

FECHA	ENERO 21 DE 2008
--------------	-------------------------

NUMERO RAE	
PROGRAMA	INGENIERIA MECATRÓNICA

AUTOR	ERIKA ALEXANDRA RUÍZ JIMÉNEZ DAVID ANTONIO VARGAS RUÍZ
TÍTULO	DISEÑO DE BRAZO ROBÓTICO PARA LA REALIZACIÓN DE CIRUGÍAS “HERNIA INGUINAL”

PALABRAS CLAVES	CIRUGÍA, HERNIA INGUINAL, BRAZO ROBÓTICO, CONTROL, ULTRASONIDO, LASER, INCISIONES, TEJIDO.
------------------------	---

DESCRIPCIÓN	<p>El diseño del brazo robótico la realización de cirugías “hernia inguinal” pretende realizar las siguientes funciones:</p> <p>Deberá efectuar la búsqueda del tejido por medio de escaneo abdominal, realizado a través de un sensor ultrasónico (dispositivo fijado al cabezote del brazo robótico) que permite hallar el lugar o área de trabajo, de esta forma se podrá obtener las características fundamentales del área afectada ofreciendo mejores servicios que el actual brazo laparoscópico.</p> <p>Uno de los dispositivos más significativos incluido en el diseño del brazo robótico es el electrobisturí, dispositivo utilizado para</p>
--------------------	--

	<p>realizar y cauterizar incisiones las cuales serán efectuadas una vez el sensor envíe la información necesaria para que este dispositivo se active.</p> <p>El programa desarrollado para esta aplicación, verificará por medio de puntos sobre la imagen el posible corte a realizar con su medida de profundidad correspondiente para no comprometer tejido alguno. Se desarrolla con el fin de aportar mayor precisión y eficacia durante el procedimiento que anteriormente se realizaba de forma manual.</p> <p>El brazo robótico inicia su actividad una vez el especialista diagnostique que es apto para someterse a dicho tratamiento, si cumple con las pruebas de anestesia requeridas para la realización de un buen procedimiento.</p> <p>El brazo robótico está compuesto por 4 grados de libertad encargados de dar el movimiento al manipulador robótico (Base, Hombro, Codo y efector final), está compuesto por 2 dispositivos diseñados para realizar procedimientos totalmente independientes que ofrecen una mayor autonomía e independencia al cirujano.</p> <p>Todo el procedimiento se realizará de forma precisa, higiénica y segura brindándole al paciente una recuperación más rápida y satisfactoria debido a que se previenen infecciones producidas por material no estéril o agentes contaminantes.</p>
--	--

METODOLOGÍA

ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN :

Se han desarrollado grandes avances tecnológicos en el campo de la cirugía general y con el diseño de este modelo se busca el mejoramiento del proceso.

Para el proyecto es indispensable:

- La creación de programas para la manipulación de los dispositivos, el estudio de los parámetros ingenieriles como del diseño mecánico, electrónico y la programación del mismo.
- Conocer los parámetros médicos con los cuales debe contar el procedimiento.

El proyecto se divide en cuatro fases:

1. fase de investigación de los parámetros médicos que nos darán las pautas para realizar el diseño ingenieril, para esto se buscara la asesoría de especialistas en el campo de la cirugía y de la instrumentación quirúrgica
2. fase de investigación de los parámetros que involucran la carrera esto se realizara por medio de la asesoría de profesores e ingenieros de la universidad y elementos de consulta. (Proyectos de investigación, tesis, libros de ingeniería, revistas e Internet).
3. fase de diseño esta es la fase más importante del proyecto ya que sobre esta recae todo el trabajo. Esta fase se subdivide en el diseño mecánico y dinámico del brazo, diseño electrónico, y el diseño de acoples de los elementos necesarios para la cirugía.
4. Planos del proyecto esto se realizara por medio de Solid Edge

La investigación es de carácter práctico, real y efectivo por que se realiza con el fin de dar solución a la problemática de la población colombiana (intervenciones manuales) descrita en los objetivos del proyecto entonces el enfoque de la recopilación de información es analítico.

METODOLOGÍA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB/USB - LÍNEA/CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA

Este proyecto se desarrolla con la línea de investigación **tecnologías actuales y sociedad** para el avance de productos inteligentes. La sub-línea de investigación a la cual pertenece el proyecto es Instrumentación y control de procesos de manufactura porque se refiere al diseño de dispositivos para labor social y el diseño del brazo robótico para la realización de cirugías, permite fortalecer el campo de la salud brindando nuevos dispositivos tecnológicos que cederán una mayor cobertura de atención a pacientes que necesiten de intervenciones de este tipo.

TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Las fuentes utilizadas para el desarrollo del proyecto son libros de consulta, revistas de cirugía, páginas de Internet, datos experimentales y consultas con especialistas o cirujano (entrevistas).

Para los diagnósticos de las hernias inguinales se recurrió a :

- Medico general (tutorías)
- Estadísticas en clínicas sobre tasas de recurrencia de las hernias inguinales.
- Software “solid edge v19” utilizado para dibujar y simular los componentes del brazo.
- Software “Matlab 7” utilizado para programar y comprobar las rutinas del brazo robótico.

Para el desarrollo de la investigación se emplean como recursos las simulaciones, mediciones y evaluación de los parámetros de diseño y su correcto funcionamiento.

HIPOTESIS

Mediante el diseño del brazo robótico para cirugías, se podrá asistir de una forma rápida y segura a los pacientes que necesitan de este tipo de intervención. También disminuirá el tiempo de la intervención comparada con la cirugía tradicional y ofrecerá un sistema de control fácil de manipular para un correcto uso del dispositivo.

POBLACION Y MUESTRA

Población: La población de nuestro proyecto esta constituida por todos los médicos generales especializados en cirugía general, cirugía laparoscopica y cirugía abdominal por que ellos son los encargados de verificar el buen funcionamiento de del diseño final.

Los pacientes también hacen parte de la población pues son ellos los que beneficiaran de un mejor ambiente en cirugía.

Muestra: La muestra se realiza sobre los diferentes métodos quirúrgicos para operación de la hernia inguinal, y en base a los resultados obtenidos por cada método comprobar y analizar por medio de estadísticas medicas la evolución de un mejor procedimiento.

VARIABLES

Variables Independientes: las complicaciones durante la cirugía, debido a la adaptación del paciente con respecto al asistente quirúrgico. También depende del tamaño de la hernia sin tumoración.

Variables Dependientes:

Posición especifica durante la cirugía.

Escaneo abdominal por medio del sensor ultrasónico.

Puntos de guía para el corte del electrobisturí en el área afectada.

Estas variables forman parte del asistente robótico utilizado especialmente para realizar procedimientos rápidos y seguros sin necesidad de perturbar al paciente con largas horas de operación.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Representación De Los Ángulos De Euler

Tabla2 :Densidades e impedancias acústicas de distintos tejidos humanos.

Tabla 3: Tabla de parámetros 10,11 y 12 de Denavith Hartenberg.

Tabla 4: Entradas y salidas del sistema de adquisición de datos

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS
LISTA DE FIGURAS
INTRODUCCION

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- 1.1 ANTECEDENTES
- 1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA
- 1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA
- 1.4 JUSTIFICACIÓN
- 1.5 OBJETIVOS
 - 1.5.1 Objetivo General
 - 1.5.2 Objetivos Específicos
- 1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO
 - 1.6.1 Alcances
 - 1.6.2 Limitaciones

2. MARCO TEORICO

- 2.1 CARACTERISTICAS DE LA HERNIA INGUINAL
- 2.2 DEFINICIÓN DE HERNIA INGUINAL
 - 2.2.1 Hernia Inguinal Directa
 - 2.2.2 Hernia Inguinal Indirecta
- 2.3 CAUSAS DE LA HERNIA INGUINAL
- 2.4 SÍNTOMAS DE LA HERNIA INGUINAL
 - 2.4.1 Cómo Se Diagnostica La Hernia Inguinal?
 - 2.4.2 Exámenes De Sangre
- 2.5 TRATAMIENTOS DE LA HERNIA INGUINAL
 - 2.5.1 Método Convencional
 - 2.5.2 Técnica De Libre De Tensión
 - 2.5.3 Método Laparoscópico
- 2.6 BRAZO ROBÓTICO

2.6.1 Componentes De Un Brazo Robótico
2.6.2 Componentes Mecánicos Y Estructurales
2.6.2.1 Materiales
2.6.2.2 Tipos De Articulaciones Y Configuraciones Cinemáticas
2.6.2.3 Accionadores
2.6.2.4 Transmisiones
2.6.2.5 Frenos
2.7 FUNDAMENTOS MATEMATICOS Y FISICOS EN ROBOTICA
2.7.1 Descripción De Posición Y Orientación:
2.7.2 Sistemas De Referencia:
2.7.3 Descripción De Posición
2.7.3.1 Coordenadas Cartesianas
2.7.3.2 Coordenadas Cilíndricas
2.7.3.3 Coordenadas Esféricas
2.7.3.4 Descripción De La Orientación
2.7.4 Matrices De Rotación
2.7.4.1 Matrices Y Coordenadas Homogéneas
2.7.4.2 Matriz Homogénea De Transformación Inversa
2.7.5 Transformaciones Básicas: Traslación Y Rotación
2.7.5.1 Traslación
2.7.5.2 Rotación
2.7.5.3 Composición De Transformaciones
2.7.6 ROTACIONES COMPUESTAS
2.7.6.1 Matriz De Rotación (Con Representación De Ángulos De Euler)
2.7.6.2 Matrices De Rotación Respecto A Un Eje Arbitrario
2.8 CINEMATICA
2.8.1 Espacio Articular Y Espacio Cartesiano
2.8.2 Problema Cinemático Directo
2.8.2.1 Parámetros De Denavit Hartenberg
2.8.2.2 Asignación De Sistemas De Referencia
2.8.3 Transformación Homogénea
2.8.4 Problema Cinemático Inverso
2.8.4.1 Métodos De Solución
2.8.4.2 Cinemática De Movimiento
2.9 DINAMICA
2.9.1 Formulación Lagrangiana
2.9.2 Energía Cinética

- 2.9.3 Energía Potencial
- 2.9.4 Sensores
 - 2.9.4.1 Ultrasonido
 - 2.9.4.2 Principios Básicos
 - 2.9.4.3 Reflexión Y Refracción
- 2.9.5 Sensor o Transductor Ultrasónico

- 3. METODOLOGIA
 - 3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN
 - 3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DEL PROGRAMA
 - 3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN
 - 3.4 HIPOTESIS
 - 3.5 POBLACION Y MUESTRA
 - 3.5.1 Población
 - 3.5.2 Muestra
 - 3.6 VARIABLES
 - 3.6.1: Variables Independientes:
 - 3.6.2 Variables Dependientes

- 4. DESARROLLO INGENIERIL
 - 4.1 AREA DE TRABAJO
 - 4.2 SOLUCIÓN AL PROBLEMA CINEMATICO DIRECTO
 - 4.2.1 Algoritmo De Denavith Hartenberg
 - 4.2.2 PROGRAMA EN MATLAB
 - 4.3 SOLUCIÓN AL PROBLEMA CINEMATICO INVERSO
 - 4.3.1 Programa En Matlab
 - 4.4 CONTROL CINEMÁTICO
 - 4.4.1 Programa Control Cinemático
 - 4.5 SOLUCIÓN AL PROBLEMA DINAMICO
 - 4.6 DESARROLLO DEL PROBLEMA DINAMICO
 - 4.6.1 Programa En Matlab
 - 4.6.2 Simulación De La Animación Trayectoria
 - 4.7 CONTROL DINAMICO O CONTROL DE MOVIMIENTO

4.8 DISEÑO ELECTRÓNICO

4.8.1 Tarjeta de adquisición de datos

4.8.1.1 Circuito de amplificación de las señales de control de los motores

4.8.2 Parámetros para la selección del motor

4.9 CALCULOS ELECTRÓNICOS

5. CALCULOS DE DISEÑO PARA EL BRAZO ROBOTICO

5.1 CALCULOS DE ENGRANAJES CONICOS PARA LOS EJES DEL MOTOR

5.2 CÁLCULOS PARA DETERMINAR EL DIÁMETRO

5.2.1 Ecuaciones De Equilibrio

5.3 CALCULO DE FUERZAS Y TORQUE

5.4 ELECTROBISTURI

5.4.1 Características Del Electrobisturi

5.4.1.1 Aspectos generales de la cirugía

5.4.1.2 Interacción entre la corriente eléctrica y el tejido biológico

5.4.1.3 Efecto faradio

5.4.1.4 Efecto electrolítico

5.4.1.5 Efecto térmico

5.5 PRINCIPIO DE LA CIRUGÍA CON ELECTROBISTURI

5.6 CORTAR TEJIDO

5.7 Coagulación

5.7.1 Técnicas de la cirugía de alta frecuencia

5.7.2 Técnica monopolar

5.7.3 Manejo seguro de los aparatos para la cirugía con electrobisturi de alta frecuencia

5.8 RIESGOS PARA EL PACIENTE

5.8.1 Seguridad para el paciente

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

CONCLUSIONES

Este proyecto de grado, es el resultado de un año de investigación en el cual se obtuvieron diversos resultados en el campo de la biomédica y la robótica.

El diseño de brazo robótico para cirugías "Hernia Inguinal" fomento en nosotros la creación de un diseño tecnológico necesario para la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades.

Aplicando nuestros conocimientos y teniendo en cuenta todas las características necesarias para satisfacer las insuficiencias de los pacientes o médicos, diseñamos un asistente robótico guiado por órdenes específicas de un operador para la realización de cirugías "Hernia inguinal" que cumplió con los siguientes objetivos.

1. Se creó un diseño exclusivo de brazo robótico, para la realización de cirugías de hernia inguinal.
2. El diseño de brazo robótico cumplió con todas las etapas de investigación, con el propósito de brindar un diseño factible y libre de errores.
3. Realizamos los cálculos para dar solución a los problemas cinemáticos y dinámicos del manipulador.
4. Se creó un programa para controlar el posicionamiento del brazo mediante coordenadas proporcionadas por el operador y otro capaz de calcular la posición y trayectoria del brazo robótico mientras ejecuta sus órdenes.
5. Se crearon varios programas para corroborar los cálculos generales con los valores propios del brazo robótico.

FUENTES BIBLIOGRAFICAS	
	<p>LIBROS DE REFERENCIA</p> <p>Jorge Pomares, Fernando Torres, Pablo Gil, Santiago Puente , Rafael Aracil, Robot Y Sistemas Sensoriales Editorial Prentice Hall.2002</p> <p>Haeger K . The illustrated history of surgery. Harold Starke Publishers Ltd. London, United Kingdom, 2000.</p> <p>Sackier Jm, Wang Y. robotically assisted laparoscopic surgery. From concept to development. Surg Endosc 1994; 8: 63-66.</p> <p>Johanet H. Voice - controlled robot: is new surgical aide? Thoughts of a user. Ann Chir 1998; 52: 918-921.</p> <p>Yavuz Y, Ystgaard B, Skogvoll E, Marvik R. A comparative study evaluating the performance of surgical robots AESOP and Endosista. Surg Laparosc, Endosc & Percut Tech 2000; 10: 163-167.</p> <p>Diccionario De Medicina Océano / Mosby</p> <p>David C. Sabiston , James B. Duke Professor And, Chairman Of Surgery , Tratado De Patología Quirúrgica 13 Edición ,Editorial Mc Graw Hill</p> <p>Perednia, Da. And Allen A. Instrumentation Biomédica.Telemedicine technology and clinical applications. 1995</p> <p>Weinstein, Lj; Epstein, JI; Edlow, D; Westra, WH. Static image analysis of skin specimens: the application of telepathology to frozen section evaluation. Hum. Pathol. 1997</p> <p>Allen, D; Bowersox, J; Jones, G.G. Current Status of telesurgery.</p>

Stanley I. Grossman.Algebra Lineal,Quinta Edicion Editorial Mc Graw Hill.

Ferdinand L.Singer.Resistencia De Materiales.Tercera Edicion,Editorial Harla.mexico

Muhammad H. Rashid.Electronica De Potencia.segunda edicion.Editorial Prentice hall .

Warren J. Luzadder, Fundamentos de dibujo en ingeniería,Editorial continental

Ferdinand p.beer; Erussell Johnston; Mecánica vectorial para ingenieros, Sexta Edición .Editorial Mc Graw Hill

Sabiston David C. Tratado de Patología Quirúrgica. Ed. Interamericana-McGraw Hill. 1995

Vega H. Manuel. lógica y algoritmos. Coleccion facultad de ingeniería numero 5:

ENLACES

www.susmedicos.com/art_hernia_inguinal_descripcion.htm
; Dr. Germán Jiménez Sánchez, M.D.

www.med.umich.edu/1libr/sma/sma_sagherni_art.htm

www.drmartindelgado.blogspot.com

www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/robotica/Cap_1_2007.pdf

BUSCADOR GOOGLE

T.E.A MachinaComponents
Toolbox de matlab
Cirugía Robótica
Sensores
Robótica

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	
LISTA DE FIGURAS	
INTRODUCCIÓN	14
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1 ANTECEDENTES	
1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA	22
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	23
1.4 JUSTIFICACIÓN	24
1.5 OBJETIVOS	25
1.5.1 Objetivo General	
1.5.2 Objetivos Específicos	
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO	26
1.6.1 Alcances	
1.6.2 Limitaciones	
2. MARCO TEORICO	27
2.1 CARACTERISTICAS DE LA HERNIA INGUINAL	27
2.2 DEFINICIÓN DE HERNIA INGUINAL	27
2.2.1 Hernia Inguinal Directa.	28
2.2.2 Hernia Inguinal Indirecta	28
2.3 CAUSAS DE LA HERNIA INGUINAL	29
2.4 SÍNTOMAS DE LA HERNIA INGUINAL	29
2.4.1 Cómo Se Diagnostica La Hernia Inguinal?	30
2.4.2 Exámenes De Sangre	30
2.5 TRATAMIENTOS DE LA HERNIA INGUINAL	30
2.5.1 Método Convencional	31
2.5.2 Técnica De Libre De Tensión	31
2.5.3 Método Laparoscópico	31
2.6 BRAZO ROBÓTICO	32
2.6.1 Componentes De Un Brazo Robótico	32
2.6.2 Componentes Mecánicos Y Estructurales	33

2.6.2.1	Materiales	34
2.6.2.2	Tipos De Articulaciones Y Configuraciones Cinemáticas	35
2.6.2.3	Accionadores	36
2.6.2.4	Transmisiones	36
2.6.2.5	Frenos	36
2.7	FUNDAMENTOS MATEMATICOS Y FISICOS EN ROBOTICA	36
2.7.1	Descripción De Posición Y Orientación:	36
2.7.2	Sistemas De Referencia:	37
2.7.3	Descripción De Posición	37
2.7.3.1	Coordenadas Cartesianas	38
2.7.3.2	Coordenadas Cilíndricas	39
2.7.3.3	Coordenadas Esféricas	39
2.7.3.4	Descripción De La Orientación	40
2.7.4	Matrices De Rotación	41
2.7.4.1	Matrices Y Coordenadas Homogéneas	41
2.7.4.2	Matriz Homogénea De Transformación Inversa	42
2.7.5	Transformaciones Básicas: Traslación Y Rotación	42
2.7.5.1	Traslación	42
2.7.5.2	Rotación	43
2.7.5.3	Composición De Transformaciones	44
2.7.6	ROTACIONES COMPUESTAS	45
2.7.6.1	Matriz De Rotación (Con Representación De Ángulos De Euler)	45
2.7.6.2	Matrices De Rotación Respecto A Un Eje Arbitrario	45
2.8	CINEMATICA	46
2.8.1	Espacio Articular Y Espacio Cartesiano	47
2.8.2	Problema Cinemático Directo	48
2.8.2.1	Parámetros De Denavit Hartenberg	49
2.8.2.2	Asignación De Sistemas De Referencia	50
2.8.3	Transformación Homogénea	51
2.8.4	Problema Cinemático Inverso	53
2.8.4.1	Métodos De Solución	54
2.8.4.2	Cinemática De Movimiento	55
2.9	DINAMICA	56
2.9.1	Formulación Lagrangiana	57
2.9.2	Energía Cinética	58
2.9.3	Energía Potencial	58
2.9.4	Sensores	59

2.9.4.1 Ultrasonido	60
2.9.4.2 Principios Básicos	60
2.9.4.3 Reflexión Y Refracción	61
2.9.5 Sensor O Transductor Ultrasónico	63
3. METODOLOGIA	64
3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	64
3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DEL PROGRAMA	64
3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	65
3.4 HIPOTESIS	65
3.5 POBLACION Y MUESTRA	65
3.5.1 Población	65
3.5.2 Muestra	65
3.6 VARIABLES	66
3.6.1: Variables Independientes:	66
3.6.2 Variables Dependientes	66
4. DESARROLLO INGENIERIL	67
4.1 AREA DE TRABAJO	68
4.2 SOLUCIÓN AL PROBLEMA CINEMATICO DIRECTO	69
4.2.1 Algoritmo De Denavith Hartenberg	69
4.2.2 PROGRAMA EN MATLAB	74
4.3 SOLUCIÓN AL PROBLEMA CINEMATICO INVERSO	76
4.3.1 Programa En Matlab	78
4.4 CONTROL CINEMÁTICO	79
4.4.1 Programa Control Cinemático	80
4.5 SOLUCIÓN AL PROBLEMA DINAMICO	86
4.6 DESARROLLO DEL PROBLEMA DINAMICO	86
4.6.1 Programa En Matlab	90
4.6.2 Simulación De La Animación Trayectoria	93
4.7 CONTROL DINAMICO O CONTROL DE MOVIMIENTO	96
4.8 DISEÑO ELECTRÓNICO	98
4.8.1 Tarjeta De Adquisición De Datos	98
4.8.1.1 Circuito De Amplificación De Las Señales De Control De Los Motores	98
4.8.2 Parámetros Para La Selección Del Motor	100
4.9 CALCULOS ELECTRÓNICOS	104
5. CALCULOS DE DISEÑO PARA EL BRAZO ROBOTICO	111
5.1 CALCULOS DE ENGRANAJES CONICOS PARA LOS EJES	111

5.2 CÁLCULOS PARA DETERMINAR EL DIÁMETRO	114
5.2.1 Ecuaciones De Equilibrio	114
5.3 CALCULO DE FUERZAS Y TORQUE	117
5.4 ELECTROBISTURI	119
5.4.1 Características Del Electrobisturi	119
5.4.1.1 Aspectos Generales De La Cirugía	119
5.4.1.2 Interacción Entre La Corriente Eléctrica Y El Tejido Biológico	119
5.4.1.3 Efecto Faradio	119
5.4.1.4 Efecto Electrolítico	120
5.4.1.5 Efecto Térmico	120
5.5 PRINCIPIO DE LA CIRUGÍA CON ELECTROBISTURI	120
5.6 CORTAR TEJIDO	120
5.7 Coagulación	121
5.7.1 Técnicas De La Cirugía De Alta Frecuencia	121
5.7.2 Técnica Monopolar	121
5.7.3 Manejo Seguro De Los Aparatos Para La Cirugía Con Electrobisturi De Alta Frecuencia	122
5.8 RIESGOS PARA EL PACIENTE	122
5.8.1 Seguridad Para El Paciente	122
CONCLUSIONES	124
BIBLIOGRAFIA	125
ANEXOS	126

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Representación de los ángulos de Euler	45
Tabla 2 :Densidades e impedancias acústicas de distintos tejidos humanos	60
Tabla 3: Tabla de parámetros 10,11 y 12 de Denavit Hartenberg	72
Tabla 4: Entradas y salidas del sistema de adquisición de datos	98
Tabla 5 : Selección de cuñas	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Brazo robótico del sistema AESOP	17
Figura 2. Sistema robótico Endoassist	18
Figura 3. Brazo robótico del sistema Da Vinci	19
Figura 4. Brazo robótico compuesto de tres brazos sujetadores	20
Figura 5. Sistema Zeus durante cirugía	21
Figura 6: Hernia Inguinal según sexo	28
Figura 7: Entrada de 2 troncales por brazo laparoscòpico	32
Figura 8: Translación y rotación sobre un plano	33
Figura 9: Articulación de 1 y 2 grados de libertad	34
Figura 10: Configuraciones de Robot	35
Figura 11: Sistemas de referencia de coordenadas	37
Figura 12: Descripción de la posición	37
Figura13: Posición de un sistema, O respecto a M	38
Figura 14 : Coordenadas cartesianas	38
Figura 15: Coordenadas cilíndricas	39
Figura 16: Coordenadas esféricas	39
Figura 17: Sistemas de referencia coincidentes en el origen	40
Figura 18: traslaciones básicas	42
Figura 19: Numeración de articulaciones	47
Figura 20: transformaciones desde los distintos sistemas del robot.	48
Figura 21: Parámetros de Denavit Hartenberg	49
Figura 22: Transformación homogénea	52
Figura 23: velocidades angulares y lineales	55
Figura 24: Ondas incidentes transmitida y reflejada	61
Figura 25: Ondas incidentes transmitida reflejada y refractada	62
Figura 26: Tipos de transductores ultrasónicos	63
Figura 27: Área de trabajo	68
Figura28: Parámetro 1 y 2 de Denavit Hartenberg	70
Figura 29: Parámetros 4,5 y 6 de Denavit Hartenberg	71
Figura 30: Parámetros 7,8 y 9 de Denavit Hartenberg	71
Figura 31: Brazo robótico de dos eslabones	76
Figura 32: Ubicación de eslabones y asignación de de variables	77
Figura 33: Diagrama de control	79
Figura 34: Trayectoria generada	80

Figura 34: Control cinemático del brazo robótico	82
Figura 35: Salida de ángulos sensados	83
Figura 36: Salida de ángulos sensados	83
Figura 37: Error en los ángulos	84
Figura 38: Velocidad angular	84
Figura39: Salida controlada para X y Y	85
Figura 40: control dinámico	86
Figura 41: trayectoria generada en el plano x-y	93
Figura 42: Ángulos generados con respecto al tiempo de ejecución	93
Figura 43: Troqué de los motores mientras se ejecuta una tarea	94
Figura 45: Aceleración angular con respecto al tiempo de ejecución	94
Figura 46: Posición generada en una trayectoria posición vs. Tiempo	95
Figura 47: Modelo de Control dinámico	96
Figura 48: Circuito puente H	99
Figura 49: Servo motor HSR8498HB	101
Figura 50: Software de servomotor HSR8498HB	101
Figura 51:Control para servomotores HSR8498HB	102
Figura 52: Control de movimiento para HSR8498HB	103
Figura 53: Conexión del servomotor	103
Figura 54: tiempos de cruce para t2	118
Figura 55:Modulador por ancho de banda PWM	104
Figura 56: Señal de voltaje de entrada	105
Figura 57: Señal del PWM	106
Figura 58: señal del comparador para t1	107
Figura 59: señal del comparador para t2	108
Figura 60: señal del comparador para t3	108
Figura 61: tiempos de cruce para t4	109
Figura 62:Grafica de corriente con respecto al tiempo	110
Figura 63: Engranaje cónico de dientes rectos	111
Figura 64: Diagrama de fuerzas	114
Figura 65: Diagrama de fuerzas en ejes	116
Figura 66: Diagrama de fuerzas	117
Figura 67: Electrobisturi	121
Figura 68: Control del Electrobisturi	123

**ISEÑO DE BRAZO ROBÒTICO PARA LA REALIZACIÓN DE CIRUGÍAS
“HERNIA INGUINAL”**

**ERIKA ALEXANDRA RUÌZ JIMÈNEZ
DAVID ANTONIO VARGAS RUÌZ**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA: MECATRÒNICA
BOGOTA D.C.
2008**

**DISEÑO DE BRAZO ROBÒTICO PARA LA REALIZACIÓN DE CIRUGÍAS
“HERNIA INGUINAL”**

**ERIKA ALEXANDRA RUÌZ JIMÈNEZ
DAVID ANTONIO VARGAS RUÌZ**

**PROYECTO DE GRADO PRESENTADO
PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECATRÒNICO**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA: MECATRÒNICA
BOGOTA D.C.
2008**

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL ASESOR METODOLOGICO

BOGOTA D.C. 21 DE ENERO DE 2008

***La enseñanza del señor es perfecta,
Porque da nueva vida.
El mandato del señor es fiel,
Porque hace sabio al hombre sencillo.***

SALMO 19 .7

AGRADECIMIENTOS

A Dios por concederme la vida... por darme la oportunidad de crecer alrededor de gente maravillosa. Por permitirme culminar cada una de mis aspiraciones y por estar a mi lado siempre.

A mis padres... por brindarme su amor y confianza constantemente, Por sus sacrificios y esfuerzos, por estar siempre apoyándome, por sus consejos y dedicaciones por que gracias a todas sus virtudes han hecho de mí una mejor persona, por que gracias a ustedes culmino otro logro en mi vida.

A mis hermanitas... por brindarme todo su amor y confianza .por que es para ellas que quiero ser cada día mejor y así brindarles todo lo que se merecen. Mil gracias por apoyarme desde el principio hasta el final de mi carrera, por ser en mi vida un motivo de inspiración este triunfo también es de ustedes.

A mis abuelos...por cuidarme tanto así estén lejos... a mi abuelo Mario por sus consejos y sabiduría, por su apoyo durante el transcurso de mi vida. A mi abuelito cayo por todas sus lecciones de vida, por ser un guía mas así sea desde el cielo. Para ustedes no hay palabras que expresen mi gratitud.

A mis abuelitas...por estar siempre pendientes de mí, por ser la sinceridad, la ternura y la alegría, por brindarme toda su comprensión y por todo ese amor sin limites que me han regalado desde niña.

A mi novio, mi mejor amigo, mi cómplice, mi hombro...David mil gracias por tu valiosa compañía durante todo este tiempo, gracias por dar felicidad a mi vida siempre.

A mis amigos... mil gracias por todas esas experiencias vividas desde el principio hasta hoy, por los momentos buenos y malos

Erika Alexandra Ruiz Jiménez

En primer lugar le agradezco a Dios por permitirme cumplir un sueño que en momentos difíciles fue tan lejano. Llenándome de paz y sabiduría para afrontar los obstáculos que tuve en este largo camino.

A mis padres... Edgar Chacon y Olga Ruiz, que desde el comienzo creyeron y me apoyaron en este mismo ideal depositando todos sus sueños y esperanzas, en busca de un mejor mañana. Gracias papitos por estar siempre ahí cuando los necesite brindándome todo de ustedes con gran sabiduría por su sacrificio y entrega

A mis Hermanos... que siempre de un modo u otro pusieron un grano de arena para construir este sueño con palabras de aliento, consejos y buenos deseos.

A Mi Abuelito Luís Antonio que desde siempre ha sido mi gran inspiración, por sus grandes virtudes, inteligencia, dedicación, empeño, sabiduría y ese amor con que hizo cada cosa en su vida. Siendo el mejor ejemplo de vida.

A mi novia Erika Ruiz con quien empecé este duro camino, y que con el pasar del tiempo me demostró que más que una novia, se convirtió en mi confidente y mejor amiga, siendo fiel reflejo de mi mejor complemento por sus grandes virtudes y su gran espíritu. Gracias por ser quien eres y por brindarme todo lo que se puede anhelar.

A mis tíos y familia... que siempre estuvieron pendientes de mí ayudándome y siendo un apoyo incondicional en momentos muy importantes, siendo parte de este gran logro.

A mis amigos que además de cómplices fueron compañeros en largas batallas siempre con el deseo de salir victoriosos, y como siempre en las buenas y en las malas.

David Antonio Vargas Ruiz

Este no es solo nuestro sueño es el sueño de nuestras familias por creer en futuro mejor, visto desde nuestra perspectiva de ingenieros en busca de nuevos y mejores horizontes. Gracias por todo lo que nos han dado pero lo mas importante gracias por creer y depositar su confianza en nosotros.

Este proyecto de grado es fruto de todas la enseñanzas entregadas por todos nuestros profesores durante el transcurso de la carrera, y de manera especial agradezco las grandes participaciones de los ingenieros Roberto Bohórquez y Oscar Rodríguez sin su colaboración no hubiese sido posible llevar a feliz término nuestro proyecto.

Ing. Roberto... gracias por ser nuestro tutor, amigo, por todas esas palabras necesarias para nosotros, por todo ese animo que sembró en nosotros desde el principio, mostrando que mas que un profesor es un gran amigo

A el ingeniero Baldomero Méndez director de programa....mil pero mil gracias por todos sus buenos deseos, por sus grades consejos, por su gran colaboración , por ser un apoyo para nosotrosno tenemos palabras para expresar lo agradecidos que estamos.

Por último, pero no menos importantes a nuestros profesores... Héctor Vega, Adonai Varela, Luís García...etc.mil gracias por toda su colaboración.

GLOSARIO

Actuadores: son los dispositivos encargados de efectuar acciones físicas ordenadas por algún sistema de control. Esta acción física puede ser un movimiento lineal o un movimiento circular según sea el caso.

Actuadores Eléctricos: presentan facilidad de control. Permiten fácil y precisa regulación de la posición mediante servomecanismos. Pueden ser: motor paso a paso (PAP) o servomotores de corriente alterna (AC) o de corriente continua (DC).

Anestesia Local: administración directa de un anestésico local sobre un tejido para provocar la ausencia de sensaciones en una pequeña región del organismo.

Anestesia general: ausencia de sensibilidad y conciencia inducida por diversos agentes anestésicos que se administran sobre todo por inhalación o por inyección. La profundidad de la anestesia se planea para permitir la realización de la intervención quirúrgica sin que el paciente experimente dolor ni que recuerde el hecho.

Anestesia epidural: anestesia de las regiones pélvicas, abdominal, genital u otras mediante la inyección de un anestésico local en el espacio epidural de la columna vertebral.

Auto adaptabilidad al entorno: significa que el brazo robótico debe, por sí solo, alcanzar su objetivo (ejecutar su tarea) a pesar de las perturbaciones imprevistas del medio a lo largo de la ejecución de su tarea.

Brazo robótico: es un manipulador multifuncional y reprogramable, diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales, mediante movimientos programables y variables que permitan llevar a cabo diversas tareas. En este caso sirve para apoyar al cirujano mediante un procedimiento quirúrgico.

Cirugía: rama de la medicina que estudia las enfermedades y traumatismos que tienen que tratarse mediante técnicas operatorias.

Cirugía abdominal: intervención en la que se realiza una incisión en el abdomen y que se practica generalmente bajo anestesia general.

Cirugía laparoscopia: la laparoscopia es un procedimiento diagnóstico en el cual se examina el interior de la cavidad peritoneal, con un instrumento llamado laparoscopio. se realiza por medio de una pequeña incisión en la pared abdominal en la cual se introduce el instrumentó utilizado para explorar y visualizar .

Congénita: propiedad o característica existente al nacer, muchas veces de carácter hereditario

Contactores: son actuadores que sirven de interfase entre los mandos de control y los actuadores eléctricos de mayor potencia. Por medio de la excitación eléctrica de una bobina, el magnetismo creado por ella, atrae un dispositivo mecánico que a su vez conmuta uno o varios interruptores mecánicos que pueden manejar corrientes elevadas.

Ecografía abdominal: es un examen por medio de ultrasonido que reproduce imágenes de los órganos internos, Con la ecografía se puede observar el tamaño y la forma de muchos órganos, como el hígado y el páncreas, y también permite descubrir áreas anormales en su interior. La ecografía puede también evidenciar la presencia de líquido.

La ecografía es una prueba indolora y sin riesgo. Realizada con una sonda que se contacta con la pared abdominal. El especialista dirige las ondas de sonido por diversas partes del abdomen con movimientos suaves y las imágenes obtenidas se reflejan en una pantalla y se graban en una película de vídeo.

Estabilidad: se refiere a la ausencia de oscilaciones .

Dispositivos de control y manipulación: diversos tipos de ratones, joysticks o los ya clásicos guantes de datos nos permiten posicionarnos en el mundo virtual, así como actuar sobre él. El problema de todos estos dispositivos está en el tiempo de latencia (instante desde el que ejercemos nuestra acción sobre el mundo hasta que percibimos los resultados) y en que es un único usuario el que participa de la experiencia.

Dispositivos de RV: son Generadores de imagen: Son el cerebro de los sistemas de Realidad Virtual y generalmente consisten en grandes máquinas que se encargan de construir en tiempo real los gráficos de una aplicación.

Dispositivos de seguimiento: permiten determinar nuestra posición dentro del mundo virtual, así como los giros que se pueden realizar sobre cualquiera de los ejes de coordenados.

El entorno: es el universo en el que se encuentra el brazo. Si el prototipo se encuentra sobre un puesto fijo se reduce al espacio alcanzable por el robot.

End Effector: herramienta o que se utiliza para sostener o sujetar un objeto.

Estudios radiológicos: exámenes que se utilizan para evaluar trastornos digestivos, se utilizan los rayos X. La radiografía abdominal, técnica estándar de rayos X para el abdomen, no requiere ninguna preparación por parte del paciente. Los rayos X se utilizan habitualmente para poner de manifiesto una obstrucción o una parálisis del tracto gastrointestinal o patrones anormales de distribución del aire dentro de la cavidad abdominal.

Geometría: se basa en la forma del área de trabajo producida por el brazo robótico estas pueden ser: rectangular, cilíndrica o esférica.

Grados de libertad: es el número de grados de libertad que tiene el prototipo. Se considera un grado de libertad cada eje a lo largo del cual se puede mover el brazo.

Hernia: protusión de un órgano a través de una abertura normal en la pared muscular de la cavidad que lo rodea.

Hernia recurrente: una hernia recurrente es la que aparece en el sitio de la operación inicial con una alteración idéntica a aquella para la cual se llevó a cabo antes la reparación.

Herniorrafia: es la reparación quirúrgica de la pared muscular del abdomen, cuando, por debilidad de la misma, se ha producido una salida o desplazamiento de órganos fuera de la cavidad abdominal (hernia).

Durante la intervención se ponen, además, en su sitio los órganos internos desplazados (normalmente asas intestinales).

Informática: técnicas de procesos de datos por medio de ordenadores.

Interfase: intermediario entre el usuario de un computador o elemento de computo y la máquina en sí.

Laparoscopia: es el examen de la cavidad abdominal utilizando un endoscopio.

La laparoscopia se realiza habitualmente con el paciente bajo anestesia general. Después de lavar con un antiséptico un área adecuada de la piel, se realiza una pequeña incisión, generalmente en el ombligo. A

continuación, se hace pasar un endoscopio dentro de la cavidad abdominal. El médico puede buscar tumores u otras anormalidades, examinar prácticamente cualquier órgano dentro del abdomen, obtener muestras e incluso realizar cirugía reparadora.

Laparoscopia: endoscopio consistente en un tubo iluminado con un sistema óptico que se introduce a través de la pared abdominal.

Nuemoperitoneo: presencia de aire o gas en la cavidad peritoneal del abdomen.

Obliterar: eliminación o pérdida de la función de una parte del organismo por medios quirúrgicos, patológicos o degenerativos.

Parámetro: es cuando una variable no presenta ningún cambio en su comportamiento ante alguna circunstancia específica. Es decir solo permanece inactiva o estática frente a una situación determinada.

Peritoneo: amplia membrana serosa que recubre toda la pared abdominal. En el hombre el peritoneo es un saco membranoso cerrado, mientras que en la mujer esta perforado por los extremos libres de las trompas uterinas.

Proceso: es la transformación de una señal de entrada en una señal de salida.

Programa: serie de pasos para resolver un problema, en el caso de las computadoras, pasos determinados.

Precisión: distancia entre el punto programado y el valor medio de los puntos realmente alcanzados al repetir el movimiento varias veces con carga y temperatura nominales.

Relé Térmico: su función es la de proteger los diferentes dispositivos de las sobrecorrientes. Estos deben ser instalados después del contactor, de tal manera que brinde seguridad en caso de que uno de sus contactos se quede pegado o no funcione correctamente.

Repetibilidad: Se define como la capacidad que tienen los robots para posicionarse en un punto previamente accesado.

Retroperitoneo: órganos anclados a la pared abdominal y parcialmente cubiertos por el peritoneo.

Salidas: son los resultados obtenidos después de procesar las entradas, y estas dan el resultado del sistema.

Sensores: un sensor es un dispositivo que proporciona una medida de una cantidad física deseada. La salida es generalmente una señal eléctrica que puede estar conforme a ruido y a disturbios extraños

Simulación quirúrgica: medio de entrenamiento para cirugía mediante entornos virtuales.

Sistema: conjunto de partes independientes que se relacionan para generar o producir una actividad.

Sistema de accionamiento: conjunto dotado de motores (eléctricos) que permiten dar movilidad a las articulaciones del brazo mediante las transmisiones (cables). Para conocer en todo instante la posición de las articulaciones se recurre a los Captadores (codificadores ópticos) que se encargan de la configuración o el estado del robot.

Sistemas inmersivos: estos sistemas tratan de introducir al propio usuario dentro del mundo virtual, proporcionándole sensaciones realistas como la estereoscopia (visión tridimensional) o el sonido envolvente.

Sistemas window on world (wow): consiste en utilizar monitores convencionales para representar las imágenes reales.

Realidad virtual (RV): es una interfaz entre los sentidos y las máquinas, ofreciendo una experiencia realista.

Telemedicina: procedimiento de medicina a distancia mediante el uso de medios de telecomunicación para facilitar información médica y servicios.

Transmisiones: las transmisiones se diseñan para aumentar el momento de torsión disponible en las coyunturas, y reducir la velocidad angular por una razón llamada "razón de transmisión". La función de las transmisiones es la adaptación de la impedancia mecánica para transmitir los momentos de torsión engendrados por los actuadores a las coyunturas. Cuando los motores convencionales de DC son usados, sus velocidades de eje son generalmente mucho más altas que las velocidades de las coyunturas requeridas, mientras sus momentos de torsión nominales son demasiado bajos.

Ultrasonido: el ultrasonido o ecografía es el envío de ondas de sonido dentro del cuerpo. Estas ondas de sonido se reflejan en los órganos internos, y son registradas por instrumentos especiales que forman una imagen de la anatomía. En el ultrasonido no se usa radiación ionizante (rayos X).

Variables: se denomina variable a cada elemento que compone o hace parte de un sistema, según el comportamiento y las características del Proceso interno que se desarrolla las variables cambian al igual que sus propiedades

Versatilidad: facilidad para ejecutar tareas diversas y/o establecer una misma tarea de forma diversa. Esto impone al robot una estructura mecánica de geometría variable.

Virtual: se refiere a todo lo visible, a la representación visible de algo.

Velocidad: rapidez máxima alcanzable por las articulaciones. Una velocidad de trabajo elevada, aumenta extraordinariamente el rendimiento del brazo robótico, por lo que es a magnitud se valora considerablemente en la elección del mismo

INTRODUCCIÓN

“Desde los tiempos de la antigüedad, se conocen procedimientos quirúrgicos generales en muchas culturas diferentes, pero las técnicas quirúrgicas científicas comenzaron a practicarse a partir del siglo III a.C.”¹ .

Los egipcios realizaban operaciones como la castración, litotomía (extracción de piedras de la vejiga), amputaciones y ciertas operaciones en los ojos. En la India, se realizaban prácticas quirúrgicas como el tratamiento de fracturas y la extracción de piedras de la vejiga y se les atribuye el origen de la cirugía plástica. La cirugía de los primeros griegos, realizada de manera fundamental en el campo de batalla, parece derivada de la de los egipcios, al igual que su medicina. En Roma, prevalecieron la medicina y cirugía sacerdotal o de gremios hasta la aparición del médico griego Hipócrates, cuyos estudios, prácticas, escritos y enseñanzas abarcaban tanto a la medicina como a la cirugía. Después se progresó poco hasta que surgió la Escuela de Alejandría (233-230 a.C.) que basaba la cirugía en un diagnóstico preciso y la habilidad operatoria en el estudio de la anatomía humana.

Las cirugías, son tratamientos a enfermedades o correcciones de alguna deformidad o defecto, realizadas por procedimientos manuales u operatorios, con o sin el uso de medicamentos. Esta rama de la medicina se subdivide según la naturaleza del procedimiento empleado, la aplicación para el del diseño del brazo robótico se realizara en base a las hernias inguinales, proporcionando un avance en la realización de la cirugía y mejorando la calidad de vida de las personas que se sometan a dicho procedimiento.

La hernia inguinal aparece durante el proceso evolutivo del ser humano, tiene una alta incidencia en la población y representa un problema de salud por las importantes implicaciones sociales y laborales. Durante años ha sido una afección de escaso interés profesional. Pero debido a sus altos índices los expertos buscan nuevas alternativas que permitan controlar esta dolencia.

Los aspectos que durante los últimos años han motivado a los profesionales para buscar alternativas que beneficien integralmente sociedad son los siguientes:

Profesionales: El cirujano ha dejado de considerar las hernias como una cirugía fácil y al alcance de cualquiera. Ha entendido la importancia que tiene la

¹ Haeger K . The illustrated history of surgery. Harold Starke Publishers Ltd. London, United Kingdom, 2000.

realización Correcta de las técnicas, ya que la reincidencia representa un problema de solución más compleja.

Pacientes: Vivimos en una sociedad cada vez más culta e informada, donde se puede disponer instantáneamente de diferentes opiniones y opciones de tratamiento. Esto hace que el paciente demande, cada vez con mayor frecuencia, unos resultados razonables.

Tecnológicas: El avance que ha supuesto la biomecatrónica; permiten una mejor recuperación de los pacientes debido a los nuevos sistemas de intervención quirúrgica.

Administración: Existe un gran interés por la optimización de los recursos sanitarios intentando conseguir la máxima efectividad al menor costo (eficiencia).

Todas las cirugías ambulatorias tales como la cirugía de hernia inguinal, han despertado un nuevo campo de investigación en robótica y para este tipo de intervenciones el cirujano o el especialista sólo utilizara la información suministrada por el control del mismo prototipo. De esta manera el cirujano solo manipula el material estéril que será introducido en el interior de la cavidad abdominal permitiendo completo dominio del entorno y del espacio y de sus manos.

Este brazo es un diseño flexible, reprogramable y multifuncional, en contraposición a las dispositivos quirúrgicos o máquinas automáticas, Lo se busca con el diseño es la realización de tareas específicas en diversos campos de la salud. El brazo robótico al igual que sucede con los seres humanos, debe analizar cualquier tarea para ejecutarla por esa razón el diseño permite verificar cuales son los movimientos necesarios para un mejor desarrollo del mismo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

La Administración Federal de Drogas de los Estados Unidos (FDA), ha aprobado cuatro sistemas robóticos quirúrgicos para uso clínico durante operaciones abdominales estos son:

AESOP (Automated Endoscopic System for Optimal Positioning)

“Es el primer robot en ser aprobado por la FDA para uso clínico en abdomen es AESOP, el cual es fabricado por Computer Motion Incorporated de Santa Barbara, CA. La aprobación de la FDA fue otorgada en 1994 y Computer Motion fue inicialmente fundada con una concesión para investigación de la NASA, con el fin de desarrollar un brazo robótico para el programa espacial de los Estados Unidos. Posteriormente, este brazo fue modificado para sostener un laparoscopio y reemplazar al camarógrafo laparoscópico”².

Su funcionamiento inicia cuando AESOP es introducido dentro de la cavidad abdominal y el cirujano controla el brazo robótico manualmente o a distancia ya sea a través de un pedal o un control manual. “Pero gracias a los avances tecnológicos nuevas generaciones de AESOP trabajan por comandos de voz para que el cirujano controle los movimientos del telescopio con órdenes específicas de voz al robot (FIGURA 1). Donde cada cirujano requiere una tarjeta de sonido personalizada. Para que el PC identifique el algoritmo que descifra el patrón de voz propio del cirujano estos programas son propiedad de Computer Motion”³.

“AESOP cuenta un sistema de libre-falla que protege al paciente. Al inicio de la cirugía, fijando un margen inferior limite para el brazo robótico. Esto previene al brazo robótico de herir al paciente durante la operación. También consta de una plataforma estable para la cámara del cirujano la cual acorta la distancia y disminuye el riesgo de “enfermedad de movimiento”.

² SACKIER JM, WANG Y. robotically assisted laparoscopic surgery. From concept to development. Surg Endosc 1994; 8: 63-66.

³ JOHANET H. Voice - controlled robot: is new surgical aide? Thoughts of a user. Ann Chir 1998; 52: 918-921.

Este sistema robótico permanece orientado adecuadamente, mientras se desplaza a distintas locaciones. Facilita la realización de procedimientos laparoscópicos de cirugía general y gastrointestinal por sí solo, sin la colaboración de un cirujano asistente.

Figura 1. Brazo robótico del sistema AESOP



Fuente. www.spineuniverse.com

ENDOASSIST

“Una compañía británica, Armstrong Healthcare Ltd, introdujo al mercado un camarógrafo robótico llamado “Endoassist”. La FDA autorizó recientemente el uso de Endoassist dentro de los Estados Unidos. Pero Desafortunadamente, es muy poco lo que se ha publicado acerca de él hasta la fecha”⁴.

El cirujano controla el movimiento con su cabeza (FIGURA 2), usando en su frente un dispositivo que emite rayos infrarrojos. El cirujano debe apuntar el rayo al punto en el monitor de video que desea observar. El robot mueve la vista de la cámara a esa posición.

⁴ YAVUZ Y, YSTGAARD B, SKOGVOLL E, MARVIK R. A comparative study evaluating the performance of surgical robots AESOP and Endosista. Surg Laparosc, Endosc & Percut Tech 2000; 10: 163-167.

Este sistema ofrece algunas ventajas a aquellos cirujanos que puedan encontrar algo incomodo la constante charla requerida para controlar a AESOP. Esta sujeto a una base separada que es rodada al costado del paciente

Figura 2. Sistema robótico Endoassist



Fuente. www.scielo.org.pe

Da VINCI

Da Vinci comenzó a ser fabricado en 1995 por la empresa de tecnología médica Intuitive Surgical, Mountain View, California. y es uno de los últimos prototipos de la nueva revolución médica.

El origen de la cirugía robótica se remonta a la guerra fría. Debido a las numerosas muertes que causaron los médicos que asistían a los soldados en la guerra del Vietnam. Los americanos sugirieron la idea de fabricar un equipo tecnológico que pudiera ser manejado a distancia por un cirujano. Entonces Idearon un maletín provisto de dos brazos, que hacían las veces de manos para intervenir, y una cámara para visualizar el área a operar. Un enfermero se encargaba de acomodar al soldado caído en el frente y el cirujano lo intervenía desde la retaguardia, unos kilómetros más lejos.

En los primeros años de la década de los 90 en el Stanford Research Institute, se realizaron una serie de investigaciones con el fin de atender emergencias en los campos de guerra, así poder contar con los mejores cirujanos y especialistas operando desde lugares seguros, lo que dio origen a la telecirugía. De esta forma nace el proyecto da Vinci, con el objeto de investigar las futuras aplicaciones de la

robótica en cirugía. Tomando como referente algunas iniciativas, Fred Moll y Rob Younge, fundadores de Intuitive Surgery en 1995, idearon un equipo tecnológico para cirugía endoscópica. El resultado es el telemanipulador Da Vinci, que vale un millón de euros y del que ya funcionan 59 equipos en todo el mundo (FIGURA 3).

El robot no es totalmente autónomo, Da Vinci debe ser controlado por un equipo de cirujanos que, en una pantalla de televisión, observan las evoluciones del brazo sobre la mesa de operaciones donde descansa el paciente. cuenta con un verdadero sistema de imagen tridimensional y con tres brazos (FIGURA 4), encargados de realizar los procedimientos. El brazo central sujeta la cámara, mientras que los otros dos brazos laterales sostienen los instrumentos quirúrgicos. que a su vez se articulan en una “muñeca”, movilizándose con seis grados de libertad y dos grados de rotación axial que permite mover los brazos al costado de la mesa quirúrgica.

“El aparato después de haber sido utilizado para intervenir a 113 pacientes en cinco hospitales seleccionados de EEUU fue aprobado por la FDA el 4 de junio del 2000. Esa cifra, según la administración de drogas estadounidense, ha sido suficiente para afirmar que el aparato tiene la misma efectividad y es tan seguro como la laparoscopia tradicional”⁵.

Figura 3. Brazo robótico del sistema Da Vinci



Fuente. <http://www.intuitivesurgical.com>

⁵ **Cirugía Robótica**” Dr. Rodolfo Altrudi Jefe de Unidad Cirugía General Coordinador de Informática Biomédica Hospital Gral. de Agudos F. Santojanni Vicepresidente del Grupo de Informática Biomédica de Buenos Aires

Figura 4. Brazo robótico compuesto de tres brazos sujetadores



Fuente. <http://www.intuitivesurgical.com>

ZEUS

“El **Proyecto Zeus** nace en Goleta CA, USA en Computer Motion en 1997 como un estudio aleatorio, prospectivo y controlado de un sistema de tres brazos robóticos AESOP 3000 (evolución del 2000)”⁶.

El sistema quirúrgico ZEUS tiene siete grados de libertad, y dos brazos robóticos manipuladores (derecho e izquierdo del cirujano) que permiten al cirujano manejar los instrumentos quirúrgicos a distancia.

ZEUS está compuesto por una consola de control de cirugía ergonómica y por tres brazos robóticos montados en una mesa de operación, que Permiten la realización de tareas quirúrgicas y su respectiva visualización durante la cirugía endoscópica. El cirujano sentado en la consola ergonómica con una visión libre de obstáculos del paciente controla los brazos, izquierdo y derecho, de Zeus, para poder realizar la traslación, en tiempo real, a la articulación de los instrumentos quirúrgicos. El Brazo robótico Zeus ofrece diferentes ventajas para la realización de cirugías abdominales complejas. El paciente puede ser cambiado de posición sin necesidad de acomodar los brazos. Tienen un sistema de orientación que le permite estar ubicado siempre que el paciente necesite o requiera cambiar de posición.

⁶ Enlace: www.depeca.uah.es/docencia/doctorado/cursos04_05/83190/Documentos/Cirugiarobotica.pdf

“La FDA ha concedido a Zeus únicamente una aprobación limitada para operaciones abdominales. Puede ser usado como camarógrafo y asistente operatorio pero aun no como cirujano operador”⁷ .

Figura 5. Sistema Zeus durante cirugía



Fuente. www.computermotion.com

Los sistemas robóticos nombrados anteriormente son utilizados para realizar procedimientos laparoscòpicos en los que actúan como asistentes de cirugía, actualmente investigan la posibilidad de crear un sistema quirúrgico autónomo que realice los procedimientos tomando sus propias decisiones.

En Colombia no se hace uso de ninguno de estos sistemas quirúrgicos la reparación de las hernias inguinales se realiza con el uso de materiales protésicos que han disminuido la recurrencia proporcionado una recuperación postoperatoria más rápida.” Desde 1993 en la Clínica San Rafael (Bogotá -Colombia) se viene aplicando la técnica preperitoneal con colocación de malla de polipropileno, con el propósito de disminuir las estadísticas de recurrencia de las cirugías tradicionales”⁸.

