

# Diseño y construcción de la estructura de un brazo robótico con seis grados de libertad aplicando ingeniería inversa.

*Félix Manjarrés, José Mena, David Rivas*

*Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE extensión Latacunga*

*Jefatura de Investigación y Vinculación con la Colectividad.*

*Latacunga, Ecuador*

*fxmanjarres@espe.edu.ec, jose\_patriarca85@hotmail.com, drrivas@espe.edu.ec*

**Resumen**—El proyecto de investigación se basa en ingeniería inversa y morfogénesis, metodologías que son posibles aplicar por medio de la asistencia computacional, de tal forma que se tenga resultados estáticos o dinámicos de los diversos cambios. Entre las opciones que se proponen está el uso de materiales alternativos, al mismo tiempo que para la obtención de resultados se pretende usar software poco usual e innovador, de esta forma se pretende promover ideas modernas para el diseño de estructuras, y al mismo tiempo originar el uso de programas diferentes a los comunes en nuestro medio. Para ellos se pretende modelar y analizar minuciosamente cada parte de la estructura, de tal forma que se pueda tener un mayor control sobre el mismo y facilidad de operación.

**Palabras clave:** *Inversa, diseño, materiales, construcción, brazo, morfogénesis.*

## I. INTRODUCCIÓN

La Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” Extensión Latacunga a través de la Jefatura de Investigación y Vinculación con la Colectividad y la carrera en Ingeniería Mecatrónica colabora en el desarrollo científico y tecnológico de las áreas relacionadas a la fabricación de prototipos robóticos a fin de aportar un avance significativo en cuanto a entendimiento y la fabricación de los mismos para el uso ya sea a nivel académico o inclusive a nivel industrial.

La presentación de este proyecto significará mantener el estado actual del desarrollo de la investigación en el sistema educativo universitario, colaborando con el desarrollo que requiere el país para solucionar problemas de la colectividad como el mejoramiento de la calidad de vida, generación de empleo y lograr un país más competitivo que pueda insertarse en las condiciones de desarrollo del mundo actual.

Considerando las características estructurales primordiales de la serie de Brazos Robóticos Inteligentes de CrustCrawler Pro-Series, se ha determinado las siguientes observaciones:

Se utiliza en la estructura un liviano aluminio y el Brazo Robótico es para operaciones didácticas, pero su fabricación en el país en un metal es complicado, en este caso se requiere cambiar el material para su estructura.

Estimando la importancia del desarrollo de este proyecto es fundamental la actualización tecnológica que presentan los Brazos Robóticos actuales para mejorar cualquier proceso

automatizado pero para cualquier usuario no necesariamente industrial. Por esta razón al implementar este proyecto se mejora el desempeño de la maquinaria en las diversas condiciones de uso.

En el presente proyecto se desarrolla un prototipo de la estructura de un robot manipulador de seis ejes, el cual permite transportar piezas pequeñas de una gran complejidad. Contiene información referente a máquinas y prototipos de manipuladores, es decir los recursos existentes que se disponen para realizar la parte mecánica, además de los principios físicos y matemáticos del mismo; información necesaria para el desarrollo del proyecto, el análisis a usarse en los elementos mecánicos de un prototipo del robot manipulador de seis ejes, donde se realizó ingeniería inversa y concurrente para un adecuado entendimiento de la estructura de igual forma detalla el diseño del prototipo, donde se determinan sus parámetros y modificaciones para cumplir las funciones determinadas, aparte consta de la construcción del robot manipulador de seis ejes para proceder a realizar pruebas de funcionamiento.

## II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### A. Modelado de piezas.

[1] En el robot CrustCrawler se utilizan nueve motores, material plástico y metálico, para la construcción del brazo robótico. Cada una de las articulaciones del robot es activada por medio de servo motores, de tal forma que se obtengan los movimientos deseados tanto de las articulaciones como los de las pinzas. La ilustración que se muestra a continuación es un ejemplo de la configuración de los componentes del brazo robótico CrustCrawler Pro-Series.

