

08/abril/2019



Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana  
de Guadalajara --- Ingeniería mecatrónica

8°B T/M

**Asignaturas:** Cinemática de robots

- Control digital

**Profesor:** Enrique Morán Garabito

**Integrantes:**

*\*Lozada Canizal Jessica*

*\*Lozano Ochoa Marco Antonio*

*\*Navarro Cervantes Jose*

*\*Ramírez Arenas Juan Alberto*

# Brazo antropomórfico teleoperado

Tercer avance -- ANUAL



## ÍNDICE

<b>Objetivo general o meta:</b> .....	3
<b>Objetivos secundarios:</b> .....	3
<b>Justificación:</b> .....	3
<b>Introducción</b> .....	3
<b>Mano robótica</b> .....	3
<b>Tipos:</b> .....	3
<b>Robot cartesiano</b> .....	3
<b>Robot cilíndrico</b> .....	3
<b>Robot esférico / Robot polar, tal como el Unimate</b> .....	3
<b>Robot SCARA</b> .....	3
<b>Robot articulado</b> .....	4
<b>Robot paralelo</b> .....	4
<b>Brazos robóticos notables</b> .....	4
<b>Marco Teórico</b> .....	4
<b>Mecatrónica: concepto sobre el robot:</b> .....	4
<b>Morfología del robot antropomórfico:</b> .....	4
<b>Herramientas matemáticas para la localización espacial:</b> .....	5
<b>Cinemática</b> .....	5
<b>Algebra vectorial y matricial.</b> .....	5
<b>Cronograma</b> .....	8
<b>Lista de materiales y costos</b> .....	9
<b>Parámetros Denavit-Hartenberg</b> .....	10
Matrices de cada eslabón .....	10
Matriz homogénea .....	10
<b>Diseño y análisis del brazo antropomórfico</b> .....	11
Bosquejo:.....	11
Diseño del brazo en SolidWorks:.....	11
Longitud y carga: .....	12
<b>Análisis en el software ANSYS:</b> .....	12
<b>Interpretación de ANSYS</b> .....	15
<b>Cálculo de torque de los motores.</b> .....	16
Cálculos: .....	17

Referencias.....	18
------------------	----

### **Objetivo general o meta:**

- Diseñar, construir y programar un brazo robótico tele-operado, controlado mediante el accionamiento muscular de un brazo humano.

### **Objetivos secundarios:**

- Fabricar el brazo a partir de MDF.
- Hacer el análisis de los esfuerzos máximos a operar.
- Diseñar el sistema de agarre.

**Justificación:** El propósito del proyecto es brindar una alternativa para el control de objetos o sustancias peligrosas que pueden lesionar al operador al manejarlas directamente, mediante el control a distancia de un brazo robótico basado en el reflejo motriz del brazo del operador.

**Introducción:** Un brazo robótico es un tipo de brazo mecánico, normalmente programable, con funciones parecidas a las de un brazo humano; este puede ser la suma total del mecanismo o puede ser parte de un robot más complejo. Las partes de estos manipuladores o brazos son interconectadas a través de articulaciones que permiten tanto un movimiento rotacional (tales como los de un robot articulado), como un movimiento traslacional o desplazamiento lineal.

### **Mano robótica**

El efector final, o mano robótica, se creó para efectuar cualquier tarea que se desee como puede ser soldar, sujetar, girar, etc., dependiendo de la aplicación. Por ejemplo, los brazos robóticos en las líneas de ensamblado de la industria automovilística realizan una variedad de tareas tales como soldar y colocar las distintas partes durante el ensamblaje. En algunas circunstancias, lo que se busca es una simulación de la mano humana, como en los robots usados en tareas de desactivación de explosivos.

#### **Tipos:**

**Robot cartesiano:** Usado para trabajos de “pick and place” (tomar y colocar), aplicación de impermeabilizantes, operaciones de ensamblado, manipulación de máquinas herramientas y soldadura por arco. Es un robot cuyo brazo tiene tres articulaciones prismáticas, cuyos ejes son coincidentes con los ejes cartesianos.

**Robot cilíndrico:** Empleado para operaciones de ensamblaje, manipulación de máquinas herramientas, soldadura por punto y manipulación en máquinas de fundición a presión. Es un robot cuyos ejes forman un sistema de coordenadas cilíndricas.

**Robot esférico / Robot polar, tal como el Unimate:** Utilizado en la manipulación en máquinas herramientas, soldadura por punto, fundición a presión, máquinas de desbarbado, soldadura por gas y por arco. Es un robot cuyos ejes forman un sistema polar de coordenadas.