Razón por la cual es indispensable avanzar tecnológicamente y de esta forma poder ofrecer un diseño de brazo robótico especial para el campo de la salud.

⁷ Revista de gastroenterología. Perú v.23 n.1 Lima ene/mar. 2003

⁸ Revista de cirugía. CLINICA SAN RAFAEL “Hernioplastia inguinocrural ”

1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cuáles son las complicaciones que se presentan con mayor frecuencia al realizar cirugías sin el uso de nuevos recursos tecnológicos en nuestro País?

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El problema radica en la falta de tecnología para el desarrollo de cirugías ambulatorias importantes como la cirugía de hernia inguinal que en Colombia tienen altos índices de padecimiento

La mayoría de la población en Colombia incluyendo niños, mujeres y hombres sufre de hernias inguinales o nacen con ella; esta ocupa el primer lugar en procedimientos quirúrgicos al padecer de dicha enfermedad. Por tal razón es indispensable buscar alternativas que den solución a esta dificultad ya que el nivel de vida de las personas que padecen esta dolencia se puede complicar si no reciben un tratamiento adecuado o a tiempo.

Como se explicó anteriormente la cirugía de hernia inguinal es un procedimiento ambulatorio, el cual se debe realizar con la precisión y precaución, ya que si se procede en una forma inadecuada puede producir una recurrencia de la hernia con complicaciones que pueden alterar el organismo, romper tejido o comprometer órganos.

Las técnicas implementadas para la cirugía de hernia inguinal eran realizadas manualmente, pero con el brazo robótico laparoscópico se ha podido efectuar una nueva técnica de cirugía interna, en la cual el cirujano tiene visión en el interior de organismo, verificando características como color, volumen, aspecto de la masa herniaria. Pero es un procedimiento que se realiza con la abertura de tres orificios en los cuales se introducen 3 cámaras de video de alta resolución, pero que no da certeza de la realización de un procedimiento exitoso.

Factores como un mal diagnóstico influyen en que las personas no tengan seguridad de los procedimientos, ya que las hernias inguinales pueden presentar síntomas parecidos a otras enfermedades incluso desarrollar patología diferente debido a que los organismos no se comportan de la misma forma.

Forma parte de la ética profesional de los especialistas dar informes detallados a los pacientes sobre los padecimientos de sus enfermedades, pero como se mencionó anteriormente no siempre se tiene certeza de un diagnóstico y se recurren a exámenes de todo tipo, sometiendo al paciente a posibles angustias que atormenten más su condición. Por esta razón se desea diseñar un nuevo dispositivo que realice procedimientos quirúrgicos certeros con mayor seguridad sin perjudicar a los pacientes con cirugías tradicionales.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La importancia que han alcanzado los sistemas de cirugía en la actualidad, reflejan la necesidad que tienen los seres humanos de mejorar los efectos de la cirugía convencional, innovando sistemas que permitan el desarrollo de nuevas técnicas quirúrgicas. A través del tiempo se ha observado un descenso de la mortalidad en cuanto a las técnicas de microcirugía porque ahora se aplican de un modo conveniente en la corrección de enfermedades que amenazan la vida. Del mismo modo resulta más fácil para el cirujano identificar el tejido dañado o enfermo.

El diseño de brazo robótico permitirá al cirujano interactuar con tecnología que le ofrece mayor seguridad y confianza al realizar procedimientos. Cuando se realizan cirugías extensas que pueden durar hasta dos (o incluso más) horas, las manos de los cirujanos puede sufrir una pérdida de estabilidad considerable. En tal situación, un asistente robótico es capaz de realizar los movimientos deseados por el especialista para que pueda utilizar ambas manos y convertirse en una herramienta útil en la sala de operaciones.

Es necesario comentar que el diseño que se desarrollará involucra la labor social inculcada como ingenieros íntegros en nuestra universidad y genera gran expectativa para el mejoramiento del sector salud y la calidad de vida de los colombianos.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un brazo robótico para la realización de cirugías, aplicado específicamente a la intervención de hernia inguinal.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la investigación necesaria para identificar las características fundamentales durante la cirugía de hernia inguinal.
- Efectuar la investigación pertinente para establecer los procesos que desempeña el diseño, ya sea en la parte de control o en la parte electrónica.
- Diseñar el sistema cinemático y dinámico del prototipo.
- Analizar las características y componentes del prototipo para verificar sus limitaciones y alcances.
- Desarrollar un programa para controlar el posicionamiento del brazo mediante coordenadas proporcionadas por el operador.
- Establecer una interfase de control en tiempo real entre el operador y el mecanismo autómatas.

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO

1.6.1 Alcances

La presente investigación se realizara con el fin de buscar nuevas estrategias para el campo de la cirugía. En nuestro país las intervenciones referentes a la hernia inguinal se realizan aun por cirugía tradicional, lo que demuestra que actualmente el sector salud no cuenta con equipos de última tecnología necesarios para una mejor realización de los procedimientos.

Con el diseño de brazo robótico para la realización de cirugías se pretende brindar al gremio hospitalario un asistente quirúrgico controlado que permitirá al cirujano tener mas libertad del entorno y tener confianza de un procedimiento exitoso.

El brazo actúa según el criterio del cirujano y será el encargado de realizar lo que actualmente ejecuta el auxiliar de cirugía .,

Los alcances se fundamentan con un diseño Innovador de un asistente robótico para cirugías que brindara un alto impacto tecnológico debido a sus materiales , a su manipulación altamente controlada y a su capacidad de intervención como método diagnostico.

1.6.2 Limitaciones

La limitación mas importante del proyecto esta dada por La Administración Federal de Drogas de los Estados Unidos FDA la cual estipula que ningún prototipo de brazo robótico realizara la totalidad de la cirugía; y que solo se podrán desempeñar como auxiliares durante una intervención Quirúrgica. Esto fue aprobado por cirujanos generales y cirujanos plásticos durante la toma de decisiones de una cirugía laparoscopia el 11 de julio del año 2000.

Fuente: www.fda.gov/bbs/topics/news/new00732.html

2. MARCO TEORICO

2.1 CARACTERISTICAS DE LA HERNIA INGUINAL

La hernia es una de las enfermedades más frecuentes en el ser humano, y aún sigue siendo el tema de discusión entre médicos por aspectos relacionados con ella que van desde las causas hasta el tratamiento apropiado.

Algunos especialistas definen hernia en términos de una debilidad más que un orificio mismo. Es más, otros expresan que es una combinación de las dos cosas. Pero para que exista una hernia, debe existir un deterioro en la estructura de soporte a través del cual pueda sobresalir un órgano o tejido.

2.2 DEFINICIÓN DE HERNIA INGUINAL

La hernia no es más que un orificio natural de la pared abdominal, de pequeño tamaño, que por cualquier motivo se ha dilatado o se ha desgarrado y se ha hecho lo suficientemente grande como para permitir que a través de él se salga el contenido abdominal (habitualmente el intestino delgado). La hernia de la región inguinal es una dolencia que la humanidad viene padeciendo desde el principio de la historia. Se puede presentar en cualquier sexo, en cualquier raza y a cualquier edad, incluso nacer con ella.

“En general se acepta que la hernia más común en los dos sexos es la inguinal indirecta en un 50% y el 25% corresponden a hernias inguinales directas, las cuales son muy raras en mujeres”⁹. Todas las hernias en general son cinco veces más frecuentes en los hombres debido a que éstos presentan mayor esfuerzo físico y de esta manera aumentan el riesgo de presentar una hernia.

“El 25% de los varones y sólo 2% de las mujeres desarrollarán hernias inguinales en su vida y estas lesiones son más comunes en el lado derecho que en el izquierdo. Se puede decir que las hernias de la ingle, suman algo más del 75% del total de hernias del organismo. Entonces sea cual sea la cifra exacta, es evidente la dimensión del problema si se tiene en cuenta el aspecto económico y laboral porque en promedio cada paciente con hernia inguinal necesita como mínimo 16 días de incapacidad médica”¹⁰.

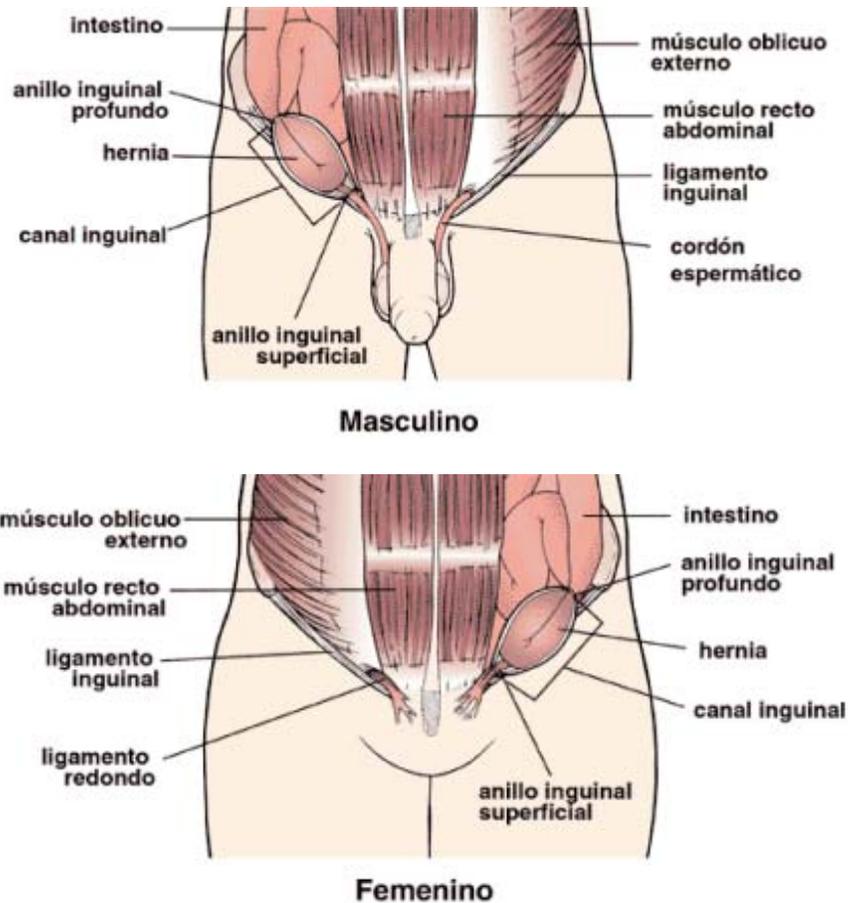
⁸ Enlace:

http://www.susmedicos.com/art_hernia_inguinal_descripcion.htm; Dr. Germán Jiménez Sánchez, M.D.

⁹ Sabiston David C. Tratado de Patología Quirúrgica. Ed. Interamericana-McGraw Hill. 1995

Existen diferentes sistemas de clasificación para las hernias inguinales. El propósito de estas es brindar un mejor conocimiento al médico donde pueda clasificar el tipo de hernia y seleccionar la técnica correcta de reparación. Tradicionalmente, los factores que llevan al desarrollo de hernia se han dividido en dos categorías:

Figura 6: Hernia inguinal según sexo



Fuente: www.med.umich.edu/1libr/sma/sma_sagherni_art.htm

2.2.1 Hernia inguinal directa

En la hernia inguinal directa, la víscera sale del abdomen a nivel del anillo inguinal profundo. Por tanto la víscera siempre posee las mismas cubiertas que el cordón espermático, y en realidad no atraviesa ninguna de las capas de la pared abdominal. Por su propia naturaleza, exige siempre un saco herniario previo. Forma la parte anterior de la masa herniaria.

2.2.2 Hernia inguinal indirecta

Son congénitas, ya que están dadas por la persistencia del conducto (peritoneo o vaginal) que es un saco peritoneal a través del cual, el testículo desciende del retroperitoneo hacia el escroto, después de lo cual, el saco se debe obliterar totalmente; al no cerrarse, este defecto produce una comunicación entre la cavidad abdominal y el escroto originando la hernia indirecta.

2.3 CAUSAS DE LA HERNIA INGUINAL

Los factores que llevan al desarrollo de la hernia inguinal pueden ser Defectos de origen congénito o adquirido. En la mayor parte las hernias inguinales son intervenidas por factores congénitos como el bajo peso al nacer, deformidades o las deficiencias de colágeno dan lugar al desarrollo de hernias inguinales directas.

Las hernias directas se atribuyen a las fuerzas de desgaste cotidianas como el esfuerzo para orinar o defecar, toser y levantar objetos pesados. Este es el primer factor causal de traumatismo y debilitamiento del piso inguinal.

2.4 SÍNTOMAS DE LA HERNIA INGUINAL

Los síntomas más comunes son:

- Masa en el área de la ingle, cerca del muslo.
- Dolor en el área de la ingle
- Obstrucción parcial o completa del intestino (en los casos más graves).
- Síntomas gastrointestinales: Como Flatulencia, dolor abdominal tipo cólico, acompañados con; náuseas y vómitos llamándose a todo este conjunto de síntomas “Dispepsia Herniaria”.

Sin embargo, cada individuo puede experimentarlos de una forma diferente ya que todos los organismos no responden de igual manera.

2.4.1 Cómo se diagnostica la hernia inguinal?

Además del examen y la historia médica completa, los procedimientos para el diagnóstico de la hernia inguinal pueden incluir los siguientes:

2.4.2 Exámenes de sangre

Rayos X - examen de diagnóstico que utiliza rayos invisibles de energía electromagnética para producir imágenes de los tejidos internos, los huesos y los órganos en una placa; se realiza para ver si hay algún bloqueo en el intestino.

La mayor parte de las veces, se realiza la palpación introduciendo el dedo en el conducto inguinal para sentir la masa herniaria. La ecografía y el tacto son útiles para la detección de hernias.

2.5 TRATAMIENTOS DE LA HERNIA INGUINAL

El tratamiento específico de la hernia inguinal será determinado por su médico basándose en lo siguiente:

- Su edad, su estado general de salud y su historia médica.
- Qué tan avanzada está la condición.
- Su tolerancia a determinados medicamentos, procedimientos o terapias.
- Sus expectativas para la trayectoria de la condición.
- Su opinión o preferencia.

El tratamiento principal de la hernia inguinal es un procedimiento quirúrgico conocido como herniorrafia. En este procedimiento, se repara la abertura en la pared muscular. Algunas veces, en un procedimiento conocido como hernioplastia, donde el área débil se refuerza con malla o alambre de acero.

Actualmente los tratamientos quirúrgicos se han ido modernizando y el procedimiento quirúrgico de la hernia inguinal sigue basándose en un conocimiento exacto de la anatomía. Desde las primeras intervenciones quirúrgicas se cuenta con diversas técnicas de cirujanos iniciadores y propagadores de sus propios métodos como Bassini, Halsted y Marcy. Que gracias a sus contribuciones fundamentales permitieron que la cirugía desarrollara nuevos métodos para una buena la reparación de las hernias.

Los adelantos tecnológicos aplicados en cirugía Permiten una aproximación a la realidad de procedimiento, Ofreciendo un tratamiento completo con un mínimo daño y lo mas importante un rápido reintegro del paciente a su vida normal es por eso que los brazos robóticos brindan una completa seguridad y precisión de la que cualquier ser humano pueda tener brindando al especialista la libertad de tener ambas manos libres para cortar, explorar y suturar al paciente,

2.5.1 Método convencional (Herniorrafia tradicional)

Este procedimiento es llamado herniorrafia e involucra la administración de un anestésico local o general, antes de realizar una incisión pequeña sobre la hernia, luego se empuja el tejido prominente hacia su sitio y se retira el saco de la hernia. Y después se procede a suturar firmemente los músculos y tejidos comprometido sobre el orificio de la hernia.

El tiempo típico de recuperación para regresar a las actividades normales es de cuatro a seis semanas para las hernias que resultan de tensión o esfuerzo. La posibilidad de que la hernia reaparezca puede ser hasta de un 10-15 por ciento. La cirugía generalmente es realizada como ambulatoria, pero a veces el médico recomendará una estancia de uno o dos días.

2.5.2 Técnica de libre de tensión (Herniorrafia con malla)

Se realiza una pequeña incisión sobre el sitio de la hernia bajo anestesia local. La protuberancia se retorna a su posición original y se coloca un pedazo de malla en la apertura del tejido. Esto se mantiene firmemente en su lugar y se cierra la incisión externa. Con el tiempo los músculos y los tendones envían tejido fibroso que crece alrededor de y a través de la malla.

Esta cirugía es también un procedimiento ambulatorio, y generalmente lleva menos de una hora. Es muy común que después de unos 45 minutos el paciente pueda levantarse, subir o bajar escaleras, dar un paseo, o aún manejar una bicicleta de ejercicio.

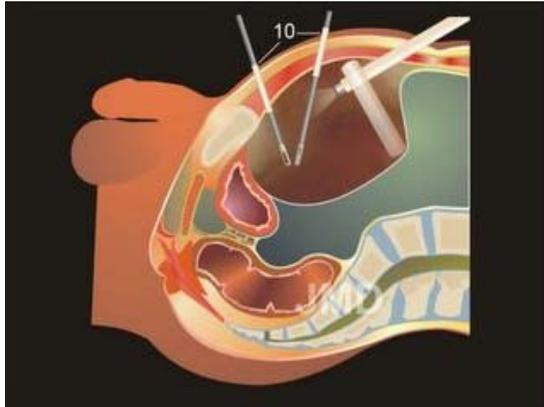
2.5.3 Método laparoscópico

El procedimiento inicia con la incisión de agujeros pequeños en el abdomen en un sitio lejano del defecto. Luego el cirujano insufla dióxido de carbono u óxido nitroso en el abdomen, creando un espacio tipo globo para trabajar. Luego inserta el laparoscopio (un tubo con una cámara pequeña en la punta) a través del ombligo utilizando un trocar (un instrumento que retira líquidos) y una cánula (un tubo).

El cirujano localiza la hernia e inserta una engrapadora a través de una segunda cánula. El dispositivo tiene unos fórceps para agarrar e inmovilizar el orificio de la hernia y un mecanismo de engrapar para cerrar el orificio. Después del cierre completo con tantas grapas como sea necesario, los instrumentos son retirados y las aberturas abdominales se cierran con una o dos suturas.

Este procedimiento es ambulatorio, en contraste con la cirugía tradicional que requiere una hora de tiempo operativo, uno o dos días de estancia con el paciente hospitalizado, y seis semanas para una completa recuperación.

Figura7: Entrada de dos troncales por brazo laparoscòpico



Fuente: <http://drmartindelgado.blogspot.com/2005/02/colocacin-de-2-trocares-10-de-5-mm-en.html>

2.6 BRAZO ROBÓTICO

Un brazo robótico está diseñado mecánicamente para alcanzar lugares específicos localizados dentro de un área de trabajo determinada y esta es representada por una esfera de influencia establecida por los grados de libertad necesarios para adquirir movimiento y realizar combinaciones que permita posicionar el efector final en el lugar requerido.

2.6.1 Componentes de un brazo robótico

Mecánicamente, un brazo robótico está formado por una serie de elementos estructurales sólidos que cumplen funciones similares a la de un brazo humano. Los elementos que hacen parte del diseño del brazo son los eslabones los cuales poseen un comportamiento equivalente al de un hueso, accionadores que permiten un movimiento relativo entre cada dos eslabones consecutivos y que ejercen un movimiento parecido al de un músculo cuando se contrae; Transmisiones que trabajan con un comportamiento semejante al de un tendón por que permite la comunicación de movimiento entre eslabones y accionadores y los cables de señal que trabajan como el sistema nervioso del robot. Los puntos de unión entre eslabones se denomina nodo y el elemento que permite dicha unión y movimiento entre ellos recibe el nombre de articulación.

“Existe otro subsistema mecánico, ubicado en el extremo del robot, en el que se localizan los elementos terminales (pinzas, ventosas, herramientas .etc.)Cuya

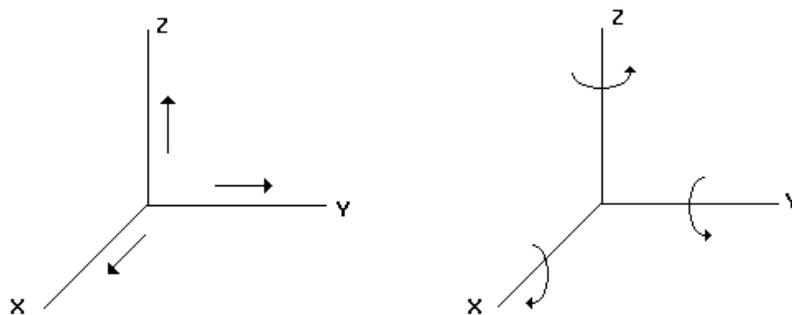
funcionalidad es adaptarse de forma específica a la aplicación concreta que realiza el robot.¹¹ .

Los sentidos del robot son suministrados a través de subsistema sensorial, que se pueden clasificar en sensores internos o externos. Con ellos se recoge la información necesaria tanto para posicionar y orientar el robot en un espacio de trabajo como para reconocer y poder actuar en consecuencia. Esta información es procesada y analizada por un subsistema de control, que Actúa “de cerebro” en el robot, generando las ordenes adecuadas de movimiento.

2.6.2 Componentes mecánicos y estructurales

Un cuerpo rígido puede experimentar movimiento por medio de una combinación de movimientos de rotación y traslación que pueden ser considerados como movimientos compuestos a través de dos o más ejes coordenados, así mismo una rotación se puede considerar como aquella cuya componente refleja rotaciones producidas entorno al eje coordenado a manipular.

Figura 8: Traslación y rotación sobre un plano

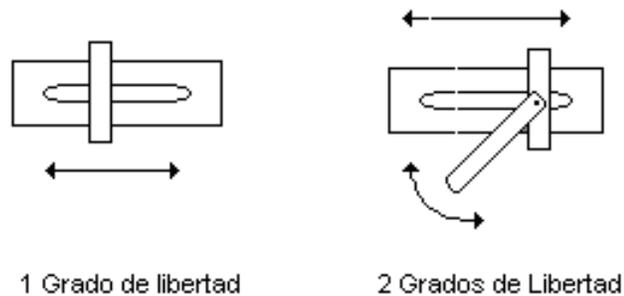


Fuente: Robot y sistemas sensoriales, Prentice hall; 2002. Pg 26

Un cuerpo libre puede moverse en tres direcciones independientes y perpendiculares entre si con la posibilidad de rotar en esas mismas direcciones, entonces si cada plano cartesiano posee dos grados de libertad. Para las coordenadas x, y, z el movimiento esta limitado a 6 grados de libertad generados por cada uno de los planos.

¹¹ F. Torres, J. Pomares, P. Gil, S.T. Puente y R. Aracil ,Robots y Sistemas Sensoriales.. Prentice Hall, 2002,Pg 25

Figura 9: Articulación de 1 y 2 grados de libertad



Fuente . Robot y sistemas sensoriales, Prentice hall; 2002. pg 27

2.6.2.1 Materiales

Desde un principio los robots han sido considerados como mecanismos de tipo rígido, pero con el pasar del tiempo las diversas aplicaciones y situaciones en donde se desenvuelve un robot revelan la necesidad de pensar en un mecanismo más flexible, donde se trabaje con estructuras más livianas como en el campo aéreo-espacial. Entre sus principales ventajas se encuentran su relación carga-peso, bajo consumo de energía y alta velocidad de operación para cumplir con estos parámetros, los materiales que conforman los elementos deben ser materiales resistentes para una gran longevidad debido a los eventuales desgastes producidos por fricción, cargas y largos ciclos de trabajo. Por criterio de diseño, un eslabón debe ser lo más ligero posible, debido a que este afecta todo el sistema como carga para otros elementos.

En cuanto a clase materiales la diversidad va en estrecha relación a la aplicación y el área de trabajo abarcando desde la madera hasta complejas aleaciones metálicas, pasando por plásticos, gomas, cauchos, fibras sintéticas, etc. A nivel comercial predomina el aluminio por sus favorables características mecánicas en cuanto a resistencia a la curvatura, peso y resistencia a la corrosión.

2.6.2.2 Tipos de articulaciones y configuraciones cinemáticas

Desde un enfoque mecánico el robot es una cadena cinemática, compuesta de eslabones y articulaciones, en el cual el movimiento de los eslabones se realiza a través de las articulaciones que los unen. Se puede lograr con una misma cadena cinemática (secuencia de eslabones y articulaciones), diferentes configuraciones de robots como:

Robot cartesiano: compuesto por tres articulaciones de tipo prismático ósea tres ejes cartesianos ortonormales, generalmente poseen 2 grados de libertad y suelen ser adecuados en aplicaciones en las que se requieren movimientos de tipo lineal y grandes longitudes.

Robot cilíndrico: Presenta un comportamiento similar al cartesiano, pero se diferencia en la articulación de la base pues esta presenta movimiento rotacional con el eje paralelo de la segunda articulación.

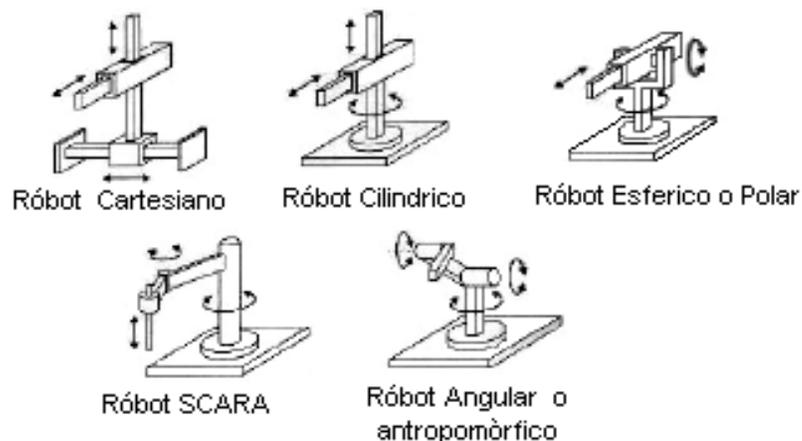
Robot esférico o polar: configuración de dos articulaciones rotacionales perpendiculares entre si y una articulación de tipo ortogonal perpendicular a las dos primeras

Robot escara: Prototipo integrado por tres articulaciones rotacionales paralelas entre si, presentan alta precisión y mucha rapidez y generalmente son empleados en ensamble de maquinaria.

Robot angular o antropomórfico: autómata compuesto por tres articulaciones rotacionales dos perpendiculares entre si y la otra con el eje paralelo al de la articulación intermedia; realizan generalmente trayectorias mas largas que los anteriores y presenta acceso a zonas con obstáculos.

Robot paralelo: Autómata con una configuración determinada de seis grados de libertad que ofrece posición y orientación del efector final. Se controla por los desplazamientos de sus seis articulaciones prismáticas todas conectadas ala base del robot.

Figura 10: Configuraciones de robot



Fuente: www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/robotica/Cap_1_2007.pdf

2.6.2.3 Accionadores

Son los encargados de generar el movimiento de los elementos del robot según las órdenes dadas por la unidad de control. Es decir el accionador es el dispositivo encargado de transformar las señales de control de velocidad y posición en un movimiento para cada una de las articulaciones del autómeta.

Pueden clasificarse según el tipo de energía requerida para producir movimiento (eléctrica, neumática o hidráulica) .Pero en realidad el uso definitivo de un accionador depende de las condiciones de trabajo deseadas.

2.6.2.4 Transmisiones

Son los elementos encargados de transmitir el movimiento desde los actuadores hasta las articulaciones realizando además conversión de movimientos (circular-lineal, rotación en dos planos. etc.).

Las transmisiones Incluyen a los reductores que son los encargados de adaptar el par y la velocidad de la salida del actuador a los valores reales y adecuados para originar el movimiento del robot

Las transmisiones mas empleadas en el área de robótica son las cadenas, cables, correas y enlaces rígidos. Y los reductores actualmente utilizados son los trenes de engranajes, reductor armónico y el ciclo reductor.

2.6.2.5 Frenos

Dispositivos empleados para la reducción de la velocidad de un elemento en movimiento o el bloqueo determinado de un elemento al que se encuentra conectado.

Generalmente se usa para mantener en una posición fija una determinada articulación sometida a una carga de esta manera también se puede reducir la velocidad de su respectiva articulación.

2.7 FUNDAMENTOS MATEMATICOS Y FISICOS EN ROBOTICA

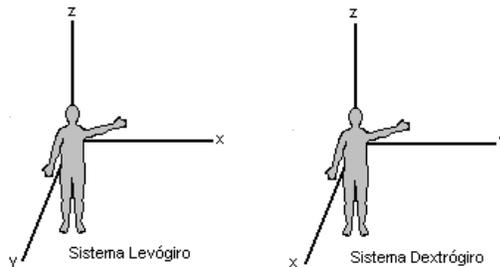
2.7.1 Descripción de posición y orientación:

Para que un robot pueda realizar cualquier tipo de procedimiento, es necesario o indispensable orientar el brazo robótico en un sistema de posición por coordenadas que le permita localizar un objeto en un lugar o en dicho espacio.

2.7.2 Sistemas de referencia:

Es indispensable un sistema de referencia debido a que un cuerpo rígido mantiene la relación entre éste y el objeto. Los sistemas de referencia se definen y se representan mediante ejes ortogonales que definen a su vez la intersección entre tres planos ortogonales. Generalmente es utilizado el sistema dextrógiro porque permite visualizar el sistema de coordenadas cuando se realizan translaciones y rotaciones.

Figura 11: Sistemas de referencia de coordenadas

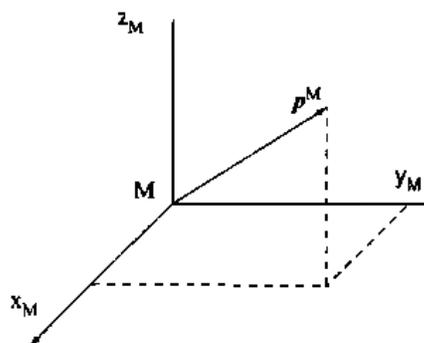


Fuente: Autores

2.7.3 Descripción de posición

“Generalmente un robot ha de ser referenciado en el espacio tridimensional. En este caso, una posición se establece de una forma unívoca mediante un vector posición p^M con tres componentes con respecto a un sistema de referencia M”¹².

Figura 12: Descripción de la posición

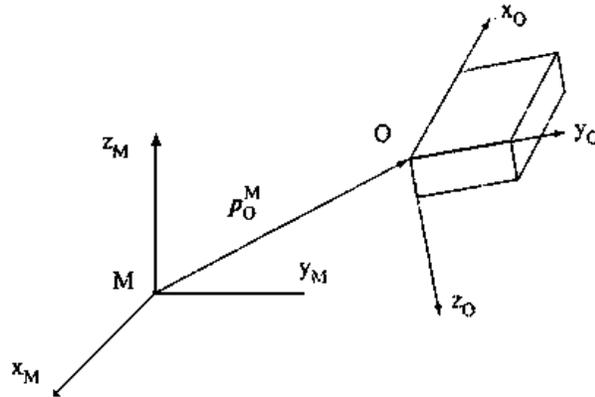


Fuente : Robot y sistemas sensoriales, Prentice hall; 2002. pg 72

¹² F. Torres, J. Pomares, P. Gil, S.T. Puente y R. Aracil, Robots y Sistemas Sensoriales.. Prentice Hall, 2002, Pg 71

Al tener un cuerpo rígido de interés un sistema de referencia O, el vector p_O^M representa la posición del origen de dicho sistema de referencia O asociado a el sistema M.

Figura13: Posición de un sistema, O respecto a M

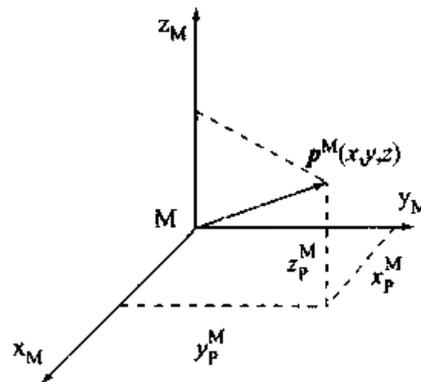


Fuente: Robot y sistemas sensoriales, Prentice hall; 2002. pg 72

2.7.3.1 Coordenadas cartesianas

Para las coordenadas cartesianas, las componentes del vector P^M son las proyecciones sobre los ejes del sistema de referencia M, donde una posición realizada en un espacio tridimensional se representa $P^M(x, y, z)$.

Figura 14: Coordenadas cartesianas

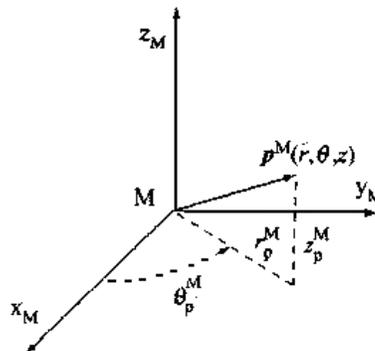


Fuente: Robot y sistemas sensoriales, Prentice hall; 2002. pg 73

2.7.3.2 Coordenadas cilíndricas

También conocidas como coordenadas polares donde las componentes del vector P^M corresponden al modulo de proyección del vector P^M sobre el plano x, y . El ángulo formado por dicha proyección corresponde a la proyección de P^M sobre el plano z , entonces una posición en un espacio tridimensional se representa como $P^M(r, \theta, z)$.

Figura 15: Coordenadas cilíndricas

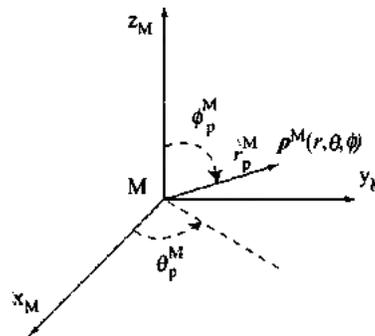


Fuente: Robot y sistemas sensoriales, Prentice hall; 2002. pg74

2.7.3.3 Coordenadas esféricas

Reciben el nombre de esféricas porque el extremo del vector PM describe esferas de radios r , donde las segundas componentes del vector PM son las mismas coordenadas cilíndricas con una tercera componentes que en este caso corresponde con el ángulo que forma el vector PM con el eje Z del sistema de referencia M . Entonces para representar una posición en un espacio tridimensional el espacio esta dado por $PM(r, \theta, \Phi)$.

Figura 16: Coordenadas esféricas



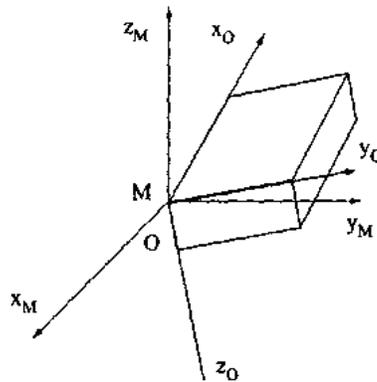
Fuente : Robot y sistemas sensoriales, Prentice hall; 2002. pg 75

2.7.3.4 Descripción de la orientación

Para localizar completamente un cuerpo en el espacio es necesario conocer, además de su posición, su orientación con respecto a un sistema de referencia. Es decir, que para describir una posición en un espacio n-dimensional es necesario emplear n coordenada. Así mismo, para describir una orientación en un espacio n-dimensional serán necesarios al menos n parámetros.

“Mientras que la posición de un cuerpo rígido respecto a un sistema de referencia M viene dada por la posición del origen del sistema de referencia O asociado a él, la orientación del cuerpo con respecto al sistema de referencia M vendrá dada por la orientación relativa de los ejes del sistema de referencia O asociado a él con respecto al sistema M”¹³.

Figura 17: Sistemas de referencia coincidentes en el origen



Fuente: Robot y sistemas sensoriales, Prentice hall; 2002. pg 75

2.7.4 Matrices de rotación

Para representar un punto en el espacio podemos hacer uso de las matrices de rotación, para este caso una matriz 3 x 3 que será la encargada de realizar la transformación que opera sobre la vector posición en un espacio tridimensional. Transformando sus coordenadas en un nuevo sistema de coordenadas de referencia. El cual permitirá representar la proyección de los vectores unitarios X_O, Y_O, Z_O sobre los ejes del sistema M expresando entonces como producto escalar entre vectores unitarios el nuevo sistema M dado por X_M, y_M, Z_M donde la orientación de un sistema con respecto a otro queda determinada por.

¹³ F. Torres, J. Pomares, P. Gil, S.T. Puente y R. Aracil ,Robots y Sistemas Sensoriales.. Prentice Hall, 2002,Pg 75

$${}^M Rot_o = [x_o^M \ y_o^M \ z_o^M] = \begin{bmatrix} X_{x_o^M} & X_{y_o^M} & X_{z_o^M} \\ Y_{x_o^M} & Y_{y_o^M} & Y_{z_o^M} \\ Z_{x_o^M} & Z_{y_o^M} & Z_{z_o^M} \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación (1)}$$

“Los 9 elementos representados en la matriz de rotación (ecuación 1) son las proyecciones de los vectores unitarios X_o, Y_o, Z_o sobre los ejes del sistema Pudiéndose expresar como el producto escalar entre ellos y los vectores unitarios X_M, Y_M y Z_M del sistema (Ecuación 2)”¹⁴.

$${}^M Rot_o = [x_o^M \ y_o^M \ z_o^M] = \begin{bmatrix} X_{o^*} X_M & y_{o^*} X_M & Z_{o^*} X_M \\ X_{o^*} Y_M & y_{o^*} Y_M & Z_{o^*} Y_M \\ X_{o^*} Z_M & y_{o^*} Z_M & Z_{o^*} Z_M \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación (2)}$$

La matriz de la ecuación 2 demuestra la orientación del sistema O respecto al sistema M.

2.7.4.1 Matrices y coordenadas homogéneas

En robótica es necesario disponer de un mecanismo que permita localizar un objeto en el espacio tridimensional, es decir, en posición y orientación conjuntamente.

Este tipo de coordenadas, son empleadas habitualmente en robótica para poder determinar en una sola matriz la posición y orientación de un objeto respecto a un sistema de referencia.

La matriz de transformación homogénea es de dimensiones 4x4 y está compuesta a su vez por cuatro submatrices que transforma un vector de posición en coordenadas homogéneas desde un sistema de coordenadas hasta otro sistema de coordenadas.

$$T = \left| \begin{array}{c|c|c|c} R \ 3 \times 3 & p \ 3 \times 1 & \text{Matriz de rotación} & \text{Vector de posición (traslación)} \\ \hline f \ 1 \times 3 & 1 \times 1 & \text{Transformación de perspectiva} & \text{Escalado} \end{array} \right| \quad \text{Ecuación (3)}$$

¹⁴ F. Torres, J. Pomares, P. Gil, S.T. Puente y R. Aracil, Robots y Sistemas Sensoriales.. Prentice Hall, 2002, Pg 76

La submatriz 3 x 3 superior izquierda representa la matriz de rotación. Y la submatriz superior derecha representa el vector posición del origen del sistema de coordenadas rotado con respecto al eje de referencia.

2.7.4.2 Matriz homogénea de transformación inversa

La matriz de transformación permite localizar un sistema O respecto a otro M. En ocasiones es necesario conocer la relación inversa del sistema y conocer la localización de M con respecto a O.

Si se realiza la inversa de la matriz de transformación homogénea se obtiene para la submatriz de rotación la traspuesta de ella misma, entonces la submatriz de rotación esta dada por el producto de la submatriz de rotación traspuesta por el vector de traslación cambiando el signo.

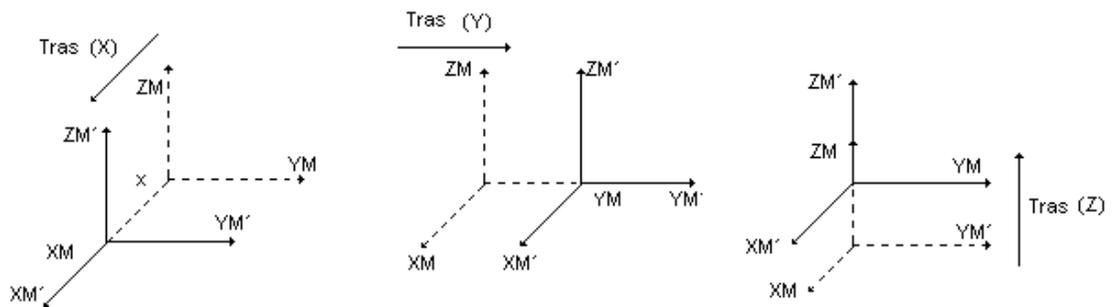
$$T^{-1} = \begin{vmatrix} \text{rotacion}^T & -\text{rotacion}^T * \text{traslacion}^T \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \quad \text{Ecuación (4)}$$

2.7.5 Transformaciones Básicas: Traslación Y Rotación

2.7.5.1 Traslación

Se puede considerar tres traslaciones básicas sobre cada uno de los ejes principales de un sistema de referencia. a partir de las que es posible construir una traslación compuesta que estará representada por el vector $p(x, y, z)$ cuyas componentes son los valores asociados a cada una de las traslaciones básicas.

Figura 18: Traslaciones básicas



Fuente: Robot y sistemas sensoriales, Prentice hall; 2002. pg

Como solo se toma el caso en el cual se realiza una transformación; la submatriz de la matriz de transformación homogénea será la identidad, y la de traslación son las magnitudes de las rotaciones efectuadas sobre cada uno de los ejes principales.

$$\text{Tras}(p) = \text{Tras}(x, y, z) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación (5)}$$

2.7.5.2 Rotación

Se pueden obtener tres rotaciones básicas considerando tres giros con respecto a cada uno de los ejes principales de un sistema de referencia de esta forma la nueva o última localización depende del orden en el cual se realizan las rotaciones básicas, al realizar cualquier rotación la matriz de rotación homogénea tiene como vector de traslación cero por que solo se analizara en ese la rotación.

Cuando se aplica la ecuación 2 y efectuando los productos escalares se obtiene la submatriz de rotación para cada uno de los ejes :

Rotación sobre el eje X: Se gira un Angulo α con respecto al eje x

$$\text{Rot}(x, \alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & \cos(90+\alpha) & 0 \\ 0 & \cos(90-\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Rotación sobre el eje Y : Es la rotación de un ángulo β con respecto al eje y

$$\text{Rot}(y, \beta) = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & 0 & \cos(90-\beta) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \cos(90+\beta) & 0 & \cos(\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación (7)}$$

Rotación sobre el eje Z: Es la rotación de un ángulo γ con respecto al eje z

$$\text{Rot}(z, \gamma) = \begin{bmatrix} \cos(\gamma) & \cos(90 + \gamma) & 0 & 0 \\ \cos(90 - \gamma) & \cos(\gamma) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación (8)}$$

2.7.5.3 Composición de transformaciones

Una transformación compleja se realiza por medio de una descomposición básica de traslación en el caso de mover un objeto con respecto a un sistema de referencia, o rotación, o si lo que se produce es un giro del objeto con respecto al sistema de referencia.

“La composición de transformaciones al estar representadas por matrices, supone que el orden en que se aplica una de las transformaciones básicas que la componen es relevante, puesto que el resultado o producto de las matrices no es conmutativo”¹⁵.

Es necesario siempre identificar el sistema en el que se realiza cada transformación esto permite establecer el orden de las operaciones a realizar. Entonces cuando se realiza la transformación de una posición o giro se crean 2 eventos de referencia uno con respecto al sistema resultante de la transformación que recibe el nombre de móvil, y la otra con respecto al que fue referencia para la última transformación que recibe el nombre de fijo.

Como es obvio la primera vez en la que se realice una transformación no existirá móvil para este caso se adaptaron las siguientes reglas:

1. Si la transformación se realiza respecto al sistema fijo se premultiplica sobre las transformaciones ya efectuadas.
2. Si la transformación se realiza sobre el sistema móvil, es decir, con respecto a la última localización del sistema transformado, la nueva transformación se multiplica después respecto a las aplicadas previamente.

¹⁵ F. Torres, J. Pomares, P. Gil, S.T. Puente y R. Aracil, Robots y Sistemas Sensoriales.. Prentice Hall, 2002, Pg 86

2.7.6 Rotaciones compuestas

En robótica se debe representar la orientación de un sistema respecto a otro con respecto a cualquier eje de rotación, sin que este tenga que coincidir con un eje principal de referencia. Entonces una matriz compuesta es la representación de la multiplicación entre la matriz de rotación básica con respecto a las coordenadas del eje principal.

Existen 24 combinaciones 12 de ellas se obtienen mediante la combinación de tres rotaciones realizadas sobre los ejes principales del sistema fijo, las otras 12 se definen mediante la combinación de tres giros sobre los ejes principales del sistema móvil y son conocidas como ángulos de Euler.

2.7.6.1 Matriz De Rotación (con representación de ángulos de Euler)

Los ángulos de Euler se utilizan para describir la orientación de un cuerpo rígido con respecto a un sistema de referencia fijo. En la siguiente tabla se observan los diferentes tipos de representaciones de los ángulos de Euler.

Tabla 1: Representación de los ángulos de Euler

SECUENCIA DE ROTACION	Sistema I ángulos Euler	Sistema II ángulos de Euler	Sistema III Elevación, Desviación y giro
	γ respecto al eje MZm	γ respecto al eje MZm	δ respecto al eje MXm
	θ respecto al eje MZm	θ respecto al eje OYo	θ respecto al eje MYm
	δ respecto al eje MZm	δ respecto al eje OZo	γ respecto al eje MZm

Fuente: Autores

2.7.6.2 Matrices de rotación respecto a un eje arbitrario

Para hallar la matriz de rotación alrededor de un eje r se hacen algunas rotaciones respecto a los ejes principales del sistema $MXmYmZm$ para alinear el eje r con el eje MZm luego se realiza la rotación con respecto a r con un ángulo n y se gira para que eje principal del sistema $MXmYmZm$ para volver al eje r a su posición original.

2.8 CINEMATICA

La cinemática de un brazo robótico es el estudio encargado de la descripción del movimiento de un manipulador robótico con respecto a un sistema de coordenadas de referencia fijo, sin considerar las fuerzas o momentos que originan el movimiento e Interesándose por la descripción analítica del desplazamiento espacial del robot y los movimientos producidos por las articulaciones y el efector final.

Existen dos problemas en la cinemática del robot

1. problema cinemática del robot: Estudia la orientación y posición del efector final con respecto a un sistema de coordenadas de referencia dado el vector de ángulos de las articulaciones $q = (q_1(t) + q_2(t) + q_3(t), \dots, q_n(t))^T$ y los parámetros geométricos del brazo.
2. Problema de cinemática inversa: Estudia las posibilidades necesarias para que el brazo pueda realizar o alcanzar las posiciones ordenadas; como también es la encargada de inquirir la configuración necesaria para el efector final y los parámetros geométricos de los elementos de un sistema de coordenadas de referencia.

2.8.1 Espacio articular y espacio cartesiano

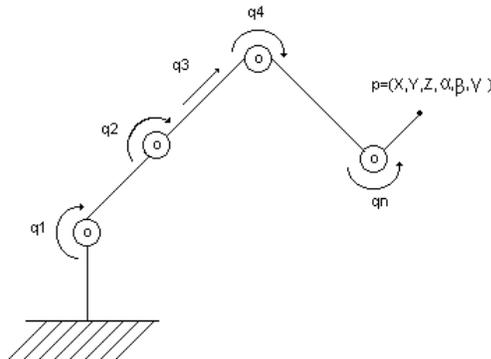
Para un robot como el de la figura 17, en el que las articulaciones han sido numeradas desde 1 hasta n, el valor del parámetro de la articulación i, notado como q_i , es llamado variable articular. Al conjunto de variables:

$$q = (q_1, q_2, q_3, \dots, q_n) \quad \text{Ecuación (9)}$$

Cuando el extremo del robot puede tomar una posición y orientación cualquiera en el espacio cartesiano tridimensional euclídeo, el vector de coordenadas para el extremo del robot tendrá seis parámetros, tres de posición y tres de orientación :

$$p = (x, y, z, \alpha, \beta, \gamma) \quad \text{Ecuación (10)}$$

Figura 19: Numeración de articulaciones



Fuente: Robot y sistemas sensoriales, Prentice hall; 2002. pg 103

La relación que liga los parámetros en el espacio articular y el cartesiano generalmente es de tipo no lineal, y para la cinemática directa vendrá dada por la expresión:

$$p = F(q) \text{ Ecuación (11)}$$

La cual presenta una solución única a este problema y para la cinemática inversa vendrá dada por la expresión.

$$q = F^{-1}(p) \text{ Ecuación (12)}$$

Desde un punto de vista analítico no esta garantizada esta solución , y si esta existe puede no ser única.

2.8.2 Problema cinemático directo

Como los elementos de un brazo giran o se desplazan con respecto a los ejes de referencia es necesario establecer un sistema de coordenadas ligado al cuerpo a lo largo del eje de la articulación para cada uno de los elementos.

El problema radica en entra una matriz de transformación que relacione el sistema ligado al sistema de coordenadas de referencia.

Para dar solución al problema de cinemática; se asocia un sistema de referencia a cada uno de los eslabones incluidos a la base y al extremo del robot. Si se tiene en cuenta que siempre existirá una transformación homogénea compuesta por rotaciones y traslaciones básicas que permiten pasar del sistema de referencia asociado al del eslabón i al del i+1 ,y que dicha transformación quedara en función de los parámetros de la articulación i:

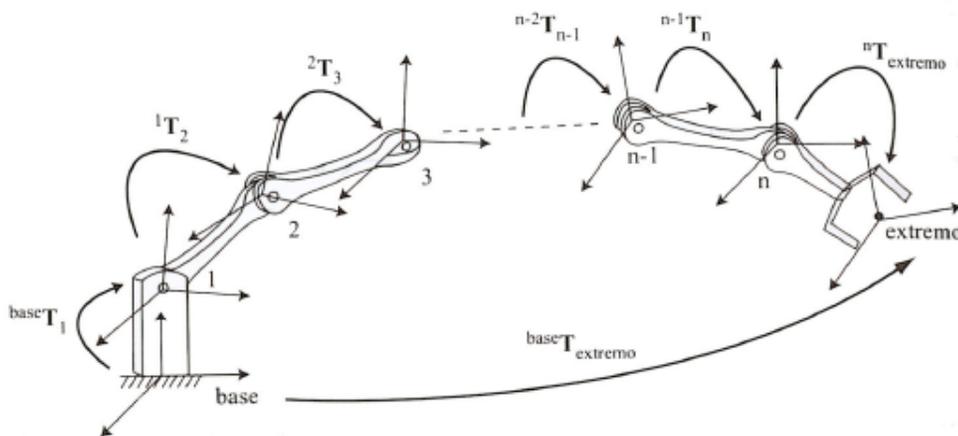
$${}^i T_{i+1} = F(q_i) \text{ Ecuación (13)}$$

“El problema se reduce a iterar el proceso de búsqueda de las $n+1$ transformaciones necesarias para pasar desde el sistema asociado a la base del robot hasta del extremo, pasando por los sistemas asociados a todos ya cada uno de los eslabones generando una transformación homogénea que expresara la posición y orientación del extremo del robot con respecto al sistema de la base en función de los parámetros de las articulaciones”¹⁶.

$${}^{base}T_{extremo} = {}^{base}T_1 \cdot {}^1T_2 \cdot {}^2T_3 \dots {}^{n-1}T_n \cdot {}^nT_{extremo} = F(q_1, q_2, q_3, \dots, q_n) \text{ Ecuación(14)}$$

En la figura “se esquematiza el proceso para un robot genérico de n grados de libertad.

Figura 20: Transformaciones desde los distintos sistemas del robot.



Fuente: Robot y sistemas sensoriales, Prentice hall; 2002. pg 106

Existe un método sistemático para resolver el problema cinemático directo a través de una transformación homogénea. El algoritmo se puede dividir en tres fases:

- Definición de los parámetros de Denavit Hartenberg
- Asignación de sistemas de referencia
- Transformación homogénea

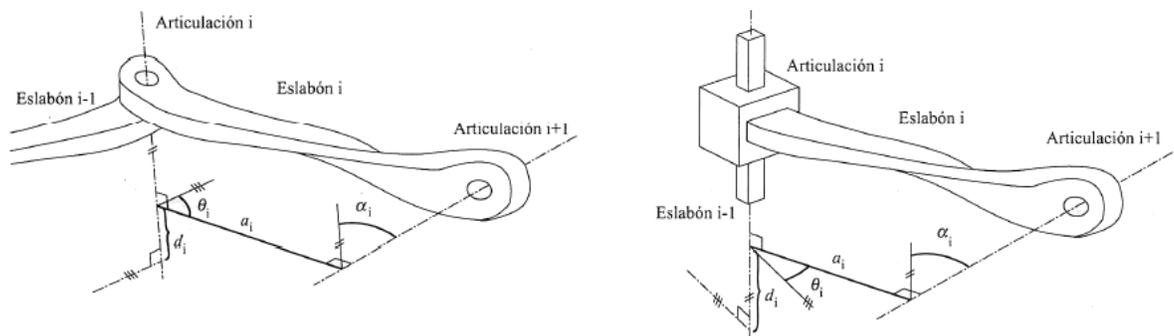
¹⁶ F. Torres, J. Pomares, P. Gil, S.T. Puente y R. Aracil, Robots y Sistemas Sensoriales. Prentice Hall, 2002,pg 105

2.8.2.1 Parámetros de Denavit Hartenberg

Los robots están compuestos de articulaciones “prismáticas o rotacionales”¹⁷, las cuales están conectadas entre si por medio de eslabones que no son mas que objetos rígidos; De esto se establecen cuatro parámetros dos relativos al tamaño y forma del eslabón y otros dos relacionados con la posición relativa entre dos “eslabones consecutivos”¹⁸.

Cuando se hallan los parámetros anteriores es necesario tener en cuenta que el eje de una articulación se define según el eje con respecto al que produce el movimiento de la articulación; en una articulación rotacional se define respecto al giro y en una articulación prismática se define con respecto a la dirección del desplazamiento.

Figura 21: Parámetros de Denavit Hartenberg



Fuente: Robot y sistemas sensoriales, Prentice hall; 2002. pg108

Los parámetros relativos al tamaño y forma del eslabón según la figura ·

- a_i distancia entre los ejes *i* e *i+1* de las articulaciones a lo largo de la normal común; este es uno de los parámetros que puede definir el tamaño del eslabón por lo cual es conocido como longitud del eslabón.
- α_i este es el ángulo existente entre los ejes *i* e *i+1* de las articulaciones si llegaran a cortarse en un punto de la línea normal común. este parámetro es utilizado para medir la forma del eslabón a través del ángulo que gira sobre el mismo. Denominado como ángulo de torsión del eslabón.

Teniendo en cuenta los parámetros que relacionan la posición relativa de un eslabón con respecto a su antecesor.

¹⁷ Prismáticas: Traslación de un eslabón con respecto a otro.

Rotacionales: Permiten un giro entorno a un eje con respecto a otro.