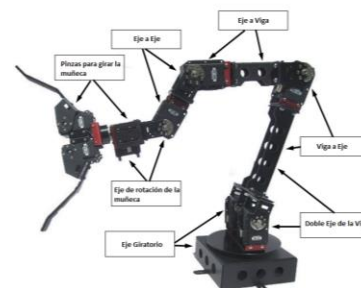


Figura 1. Configuración de muestra del CrustCrawler Pro-Series.

Las componentes de los ejes del CrustCrawler Pro-Series están diseñadas para poder ser unidos en diferentes configuraciones utilizando herramientas simples para su ensamblaje. Los motores utilizados pertenecen a la marca DYNAMIXEL, dentro del robot se utilizaron tres modelos de los cuales las características necesarias están en la tabla I.

TABLA I. ESPECIFICACIONES DE LOS SERVO MOTORES DYNAMIXEL.

Servo motor	Peso	Dimensiones	Torque
DYNAMIXEL MX28T	72g	35.6x50.6x35.5mm <sup>3</sup>	3.1N/m <sup>2</sup>
DYNAMIXEL MX64T	126g	40.2x61.1x41mm <sup>3</sup>	7.3 N/m <sup>2</sup>
DYNAMIXEL MX106T	153g	40.2x61.1x46mm <sup>3</sup>	10N/m <sup>2</sup>

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.

Dado que en ellos se describe las dimensiones de los discos de acople para los servo motores DYNAMIXEL MX, se observa los siguientes patrones en las figura 2 y figura 3.

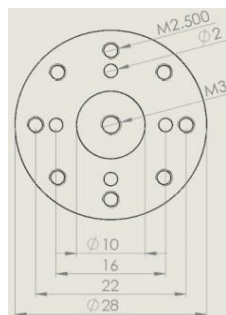


Figura 2. Plano frontal acotado del disco de acople para el servo motor DYNAMIXEL MX64T y MX106T.

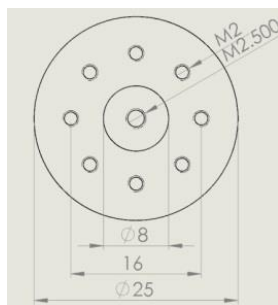


Figura 3. Plano frontal acotado del disco de acople para el servo motor DYNAMIXEL MX28T.

Es necesario dar importancia en estas proporciones, puesto son las únicas medidas que se tiene del fabricante con respecto a toda las demás piezas de la estructura, además que la distancia entre las perforaciones así como el diámetro de los mismos se repiten en todas las piezas con propósitos de sujeción.

El programa de CAD a usar para modelar todas las piezas es SolidWorks, teniendo en cuenta que toda medida mostrada y

descrita esta en milímetros, para el glosario digital de las piezas se ha tomado la decisión de dividirlos acorde su practicidad en los tres servomotores usando como modelo de ensamble la configuración estándar del brazo robótico CrustCrawler que se puede admirar en la figura 1.

Para los Servo Motores DYNAMIXEL MX-106T[3] se tienen en total 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.

Para los Servo Motores DYNAMIXEL MX-64T[4] se tienen en total tres articulaciones, dos adaptador de placa simple, una viga de 63.5mm, cinco bases para servo motor y dos adaptadores tipo L

Para los servos motores DYNAMIXEL MX-28T[5] se tienen en total dos articulaciones para pinza, una base para servo motor reducida y un juego de pinzas.

### B. Morfogénesis.

Utilizando el software SolidThinking Inspire 9.0, aplicando fuerzas o momentos ya sean cortantes o de flexión para cada una de las piezas que conforman la estructura se redujo la masa de cada uno sin afectar a las propiedades mecánicas del objeto.

Es por eso que para el análisis de cada solido se generó una tabla de contenido donde se muestra la masa que se retiró y el porcentaje de sólido, mediante el programa se obtuvo el peso de cada una de las piezas en gramos, los cuales se muestran en la tabla II.

