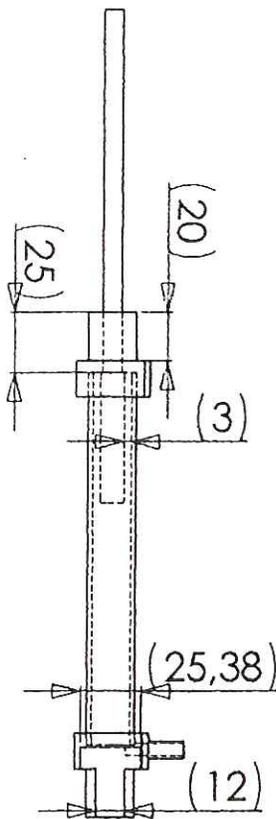
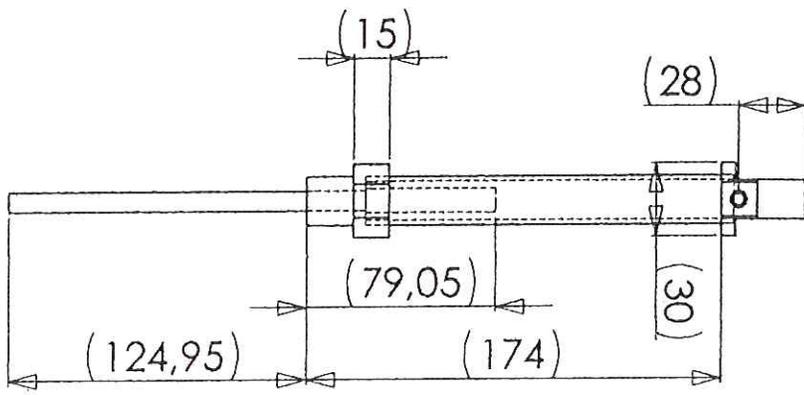
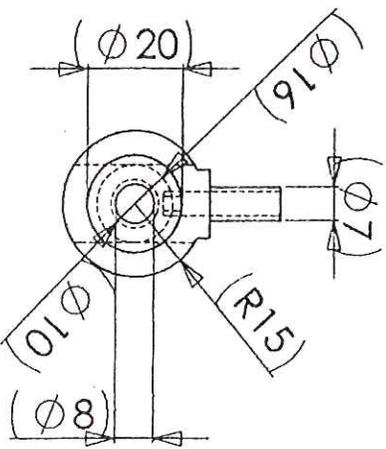
BASE CILINDRO

Elaborado por:

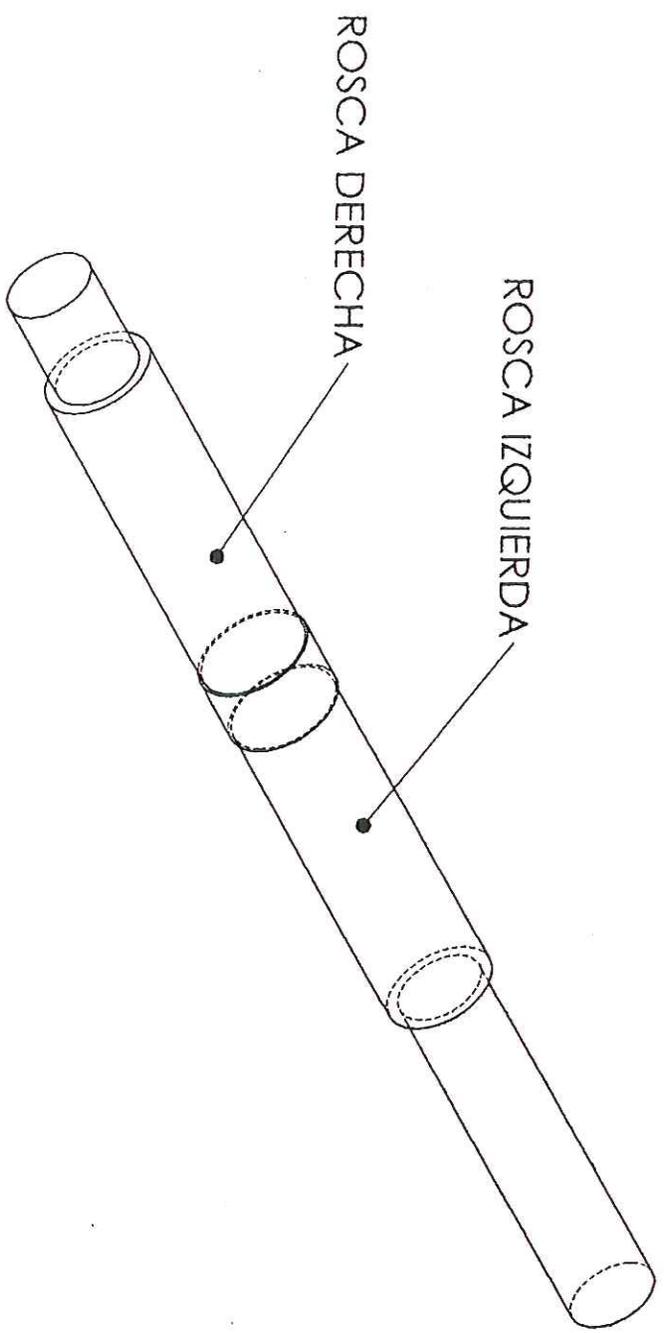
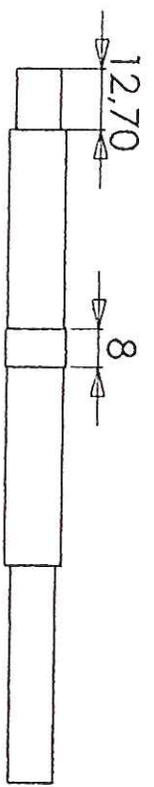
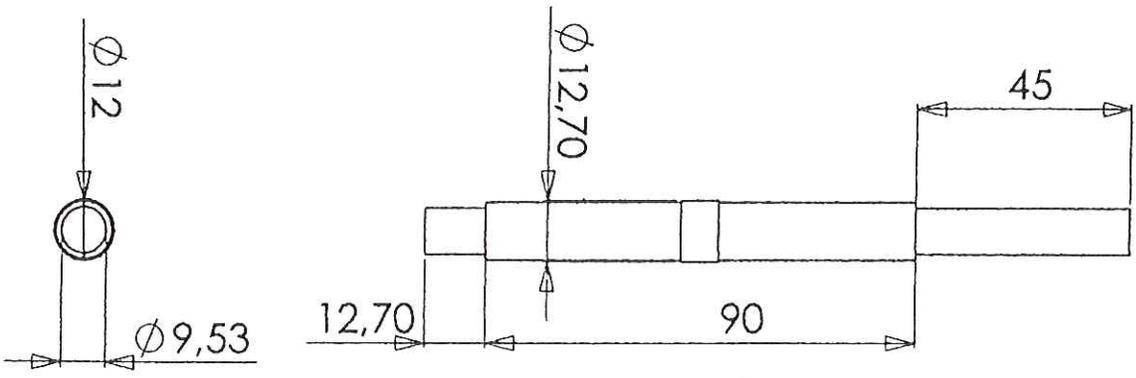
Oscar Jaimes F.
William Cuevas M.

Aprobado:

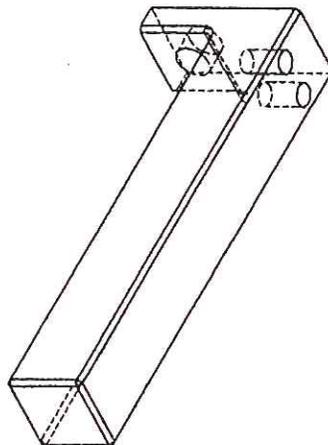
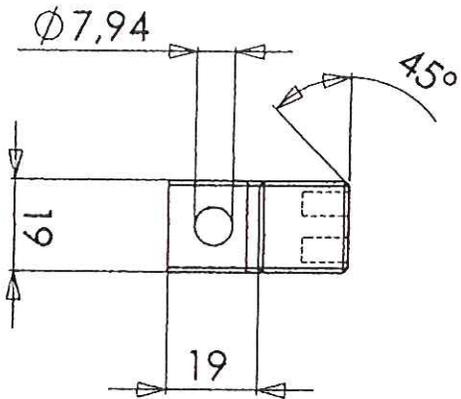
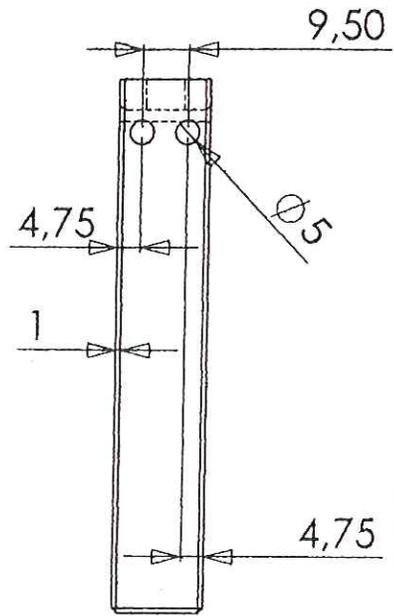
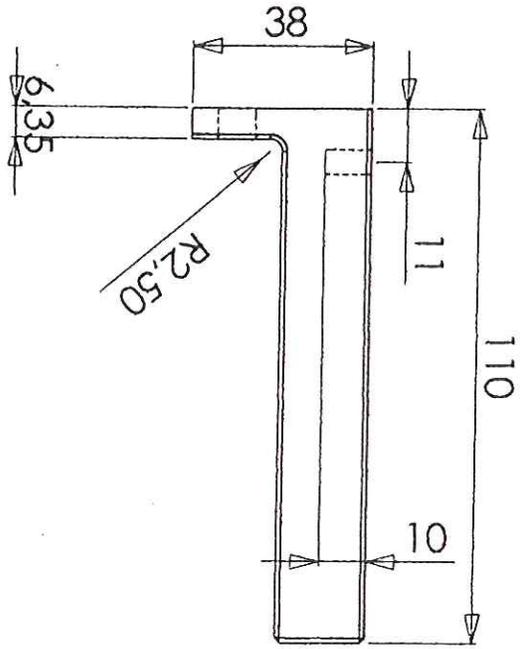
Msc. Eduardo Calderon



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCHARAMANGA	
CILINDRO NEUMATICO	
Elaborado por:	Oscar Jalnes F. William Cuevas M.
Aprobo:	Msc. Eduardo Calderon



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA	
TORNILLO GRIPPER	
Elaborado por:	Oscar Jalmes F. William Cuevas M.
Aprobo:	Msc. Eduardo Calderon



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE
BUCARAMANGA

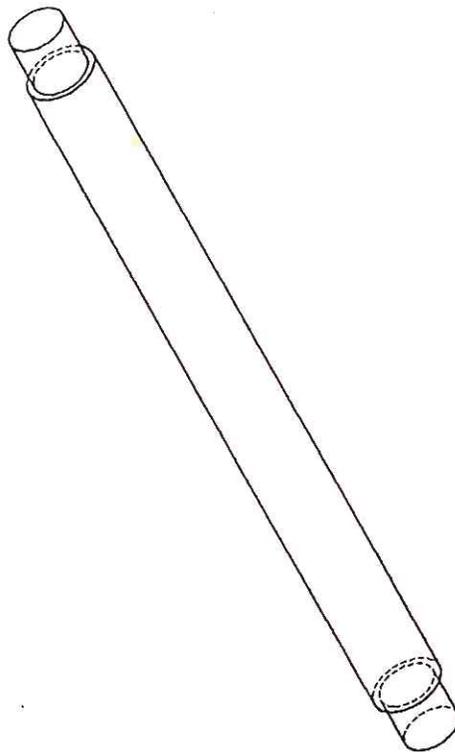
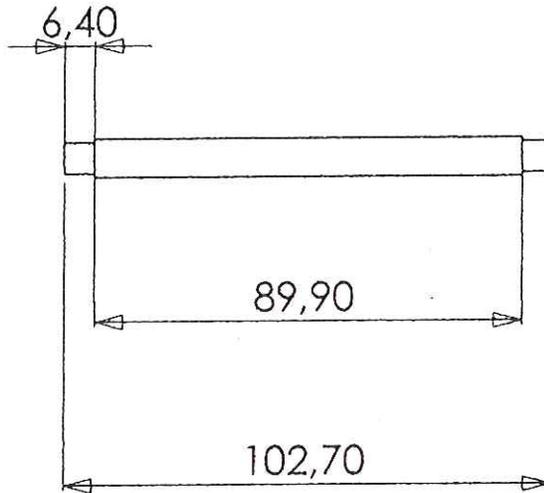
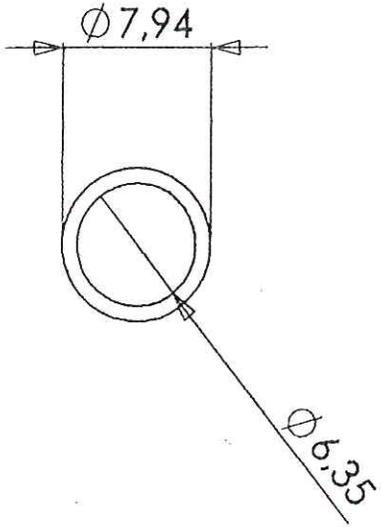
PINZA GRIPPER