¹⁸ parámetro relativo a la articulación que los enlaza.

- d_i distancia entre las intersecciones comunes al eje de la articulación i , medida a lo largo del mismo eje. Esta medida en cierto modo expresa la distancia entre los deseslabones, especificando el tamaño y la forma de la articulación, por lo que es llamada longitud articular.
- θ_i es el ángulo existente entre las líneas normales comunes al eje de la articulación i si llegaran a cortarse en el mismo punto de la articulación. este ángulo es denominado ángulo articular.

Los parámetros relativos a la forma y tamaño del eslabón debido a que son rígidos despreciaran todo tipo de deformaciones que se puedan producir en el material, cuando se determinan bien los parámetros no sufren ninguna variación, pero si varían cuando se enlazan por una articulación.

Para una articulación de tipo rotacional se produce una variación del ángulo θ_i denominado ángulo relativo que se forma al enlazar los eslabones, este parámetro resulta variable y se relaciona con la variable articular q_i sin embargo d_i no permite la variación de la distancia relativa pues permanece fijo para este tipo de articulación.

Si la articulación es de tipo prismático el parámetro variable es d_i que se asocia con la variable articular q_i permaneciendo fijo el θ_i .

2.8.2.2 Asignación de sistemas de referencia

Es posible resolver el problema cinemático directo encontrando una transformación homogénea en función de los parámetros de las articulaciones, que son expresados a su vez en función de la posición y orientación del extremo del robot con respecto a un sistema de referencia situado en la base de este.

El método de solución esta dado por la definición de los sistemas de referencia asociados a cada uno de los eslabones para que sea posible realizar la transformación entre dos consecutivos solo mediante dos giros y dos traslaciones, las correspondientes a los parámetros de Denavit-Hartenberg.

Uno de los análisis realizados es la de Paul, la que localiza el sistema de referencia del eslabón en el eje de la articulación que es enlazado el siguiente eslabón, debido a que en este caso los parámetros de Denavit-Hartenberg empleados son los definidos para este mismo eslabón.

Después de numerar los eslabones de la misma forma que se hizo para determinar los parámetros de Denavit-Hartenberg El sistema de referencia asociado al eslabón i estará situado en un punto que es considerado por así decirlo como fin del eslabón, a lo largo del eje de la articulación $i+1$ que lo une con el eslabón posterior $i+1$. El eje z_i del sistema de referencia del eslabón i se alinea con el eje de la articulación $i+1$. El eje x_i de dicho sistema de referencia se alinea con la normal común entre las articulaciones i e $i+1$, apuntando de i a $i+1$. Dando por consecuencia que al fijar el eje x del sistema de referencia queda fijado el origen

del sistema, debido a que solo se conocía la dirección del eje z y no su origen. El eje y_i se establece para que el sistema de referencia resulte dextrógiro.

También pueden darse dos situaciones en las que la línea normal común no sea única, cuando los ejes son paralelos o cuando se cortan. Para el primer caso el origen del sistema de referencia i es indefinido; por consecuencia se toma el origen en la articulación $i+1$. Si los ejes se cortan, el origen del sistema i se localiza en el punto de corte, en cuyo caso x_i está según la dirección perpendicular al plano que forman z_i y z_{i-1} , tomando el sentido en este caso de forma arbitraria.

Siguiendo el mismo procedimiento anterior se establece el resto de los sistemas de referencia para los eslabones 1 a $n-1$, es decir, todos los eslabones salvo el correspondiente a la base del robot y al eslabón extremo.

El sistema de referencia asociado a la base del robot, el eslabón 0, es el único que permanece fijo en la cadena cinemática, por lo que es considerado generalmente como el sistema de referencia para todos los demás. Al igual que ocurre con el resto de eslabones, su eje z_0 está alineado con el eje de la articulación 1; sin embargo, al no existir la articulación 0, y por ende la normal común entre las articulaciones 0 y 1, se toma x_0 e y_0 con la única condición de que el sistema resulte dextrógiro.

El sistema de referencia asociado al último eslabón se localiza al final del mismo, lo que es el final del robot

2.8.3 Transformación homogénea

Con la definición de los sistemas de referencia se observa que para ir del sistema $i-1$ al i solo se deben aplicar 2 giros y dos traslaciones en un orden adecuado, que corresponde a los parámetros de Denavit Hartenberg para la articulación i , tomando los parámetros de posición relativa del eslabón los siguientes valores.

- θ_i es el ángulo entre x_{i-1} y x_i medido entorno a z_{i-1}
- d_i es la distancia medida a lo largo de z_{i-1} entre el origen del sistema $i-1$ y la intersección de los ejes x_i y z_{i-1}

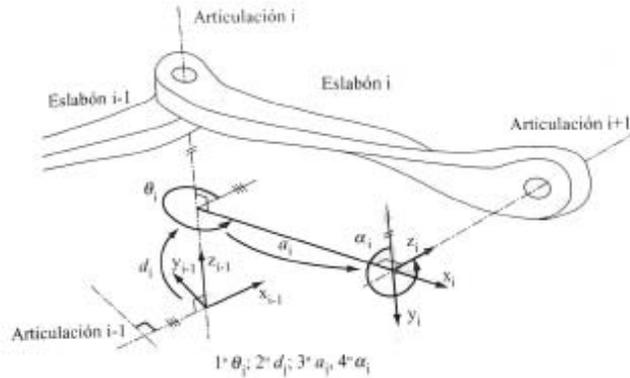
Estas dos operaciones deben ser conmutadas.

los parámetros del tamaño y forma del eslabón toman los siguientes valores

- α_i como el ángulo entre z_{i-1} y z_i medido entorno a x_i
- a_i como la distancia medida a lo largo de x_i y z_{i-1} y el origen del sistema i

Teniendo en cuenta estas transformaciones se obtiene la transformada de la matriz homogénea para pasar del sistema $i-1$ al i .

Figura 22: Transformación homogénea



Fuente: Robot y sistemas sensoriales, Prentice hall; 2002. pg113

$${}^{i-1}T_i = Rot(z_{i-1}, \theta_i) \cdot Tras(z_{i-1}, d_i) \cdot Tras(x_i, a_i) \cdot Rot(x_i, \alpha_i)$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\text{sen} \theta_i & 0 & 0 \\ \text{sen} \theta_i & \cos \theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_i & -\text{sen} \alpha_i & 0 \\ 0 & \text{sen} \alpha_i & \cos \alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= Tras(z_{i-1}, d_i) \cdot Rot(z_{i-1}, \theta_i) \cdot Rot(x_i, \alpha_i) \cdot Tras(x_i, a_i)$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\cos \alpha_i \cdot \text{sen} \theta_i & \text{sen} \alpha_i \cdot \text{sen} \theta_i & a_i \cdot \cos \theta_i \\ \text{sen} \theta_i & \cos \alpha_i \cdot \cos \theta_i & -\text{sen} \alpha_i \cdot \cos \theta_i & a_i \cdot \text{sen} \theta_i \\ 0 & \text{sen} \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ecuación (14)

Las matrices de rotación correspondientes son:

$${}^0T_{extremo} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & x_{extremo}^0 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & y_{extremo}^0 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & z_{extremo}^0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ecuación (15)

Donde

$${}^0Rot_{extremo} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación (16)}$$

$${}^oTras_{extremo} = P_{extremo}^0(x_{extremo}^0, y_{extremo}^0, z_{extremo}^0) \quad \text{Ecuación (17)}$$

$$T = T1 \cdot T2 \cdot T3 \cdot T4 \quad \text{Ecuación (18)}$$

2.8.4 Problema cinemático inverso

La solución a este problema resulta mas complejo que la cinemática directa teniendo en cuenta que la matriz de transformación homogénea total enunciada en la ecuación 15, la ecuación 17 representa la posición y la ecuación 16 representa la orientación del sistema de referencia con respecto al sistema base, cada uno de los elementos no nulos de la misma resultara en función de las n variables articulares por lo cual se tendrán 12 ecuaciones ,nueve correspondientes a los elementos de la submatriz de rotación y las otras tres a los del vector de rotación.

$$\begin{aligned} x_{extremo}^0 &= f1(q1, q2, \dots, qn) & r_{21} &= f7(q1, q2, \dots, qn) \\ y_{extremo}^0 &= f2(q1, q2, \dots, qn) & r_{22} &= f8(q1, q2, \dots, qn) \\ z_{extremo}^0 &= f3(q1, q2, \dots, qn) & r_{23} &= f9(q1, q2, \dots, qn) \\ & & r_{31} &= f10(q1, q2, \dots, qn) \\ & & r_{32} &= f11(q1, q2, \dots, qn) \\ & & r_{33} &= f12(q1, q2, \dots, qn) \\ r_{11} &= f4(q1, q2, \dots, qn) \\ r_{12} &= f5(q1, q2, \dots, qn) \\ r_{13} &= f6(q1, q2, \dots, qn) \end{aligned} \quad \text{Ecuación (19)}$$

Para expresar una rotación se necesitan tres grados de libertad por lo que solo 3 de las nueve ecuaciones son linealmente independientes, el conjutó de ecuaciones expresa.

$$\begin{aligned} x_{extremo}^0 &= fx(q1, q2, \dots, qn) \\ y_{extremo}^0 &= fy(q1, q2, \dots, qn) \\ z_{extremo}^0 &= fz(q1, q2, \dots, qn) \\ \alpha_{extremo}^0 &= f\alpha(q1, q2, \dots, qn) \\ \beta_{extremo}^0 &= f\beta(q1, q2, \dots, qn) \\ \gamma_{extremo}^0 &= f\gamma(q1, q2, \dots, qn) \end{aligned} \quad \text{Ecuación (20)}$$

Para la solución del problema pueden darse dos circunstancias la primera es que no exista solución debido a que las soluciones encontradas se encuentran fuera del espacio de trabajo de un robot o no satisfacen el movimiento de las articulaciones reales, la segunda circunstancia se presenta en la existencia de múltiples soluciones.

2.8.4.1 Métodos de solución

Para la solución del problema cinemático inverso se puede optar por dos métodos por solución numérica o solución cerrada, desechando por regla natural la primera debido a su lentitud y costo.

La solución cerrada busca una solución basada en expresiones analíticas o polinómicas que no hacen uso de cálculos iterativos.

Existen dos métodos

- Solución algebraica: que consiste en seleccionar seis ecuaciones que están dentro del conjunto dado en la ecuación 19 creando un sistema de ecuación de seis ecuaciones con seis incógnitas de fácil solución.

Después de obtener la cinemática directa se hace uso de la siguiente expresión.

$$\begin{aligned} -x_{extremo}^0 \cdot \text{sen } q2 + (\cos q2)(y_{extremo}^0 - l1) &= l3 \cdot \cos q3 + l2 \\ -x_{extremo}^0 \cdot \cos q2 - (\text{sen } q2)(y_{extremo}^0 - l1) &= l3 \cdot \text{sen } q3 \end{aligned} \quad \text{Ecuación (21)}$$

Para despejar de la ecuación anterior y dejar todo en función de q3 y q2, elevamos ambas ecuaciones al cuadrado y las sumamos.

$$q3 = \arccos\left(\frac{-x_{extremo}^0{}^2 + (y_{extremo}^0 - l1)^2 - l2^2 - l3^2}{2l2l3}\right) \quad \text{Ecuación (22)}$$

$$q2 = \left(\frac{l2 + l3 \cdot \cos q3 (y_{extremo}^0 - l1) - x_{extremo}^0 l3 \text{sen } q3}{x_{extremo}^0{}^2 + (y_{extremo}^0 - l1)^2}\right) \quad \text{Ecuación (23)}$$

- Solución geométrica: consiste en la descomposición de la cadena cinemática del robot en varios planos geométricos. Resolviendo por trigonometría cada plano

2.8.4.2 Cinemática de movimiento

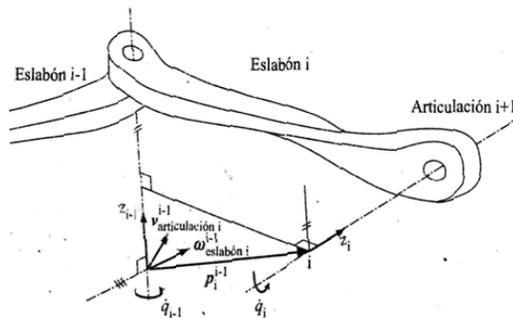
Es necesario conocer la relación que existe y que determinan la velocidad lineal y angular se mueve el extremo del robot cuando las articulaciones lo hacen a cierta velocidad.

Al estar en movimiento los efectos de la cadena cinemática del robot se propagan tanto las velocidades angulares como las lineales entre los eslabones de dicha cadena en función de la velocidad articular.

Al ser eslabones rígidos tomado LA articulación como se tiene una velocidad angular $\omega_{eslabon\ i}^{i-1}$ respecto al sistema i-1, y la velocidad de rotación de la articulación i+1 es nula, el eslabón i, el i+1 y la articulación i+1 tendrán lamisca velocidad angular $\omega_{eslabon\ i}^{i-1}$ que la articulación i tenga respecto al sistema i-1 cuando articulación i+1 es de tipo rotacional gire tendrá un movimiento de rotación relativo entre los eslabones i+1 e i de valor q_i según el eje z_i , cumpliéndose que cada eslabón i+1 girara a misma velocidad que la articulación i+1. la velocidad angular total del eslabón i+1 respecto al sistema i-1 será una combinación de la velocidad angular entre la articulación i y la velocidad de la articulación i+1 expresada respecto al sistema i-1 de la forma:

$$\omega_{eslabon\ i+1}^{i-1} = \omega_{eslabon\ i}^{i-1} + {}^{i-1}Rot_i \cdot \dot{q}_i \cdot z_i \quad \text{Ecuación (24)}$$

Figura 23: velocidades angulares y lineales



Fuente: Robot y sistemas sensoriales, Prentice hall; 2002.pg128

Cuando una articulación de tipo rotacional gira la velocidad lineal es distinta en cada punto del eslabón. Por lo cual la del sistema i de la articulación i+1 respecto ala sistema i-1 resulta una combinación de la velocidad lineal del sistema i-1 de la articulación i con la velocidad lineal que presenta el sistema i de la articulación i+1 debida ala velocidad angular por el vector de traslación entre los sistemas i-1 e i.

$$v_{artificacion\ i+1}^{i-1} = v_{artificacion\ i}^{i-1} + \omega_{artificacion\ i}^{i-1} \times \rho_i^{i-1} \quad \text{Ecuación (25)}$$

Aplicando estas ecuaciones a los demás eslabones se puede determinar la velocidad lineal y angular del extremo de un robot.

2.9 DINAMICA

La dinámica como ciencia estudia el comportamiento del movimiento de los cuerpos producidos por la acción de las fuerzas y enfocando este concepto a la robótica se describe como el estudio de la relación entre el movimiento producido en el robot y las fuerzas ejercidas por los accionadores de las articulaciones. Dependiendo el grado de libertad se realiza el análisis del sistema con base a los dos tipos de articulaciones rotacionales y prismáticas, en el caso rotacional los accionadores producen par de fuerzas entre los eslabones que conectan a las articulaciones y en las articulaciones prismáticas los accionadores producen fuerzas entre los eslabones que se conectan a la articulación.

De la misma forma que en la cinemática en dinámica son posibles dos problemas. El primero es el problema dinámico directo que calcula el movimiento del extremo desde los pares de fuerzas de los accionadores de las articulaciones y el segundo es el problema dinámico inverso que calcula los valores de las fuerzas de los accionadores de las articulaciones a partir de las posiciones, velocidades y aceleraciones requeridas para el extremo del robot.

Como todo sistema este puede ser expresado en ecuaciones que describen la relación dinámica y son expresadas según el método empleado. La primera vía es el método iterativo el cual resuelve las ecuaciones generales de la dinámica de forma numérica. La segunda alternativa son las soluciones cerradas las cuales conllevan a expresiones analíticas del problema dinámico para un mecanismo en específico es decir un robot en concreto pero teniendo como perjuicio tener que repetir varias veces los cálculos. El tercer camino es el método recursivo que en la práctica es el más adecuado para resolver en tiempo real.

La dinámica para robótica es estudiada generalmente desde dos principios para llegar a la solución del problema dinámico del robot. La formulación lagrangiana que se basa en establecer un balance de energía a través del lagrangiano y la formulación de Newton-Euler, que se fundamenta en efectuar el balance de fuerzas y pares existentes.

2.9.1 Formulación lagrangiana

Esta formulación permite describir la dinámica de cualquier robot a partir de un balance de energía, donde se tiene en cuenta la energía almacenada, que es expresada en términos de energía cinética.

Para un brazo robótico el método lagrangiano que se define como la diferencia entre las energías cinéticas y potencial en función de las coordenadas generalizadas que en un robot son las variables articulares.

$$\mathcal{L}(q, \dot{q}) = E_c(q, \dot{q}) - E_p(q) \quad \text{Ecuación (26)}$$

\mathcal{L} = El lagrangiano

E_c = Energía cinética

E_p = Energía Potencial

A partir de la ecuación anterior se definen las ecuaciones de movimiento para un robot:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q} = \tau \quad \text{Ecuación (27)}$$

τ = Vector n*1 formado por los pares de los accionadores de las articulaciones y n el numero de articulaciones del robot

Expresándola en función de energía es de la forma:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_c}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial E_c}{\partial q} + \frac{\partial E_p}{\partial q} = \tau \quad \text{Ecuación (28)}$$

2.9.2 Energía cinética

La energía cinética en un robot E_c es la sumatoria de la energía cinética de los eslabones que hacen parte del brazo:

$$E_c = \sum_{i=1}^n E_{c_i} \quad \text{Ecuación (29)}$$

Donde la energía cinética del eslabón i es la suma de dos términos, el primero es su velocidad lineal y el segundo su velocidad angular.

$$Ec_i = \frac{1}{2} m_i v_{c_i}^{c^T} v_{c_i}^c + \frac{1}{2} \omega_i^{c^T} I_i^c \omega_i^c \text{ Ecuación (30)}$$

Donde:

$m_i \equiv$ Masa del eslabón i

$v_{c_i}^c \equiv$ Velocidad lineal del centro de masas del eslabón i con relación al sistema de referencia situado en el centro de masas

$\omega_i^c \equiv$ Velocidad angular del eslabón i con relación al sistema de referencia situado en el centro de masas

$I_i^c \equiv$ Tensor de inercia del eslabón i respecto al sistema de referencia situado en el centro de masas

La velocidad lineal no es la misma en todos los puntos como la velocidad angular por esta razón se considera la velocidad del centro de las masas del eslabón v_{c_i}

2.9.3 Energía potencial

Por otro lado, la energía potencial total almacenada en el robot Ep corresponde a la suma de las energías potenciales almacenadas por cada uno de los eslabones que forman la cadena cinemática.

$$Ep = \sum_{i=1}^n Ep_i \text{ Ecuación (31)}$$

Donde la energía potencial de un eslabón i es de la forma:

$$Ep_i = -mg^T p_{C_i}^M \text{ Ecuación (32)}$$

Donde:

$m_i \equiv$ Masa del eslabón i

$g \equiv$ Vector de gravedad.

$p_{C_i}^M \equiv$ Es el vector que realiza el centro de masas del eslabón i respecto al sistema de referencia

$$Ep = Ep(q) \text{ Ecuación (33)}$$

2.9.4 Sensores

Para que un robot realice sus tareas con precisión, velocidad e inteligencia, es necesario que tenga conocimiento de su estado como de su entorno. Todo lo relacionado con su estado (posición de sus articulaciones) hacen parte de los sensores internos, y lo referente al estado de su entorno forma parte de los sensores externos.

Para el diseño del brazo robótico es necesario un mecanismo de ubicación y el sensor es el encargado de Mostar la ubicación en l cual se realizara la incisión recuerdo a la trayectoria a realizar.

2.9.4.1 Ultrasonido

2.9.4.2 Principios básicos

Los ultrasonidos son frecuencias superiores a las audibles por el odio humano es decir mayores de 20kHz. El sonido es una vibración mecánica de la materia y se propaga gracias a la elasticidad de los materiales que permiten que las partículas que están en su entorno vibren junto a un punto de reposo.

Hay dos tipos de propagación de onda importantes para nuestro diseño las longitudinales poseen la dirección de las partículas en el sentido de la vibración, estas se producen en medios líquidos y tejidos. Y las transversales son aquellas en que la vibración de las partículas son perpendiculares a la dirección de la propagación.

La distancia entre dos máximos o dos mínimos de las ondas se denomina longitud de onda λ , que es el periodo espacial de la vibración. Esta relacionada con la frecuencia f y la velocidad c de la vibración por:

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ Ecuación (34)}$$

Los pulsos ultrasónicos que se usan en ecografía se propagan longitudinalmente produciendo zonas de mayor y menor densidad de moléculas. Para mantener el medio de propagación estable es necesario establecer las características de las partículas que serán a esta propagación la masa de las partículas que componen el medio, por que a mayor masa o mayor densidad obtendremos más energía por unidad de volumen, para una misma amplitud de vibración.

En un medio uniforme la velocidad con que se propaga una onda longitudinal viene dada por:

$$c = \left(\frac{k}{p}\right)^{\frac{1}{2}} \text{ Ecuación (35)}$$

Donde k = modulo de compresibilidad
 P =densidad
 C =velocidad

La dificultad de generar una onda mecánica en un medio es su impedancia característica

$$Z = \rho \cdot c \text{ Ecuación (36)}$$

Donde la unidad de la impedancia acústica es el rayleigh

$$1 \text{ rayleigh} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$$

Tabla2 :Densidades e impedancias acústicas de distintos tejidos humanos.

MEDIO	DENSIDAD (KGM ⁻³)	IMPEDANCIA ACÚSTICA (KGM ⁻² S ⁻¹)
Aire	1,2	0,4 x 10 ³
Sangre	1,06 x 10 ³	1,66 x 10 ⁶
Hueso	1,62 x 10 ³	4-7,5 x 10 ⁶
Cerebro	1,03 x 10 ³	1,66 x 10 ⁶
Grasa	0,92 x 10 ³	1,33 x 10 ⁶
Riñón	1,04 x 10 ³	1,62 x 10 ⁶
Hígado	1,06 x 10 ³	1,66 x 10 ⁶
Músculo	1,07 x 10 ³	1,70 x 10 ⁶
Agua	1,00 x 10 ³	1,53 x 10 ⁶

Fuente: José M.Poblet, Introducción a la bioingeniería, Boixareu Editores.pg 170

El diagnóstico por ultrasonido se basa en la interacción de una onda ultrasónica propagándose y los tejidos. Los mecanismos de interacción entre materia y energía son:

Velocidad: en los tejidos biológicos humanos se toma como velocidad media la de 1540 m/s aunque haya variaciones de un tejido a otro, este número será tomado siempre para calcular distancias.

Atenuación: cuando los ultrasonidos se desplazan por el medio o cuerpo explorado se produce una pérdida de amplitud o atenuación debido a las propiedades no elásticas de la materia.

$$A(A_0 \cdot e^{-(\alpha a + \alpha s) \cdot x}) \text{ Ecuación (37)}$$

Donde αa : absorción
 αs : scattering
 X : distancia

Entre la atenuación existe un parámetro importante como la longitud de onda o penetración. Que es la encargada de explorar los niveles de profundidad para recibir ecos sin aumentar los niveles de emisión. Para esto se aplica una formula que nos permite controlar la atenuación de los tejidos.

$$A = 1 \text{ dB} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{MHz}^{-1} \text{ Ecuación (38)}$$

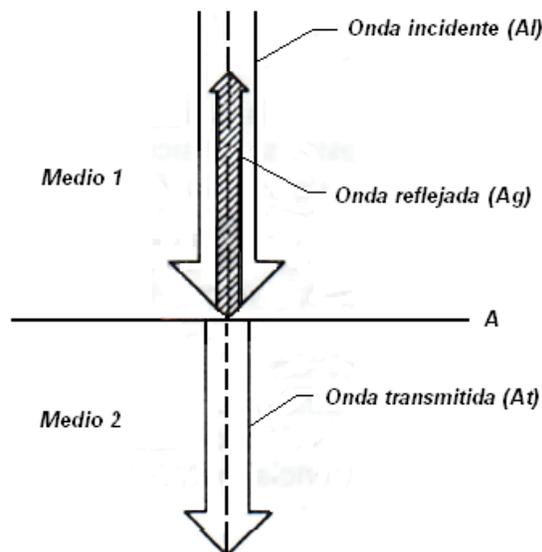
Las frecuencias usadas normalmente para un tejido abdominal es de 2.25MHz y 3Mhz

2.9.4.3 REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN

Al incurrir los ultrasonidos en una interfase entre dos materiales de distintas propiedades elásticas o densidades se produce una reflexión parcial de la onda incidente.

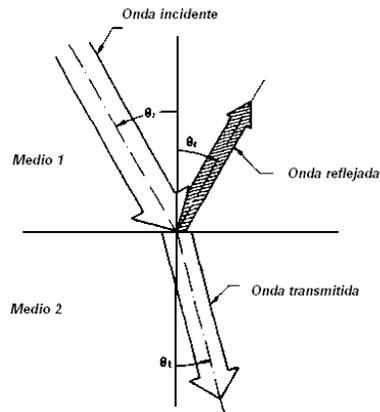
La magnitud de la onda transmitida y reflejada viene determinada por la relación entre las impedancias características de los materiales a ambos lados de la interfase.

Figura 24: Ondas incidentes transmitida y reflejada



Fuente: Introducción a la bioingeniería.pg171

Figura 25: Ondas incidentes transmitida reflejada y refractada



Fuente: Introducción a la bioingeniería. pg172

Donde:

- A_i : Amplitud serial incidente.
- A_R : Amplitud serial reflejada.
- A_T : Amplitud serial transmitida.
- Z_1 : Impedancia medio 1.
- Z_2 : Impedancia medio 2.

Las aplicaciones clínicas para el diagnóstico mediante los ultrasonidos son múltiples, ya que la mayoría de los órganos del cuerpo humano son abordables por los ultrasonidos y, por tanto, susceptibles de objetivar sus posibles alteraciones morfológicas.

La ecografía mediante ultrasonidos se basa en la transmisión de un pulso acústico al interior del cuerpo explorado y, a continuación, recibir la energía reflejada al propagarse en éste. Estos ecos son cuantificados y presentados en una pantalla, haciendo corresponder normalmente a mayor eco mayor nivel de luminosidad.

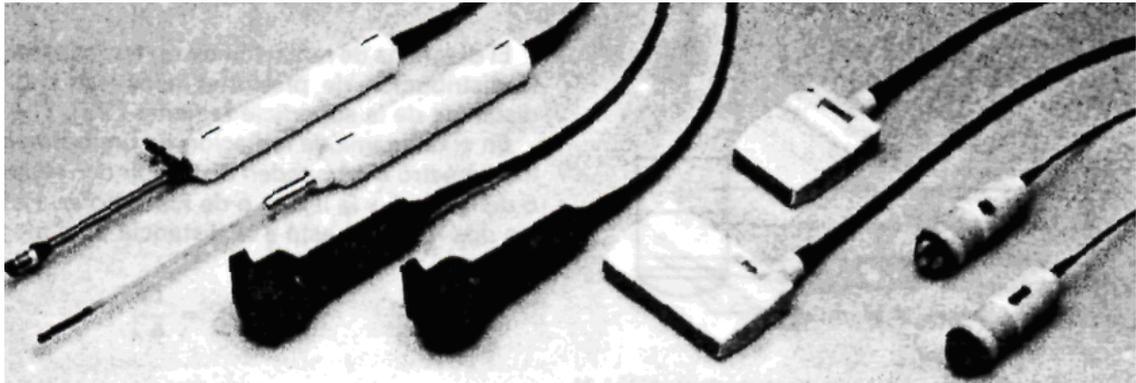
Si variamos la dirección del emisor en un plano obtenemos un corte del órgano explorado. La exploración con ultrasonidos permite distinguir entre lesiones quísticas y sólidas, por ejemplo, así como ver la morfología del órgano explorado; esto lo hace muy útil en diversos campos como la cardiología (corazón), angiología (circulación vascular), medicina interna (abdomen, tiroides, riñón, hígado, etc.)

Las frecuencias utilizadas habitualmente van de 1 a 10 MHz con intensidades de 0,002 a 0,5 W/cm².

2.9.4.3 Sensor O Transductor Ultrasonico

El transductor es el encargado de realizar la conversión de energía eléctrica en energía acústica y viceversa. Las características principales del haz del transductor determinan la calidad de la imagen exigiendo diseño preciso de los parámetros mecánicos del mismo.

Figura 26: Tipos de transductores ultrasónicos



Fuente: Introducción a la bioingeniería. pg174

3. METODOLOGIA

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN:

Se han desarrollado grandes avances tecnológicos en el campo de la cirugía general y con el diseño de este modelo se busca el mejoramiento del proceso.

Para el proyecto es indispensable:

- La creación de programas para la manipulación de los dispositivos, el estudio de los parámetros ingenieriles como del diseño mecánico, electrónico y la programación del mismo.
- Conocer los parámetros médicos con los cuales debe contar el procedimiento.

El proyecto se divide en cuatro fases:

1. fase de investigación de los parámetros médicos que nos darán las pautas para realizar el diseño ingenieril, para esto se buscara la asesoría de especialistas en el campo de la cirugía y de la instrumentación quirúrgica
2. fase de investigación de los parámetros que involucran la carrera esto se realizara por medio de la asesoría de profesores e ingenieros de la universidad y elementos de consulta. (Proyectos de investigación, tesis, libros de ingeniería, revistas e Internet).
3. fase de diseño esta es la fase más importante del proyecto ya que sobre esta recae todo el trabajo. Esta fase se subdivide en el diseño mecánico y dinámico del brazo, diseño electrónico, y el diseño de acoples de los elementos necesarios para la cirugía.
4. Planos del proyecto esto se realizara por medio de Solid Edge

La investigación es de carácter práctico, real y efectivo por que se realiza con el fin de dar solución a la problemática de la población colombiana (intervenciones manuales) descrita en los objetivos del proyecto entonces el enfoque de la recopilación de información es analítico

3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB/USB - LÍNEA/CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA

Este proyecto se desarrolla con la línea de investigación **tecnologías actuales y sociedad** para el avance de productos inteligentes. La sub-línea de investigación a la cual pertenece el proyecto es Instrumentación y control de procesos de manufactura porque se refiere al diseño de dispositivos para labor social y el diseño del brazo robótico para la realización de cirugías, permite fortalecer el campo de la salud brindando nuevos dispositivos tecnológicos que cederán una mayor cobertura de atención a pacientes que necesiten de intervenciones de este tipo.

3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Las fuentes utilizadas para el desarrollo del proyecto son libros de consulta, revistas de cirugía, páginas de Internet, datos experimentales y consultas con especialistas o cirujano (entrevistas).

Para los diagnósticos de las hernias inguinales se recurrió a :

- Medico general (tutorías)
- Estadísticas en clínicas sobre tasas de recurrencia de las hernias inguinales.
- Software “solid edge v19” utilizado para calcular los esfuerzos del brazo y sus planos.
- Software “Matlab 7” utilizado para programar y comprobar las rutinas del brazo robótico.

Para el desarrollo de la investigación se emplean como recursos las simulaciones, mediciones y evaluación de los parámetros de diseño y su correcto funcionamiento.

3.4 HIPOTESIS

Mediante el diseño del brazo robótico para cirugías, se podrá asistir de una forma rápida y segura a los pacientes que necesitan de este tipo de intervención. También disminuirá el tiempo de la intervención comparada con la cirugía tradicional y ofrecerá un sistema de control fácil de manipular para un correcto uso del dispositivo.

3.5 POBLACION Y MUESTRA

3.5.1 Población: La población de nuestro proyecto esta constituida por todos los médicos generales especializados en cirugía general, cirugía laparoscopica y cirugía abdominal por que ellos son los encargados de verificar el buen funcionamiento de del diseño final.

Los pacientes también hacen parte de la población pues son ellos los que beneficiaran de un mejor ambiente en cirugía.

3.5.2 Muestra: La muestra se realiza sobre los diferentes métodos quirúrgicos para operación de la hernia inguinal, y en base a los resultados obtenidos por cada método comprobar y analizar por medio de estadísticas medicas la evolución de un mejor procedimiento.

3.6 VARIABLES

3.6.1 Variables independientes: las complicaciones durante la cirugía, debido a la adaptación del paciente con respecto al asistente quirúrgico. También depende de el tamaño de la hernia sin tumoración.

3.6.2 Variables dependientes:

Posición especifica durante la cirugía.

Escaneo abdominal por medio del sensor ultrasónico.

Puntos de guía para el corte del electrobisturí en el área afectada.

Estas variables forman parte del asistente robótico utilizado especialmente para realizar procedimientos rápidos y seguros sin necesidad de perturbar al paciente con largas horas de operación

4. DESARROLLO INGENIERIL

El diseño de brazo robótico para la realización de cirugías “hernia inguinal”, tendrá como desarrollo y la ejecución de las siguientes fases:

La primera fase se refiere a la localización de la parte afectada, es decir. El lugar preciso en donde se debe realizar la incisión.

Para efectuar la búsqueda del tejido se utilizará el sensor ultrasónico abdominal. Que es un dispositivo que permite hallar el lugar o área de trabajo. Este dispositivo permite obtener otras características fundamentales como medida, peso, y volumen del área afectada brindando mejores servicios que el brazo laparoscópico. El ultrasonido está fijado al cabezote principal del brazo y será programado para los movimientos que debe realizar para un escaneo efectivo.

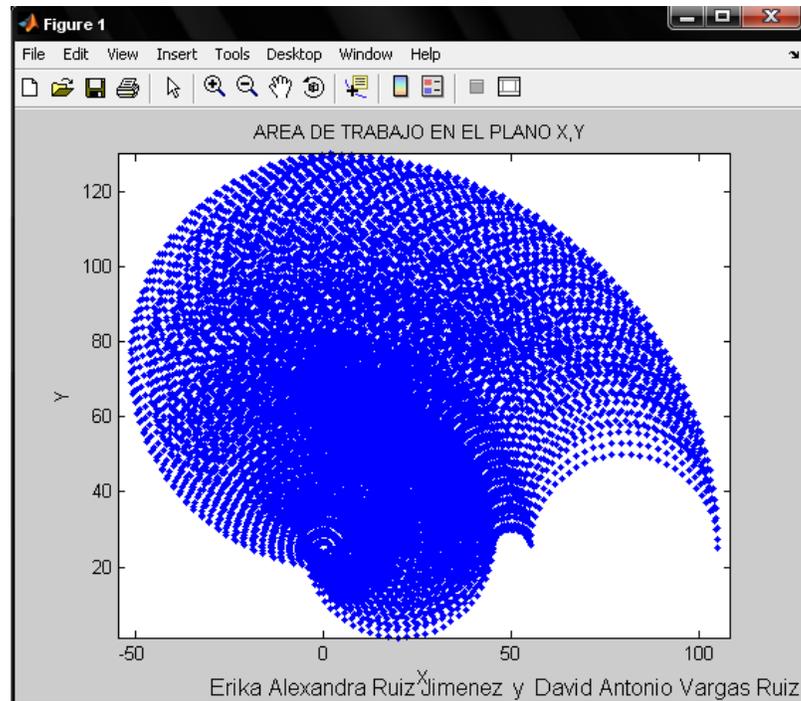
La segunda fase la realiza el electro bisturí una vez el ultrasonido envíe los datos necesarios. En ese instante el programa verificará cómo debe ser realizada la incisión, Si el especialista verifica que las coordenadas para dicha incisión son las correctas, le dará orden al asistente que continúe con el procedimiento. Cuando se aceptan las características dadas por el PC el electro bisturí inicia su incisión de una forma precisa, higiénica y segura, de esta forma se previenen infecciones producidas por material no estéril o gentes contaminantes.

La tercera fase es realizada por el cirujano que debe introducir una malla en el interior de la cavidad abdominal en donde el electro bisturí realizó la incisión. Una vez puesta o adherida el cirujano o especialista fijara la zona del corte por medio de un pegante especial (isobutil cianocrilato) que es utilizado generalmente para una cicatrización más rápida y efectiva de la herida sin necesidad de suturar, evitando así posibles infecciones.

4.1 AREA DE TRABAJO

El área de trabajo del brazo robótico es el volumen total generado, cuando el efector final y todos los eslabones del brazo ejecutan todos los movimientos posibles dentro de su entorno.

Figura 27: Área de trabajo



Fuente: Autores

En el área de trabajo del brazo robótico, se halla un conjunto de puntos (los más alejados y los más cercanos) que necesitan de una orientación determinada para poder acceder a ellos.

Para la grafica anterior se realizo el programa en matlab con sus respectivas restricciones para evitar que el área de trabajo sea incoherente con nuestro diseño. Para dicho programa se tuvieron en cuenta las siguientes características:

1. Las longitudes de los eslabones son propias del diseño de brazo robótico para la realización de cirugías.
2. Para las rotaciones en las articulaciones se crearon restricciones para cada uno de los ángulos de giro.
3. Con las longitudes propias y los ángulos se creo el programa para que mostrara el área de trabajo en el plano x, y.

4.2 SOLUCIÓN AL PROBLEMA CINEMATICO DIRECTO

Para dar solución al problema cinemático directo aplicamos los parámetros establecidos por Denavith Hartenberg de la siguiente forma:

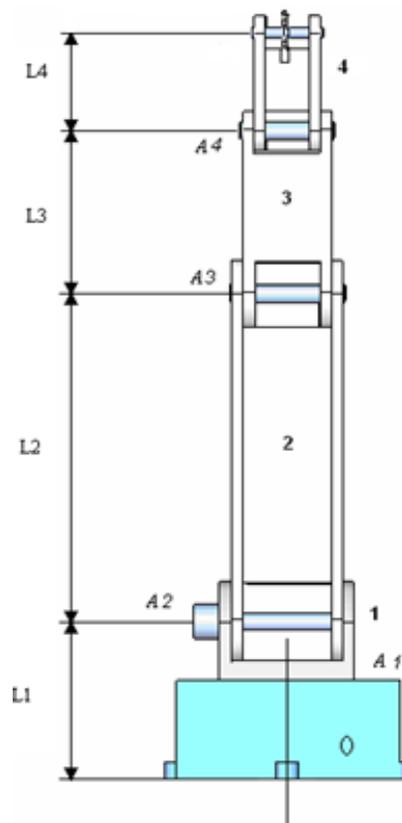
4.2.1 Algoritmo de Denavit Hartenberg

1. Enumerar los eslabones iniciando con el primer eslabón móvil y concluyendo con el último eslabón, de la misma forma enumerar como 0 la base fija del robot.
2. Enumerar cada articulación iniciando por el primer grado de libertad y Finalizando con la última articulación.
3. Localizar el eje de cada articulación. Si ésta es rotativa, el eje será su propio eje de giro. Si es prismática, será el eje a lo largo del cual se produce el desplazamiento.
4. Para i de 0 a $n-1$ situar el eje z_i sobre el eje de la articulación $i+1$.
5. Situar el origen del sistema de la base $\{S_0\}$ en cualquier punto del eje z_0 . Los ejes x_0 e y_0 se situarán de modo que formen un sistema dextrógiro con z_0 .
6. Para i de 1 a $n-1$, situar el sistema $\{S_i\}$ (solidario al eslabón i) en la intersección del eje z_i con la línea normal común a z_{i-1} y z_i . Si ambos ejes se cortasen se situaría $\{S_i\}$ en el punto de corte. Si fuesen paralelos $\{S_i\}$ se situaría en la articulación $i+1$.
7. Situar x_i en la línea normal común a z_{i-1} y z_i .
8. Situar y_i de modo que forme un sistema dextrógiro con x_i y z_i .
9. Situar el sistema $\{S_n\}$ en el extremo del robot de modo que z_n coincida con la dirección de z_{n-1} y x_n sea normal a z_{n-1} y z_n .
10. Obtener q_i como el ángulo que hay que girar en torno a z_{i-1} para que x_{i-1} y x_i queden paralelos.
11. Obtener d_i como la distancia, medida a lo largo de z_{i-1} , que habría que desplazar $\{S_{i-1}\}$ para que x_i y x_{i-1} quedasen alineados.
12. Obtener a_i como la distancia medida a lo largo de x_i (que ahora coincidiría con x_{i-1}) que habría que desplazar el nuevo $\{S_{i-1}\}$ para que su origen coincidiese con $\{S_i\}$.

13. Obtener las matrices de transformación $i-1A_i$.
14. Obtener la matriz de transformación entre la base y el extremo del robot del robot $T = {}^0A_1 {}^1A_2 \dots {}^{n-1}A_n$.
15. $T =$ La matriz T define la orientación (submatriz de rotación) y posición (submatriz de traslación) del extremo referido a la base en función de las n coordenadas articulares.

Para los parámetros anteriores se realizaron los siguientes cálculos.

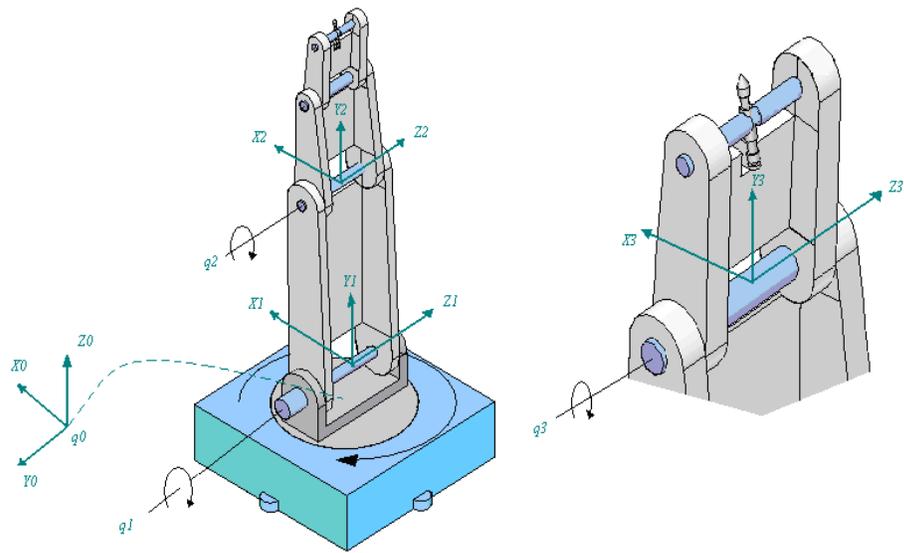
Figura28: Parámetro 1 y 2 de Denavit Hartenberg



Fuente: Autores

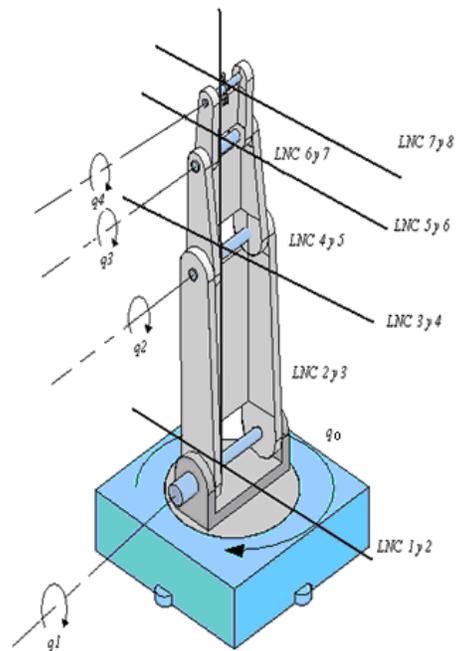
Para el parámetro 3, todas las articulaciones del brazo son rotacionales.

Figura 29: Parámetros 4,5 y 6 de Denavit Hartenberg



Fuente: Autores

Figura 30: Parámetros 7,8 y 9 de Denavit Hartenberg



Fuente: Autores

Con la ubicación de las líneas normales comunes y sus respectivos ejes de cada articulación obtenemos la siguiente tabla la cual es la representación de los parámetros estipulados por Denavit Hartenberg.

Tabla 3: Tabla de parámetros 10,11 y 12 de Denavith Hartenberg.

Articulación	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	q_1	L1	0	90°
2	$q_2 + 90^\circ$	0	L2	0
3	$q_3 + 90^\circ$	0	L3	0
4	$q_4 + 90^\circ$	0	L4	0

Fuente: Autores

Para los parámetros 13,14 y 15 reemplazamos la ecuación 14 para obtener los resultados de las matrices nombradas anteriormente.

$${}^{i-1}T_i = Rot(z_{i-1}, \theta_i) \cdot Tras(z_{i-1}, d_i) \cdot Tras(x_i, a_i) \cdot Rot(x_i, \alpha_i)$$

$$= \begin{bmatrix} \cos q_1 & -\text{sen} q_1 & 0 & 0 \\ \text{sen} q_1 & \cos q_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 90^\circ & -\text{sen} 90^\circ & 0 \\ 0 & \text{sen} 90^\circ & \cos 90^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Al reemplazar los valores de la tabla 2 en la ecuación 14 .se obtiene la matriz de transformación homogénea para cada una de las articulaciones de nuestro sistema.

Cambiamos la variable de la matriz T por A .Con el fin de mostrar los cálculos de las matrices en un programa creado específicamente para las características de este brazo robótico.

$$A1 = \begin{bmatrix} \cos q_1 & -\cos 90^\circ \cdot \text{sen} q_1 & \text{sen} 90^\circ \cdot \text{sen} q_1 & 0 \cdot \cos q_1 \\ \text{sen} q_1 & \cos 90^\circ \cdot \cos q_1 & -\text{sen} 90^\circ \cdot \cos q_1 & 0 \cdot \text{sen} q_1 \\ 0 & \text{sen} 90^\circ & \cos 90^\circ & l1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A2 = \begin{bmatrix} \cos q2 + 90^\circ & -\cos 0 \cdot \text{sen}q2 + 90^\circ & \text{sen}0 \cdot \text{sen}q2 + 90^\circ & l2 \cdot \cos q2 + 90^\circ \\ \text{sen}q2 + 90^\circ & \cos 0 \cdot \cos q2 + 90^\circ & -\text{sen}0 \cdot \cos q2 + 90^\circ & l2 \cdot \text{sen}q2 + 90^\circ \\ 0 & \text{sen}0 & \cos 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A3 = \begin{bmatrix} \cos q3 + 90^\circ & -\cos 0^\circ \cdot \text{sen}q3 + 90^\circ & \text{sen}0^\circ \cdot \text{sen}q3 + 90^\circ & l3 \cdot \cos q3 + 90^\circ \\ \text{sen}q3 + 90^\circ & \cos 0^\circ \cdot \cos q3 + 90^\circ & -\text{sen}0^\circ \cdot \cos q3 + 90^\circ & l3 \cdot \text{sen}q3 + 90^\circ \\ 0 & \text{sen}0^\circ & \cos 0^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A4 = \begin{bmatrix} \cos q4 + 90^\circ & -\cos 0^\circ \cdot \text{sen}q4 + 90^\circ & \text{sen}0^\circ \cdot \text{sen}q4 + 90^\circ & l4 \cdot \cos q4 + 90^\circ \\ \text{sen}q4 + 90^\circ & \cos 0^\circ \cdot \cos q4 + 90^\circ & -\text{sen}0^\circ \cdot \cos q4 + 90^\circ & l4 \cdot \text{sen}q4 + 90^\circ \\ 0 & \text{sen}0^\circ & \cos 0^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Ahora reemplazando las matrices anteriores en la ecuación 18 se obtiene

$$A5 = A1 \cdot A2 \cdot A3 \cdot A4$$

$$A5 = A1 \cdot A2 \cdot A3 \cdot A4 = \begin{bmatrix} nx & ox & ax & px \\ ny & oy & ay & py \\ nz & oz & az & pz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A5 = A1 \cdot A2 \cdot A3 \cdot A4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 25 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

La posición en reposo para la cual se hizo la cinemática directa nos afirma, que hay un punto donde el robot no opera.

Efectuando la simulación en matlab con el ingreso de los parámetros de Denavit Hartenberg, podemos realizar cinemática directa propia del brazo robótico para cirugías el cual nos muestra el siguiente desarrollo para cada una de las matrices incluidas en este estudio.

4.2.2 PROGRAMA EN MATLAB

Ejecución del programa cinemática directa

```
>> dh
```

```
*****digite los valores de la primera articulación*****
```

```
valor de theta(i) en grados=90  
valor de di en cm=25  
valor de alpha(i) en grados=90  
valor de ai en cm=0
```

```
A1 =
```

```
0.0000 -0.0000 1.0000 0  
1.0000 0.0000 -0.0000 0  
0 1.0000 0.0000 25.0000  
0 0 0 1.0000
```

```
*****digite los valores de la segunda articulación*****
```

```
valor de theta(i) en grados=90  
valor de di en cm=0  
valor de alpha(i) en grados=0  
valor de ai en cm=50
```

```
A2 =
```

```
-1.0000 -0.0000 0 0  
0.0000 -1.0000 0 0.0000  
0 0 1.0000 0  
0 0 0 1.0000
```

```
*****digite los valores de la tercera articulación*****
```

```
valor de theta(i) en grados=90  
valor de di en cm=0  
valor de alpha(i) en grados=0  
valor de ai en cm=30
```

A3 =

-1.0000	-0.0000	0	0
0.0000	-1.0000	0	0.0000
0	0	1.0000	0
0	0	0	1.0000

*****digite los valores de la cuarta articulación*****

valor de theta(i) en grados=90

valor de di en cm=0

valor de alpha(i) en grados=0

valor de ai en cm=25

A4 =

-1.0000	-0.0000	0	0
0.0000	-1.0000	0	0.0000
0	0	1.0000	0
0	0	0	1.0000

****matriz de transformación entre el sistema de coordenadas de la base del robot y el extremo del mismo****

A5=A1*A2*A3*A4

A5 =

-0.0000	0.0000	1.0000	-0.0000
-1.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000
0.0000	-1.0000	0.0000	25.0000
0	0	0	1.0000

>>

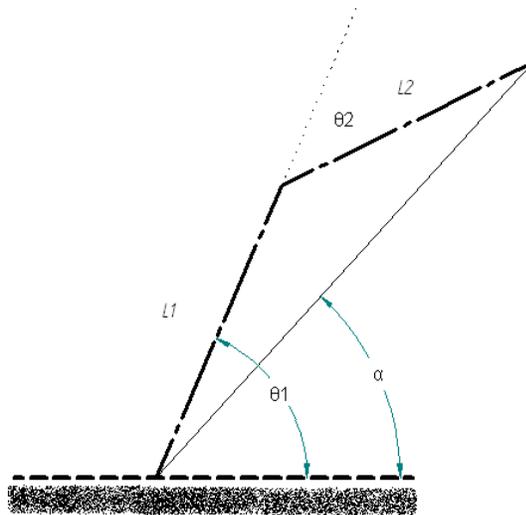
4.3 SOLUCIÓN AL PROBLEMA CINEMATICO INVERSO

Para dar solución al problema cinemático inverso, es necesario escoger tres grados de libertad para expresar una rotación y de esa forma poder seleccionar un método entre los dos procedimientos de solución cerrada.

Escogimos el “**Método Geométrico**”, para analizar el comportamiento del brazo teniendo como variables conocidas la posición final del efector, número de eslabones y longitud de los mismos.

En el método geométrico se analiza el brazo robótico de dos eslabones con dos articulaciones, el cual no concuerda en su totalidad con el del prototipo que estamos realizando pero si es muy útil para hallar los ángulos de giro de cada una de las articulaciones a partir de las posiciones (x, y, z) con respecto a la base.

Figura 31: Brazo robótico de dos eslabones



Fuente:Autores

Para comenzar con el análisis se hizo por medio de trigonometría utilizando el teorema de los senos el cual dice:

$$\frac{\sin B}{b} = \frac{\sin C}{c}$$

$$\frac{\sin \bar{\theta}_1}{l_2} = \frac{\sin(180 - \theta_2)}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{\sin(\theta_2)}{\sqrt{x^2 + y^2}}$$

$$\theta_1 = \bar{\theta}_1 + \alpha$$

$$\alpha = \arctan 2\left(\frac{y}{x}\right)$$

El teorema del coseno el cual dice:

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos C$$

$$(x^2 + y^2) = l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2 \cos(180 - \theta_2)$$

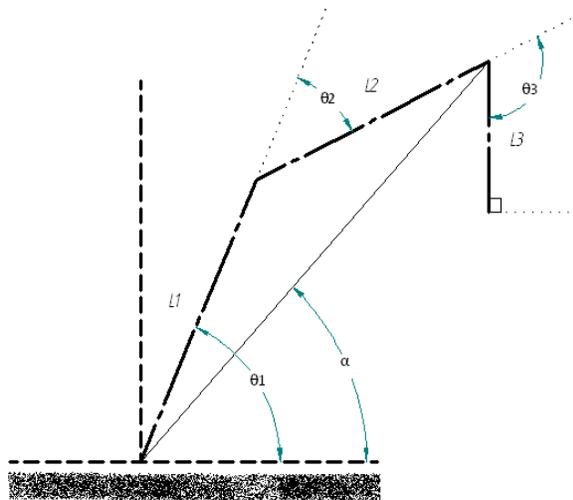
$$\cos(180 - \theta_2) = -\cos(\theta_2)$$

$$\cos(\theta_2) = \frac{x^2 + y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1l_2}$$

$$\theta_2 = \arccos\left(\frac{x^2 + y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1l_2}\right)$$

Este valor es Redundante, puesto que θ_2 puede estar en el primer o el cuarto cuadrante. Para el análisis del prototipo se procurara trabajar con los valores del cuarto cuadrante.

Figura 32: Ubicación de eslabones y asignación de de variables



Fuente: Autores

Continuando con el análisis de nuestro prototipo se parametriza el comportamiento del tercer eslabón y su debida articulación ya que para efectos prácticos de funcionalidad este se debe encontrar perpendicular al eje x debido a que la incisión se debe realizar perpendicular al cuerpo, lo mismo que el ultrasonido, por lo que se tomara el valor de y como y_1 y el valor real de y seria:

$$y = y_1 + l_3$$

Y el valor del ángulo θ_3 con estas condiciones seria igual a:

$$\theta_3 = (\theta_1 + \theta_2) - 108^\circ$$

Figura: Ubicación de Eslabones y Asignación de de variables

Estas formulas son los cálculos generales para cada una de las posibles posiciones generadas por el brazo robótico dentro del área de trabajo, pero para tener una mayor seguridad sobre nuestros cálculos creamos el programa en matlab (cinemática inversa) que nos muestra los datos generados para los ángulos a hallar.

4.3.1 PROGRAMA EN MATLAB

Ejecución del programa cinemática inversa

```
valor de l1= 25
valor de l2= 50
valor de l3= 30
valor de l4= 25
posicion final X= 40
posicion final Y= 25
posicion final Z= 15
theta0 es igual a: 69.44°
theta1 es igual a: 80.00°
theta2 es igual a: -76.51°
theta3 es igual a: -93.49°
theta1 con ajuste es igual a: 78.40°
theta2 con ajuste es igual a: -76.41°
theta3 con ajuste es igual a: -93.49°
>>
```

4.4 CONTROL CINEMÁTICO

El control cinemático establece cuales son las trayectorias que debe seguir cada una de las articulaciones durante un tiempo determinado para dar cumplimiento a sus tareas. Para iniciar el control cinemático del brazo es necesario escoger el tipo de trayectoria a utilizar para este caso (trayectorias coordinadas o isocronas).

Con este tipo de trayectoria se calculan los movimientos previos de las articulaciones y la cantidad de tiempo que invertirá durante su ejecución.

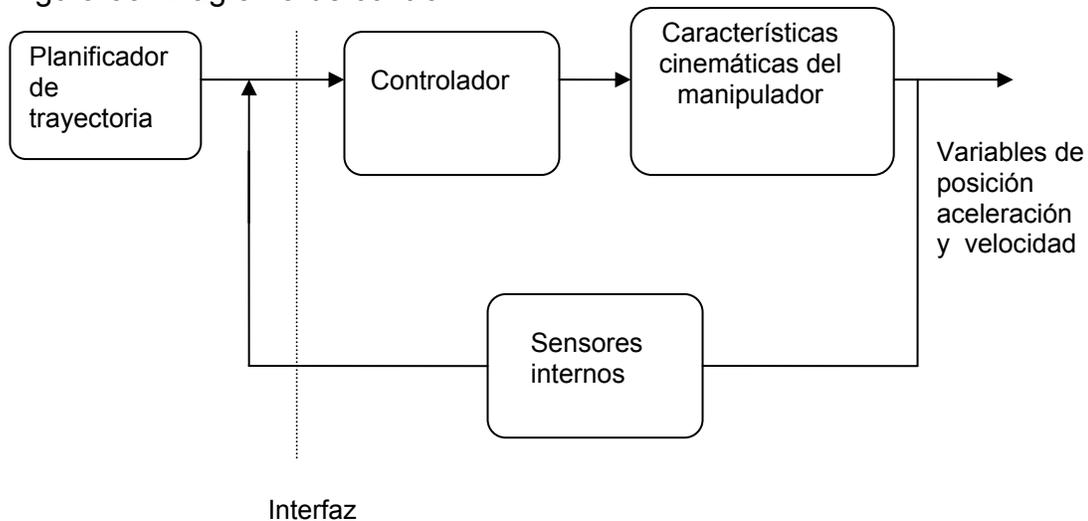
Las trayectorias coordinadas o isócronas permiten que los ejes se mueven simultáneamente invirtiendo las articulaciones más rápidas de forma que todos los ejes acaben a la vez de esta manera utilizan el menos tiempo y se evitan exigencias inútiles de velocidad y aceleración cuidando la vida útil del manipulador.

Para la creación del sistema de control se tuvieron en cuenta varias entradas debido a la precisión al ejecutar una tarea, debe ser lo primordial en el control del brazo robótico .

Los parámetros tomados para la creación y simulación del sistema de control cinemático son:

El generador de trayectoria, los cálculos de la cinemática inversa y características generales de los elementos que componen el control.

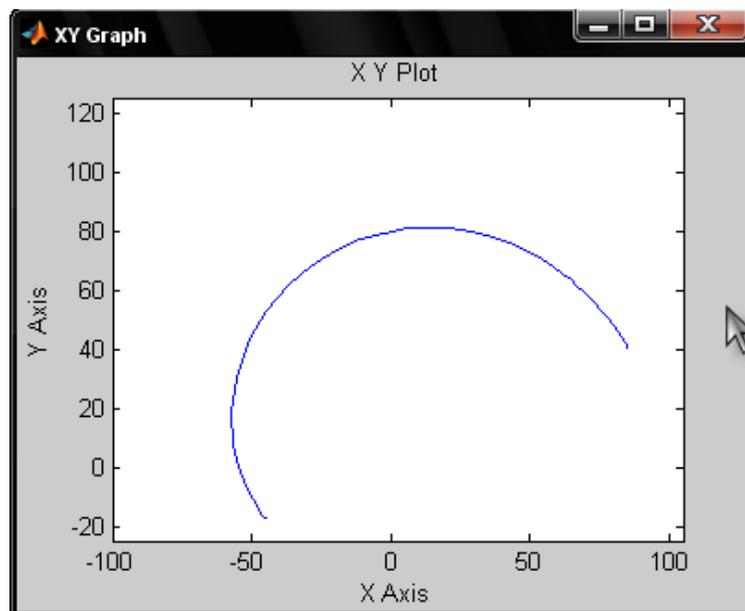
Figura 33: Diagrama de control



Fuente:Autores

- Para cada uno de los tres motores que componen nuestro diseño de control, se creó el PID con las funciones de transferencia calculadas para el desarrollo del brazo. Esto con el fin de simular los ángulos generados por el troqué cuando el brazo ejecuta una función.
- Las velocidades y aceleraciones angulares se grafican para verificar el comportamiento cuando se produce movimiento o cuando se realiza una trayectoria esto lo podemos observar en la siguiente gráfica.

Figura 34: Trayectoria generada



Fuente: Autores

Apartir de la trayectoria, el control empieza a linealizar los valores de entrada para poder dar como resultado un sistema de control estable. Libre de errores.

4.4.1 PROGRAMA CONTROL CINEMATICO

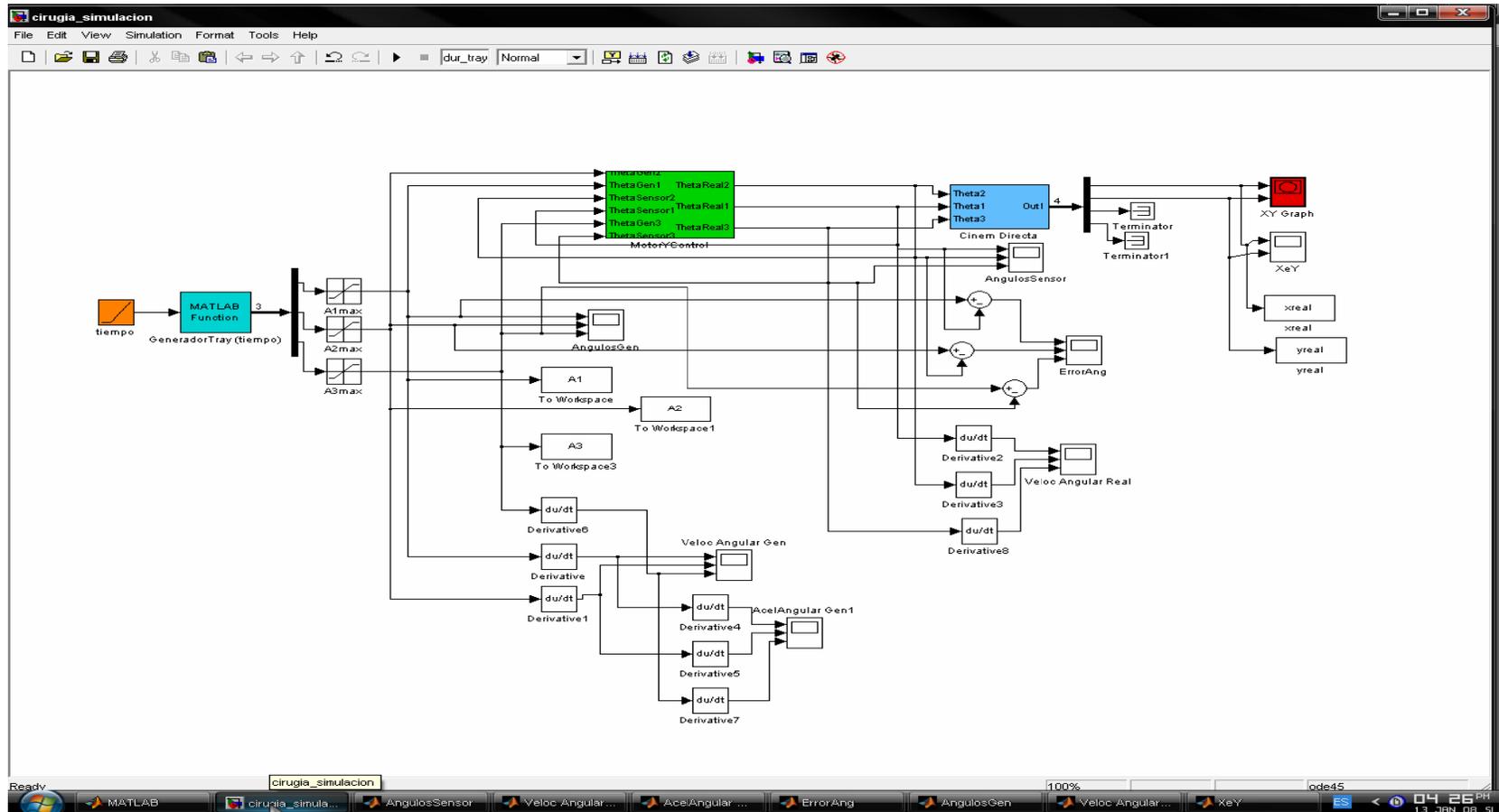
Para simular este programa es necesario ejecutar el programa principal (ver anexos) y después los sub. Programas, no olvidar que es un modelo creado en simulink y que debe ejecutarlo desde el mismo.

Resultados obtenidos en la ventana de comandos de matlab genera:

```
L0 =  
    25  
L1 =  
    50  
L2 =  
    30  
L3 =  
    25  
num_tramos =  
    2  
Trayectoria PTP  
  
ang_theta2 =  
    2.5559  
ang_theta1 =  
    1.5076  
ang_theta3 =  
    2.4927  
ans =  
    0.8224  
    0.4300  
   -0.3184  
  
>>
```

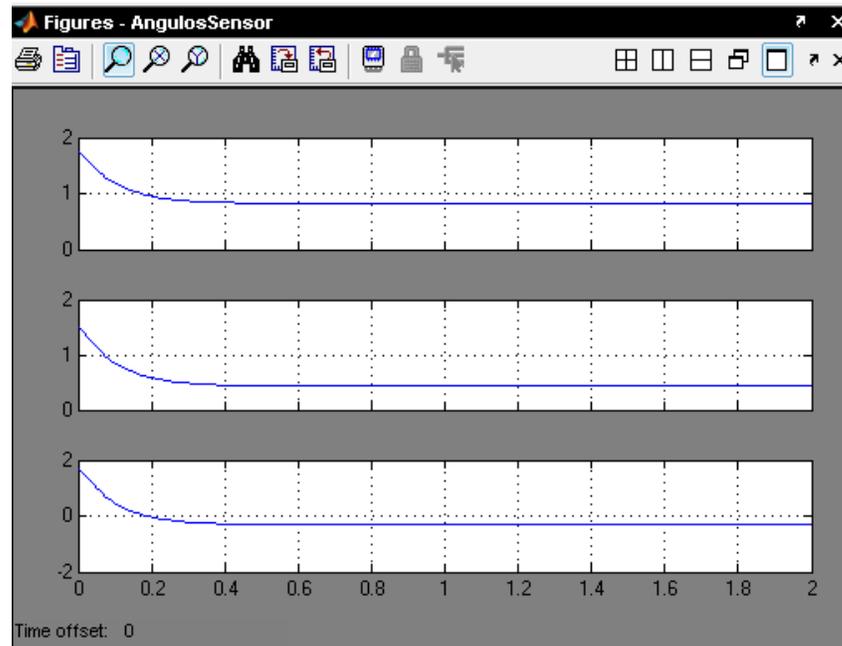
Para poder ejecutar el modelo en simulink hay que ejecutar todos los sub-programas y abrir desde la ventana de comandos del simulink. El modelo cirugía _ simulación.

Figura 34: Control cinemático del brazo robótico



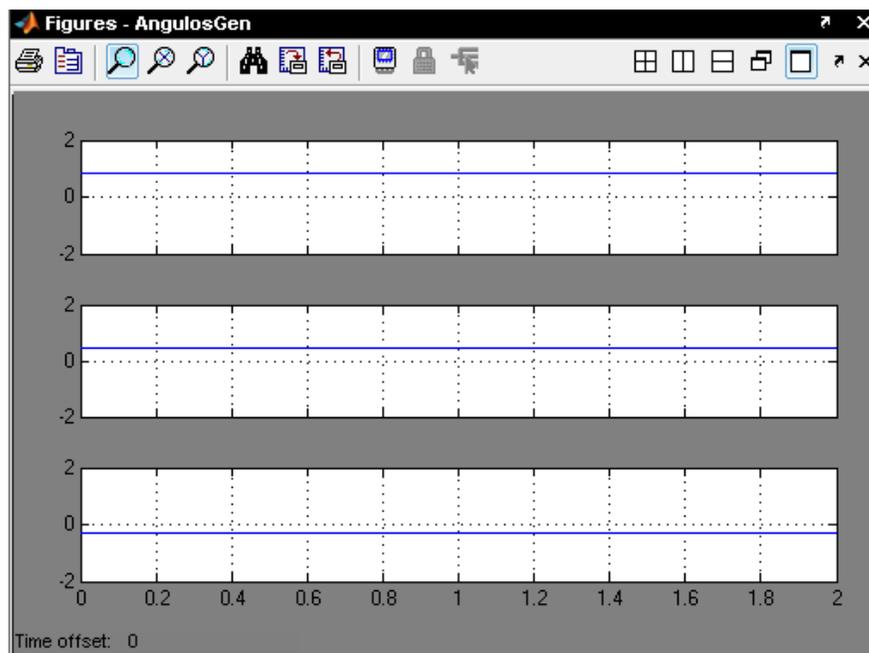
Fuente: Autores

Figura 35: Salida de ángulos sensados



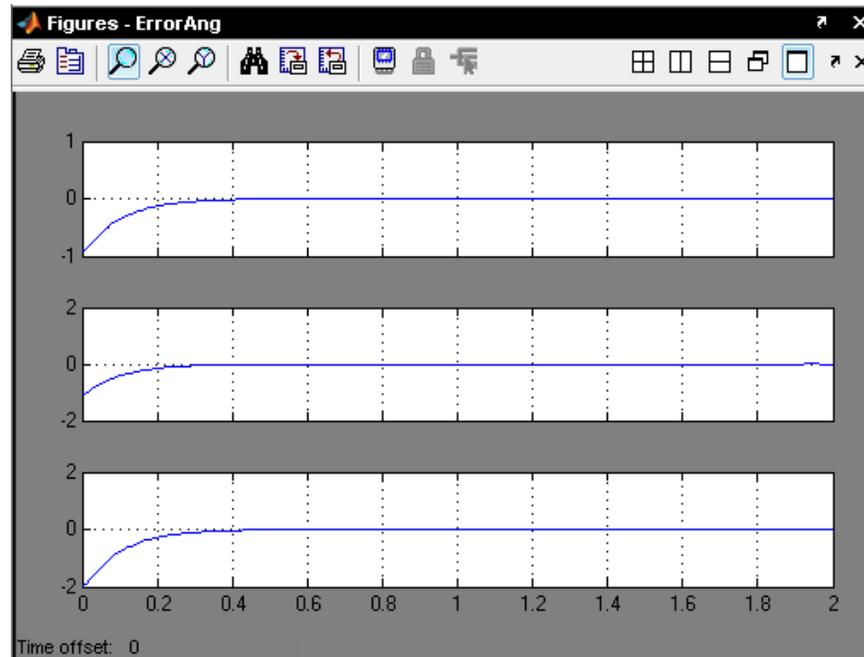
Fuente: Autores

Figura 36: Salida de ángulos sensados



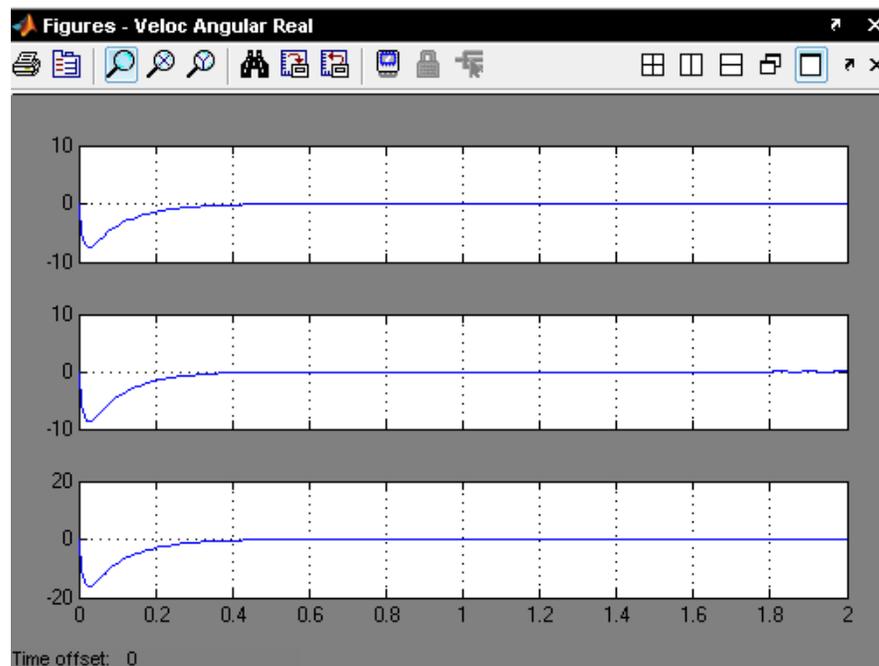
Fuente: Autores

Figura 37: Error en los ángulos



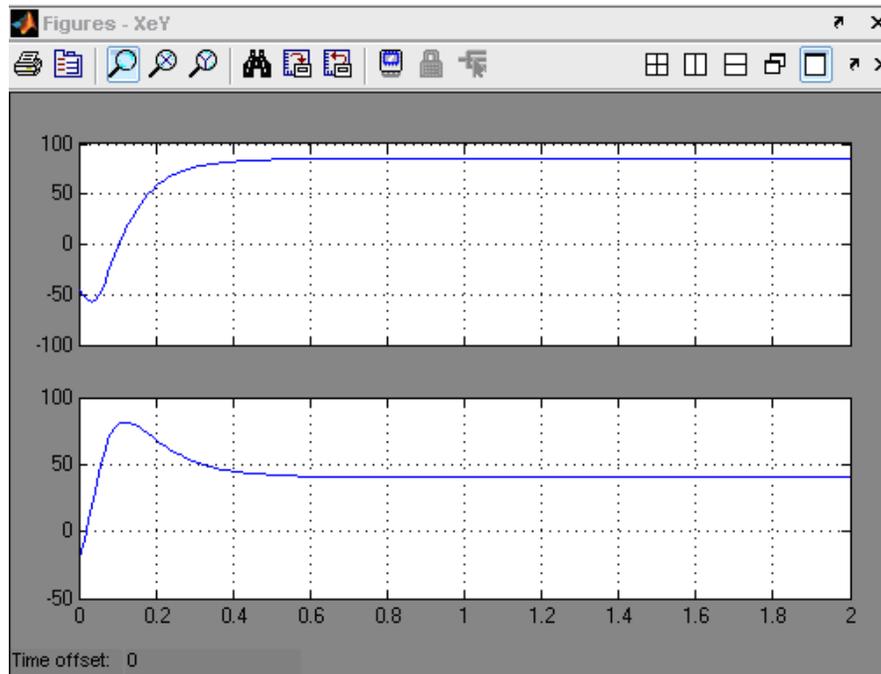
Fuente: Autores

Figura 38: Velocidad angular



Fuente:Autores

Figura39: Salida controlada para X y Y



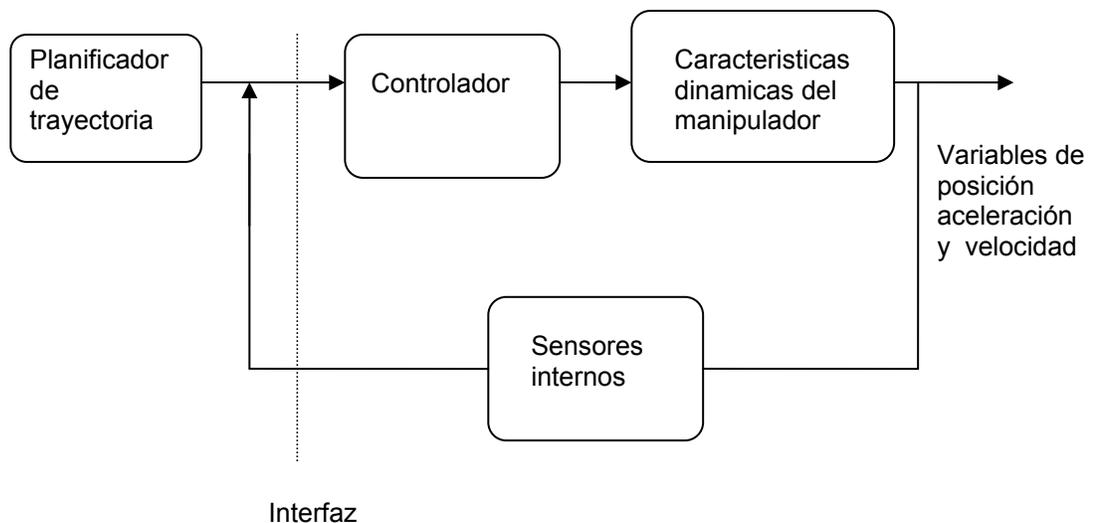
Fuente: Autores

4.5 SOLUCIÓN AL PROBLEMA DINAMICO

Para dar solución al problema dinámico es necesario representar simbólicamente los movimientos de los elementos del robot, especialmente el del elector final, en función de los torques y los esfuerzos aplicados.

De igual forma se deben obtener los esfuerzos y torques necesarios para que los elementos del robot se muevan con las velocidades y aceleraciones específicas siguiendo las trayectorias definidas.

Figura 40: Control dinámico



Fuente: Autores

4.6 DESARROLLO DEL PROBLEMA DINAMICO

Escogimos el método del lagrangeano por que es un método cerrado. Que resulta de la diferencia de las energías cinéticas y potenciales de todas las articulaciones realizando el respectivo balance de energía

El modelo dinámico del robot manipulador se obtiene por medio de las ecuaciones de Euler Lagrange donde se deben obtener como primer paso las energías cinéticas de cada uno de los eslabones del robot manipulador.

$$K_i(q, \dot{q}) = \frac{1}{2} m_i v^2 + \frac{1}{2} I_i \dot{\theta}^2$$

Después se deben obtener las energías potenciales de los eslabones del robot.

$$U_i(q) = m_i gh$$

Como tercer paso se obtiene el Lagrangiano del sistema. El cual se encuentra determinado por la diferencia entre la energía cinética total¹ y la energía potencial tota².

$$L(q, \dot{q}) = K(q, \dot{q}) - U(q)$$

La energía cinética total ¹ de un robot esta establecida por la suma de las energías cinéticas de cada uno de sus eslabones. Y La energía potencial total ² de un robot manipulador esta determinada por la suma de las energías potenciales de cada uno de sus eslabones.

Luego se desarrolla la siguiente ecuación para cada una de las coordenadas articulares.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_i} = \tau$$

Posteriormente se detalla el desarrollo del modelo dinámico del robot por medio de las ecuaciones de Euler Lagrange. Como primer paso se obtienen las energías cinéticas de cada uno de los eslabones. Como el primer eslabón, solamente rota alrededor del eje z, únicamente cuenta con energía cinética rotacional.

$$K_1(\dot{\theta}, \theta) = \frac{1}{2} I_1 \dot{\theta}_1^2$$

Para los siguientes eslabones las ecuaciones de sus energías cinéticas son las siguientes:

$$K_2(\dot{\theta}, \theta) = \frac{1}{2} m_2 [l_{c2}^2 \dot{\theta}_2^2 + l_{c2}^2 \cos^2 \theta_2 \dot{\theta}_1^2] + \frac{1}{2} I_2 (\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_2^2)$$

$$K_3(\dot{\theta}, \theta) = \frac{1}{2} m_3 l_{c3}^2 \dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2} m_3 l_{c3}^2 \dot{\theta}_3^2 + m_3 l_{c3}^2 \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_3 + \frac{1}{2} m_3 l_2^2 \dot{\theta}_2^2 + m_3 l_2 l_{c3} \cos(\theta_2) \cos(\theta_2 + \theta_3) \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_3 l_{c3}^2 \cos^2(\theta_2 + \theta_3) \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_3 l_2^2 \cos^2(\theta_2) \dot{\theta}_1^2 + m_3 l_2 l_{c3} \cos(\theta_3) \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) + \frac{1}{2} I_3 [\dot{\theta}_1^2 + (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2]$$

$$K_4(\dot{\theta}, \theta) = \frac{1}{2} m_f l_3^2 \dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2} m_f l_3^2 \dot{\theta}_3^2 + m_f l_3^2 \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_3 + \frac{1}{2} m_f l_2^2 \dot{\theta}_2^2 + m_f l_2 l_3 \cos(\theta_2) \cos(\theta_2 + \theta_3) \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_f l_3^2 \cos^2(\theta_2 + \theta_3) \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_f l_2^2 \cos^2(\theta_2) \dot{\theta}_1^2 + m_f l_2 l_3 \cos(\theta_3) \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)$$

Siguiendo con el proceso de modelado, se deben obtener las expresiones de las energías potenciales.

$$U_1(\theta) = m_1gh \text{ Ecuación (58)}$$

$$U_2(\theta) = m_2g(h + l_{c2}\text{sen}\theta_2) \text{ Ecuación (59)}$$

$$U_3(\theta) = m_3g(h + l_2\text{sen}\theta_2 + l_{c3}\text{sen}(\theta_2 + \theta_3)) \text{ Ecuación (60)}$$

$$U_4(\theta) = m_fg(h + l_2\text{sen}\theta_2 + l_3\text{sen}(\theta_2 + \theta_3)) \text{ Ecuación (61)}$$

El Lagrangiano del sistema es el siguiente:

$$\begin{aligned} L(\dot{\theta}, \theta) = & \frac{1}{2}I_1\dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2}m_2[l_{c2}^2\dot{\theta}_2^2 + l_{c2}^2\cos^2\theta_2\dot{\theta}_1^2] + \frac{1}{2}I_2(\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_2^2) + \frac{1}{2}m_3l_{c3}^2\dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2}m_3l_{c3}^2\dot{\theta}_3^2 + m_3l_{c3}^2\dot{\theta}_2\dot{\theta}_3 + \frac{1}{2}m_3l_2^2\dot{\theta}_2^2 \\ & + m_3l_2l_{c3}\cos(\theta_2)\cos(\theta_2 + \theta_3)\dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2}m_3l_{c3}^2\cos^2(\theta_2 + \theta_3)\dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2}m_3l_2^2\cos^2(\theta_2)\dot{\theta}_1^2 + m_3l_2l_{c3}\cos(\theta_3)\dot{\theta}_2(\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \\ & + \frac{1}{2}I_3[\dot{\theta}_1^2 + (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)^2] + \frac{1}{2}m_f l_3^2\dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2}m_f l_3^2\dot{\theta}_3^2 + m_f l_3^2\dot{\theta}_2\dot{\theta}_3 + m_f l_2 l_3 \cos(\theta_2)\cos(\theta_2 + \theta_3)\dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2}m_f l_2^2\dot{\theta}_2^2 \\ & + \frac{1}{2}m_f l_3^2\cos^2(\theta_2 + \theta_3)\dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2}m_f l_2^2\cos^2(\theta_2)\dot{\theta}_1^2 + m_f l_2 l_3 \cos(\theta_3)\dot{\theta}_2(\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) - m_1gh - m_2g(h + l_{c2}\text{sen}\theta_2) \\ & - m_3g(h + l_2\text{sen}\theta_2 + l_{c3}\text{sen}(\theta_2 + \theta_3)) - m_fg(h + l_2\text{sen}\theta_2 + l_3\text{sen}(\theta_2 + \theta_3)) \end{aligned}$$

Desarrollando la ecuación para cada una de las articulaciones del robot manipulador se obtienen las tres ecuaciones de movimiento

$$\begin{aligned} I_1\ddot{\theta}_1 + I_2\ddot{\theta}_1 + I_3\ddot{\theta}_1 + m_2l_{c2}^2\cos^2\theta_2\ddot{\theta}_1 - 2m_2l_{c2}^2\cos\theta_2\text{sen}\theta_2\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2 - 2(m_3l_2l_{c3} + m_f l_2 l_3)\text{sen}\theta_2\cos(\theta_2 + \theta_3)\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2 \\ - 2(m_3l_2l_{c3} + m_f l_2 l_3)\cos\theta_2\text{sen}(\theta_2 + \theta_3)\dot{\theta}_1(\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) + 2(m_3l_2l_{c3} + m_f l_2 l_3)\cos\theta_2\cos(\theta_2 + \theta_3)\ddot{\theta}_1 \\ - 2(m_3l_{c3}^2 + m_f l_3^2)\text{sen}(\theta_2 + \theta_3)\cos(\theta_2 + \theta_3)\dot{\theta}_1(\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) + (m_3l_{c3}^2 + m_f l_3^2)\cos^2(\theta_2 + \theta_3)\ddot{\theta}_1 \\ - 2(m_3 + m_f)l_2^2\text{sen}\theta_2\cos\theta_2\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2 + (m_3 + m_f)l_2^2\cos^2(\theta_2)\ddot{\theta}_1 = \tau_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (m_2l_{c2}^2 + m_3l_{c3}^2 + m_3l_2^2 + m_f l_3^2 + m_f l_2^2)\ddot{\theta}_2 + (m_3l_{c3}^2 + m_f l_3^2)\ddot{\theta}_3 - 2(m_3l_2l_{c3} + m_f l_2 l_3)\text{sen}(\theta_3)\dot{\theta}_2\dot{\theta}_3 \\ - (m_3l_2l_{c3} + m_f l_2 l_3)\text{sen}(\theta_3)\dot{\theta}_3^2 + (m_3l_2l_{c3} + m_f l_2 l_3)\text{sen}(\theta_2)\cos(\theta_2 + \theta_3)\dot{\theta}_1^2 + (m_3 + m_f)l_2^2\cos(\theta_2)\text{sen}(\theta_2)\dot{\theta}_1^2 \\ + (m_3l_2l_{c3} + m_f l_2 l_3)\cos(\theta_3)\ddot{\theta}_3 + (m_3l_2l_{c3} + m_f l_2 l_3)\cos(\theta_2)\text{sen}(\theta_2 + \theta_3)\dot{\theta}_1^2 + (m_3 + m_f)gl_2\cos\theta_2 \\ + m_2l_{c2}^2\cos\theta_2\text{sen}\theta_2\dot{\theta}_1^2 + (m_3l_{c3}^2 + m_f l_3^2)\cos(\theta_2 + \theta_3)\text{sen}(\theta_2 + \theta_3)\dot{\theta}_1^2 + 2(m_3l_2l_{c3} + m_f l_2 l_3)\cos(\theta_3)\ddot{\theta}_2 \\ + I_3(\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) + (m_3l_{c3} + m_f l_3)g\cos(\theta_2 + \theta_3) + m_2gl_{c2}\cos\theta_2 + I_2\ddot{\theta}_2 = \tau_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& m_3 l_{c3}^2 \ddot{\theta}_3 + m_3 l_{c3}^2 \ddot{\theta}_2 - m_3 l_2 l_{c3} \sin(\theta_3) \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_3 + m_f l_3^2 \ddot{\theta}_3 + m_f l_3^2 \ddot{\theta}_2 - m_f l_2 l_3 \sin(\theta_3) \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_3 + m_f l_2 l_3 \cos(\theta_3) \ddot{\theta}_2 \\
& + m_3 l_2 l_{c3} \cos(\theta_2) \sin(\theta_2 + \theta_3) \dot{\theta}_1^2 + m_3 l_2 l_{c3} \cos(\theta_3) \ddot{\theta}_2 + m_3 l_{c3}^2 \cos(\theta_2 + \theta_3) \sin(\theta_2 + \theta_3) \dot{\theta}_1^2 + m_f g l_3 \cos(\theta_2 + \theta_3) \\
& + m_3 l_2 l_{c3} \sin(\theta_3) \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) + m_f l_2 l_3 \cos(\theta_2) \sin(\theta_2 + \theta_3) \dot{\theta}_1^2 + m_f l_3^2 \cos(\theta_2 + \theta_3) \sin(\theta_2 + \theta_3) \dot{\theta}_1^2 \\
& + m_f l_2 l_3 \sin(\theta_3) \dot{\theta}_2 (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) + m_3 g l_{c3} \cos(\theta_2 + \theta_3) + I_3 (\ddot{\theta}_2 + \ddot{\theta}_3) = \tau_3
\end{aligned}$$

El modelo dinámico del robot manipulador esta formado por las ecuaciones anteriores y se puede descomponerse de la siguiente forma:

$$M(\theta) \ddot{\theta} + C(\theta, \dot{\theta}) \dot{\theta} + g(\theta) = \tau \quad \text{Ecuación (66)}$$

A continuación se muestran los elementos que componen a las matrices

$$\begin{aligned}
M_{11}(\theta) &= m_2 l_{c2}^2 \cos^2 \theta_2 + 2m_3 l_2 l_{c3} \cos \theta_2 \cos(\theta_2 + \theta_3) + (m_3 l_{c3}^2 + m_f l_3^2) \cos^2(\theta_2 + \theta_3) + (m_3 + m_f) l_2^2 \cos^2(\theta_2) \\
&+ 2m_f l_2 l_3 \cos \theta_2 \cos(\theta_2 + \theta_3) + I_1 + I_2 + I_3
\end{aligned}$$

Componentes de la matriz de inercia

$$M_{12}(\theta) = 0$$

$$M_{13}(\theta) = 0$$

$$M_{21}(\theta) = 0$$

$$M_{22}(\theta) = m_2 l_{c2}^2 + I_2 + m_3 l_{c3}^2 + m_3 l_2^2 + 2m_3 l_2 l_{c3} \cos \theta_3 + I_3 + m_f l_3^2 + m_f l_2^2 + 2m_f l_2 l_3 \cos(\theta_3)$$

$$M_{23}(\theta) = m_3 l_{c3}^2 + m_3 l_2 l_{c3} \cos \theta_3 + I_3 + m_f l_3^2 + m_f l_2 l_3 \cos \theta_3$$

$$M_{31}(\theta) = 0$$

$$M_{32}(\theta) = m_3 l_{c3}^2 + m_3 l_2 l_{c3} \cos \theta_3 + m_f l_3^2 + m_f l_2 l_3 \cos \theta_3 + I_3$$

$$M_{33}(\theta) = m_3 l_{c3}^2 + m_f l_3^2 + I_3$$

$$\begin{aligned}
C_{11}(\theta, \dot{\theta}) &= -(m_3 l_2 l_{c3} + m_f l_2 l_3) \sin \theta_2 \cos(\theta_2 + \theta_3) \dot{\theta}_2 - (m_3 l_2 l_{c3} + m_f l_2 l_3) \cos \theta_2 \sin(\theta_2 + \theta_3) (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) \\
&- (m_3 l_{c3}^2 + m_f l_3^2) \sin(\theta_2 + \theta_3) \cos(\theta_2 + \theta_3) (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3) - (m_3 + m_f) l_2^2 \sin \theta_2 \cos \theta_2 \dot{\theta}_2 - m_2 l_{c2}^2 \cos \theta_2 \sin \theta_2 \dot{\theta}_2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{12}(\theta, \dot{\theta}) &= -(m_3 + m_f) l_2^2 \sin \theta_2 \cos \theta_2 \dot{\theta}_1 - (m_3 l_2 l_{c3} + m_f l_2 l_3) \sin \theta_2 \cos(\theta_2 + \theta_3) \dot{\theta}_1 - m_2 l_{c2}^2 \cos \theta_2 \sin \theta_2 \dot{\theta}_1 \\
&- (m_3 l_2 l_{c3} + m_f l_2 l_3) \cos \theta_2 \sin(\theta_2 + \theta_3) \dot{\theta}_1 - (m_3 l_{c3}^2 + m_f l_3^2) \sin(\theta_2 + \theta_3) \cos(\theta_2 + \theta_3) \dot{\theta}_1
\end{aligned}$$

$$C_{13}(\theta, \dot{\theta}) = -(m_3 l_2 l_{c3} + m_f l_2 l_3) \cos \theta_2 \sin(\theta_2 + \theta_3) \dot{\theta}_1 - (m_3 l_{c3}^2 + m_f l_3^2) \sin(\theta_2 + \theta_3) \cos(\theta_2 + \theta_3) \dot{\theta}_1$$

$$C_{21}(\theta, \dot{\theta}) = -m_2 l_{c2}^2 \cos \theta_2 \sin \theta_2 \dot{\theta}_1 - (m_3 l_2 l_{c3} + m_f l_2 l_3) \cos(\theta_2) \sin(\theta_2 + \theta_3) \dot{\theta}_1 - (m_3 + m_f) l_2^2 \cos(\theta_2) \sin(\theta_2) \dot{\theta}_1 \\ - (m_3 l_{c3}^2 + m_f l_3^2) \cos(\theta_2 + \theta_3) \sin(\theta_2 + \theta_3) \dot{\theta}_1 - (m_3 l_2 l_{c3} + m_f l_2 l_3) \sin(\theta_2) \cos(\theta_2 + \theta_3) \dot{\theta}_1$$

Componentes de la matriz de fuerzas centrífugas

$$C_{22}(\theta, \dot{\theta}) = -(m_3 l_2 l_{c3} + m_f l_2 l_3) \sin(\theta_3) \dot{\theta}_3$$

$$C_{23}(\theta, \dot{\theta}) = -(m_3 l_2 l_{c3} + m_f l_2 l_3) \sin(\theta_3) \dot{\theta}_2 - (m_3 l_2 l_{c3} + m_f l_2 l_3) \sin(\theta_3) \dot{\theta}_3$$

$$C_{31}(\theta, \dot{\theta}) = (m_3 l_2 l_{c3} + m_f l_2 l_3) \cos(\theta_2) \sin(\theta_2 + \theta_3) \dot{\theta}_1 + (m_3 l_{c3}^2 + m_f l_3^2) \cos(\theta_2 + \theta_3) \sin(\theta_2 + \theta_3) \dot{\theta}_1$$

$$C_{32}(\theta, \dot{\theta}) = (m_3 l_2 l_{c3} + m_f l_2 l_3) \sin(\theta_3) (\dot{\theta}_2 + \dot{\theta}_3)$$

$$C_{33}(\theta, \dot{\theta}) = -(m_3 l_2 l_{c3} + m_f l_2 l_3) \sin(\theta_3) \dot{\theta}_2$$

Pares gravitacionales para cada componente.

$$g_1(\theta) = 0$$

$$g_2(\theta) = m_2 g l_{c2} \cos \theta_2 + (m_3 + m_f) g l_2 \cos \theta_2 + (m_3 l_{c3} + m_f l_3) g \cos(\theta_2 + \theta_3)$$

$$g_3(\theta) = (m_3 l_{c3} + m_f l_3) g \cos(\theta_2 + \theta_3)$$

Para hallar el peso del brazo robótico se creo un programa en matlab para hallar la masa en cada uno de los eslabones y la masa total del manipulador. Esto con el fin de realizar los cálculos necesarios para realizar la animación de la dinámica y cinemática durante una trayectoria.

4.6.1 PROGRAMA EN MATLAB

Los siguientes valores son para un perfil tipo c cuadrado siendo b la base = a la altura y s = espesor del perfil
digite el valor del eslabon 1 =25

l1 =

25

digite el valor del eslabon 2 =50

l2 =

50

digite el valor del eslabon 3 =30

l3 =

30

digite el valor de la base del primer eslabon =25

b1 =

25

digite el valor de la base del segundo eslabon =75

b2 =

75

digite el valor de la base del tercer eslabon =105

b3 =

105

digite el valor del espesor =0.5

s =

0.5000

g =

9.8100

m1 =

2496020

m2 =

15111040

m3 =

12709464

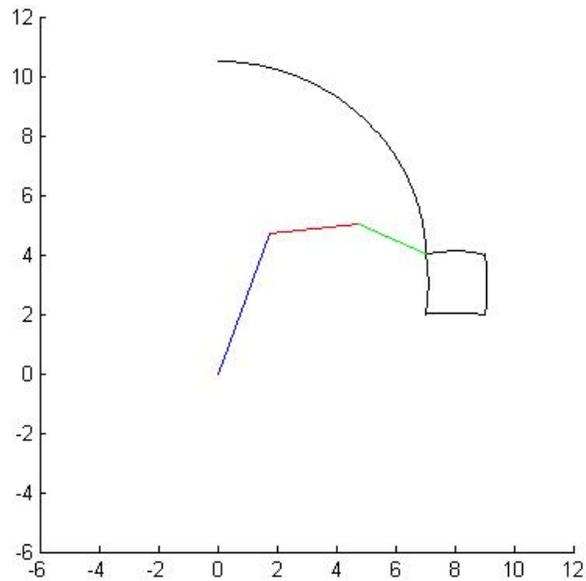
m_total =

30316524

Después de tener el valor del peso del manipulador robótico, se desarrollo una animación de trayectoria y dinámica donde se resuelven todas las ecuaciones mencionadas en el ítem 4.5, En la animación se grafica todo lo que sucede cuando el brazo robótico esta ejecutando una tarea, el programa creado muestra las velocidades, aceleraciones, torques y posiciones

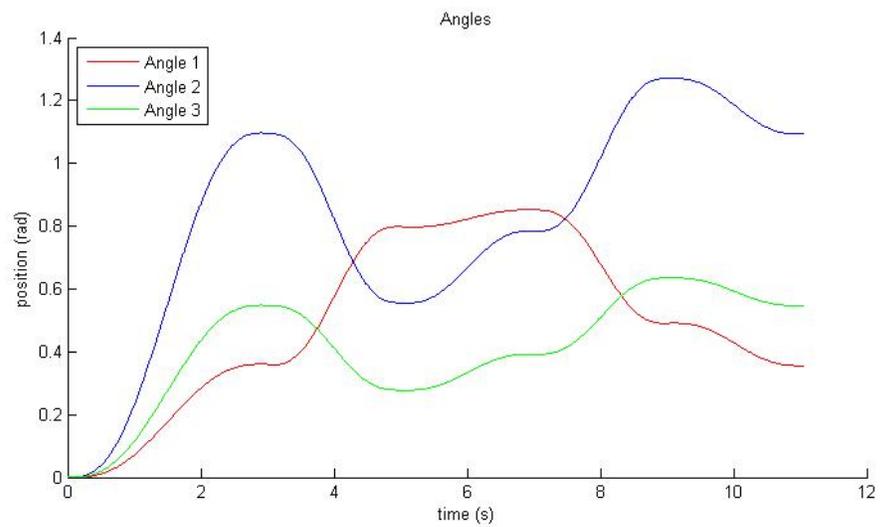
4.6.2 SIMULACIÓN DE LA ANIMACIÓN TRAYECTORIA Y DINAMICA

Figura 41: Trayectoria generada en el plano x-y



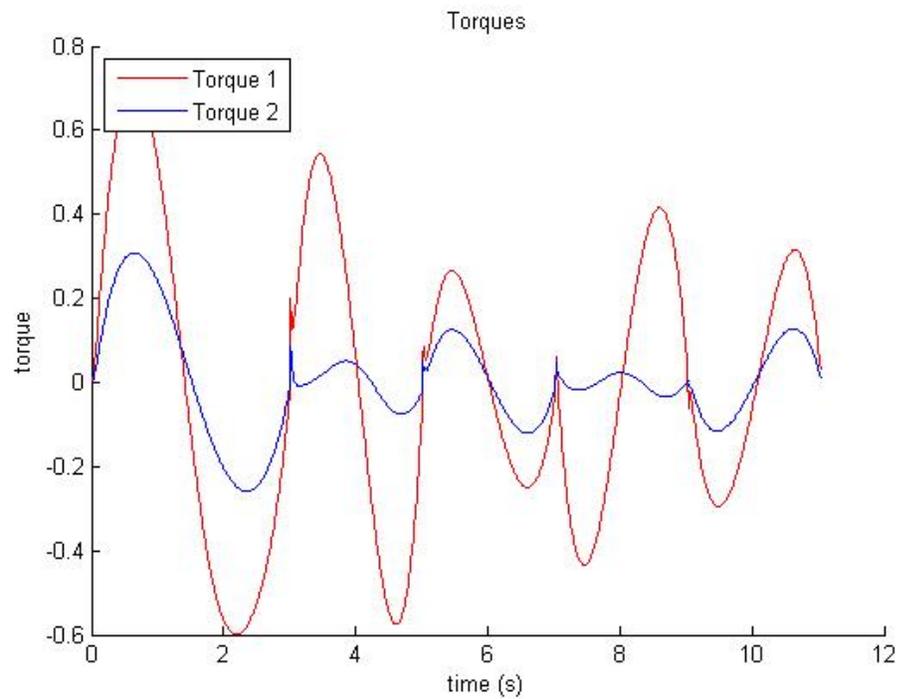
Fuente: Autores

Figura 42: Ángulos generados con respecto al tiempo de ejecución y posición del manipulador



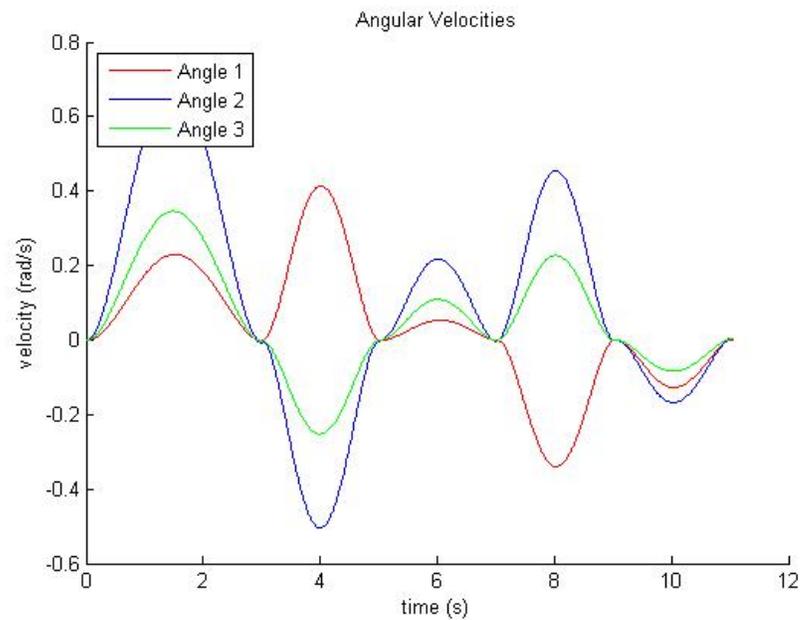
Fuente: Autores

Figura 43: Troqué de los motores mientras se ejecuta una tarea.



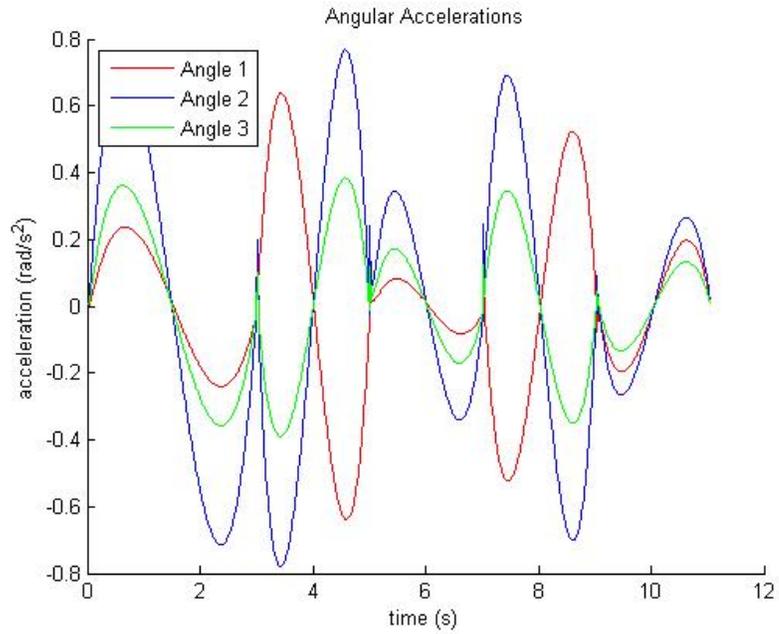
Fuente: Autores

Figura 44: Velocidad angular con respecto al tiempo de ejecución.



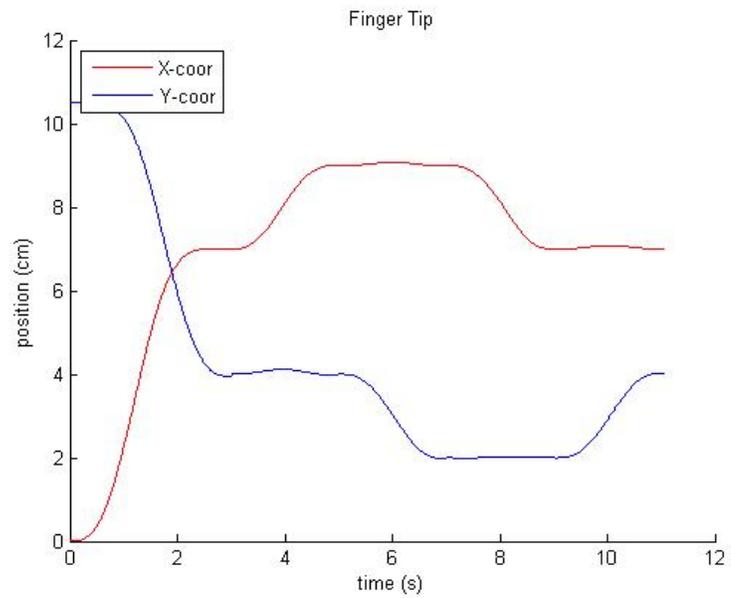
Fuente: Autores

Figura 45: Aceleración angular con respecto al tiempo de ejecución.



Fuente: Autores

Figura 46: Posición generada en una trayectoria posición vs. tiempo



Fuente: Autores

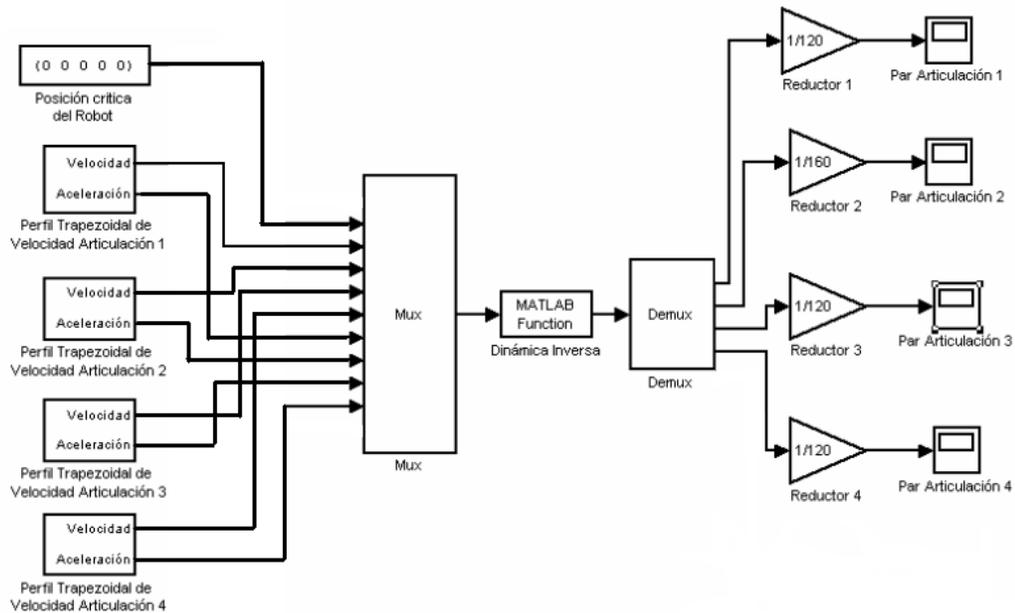
4.7 CONTROL DINAMICO O CONTROL DE MOVIMIENTO

Luego de obtener el diseño dinámico del robot se procede a realizar el respectivo control del mismo.

Para el análisis del brazo se tomaron 4 articulaciones, cada una con un servomotor y en el cual se controlará la posición y velocidad. Mediante el estudio de la dinámica inversa con la que se calcula el torque del motor para una carga dada, considerando una posición, velocidad y aceleraciones permitidas.

Para encontrar el torque máximo necesario para cada eje, se simula un movimiento para la situación más crítica. Con este resultado se podrá realizar la selección adecuada de los motores que cumplan con los requerimientos del sistema.

Figura 47: Modelo de control dinámico (diagrama de simulación en Simulink)



Fuente: Autores

Para diseñar el controlador a dinámico son utilizadas las técnicas más frecuentes de diseño y para esto se analiza la estructura como control desacoplado. Para este diseño en la estructura se considera que el torque en un determinado motor tendrá efecto únicamente sobre el movimiento de la articulación correspondiente.

Con este parámetro se puede diseñar un regulador *PID* para cada motor recorriendo así el robot una trayectoria continua.

La función de transferencia de un regulador *PID* es de la forma:

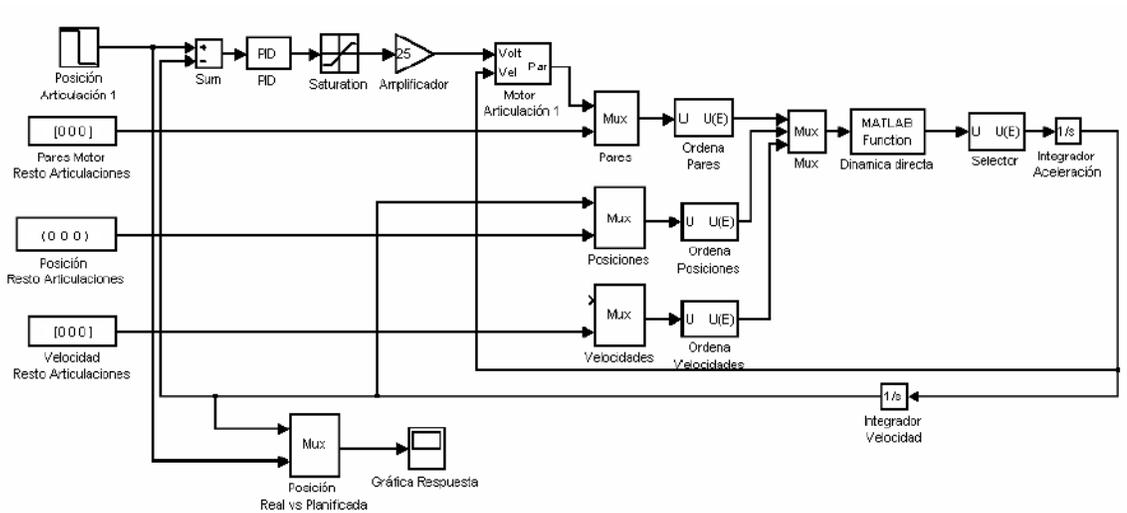
$$G_{PID}(S) = K_p * \left(1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S \right) = P + \frac{I}{S} + D S$$

Donde:

$$P = K_p, \quad I = \frac{K_p}{T_i}, \quad D = K_p * T_d$$

Para observar el comportamiento las respuestas de cada regulador *PID*, los cuales fueron sintonizados utilizando el método manual, se ha implementado el esquema en Simulink de Matlab.

Para la posición deseada se usa una entrada escalón de 0.08 rad., teniendo como la posición inicial en el estado de reposo por que es ahí donde se genera el mayor torque.



4.8 DISEÑO ELECTRONICO

4.8.1 Tarjeta de adquisición de datos

Al realizar el control del robot por medio de la computadora, es necesario contar con un sistema de adquisición de datos que se encargue de enviar las señales de control a los motores y así también de medir la posición de cada uno de los ejes. De esta manera se plantea la lista de entradas y salidas, tanto digitales como analógicas que cumplan con las exigencias del sistema robótico.

Tabla 4: Entradas y salidas del sistema de adquisición de datos

Aplicación	Entradas Digitales	Salidas Digitales	Entradas Analógicas	Salidas Analógicas
Control de motores	4	4		6
Sensores de posición	10	1		
Límites del espacio de trabajo	10			
Rutina de posición inicial	4			
Usuario	8	8	2	2
Total	36	13	2	8

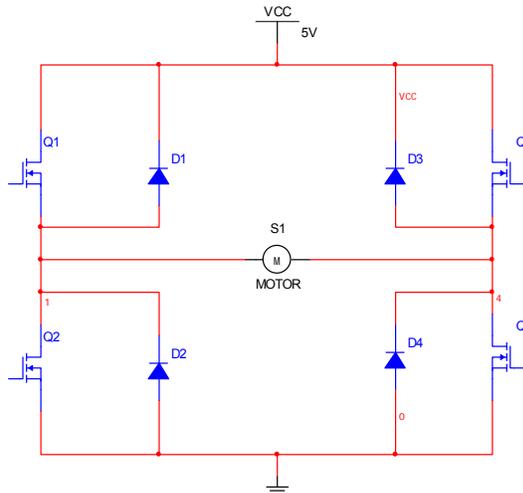
Fuente: Autores

4.8.1.1 Circuito de generación y amplificación de las señales de control de los motores

Una de las maneras de controlar la velocidad de motores de corriente continua es variando su voltaje de entrada. Para este propósito se utiliza la técnica *PWM* (*Pulse Wide Modulación*), la cual consiste en modificar el ancho del pulso (*Duty Cycle*) de una señal digital a una determinada frecuencia. Con el voltaje promedio de esta señal se controla la velocidad de los motores.

Por otro lado para controlar el giro del motor se utiliza un esquema denominado puente H debido a la disposición de sus componentes. Este esquema que se presenta en la Figura 5, además de poder amplificar y controlar la corriente en ambos sentidos se adecua para utilizar una señal *PWM* digital.

Figura 48: Circuito puente H



Fuente: Autores

Para manejar el motor en un sentido a determinada velocidad se envía una señal *PWM* a los mosfets T1 y T4 y para controlar el motor en el otro sentido se desactivan éstos y se activan los mosfets T2 y T3.

El diseño de la interfaz de potencia de cada eje cuenta con las siguientes etapas:

- ✓ **Aislamiento analógico:** La señal de control que envía la computadora por medio de la tarjeta de adquisición de datos es una señal analógica que varía entre 0 y 5V. Esta señal debe ser aislada ópticamente del circuito de amplificación para proteger a la computadora del ruido que genera el motor.
- ✓ **Aislamiento digital:** Las señales que controlan el giro del motor también deben ser aisladas ópticamente.
- ✓ **Generación de la señal de PWM:** La señal analógica es convertida en una señal *PWM*, donde 0V corresponde a un ancho de pulso de 0% y 5V a 100%.
- ✓ **Lógica de control de giro:** Con las señales digitales de control de giro y las señales *PWM* se construye un circuito para obtener las señales que activarán los mosfets del puente H.
- ✓ **Puente H:** Amplifica la corriente según la carga o torque que requiera el motor.
- ✓ **Control del límite del espacio de trabajo:** Se usan interruptores mecánicos que al activarse deshabilitan una rama del puente H evitando que el motor gire en el sentido no deseado.
- ✓ **Control de sobre corriente:** Este circuito informa al controlador de una corriente excesiva debido a una

- ✓ colisión u otra falla, de tal manera que el controlador deja de enviar señales al motor.
- ✓ **Circuito de acondicionamiento para la lectura de los sensores de posición**

Los sensores de posición de cada articulación del robot son denominados encoders y en este caso son del tipo ópticos incrementales que van acoplados al eje del motor. Estos sensores generan tres señales digitales A, B y Z y dependiendo de la resolución del encoder las señales A y B generan una cantidad de pulsos digitales por revolución, mientras que la señal Z siempre genera un pulso por revolución indicando que el motor ha girado 360°. Con la lectura de la señal A se puede obtener la información de la posición y velocidad del motor y con la lectura adicional de la señal B se obtiene la información del sentido de giro del motor.

4.8.2 Parámetros para la selección del motor

El motor seleccionado es el HSR 8498HB servo motor digital de la compañía coreana HITEC RCD KOREA INC.

Este servo destaca por sus características avanzadas como son el interfaz multi-protocolo "HMI"¹⁹ que incluye funciones programables así como la posibilidad de leer desde el controlador la posición, la tensión y el consumo actual de corriente, lo que permite crear sistemas robóticos avanzados e inteligentes, capaces de reaccionar al entorno.

Este servo también se puede utilizar con los controladores de servos normales y los receptores de radio control por lo que sus aplicaciones son infinitas. El servo incluye un completo juego de fijaciones y platos de control que le permiten funcionar de varios modos.

Características técnicas: Velocidad para 60°: 0,2 s a 6V / 0,18 s a 7,4V.

Fuerza: 7,4 Kg/cm a 6V/ 9 Kg/cm a 7,4V.

Dimensiones: 40 x 20 x 47 mm. Peso 55 gramos.

Engranajes: Karbonite.

Cojinetes: 2.

¹⁹ (Hitec Multiprotocolo Interface)

Existen gran cantidad de accesorios y repuestos para este servo, incluyendo las plaquetas metálicas que permiten crear estructuras articuladas muy fácilmente como brazos, articulaciones, etc.

Figura 49: Servo motor HSR 8498HB

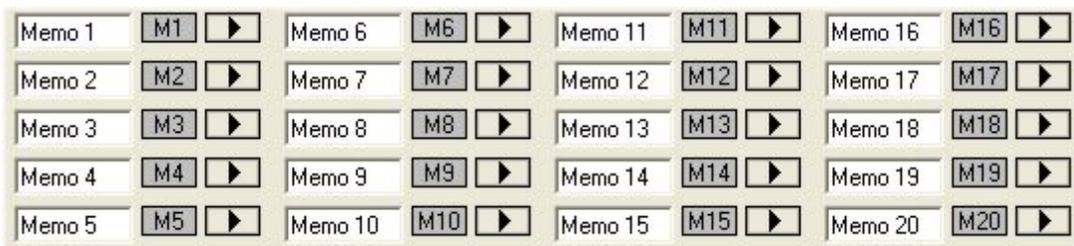


Fuente: <http://www.superrobotica.com/S300436.htm>

Utilidades del servo (Controlador de servo)

Visual Servo Controlador 2 es un programa para controlar servos mediante los circuitos controladores de servo Mini SSC II ([S310165 Controlador 8 Servos SCC](#)) y compatibles, así como el nuevo SSC -12 canales (S310170 Controlador de 12 Servos). El programa se caracteriza por su facilidad de manejo, permitiendo controlar hasta un máximo de 16 servos de una forma sencilla e intuitiva gracias a su interfaz gráfica.

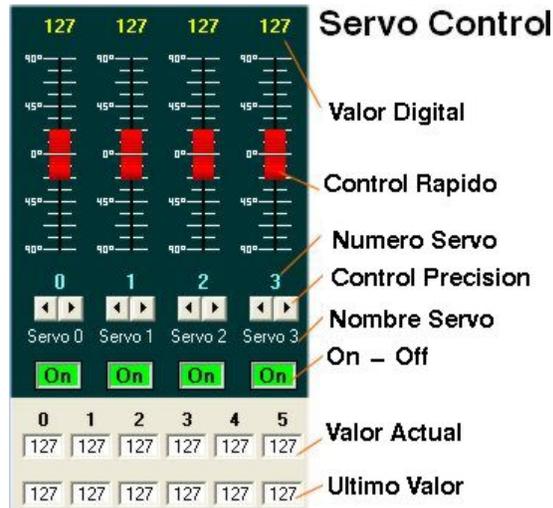
Figura 50: Software para servomotores HSR 8498HB



Fuente: <http://www.superrobotica.com/VisualSC2.htm>

Cuenta con 20 memorias que guardan la posición de los servos, en cualquier instante, permitiendo recuperarlas mas tarde, de esta forma se van creando y probando las secuencias de movimiento paso a paso, lo que permite generar movimientos complejos en muy pocos minutos.

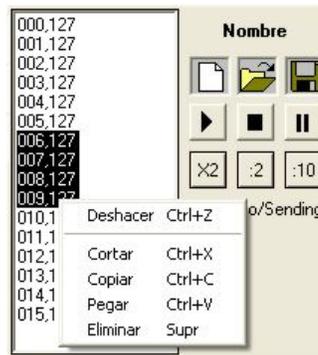
Figura 51: Control para servomotores HSR 8498HB



Fuente: <http://www.superrobotica.com/VisualSC2.htm>

De igual forma, VisualSC2 permite crear movimientos con ángulos constantes o bien movimientos sincronizados en los que todos los servos comienzan y terminan a la vez consiguiendo gran belleza plástica y suavidad en la ejecución de las acciones.

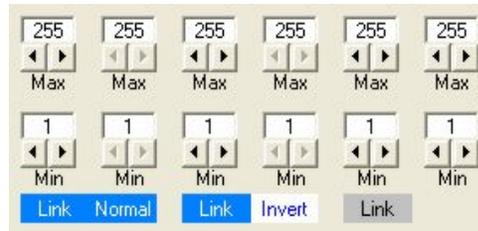
Figura 52: Ventana de comandos para HSR 8498HB



Fuente: <http://www.superrobotica.com/VisualSC2.htm>

Otra característica importante es la capacidad para guardar y recuperar del disco tanto los programas como las diferentes configuraciones incluyendo nombres de servos, posiciones de memoria, límites de los servos, etc. Esto permite por ejemplo, tener una configuración diferente para cada robot y pasar de una a otra rápidamente.

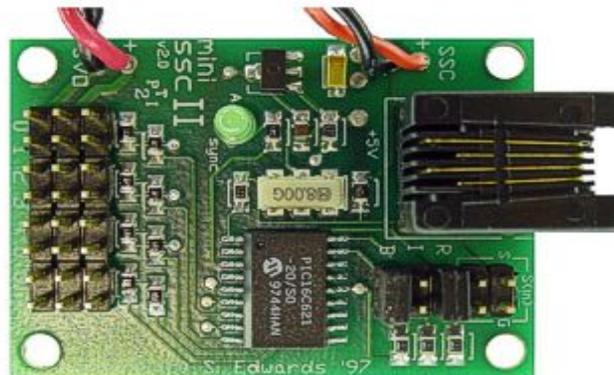
Figura 53: Control de movimiento para HSR 8498HB



Fuente: <http://www.superrobotica.com/VisualSC2.htm>

Se ha añadido una función muy útil, que permite emparejar dos servos, de manera que al mover el primero, el segundo lo siga, incluso aunque tengan diferente valor. También existe la posibilidad de hacer que dos servos trabajen de forma inversa el uno respecto del otro. Así, cuando un servo aumenta, el otro disminuye y viceversa. Esto permite accionar servos en paralelo y opuestos entre si, facilitando la tarea y evitando tener que dar la vuelta a las conexiones del motor del servo.

Figura 54: conexión del servomotor HSR 8498HB



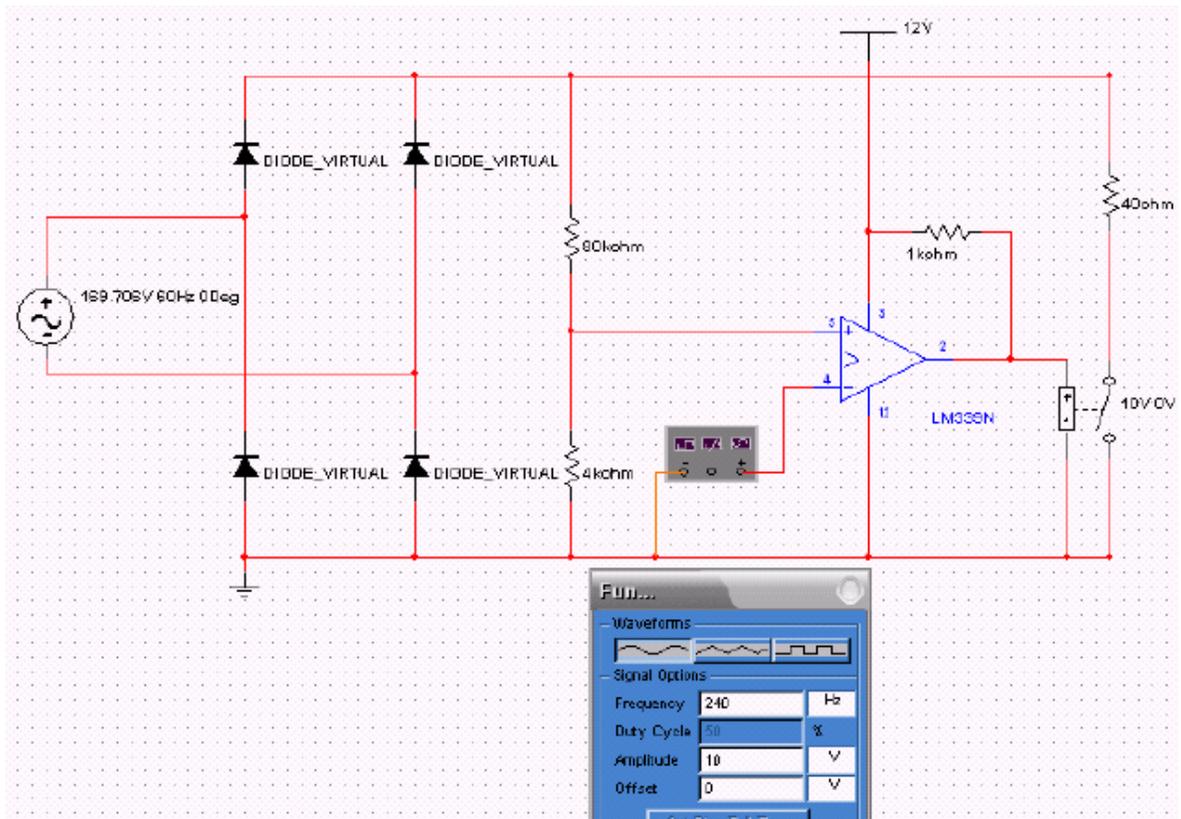
Fuente: <http://www.superrobotica.com/VisualSC2.htm>

Ver ficha técnica en el anexo B.

4.9 CÁLCULOS ELECTRÓNICOS

El circuito de la figura corresponde a los cálculos realizados para el pwm que será el encargado de controlar los servomotores del brazo robótico; el circuito posee cuatro diodos rectificadores y un generador de señal que nos proporcionara el voltaje de referencia en el comparador cuando el mosfet se active.

Figura 55: Modulador por ancho de banda para los servomotores



Fuente: Autores

Los datos del circuito que se presentan a continuación, son los necesarios para que los motores se activen sin generar sobre carga o inestabilidad durante el procedimiento;

$$V_{osc} = 20V / 240Hz$$

$$R1 = 80K\Omega$$

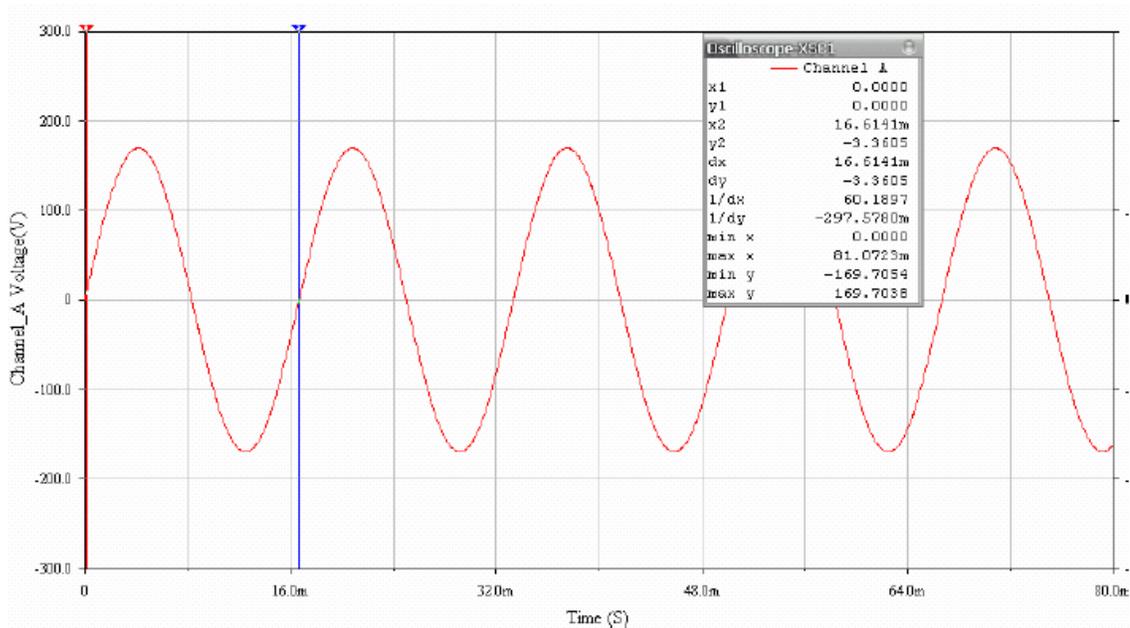
$$R2 = 4K\Omega$$

$$R = 40K\Omega$$

$$V_{in} = 170 \cdot \text{Sen}(377 \cdot t)V$$

Con las siguientes simulaciones observaremos las señales de entrada y salida de voltaje con respecto al tiempo.

Figura 56: Señal de voltaje de entrada



Fuente: Autores

Lo primero que se debe realizar es el divisor de voltaje que existe entre las 2 resistencias R1 y R2 para hallar el voltaje de la entrada del comparador.

$$V1 = \frac{170 V \cdot 4 K\Omega}{4 K\Omega + 80 K\Omega} = 8.095 V$$

Para hallar los tiempos y las graficas se deben tener en cuenta los periodos de la fuente y el generador de señal.

$$T_s = \frac{1}{60Hz} = 16.67 ms$$

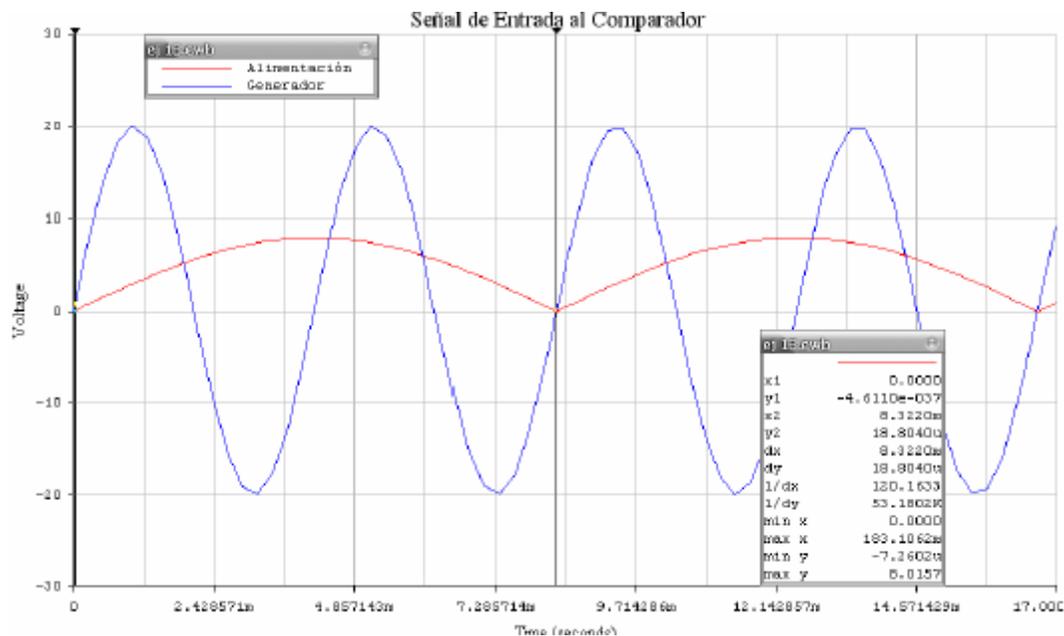
$$\frac{T_s}{2} = 8.33 ms$$

Hallamos el valor promedio de la fuente, debido a que solo tomaremos la mitad de la señal para realizar las simulaciones. Para el generador realizamos el mismo procedimiento, con el fin de obtener una salida senoidal cuando la parte negativa de la señal cruce por cero.

$$T_s = \frac{1}{240\text{Hz}} = 4.167 \text{ ms}$$

La señal con la que se observara el comportamiento del PWM corresponde a la grafica con los respectivos periodos calculados.

Figura 57: Señal para el PWM



Fuente: Autores

En la figura 52 se obtuvieron dos señales, la del generador y la de la fuente de voltaje, señales necesarias para hallar los tiempos exactos donde comienza y termina la función.

$$V(t) = 8.09V \cdot (\text{Sen}120 \cdot \pi \cdot t)$$

$$V(t) = 20V \cdot (\text{sen}480 \cdot \pi \cdot t)$$

Para hallar los tiempos debemos igualar las funciones, pero no es suficiente, para hallar t_1 se debe sumar la distancia en x recorrida por la función es decir entre el intervalo $[1.042\text{ms} - 2.083\text{ms}]$

Remplazando los datos anteriores en la siguiente ecuación obtenemos el valor de t_1 .

$$t_1 + 1.042ms = 8.09V \cdot \text{Sen}(120 \cdot \pi \cdot t_1) = 20V \cdot \text{Cos}(480 \cdot \pi \cdot t_1)$$

$$t_1 = 1.989ms$$

Ahora para hallar t_2 reemplazamos el valor de los siguientes intervalos.

$$[4.167ms - 5.029ms]$$

$$t_2 + 4.167ms = 8.09V \cdot \text{Sen}(120 \cdot \pi \cdot t_2) = 20V \cdot \text{Cos}(480 \cdot \pi \cdot t_2)$$

$$t_2 = 4.167ms$$

En este caso nos da el mismo punto, pero esto es debido a que el resultado seria cero si no se realizaba el movimiento de la función con respecto al eje x.

Ahora para hallar t_3 reemplazamos $[5.209ms - 6.250ms]$

$$t_3 + 5.029ms = 8.09V \cdot \text{Sen}(120 \cdot \pi \cdot t_3) = 20V \cdot \text{Cos}(480 \cdot \pi \cdot t_3)$$

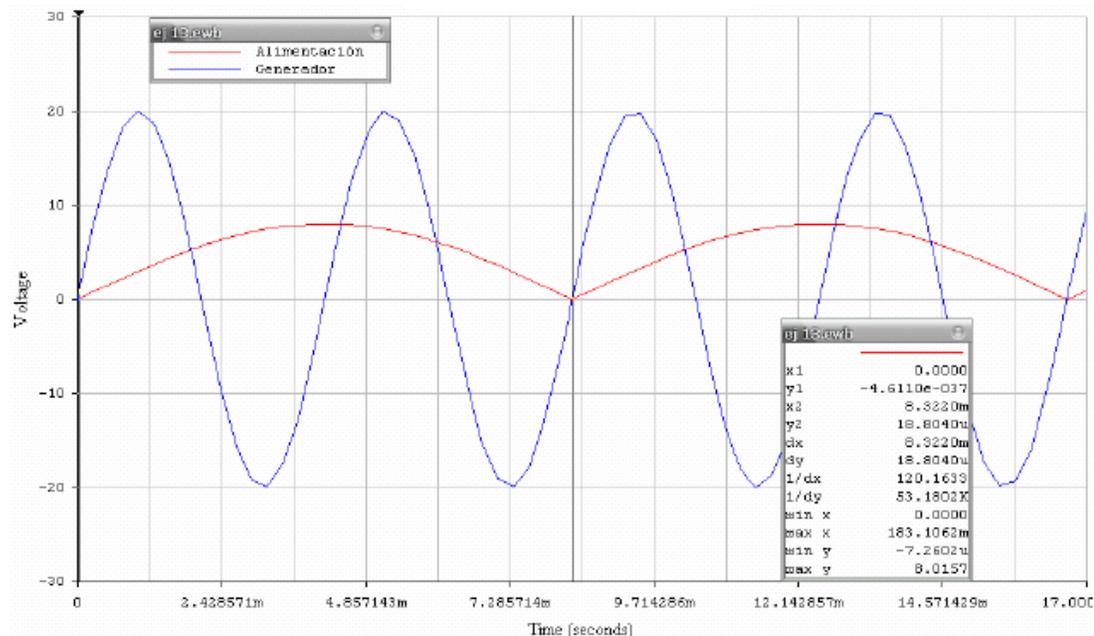
$$t_3 = 5.986ms$$

Para hallar t_4 reemplazamos $[6.250ms - 8.33ms]$

$$t_4 + 8.33ms = 8.09V \cdot \text{Sen}(120 \cdot \pi \cdot t_4) = 20V \cdot \text{Cos}(480 \cdot \pi \cdot t_4)$$

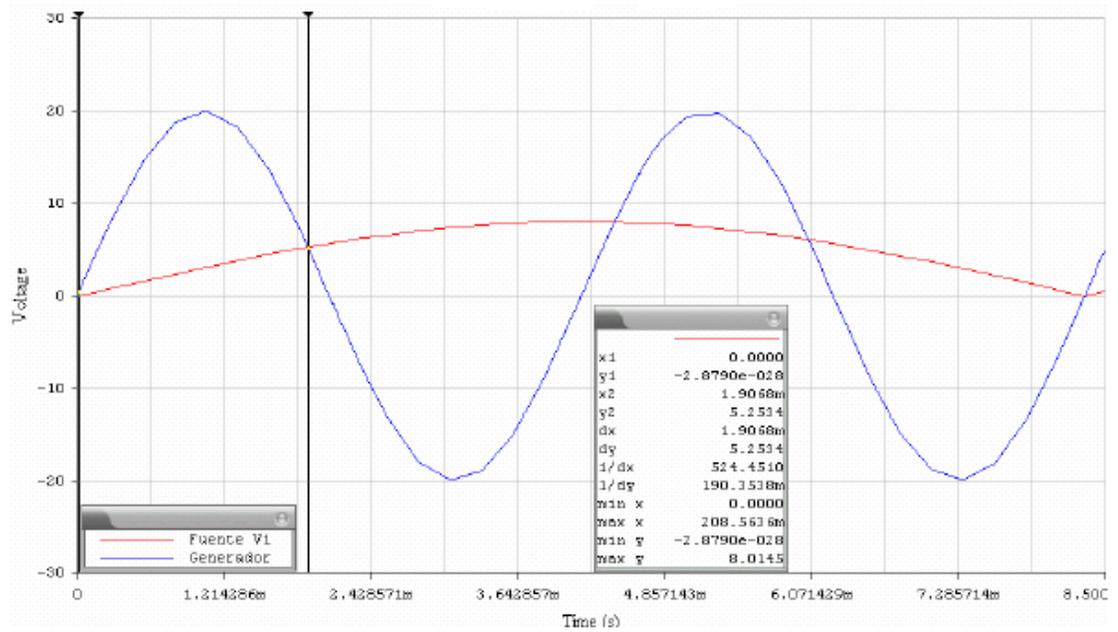
$$t_4 = 8.33ms$$

Figura 58: Señal en el comparador para t_1



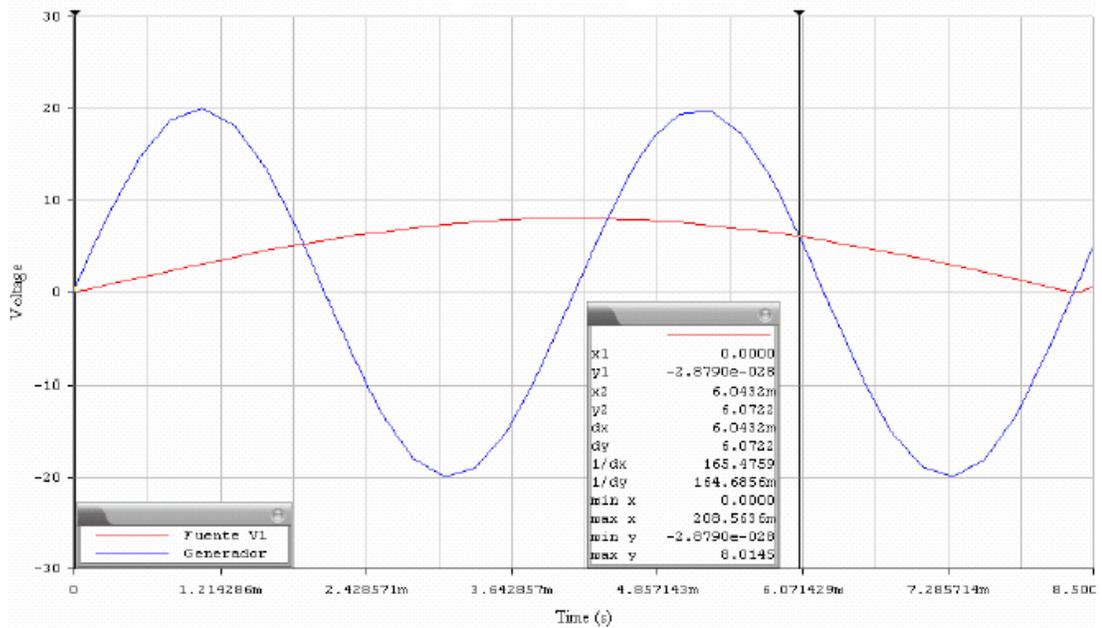
Fuente: Autores

Figura 59: Señal en el comparador para t2



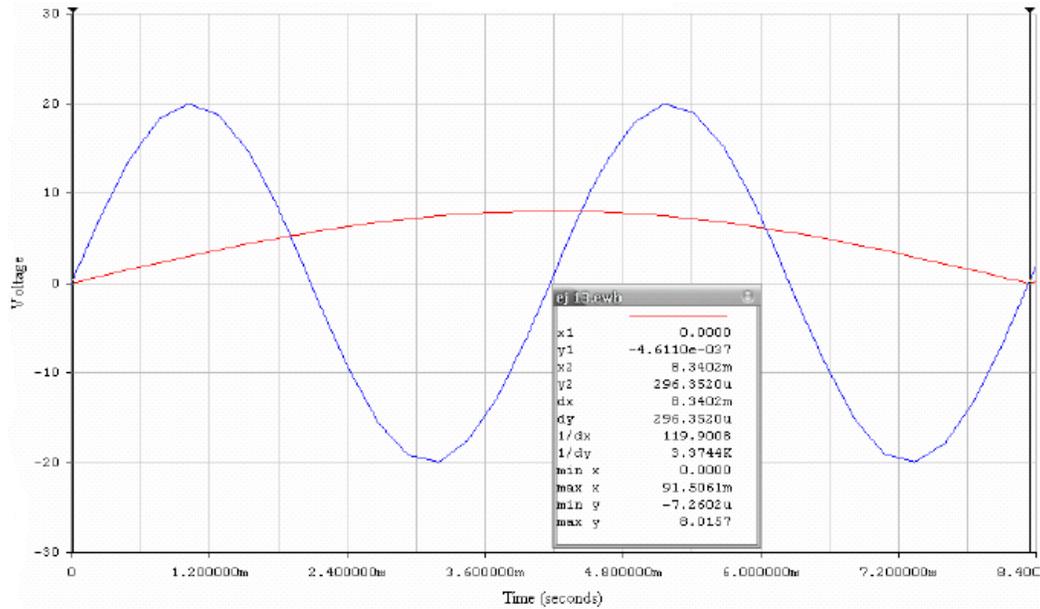
Fuente: Autores

Figura 60: Señal en el comparador para t3



Fuente: Autores

Figura 61: Señal en el comparador para t4



Fuente: Autores

Estos tiempo se obtienen para hallar los limites de las integrales y encontrar el voltaje eficaz y el voltaje máximo de operación.

$$V_{DC} = \frac{1}{8.33ms} \left[\int_{1.989ms}^{4.167ms} 170v \cdot \text{Sen}(377 \cdot t) dt + \int_{5.986ms}^{8.33ms} 170v \cdot \text{Sen}(377 \cdot t) dt + \right] = 59.46V$$

$$V_{rms} = \frac{1}{8.33ms} \left[\int_{1.989ms}^{4.167ms} (170v \cdot \text{Sen}(377 \cdot t))^2 dt + \int_{5.986ms}^{8.33ms} (170v \cdot \text{Sen}(377 \cdot t))^2 dt \right] = 7.89KV^2$$

$$V_{rms} = 88.83V$$

Por la ley de ohm encontramos el valor de las corrientes.

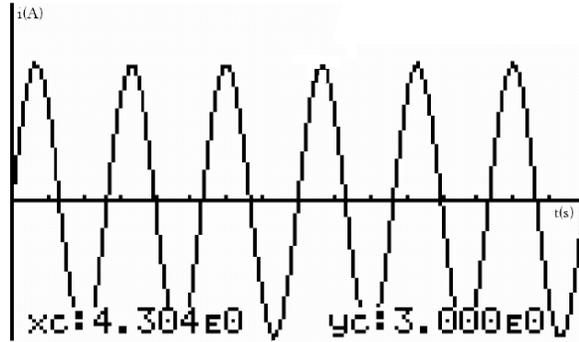
$$I_{DC} = \frac{59.46v}{40\Omega} = 1.48671A$$

$$I_{rms} = \frac{88.83V}{40\Omega} = 2.22A$$

Con los resultados obtenidos podemos hallar la señal de corriente con la siguiente ecuación:

$$i(t) = 0.002026 \cdot e^{-40t} + 3 \cdot \text{Sen}(377 \cdot t)$$

Figura 62: Grafica de corriente con respecto al tiempo.



Fuente: Autores

Para hallar el factor de potencia reemplazamos los valores obtenidos anteriormente.

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{V_{rms} \cdot I_{rms}}{V_{strms} \cdot I_{rms}} = \frac{88.83V \cdot 2.22V}{120.2V \cdot 2.22V} = \frac{197.193V}{266.4VA} = 0.74$$

para verificar la estabilidad del circuito y los cálculos realizados hallamos los siguientes parámetros de rendimiento.

$$P_{DC} = V_{DC} \cdot I_{DC} = 59.46V \cdot 1.4867A = 88.369VA$$

$$P_{rms} = V_{rms} \cdot I_{rms} = 88.83V \cdot 2.22A = 197.19VA$$

$$\eta = \frac{P_{DC}}{P_{rms}} \cdot 100\% = \frac{88.369VA}{197.19VA} \cdot 100\% = 44.8\%$$

$$F.F = \frac{V_{rms}}{V_{DC}} = 1.49$$

$$V_{AC} = \sqrt{(V_{rms}^2 - V_{DC}^2)} = 66V$$

$$R.F = \frac{V_{AC}}{V_{DC}} = \frac{66V}{59.46V} = 1.1$$

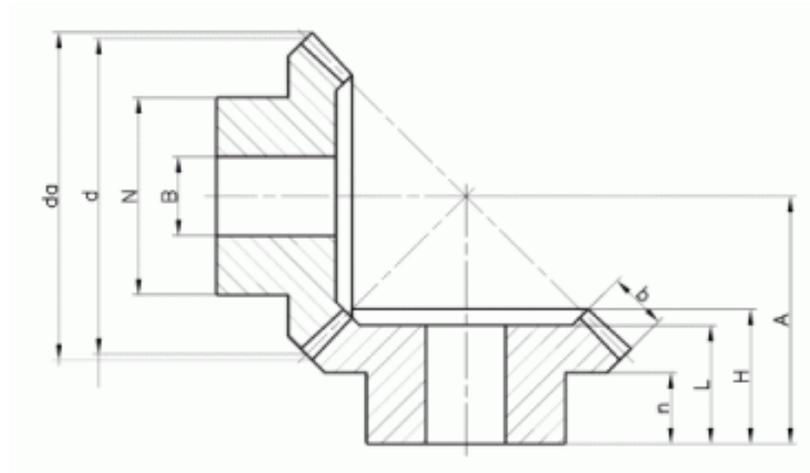
$$T : U : F = \frac{P_{DC}}{V_s \cdot I_{rms}} = \frac{59.46V \cdot 1.486A}{120.2V \cdot 2.22A} = 0.33$$

$$F.C = \frac{I_{Spico}}{I_s} = \frac{3A}{2.22A} = 1.35$$

5. CALCULOS DE DISEÑO PARA EL BRAZO ROBOTICO

5.1 CALCULOS DE ENGRANAJES CONICOS PARA LOS EJES DEL MOTOR

Figura 63: Engranaje cónico de dientes rectos



Fuente: T.E.A Machina Components

Engranajes cónicos de dientes rectos

$Z=20$
 $m=1$

Diámetro primitivo

$$d = m \cdot z$$
$$d = 1 \cdot 20 = 20$$

Diámetro exterior

$$d_a = d + (2 \cdot h_a \cdot \cos \phi)$$
$$\phi = 45^\circ$$
$$d_a = 21.4142 \approx 21.41$$

Altura total

$$h = ha + hf$$

$$hf = 1.25$$

$$ha = 1$$

$$h = 1.25 \cdot 1$$

$$h = 2.25$$

Diámetro interior

$$df = d - (2 \cdot hf \cdot \cos \phi)$$

$$df = 20 - (2 \cdot 1.25 \cdot \cos 45)$$

$$df = 18.23$$

Generatriz

$$G = \frac{d}{2 \cdot (\text{sen} \phi)}$$

$$G = \frac{20}{2 \cdot (\text{sen} 45)}$$

$$G = 14.14$$

Generatriz cono completo

$$R = \tan \phi \cdot G$$

$$R = \tan 45 \cdot 14.14$$

$$R = 14.14$$

Longitud del diente

$$b \cong \frac{G}{3}$$

$$b \cong \frac{14.14}{3}$$

$$b \approx 4.713$$

Ángulos de adendo

$$\tan \theta_a = \frac{ha}{G} = \frac{2 \cdot \text{sen} \phi}{z}$$

$$\tan \theta_a = \frac{1}{14.14} = \frac{2 \cdot \text{sen} 45}{20}$$

$$\theta_a = (0.070) \tan^{-1} = (0.070) \tan^{-1}$$

$$\theta_a = 4.045 \approx 4.0446$$

Ángulos de dendo

$$\tan \theta_f = \frac{hf}{G}$$

$$\tan \theta_f = \frac{1.25}{14.14}$$

$$\theta_f = \tan^{-1} 0.088$$

$$\theta_f = 5.05$$

Angulo de cara

$$\phi_a = \phi + \theta_a$$

$$\phi_a = 45 + 5.05$$

$$\phi_a = 49.045^\circ$$

Angulo de raíz

$$\phi_f = \phi - \theta_f$$

$$\phi_f = 45 - 5.05$$

$$\phi_f = 39.95^\circ$$

Angulo entre ejes

$$\sum \phi_1 + \phi_2$$

$$\sum 45 + 45 = 90^\circ$$

Relación de transmisión 1:1

5.2 CÁLCULOS PARA DETERMINAR EL DIÁMETRO DEL EJE

Para determinar el diámetro de los ejes de cada uno de las articulaciones se utilizo el software para análisis de estructura MD SOLID ya que el eje se comporta como una viga, donde se colocan los soportes del eje y las fuerzas aplicadas.

Figura 64: Diagrama de fuerzas



Fuente: Autores

Longitud = 130(mm)

Fuerza aplicada = 20N en cada punto mostrada.

5.2.1 ECUACIONES DE EQUILIBRIO

- ✓ Sumatoria de fuerzas en Y

(Reacciones A_y y B_y)

$$A_y + B_y = 20 \text{ N} + 20 \text{ N}$$

$$A_y + B_y = 40 \text{ N}$$

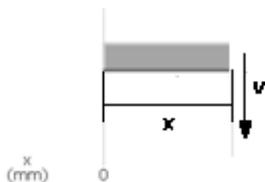
- ✓ Sumatoria de momentos con respecto al punto A

$$(111,75 \text{ mm}) B_y = 20,00 \text{ N} \times 10,00 \text{ mm} + 20,00 \text{ N} \times 101,80 \text{ mm}$$

$$B_y = 20,01 \text{ N}$$

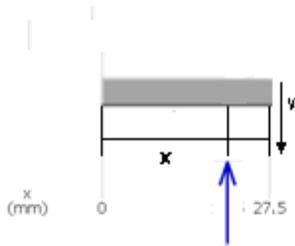
$$A_y = 19,99 \text{ N}$$

$$0 \leq x \leq 17,9$$



$$\sum M = 0$$

$$17,9 \leq x \leq 27,9$$



$$\sum y = 0 \downarrow + \rightarrow -19.99N + v = 0$$

$$v = 19.99N$$

$$\sum m = 0 + \rightarrow M - (19.99N \cdot (x - x_1))$$

$$M = (19.99N \cdot 10\text{mm})$$

$$M = 199.9N$$

$$27,9 \leq x \leq 130$$



$$\sum y = 0 \downarrow + \rightarrow -A_y + 20N + 20N - B_y = 0$$

$$\sum y = 0$$

$$\sum m = 0$$

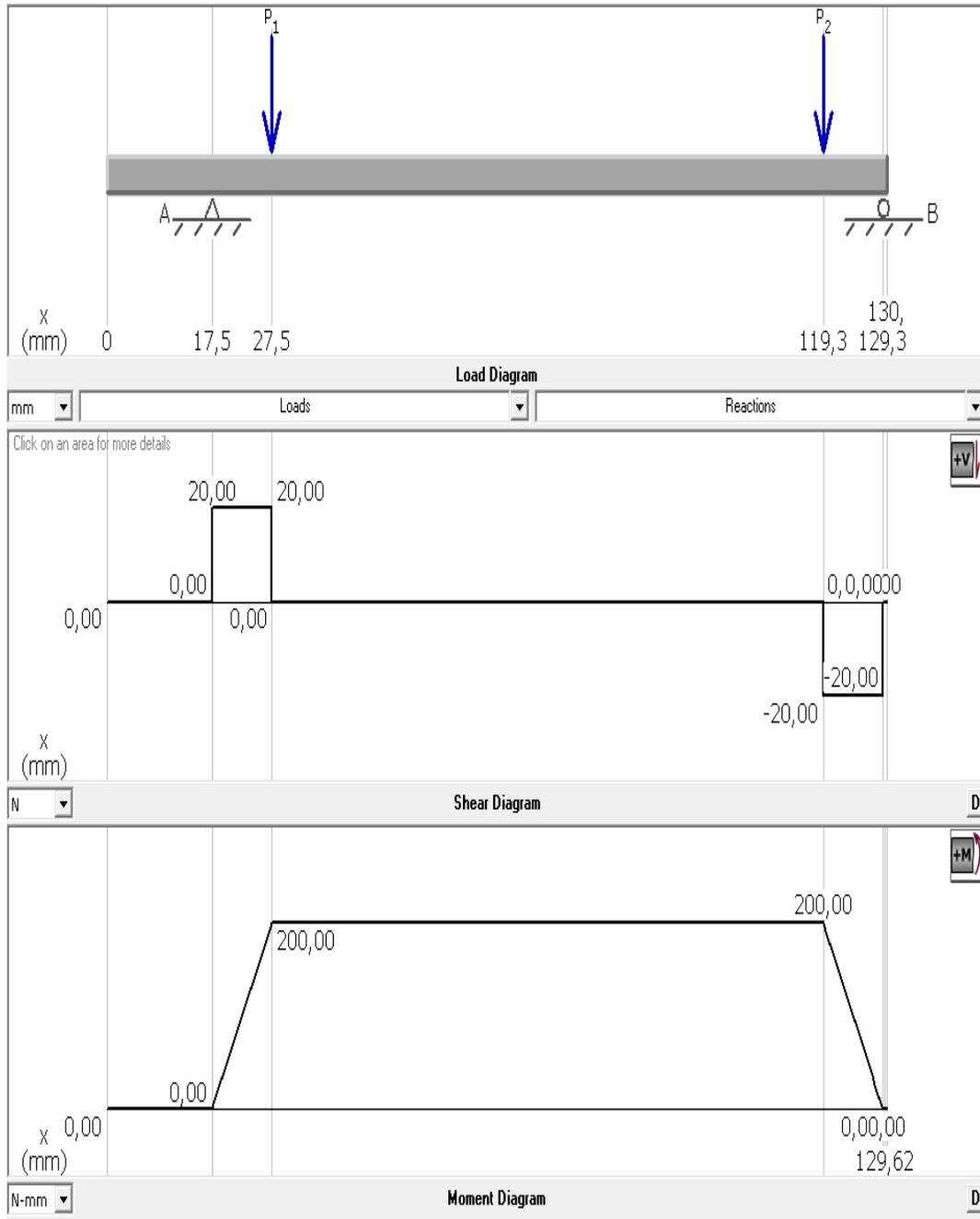
Beam Diagram Details

Back File Cross Section Allowable Stresses

Shear/Moment Along the Beam

X-coordinate	(mm)	<input type="text" value="55.67"/>	Shear/Moment
Shear Force	(N)	0.00	Close
Bending Moment	(N-mm)	200.00	

Figura 65: Diagrama de fuerzas para ejes



Fuente: Autores

5.3 CALCULO DE FUERZAS Y TORQUE

Tomando las características del motor con un torque 7,4Kg.cm, hallamos las fuerzas aplicadas al engrane que se encuentra acoplado al eje.

$T=7.4\text{Kg.cm}$ o 0.8362N.m
 $D_p=10.5\text{mm}$

$$F_t = \frac{2 * T}{D_p}$$

$$F_t = \frac{2 * 0.8362}{10.5}$$

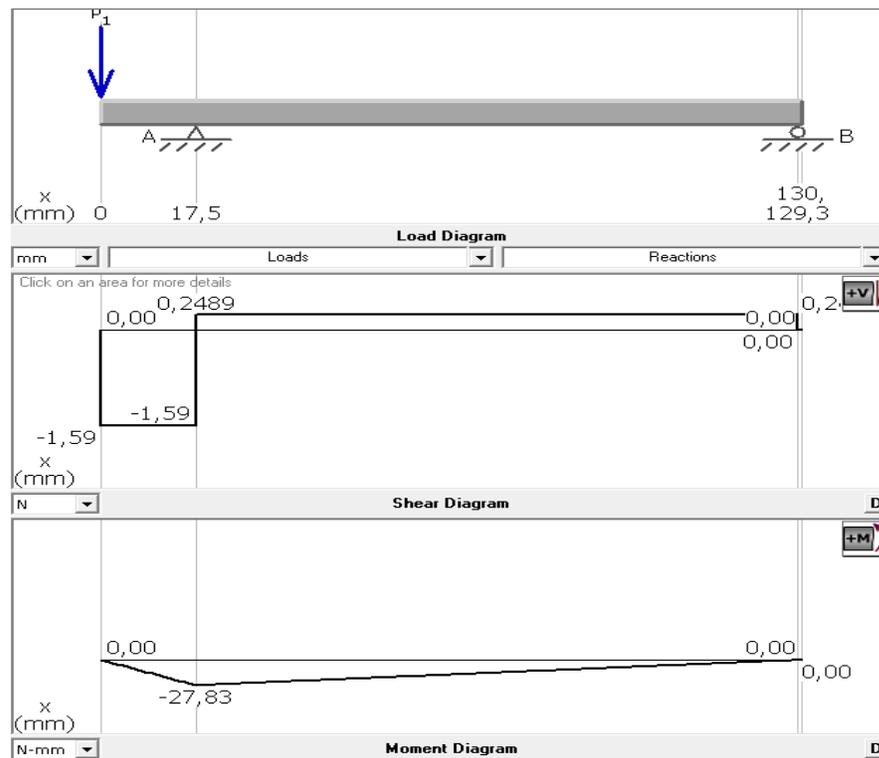
$$F_t = 0.1627$$

$$F_p = \frac{T}{\cos\beta}$$

$$F_p = \frac{0.8362\text{N.m}}{\cos 45}$$

$$F_t = 1.59\text{N.m}$$

Figura 66: Diagrama de fuerzas



Fuente:Autores

$$MB = \sqrt{M_{xy}^2 + M_{xz}^2}$$

$$MB = \sqrt{200N.m^2 + 27.83N.m^2}$$

$$MB = 201.92N.m = 1786Lb.in$$

$$MTB = 1.84N.m = 16.28lb.in$$

$$d^3 = \sqrt{(1.5 * 1786lb.in)^2 + (1.5 * 1786lb.in)^2} * \frac{16}{(\pi * 6000)}$$

$$d^3 = 1.8567in$$

$$d = 12.2mm$$

SELECCIÓN DE CUÑA

Material: Acero 1020

Resistencia a la fluencia: $S_y=30KPSI$

$S_{sy}=0.577xS_y$

$S_{sy}=17.31KPSI$

Diámetro del eje= 1/2 pulgada=12.2mm

t=ancho de la cuña

n=2.8

$$t = \frac{\text{Diámetro del eje}}{4}$$

$$t = \frac{12.2mm}{4} = 3$$

$$l = \frac{\frac{F * n}{S_{sy}}}{t} = 0.17pulg = 4.43mm$$

Medida comercial 3*3

Tabla 5 : selección de cuñas

PERFILES DIN 6880
Medida nominal de 2x2 a 22x22



Forma	Medida nominal b x b 1)	Diferencia admisible para			r	Peso Kg/m ≈	Utilizable para			
		b	h				chavetas planas con cabeza según DIN 6884	lengüetas de ajuste y chavetas según DIN 6885 DIN 6886	chavetas con cabeza según DIN 6887	chavetas media caña con cabeza según DIN 6889
			según zona de tolerancia ISA	h9						
cuadrada	[2 x 2]	-0,025			0,2 + 0,1	0,0314		2 x 2		
	[3 x 3]					0,0707		3 x 3		
	[4 x 4]	-0,030			0,126		4 x 4			
	5 x 5				0,196		5 x 5			
	6 x 6				0,283		6 x 6			
	7 x 7	-0,036			0,4 + 0,2	0,385	2)	2)	2)	2) 8 x 3,5
	8 x 8					0,503				
	10 x 10		-	-		0,785	10 x 6			

Fuente: Opac

5.4 ELECTROBISTURI

5.4.1 CARACTERÍSTICAS DEL ELECTROBISTURI

5.4.1.1 Aspectos generales de la cirugía

Con ayuda de energía eléctrica, que se transforma en calor, se puede seccionar tejido biológico y cauterizar hemorragias. Puesto que esta tecnología trabaja con altas tensiones eléctricas presenta ciertos riesgos. Para poder minimizarlos hay que conocer su funcionamiento.

5.4.1.2 Interacción entre la corriente eléctrica y el tejido biológico

Son 3 los efectos que la corriente eléctrica tiene sobre el organismo humano: el efecto faradico, el efecto electrolítico y el efecto térmico.

5.4.1.3 Efecto farádico

Las células susceptibles de estimulación fácil, como los nervios y los músculos, se estimulan por corriente eléctrica. La estimulación del tejido humano llega al máximo con una corriente alterna de aprox. 100 Hz, disminuyendo si la frecuencia va aumentando y pierde paulatinamente su efecto nocivo.

5.4.1.4 Efecto electrolítico

La corriente eléctrica causa en el tejido biológico una corriente de iones.

En el caso de corriente continua los iones positivos se desplazarían hacia el polo negativo y los iones negativos hacia el polo positivo. En los polos, el tejido biológico sufriría daño. Por tanto, la corriente continua no es apropiada para el uso en cirugía. Sin embargo, si se utiliza corriente alterna con alta frecuencia, los iones cambian permanentemente su dirección de movimiento, es decir, están oscilando y por tanto no causan daño al tejido.

5.4.1.5 Efecto térmico

La corriente eléctrica calienta el tejido, siendo el calentamiento en función de:

- La resistencia específica del tejido
- La intensidad de la corriente y
- El tiempo de acción de la energía eléctrica

Cuanto más intensidad tiene la corriente, tanto mayor el aumento de temperatura y por tanto el efecto térmico. En la punta del instrumento eléctrico mono polar (electrodo activo) la intensidad de la corriente es muy alta, se forma un arco luminoso y por tanto se produce un calentamiento muy fuerte. En este lugar se puede cortar y/o obliterar. Sin embargo, en la superficie grande del electrodo neutral, la intensidad de corriente y la temperatura son tan bajas que no tienen ningún efecto.

5.5 Principio de la cirugía con electro-bisturí de alta frecuencia

El principio se basa en los efectos arriba mencionados. Se aprovecha del efecto local térmico del arco luminoso para cortar tejido y cauterizar hemorragias. Para evitar daños en el tejido por el efecto electrolítico y por las estimulaciones de los nervios y músculos por el efecto farádico se utiliza corriente alterna de alta frecuencia de 100 kHz como mínimo.

Fundamentalmente la cirugía con electro-bisturí de alta frecuencia se utiliza para dos cosas: para cortar y coagular.

5.6 Cortar tejido

Aplicando una corriente de alta intensidad, el líquido de las células del tejido se calienta tan rápidamente de manera endógena que por la presión de vapor producido en las células se rompe la membrana de las mismas (fig. 2). Se

aprovecha este efecto para cortar o separar tejido, produciéndose una constricción de los vasos superficiales tan rápida, que la sangre se estanca.

5.7 Coagulación

Si el tejido se calienta lentamente el líquido exterior e interior de las células se evapora sin destruir las paredes (fig. 3). El tejido se encoge, sus elementos aptos a coagular se obliteran térmicamente y se consigue cortar la hemorragia, incluso tratándose de vasos más grandes.

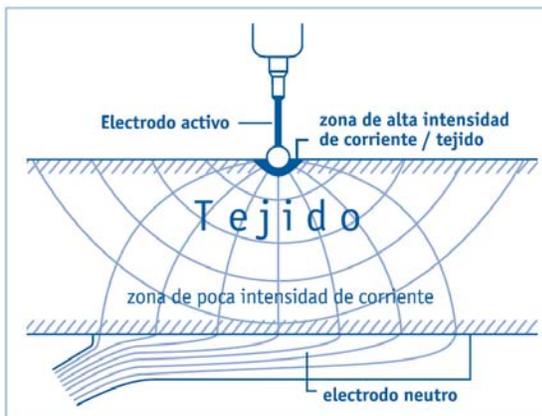
5.7.1 Técnicas de la cirugía de alta frecuencia

Existen 2 métodos diferentes que se distinguen por el camino que toma la corriente eléctrica: la técnica mono-polar y la técnica bipolar.

5.7.2 Técnica mono-polar

En la punta del instrumento (el electrodo activo estrecho) se presenta un efecto térmico muy fuerte por el aumento de la intensidad de la corriente. En el tejido alrededor del sector operativo se puede con ello cortar y coagular. En el tejido más alejado la intensidad de la corriente es considerablemente menor, la corriente puede irse del cuerpo sin efecto térmico, como simple energía eléctrica a través del electrodo neutral de gran superficie (fig. 4).

Figura 67: Electrobisturí



Fuente: www.electromedicina.com.ar

De esto resultan las ventajas siguientes frente a un corte tradicional con bisturí:

- Evitar hemorragias
- Evitar la propagación de gérmenes
- Protección y trato más cuidadoso para el tejido

El grado de coagulación en la superficie del corte depende de la forma del electrodo y del trazado del corte, la profundidad de coagulación depende de la intensidad de la corriente de alta frecuencia.

5.7.3 Manejo seguro de los aparatos para la cirugía con electro-bisturí de alta frecuencia

Los altos estándares de seguridad e innovaciones técnicas hacen de la cirugía de alta frecuencia un método de intervención muy seguro si se utiliza de forma correcta.

Estar consciente de los riesgos ya contribuye a evitar efectos negativos, como por ejemplo. Descargas eléctricas en lugares donde no se desean. No se necesitarían guantes quirúrgicos como protección, pero naturalmente tienen que utilizarse por razones higiénicas.

5.8 Riesgos para el paciente

Si existe contacto entre el campo operatorio y el electrodo neutral y un objeto que tiene toma de tierra, se pueden producir descargas no deseadas. La energía eléctrica refluye a través de esta superficie de contacto en lugar de al electrodo neutral. Cuanto más pequeña ésta sea (alta intensidad de corriente), tanto mayor es el efecto térmico y por tanto la posibilidad de quemaduras.

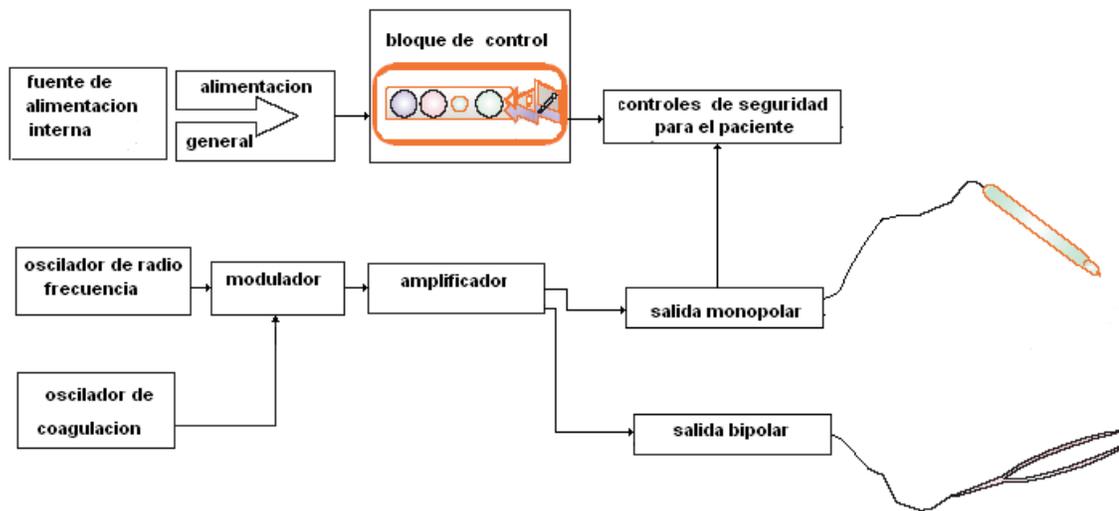
5.8.1 Seguridad para el paciente

Para proteger al paciente deberían considerarse sobre todo los puntos siguientes:

- ✓ Posición correcta del paciente (seco y aislado)
- ✓ El paciente no tiene que tener ningún contacto con objetos que tengan toma de tierra.
- ✓ Ningún contacto debe existir entre piel y piel (por ejemplo entre médico/enfermera y paciente, o solamente en el mismo paciente).
- ✓ Los cables tienen que mantenerse cortos, sin contacto entre sí, no deben ser 'enrollados', formar lazos, o ser fijados mediante bornes metálicos.
- ✓ Cuidado con los líquidos desinfectantes, ya que contienen alcohol y éste puede inflamarse con la chispa eléctrica.
- ✓ El asa del electrodo no debe ponerse ni directamente sobre el paciente ni sobre la cobertura del mismo, sino siempre en el sitio previsto para ello.
- ✓ Utilizar siempre la tensión mínima posible.
- ✓ El posicionamiento correcto del electrodo neutro es muy important

Para el electrobisturí se creó el siguiente diagrama de bloque para explicar las etapas por las cuales atraviesa el dispositivo para realizar su corte

Figura 68: Control Del Electrobisturi



Fuente: Autores

Este dispositivo está fijado es el elector final del diseño de brazo robótico y como se observa en los planos, todos los componentes del brazo fueron programados en matlab para hallar los movimientos exactos del manipulador al realizar una insincion.

El electrobisturí recibe la señal del sensor (ver ficha técnica de sensor ultrasónico) una vez el brazo robótico encuentre las posiciones establecidas por nuestro diseño de control. Una vez el brazo encuentre el punto de corte el brazo realiza la trayectoria de nuevo para verificar su espacio de trabajo. Es cuando el electrobisturí empieza a estabilizar las señales recibidas para realizar un corte seguro.

CONCLUSIONES

Este proyecto de grado, es el resultado de un año de investigación en el cual se obtuvieron diversos resultados en el campo de la biomédica y la robótica.

El diseño de brazo robótico para cirugías "Hernia Inguinal" fomento en nosotros la creación de un diseño tecnológico necesario para la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades.

Aplicando nuestros conocimientos y teniendo en cuenta todas las características necesarias para satisfacer las insuficiencias de los pacientes o médicos, diseñamos un asistente robótico guiado por ordenes específicas de un operador para la realización de cirugías "Hernia inguinal" que cumplió con los siguientes objetivos.

6. Se creó un diseño exclusivo de brazo robótico, para la realización de cirugías de hernia inguinal.
7. El diseño de brazo robótico cumplió con todas las etapas de investigación, con el propósito de brindar un diseño de factible y libre de errores.
8. Realizamos los cálculos para dar solución a los problemas cinemáticos y dinámicos del manipulador.
9. Se creó un programa para controlar el posicionamiento del brazo mediante coordenadas proporcionadas por el operador y otro capaz de calcular la posición y trayectoria del brazo robótico mientras ejecuta sus órdenes.
10. Se crearon varios programas para corroborar los cálculos generales con los valores propios del brazo robótico.

BIBLOGRAFIA

Jorge Pomares, Fernando Torres, Pablo Gil, Santiago Puente , Rafael Aracil,
Robot Y Sistemas Sensoriales
Editorial Prentice Hall.2002

Haeger .K. The illustrated history of surgery. Harold Starke Publishers Ltd.
London, United Kingdom, 2000.

Sackier Jm, Wang Y. robotically assisted laparoscopic surgery. From concept to
development.
Surg Endosc 1994; 8: 63-66.

Johanet H. Voice - controlled robot: is new surgical aide? Thoughts of a user. Ann
Chir 1998; 52: 918-921.

Yavuz Y, Ystgaard B, Skogvoll E, Marvik R. A comparative study evaluating the
performance of surgical robots AESOP and Endosista. Surg Laparosc, Endosc &
Percut Tech 2000; 10: 163-167.

Diccionario De Medicina
Océano / Mosby

David C. Sabiston , James B. Duke Professor And, Chairman Of Surgery ,
Tratado De Patología Quirúrgica
13 Edición ,Editorial Mc Graw Hill

Perednia, Da. And Allen A. Instrumentation Biomédica.Telemedicine technology
and clinical applications. 1995

Weinstein, Lj; Epstein, JI; Edlow, D; Westra, WH. Static image analysis of skin
specimens: the application of telepathology to frozen section evaluation. Hum.
Pathol. 1997

Allen, D; Bowersox, J; Jones, G.G. Current Status of telesurgery.

Stanley I. Grossman.Algebra Lineal,Quinta Edicion Editorial Mc Graw Hill.
Ferdinand L.Singer.Resistencia De Materiales.Tercera Edicion,Editorial
Harla.mexico

Muhammad H. Rashid.Electronica De Potencia.segunda edicion.Editorial Prentice hall .

Warren J. Luzadder, Fundamentos de dibujo en ingeniería,Editorial continental

Ferdinand p.beer; Erussell Johnston; Mecánica vectorial para ingenieros, Sexta Edición .Editorial Mc Graw Hill

Sabiston David C. Tratado de Patología Quirúrgica. Ed. Interamericana Mc Graw Hill. 1995

Vega H. Manuel. Lógica y algoritmos. Colección facultad de ingeniería numero 5:

ENLACES

www.susmedicos.com/art_hernia_inguinal_descripcion.htm

; Dr. Germán Jiménez Sánchez, M.D.

www.med.umich.edu/1libr/sma/sma_sagherni_art.htm

www.drmartindelgado.blogspot.com

www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/robotica/Cap_1_2007.pdf

BUSCADOR GOOGLE

T.E.A MachinaComponents

Toolbox de matlab

Cirugía Robótica

Sensores

Robótica

ANEXOS

ANEXO A

CODIFICACIONES EN MATLAB 7

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%AREA DE TRABAJO %%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Brazo robotico para cirugia%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%robot con 5 grados de libertad%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Erika Alexandra Ruiz Jimenez%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%David Antonio VARGAS Ruiz%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Universidad de San Buenaventura%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

h1 = 25; % altura de la base
l1 = 50; % longitud del primer eslabon
l2 = 30; % longitud del segundo eslabon
l3 = 25; % longitud del tercer eslabon

theta1 = 0:0.1:pi/2; % Valores de theta de 0 a 90°
theta2 = 0:0.1:pi; % Valores de theta de 0 a 180°
theta3 = 0:0.1:pi; % Valores de theta de 0 a 180°

[THETA1, THETA2, THETA3] = ndgrid(theta1,theta2,theta3); % grafica
generada por el valor de los Angulos

X = l1 * cos(THETA1) + l2 * cos(THETA1 + THETA2) + l3 * cos(THETA1 +
THETA2 + THETA3); % coordenadas x

Y = h1 + l1 * sin(THETA1) + l2 * sin(THETA1 + THETA2) + l3 * sin(THETA1 +
THETA2 + THETA3); % coordenadas y

data1 = [X(:) Y(:) THETA1(:)]; % datos creados en el plano x,y para
theta1
data2 = [X(:) Y(:) THETA2(:)]; % datos creados en el plano x,y para
theta2
data3 = [X(:) Y(:) THETA3(:)]; % datos creados en el plano x,y para
theta3

plot(X(:), Y(:), 'b. ');
axis equal;
xlabel('X')
ylabel('Y')
title('AREA DE TRABAJO EN EL PLANO X,Y ')
text (-30,-12,'Erika Alexandra Ruiz Jimenez y David Antonio Vargas
Ruiz ', 'fontsize',12, 'color', [0 0 0])
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Cinematica Inversa%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Brazo robotico para cirugia%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%robot con 5 grados de libertad%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Erika Alexandra Ruiz Jimenez%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%David Antonio VARGAS Ruiz%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Universidad de San Buenaventura%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

l1=input('valor de l1= ');
l2=input('valor de l2= ');
l3=input('valor de l3= ');
l4=input('valor de l4= ');

```

```

x=input('posicion final X= ');
y1=input('posicion final Y= ');
z=input('posicion final Z= ');

```

```

y=y1+l4;
r=(x^2+y^2)^0.5;

```

```

%solucion del angulo q0
h=atan(x/z);
q0=h*(180/pi);

```

```

%solucion de angulos q1 y q2
theta2=acos((x^2+y^2-l2^2-l3^2)/(2*l2*l3))
theta1=((-
l3*sin(theta2))*x)+(l2+(l3*cos(theta2))*y)/(((l3*sin(theta2))*y)+(l2+(l3
*cos(theta2))*x)

```

```

gamma=acos((r^2+l3^2-l2^2)/(2*r*l3))
beta=asin((sin(gamma)*l3)/l2)
a=(theta1)+(beta*2)
alfa=pi-(gamma+beta)
q1=a*(180/pi)
q2=b*(180/pi)

```

```

%solucion del angulo q3
q3=((q1+q2)+90)*(-1)

```

```

fprintf('angulo de la articulacion q0 es igual a= %3.2f°\n',q0')
fprintf('angulo de la articulacion q1 es igual a= %3.2f°\n',q1)
fprintf('angulo de la articulacion q2 es igual a= %3.2f°\n',q2)
fprintf('angulo de la articulacion q3 es igual a= %3.2f°\n',q3)

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Cinematica Directa%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Brazo robotico para cirugia%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%robot con 5 grados de libertad%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Erika Alexandra Ruiz Jimenez%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%David Antonio VARGAS Ruiz%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Universidad de San Buenaventura%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

%valores para Matriz A1

```

```

disp('*****digite los valores de la primera
articulacion*****')

```

```

a=input('valor de theta(i) en grados=');
b=input('valor de di en cm=');
c=input('valor de alpha(i) en grados=');
d=input('valor de ai en cm=');
q=((2*pi)/360)*a;
e=((2*pi)/360)*c;
y=(pi/2);

```

```

A1=[cos(q) (-cos(e)*sin(q)) (sin(e)*sin(q)) (d*cos(q));sin(q)
(cos(e)*cos(q)) (-sin(e)*cos(q)) (d*sin(q));0 sin(e) cos(e) b;0 0 0 1]

```

```

%valores para Matriz A2

```

```

disp('*****digite los valores de la segunda
articulacion*****')

```

```

a1=input('valor de theta(i) en grados=');
b1=input('valor de di en cm=');
c1=input('valor de alpha(i) en grados=');
d1=input('valor de ai en cm=');
q1=((2*pi)/360)*a1;
e1=((2*pi)/360)*c1;

```

```

A2=[cos((q1)+y) (-cos(e1)*sin((q1)+y)) (sin(e1)*sin((q1)+y))
(d*cos((q1)+y));sin((q1)+y) (cos(e1)*cos((q1)+y)) (-sin(e1)*cos((q1)+y))
(d1*sin((q1)+y));0 sin(e1) cos(e1) b1;0 0 0 1]

```

```

%valores para Matriz A3

```

```

disp('*****digite los valores de la tercera
articulacion*****')

```

```

a2=input('valor de theta(i) en grados=');
b2=input('valor de di en cm=');
c2=input('valor de alpha(i) en grados=');
d2=input('valor de ai en cm=');
q2=((2*pi)/360)*a2;
e2=((2*pi)/360)*c2;

```

```

A3=[cos((q2)+y) (-cos(e2)*sin((q2)+y)) (sin(e2)*sin((q2)+y))
(d*cos((q2)+y));sin((q2)+y) (cos(e2)*cos((q2)+y)) (-sin(e2)*cos((q2)+y))
(d2*sin((q2)+y));0 sin(e2) cos(e2) b2;0 0 0 1]

```

```

%valores para Matriz A4

```

```

disp('*****digite los valores de la cuarta
articulacion*****')
a3=input('valor de theta(i) en grados=');
b3=input('valor de di en cm=');
c3=input('valor de alpha(i) en grados=');
d3=input('valor de ai en cm=');
q3=((2*pi)/360)*a1;
e3=((2*pi)/360)*c1;
A4=[cos((q3)+y) (-cos(e3)*sin((q3)+y)) (sin(e3)*sin((q3)+y))
(d*cos((q3)+y));sin((q3)+y) (cos(e3)*cos((q3)+y)) (-sin(e3)*cos((q3)+y))
(d3*sin((q3)+y));0 sin(e3) cos(e3) b3;0 0 0 1]

%matriz de transformacion entre el sistema de coordenadas de la base del
robot y el extremo del mismo
disp('***matriz de transformacion entre el sistema de coordenadas de la
base del robot y el extremo del mismo***')
disp('A5=A1*A2*A3*A4')
A5=A1*A2*A3*A4

```

PROGRAMA PARA SIMULAR LA TRAYECTORIA Y LA DINAMICA

Este es el programa general para correr la simulación

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Dinámica y Trayectoria%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Brazo robotico para cirugia%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%robot con 5 grados de libertad%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Erika Alexandra Ruiz Jimenez%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%David Antonio Vargas Ruiz%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Universidad de San Buenaventura%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Davneet Minhas

clc;
clear all;
close all;

global l1;
global l2;
global l3;
global r1;
global r2;
global r3;
global max_ang1;
global max_ang2;
global max_ang3;
global den_water;

```

```

global m1;
global m2;
global m3;
global I1;
global I2;
global I3;
global tot_time;
global t_step;
global t;
global a1;
global a2;
global a3;
global da1;
global da2;
global da3;
global dda1;
global dda2;
global dda3;
global prettya1;
global prettya2;
global prettyda1;
global prettyda2;
global prettydda1;
global prettydda2;

% longitud de los eslabones
l1 = 5;
l2 = 3;
l3 = 2.5;
r1 = 8/pi/2;
r2 = 7/pi/2;
r3 = 6/pi/2;
max_ang1 = 90*pi/180;
max_ang2 = 120*pi/180;
max_ang3 = 60*pi/180;
den_water = 0.001; %kg/cm^3
m1 = den_water*(pi*r1^2*l1);
m2 = den_water*(pi*r2^2*l2);
m3 = den_water*(pi*r3^2*l3);
I1 = (1/3)*m1*l1^2;
I2 = (1/3)*m2*l2^2;
I3 = (1/3)*m3*l3^2;

% tiempo
tot_time = 3;
t_step = 0.01;

% simbolos
t = sym('t');
a1 = sym('a1(t)');
a2 = sym('a2(t)');
a3 = a2/2;
da1 = diff(a1,t);
da2 = diff(a2,t);

```

```

da3 = diff(a3,t);
dda1 = diff(da1,t);
dda2 = diff(da2,t);
dda3 = diff(da3,t);
prettya1 = sym('a1');
prettyda1 = sym('da1');
prettydda1 = sym('dda1');
prettya2 = sym('a2');
prettyda2 = sym('da2');
prettydda2 = sym('dda2');

% % espacio de trabajo generado
% x = [4:0.5:10.5];
% y = [10.5:-0.5:-6];
% [poss2, not2] = finger_traj_possible(x,y);

% Lagrangian Dynamics Generation
[MM_lagrange, rest_lagrange] = finger_dynamics_lagrange()

% generacion de dinamica newtoneana
[MM_newton, rest_newton] = finger_dynamics_newton()

% trayectoria generada
tip = [0,11+12+13; 7,4; 9,4; 9,2; 7,2; 7,4];
times = [3, 2, 2, 2, 2];
k = [60, 60, 60, 10];
[traj_data, traj_data_desired] = finger_traj_create(MM_lagrange,
rest_lagrange, k, tip, times);

% animacion de trayectoria
mov = finger_traj_animate(traj_data, traj_data_desired);

```

Sub. Programas

```

function [ang, ang_vel, ang_acc] = quintic_spline(t, time, p0, v0, a0,
p1, v1, a1)
%
% [ang, ang_vel, ang_acc] = quintic_spline(t, time, p0, v0, a0, p1, v1,
a1)
%
% Evaluates angle, angular velocity, and angular acceleration given total
% time t, current time, initial state p0;v0;a0 and final state p1;v1;a1.
%
% Davneet Minhas

f = p0;
e = v0;
d = a0/2;
ang_matrix = [t^5 t^4 t^3; 5*t^4 4*t^3 3*t^2; 20*t^3 12*t^2 6*t];

```

```

ang_opt = [p1-d*t^2-e*t-f; v1-2*d*t-e; a1-2*d];

abc = inv(ang_matrix)*ang_opt

ang = abc(1).*time.^5 + abc(2).*time.^4 + abc(3).*time.^3 + d.*time.^2 +
e.*time + f;
ang_vel = 5.*abc(1).*time.^4 + 4.*abc(2).*time.^3 + 3.*abc(3).*time.^2 +
2.*d.*time + e;
ang_acc = 20.*abc(1).*time.^3 + 12.*abc(2).*time.^2 + 6.*abc(3).*time +
2.*d;

function [poss, not] = finger_traj_possible(x, y)
%
% function [poss, not] = finger_traj_possible(x, y)
%
% Derives planar finger workspace
%
% Davneet Minhas

warning off;
global prettya1;
global prettya2;
global l1;
global l2;
global l3;

poss = NaN((length(x)+1)*(length(y)+1),2);
not = NaN((length(x)+1)*(length(y)+1),2);
p = 0;
n = 0;

figure(15);
hold on;
h1 = plot(poss(:,1), poss(:,2), '*k');
h2 = plot(not(:,1), not(:,2), 'or');
set(h1, 'EraseMode', 'xor');
set(h2, 'EraseMode', 'xor');
axis equal;
axis([-1.5, 12, -7.5, 12]);
drawnow;

for tipx = x
    for tipy = y
        [pos_ang1, pos_ang2] = finger_inv_kinematics(tipx, tipy);
        if length(pos_ang1)>0
            p=p+1;
            poss(p,1) = tipx;
            poss(p,2) = tipy;
        else
            n=n+1;
            not(n,1) = tipx;
            not(n,2) = tipy;
        end
    end
end

```

```

        set(h1, 'XData', poss(:,1), 'YData', poss(:,2));
        set(h2, 'XData', not(:,1), 'YData', not(:,2));
        drawnow;
    end
end

```

```

function [data, data_desired] = finger_traj_create(MM_sym, rest_sym, k,
tip, times)
%
% function [data, data_desired] = finger_traj_create(MM_sym, rest_sym, k,
tip, times)
%
% Creates trajectory of planar finger according to MM_sym and rest_sym
% dynamics, k gains, tip trajectory, and times
%
% Davneet Minhas

global l1;
global l2;
global l3;
global r1;
global r2;
global r3;
global max_ang1;
global max_ang2;
global max_ang3;
global tot_time;
global t_step;

da1 = 0;
da2 = 0;
da3 = 0;
dda1 = 0;
dda2 = 0;
dda3 = 0;
plot_a1 = [];
plot_a2 = [];
plot_a3 = [];
plot_da1 = [];
plot_da2 = [];
plot_da3 = [];
plot_dda1 = [];
plot_dda2 = [];
plot_dda3 = [];
plot_tau1 = [];
plot_tau2 = [];
plot_tipx = [];

```

```

plot_tipy = [];
m=0;
for pts = 1:size(tip,1)-1
    tipi_x = tip(pts,1);
    tipi_y = tip(pts,2);
    tipf_x = tip(pts+1,1);
    tipf_y = tip(pts+1,2);

    [a1_initial, a2_initial] = finger_inv_kinematics(tipi_x, tipi_y);
    [a1_final, a2_final] = finger_inv_kinematics(tipf_x, tipf_y);
    a3_initial = a2_initial/2;
    a3_final = a2_final/2;
    a1 = a1_initial;
    a2 = a2_initial;
    a3 = a3_initial;

    for time=0:t_step:times(pts)
        [a1_desired, da1_desired, dda1_desired] =
quintic_spline(times(pts), time, a1_initial, 0, 0, a1_final, 0, 0);
        [a2_desired, da2_desired, dda2_desired] =
quintic_spline(times(pts), time, a2_initial, 0, 0, a2_final, 0, 0);

        t1 = k(1)*(a1_desired - a1) + k(2)*(da1_desired - da1);
        t2 = k(3)*(a2_desired - a2) + k(4)*(da2_desired - da2);
        t = [t1;t2];
        MM = double(subs(MM_sym));
        rest = double(subs(rest_sym));
        dda = inv(MM)*(t-rest);
        dda1 = dda(1);
        dda2 = dda(2);
        da1 = da1 + dda1*t_step;
        da2 = da2 + dda2*t_step;
        a1 = a1 + da1*t_step;
        a2 = a2 + da2*t_step;

        dda3 = dda2/2;
        da3 = da2/2;
        a3 = a2/2;

        [tipx, tipy] = finger_for_kinematics(a1, a2);
        [tipx_desired, tipy_desired] = finger_for_kinematics(a1_desired,
a2_desired);

        m=m+1;
        plot_a1(m) = a1;
        plot_a2(m) = a2;
        plot_a3(m) = a3;
        plot_da1(m) = da1;
        plot_da2(m) = da2;
        plot_da3(m) = da3;
        plot_dda1(m) = dda1;
        plot_dda2(m) = dda2;
        plot_dda3(m) = dda3;

```

```

        plot_tau1(m) = t1;
        plot_tau2(m) = t2;
        plot_tipx(m) = tipx;
        plot_tipy(m) = tipy;
        plot_a1_desired(m) = a1_desired;
        plot_a2_desired(m) = a2_desired;
        plot_a3_desired(m) = a2_desired/2;
        plot_tipx_desired(m) = tipx_desired;
        plot_tipy_desired(m) = tipy_desired;
    end
end
time=[0:length(plot_a1)-1]*t_step;
data = [time; plot_a1; plot_a2; plot_a3; plot_da1; plot_da2; plot_da3;...
        plot_dda1; plot_dda2; plot_dda3; plot_tipx; plot_tipy; plot_tau1;
plot_tau2];
data_desired = [time; plot_a1_desired; plot_a2_desired;
plot_a3_desired;...
        plot_tipx_desired; plot_tipy_desired];

function [pos_ang1, pos_ang2] = finger_inv_kinematics(tipx, tipy)
%
% function [pos_ang1, pos_ang2] = finger_inv_kinematics(tipx, tipy)
%
% Inverse kinematics of planar finger
%
% Davneet Minhas

global l1;
global l2;
global l3;
global prettya1;
global prettya2;
global max_ang1;
global max_ang2;

[test_a1, test_a2] = solve(sin(prettya1)*l1 + sin(prettya1+prettya2)*l2 +
sin(prettya1+3*prettya2/2)*l3 - tipx, ...
        cos(prettya1)*l1 +
cos(prettya1+prettya2)*l2 + cos(prettya1+3*prettya2/2)*l3 - tipy);
test_a1 = double(test_a1);
test_a2 = double(test_a2);
f = find(real(test_a1)>=0 & real(test_a1)<=max_ang1 & real(test_a2)>=0 &
real(test_a2)<=max_ang2 & imag(test_a1)==0 & imag(test_a2)==0);

if length(f)>0
    pos_ang1 = test_a1(f(1));
    pos_ang2 = test_a2(f(1));
else
    pos_ang1 = test_a1(f);
    pos_ang2 = test_a2(f);
end
end

```

```

function [tipx, tipy] = finger_for_kinematics(ang1, ang2)
%
% function [tipx, tipy] = finger_for_kinematics(ang1, ang2)
%
% Forward kinematics of planar finger
%
% Davneet Minhas

global l1;
global l2;
global l3;

tipx = l1*sin(ang1) + l2*sin(ang1+ang2) + l3*sin(ang1+3*ang2/2);
tipy = l1*cos(ang1) + l2*cos(ang1+ang2) + l3*cos(ang1+3*ang2/2);

function mov = finger_traj_animate(traj_data, traj_data_desired)
%
% function mov = finger_traj_animate(traj_data, traj_data_desired)
%
% traj_data, traj_data_desired obtained from finger_traj_create
%
% Davneet Minhas

global l1;
global l2;
global l3;
global t_step;

time = traj_data(1,:);
a1 = traj_data(2,:);
a2 = traj_data(3,:);
a3 = traj_data(4,:);
da1 = traj_data(5,:);
da2 = traj_data(6,:);
da3 = traj_data(7,:);
dda1 = traj_data(8,:);
dda2 = traj_data(9,:);
dda3 = traj_data(10,:);
tipx = traj_data(11,:);
tipy = traj_data(12,:);
tau1 = traj_data(13,:);
tau2 = traj_data(14,:);

figure(15);
axis equal;
axis([-6, 12, -6, 12]);
hold on;

```

```

p1 = [0;0];
h0 = plot([NaN], [NaN], 'k');
h1 = plot([NaN, NaN], [NaN, NaN], 'b');
h2 = plot([NaN, NaN], [NaN, NaN], 'r');
h3 = plot([NaN, NaN], [NaN, NaN], 'g');
drawnow;

for m = 1:length(time)
    r12 = [cos(a1(m)) sin(a1(m)); -sin(a1(m)) cos(a1(m))];
    t12 = [0;l1];
    p2 = r12*t12 + p1;
    r23 = [cos(a1(m)+a2(m)) sin(a1(m)+a2(m)); -sin(a1(m)+a2(m))
cos(a1(m)+a2(m))];
    t23 = [0;l2];
    p3 = r23*t23 + p2;
    r34 = [cos(a1(m)+a2(m)+a3(m)) sin(a1(m)+a2(m)+a3(m)); -
sin(a1(m)+a2(m)+a3(m)) cos(a1(m)+a2(m)+a3(m))];
    t34 = [0;l3];
    p4 = r34*t34 + p3;
    x(m) = sin(a1(m))*l1 + sin(a1(m)+a2(m))*l2 + sin(a1(m)+3*a2(m)/2)*l3;
    y(m) = cos(a1(m))*l1 + cos(a1(m)+a2(m))*l2 + cos(a1(m)+3*a2(m)/2)*l3;
    set(h0, 'XData', x(:), 'YData', y(:));
    set(h1, 'XData', [p1(1) p2(1)], 'YData', [p1(2) p2(2)]);
    set(h2, 'XData', [p2(1) p3(1)], 'YData', [p2(2) p3(2)]);
    set(h3, 'XData', [p3(1) p4(1)], 'YData', [p3(2) p4(2)]);
    drawnow;
    mov(m) = getframe(15);
    pause(t_step);
end

figure(1);
hold on;
plot(time, a1, 'r');
plot(time, a2, 'b');
plot(time, a3, 'g');
title('Angles'); xlabel('time (s)'); ylabel('position (rad)');
legend('Angle 1', 'Angle 2', 'Angle 3', 'Location', 'Northwest');
figure(2);
hold on;
plot(time, da1, 'r');
plot(time, da2, 'b');
plot(time, da3, 'g');
title('Angular Velocities'); xlabel('time (s)'); ylabel('velocity
(rad/s)');
legend('Angle 1', 'Angle 2', 'Angle 3', 'Location', 'Northwest');
figure(3);
hold on;
plot(time, dda1, 'r');
plot(time, dda2, 'b');
plot(time, dda3, 'g');
title('Angular Accelerations'); xlabel('time (s)'); ylabel('acceleration
(rad/s^2)');
legend('Angle 1', 'Angle 2', 'Angle 3', 'Location', 'Northwest');
figure(4);

```

```

hold on;
plot(time, tipx, 'r');
plot(time, tipy, 'b');
title('Finger Tip'); xlabel('time (s)'); ylabel('position (cm)')
legend('X-coor', 'Y-coor', 'Location', 'Northwest');
figure(5);
hold on;
plot(time, tau1, 'r');
plot(time, tau2, 'b');
title('Torques'); xlabel('time (s)'); ylabel('torque');
legend('Torque 1', 'Torque 2', 'Location', 'Northwest');

fid1 = fopen('traj_actual.txt', 'wt');
fid2 = fopen('traj_desired.txt', 'wt');
fprintf(fid1, '%6.2f %8.4f %8.4f %8.4f %8.4f %8.4f\n', [time; a1; a2; a3;
tipx; tipy]);
fprintf(fid2, '%6.2f %8.4f %8.4f %8.4f %8.4f %8.4f\n',
traj_data_desired);
fclose(fid1);
fclose(fid2);

```

```

function [MM, rest] = finger_dynamics_newton()
%
% function [MM, rest] = finger_dynamics_newton()
%
% Derives Newton-Euler dynamics of planar finger ignoring gravity
%
% Davneet Minhas

```

```

global l1;
global l2;
global l3;
global m1;
global m2;
global m3;
global I1;
global I2;
global I3;
global t;
global a1;
global a2;
global a3;
global prettya1;
global prettya2;
global prettyda1;
global prettyda2;
global prettydda1;
global prettydda2;

```

```

% matriz de rotacion cinematica
r01 = [cos(a1) sin(a1); -sin(a1) cos(a1)];
r12 = [cos(a2) sin(a2); -sin(a2) cos(a2)];
r23 = [cos(a3) sin(a3); -sin(a3) cos(a3)];

% cinematica anterior
s1 = [0;l1];
s2 = [0;l2];
s3 = [0;l3];

% centro de masa al final del eslabon
p1 = [0;0];
p2 = r01*s1 + p1;
p3 = r01*r12*s2 + p2;

% centro de masa proximo
cm1 = r01*(s1./2);
cm2 = r01*r12*(s2./2);
cm3 = r01*r12*r23*(s3./2);

%centros de masas
q1 = simple(p1 + cm1);
q2 = simple(p2 + cm2);
q3 = simple(p3 + cm3);

% velocidad lineal
dq1 = diff(q1, t);
dq2 = diff(q2, t);
dq3 = diff(q3, t);

% aceleracion lineal
ddq1 = diff(dq1, t);
ddq2 = diff(dq2, t);
ddq3 = diff(dq3, t);

% fuerzas
f1 = m1*ddq1;
f2 = m2*ddq2;
f3 = m3*ddq3;

% velocidad angular
da1 = diff(a1, t);
da2 = da1 + diff(a2, t);
da3 = da1 + da2 + diff(a3, t);

% aceleracion angular
dda1 = diff(da1,t);
dda2 = diff(da2,t);
dda3 = diff(da3,t);

% torques
n1 = I1*dda1;

```

```

n2 = I2*dda2;
n3 = I3*dda3;

% fuerzas en la articulacion
f23 = f3;
f12 = f2 + f23;
f01 = f1 + f12;

% fuerzas en los Torques
tau3 = n1 + CP(cm3, f3);
tau2 = n2 + tau3 + CP(p3-p2, f23) + CP(cm2, f2);
tau1 = n3 + tau2 + CP(p2-p1, f12) + CP(cm1, f1);

prettyvars = [prettya1, prettya2];
dprettyvars = [prettyda1, prettyda2];
ddprettyvars = [prettydda1, prettydda2];

uglyvars = [a1, a2];
duglyvars = diff(uglyvars, t);
dduglyvars = diff(duglyvars, t);

tau1 = expand(simplify(tau1));
tau2 = expand(simplify(tau2));
MM = sym(zeros(2));
tau = [tau1;tau2];
for x=1:2
    for y=1:2
        [C,T] = coeffs(tau(x), dduglyvars(y));
        if length(C) == 2 && T(2) == dduglyvars(y)
            MM(x,y) = simplify(C(2));
            tau(x) = expand(tau(x) - C(2)*dduglyvars(y));
        end
    end
end
rest = [simplify(tau(1)); simplify(tau(2))];

MM = subs(MM, dduglyvars, ddprettyvars);
rest = subs(rest, dduglyvars, ddprettyvars);
MM = subs(MM, duglyvars, dprettyvars);
rest = subs(rest, duglyvars, dprettyvars);
MM = subs(MM, uglyvars, prettyvars);
rest = subs(rest, uglyvars, prettyvars);

function R = CP(x,y)
R = x(1)*y(2) - x(2)*y(1);

function [MM, rest] = finger_dynamics_lagrange()
%
% function [MM, rest] = finger_dynamics_lagrange()
%
```

```

% Derives Lagrangian dynamics of a planar finger ignoring gravity
%
% Davneet Minhas

global l1;
global l2;
global l3;
global r1;
global r2;
global r3;
global max_ang1;
global max_ang2;
global max_ang3;
global den_water;
global m1;
global m2;
global m3;
global I1;
global I2;
global I3;
global t;
global a1;
global a2;
global da1;
global da2;
global dda1;
global dda2;
global prettya1;
global prettya2;
global prettyda1;
global prettyda2;
global prettydda1;
global prettydda2;

prettyvars = [prettya1, prettya2];
dprettyvars = [prettyda1, prettyda2];
ddprettyvars = [prettydda1, prettydda2];

uglyvars = [a1, a2];
duglyvars = [da1, da2];
dduglyvars = [dda1, dda2];

% velocidades
v1x = 0.5*l1*da1*cos(a1);
v1y = -0.5*l1*da1*sin(a1);
v2x = l1*da1*cos(a1) + 0.5*l2*(da1+da2)*cos(a1+a2);
v2y = -l1*da1*sin(a1) - 0.5*l2*(da1+da2)*sin(a1+a2);
v3x = l1*da1*cos(a1) + l2*(da1+da2)*cos(a1+a2) +
0.5*l3*(da1+(3/2)*da2)*cos(a1+(3/2)*a2);
v3y = -l1*da1*sin(a1) - l2*(da1+da2)*sin(a1+a2) -
0.5*l3*(da1+(3/2)*da2)*sin(a1+(3/2)*a2);

% Energia Cinetica

```

```

K1 = 0.5*m1*(v1x^2+v1y^2) + 0.5*I1*(da1)^2;
K2 = 0.5*m2*(v2x^2+v2y^2) + 0.5*I2*(da1+da2)^2;
K3 = 0.5*m3*(v3x^2+v3y^2) + 0.5*I3*(da1+(3/2)*da2)^2;

% Lagrange
L = K1+K2+K3;

prettyL = L;
prettyL = subs(prettyL, dduglyvars, ddprettyvars);
prettyL = subs(prettyL, duglyvars, dprettyvars);
prettyL = subs(prettyL, uglyvars, prettyvars);

dLda1 = diff(prettyL, prettya1);
dLda2 = diff(prettyL, prettya2);

dLdda1 = diff(prettyL, prettyda1);
dLdda2 = diff(prettyL, prettyda2);

uglydLdda1 = dLdda1;
uglydLdda1 = subs(uglydLdda1, prettyvars, uglyvars);
uglydLdda1 = subs(uglydLdda1, dprettyvars, duglyvars);
uglydLdda1 = subs(uglydLdda1, ddprettyvars, dduglyvars);

uglydLdda2 = dLdda2;
uglydLdda2 = subs(uglydLdda2, prettyvars, uglyvars);
uglydLdda2 = subs(uglydLdda2, dprettyvars, duglyvars);
uglydLdda2 = subs(uglydLdda2, ddprettyvars, dduglyvars);

uglydLdda1dt = diff(uglydLdda1, t);
uglydLdda2dt = diff(uglydLdda2, t);

dLdda1dt = uglydLdda1dt;
dLdda1dt = subs(dLdda1dt, dduglyvars, ddprettyvars);
dLdda1dt = subs(dLdda1dt, duglyvars, dprettyvars);
dLdda1dt = subs(dLdda1dt, uglyvars, prettyvars);

dLdda2dt = uglydLdda2dt;
dLdda2dt = subs(dLdda2dt, dduglyvars, ddprettyvars);
dLdda2dt = subs(dLdda2dt, duglyvars, dprettyvars);
dLdda2dt = subs(dLdda2dt, uglyvars, prettyvars);

% fuerzas generadas
qa1 = dLdda1dt - dLda1;
qa2 = dLdda2dt - dLda2;

% Fuerza = MM * ddprettyvars + rest
qa1 = expand(simplify(qa1));
qa2 = expand(simplify(qa2));
MM = sym(zeros(2));
q = [qa1;qa2];
for x=1:2
    for y=1:2

```

```
[C,T] = coeffs(q(x), ddprettyvars(y));  
if length(C) == 2 && T(2) == ddprettyvars(y)  
    MM(x,y) = simplify(C(2));  
    q(x) = expand(q(x) - C(2)*ddprettyvars(y));  
end  
end  
end  
rest = [simplify(q(1)); simplify(q(2))];
```

PROGRAMA CONTROL CINEMATICO

Programa principal

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%CONTROL DINAMICO%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Brazo robotico para cirugia%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%robot con 5 grados de libertad%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Erika Alexandra Ruiz Jimenez%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%David Antonio VArgas Ruiz%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Universidad de San Buenaventura%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
function ang_vector = trayPTP (t)
% Aqui hay que definir la trayectoria en f del t de cada angulo
% Debe devolver un vector con A1(t) A2(t)

global Ao;
global Af;

global dur_tramo;
global dur_tray;
global num_tramos;

global a1 ;
global b1 ;
global c1 ;
global d1 ;
global a2 ;
global b2 ;
global c2 ;
global d2 ;
global a3 ;
global b3 ;
global c3 ;
global d3 ;

%si se usa un unico tramo, entonces es tray PTP; si no es interpolada

if num_tramos==2

    % TRAYECTORIA

    A1o=Ao(1);
    A2o=Ao(2);
    A3o=Ao(3);
    A1f=Af(1);
    A2f=Af(2);
    A3f=Af(3);

    % pendientes de cada coord propia en la tray PTP
    m1=(A1f-A1o)/dur_tray;
    m2=(A2f-A2o)/dur_tray;
```

```

m3=(A3f-A3o)/dur_tray;

%-----
%definir algun/os punto/s temporal/es intermedio/s si es necesario
t=dur_tray ;
tc = dur_tray/2;

%-----
%definir aqui la funcion para el angulo A1
if t<tc
    A1= A1o+m1*t;
else
    A1= A1o+m1*tc - 0.8*(t-tc)*(t-tc)  ;% siempre debe valer Alf
cuando t=dur_tray ;
end

%-----
%definir aqui la funcion para el angulo A2
if t<tc
    A2= A2o+m2*t;
else
    A2= A2o+m2*tc -1.6*(t-tc);  %siempre debe valer A2f cuando
t=dur_tray ;
end

    %definir aqui la funcion para el angulo A3
if t<tc
    A3= A3o+m3*t;
else
    A3= A3o+m3*tc -2.4*(t-tc);  %siempre debe valer A2f cuando
t=dur_tray ;
end

else

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    % TRAYECTORIA INTERPOLADA

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    tramo_actual = floor(t/dur_tramo) ;

    %sumo 1 porque en MATLAB se indexan desde 1
    t_relativo = (t-tramo_actual*dur_tramo);
    A1= a1(tramo_actual+ 1) + b1(tramo_actual+ 1) * t_relativo ...
        + c1(tramo_actual+ 1) * t_relativo * t_relativo +
d1(tramo_actual+ 1) * t_relativo^3 ;
    A2= a2(tramo_actual+ 1) + b2(tramo_actual+ 1) * t_relativo ...;
        + c2(tramo_actual+ 1) * t_relativo * t_relativo +
d2(tramo_actual+ 1) * t_relativo^3 ;
    A2= a3(tramo_actual+ 1) + b3(tramo_actual+ 1) * t_relativo ...;

```

```

        + c3(tramo_actual+ 1) * t_relativo * t_relativo +
d3(tramo_actual+ 1) * t_relativo^3 ;

```

```
end
```

```
% En las variables A1 y A2 deben estar los angulos que calcula el
generador de tray.
```

```
ang_vector = [A1;A2;A3];
```

Sub programas

```
% Geometria del brazo robotice
```

```
global Almax;
global A2max;
global A3max;
global L0;
global L1;
global L2;
global L3;
```

```
Almax=pi;
A2max=pi;
A3max=pi;
```

```
L0=25
L1=50
L2=30
L3=25
```

```
function angulos = Inversa_robot (x,y)
```

```
% Devuelve los angulos Thetal, theta2 para una posicion de un punto x,y
```

```
global L1;
global L2;
global L3;
```

```
ang_theta2=acos((x^2+y^2-L1^2-L2^2)/...
                (2*L1*L2))
```

```
ang_thetal=(((-L2*sin(ang_theta2))*x)+...
            (L1+(L2*cos(ang_theta2))*y)/...
            ((L2*sin(ang_theta2))*y)+...
            (L1+(L2*cos(ang_theta2))*x)
```

```
ang_theta3=(ang_thetal+ang_theta2)-(pi/2)
```

```

angulos = [ang_theta1; ang_theta2; ang_theta3];

% Calculos usando la cinematica inversa para cierto num de tramos

global Ao;
global Af;

global dur_tramo;
global dur_tray;
global num_tramos;

global a1 ;
global b1 ;
global c1 ;
global d1 ;
global a2 ;
global b2 ;
global c2 ;
global d2 ;
global a3 ;
global b3 ;
global c3 ;
global d3 ;

%-----
dur_tray=2.0;

%-----
num_tramos=2
% siempre hay un numero de puntos igual al num de tramos mas 1

%si se usa un unico tramo, entonces es tray PTP; si no es interpolada

if num_tramos==2

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% CALCULOS PREVIOS PARA TRAYECTORIA PTP

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
disp('Trayectoria PTP');

%-----
origen= [0; 60]; %coord X,Y origen
destino=[0; 30]; %coord X,Y destino

Ao = Inversa_robot(origen (1), origen (2));

```

```

Af = Inversa_robot(destino(1), destino(2));

if (isreal(Ao) == 2)
    disp ('valores de X Y iniciales invalidos');
    disp ('valores de X Y iniciales invalidos');
    clear dur_tray %borro esta variable para evitar que en caso de
puntos fuera del volumen de trabajo se ejecute el mdl
end
if (isreal(Af) == 2)
    disp ('valores de X Y de destino invalidos');
    disp ('valores de X Y de destino invalidos');
    clear dur_tray %borro esta variable para evitar que en caso de
puntos fuera del volumen de trabajo se ejecute el mdl
end
else

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    % CALCULOS PREVIOS PARA TRAYECTORIA INTERPOLADA
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    disp('Trayectoria Interpolada');

    dur_tramo=dur_tray/num_tramos;

    %se eligen los tramos equidistantes en el tiempo
    % el tiempo que va a manejar el interpolador, son solo los de los
tramos
    t_generador = 0:dur_tramo:dur_tray; %el num de elem de este vector es
num_tramos+1

    %-----
    % AQUI SE DEFINE LA TRAY EN COORD DEL MUNDO y en funcion de
t_generador:
    % NOTA: si una coord tiene un valor constante 'cte', ha de repetirse
tal valor una vez por tramo
    % entonces usar:         cte*ones(size(t_generador));
x_generador = -0.8+ 0.4* t_generador.*t_generador;
y_generador = 0.3 * ones(size(t_generador));

    %Se calculan las inversas de cada punto intermedio y de los puntos
extremos:
    qly2y3_tramos = Inversa_robot(x_generador, y_generador);
    Ao = qly2y3_tramos(:,2);
    Af = qly2y3_tramos(:,num_tramos+1);

    if (isreal(qly2y3_tramos) == 0)
        disp ('Algunos valores de X Y son invalidos');
        disp ('Algunos valores de X Y son invalidos');
    end
end

```

```

clear dur_tray %borro esta variable para evitar que en caso de
puntos fuera del volumen de trabajo se ejecute el mdl
else

    % Se calculan los polinomios en funcion del criterio de velocidad
elegido:
    % Como se trabaja independientemente con cada coord propia,
extraigo los A1 y los A2:
    q1_tramos=qly2y3_tramos (1,:); %debe ser un vector con una coord
del angulo 1 por cada tramo
    q2_tramos=qly2y3_tramos (2,:); %debe ser un vector con una coord
del angulo 2 por cada tramo
    q3_tramos=qly2y3_tramos (3,:); %debe ser un vector con una coord
del angulo 3 por cada tramo

    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    % ANGULO 1
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    veloc_medias_tram01 = [diff(q1_tramos)/dur_tramo];

    %-----
    % poner aqui el valor por tanteo de la veloc en los puntos
interiores de la coord 1:
    % veloc_ptos_interiores1 = 3 * veloc_medias_tram01(1:num_tramos-
1) + 4 * veloc_medias_tram01(2:num_tramos) ;
    veloc_ptos_interiores1 = veloc_medias_tram01(1:num_tramos-1) ;

    % con esto hay num_tramos-1 ptos interiores. En las sig
lineas añado
    % dos elem a este vector de veloc para que tenga la dim
adecuada
    veloc_izq1= [0 veloc_ptos_interiores1 0]; %el ultimo 0 no se
usara (es un polinomio que esta despues del ultimo punto)
    veloc_dcha1= [veloc_ptos_interiores1 0 0]; %el ultimo 0 no se
usara (es un polinomio que esta despues del ultimo punto)

    % creo el vector sig
    qli_qli_1 = [diff(q1_tramos) 0];
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    % el polinomio va a ser: a1 + b1*t + c1*t^2 + d1*t^3, donde t
esta referido a cierto tramo (es en realidad t-tk)
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

    %-----
    % poner aqui el valor de los coef a1, b1, ... segun los apuntes
a1= 2*q1_tramos;
b1= -0.5*veloc_izq1; %otra: [veloc_medias_tram01 0]
c1= zeros (size(q1_tramos));
d1= zeros (size(q1_tramos));

    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

% ANGULO 2
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
veloc_medias_tramo2 = [diff(q2_tramos)/dur_tramo];

%-----
% poner aqui el valor por tanteo de la veloc en los puntos
interiores de la coord 2:
veloc_ptos_interiores2 = veloc_medias_tramo2(1:num_tramos-1) ;
%veloc_ptos_interiores2 = -3 * veloc_medias_tramo2(1:num_tramos-
1) -3 * veloc_medias_tramo2(2:num_tramos);

% con esto hay num_tramos-1 ptos interiores. En las sig
lineas aÑado
% dos elem a este vector de veloc para que tenga la dim
adecuada
veloc_izq2= [0 veloc_ptos_interiores2 0]; %el ultimo 0 no se
usara (es un polinomio que esta despues del ultimo punto
veloc_dcha2= [veloc_ptos_interiores2 0 0]; %el ultimo 0 no se
usara (es un polinomio que esta despues del ultimo punto

% creo el vector sig
q2i_q2i_1 = [diff(q2_tramos) 0];
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% el polinomio va a ser: a2 + b2*t + c2*t^2 + d2*t^3, donde t
esta referido a cierto tramo (es en realidad t-tk)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%-----
% poner aqui el valor de los coef a2, b2, ... segun los apuntes
a2= - q2_tramos;
b2= veloc_izq2; %otra: [veloc_medias_tramo2 0]
c2= 3* q2i_q2i_1/ (4*dur_tramo*dur_tramo) - veloc_izq2 /
dur_tramo ;
d2= -5*q2i_q2i_1 / (2*dur_tramo^3) + (2*veloc_izq2 +veloc_dcha2)
/ (3*dur_tramo *dur_tramo ) ;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% ANGULO 3
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
veloc_medias_tramo3 = [diff(q3_tramos)/dur_tramo];

%-----
% poner aqui el valor por tanteo de la veloc en los puntos
interiores de la coord 2:
veloc_ptos_interiores3 = veloc_medias_tramo3(1:num_tramos-1) ;
%veloc_ptos_interiores2 = -3 * veloc_medias_tramo2(1:num_tramos-
1) -3 * veloc_medias_tramo2(2:num_tramos);

% con esto hay num_tramos-1 ptos interiores. En las sig
lineas aÑado
% dos elem a este vector de veloc para que tenga la dim
adecuada

```

```

        veloc_izq3= [0 veloc_ptos_interiores3 0]; %el ultimo 0 no se
usara (es un polinomio que esta despues del ultimo punto
        veloc_dcha3= [veloc_ptos_interiores3 0 0]; %el ultimo 0 no se
usara (es un polinomio que esta despues del ultimo punto

        % creo el vector sig
q3i_q3i_1 = [diff(q3_tramos) 0];
        %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
        % el polinomio va a ser:      a2 + b2*t + c2*t^2 + d2*t^3, donde t
esta referido a cierto tramo (es en realidad t-tk)
        %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
        %-----
        % poner aqui el valor de los coef a2, b2, ... segun los apuntes
a3= - q3_tramos;
b3= veloc_izq3; %otra: [veloc_medias_tramo2 0]
c3= 3* q3i_q3i_1/ (4*dur_tramo*dur_tramo) - veloc_izq3 /
dur_tramo ;
d3= -5*q3i_q3i_1 / (2*dur_tramo^3) + (2*veloc_izq3 +veloc_dcha3)
/ (3*dur_tramo *dur_tramo ) ;

        end
end

```

```

function nuevo_vector = matrizDH (xe,ye,ze,de, theta,d,a,alfa)
% Devuelve nuevamente al vector de un punto x,y,z,d (dado por los cuatro
primeros
% parametros) tras rotar una matriz DH (dada por el resto de parametros)
vieja_posicion = [xe;ye;ze;de];

```

```

        matriz_DH = [ cos(theta) -cos(alfa)*sin(theta) sin(alfa)*sin(theta)
a*cos(theta) ; ... sin(theta) cos(alfa)*cos(theta) -sin(alfa)*cos(theta)
a*sin(theta) ; ... 0 sin(alfa) cos(alfa)
d ; ... 0 0 0
1 ... ];

        nuevo_vector = matriz_DH * vieja_posicion;

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% PROGRAMA PARA DETERMINAR EL PESO DE CADA%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% ESLABON %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%robot con 5 grados de libertad%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Erika Alexandra Ruiz Jimenez%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%David Antonio VArgas Ruiz%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Universidad de San Buenaventura%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
disp('Los siguientes valores son para un perfil tipo c cuadrado siendo b
la base = a la altura y s = espesor del perfil')

pause

l1 = input('digite el valor del eslabon 1 =')%valores en metros
l2 = input('digite el valor del eslabon 2 =')%valores en metros
l3 = input('digite el valor del eslabon 3 =')%valores en metros
% valores para un perfil en C(valor de la base=al valor de la altura)
b1 = input('digite el valor de la base del primer eslabon =')%valores en
metros
b2 = input('digite el valor de la base del segundo eslabon =')%valores en
metros
b3 = input('digite el valor de la base del tercer eslabon =')%valores en
metros
% espesor del perfil
s = input('digite el valor del espesor =')
% Area del perfil
Ar1 = ((b1^2)-((b1-s)*(b1-(2*s))));
Ar2 = ((b2^2)-((b2-s)*(b2-(2*s))));
Ar3 = ((b3^2)-((b3-s)*(b3-(2*s))));
% valor de la densidad del aluminio
den_aluminio =2698.4; %kg/m^3
g=(9.81)%m/seg