TABLA II. VALORES DE MASA PARA CADA PIEZA DEL BRAZO ROBÓTICO CRUSTCRAWLER.

Nombre	Masa(g)
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

Para este procedimiento se aplicó cargas de 1000N o momentos de 10000 Ncm en intervalos del 5% hasta un máximo del 50% de la masa total del objeto, el material a usarse es Aluminio (2024-T3). Como todo programa de ingeniería es una herramienta que facilita la toma de decisiones, dado que el programa busca idealizar las órdenes asignadas por el usuario en todos los casos el devastado sugerido por el programa se vuelve totalmente referencial o inclusive nulo.

Se analizó cada uno de los casos y se seleccionó la optimización más representativa para cada una de las piezas descritas en la tabla I y la optimización más representativa para su análisis como el ejemplo de la figura 4.

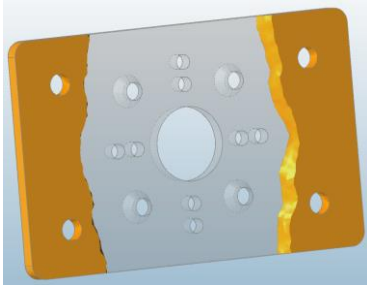


Figura 4. Ejemplo de optimización en SolidThinking de una pieza del brazo robótico.

### C. Cinematica del robot

Para el análisis cinemático del robot se tomó en cuenta la configuración que se muestra en la figura 1, para el brazo robótico CrustCrawler se desarrolló el cuadro de parámetros Denavit Hartenberg(D&H) de donde se presenta un total de seis eslabones y articulaciones.

[2] El criterio de Grübler-Kutzbach es el más acertado para determinar los grados de libertad del sistema mecánico por lo tanto aplicamos la ecuación:

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

Aplicando los valores de ( $n=6$ ,  $j_1=4$  y  $j_2=2$ ) en la Ec. (1) Dando como resultado un valor para  $m$  de 5, lo cual implica que la tabla D&H tendrá cinco filas, la cual contiene los ángulos de giro y las distancias que recorre el brazo robótico dando como resultado los datos que se ven en la tabla III.

TABLA III. TABLA D&H DEL BRAZO ROBÓTICO CRUSTCRAWLER.

$i$	$\alpha_{i-1}$	$a_{i-1}$	$\theta_i$	$d_i$
1	$\alpha_0$	0	$\theta_1$	0
2	0	$a_1$	$\theta_2$	0
3	0	$a_2$	$\theta_3$	0
4	0	$a_3$	$\theta_4$	0
5	$\alpha_5$	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.

Tanto la articulación 0 como la articulación 5 pueden girar indefinidamente y para determinar los ángulos permisibles del resto de articulaciones se tomó en cuenta el peso que pueden soportar los motores y la disposición mecánica de cada eslabón. Para mejor comprensión se divide los eslabones del robot en cuatro segmentos. Como se muestra en la figura 5.

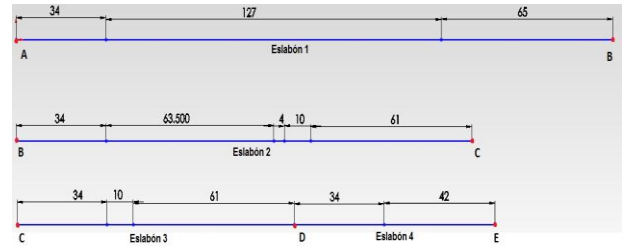


Figura 5. Diagramas de cuerpo libre de los Eslabones del Brazo Robótico CrustCrawler.

- 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.

Para obtener los valores necesarios, se tomó los datos de la tabla I y tabla II, a partir de ese dato obtenemos la tabla IV.

TABLA IV. PESO Y LONGITUD DE CADA ESLABON DEL BRAZO ROBÓTICO CRUSTCRAWLER.