**Robot SCARA:** Usado para trabajos de “pick and place” (tomar y colocar), aplicación de impermeabilizantes, operaciones de ensamblado y manipulación de máquinas herramientas. Es

un robot que tiene dos articulaciones rotatorias paralelas para proporcionar elasticidad en un plano.

**Robot articulado:** Utilizado para operaciones de ensamblaje, fundición a presión, máquinas de desbarbado, soldadura a gas, soldadura por arco y pintado por spray. Es un robot cuyo brazo tiene como mínimo tres articulaciones rotatorias.

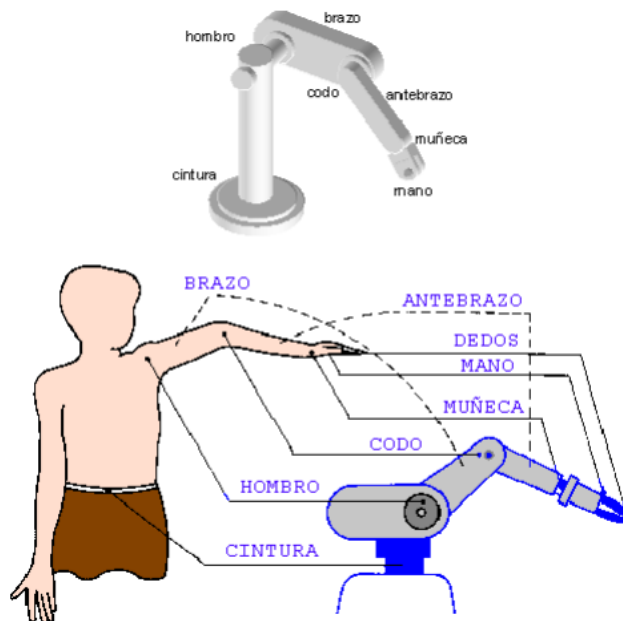
**Robot paralelo:** Uno de los usos es la plataforma móvil que manipula las cabinas de los simuladores de vuelo. Es un robot cuyos brazos tienen articulaciones prismáticas o rotatorias concurrentes.

**Brazos robóticos notables:** En el espacio el Sistema de Manipulación Remota del Transbordador Espacial, también conocido como Canadarm, y su sucesor el Canadarm2, son ejemplos de brazos robóticos de múltiples grados de libertad que ha sido usado para realizar distintas tareas tales como inspección de los transbordadores espaciales y satélites a través de cámaras colocadas en su extremo o mano, y tareas de carga y descarga de la bodega de los transbordadores espaciales.

## Marco Teórico

### Mecatrónica: concepto sobre el robot:

Figura 1.1: Comparación robot antropomórfico[2]



Manipulador automático servo-controlado, reprogramable, polivalente, capaz de posicionar y orientar piezas, útiles o dispositivos especiales, siguiendo trayectorias variables reprogramables, para la ejecución de tareas variadas. Generalmente su uso es el de realizar una tarea de manera cíclica, pudiéndose adaptar a otra sin cambios permanentes en su material.

### Morfología del robot antropomórfico:

Dependiendo de tipo de articulaciones que posee un robot, se puede definir su clasificación, existen articulaciones rotacionales (que generan solamente movimiento de rotación) y prismáticas o lineales (que generan desplazamientos longitudinales) y el conjunto de estas puede definir el tipo de robot industrial entre Antropomórfico (con mínimo 3 articulaciones rotacionales).

El posicionamiento del robot en el espacio tridimensional requiere de 6 coordenadas (tres para la posición cartesiana y 3 para la orientación de la herramienta de trabajo), la relación establecida entre coordenadas cartesianas, articulares y su orientación se denomina cinemática directa.

### **Herramientas matemáticas para la localización espacial:**

#### **Cinemática**

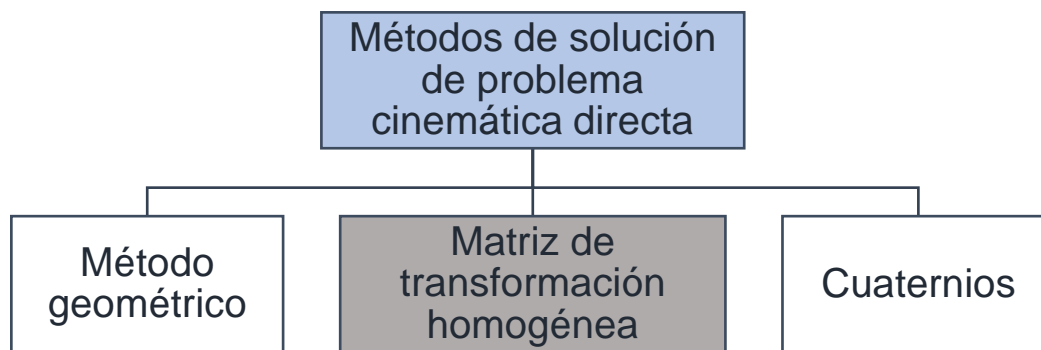
Estudia el movimiento que realiza el robot con respecto a un sistema de referencia. Se interesa por la descripción analítica del movimiento espacial del robot como una función del tiempo. Y en especial, las relaciones de posición y orientación del extremo final del robot.