% masa de los eslabones
m1 = den_aluminio*(Ar1*l1)
m2 = den_aluminio*(Ar2*l2)
m3 = den_aluminio*(Ar3*l3)

m_total=(m1+m2+m3)

```

ANEXO B: FICHAS TECNICAS

SENSOR

MassaSonic™ M-5000/220 Smart Ultrasonic Sensor

The MassaSonic™ M-5000/220 Smart Ultrasonic Sensor incorporates state-of-the-art ultrasonic and microprocessor technology to provide precision non-contact distance measurement for factory automation or industrial process control. The M-5000/220 stands out over all other systems because of its extraordinary ease of operation, genuinely user-friendly software, versatility in user-controlled outputs, and the ability to be set up *without using a target*.

The sensor transmits narrow beam sound pulses at a user-selected rate (or it can be externally triggered), processes return echoes, and produces several outputs dependent on the position of the target.

Operating from 12 to 28 V DC, the M-5000/220 provides non-contact measurement over a nominal target range of 100 mm to 1 m (4" to 40"). Outputs include a 0 to 20 mA or 4 to 20 mA DC analog current loop, two independent setpoint switches, and echo status by both an LED indicator and an Echo Status Output switch. The system parameters and outputs are fully user programmable via an RS-485 data link, thereby eliminating the sealing and tampering problems associated with adjustment potentiometers or pushbuttons. Some additional programmable features include: analog output slope, sampling rate, averaging of multiple target distance measurements, loss-of-echo time-out, and setpoint hysteresis.

Massa's extremely user-friendly software works with a PC running under Windows® 95/98/NT/2000/XP operating systems. The M-5000/220 connects to a serial port of the PC using an RS-485/RS-232 converter. The RS-485 data link allows up to 32 M-5000/220 sensors to be on the same multi-drop communications network.

For users that prefer not to use a PC, the sensors can be programmed at the factory to the customer's exact specifications for true "plug and play" operation.

Other features of the M-5000/220 include: industry standard 30 mm diameter CPVC housing, operation from -20°C to 65°C with built-in temperature compensation, diagnostic and monitoring outputs, and protection from over-voltage, short circuits, and reverse polarity.

For more information visit our web site at www.massa.com.

MASSA
GENERATIONS AHEAD IN SONAR & ULTRASONIC TECHNOLOGY
MASSA PRODUCTS CORPORATION
280 Lincoln Street, Hingham, MA 02043 USA



FEATURES

- Analog & Setpoint Outputs
- Plug & Play Setup
- No Target Needed
- Software Set Span and Zero
- No Pots or Pushbuttons
- Tamperproof Settings
- Easy to Use Setup Software
- Windows®
95 / 98 / NT / 2000 / XP
- Built-in Temperature/Sound Speed Compensation
- Up to 32 Sensors on RS-485 Multi-drop Loop

APPLICATIONS

- Automatic Filling Operations
- Mechanical Positioning
- Roll Diameter Measurement
- Web Loop Monitoring
- Liquid Level Control
- Automatic Packaging
- Machine Tool Fluid Level
- Paper/Plastic Film Processing



ORDERING INFORMATION

P/N 200504-501

M-5000/220 Full Sensor Kit
which includes:

p/n 300280-501	MassaSonic M-5000/220 Smart Ultrasonic Sensor
p/n 7873-1	Locknuts (Qty. 2)
p/n 7875-1	Installation & Operation Guide
p/n 200511-1	Mounting Bracket
p/n 7868-1	Communications Converter
p/n 7876-1	Installation & Setup Software (CD or Disks)

P/N 200504-502

M-5000/220 Sensor & Locknuts

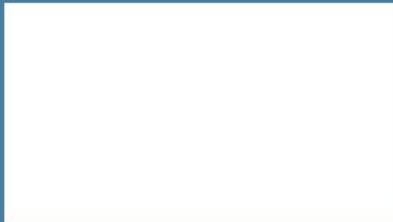
P/N 200504-503

M-5000/220 Sensor, Locknuts & Mounting Bracket

Custom configurations available for OEM quantities.

Consult factory for custom preset M-5000/220 Sensors.

REPRESENTED BY:



MASSA PRODUCTS CORPORATION

280 Lincoln St., Hingham, MA 02043 U.S.A.
Tel: 781-749-4800 Fax: 781-740-2045
Toll Free in USA: 800-962-7543
E-mail: sales@massa.com
Web Site: www.massa.com

M-5000/220 SPECIFICATIONS

PERFORMANCE (Typical at 24 V DC, 22° C, and 50% RH)

Ultrasonic Frequency:	220 kHz
System Beam Angle:	8° Conical
Target Detection	
Minimum Distance:	4 inches (100 mm)
Maximum Distance:	40 inches (1 m)
Measurement Resolution:	.01 inches (0.25 mm)
Power Required:	12 to 28 V DC (reverse polarity protected), 80 mA max.
Temperature Compensation:	Internal probe

PROGRAMMABLE OUTPUTS (Can be Factory Preset)

Current Loop Output:	0 to 20 mA or 4 to 20 mA DC sourcing, 12-bit resolution, invertible
Span & Zero Distance:	Programmable from 4 to 40 inches
Loss-of-Echo Options:	0, 3.5, 4.0, 20.0, or 20.5 mA
Setpoints and Echo Status:	Protected current sink, open drain N-channel MOSFETs, 28 V DC max., 100 mA max.
Setpoint Distances:	Programmable from 4 to 40 inches
Setpoint Hysteresis:	0% to 89%, in 1% increments

PROGRAMMABLE SAMPLING SETTINGS (Can be Factory Preset)

Sampling Rate:	0.1 Hz to 100 Hz in 0.1 Hz increments
Trigger Modes:	Internal, internal with trigger output, external, external with delay, manual
Target Distance Averaging:	Rolling Average: up to 32 samples, or Boxcar Average: up to 1,024 samples
Loss-of-Echo Time-out:	Up to 255 consecutive samples

ADDITIONAL OUTPUTS

Diagnostic LED:	Power, loss of echo, system error
Echo Monitor:	Amplified ultrasonic signal
Communications:	RS-485, transient protected, multi-drop up to 32 sensors

MECHANICAL

Housing Dimensions:	30 mm diameter M-30X1.5 threaded tube, 100 mm long
Housing Material:	CPVC
Transducer Surface:	MassaPlast™ 102 (custom PPA)
Cable:	10 conductor, PVC jacket, 24 AWG, 10 ft. (3 m), user-extendable to 1,500 ft.

ENVIRONMENTAL

Operating Temperature:	-20°C to 65°C
Storage Temperature:	-40°C to 85°C
Relative Humidity:	0 to 95%, non-condensing

PROGRAMMING REQUIREMENTS

Communications Converter:	RS-485/RS-232 with automatic send data control
Operating System:	Windows® 95/98/NT/2000/XP

All Specifications subject to change without notice.

051112

SERVOMOTOR

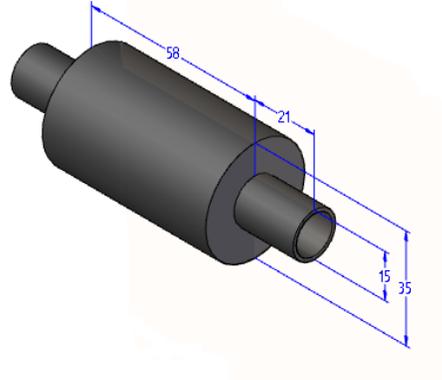
UNIDADES Y NOMENCLATURA

m_i	masa del eslabón (Kg)
l_i	longitud del eslabón (m)
l_{ci}	distancia del centro de masas al eje de giro (m)
I_i	momento de inercia del eslabón (Kg m ²)
θ_i	ángulo de giro de la articulación (rad)
d_i	parámetro de Denavith H para el desplazamiento sobre el eje Z (m)
a_i	parámetro de Denavith H para el desplazamiento sobre el eje X (m)
α_i	parámetro de Denavith H para el giro alrededor del eje X (m)
C_i	coseno del ángulo de desplazamiento de la articulación (adimensional)
S_i	seno del ángulo de desplazamiento de la articulación (adimensional)
${}^{i-1}A_i$	matriz de transformación del eslabón (adimensional)
T	matriz de transformación de la cadena cinemática completa (adimensional)
p_x	coordenada sobre el eje X de la ubicación del efector final (m)
p_y	coordenada sobre el eje Y de la ubicación del efector final (m)
p_z	coordenada sobre el eje Z de la ubicación del efector final (m)
r	proyección del segundo y tercer eslabón sobre el plano XY (m)
$\dot{\theta}_i$	velocidad articular (rad/s)
$K_i(\dot{\theta}, \theta)$	energía cinética del eslabón (J)
$U_i(\theta)$	energía potencial del eslabón (J)
$L(\dot{\theta}, \theta)$	Lagrangiano del robot manipulador (J)
τ	vector de pares de entrada (N m)
$\ddot{\theta}_i$	aceleración articular (rad/s ²)
θ	vector de coordenadas articulares (adimensional)
$\dot{\theta}$	vector de velocidades articulares (adimensional)
$\ddot{\theta}$	vector de aceleraciones articulares (adimensional)
$M(\theta)$	matriz de elementos de inercia del robot manipulador (adimensional)
$C(\theta, \dot{\theta})$	matriz de elementos de fuerzas centrífugas del robot manipulador (adimensional)
$g(\theta)$	vector de pares gravitacionales del robot manipulador (adimensional)
$q(t)$	vector de trayectorias deseadas (rad)
n	número de grados de libertad (adimensional)
$M_{ij}(\theta)$	elemento del renglón i y de la columna j de la matriz de inercias (adimensional)
$C_{ij}(\theta, \dot{\theta})$	elemento del renglón i y de la columna j de la matriz de fuerzas centrífugas (adimensional)
$g_i(\theta)$	elemento del vector de pares gravitacionales (adimensional)

Anexo D

Análisis estructural en femap express de Solid Edge

Nombre de pieza: Bujes del eje que une el eslabón 1 a 2



Tipo de Material: ABS

Tabla de propiedades

Tabla de materiales de Solid Edge

Material: ABS, medio impacto

Ajustes: Propiedades del material

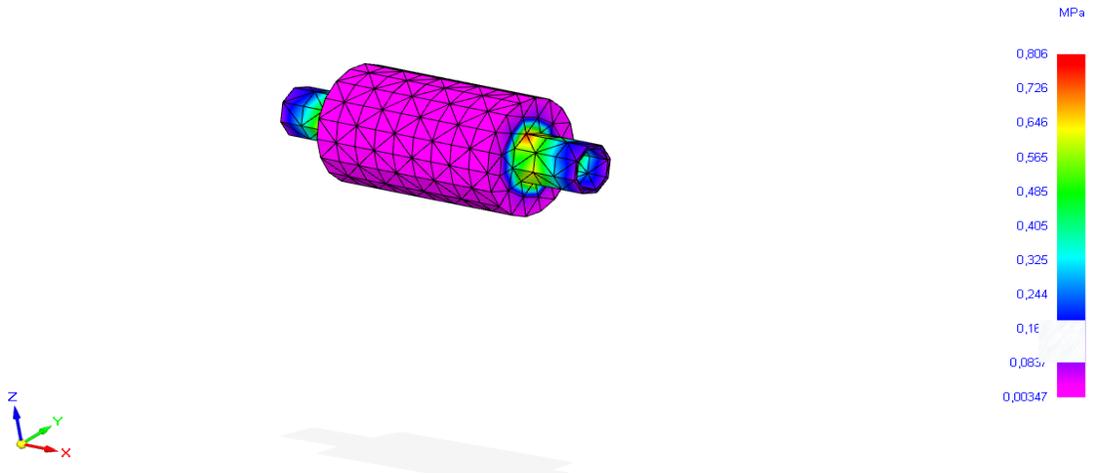
Nombre de propiedad	Valor
Densidad	1,024 g/cm ³
Coefficiente de expansión té...	0,000000 /C
Conductividad térmica	2,000 W/m-C
Calor específico	0,000 J/kg-C
Módulo de elasticidad	2275,270 MPa
Coefficiente de Poisson	0,40
Límite elástico	43,437 MPa
Tensión de rotura	0,000 MPa
Elongación %	0,00

Descripción
Definición de material = ABS, medio impacto, Estilo de caras = Negro, Estilo de relleno = ANSI34(Plástico), Material de Virtual Studio+ = Negro (Brillante)

Aplicar al modelo Cancelar Ayuda

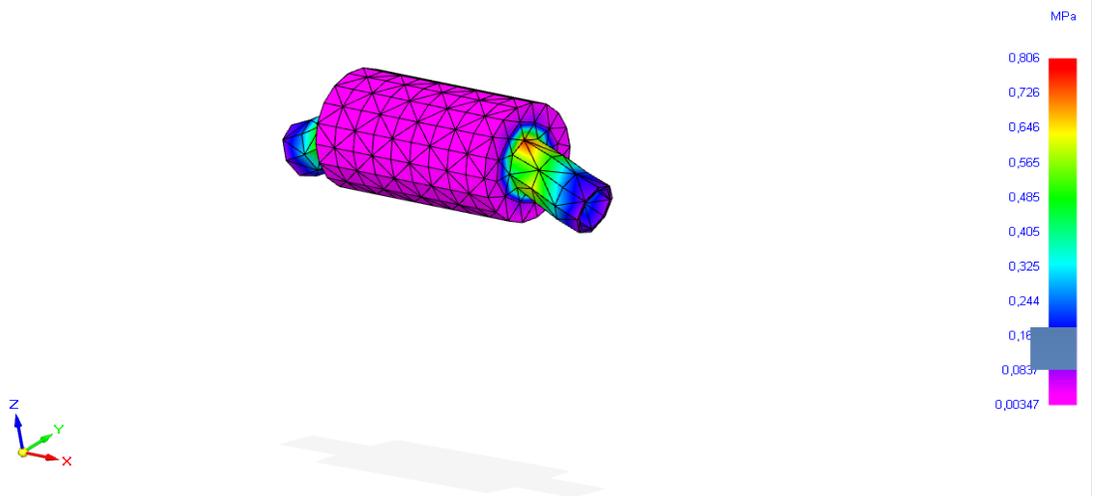
Carga aplicada: 50N
Análisis

Nombre de pieza: buje eslabon 1 a 2.par
Nombre del material: ABS, medio impacto
Tipo de análisis: Tensión
Visualizado: Tensiones de Von Mises
Fecha: Domingo, 20 de Enero de 2008 03:35 p.m.

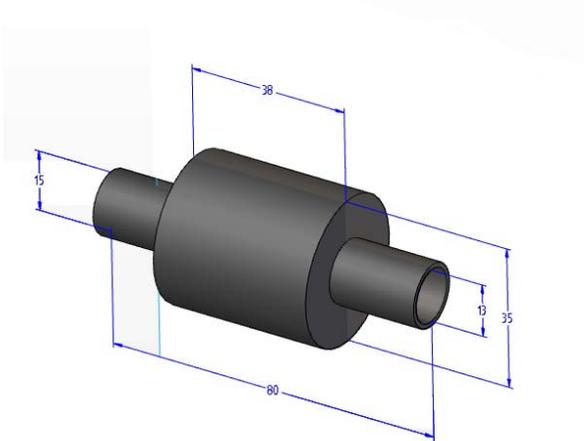


Grafica de deformación

Nombre de pieza: buje eslabon 1 a 2.par
Nombre del material: ABS, medio impacto
Tipo de análisis: Tensión
Visualizado: Tensiones de Von Mises
Fecha: Domingo, 20 de Enero de 2008 03:35 p.m.



Nombre de pieza: Bujes del eje que une el eslabón 2 a 3



Tipo de Material: ABS

Tabla de propiedades

Tabla de materiales de Solid Edge

Material:

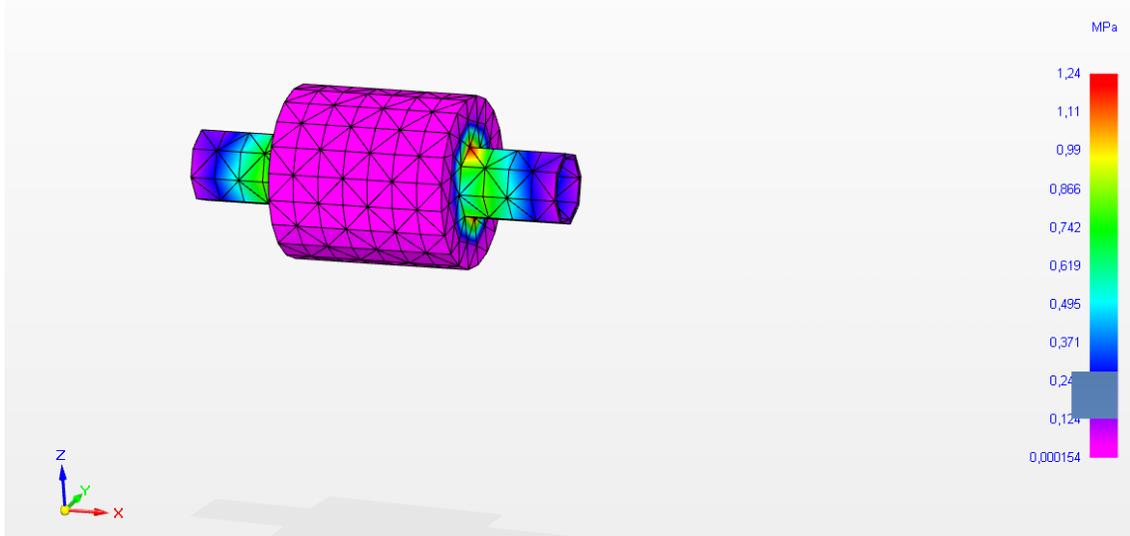
Ajustes:

Nombre de propiedad	Valor
Densidad	1,024 g/cm ³
Coefficiente de expansión té...	0,000000 /C
Conductividad térmica	2,000 W/m-C
Calor específico	0,000 J/kg-C
Módulo de elasticidad	2275,270 MPa
Coefficiente de Poisson	0,40
Límite elástico	43,437 MPa
Tensión de rotura	0,000 MPa
Elongación %	0,00

Descripción
 Definición de material = ABS, medio impacto, Estilo de caras = Negro, Estilo de relleno = ANS134(Plástico), Material de Virtual Studio+ = Negro (Brillante)

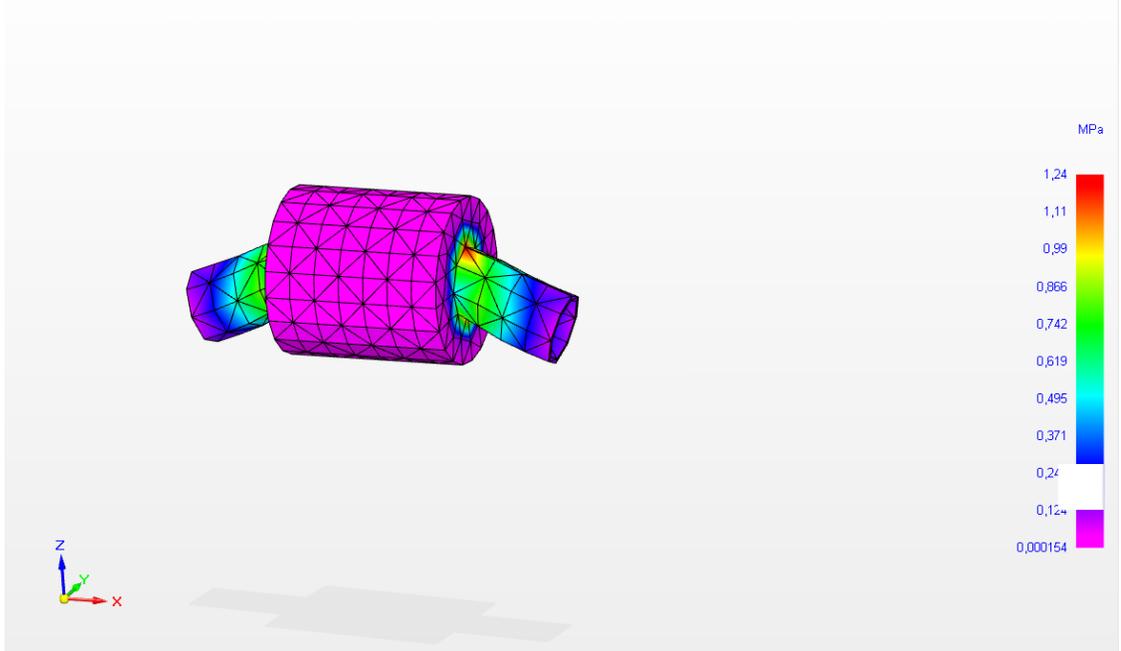
Carga aplicada: 50N
 Análisis

Nombre de pieza: buje eslabon 2-3.par
Nombre del material: ABS, medio impacto
Tipo de análisis: Tensión
Visualizado: Tensiones de Von Mises
Fecha: Domingo, 20 de Enero de 2008 02:59 p.m.

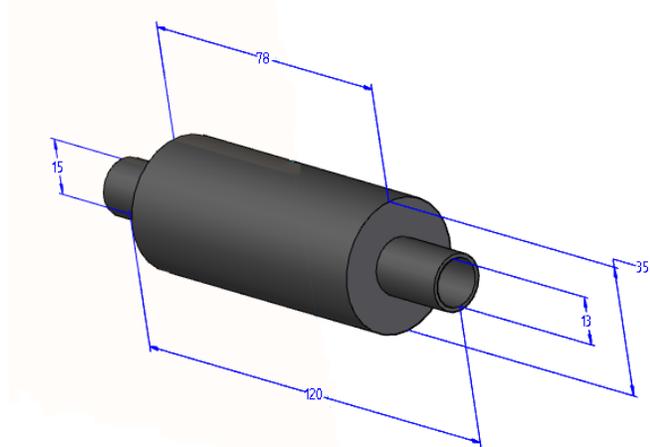


Grafica de deformación

Nombre de pieza: buje eslabon 2-3.par
Nombre del material: ABS, medio impacto
Tipo de análisis: Tensión
Visualizado: Tensiones de Von Mises
Fecha: Domingo, 20 de Enero de 2008 02:59 p.m.



Nombre de pieza: Bujes del eje que une la base con el eslabón



Tipo de Material: ABS

Tabla de propiedades

Tabla de materiales de Solid Edge

Material:

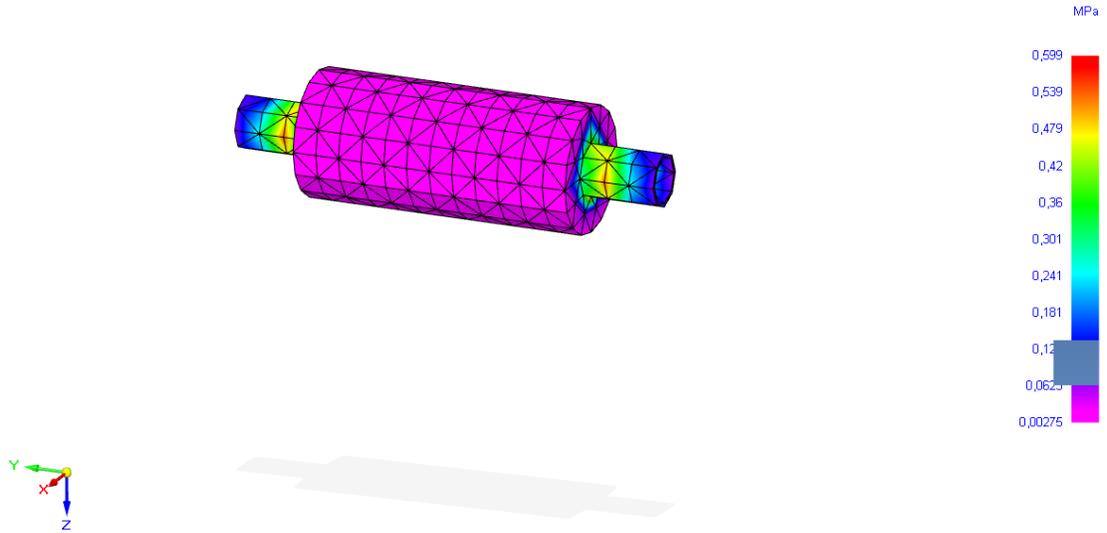
Ajustes:

Nombre de propiedad	Valor
Densidad	1,024 g/cm ³
Coefficiente de expansión té...	0,000000 /C
Conductividad térmica	2,000 W/m-C
Calor específico	0,000 J/kg-C
Módulo de elasticidad	2275,270 MPa
Coefficiente de Poisson	0,40
Límite elástico	43,437 MPa
Tensión de rotura	0,000 MPa
Elongación %	0,00

Descripción
 Definición de material = ABS, medio impacto, Estilo de caras = Negro, Estilo de relleno = ANSI34(Plástico), Material de Virtual Studio+ = Negro (Brillante)

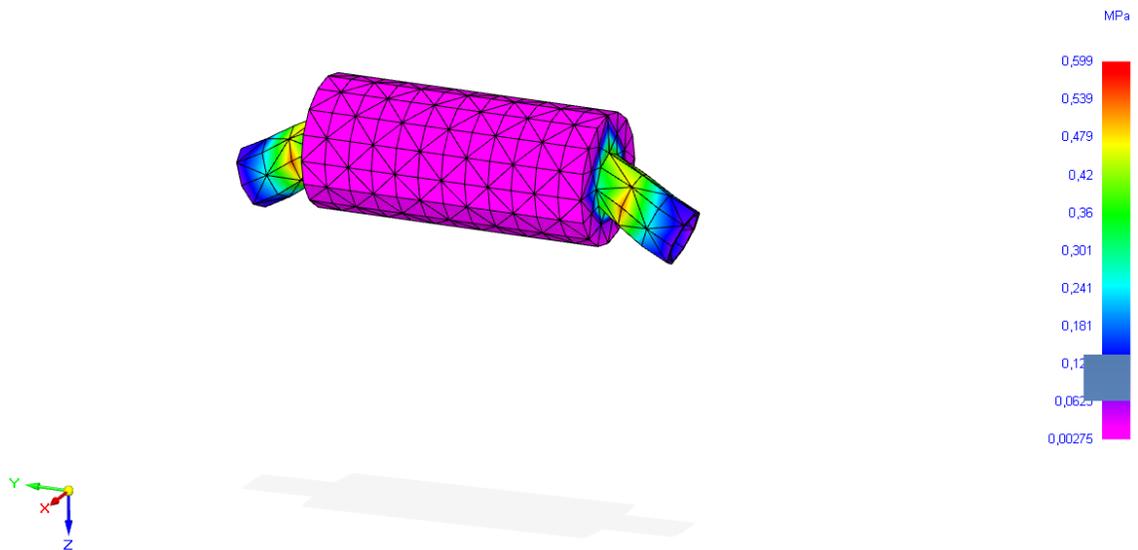
Fuerza aplicada : 50N

Nombre de pieza: BUJE EJE BASE ROTATORIA.par
Nombre del material: ABS, medio impacto
Tipo de análisis: Tensión
Visualizado: Tensiones de Von Mises
Fecha: Domingo, 20 de Enero de 2008 04:31 p.m.

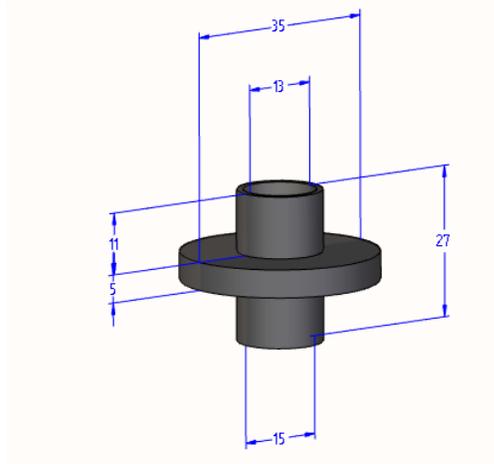


Grafica de deformación

Nombre de pieza: BUJE EJE BASE ROTATORIA.par
Nombre del material: ABS, medio impacto
Tipo de análisis: Tensión
Visualizado: Tensiones de Von Mises
Fecha: Domingo, 20 de Enero de 2008 04:31 p.m.



Nombre de pieza: eje que une el eslabón con la base giratoria