Eslabón	Masa(g)	Longitud (mm)
1	290	237
2	223	172.5
3	158	115
4	184	76
5	112	0

Con el torque máximo de los motores usando las distancias de cada eslabón se puede determinar el peso permisible de cada motor y el rendimiento necesario para realizar dicha tarea, reemplazando los valores en las Ec. (2) (3) y (4).

$$F = T / d \quad (2)$$

$$F = F_m - \sum F_c \quad (3)$$

$$X_m = F_s / F_m \quad (4)$$

En donde  $F$  es la fuerza del motor,  $T$  es el torque máximo del motor,  $d$  es la distancia donde se aplica la fuerza,  $F_s$  es la fuerza sobrante del motor,  $F_m$  es la fuerza neta del segmento que ejerce el motor,  $F_c$  es la sumatoria de todos los pesos de cada segmento,  $X_m$  es el rendimiento lineal de los motores.

Dividiendo cada  $F_s$  en cada segmento para la constante de la gravedad y así se obtiene la masa adicional permisible de cada segmento. Estos valores se encuentran en la tabla V.

TABLA V. FUERZA, MASA Y RENDIMIENTO POR SEGMENTOS DEL BRAZO ROBÓTICO CRUSTCRAWLER.

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

Teniendo en cuenta que cada segmento del brazo robótico puede cargar libremente al robot, entonces se sigue, que no existe limitaciones en cuanto al ángulo permisible de cada motor, por lo cual se asignó una limitación referencial de 90° a cada articulación, por la facilidad que ejerce para el análisis.

Una vez determinado estos valores para la tabla III, se procedió a armar la matriz que describirá el movimiento cinemático del robot, para ello se usó el ToolBox de Matlab, siendo específicos el programa para el manipulador PUMA560 en el cual se puede modificar los valores de masa, velocidad, distancias y ángulos de giro. De este estudio se obtiene las gráficas de desplazamiento con respecto al tiempo en cada uno de los ejes que se dan en la parte final de manipulador como se ve en la figura 6.

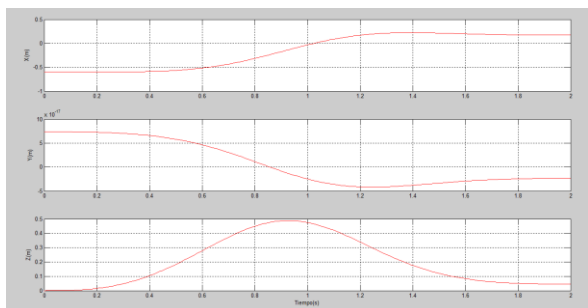


Figura 6. Gráficas del desplazamiento en los ejes para el Manipulador.

### III. DISEÑO Y DESARROLLO

Las soluciones que van desde una vista general del brazo robótico CrustCrawler toman en cuenta posibles mejoras en su funcionalidad y en su diseño, después se dieron las propuestas individuales para cada uno de los elementos que componen la estructura y en la parte final se validó a cada una de las propuestas mediante el uso de software CAE.

Para modificar el brazo robótico CrustCrawler se debe tomar en cuenta dos características, en primera estancia que el usuario aprecia el dinamismo y estética de la estructura y en segunda estancia el reducir el peso de cada elemento ofrece una mejora en el rendimiento para el paletizado, puesto mejoraría la movilidad.

Por lo tanto primero se buscó reducir material de cada pieza, comprobar cuanto mejoran el rendimiento general y a partir de esos datos proceder a cambiar las dimensiones de los mismos.

#### A. Reduccion de masas.

Como se puede ver en la tabla V la masa y el rendimiento están vinculados, a menor peso tenga cada elemento del brazo robótico CrustCrawler mayor carga podrá soportar y la forma

en la cual podemos realizar este procedimiento es reduciendo medidas. Para lo cual se realizó cada propuesta individualmente a cada elemento dividiéndolos al igual que en la *Modelado de piezas* tomando en cuenta la configuración de la figura 1.

- Para los servos motores DYNAMIXEL MX-106T se tienen en total 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, debido a que el interés de este proyecto de tesis es mejorar el paletizado se considera innecesario modificar tanto la mesa giratoria como el disco de 113mm. Dado que el propósito es reducir la masa del objeto, entonces se intentara no modificar ninguna perforación u orificio caso contrario se especificara las razones para dicho cambio.
- Para los servos motores DYNAMIXEL MX-64T se tienen en total tres articulaciones, dos adaptador de placa simple, una viga de 63.5mm, cinco bases para servo motor y dos adaptadores tipo L. Las Articulaciones, los Adaptadores de Placa Simple y las Bases para Servo Motores son las mismas que el Servo Motor DYNAMIXEL MX 106T.
- Para los servos motores DYNAMIXEL MX-28T se tienen en total dos articulaciones para pinzas, una base para servo motor reducida y un juego de pinzas.

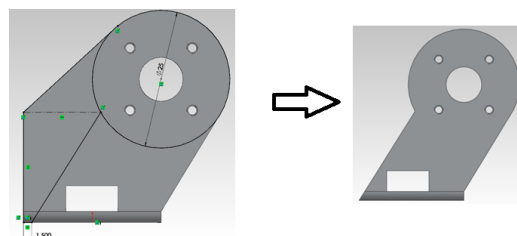


Figura 7. Ejemplo de modificaciones por pieza.

#### B. Validación de piezas.

Para la validación de las piezas, primero se seleccionó el material y después se procedió a usar el programa COMSOLD Multiphysic 4.4 y a continuación se describe un ejemplo de cómo se procede para realizar el análisis estático, una vez descrito este procedimiento se realizó una tabla en donde constaran los factores de seguridad obtenidos con respecto a todas las piezas modificadas, cabe señalar que se realizaron diferentes cambios usando como material plástico ABS.

Utilizamos como ejemplo la modificación al adaptador de placa doble, dentro del programa usando el asistente, se buscó el análisis en tres dimensiones, Mecánica estructural, Mecánica estructural de sólido, en donde se seleccionó un estudio Estacionario, en geometría se importó una de las piezas en formato IGS, una vez realizado este proceso en materiales se colocó Plástico ABS para sólidos.

En propiedades mecánicas del sólido, en primera estancia se ubicó restricciones fijas, cargas superficiales de 50N y la gravedad, en este paso se consideró la dirección y el eje sobre el cual actúan las cargas.

Se usó un mallado extra fino para todo el sólido, una vez terminado estos pasos se procedió a realizar el estudio para generar los resultados como muestra la figura 8.

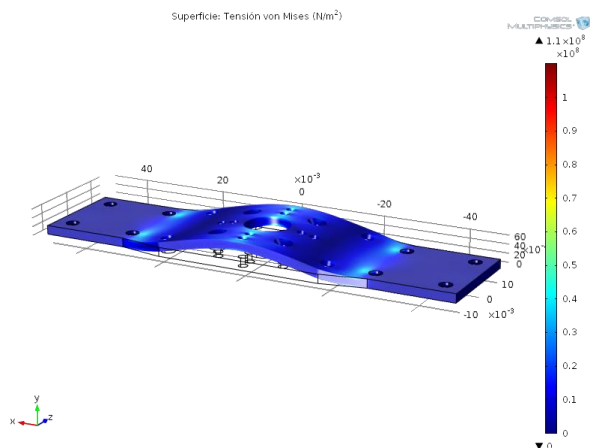


Figura 8. Tensión von Mises para el Adaptador de Placa Doble.

Se usó el valor máximo y a su vez el valor más representativo en la deformación que se observa. Se forzó modificaciones en el sólido hasta obtener valores que estén dentro del rango que buscamos, que se muestran en la tabla VI.

TABLA VI. FUERZA, MASA Y RENDIMIENTO POR SEGMENTOS DEL BRAZO ROBÓTICO CRUSTCRAWLER.

