



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA
DE UN BRAZO ROBÓTICO CON SEIS GRADOS DE
LIBERTAD, APLICANDO INGENIERÍA INVERSA
PARA LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS
ARMADAS “ESPE” EXTENSIÓN LATACUNGA.**

Mena Guevara José Gabriel
Latacunga, 2014

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir la estructura de un Brazo Robótico con seis grados de libertad, aplicando **ingeniería inversa** para la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” Extensión Latacunga.



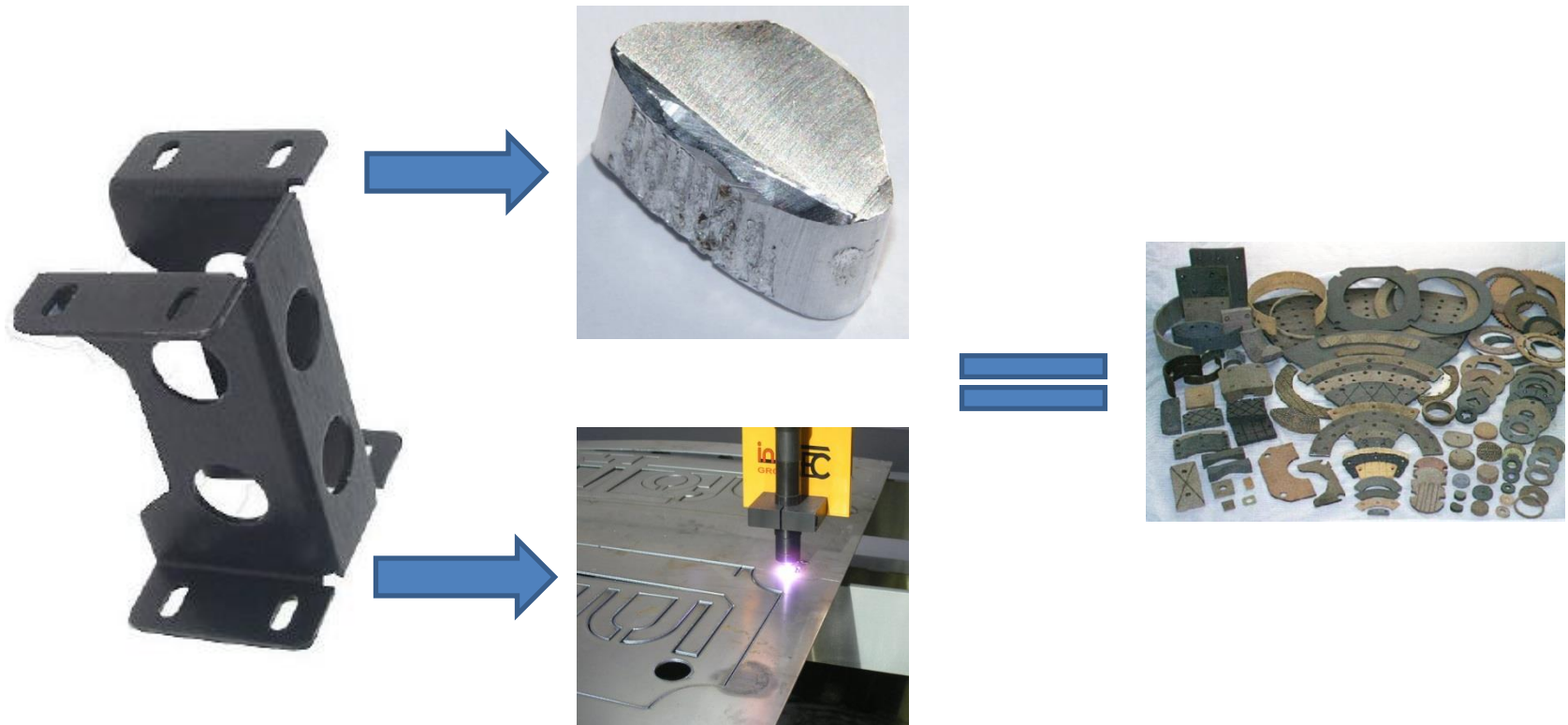


CAPITULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO

- Recompilar información proveniente de artículos técnicos, libros, monografías, tesis o ensayos sobre el diseño de Brazos Robóticos con seis grados de libertad.

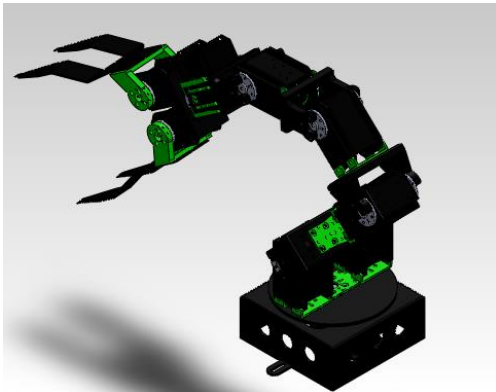
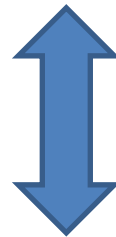
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA



ALCANCE



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



+



+



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ESTADO DE LA CIENCIA

Materiales

- Peso
- Mecanizado y formación
- Costo
- Disponibilidad

Anatomía del robot

Brazo robótico

Cinemática del Robot Manipulador

El criterio de Grübler-Kutzbach



Grübler-Kutzbach

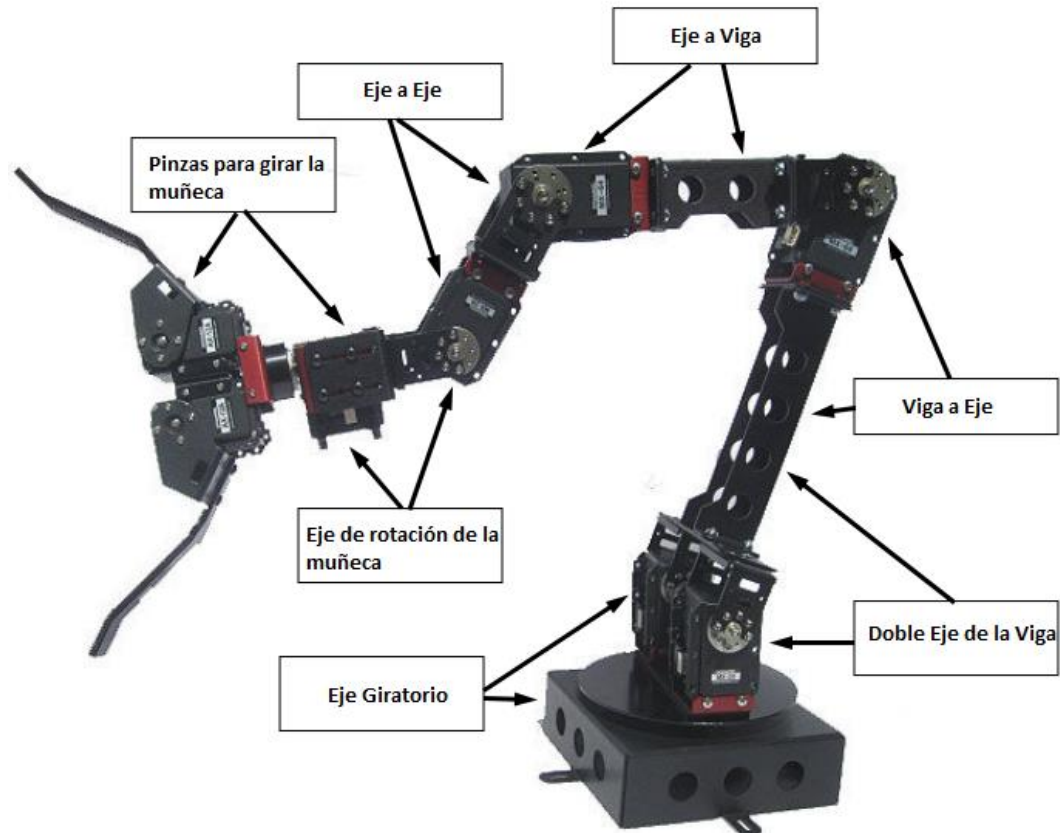
Es el más acertado para determinar los grados de libertad de un sistema mecánico plano.

$$m = 3(n - 1) - 2j_1 - j_2$$

- m , movilidad.
- n , número de eslabones de un mecanismo.
- j_1 , número de uniones de 1 grado de libertad.
- j_2 , número de uniones de 2 grados de libertad.