Elaborado
por:

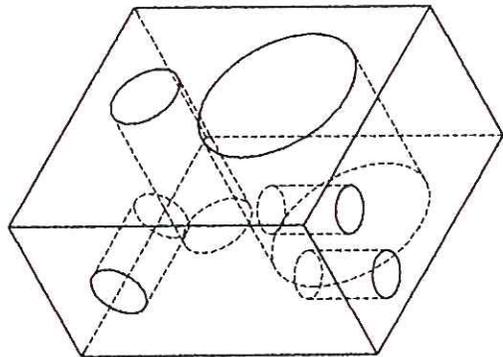
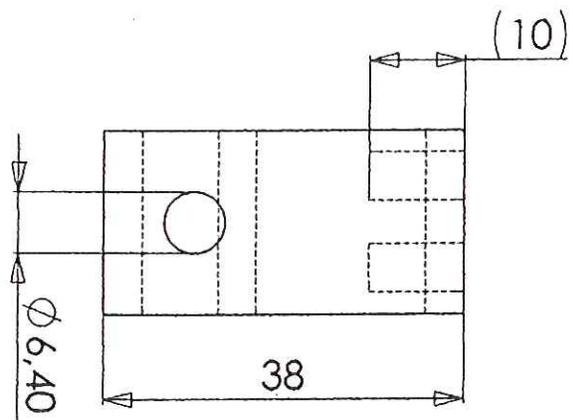
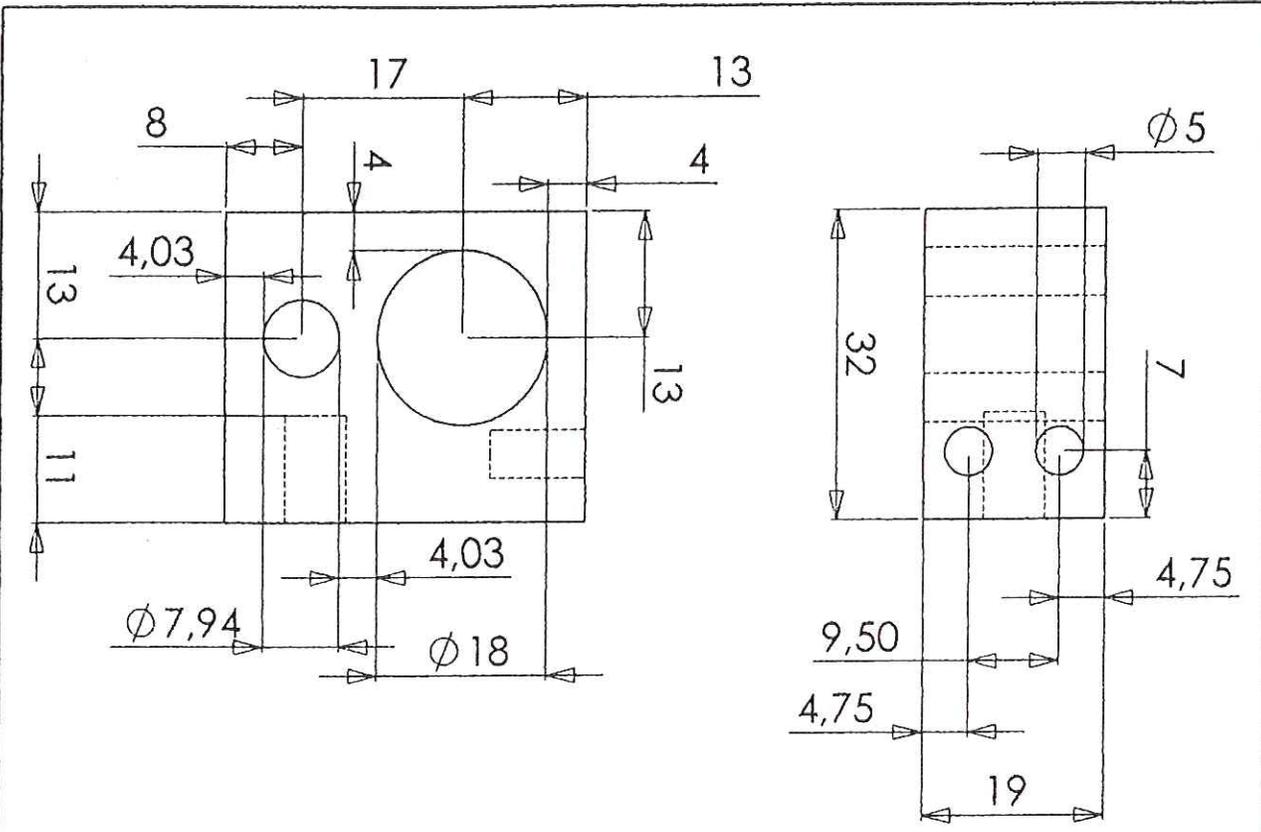
Oscar Jalmes F.
William Cuevas M.