Hay dos problemas fundamentales en la cinemática:

#### **Problemática cinemática directa:**

Determina cuál es la posición y orientación del extremo del robot con respecto a un sistema de coordenadas como referencia.

#### **Métodos de solución de problema cinemática directa:**



En este proyecto se utilizará el método de solución de matriz de transformación homogénea, por lo que es conveniente omitir las demás.

#### **Matriz de transformación homogénea:**

##### **Álgebra vectorial y matricial.**

C/U de los elementos que componen el brazo robótico es una cadena cinemática en la que c/eslabón se encuentra unido por articulación. Es suficiente con encontrar una matriz de

transformación que calcule o transforme la posición del extremo del robot tomando como coordenadas de referencia la base.

Denavit Y Hartenberg propusieron un método cinemático para describir y representar la geometría espacial de los elementos de una cadena cinemática, y en particular de un robot, como referencia un sistema fijo.

### **Representación Denavit Hartenberg (D-H)**

Ellos propusieron en 1955 un método matricial que permite establecer de manera sistemática un sistema de coordenadas  $[s]$  ligado a cada eslabón  $i$  de una cadena articulada, pudiéndose determinar a continuación las ecuaciones cinemáticas de la cadena completa.

Según la representación D-H, escogiendo adecuadamente los sistemas de coordenadas asociadas a cada eslabón, será posible pasar de uno al siguiente mediante 4 transformaciones básicas que dependen exclusivamente de las características (fundamentales) geométricas de cada eslabón.

### **Principios básicos de la representación D-H**

- 1 Rotación alrededor del eje  $Z_{i-1}$  un ángulo  $\theta_i$ .
- 2 Traslación a lo largo de  $Z_{i-1}$  una distancia  $d_i$ : vector  $d_i$   $(0,0,d_i)$
- 3 Traslación a lo largo de  $X_i$  una distancia  $a_i$ : vector  $a_i$   $(a_i,0,0)$
- 4 Rotación alrededor del eje  $X_i$  del ángulo  $\alpha_i$ ;

### Algoritmo de Denavit-Hartenberg:

- DH 1. Numerar los eslabones comenzando con 1 (primer eslabón móvil de la cadena) y acabando con  $n$  (último eslabón móvil). Se numerará como eslabón 0 a la base fija del robot.
- DH 2. Numerar cada articulación comenzando por 1 (la correspondiente al primer grado de libertad) y acabando en  $n$ .
- DH 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.
- DH 4. Para  $i$  de 0 a  $n-1$  situar el eje  $z_i$  sobre el eje de la articulación  $i+1$ .
- DH 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  $z_0$ .
- DH 6. Para  $i$  de 1 a  $n-1$ , situar el origen del 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  $i+1$ .
- DH 7. Situar  $x_i$  en la línea normal común a  $z_{i-1}$  y  $z_i$ .
- DH 8. Situar  $y_i$  de modo que forme un sistema dextrógiro con  $x_i$  y  $z_i$ .
- DH 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  $z_n$ .
- DH 10. Obtener  $\theta_i$  como el ángulo que hay que girar en torno a  $z_{i-1}$  para que  $x_{i-1}$  y  $x_i$  queden paralelos.
- DH 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.
- DH 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  $\{S_i\}$ .
- DH 13. Obtener  $\alpha_i$  como el ángulo que habría que girar entorno a  $x_i$ , para que el nuevo  $\{S_{i-1}\}$  coincidiese totalmente con  $\{S_i\}$ .
- DH 14. Obtener las matrices de transformación  ${}^{i-1}A_i$  definidas en [4.10].
- DH 15. Obtener la matriz de transformación que relaciona el sistema de la base con el del extremo del robot  $T = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot \dots \cdot {}^{n-1}A_n$ .
- DH 16. 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.