MECÁNICA DEL ROBOT CRUSTCRAWLER



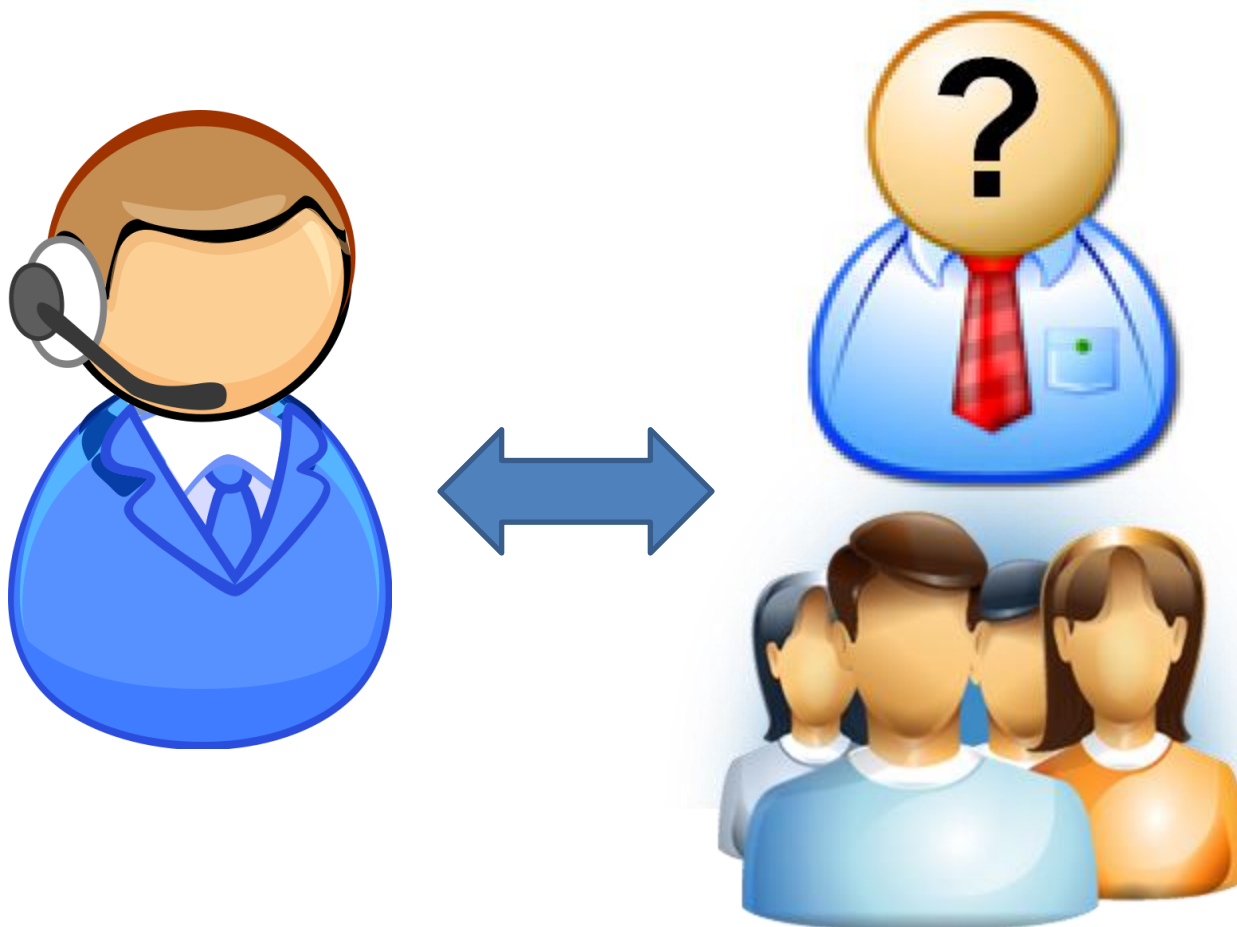
MECÁNICA DEL ROBOT CRUSTCRAWLER

- Motor DYNAMIXEL MX-28T.
- Motor DYNAMIXEL MX-64T.
- Motor DYNAMIXEL MX-106T.

Peso, Torque, Dimensiones



DESARROLLO DE FUNCIÓN DE CALIDAD



SOFTWARE

MATLAB, estudio cinemático.

COMSOL, estudio estático.

SOLIDWORKS, modelado.

SOLIDTHINKING, morfogénesis.





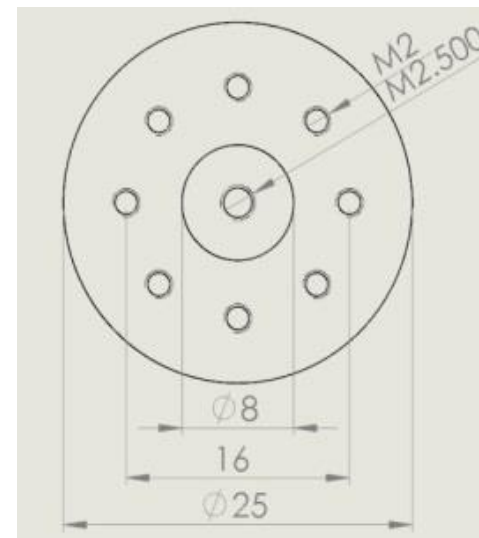
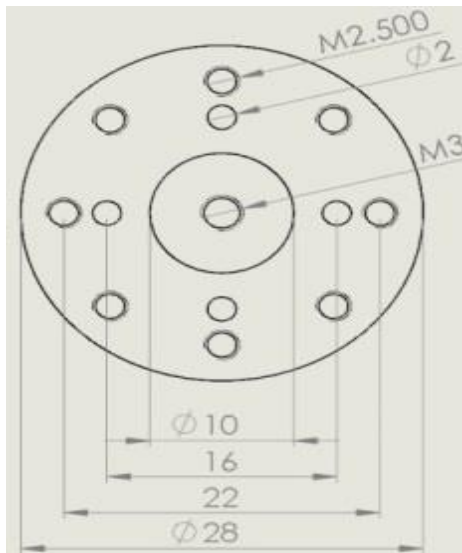
CAPITULO II

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

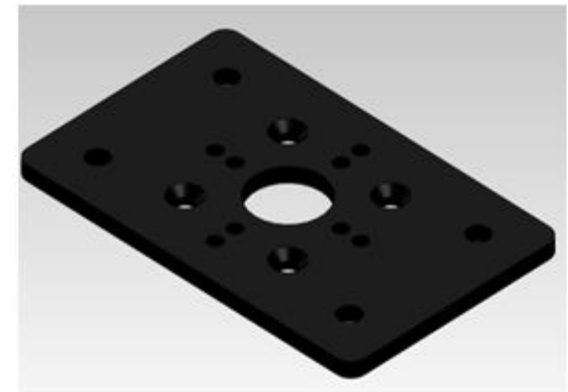
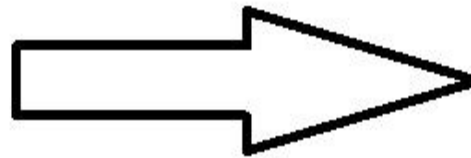
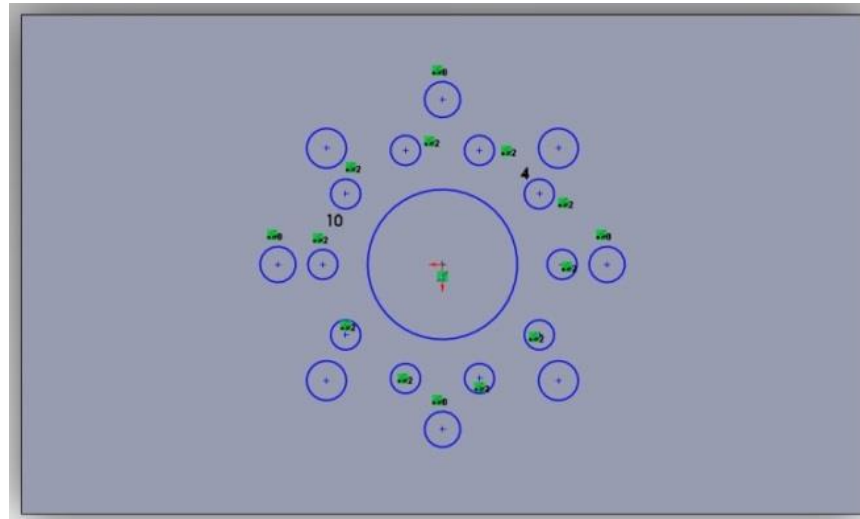
- Diseñar e implementar un prototipo digital de la estructura del Brazo Robótico mediante el uso de CAD.
- Realizar la simulación de fuerzas actuantes, momentos y del movimiento sobre la estructura del Brazo Robótico mediante el uso de CAE.
- Realizar ingeniería inversa y morfogénesis al Brazo Robótico CrustCrawler y recompilar datos estructurales útiles para la ejecución del proyecto para obtener un modelo matemático con la ayuda de CAE que cumpla con las exigencias de diseño a realizarse en la estructura del Brazo Robótico.
- Generar una base de datos con la información para de esta forma realizar una comparación con los datos pre-configurados.

MODELADO

Para la medición de cada pieza se utilizó un Pie de Rey Digital y como referencia adicional se tiene los planos de los tres modelos de servo motores DYNAMIXEL MX.



MODELADO



MODELADO

- **Servo Motor DYNAMIXEL MX-106T.**

Dos articulaciones, un adaptador de placa doble, un adaptador de placa simple, una viga de 127mm, dos bases para servo motor, una mesa giratoria y un disco de 113mm.

