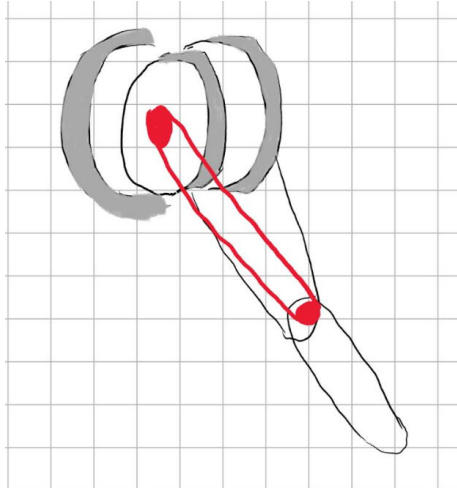


Cálculos estático de estructura

Se supondrán tres fuerzas de magnitud diferente en el lugar donde se ubicará la pierna.

Esto es debido a que se tomará cada motor como un cuerpo independiente que produce un peso, adicional de los dos eslabones y los otros elementos (STPM, elementos de sujeción, y acoples). Por lo tanto se utilizará un factor como método de suposición de los pesos de los demás elementos que harán parte del sistema.



Para llevar a cabo el cálculo del análisis estático, fue necesario aproximar por el momento algunos valores de los pesos, los cuales posteriormente serán iterados una vez ya se tenga el diseño final.

Se obtiene un aproximado del peso del motor a través de un datasheet, y el peso de cada uno de los eslabones por medio del modelado base que se realizó en Inventor, suponiendo ABS como material (esto último por las disponibilidades del cliente).

减速器齿轮材料(Reducer Gear Material)	/	STEEL
减速器齿轮背隙(Reducer Gear Backlash)	arcmin	< 6
电机重量不带驱动(Motor Weight without Driver)	g	525
电机重量带驱动(Motor Weight with Driver)	g	567
电机尺寸不带驱动(Size without Driver)	mm	Ø96×34
电机尺寸带驱动(Size with Driver)	mm	Ø96×41.5
轴向最大负载(Max Axial Load)	N	800



Pesos motor y eslabones:

$$\text{pesoEslabon1} = (0.502 \times 0.454) \times 9.81 \text{ [Kg]} \times \text{gravedad}$$

$$\text{pesoEslabon1} = 2.2358$$

$$\text{pesoEslabon2} = (0.192 \times 0.454) \times 9.81 \text{ [Kg]} \times \text{gravedad}$$

```
pesoEslabon2 = 0.8551
```

```
pesoMotor = (0.600)*9.81           %[Kg]*gravedad
```

```
pesoMotor = 5.8860
```

Fuerzas de proceso:

```
%Factor = STPM + sujeción + acoples + eslabones
```

```
Fuerza2 = (pesoMotor + pesoEslabon1 + pesoEslabon2)*1.5  %[N] Motor1: peso motor1 + peso eslabon1 + peso eslabon2
```

```
Fuerza2 = 13.4653
```

```
Fuerza1 = pesoMotor*1.2           %[N]* factor que reemplaza el valor de fuerza
```

```
Fuerza1 = 7.0632
```

```
Fuerza3 = pesoMotor*1.2           %[N]* factor
```

```
Fuerza3 = 7.0632
```

```
Mmotor = 7.62;                   %[Nm]
```