## Cronograma

Actividad	Designado(s)	Fecha
Diseñar la estructura del brazo en CAD	Juan	22/01/19
Calcular esfuerzos máximos del brazo en ansys	Jose y Marco	24/01/19
Hacer los eslabones del brazo en MDF	Marisol y Jessica	05/02/19
Investigar y comprar motores y demás partes de las articulaciones	Juan, Marco y Jose	07/02/19
Ensamblar brazo	Todos	09/02/19
Comenzar con la programación y primeras pruebas	Todos	13/02/19
Correcciones mecánicas del brazo	Todos	20/03/19
Investigar parámetros para programación en ROS	Todos	27/03/19
Realizar programa de control del brazo en ROS	Todos	02/04/19

## Lista de materiales y costos

Material	Costo por pieza	Cantidad	Subtotal
Motores Nema 23 a 9kp	\$150.00	4	\$600.00
Drivers A4988	\$45.00	3	\$135.00
Raspberry pi 3	\$1200.00	1	\$1200.00
Balero cónico de automóvil	\$40.00	2	\$80.00
Engranes de aluminio 20 dientes	\$30.00	3	\$90.00
Engranes de aluminio 60 dientes	\$40.00	2	\$80.00
Correas dentadas (200 dientes)	\$50.00	2	\$100.00
Correas dentadas (900 dientes)	\$100.00	1	\$100.00
MDF para eslabones y base	\$200.00	1	\$200.00
Tornillos, tuercas rondanas de varias medidas	\$2.00	30	\$60.00
Tornillo sin fin	\$17.00	1	\$17.00
Fuente de alimentación (Lanix)	\$250.00	1	\$250.00
TOTAL			\$2912.00

# Parámetros Denavit-Hartenberg

$i$	$a_{i-1}$	$\alpha_{i-1}$	$d_i$	$\theta_i$
1	0	-90	0	$\theta_1$
2	$L_1$	0	0	$\theta_2$
3	$L_2$	0	0	$\theta_3$

## Matrices de cada eslabón

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} C\theta_1 & -S\theta_1 & 0 & 0 \\ S\theta_1 & C\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_2^1 = \begin{bmatrix} C\theta_2 & -S\theta_2 & 0 & L_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -S\theta_2 & -C\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_3^2 = \begin{bmatrix} C\theta_3 & -S\theta_3 & 0 & L_2 \\ S\theta_3 & C\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

## Matriz homogénea

$$T_3^0 = T_1^0 T_2^1 T_3^2 =$$

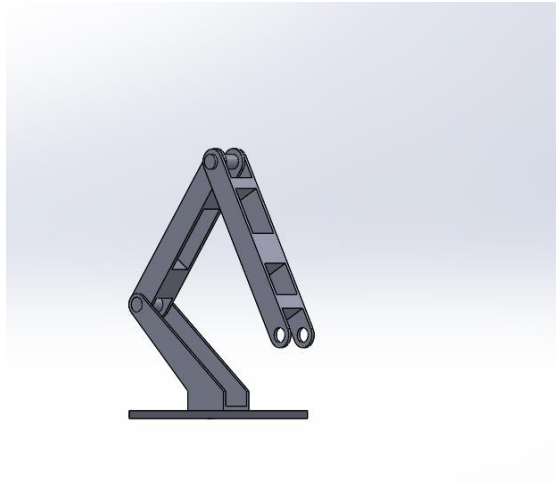
[

$$\begin{matrix} \cos(t_1)*\cos(t_2)*\cos(t_3) - \cos(t_1)*\sin(t_2)*\sin(t_3), & -\cos(t_1)*\cos(t_2)*\sin(t_3) - \cos(t_1)*\cos(t_3)*\sin(t_2), & -\sin(t_1), & L_1*\cos(t_1) + L_2*\cos(t_1)*\cos(t_2) \\ \cos(t_2)*\cos(t_3)*\sin(t_1) - \sin(t_1)*\sin(t_2)*\sin(t_3), & -\cos(t_2)*\sin(t_1)*\sin(t_3) - \cos(t_3)*\sin(t_1)*\sin(t_2), & \cos(t_1), & L_1*\sin(t_1) + L_2*\cos(t_2)*\sin(t_1) \\ -\cos(t_2)*\sin(t_3) - \cos(t_3)*\sin(t_2), & \sin(t_2)*\sin(t_3) - \cos(t_2)*\cos(t_3), & 0, & -L_2*\sin(t_2) \\ 0, & 0, & 0, & \end{matrix}$$

]

## Diseño y análisis del brazo antropomórfico

Bosquejo:



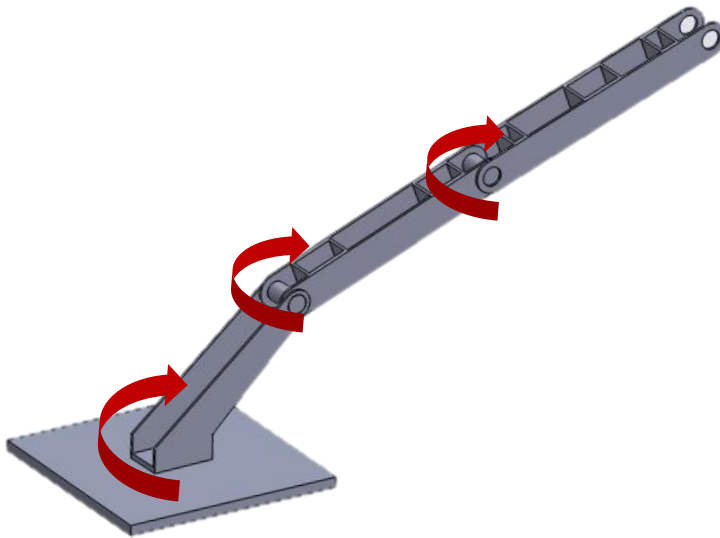
Diseño del brazo en SolidWorks:

Es importante en el desarrollo para saber los recursos necesarios para manejar las propiedades físicas del brazo.

El brazo antropomórfico con tres grados de libertad, los cuales se ha de mostrar en las siguientes imágenes.

1. Rotación en propio eje.
2. Movimiento de codo.

### 3. Movimiento de antebrazo.

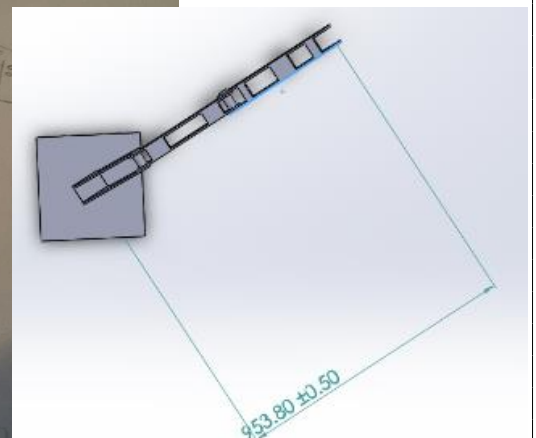
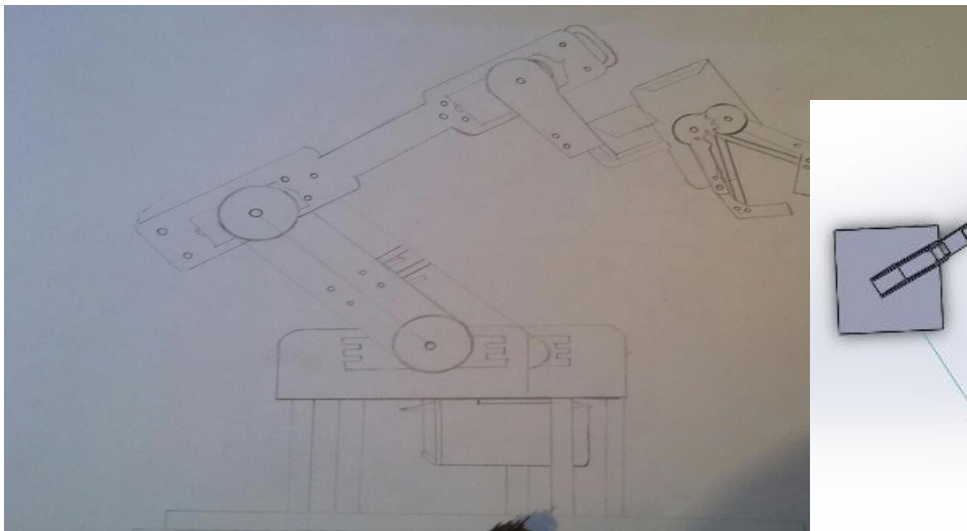


#### Longitud y carga:

- La longitud de operación es de un metro de longitud, desde la base hasta el extremo.
- La carga que se quiere es 300gr. En el extremo del brazo.

#### Análisis en el software ANSYS:

Se utilizó ANSYS para ver el punto con mayor estrés y la fuerza necesaria de los motores.



El análisis se realizó con las siguientes unidades de medición.