Aprobo:

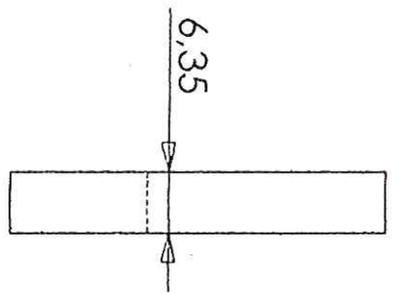
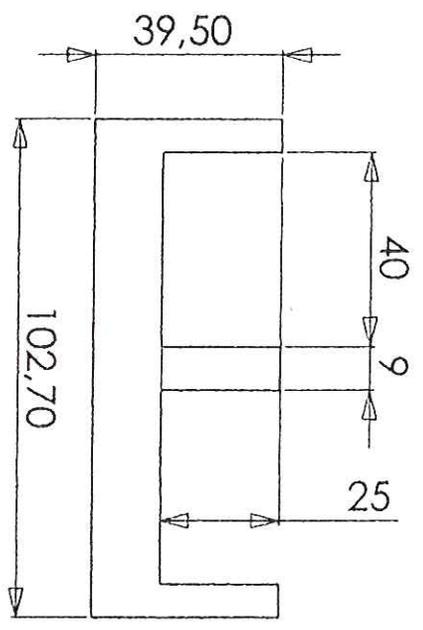
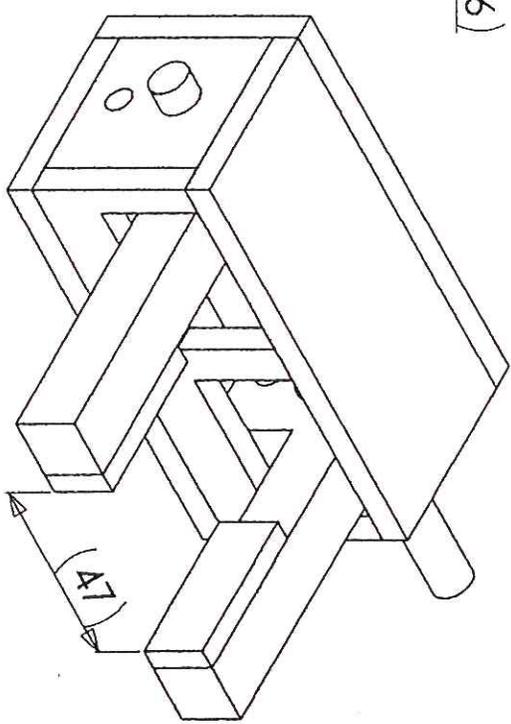
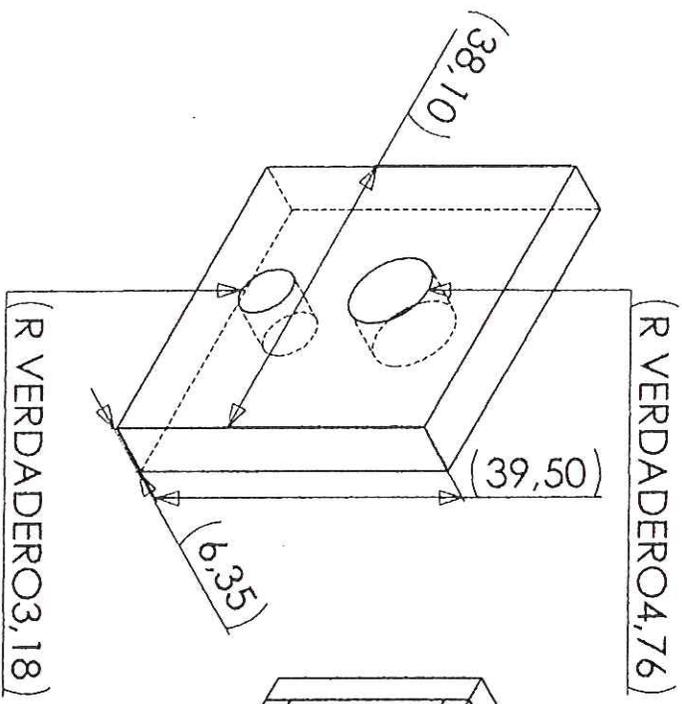
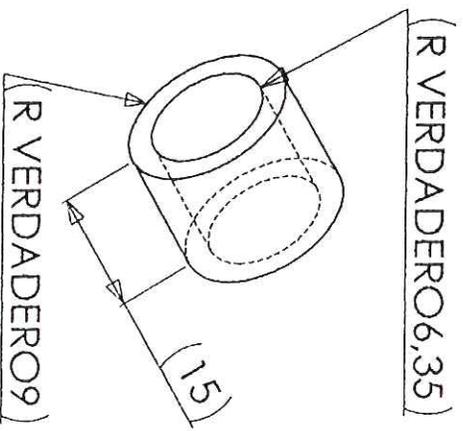
Msc. Eduardo Calderon



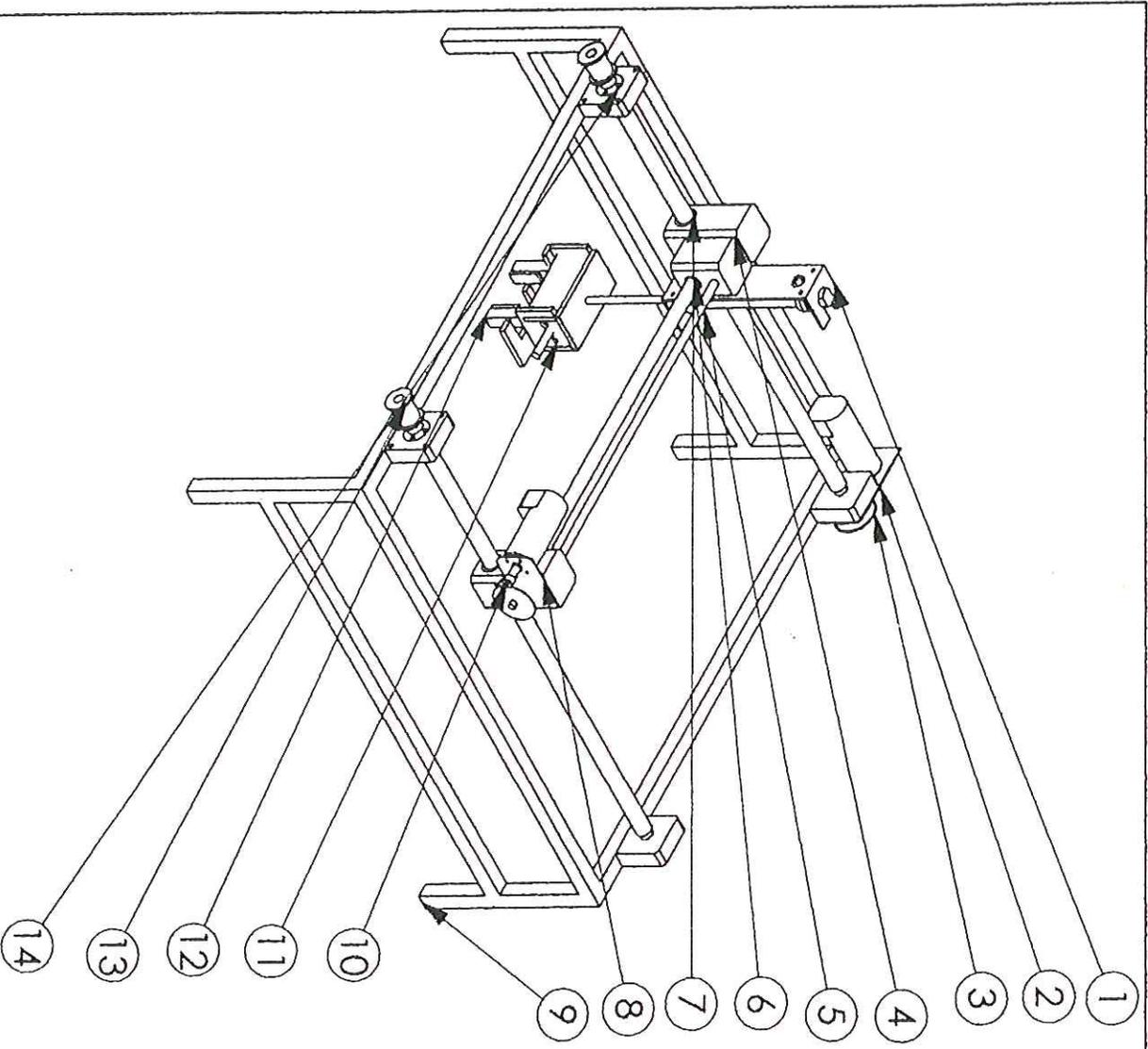
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA	
GUIA GRIPPER	
Elaborado por:	Oscar Jaimes F. William Cuevas M.
Aprobo:	Msc. Eduardo Calderon