Nombre	Material	Tensión von Mises (MPa)	Factor de seguridad	Peso (g)
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

#### IV. IMPLEMENTACION Y PRUEBAS

##### A. Implementación y construcción

Para la obtención de planos de cada una de las piezas, se usó laminas A3, en cuanto a los dibujos para todas las piezas se usa el código de dibujo técnico, mecánico CPE INEN 003 y la manufactura del producto se realizó en la empresa privada EArd3D con la impresora Cincel3D Printer que trabaja con plástico ABS. la cotización en dólares de cada una de las piezas se muestra en la tabla VII, debido a que el precio se hace en

relación por el volumen al final se añade un descuento del 25%, el tiempo total de maquinado fue aproximadamente de 20 horas, para todo lo demás se usa la nomenclatura propia del robot manipulador.

TABLA VII. COTIZACIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO.

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
		<b>Total</b>	239
		<b>Descuento por volumen (25%)</b>	59
		<b>Valor Final</b>	180

Para implementar el brazo robótico, se usó la configuración estándar del brazo robótico CrustCrawler y se ilustrara en el modo de ensamble de SolidWorks.

##### B. Pruebas finales

En el programa SolidThinking se obtuvo los pesos de las piezas modificadas y se creó una tabla que comparándolas con las piezas originales. Realizando un promedio la estructura del Brazo Robótico tiene una reducción del 56.59% que representan 251gr menos de su peso y tomando este criterio aparentemente el rendimiento del Robot mejoro en la misma cantidad.

Aplicando estos valores en las Ec. (1)(2)(3) y comparándolos, todos los motores experimentarían una mejora en su rendimiento, dando como total una mejora estimada del 20%. En donde el segmento A-E y B-E reciben una mejora considerable lo cual estima que tanto el Eslabón 1 como el Eslabón 2 generaran mejor movilidad al sistema.

Los 251 gramos que se han reducido de la estructura pueden ser usados de diversas formas:

- Dos adaptadores de placa simple
- Dos adaptadores de placa doble
- Dos articulaciones tipo L
- Cinco articulaciones
- Dos articulaciones para pinza.
- Una vigas de 127mm
- Una vigas de 63.5mm

- Siete bases para servo motor

Que pueden ser añadidos dentro de la configuración estudiada y obtener el mismo rendimiento. Todos estos valores se pueden observar en la tabla VIII

TABLA VIII. TABLA COMPARATIVA DEL MODELO CRUSTCRAWLER Y EL PROTOTIPO.

	Peso				
	CrustCrawler	Prototipo			
Elemento	Masa 1 (g)	Masa 2 (g)	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	Masa 1 (g)	Masa 2 (g)	Mejora (%)		
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)	Mejora (%)
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

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### A. Conclusiones

Se recopiló 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 recopilar 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.

Se generó una base de datos con la información para de esta forma realizar una comparación con los datos 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.

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.

### B. 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.

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.

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.

## VI. REFERENCIAS

- [1] Dirk, A.(2013).CrustCrawler Inc. Recuperado el 11 de febrero de 2014, de CrustCrawler Inc:  
[Http://www.crustcrawler.com/products/ProRoboticArm/docs/ProSeries%20Technical%20Reference%20Guide.pdf](http://www.crustcrawler.com/products/ProRoboticArm/docs/ProSeries%20Technical%20Reference%20Guide.pdf)
- [2] Gonzales, R.(2005). Robótica: Control, detección, visión e inteligencia (2da Ed). Madrid: Mcgraw Hill.
- [3] DYNAMIXEL(5 de junio de 2012). CrustCrawler. Recuperado el 3 de febrero de 2014, de: <http://www.crustcrawler.com/motors/MX-28/docs/DYNAMIXEL%20MX28T.pdf>
- [4] DYNAMIXEL(5 de junio de 2012). CrustCrawler. Recuperado el 3 de febrero de 2014, de: <http://www.crustcrawler.com/motors/RX64/docs/DYNAMIXEL%20MX64T.pdf>
- [5] DYNAMIXEL(5 de junio de 2012). CrustCrawler. Recuperado el 3 de febrero de 2014, de: <http://www.crustcrawler.com/motors/EX106/docs/DYNAMIXEL%20MX106T.p>