**TABLE 2**  
**Model (B4) > Geometry**

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
<b>Definition</b>	
Source	C:\Users\Marco\Desktop\brazo 2.0.1\Ensamblaje1.IGS
Type	Iges
Length Unit	Millimeters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
<b>Bounding Box</b>	
Length X	1.0271 m
Length Y	0.4272 m
Length Z	0.69506 m
<b>Properties</b>	
Volume	3.5931e-003 m³
Mass	2.6876 kg
Scale Factor Value	1.
<b>Statistics</b>	
Bodies	7
Active Bodies	7
Nodes	26779
Elements	8413
Mesh Metric	None
<b>Update Options</b>	
Assign Default Material	No
<b>Basic Geometry Options</b>	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	No
Parameters	Independent
Parameter Key	ANS;DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No

FIGURE 4  
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Total Deformation > Figure

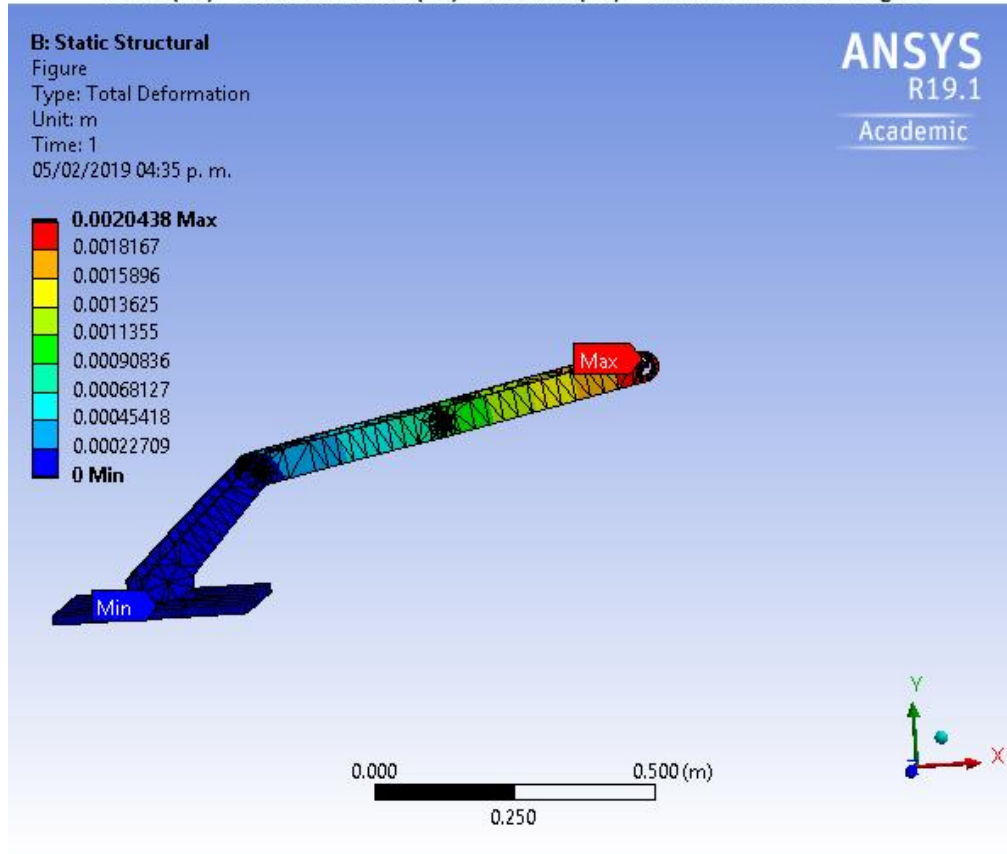
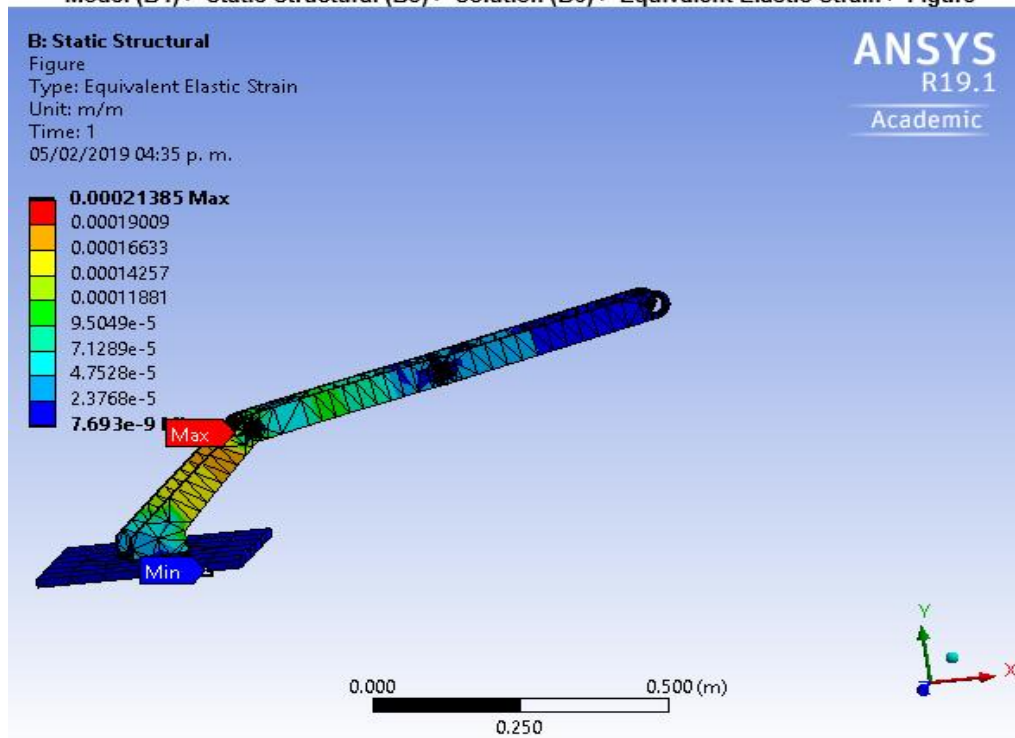
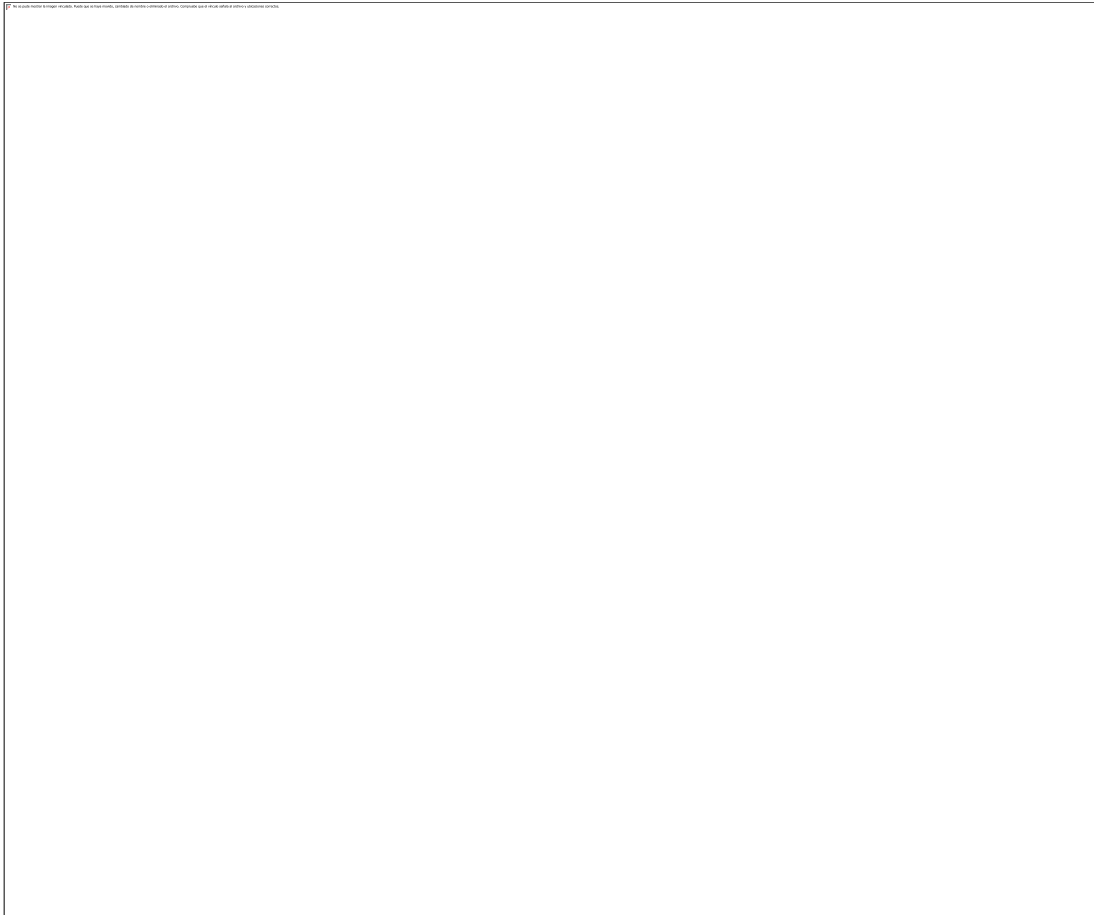


FIGURE 6  
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Equivalent Elastic Strain > Figure



### Interpretación de ANSYS

El análisis de ANSYS en eslabones es para verificar el comportamiento del material que vamos a usar a la carga de peso deseada el diseño utiliza madera MDF de 4 milímetros de espesor. Como se muestra en la siguiente figura se puede ver las zonas que más estrés sufren, pero están dentro del esfuerzo máximo de la materia antes de ser una deformación plástica.