- **Servo Motor DYNAMIXEL MX-64T.**

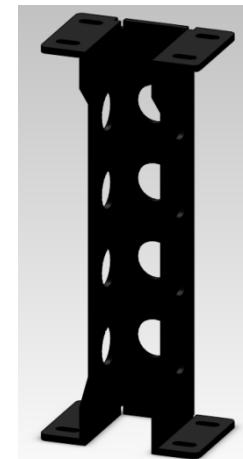
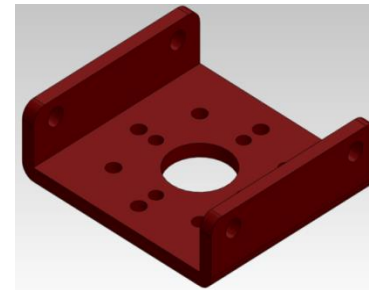
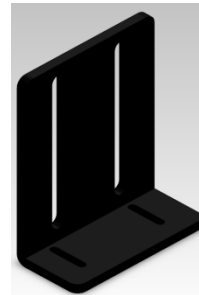
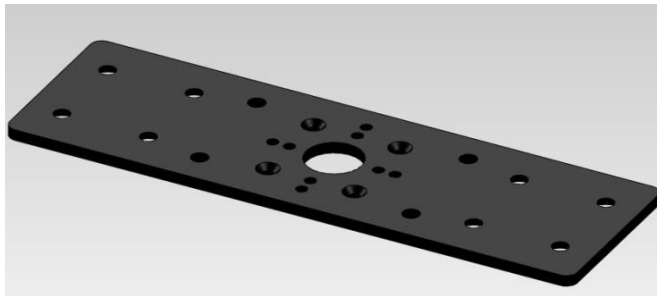
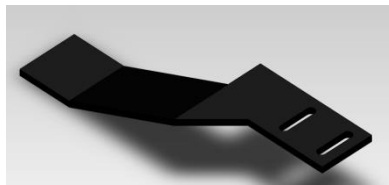
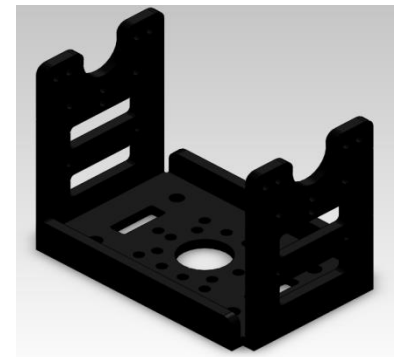
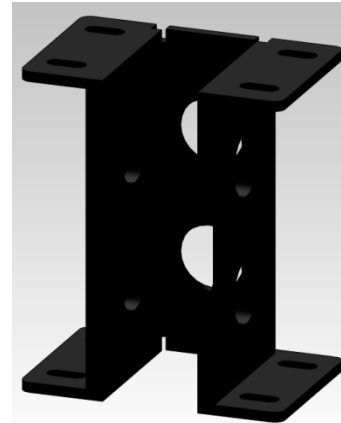
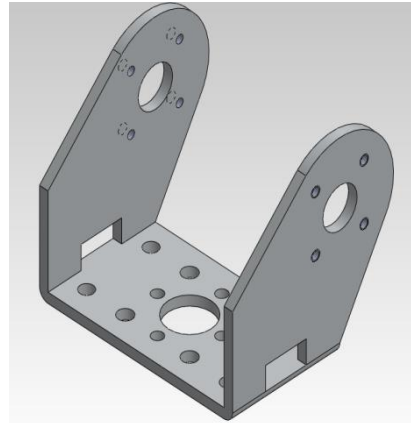
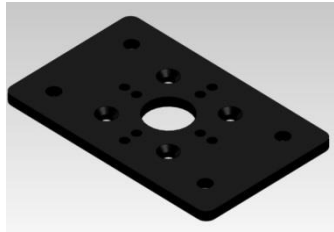
Tres articulaciones, dos adaptador de placa simple, una viga de 63.5mm, cinco bases para servo motor y dos adaptadores tipo L.

- **Servo Motor DYNAMIXEL MX-28T.**

Dos articulaciones para pinza, una base para servo motor reducida y un juego de pinzas.



MODELADO



MORFOGÉNESIS

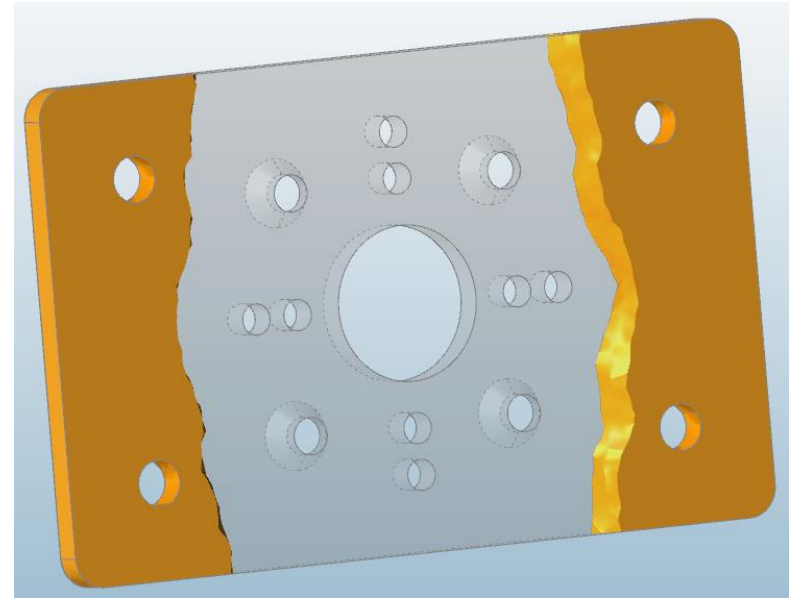
Nombre	Masa(gr)
Adaptador de Placa Simple	9
Adaptador de Placa Doble	18
Viga de 127mm	56
Viga de 63.5mm	47
Adaptador Tipo L	9
Articulación	22
Articulación para pinza	15
Base para Servo Motores	10

Se colocó los soportes en la cara inferior del objeto, momentos en los laterales cuyo valor es de 1000Ncm y cargas de 1000N, se procedió a optimizar el sólido desde el 5% hasta el 50%

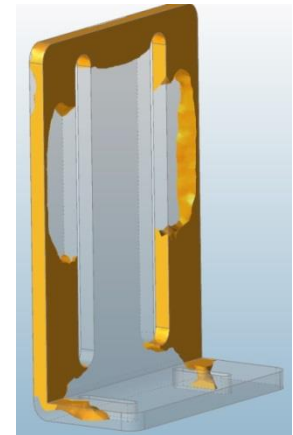
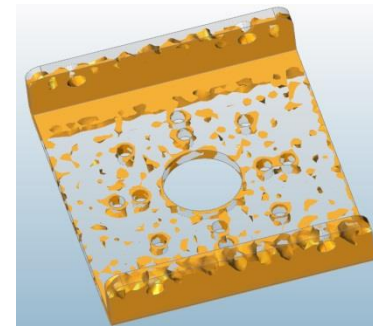
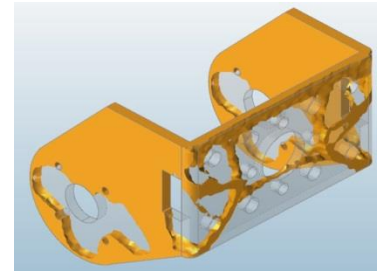
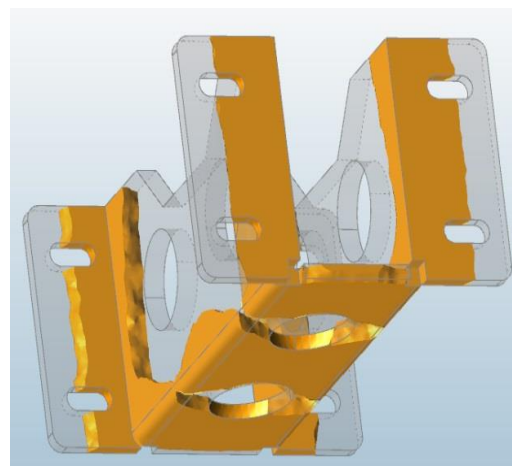
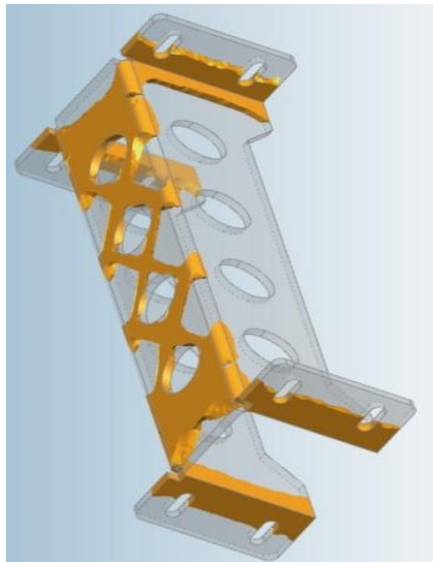
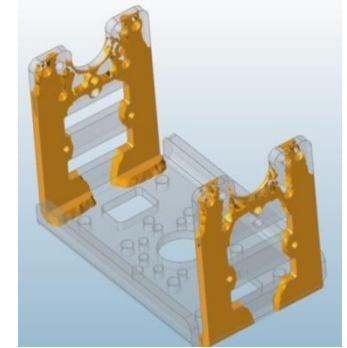
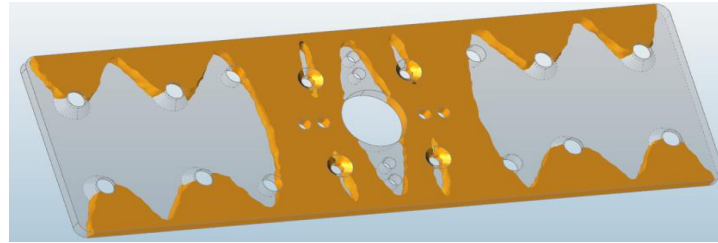
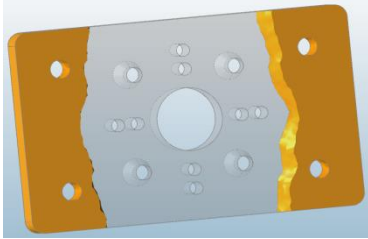


OPTIMIZACIÓN DE MASAS

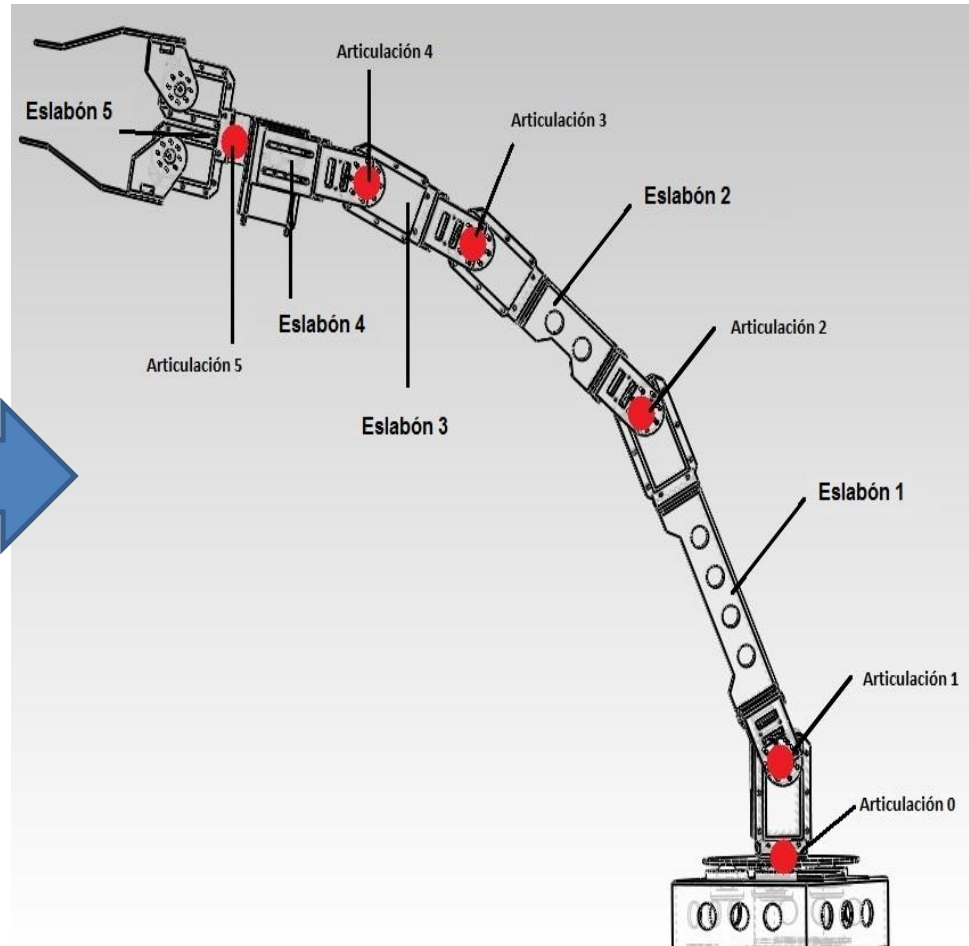
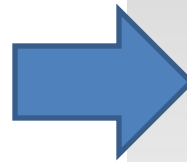
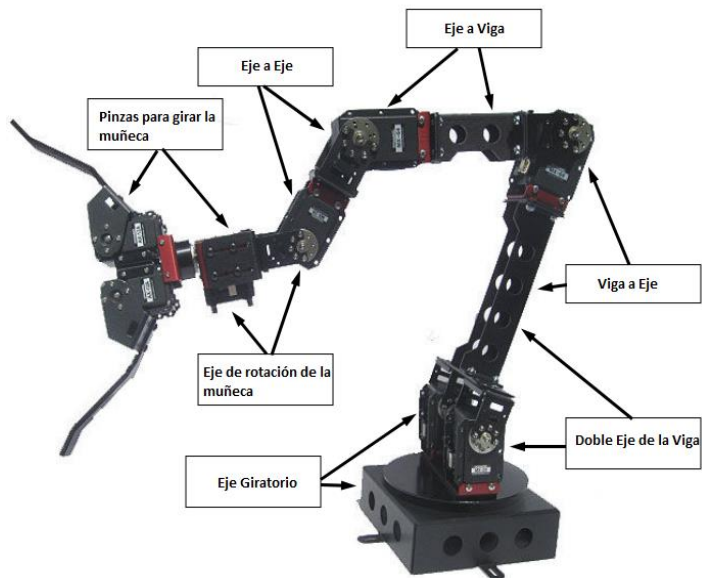
%	masa(gr)
5	1
10	1
15	1
20	2
25	2
30	3
35	3
40	4
45	4
50	5



OPTIMIZACIÓN DE MASAS



CINEMÁTICA DEL ROBOT



CINEMÁTICA DEL ROBOT

i	α_{i-1}	a_{i-1}	θ_i	d_i
1	α_0	0	θ_1	0
2	0	a_1	θ_2	0
3	0	a_2	θ_3	0
4	0	a_3	θ_4	0
5	α_5	0	0	0

- La articulación 1 y 5 son capaces de girar con respecto al eje X mientras que las otras tres exclusivamente lo hacen con respecto al eje Z.
- La articulación 5 no se desplaza sobre el eje Z y adopta el ángulo y desplazamiento en el eje X de la Articulación 4.

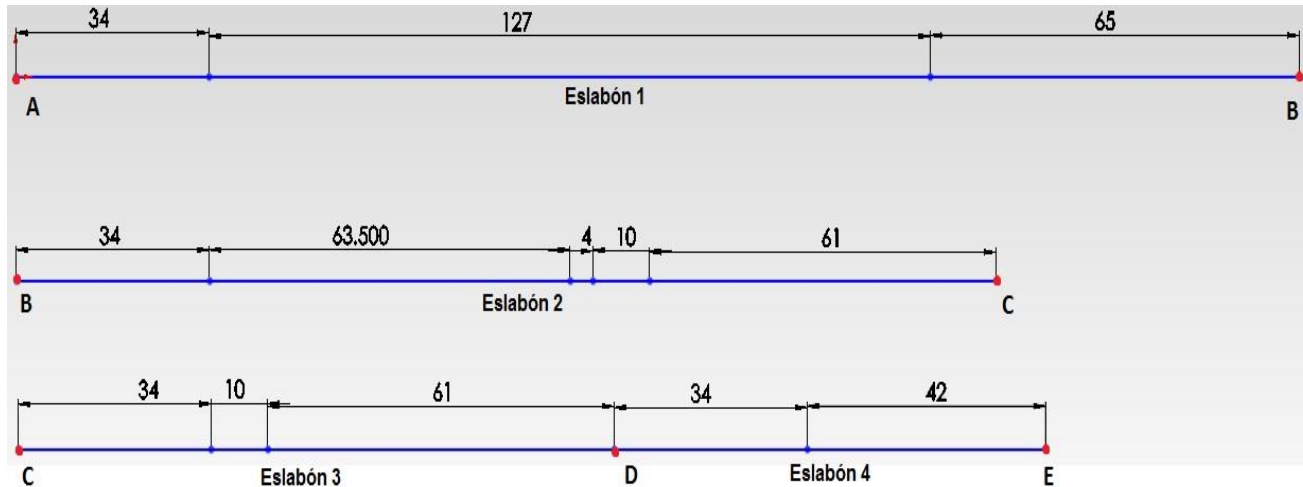


CINEMÁTICA DEL ROBOT

Eslabón	Componentes	Masa(gr)	Dist(mm)
1	Articulación (2), Viga de 127mm, Adaptador de Placa Doble, Motor DYNAMIXEL MX106T, Base para Servo Motor, Adaptador Placa Simple.	290	237
2	Articulación, Viga de 63.5mm, Adaptador de Placa Simple (2), Motor DYNAMIXEL MX64T, Base para Servo Motor.	223	172.5
3	Articulación, Motor DYNAMIXEL MX64T, Base para Servo Motor.	158	115
4	Articulación, Motor DYNAMIXEL MX64T, Base para Servo Motor (2), Adaptador Tipo L (2).	184	76
5	Articulación para Pinza (2), Motor DYNAMIXEL MX28T, Base para Servo Motor.	112	0



CINEMÁTICA DEL ROBOT



- El segmento A-B representa al primer eslabón y cada uno de sus componentes.
- El segmento B-C representa al segundo eslabón y cada uno de sus componentes.
- El segmento C-D representa al tercer eslabón y cada uno de sus componentes.
- El segmento D-E representa al cuarto eslabón y cada uno de sus componentes.
- El punto E representa al quinto eslabón y cada uno de sus componentes.



CINEMÁTICA DEL ROBOT

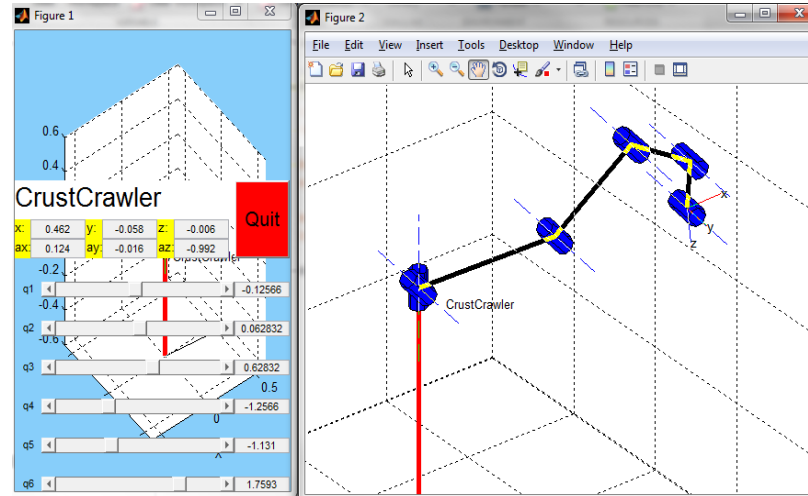
$$F = \frac{T}{d}$$

- Para el segmento A-E los dos motores DYNAMIXEL MX106T ejercen una fuerza de 33.2N.
- Para el segmento B-E el motor DYNAMIXEL MX64T ejercen una fuerza de 20N.
- Para el segmento C-E el motor DYNAMIXEL MX64T ejercen una fuerza de 38.4N.
- Para el segmento D-E el motor DYNAMIXEL MX64T ejercen una fuerza de 96N.

Segmento	Fuerza(N)	Masa(Kg)	Rendimiento (%)
A-E	23.72	2.42	28.54
B-E	13.36	1.36	33.17
C-E	33.75	3.44	11.64
D-E	93.09	9.49	3.02



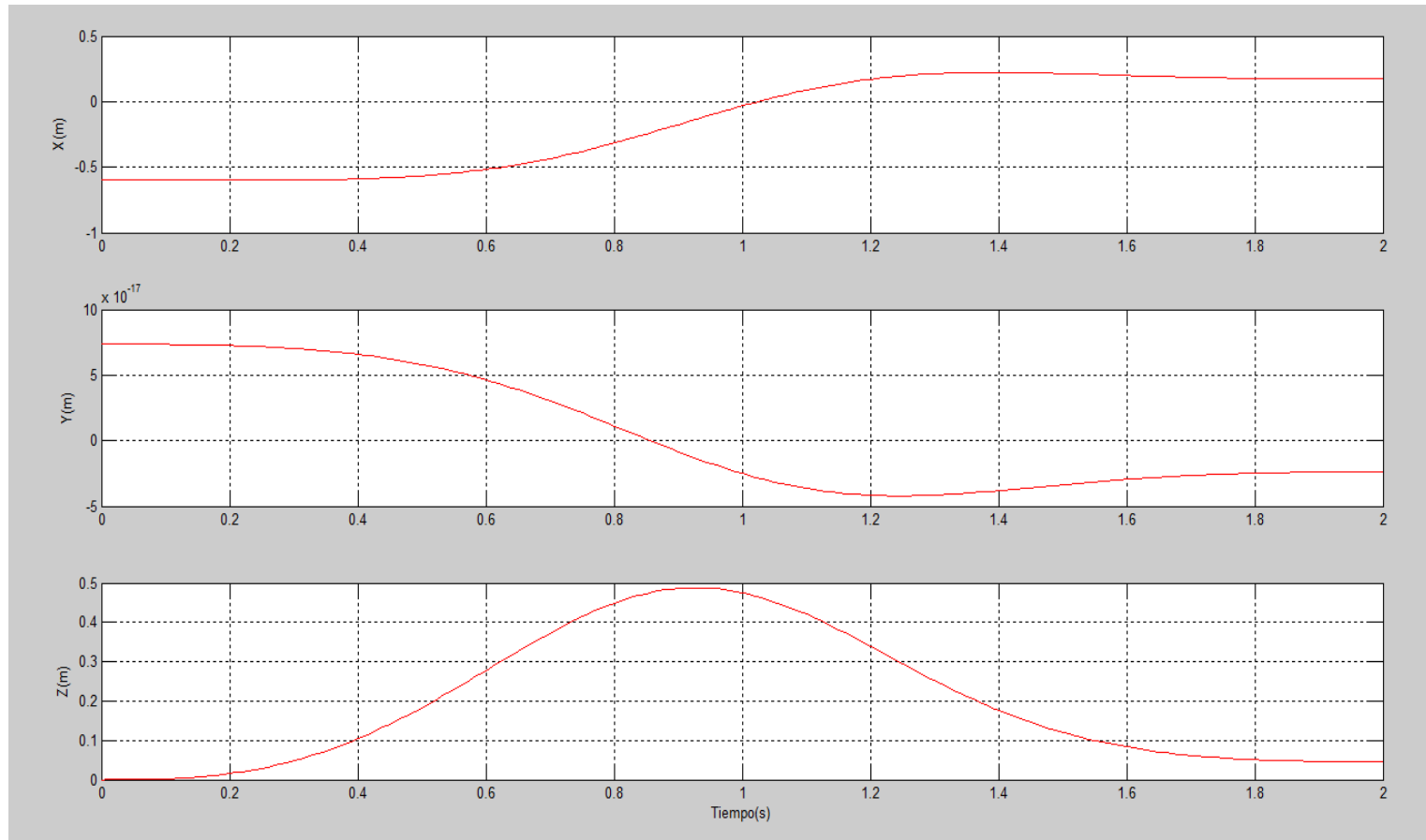
CINEMÁTICA DEL ROBOT



- q_1 representa la articulación 0 y q_2 la articulación 1, ambos se ubican en el mismo lugar y permiten un giro con respecto al eje X y al eje Z simultanea e individualmente.
- q_3 , q_4 y q_5 representan a las articulaciones 2,3 y 4, las cuales pueden desplazarse únicamente con respecto al eje X.
- q_6 representa la articulación 5 la cual gira exclusivamente con respecto al eje Z.



CINEMÁTICA DEL ROBOT



PLANIFICACIÓN EL PRODUCTO

B= básico
O=unidimensional
E=estimulante

Voz del Ingeniero		Importancia	Dimensiones	Tipo de material	Peso	Inversión en Equipo	A	B	C	D	E	F	G	H	I
							Evaluación del Usuario			Objetivos	Indice de mejora	Factor de venta	Importancia	Ponderación	Ponderación en %
Voz del Usuario		Propia empresa	Competencia 1	Competencia 2											
Resistente		B	9	9	3	1	4	3	3	5	1.25	1.5	5	9.4	22
Duradero		O	9	0	1	3	3	4	3	4	1.33	1.2	4	6.4	15
Bajo Costo		O	0	9	9	0	4	4	3	5	1.25	1	4	5	12
Facil ensablaje		B	9	0	3	9	4	4	3	4	1	1.2	4	4.8	11
Libre mantenimiento		B	0	9	9	3	4	3	4	5	1.25	1.5	4	7.5	18
Pequeño		B	0	1	3	0	4	2	4	4	1	1.5	4	6	14
Bajo consumo		E	9	1	1	9	3	4	4	3	1	1.2	3	3.6	8.4
														43	100
Propia empresa			4	4	5	5									
Competencia 1			3	3	4	5									
Competencia 2			4	4	3	3									
Incidencia			217	206	183	126.6	734								
Incidencia en %			30	28	25	17.26	100								
Valor de referencia			34x600x50mm	Aluminio	1.7Kg	1000 \$									

Evaluación técnica

fuerte=9
medio=3
bajo=1

Factor de venta

fuerte=1,5
posible=1.2
ninguno=1

$E=D/A$

$H=E*F*G$



PLANIFICACIÓN EL PRODUCTO

ESPECIFICACIONES	Producto: Brazo Robótico		
CONCEPTO	Propon e	R/D	DESCRIPCIÓN
Función	I	R	El robot debe ser óptimo para el paletizado.
	I	R	Dispondrá de un control amigable para el usuario.
	I	R	El Brazo Robótico será capaz de acoplarse a múltiples medios y ocupara el menor espacio posible.
	I	R	El Brazo Robótico podrá soportar una carga adicional de aproximadamente 1kg sin entorpecer su movilidad.
Dimensiones	C	R	Colocando el Brazo Robótico verticalmente se tiene unas dimensiones prismáticas de aproximadamente 34x600x50mm.
Tipo de material	C	R	Principalmente aluminio entre otros polímeros.
Peso	I	R	Ignorando la base el peso aproximado del robot es de 1.7kg.
Inversión en el equipo	I	R	Dado que el precio tiene múltiples variantes se estima una media de \$1000.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CAPITULO III

DISEÑO Y DESARROLLO

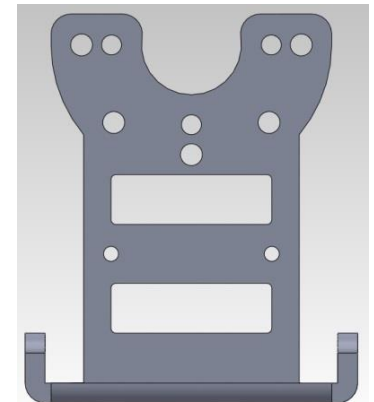
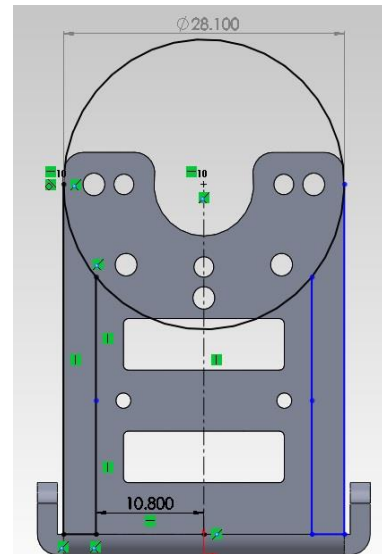
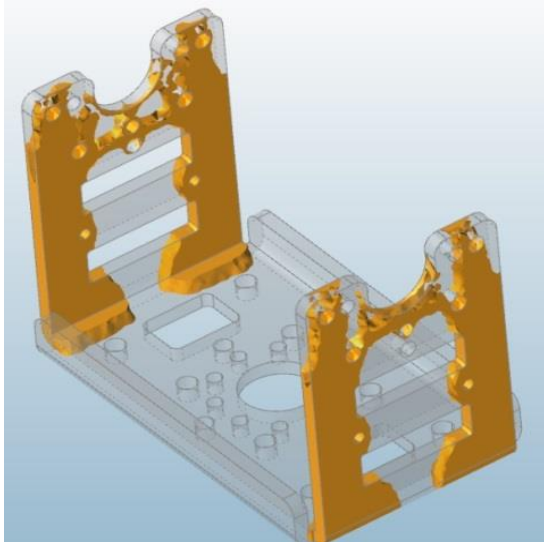
GENERALIDADES

- El usuario aprecia el dinamismo y estética de la estructura.
- El reducir el peso de cada elemento ofrece una mejora en el rendimiento para el paletizado, puesto mejoraría la movilidad.

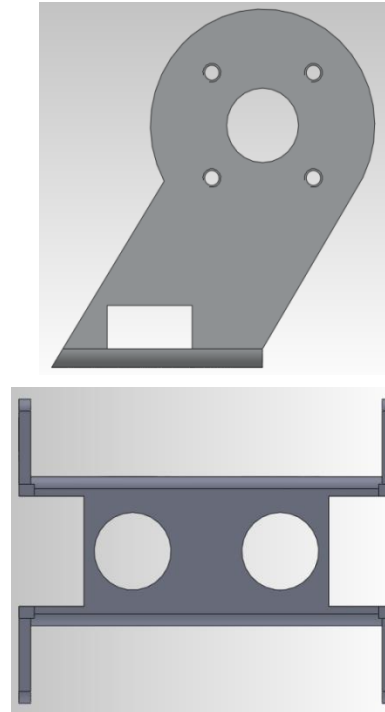
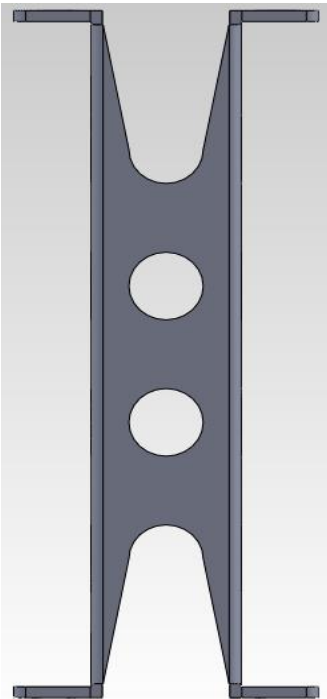
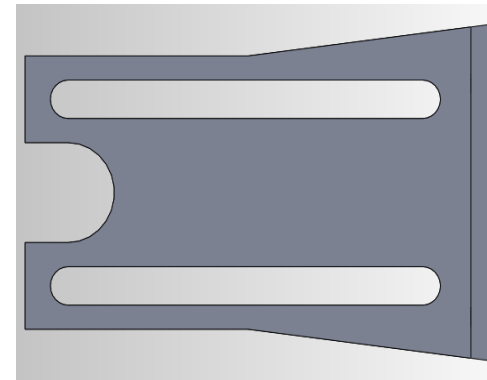
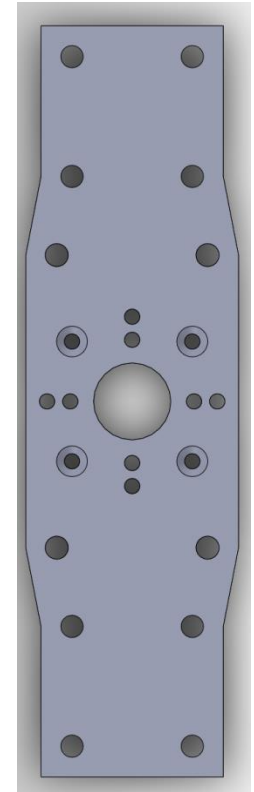
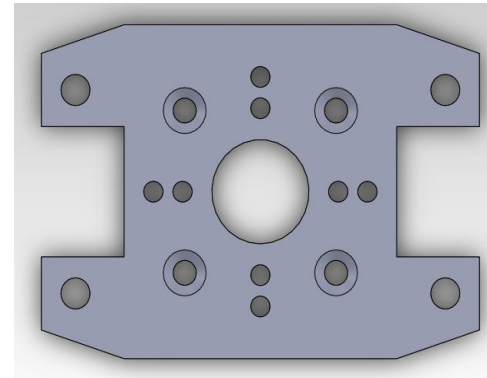
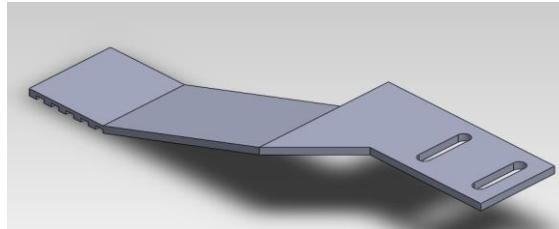


MODIFICACIONES

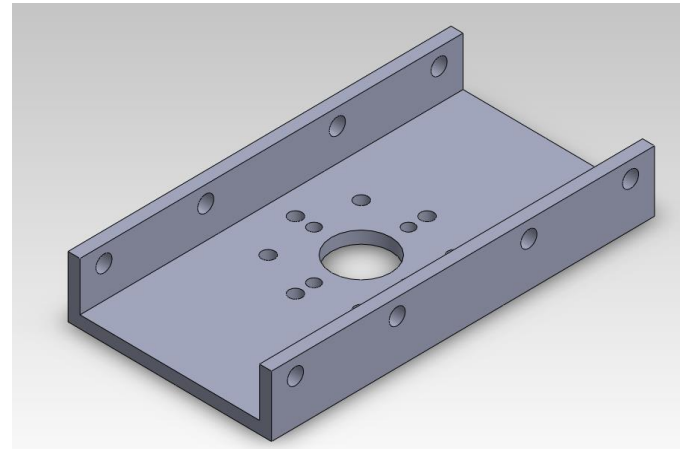
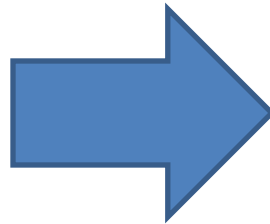
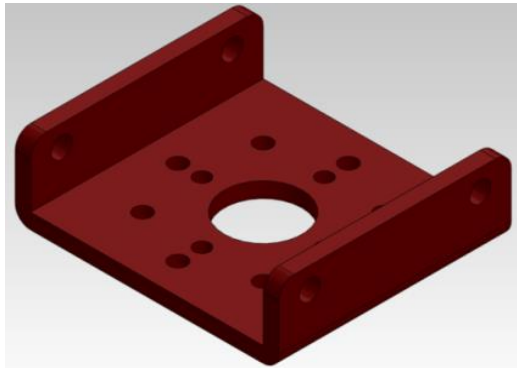
- Servo Motor DYNAMIXEL MX-28T.
- Servo Motor DYNAMIXEL MX-64T.
- Servo Motor DYNAMIXEL MX-106T.



MODIFICACIONES



MODIFICACIONES



ESTUDIO ESTÁTICO

- SELECCIÓN DE MATERIAL - CES EduPack 2009

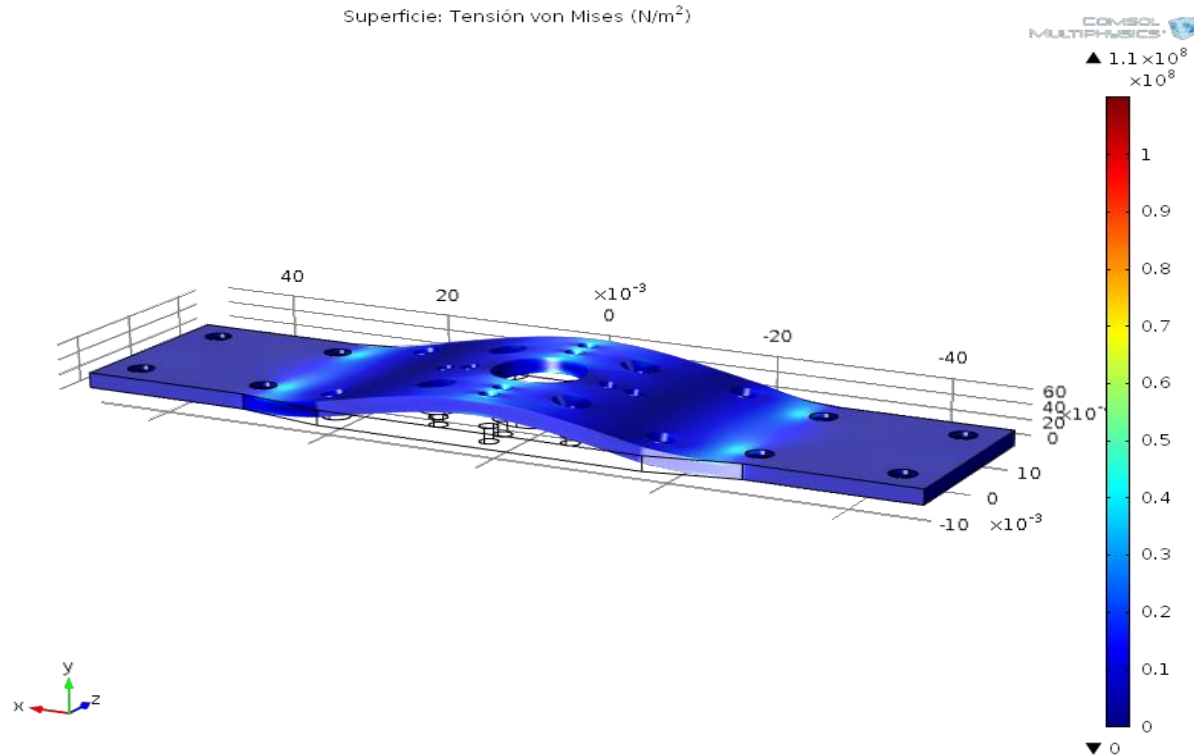
	Mínimo	Máximo
Precio(\$/Kg)	1	10
Limite elástico(MPa)	20	50
Densidad(gr/cc)	1	10

Plástico ABS



ESTUDIO ESTÁTICO

COMSOL



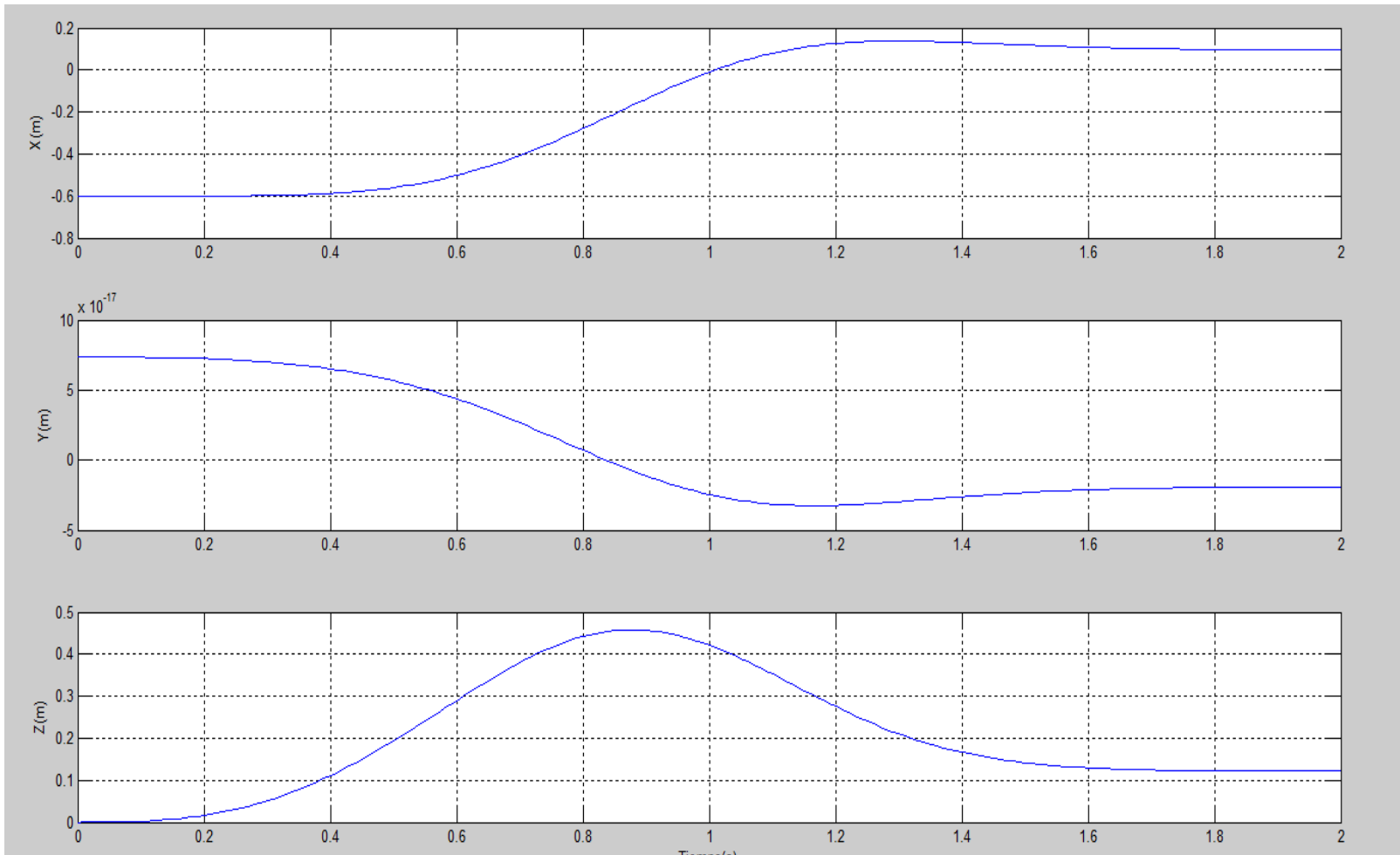
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ESTUDIO ESTÁTICO

Nombre	Material	Tensión von Mises máxima (MPa)	Factor de seguridad	Peso (gr)
Adaptador de Placa Doble	ABS	26.5	1.66	5
Adaptador de Placa Simple	ABS	16.5	2.66	2
Adaptador Tipo L	ABS	28.7	1.53	2
Articulación 64T	ABS	28.7	1.53	7
Articulación 106T	ABS	22.1	1.99	7
Articulación pinza	ABS	34	1.3	5
Base para S.Motor	ABS	17	2.58	3
Base para S.Motor 28T	ABS	16.8	2.6	4
Disco 113mm	ABS	27	1.62	32
Mesa Base	ABS	15	2.93	57
Pinzas	ABS	40	1.1	10
Viga 127mm	ABS	21.9	2	18
Viga 63.5mm	ABS	12.9	3.41	11



ESTUDIO CINEMÁTICO





ESPE

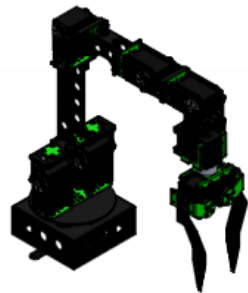
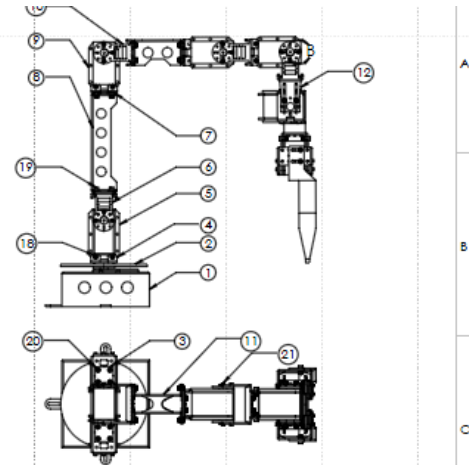
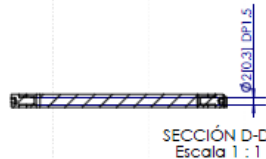
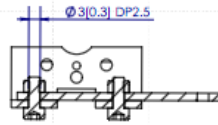
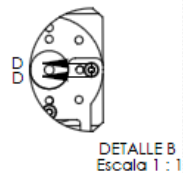
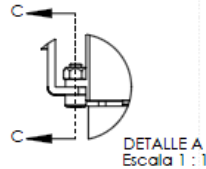
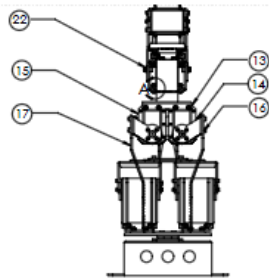
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CAPITULO IV

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

- Construir la estructura del Brazo Robótico teniendo en cuenta las conclusiones realizadas por parte de los simuladores.

GENERACIÓN DE PLANOS



1	MESA BASE	TG_RM_001	ABS	1	MESA BASE	0.457	NINGUNA
1	DISCO 113mm	TG_RM_002	ABS	2	DISCO 113mm	0.262	NINGUNA
2	ADAPTADOR DE PLACA DOBLE	TG_RM_003	ABS	3	A. PLACA DOBLE	0.040	NINGUNA
7	BASE PARA SERVO MOTOR	TG_RM_004	ABS	4	BASE PARA S.M.	0.025	NINGUNA
3	DC_08_B	DC_08_B	VARIOS	5	MX106T	0.153	NINGUNA
3	ARTICULACIÓN MX106T	TG_RM_005	ABS	6	ART. MX106T	0.056	NINGUNA
3	ADAPTADOR DE PLACA SIMPLE	TG_RM_006	ABS	7	A. PLACA SIMPLE	0.018	NINGUNA
1	VIGA 127mm	TG_RM_007	ABS	8	VIGA 127mm	0.150	NINGUNA
4	MX-64T	MX-64T	VARIOS	9	MX64T	0.126	NINGUNA
2	ARTICULACIÓN MX64T	TG_RM_008	ABS	10	ART. MX64T	0.055	NINGUNA
1	VIGA 63.5mm	TG_RM_009	ABS	11	VIGA 63.5mm	0.091	NINGUNA
2	ADAPTADOR L	TG_RM_010	ABS	12	A. TIPO L	0.019	NINGUNA
1	BASE PARA SERVO MOTOR DOBLE	TG_RM_011	ABS	13	BASE PARA S. M. D.	0.034	NINGUNA
2	ARTICULACIÓN PARA PIIZA	TG_RM_012	ABS	14	ART. PIIZA	0.043	NINGUNA
2	MX-28T	MX-28T	VARIOS	15	MX28T	0.144	NINGUNA
1	PIIZA DERECHA	TG_RM_013	ABS	16	P. DERECHA	0.045	NINGUNA
1	PIIZA IZQUIERDA	TG_RM_014	ABS	17	P. IZQUIERDA	0.045	NINGUNA
44	TORNILLO DE CABEZA HUECA	M3X0.5X0.8H	ACERO	18	8IHX	-----	NINGUNA
4	TORNILLO DE CABEZA HUECA	M3X0.5X1.0H	ACERO	19	10IHX	-----	NINGUNA
36	T. ENVUTIDO DE CABEZA HUECA	M3X0.5X0.8HG	ACERO	20	8N	-----	NINGUNA
50	TORNILLO DE CABEZA HUECA	M2X0.5X0.4H	ACERO	21	4IHX	-----	NINGUNA
84	PAR TUERCA HEXAGONAL	AM-M3-N	ACERO	22	AM M3 N	-----	NINGUNA
No. de piez.	Denominación	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de orden.	No. del Modelo/semiproducto	Peso kg/piezas	Observaciones
		TOLERANCIA	PESO	VARIOS			
		±0.3mm	1.74kg				



CONSTRUCCIÓN

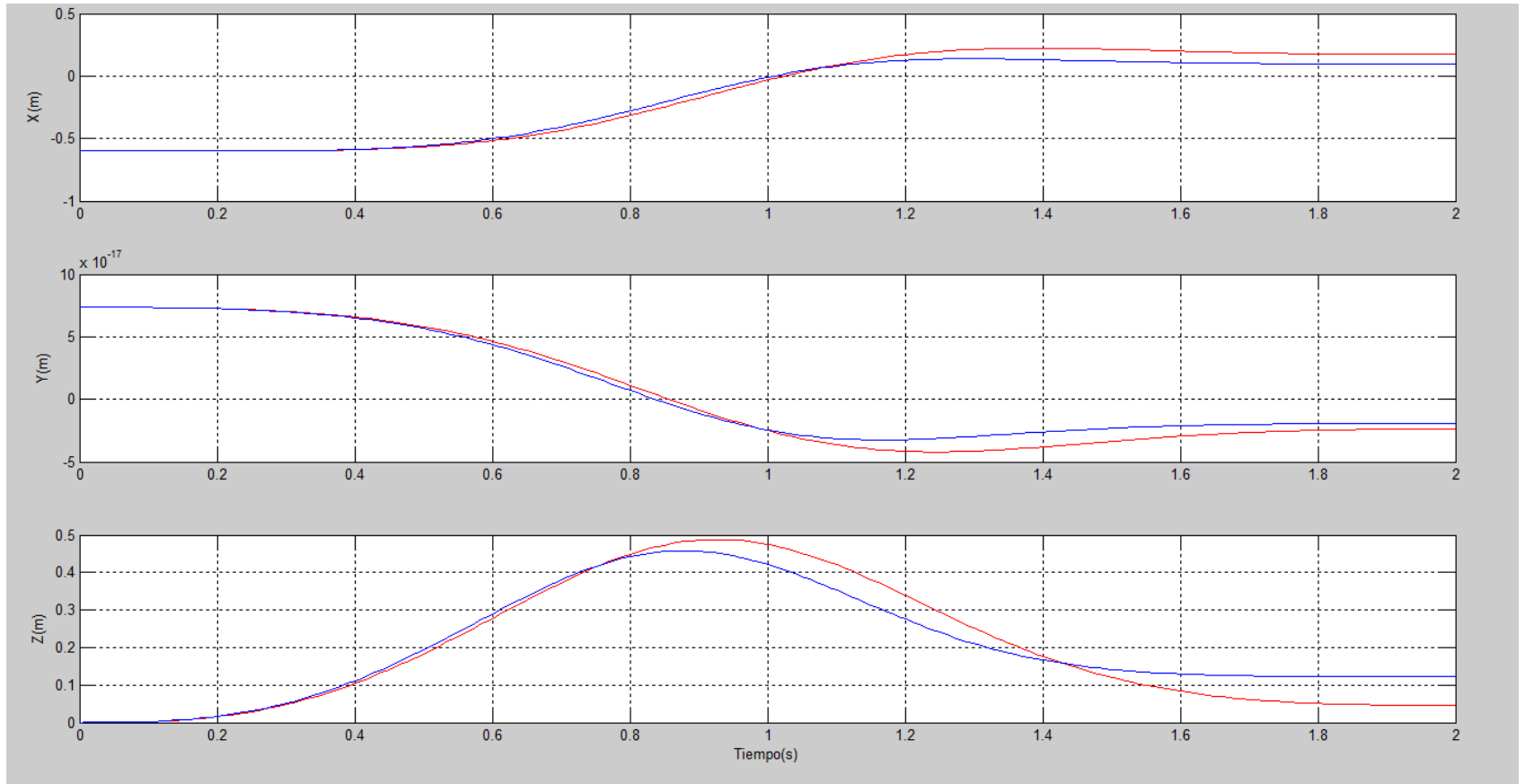
Impresora 3D

Plástico ABS

Denominación	Cantidad	Color	Precio(\$)
TG_RM_001	1	Negro	60
TG_RM_002	1	Negro	15.30
TG_RM_003	3	Verde	8.50
TG_RM_004	7	Verde	31.50
TG_RM_005	2	Negro	17
TG_RM_006	3	Verde	5.10
TG_RM_007	1	Negro	19.55
TG_RM_008	3	Negro	25.50
TG_RM_009	1	Negro	11.90
TG_RM_010	2	Negro	6.80
TG_RM_011	1	Verde	4.25
TG_RM_012	2	Verde	13.60
TG_RM_013	1	Negro	10
TG_RM_014	1	Negro	10
		Total	239
		Descuento por volumen (25%)	59
		Valor Final	180



PRUEBAS



PRUEBAS

Gráfica	Eje X	Eje Y	Eje Z
Azul	0.096	0	0.1222
Roja	0.1725	0	0.046
Mejora (%)	17%	0%	37%



PRUEBAS

ESPECIFICACIONES	Producto: Brazo Robótico	
CONCEPTO	Cumplimiento	DESCRIPCIÓN
Movilidad	6	El robot debe ser óptimo para el paletizado.
Fácil uso	5	Dispondrá de un control amigable para el usuario.
Multifuncional	6	El Brazo Robótico será capaz de acoplarse a múltiples medios, formas y ocupara el menor espacio posible.
Peso de carga	6	El Brazo Robótico podrá soportar una carga adicional de aproximadamente 1kg sin entorpecer su movilidad.
Dimensiones	4	Colocando el Brazo Robótico verticalmente se tiene unas dimensiones prismáticas de aproximadamente 34x600x50mm.
Tipo de material	6	Principalmente aluminio entre otros polímeros.
Peso	6	Ignorando la base el peso aproximado del robot es de 1kg.
Inversión en el equipo	6	Dado que el precio es de \$1000.



PRUEBAS

Peso					
CrustCrawler			Prototipo		
Elemento	Masa 1 (gr)	Masa 2 (gr)	Mejora (%)		
Adaptador de Placa Simple	9	2	77.78		
Adaptador de Placa Doble	18	5	72.23		
Viga de 127mm	56	18	67.85		
Viga de 63.5mm	47	11	76.59		
Adaptador Tipo L	9	2	77.78		
Articulación	22	7	68.18		
Articulación para pinza	15	5	66.67		
Base para servo motor	10	4	60		
Eslabón					
1	290	196	64.11		
2	223	152	62.4		
3	158	137	36.86		
4	184	145	51.34		
5	112	86	68.26		
Peso Total	967	716	25.96		
Rendimiento					
Segmento	Fuerza (N)	Masa (Kg)	Fuerza (N)	Masa (Kg)	
A-E	23.72	2.42	26.18	2.67	9.40
B-E	13.36	1.36	14.9	1.52	10.34
C-E	33.75	3.44	34.59	3.52	2.43
D-E	93.09	9.49	93.73	9.56	0.68





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se recompiló información proveniente de artículos técnicos, libros, monografías, tesis o ensayos sobre el diseño de Brazos Robóticos con seis grados de libertad.
- Se realizó ingeniería inversa al Brazo Robótico CrustCrawler y recompilar datos estructurales útiles para la ejecución del proyecto para obtener un modelo matemático con la ayuda de CAE que cumpla con las exigencias de diseño a realizarse en la estructura del Brazo Robótico.
- Se diseñó e implementó un prototipo digital de la estructura del Brazo Robótico mediante el uso de CAD.
- Se realizó la simulación de fuerzas actuantes, momentos y del movimiento sobre la estructura del Brazo Robótico mediante el uso de CAE.



CONCLUSIONES

- Se generó una base de datos con la información para de esta forma realizar una comparación con los datos pre-configurados.
- Se construyó la estructura del Brazo Robótico teniendo en cuenta los resultados que aportaron los simuladores.
- Se logró determinar al plástico ABS como la mejor opción para manufacturar la estructura del brazo robótico por su facilidad de moldeamiento y su precio accesible en el mercado.
- En la optimización de masas en CAD, se obtuvo una visión de cómo se podría retirar material de las piezas permitiendo conservar las propiedades físicas del mismo y sin excluir la voz del diseñador.



CONCLUSIONES

- La simulación de la cinemática del robot, permitió validar el estudio de la física del robot y comprobó que existen mejoras de rendimiento y movilidad.



RECOMENDACIONES

- Por la precisión que requiere la manufactura del proyecto se recomienda usar exclusivamente impresoras en 3D o cortadoras laser, puesto existen espacios demasiado pequeños y medidas demasiado exactas para ser construido con métodos tradicionales.
- Para evitar daños en la estructura se recomienda no sobrepasar la capacidad de los motores.
- Debido a la fuerza de los motores del actuador se recomienda la mayor precisión al operarlo, puesto puede romper las pinzas que sujetan los objetos.
- Se recomienda antes de cualquier operación revisar el estado de las juntas del ensamble dado que la vibración afecta drásticamente a cualquier estructura.



RECOMENDACIONES

- Se recomienda sujetar adecuadamente la base de la estructura sobre una superficie plana y horizontal.
- Los planos generados para el brazo robótico permiten que sea fabricado en diferentes materiales pero para su elaboración se recomienda tomar en cuenta las propiedades mecánicas del mismo y la facilidad de manufactura en el país.



GRACIAS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA