

BRAZO CILINDRICO

Integrantes:

FLAVIO ANTONIO VAZQUEZ

ALEXIS ISRAEL VIORATO ARAMBULA

LEVI HAZAEL CHAGOYA DE LA CRUZ

CHRISTIAN SALVADOR GOMEZ CARRILLO

FRANCISCO JAVIER HERNANDEZ MORALES

BRYAN ALEJANDRO BEATRIS NUÑEZ

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE LA ZONA METROPOLITANA

DE GUADALAJARA



Índice

1. INTRODUCCION.....	3
1.1 MARCO TEORICO.....	3
1.2 META	4
1.3 OBJETIVO.	4
2. JUSTIFICACION.....	4
2.1 METODOLOGIA	4
2.2 CRONOGRAMA.....	5
2.3 MATERIALES.	6
3. DISEÑO.....	7
3.1 PIEZAS.....	7
3.2 CALCULOS.....	10
3.3 PARAMETROS DH.....	19
4. PROGRAMACION.....	20
4.1 CODIGO MBED.....	20
4.2 COMANDOS.....	21
5. CONCLUSIONES.....	22
6. ANEXOS.....	23
6.1 ANEXO 1.....	23
6.2 ANEXO 2.....	24
7. BIBLIOGRAFIA.....	50

1. INTRODUCCION

El brazo robótico cilíndrico es 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.

Tipos de robot:

- **Robot cartesiano:** Usado para trabajos de “pick and place” (tomar y colocar), aplicación de silicona en componentes SMD, 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:** Usado 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 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.
- **Robot Antropomórfico:** también llamados manipuladores de codo, robots angulares, etc. Una configuración de este tipo posee 3 articulaciones de posicionamiento y por general 3 articulaciones de orientación, es decir para el efector final, también llamado pinza o gripper

1.1 MARCO TEORICO

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 un movimiento rotacional (tales como los de un robot articulado), o según sea el caso un movimiento trasnacional o desplazamiento lineal.

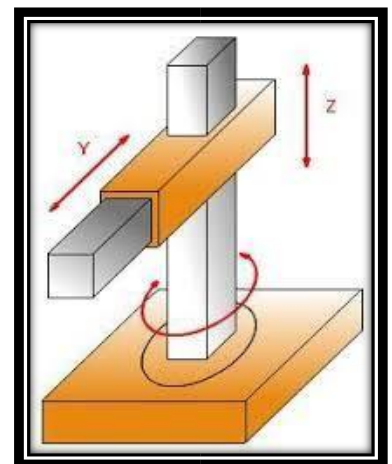


Fig. 1.1

1.2 META

Diseñar, programar y maquilar un brazo robótico del tipo cilíndrico, que sea capaz de mover cada uno de sus tres grados de libertad mediante una programación basado en ROS y mbed.

1.3 OBJETIVOS

1. Construir un brazo robótico cilíndrico
2. Aplicando los conocimientos adquiridos durante este cuatrimestre.
3. Programar una freescale en MBED

2. JUSTIFICACION

Además, este proyecto se realizó con la finalidad de desarrollar los conocimientos adquiridos durante los cuatrimestres anteriores, porque se implementarán, no solo los de esta materia, si no también todas las que cursamos en el cuatrimestre actual y algunas otras de cuatrimestres pasados.

2.1 METODOLOGIA

Para la elaboración de este proyecto obtuvimos conocimiento a través de investigaciones que se realizamos cada uno de los integrantes del equipo, repartimos temas y diferentes tareas, debido a que llegamos a la conclusión que cada uno tenía una habilidad que se podría utilizar para que no se dificultara el trabajo. Cada uno hicimos lo necesario para cumplir con las tareas designadas, investigamos en internet, en algunos libros, hicimos también investigaciones de campo para llevar la teoría a la práctica y así ver si algo podría fallar o algo que tuviéramos que cambiar.

2.2 CRONOGRAMA

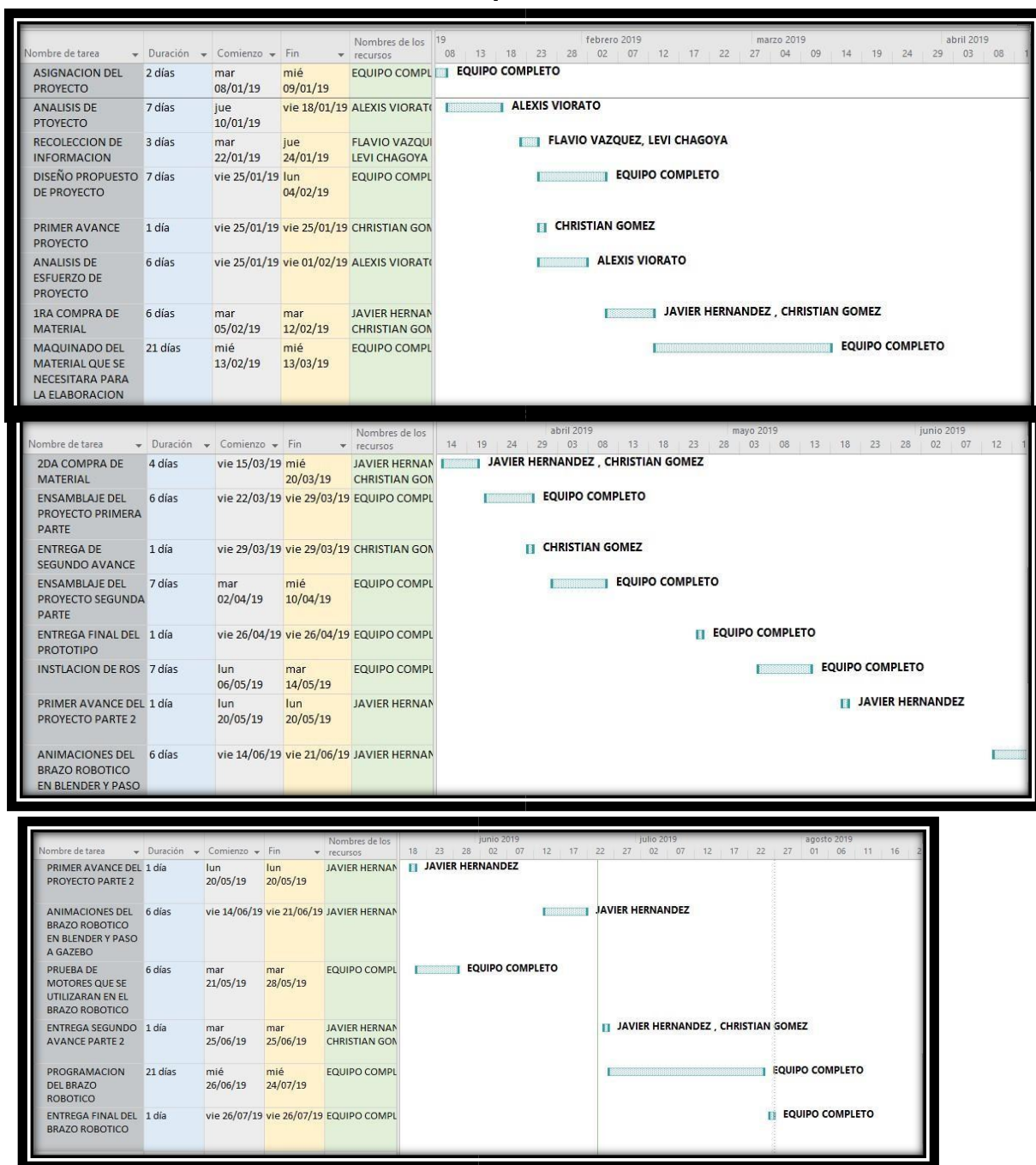


FIG. 1.2 Cronograma

El proyecto se realizó en cuatro meses

El primer mes como se muestra en el cronograma fue dedicado para juntar todo lo necesario como materiales, investigaciones y compartimos ideas de cómo lo realizamos.

El segundo mes fue para juntar toda la documentación y lo más esencial del material que utilizamos y hacer algunos cálculos y simulaciones en software para conocer los parámetros de la dinámica del brazo.

El tercer mes fue dedicado para empezar a hacer pruebas de ensamblado total y así ver que material hacía falta para que ya quedara todo el ensamble, parte del equipo empezó a realizar códigos de programación de los motores.

El cuarto mes iniciamos con la programación en el software ROS para poder controlar los movimientos con diversos comandos, además de simular en gazebo que es un software de animación especializado para robot

2.3 MATERIALES

La lista de materiales a necesitar fueron los siguientes, en primera instancia se consideró un presupuesto que iba de los 2500 a 3000 pero que después se tuvo que considerar que el costo de algunos materiales era más elevado así que se tuvo que extender a los casi 5000 contemplando también el maquilado

Materiales		
Cantidad	Descripción	Costo (C/U)
3	Barras de acero cromado de 64 cm	450
3	Barras de acero cromado de 37 cm	350
N/A	Acero inoxidable	800

3	Baleros	25
3	Motores paso a paso	250
1	Esparrago de 64 cm	50
1	Esparrago de 37 cm	30
30	Tornillos	2
1	Placa de acero	100
Total		4265

3. DISEÑO

3.1 Piezas

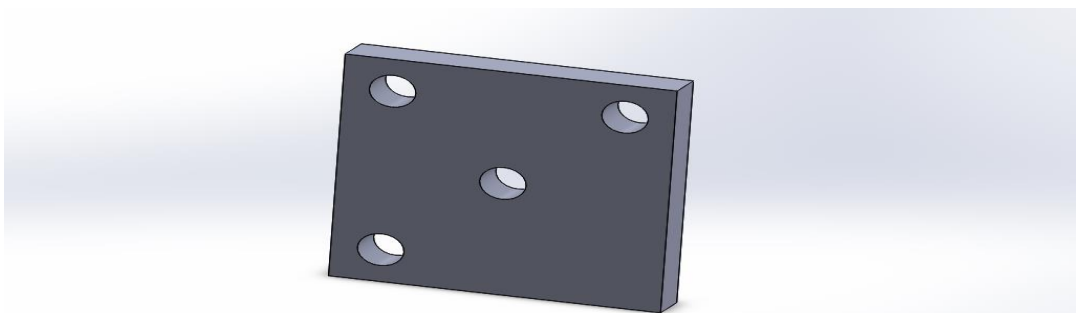


Fig. 3.1

En la figura 3.1 se diseñó este tipo de placa para que tenga lineamiento en 2 de sus ejes ya que 2 son lineales y 1 rotatorio.

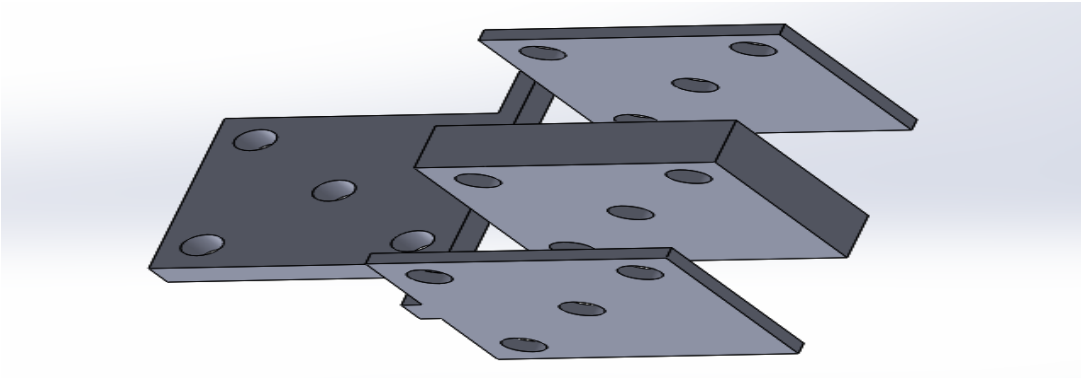


Fig.3.2

En la figura 3.2 son 3 placas iguales a las de la figura .1 que servirán para el alineamiento del brazo

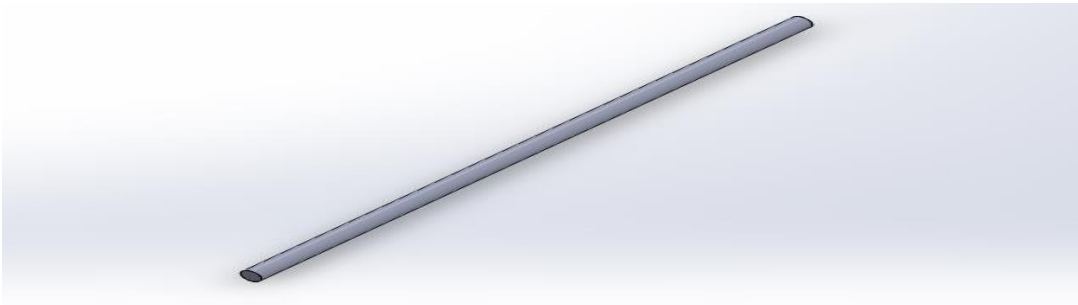


Fig. 3.3

La figura 3.3 está diseñada para los movimientos lineales son las que se pondrán a lo largo de los 2 ejes.

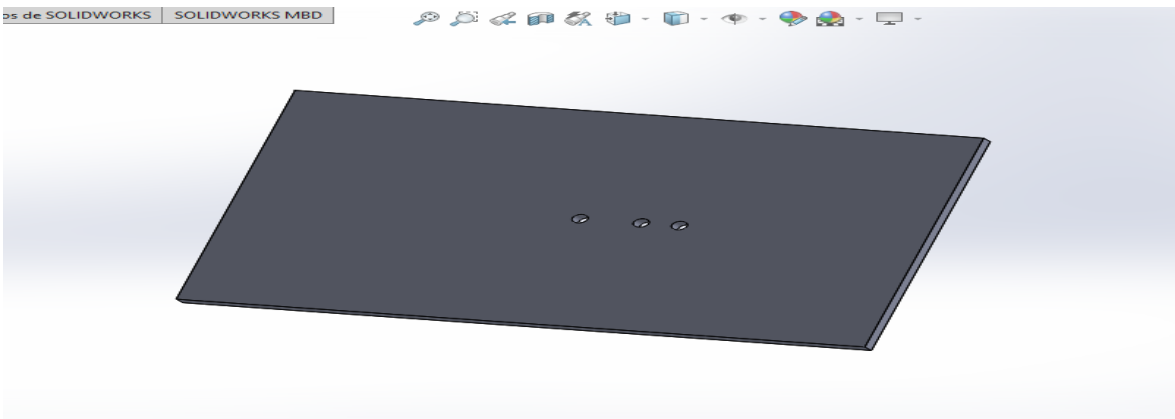


Fig. 3.4

La figura 3.4 está diseñada para ir en la base para sujetar el brazo desde abajo.

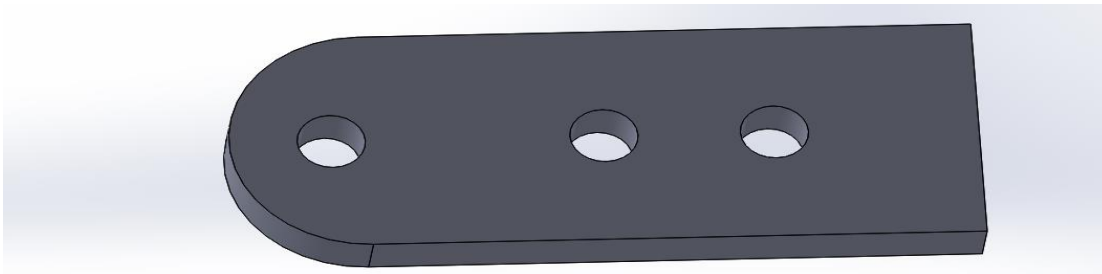


Fig. 3.5

La figura 3.5 es el diseño de la base donde se pondrá el brazo

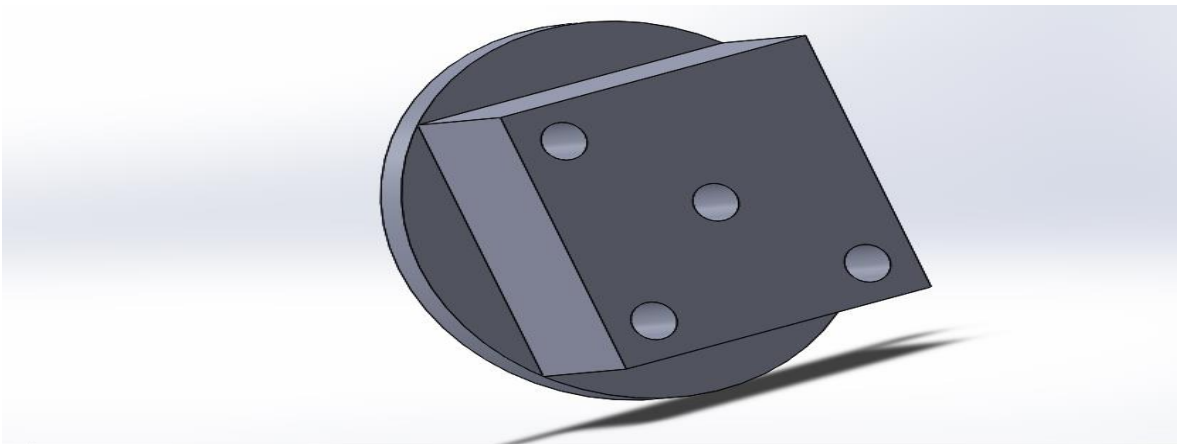
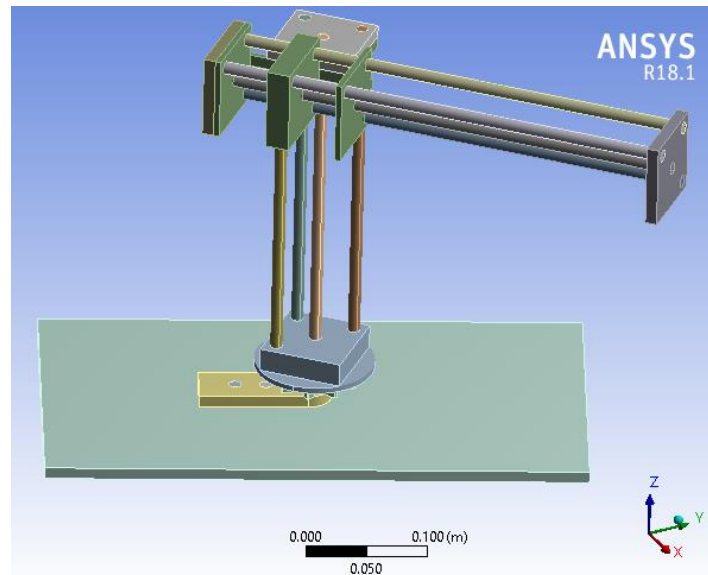


Fig. .6

La figura 3.6 es para la parte del eje del movimiento giratorio que va en la parte de abajo del brazo.

Como podremos notar son pocas figuras esto debido a que 2 ejes del brazo robótico como es el eje vertical y horizontal están hechos con las mismas piezas solo que en diferente medida.

3.2 CALCULOS



Project

First Saved	Friday, May 31, 2019
Last Saved	Friday, May 31, 2019
Product Version	18.1 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No

En la tabla 3.2.1 se encuentra la versión con la cual se obtuvieron los cálculos de esfuerzo de nuestro brazo robótico cilíndrico.

- **Model (B4)**
 - [Geometry](#)
 - [Parts](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Contacts](#)
 - [Contact Regions](#)
 - [Mesh](#)
 - **Static Structural (B5)**
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(B6\)](#)

- [Solution Information](#)
- [Results](#)

Model (B4) > Geometry	
Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	C:\Users\Alexis Viorato\Documents\ensamblaje 1 robot cilindrico.IGS
Type	Iges
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	0.53317 m
Length Y	0.51434 m
Length Z	0.37002 m
Properties	
Volume	1.8869e-003 m ³
Mass	14.813 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	18
Active Bodies	18
Nodes	20155
Elements	5049
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes

Line Bodies	No
Parameters	Independent
Parameter Key	ANS;DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\Alexis Viorato\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

En la tabla 3.2.2 se encuentra la información sobre el brazo, tal como masa, volumen, tipo de diseño, etc.

TABLE 3
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	Part 1	Part 2	Part 3	Part 4	Part 5	Part 6	Part 7	Part 8	Part 9	Part 10	Part 11
State	Meshed										
Graphics Properties											
Visible	Yes										
Transparency	1										
Definition											
Suppress ed	No										
Stiffness Behavior	Flexible										
Coordinat e System	Default Coordinate System										
Reference Temperat ure	By Environment										
Behavior	None										
Material											
Assignme nt	Structural Steel										
Nonlinear Effects	Yes										
Thermal Strain Effects	Yes										
Bounding Box											
Length X	1.e-002 m	7.62e-002 m	1.e-002 m	0.4254 m	8.5123e-002 m	0.30785 m				0.17724 m	

Length Y	1.e-002 m		7.2938e-002 m	1.e-002 m	0.51434 m	0.11625 m	0.27609 m				0.17971 m
Length Z	1.e-002 m		1.27e-002 m	0.35 m	1.e-002 m		1.3611e-002 m				7.0023e-002 m
Properties											
Volume	7.8532e-007 m³		3.5295e-005 m³	2.7486e-005 m³	1.1226e-003 m³	3.9927e-005 m³	3.1413e-005 m³				1.8939e-004 m³
Mass	6.1648e-003 kg		0.27706 kg	0.21577 kg	8.8128 kg	0.31343 kg	0.24659 kg				1.4867 kg
Centroid X	0.15108 m	0.13986 m	0.16904 m		0.16907 m	0.14996 m	0.33299 m	0.29974 m	0.31637 m	0.29974 m	0.2045 m
Centroid Y	-9.2869e-002 m	-0.11521 m	-5.7126e-002 m		-5.7061e-002 m	-9.5097e-002 m	-3.9339e-002 m	-1.9887e-003 m	-2.0664e-002 m	-1.9887e-003 m	-9.6817e-002 m
Centroid Z	-0.11019 m		-9.1542e-002 m	4.9808e-002 m	-0.12019 m	-0.11019 m	0.23481 m		0.20981 m	0.18481 m	0.20951 m
Moment of Inertia Ip1	8.9133e-008 kg·m²		1.5191e-004 kg·m²	2.183e-003 kg·m²	4.6069e-002 kg·m²	4.5073e-005 kg·m²	3.2581e-003 kg·m²				2.4494e-003 kg·m²
Moment of Inertia Ip2	8.9153e-008 kg·m²		7.9649e-005 kg·m²	2.183e-003 kg·m²	0.14906 kg·m²	3.0019e-004 kg·m²	3.2581e-003 kg·m²				1.7041e-003 kg·m²
Moment of Inertia Ip3	7.6146e-008 kg·m²		7.966e-005 kg·m²	2.6458e-006 kg·m²	0.19499 kg·m²	3.4004e-004 kg·m²	3.0237e-006 kg·m²				3.2561e-003 kg·m²
Statistics											
Nodes	860		1383	854	1638	492	854				4349
Elements	155		164	154	212	54	154				2022
Mesh Metric	None										

En la tabla 3.2.3 se obtienen las propiedades, material, etc. Solo de la parte 1 a la 11 para ver las partes restantes puede ir al anexo 1 y los encontrara.

TABLE 8
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region	Contact Region 2	Contact Region 3	Contact Region 4	Contact Region 5	Contact Region 6	Contact Region 7	Contact Region 8	Contact Region 9	Contact Region 10	Contact Region 11
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	1 Face	2 Faces	1 Face	2 Faces		1 Face	2 Faces				
Target	1 Face	2 Faces	1 Face	2 Faces		1 Face	2 Faces				
Contact Bodies	Part 1		Part 2		Part 3		Part 4				
Target Bodies	Part 5	Part 6	Part 5	Part 6	Part 4	Part 18	Part 5	Part 6	Part 11	Part 17	Part 18
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	2.0702e-003 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										

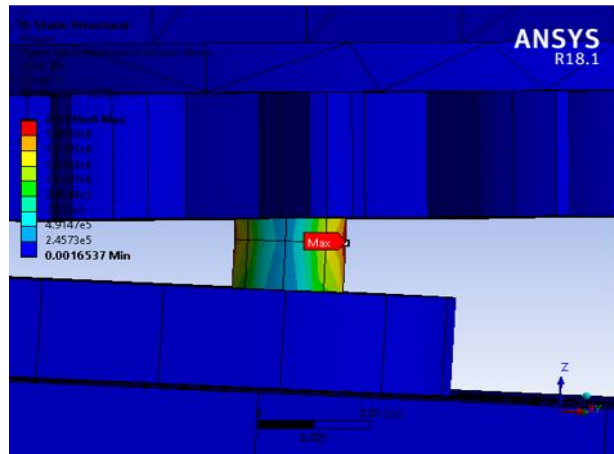
Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

En la tabla 3.2.3 se encuentran las características y especificaciones las caras. Para poder ver el resto, se encuentran en el anexo 2.

TABLE 19
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Equivalent Stress

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]
1.	1.6537e-003	2.2116e+006

FIGURE 4
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Equivalent Stress > Figure

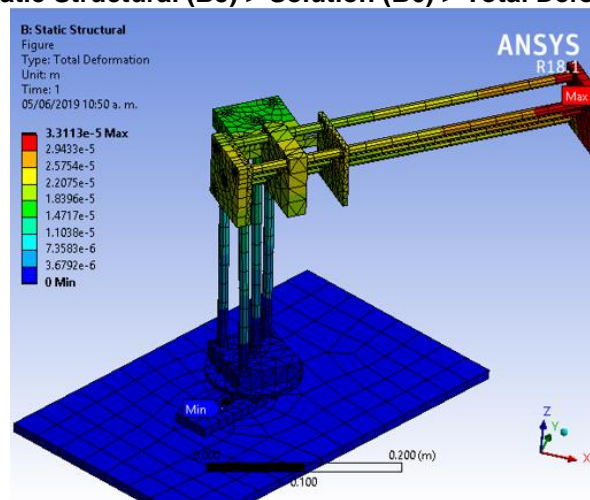


En la tabla 3.2.4 obtendremos la fuerza que se obtiene al hacer el movimiento. Y en la figura 3.2.1 se obtiene el punto que hace más esfuerzo.

TABLE 20
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Total Deformation

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]
1.	0.	3.3113e-005

FIGURE 6
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Total Deformation > Figure



En la tabla 3.3.5 se obtiene la fuerza de la deformación total. Y en la figura 3.2.2 se encuentra la deformación total.

Material Data

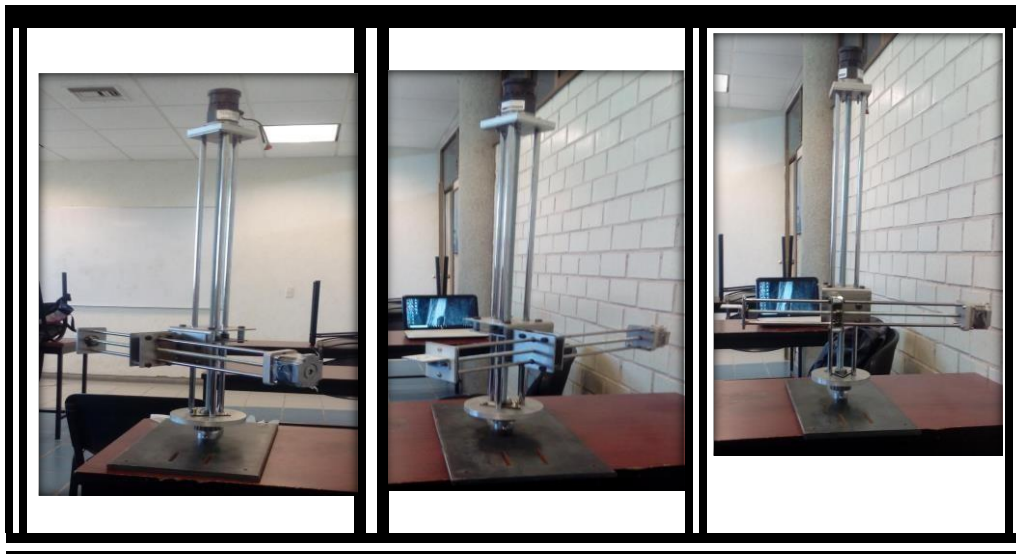
Structural Steel

TABLE 21
Structural Steel > Constants

Density	7850 kg m ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C ⁻¹
Specific Heat	434 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Thermal Conductivity	60.5 W m ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Resistivity	1.7e-007 ohm m

En la tabla 3.2.6 se encuentra las constantes finales del brazo. Para poder ver todas las constantes, se encuentran en el anexo 1.

ESTRUCTURA FISICA



Podemos ver los resultados al juntar todo lo realizado conforme a lo establecido en el cronograma, se llegó a un resultado formidable. Aunque tuvimos problemas con 2 de los motores, el primero del eje vertical fue porque el motor funcionaba, pero no giraba a la hora de darle movimiento parecería que estaba barrido y ya no daba las vueltas. Y el segundo con el eje horizontal porque el motor que primero compramos era muy pequeño para el esfuerzo que habría que hacer.

3.3 ECUACIONES D-H

CODIGO:

```
syms theta1
syms theta2
syms theta3
syms d1
syms d2
T1=[cos(theta1),-sin(theta1),0,0;0,0,-1,0;sin(theta1),cos(theta1),0,0;0,0,0,1]
syms L1
T2=[cos(theta2),-sin(theta2),0,L1;sin(theta2),cos(theta2),0,0;0,0,1,d1;0,0,0,1]
syms L2
T3=[cos(theta3),-sin(theta3),0,L2;sin(theta3),cos(theta3),0,0;0,0,1,d2;0,0,0,1]
syms ans
ans =T1*T2*T3
```

$$\begin{aligned}
 & \boxed{T_1^0} \begin{pmatrix} \cos(\theta_1) & -\sin(\theta_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ \sin(\theta_1) & \cos(\theta_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
 & \boxed{T_2^1} \begin{pmatrix} \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2) & 0 & L_1 \\ \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\
 & \boxed{T_3^2} \begin{pmatrix} \cos(\theta_3) & -\sin(\theta_3) & 0 & L_2 \\ \sin(\theta_3) & \cos(\theta_3) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\boxed{T_3^0} \begin{pmatrix} \sigma_1 & -\cos(\theta_3) \sigma_3 - \sin(\theta_3) \sigma_2 & 0 & L_2 \sigma_2 + L_1 \cos(\theta_1) \\ 0 & 0 & -1 & -d_1 - d_2 \\ \cos(\theta_3) \sigma_3 + \sin(\theta_3) \sigma_2 & \sigma_1 & 0 & L_2 \sigma_3 + L_1 \sin(\theta_1) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

where

$$\sigma_1 = \cos(\theta_3) \sigma_2 - \sin(\theta_3) \sigma_3$$

$$\sigma_2 = \cos(\theta_1) \cos(\theta_2) - \sin(\theta_1) \sin(\theta_2)$$

$$\sigma_3 = \cos(\theta_1) \sin(\theta_2) + \cos(\theta_2) \sin(\theta_1)$$

4.PROGRAMACION

4.1 Código MBED

```
ros::NodeHandle nh; // en esta parte abrimos el nodo en ros ya que es el medio donde se van a controlar los movimientos del brazo.
```

```
DigitalOut step(D2);
```

```
DigitalOut dir(D5);
```

```
DigitalOut en(D8);
```

```
DigitalOut step1(D3);
```

```
DigitalOut dir1(D6);
```

```
DigitalOut step2(D4);
```

```
DigitalOut dir2(D7); //aquí se declaran los pines para la shield que se utilizó para el manejo de voltaje y corriente de los motores.
```

```
float stepDelay = 0.0016; //en esta parte declaramos el tiempo que tarde en cambiar de un paso a otro.
```

```
void vertical(const std_msgs::Int16& cmd_msg)
```

```
ros::Subscriber<std_msgs::Int16> sub("VERTI", vertical); //esta parte del código se utiliza para mover el eje vertical del brazo
```

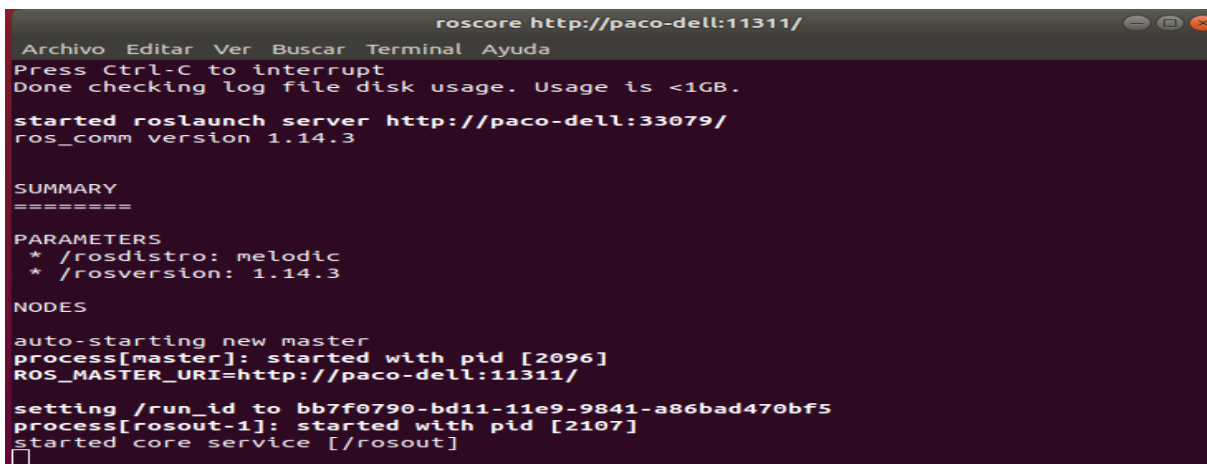
```
void horizontal(const std_msgs::Int16& cmd_msg)
```

```
ros::Subscriber<std_msgs::Int16> sub1("HORI", horizontal); //esta parte del código se utiliza para mover el eje horizontal del brazo
```

```
void base( const std_msgs::Int16& cmd_msg)
```

```
ros::Subscriber<std_msgs::Int16> sub2("BASE", base); //esta parte del código se utiliza para mover el eje de la base del brazo
```

4.2 COMANDOS PARA EJECUTAR EL PROGRAMA

A terminal window titled 'roscore http://paco-dell:11311/' with a menu bar (Archivo, Editar, Ver, Buscar, Terminal, Ayuda). The output shows the ROS master starting, including disk usage check, server launch, version info, summary, parameters, and node startup details.

```
roscore http://paco-dell:11311/
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
Press Ctrl-C to interrupt
Done checking log file disk usage. Usage is <1GB.

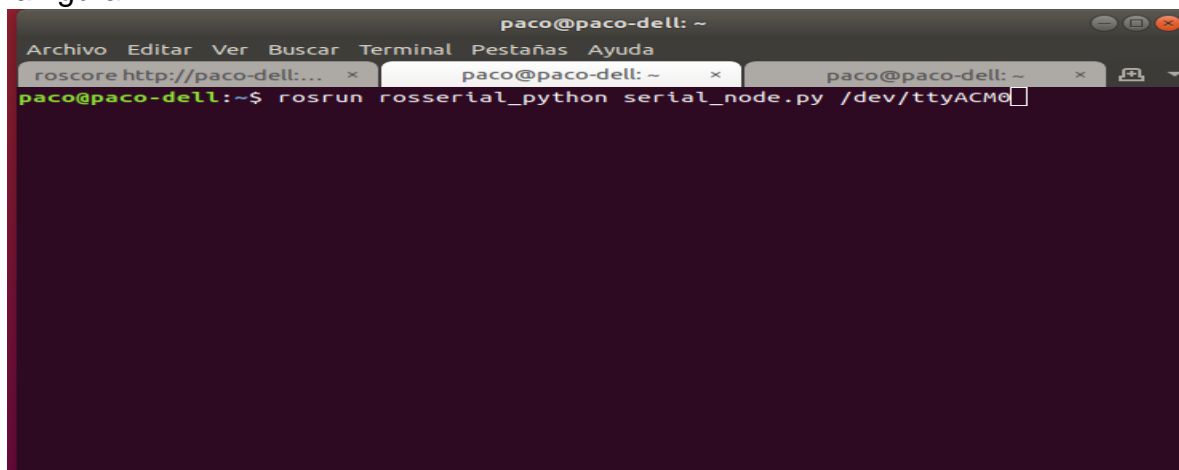
started roslaunch server http://paco-dell:33079/
ros_comm version 1.14.3

SUMMARY
=====
PARAMETERS
* /rostdistro: melodic
* /rosversion: 1.14.3
NODES
auto-starting new master
process[master]: started with pid [2096]
ROS_MASTER_URI=http://paco-dell:11311/

setting /run_id to bb7f0790-bd11-11e9-9841-a86bad470bf5
process[rosout-1]: started with pid [2107]
started core service [/rosout]
```

Fig. 4.2.1

Primeramente, se abre la terminal en Ubuntu y se corre Ros como se muestra en la figura 4.2.1

A terminal window titled 'paco@paco-dell: ~' with a menu bar (Archivo, Editar, Ver, Buscar, Terminal, Pestañas, Ayuda). It shows multiple tabs and the command 'roslaunch roserial_python serial_node.py /dev/ttyACM0' being executed.

```
paco@paco-dell: ~
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Pestañas Ayuda
roscore http://paco-dell:... x paco@paco-dell: ~ x paco@paco-dell: ~ x
paco@paco-dell:~$ roslaunch roserial_python serial_node.py /dev/ttyACM0
```

Fig. 4.2.2

Después abrimos otra terminal el nodo y el puerto en donde se encuentra el microcontrolador donde está el programa con el que se controlara el brazo y se pone el comando para activarlo como se muestra en la fig. 4.2.2

Una vez activado se abre una nueva ventana y para que se pueda mover el brazo debes poner el comando que pusiste en el código y las vueltas que quieres que este haga.

Ejemplo:

5. Conclusiones

Bryan Alejandro Beatris Nuñez

Una vez expuestos los resultados obtenidos, podemos concluir que llevamos a cabo el total de conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, tras lograr el objetivo deseado, que, aunque fue cambiante por diversas causas las metas han sido cumplidas, cabe mencionar que todo fue realizado con gran esfuerzo por cada uno de los integrantes del equipo.

Francisco Javier Hernandez Morales:

Una vez terminado el brazo pude poner a prueba mis conocimientos que he tenido durante los cuatrimestres pasado, aunque hubo muchos problemas y fallas, así como con motores, programa, microcontrolador y conexiones. Al final los resultados nos favorecieron y se logró el objetivo con éxito.

Flavio Antonio Vázquez:

Este proyecto se trato de un brazo robótico tipo cilíndrico con el cual se desarrollo a lo largo de un proyecto anual este brazo se desarrollo en base a todas las habilidades adquiridas durante este periodo e incluso puso a prueba mis capacidades de investigación y pensamiento cognitivo ya que se arreglaron problemas que surgieron el principal problema para mí fue la programación ya que nunca había utilizado comandos en base a coordenadas pero una vez hecho me hizo crecer como ingeniero ya que estuve al límite de mi conocimiento.

Christian Salvador Gómez Carrillo

En este proyecto anual pusimos a prueba nuestros conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, en la construcción que va desde el diseño, selección de materiales adecuados para la elaborar y construir el brazo robótico, que se tuvo algunas complicaciones en la parte de la programación que con investigación pudimos resolver a prueba y error pudimos llevar acabo los movimientos requeridos para el brazo.

Chagoya de la Cruz Levi Hazael.

El objetivo principal de este proyecto fue poner en practica conocimientos como diseño CAD, mecánica industrial y programación. El objetivo principal fue el movimiento prismático y rotativo en el brazo robótico El reto de este proyecto fue que utilizamos sistemas operativos y plataformas distintas a lo habitual como fue LINUX y ROS. En lo personal reforcé mis conocimientos en mecánica y programación para tener un mejor desempeño en el ámbito profesional.

Alexis Israel Viorato Arambula

Al finalizar este proyecto puedo concluir que debido al gran trabajo en equipo y organización se logro realizar el brazo, personalmente tuve algunos contratiempos con la parte de las tareas que me asignaron como partes del código para mover los motores debido a que tuvimos que cambiar motores porque nos falló, se esforzaba demasiado, entonces me enfoque en realizar mas investigación por mi cuenta y con las consultas de algunos compañeros pude resolver esos errores, pero al final

6. Anexos

6.1 Anexo 1

Código MBED

```
#include "mbed.h"
#include <ros.h>
#include <std_msgs/Int16.h>

ros::NodeHandle nh;

DigitalOut step(D2);
DigitalOut dir(D5);
DigitalOut en(D8);
DigitalOut step1(D3);
DigitalOut dir1(D6);
DigitalOut step2(D4);
DigitalOut dir2(D7);

float stepDelay = 0.0016;
void vertical( const std_msgs::Int16& cmd_msg)
{
    int vrec = cmd_msg.data;
    //myled = vrec;
    if(vrec > 50000) {
        int vr = vrec-50000;
        for (int x = 0; x < vr; x++) {
            step=1;
            dir=0;
            en=0;
            wait(stepDelay);
            step=0;
        }
    }
    if(vrec < 50000) {
        for (int x = 0; x < vrec; x++) {
            step=1;
            dir=1;
            en=0;
        }
    }
}
```

```

        wait(stepDelay);
        step=0;
    }
}

void horizontal( const std_msgs::Int16& cmd_msg)
{
    int vrec = cmd_msg.data;
    //myled = vrec;
    if(vrec > 50000) {
        int vr = vrec-50000;
        for (int x = 0; x < vr; x++) {
            step1=1;
            dir1=0;
            en=0;
            wait(stepDelay);
            step1=0;
        }
    }
    if(vrec < 50000) {
        for (int x = 0; x < vrec; x++) {
            step1=1;
            dir1=1;
            en=0;
            wait(stepDelay);
            step1=0;
        }
    }
}

void base( const std_msgs::Int16& cmd_msg)
{
    int vrec = cmd_msg.data;
    //myled = vrec;
    if(vrec > 2000) {
        int vr = vrec-2000;
        for (int x = 0; x < vr; x++) {
            step2=1;
            dir2=0;
            en=0;
            wait(stepDelay);
            step2=0;
        }
    }
    if(vrec < 2000) {
        for (int x = 0; x < vrec; x++) {
            step2=1;
            dir2=1;
            en=0;
            wait(stepDelay);
            step2=0;
        }
    }
}

ros::Subscriber<std_msgs::Int16> sub2("BASE", base);
ros::Subscriber<std_msgs::Int16> sub1("HORI", horizontal);
ros::Subscriber<std_msgs::Int16> sub("VERTI", vertical);

int main()
{
    nh.initNode();
    nh.subscribe(sub);
    nh.subscribe(sub2);
    nh.subscribe(sub1);

    while (1) {
        nh.spinOnce();

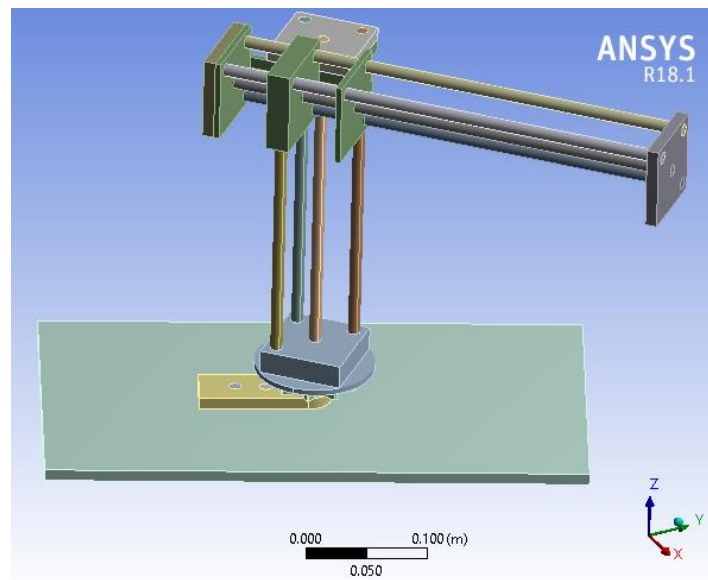
```



```
wait_ms(1);  
}  
}
```

6.2 Anexo 2

REPORTE DE CALCULOS



Project

First Saved	Friday, May 31, 2019
Last Saved	Friday, May 31, 2019
Product Version	18.1 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No

Contents

- [Units](#)
- [Model \(B4\)](#)
 - [Geometry](#)
 - [Parts](#)
 - [Coordinate Systems](#)
 - [Connections](#)
 - [Contacts](#)
 - [Contact Regions](#)
 - [Mesh](#)
 - [Static Structural \(B5\)](#)
 - [Analysis Settings](#)
 - [Loads](#)
 - [Solution \(B6\)](#)
 - [Solution Information](#)
 - [Results](#)
- [Material Data](#)
 - [Structural Steel](#)

Report Not Finalized

Not all objects described below are in a finalized state. As a result, data may be incomplete, obsolete or in error. View first state problem. To finalize this report, edit objects as needed and solve the analyses.

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (B4)

Geometry

TABLE 2
Model (B4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	

Source	C:\Users\Alexis Viorato\Documents\ensamblaje 1 robot cilindrico.IGS
Type	Iges
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	0.53317 m
Length Y	0.51434 m
Length Z	0.37002 m
Properties	
Volume	1.8869e-003 m ³
Mass	14.813 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	18
Active Bodies	18
Nodes	20155
Elements	5049
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	No
Parameters	Independent
Parameter Key	ANS;DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No

Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\Alexis Viorato\AppData\Local\Temp
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	Part 1	Part 2	Part 3	Part 4	Part 5	Part 6	Part 7	Part 8	Part 9	Part 10	Part 11
State	Meshed										
Graphics Properties											
Visible	Yes										
Transpare ncy	1										
Definition											
Suppress ed	No										
Stiffness Behavior	Flexible										
Coordinat e System	Default Coordinate System										

Reference Temperature	By Environment										
Behavior	None										
Material											
Assignment	Structural Steel										
Nonlinear Effects	Yes										
Thermal Strain Effects	Yes										
Bounding Box											
Length X	1.e-002 m		7.62e-002 m	1.e-002 m	0.4254 m	8.5123e-002 m	0.30785 m			0.17724 m	
Length Y	1.e-002 m		7.2938e-002 m	1.e-002 m	0.51434 m	0.11625 m	0.27609 m			0.17971 m	
Length Z	1.e-002 m		1.27e-002 m	0.35 m	1.e-002 m		1.3611e-002 m			7.0023e-002 m	
Properties											
Volume	7.8532e-007 m³		3.5295e-005 m³	2.7486e-005 m³	1.1226e-003 m³	3.9927e-005 m³	3.1413e-005 m³			1.8939e-004 m³	
Mass	6.1648e-003 kg		0.27706 kg	0.21577 kg	8.8128 kg	0.31343 kg	0.24659 kg			1.4867 kg	
Centroid X	0.15108 m	0.13986 m	0.16904 m		0.16907 m	0.14996 m	0.33299 m	0.29974 m	0.31637 m	0.29974 m	0.2045 m
Centroid Y	-9.2869e-002 m	-0.11521 m	-5.7126e-002 m		-5.7061e-002 m	-9.5097e-002 m	-3.9339e-002 m	-1.9887e-003 m	-2.0664e-002 m	-1.9887e-003 m	-9.6817e-002 m
Centroid Z	-0.11019 m		-9.1542e-002 m	4.9808e-002 m	-0.12019 m	-0.11019 m	0.23481 m		0.20981 m	0.18481 m	0.20951 m

Moment of Inertia Ip1	8.9133e-008 kg·m ²	1.5191 e-004 kg·m ²	2.183 e-003 kg·m ²	4.6069 e-002 kg·m ²	4.5073 e-005 kg·m ²	3.2581e-003 kg·m ²	2.4494 e-003 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	8.9153e-008 kg·m ²	7.9649 e-005 kg·m ²	2.183 e-003 kg·m ²	0.1490 6 kg·m ²	3.0019 e-004 kg·m ²	3.2581e-003 kg·m ²	1.7041 e-003 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	7.6146e-008 kg·m ²	7.966e -005 kg·m ²	2.645 8e-006 kg·m ²	0.1949 9 kg·m ²	3.4004 e-004 kg·m ²	3.0237e-006 kg·m ²	3.2561 e-003 kg·m ²
Statistics							
Nodes	860	1383	854	1638	492	854	4349
Elements	155	164	154	212	54	154	2022
Mesh Metric	None						

TABLE 4
Model (B4) > Geometry > Parts

Object Name	Part 12	Part 13	Part 14	Part 15	Part 16	Part 17	Part 18
State	Meshed						
Graphics Properties							
Visible	Yes						
Transparency	1						
Definition							
Suppressed	No						
Stiffness Behavior	Flexible						
Coordinate System	Default Coordinate System						
Reference Temperature	By Environment						
Behavior	None						
Material							
Assignment	Structural Steel						

Nonlinear Effects	Yes						
Thermal Strain Effects	Yes						
Bounding Box							
Length X	1.e-002 m			5.4947e-002 m		9.9884e-002 m	0.14118 m
Length Y	1.e-002 m			5.9995e-002 m		9.9768e-002 m	0.14118 m
Length Z	0.3 m			7.e-002 m		1.e-002 m	2.5e-002 m
Properties							
Volume	2.356e-005 m³			4.6849e-005 m³			1.3375e-004 m³
Mass	0.18494 kg			0.36776 kg			1.05 kg
Centroid X	0.17109 m	0.13374 m	0.16699 m	0.46231 m	0.17098 m	0.16963 m	0.16935 m
Centroid Y	-2.183e-002 m	-5.5071e-002 m	-9.2421e-002 m	0.10867 m	-0.15061 m	-5.716e-002 m	-5.7144e-002 m
Centroid Z	7.4808e-002 m			0.20939 m		0.21981 m	-7.3884e-002 m
Moment of Inertia Ip1	1.375e-003 kg·m²			1.4992e-004 kg·m²			5.5149e-004 kg·m²
Moment of Inertia Ip2	1.375e-003 kg·m²			1.5988e-004 kg·m²			5.6884e-004 kg·m²
Moment of Inertia Ip3	2.2678e-006 kg·m²			3.0366e-004 kg·m²			1.0024e-003 kg·m²
Statistics							
Nodes	796			800			1515
Elements	143			92			812
Mesh Metric	None						

Coordinate Systems

TABLE 5
Model (B4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	Global Coordinate System
-------------	--------------------------

State	Fully Defined
Definition	
Type	Cartesian
Coordinate System ID	0.
Origin	
Origin X	0. m
Origin Y	0. m
Origin Z	0. m
Directional Vectors	
X Axis Data	[1. 0. 0.]
Y Axis Data	[0. 1. 0.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]

Connections

TABLE 6
Model (B4) > Connections

Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 7
Model (B4) > Connections > Contacts

Object Name	<i>Contacts</i>
State	Fully Defined
Definition	
Connection Type	Contact
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection

Geometry	All Bodies
Auto Detection	
Tolerance Type	Slider
Tolerance Slider	0.
Tolerance Value	2.0702e-003 m
Use Range	No
Face/Face	Yes
Face Overlap Tolerance	Off
Cylindrical Faces	Include
Face/Edge	No
Edge/Edge	No
Priority	Include All
Group By	Bodies
Search Across	Bodies
Statistics	
Connections	35
Active Connections	35

TABLE 8
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Model (24) > Connections > Contacts > Contact Regions											
Object Name	Contact Region 1	Contact Region 2	Contact Region 3	Contact Region 4	Contact Region 5	Contact Region 6	Contact Region 7	Contact Region 8	Contact Region 9	Contact Region 10	Contact Region 11
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	1 Face	2 Faces	1 Face	2 Faces		1 Face	2 Faces				
Target	1 Face	2 Faces	1 Face	2 Faces		1 Face	2 Faces				

Contact Bodies	Part 1		Part 2		Part 3		Part 4				
Target Bodies	Part 5	Part 6	Part 5	Part 6	Part 4	Part 18	Part 5	Part 6	Part 11	Part 17	Part 18
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	2.0702e-003 m										
Suppressed	No										
Advanced											
Formulation	Program Controlled										
Detection Method	Program Controlled										
Penetration Tolerance	Program Controlled										
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled										
Normal Stiffness	Program Controlled										
Update Stiffness	Program Controlled										
Pinball Region	Program Controlled										
Geometric Modification											
Contact Geometry Correction	None										

Target Geometry Correction	None
----------------------------	------

TABLE 9
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Conta ct Regio n 12	Conta ct Regio n 13	Conta ct Regio n 14	Conta ct Regio n 15	Conta ct Regio n 16	Conta ct Regio n 17	Conta ct Regio n 18	Conta ct Regio n 19	Conta ct Regio n 20	Conta ct Regio n 21	Conta ct Regio n 22
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	1 Face	2 Faces									
Target	1 Face	6 Faces	2 Faces		6 Faces	2 Faces		6 Faces	2 Faces		6 Faces
Contact Bodies	Part 5	Part 7			Part 8			Part 9			Part 10
Target Bodies	Part 6	Part 11	Part 15	Part 16	Part 11	Part 15	Part 16	Part 11	Part 15	Part 16	Part 11
Definition											
Type	Bonded										
Scope Mode	Automatic										
Behavior	Program Controlled										
Trim Contact	Program Controlled										
Trim Tolerance	2.0702e-003 m										
Suppress ed	No										
Advanced											
Formulati on	Program Controlled										

Detection Method	Program Controlled
Penetration Tolerance	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Normal Stiffness	Program Controlled
Update Stiffness	Program Controlled
Pinball Region	Program Controlled
Geometric Modification	
Contact Geometry Correction	None
Target Geometry Correction	None

TABLE 10
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 23	Contact Region 24	Contact Region 25	Contact Region 26	Contact Region 27	Contact Region 28	Contact Region 29	Contact Region 30	Contact Region 31	Contact Region 32	Contact Region 33
State	Fully Defined										
Scope											
Scoping Method	Geometry Selection										
Contact	2 Faces					1 Face	2 Faces		3 Faces	2 Faces	3 Faces
Target	2 Faces					1 Face	2 Faces		3 Faces	2 Faces	3 Faces
Contact Bodies	Part 10		Part 11					Part 12		Part 13	

Target Bodies	Part 15	Part 16	Part 12	Part 13	Part 14	Part 16	Part 17	Part 18	Part 17	Part 18
Definition										
Type	Bonded									
Scope Mode	Automatic									
Behavior	Program Controlled									
Trim Contact	Program Controlled									
Trim Tolerance	2.0702e-003 m									
Suppressed	No									
Advanced										
Formulation	Program Controlled									
Detection Method	Program Controlled									
Penetration Tolerance	Program Controlled									
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled									
Normal Stiffness	Program Controlled									
Update Stiffness	Program Controlled									
Pinball Region	Program Controlled									
Geometric Modification										
Contact Geometry Correction	None									
Target Geometry Correction	None									

TABLE 11
Model (B4) > Connections > Contacts > Contact Regions

Object Name	Contact Region 34	Contact Region 35
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Contact	2 Faces	3 Faces
Target	2 Faces	3 Faces
Contact Bodies	Part 14	
Target Bodies	Part 17	Part 18
Definition		
Type	Bonded	
Scope Mode	Automatic	
Behavior	Program Controlled	
Trim Contact	Program Controlled	
Trim Tolerance	2.0702e-003 m	
Suppressed	No	
Advanced		
Formulation	Program Controlled	
Detection Method	Program Controlled	
Penetration Tolerance	Program Controlled	
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled	
Normal Stiffness	Program Controlled	
Update Stiffness	Program Controlled	
Pinball Region	Program Controlled	
Geometric Modification		
Contact Geometry Correction	None	
Target Geometry Correction	None	

Mesh

TABLE 12
Model (B4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	0
Element Order	Program Controlled
Sizing	
Size Function	Adaptive
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Assembly
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeature Size	Default
Minimum Edge Length	7.8197e-004 m
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	None
Inflation	
Use Automatic Inflation	None

Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	Default (4)
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	No
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Statistics	
Nodes	20155
Elements	5049

Static Structural (B5)

TABLE 13
Model (B4) > Analysis

Object Name	<i>Static Structural (B5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	

Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 14
Model (B4) > Static Structural (B5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	1.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Rotordynamics Controls	
Coriolis Effect	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	No
Combined Restart Files	Program Controlled
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Program Controlled
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled

Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	C:\Users\Alexis Viorato\Desktop\Análisis_files\dp0\SYS-1\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	No
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 15
Model (B4) > Static Structural (B5) > Loads

Object Name	Pressure	Pressure 2	Fixed Support
State	Fully Defined		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	1 Face		
Definition			
Type	Pressure		Fixed Support
Define By	Normal To		
Applied By	Surface Effect		

Magnitude	100. Pa (ramped)	-200. Pa (ramped)	
Suppressed	No		

FIGURE 1
Model (B4) > Static Structural (B5) > Pressure

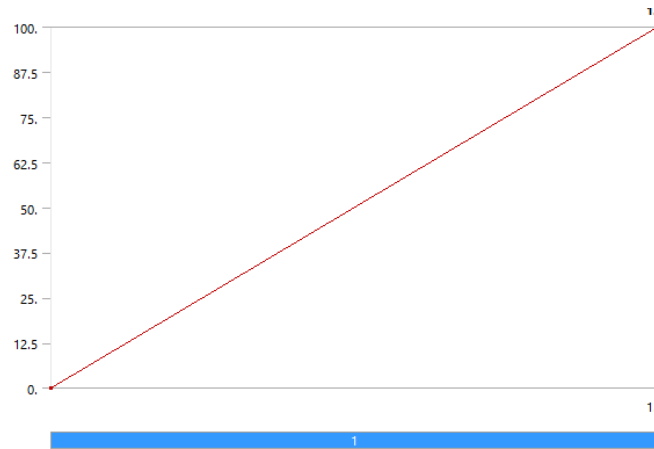
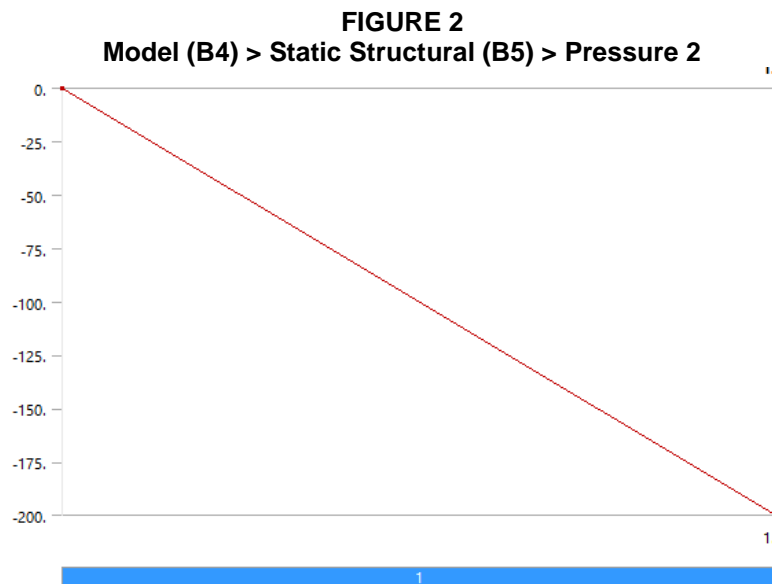


FIGURE 2
Model (B4) > Static Structural (B5) > Pressure 2



Solution (B6)

TABLE 16
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution

Object Name	<i>Solution (B6)</i>
State	Solved
Adaptive Mesh Refinement	
Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done
MAPDL Elapsed Time	32. s
MAPDL Memory Used	162. MB
MAPDL Result File Size	7.625 MB
Post Processing	
Beam Section Results	No

TABLE 17
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Identify Element Violations	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single

Display Type	Lines
--------------	-------

TABLE 18
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Results

Object Name	Equivalent Stress	Total Deformation
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Definition		
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Total Deformation
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
Integration Point Results		
Display Option	Averaged	
Average Across Bodies	No	
Results		
Minimum	1.6537e-003 Pa	0. m
Maximum	2.2116e+006 Pa	3.3113e-005 m
Minimum Occurs On	Part 5	
Maximum Occurs On	Part 4	Part 15
Information		
Time	1. s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	

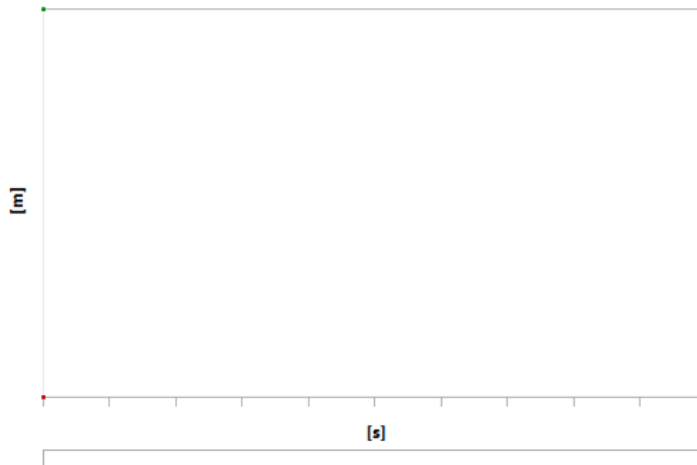
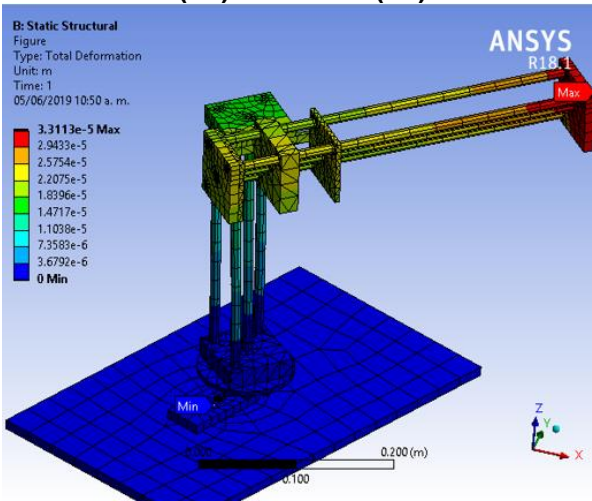


TABLE 20
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Total Deformation

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]
1.	0.	3.3113e-005

FIGURE 6
Model (B4) > Static Structural (B5) > Solution (B6) > Total Deformation > Figure



Material Data
Structural Steel

TABLE 21
Structural Steel > Constants

Density	7850 kg m ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C ⁻¹

Specific Heat	434 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Thermal Conductivity	60.5 W m ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Resistivity	1.7e-007 ohm m

TABLE 22
Structural Steel > Appearance

Red	Green	Blue
132	139	179

TABLE 23
Structural Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
0

TABLE 24
Structural Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
2.5e+008

TABLE 25
Structural Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
2.5e+008

TABLE 26
Structural Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
4.6e+008

TABLE 27
Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
22

TABLE 28
Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress Pa	Cycles	Mean Stress Pa
3.999e+009	10	0

2.827e+009	20	0
1.896e+009	50	0
1.413e+009	100	0
1.069e+009	200	0
4.41e+008	2000	0
2.62e+008	10000	0
2.14e+008	20000	0
1.38e+008	1.e+005	0
1.14e+008	2.e+005	0
8.62e+007	1.e+006	0

TABLE 29
Structural Steel > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient Pa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient Pa	Cyclic Strain Hardening Exponent
9.2e+008	-0.106	0.213	-0.47	1.e+009	0.2

TABLE 30
Structural Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	2.e+011	0.3	1.6667e+011	7.6923e+010

TABLE 31
Structural Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
10000

6. BIBLIOGRAFÍA

Brazo Robótico. (2018, 7 de noviembre). Recuperado 16 de mayo 2019, de https://es.wikipedia.org/wiki/Brazo_rob%C3%B3tico

BFMexico, (Fundada en 1977), Recuperado el 10 de abril 2019, de <https://www.bfmex.com/tipos-de-robots-industriales-masutilizados/>

Jose Cortes Parejo. (marzo 2008) de https://personal.us.es/jcortes/Material/Material_archivos/Articulos%20PDF/RepresentDH.pdf

Blascar. (2019), Recuperada 20 de junio 2019 de <http://blascarr.com/portfolio-item/denavit-hartenberg-robot/>

Ros.org. (2007), Recuperada 12 de mayo 2019 de http://wiki.ros.org/rosterial_mbed/Tutorials/rosterial_mbed%20Setup