Tiempo[s]	Mínimo [Pa]	Máximo [Pa]	Promedio [Pa]
1.	38.529	1.3417e+006	1.2765e+005

Tensile Ultimate Strength Pa

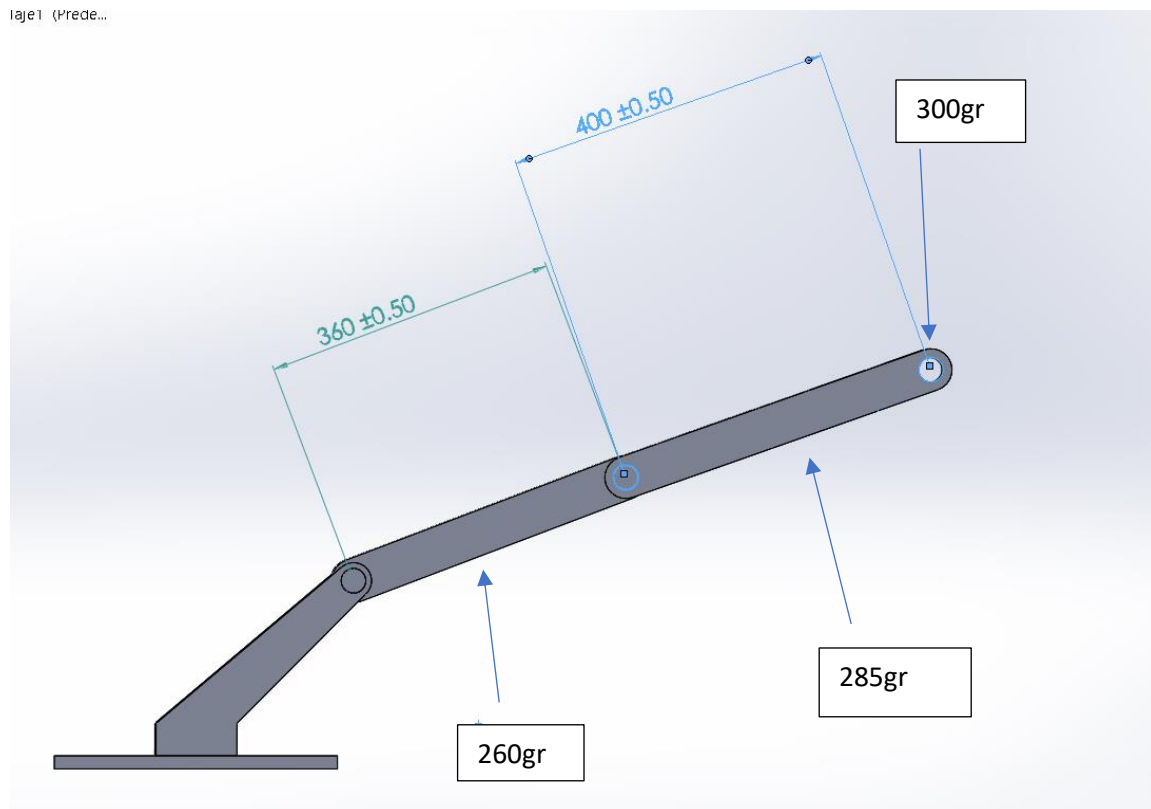


5.61e+007

En las tablas anteriores se tienen los valores de tensión soportados en el análisis y comparando el máximo valor de tensión del material que es igual a 56.1MPa y el máximo esfuerzo producido por el análisis es de 1.34MPa indica que el material está muy sobrado para agregar los motores.

### Cálculo de torque de los motores.

Posteriormente se hizo el cálculo de torque necesario para encontrar los motores correctos. Se uso el siguiente diagrama de cuerpo libre.



Cálculos:

$$F = m * a$$

$$F = .3Kg * 9.81 \frac{m}{s^2} = 2.95 N$$

$$T = r * F$$

$$T_{M1} = .400m(.300kg + .285kg) = .254kg m$$

$$T_{M2} = .400m + .360m(.300kg + .285kg + .260kg) = .7182kg m$$

## Referencias

- [http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0204/ctrl\\_rob/robotica/industrial.htm](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/industrial.htm)
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Brazo\\_rob%C3%B3tico](https://es.wikipedia.org/wiki/Brazo_rob%C3%B3tico)