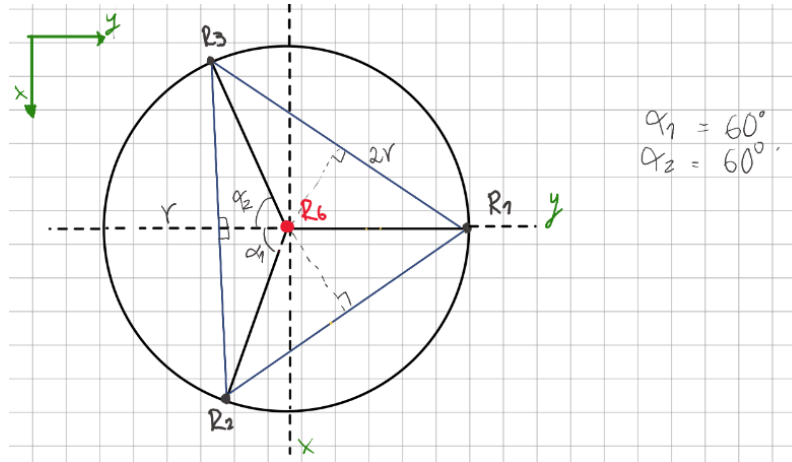
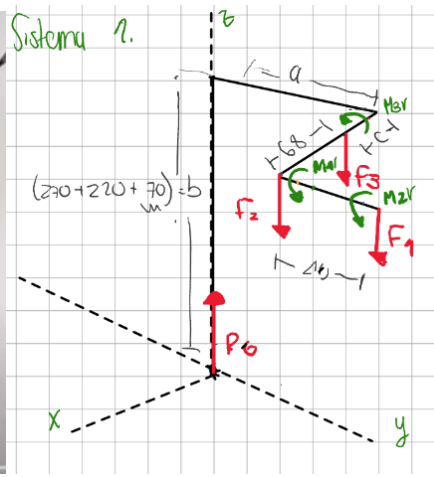
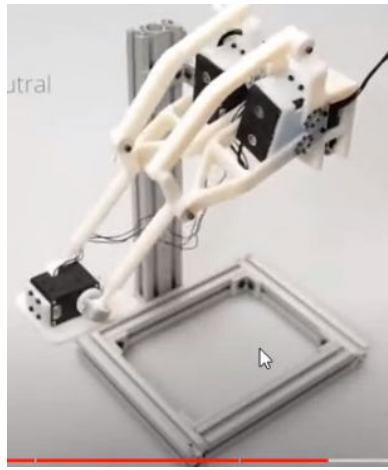
Dimensiones:

Las siguientes variables hacen referencia a las dimensiones de la estructura que fueron iteradas para conseguir el equilibrio estático de la estructura.

```
a = 120*10^(-3);                %[m]
b = (270+220+60)*10^(-3);       %[m] Altura de estructura
c = 20*10^(-3);                  %[m]
r = 300 *10^(-3);                %[m] Longitud de patas de la base
ra = 400 *10^(-3);               %[m] Longitud de patas de la base
ang1 = deg2rad(60);              %Ángulos de separación de patas de la base
ang2 = deg2rad(60);
```

Para dar inicio a los cálculos de la estructura, se planteó y selecciono la forma que tomaría, similar a la que muestra el boceto y la imagen extraída de un video. En general, se propone una estructura en forma de atril con una base de tres patas, la cual posteriormente se irá perfeccionando con procesos algebraicos o computacionales.

Se planteaba en un principio una base cuadrada, pero para efectos prácticos en los cálculos se supone una base de tres patas con el objetivo de conseguir un sistema determinado.



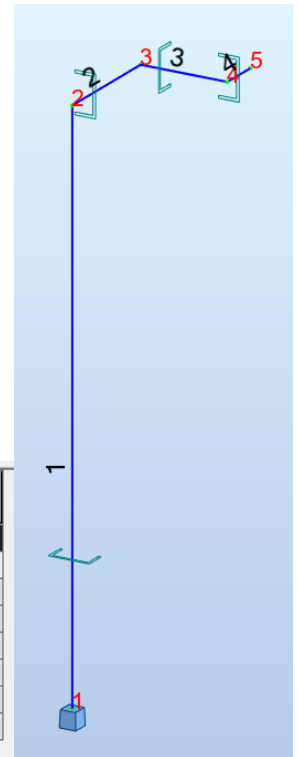
Reacciones:

En primera instancia se hace una sumatoria en el eje z, debido a que todas las fuerzas presentes se encuentran situadas sobre este eje. Y de esta forma, se obtiene el valor de la fuerza equivalente que se verá desde la base (RG).

$$RG = (\text{Fuerza1} + \text{Fuerza2} + \text{Fuerza3}) \text{ [N]};$$

$$RG = 27.5917$$

Node/Case	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)
1/ 1	-0,00	-0,00	27,59	-4,03	-17,17	0,00
Case 1	DL1					
Sum of val.	-0,00	-0,00	27,59	-4,03	-17,17	0,00
Sum of reac.	-0,00	-0,00	27,59	-4,03	-17,17	0,00
Sum of forc.	0,0	0,0	-27,59	4,03	17,17	0,0
Check val.	-0,00	-0,00	0,00	0,00	-0,00	0,00
Precision	2,65203e-11	7,54420e-23				



Se compara el valor con el que arrojó el software computacional, y se revisa que el valor calculado es correcto.

La estructura se dividió en dos sistemas: estructura de voladizo y la base. Se trasladan todas las fuerzas presentes al origen y por ello, se calcula el par de momento generados, esto es debido a que el análisis estático se realizará sobre el sistema 2 (la base).

$$\begin{aligned}
 M_1 &= \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ (0,068+c) & (0,04+a) & -b \\ 0 & 0 & -F_1 \end{vmatrix} \\
 M_2 &= \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ (0,068+c) & (0,04) & -b \\ 0 & 0 & -F_2 \end{vmatrix} \\
 M_3 &= \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ c & a & -b \\ 0 & 0 & -F_3 \end{vmatrix}
 \end{aligned}$$

$$M = r \times F$$

```

r1 = [(0.068+c),(0.04+a), b];
F1 = [0,0,-Fuerza1];

```

$$M1 = \text{cross}(r1, F1)$$

$$M1 = 1 \times 3$$

-1.1301	0.6216	0
---------	--------	---

$$r2 = [(0.068+c), (a), b];$$

$$F2 = [0, 0, -Fuerza2];$$

$$M2 = \text{cross}(r2, F2)$$

$$M2 = 1 \times 3$$

-1.6158	1.1850	0
---------	--------	---

$$r3 = [c, a, b];$$

$$F3 = [0, 0, -Fuerza3];$$

$$M3 = \text{cross}(r3, F3)$$

$$M3 = 1 \times 3$$

-0.8476	0.1413	0
---------	--------	---

Se calculan la sumatoria de momentos que presenciara el punto de origen para facilitar cálculos posteriores.

$$MRX = M1(1,1) + M2(1,1) + M3(1,1) + Mmotor$$

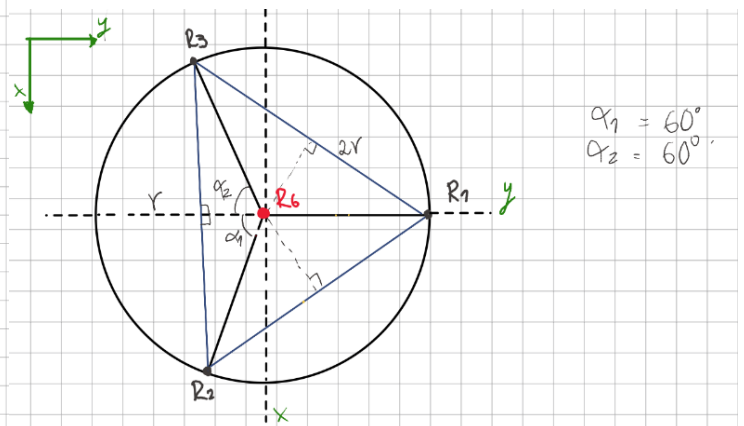
$$MRX = 4.0265$$

$$MRY = M1(1,2) + M2(1,2) + M3(1,2) + 2 \cdot Mmotor$$

$$MRY = 17.1878$$

Así mismo, se calcula el par de momento que se generan a trasladar las fuerzas de reacciones de la base al origen.

$MR1 = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 0 & r & 0 \\ 0 & 0 & R1 \end{vmatrix}$	$MR1x = r \cdot R1$
$MR2 = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ r \sin \alpha_1 & -r \cos \alpha_1 & 0 \\ 0 & 0 & R2 \end{vmatrix}$	$MR2x = -R2 \cdot r \cos \alpha_1$ $MR2y = -r \sin(\alpha_1) \cdot R2$
$MR3 = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ -r \sin \alpha_2 & -r \cos \alpha_2 & 0 \\ 0 & 0 & R3 \end{vmatrix}$	$MR3x = -r \cos(\alpha_2) \cdot R3$ $MR3y = r \sin(\alpha_2) \cdot R3$



$$\text{syms } R1 \ R2 \ R3$$

$$r1 = [0, r, 0]$$

$$r1 = 1 \times 3$$

0	0.3000	0
---	--------	---

$$Mr1 = [r \cdot R1, 0, 0]$$

Mr1 =

$$\begin{pmatrix} \frac{3R_1}{10} & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

r2 = [ra*sin(ang1), -ra*cos(ang1), 0]

r2 = 1×3
0.3464 -0.2000 0

Mr2 = [-R2*ra*cos(ang1), -ra*sin(ang1)*R2,0]

Mr2 =

$$\begin{pmatrix} -\frac{R_2}{5} & -\frac{\sqrt{3}R_2}{5} & 0 \end{pmatrix}$$

r3 = [-ra*sin(ang2), -ra*cos(ang2),0]

r3 = 1×3
-0.3464 -0.2000 0

Mr3 = [-ra*cos(ang2)*R3, R3*ra*sin(ang2),0]

Mr3 =

$$\begin{pmatrix} -\frac{R_3}{5} & \frac{\sqrt{3}R_3}{5} & 0 \end{pmatrix}$$

Se obtienen las tres ecuaciones de equilibrio dado que se tienen tres incógnitas:

$$\sum F \rightarrow RG - F_1 - F_2 - F_3 = 0$$

$$\sum M_x \rightarrow M_{F1x} + M_{F2x} + M_{F3x} + M_{R1x} + M_{R2x} + M_{R3x} = 0$$

$$\sum M_y \rightarrow M_{F1y} + M_{F2y} + M_{F3y} + M_{R1y} + M_{R2y} + M_{R3y} = 0$$

%Sumatoria de fuerzas en z

eq1 = -RG + R1 + R2 + R3 == 0;

%Sumatoria de momentos en x

eq2 = MRX + Mr1(1,1) + Mr2(1,1) + Mr3(1,1) == 0; %Componente en i

%Sumatoria de momentos en y

eq3 = MRY + Mr1(1,2) + Mr2(1,2) + Mr3(1,2) == 0; %Componente en j

%Solución de reacciones:

sol = solve([eq1, eq2, eq3], [R1, R2, R3]);

% Simplifica las soluciones

FuerzaR1 = double(sol.R1) %[N]

FuerzaR1 = 2.9838

```
FuerzaR2 = double(sol.R2)    %[N]
```

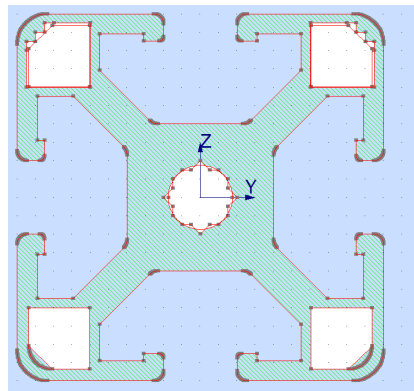
```
FuerzaR2 = 37.1124
```

```
FuerzaR3 = double(sol.R3)    %[N]
```

```
FuerzaR3 = -12.5044
```

Se revisan los cálculos teóricos con los que arroja el software computacional, y se comprueba que los resultados son similares salvo una pequeña precisión atribuida al manejo de cifras significativas diferentes.

Node/Case	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)
7/ 1	-0,00	0,00	2,98	0,00	0,0	0,00
8/ 1	-0,00	0,00	36,83	-0,00	-0,00	-0,00
9/ 1	0,00	-0,00	-12,23	-0,00	0,00	-0,00
Case 1	Caso inicial					
Sum of val.	-0,00	0,00	27,59	0,00	-0,00	0,00
Sum of reac.	-0,00	0,00	27,59	-4,03	-17,17	0,00
Sum of forc.	0,0	0,0	-27,59	4,03	17,17	0,0
Check val.	-0,00	0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,00
Precision	1,59212e-10	3,15981e-20				



Sin embargo, teniendo en cuenta la masa de los perfiles, por el momento un perfil estimado, se obtiene lo siguiente:

Node/Case	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)
7/ 1	-0,00	0,00	21,28	0,00	-0,00	-0,00
8/ 1	-0,00	0,00	51,57	0,00	0,00	0,00
9/ 1	0,00	-0,00	1,99	-0,00	0,00	0,00
Case 1	Caso inicial					
Sum of val.	-0,00	0,00	74,85	0,00	0,00	-0,00
Sum of reac.	-0,00	0,00	74,85	-4,33	-17,35	0,00
Sum of forc.	0,00	-0,00	-74,85	4,33	17,35	0,00
Check val.	-0,00	0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,00
Precision	7,28834e-11	2,72589e-20				

Se tuvo en cuenta también otros casos de análisis (los peores) de la distribución de cargas, específicamente se utilizaron 4 casos: el sentido del movimiento de todos los motores es positivo, el sentido del movimiento de solo los motores que están sobre el eje 'x' son negativos, el sentido de todos los motores es negativo, y el sentido del motor que esta sobre 'y' es negativo. De los resultados se concluyó el uso de un contrapesos de 45 N en la base, para proporcionar que la estructura fuera estable sin importar el caso en el que se encontrara.

Por lo tanto, se obtiene los siguientes datos, de los cuales todos demuestran un equilibrio estática:

Caso todos los torques positivos:

Node/Case	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)
7/ 1	-0,00	0,00	39,28	0,00	-0,00	-0,00
8/ 1	-0,00	0,00	65,07	0,00	0,00	0,00
9/ 1	0,00	0,00	15,49	-0,00	0,00	0,00
Case 1						
Caso inicial						
Sum of val.	-0,00	0,00	119,85	0,00	0,00	-0,00
Sum of reac.	-0,00	0,00	119,85	-4,33	-17,35	0,00
Sum of forc.	0,00	-0,00	-119,85	4,33	17,35	0,00
Check val.	-0,00	0,00	-0,00	-0,00	-0,00	0,00
Precision	3,78508e-11	3,75522e-20				

Caso con los torques en y negativos:

Node/Case	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)
7/ 2	-0,00	0,00	39,28	0,00	0,00	-0,00
8/ 2	-0,00	0,00	21,64	0,00	-0,00	0,00
9/ 2	0,00	0,00	58,93	0,00	0,00	0,00
Case 2						
caso torques en y negativos						
Sum of val.	0,00	0,00	119,85	0,00	0,00	-0,00
Sum of reac.	0,00	0,00	119,85	-4,33	13,05	0,00
Sum of forc.	0,00	-0,00	-119,85	4,33	-13,05	0,00
Check val.	0,00	0,00	-0,00	-0,00	0,00	0,00
Precision	1,07477e-10	6,03831e-20				

Caso todos los torques negativos:

Node/Case	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)
7/ 3	0,00	-0,00	69,77	0,00	0,00	0,00
8/ 3	0,00	-0,00	6,29	-0,00	-0,00	0,00
9/ 3	-0,00	-0,00	43,80	0,00	0,00	-0,00
Case 3						
caso torques en negativo						
Sum of val.	0,00	-0,00	119,86	0,00	0,00	0,00
Sum of reac.	0,00	-0,00	119,86	10,91	13,13	-0,00
Sum of forc.	0,00	-0,00	-119,86	-10,91	-13,13	0,00
Check val.	0,00	-0,00	-0,00	0,00	0,00	-0,00
Precision	9,80828e-11	9,28084e-20				

Caso el torque en x negativo:

Node/Case	FX (N)	FY (N)	FZ (N)	MX (Nm)	MY (Nm)	MZ (Nm)
7/ 4	0,00	-0,00	69,77	0,00	-0,00	-0,00
8/ 4	0,00	-0,00	49,84	0,00	0,00	0,00
9/ 4	-0,00	-0,00	0,25	0,00	0,00	0,00
Case 4	caso torque x en negativo					
Sum of val.	-0,00	-0,00	119,86	0,00	0,00	0,00
Sum of reac.	-0,00	-0,00	119,86	10,91	-17,35	-0,00
Sum of forc.	0,00	-0,00	-119,86	-10,91	17,35	0,00
Check val.	-0,00	-0,00	-0,00	0,00	-0,00	-0,00
Precision	1,38133e-10	6,52727e-20				