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA	
TUERCA GRIPPER	
Elaborado por:	Oscar Jalmes F. William Cuevas M.
Aprobo:	Msc. Eduardo Calderon



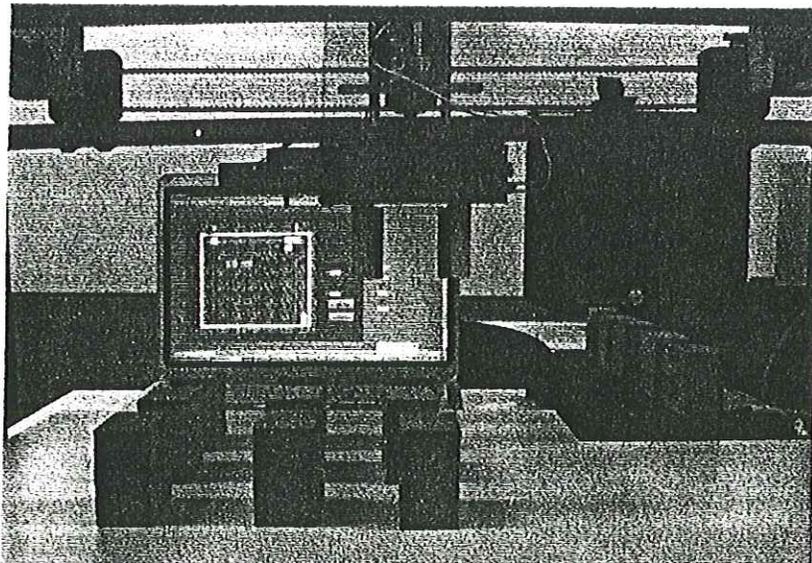
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA	
GRIPPER	
Elaborado por:	Oscar Jaimes F. William Cuevas M.
Aprobado:	Msc. Eduardo Calderon



NUMERO PIEZA	NOMBRE
1	CILINDRO
2	MOTOR PRINCIPAL
3	TORNILLO EJE X
4	BLOQUE TUERCA X
5	GUIA EJE Y
6	BLOQUE TUERCA Y
7	TUERCA BLOQUE X
8	BLOQUE Y
9	BASE ROBOT
10	MOTOR Y
11	GRIPPER
12	PINZA GRIPPER
13	POLEA TRANSMISION
14	CAJA RODAMIENTOS

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE
BUCARAMANGA**
ROBOT PALETIZADOR
 Elaborado por: Oscar Jaimés F.
 William Cuevas M.
 Aprobado: Msc. Eduardo Calderon

MANUAL DE USUARIO DEL ROBOT PALETIZADOR CARTESIANO



INTRODUCCION

Este proyecto fue realizado con el fin de simular un proceso de paletizado llevado a cabo comúnmente en muchas de las empresas del área industrial, en donde el transporte de materia prima es indispensable.

Su principal objetivo es brindar al estudiante una herramienta para el aprendizaje en el área de la automatización industrial y de esta forma abrir su mente a nuevos procesos de automatización o mejoras a procesos ya existentes en el mercado.

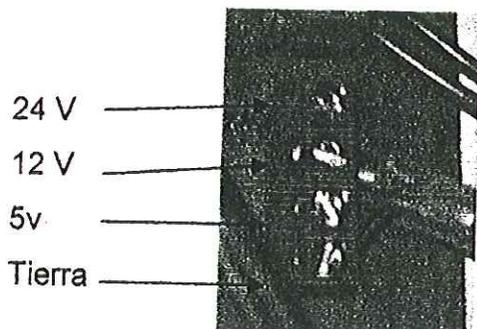
PUESTA EN MARCHA

Recursos Utilizados:

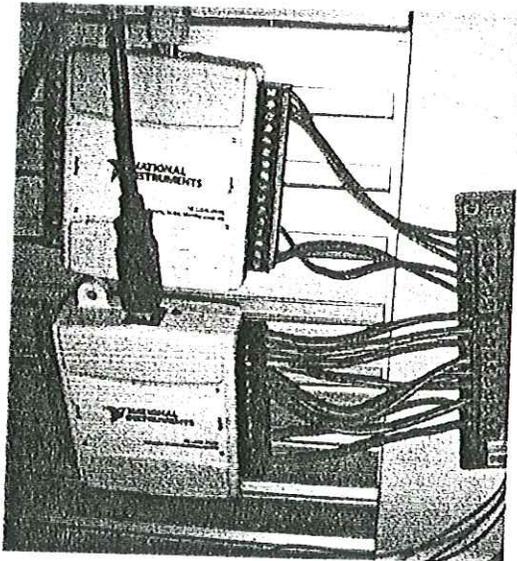
- Un PC con procesador a 800Mhz o superior, dos puertos USB, y espacio libre en disco de 800MB para la instalación de LabView.
- Se requiere también de una línea de aire presurizada para poder accionar el pistón Neumático.
- Dos tarjetas de adquisición de datos de National Instruments, referencia USB-6009.
- Y Por ultimo una fuente de 5V, 12V y 24V.

Después de esto se procede a hacerlas conexiones a la tarjeta:

NOTA: No alimentar antes de iniciar el programa, ya que los motores pueden comenzar a funcionar indebidamente.



Conexiones a las tarjetas USB-6009

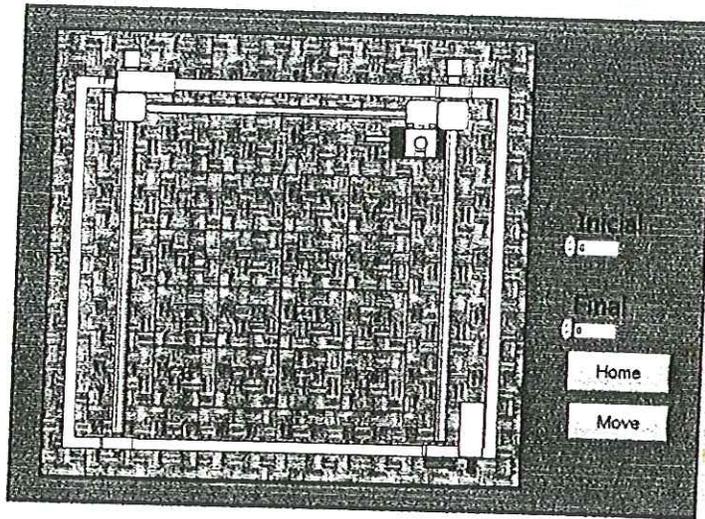


Realizadas las conexiones en las tarjetas y después de conectar las tarjetas USB6009 al computador, se puede dar marcha al programa de control del paletizador.

EJECUCIÓN DEL PROGRAMA

El programa principal o VI principal llamado "Gomelo.vi" corre bajo el programa LabView al igual que sus funciones, este llama a tres funciones o SubVis, llamados "O/CGripper.vi, Final2006.vi, y VariGripper.vi". Estos Cuatro programas se deben encontrar en la misma carpeta para que el programa pueda correr adecuadamente.

Al iniciar el programa se visualizara la siguiente pantalla.



En la casilla etiquetada Inicial damos la posición en donde se va a posicionar el actuador para recoger el artículo y luego ponerlo en el lugar demarcado por la casilla etiquetada Final. Para realizar el recorrido de esta trayectoria debemos presionar el botón Move, y esperar a que el robot termine el recorrido para realizar una nueva rutina.

El botón Home nos posiciona el actuador en la posición inicial, y nos ayuda a tomar un punto de referencia para posicionarse después en una de las casillas demarcadas.

Al iniciar el programa se recomienda presionar el botón Home para que el mecanismo tenga un punto de referencia inicial.