



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES

“Diseño y construcción de brazo mecánico automatizado para uso didáctico”

**Tesis de Grado previa la
Obtención del Título de
Ingeniero Electromecánico**

AUTORES:

*Manuel Salvador Granda Samaniego
Oscar Geovanny Jiménez Sarango*

DIRECTOR:

Ing. Andy Fabricio Vega León

*Loja-Ecuador
2011*



CERTIFICACIÓN

Ing. Andy Fabricio Vega León

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación, bajo el tema **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BRAZO MECANICO AUTOMATIZADO PARA USO DIDACTICO”**, previa a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, realizado por los señores egresados: **Manuel Salvador Granda Samaniego y Oscar Geovanny Jiménez Sarango**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, Marzo de 2011

Ing. Andy Fabricio Vega León

DIRECTOR DE TESIS



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

La investigación, análisis y conclusiones del presente trabajo de tesis les corresponden exclusivamente a sus autores y el patrimonio intelectual a la Universidad Nacional de Loja, autorizamos al Área de la Energía, las Industrias y Recursos Naturales no Renovables y por ende a la carrera de Ingeniería Electromecánica; hacer uso del presente documento en lo conveniente.

Manuel Salvador Granda Samaniego

Oscar Geovanny Jiménez Sarango



PENSAMIENTO

Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado. Un esfuerzo total es una victoria completa.

Mahatma Gandhi

Muchos estudiantes toman al estudio como un líquido que hay que tragar, y no como un sólido que debe masticarse. Luego se preguntan por qué proporciona tan poco nutrimento real.

S. Harris



DEDICATORIA

Con profundo cariño quiero dedicar el presente trabajo a mi madre y a mis hermanas, que con su apoyo moral y económico me han formado encaminándome en el respeto y la responsabilidad. A mi querida esposa e hijos que con su comprensión me motivaron y depositaron en mí su confianza para poder culminar con éxito mis estudios y ver cristalizado mi objetivo.

Manuel Salvador Granda Samaniego

Es preciso recordar a mi familia y seres queridos, a quien agradezco su comprensión por el tiempo robado, y dedico con todo cariño el resultado de un gran esfuerzo conjunto.

Oscar Geovanny Jiménez Sarango



AGRADECIMIENTO

No es grato expresar nuestros sinceros agradecimientos a la Universidad Nacional de Loja, a la carrera de Ingeniería Electromecánica, a los docentes que de manera desinteresada aportaron para que durante este periodo de estudio se cristalice nuestra formación académica y de manera especial a los ingenieros Manuel Ayala y Miguel Angel Caraballo.

Al Ing. José Leonardo Benavides y al Ing. Andy Fabricio Vega por su acertada dirección e invaluable colaboración para la realización de este trabajo.

Los Autores



RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo el aprovechamiento de los avances tecnológicos para solucionar el problema de automatización en las industrias de la provincia de Loja y en general de todo el país. La investigación está estructurada en introducción, seis capítulos, conclusiones y recomendaciones.

Se realizó una compilación detallada de cada uno de los contenidos necesarios para el desarrollo de ésta investigación, posteriormente se estableció el diseño adecuado en base a cálculos matemáticos y sobre todo a sugerencias de profesionales de este campo.

Diseñado el sistema, se realizó la construcción del brazo mecánico, montaje y funcionamiento del mismo, así como esquemas y dibujos en el software SOLIDWORKS 2010 para finalmente realizar las guías de funcionamiento.



SUMMARY

The present investigation has as objective at exploiting technological advances to solve the problem of automation in the industries of the province of Loja and in general across the country. The research is structured in introduction, six chapters, conclusions and recommendations. A detailed of each of the required content for the development of this compilation was performed research, subsequently established design appropriate based on mathematical calculations and above all suggestions of professionals in this field. Designed system, the construction of the mechanical arm, Assembly and operation, as well as schemes and drawings in SOLIDWORKS 2010 software was made to finally make maintenance guides.



INDICE

Contenido

CERTIFICACIÓN	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	III
PENSAMIENTO	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN.....	VII
SUMMARY	VIII
INDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XVII
SIMBOLOGÍA.....	XIXIX
INTRODUCCIÓN	21
PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA	22
ENUNCIADO PROBLEMÁTICO	24
PROBLEMA GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN	25
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	25
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
OBJETIVO GENERAL	26
OBJETIVO ESPECIFICO.....	26
HIPÓTESIS GENERAL	27
HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	27
CAPITULO I.....	28
REVISIÓN DE LITERATURA.....	28
1.1 INTRODUCCION A LA AUTOMATIZACION INDUSTRIAL.....	28
1.2 AUTOMATIZACION Y ROBOTICA	30
1.2.1 Automatización fija.....	31



1.2.2	Automatización programable.....	32
1.2.3	Automatización flexible.....	32
1.3	INTRODUCCION A LOS SISTEMAS ROBOTICOS INDUSTRIALES	32
1.3.1	Fundamentos de robótica	32
1.3.2	Reseña histórica de los sistemas robóticos	33
1.3.3	Definición de robot industrial	34
1.3.4	Sistema Básico de un Robot Manipulador	35
1.3.4.1	El brazo (robot)	36
1.3.4.2	El controlador.....	36
1.3.4.3	Unidad convertora de potencia	37
1.3.5	Morfología de los robots	37
1.3.5.1	Estructura de los robots manipuladores	37
1.3.5.2	Tipos de articulaciones.....	37
1.3.5.3	Estructuras básicas	40
1.3.5.3.1	Configuración cartesiana.....	41
1.3.5.3.2	Configuración cilíndrica.....	41
1.3.5.3.3	Configuración polar o esférica.....	42
1.3.5.3.4	Configuración angular.....	42
1.3.5.3.5	Configuración scara.....	42
1.3.5.4	Volumen de trabajo.....	43
	CAPITULO II.....	44
2.1	ACTUADORES.....	44
2.1.1	Tipos de actuadores.....	44
2.1.1.1	Actuadores eléctricos.....	44
2.1.1.1.1	Motores de cd.....	45
2.1.1.1.2	Motores paso a paso	45
2.1.1.1.3	Servomotores de ca	45
2.1.1.2	Actuadores neumáticos e hidraulicos.....	45
2.2	EFFECTORES FINALES.....	46



2.2.1 Tipos de efectores finales.....	46
CAPITULO III.....	48
MATERIALES Y METODOS	48
3.1 INTRODUCCIÓN	48
3.2 ANÁLISIS CINEMÁTICO	49
3.2.1 Simples.....	51
3.2.2 Compuestas	52
3.2.3 Abiertas	52
3.2.4 Cerradas.....	52
3.2.5 Mecanismos	53
3.2.6 Grupo de elementos primarios	53
3.2.7 Movilidad de los Mecanismos	54
3.3 ANÁLISIS DINÁMICO	56
3.3.1 Mano Robótica.....	578
3.3.2 Componente vertical de la estructura del brazo robótico (Eje Z)	60
3.3.3 Antebrazo	63
3.3.4 Brazo	65
3.4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	666
3.4.1 Análisis de tensiones de base	70
3.4.1.1 Descripción	70
3.4.1.2 Cargas y restricciones	72
3.4.1.3 Contacto	72
3.4.1.4 Conclusión	76
3.4.2 Análisis de tensiones de ensamble de brazo	77
3.4.2.1 Descripción	77
3.4.2.2 Cargas y restricciones	79
3.4.2.3 Contacto	79
3.4.2.4 Conclusión	83
3.4.3 Análisis de tensiones de antebrazo.....	84



3.4.3.1 Descripción	84
3.4.3.2 Cargas y restricciones	866
3.4.3.4 Conclusión	91
3.4.4 Análisis de tensiones de ensamble de bajante (eje z).....	92
3.4.4.1 Descripción	92
3.4.4.2 Cargas y restricciones	95
3.4.4.3 Contacto	95
3.4.4.4 Conclusión	99
3.4.5 Análisis de tensiones de ensamble de mano	100
3.4.5.1 Descripción	100
3.4.5.2 Cargas y restricciones	103
3.4.5.3 Contacto	1033
3.4.5. 4 Conclusión	107
3.5 AUTOMATIZACION	¡Error! Marcador no definido. 108
3.5.1 LabVIEW	108
3.5.1.1 El panel frontal.....	109
3.5.1.2 El diagrama de bloque.....	10909
3.5.1.3 SubVIs.....	1100
3.5.2 Definición y Estructura los servos motores	1100
3.5.2.1 Motor de corriente continua (DC).....	111
3.5.2.2 Engranajes reductores	1111
3.5.2.3 Sensor de desplazamiento	1111
3.5.2.4 Circuito de control	112
3.5.2.5 Principios de Funcionamiento.....	1122
3.5.2.6 Tipologías.....	114
3.5.2.7 Control de Servos.....	115
3.5.2.8 Controladores Serie de Servos	1155
3.5.3 SSC-32	116
3.5.3.1 Comunicación Serial	1177



3.5.3.2 RS-232	1188
3.5.3.2.1 Pines del conector DB-9.....	119
CAPITULO IV.....	120
RESULTADOS.....	120
4.1 CÁLCULO MATEMÁTICO.....	120
4.1.1 Mano Robótica.....	120
4.1.2 Componente vertical de la estructura del brazo robótico (eje) Z.....	1200
4.1.3 Antebrazo	122
4.1.4 Brazo	123
4.2 AUTOMATIZACIÓN	124
4.2 .1 Conexiones.....	124
4.2.2 Diagrama de bloques.....	1266
4.2.2.1 AngToPWM SSC32 Block Diagram	1266
4.2.2.2 AngToPWM SSC32 Front Panel	1277
4.2.2.3 Control Robot Block Diagram	1288
4.2.2.4 Control Robot Front Panel	12929
4.2.2.5 Registro_ Key Block Diagram.....	1300
4.2.2.6 Registro_key Front Panel.....	1311
4.2.2.7 Control Robot Keyboard Block Diagram	1322
4.2.2.8 Control Robot Keyboard Front Panel	1333
DISCUSIÓN	1344
CAPITULO V.....	135
5.1 VALORACION TECNICO-ECONOMICA Y AMBIENTAL.....	135
5.1.1 Valoración técnico-económica.....	135
5.1.2 Valoración ambiental.....	136
CONCLUSIONES	1377
RECOMENDACIONES	1388
BIBLIOGRAFIA	13939
ANEXOS	1411



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Sistema básico de un robot Manipulador.....	36
Figura 1.2 Tipos de Articulaciones.....	38
Figura 1.3 Perdida de grados de libertad en estructuras con dos eslabones.....	39
Figura 1.4 configuraciones básicas de robots manipuladores.....	40
Figura 1.5 Volúmenes de trabajo para diversas configuraciones básicas.....	43
Figura 3.1 Cadena Cinemática Simple	51
Figura 3.2. Cadena Cinemática compuesta.....	52
Figura 3.3 Cadena Cinemática Abierta.....	52
Figura 3.4 Cadena Cinemática Cerrada.....	52
Figura 3.5 Elemento Primario.....	53
Figura 3.6 Esquema Cinemático del brazo robótico.....	55
Figura 3.6.1 Dirección de fuerzas aplicadas al brazo.....	58
Figura 3.7 Esquema de pinza del brazo robótico	58
Figura 3.8 Esquema de Rueda dentada acoplada al motor sobre cremallera.....	59
Figura 3.9 Sistema de Cargas Verticales.....	60
Figura 3.10 Cargas que actúan en la transmisión.....	62
Figura 3.11 Sistema de cargas que actúan en el Antebrazo.....	63
Figura 3.12 Sistema de cargas que actúan en el Brazo	65
Figura 3.13 Base 21.1-Estudio 1-Tensiones-Tensiones1.....	74
Figura 3. 14 Base 21.1-Estudio 1-Desplazamientos-Desplazamientos1.....	75
Figura 3.15Base 21.1-Estudio 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1...75	
Figura 3.16 Percepción del Diseño.....	76
Figura 3.17 Ensamble brazo-Estudio 2-Tensiones-Tensiones1	81



Figura 3.18 Ensamble brazo-Estudio 2-Desplazamientos-Desplazamientos1.....	81
Figura 3.19 Ensamble brazo-Estudio 2-Deformaciones unitarias-Deformaciones.....	82
Figura 3.20 Percepción del diseño.....	82
Figura 3.21 Antebrazo-Estudio 2-Tensiones-Tensiones1.....	89
Figura 3.22 Antebrazo-Estudio 2-Desplazamientos-Desplazamientos1.....	89
Figura 3.23 Antebrazo-Estudio 2-Deformaciones unitarias-Deformaciones.....	90
Figura 3.24 Percepción del diseño.....	90
Figura 3.25 Ensamble bajante-Estudio 1-Tensiones-Tensiones1.....	97
Figura 3.26 Ensamble bajante-Estudio 1-Desplazamientos-Desplazamientos1.....	97
Figura 3.27 Ensamble bajante-Estudio 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones.....	98
Figura 3.28 Percepción del Diseño.....	98
Figura 3.29 Ensamble mano-Estudio 1-Tensiones-Tensiones1.....	105
Figura 3.30 Ensamble mano-Estudio 1-Desplazamientos-Desplazamientos.....	105
Figura 3.31 Ensamble mano-Estudio 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones.....	106
Figura 3.32 Percepción del diseño.....	106
Figura 3.33 Panel frontal.....	109
Figura 3.34 Diagrama de bloques.....	110
Figura 3.35 Componentes de un servo.....	112
Figura 3.36 Colores de los cables de los principales fabricantes de servos.....	113
Figura 3.37 Pulsos PWM para controlar servos.....	114
Figura 3.38 Controlador SSC-32.....	116
Figura 3.39 Conexiones entre SSC-32 y tarjeta modem bluetooth.....	117
Figura 3.40 Conector extremo de la computadora y expuesta del cable.....	119



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Autómatas Históricos.....	39
Tabla 3.1 Movimientos Independientes de giro y de traslación.....	57
Tabla 3.2 Información de Modelo.....	75
Tabla 3.3 Propiedades del estudio.....	75
Tabla 3.4 Unidades	75
Tabla 3.5 Propiedades de material.....	76
Tabla 3.6 Sujeción.....	76
Tabla 3.7 Carga.....	77
Tabla 3.8 Información de malla.....	77
Tabla 3.9 Fuerza de reacción.....	78
Tabla 3.10 Fuerza de cuerpo libre.....	78
Tabla 3.11 Momentos de cuerpo libre.....	78
Tabla 3.12 Resultados del Estudio.....	78
Tabla 3.13 Información de Modelo.....	82
Tabla 3.14 Propiedades del estudio	82
Tabla 3.14 Unidades	83
Tabla 3.16 Propiedades de material.....	83
Tabla 3.17 Sujeción.....	84
Tabla 3.18 Carga.....	84
Tabla 3.19 Información de malla.....	84
Tabla 3.20 Fuerza de reacción.....	85
Tabla 3.21 Fuerza de cuerpo libre.....	85
Tabla 3.22 Momentos de cuerpo libre.....	85
Tabla 3.23 Resultados del Estudio.....	85



Tabla 3.24 Información de Modelo.....	89
Tabla 3.25 Propiedades del estudio	89
Tabla 3.26 Unidades	90
Tabla 3.27 Propiedades de material.....	90
Tabla 3.28 Sujeción.....	91
Tabla 3.29 Carga.....	91
Tabla 3.30 Información de malla.....	92
Tabla 3.31 Fuerza de reacción.....	92
Tabla 3.32 Fuerza de cuerpo libre.....	92
Tabla 3.33 Momentos de cuerpo libre.....	92
Tabla 3.34 Resultados del Estudio.....	93
Tabla 3.35 Información de Modelo.....	97
Tabla 3.36 Propiedades del estudio	98
Tabla 3.37 Unidades	98
Tabla 3.38 Propiedades de material.....	98
Tabla 3.39 Sujeción.....	100
Tabla 3.40 Carga.....	100
Tabla 3.41 Información de malla.....	100
Tabla 3.42 Fuerza de reacción.....	101
Tabla 3.43 Fuerza de cuerpo libre.....	101
Tabla 3.44 Momentos de cuerpo libre.....	101
Tabla 3.45 Resultados del Estudio.....	101
Tabla 3.46 Información de Modelo.....	105
Tabla 3.47 Propiedades del estudio	106



Tabla 3.48 Unidades	106
Tabla 3.49 Propiedades de material.....	106
Tabla 3.51 Sujeción.....	108
Tabla 3.52 Carga.....	108
Tabla 3.53 Información de malla.....	108
Tabla 3.54 Fuerza de reacción.....	109
Tabla 3.55 Fuerza de cuerpo libre.....	109
Tabla 3.56 Momentos de cuerpo libre.....	109
Tabla 3.57 Resultados del Estudio.....	109



SIMBOLOGÍA

- W: Grados de Movilidad.
- n : # de todos los elementos de un mecanismo.
- p_1 : # de pares cinemáticos de un movimiento.
- p_2 : # de pares cinemáticos de dos movimientos.
- p_3 : # de pares cinemáticos de tres movimientos.
- p_4 : # de pares cinemáticos de cuatro movimientos.
- p_5 : # de pares cinemáticos de cinco movimientos.
- Q: Peso que sostiene la mano
- F_f : Fuerza de rozamiento
- N_f : Normal a la fuerza de rozamiento
- η_s : Coeficiente de fricción seco.
- r : Radio de la rueda dentada (cm)
- Mt: Momento Torsor
- Q: Peso sostiene al mano
- W_5 : Peso propio de mano
- a : Aceleración lineal
- W_4 : Peso de la comp. vertical
- F_i : Fuerza de inercia
- g : Gravedad
- t : Tiempo requerido para elevar el peso
- Es: Distancia de elevación del peso
- Fd: Fuerza dinámica o carga axial
- Mt1: El momento necesario para la transmisión de movimiento
- Mroz: Momento de rozamiento en el cojinete de apoyo
- z : El número de entradas de la rosca
- S1**: El paso del tornillo sin fin
- a_1 : Aceleración Angular
- t_1 : Tiempo



im: Momento de inercia másico
Wt: Masa total del antebrazo
b: Ancho del antebrazo
c: Espesor del antebrazo
a: Largo de antebrazo
Md= Mt: Momento dinámico
N2: Potencia del motor
W1: Velocidad angular
 α_1 : Aceleración Angular
t1: Tiempo
Im1: Momento de inercia másico
Wt1: Masa total del brazo
b1: Ancho del brazo
c1: Espesor del brazo
Md1= Mt1: Momento dinámico
N1: Potencia del motor
W2: Velocidad angular



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene por finalidad presentar una metodología de construcción selección y cálculo para el diseño mecánico y electrónico de las principales partes de un BRAZO MECANICO AUTOMATIZADO. Para lo cual se parte de los principios fundamentales de la mecánica, conocimientos de resistencia de materiales, diseño de elementos de máquinas, materiales de construcción mecánica, entre otros.

En la parte de automatización se inicia con el software de control, actuadores, tarjeta de control para finalmente terminar con las conexiones.

El sistema consiste en el acoplamiento de elementos móviles accionados por motores de corriente continua (servomotores) y censada para que la señal sea procesada por una tarjeta de control que se programara para realizar los movimientos.



PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA

Con el paso de los años, la industria en general ha alcanzado un alto grado de automatización. Este proceso ha sido impulsado por un nivel mayor de competitividad del mercado que ha obligado a las empresas a buscar modos de disminuir costos y, aumentar la calidad, mejorando la organización global de la producción para responder a la demanda.

La automatización exige que las distintas funciones de una planta trabajen juntas como si fuesen una sola entidad. Hasta hace poco, eran sistemas cerrados, buenos en el control individual de los procesos pero incapaces de optimizar el funcionamiento de la planta.

En la industria actual, la mayor parte de los procesos de fabricación son automatizados, la decisión, la inteligencia que realiza las acciones de fabricación no la realiza el ser humano. La inteligencia del proceso está contenida en la unidad de control o mando del sistema de fabricación.

La relación tecnológica de esa inteligencia ha adoptado diferentes formas o implementaciones a lo largo de la historia industrial. Desde automatismos puramente mecánicos, hasta los autómatas programables actuales.

Actualmente se puede afirmar que la mayoría de los procesos automatizados están controlados por autómatas programables y en menor medida por computadoras de control de procesos, reguladores industriales y dataloggers.



La Automatización Industrial ha efectuado un enorme progreso y desarrollo en la última década. Elementos de hardware cada día más potentes, la incorporación de nuevas funcionalidades, y el desarrollo de las redes de comunicación industriales, permiten realizar excelentes sistemas de Automatización Industrial en tiempos mínimos.

El estar inmersos en cuanto a ciencia y tecnología, permite el desarrollo de temas de investigación, sobre sistemas mecánicos automatizados que sea capaz de realizar toda clase de movimientos.



ENUNCIADO PROBLEMÁTICO

En nuestra área la característica es la falta de laboratorios experimentales didácticos, lo cual hace necesario la implementación de los mismos, en lo referente al estudio de los automatismos eléctricos, en nuestro caso el uso de programas para control automático.

De tal manera se hace indispensable que el AEIRNNR cuente con un brazo mecánico automatizado de uso didáctico, en el cual el estudiante pueda realizar pruebas y prácticas de programación de automatismos.



PROBLEMA GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

Falta de conocimientos de los estudiantes de la carrera en Ingeniería Electromecánica sobre sistemas automatizados de procesos mecánicos, capaz de realizar toda clase de movimientos, en el cual los estudiantes tendrán la posibilidad de observar el proceso y comportamientos de un diseño mecánico automatizado.

PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- Ausencia de información técnica que permita caracterizar un sistema mecánico automatizado.
- Desconocimiento de software y hardware que permita la simulación virtual de sistemas mecánicos automatizados
- No existencia de procesos automáticos en el área que permitan realizar prácticas y visualizar su funcionamiento y aplicación.
- Ausencia de guías en el currículo de la carrera del área que faciliten el proceso de enseñanza aprendizaje de sistemas mecánicos automatizados.
- Falta de difusión a lo interno y externo de trabajos de investigación referentes al tema en la carrera de Electromecánica.



OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un brazo mecánico automatizado con fines didácticos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Examinar la información necesaria que permita caracterizar un sistema mecánico automatizado para realizar el movimiento en los tres ejes.
- Seleccionar el software de simulación, para pruebas y puesta a punto del sistema mecánico automatizado.
- Diseñar y construir los dispositivos de control para accionar los elementos que constituyan el sistema mecánico automatizado.
- Elaborar guías para el desarrollo de clases prácticas de sistemas mecánicos automatizados.
- Socializar los resultados obtenidos en nuestra investigación en el área a nivel interno y externo.



PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS

HIPÓTESIS GENERAL

Aplicando los conocimientos adquiridos en las aulas de nuestra carrera tanto teóricos como prácticos y con el empleo de la tecnología local es posible el diseño y construcción de un brazo mecánico automatizado de uso didáctico para realizar prácticas de automatización.

HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Con la búsqueda de información detallada sobre los brazos mecánicos automatizados y en especial sobre los diferentes tipos de actuadores, el estudiantado pueda emprender nuevos proyectos de automatización.
- Estableciendo parámetros de diseño adecuados podremos escoger los actuadores apropiados para un funcionamiento óptimo del brazo mecánico.
- La construcción del brazo mecánico didáctico, posibilitará que el estudiante de la carrera pueda realizar prácticas de programación de automatismos
- El desarrollo de guías para prácticas de automatización, se socializara con el estudiante para que comprenda el funcionamiento del brazo mecánico.



CAPITULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 INTRODUCCION A LA AUTOMATIZACION INDUSTRIAL

En la industria actual, la mayor parte de los procesos de fabricación son automatizados. En los sistemas automatizados las decisiones, la inteligencia que realiza las acciones de fabricación no las realiza el ser humano. La inteligencia del proceso está contenida en la unidad de control o mando del sistema de fabricación.

La realización tecnológica de esa inteligencia ha adoptado diferentes formas o implementaciones a lo largo de la historia industrial. Desde automatismos puramente mecánicos, hasta los autómatas programables actuales.

El término automatización proviene de la palabra griega “auto” y significa la ejecución por medios propios de un proceso, en el que materia, información o energía, es cambiado o transformado. Lamentablemente aun no hay una definición estandarizada para automatización, que sea ampliamente reconocida por las sociedades de ingenieros o institutos normativos.



La automatización de procesos mecánicos se la realiza mediante dispositivos que permiten a las máquinas o a las instalaciones funcionar automáticamente. Un automatismo bien concebido:

- Simplifica considerablemente del hombre a quien libera de la necesidad de estar permanentemente situado frente a la máquina pudiendo dedicarse a otras actividades más nobles.
- Elimina las tareas complejas, peligrosas, pesadas o indeseables haciéndolas ejecutar por la máquina.
- Facilita los cambios en los procesos de fabricación permitiendo pasar de una cantidad o de un tipo de producción a otro.
- Mejora la calidad de los productos al supervisar la propia máquina los criterios de fabricación y las tolerancias que serán respetadas a lo largo del tiempo.
- Incrementa la producción y la productividad.
- Permite economizar material y energía.
- Aumenta la seguridad del personal.
- Controla y protege las instalaciones y las máquinas.

Se pueden diferenciar tres fases:

- La primera fase llega hasta el comienzo del siglo pasado, en la que el componente central es el mecánico.



- Luego en la segunda fase hubo un desarrollo muy grande y acelerado de la automatización gracias a la introducción de los componentes eléctricos y electrónicos.
- En la actualidad la automatización se encuentra ya en la tercera fase gracias a la puesta en funcionamiento de la computación y la informática.

1.2 AUTOMATIZACION Y ROBOTICA

La automatización y la robótica son dos tecnologías estrechamente relacionadas.

La automatización es una tecnología que está relacionada con el empleo de sistemas mecánicos, electrónicos basados en computadoras en la operación y control de la producción.

Ejemplos de esta tecnología son: líneas de transferencia, maquinas de montaje mecanizado, sistemas de control de realimentación (aplicados a los procesos industriales), maquinas con control numérico y robots.

En consecuencia la robótica es una forma de automatización industrial, pero en este caso se da un paso más; hay desplazamiento de cargas, manipulación de objetos y un fuerte componente de realimentación. Es decir, este tipo de automatización permite la manipulación automática y programable de acciones y objetos.

La realimentación es un proceso imprescindible en la robotización, ya que dota a un proceso de capacidad para captar información que, una vez procesada por la máquina,



permite modificar su comportamiento (sus acciones). Una máquina que posea la capacidad de realimentación, es capaz de modificar sus respuestas en función de las variaciones de su entorno.

Centrando el análisis en las diferencias que existen entre automatización y robotización, puede decirse que una máquina automatizada (autómata) responde siempre de igual manera ante sucesos de idéntica naturaleza. Mientras que por el contrario un robot, es decir, una máquina robotizada, se caracteriza porque puede manejar objetos y, lo más interesante, es un dispositivo multifuncional y reprogramable. Una máquina robotizada es capaz de hacer trabajos totalmente diferentes y adaptarse al medio, ya que puede tomar decisiones en función de las condiciones exteriores.

Hay tres clases amplias de automatización industrial:

- Automatización fija
- Automatización programable
- Automatización flexible

1.2.1 Automatización fija

Se utiliza cuando el volumen de producción es muy alto y por tanto es adecuada para diseñar equipos especializados para procesar el producto (o un componente de un producto) con alto rendimiento y con elevadas tasas de producción.



1.2.2 Automatización programable

Se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de productos a obtener. En este caso el equipo de producción está diseñado para ser adaptable a variaciones en la configuración del producto. Esta característica de adaptabilidad se realiza haciendo funcionar el equipo bajo el control de un “programa” de instrucciones que se preparo especialmente para el producto dado. El programa se introduce por lectura en el equipo de producción y este último realiza la secuencia particular de operaciones de procesamiento o montaje para obtener el producto.

1.2.3 Automatización flexible

Se considera adecuado utilizarlo cuando se tiene un volumen de producción medio; los sistemas de automatización flexibles suelen estar constituidos por una serie de estaciones de trabajo que están interconectadas por un sistema de almacenamiento y manipulación de materiales. De los tres tipos de automatización, la robótica coincide más estrechamente con la automatización programable.

1.3 INTRODUCCION A LOS SISTEMAS ROBOTICOS INDUSTRIALES

En el presente proyecto se construirá un brazo robótico de configuración scara por esta razón presentamos una breve introducción a la robótica industrial.

1.3.1 Fundamentos de robótica



La robótica es un componente esencial de la automatización en los procesos mecánicos de fabricación, afectará la mano de obra humana a todos los niveles y mejorará la calidad de los diferentes productos así como el estilo de vida de los trabajadores y consumidores.

1.3.2 Reseña histórica de los sistemas robóticos

A lo largo de toda la historia el hombre se ha sentido fascinado por las máquinas y dispositivos capaces de imitar las funciones y movimientos de los seres vivos. Los griegos tenían una palabra específica para denominar a estas máquinas “automatos”. De esta palabra se deriva la actual autómatas: máquina que imita la figura y movimientos de un ser animado.

A través de la historia se han realizado importantes sistemas autómatas, en la tabla 1.1 se presenta un resumen de los autómatas a través de la historia

Tabla 1.1 Autómatas Históricos

Año	AUTOR	AUTOMATA
1352	Desconocido	Gallo de la catedral de Strasburgo
1499	L. Da Vinci	León mecánico
1525	J. Turriano	Hombre de palo
1738	J. de Vaucanson	Flautista, tamborilero, pato, muñecas mecánicas de tamaño humano
1769	W. Von Kempelen	Jugador de ajedrez
1770	Familia Droz	Escriba, organista, dibujante
1805	H. Mailardet	Muñeca mecánica capaz de dibujar

Fuente: BARRIENTOS, Fundamentos de robótica



1.3.3 Definición de robot industrial

La definición comúnmente aceptada posiblemente es la de la asociación de industrias robóticas (RIA), que ligeramente modificada, ha sido aceptada por la organización internacional de estándares (ISO) que define al robot industrial como:

“Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas”.

Una definición más completa es la establecida por la Asociación Francesa de Normalización (AFNOR) que define primero el manipulador y, basándose en dicha definición, el robot.

Manipulador, es un mecanismo formado generalmente por elementos en serie, articulados entre sí, destinado al agarre y desplazamiento de objetos. Es multifuncional y puede ser gobernado directamente por un operador humano o mediante dispositivo lógico.

Robot, es un manipulador automático servocontrolado, reprogramable, polivalente, capaz de posicionar y orientar piezas, útiles o dispositivos especiales, siguiendo trayectorias variables, reprogramables, para la ejecución de tareas variadas. Normalmente tiene la forma de uno o varios brazos terminados en una muñeca. Su unidad de control incluye un dispositivo de memoria y ocasionalmente de percepción



del entorno. Normalmente su uso es el de realizar una manera de tarea cíclica, pudiéndose adaptar a otra sin cambios permanentes en su material.

En todas las definiciones anteriores se concuerda con la aceptación del robot industrial como un brazo mecánico con capacidad de manipulación y que incorpora un control más o menos complejo. Un sistema robotizado, en cambio, es un concepto más amplio, engloba todos aquellos dispositivos que realizan tareas de forma automática en sustitución de un ser humano y que pueden incorporar o no a más de un robot, siendo esto último lo más frecuente.

1.3.4 Sistema Básico de un Robot Manipulador

Un robot manipulador operado individualmente necesita como mínimo los siguientes componentes como se muestra en la figura 1.1:

- El brazo (robot)
- El controlador
- Unidad convertora de potencia

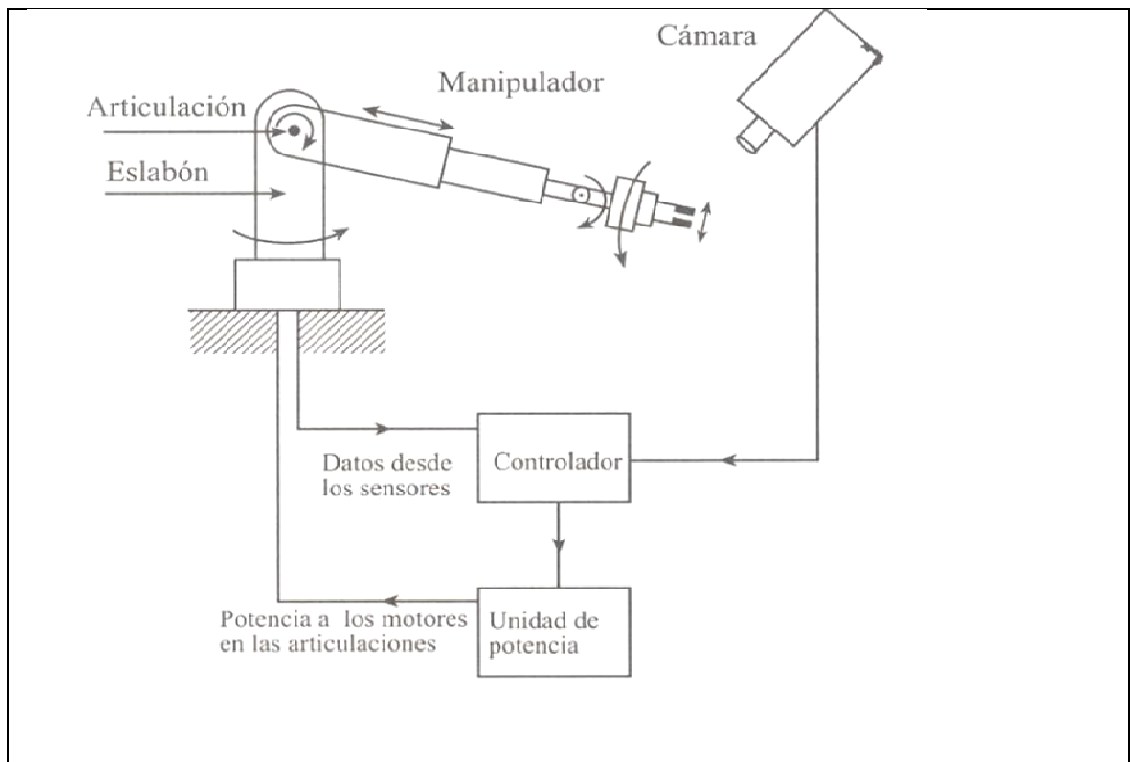


Fig. 1.1 Sistema básico de un robot Manipulador.

1.3.4.1 El brazo (robot)

Consiste en un sistema de articulaciones mecánicas (eslabones, engranajes, transmisión por cadena o correa), actuadores (motores eléctricos, neumáticos o hidráulicos) y sensores de posición usados en el sistema de posición de bucle cerrado.

1.3.4.2 El controlador

Generalmente basado en un microcomputador en nuestro caso será una tarjeta SSC-32, que recibe las señales de los sensores de posición y envía comandos a la fuente de potencia controlada (o unidad convertora).



1.3.4.3 Unidad conversora de potencia

Es la encargada de alimentar los motores que actúan las articulaciones

1.3.5 Morfología de los robots

1.3.5.1 Estructura de los robots manipuladores

Los robots manipuladores son esencialmente brazos articulados de forma más precisa un manipulador industrial convencional es una cadena cinemática abierta formada por un conjunto de eslabones o elementos de la cadena interrelacionados mediante articulaciones o pares cinemáticos, tal como se muestra en la figura 1.2. Las articulaciones permiten el movimiento relativo entre los sucesivos eslabones.

1.3.5.2 Tipos de articulaciones

Existen diferentes tipos de articulaciones. Las más utilizadas son las que se muestran en la figura 1.2.

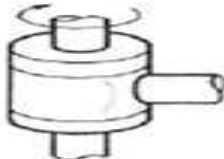
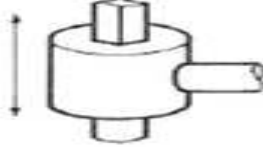
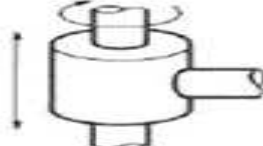

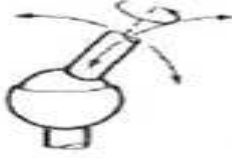
ESQUEMA	ARTICULACIÓN	GRADOS LIBERTAD
	ROTACIÓN	1
	PRISMÁTICA	1
	CILÍNDRICA	2
	PLANAR	2
	ESFÉRICA (RÓTULA)	3

Fig. 1.2 Tipos de Articulaciones

- La articulación de rotación suministra un grado de libertad consistente en una rotación alrededor del eje de la articulación. Esta articulación es con diferencia la más empleada.
- En la articulación prismática el grado de libertad consiste en una traslación a lo largo del eje de la articulación.
- En la articulación cilíndrica existen dos grados de libertad: una rotación y una traslación, como se indica en la figura 1.2
- La articulación planar está caracterizada por el movimiento de desplazamiento en un plano, existiendo por tanto dos grados de libertad.

- Por último la articulación esférica combina tres giros en tres direcciones perpendiculares en el espacio.

Los grados de libertad son el número de parámetros independientes que fijan la situación del efector final. El número de grados de libertad suele coincidir con el número de eslabones de la cadena cinemática. Así, en la figura 1.3 a) se ilustra una estructura con dos eslabones, dos articulaciones prismáticas y dos grados de libertad.

Sin embargo pueden existir casos degenerados, tal como se ilustra en la figura 1.3 b) en la cual se aprecia que, aunque existan dos eslabones y dos articulaciones prismáticas, tan solo se tiene un grado de libertad. Por consiguiente, en general, el número de grados de libertad es menor o igual que el número de eslabones de la cadena cinemática.



Fig. 1.3 Perdida de grados de libertad en estructuras con dos eslabones a) grados de libertad

b) un grado de libertad.

1.3.5.3 Estructuras básicas

La estructura típica de un manipulador consiste en un brazo compuesto por elementos con articulaciones entre ellos. En el último enlace se coloca un órgano terminal o efector final tal como una pinza o un dispositivo especial para realizar operaciones.

Se consideran, en primer lugar, las estructuras más utilizadas como brazo de un robot manipulador. Estas estructuras tienen diferentes propiedades en cuanto a espacio de trabajo y accesibilidad a posiciones determinadas. En la figura 1.4 se muestran cuatro configuraciones básicas.

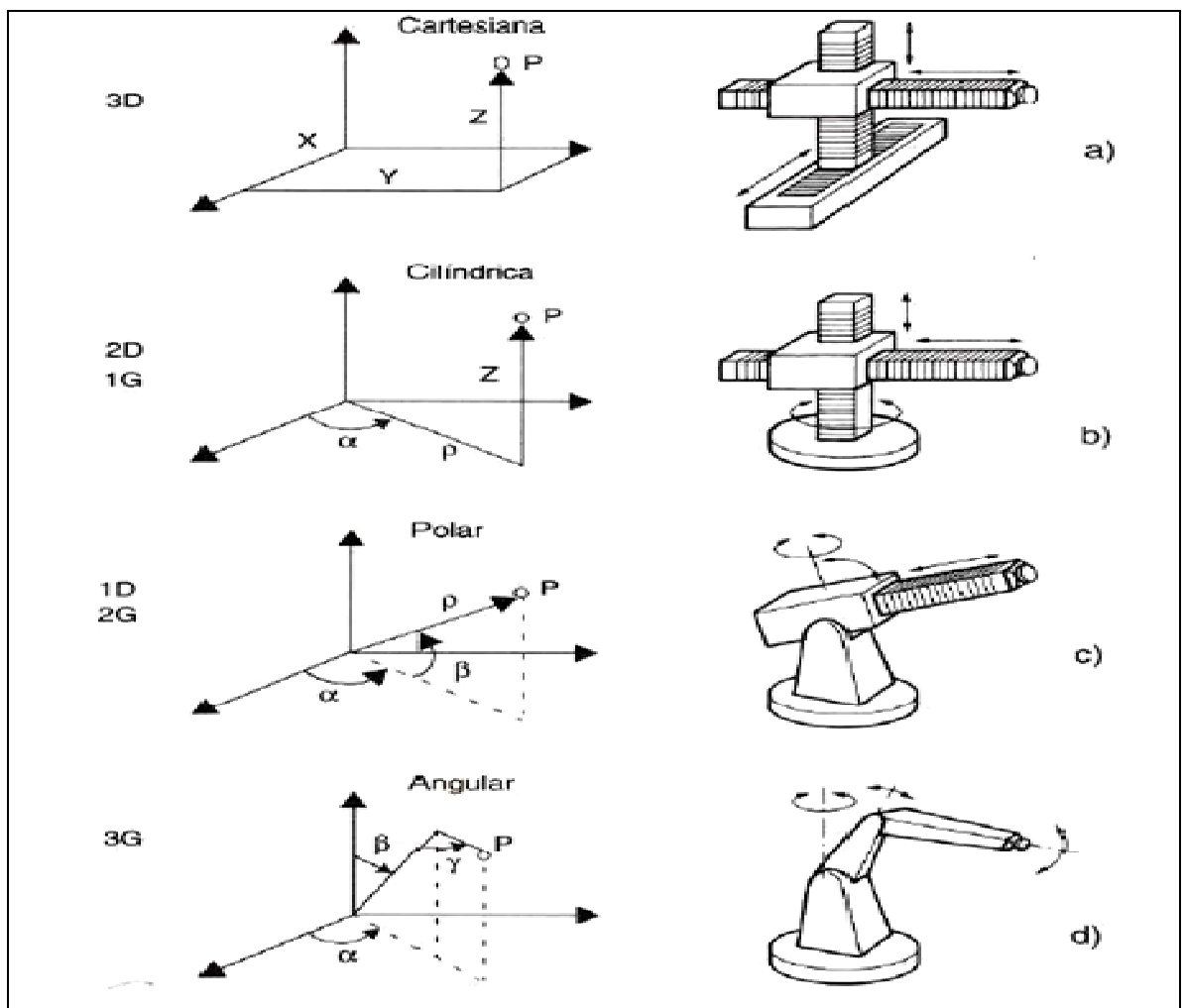


Figura 1.4 configuraciones básicas de robots manipuladores



1.3.5.3.1 Configuración cartesiana

Se ilustra en la figura 1.4a. La configuración tiene tres articulaciones prismáticas (3D o estructura PPP) esta configuración es bastante usual en estructuras industriales tales como pórticos, empleadas para el transporte de cargas voluminosas.

La especificación de la posición de un punto se efectúa mediante las coordenadas cartesianas x , y , z los valores que deben tomar las variables articulares corresponden directamente a las coordenadas que toma el extremo del brazo. Por consiguiente en esta configuración se simplifica la tarea del controlador del robot que debe generar las órdenes para ejecutar una trayectoria definida mediante una secuencia de puntos expresados en coordenadas cartesianas.

Sin embargo, la configuración no resulta adecuada para acceder a puntos situados en espacios relativamente cerrados y su volumen de trabajo es pequeño cuando se compara con el que puede obtenerse con otras configuraciones.

1.3.5.3.2 Configuración cilíndrica

Esta configuración tiene dos articulaciones prismáticas y una de rotación (2D, 1G), la primera articulación es normalmente de rotación (estructura RPP), como se muestra en la figura 1.4b la posición se especifica de forma natural en coordenadas cilíndricas.



1.3.5.3.3 Configuración polar o esférica

Esta configuración se caracteriza por dos articulaciones de rotación y una prismática (2G, 1D o estructura RRP). En este caso, las variables articulares expresan la posición del extremo del tercer enlace en coordenadas polares, tal como se muestra en la figura 1.4c.

1.3.5.3.4 Configuración angular

Esta configuración es una estructura con tres articulaciones de rotación (3G o RRR), tal como se muestra en la figura 1.4d). La posición del extremo final se especifica de forma natural en coordenadas angulares.

La estructura tiene un mejor acceso a espacios cerrados y es fácil desde el punto de vista constructivo. Es muy empleada en robots manipuladores industriales, especialmente en tareas de manipulación que tengan una cierta complejidad.

1.3.5.3.5 Configuración scara

Esta configuración esta especialmente diseñada para realizar tareas de montaje en un plano. Está constituida por dos articulaciones de rotación con respecto a dos ejes paralelos y una de desplazamiento en sentido perpendicular al plano.

1.3.5.4 Volumen de trabajo

El volumen de trabajo es el término que se refiere al espacio dentro del cual el robot puede manipular el extremo de su muñeca, mas no del efector final, lo cual se lo hace por conveniencia ya que los efectores finales pueden ser de diferentes tamaños y además no podrían alcanzar algunos puntos dentro del volumen normal de trabajo (ver figura 1.5).

El volumen de trabajo viene determinado por las siguientes características físicas del robot:

- La configuración física del robot
- Los tamaños de componentes del cuerpo, del brazo y de la muñeca.
- Los límites de los movimientos de las articulaciones del robot.

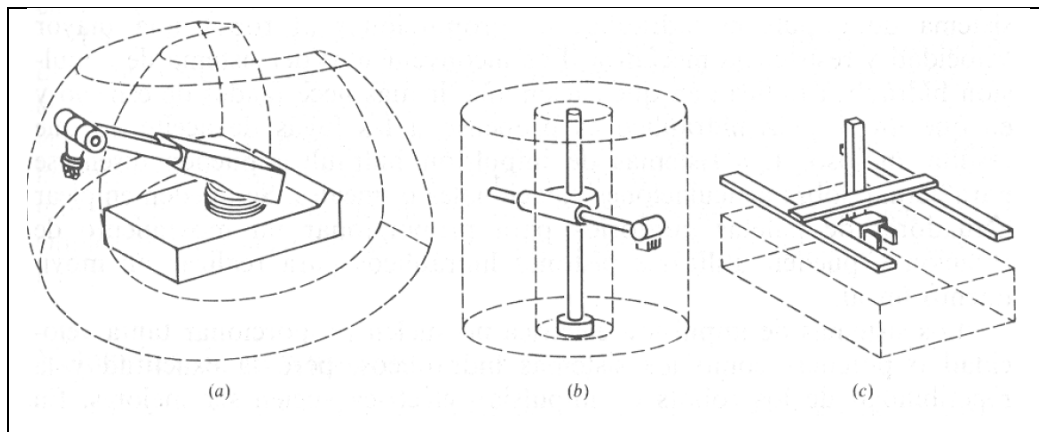


Fig. 1.5 Volúmenes de trabajo para diversas configuraciones básicas.



CAPITULO II

2.1 ACTUADORES

Los actuadores en los robots son sistemas capaces de accionar o actuar los ejes de los eslabones ya sea directamente o mediante cierto tipo de acoplamiento mecánico. Estos sistemas determinan la velocidad de los movimientos del brazo, la resistencia mecánica del robot y su rendimiento dinámico.

Los actuadores suelen obtener su energía a partir de una de estas tres fuentes: aire comprimido, fluido por presión o electricidad. Estos actuadores reciben el nombre de actuadores neumáticos, hidráulicos o eléctricos respectivamente.

2.1.1 Tipos de actuadores

Existen tres tipos de actuadores:

- Actuadores eléctricos
- Actuadores neumáticos e hidráulicos

2.1.1.1 Actuadores eléctricos.

Los motores eléctricos son los actuadores más usados en el diseño de los robots ya que proporcionan una excelente controlabilidad, requiriendo un mínimo de mantenimiento. Existe una gran variedad de motores eléctricos utilizados en robots, los más comunes



son los servomotores de cc, los motores paso a paso, los servomotores de ac, y los motores de cc sin escobillas.

2.1.1.1.1 Motores de cd.

Los de corriente continua producen un par casi proporcional al voltaje de entrada, por lo que tiene una regulación precisa. Requieren captadores que informen al sistema de control sobre la posición del eje en cada instante, realizando un trabajo en bucle cerrado.

2.1.1.1.2 Motores paso a paso

Estos también se denominan motores de velocidad graduable, proporciona una salida en la forma de incrementos discretos de movimiento angular, que son objeto de actuación por una serie de impulsos eléctricos discretos donde para cada impulso eléctrico hay una rotación de paso único del eje del motor.

2.1.1.1.3 Servomotores de ca

Estos motores se diferencian de los de corriente continua porque se construyen de una manera más económica, no tienen escobillas y desarrollan una potencia de salida alta

2.1.1.2 Actuadores neumáticos e hidráulicos

Obtienen su energía mediante movimientos de fluidos, en el caso de los hidráulicos el fluido suele ser aceite a presión, mientras que en los neumáticos el fluido es aire



comprimido. La diferencia entre estos actuadores radica en la capacidad para contener la presión del fluido, los sistemas neumáticos suelen operar a una presión de 100 psi, mientras que los hidráulicos operan entre 1000 a 3000 psi.

2.2 EFECTORES FINALES

Son elementos periféricos de los robots que permiten aumentar las capacidades de los mismos. Estos se utilizan para describir la mano o la herramienta que está unida a la muñeca, representando el herramental especial que permite al robot de uso general realizar una aplicación particular.

2.2.1 Tipos de efectores finales

Los efectores finales pueden dividirse en dos categorías principales: pinzas y herramientas.

a) Pinzas

Estos efectores se utilizan para agarrar, sostener, manipular y posicionar objetos o herramientas.

Pinzas mecánicas, es aquel que utiliza dedos mecánicos impulsados por un mecanismo para agarrar una pieza, los cuales se encuentran unidos al mecanismo o son parte integral del mismo.



En la mayoría de aplicaciones las pinzas con dos dedos son las más utilizadas por ser estos suficientes para sostener los objetos.

- b) Herramientas, en muchas aplicaciones se requiere que el robot manipule una herramienta en lugar de una pieza de trabajo, encontrándose esta unida directamente a la muñeca del robot.



CAPITULO III

MATERIALES Y METODOS

3.1 INTRODUCCIÓN

Las obras técnicas creadas por el hombre para distintas finalidades se pueden dividir en dos grupos principales. Al primer grupo pertenecen las obras cuyas partes no pueden moverse unas respecto a las otras, haciendo caso omiso de movimientos insignificantes al deformarse bajo la acción de fuerzas; estas son por ejemplo: edificaciones, puentes, tanques para líquidos y gases etc. El segundo grupo incluye las obras cuyas partes están en movimientos unas respecto a las otras durante su funcionamiento y son precisamente las de mayor aplicación e importancia en la técnica contemporánea.

Las obras de este segundo grupo requieren estudios con un mayor o menor grado de complejidad, en función de la finalidad que se persiga en los mismos, acerca del esquema cinemático, dinámico y estructural del mecanismo y las máquinas que lo componen.

El esquema cinemático estudia el movimiento de los elementos (piezas) de los mecanismos sin atender a las fuerzas que lo producen; se estudian los mecanismos y transmisiones planas y del espacio, tales como:

- de charnelas
- de levas,



- por correas,
- dentadas: cilíndricas, cónicas, planetarias, etc.

Posteriormente se estudia la **cinética** de los mecanismos y máquinas, donde se establecen los métodos de determinación de las fuerzas que actúan sobre los elementos durante el movimiento de los mecanismos, eficiencia o rendimientos; la regulación del paso de las máquinas y el balanceo de las masas en rotación.

El estudio del **esquema estructural** se orienta a la proyección de los mecanismos y máquinas desde la óptica de las cargas y esfuerzos actuantes en la estructura y el dimensionamiento de sus elementos en base a sus propiedades mecánicas, y en su desarrollo pueden ser utilizados medios modernos de cálculo, análisis y simulación y herramientas computacionales como el ANSYS, Solid Works, etc.

3.2 ANÁLISIS CINEMÁTICO

Al estudiar el esquema cinemático de un mecanismo es posible conocer completamente el movimiento de todas las piezas, no examinando cada pieza por separado, sino analizando los pares de piezas que limitan mutuamente el movimiento de una respecto a la otra; o sea, los pares cinemáticos.

Se entiende por par cinemático a la unión de dos elementos que están en contacto y permite su movimiento relativo. Los cuerpos que forman un par cinemático se llaman eslabones o miembros.



De la definición anterior, resulta entonces que el par cinemático no puede estar compuesto por cuerpos que no están en contacto o por cuerpos que al estar en contacto no pueden moverse uno con respecto al otro.

Es conocido que un cuerpo libre en el espacio posee seis grados de libertad, es decir puede realizar seis movimientos independientemente entre sí.

Los movimientos posibles de un elemento respecto a otro, pueden ser de giro **G** o de traslación **T**, y esta consideración establece la primera clasificación de los pares cinemáticos.

En el presente cuadro se expresa todas las combinaciones posibles de los movimientos independientes de giro y de traslación para los distintos pares cinemáticos.

Tabla 3.1 Movimientos Independientes de giro y de traslación

Pares	Movimientos en los planos
1 movimiento	G ó T
2 movimiento	GG ó GT
3 movimiento	GGG, GGT ó GTT
4 movimiento	GGGT ó GGTT
5 movimiento	GGGTT

Los pares cinemáticos también se pueden clasificar en base al contacto de los elementos:

- Superior: Es el par cinemático cuyos elementos tienen contacto lineal en un punto.

- Inferior: Es el par cuyos elementos tienen contacto superficial.

Esta clasificación de los pares cinemáticos brinda ciertas ventajas al describir la forma constructiva de los elementos, pero es poco útil al analizar los mecanismos ya que nada dice sobre los posibles movimientos relativos.

En los diferentes catálogos y normas internacionales se establecen los símbolos convencionales de los elementos componentes de las máquinas y los mecanismos utilizados en los esquemas cinemáticos.

Por Cadena Cinemática se denomina al sistema de elementos unidos que forman pares cinemáticos entre sí, estas se pueden clasificar en:

3.2.1 Simples

Es aquella en la cual cada eslabón forma no más de dos pares cinemáticos.

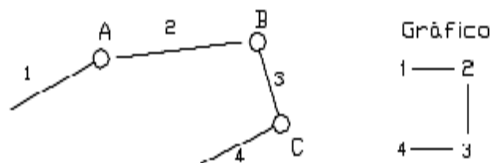


Fig. 3.1 Cadena Cinemática Simple

3.2.2 Compuestas

Es aquella en la cual por lo menos uno de sus elementos forma más de dos pares cinemáticos.

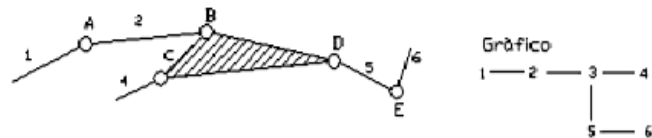


Fig. 3.2 Cadena Cinemática Compuesta

Las cadenas cinemáticas simples y compuestas se dividen a su vez en abiertas y cerradas.

3.2.3 Abiertas

Es aquella en la cual por lo menos uno de sus elementos entra en un solo par cinemático.

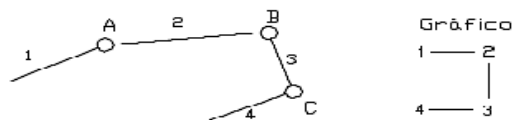


Fig. 3.3 Cadena Cinemática abierta

3.2.4 Cerradas

Es aquella cuyos elementos forman por lo menos dos pares cinemáticos.

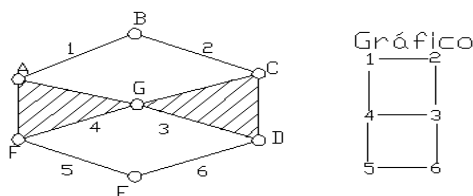


Fig. 3.4 Cadena Cinemática Cerrada

En base a lo anterior se puede expresar una definición de mecanismo.

3.2.5 Mecanismo

Es una cadena cinemática cerrada en la cual un elemento (bastidor) es inmóvil y los otros elementos hacen movimientos precisos respecto al bastidor y entre sí.

En 1914 el profesor ASSUR de San Petersburgo formuló el principio fundamental de formación de un mecanismo:

Cualquier mecanismo se puede formar agregando sucesivamente al elemento motriz, cadenas cinemáticas con grado de movilidad igual a cero.

Otras definiciones importantes son:

3.2.6 Grupo de elementos primarios

Este grupo obligatoriamente consta de un elemento inmóvil (soporte, bastidor) y uno o varios elementos móviles con el primero y a veces entre sí. Los elementos móviles de estos grupos se denominan elementos primarios.

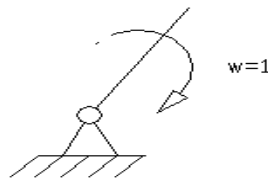


Fig. 3.5 Elemento primario



3.2.7 Movilidad de los Mecanismos

En el año 1869 P.L.Chebyshev planteo la relación existente entre el número de elementos y el número de pares cinemáticos de un movimiento, para la cual el # de grados de libertad de un mecanismo plano es igual a 1. Esta relación es la primera fórmula empleada para determinar el número de grados de libertad de un mecanismo. A. P. Mályshev dedujo la fórmula para hallar el número de grados de libertad de un mecanismo espacial.

En los mecanismos espaciales, cada elemento libre puede tener seis movimientos (seis grados de libertad). En tales mecanismos pueden existir pares cinemáticos de uno, dos, tres, cuatro y cinco movimientos.

La fórmula empleada para determinar el número de grados de libertad de un mecanismo espacial es:

$$W=6(n-1)-5p_1-4p_2-3p_3-2p_4-1p_5$$

Ecuación 3.1

Donde:

- n .- # de todos los elementos de un mecanismo.
- p_1 .- # de pares cinemáticos de un movimiento.
- p_2 .- # de pares cinemáticos de dos movimientos.
- p_3 .- # de pares cinemáticos de tres movimientos.
- p_4 .- # de pares cinemáticos de cuatro movimientos.
- p_5 .- # de pares cinemáticos de cinco movimientos.

En la figura se muestra el esquema cinemático del brazo robótico objeto de estudio.

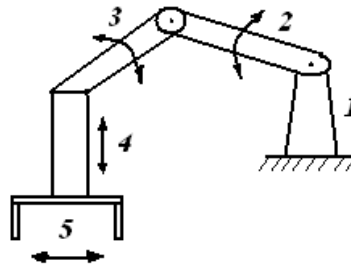


Figura 3.6 Esquema cinemático del brazo robótico

Como puede apreciarse, tenemos una cadena cinemática con 4 elementos móviles y un elemento inmóvil o bastidor, por lo que el total de elementos $n = 5$. Hay además 2 pares cinemáticos giratorios de un movimiento cada uno y 2 pares cinemáticos de traslación de un movimiento cada uno, para un total de cuatro pares cinemáticos de un movimiento ($p_1 = 4$). En nuestro caso no existen pares cinemáticos de dos o más movimientos ($p_2 = p_3 = p_4 = p_5 = 0$).

Sustituyendo en la fórmula 3.1 para obtener el grado de movilidad, se obtiene:

$$W = 6(5 - 1) - 5 \cdot 4 - 0 - 0 - 0 - 0$$

$$W = 4$$

El mecanismo posee cuatro grados de libertad; es decir, un grado de libertad por cada uno de los elementos móviles. Esto significa que para determinar por completo el movimiento de todo el mecanismo, deberá ser dado el movimiento a cada uno de los elementos móviles, y esto se logra con un elemento motriz constituido con un motor eléctrico acoplado a cada elemento.



El funcionamiento de toda la cadena cinemática se explica como sigue:

- Con el empleo de un motor eléctrico se proporciona movimiento de giro al elemento 2 respecto al elemento 1
- Con el empleo de un motor eléctrico se proporciona movimiento de giro al elemento 3 respecto al elemento 2
- Con el empleo de un motor eléctrico y una transmisión husillo- tuerca se proporciona movimiento de traslación al elemento 4 respecto al elemento 3
- Con el empleo de un motor eléctrico y una transmisión rueda dentada-cremallera se proporciona movimiento de traslación al elemento 5 respecto al elemento 4

3.3 ANÁLISIS DINÁMICO

Los problemas principales de la dinámica de mecanismos y máquinas son: determinación de las fuerzas que actúan en los pares cinemáticos de un mecanismo; determinación de las fuerzas de rozamiento y su influencia sobre el funcionamiento de un mecanismo o una máquina; determinación de la ley de movimiento de un mecanismo que se encuentra bajo la acción de determinadas fuerzas; revelación de las condiciones que aseguran la ley de movimiento dada de un mecanismo; y el equilibrio de los mecanismos y las máquinas.

De todas ellas, en nuestro caso, nos interesan las dos primeras. Para ello, se realiza el análisis de las fuerzas en el mecanismo del brazo robótico(fig.3.6.1) , considerando todos los elementos que lo componen y los pares cinemáticos que se forman entre los mismos.



Es conocido que sobre cada elemento de un mecanismo actúan fuerzas (reacciones) ejercidas por otros elementos que forman con el primero pares cinemáticos, dichas fuerzas están aplicadas a las superficies en contacto de los pares cinemáticos.

El objetivo del análisis de fuerzas en el objeto de estudio mecanismo puede ser formulado del siguiente modo: para la posición examinada del mecanismo se consideran conocidas las fuerzas y los momentos que actúan sobre los elementos (ya sea mediante cálculos o a través de su determinación experimental); es necesario, encontrar las fuerzas y momentos (reacciones) que actúan en todos los pares cinemáticos del mecanismo.

En el presente análisis se buscará determinar el par de arranque de los 4 motores a utilizar para dotar de movimiento a cada uno de los elementos móviles considerando los 4 grados de libertad que ya han sido determinados para el mecanismo del brazo robótico. Para ello se hará uso de las características del motor eléctrico a emplear; es decir, la dependencia funcional del par de arranque respecto a la velocidad angular de su rotor.

El análisis dinámico del mecanismo se realizará por partes, desde el órgano terminal que en nuestro caso será la mano robótica, hasta el par cinemático formado por la unión del brazo con el cuerpo central.

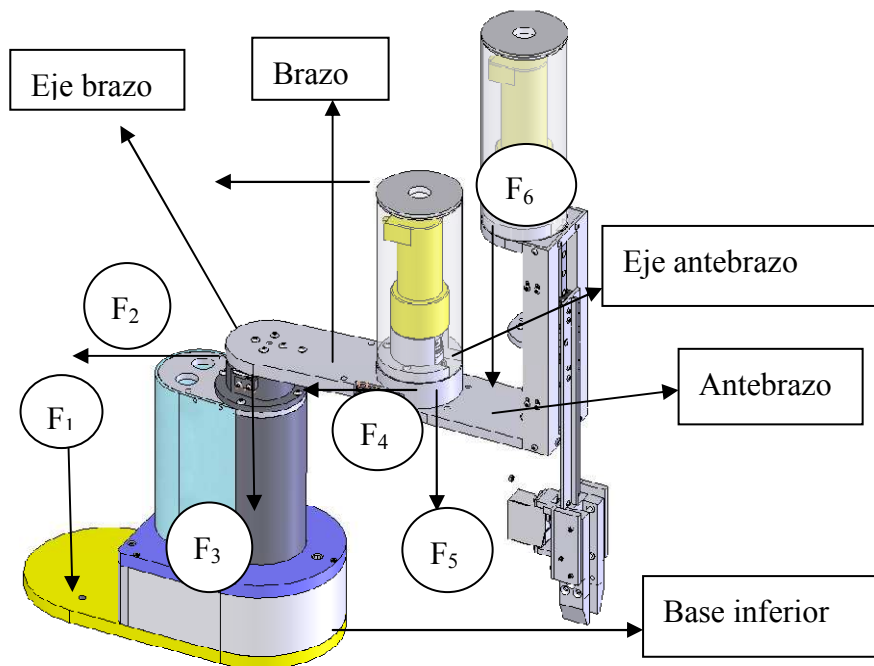


Fig. 3.6.1 Dirección de fuerzas aplicadas al brazo mecánico

3.3.1 Mano Robótica

Un esquema simplificado de la mano robótica y de las fuerzas que intervienen, se muestra a continuación:

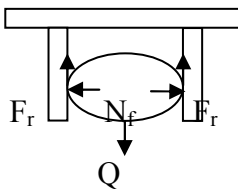


Fig. 3.7 Esquema de pinza del brazo robot

Q será el peso que sostiene la mano robótica, y F_r será la fuerza de rozamiento que impide el deslizamiento del peso por la superficie de la mano robótica.

Planteando el equilibrio de fuerzas en la dirección vertical se obtiene:

$$F_r + F_r = Q$$

Ecuación 3.2

$$F_r = Q/2$$

Ecuación 3.3

Es decir, la fuerza de rozamiento que sostiene el peso en la mano robótica será igual a la mitad de dicho peso.

El peso estimado a levantar por la mano robótica es de 0,5 Kgf.

Considerando que:

$$F_r = N_f \eta_s$$

Ecuación 3.4

Entonces la normal a la fuerza de fricción N_f será:

$$N_f = F_r / \eta_s$$

Ecuación 3.2

El coeficiente de fricción seco (η_s) entre superficies metálicas será: $\eta_s = 0,4$

De aquí que:

La fuerza N_f también se interpreta como la que ejerce la rueda dentada acoplada al motor eléctrico, sobre la cremallera adjunta a la mano robótica para realizar el trabajo de apriete sobre el peso que sostiene la mano, utilizando el efecto de la fuerza de fricción. El esquema representativo se muestra a continuación.

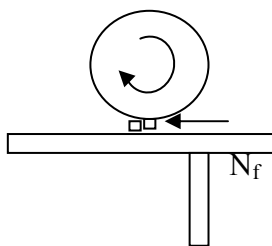


Fig. 3.8 Esquema de Rueda dentada acoplada al motor sobre cremallera

El par de arranque en el motor que acciona la rueda dentada acoplada a la cremallera, se obtiene por la siguiente expresión:

$$M_t = N_f * r \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Donde r será el radio de la rueda dentada, este se establece en 0,9 cm por razones de diseño asumidas por los autores.

3.3.2 Componente vertical de la estructura del brazo robótico (Eje Z)

El sistema de carga del componente vertical de la estructura del brazo robótico (eje Z), se muestra en la siguiente representación esquemática:

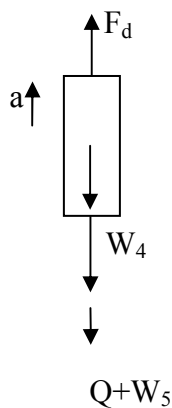


Fig. 3.9 Sistema de Cargas Verticales

$$F_i = [(Q + W_5 + W_4) / g] * a \quad \text{Ecuación 3.7}$$

La componente vertical de la estructura del brazo robótico tiene la función de elevar el peso Q que sostiene la mano más el propio peso de la mano robótica W_5 con una aceleración a determinada. En el cálculo también debe considerarse el peso propio de la



componente vertical del brazo W_4 . Por otro lado, también forma parte del sistema de carga la fuerza de inercia F_i , actuando en dirección opuesta a la aceleración con la cual es elevado todo el peso.

Tanto el peso propio de la mano como el de la componente vertical, se han obtenido por mediciones prácticas, sus valores se expresan a continuación:

$$W_5 = 0,4 \text{ Kgf}$$

$$W_4 = 1,1 \text{ Kgf}$$

Considerando que todo el peso es elevado desde su posición de reposo, una distancia de 12 cm en un tiempo de 3 segundos, la aceleración con la cual se eleva este peso se obtiene a partir de la expresión:

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \tag{Ecuación 3.8}$$

De aquí que:

$$a = \frac{2s}{t^2} \tag{Ecuación 3.9}$$

Planteando el equilibrio dinámico de fuerzas:

$$F_d = (Q+W_5) + W_4 + [(Q+W_5+W_4)/g]*a \tag{Ecuación 3.10}$$

La Fuerza Dinámica F_d , será el esfuerzo que actúa a lo largo del tornillo que transmite el movimiento, constituyéndose en una transmisión husillo-tuerca.

En la figura se muestra una representación esquemática de las cargas que actúan en la transmisión, siendo M_t el momento necesario para la transmisión de movimiento considerando la carga axial F_d que debe ser elevada.

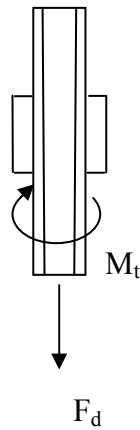


Fig. 3.10 Cargas que actúan en la transmisión

El par de arranque en el motor que acciona el husillo de la transmisión considerando la tuerca inmóvil, será:

$$M_t = F_d \frac{D}{2} \operatorname{tg}(\gamma + \theta) + M_{roz} \quad \text{Ecuación 3.11}$$

Dónde:

M_{roz} , es el momento de rozamiento en el cojinete de apoyo que soporta las reacciones de la fuerza F_d .

Como el montaje de la transmisión husillo-tuerca solo considera la tuerca unida al bastidor en movimiento vertical, y el tornillo acoplado directamente con al árbol de salida del motor eléctrico, no existe entonces cojinete para soportar la acción de la fuerza F_d , y consecuentemente no habrá el par de rozamiento, por lo que el momento M_{roz} no será se considerado en los cálculos.

$$\gamma = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{Sz}{\pi D} \quad \text{Ecuación 3.12}$$

Siendo z el número de entradas de la rosca, (en nuestro caso será $z = 1$)

El tornillo sin fin tiene un diámetro $D = 0,6$ cm, con un paso de $S = 2$ mm

El ángulo reducido de rozamiento en la rosca será.

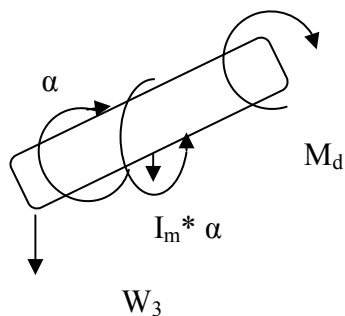
$$\theta = \text{arc tg } f \quad \text{Ecuación 3.13}$$

Considerando rosca trapecial en la transmisión husillo tuerca, para la cual: $\theta = (6 - 8)^\circ$

Se selecciona, $\theta = 7^\circ$

3.3.3 Antebrazo

El cálculo del antebrazo se realiza a partir del sistema de carga, representado esquemáticamente en la figura:



$$Q+W_5+W_4$$

Fig. 3.11 Sistema de cargas que actúan en el Antebrazo

El peso propio del antebrazo fue obtenido por mediciones, su valor se considera:

$$W_3 = 1,35 \text{ Kgf}$$

La aceleración angular α se obtiene a partir de la consideración de que media revolución se alcanza en un tiempo de 1 segundos, de aquí que:



$$\alpha = \frac{\pi}{t^2}$$

Ecuación 3.14

El momento de inercia másico del antebrazo se obtendrá por la expresión:

$$I_m = 1/12 W_t (b^2+c^2)$$

Ecuación 3.15

Donde:

W_t será la masa total del antebrazo

$$W_t = (Q+W_5+W_4+W_3)/g$$

Ecuación 3.16

c es el espesor del antebrazo; $c = 12,7$ cm

b es el ancho del antebrazo; $b = 6$ cm

El equilibrio dinámico en este caso, se plantea como:

$$M_d = I_m * \alpha$$

Ecuación 3.17

La potencia del motor se obtiene en función de la potencia en la rueda dentada, la misma que se obtiene una vez que ha sido establecida la velocidad de rotación de la rueda dentada, la cual será: $\omega = 3$ rad/s

$$N_2 = M_t * \omega$$

Ecuación 3.18

3.3.4 Brazo

El cálculo del brazo se realiza mediante un procedimiento similar al del cálculo del antebrazo. El sistema de carga solo se diferencia en que se agrega el peso propio del brazo, el cual según mediciones realizadas se estima igual a 1,15Kgf. Esquemáticamente este se representa de la siguiente forma:

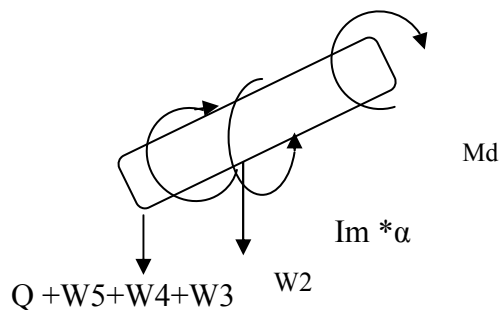


Fig. 3.12 Sistema de cargas que actúan en el Brazo

Las condiciones de movimiento del brazo también son similares a las del antebrazo, por lo que la aceleración angular en ambos elementos es la misma.

El momento másico del brazo se obtiene por la expresión:

$$I_{m1} = 1/12 W_{t1} (b^2 + c^2) \quad \text{Ecuación 3.19}$$

La masa total del brazo será:

$$W_{t1} = (Q + W_5 + W_4 + W_3 + W_2) / g \quad \text{Ecuación 3.20}$$



Siendo:

b: ancho del brazo; $b = 76,2 \text{ cm}$

c: espesor del brazo; $c = 12.5 \text{ cm}$

Planteando el equilibrio dinámico

$$M_d = I_m \cdot \alpha \quad \text{Ecuación 3.21}$$

Estableciendo la velocidad de rotación de la rueda dentada $\omega = 3 \text{ rad/s}$; la potencia de la rueda dentada equivalente a la potencia del motor se obtiene por la siguiente expresión:

$$N_1 = M_d \cdot \omega \quad \text{Ecuación 3.22}$$

3.4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Conocido las relaciones establecidas entre el movimiento del mecanismo del brazo robótico, sus elementos componentes, y las fuerzas que lo producen, se requiere proceder a la proyección del mecanismo desde el punto de vista estructural, lo cual implica partir de las cargas y esfuerzos actuantes en la estructura para la determinación o comprobación de sus dimensiones, y la consideración de la capacidad resistente de los materiales involucrados teniendo en cuenta sus propiedades mecánicas.



El análisis estructural se lo realizará haciendo uso del Método de los Elementos Finitos (MEF) y del programa de cálculo computacional SOLIDWORKS SIMULATION, el que recibe la información técnica y geométrica del objeto de modelación, las situaciones de carga, y las condiciones de fronteras respectivas que permitan su ejecución.

El método de los elementos finitos (MEF) es un método de aproximación de problemas continuos, de tal forma que: el “*continuo*” se divide en un número finito de partes o “*elementos*”, cuyo comportamiento se especifica mediante un número finito de parámetros asociados a ciertos puntos característicos denominados “*nodos*”. Estos nodos son los puntos de unión de cada elemento con sus adyacentes, el sistema completo se forma por ensamblaje de los elementos.

El comportamiento en el interior de cada elemento queda definido a partir del comportamiento de los nodos mediante las adecuadas *funciones de interpolación* ó *funciones de forma*. El MEF, por tanto, se basa en transformar un cuerpo de naturaleza continua en un modelo discreto aproximado, esta transformación se denomina discretización del modelo. El conocimiento de lo que sucede en el interior de este modelo del cuerpo aproximado, se obtiene mediante la interpolación de los valores conocidos en los nodos. Es por tanto una aproximación de los valores de una función a partir del conocimiento de un número determinado y finito de puntos.

Aunque el nombre del MEF se ha establecido recientemente, el concepto se ha usado desde hace varios siglos. El empleo de métodos de discretizado espacial y temporal y la aproximación numérica para encontrar soluciones a problemas ingenieriles o físicos es



conocido desde los antiguos. El concepto de ‘elementos finitos’ parte de esa idea: los egipcios empleaban métodos de discretizado para determinar el volumen de las pirámides; Arquímedes (287-212 a.C.) empleaba el mismo método para calcular el volumen de todo tipo de sólidos o la superficie de áreas; en oriente también aparecen métodos de aproximación para realizar cálculos, así el matemático chino Lui Hui (300 d.C.) empleaba un polígono regular de 3072 lados para calcular longitudes de circunferencias con lo que conseguía una aproximación al número Pi de 3.1416.

El uso moderno de los elementos finitos inició en el campo de ingeniería de estructuras en 1950, para que luego los conceptos básicos fueran reconocidos de amplia aplicabilidad y prontamente empleados en muchas otras áreas. El subsecuente desarrollo ha sido vertiginoso y ahora el método está bien establecido dentro de varias disciplinas científicas.

Por lo que se hace referencia al cálculo estructural, el método de elementos finitos (M.E.F.) puede ser entendido como una generalización de estructuras al análisis de sistemas continuos. Su principio se basa en la reducción del problema con infinitos grados de libertad, en un problema finito en el que intervenga un número finito de variables asociadas a ciertos puntos característicos (nodos). Las incógnitas del problema dejan de ser funciones matemáticas del problema cuando, para pasar a ser los valores de dichas funciones en un número infinito de puntos.

Las etapas básicas del MEF son:



- Discretización del problema mediante la selección de los elementos Interconectados en los puntos nodales.
- Evaluación de las matrices elementales.
- Ensamblaje de la matriz completa del continuo.
- Aplicación de las condiciones de contorno.
- Búsqueda de la solución del sistema de ecuaciones (lineales, no lineales, diferenciales ordinarias).

El conocimiento previo del MEF es necesario para tener una idea de cómo funciona el programa computarizado SOLIDWORKS SIMULATION, el cual es un programa de documentos múltiples con arquitectura abierta, que hace buen uso de la interface gráfica de Windows con diversas capacidades de análisis. Se requiere además tener conocimientos de Resistencia de los Materiales para realizar un correcto análisis del modelo, y obtener resultados con tanta exactitud como sea posible.

Para la solución de un modelo en SOLIDWORKS SIMULATION es necesario cumplir con una serie de requisitos para su correcto funcionamiento. En este caso se describen los pasos mínimos fundamentales para la solución de un problema de análisis estructural. Estos pasos son los siguientes:

1. Importación o elaboración del modelo gráfico.
2. Creación del estudio.
3. Selección del material de cada pieza y del modelo a utilizar, y de sus propiedades.
4. Introducción de las condiciones de frontera.



5. Introducción de las cargas actuantes.
6. Generación del enmallado.
7. Ejecución del estudio y obtención e interpretación de los resultados

A continuación se muestra el desarrollo de las aplicaciones del MEF a través del programa computacional SOLIDWORKS SIMULATION, para el análisis estructural del mecanismo del brazo robótico.

3.4.1 Análisis de tensiones de base

3.4.1.1 Descripción

Análisis de elementos finitos en la base del brazo robótico aplicando las fuerzas calculadas en el análisis Dinámico realizado.

Tabla 3.2 Información de modelo

Nombre de documento	Configuración	Ruta al documento	Fecha de modificación
Base 21.1	Predeterminado	F:\TESIS\Tesis\dibujos solid Work\Despise\ANALISIS DE FUERZAS\20-02-2011\Análisis Base 1.1\Base 21.1.SLDPRT	Tue Jan 18 23:06:17 2011

Tabla 3.3 Propiedades del estudio

Nombre de estudio	Estudio 1
Tipo de análisis	Estático
Tipo de malla:	Malla sólida



Tipo de solver	Solver tipo FFEPlus
Efecto térmico:	Introducir temperatura
Temperatura a tensión cero	298.000000
Unidades	Kelvin

Tabla 3.4 Unidades

Sistema de unidades:	SI
Longitud/Desplazamiento	m
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	rad/s
Tensión/Presión	N/m ²

Tabla 3.5 Propiedades de material

Nº	Nombre de sólido	Material	Masa	Volumen
1	Base 21.1	[SW]AISI 1020	16.3765 kg	0.00207298 m ³

Nombre de material:	[SW]AISI 1020
Descripción:	Acero de gran resistencia y fácil de maquinar
Tipo de modelo del material:	Isotrópico elástico lineal

Nombre de propiedad	Valor	Unidades	Tipo de valor
Módulo elástico	2e+011	N/m ²	Constante
Coefficiente de Poisson	0.29	NA	Constante
Módulo cortante	7.7e+010	N/m ²	Constante
Densidad	7900	kg/m ³	Constante
Límite de tracción	4.2051e+008	N/m ²	Constante



Límite elástico	3.5157e+008	N/m ²	Constante
Coefficiente de dilatación térmica	1.5e-005	/Kelvin	Constante
Conductividad térmica	47	W/(m.K)	Constante
Calor específico	420	J/(kg.K)	Constante

3.4.1.2 Cargas y restricciones

Tabla 3.6 Sujeción

Nombre de restricción	Conjunto de selecciones	Descripción
Sujeción-1 <Base 21.1>	activar 1 Cara(s) fijo.	

Tabla 3.7 Carga

Nombre de carga	Conjunto de selecciones	Tipo de carga	Descripción
Fuerza/Torsión-1 <Base 21.1>	activar 1 Cara(s) aplicar fuerza normal 44.13 N utilizando distribución uniforme	Carga secuencial	
Fuerza/Torsión-2 <Base 21.1>	activar 1 Cara(s) aplicar momento de torsión 0.007025 N-m con respecto a la referencia seleccionada Cara< 1 > utilizando distribución uniforme	Carga secuencial	
Fuerza/Torsión-3 <Base 21.1>	activar 1 Cara(s) aplicar momento de torsión -11.547 N-m con respecto a la referencia seleccionada Cara< 1 > utilizando distribución uniforme	Carga secuencial	

3.4.1.3 Contacto

Estado de contacto: Caras en contacto- unido



Tabla 3.8 Información de malla

Tipo de malla:	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Superficie suave:	Activar
Verificación jacobiana:	4 Points
Tamaño de elementos:	12.753 mm
Tolerancia:	0.63766 mm
Calidad:	Alta
Número de elementos:	8226
Número de nodos:	15917
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	CASA-306E781CA4

Tabla 3.9 Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N	0.0210252	-245.385	-0.0168992	245.385

Tabla 3.10 Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N	0.000711181	0.000605909	2.3976e-005	0.000934601

Tabla 3.11 Momentos de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N-m	0	0	0	1e-033

Tabla 3.12 Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones I	VON: Tensión de von Mises	0.119429 N/m ² Nodo: 14384	(3.43312 mm, 3.04559 mm, 160.128 mm)	431608 N/m ² Nodo: 14336	(226.373 mm, 30.9751 mm, -154.98 mm)
Desplazamientos I	URES: Desplazamiento resultante	0 m Nodo: 31	(-6.25 mm, 9.18455e-015 mm, -166.126 mm)	7.6128e-007 m Nodo: 15859	(238.096 mm, 38.8844 mm, -165.938 mm)
Deformaciones unitarias I	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	5.88044e-013 Elemento: 653	(4.55759 mm, -4.52179 mm, 158.704 mm)	1.62248e-006 Elemento: 4282	(227.633 mm, 38.7341 mm, -154.428 mm)

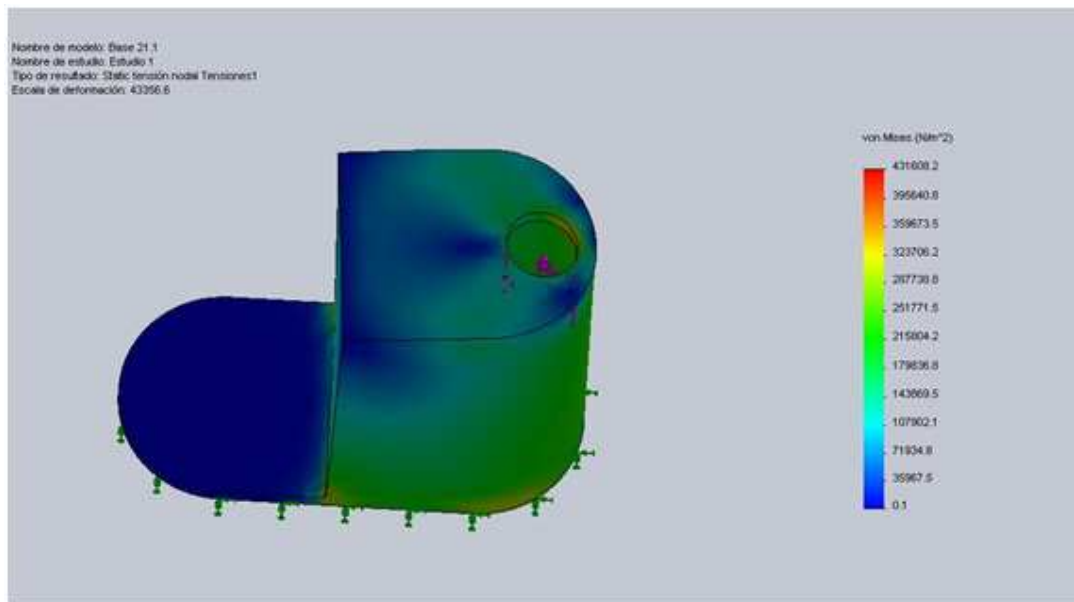


Fig. 3.13 Base 21.1-Estudio 1-Tensiones-Tensiones I

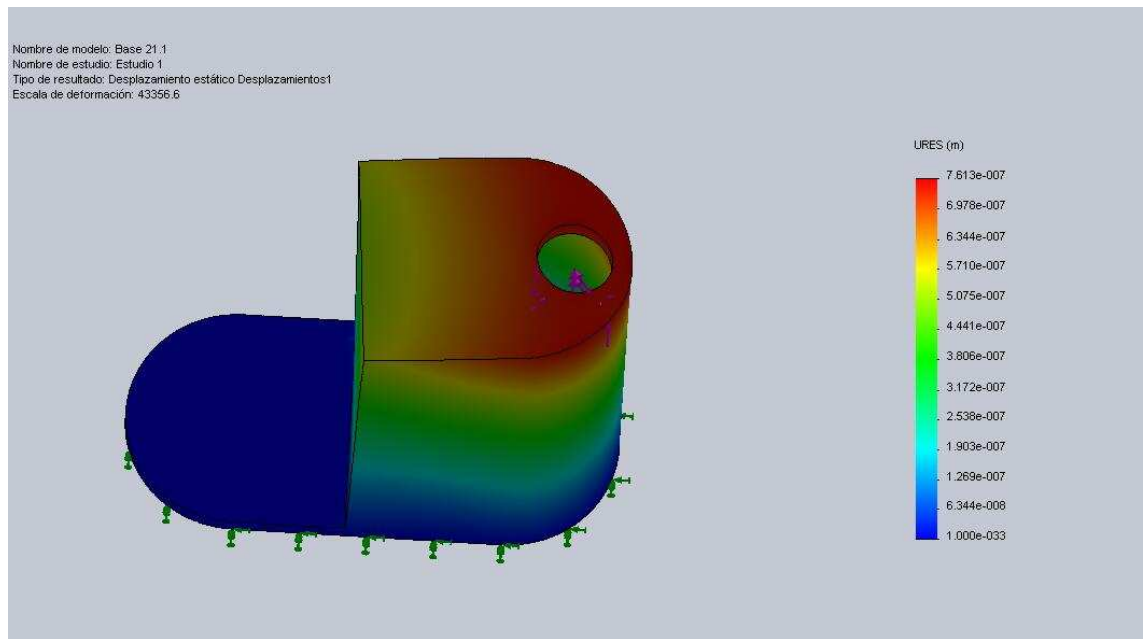


Fig. 3.14 Base 21.1-Estudio 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

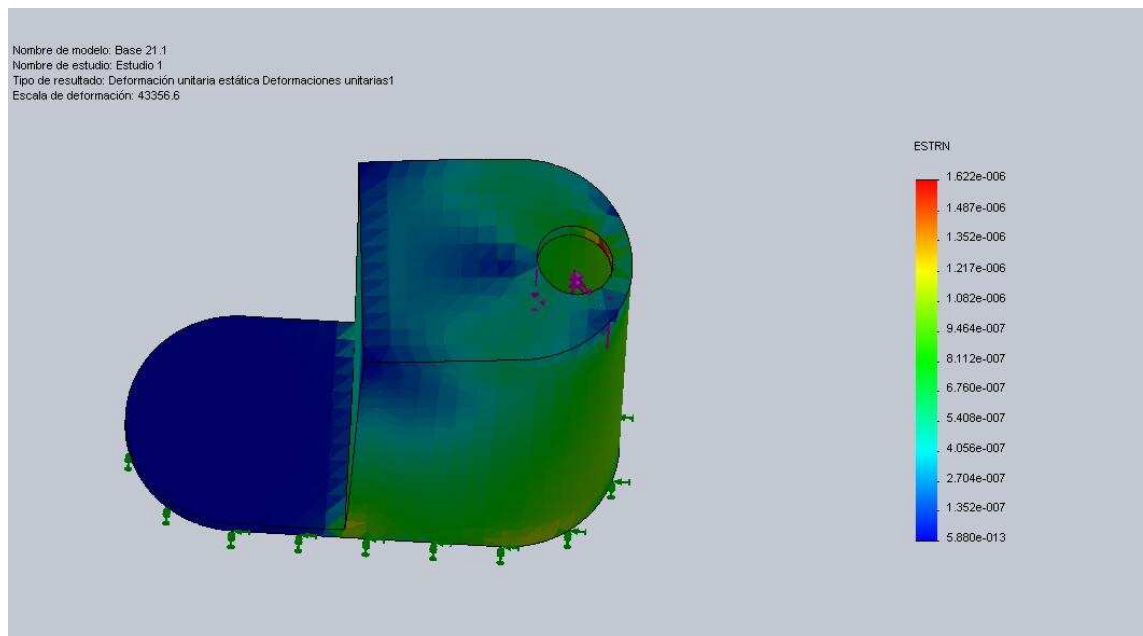


Fig. 3.15 Base 21.1-Estudio 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

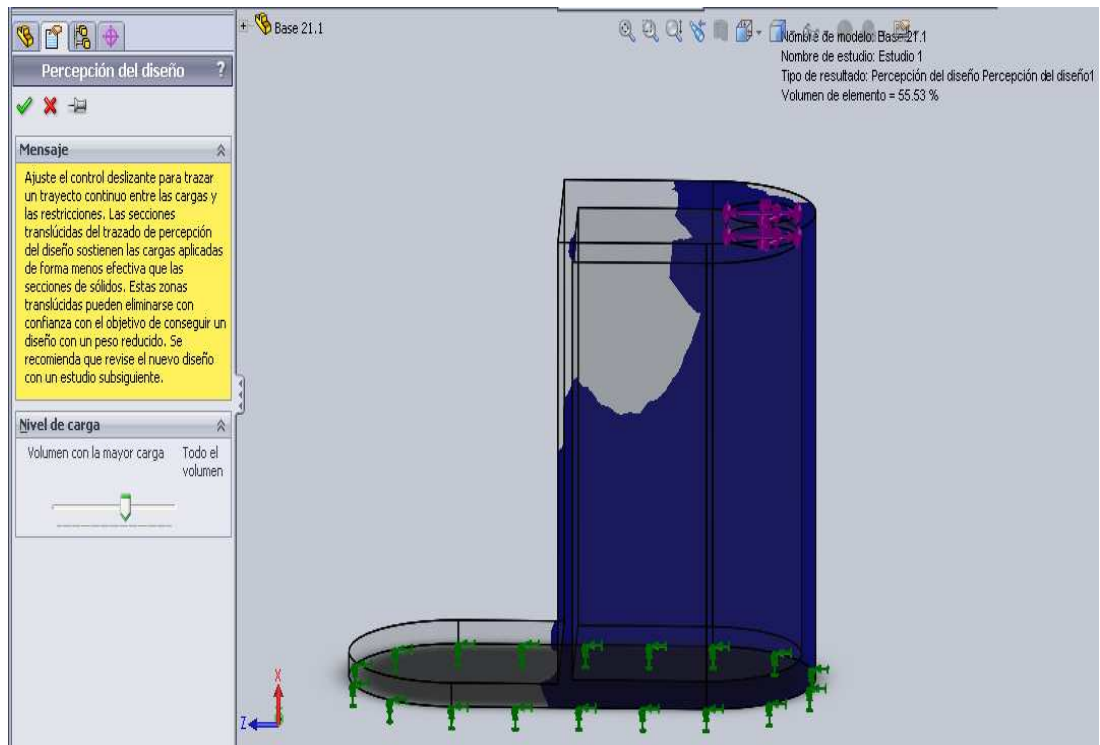


Fig. 3.16 Percepción del Diseño

3.4.1.4 Conclusión

Realizado el análisis mediante software de elementos finitos SolidWorks simulation podemos concluir que:

- La zona de influencia de los valores de tensiones críticas aplicadas a la base afectan un 55.53% del total de la estructura.

Se puede apreciar que el máximo valor de tensiones utilizado el criterio de Von Mises es de 431608 N/m^2 Nodo: 14336 inferior a los valores de tensiones críticos, por lo que se puede asegurar que desde el punto de vista estructural se cumple la condición de resistencia, garantizando la capacidad de resistencia de la estructura (en las condiciones dadas de carga, tanto el material como las dimensiones seleccionadas son las adecuadas.



Por lo expresado anteriormente comprobamos que el diseño, cálculo y material escogido resiste a cabalidad las fuerzas que se aplicaran para su correcto funcionamiento. Adjuntamos fotografías de los valores críticos y los puntos donde existen estos datos.

3.4.2 Análisis de tensiones de ensamble brazo

3.4.2.1 Descripción

Análisis de elementos finitos en el brazo o aplicando las fuerzas calculadas en el análisis Dinámico realizado.

Tabla 3.13 Información de modelo

Nombre de documento	Configuración	Ruta al documento	Fecha de modificación
ensamble brazo	Predeterminado	F:\TESIS\Tesis\dibujos solid Work\Despiese\ANALISIS DE FUERZAS\Analisis Comp. dos\brazo\ensamble brazo.SLDASM	Sun Jan 16 12:55:07 2011
Base 21-2	Predeterminado	F:\TESIS\Tesis\dibujos solid Work\Despiese\ANALISIS DE FUERZAS\Analisis Comp. dos\brazo\Base 21.SLDPRT	Wed Jan 12 12:06:46 2011
brazo 22-2	Predeterminado	F:\TESIS\Tesis\dibujos solid Work\Despiese\ANALISIS DE FUERZAS\Analisis Comp. dos\brazo\brazo 22.SLDPRT	Tue Oct 26 17:40:32 2010

Tabla 3.14 Propiedades del estudio

Nombre de estudio	Estudio 2
Tipo de análisis	Estático
Tipo de malla:	Malla sólida
Desahogo inercial:	Desactivar
Efecto térmico:	Introducir temperatura
Temperatura a tensión cero	298.000000
Unidades	Kelvin



Tabla3.15 Unidades

Sistema de unidades:	SI
Longitud/Desplazamiento	M
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	rad/s
Tensión/Presión	N/m ²

Tabla 3.16 Propiedades de material

Nº	Nombre de sólido	Material	Masa	Volumen
1	Base 21-2	[SW]AISI 1020	16.3765 kg	0.00207298 m ³
2	brazo 22-2	[SW]Aleación 6061	0.61259 kg	0.000226885 m ³

Nombre de material:	[SW]AISI 6061
Descripción:	Aleación de aluminio tiene buena resistencia y es muy liviano
Tipo de modelo del material:	Isotrópico elástico lineal

Nombre de propiedad	Valor	Unidades	Tipo de valor
Módulo elástico	2e+011	N/m ²	Constante
Coefficiente de Poisson	0.29	NA	Constante
Módulo cortante	7.7e+010	N/m ²	Constante
Densidad	7900	kg/m ³	Constante
Límite de tracción	4.2051e+008	N/m ²	Constante
Límite elástico	3.5157e+008	N/m ²	Constante
Coefficiente de dilatación térmica	1.5e-005	/Kelvin	Constante
Conductividad térmica	47	W/(m.K)	Constante
Calor específico	420	J/(kg.K)	Constante



3.4.2.2 Cargas y restricciones

Tabla 3.17 Sujeción

Nombre de restricción	Conjunto de selecciones	Descripción
Sujeción-1 <Base 21-2>	activar 1 Cara(s) fijo.	

Tabla 3.18 Carga

Nombre de carga	Conjunto de selecciones	Tipo de carga	Descripción
Fuerza/Torsión-1 <brazo 22-2>	activar 1 Cara(s) aplicar fuerza normal 32.852 N utilizando distribución uniforme	Carga secuencial	
Fuerza/Torsión-3 <brazo 22-2>	activar 1 Cara(s) aplicar momento de torsión 0.007025 N-m con respecto a la referencia seleccionada Cara< 1 > utilizando distribución uniforme	Carga secuencial	

3.4.2.3 Contacto

Estado de contacto: Caras en contacto - Unido

Tabla 3.19 Información de malla

Tipo de malla:	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Superficie suave:	Activar
Verificación jacobiana:	4 Points
Tamaño de elementos:	13.203 mm
Tolerancia:	0.66012 mm
Calidad:	Alta
Número de elementos:	7748
Número de nodos:	15272
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:05



Tabla 3.20 Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N	32.5949	0.00245007	0.00191589	32.5949

Tabla 3.21 Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N	4.8623e-005	7.0408e-007	1.28523e-006	4.8645e-005

Tabla 3.22 Momentos de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N-m	0	0	0	1e-033

Tabla 3.23 Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones 1	VON: Tensión de von Mises	0.0102389 N/m ² Nodo: 5816	(6.25 mm, 6.51181 mm, 156.486 mm)	1.93472e+00 6 N/m ² Nodo: 15160	(238.306 mm, 3.19016 mm, -168.709 mm)
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 m Nodo: 182	(-6.25 mm, 9.18455e-015 mm, -166.126 mm)	3.08521e-005 m Nodo: 13750	(204.009 mm, -27.0972 mm, -311.076 mm)
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	5.79983e-014 Elemento: 3760	(4.58227 mm, 4.8111 mm, 158.582 mm)	1.3469e-005 Elemento: 7109	(247.549 mm, -10.6856 mm, -169.054 mm)

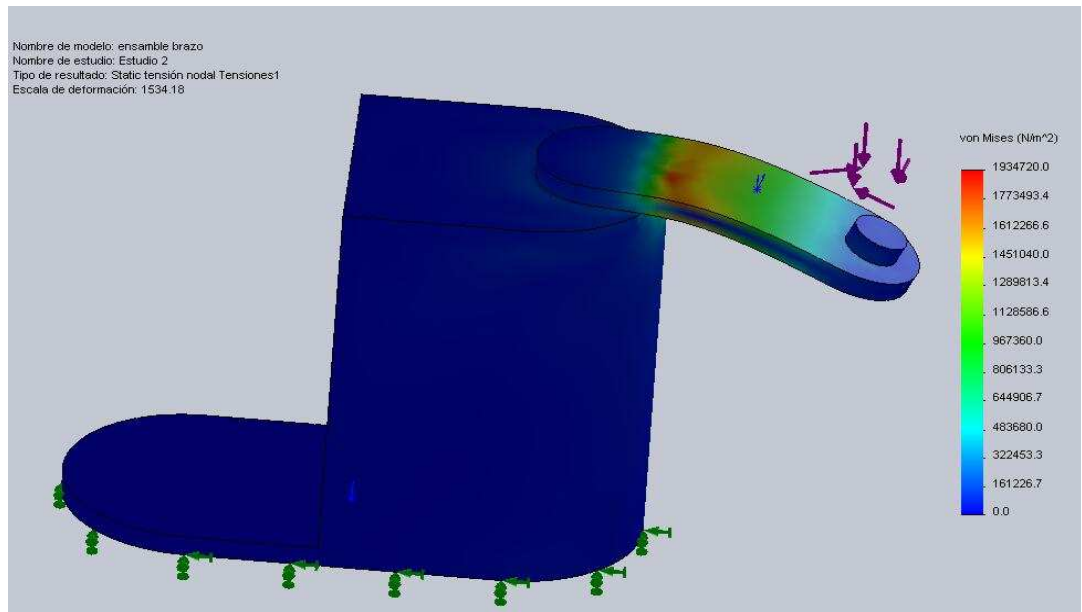


Fig. 3.17 Ensamble brazo-Estudio 2-Tensiones-Tensiones1

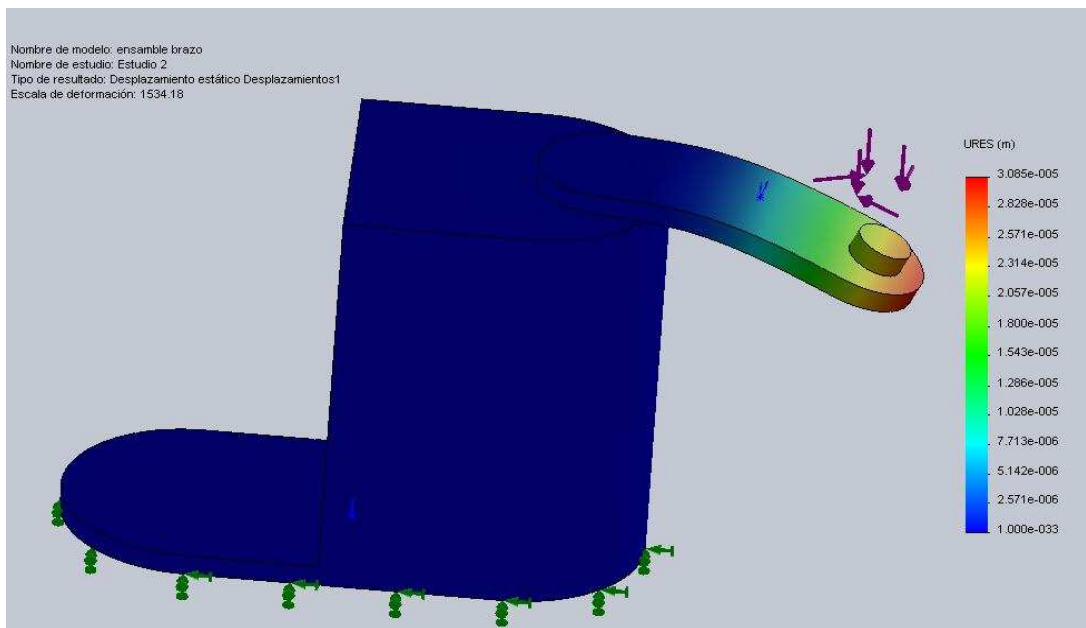


Fig. 3.18 Ensamble brazo-Estudio 2-Desplazamientos-Desplazamientos1

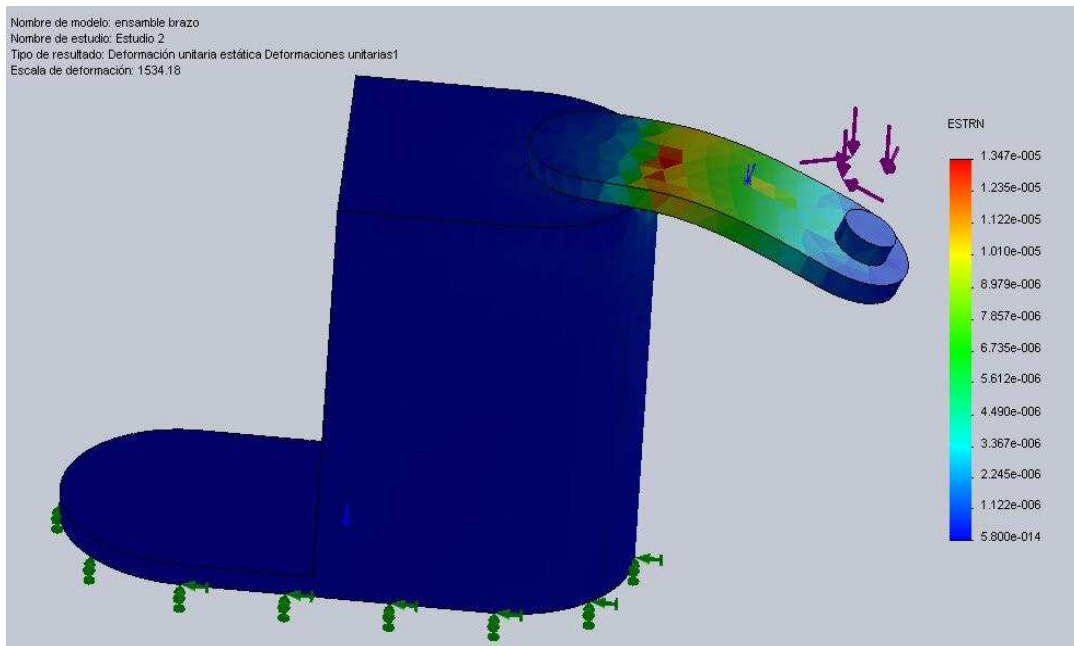


Fig. 3.19 Ensamble brazo-Estudio 2-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

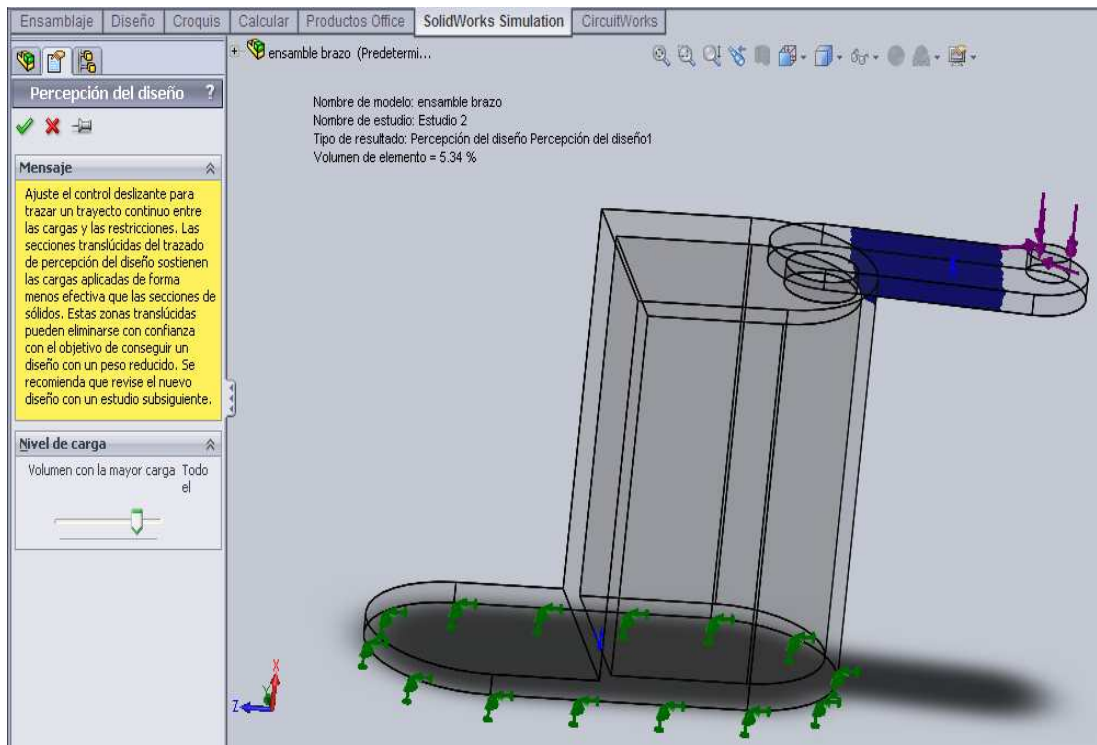


Fig. 3.20 Percepción del diseño



3.4.2.4 Conclusión

Realizado el análisis mediante software de elementos finitos solidWorks simulation podemos concluir que:

- La zona de influencia de los valores de tensiones críticas aplicadas a la base afectan un 5.34% del total de la estructura.

Se puede apreciar que el máximo valor de tensiones utilizado el criterio de Von Mises es de $1.93472e+006$ N/m² Nodo: 15160 inferior a los valores de tensiones críticos, por lo que se puede asegurar que desde el punto de vista estructural se cumple la condición de resistencia, garantizando la capacidad de resistente de la estructura (en las condiciones dadas de carga, tanto el material como las dimensiones seleccionadas son las adecuadas).

Por lo expresado anteriormente comprobamos que el diseño, cálculo y material escogido resiste a cabalidad las fuerzas que se aplicaran para su correcto funcionamiento.



3.4.3 Análisis de tensiones de antebrazo

3.4.3.1 Descripción

Análisis de elementos finitos en el antebrazo o aplicando las fuerzas calculadas en el análisis Dinámico realizado.

Tabla 3.24 Información de modelo

Nombre de documento	Configuración	Ruta al documento	Fecha de modificación
antebrazo	Default	F:\TESIS\Tesis\dibujos solid Work\Despise\ANALISIS DE FUERZAS\20-02-2011\Antebrazo\antebrazo.SLDASM	Sun Jan 16 12:56:45 2011
Antebrazo 23-1	Predeterminado	F:\TESIS\Tesis\dibujos solid Work\Despise\ANALISIS DE FUERZAS\20-02-2011\Antebrazo\Antebrazo 23.SLDPRT	Tue Oct 26 17:38:18 2010
Base 21-1	Predeterminado	F:\TESIS\Tesis\dibujos solid Work\Despise\ANALISIS DE FUERZAS\20-02-2011\Antebrazo\Base 21.SLDPRT	Wed Jan 12 15:36:04 2011
brazo 22-1	Predeterminado	F:\TESIS\Tesis\dibujos solid Work\Despise\ANALISIS DE FUERZAS\20-02-2011\Antebrazo\brazo 22.SLDPRT	Tue Oct 26 17:40:32 2010

Tabla 3.25 Propiedades del estudio

Nombre de estudio	Estudio 2
Tipo de análisis	Estático
Tipo de malla:	Malla sólida
Efecto térmico:	Introducir temperatura
Temperatura a tensión cero	298.000000
Unidades	Kelvin



Tabla 3.26 Unidades

Sistema de unidades:	SI
Longitud/Desplazamiento	M
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	rad/s
Tensión/Presión	N/m ²

Tabla 3.27 Propiedades de material

Nº	Nombre de sólido	Material	Masa	Volumen
1	Antebrazo 23-1	[SW]Aleación 6061	0.344618 kg	0.000127636 m ³
2	Base 21-1	[SW]AISI 1020	16.3765 kg	0.00207298 m ³
3	brazo 22-1	[SW]Aleación 6061	0.61259 kg	0.000226885 m ³

Nombre de material:	[SW]Aleación 6061
Descripción:	Aleación de aluminio tiene buena resistencia y es muy liviano
Tipo de modelo del material:	Isotrópico elástico lineal

Nombre de propiedad	Valor	Unidades	Tipo de valor
Módulo elástico	6.9e+010	N/m ²	Constante
Coefficiente de Poisson	0.33	NA	Constante
Módulo cortante	2.6e+010	N/m ²	Constante
Densidad	2700	kg/m ³	Constante
Límite de tracción	1.2408e+008	N/m ²	Constante
Límite elástico	5.5149e+007	N/m ²	Constante
Coefficiente de dilatación térmica	2.4e-005	/Kelvin	Constante
Conductividad térmica	170	W/(m.K)	Constante
Calor específico	1300	J/(kg.K)	Constante



Nombre de material:	[SW]AISI 1020
Tipo de modelo del material:	Isotrópico elástico lineal

Nombre de propiedad	Valor	Unidades	Tipo de valor
Módulo elástico	2e+011	N/m ²	Constante
Coefficiente de Poisson	0.29	NA	Constante
Módulo cortante	7.7e+010	N/m ²	Constante
Densidad	7900	kg/m ³	Constante
Límite de tracción	4.2051e+008	N/m ²	Constante
Límite elástico	3.5157e+008	N/m ²	Constante
Coefficiente de dilatación térmica	1.5e-005	/Kelvin	Constante
Conductividad térmica	47	W/(m.K)	Constante
Calor específico	420	J/(kg.K)	Constante

3.4.3.2 Cargas y restricciones

Tabla 3.28 Sujeción

Nombre de restricción	Conjunto de selecciones	Descripción
Sujeción-1 <Base 21-1>	activar 1 Cara(s) fijo.	

Tabla 3.29 Carga

Nombre de carga	Conjunto de selecciones	Tipo de carga	Descripción
Fuerza/Torsión-1 <brazo 22-1>	activar 1 Cara(s) aplicar fuerza normal 19.613 N utilizando distribución uniforme	Carga secuencial	
Fuerza/Torsión-2 <brazo 22-1, Antebrazo 23-1>	activar 1 Cara(s) aplicar momento de torsión 0.005234 N-m con respecto a la referencia seleccionada Cara< 1 > utilizando distribución uniforme	Carga secuencial	



Tabla 3.30 Información de malla

Tipo de malla:	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Superficie suave:	Activar
Verificación jacobiana:	4 Points
Tamaño de elementos:	13.536 mm
Tolerancia:	0.67682 mm
Calidad:	Alta
Número de elementos:	8572
Número de nodos:	16721
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	CASA-306E781CA4

Tabla 3.31 Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N	19.4399	-0.292778	0.00136295	19.4422

Tabla 3.32 Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N	-2.80277e-005	-2.2077e-006	3.03769e-005	4.13906e-005

Tabla 3.33 Momentos de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N-m	0	0	0	1e-033



Tabla 3.34 Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0.0126486 N/m ² Nodo: 13071	(-9.18051e-008 mm, -6.53667 mm, 163.588 mm)	1.12152e+006 N/m ² Nodo: 15979	(250.973 mm, -13.2388 mm, -166.533 mm)
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 m Nodo: 2014	(-6.25 mm, 9.18455e-015 mm, -166.126 mm)	3.45247e-005 m Nodo: 152	(206.888 mm, -65.6315 mm, -409.873 mm)
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1.00879e-013 Elemento: 4826	(3.125 mm, -17.72 mm, 144.449 mm)	8.91974e-006 Elemento: 7783	(248.609 mm, -1.5535 mm, -182.977 mm)

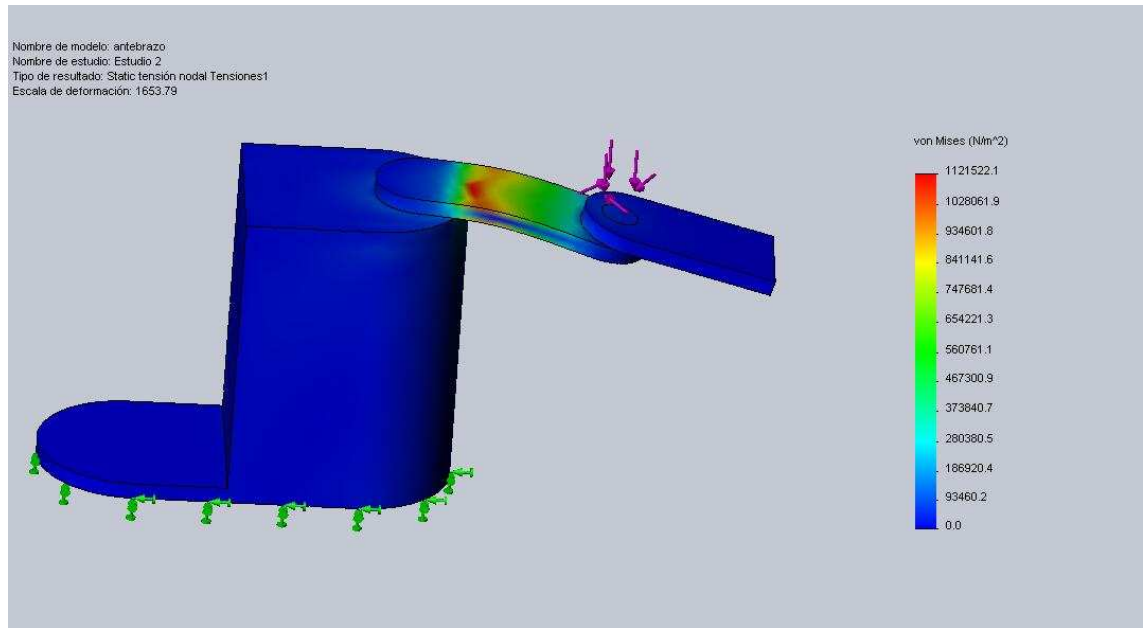


Fig. 3.21 Antebrazo-Estudio 2-Tensiones-Tensiones1

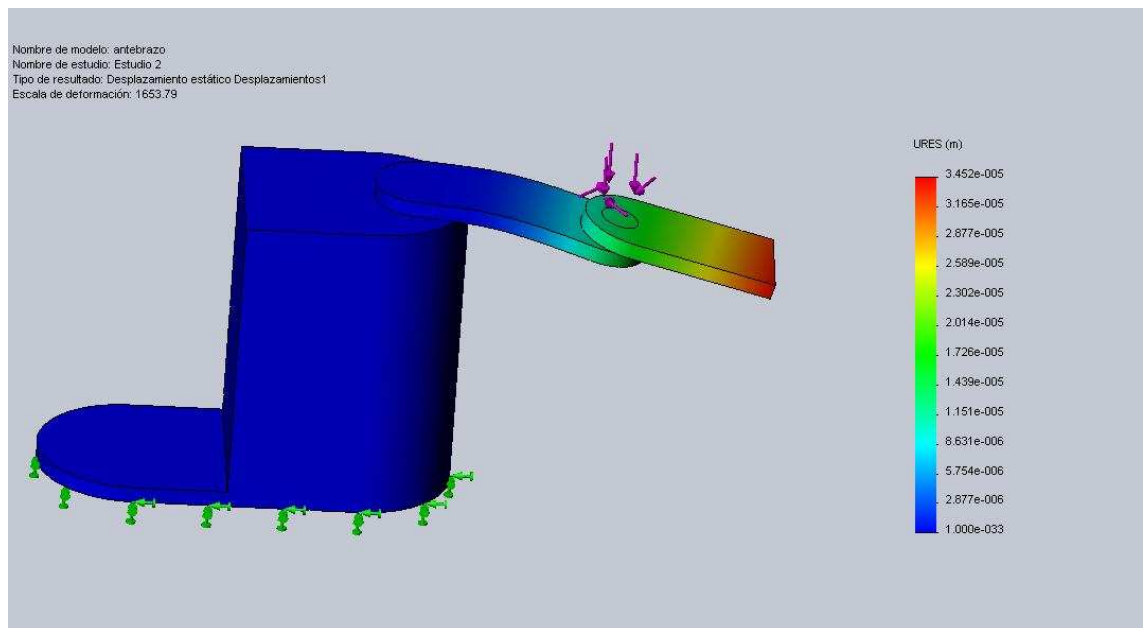


Fig. 3.22 Antebrazo-Estudio 2-Desplazamientos-Desplazamientos1

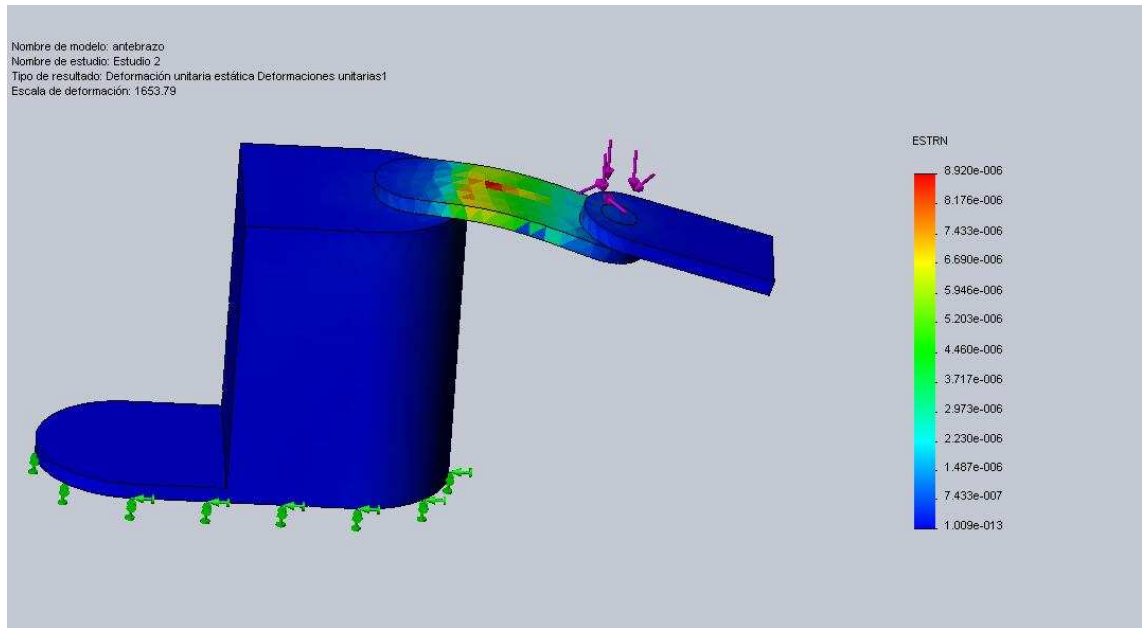


Fig. 3.23 Antebrazo-Estudio 2-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

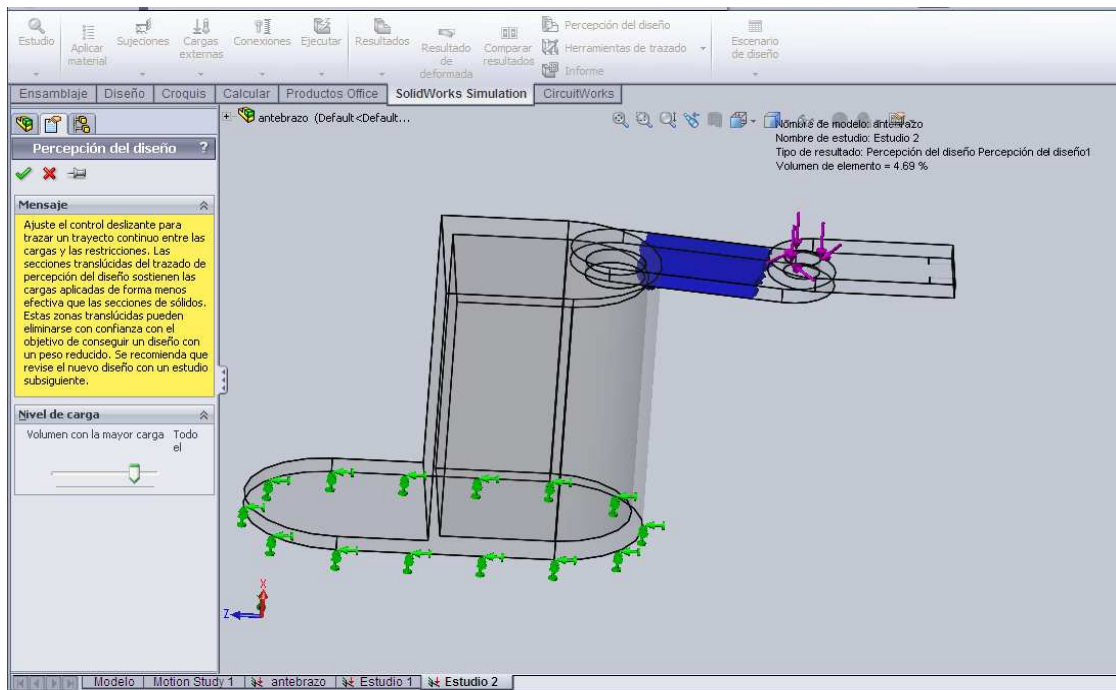


Fig. 3.24 Percepción del diseño



3.4.3.4 Conclusión

Realizado el análisis mediante software de elementos finitos solidWorks simulation podemos concluir que:

- La zona de influencia de los valores de tensiones críticas aplicadas a la base afectan un 5.49% del total de la estructura.

Se puede apreciar que el máximo valor de tensiones utilizado el criterio de Von Mises es de $1.12152e+006 \text{ N/m}^2$ Nodo: 15979 inferior a los valores de tensiones críticos, por lo que se puede asegurar que desde el punto de vista estructural se cumple la condición de resistencia, garantizando la capacidad de resistente de la estructura (en las condiciones dadas de carga, tanto el material como las dimensiones seleccionadas son las adecuadas).

Por lo expresado anteriormente comprobamos que el diseño, cálculo y material escogido resiste a cabalidad las fuerzas que se aplicaran para su correcto funcionamiento.



3.4.4 Análisis de tensiones de ensamble bajante (eje z)

3.4.4.1 Descripción

Análisis de elementos finitos en la bajante aplicando las fuerzas calculadas en el análisis Dinámico realizado.

Tabla 3.35 Información de modelo

Nombre de documento	Configuración	Ruta al documento	Fecha de modificación
Ensamble bajante	Default	F:\TESIS\Tesis\dibujos solid Work\Despiese\ANALISIS DE FUERZAS\Análisis Comp. dos\Bajante\Ensamble bajante.SLDASM	Sun Jan 16 12:58:14 2011
Antebrazo 23-1	Predeterminado	F:\TESIS\Tesis\dibujos solid Work\Despiese\ANALISIS DE FUERZAS\Análisis Comp. dos\Antebrazo\Antebrazo 23.SLDPRT	Tue Oct 26 17:38:18 2010
Base 21-1	Predeterminado	F:\TESIS\Tesis\dibujos solid Work\Despiese\ANALISIS DE FUERZAS\Análisis Comp. dos\brazo\Base 21.SLDPRT	Wed Jan 12 12:06:46 2011
Ensamblaje 1-1/Copia de Bajante 4-1		F:\TESIS\Tesis\dibujos solid Work\Despiese\ANALISIS DE FUERZAS\Análisis Comp. dos\Bajante\Copia de Bajante 4.SLDPRT	Wed Oct 27 14:39:43 2010
Ensamblaje 1-1/Copia de Mano 5-1		F:\TESIS\Tesis\dibujos solid Work\Despiese\ANALISIS DE FUERZAS\Análisis Comp. dos\Bajante\Copia de Mano 5.SLDPRT	Wed Oct 27 14:39:35 2010
brazo 22-1	Predeterminado	F:\TESIS\Tesis\dibujos solid Work\Despiese\ANALISIS DE FUERZAS\Análisis Comp. dos\brazo\brazo 22.SLDPRT	Tue Oct 26 17:40:32 2010



Tabla 3.36 Propiedades del estudio

Nombre de estudio	Estudio 1
Tipo de análisis	Estático
Tipo de malla:	Malla sólida
Efecto térmico:	Introducir temperatura
Temperatura a tensión cero	298.000000
Unidades	Kelvin

Tabla 3.37 Unidades

Sistema de unidades:	SI
Longitud/Desplazamiento	m
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	rad/s
Tensión/Presión	N/m ²

Tabla 3.38 Propiedades de material

Nº	Nombre de sólido	Material	Masa	Volumen
1	Antebrazo 23-1	[SW]Aleación 6061	0.344618 kg	0.000127636 m ³
2	Base 21-1	[SW]AISI 1020	16.3765 kg	0.00207298 m ³
3	Ensamblaje1-1/Copia de Bajante 4-1	[SW]Aleación 6061	0.55971 kg	0.0002073 m ³
4	Ensamblaje1-1/Copia de Mano 5-1	[SW]Aleación 6061	0.320574 kg	0.000118731 m ³
5	brazo 22-1	[SW]Aleación 6061	0.61259 kg	0.000226885 m ³

Nombre de material:	[SW]Aleación 6061
Descripción:	Aleación de aluminio tiene buena resistencia y es muy liviano
Tipo de modelo del material:	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error predeterminado:	Desconocido



Nombre de propiedad	Valor	Unidades	Tipo de valor
Módulo elástico	6.9e+010	N/m ²	Constante
Coefficiente de Poisson	0.33	NA	Constante
Módulo cortante	2.6e+010	N/m ²	Constante
Densidad	2700	kg/m ³	Constante
Límite de tracción	1.2408e+008	N/m ²	Constante
Límite elástico	5.5149e+007	N/m ²	Constante
Coefficiente de dilatación térmica	2.4e-005	/Kelvin	Constante
Conductividad térmica	170	W/(m.K)	Constante
Calor específico	1300	J/(kg.K)	Constante

Nombre de material:	[SW]AISI 1020
Tipo de modelo del material:	Isotrópico elástico lineal

Nombre de propiedad	Valor	Unidades	Tipo de valor
Módulo elástico	2e+011	N/m ²	Constante
Coefficiente de Poisson	0.29	NA	Constante
Módulo cortante	7.7e+010	N/m ²	Constante
Densidad	7900	kg/m ³	Constante
Límite de tracción	4.2051e+008	N/m ²	Constante
Límite elástico	3.5157e+008	N/m ²	Constante
Coefficiente de dilatación térmica	1.5e-005	/Kelvin	Constante
Conductividad térmica	47	W/(m.K)	Constante
Calor específico	420	J/(kg.K)	Constante



3.4.4.2 Cargas y restricciones

Tabla 3.39 Sujeción

Nombre de restricción	Conjunto de selecciones	Descripción
Sujeción-1 <Base 21-1>	activar 1 Cara(s) fijo.	

Tabla 3.40 Carga

Nombre de carga	Conjunto de selecciones	Tipo de carga	Descripción
Fuerza/Torsión-1 <Ensamblaje1-1/Copia de Bajante 4-1>	activar 1 Cara(s) aplicar fuerza normal -19.667 N utilizando distribución uniforme	Carga secuencial	

3.4.4.3 Contacto

Estado de contacto: Caras en contacto - Unido

Tabla 3.41 Información de malla

Tipo de malla:	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Superficie suave:	Activar
Verificación jacobiana:	4 Points
Tamaño de elementos:	14.666 mm
Tolerancia:	0.73328 mm
Calidad:	Alta
Número de elementos:	8214
Número de nodos:	15648
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	CASA-306E781CA4



Tabla 3.42 Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N	19.6663	0.000117842	-0.000442192	19.6663

Tabla 3.43 Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N	-1.69119e-005	-1.2707e-005	2.22139e-005	3.06747e-005

Tabla 3.44 Momentos de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N-m	0	0	0	1e-033

Tabla 3.45 Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0.0287188 N/m ² Nodo: 5765	(3.11849 mm, 10.2285 mm, 158.581 mm)	2.43976e+006 N/m ² Nodo: 15502	(238.327 mm, 28.7695 mm, -170.201 mm)
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 m Nodo: 1466	(-6.25 mm, 9.18455e-015 mm, -166.126 mm)	0.000152567 m Nodo: 11996	(51.7959 mm, 109.768 mm, -378.058 mm)
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	6.52108e-014 Elemento: 3482	(3.125 mm, 17.9213 mm, 157.743 mm)	1.79739e-005 Elemento: 7765	(247.943 mm, 18.0914 mm, -166.059 mm)

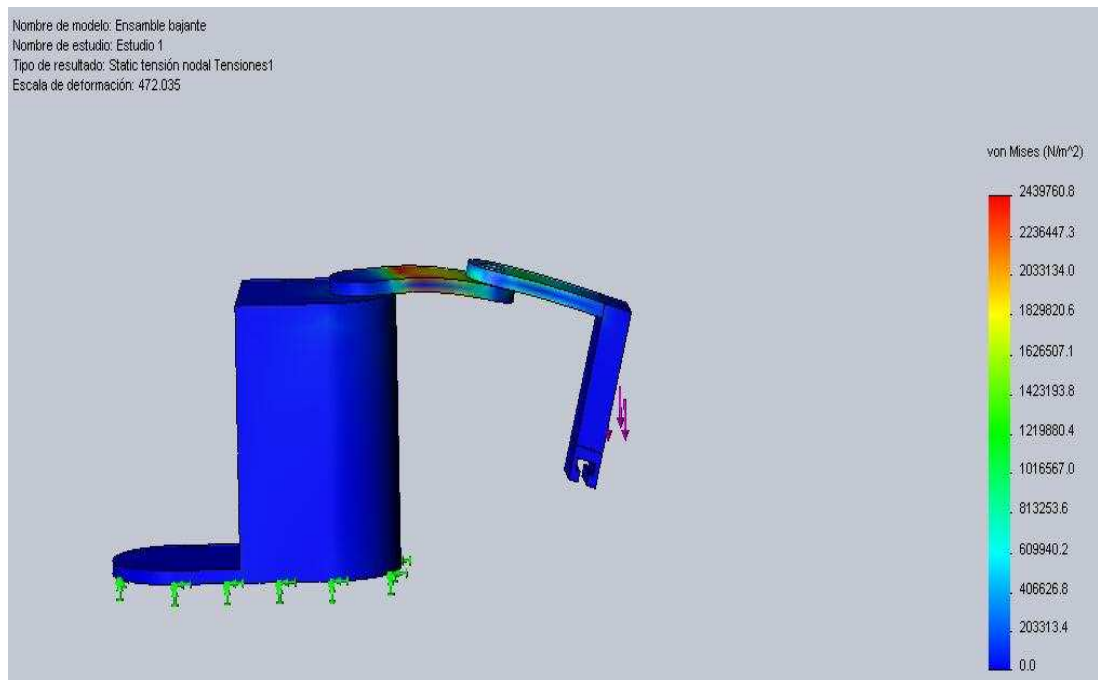


Fig. 3.25 Ensamble bajante-Estudio 1-Tensiones-Tensiones1

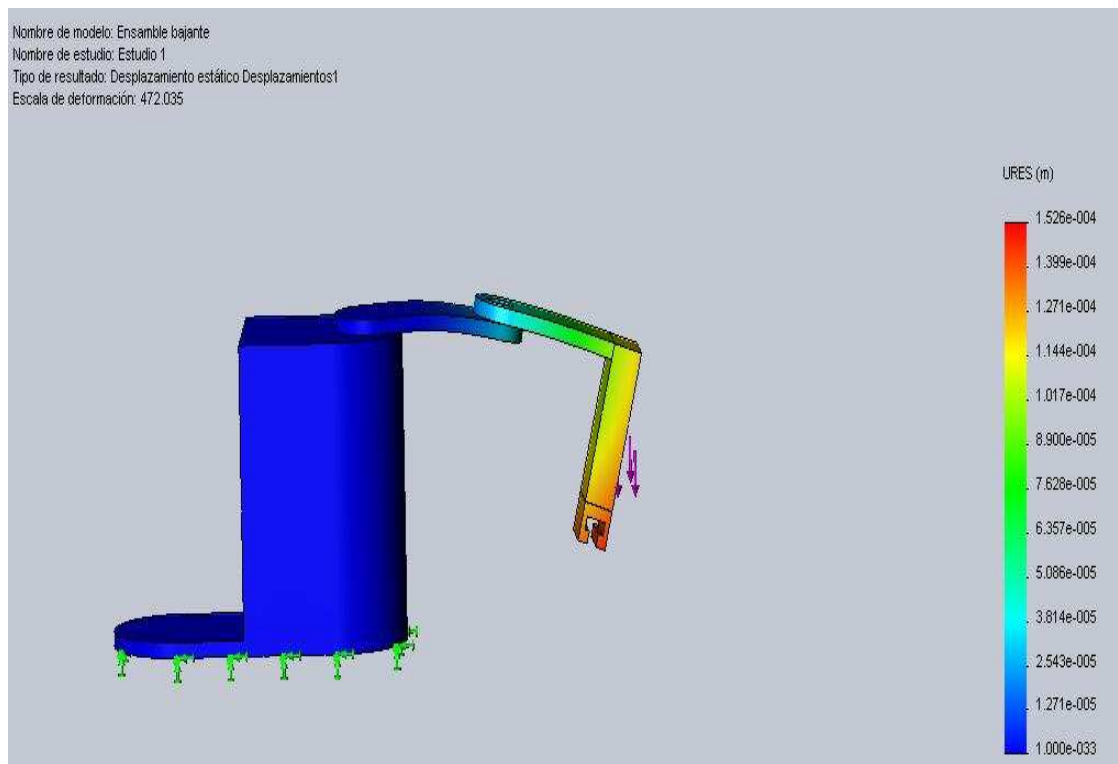


Fig. 3.26 Ensamble bajante-Estudio 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

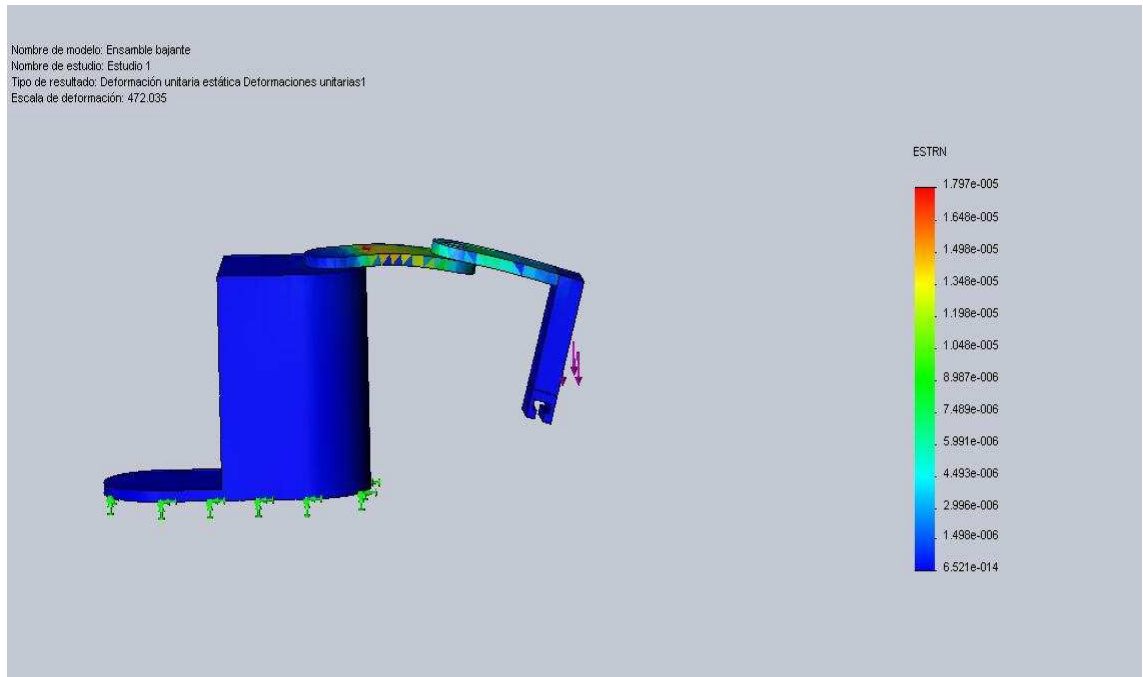


Fig. 3.27 Ensamble bajante-Estudio 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

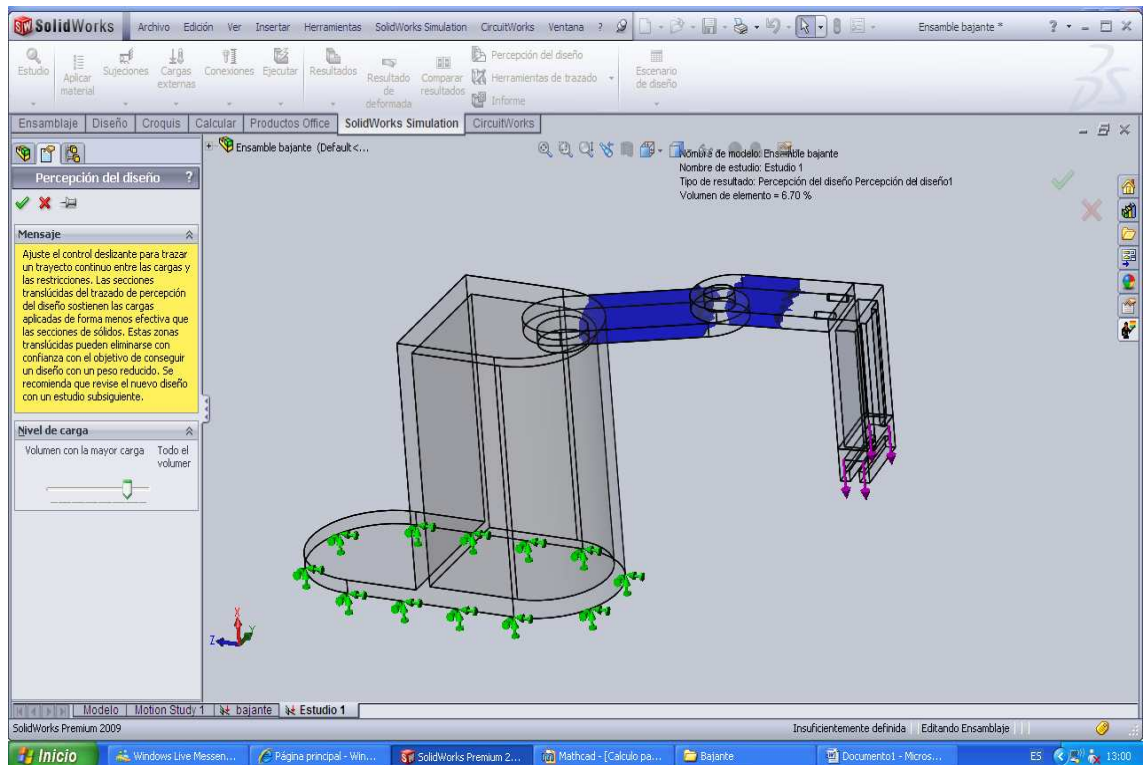


Fig. 3.28 Percepción del Diseño



3.4.4.4 Conclusión

Realizado el análisis mediante software de elementos finitos solidWorks simulation podemos concluir que:

- La zona de influencia de los valores de tensiones críticas aplicadas a la base afectan un 6.70% del total de la estructura.

Se puede apreciar que el máximo valor de tensiones utilizado el criterio de Von Misses es de $2.43976e+006 \text{ N/m}^2$ Nudo: 15502 inferior a los valores de tensiones críticos, por lo que se puede asegurar que desde el punto de vista estructural se cumple la condición de resistencia, garantizando la capacidad de resistente de la estructura (en las condiciones dadas de carga, tanto el material como las dimensiones seleccionadas son las adecuadas).

Por lo expresado anteriormente comprobamos que el diseño, cálculo y material escogido resiste a cabalidad las fuerzas que se aplicaran para su correcto funcionamiento.



3.4.5 Análisis de tensiones de ensamble mano

3.4.5.1 Descripción

Análisis de elementos finitos en la Mano aplicando las fuerzas calculadas en el análisis Dinámico realizado.

Tabla 3.4.6 Información de modelo

Nombre de documento	Configuración	Ruta al documento	Fecha de modificación
Ensemble mano	Default	F:\TESIS\Tesis\dibujos solid Work\Despise\ANALISIS DE FUERZAS\Análisis Comp. dos\Mano\Ensemble mano.SLDASM	Wed Jan 12 16:44:37 2011
Antebrazo 23-1	Predeterminado	F:\TESIS\Tesis\dibujos solid Work\Despise\ANALISIS DE FUERZAS\Análisis Comp. dos\Antebrazo\Antebrazo 23.SLDPRT	Tue Oct 26 17:38:18 2010
Copia de Base 21-1	Predeterminado	F:\TESIS\Tesis\dibujos solid Work\Despise\ANALISIS DE FUERZAS\Análisis Comp. dos\Mano\Copia de Base 21.SLDPRT	Wed Jan 12 16:38:38 2011
Ensamble Mano-1/Copia de Pieza 6-1		F:\TESIS\Tesis\dibujos solid Work\Ensamblaje\ensamble y movimiento mano\Copia de Pieza 6.SLDPRT	Sun Oct 24 12:51:45 2010
Ensamble Mano-1/Ensamblaje1-1/Copia de Bajante 4-1		F:\TESIS\Tesis\dibujos solid Work\Despise\ANALISIS DE FUERZAS\Análisis Comp. dos\Bajante\Copia de Bajante 4.SLDPRT	Wed Oct 27 14:39:43 2010
Ensamble Mano-1/Ensamblaje1-1/Copia de Mano 5-1		F:\TESIS\Tesis\dibujos solid Work\Despise\ANALISIS DE FUERZAS\Análisis Comp. dos\Bajante\Copia de Mano 5.SLDPRT	Wed Oct 27 14:39:35 2010
Ensamble Mano-1/Pieza 6-1		F:\TESIS\Tesis\dibujos solid Work\Ensamblaje\ensamble y movimiento mano\Pieza 6.SLDPRT	Sun Oct 24 12:51:45 2010
brazo 22-1	Predeterminado	F:\TESIS\Tesis\dibujos solid Work\Despise\ANALISIS DE FUERZAS\Análisis Comp. dos\brazo\brazo 22.SLDPRT	Tue Oct 26 17:40:32 2010



Tabla 3.47 Propiedades del estudio

Nombre de estudio	Estudio 1
Tipo de análisis	Estático
Tipo de malla:	Malla sólida
Efecto térmico:	Introducir temperatura
Temperatura a tensión cero	298.000000
Unidades	Kelvin

Tabla 3.48 Unidades

Sistema de unidades:	SI
Longitud/Desplazamiento	M
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	rad/s
Tensión/Presión	N/m ²

Tabla 3.49 Propiedades de material

Nº	Nombre de sólido	Material	Masa	Volumen
1	Antebrazo 23-1	[SW]Aleación 6061	0.344618 kg	0.000127636 m ³
2	Copia de Base 21-1	[SW]AISI 1020	16.3765 kg	0.00207298 m ³
3	Ensamble Mano-1/Copia de Pieza 6-1	[SW]Aleación 6061	0.0486 kg	1.8e-005 m ³
4	Ensamble Mano-1/Ensamblaje1-1/Copia de Bajante 4-1	[SW]Aleación 6061	0.55971 kg	0.0002073 m ³
5	Ensamble Mano-1/Ensamblaje1-1/Copia de Mano 5-1	[SW]Aleación 6061	0.320574 kg	0.000118731 m ³
6	Ensamble Mano-1/Pieza 6-1	[SW]Aleación 6061	0.0486 kg	1.8e-005 m ³
7	brazo 22-1	[SW]Aleación 6061	0.61259 kg	0.000226885 m ³



Nombre de material:	[SW]Aleación 6061		
Tipo de modelo del material:	Isotrópico elástico lineal		
Nombre de propiedad	Valor	Unidades	Tipo de valor
Módulo elástico	6.9e+010	N/m ²	Constante
Coefficiente de Poisson	0.33	NA	Constante
Módulo cortante	2.6e+010	N/m ²	Constante
Densidad	2700	kg/m ³	Constante
Límite de tracción	1.2408e+008	N/m ²	Constante
Límite elástico	5.5149e+007	N/m ²	Constante
Coefficiente de dilatación térmica	2.4e-005	/Kelvin	Constante
Conductividad térmica	170	W/(m.K)	Constante
Calor específico	1300	J/(kg.K)	Constante

Nombre de material:	[SW]AISI 1020
Descripción:	Aleación de aluminio tiene buena resistencia y es muy liviano
Tipo de modelo del material:	Isotrópico elástico lineal

Nombre de propiedad	Valor	Unidades	Tipo de valor
Módulo elástico	2e+011	N/m ²	Constante
Coefficiente de Poisson	0.29	NA	Constante
Módulo cortante	7.7e+010	N/m ²	Constante
Densidad	7900	kg/m ³	Constante
Límite de tracción	4.2051e+008	N/m ²	Constante
Límite elástico	3.5157e+008	N/m ²	Constante
Coefficiente de dilatación térmica	1.5e-005	/Kelvin	Constante
Conductividad térmica	47	W/(m.K)	Constante
Calor específico	420	J/(kg.K)	Constante



3.4.5.2 Cargas y restricciones

Tabla 3.51 Sujeción

Nombre de restricción	Conjunto de selecciones	Descripción
Sujeción-1 <Copia de Base 21-1>	activar 1 Cara(s) fijo.	

Tabla 3.52 Carga

Nombre de carga	Conjunto de selecciones	Tipo de carga	Descripción
Fuerza/Torsión-1 <Ensamble Mano-1/Ensamblaje1-1/Copia de Bajante 4-1>	activar 1 Cara(s) aplicar fuerza normal -4.903 N utilizando distribución uniforme	Carga secuencial	

3.4.5.3 Contacto

Estado de contacto: Caras en contacto - Unido

Tabla 3.53 Información de malla

Tipo de malla:	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Superficie suave:	Activar
Verificación jacobiana:	4 Points
Tamaño de elementos:	14.823 mm
Tolerancia:	0.74114 mm
Calidad:	Alta
Número de elementos:	8405
Número de nodos:	15973
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	CASA-306E781CA4



Tabla 3.54 Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N	4.90302	0.000355922	-0.00013591	4.90302

Tabla 3.55 Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N	-1.92908e-005	-2.18733e-006	2.10013e-007	1.94156e-005

Tabla 3.56 Momentos de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el sólido	N-m	0	0	0	1e-033

Tabla 3.57 Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0.00372902 N/m ² Nodo: 9977	(6.25 mm, 7.35129 mm, 163.513 mm)	612661 N/m ² Nodo: 15807	(238.55 mm, 21.5638 mm, -167.498 mm)
Desplazamientos 1	URES: Desplazamiento resultante	0 m Nodo: 1469	(-6.25 mm, 9.18455e-015 mm, -166.126 mm)	4.44669e-005 m Nodo: 11974	(0.833406 mm, 59.814 mm, -377.369 mm)
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2.47992e-014 Elemento: 3849	(1.44872 mm, -8.9177 mm, 161 mm)	5.89955e-006 Elemento: 7791	(249.342 mm, 34.9576 mm, -177.396 mm)

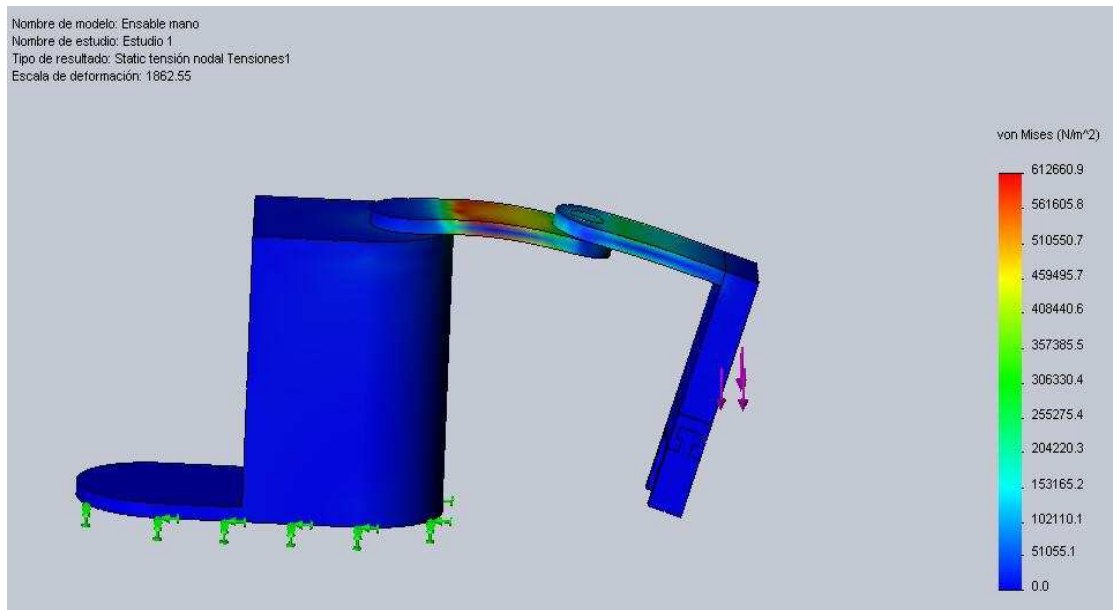


Fig. 3.29 Ensamble mano-Estudio 1-Tensiones-Tensiones1

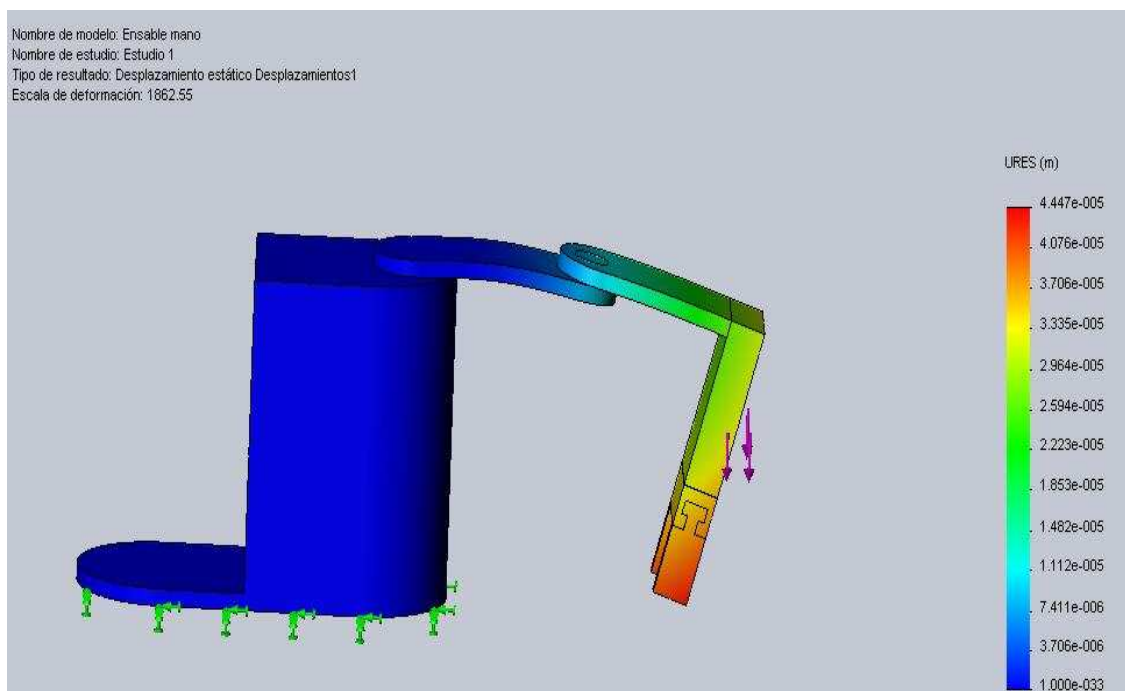


Fig. 3.30 Ensamble mano-Estudio 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

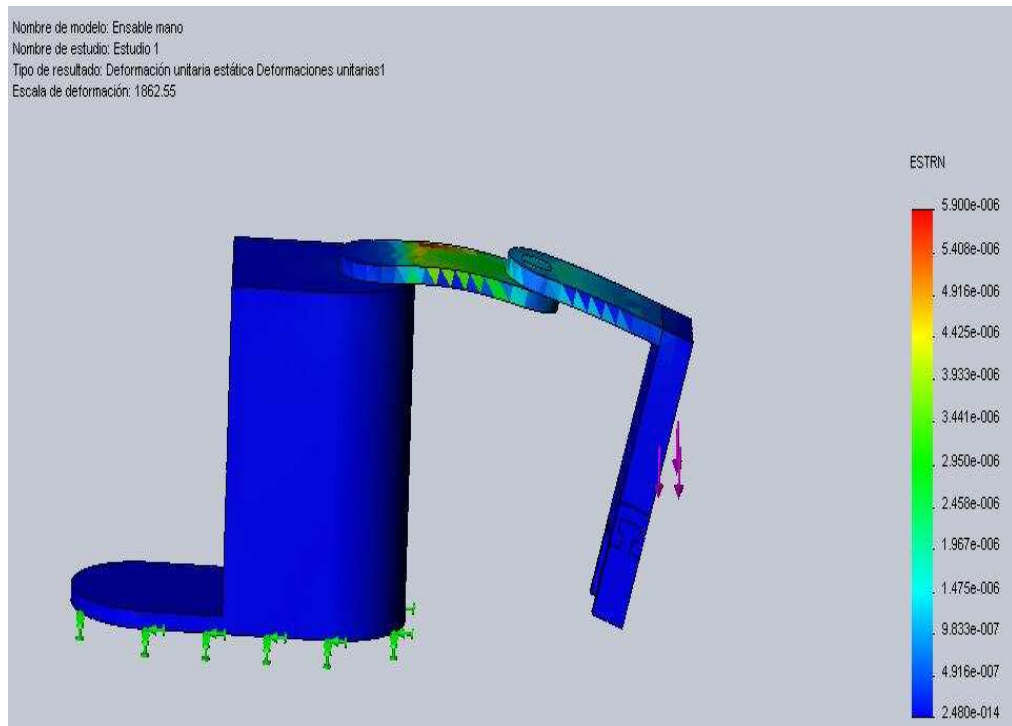


Fig. 3.31 Ensamble mano-Estudio 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

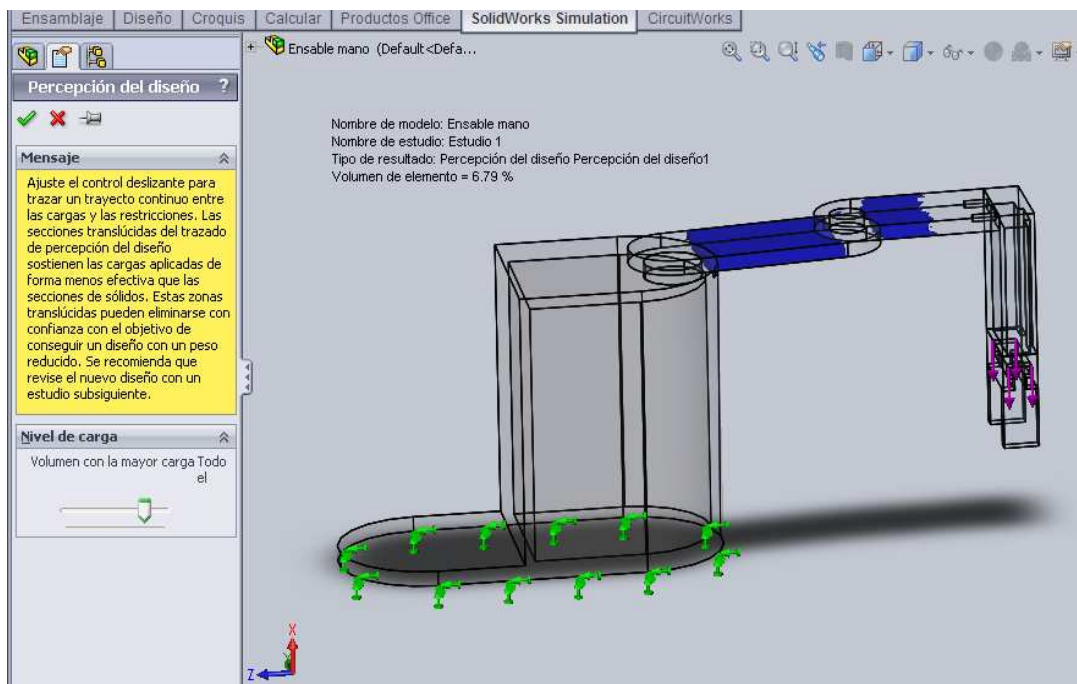


Fig. 3.32 Percepción del diseño



3.4.5. 4 Conclusión

Realizado el análisis mediante software de elementos finitos solidWorks simulation podemos concluir que:

- La zona de influencia de los valores de tensiones críticas aplicadas a la base afectan un 6.79% del total de la estructura.

Se puede apreciar que el máximo valor de tensiones utilizado el criterio de Von Mises es de 612661 N/m² Nudo: 15807 inferior a los valores de tensiones críticos, por lo que se puede asegurar que desde el punto de vista estructural se cumple la condición de resistencia, garantizando la capacidad de resistente de la estructura (en las condiciones dadas de carga, tanto el material como las dimensiones seleccionadas son las adecuadas.

Por lo expresado anteriormente comprobamos que el diseño, cálculo y material escogido resiste a cabalidad las fuerzas que se aplicaran para su correcto funcionamiento.

Terminado el análisis estructural de tensiones observamos que la mayor cantidad de esfuerzos se concentran en el brazo, constituyéndose esta parte el área de mayor riesgo de sufrir deformaciones. Aclarando que el brazo robótico no presentará problema estructural alguno ya que se a demostrado que su diseño es el apropiado para resistir estas cargas.



3.5 AUTOMATIZACION

3.5.1 LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench. Laboratorio de Instrumentos Virtuales en Ingeniería) de la firma National Instruments es un programa de desarrollo basado en un ambiente gráfico destinado a realizar prototipos, diseños y sistemas de adquisición de datos, instrumentación y sistemas de control. LabVIEW, pasando del manejo del entorno y la manipulación de datos a desarrollos que involucran al puerto serial y algoritmos de control PID. De esta manera, el contenido y ejercicios que acompañan a cada sección se encuentran encaminados al desarrollo de una aplicación particular, en este caso el control de posiciones de motores de DC, a través de una tarjeta electrónica diseñada para este propósito.

LabVIEW es un lenguaje de programación gráfica que usa iconos instanciados de líneas de texto para crear aplicaciones. En contraste a los lenguajes de programación basados en texto, donde las instrucciones determinan la ejecución del programa, LabVIEW usa dataflow programming, donde el flujo de datos determina la ejecución. En LabVIEW, la construcción de la interfaz de usuario es realizada mediante un conjunto de herramientas y objetos. La interfaz de usuario es conocida como panel frontal. El código usado para el control de los objetos en el panel frontal se encuentra en el diagrama a bloques.

Los Programas en LabVIEW son llamados instrumentos virtuales (VIs). En que control es igual a entradas, e indicadores es igual a salidas.

Cada VI contiene tres partes principales:

- Panel frontal– Cómo el usuario interacciona con el VI.
- Diagrama de bloque – El código que controla el programa.
- Icono/Conector – Medios para conectar un VI con otros VIs.

3.5.1.1 El panel frontal

Es la interface del usuario con el VI. Usted construye el panel frontal con controles e indicadores, que son las entradas y salidas que interactúan con las terminales del VI, respectivamente. Los controles son botones de empuje, marcadores y otros componentes de entradas. Los indicadores son las graficas, luces y otros dispositivos.

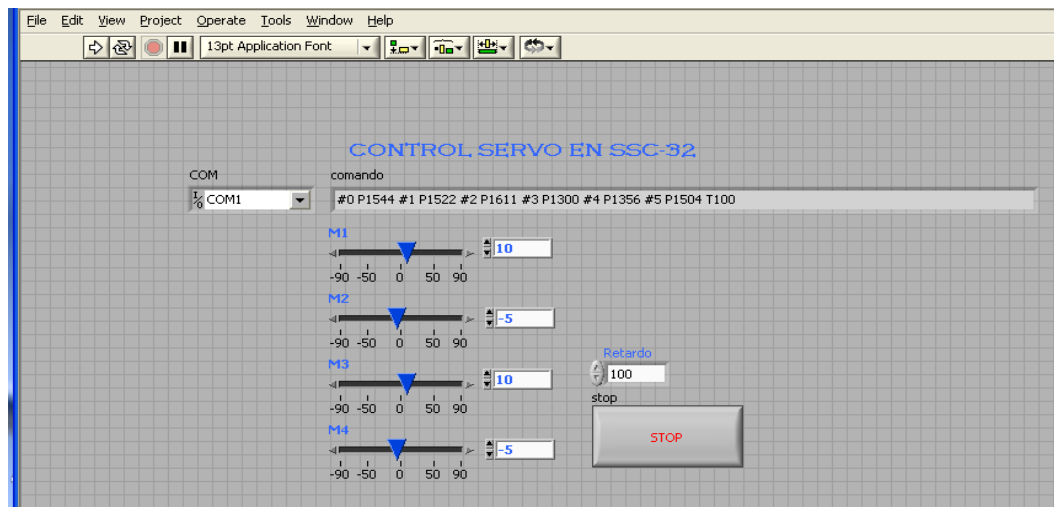


Fig. 3.33 Panel Frontal

3.5.1.2 El diagrama de bloque

Contiene el código fuente grafico. Los objetos del panel frontal aparecen como terminales en el diagrama de bloque. Adicionalmente, el diagrama de bloque contiene funciones y estructuras incorporadas en las bibliotecas de LabVIEW VI. Los cables

conectan cada uno de los nodos en el diagrama de bloques, incluyendo controles e indicadores de terminal, funciones y estructuras.

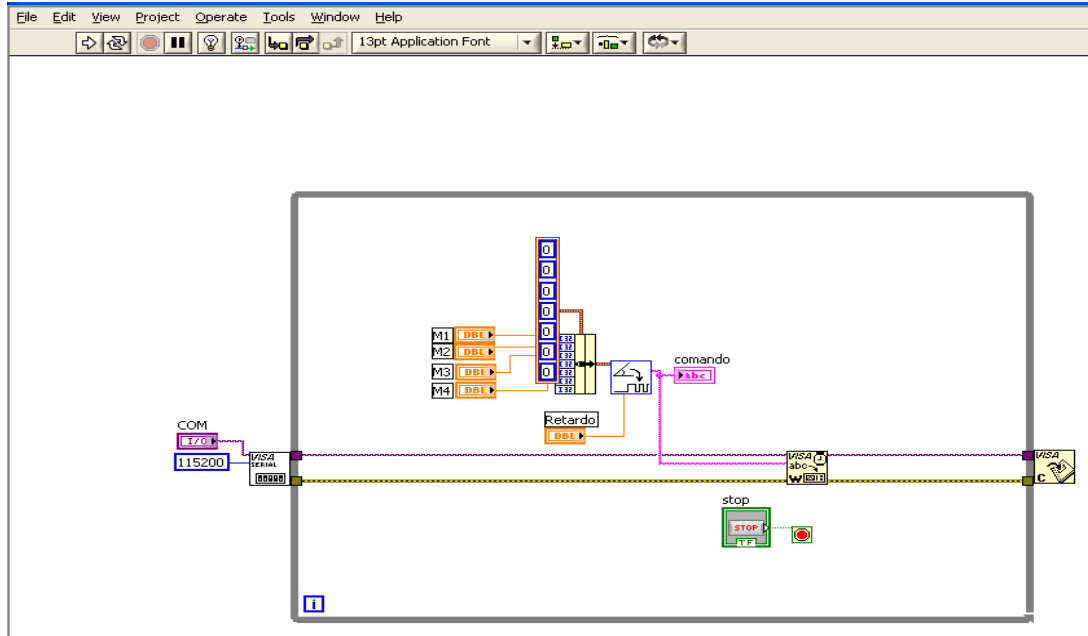


Fig. 3.34 Diagrama de Bloques

3.5.1.3 SubVIs

Un SubVI es un VI que puede ser utilizado dentro de otro VI. Un subVI corresponde a una subrutina en lenguajes de programación basados en texto. La utilización de subVIs le ayuda a manejar cambios y a eliminar errores del diagrama de bloque rápidamente.

3.5.2 Definición y Estructura los servos motores

Un servomotor (o servo) es un motor de corriente continua que tiene la capacidad de ser controlado en posición. Es capaz de ubicarse en cualquier posición dentro de un rango de operación (generalmente de 180°) y mantenerse estable en dicha posición. Los servos



se suelen utilizar en robótica, automática y modelismo (vehículos por radio-control, RC) debido a su gran precisión en el posicionamiento.

En general, los servos suelen estar compuestos por 4 elementos fundamentales:

3.5.2.1 Motor de corriente continua (DC)

Es el elemento que le brinda movilidad al servo. Cuando se aplica un potencial a sus dos terminales, este motor gira en un sentido a su velocidad máxima. Si el voltaje aplicado sus dos terminales es inverso, el sentido de giro también se invierte.

3.5.2.2 Engranajes reductores

Tren de engranajes que se encarga de reducir la alta velocidad de giro del motor para acrecentar su capacidad de torque (o par-motor).

3.5.2.3 Sensor de desplazamiento

Suele ser un potenciómetro colocado en el eje de salida del servo que se utiliza para conocer la posición angular del motor.

3.5.2.4 Circuito de control

Es una placa electrónica que implementa una estrategia de control de la posición por realimentación. Para ello, este circuito compara la señal de entrada de referencia (posición deseada) con la posición actual medida por el potenciómetro. La diferencia entre la posición actual y la deseada es amplificada y utilizada para mover el motor en la dirección necesaria para reducir el error.



Fig. 3.35 Componentes de un servo: a) carcasa; b) motor DC; c) potenciómetro; d) circuito de control; e) tren reductor; f) brazo (elemento terminal en el eje)

3.5.2.5 Principios de Funcionamiento

Los servos disponen de tres cables (Figura 3.36): dos cables de alimentación (positivo y negativo/masa) que suministran un voltaje 4.8-6V y un cable de control que indica la posición deseada al circuito de control mediante señales PWM (“Pulse Width Modulation”).

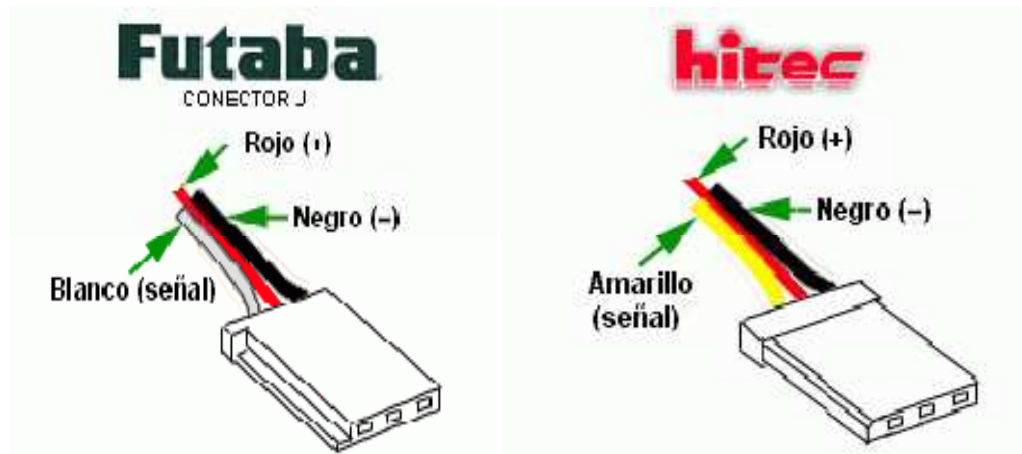


Fig. 3.36 Colores de los cables de los principales fabricantes de servos.

Las señales PWM utilizadas para controlar los servos están formadas por pulsos positivos cuya duración es proporcional a la posición deseada del servo y que se repiten cada 20ms (50Hz). Todos los servos pueden funcionar correctamente en un rango de movimiento de 90°, que se corresponde con pulsos PWM comprendidos entre 0.9 y 2.1ms. Sin embargo, también existen servos que se pueden mover en un rango extendido de 180° y sus pulsos de control varían entre 0.5 y 2.5ms (Figura 3). Antes de utilizar un servo habrá que comprobar experimentalmente su rango de movimiento para no dañarlo. Para mantener fijo un servo en una posición habrá que enviar periódicamente el pulso correspondiente; ya que si no recibe señales, el eje del servo quedará libre y se podrá mover ejerciendo una leve presión.

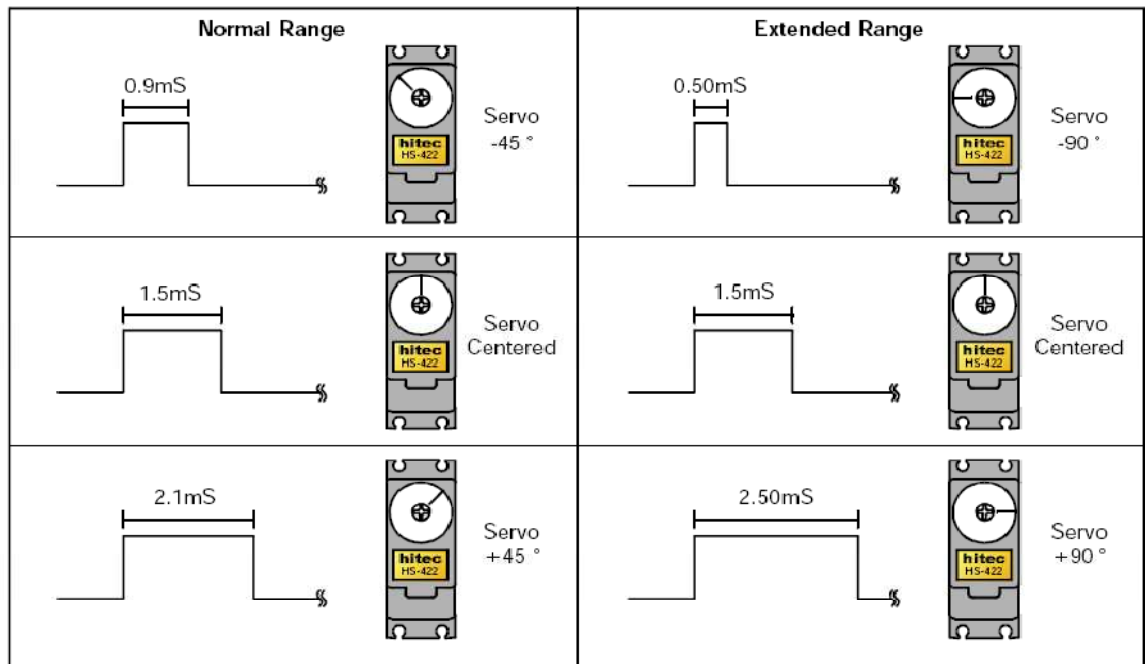


Fig. 3.37 Pulsos PWM para controlar servos

3.5.2.6 Tipologías

Existen dos tipos de servos: analógicos y digitales. Ambos tipos de servos son iguales a nivel de usuario: tienen la misma estructura (motor DC, engranajes reductores, potenciómetro y placa de control) y se controlan con las mismas señales PWM. La principal diferencia entre ellos radica en la adición de un microprocesador en el circuito de control de los servos digitales [3]. Este microprocesador se encarga de procesar la señal PWM de entrada y de controlar el motor mediante pulsos con una frecuencia 10 veces superior a los servos analógicos.

El aumento en la frecuencia de excitación del motor en los servos digitales permite disminuir su tiempo de respuesta (menor deadband), aumentar su resolución de movimiento y suavizar su aceleración/deceleración. El uso de un microprocesador



permite también a los servos digitales programar distintos parámetros de configuración que son fijos en los analógicos: sentido de giro, posición central inicial, topes en el recorrido del servo, velocidad de respuesta del servo y resolución. Para establecer estos parámetros se deben utilizar aparatos específicos de cada marca. El principal inconveniente de los servos digitales es que consumen más energía que los analógicos al tener que generar más pulsos de control para el motor.

3.5.2.7 Control de Servos

Para controlar los servos se les deben enviar pulsos PWM a través del cable de control. Existen circuitos controladores especialmente diseñados para controlar servos a través del PC. Suelen utilizar la interfaz serie (RS-232) para recibir los comandos de control. Estos comandos suelen ser diferentes dependiendo del modelo.

3.5.2.8 Controladores Serie de Servos

Un SSC (*Serial Servo Controller*, Controlador Serie de Servos) es un dispositivo utilizado para controlar servos desde un PC a través del puerto serie. Los SSC aceptan comandos con un determinado formato desde el puerto serie del PC y los transforman en pulsos PWM que son enviados a los servos que se desea controlar.

3.5.3 SSC-32

SSC-32 (Figura 3.38) es un controlador de la empresa *Lynxmotion* que permite controlar hasta un máximo de 32 servos. Se trata de un controlador completo ya que dispone de un conjunto de funcionalidades adicionales: control de servos por tiempo/velocidad/posición, movimiento síncrono de varios servos, consulta de posición de los servos y utilización de los pines de control de los servos como salidas digitales TTL.

Además, dispone de 4 entradas (A, B, C y D) que pueden ser leídas de manera digital (bits) o de manera analógica (voltajes).

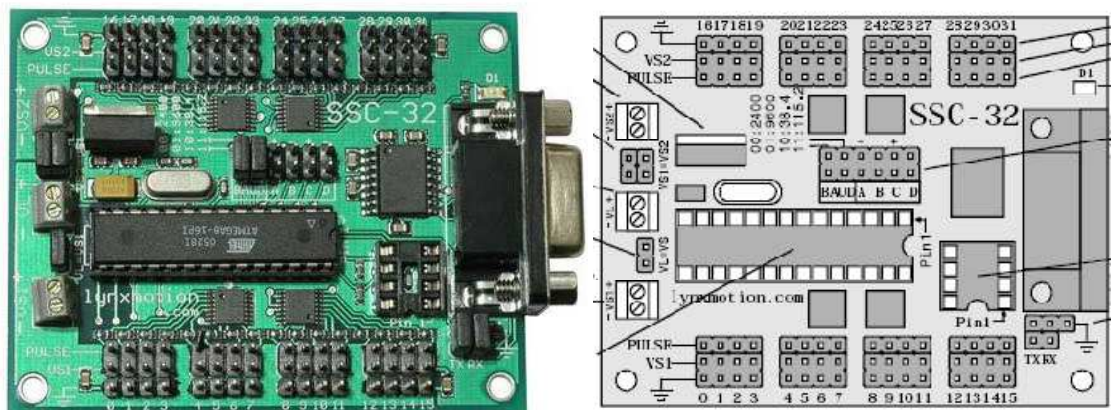


Fig. 3.38 Controlador SSC-32

Este controlador se puede transformar en inalámbrico con un adaptador bluetooth-serie, pero también se puede conectar a una tarjeta modem bluetooth [8] (BlueSMiRF WRL-00582 o WRL-00158), creando un módulo más compacto sin necesidad de alimentación adicional.

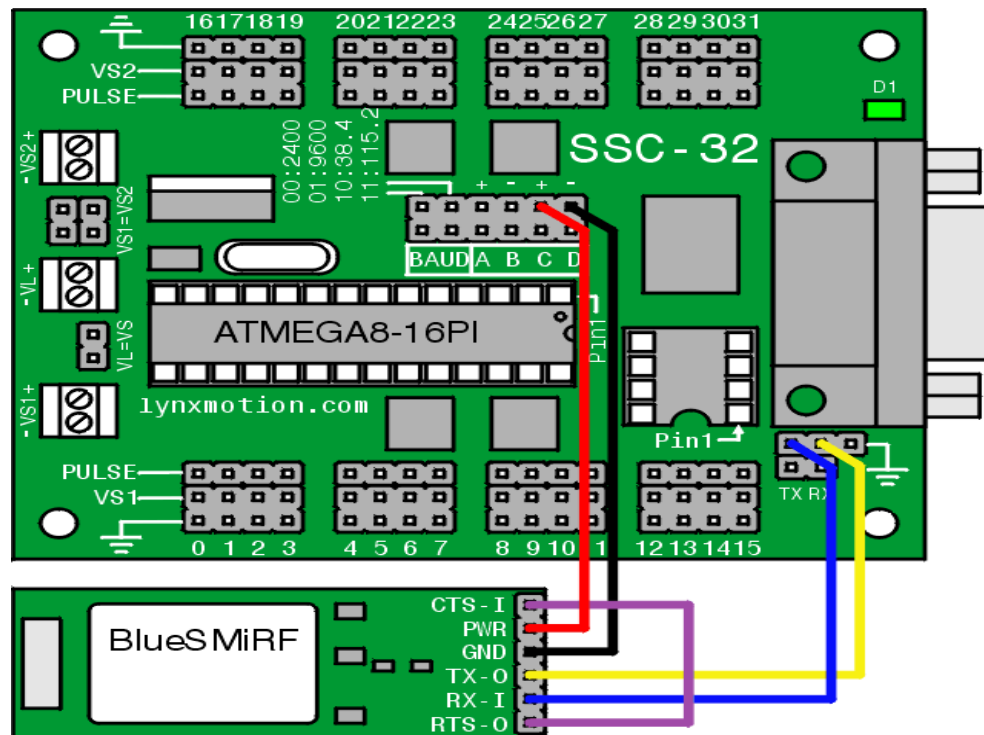


Fig. 3.39 Conexiones entre SSC-32 y tarjeta modem bluetooth

Este controlador presenta grandes ventajas: control más complejo de los servos, disponibilidad de 4 entradas, diversas configuraciones de alimentación (fuente única para placa y servos o fuentes separadas), mayor rango de velocidades del puerto serie (2400bps, 9600bps, 38.4 Kbps y 115.2Kbps), posibilidad de conectar el SSC-32 a un micro-controlador a través de comunicación serie TTL. Su único inconveniente es su mayor tamaño al disponer de un conector DB9 estándar.

3.5.3.1 Comunicación Serial

La comunicación serial es un protocolo muy común (no hay que confundirlo con el Bus Serial de Comunicación, o USB) para comunicación entre dispositivos que se incluye de manera estándar en prácticamente cualquier computadora. La mayoría de las



computadoras incluyen dos puertos seriales RS-232. La comunicación serial es también un protocolo común utilizado por varios dispositivos para instrumentación; existen varios dispositivos compatibles con GPIB que incluyen un puerto RS-232. Además, la comunicación serial puede ser utilizada para adquisición de datos si se usa en conjunto con un dispositivo remoto de muestreo. El concepto de comunicación serial es sencillo. El puerto serial envía y recibe bytes de información un bit a la vez. Aun y cuando esto es más lento que la comunicación en paralelo, que permite la transmisión de un byte completo por vez, este método de comunicación es más sencillo y puede alcanzar mayores distancias. Por ejemplo, la especificación *IEEE 488* para la comunicación en paralelo determina que el largo del cable para el equipo no puede ser mayor a 20 metros, con no más de 2 metros entre cualesquier dos dispositivos; por el otro lado, utilizando comunicación serial el largo del cable puede llegar a los 1200 metros. Típicamente, la comunicación serial se utiliza para transmitir datos en formato ASCII. Para realizar la comunicación se utilizan 3 líneas de transmisión: (1) Tierra (o referencia), (2) Transmitir, (3) Recibir. Debido a que la transmisión es asincrónica, es posible enviar datos por una línea mientras se reciben datos por otra. Existen otras líneas disponibles para realizar *handshaking*, o intercambio de pulsos de sincronización, pero no son requeridas. Las características más importantes de la comunicación serial son la velocidad de transmisión, los bits de datos, los bits de parada, y la paridad. Para que dos puertos se puedan comunicar, es necesario que las características sean iguales.

3.5.3.2 RS-232

RS-232 (Estándar ANSI/EIA-232) es el conector serial hallado en las PCs IBM y compatibles. Es utilizado para una gran variedad de propósitos, como conectar un ratón,



impresora o modem, así como instrumentación industrial. Gracias a las mejoras que se han ido desarrollando en las líneas de transmisión y en los cables, existen aplicaciones en las que se aumenta el desempeño de RS-232 en lo que respecta a la distancia y velocidad del estándar. RS-232 está limitado a comunicaciones de punto a punto entre los dispositivos y el puerto serial de la computadora. El hardware de RS-232 se puede utilizar para comunicaciones seriales en distancias de hasta 50 pies.

3.5.3.2.1 Pines del conector DB-9

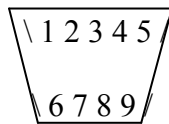


Fig. 3.40 Conector externo de la computadora y expuesto del cable.

Funciones de los pines en RS-232:

Datos: TXD (pin 3), RXD (pin 2)

Handshake: RTS (pin 7), CTS (pin 8), DSR (pin 6), DCD (pin 1), DTR (pin 4)

Tierra: GND (pin 5)

Otros: RI (pin 9)

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1 CÁLCULO MATEMÁTICO

4.1.1 Mano Robótica

$$Q := 0.50 \text{kgf}$$

$$Fr = 2.452 \text{N}$$

$$\eta_s := 0.4$$

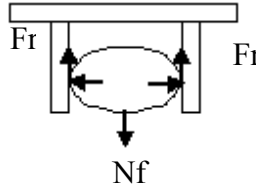
$$Nf = 6.129 \text{N}$$

Q = Peso sostenido

Fr = Fuerza de Rozamiento

Nf = Normal a la fuerza de fricción

η_s = coeficiente de fricción seco

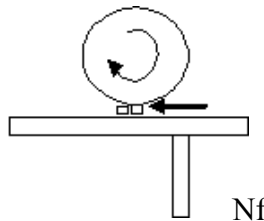


$$Fr := \frac{Q}{2}$$

$$Nf := \frac{Fr}{\eta_s}$$

$$r := 0.9 \text{cm}$$

$$Mt = 0.055 \text{J}$$



$$Mt := Nf \cdot r$$

r = Radio de la rueda dentada (cm)

Mt = Momento Torsor

4.1.2 Componente vertical de la estructura del brazo robótico (eje Z)

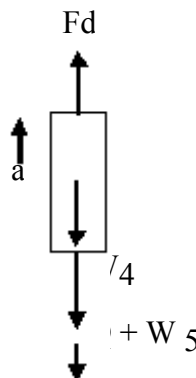
$$Es := 12 \text{cm}$$

$$a = 0.027 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W5 := 0.4 \text{kgf}$$

$$W4 := 1.1 \text{kgf}$$

$$Fd = 19.667 \text{N}$$



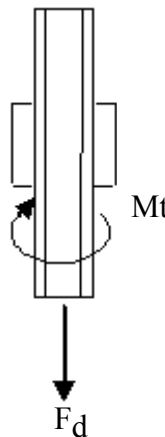
$$a := \frac{2Es}{t^2}$$

$$Fd := Q + W5 + W4 + \left[\left(\frac{Q + W5 + W4}{g} \right) \cdot a \right]$$



- Q = Peso sostiene al mano
- W₅= Peso propio de mano
- a= Aceleración lineal
- W₄= Peso de la comp. Vertical
- F_i= Fuerza de inercia
- g= gravedad
- t= tiempo requerido para elevar el peso
- Es = distancia de elevación del peso
- F_d= Fuerza dinámica o carga axial que debe ser elevada la cual equivale a la fuerza de elevación del husillo o fuerza que ejerce el motor eléctrico acoplado a la rueda dentada

- z := 1
- D := 0.6cm
- S1 := 2mm
- θ := 7deg
- γ = 0.106
- θ = 0.122
- Mt1 = 0.014J



$$\gamma := \operatorname{atan}\left(\frac{S1 \cdot z}{\pi \cdot D}\right)$$
$$Mt1 := Fd \cdot \frac{D}{2} \tan(\gamma + \theta)$$

Mt1 = el momento necesario para la transmisión de movimiento (el programa expresa el torque el Julios pero para efectos de nuestro calculo consideramos en N*m)

Mroz = Momento de rozamiento en el cojinete de apoyo.(Considerada igual a cero por que no existe cojinete de apoyo).

z = el número de entradas de la rosca

S1= el paso del tornillo sin fin



4.1.3 Antebrazo

$$t1 := 1s$$

$$\alpha1 = 3.142 \frac{1}{s^2}$$

$$W3 := 1.35kgf$$

$$Wt = 3.35 kg$$

$$b := 76.2mr$$

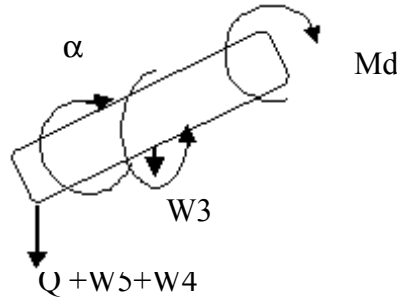
$$a := 12.7mr$$

$$im = 1.666 \times 10^{-3} m^2 \cdot kg$$

$$Md = 5.234 \times 10^{-3} J$$

$$\omega := 3 \frac{rad}{s}$$

$$N1 = 0.016 W$$



$$\alpha1 := \frac{\pi}{t1^2}$$

$$Wt := \frac{Q + W5 + W4 + W3}{g}$$

$$im := \frac{1}{12} \cdot Wt \cdot (a^2 + b^2)$$

$$Md := im \cdot \alpha1$$

$$N1 := Md \cdot \omega$$

a1 =Aceleración Angular

t1=tiempo

im= momento de inercia másico

Wt= Masa total del antebrazo

b= ancho del antebrazo

c= espesor del antebrazo

a =largo de antebrazo

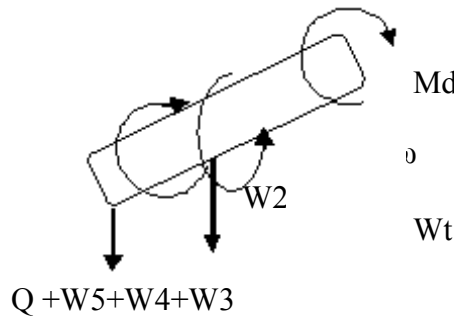
Md= Mt= Momento dinámico

N2= potencia del motor

W1= velocidad angular



4.1.4 B brazo



$$W2 := 1.15 \text{kgf}$$

$$Wt1 = 4.5 \text{ kg}$$

$$b1 := 76.2 \text{mm}$$

$$c1 := 12.5 \text{mm}$$

$$im1 = 2.236 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{kg}$$

$$Md1 = 7.025 \times 10^{-3} \text{ J}$$

$$\omega1 := 3 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$N2 = 0.021 \text{ W}$$

$$Wt1 := \frac{Q + W5 + W4 + W3 + W2}{g}$$

$$im1 := \frac{1}{12} Wt1 \cdot (b1^2 + c1^2)$$

$$Md1 := im1 \cdot \alpha1$$

$$N2 := Md1 \cdot \omega1$$

a1 = Aceleración Angular

t1 = tiempo

Im1 = momento de inercia másico

Wt1 = Masa total del brazo

b1 = ancho del brazo

c1 = espesor del brazo

Md1 = Mt1 = Momento dinámico

N1 = potencia del motor

ω2 = velocidad angular

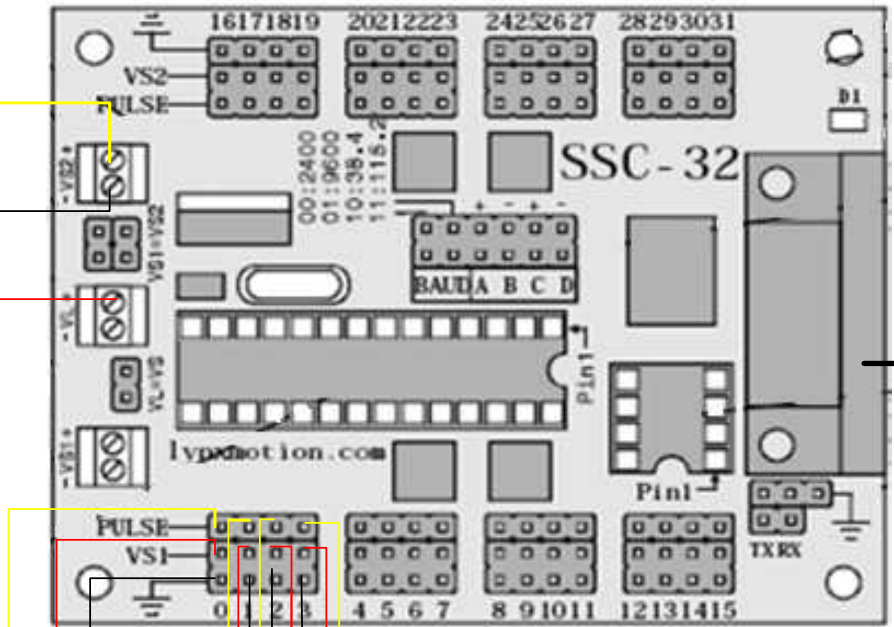
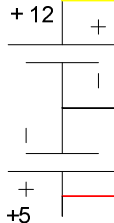


4.2 AUTOMATIZACIÓN

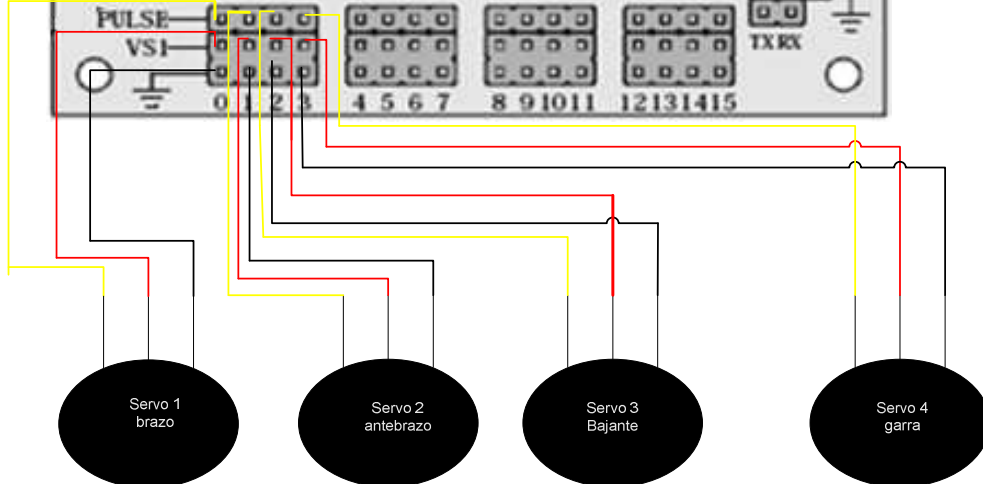
4.2 .1 Conexiones

- Fuente de alimentación, el cable de color negro es el negativo (-) el cable de color rojo es el que conecte a los +5 voltios, el cable de color amarillo es el que conecte a los + 12 voltios.
- En lo que respecta a los motores el cable de color negro conectara a tierra, el cable de color rojo conectara al voltaje y el cable de color amarillo conectara a los pulsos que será el que lleve la señal de control.
- El cable db9 a USB será el encargo de conectar desde la tarjeta al computador, que controlara el brazo automatizado.

Fuente de alimentación



Cable db 9 a USB





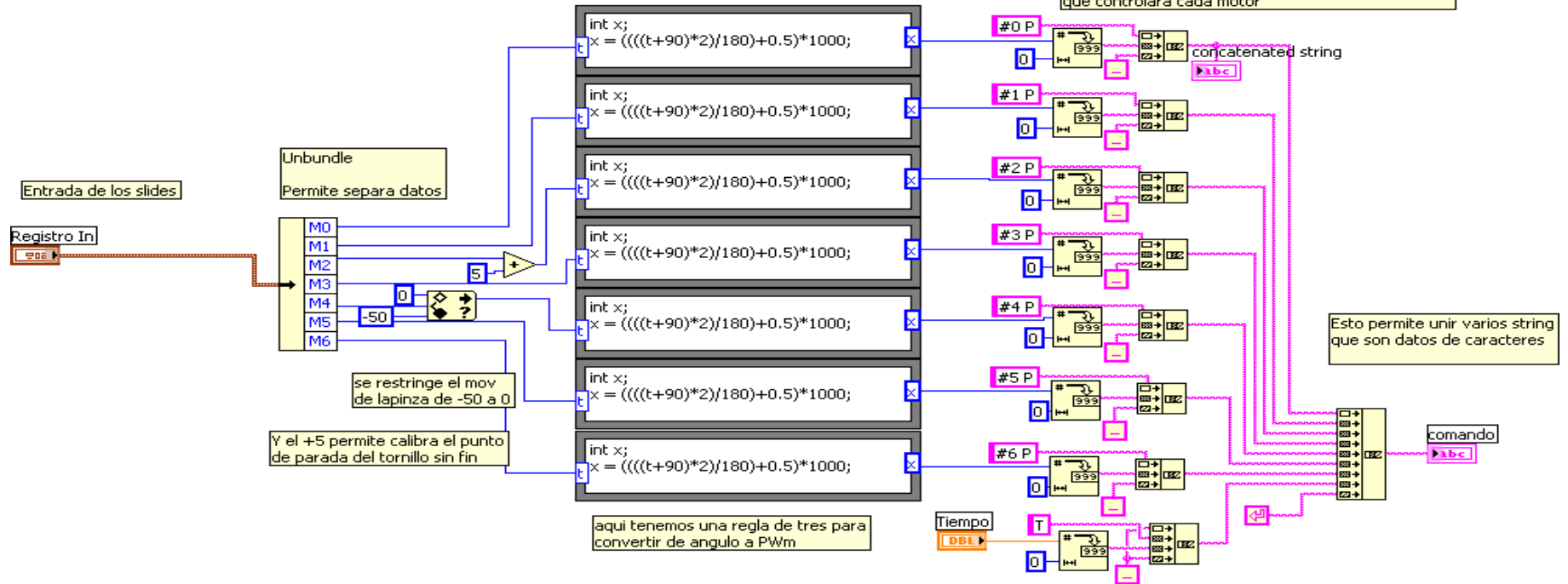
4.2.2 Diagrama de bloques

4.2.2.1 AngToPWM SSC32 Block Diagram

Este VI permite convertir los valores de los slide que están en grados de -90 a +90 convertirlas en señal PWM de 500 a 2500 milisegundos y además armar una trama que es el formato que la tarjeta RS232 entiende.

La trama está hecha para 6 motores

En cada uno de esos 6 módulos se arma cada trama de datos para la tarjeta SSC32 que controlará cada motor





4.2.2.2 AngToPWM SSC32 Front Panel

Registro In

M0
0

M1
0

M2
0

M3
0

M4
0

M5
0

M6
0

comando

```
#0 P1500 #1 P1500 #2 P1500 #3 P1456 #4 P1478 #5 P1500 #6 P1504 #7 P1589 T100
```

Tiempo

100

concatenated string



4.2.2.3 Control Robot Block Diagram

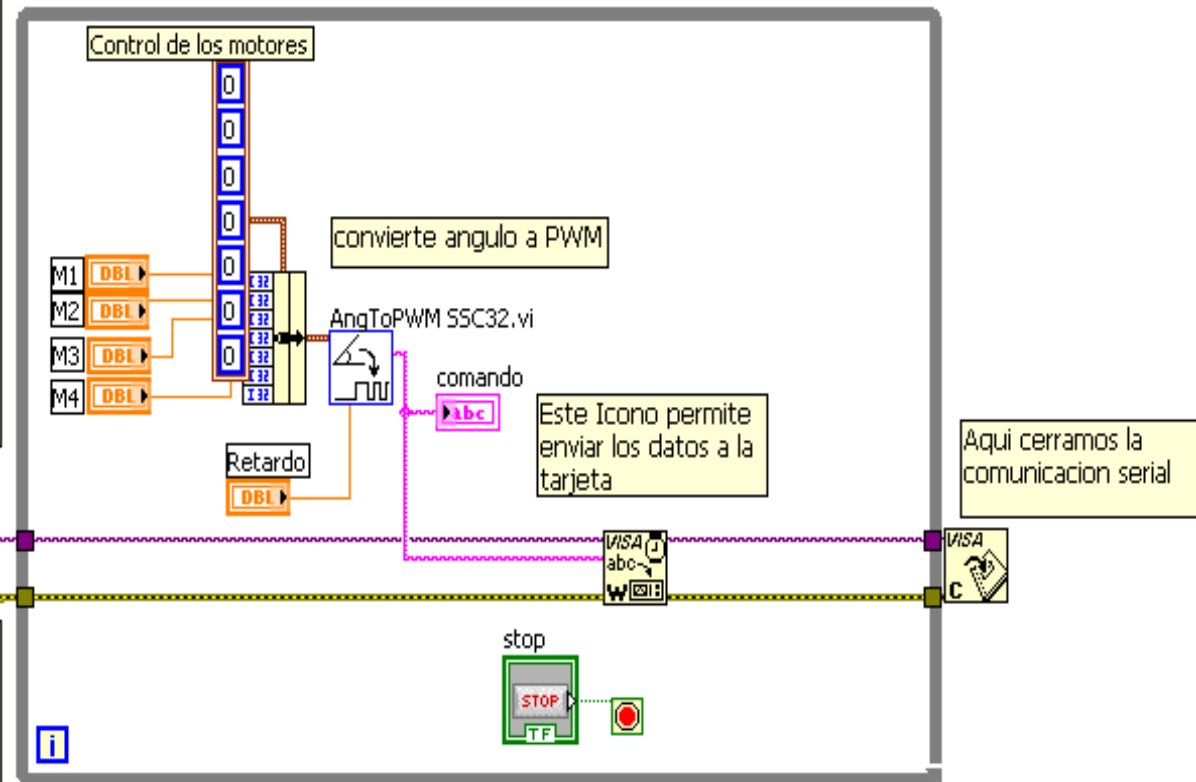
Este VI permite controlar los 4 motores mediante las barras

1. Primero se establece la omunicacion via RS232
2. luego lo que hace el VI es leer el angulo de los slide
3. Envía al Sub VI que convierte de angulo a PWM
4. Luego esa conversion se muestra en comando
5. y es enviada a la tarjeta la misma que interpreta los comandos para hacer mover a los servos.

Todo se encuentra encerrado en un ciclo repetitivo que se llama While y se detiene con el boto de stop

Esto es para la cominicación Serial permite iniciar la comunicación Se comunica a 115200 baudios por segundo

En el COM se elige el que aparece cuando se conecta el cable



Aqui cerramos la comunicacion serial

Este Icono permite enviar los datos a la tarjeta

convierte angulo a PWM

Control de los motores



4.2.2.4 Control Robot Front Panel

COM: COM1

comando: #0 P1544 #1 P1522 #2 P1611 #3 P1300 #4 P1356 #5 P1504 T100

M1: 10

M2: -5

M3: 10

M4: -5

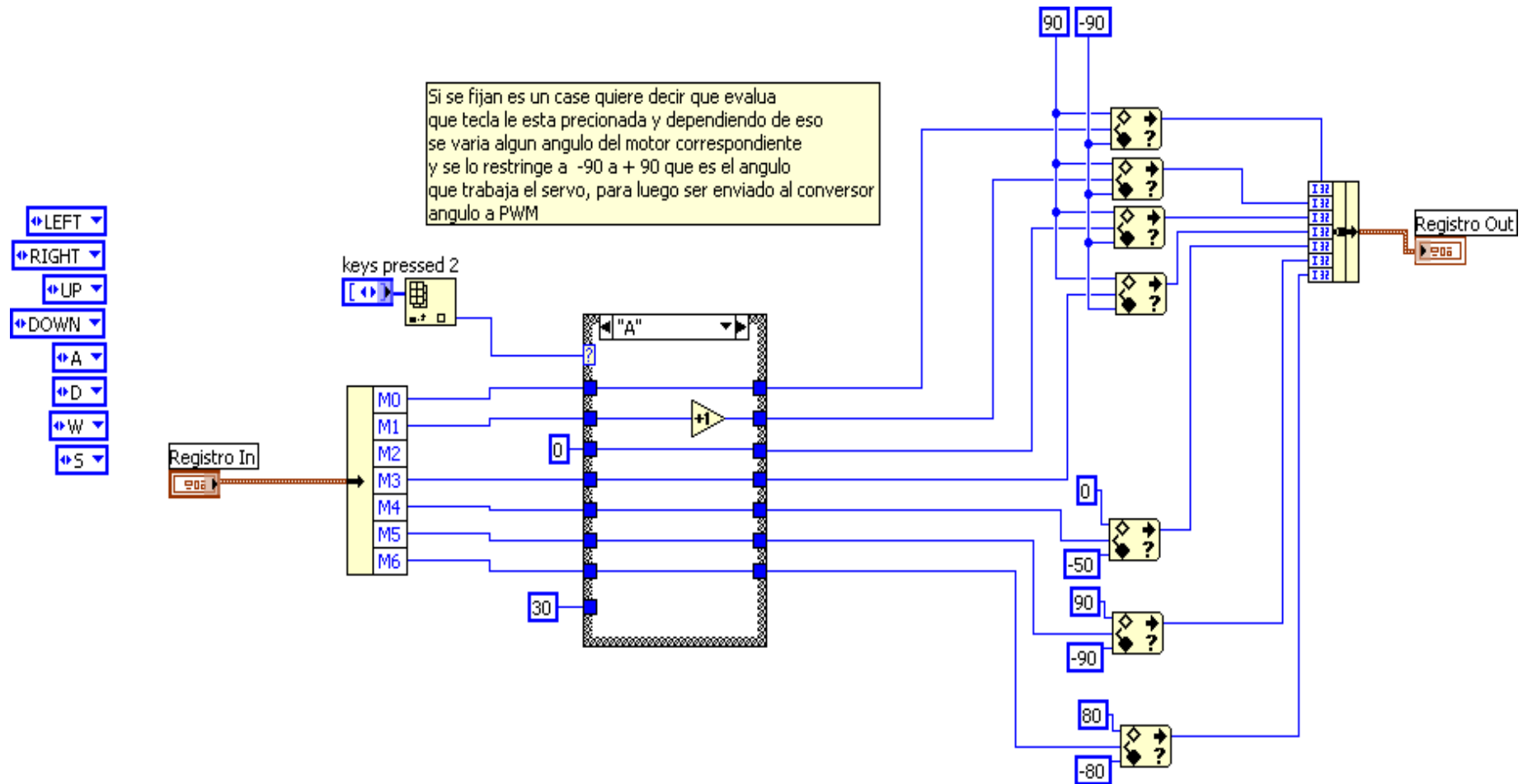
Retardo: 100

stop

STOP



4.2.2.5 Registro_Key Block Diagram





4.2.2.6 Registro_key Front Panel

The screenshot displays a LabVIEW front panel for a key registration system. At the top, a toolbar includes navigation icons (back, forward, home), a stop icon, a font size dropdown set to '13pt Application Font', and several display and refresh icons. The main workspace is a grid background. On the right side, there are two vertical columns of numeric indicators. The left column is titled 'Registro In' and contains six indicators labeled M0 through M5, each displaying the value '0'. The right column is titled 'Registro Out' and also contains six indicators labeled M0 through M5, each displaying '0'. Below these columns, there is a numeric indicator labeled 'keys pressed 2' showing '0', followed by five 'RIGHT' button indicators. At the bottom of the panel, there is a numeric indicator labeled 'appended array' showing '0', and a horizontal row of 15 green circular indicators.



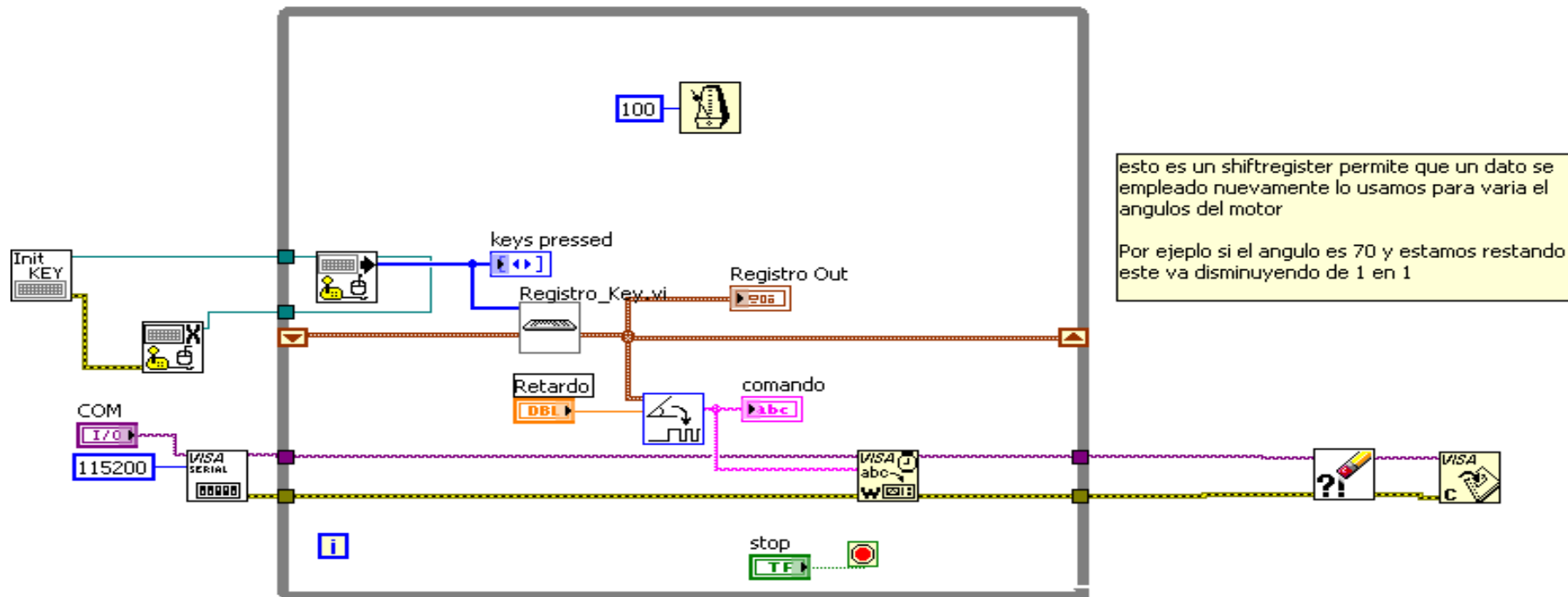
4.2.2.7 Control Robot Keyboard Block Diagram

Este VI permite controlar el robot desde el teclado

1. Se inician las secciones; la de serial RS232 y la de lectura del teclado
La parte de iniciar la comunicación Serial es idéntica al VI anterior

Lectura teclado:

lo que se hace es identificar que letra a sido precionada, y luego lo que se hace es modificar el angulo del servo moverse de -90 a + 90 para luego pasar por el conversor de angulo a PWM





4.2.2.8 Control Robot Keyboard Front Panel

CONTROL SERVO EN SSC-32

COM: COM1

comando: #0 P1544 #1 P1522 #2 P1611 #3 P1300 #4 P1356 #5 P1504 T100

Registro Out

- M0: 0
- M1: 0
- M2: 0
- M3: 0
- M4: 0
- M5: 0
- M6: 0

Retardo: 100

keys pressed: 0 RIGHT RIGHT RIGHT RIGHT RIGHT

stop: STOP

DISCUSIÓN

De los cálculos efectuados (análisis cinemática, diamantico y estructural) para validar la propuesta del diseño seleccionado podemos aseverar que son aplicables para este tipo de modelo y uso que se le dará al brazo robótico. Considerando los resultados obtenidos se estableció un diseño óptimo en cuanto a validez y confiabilidad.

Los datos obtenidos en el capítulo anterior se expresa cuales son las deducciones referentes a la resistencia mecánica del brazo sus movimientos y precisión, llegando a la conclusión que mientras más velocidad tenga el motor la precisión disminuirá considerablemente. Si se efectúa estos cambios tendremos que realizar nuevos cálculos de su estructura y programación de control.

En cuanto a la potencia del sistema, podremos manifestar que está dentro de la lógica en lo tiene que ver a otro tipo de equipos destinados a estas características de trabajo. Ya que, en su parte estructural las características que presenta, está afectado el 55.53% de su estructura, y en la tarjeta de control se utiliza en 12.5% de conexiones par los motores.



CAPITULO V

VALORACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL

5.1 VALORACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA Y AMBIENTAL

5.1.1 Valoración técnico -económica

Elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
servomotores	4	20,0	80,0
Tarjeta de control	1	75,0	75,0
Rodamientos 6000	2	4,50	9,0
Rodamiento	1	2,50	2,50
Fuente de alimentación	1	30,0	30,0
Carcasa para fuente	1	8,0	8,0
Pernos y tuercas	50	0,25	12,50
Acrílico	2	5,0	10,0
Aluminio	30	0.60	18,0
Plancha de acero			20,0
Pintura			30,0
Brocas y machuelos			10,0
Engranajes y tornillo sin fin			20,0
		Subtotal	325,0

Mano de obra

	CANTIDAD	V.UNITARIO	V.TOTAL
Piezas torneadas			350,00



Horas efectivas de trabajo	120	20	2400,00
		Subtotal	2750,00

Gastos totales para la construcción del brazo mecánico automatizado

Costos de la inversión	Gastos USD
Gasto de materiales	325,00
Gasto de Ingeniería	2400,00
Gasto de mano de obra	350,00
TOTAL	3075,00

5.1.2 Valoración ambiental

La utilización de este tipo de brazo mecánico no produce efectos negativos al medio ambiente, pues no emite agentes contaminantes que puedan deteriorar el aire ya que su funcionamiento es eléctrico.

Por otra parte el consumo de energía del equipo es muy bajo por lo que puede estar funcionando continuamente sin afectar la economía y el medio ambiente.

No produce ruido en exceso, por lo que es este sentido es prácticamente un equipo desapercibido en los alrededores donde está funcionando. En definitiva reúne las características de confiabilidad y seguridad ambiental que las normas actuales exigen.



CONCLUSIONES

- ✓ Se diseño y se construyo un brazo mecánico automatizado, de tal forma que los estudiantes y docentes de la carrera de Ing. Electromecánica puedan realizar prácticas del tema y de esta forma afianzar los conocimientos teóricos recibidos en el aula.
- ✓ el movimiento suave de las articulaciones del brazo robótico se debe al uso de rodamientos que disminuyen la fricción y evitan el desgaste de las piezas móviles, acopladas a un eje que además le sirve de apoyo y facilita su rotación.
- ✓ El lenguaje CAD-CAM (Computer Asisted Design-Computer Aided Manufacturing) combina herramientas de diseño asistido por computadora traduciendo su imagen electrónica a un lenguaje de programación de control numérico, el cual genera las instrucciones para la maquina que fabrica el dispositivo o producto en un material determinado. Las piezas de brazo construido fueron generadas utilizando Solidworks, un software que posee las características nombradas anteriormente y en el que se caracterizo por completo el manipulador, observando desde el ensamble de dos de sus piezas hasta la simulación de su trabajo en conjunto.
- ✓ Labview es una herramienta muy útil en el desarrollo de programas de control de sistemas automatizados, gracias a que simultáneamente permite la realización de varias tareas como la generación de señales PWM, diseño de compensadores PID ON/OFF, resolución de ecuaciones matemáticas y trigonométricas, entre otras, empleando lenguaje de alto nivel.
- ✓ La tarjeta de adquisición de datos utilizada en esta aplicación es muy conveniente para el propósito didáctico ya que se puede controlar 28 motores adicionales.
- ✓ Se elaborado un modelo de guía que le servirá de referente a los docentes, para llevar a la práctica la teoría impartida en el aula.



RECOMENDACIONES

- Para el buen funcionamiento del brazo mecánico automatizado, se debe cumplir a cabalidad lo estipulado en la guía del usuario.
- Es recomendable que la alimentación del brazo mecánico, provenga de fuentes de alimentación estables y que entreguen los valores de voltaje y corriente establecidos, con el fin de evitar el mal funcionamiento o daño de los equipos eléctricos y electrónicos.
- Si se requiere hacer prácticas con motores de potencia y velocidad diferente a los utilizados en esta tesis. Se lo puede realizar utilizando los puertos libres de la tarjeta ya este dispositivo tiene la capacidad de controlar hasta 32 servomotores. Se puede cambiar los motores siempre y cuando sean estos servomotores porque la tarjeta de control es solamente para servomotores. Al momento de cambiar los servomotores no necesita desechar la programación de labview que se realizó en esta tesis. Solo debe hacer la programación en base a los nuevos puertos utilizados.
- Para el motor perteneciente a la articulación prismática, se implementó el trucaje al servomotor puesto que el movimiento a lo largo del eje Z consiste en deslizar verticalmente el efector final para lo cual el servo tiene que girar los 360 grados.
- Se recomienda el uso de lenguaje de programación de alto nivel para sistemas como el control del brazo tipo SCARA, ya que se desarrollan funciones complejas que pueden optimizarse con programas como Labview, matlab o simulink, entre otros, puesto que es sencilla la elaboración de interfaces gráficas para que el usuario pueda interactuar y calibrar parámetros del sistema.



BIBLIOGRAFIA

LIBROS:

- ARTOBOLESKI. Mecanismos en la Técnica Moderna. Editorial Mir. Moscú. 2006
- BARANOV. G. Curso de la Teoría de los Mecanismos y las Máquinas. Editorial Mir. Moscú. 1985
- BARRIENTOS; Fundamentos de Robótica; McGRAW-HILL; Madrid, España; 1997.
- BATHE, K.J. Finite Element Procedures in Engineering Analysis, Prentice Hall, 1982.
- BOADA Y, MORALES L, Construcción, Ensamblaje y Control de un Robot de Tres Grados de Libertad Tipo SCARA; Escuela Politécnica Nacional, 2010
- BOLTON W; Mecatrónica: Sistemas de Control Electrónico en la Ingeniería Mecánica y Electrónica; Alfaomega Grupo Editor S.A de C.V.; México; 2006.
- CANDELAS F, CORRALES J, Servomotores; Universidad de Alicante, 2007
- DOBROVOLSKI, V. et all. Elementos de Maquinas. Editorial MIR. Moscú. 1976
- GONGORA R, RUIZ R, Quinto Curso Internacional de Capacitación en Robótica Aplicada, México DF, 2010.
- HUDSON. R. The engineer's manual. Cambridge. 1939
- IÑIGO VIDAL, Robots Industriales Manipuladores, Alfaomega; México, 2004.
- RESHETOV. D. Elementos de Maquinas. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. 1990



SITIOS WEB

- www.hitec.com
- www.lynxmotion.com
- www.Superrobotica.com

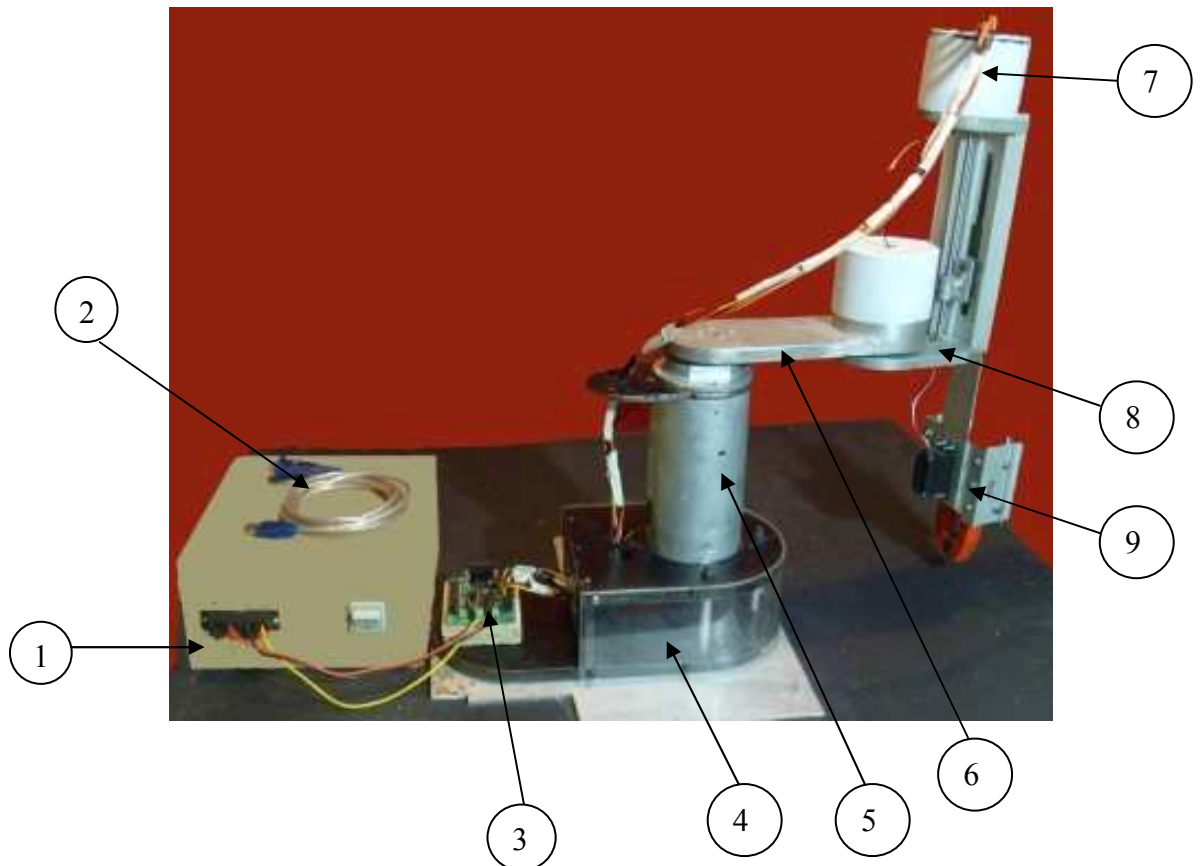
ANEXOS

GUIA DE USUARIO

Antes de proceder al montaje del brazo mecánico hay que tener presente las siguientes recomendaciones:

1. Verificar que los equipos estén apagados
2. Que no exista objetos que interfieran en nuestra actividad
3. Ubicar en forma ordenada las piezas que se desarman
4. Marcar o señalar las piezas que requieren posición
5. No mezclar los tornillos.

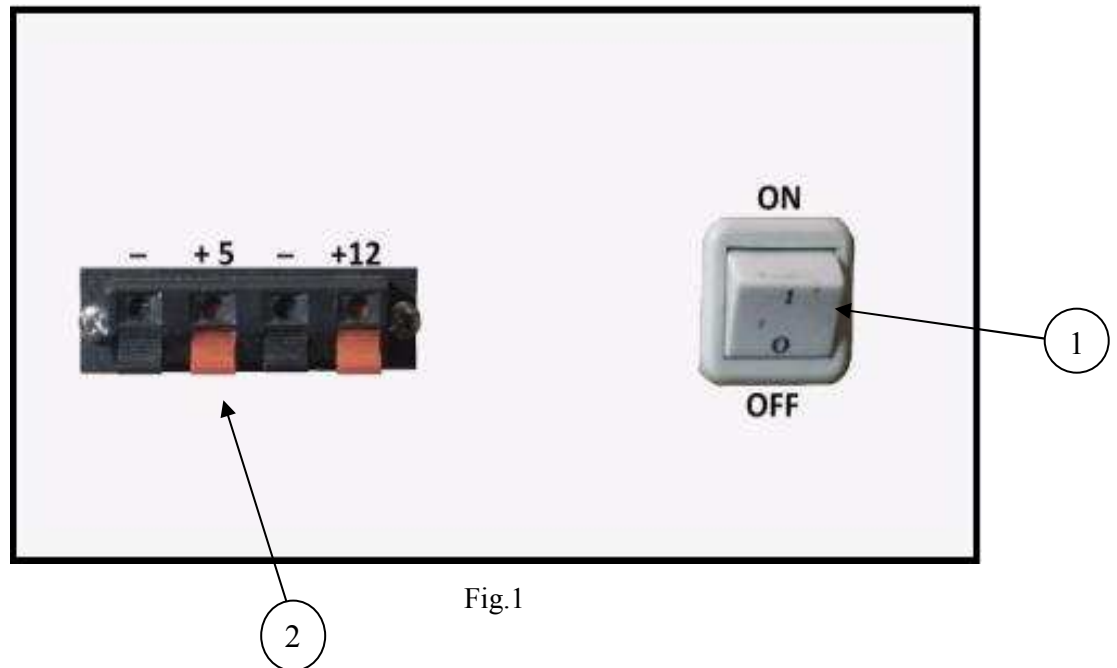
Partes del brazo mecánico



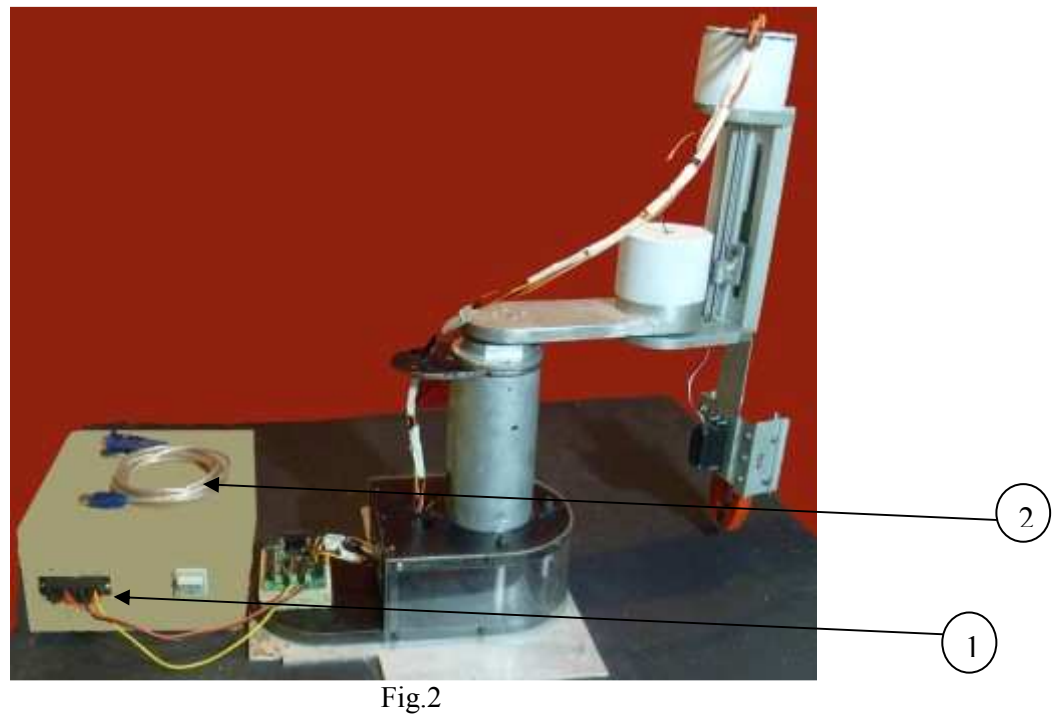
- | | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| 1. Fuente | 8. Antebrazo |
| 2. Cable DB9-USB | 9. Bajante Z |
| 3. Tarjeta de control SSC-32 | 10. Efector final (Garra) |
| 4. Base | |
| 5. Base de brazo | |
| 6. Brazo | |
| 7. Tapas de protección de Motores | |

DESMONTAJE DEL BRAZO MECANICO

1. Apagar el interruptor de la fuente de poder (Fig.1/1)



2. Desconectar los cables de alimentación de la tarjeta SSC 32 (Fig.2/1)



3. Desconectar el cable DB-9 USB (Fig.2/2)
4. Desconectar los servomotores (Fig.3/1)

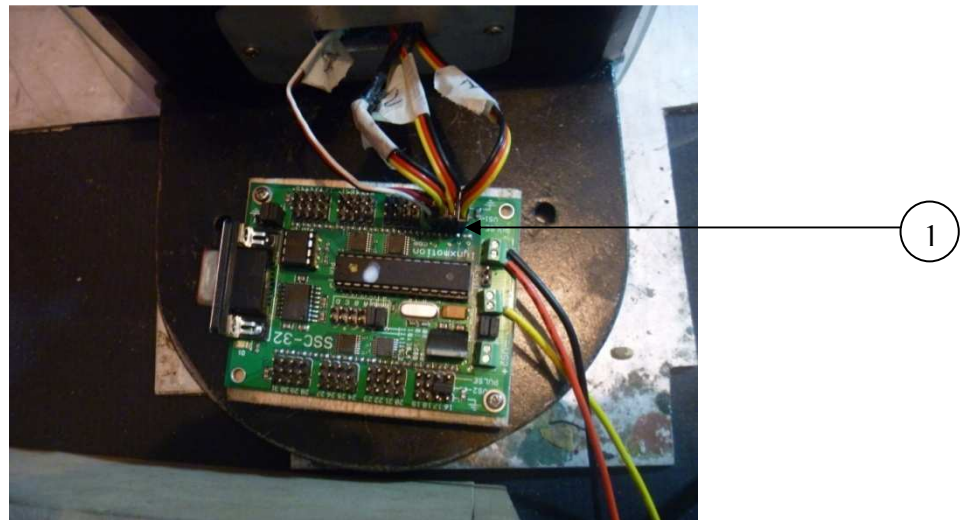


Fig. 3

5. Desmontamos las tapas que cubren los motores (Fig.4/1)

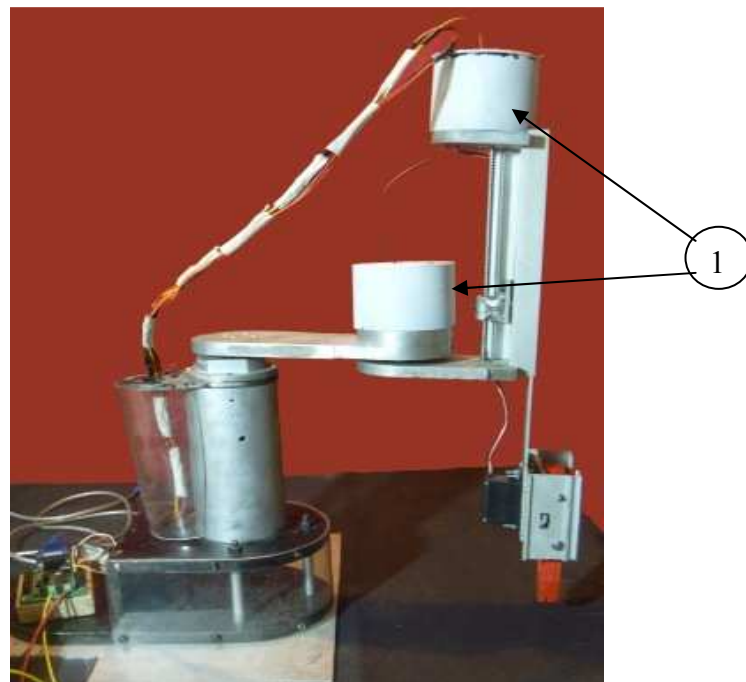


Fig.4

6. Desmontamos el efector final (garra), aflojando los dos tornillos de estrella (Fig.5/1)

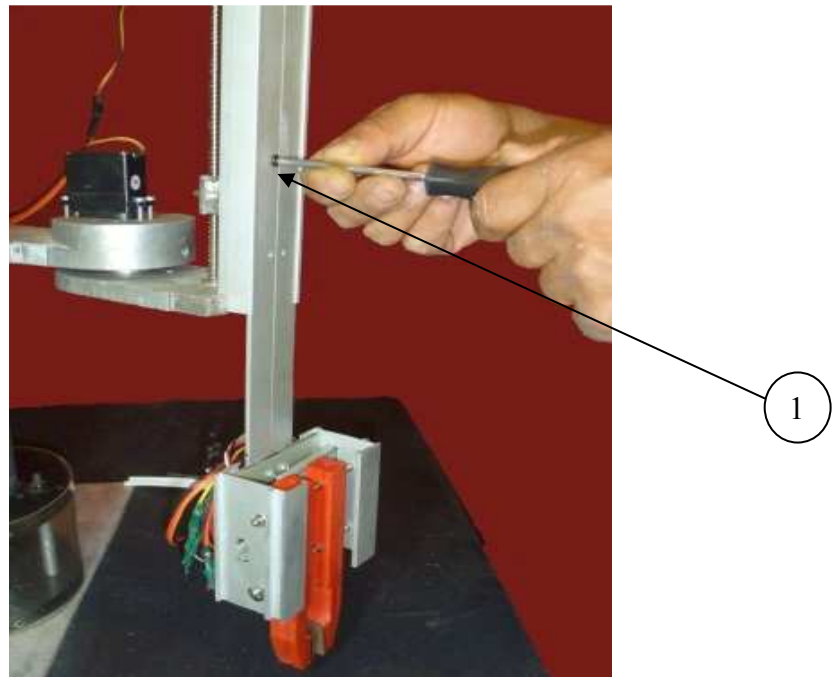


Fig.5

7. Desmontamos el eje Z aflojando los dos tornillos que sostienen la bajante Z con el antebrazo.(Fig.6/1)

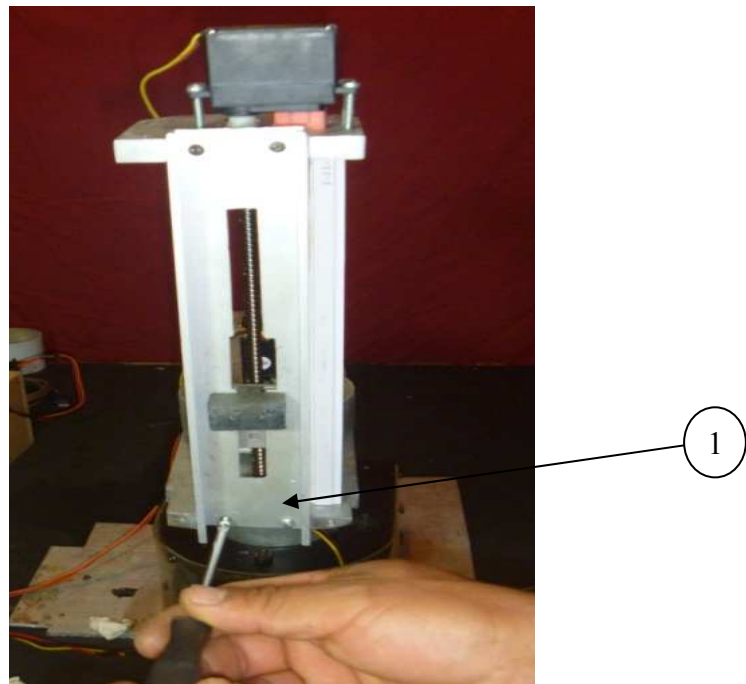


Fig.6

8. Quitamos los tres tornillos avellanados que sostienen el brazo con el antebrazo(Fig.7/1)

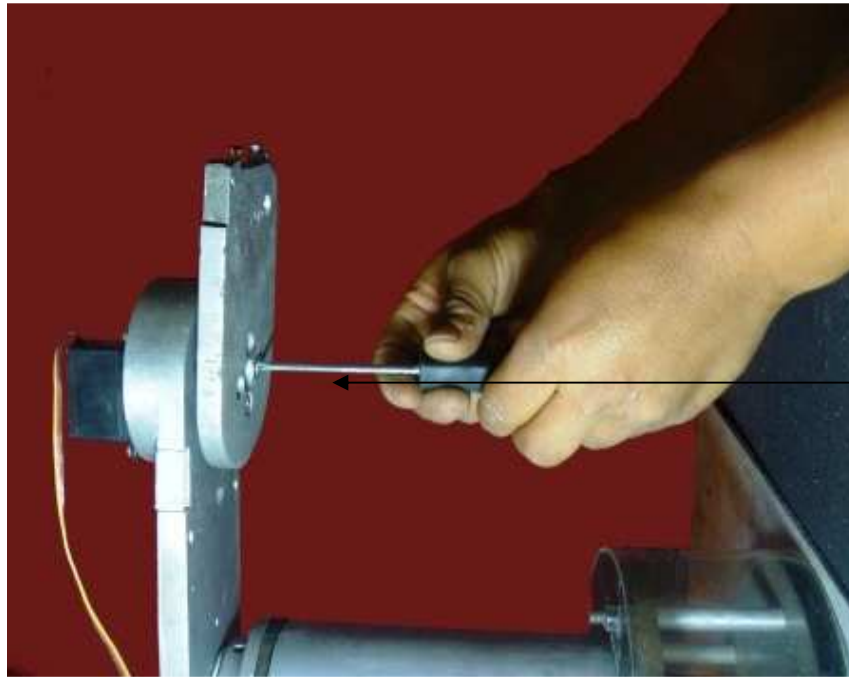


Fig. 7

9. Quitamos los cuatro tornillos planos que sostienen el brazo con la base (Fig.8/1)



Fig.8

Quitamos los cuatro tornillos que sostienen la brida con el cilindro de la base (Fig.9/1)



Fig.9

MONTAJE DEL BRAZO MECANICO

Para realizar el montaje realizamos el proceso inverso con determinadas precauciones

1. Colocamos la brida sobre la base y atornillamos (Fig.1/1)

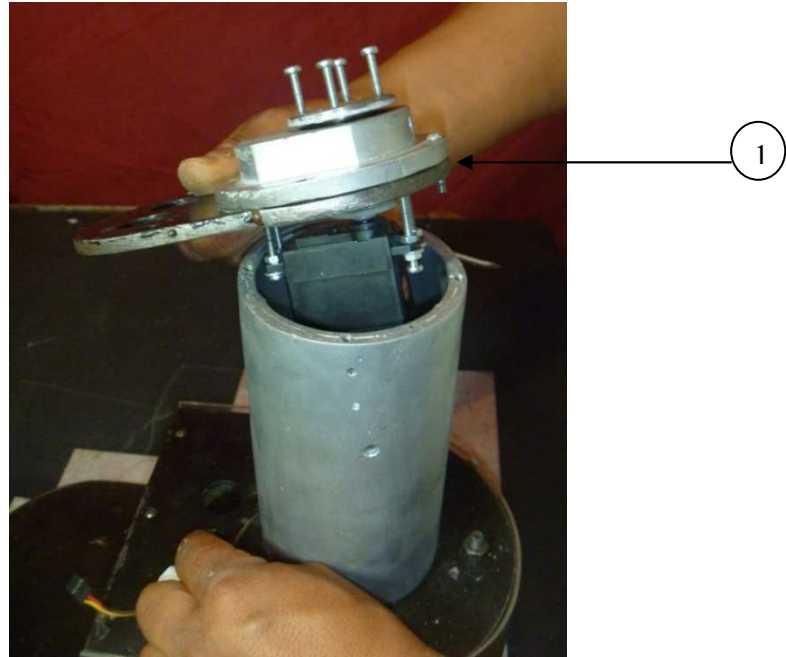


Fig.1

2. Colocamos el brazo sobre la base montada y atornillamos (Fig.2/1)

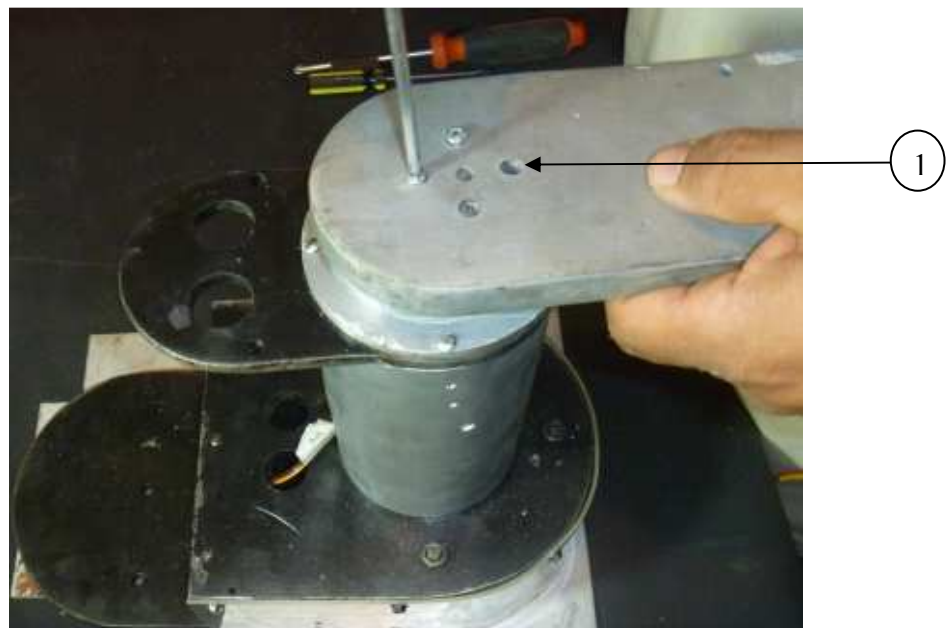


Fig. 2

3. Colocamos el antebrazo en el brazo y atornillamos (Fig.3/1)

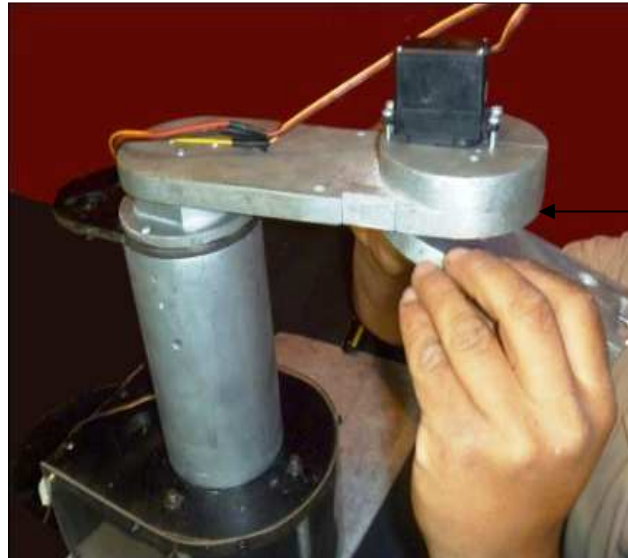


Fig.3

4. Para colocar la bajante Z sobre el antebrazo, primeramente hacemos coincidir el tornillo sinfín en el rodamiento, y atornillamos al antebrazo. (Fig. 4/1, 5/1)

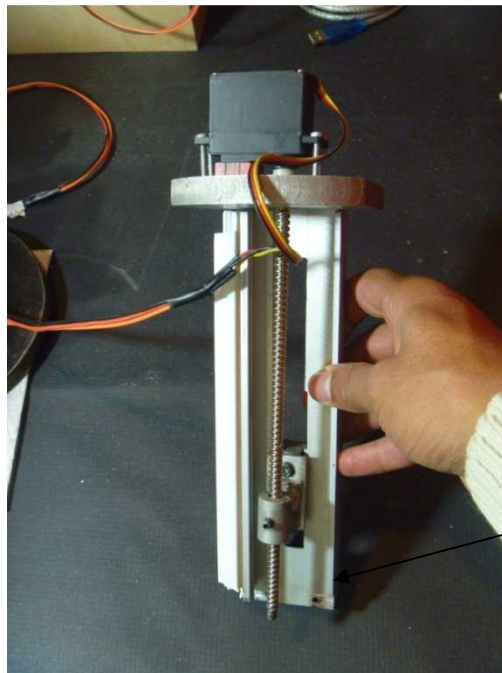


Fig.4

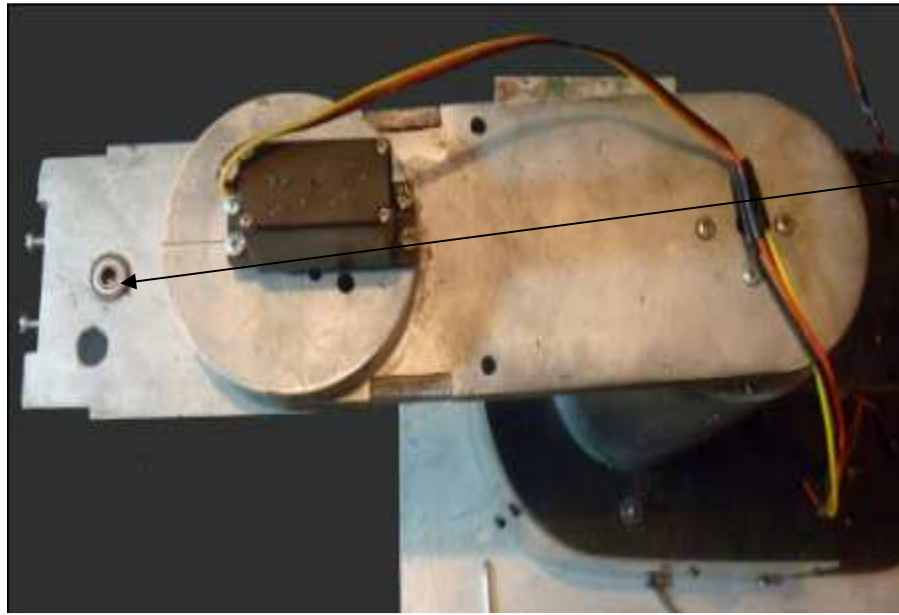


Fig. 5

5. Realizamos las conexiones de los servomotores a la tarjeta, tener en cuenta la etiqueta de los cables. (Fig.6/1)

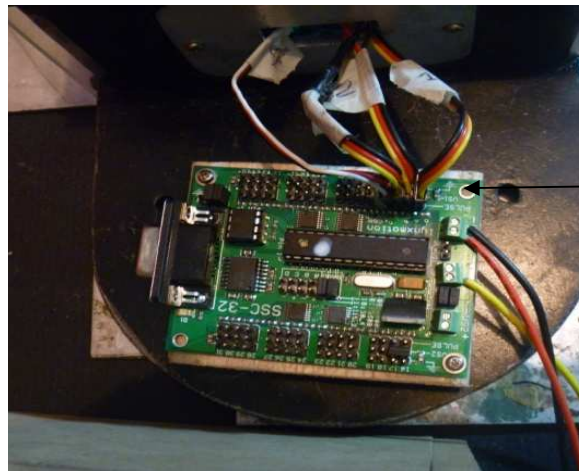


Fig. 6

6. Conectamos la tarjeta a la fuente, tener presente el color de los cables
- 1Cable rojo (Fig.7/1) +5 voltios
 - 2 Cable negro (Fig.7/2) 0 voltios
 - 3 Cable amarillo (Fig.7/3) +12 voltios

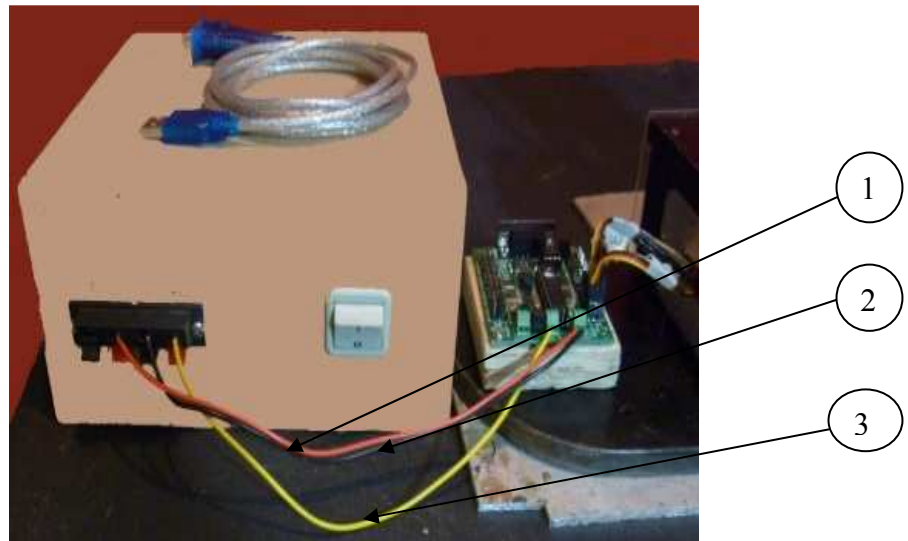


Fig. 7

7. Conectamos el cable DB-9 al computador

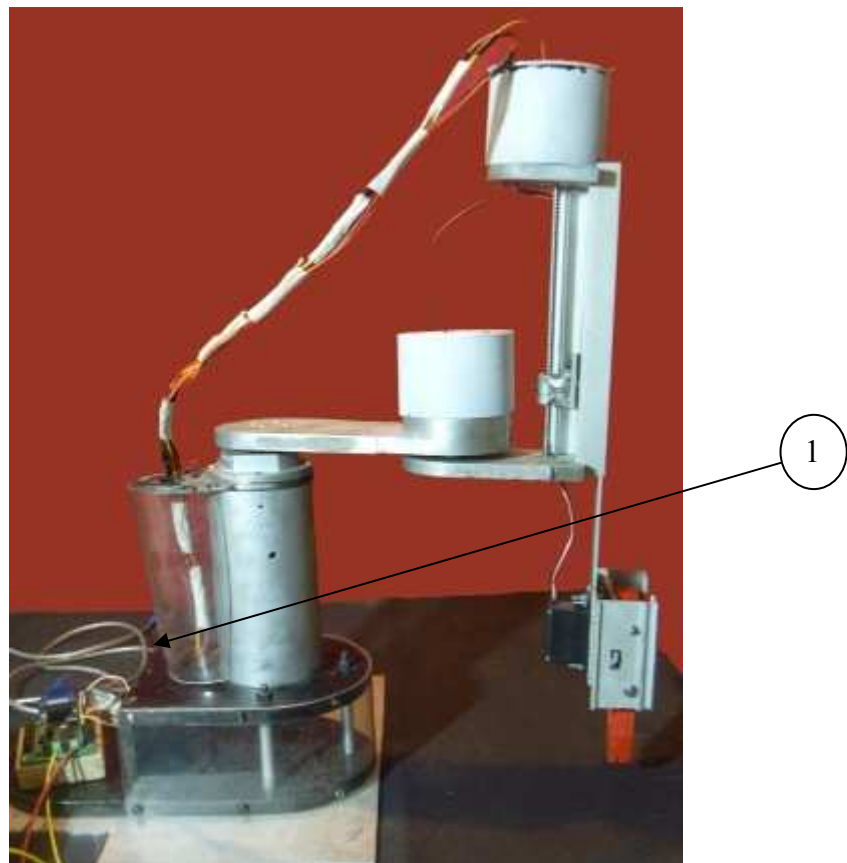


Fig. 8

8. Energizamos la fuente, el botón (Fig. 9/1) en posición ON

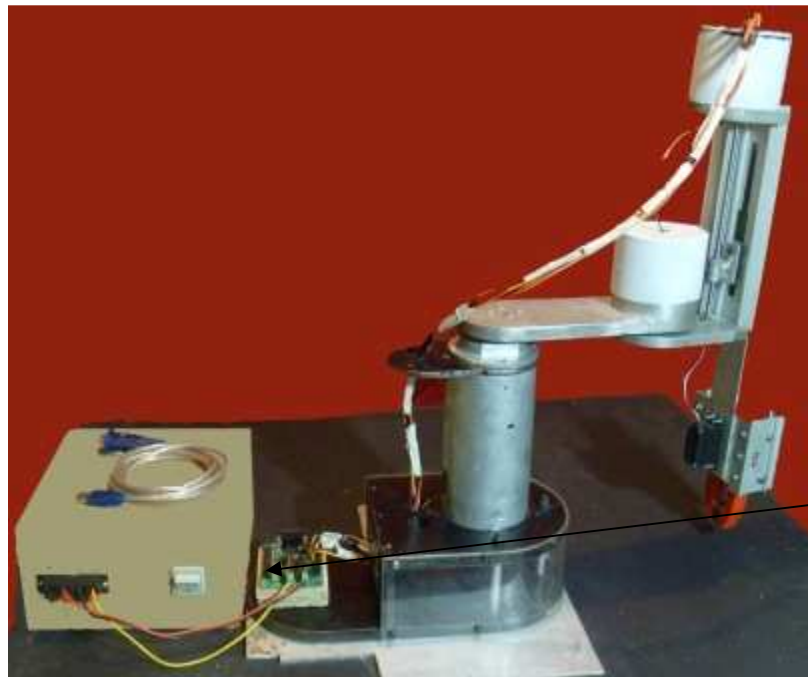


Fig. 9

9. Abrimos el software de control que en nuestro caso es Labview (Fig. 10)

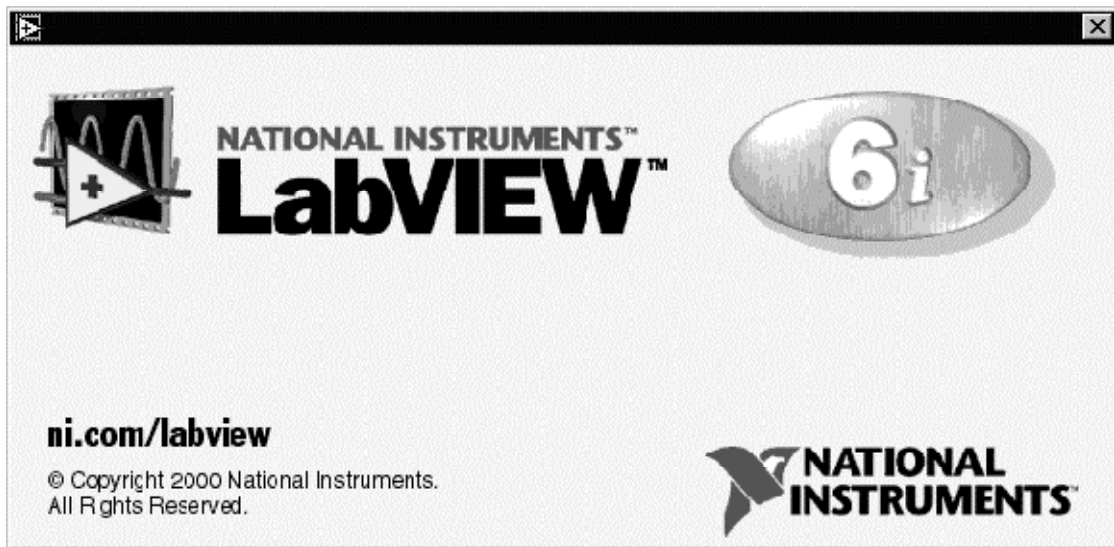


Fig.10



10. Hacemos correr el programa dando clic en RUN (Fig 11/1)

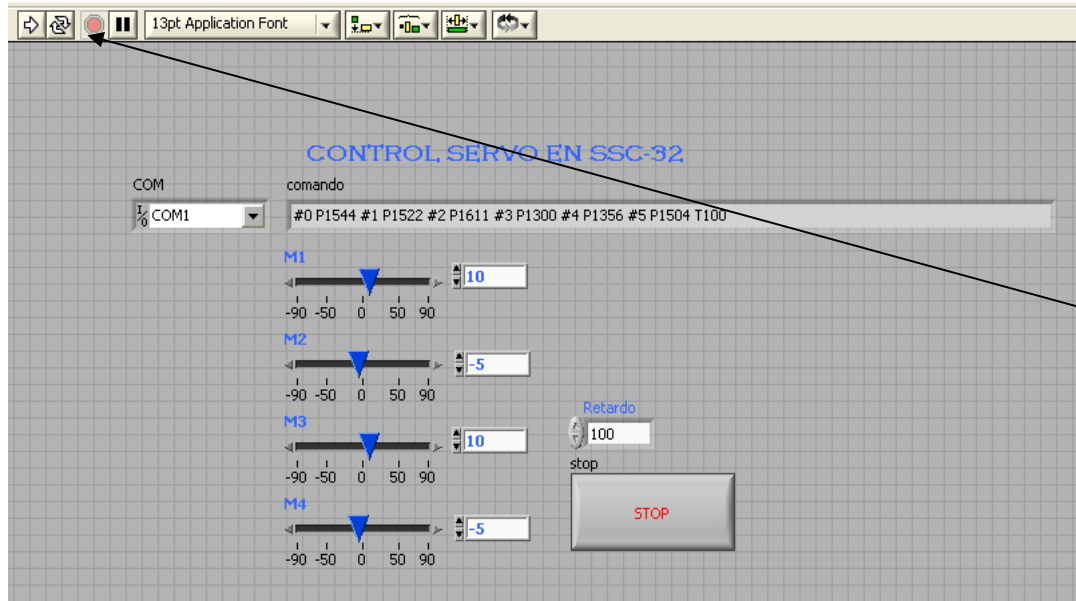


Fig. 11

11. Escogemos el COM que nos indica el computador (Fig. 12/1) según el puerto USB donde conectemos

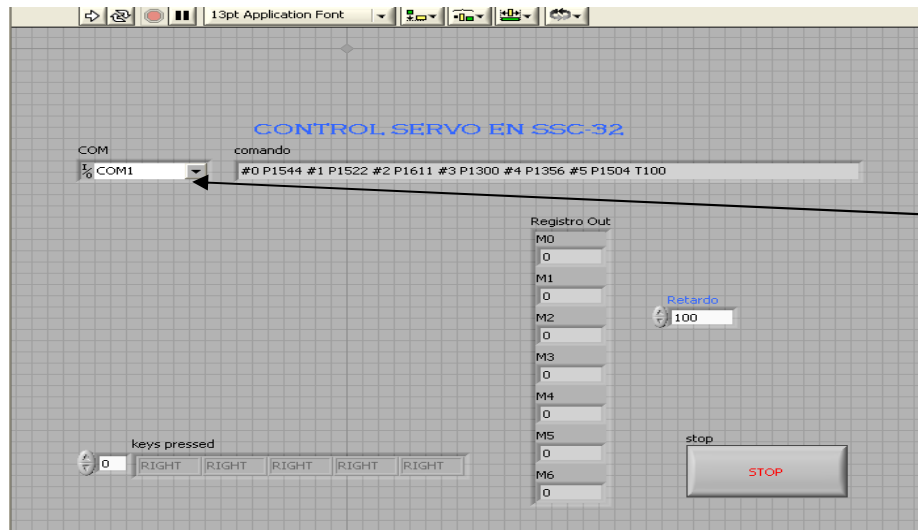


Fig. 12

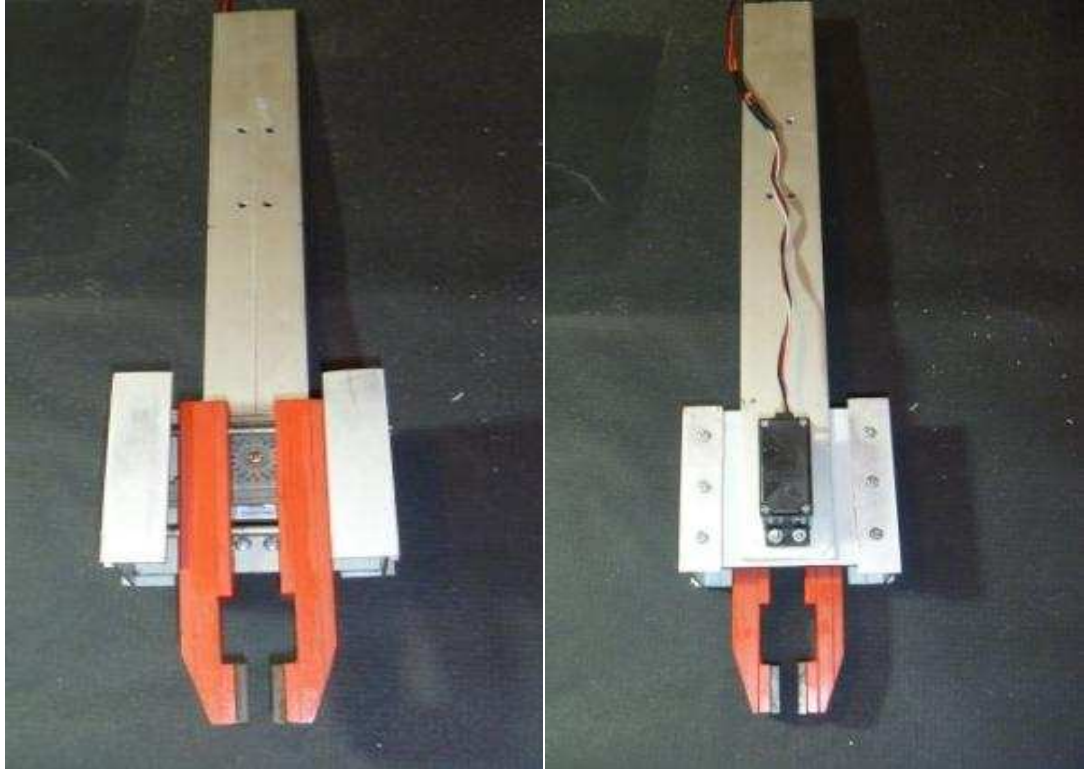
12. Realizamos las rutinas de control.



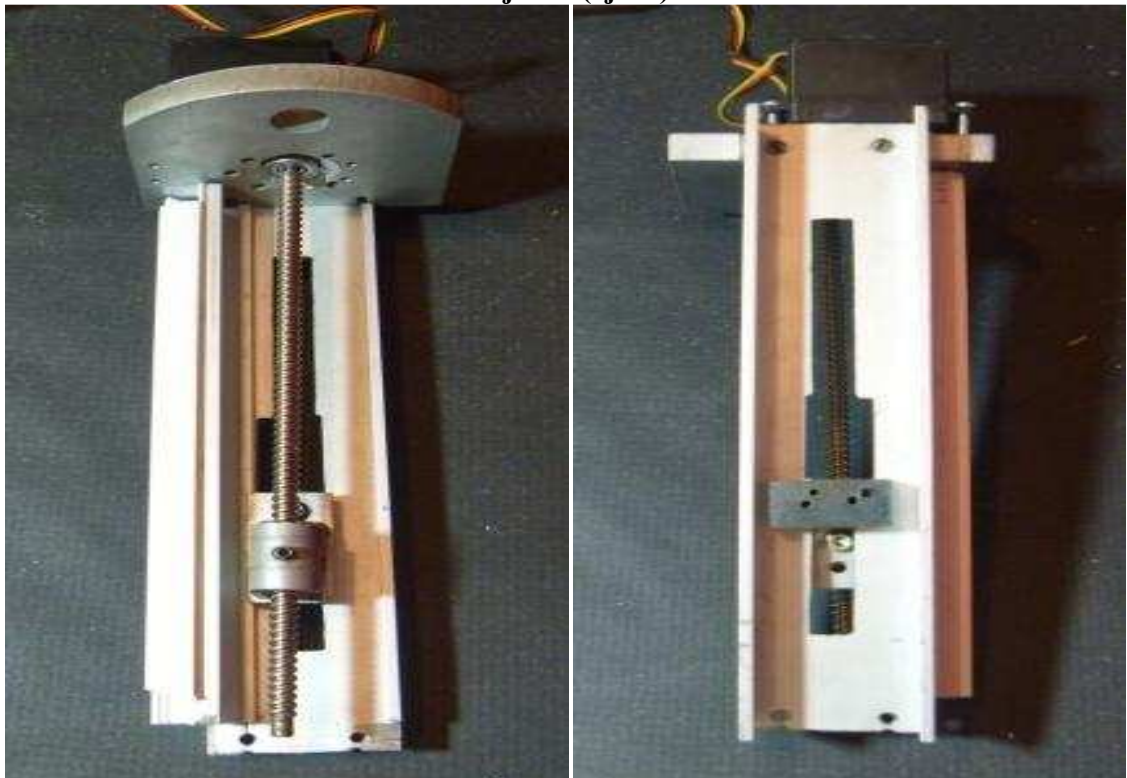
DISEÑO DE PIEZAS

FOTOGRAFIAS

Garra



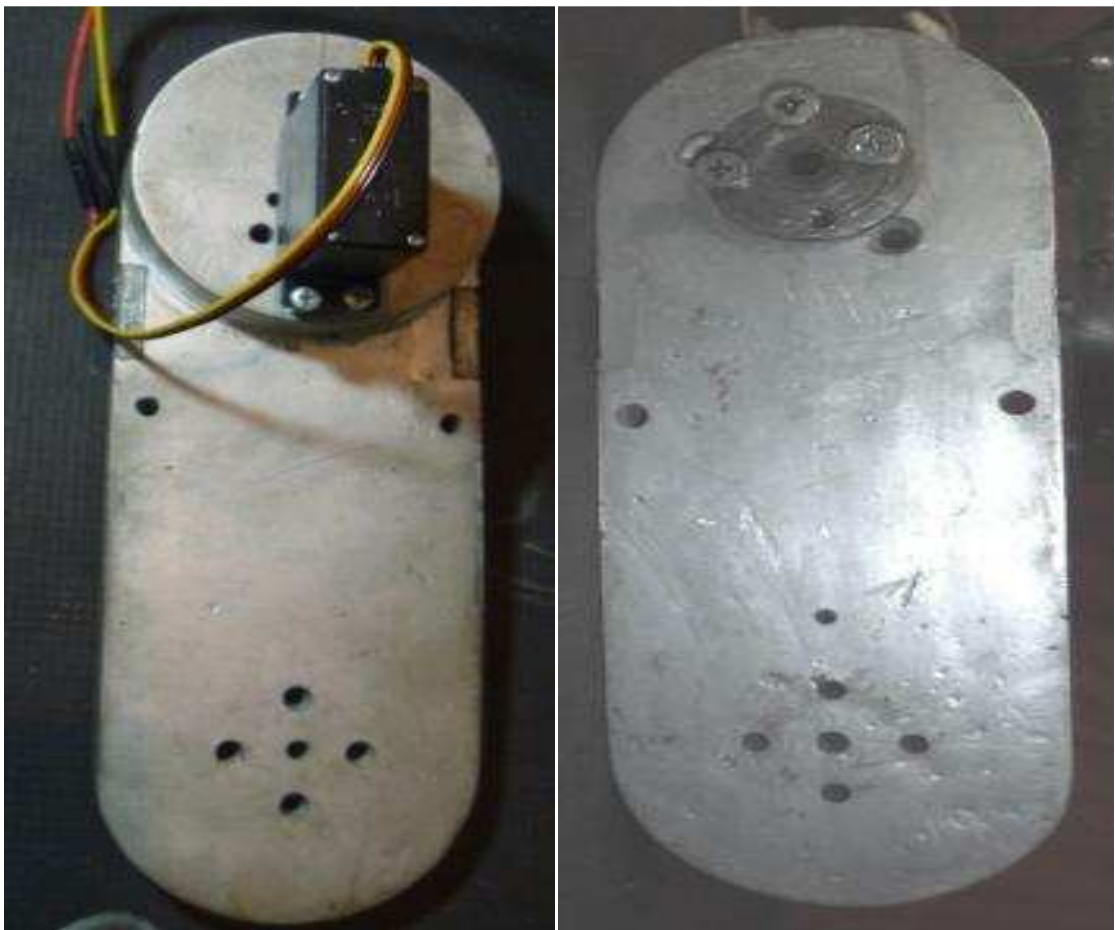
Bajante (eje Z)



Antebrazo



Brazo



Base



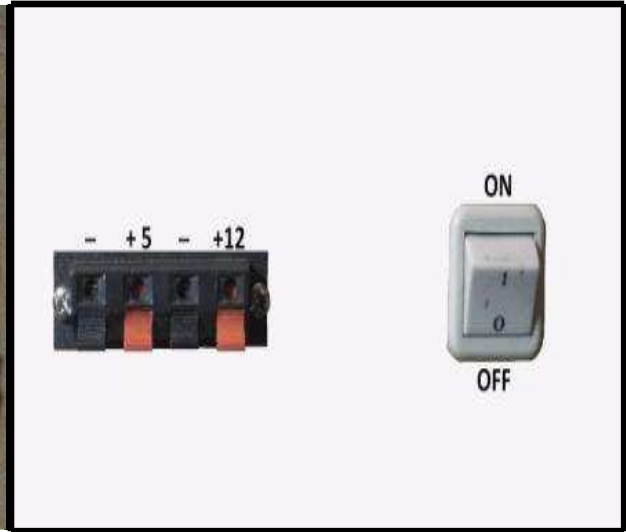
Tarjeta SSC-32



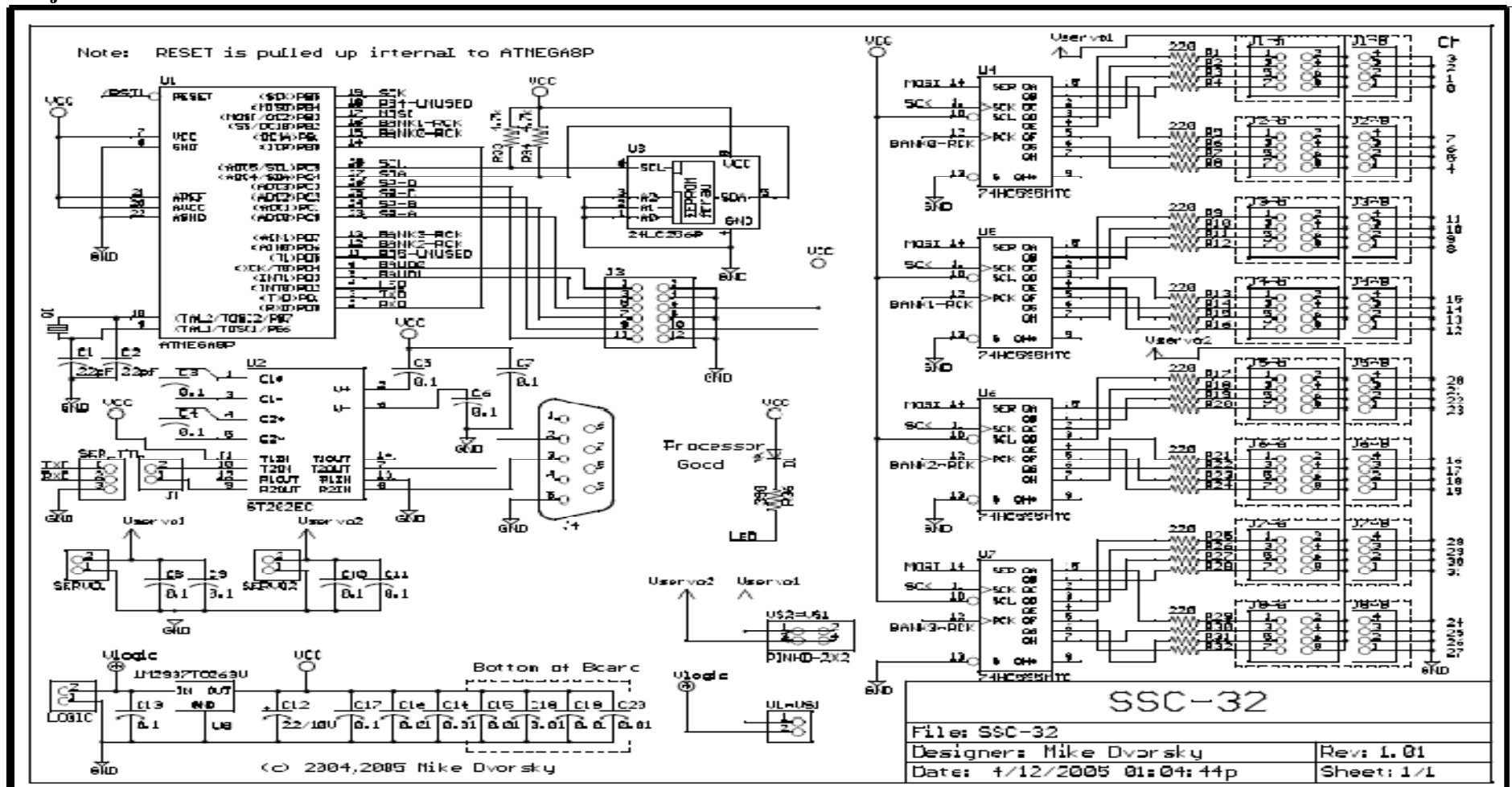
Cable de Conexión Db9 a USB



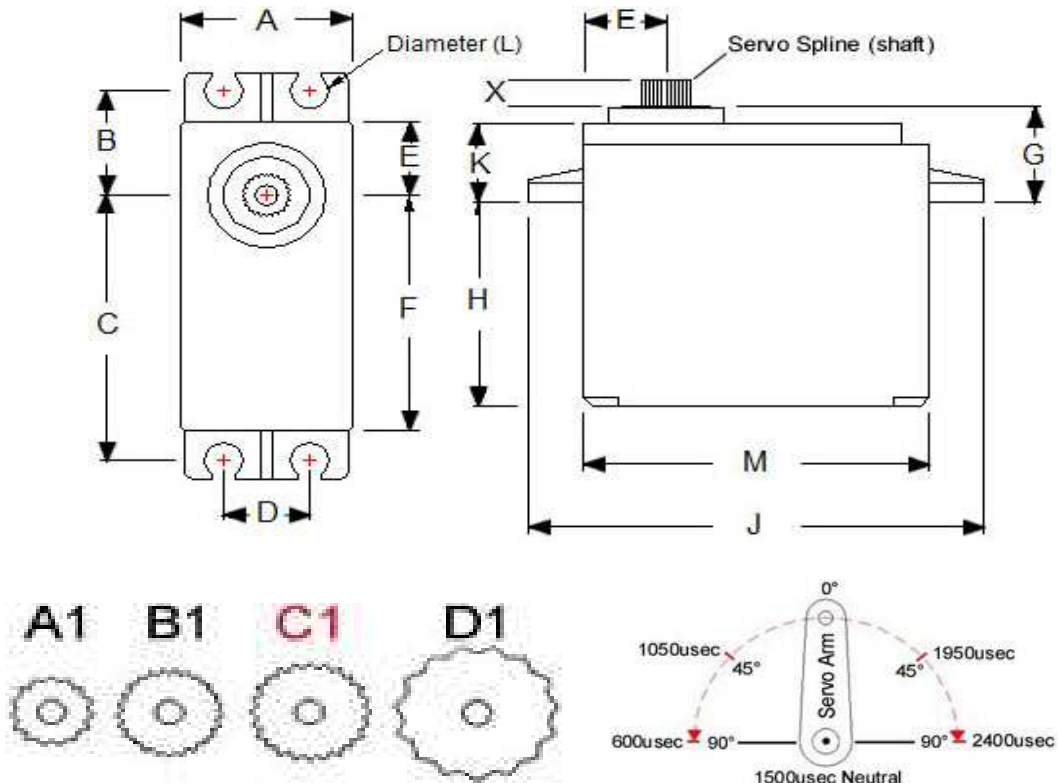
Fuente de Poder



Tarjeta SSc-32



MOTOR SERVO HS 485



Detailed Specifications

Control System: +Pulse Width Control 1500usec Neutral

Required Pulse: 3-5 Volt Peak to Peak Square Wave

Operating Voltage: 4.8-6.0 Volts

Operating Temperature Range: -20 to +60 Degree C

Operating Speed (4.8V): 0.22sec/60° at no load

Operating Speed (6.0V): 0.18sec/60° at no load

Stall Torque (4.8V): 66.6 oz/in. (4.8kg.cm)

Stall Torque (6.0V): 83.3 oz/in. (6.0kg.cm)

Operating Angle: 45 Deg. one side pulse traveling 400usec

360 Modifiable: Yes

Direction: Clockwise/Pulse Traveling 1500 to 1900usec

Current Drain (4.8V): 8mA/idle and 150mA no load operating

Current Drain (6.0V): 8.8mA/idle and 180mA no load operating



Dead Band Width: 8usec

Motor Type: 3 Pole Ferrite Motor

Potentiometer Drive: Indirect Drive

Bearing Type: Top Ball Bearing, Lower Bushing

Gear Type: Karbonite Gears

Connector Wire Length: 11.81" (300mm)

Dimensions: See Schematic

Weight: 1.59oz (45g)

This servo can operate 180° when given a pulse signal ranging from 600usec to 2400usec. Since most R/C controllers cannot generate this wide of signal range, you will need to purchase our [servo stretcher](#) for 180° operation.

Now you can achieve 180° of rotation from just about any analog servo. The Servo Stretcher modifies the signal to the servo enabling it to rotate up to 90° either direction off of the center (neutral) position. It simply plugs in between your controlling source and the servo just like a servo extension.

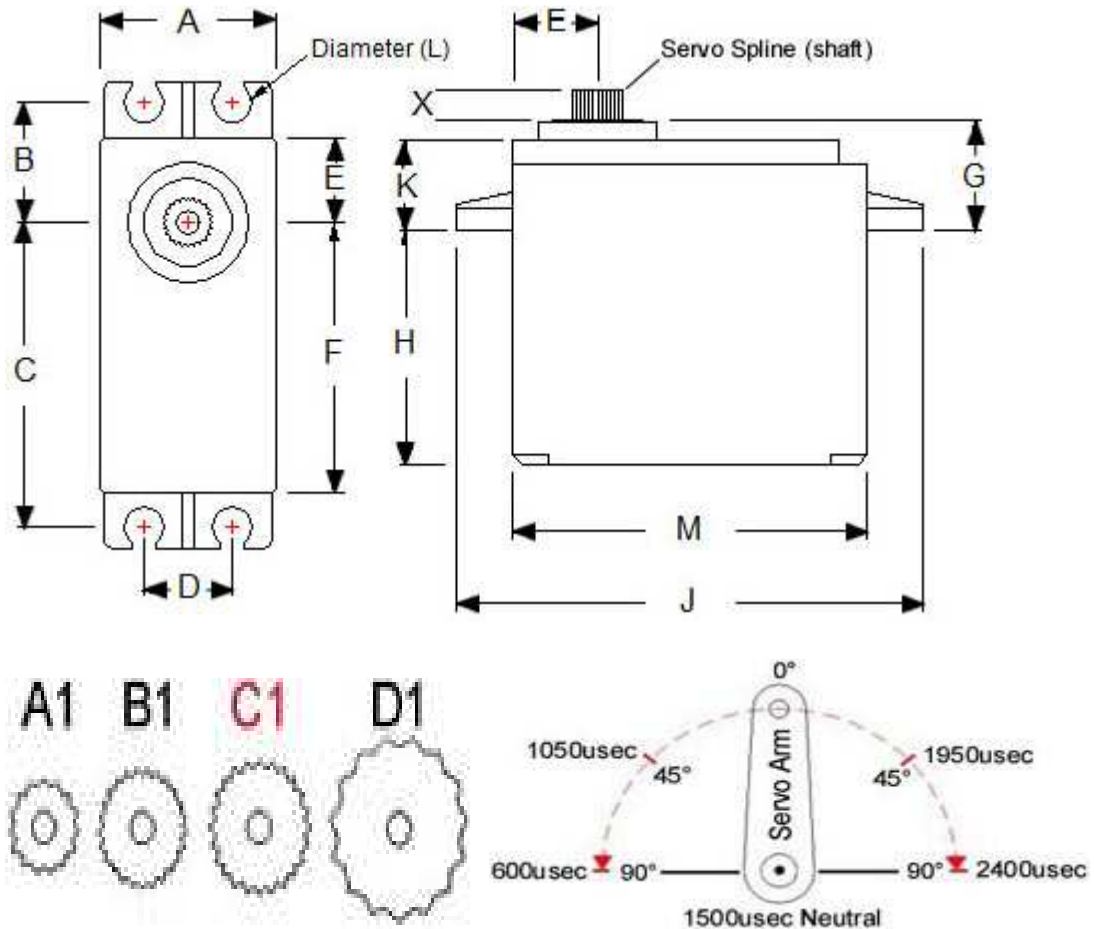
The total amount of rotation is dependent on the type of radio control or servo controller. Results may be slightly less than 180° or slightly more.

One of the neat features about the Servo Stretcher is you can limit each endpoint separately from the center position. If you only need the right to move 22 degrees and the left 88 degrees from center it is no problem, just dial in the amount you need per side. You can even adjust the center (neutral) position separately from the endpoints.

Note: This product is not to be used with servos that offer more than 90° rotation from the factory or any brand of digital servos. Digital servos can be programmed with a servo programmer to achieve 180 degrees rotation. Using the Servo Stretcher with a servo already modified for 180 degrees will not allow for 360 degree rotation.

The leads are constructed with heavy duty twisted wire and gold-plated connectors for super low resistance. The connectors are universal and can be used with any brand of receiver or controller.

MOTOR SERVO SH311



Detailed Specifications

Control System: +Pulse Width Control 1500µsec Neutral

Required Pulse: 3-5 Volt Peak to Peak Square Wave

Operating Voltage: 4.8-6.0 Volts

Operating Temperature Range: -20 to +60 Degree C

Operating Speed (4.8V): 0.19sec/60° at no load

Operating Speed (6.0V): 0.15sec/60° at no load

Stall Torque (4.8V): 42 oz/in (3.0 kg/cm)

Stall Torque (6.0V): 49 oz/in (4.5 kg/cm)

Current Drain (4.8V): 7.4mA/idle, 160mA no load operating

Current Drain (6.0V): 7.7mA/idle, 180mA no load operating

Dead Band Width: 5µsec

Operating Angle: 45° one side pulse traveling 450µsec



Direction: Multi-directional

Motor Type: Cored Metal Brush

Potentiometer Drive: 4 Slider/Direct Drive

Bearing Type: Top Resin Bushing

Gear Type: Nylon

360 Modifiable: Yes

Connector Wire Length: 11.81" (300mm)

Weight: 1.52oz (43g)

Now you can achieve 180° of rotation from just about any analog servo. The Servo Stretcher modifies the signal to the servo enabling it to rotate up to 90° either direction off of the center (neutral) position. It simply plugs in between your controlling source and the servo just like a servo extension.

The total amount of rotation is dependent on the type of radio control or servo controller. Results may be slightly less than 180° or slightly more.

One of the neat features about the Servo Stretcher is you can limit each endpoint separately from the center position. If you only need the right to move 22 degrees and the left 88 degrees from center it is no problem, just dial in the amount you need per side. You can even adjust the center (neutral) position separately from the endpoints.

Note: This product is not to be used with servos that offer more than 90° rotation from the factory or any brand of digital servos. Digital servos can be programmed with a servo programmer to achieve 180 degrees rotation. Using the Servo Stretcher with a servo already modified for 180 degrees will not allow for 360 degree rotation.

The leads are constructed with heavy duty twisted wire and gold-plated connectors for super low resistance. The connectors are universal and can be used with any brand of receiver or controller.