Tipo de Material: ABS

Tabla de propiedades

Tabla de materiales de Solid Edge

Material:

Ajustes:

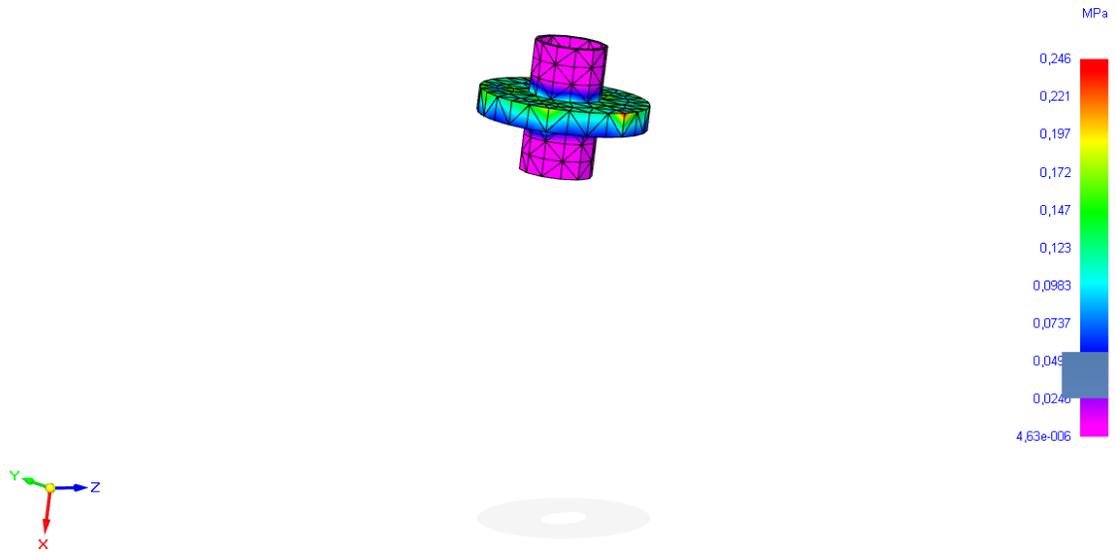
Nombre de propiedad	Valor
Densidad	1,024 g/cm ³
Coefficiente de expansión té...	0,000000 /C
Conductividad térmica	2,000 W/m-C
Calor específico	0,000 J/kg-C
Módulo de elasticidad	2275,270 MPa
Coefficiente de Poisson	0,40
Límite elástico	43,437 MPa
Tensión de rotura	0,000 MPa
Elongación %	0,00

Descripción
 Definición de material = ABS, medio impacto, Estilo de caras = Negro, Estilo de relleno = ANS134(Plástico), Material de Virtual Studio+ = Negro (Brillante)

Carga aplicada: 10N

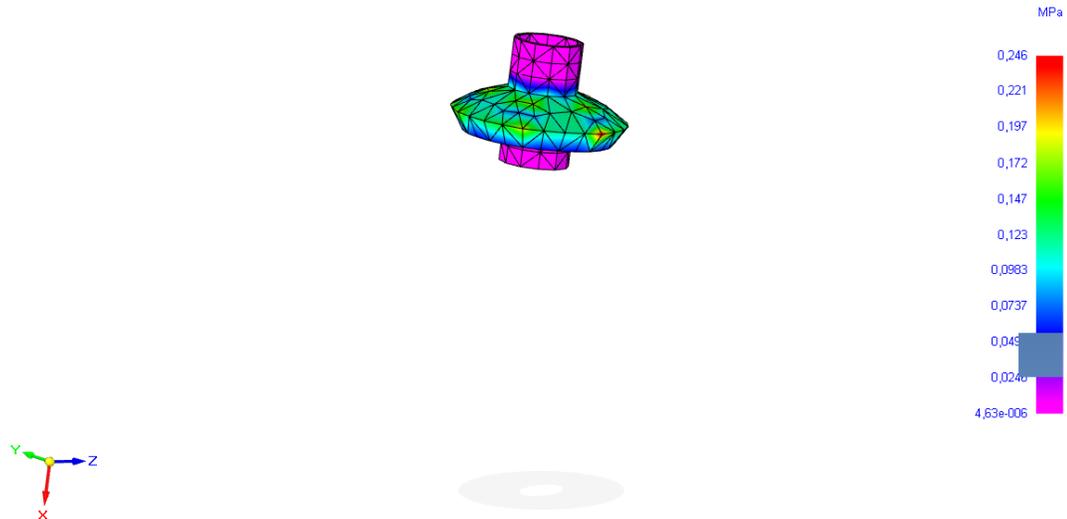
Análisis

Nombre de pieza: bujebase.par
Nombre del material: ABS, medio impacto
Tipo de análisis: Tensión
Visualizado: Tensiones de Von Mises
Fecha: Domingo, 20 de Enero de 2008 04:56 p.m.

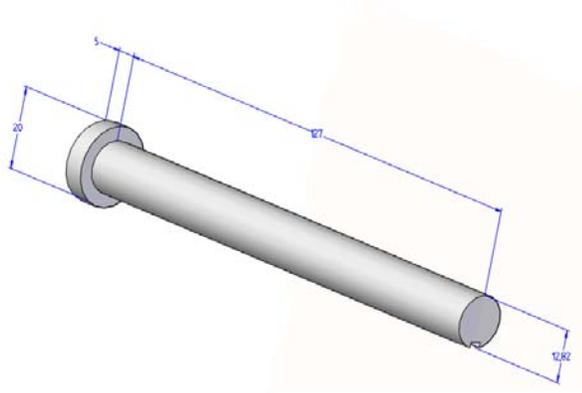


Grafica de deformación

Nombre de pieza: bujebase.par
Nombre del material: ABS, medio impacto
Tipo de análisis: Tensión
Visualizado: Tensiones de Von Mises
Fecha: Domingo, 20 de Enero de 2008 04:56 p.m.



Nombre de pieza: eje que une el eslabón con la base giratoria



Tipo de material: Acero inoxidable

Tabla de propiedades

Tabla de materiales de Solid Edge

Material: Acero inoxidable

Ajustes: Propiedades del material

Nombre de propiedad	Valor
Densidad	7,750 g/cm ³
Coefficiente de expansión té...	0,000000 /C
Conductividad térmica	17,000 W/m-C
Calor específico	502,000 J/kg-C
Módulo de elasticidad	193053,196 MPa
Coefficiente de Poisson	0,29
Límite elástico	310,264 MPa
Tensión de rotura	641,212 MPa
Elongación %	0,00

Agregar a biblioteca Actualizar en biblioteca Eliminar de biblioteca

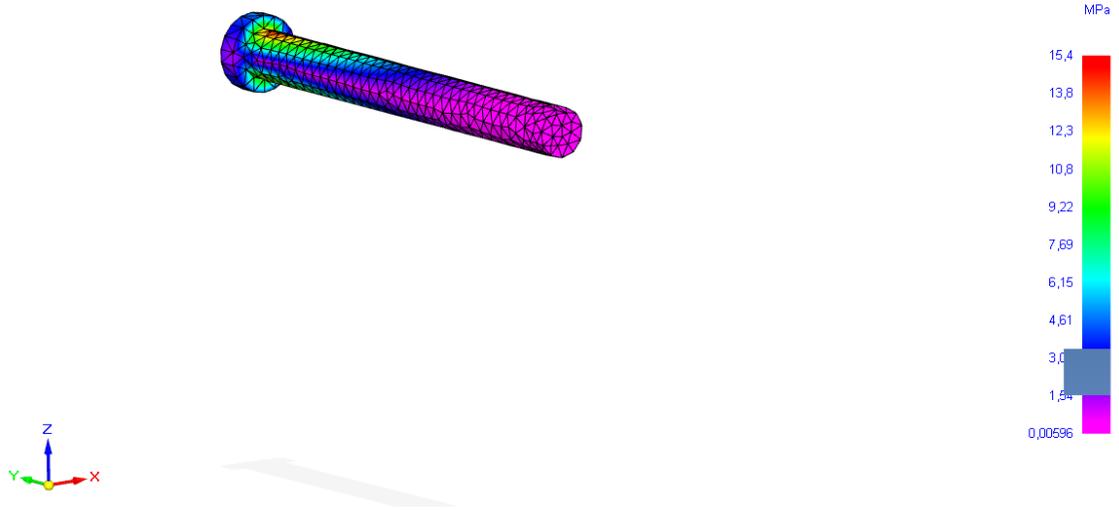
Descripción
 Definición de material = Acero inoxidable, Estilo de caras = Acero, Estilo de relleno = ANSI32(Acero), Material de Virtual Studio+ = Acero inoxidable

Aplicar al modelo Cancelar Ayuda

Carga aplicada : 50N

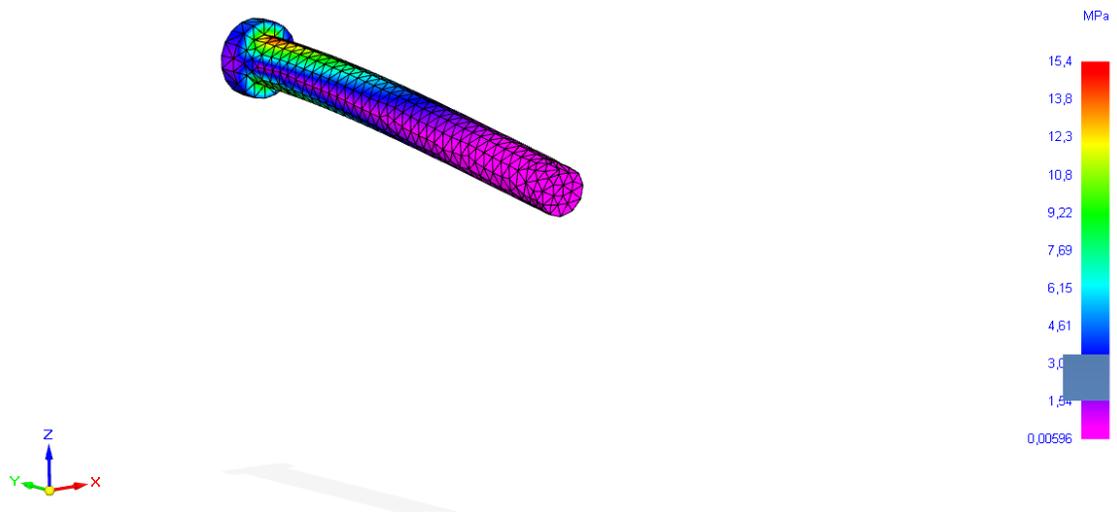
Análisis

Nombre de pieza: eJEbASE ROTATORIA.par
Nombre del material: Acero inoxidable
Tipo de análisis: Tensión
Visualizado: Tensiones de Von Mises
Fecha: Domingo, 20 de Enero de 2008 04:04 p.m.

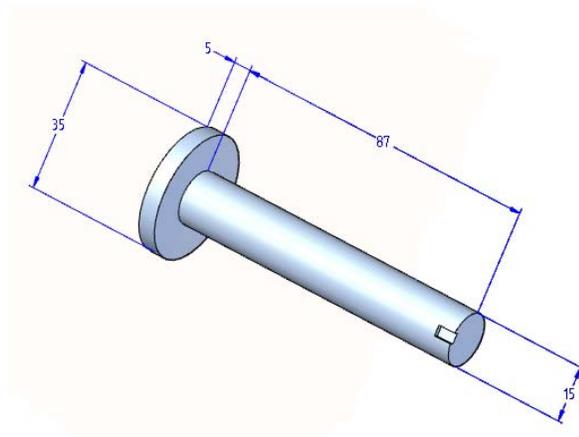


Grafica de deformación

Nombre de pieza: eJEbASE ROTATORIA.par
Nombre del material: Acero inoxidable
Tipo de análisis: Tensión
Visualizado: Tensiones de Von Mises
Fecha: Domingo, 20 de Enero de 2008 04:04 p.m.



Nombre de pieza: eje que une el eslabón 2 con el eslabon3



Tipo de material: Acero inoxidable

Tabla de propiedades

Tabla de materiales de Solid Edge

Material: Acero inoxidable

Ajustes: Propiedades del material

Nombre de propiedad	Valor
Densidad	7,750 g/cm ³
Coefficiente de expansión té...	0,000000 /C
Conductividad térmica	17,000 W/m-C
Calor específico	502,000 J/kg-C
Módulo de elasticidad	193053,196 MPa
Coefficiente de Poisson	0,29
Límite elástico	310,264 MPa
Tensión de rotura	641,212 MPa
Elongación %	0,00

Agregar a biblioteca Actualizar en biblioteca Eliminar de biblioteca

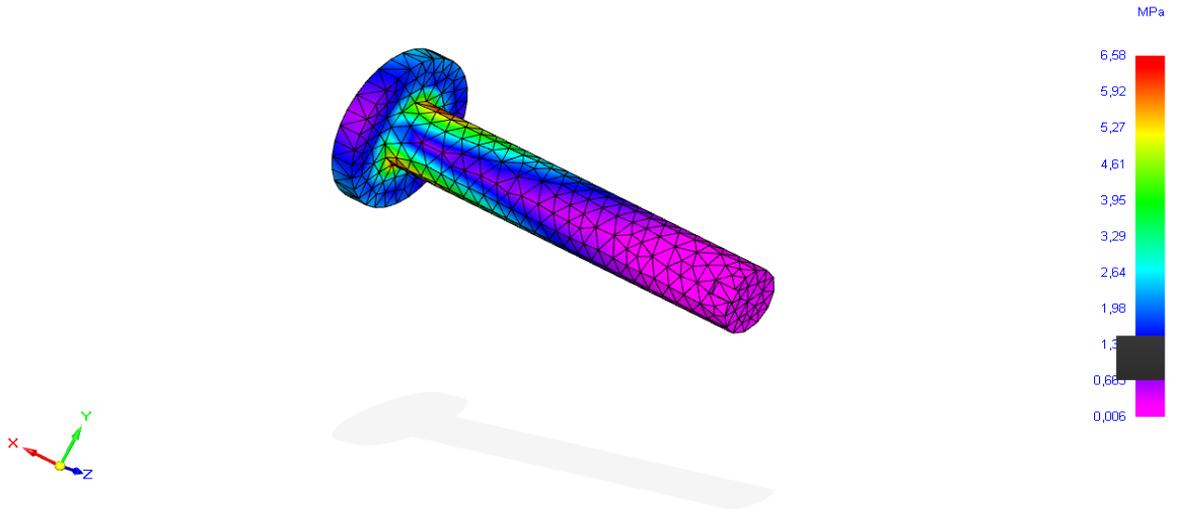
Descripción
 Definición de material = Acero inoxidable, Estilo de caras = Acero, Estilo de relleno = ANSI32(Acero), Material de Virtual Studio+ = Acero inoxidable

Aplicar al modelo Cancelar Ayuda

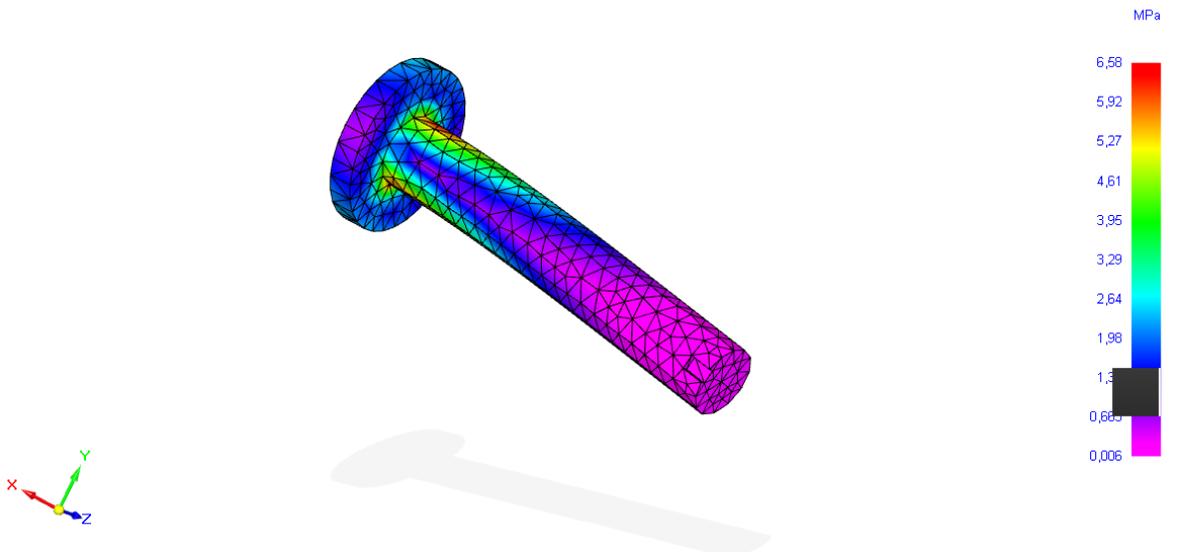
Carga aplicada: 50N

Análisis

Nombre de pieza: eje eslabon 2-3.par
Nombre del material: Acero inoxidable
Tipo de análisis: Tensión
Visualizado: Tensiones de Von Mises
Fecha: Lunes, 21 de Enero de 2008 08:37 a.m.

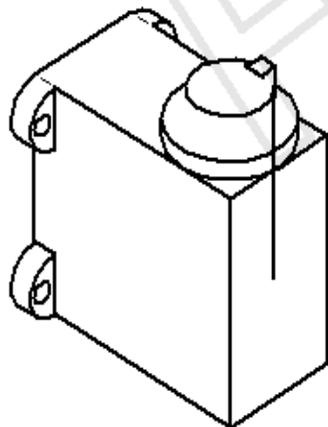
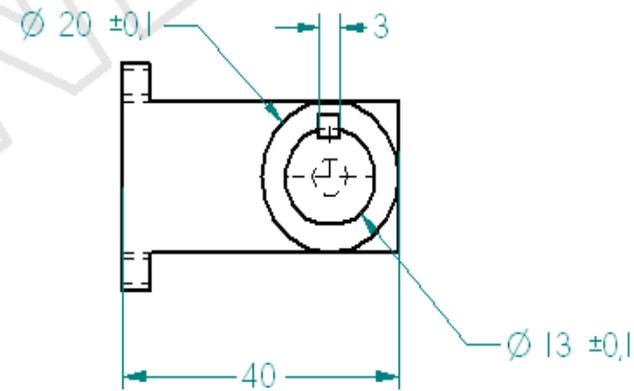
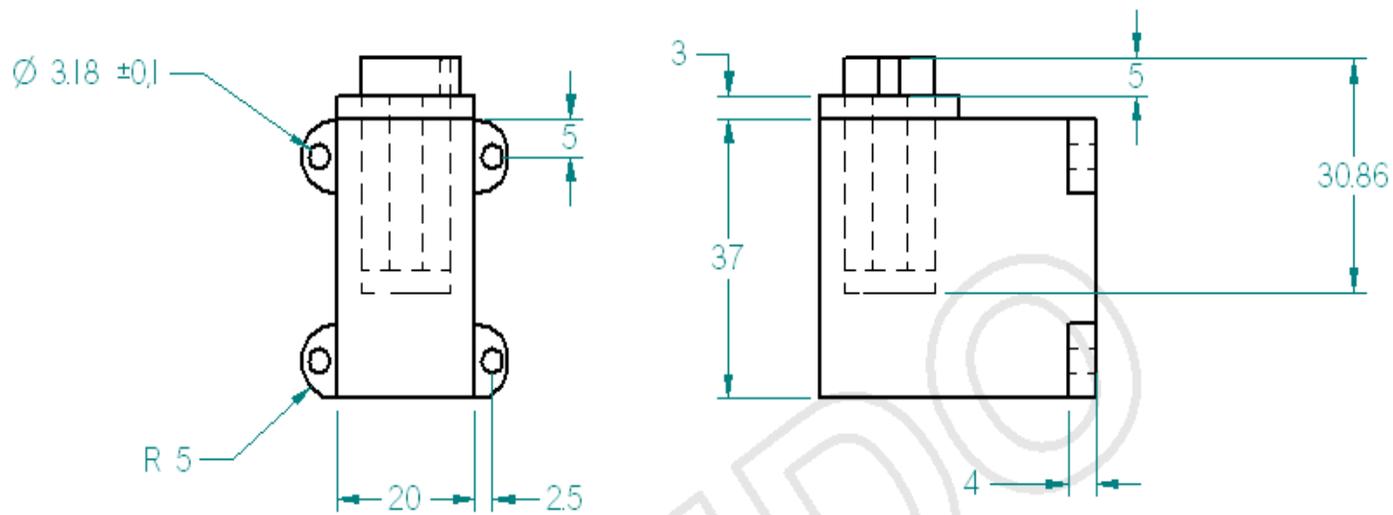


Nombre de pieza: eje eslabon 2-3.par
Nombre del material: Acero inoxidable
Tipo de análisis: Tensión
Visualizado: Tensiones de Von Mises
Fecha: Lunes, 21 de Enero de 2008 08:48 a.m.

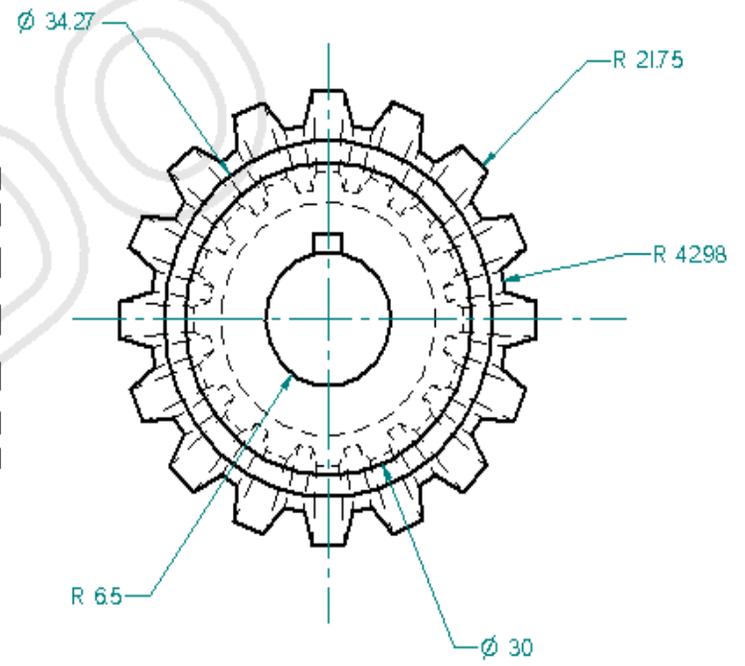
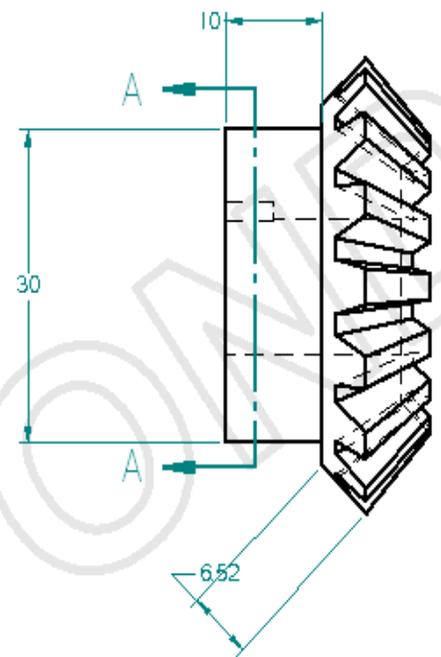
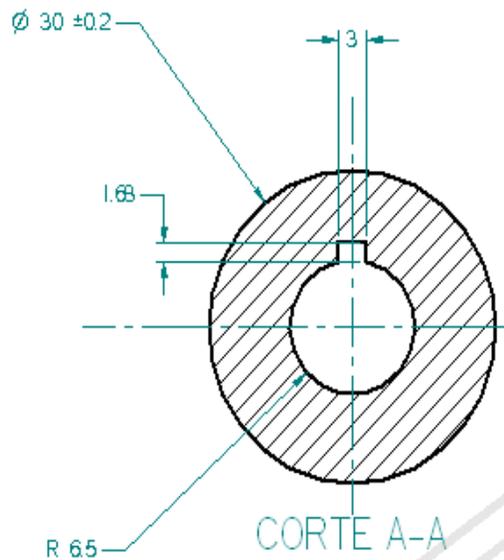


ANEXO E

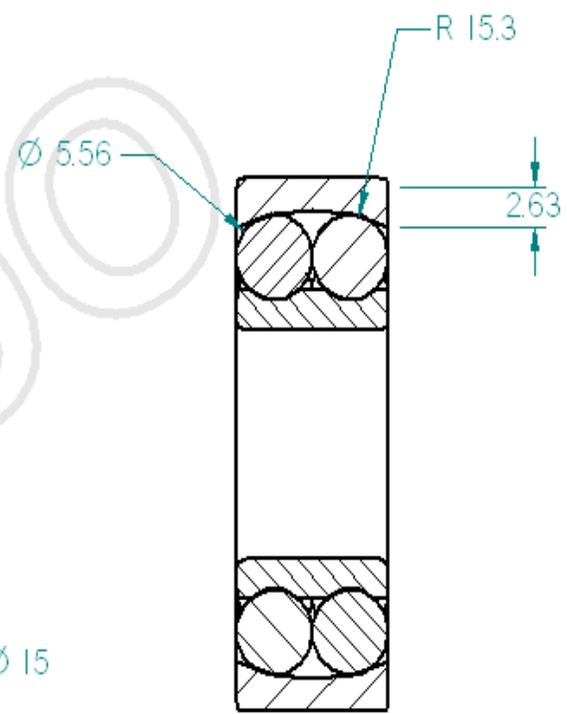
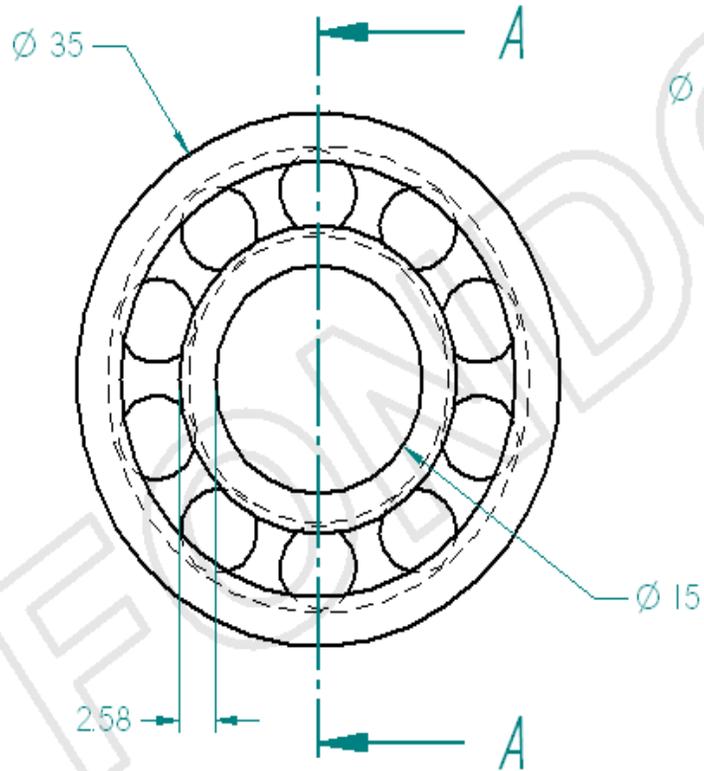
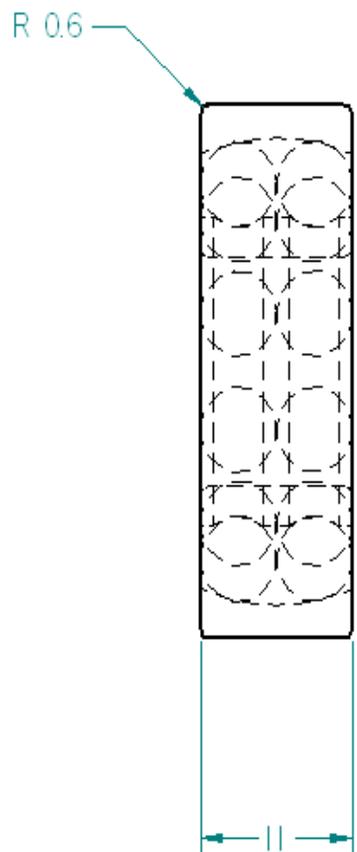
PLANOS EN SOLID EDGE V.19



 Universidad de San Buenaventura Facultad de ingeniería Ingeniería Mecatrónica			
Dibujo: David Antonio Vargas Ruiz - Erika Alexandra Ruiz Jimenez			Medidas en :mm
Nombre Plano: motor Hitec HSR-8498HB3R200		Material: Compuesto polipropileno y acero	
Escala: 1 : 1	Numero de plano: 18	Fecha:14/01/2008	Reviso:

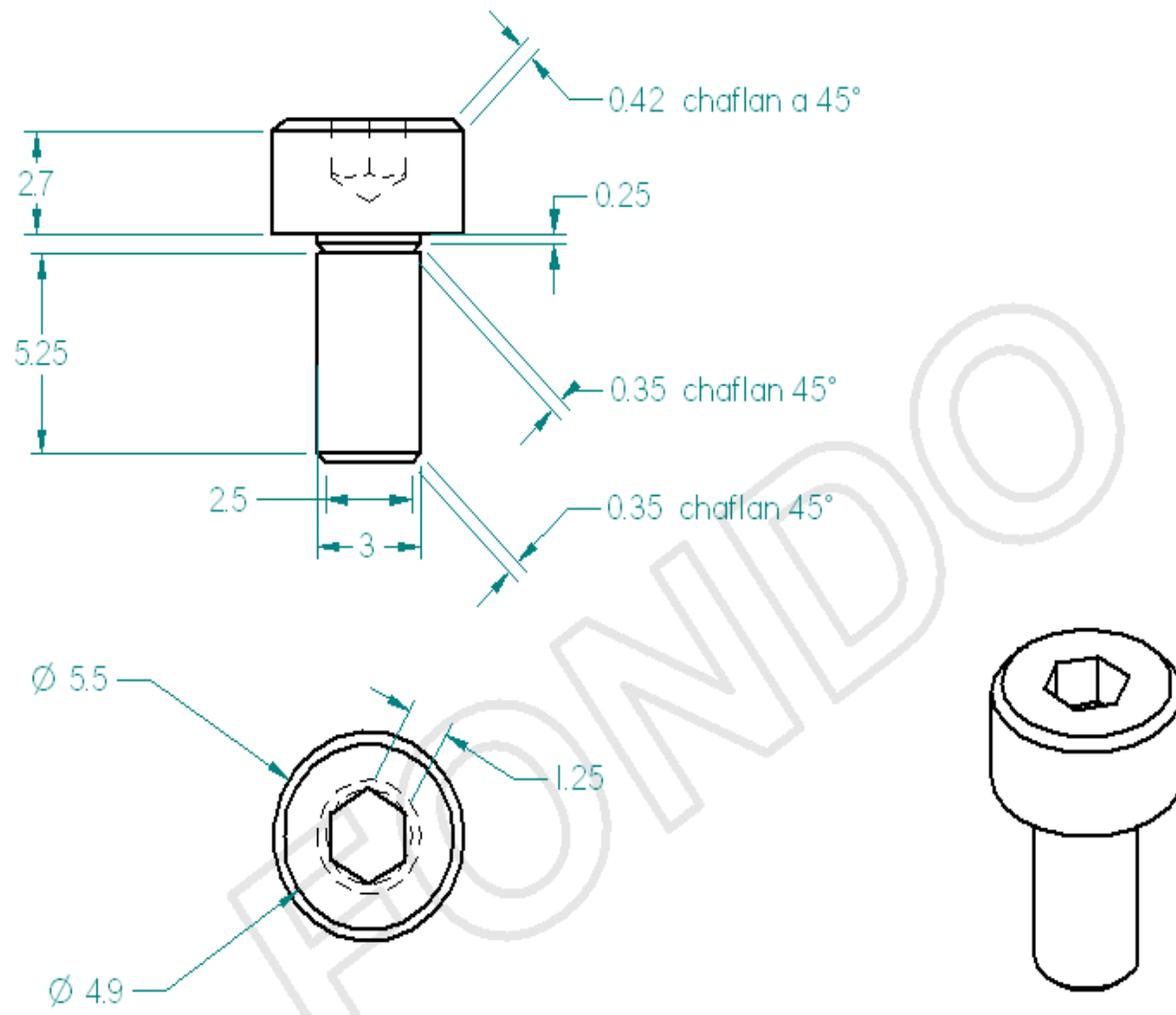


 Universidad de San Buenaventura Facultad de Ingeniería Ingeniería Mecánica			
Dibujo: David Antonio Vargas Ruiz - Erika Alexandra Ruiz Jimenez			Medidas en mm
Nombre Plano: engranaje motor		Material: Acero	
Escala: 2:1	Numero de plano: 20	Fecha: 14/01/2008	Revisó:

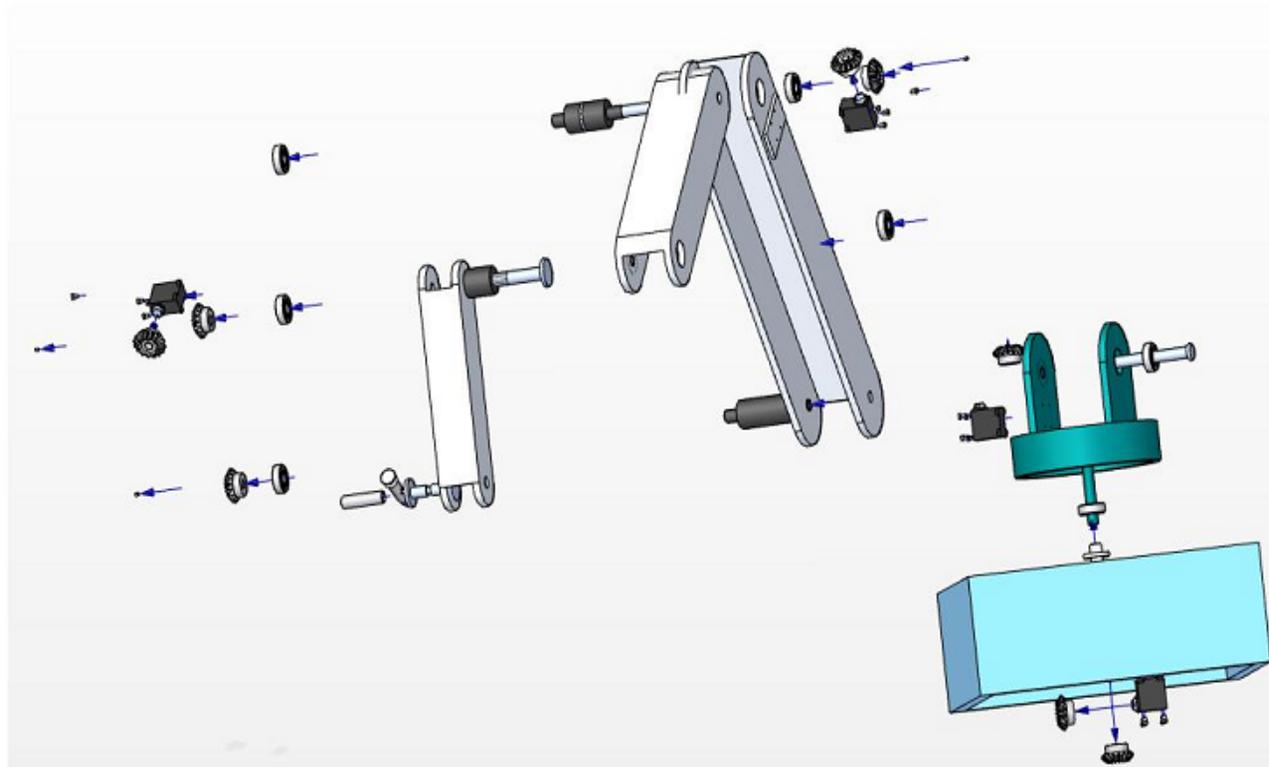


CORTE A-A

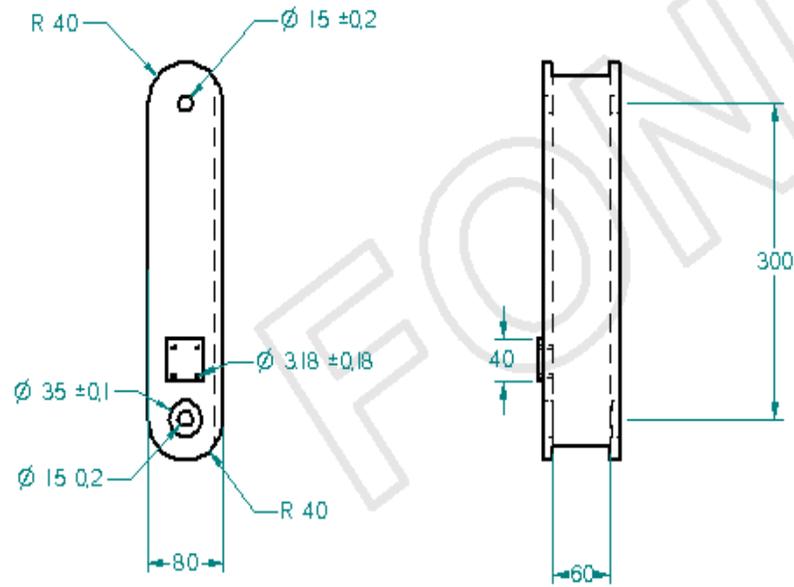
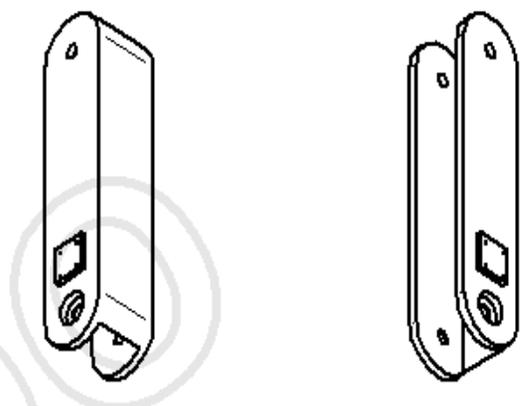
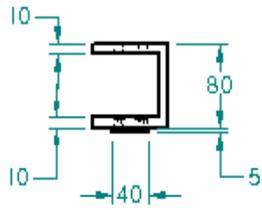
 Universidad de San Buenaventura Facultad de ingeniería Ingeniería Mecatrónica			
Dibujo: David Antonio Vargas Ruiz - Erika Alexandra Ruiz Jimenez			Medidas en :mm
Nombre Plano: Rodamiento		Material: Acero	
Escala: 1 : 1	Numero de plano: 17	Fecha: 14/01/2008	Reviso:



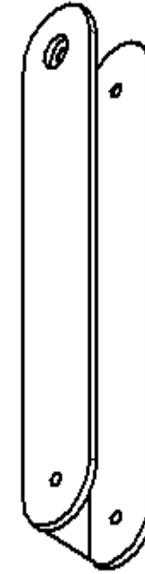
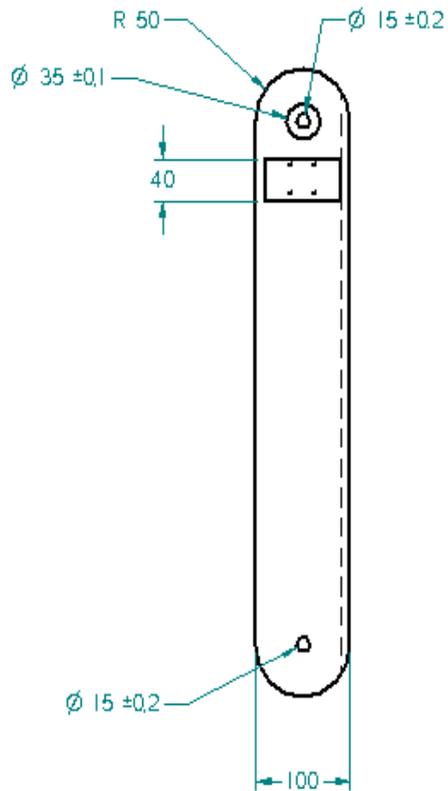
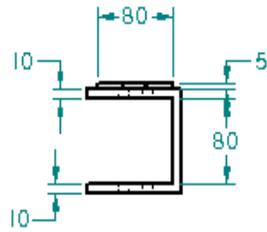
 Universidad de San Buenaventura Facultad de ingeniería Ingeniería Mecatrónica			
Dibujo: David Antonio Vargas Ruiz - Erika Alexandra Ruiz Jimenez			Medidas en :mm
Nombre Plano: tornillo de sujecion motor		Material: Acero	
Escala: 1 : 1	Numero de plano: 19	Fecha: 14/01/2008	Reviso:



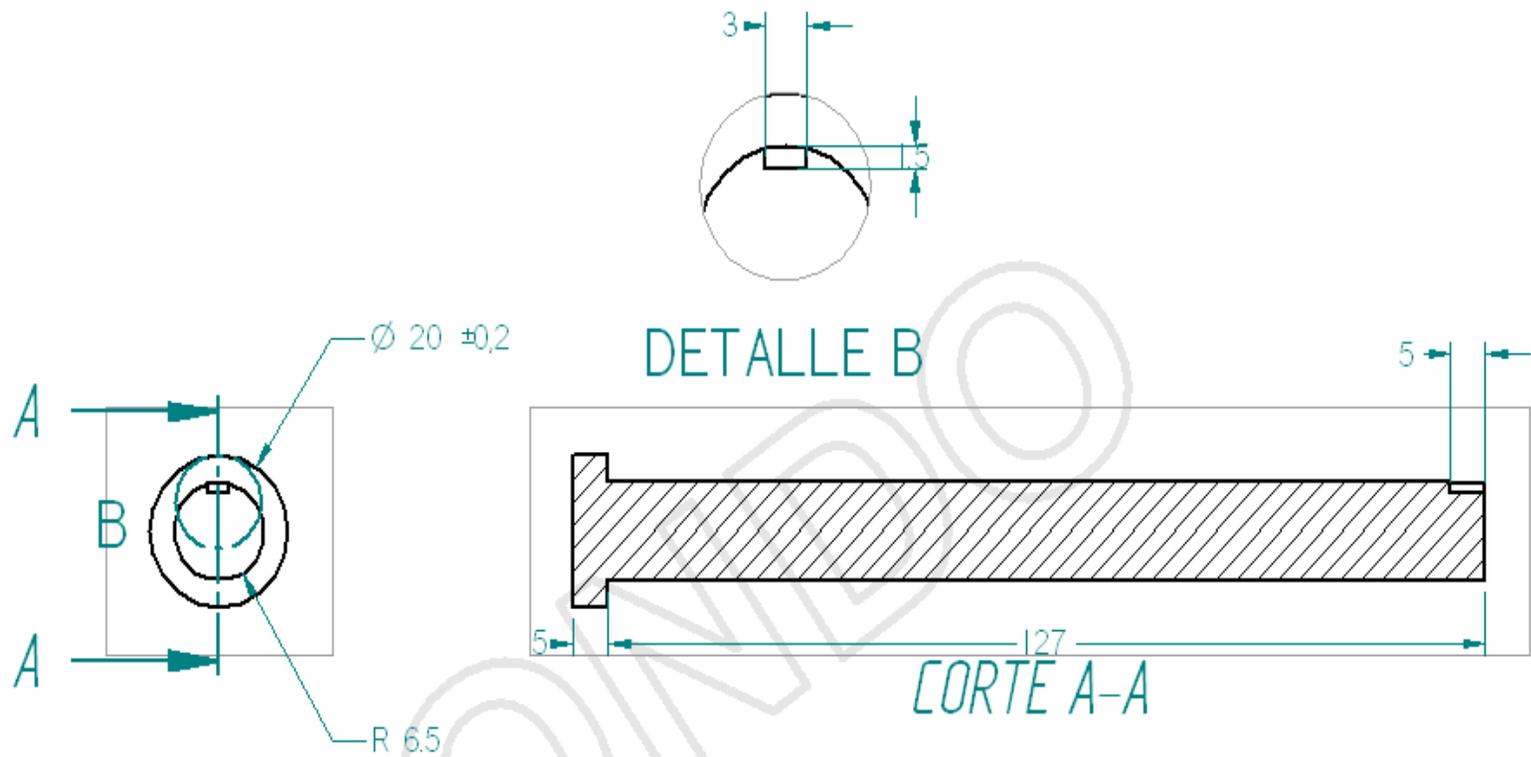
		Universidad de San Buenaventura Facultad de Ingeniería Ingeniería Mecatrónica	
Dibujo: David Antonio Vargas Ruiz - Erika Alexandra Ruiz Jiménez			Medidas en .mm
Nombre Plano Explosión		Material:	
Escala: 1 : 10	Numero de plano: 21	Fecha: 14/10/2008	Revisó:



 Universidad de San Buenaventura Facultad de Ingeniería Ingeniería Mecatrónica			
Dibujo: David Antonio Vargas Ruiz - Erika Alexandra Ruiz Jimenez			Medidas en mm
Nombre Plano: Eslabon 2		Material: Aluminio	
Escala: 1:5	Numero de plano: 4	Fecha: 14/01/2008	Revisó:



 Universidad de San Buenaventura Facultad de Ingeniería Ingeniería Mecatrónica			
Dibujo: David Antonio Vargas Ruiz - Erika Alexandra Ruiz Jimenez			Medidas en mm
Nombre Plano: Estacion 1		Material: Aluminio	
Escala: 1:5	Numero de plano: 3	Fecha: 14/03/2008	Reviso:



Universidad de San Buenaventura
 Facultad de ingeniería
 Ingeniería Mecatrónica

Dibujo: David Antonio Vargas Ruiz - Erika Alexandra Ruiz Jimenez

Medidas en :mm

Nombre Plano: eje de la base rotacional

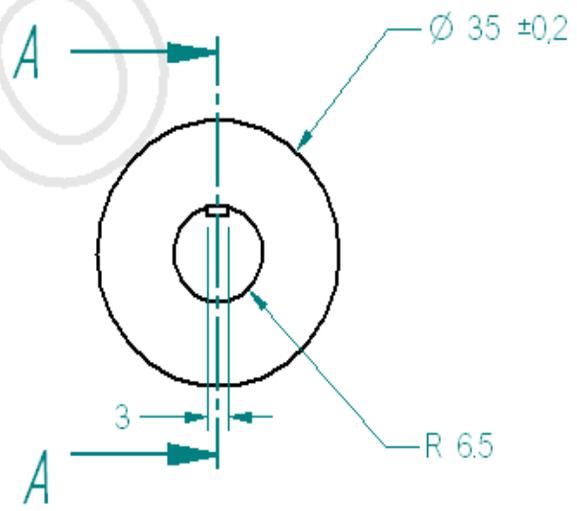
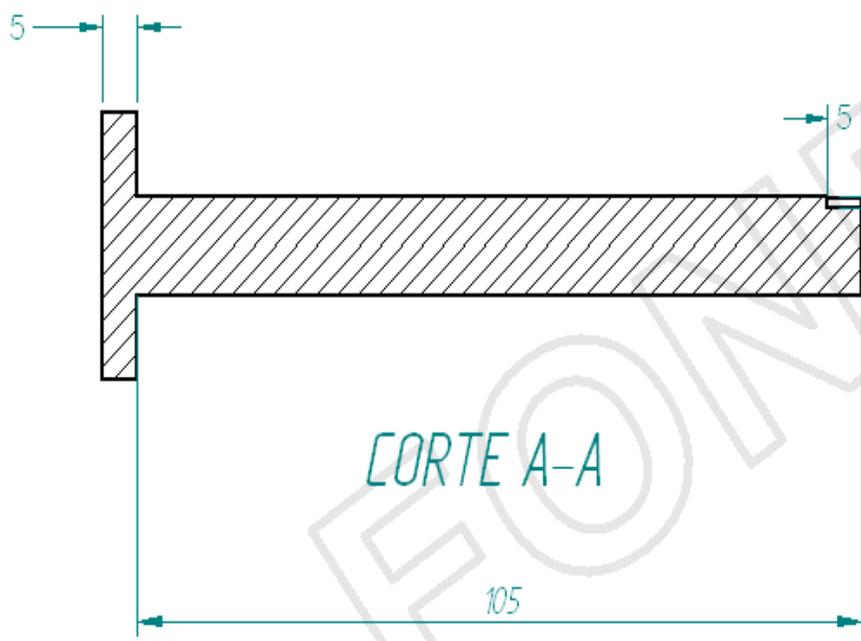
Material: acero

Escala: 1 : 1

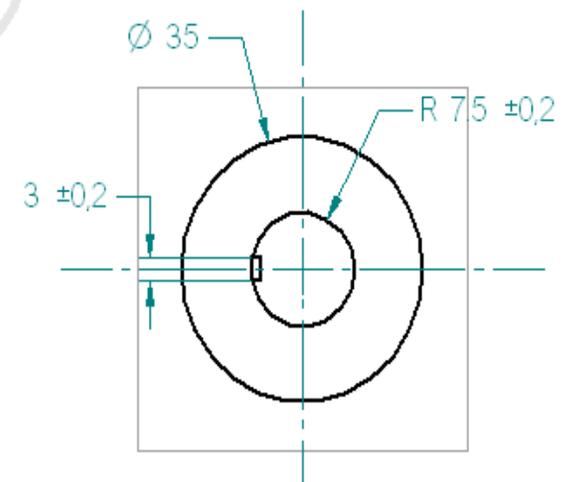
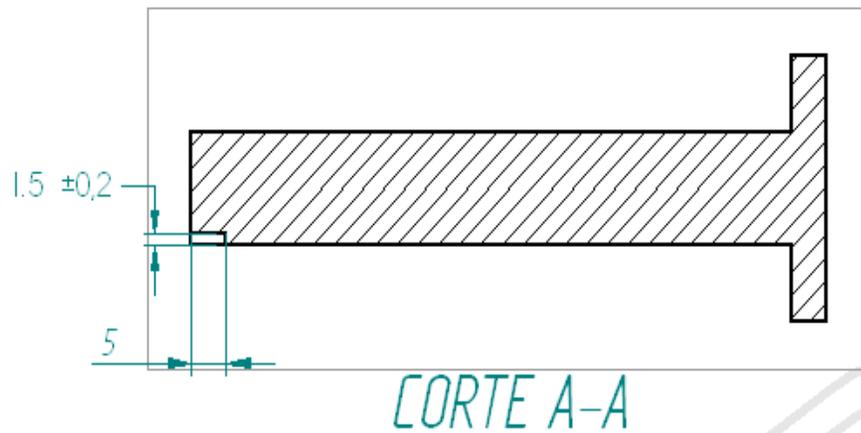
Numero de plano: 6

Fecha: 14/01/2008

Reviso:



		Universidad de San Buenaventura Facultad de ingeniería Ingeniería Mecatrónica	
Dibujo: David Antonio Vargas Ruiz - Erika Alexandra Ruiz Jimenez			Medidas en :mm
Nombre Plano: eje eslabon1-2		Material: Acero	
Escala: 1: 1	Numero de plano: 7	Fecha:14/01/2008	Reviso:



Universidad de San Buenaventura
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Mecatrónica

Dibujo: David Antonio Vargas Ruiz - Erika Alexandra Ruiz Jimenez

Medidas en mm

Nombre Plano: Eje Eslabon 2-3

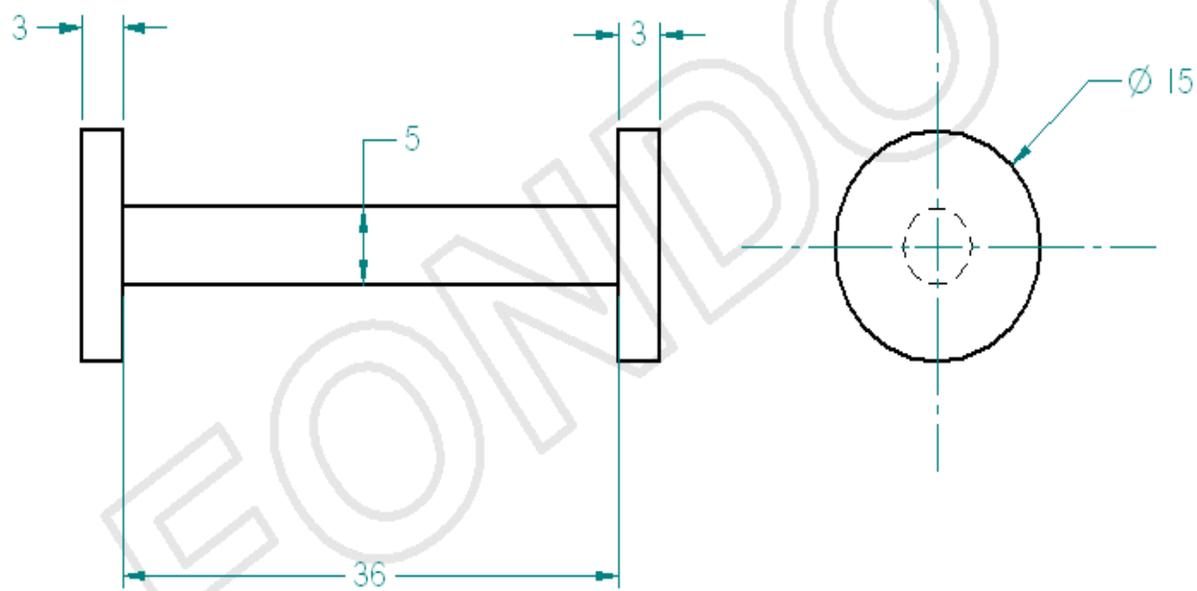
Material: Acero

Escala: 1 : 1

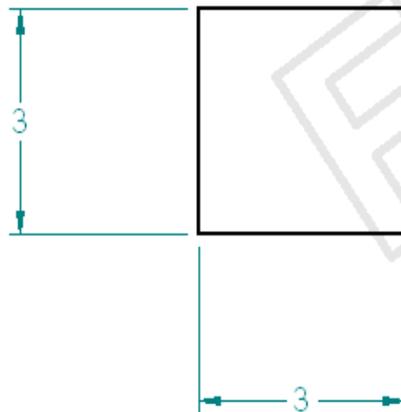
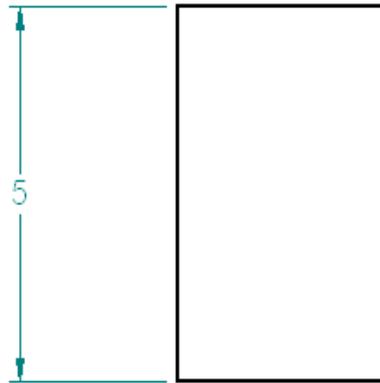
Numero de plano: 8

Fecha: 14/01/2008

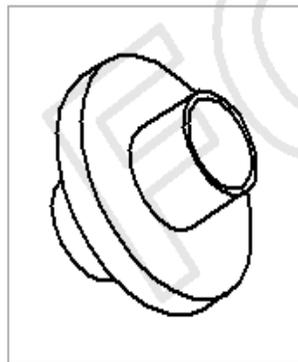
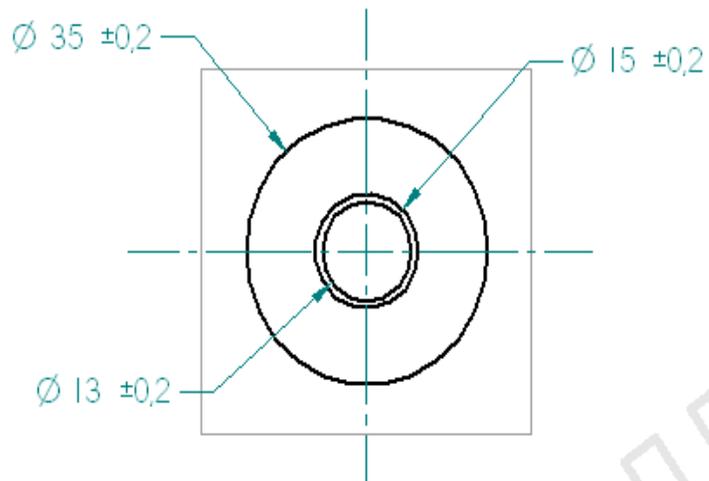
Reviso:



 Universidad de San Buenaventura Facultad de Ingeniería Ingeniería Mecatrónica			
Dibujo: David Antonio Vargas Ruiz - Erika Alexandra Ruiz Jimenez			Medidas en :mm
Nombre Plano: Eje Efecto		Material: Acero	
Escala: 1 : 1	Numero de plano: 9	Fecha: 14/01/2008	Reviso:



	Universidad de San Buenaventura Facultad de ingeniería Ingeniería Mecatrónica		
Dibujo: David Antonio Vargas Ruiz - Erika Alexandra Ruiz Jimenez		Medidas en mm	
Nombre Plano: 15		Material: polipropileno de alto impacto	
Escala: 10: 1	Numero de plano: 15	Fecha: 14/01/2008	Reviso:



Universidad de San Buenaventura
Facultad de ingeniería
Ingeniería Mecatrónica

Dibujo: David Antonio Vargas Ruiz - Erika Alexandra Ruiz Jimenez

Medidas en mm

Nombre Plano: Buje base

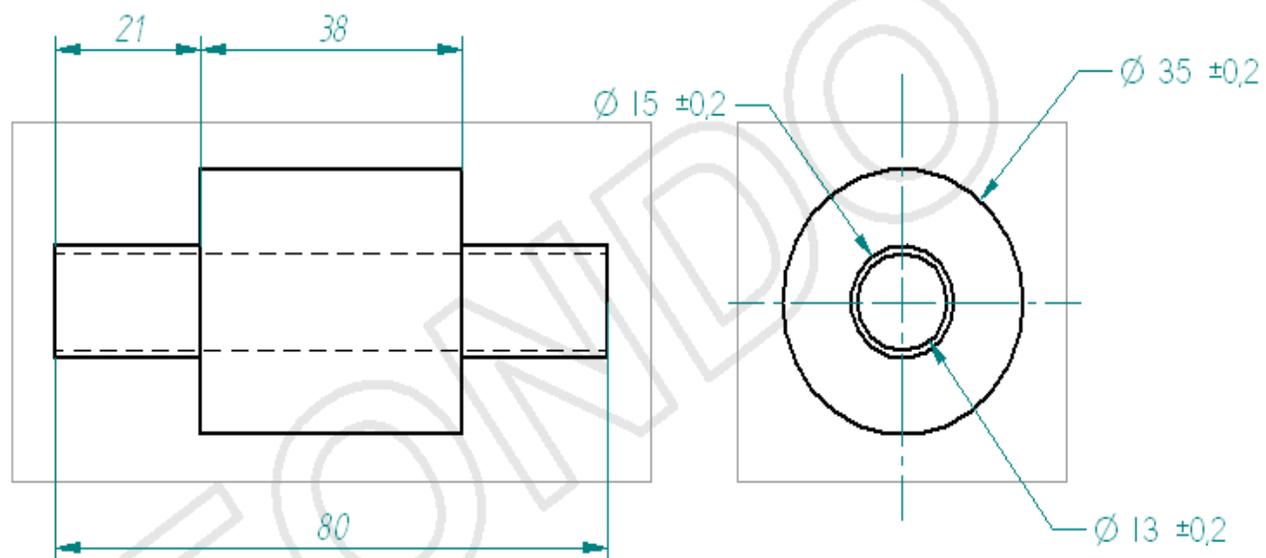
Material: polipropileno de alto impacto

Escala: 1 : 5

Numero de plano: 10

Fecha: 14/01/2008

Revisa:



Universidad de San Buenaventura
 Facultad de ingeniería
 Ingeniería Mecatrónica

Dibujo: David Antonio Vargas Ruiz - Erika Alexandra Ruiz Jimenez

Medidas en mm

Nombre Plano: buje estabon 2-3

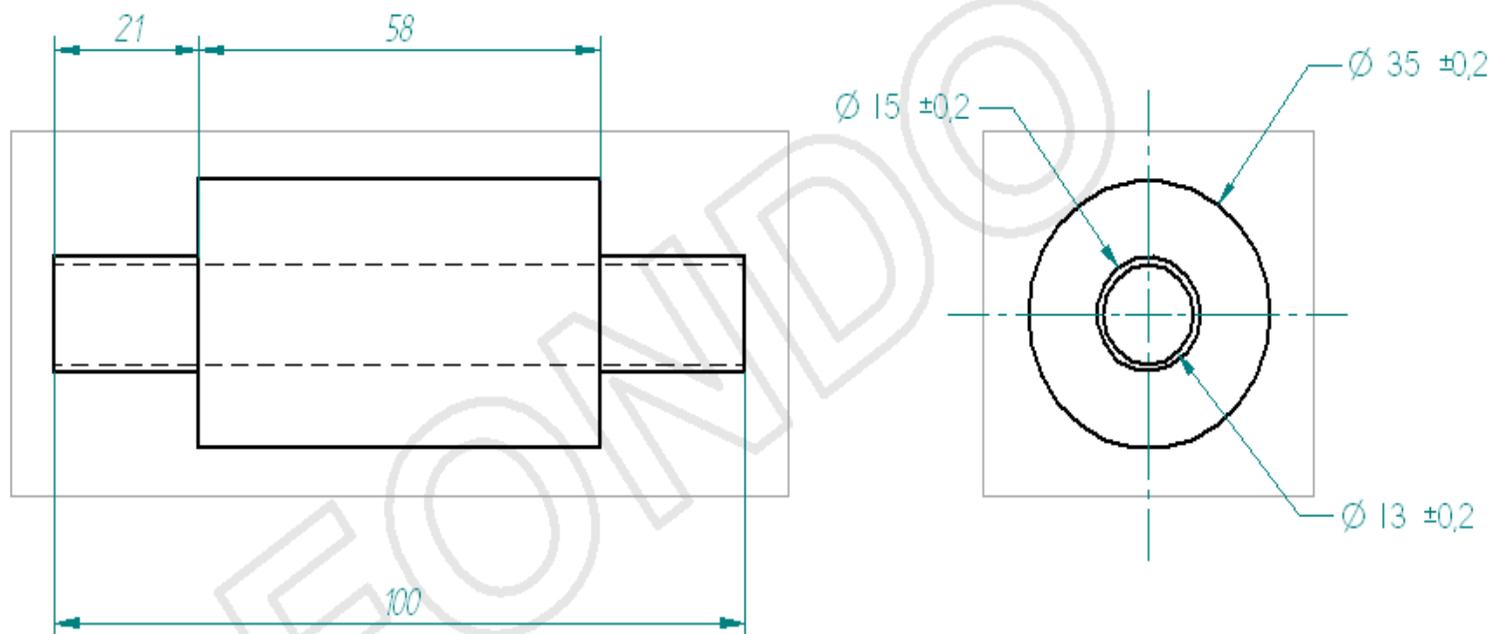
Material: polipropileno de alimparto

Escala: 1 : 1

Numero de plano: B

Fecha: 14/01/2008

Reviso:



Universidad de San Buenaventura
 Facultad de ingeniería
 Ingeniería Mecatrónica

Dibujo: David Antonio Vargas Ruiz - Erika Alexandra Ruiz Jimenez

Medidas en :mm

Nombre Plano: Buje eslabon 1-2

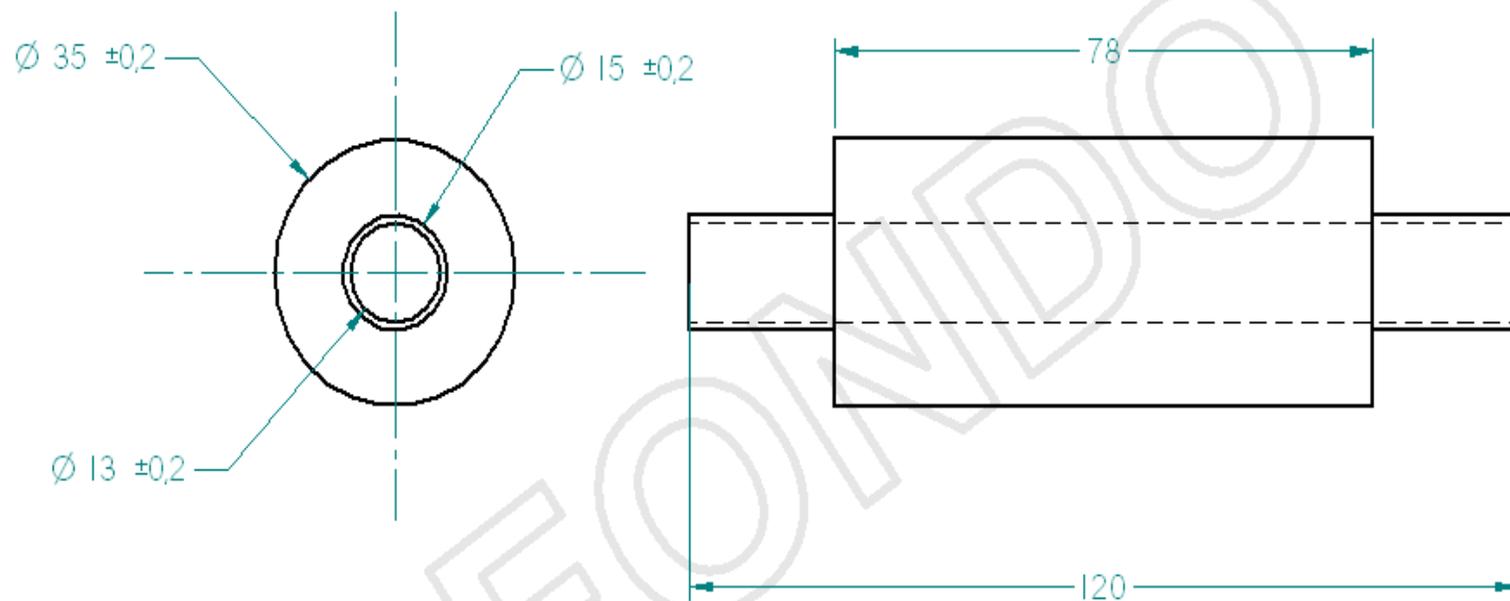
Material: Polipropileno de alto impacto

Escala: 1 : 1

Numero de plano: 12

Fecha: 14/01/2008

Reviso:



Universidad de San Buenaventura
Facultad de ingeniería
Ingeniería Mecatrónica

Dibujo: David Antonio Vargas Ruiz - Erika Alexandra Ruiz Jimenez

Medidas en .mm

Nombre Plano: Buje base rotatoria - eslabon

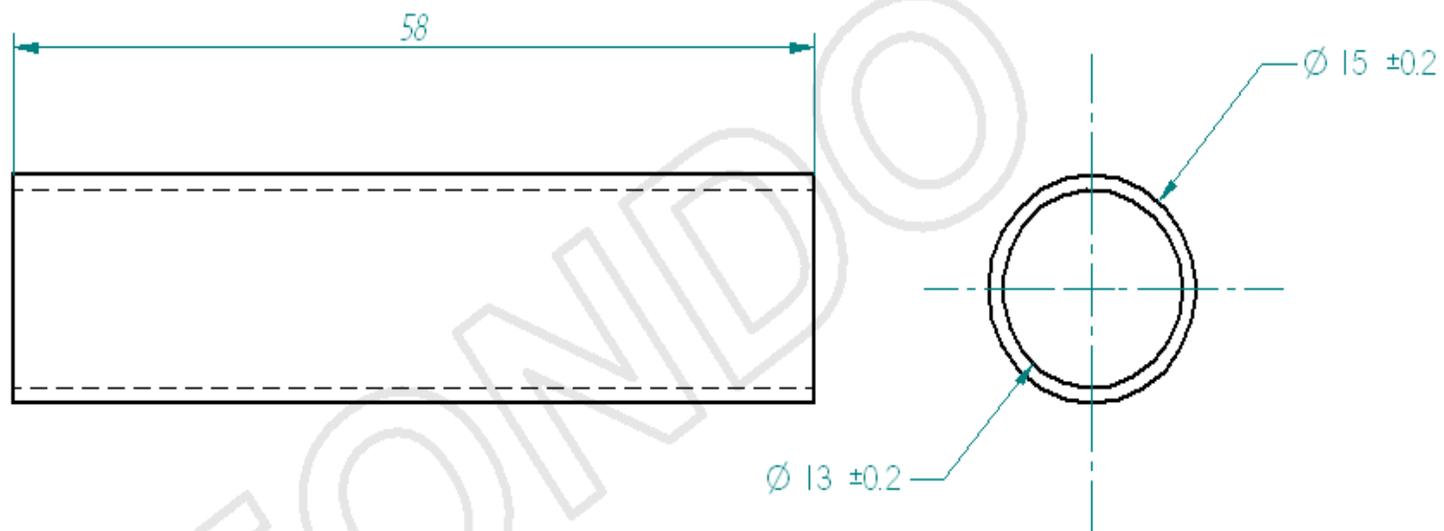
Material: polipropileno de alto impacto

Escala: 1 : 1

Numero de plano: 11

Fecha: 14/01/2008

Reviso:



Universidad de San Buenaventura
Facultad de ingeniería
Ingeniería Mecatrónica

Dibujo: David Antonio Vargas Ruiz - Erika Alexandra Ruiz Jimenez

Medidas en .mm

Nombre Plano: buje del efector

Material: polipropileno de alto impacto

Escala: 1 : 1

Numero de plano: 14

Fecha: 14/01/2008

Reviso:

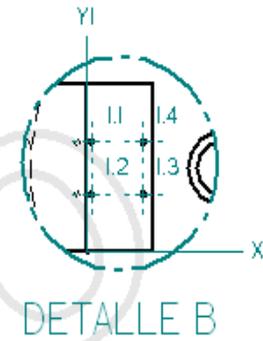
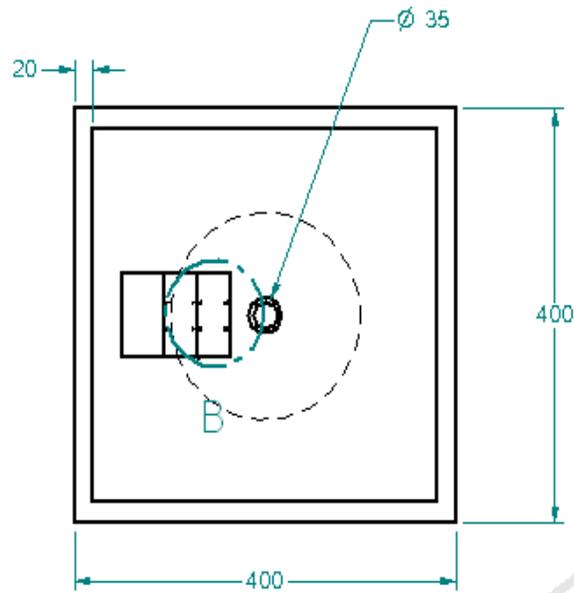
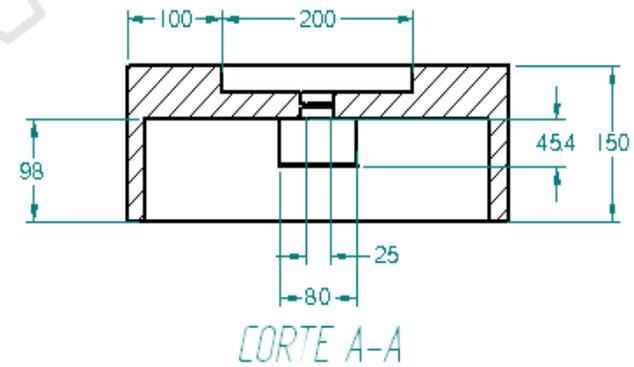
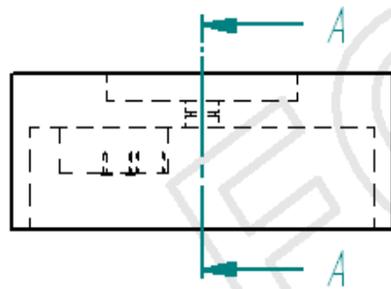
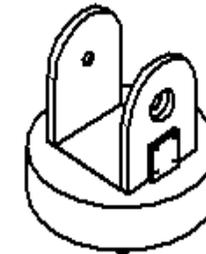
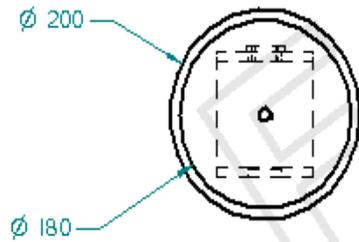
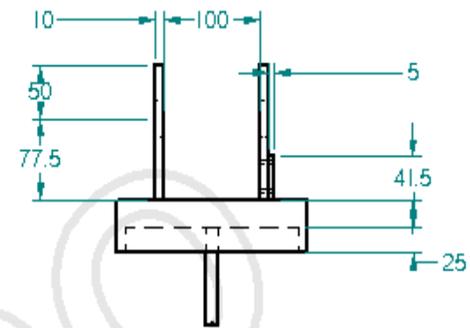
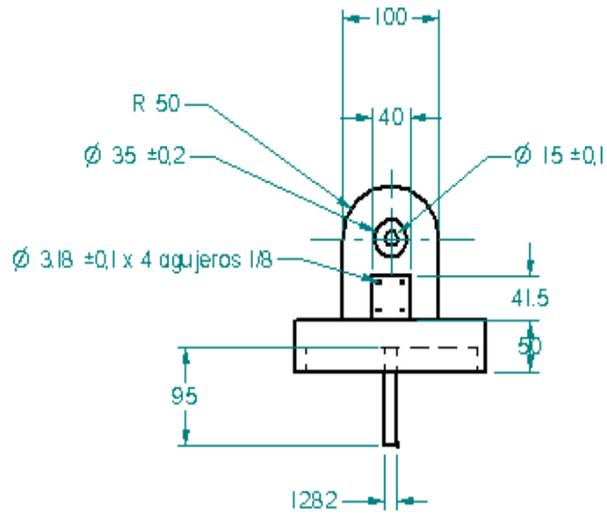


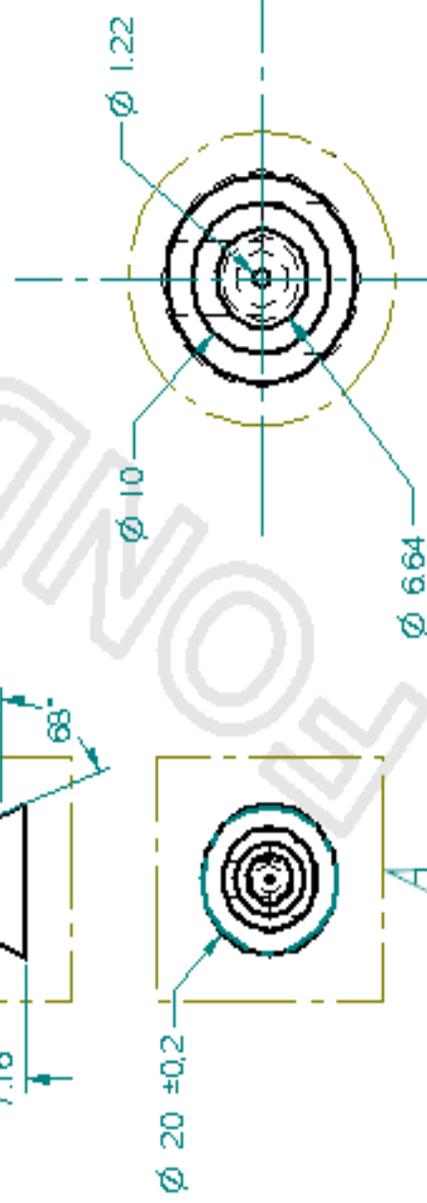
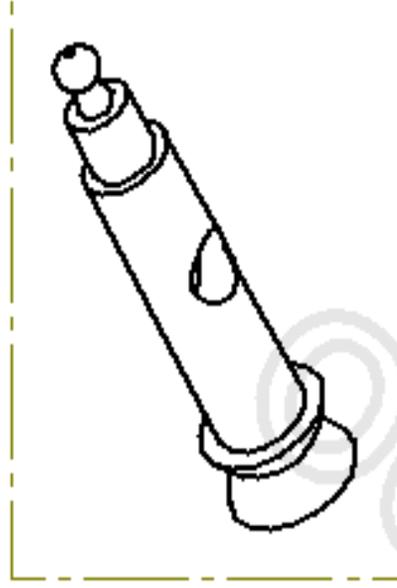
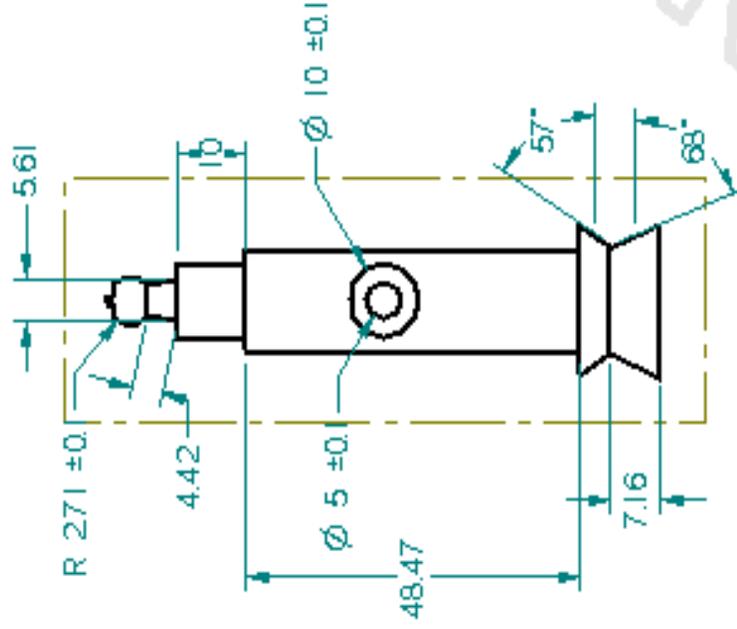
Tabla de Agujeros		
Agujero	X	Y
1.1	2,4	52,42
1.2	2,4	27,42
1.3	29,4	27,42
1.4	29,4	52,42



 Universidad de San Buenaventura Facultad de Ingeniería Ingeniería Mecatrónica			
Dibujo: David Antonio Vargas Ruiz - Erica Alexandra Ruiz Jimenez			Medidas en mm
Nombre Plano: Base del brazo		Material: Aluminio	
Escala: 1:2	Numero de plano: 1	Fecha: 14/01/2008	Revisó:



 Universidad de San Buenaventura Facultad de Ingeniería Ingeniería Mecatrónica			
Dibujo: David Antonio Vargas Ruiz - Erika Alexandra Ruiz Jimenez			Medidas en mm
Nombre Plano: base rotatoria del primer eslabon		Material: Aluminio	
Escala: 1:5	Numero de plano: 2	Fecha: 14/01/2008	Reviso:



Universidad de San Buenaventura
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Mecatrónica

Docente: David Antonio Vargas Ruiz - Ericka Alexandra Ruiz Jiménez Medidas en .mm

Nombre Plano: eflector

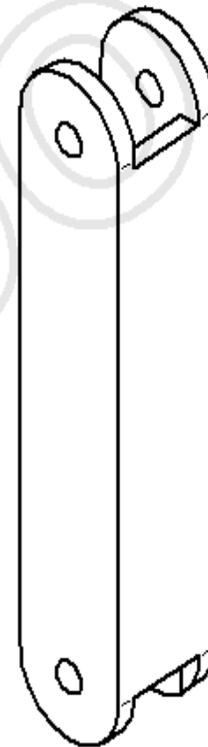
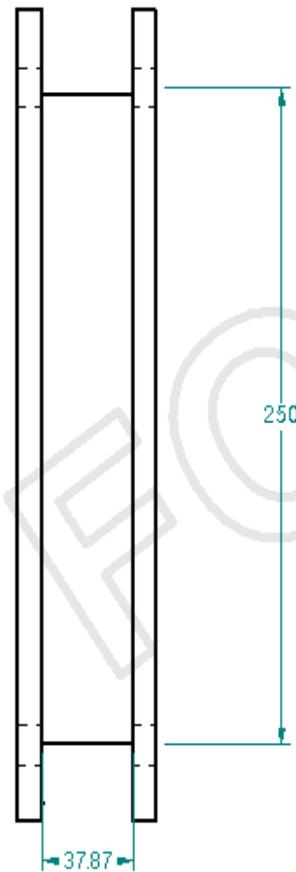
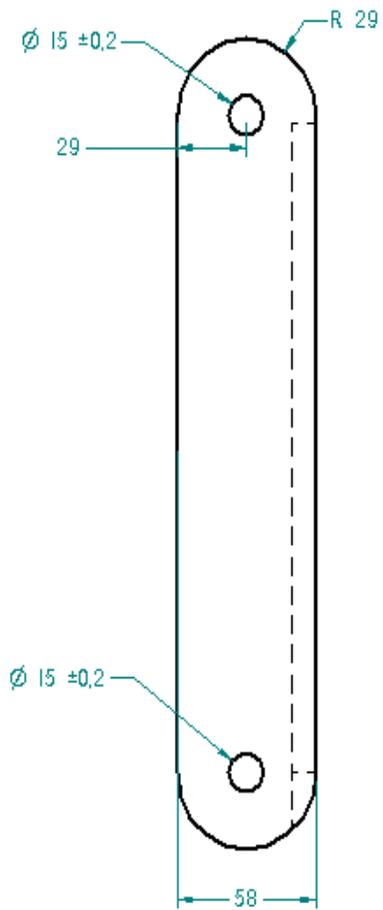
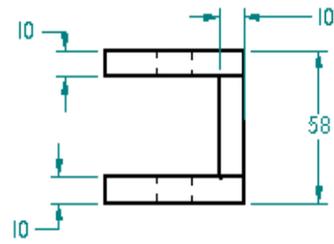
Material: Acero

Escala: 1 : 1

Numero de plano: 16

Fecha: 14/01/2008

Revisión:



 Universidad de San Buenaventura Facultad de Ingeniería Ingeniería Mecatrónica			
Dibujo: David Antonio Vargas Ruiz - Erika Alexandra Ruiz Jiménez			Medidas en mm
Nombre Plano: Estaban 3		Material: Aluminio	
Escala: 1:2	Número de plano: 5	Fecha: 14/01/2008	Revisó:

