



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
MECATRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO ROBÓTICO MÓVIL TODO TERRENO CON UN MECANISMO DE SUSPENSIÓN TIPO ROCKER-BOGIE PARA LA EXPLORACIÓN DE ENTORNOS DE ALTO RIESGO EN APLICACIONES MILITARES

AUTOR: Jefferson Bayardo Ruiz Sánchez

DIRECTOR: PhD. Wilbert Geovanny Aguilar Castillo

ANTECEDENTES

Centro de Investigación
Científica y Tecnológica del
Ejército CICTE

Vehículo terrestre no
tripulado multipropósito de
vigilancia y reconocimiento
para apoyo de operaciones
militares Fase 1 - GVMil1

Adquirir conocimiento y
experiencia en el área de la
robótica móvil, con énfasis
en el sistema de
locomoción

Fabricar un robot
explorador todo terreno
con un mecanismo tipo
Rocker-Bogie

OBJETIVOS

Objetivo General

- Desarrollo e implementación de un **prototipo robótico multi terreno** teleoperado para la **exploración de entornos de alto riesgo** en aplicaciones militares.

Objetivos Específicos

- Construir un mecanismo tipo **Rocker-Bogie** de cuatro ruedas que permita al robot moverse en **entornos de difícil acceso** o de alto riesgo.
- Obtener **resultados de funcionamiento** del mecanismo Rocker-Bogie, que en caso de ser acertados permita la **réplica en robots más específicos**.
- **Implementar teleoperación** en el prototipo robótico para la inspección de lugares de alto riesgo por medio de **transmisión de video** en tiempo real.
- Definir el **diseño mecánico, electrónico y de control** del prototipo para determinar las limitaciones y garantizar el **pleno funcionamiento** de este.

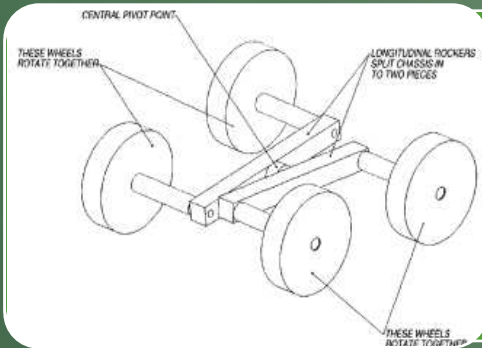
REQUERIMIENTOS

N°	Requerimientos
1	Navegación por teleoperación
2	Transmisión de video en tiempo real
3	Mecanismo tipo Rocker Bogie (4 ruedas)
4	Desplazamiento en cualquier tipo de suelo
5	Capacidad de funcionar de cabeza
6	Bajo costo
7	Robusto
8	Velocidad máxima de funcionamiento 2m/s
9	Longitud máxima 600 mm
10	Fácil operación

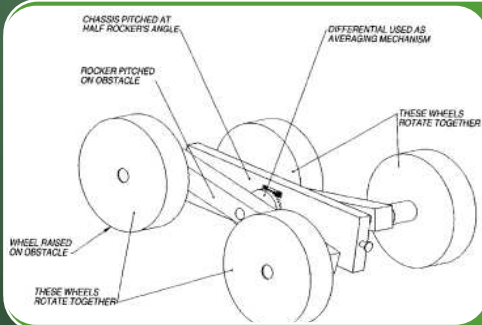
PROPUESTA TÉCNICA

Característica técnica
Diseño del mecanismo Rocker-bogie
Diseño del Diferencial
Diseño del mecanismo de transmisión
Diseño y selección de las ruedas
Selección de motores
Seleccione materiales
Diseño de los ejes
Diseño del chasis
Selección de sensores
Selección de módulos de conectividad
Selección de microcontroladores
Diagrama de conexión
Programación de controladores
Programación de HMI
Selección de cámara de video

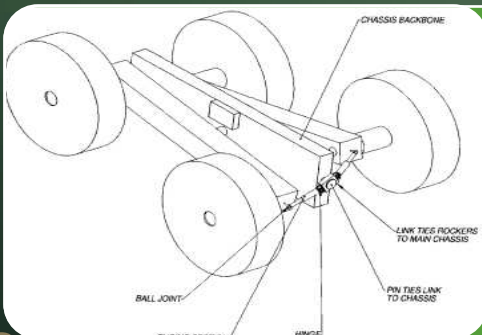
MECANISMO ROCKER BOGIE



Eje de rotación

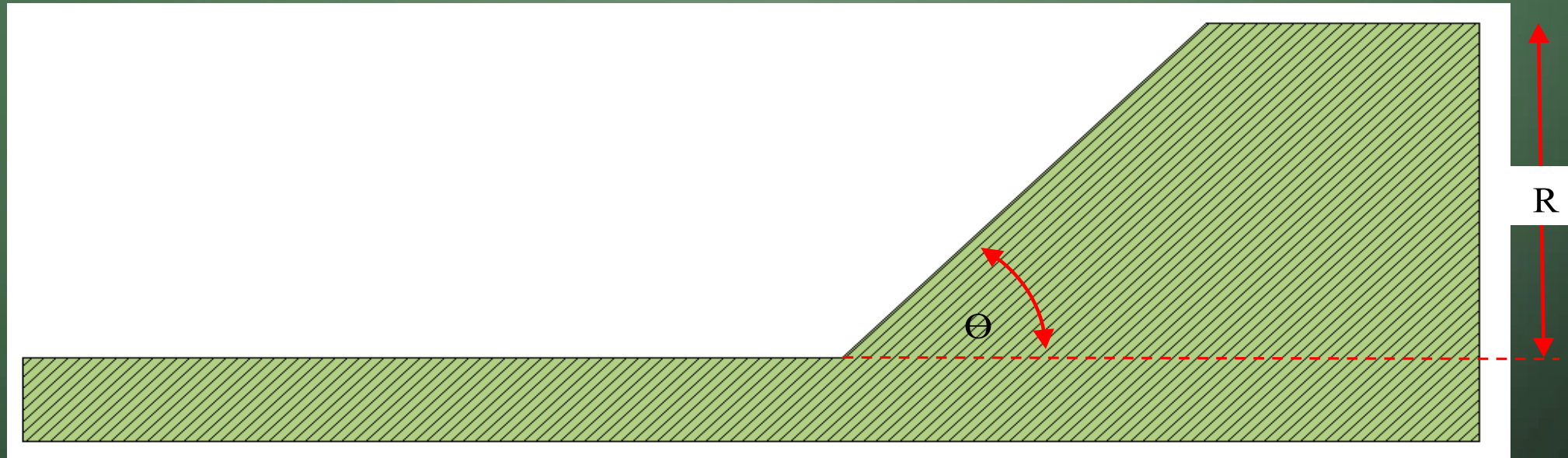


Diferencial en el chasis



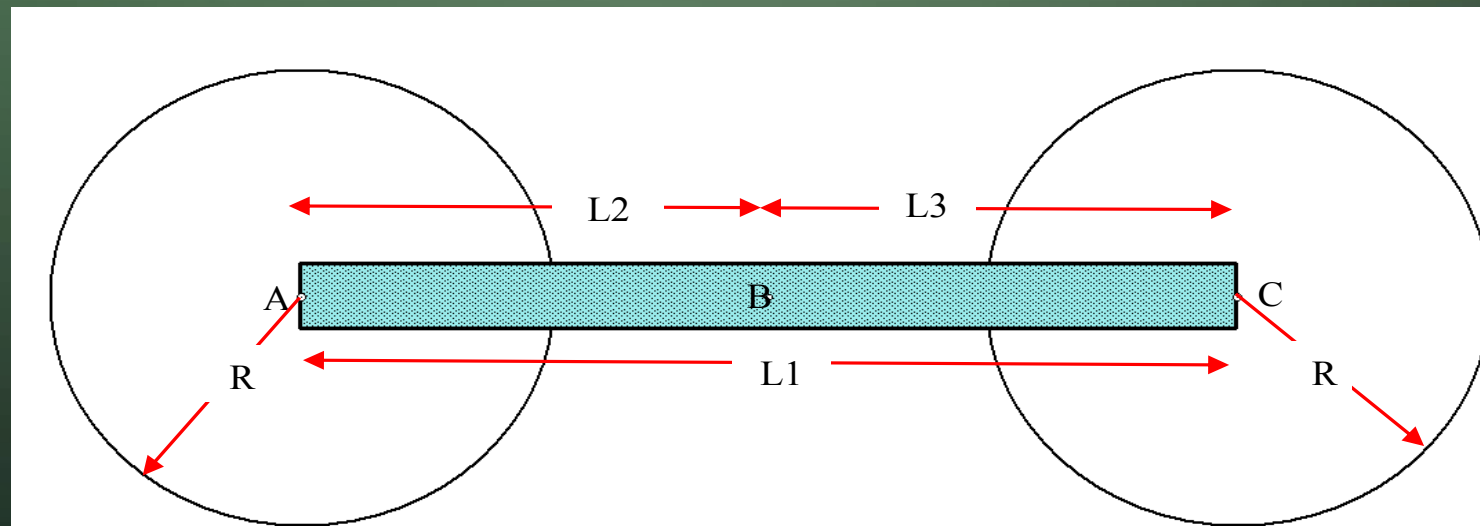
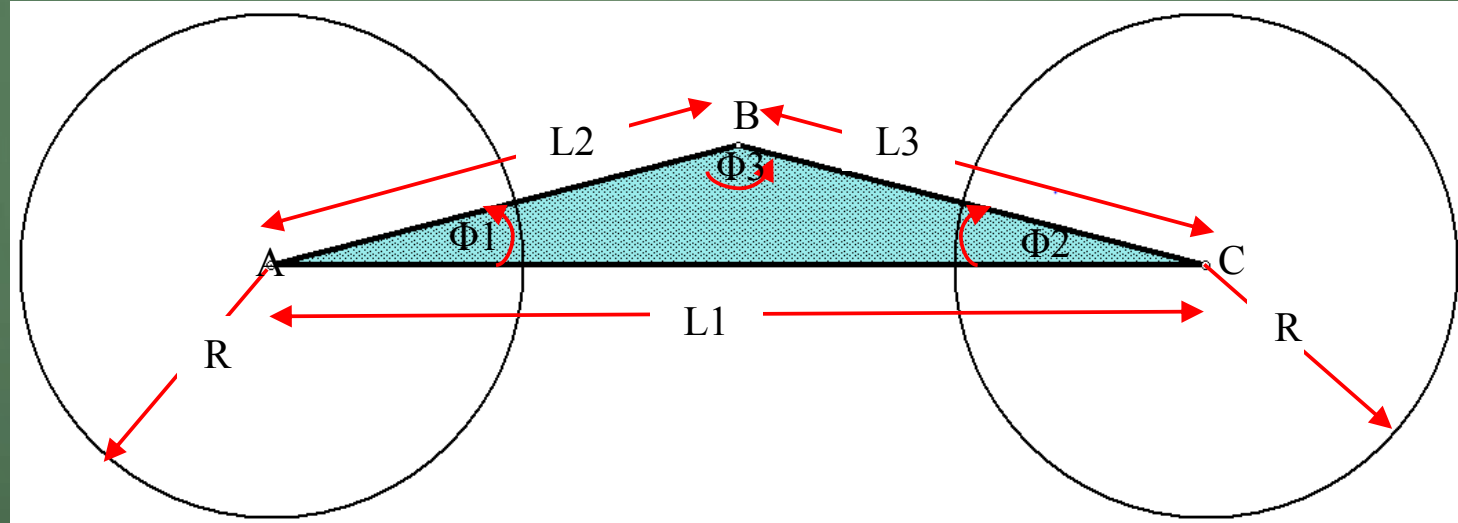
Tercer balancín

DISEÑO DEL MECANISMO ROCKER BOGIE

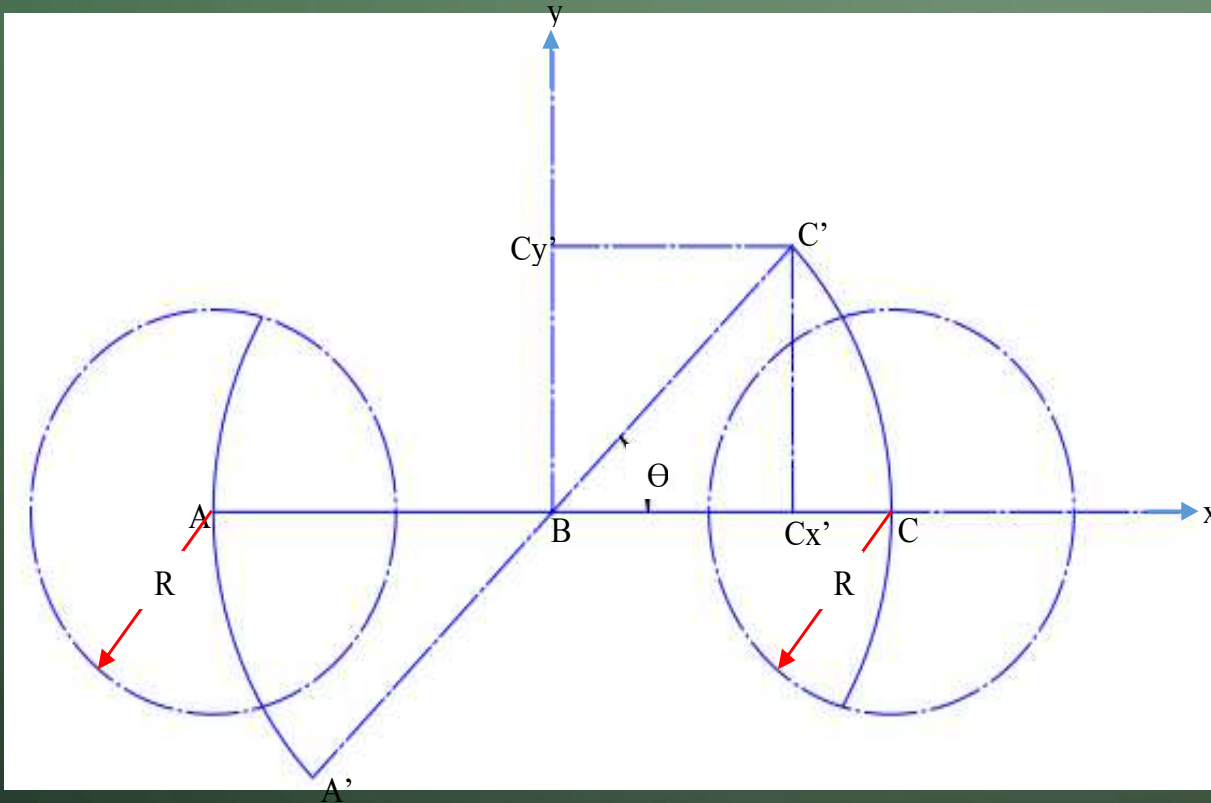


- Altura máxima de **un radio**
- Inclinación máximo de **45°**

DISEÑO DEL MECANISMO ROCKER BOGIE

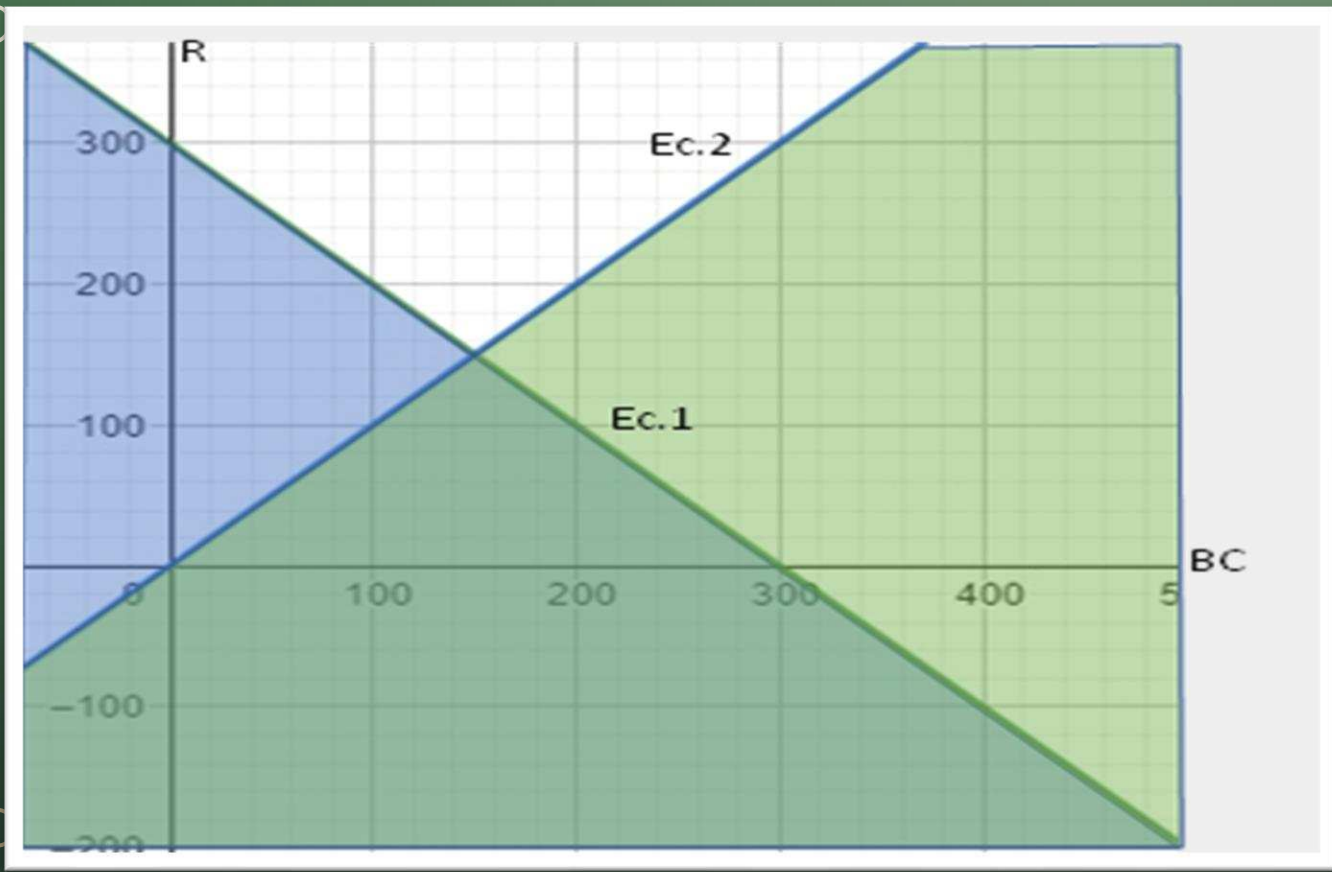


DISEÑO DEL MECANISMO ROCKER BOGIE



- $BC + R \leq 300\text{mm}$
- $BC > R$
- $R < BC \leq 300 - R$

DISEÑO DEL MECANISMO ROCKER BOGIE



- $0 < R < 150 \text{mm}$
- $0 < BC < 300 \text{mm}$

SELECCIÓN DE LAS LLANTAS

N°	Rueda	Características	
1	Imsa 2.50/2.80-4	Peso (g)	700
		Presión de llenado PSI	50
		Diámetro (mm)	210
		Precio (\$)	25

- Llanta deformable
- Diámetro
- Liviano

TIPOS DE MOTORES MÁS UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE ROBOTS MÓVILES



DC brushed
(con escobillas)

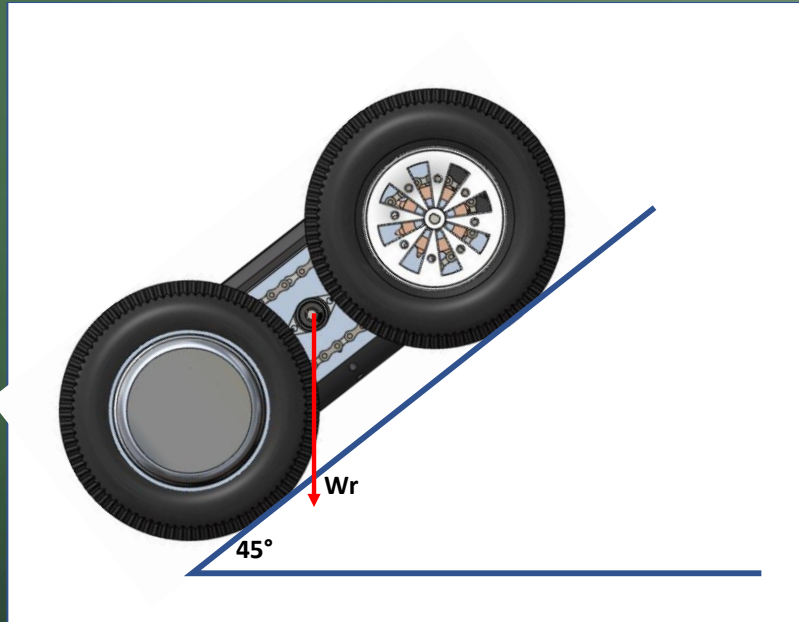


DC brushless
(sin escobillas)

SELECCIÓN DEL MOTOR

$$T_{ruedas} = W r \times \cos \theta \times R$$

$$T_{ruedas} = 10,91 \text{Nm}$$



$$T_{motor} = \frac{T_{ruedas}}{2} \times F_s \quad F_s = 2,5$$

$$T_{motor} = 13,64 \text{Nm}$$

$$P_{motor} = \frac{T_{motor} * \omega}{60/2\pi}$$

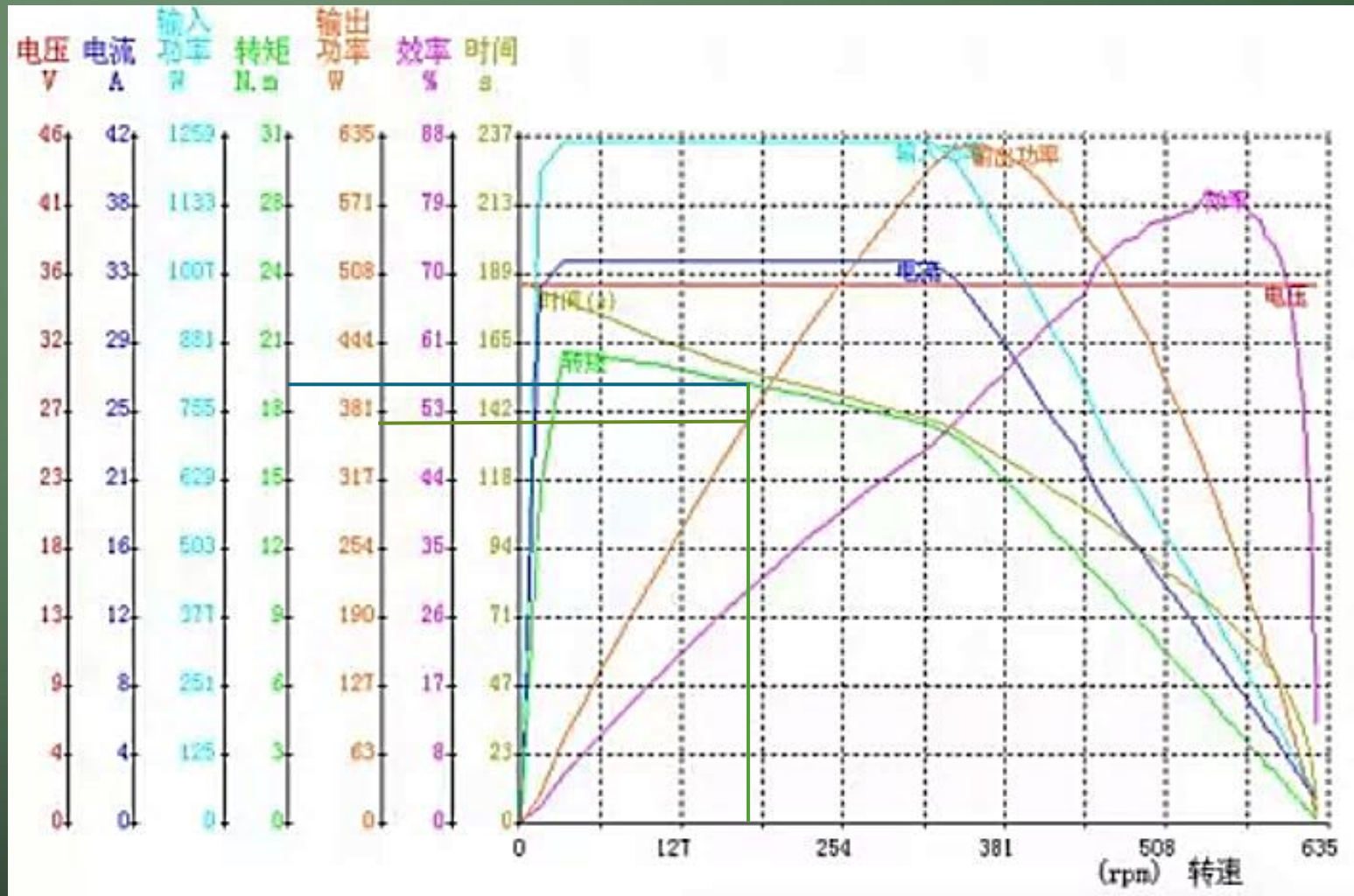
$$P_{motor} = 258,53 \text{W}$$

$\omega = 181 \text{rpm}$
 $V = 2 \text{m/s}$
 $R = 105 \text{mm}$

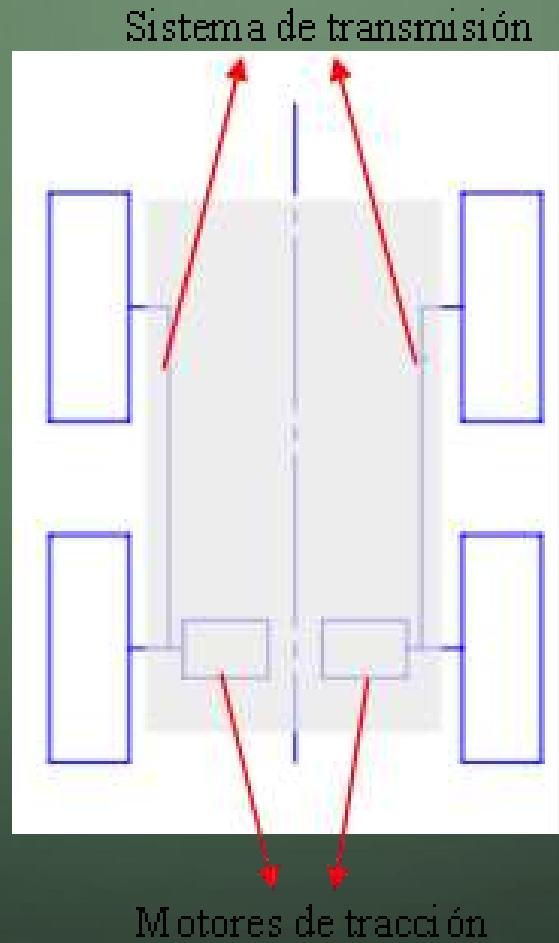
CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR



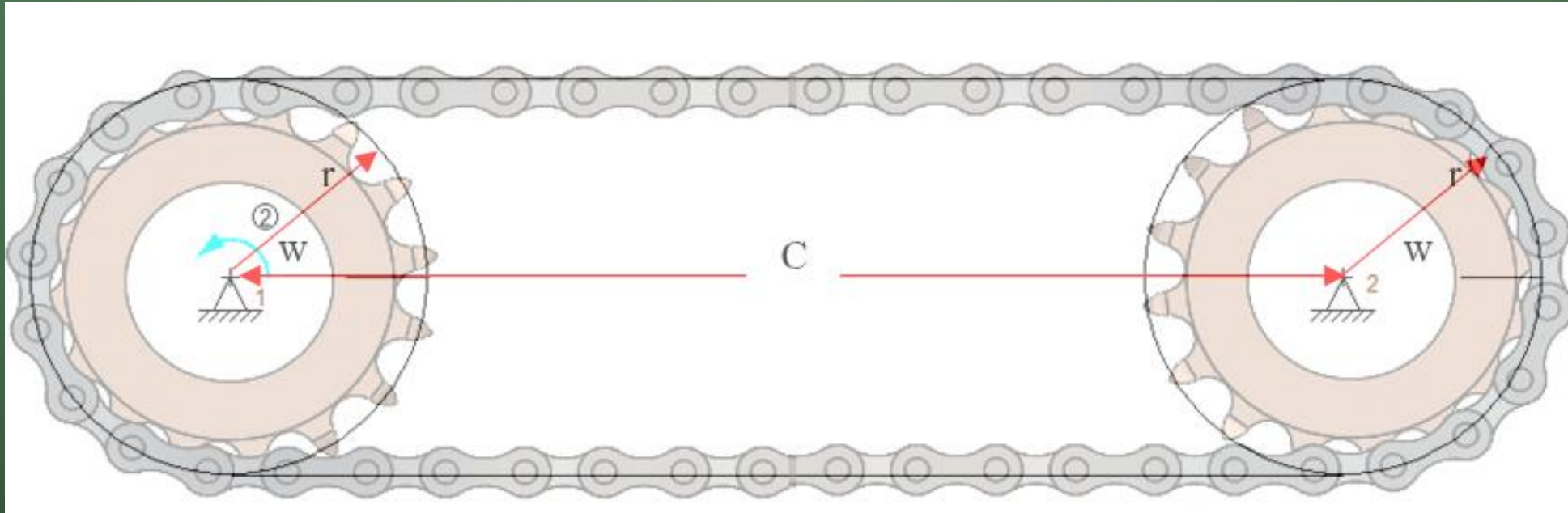
Motor	Características	
YIYUN B01HPSY1V1	Voltaje (V)	15 - 36
	Velocidad (RPM)	600
	Potencia (W)	300
	Precio (\$)	67.0



DISEÑO DEL MECANISMO DE TRANSMISIÓN



DISEÑO DEL MECANISMO DE TRANSMISIÓN



- Otorga flexibilidad
- La cadena transmite fuerzas de tensión.

DISEÑO DEL MECANISMO DE TRANSMISIÓN (POTENCIA DE DISEÑO)

Tipo de carga	Tipo de impulsor		
	Impulsor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna con transmisión mecánica
Uniforme (agitadores, ventiladores, transportadores con carga ligera y uniforme)	1.0	1.0	1.2
Choque moderado (máquinas herramienta, grúas, transportadores pesados, mezcladoras de alimento y molinos)	1.2	1.3	1.4
Choque pesado (prensas de troquelado, molinos de martillos, transportadores alternos, accionamientos de molino de rodillos)	1.4	1.5	1.7

$$Pd = FS \times P$$

$$Pd = 1.3 \times 300W$$

$$Pd = 390W = 0.523Hp$$

DISEÑO DEL MECANISMO DE TRANSMISIÓN (SELECCIÓN DE LA CATALINA)

Núm. de dientes	0.500 pulgadas de paso					Velocidad mínima de giro de la catarina, rev/min													
	10	25	50	100	180	200	300	500	700	900	1000	1200	1400	1600	1800	2100	2500	3000	
11	0.06	0.14	0.27	0.52	0.91	1.00	1.48	2.42	3.34	4.25	4.70	5.60	6.49	5.57	4.66	3.70	2.85	2.17	
12	0.06	0.15	0.29	0.56	0.99	1.09	1.61	2.64	3.64	4.64	5.13	6.11	7.09	6.34	5.31	4.22	3.25	2.47	
13	0.07	0.16	0.31	0.61	1.07	1.19	1.75	2.86	3.95	5.02	5.56	6.62	7.68	7.15	5.99	4.76	3.66	2.79	
14	0.07	0.17	0.34	0.66	1.15	1.28	1.88	3.08	4.25	5.41	5.98	7.13	8.27	7.99	6.70	5.31	4.09	3.11	
15	0.08	0.19	0.36	0.70	1.24	1.37	2.02	3.30	4.55	5.80	6.41	7.64	8.86	8.86	7.43	5.89	4.54	3.45	
16	0.08	0.20	0.39	0.75	1.32	1.46	2.15	3.52	4.86	6.18	6.84	8.15	9.45	9.76	8.18	6.49	5.00	3.80	
17	0.09	0.21	0.41	0.80	1.40	1.55	2.29	3.74	5.16	6.57	7.27	8.66	10.04	10.69	8.96	7.11	5.48	4.17	
18	0.09	0.22	0.43	0.84	1.48	1.64	2.42	3.96	5.46	6.95	7.69	9.17	10.63	11.65	9.76	7.75	5.97	4.54	
19	0.10	0.24	0.46	0.89	1.57	1.73	2.56	4.18	5.77	7.34	8.12	9.66	11.22	12.64	10.59	8.40	6.47	4.92	
20	0.10	0.25	0.48	0.94	1.65	1.82	2.69	4.39	6.07	7.73	8.55	10.18	11.81	13.42	11.44	9.07	6.99	5.31	
21	0.11	0.26	0.51	0.98	1.73	1.91	2.83	4.61	6.37	8.11	8.98	10.69	12.40	14.10	12.30	9.76	7.52	5.72	
22	0.11	0.27	0.53	1.03	1.81	2.01	2.96	4.83	6.68	8.50	9.40	11.20	12.99	14.77	13.19	10.47	8.06	6.13	
23	0.12	0.28	0.56	1.08	1.90	2.10	3.10	5.05	6.98	8.89	9.83	11.71	13.58	15.44	14.10	11.19	8.62	6.55	
24	0.12	0.30	0.58	1.12	1.98	2.19	3.23	5.27	7.28	9.27	10.26	12.22	14.17	16.11	15.03	11.93	9.18	6.99	
25	0.13	0.31	0.60	1.17	2.06	2.28	3.36	5.49	7.59	9.66	10.69	12.73	14.76	16.78	15.98	12.68	9.76	7.43	
26	0.13	0.32	0.63	1.22	2.14	2.37	3.50	5.71	7.89	10.04	11.11	13.24	15.35	17.45	16.95	13.45	10.36	7.88	
28	0.14	0.35	0.67	1.31	2.31	2.55	3.77	6.15	8.50	10.82	11.97	14.26	16.53	18.79	18.94	15.03	11.57	8.80	
30	0.15	0.37	0.72	1.41	2.47	2.74	4.04	6.59	9.11	11.59	12.82	15.28	17.71	20.14	21.01	16.67	12.84	9.76	
32	0.16	0.40	0.77	1.50	2.64	2.92	4.31	7.03	9.71	12.38	13.68	16.30	18.89	21.48	23.14	18.37	14.14	10.76	
35	0.18	0.43	0.84	1.64	2.88	3.19	4.71	7.69	10.62	13.52	14.96	17.82	20.67	23.49	26.30	21.01	16.17	12.30	
40	0.21	0.50	0.96	1.87	3.30	3.65	5.38	8.79	12.14	15.45	17.10	20.37	23.62	26.85	30.06	25.67	19.76	15.03	
45	0.23	0.56	1.08	2.11	3.71	4.10	6.08	9.89	13.66	17.39	19.24	22.92	26.57	30.20	33.82	30.63	23.58	17.53	

- Numero de dientes = 16
- Paso = 0.5in = 12.7mm

Potencia nominal en Hp para una catalina de rodillos simple con paso de 0.5

DISEÑO DEL MECANISMO DE TRANSMISIÓN (SELECCIÓN DE LA CATALINA)

$$Fs = \frac{1,32Hp}{0.523Hp}$$

$$Fs = 2,52$$

$$Dp = \frac{\rho}{\sin \frac{180^\circ}{Nd}}$$

$$Dp = 65.098mm$$

DISEÑO DEL MECANISMO DE TRANSMISIÓN (SELECCIÓN DE LA CADENA)

Velocidad de la catarina, rpm	Número de ANSI de cadena					
	25	35	40	41	50	60
50	0.05	0.16	0.37	0.20	0.72	1.24
100	0.09	0.29	0.69	0.38	1.34	2.31
150	0.13*	0.41*	0.99*	0.55*	1.92*	3.32
200	0.16*	0.54*	1.29	0.71	2.50	4.30
300	0.23	0.78	1.85	1.02	3.61	6.20
400	0.30*	1.01*	2.40	1.32	4.67	8.03
500	0.37	1.24	2.93	1.61	5.71	9.81
600	0.44*	1.46*	3.45*	1.90*	6.72*	11.6
700	0.50	1.68	3.97	2.18	7.73	13.3
800	0.56*	1.89*	4.48*	2.46*	8.71*	15.0
900	0.62	2.10	4.98	2.74	9.69	16.7
1 000	0.68*	2.31*	5.48	3.01	10.7	18.3
1 200	0.81	2.73	6.45	3.29	12.6	21.6
1 400	0.93*	3.13*	7.41	2.61	14.4	18.1
1 600	1.05*	3.53*	8.36	2.14	12.8	14.8
1 800	1.16	3.93	8.96	1.79	10.7	12.4
2 000	1.27*	4.32*	7.72*	1.52*	9.23*	10.6
2 500	1.56	5.28	5.51*	1.10*	6.58*	7.57
3 000	1.84	5.64	4.17	0.83	4.98	5.76

Tipo A Tipo B Tipo C

Potencia nominal (Hp) para cadenas de paso sencillo de una catarina de 17 dientes

Número de dientes en catarina impulsora	Potencia preextremo K_1
11	0.62
12	0.69
13	0.75
14	0.81
15	0.87
16	0.94
17	1.00
18	1.06
19	1.13
20	1.19
N	$(N_1/17)^{1.08}$

Factor de corrección de dientes

DISEÑO DEL MECANISMO DE TRANSMISIÓN (SELECCIÓN DE LA CADENA)

Velocidad de la catalina (rpm)	Número ANSI de cadena					
	25	35	40	41	50	60
150	0,12	0,39	0,93	0,52	1,80	3,12
181	0,14	0,46	1,10	0,60	2,13	3,66
200	0,15	0,51	1,21	0,67	2,35	4,03

$$F_s = \frac{1,10Hp}{0,523Hp}$$

$$F_s = 2,10$$

DISEÑO DEL MECANISMO DE TRANSMISIÓN (LONGITUD DE LA CADENA)

$$L = 2 \times AC + \frac{N2 + N1}{2} + \frac{(N2 - N1)^2}{4 \times \pi^2 \times AC}$$

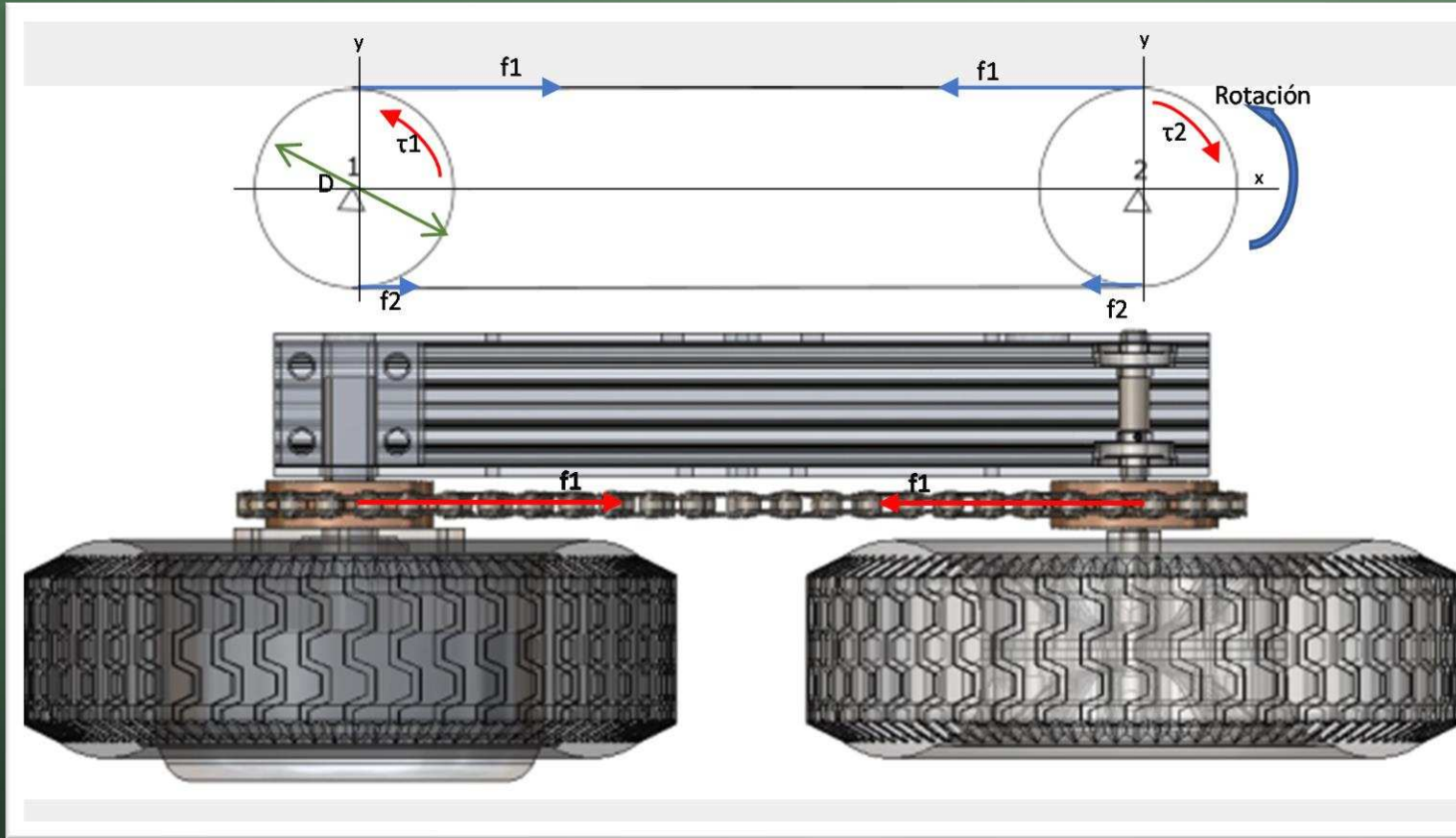
$$210 < AC \leq 390$$

$$AC = 20 \times \rho = 254mm$$

$$N1 = N2 = 16$$

$$L = 516.522mm = 40\rho = 508mm$$

DISEÑO DEL MECANISMO DE TRANSMISIÓN (FUERZA TORQUE CATALINA)



- $w = 600 \text{ rpm}$
- $P_{real} = 300 \text{ W}$
- $D_p = 65.098 \text{ mm}$

$$T = \frac{P_{real}}{w}$$

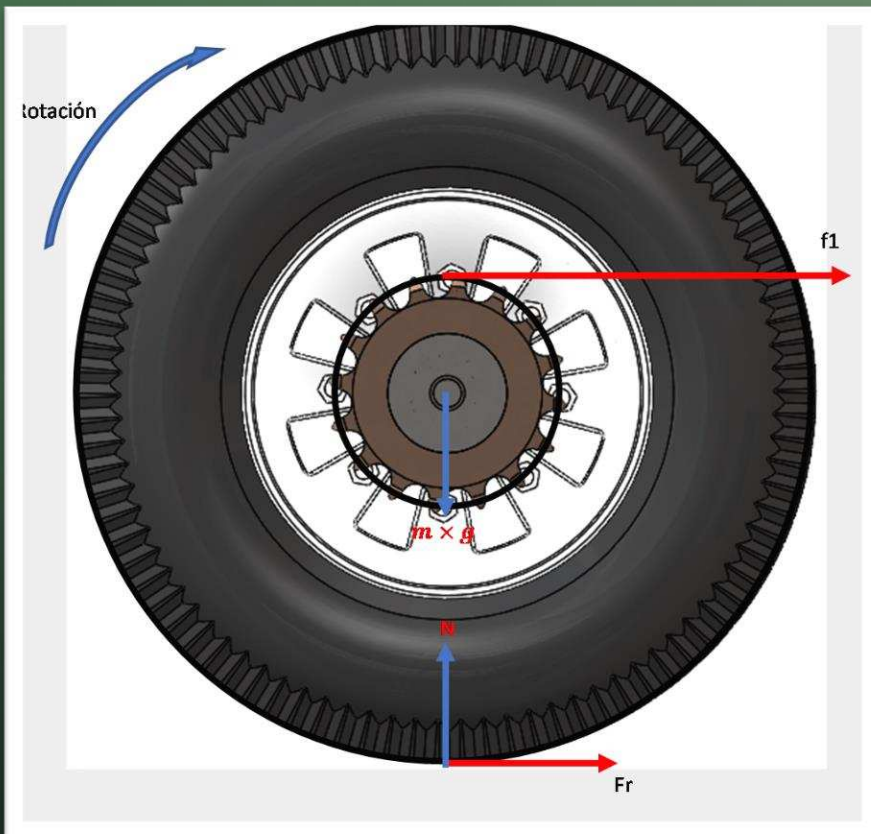
$$T = 4.775 \text{ [Nm]}$$

$$f_1 = \frac{T}{\frac{D_p}{2}}$$

$$f_1 = 146.691 \text{ N}$$

$$T = 4.775 \text{ [Nm]}$$
$$f_1 = 146.691 \text{ N}$$
$$f_2 = 0 \text{ N}$$

DISEÑO DEL MECANISMO DE TRANSMISIÓN (RESISTENCIA RODADURA)



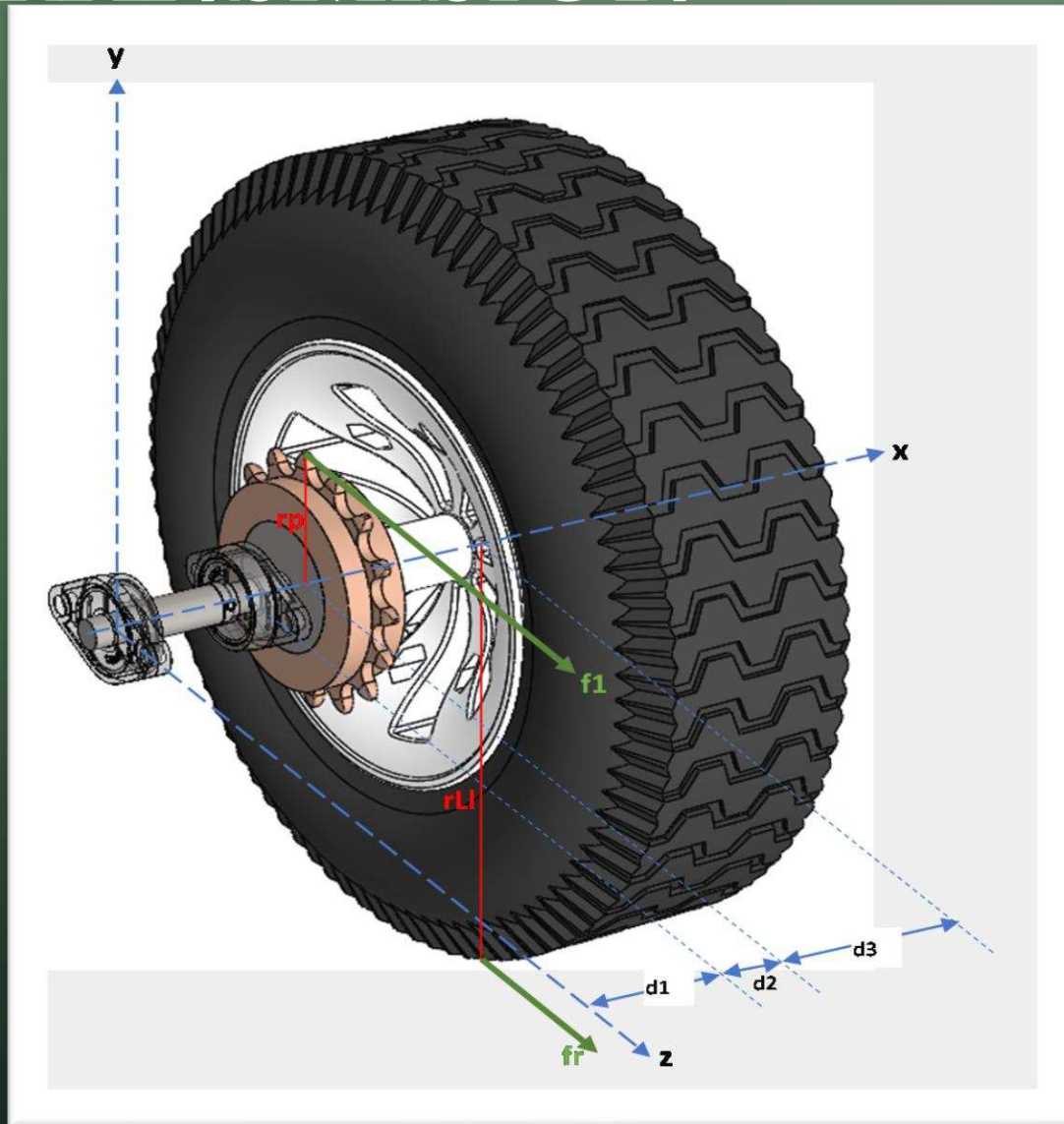
C_r	d	Descripción
0.0002 a 0.0010	0.5 mm	Ruedas de ferrocarril sobre rieles de acero
	0.1 mm	Rodamientos de bolas en acero sobre acero
0.0025		Neumáticos especiales Michelin para automóvil solar/eco-marathon
0.005		Rieles estándar de tranvía
0.0055		Neumáticos BMX de bicicleta usados para automóviles solares3
0.006 a 0.01		Neumáticos de automóvil de baja resistencia y neumáticos de camión sobre carretera lisa
0.010 a 0.015		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre losas de piedra
0.02		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hormigón
0.030 a 0.035		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre alquitrán o asfalto
0.055 a 0.065		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hierba, barro y arena
0.34		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hierba, barro y arena

$$Fr = C_{rr} \times N$$

$$Fr = 0.34 \times \frac{15Kg}{4} \times 9.8m/s^2$$

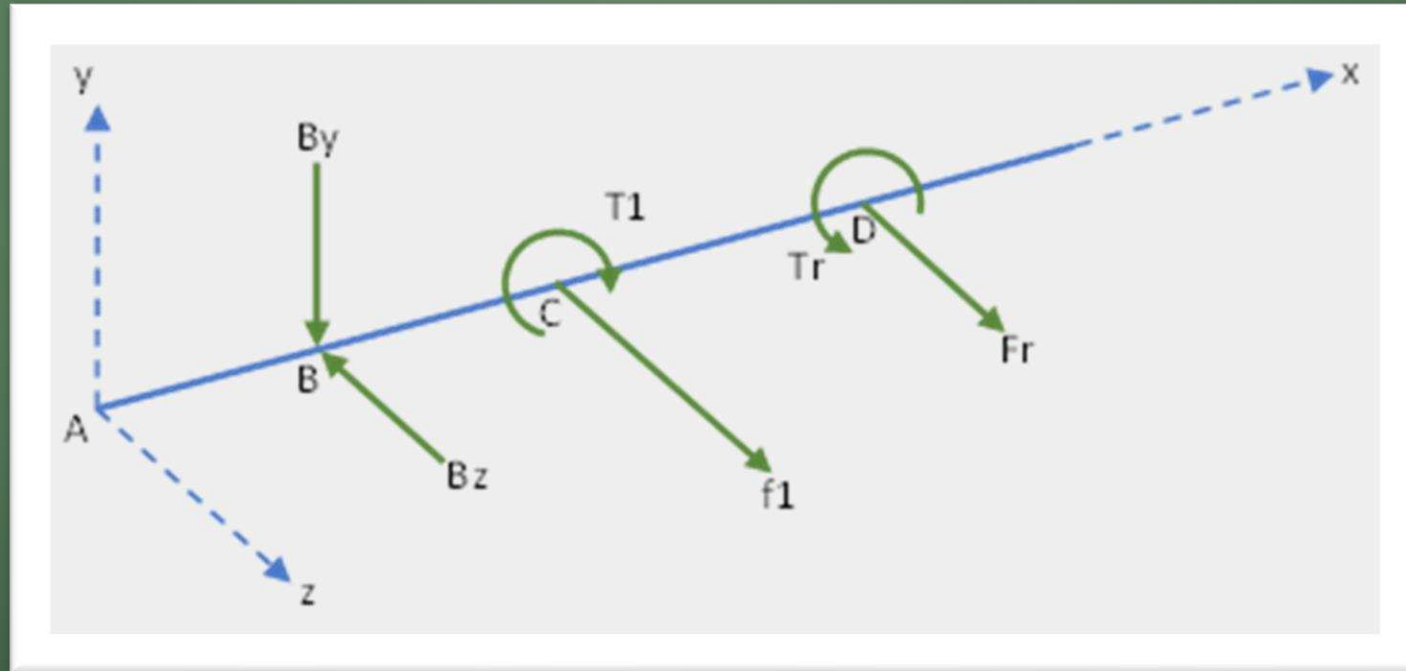
$$Fr = 11.843 N$$

DISEÑO DEL MECANISMO DE TRANSMISIÓN



- $d1=33\text{mm}$
- $d2=15.7\text{mm}$
- $d3=46.5\text{mm}$
- $rp=32.549\text{mm}$
- $rL1=105\text{mm}$

DISEÑO DEL MECANISMO DE TRANSMISIÓN



Punto	M_z (Nmm)	M_y (Nmm)	M (Nmm)	V_y (N)	V_z (N)	V (N)
B	3039.68	2166.55	3732.77	34.83	158.53	162.31
C	580.70	1619.69	1720.64	34.83	158.53	162.31
D	0	0	0	34.83	11.84	36.79

DISEÑO DEL MECANISMO DE TRANSMISIÓN

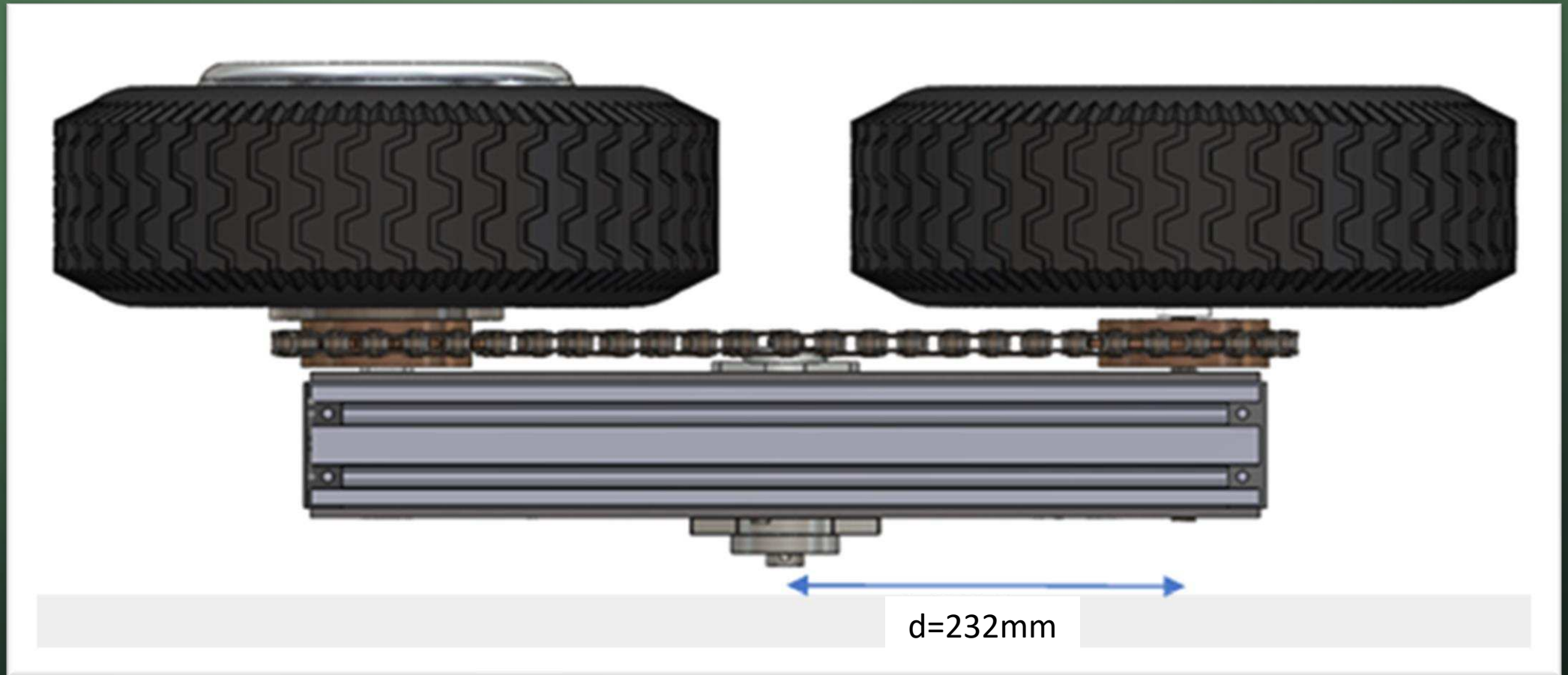


- norma ANSI B106.IM.
- AISI 304
- Resistencia a la tensión (Su) = 568 Mpa = 82.381 ksi
- Resistencia a la fluencia (Sy) = 276 Mpa
- N=1.5 (factor de seguridad)

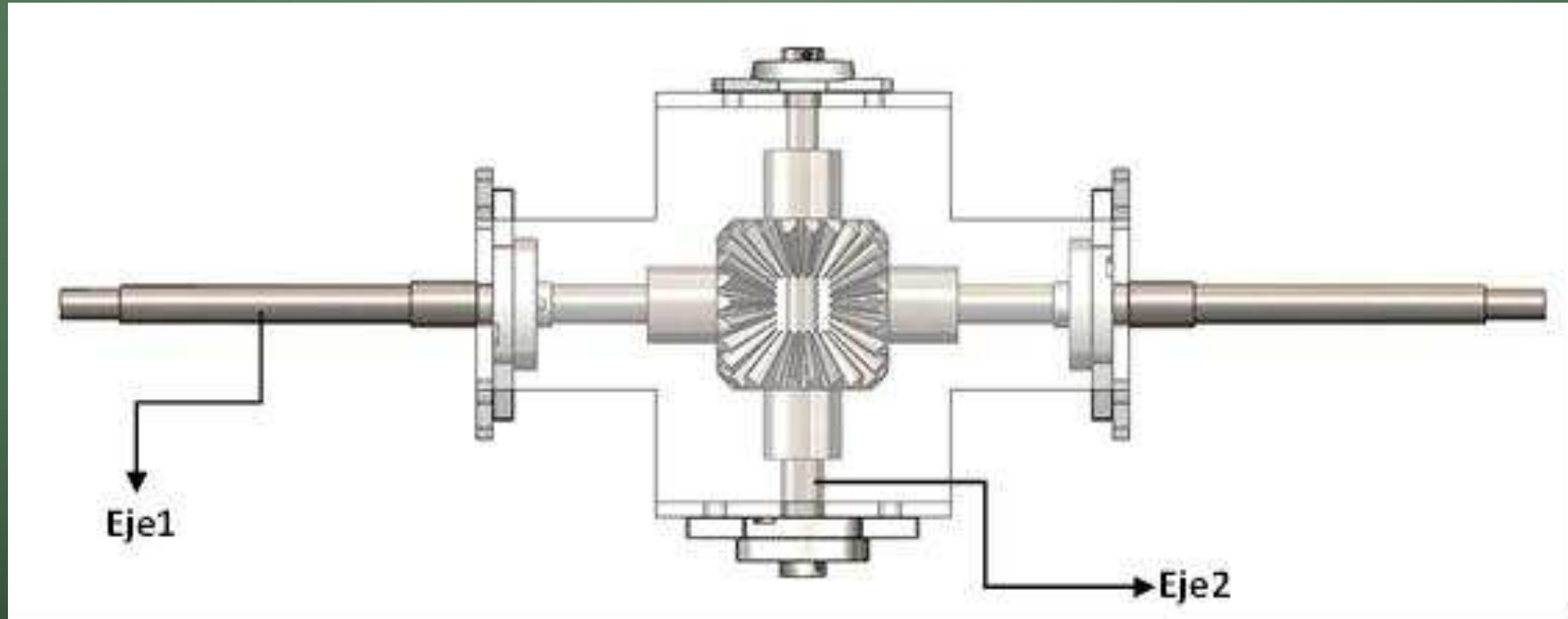
$$D = \left[\frac{32 \times N}{\pi} \times \sqrt{\left(\frac{Kt \times M}{Sn'} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{Sy} \right)^2} \right]^{1/3}$$

	Diámetro Calculado (mm)	Diámetro Propuesto (mm)	Factor de Seguridad
Punto B	9.512	10	1.585
Punto C	7.898	11	4.052
Punto D	4.907	10	15.161

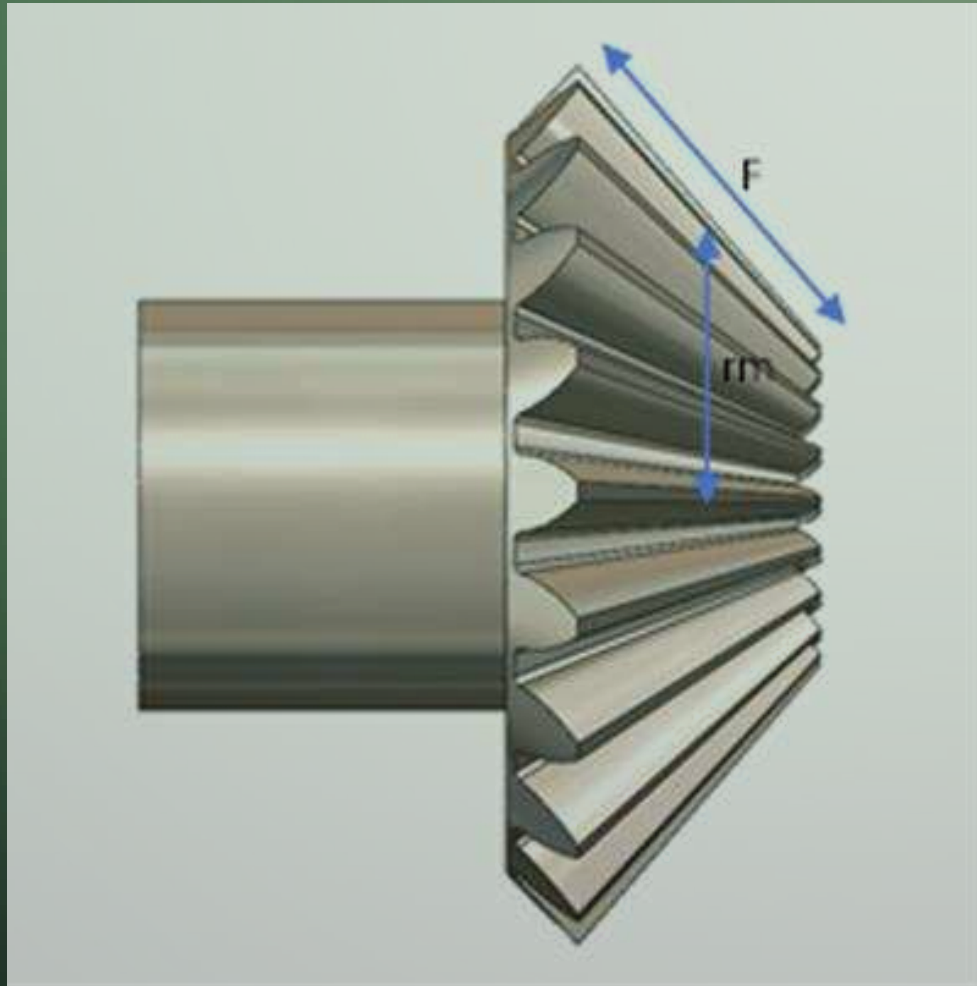
DISEÑO DEL MECANISMO DE TRANSMISIÓN



DISEÑO DEL MECANISMO DEL DIFERENCIAL

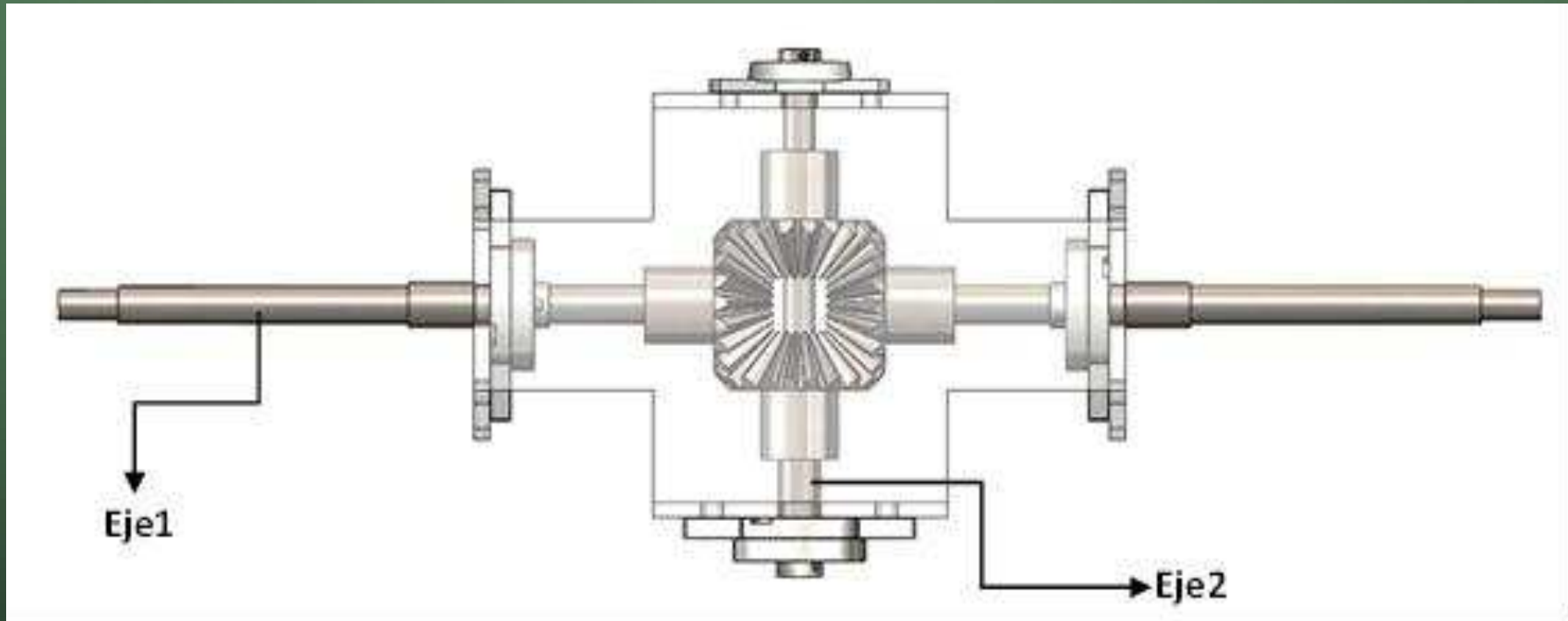


DESCRIPCIÓN DE LOS ENGRANES CÓNICOS

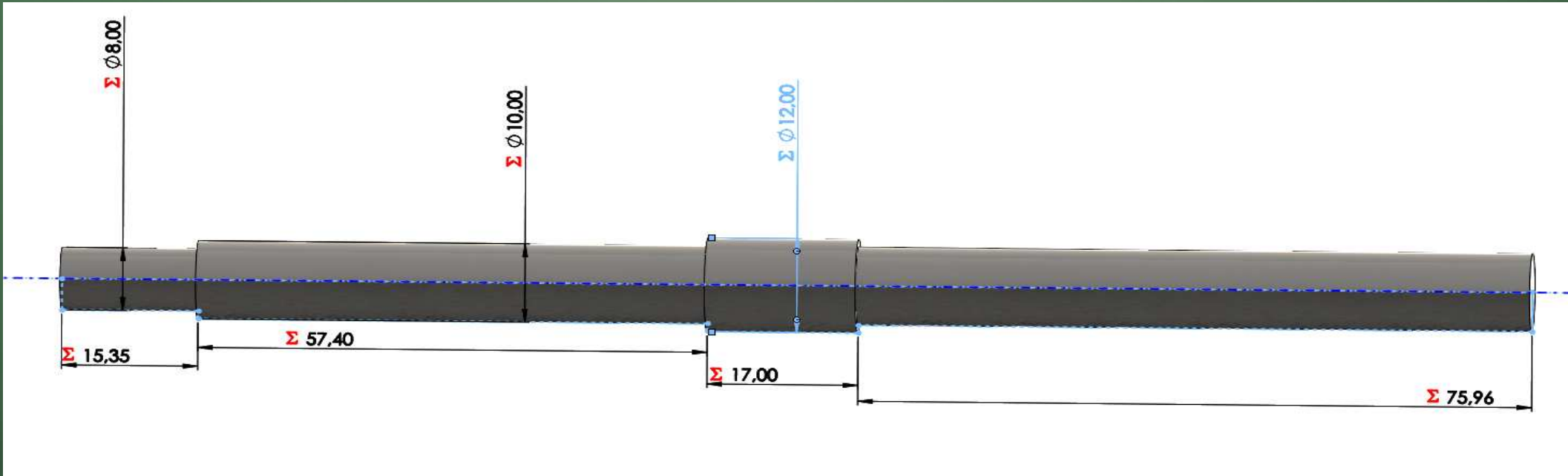


Número de dientes (z)	20
Ángulo de presión (α)	20°
Modulo	2
Anchura de cara	18 mm
Diámetro de cubo	20 mm
Distancia de montaje	40 mm
Diámetro de eje nominal	10 mm
Material	duralón

DISEÑO DE LOS EJES DEL DIFERENCIAL



DISEÑO DE LOS EJES DEL DIFERENCIAL

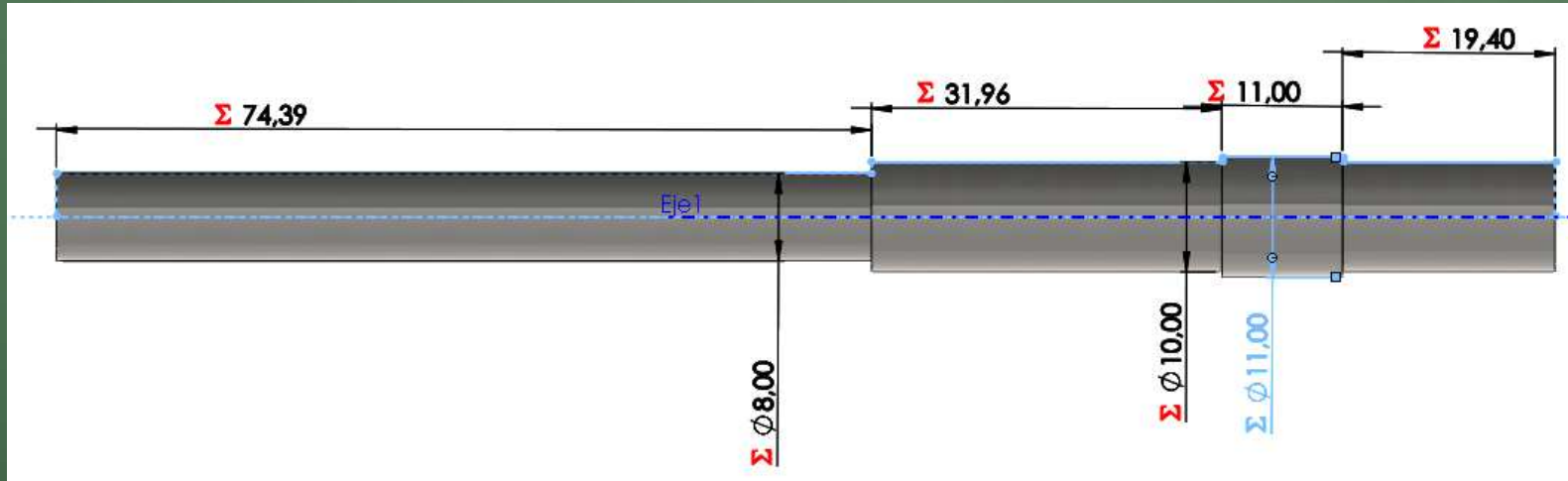


	Diámetro Calculado (mm)	Diámetro Propuesto (mm)	Factor de Seguridad d
Punto A	4.654	8	12.874
Punto B	9.234	10	1.594
Punto C	5.907	10	8.975

- $N=1.5$ (factor de seguridad)

$$D = \left[\frac{32 \times N}{\pi} \times \sqrt{\left(\frac{Kt \times M}{Sn'} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{Sy} \right)^2} \right]^{1/3}$$

DISEÑO DE LOS EJES DEL DIFERENCIAL



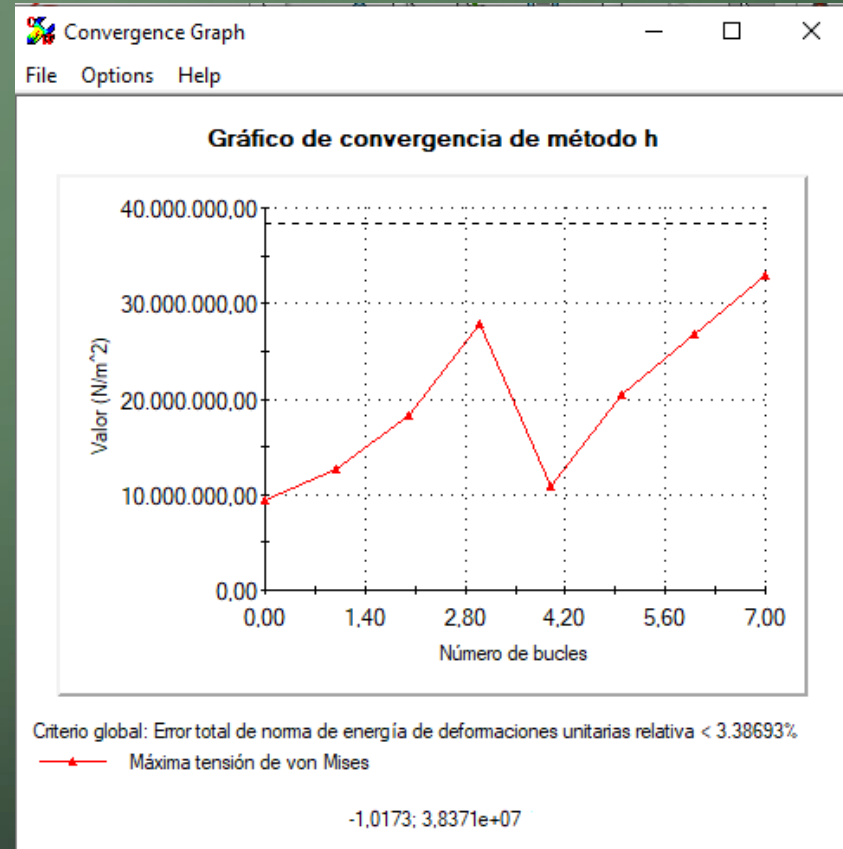
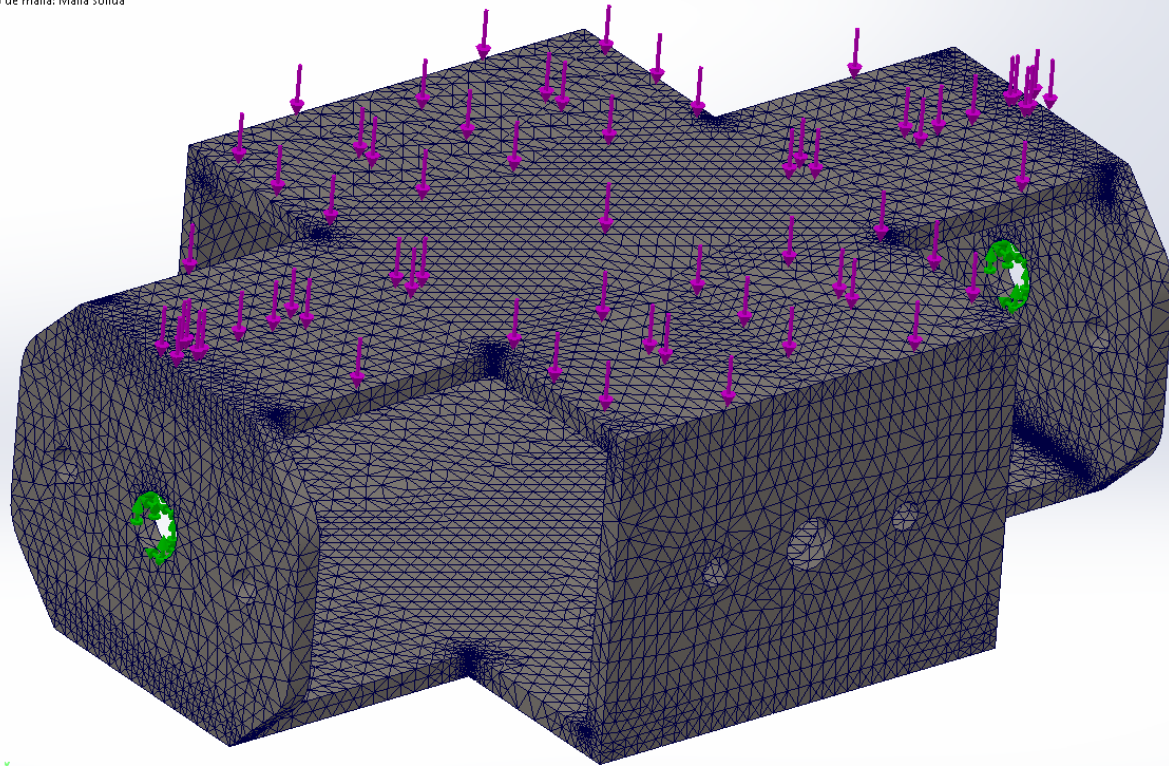
	Diámetro Calculado (mm)	Diámetro Propuesto (mm)	Factor de Seguridad d
Punto A	4.654	8	9.343
Punto B	3.234	10	10.234
Punto C	3.907	10	18.643

- $N=1.5$ (factor de seguridad)

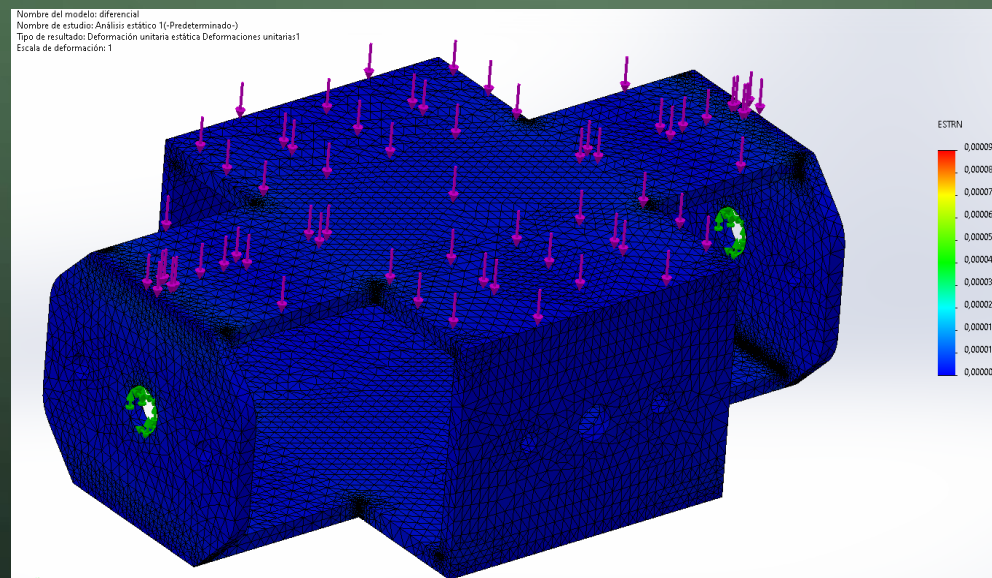
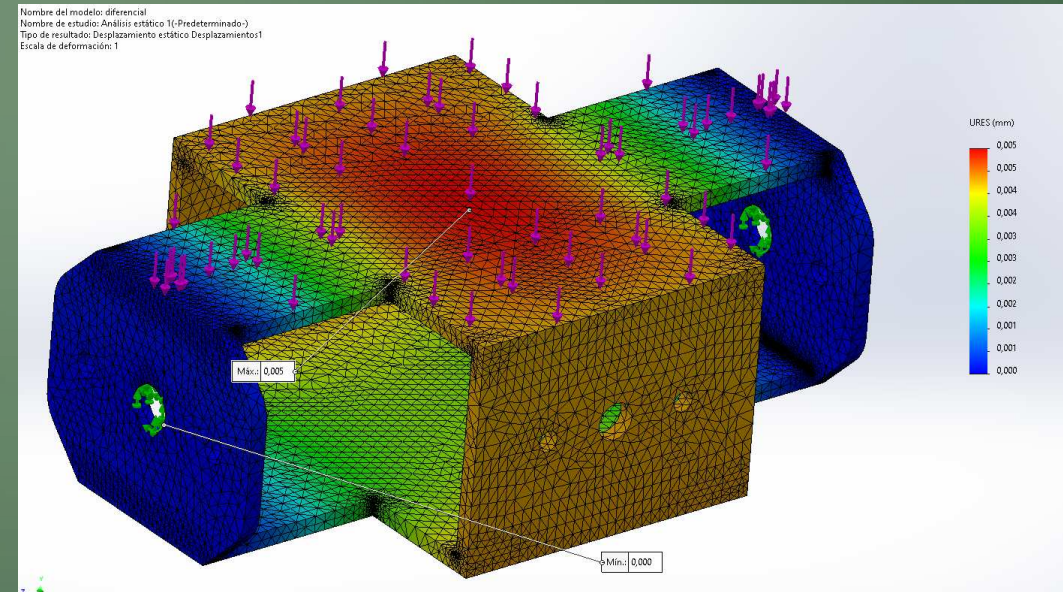
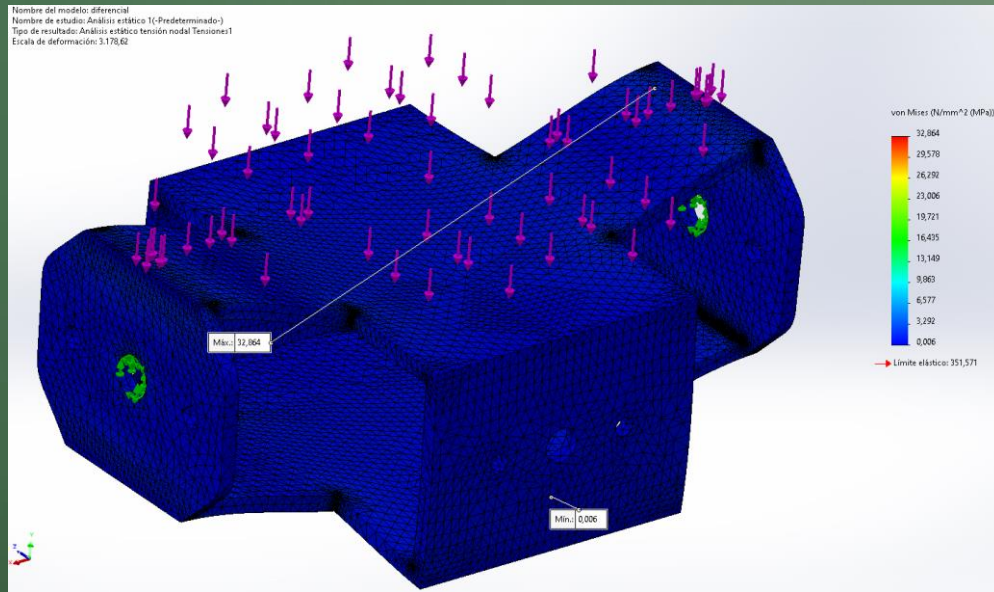
$$D = \left[\frac{32 \times N}{\pi} \times \sqrt{\left(\frac{Kt \times M}{Sn'} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{Sy} \right)^2} \right]^{1/3}$$

DISEÑO DEL CHASIS

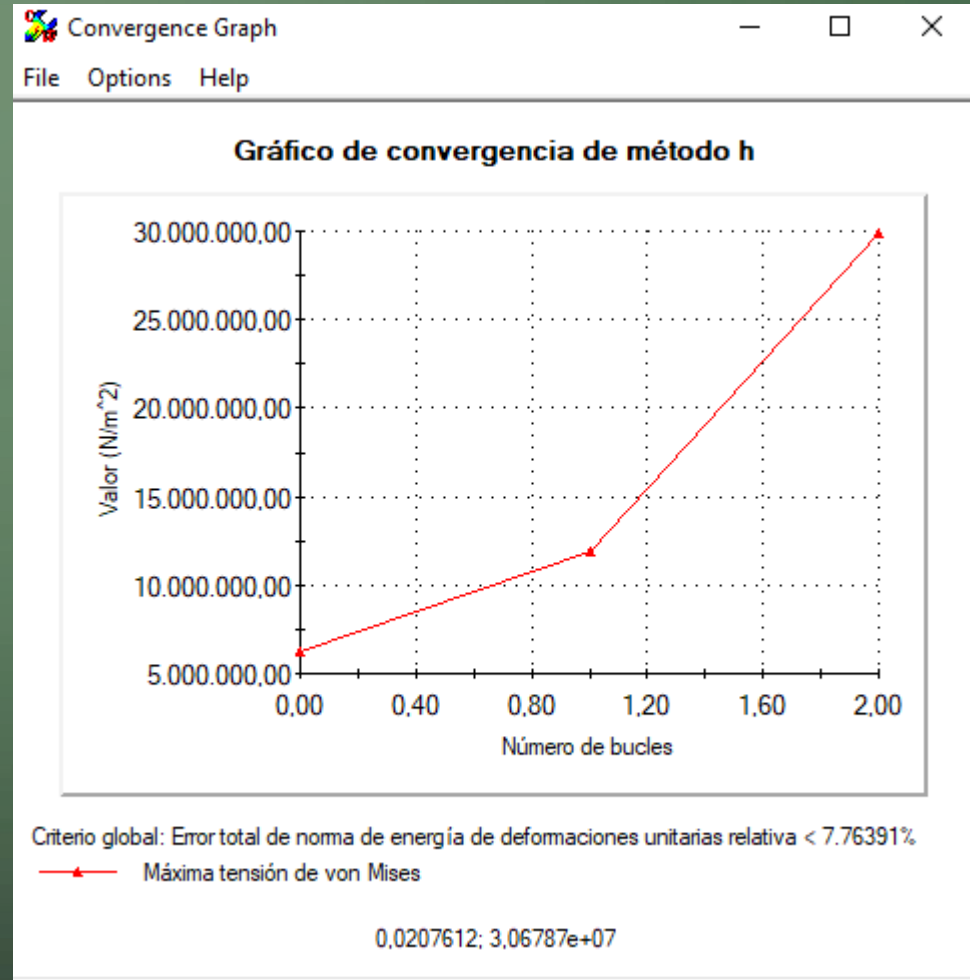
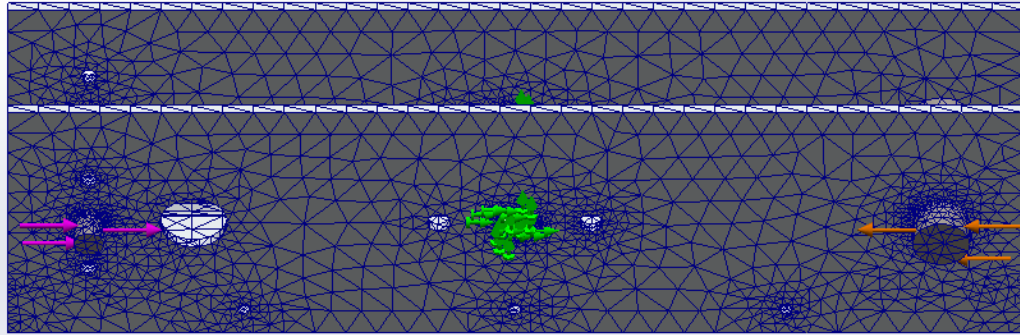
Nombre del modelo: diferencial
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



DISEÑO DEL CHASIS

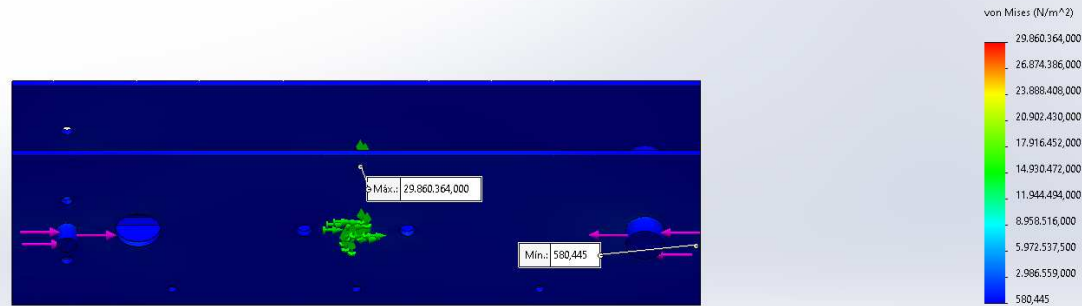


DISEÑO DEL ENSAMBLAJE LATERAL

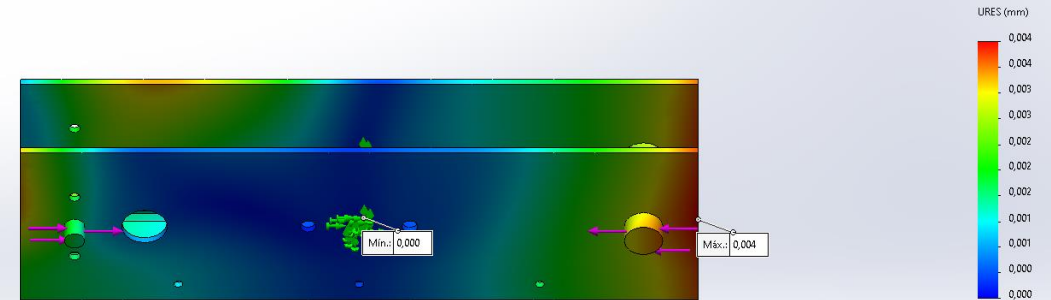


DISEÑO DEL ENSAMBLAJE LATERAL

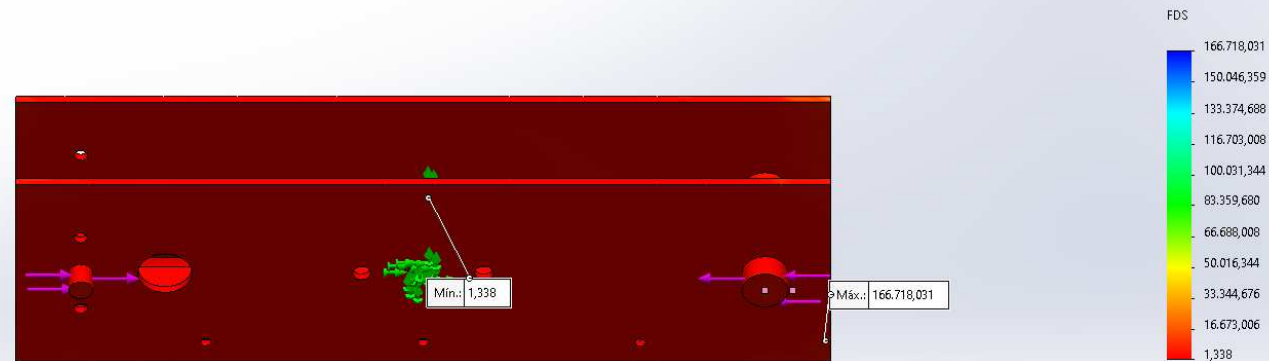
Nombre del modelo: Ensamblajelateralestatico
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1



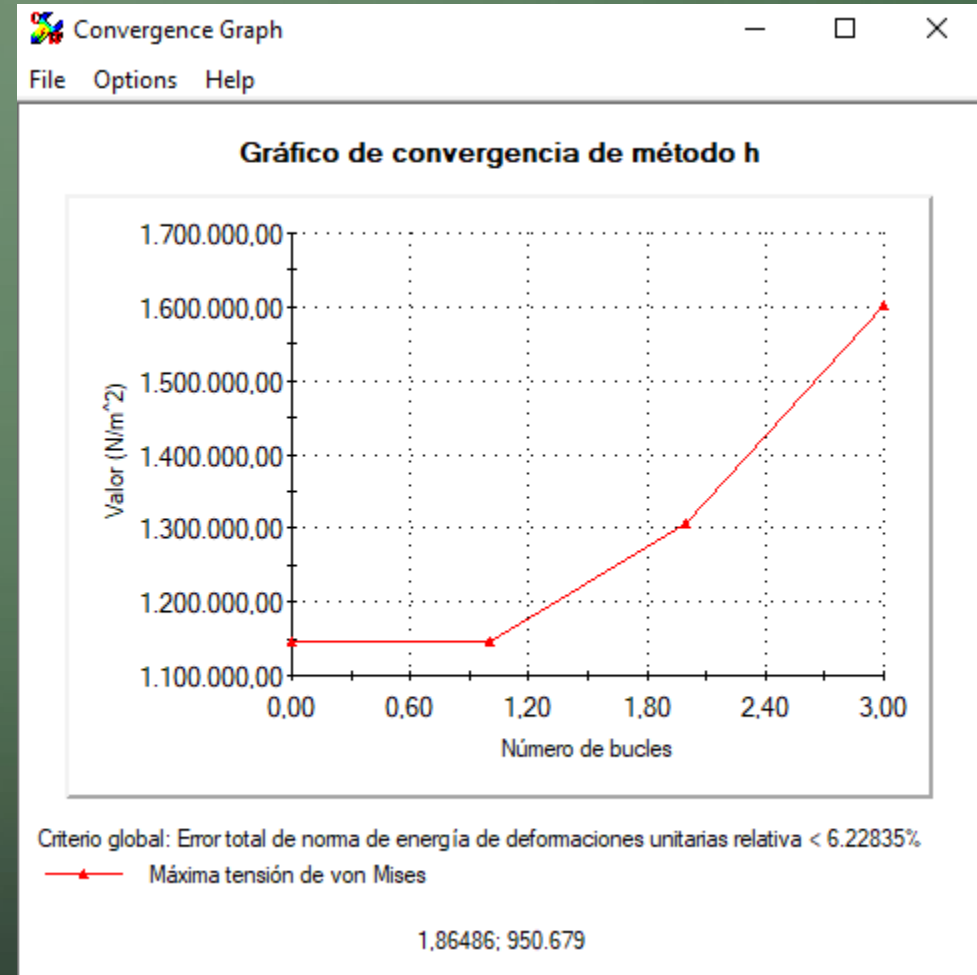
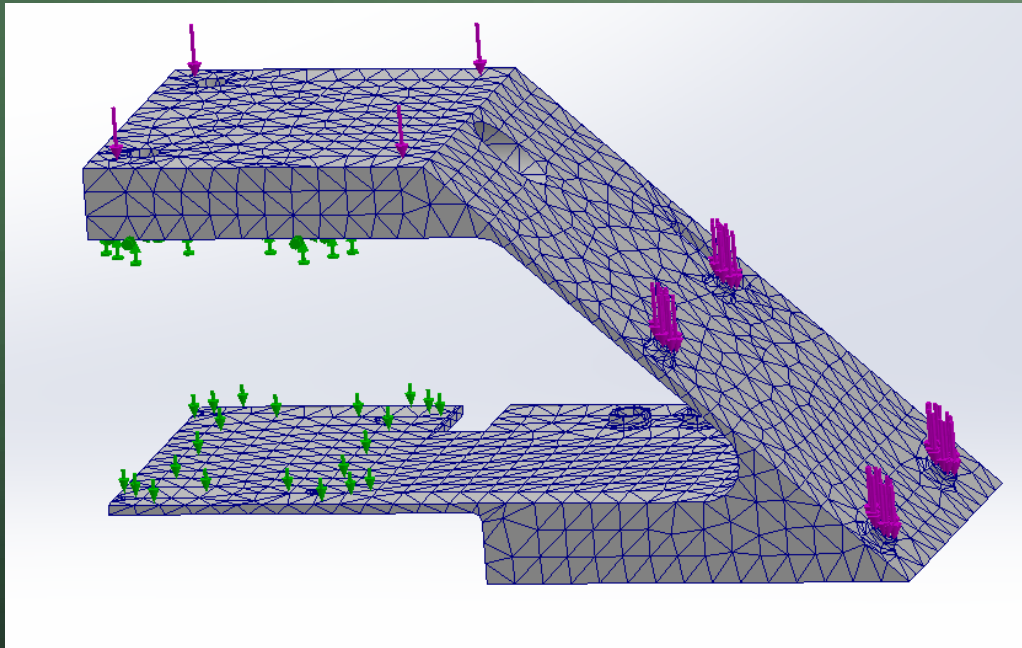
Nombre del modelo: Ensamblajelateralestatico
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1



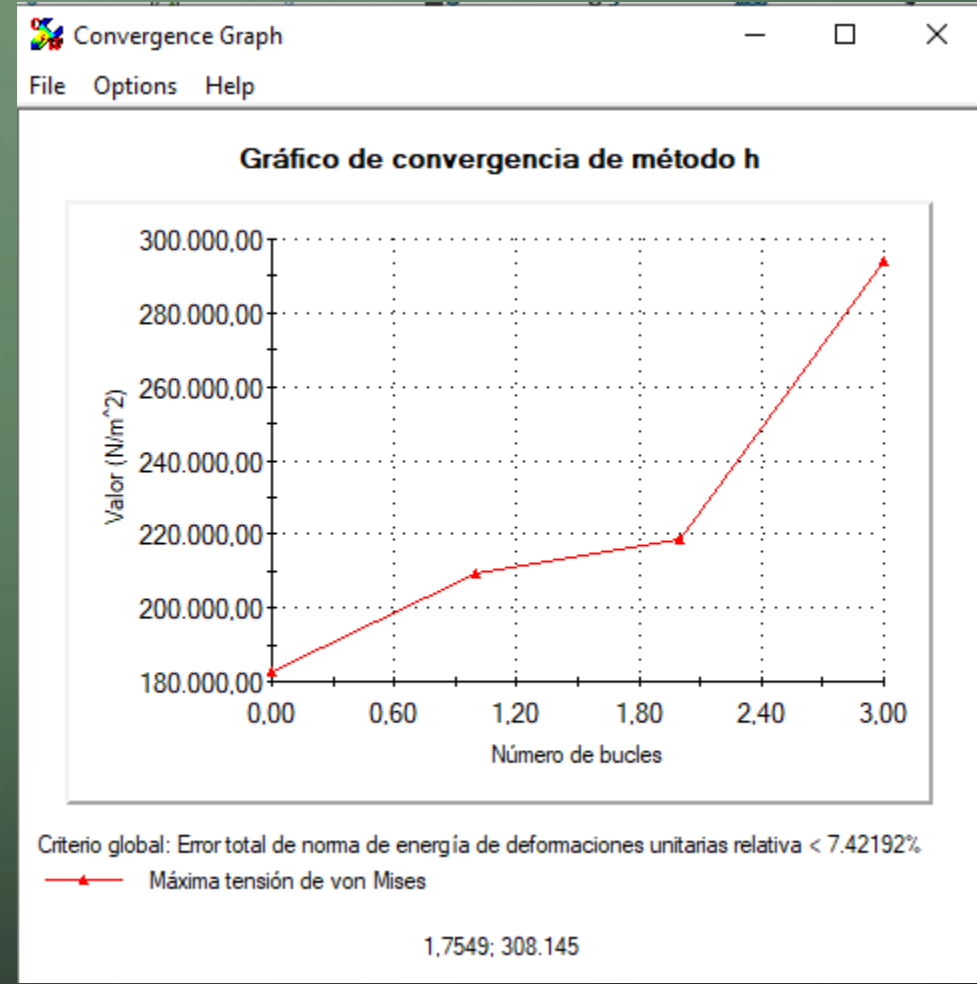
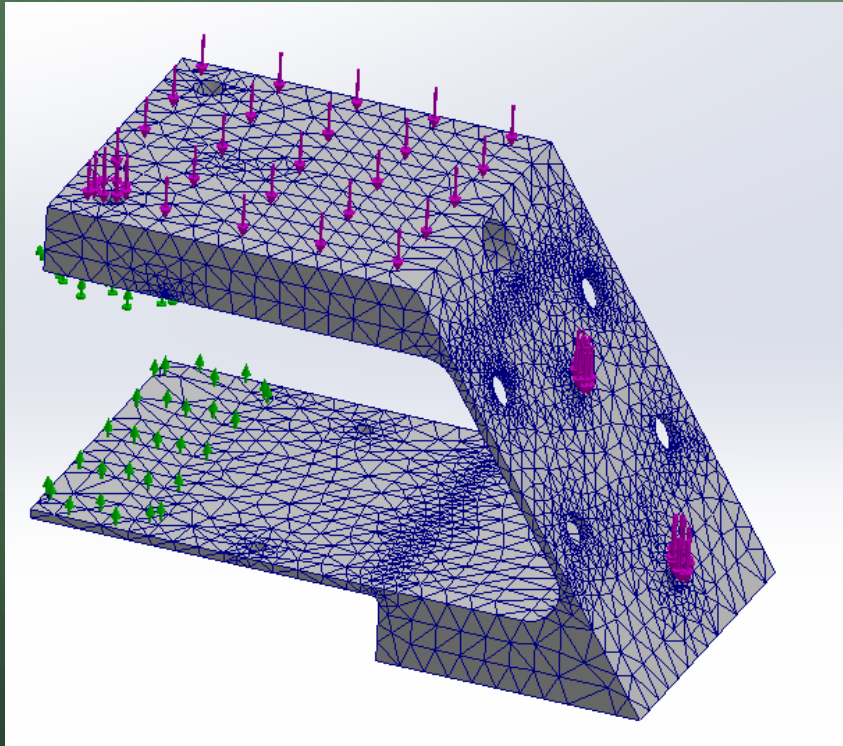
del modelo: Ensamblajelateralestatico
de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Tensión normal máx.
ción de factor de seguridad: FDS min = 1,3



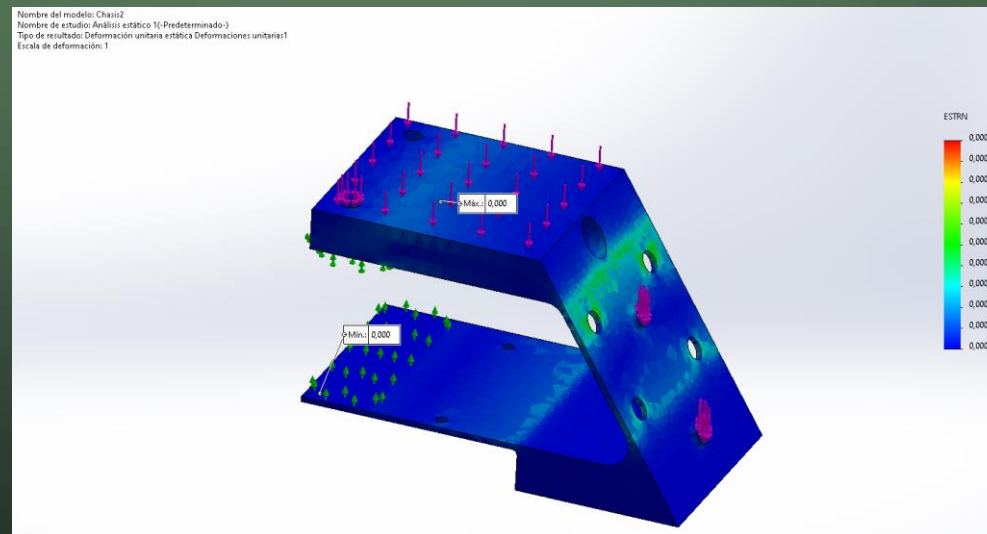
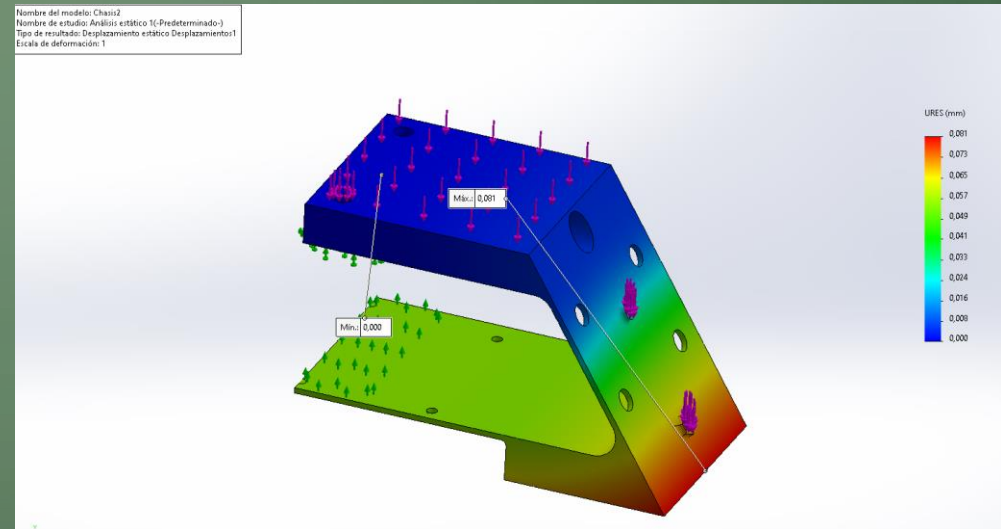
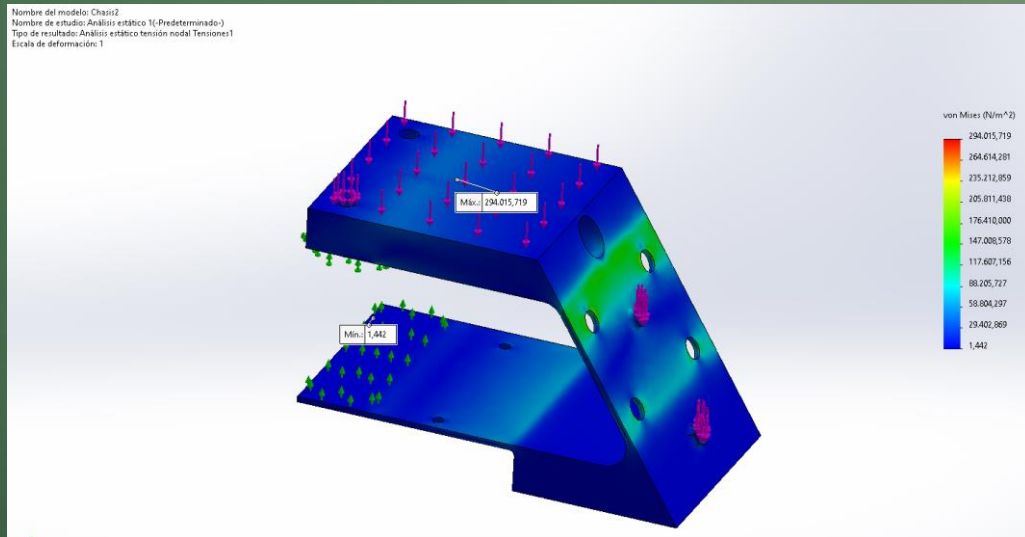
DISEÑO DEL ACOUPLE PARA LA ELECTRÓNICA



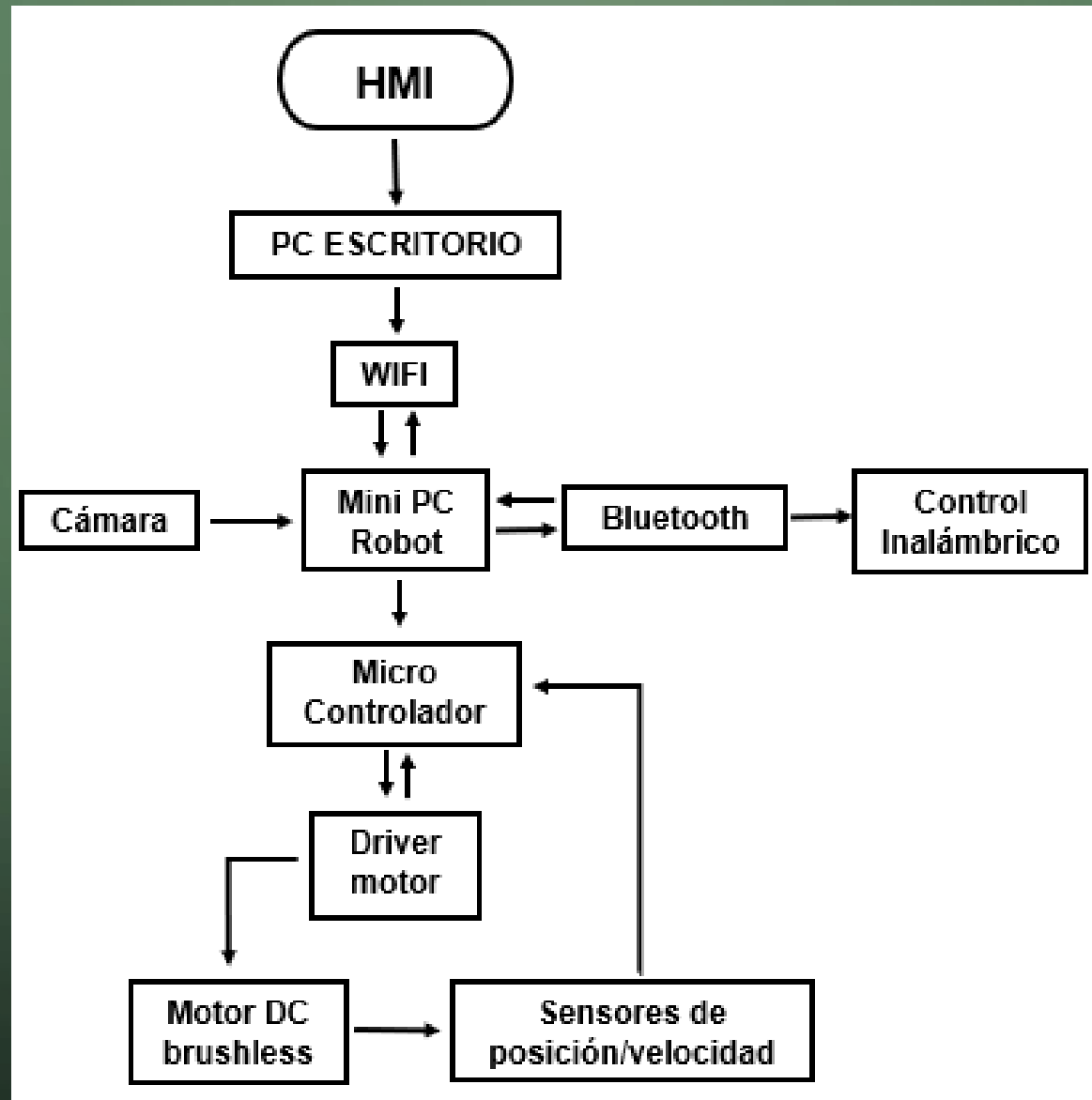
DISEÑO DEL ACOUPLE PARA LA ELECTRÓNICA 2



DISEÑO DEL ACOUPLE PARA LA ELECTRÓNICA



ARQUITECTURA DEL PROTOTIPO



SELECCIÓN DE COMPONENTES

Mini PC Robot

Raspberry Pi 3B+



Driver para los motores

Rio Rand ZS-X11H V1



Cámara

Arducam OV5647



Batería para los motores

Zee Power de 14.8 V



Microcontrolador

Arduino nano



Batería para el control

Power Bank BOMT

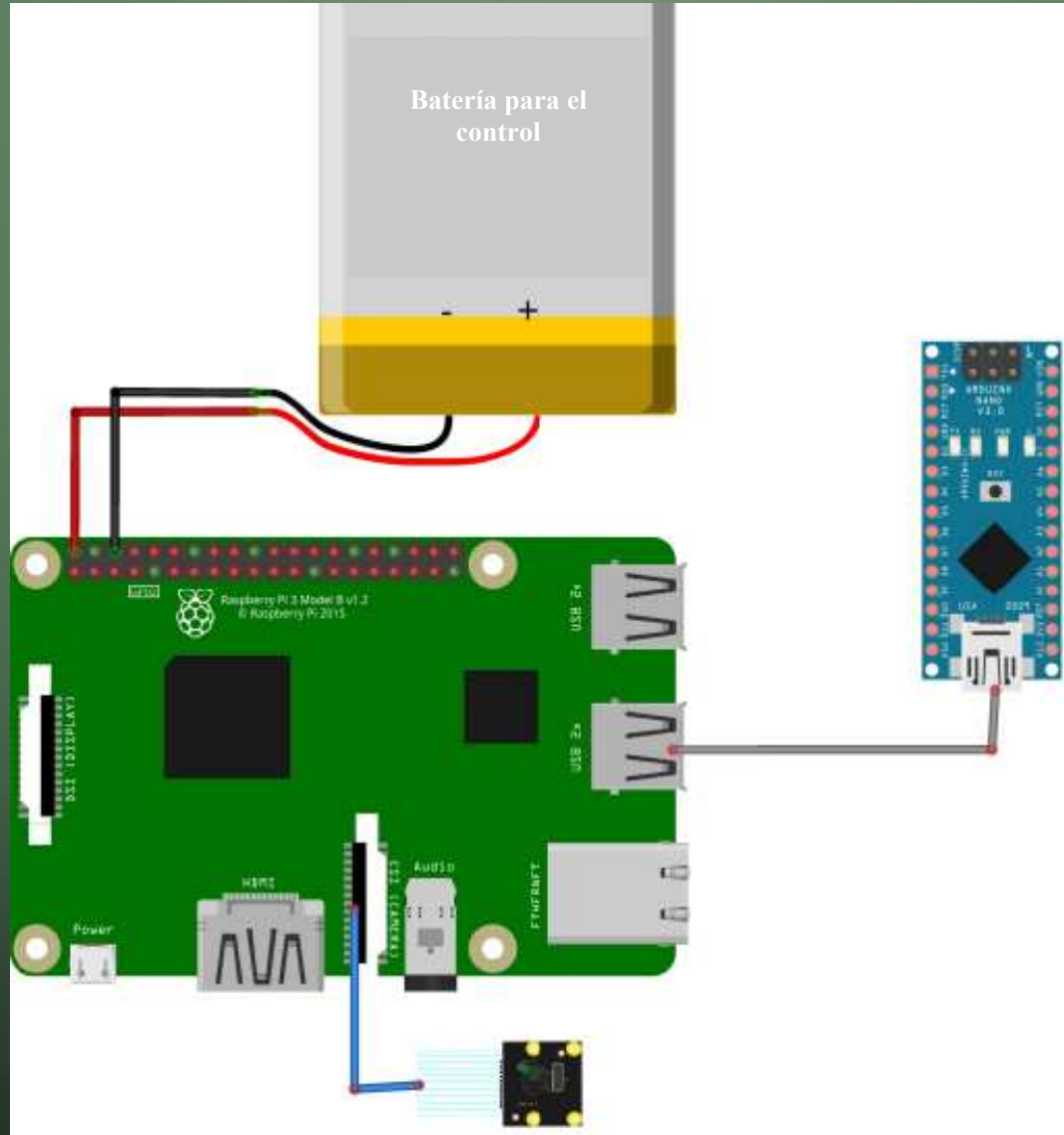


Control inalámbrico

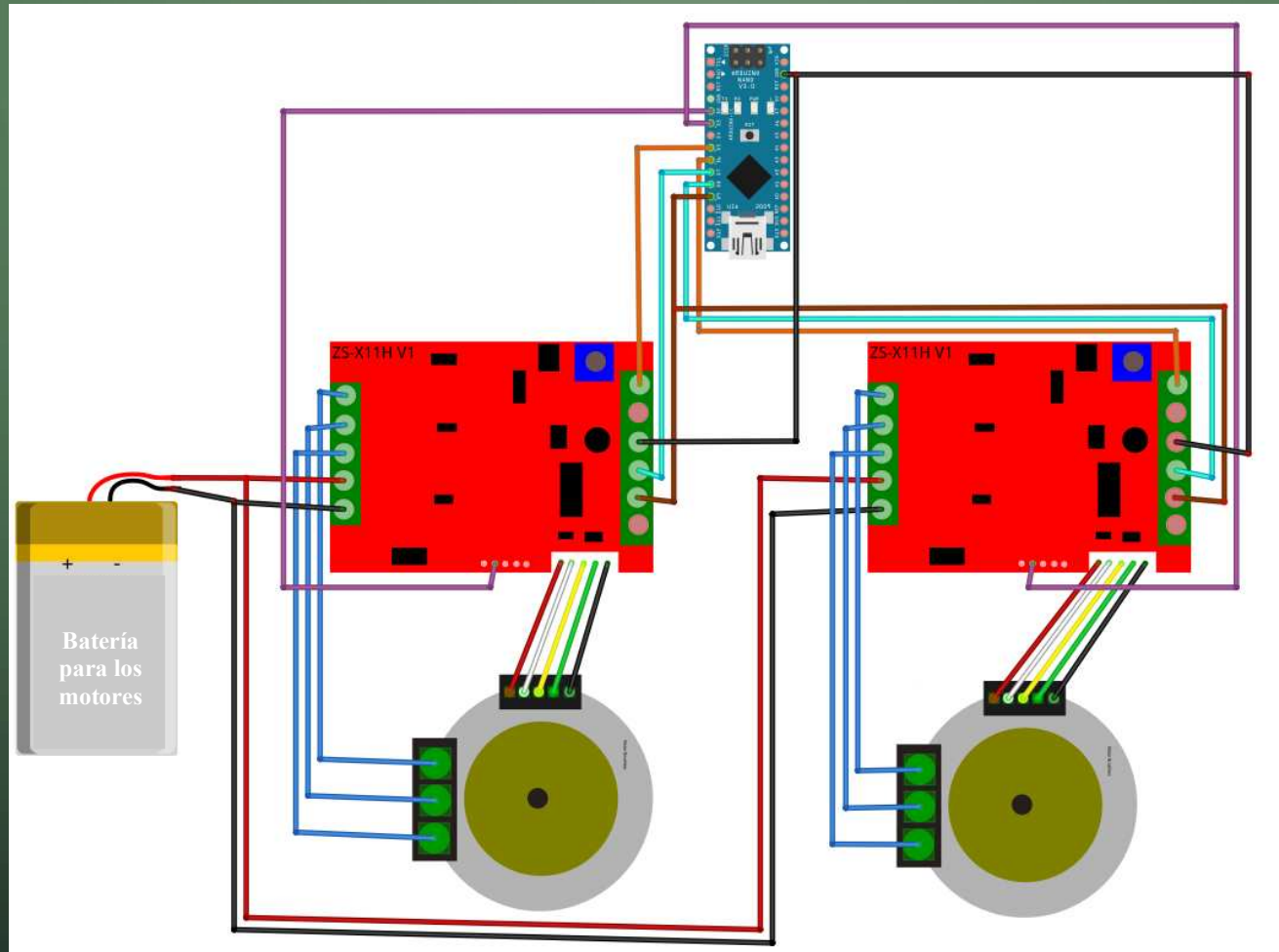
Teclado Bluetooth VILROS



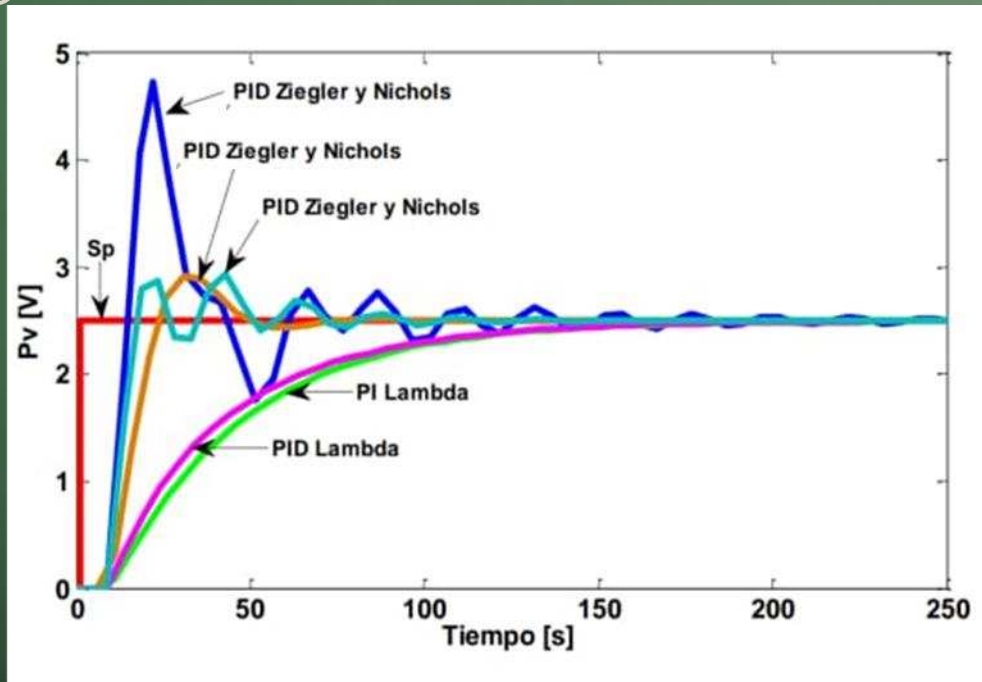
DIAGRAMAS DE CONEXIÓN



DIAGRAMAS DE CONEXIÓN



DETERMINACIÓN DEL PID DE CADA LLANTA

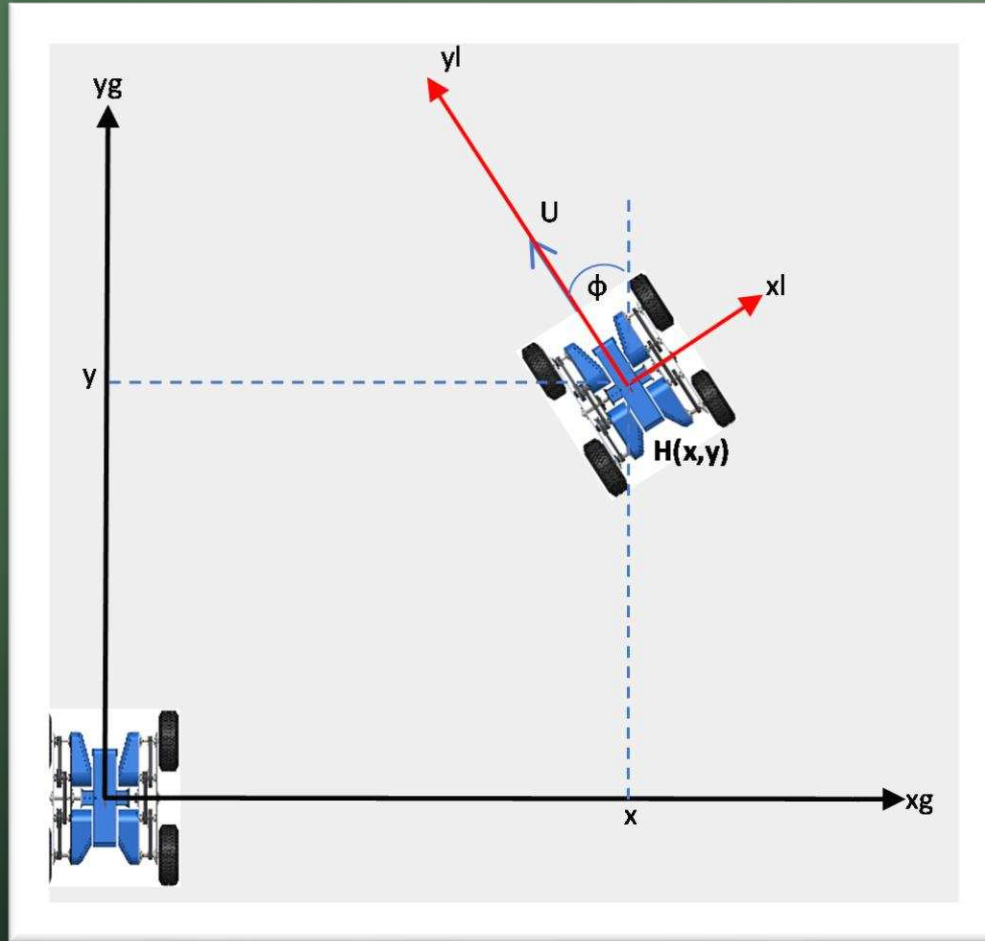


$$G_{T_c}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Derecha	Izquierda
Kp=0.51	Kp=0.42
Ti=0.23	Ti=0.27
Td=0.06	Td=0.06

Sintonía Método Lambda Rueda Derecha

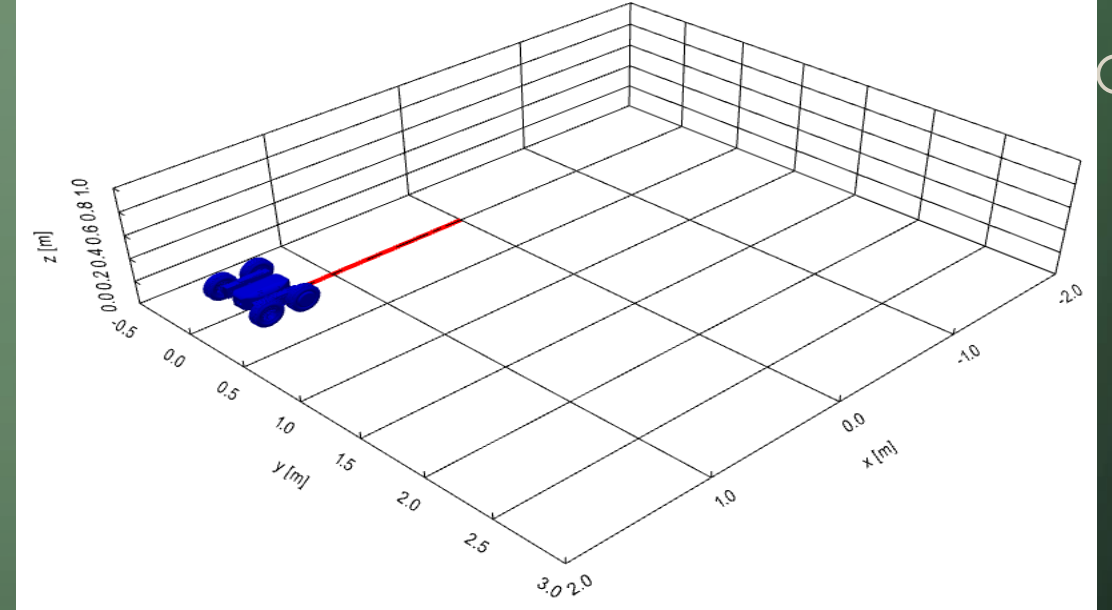
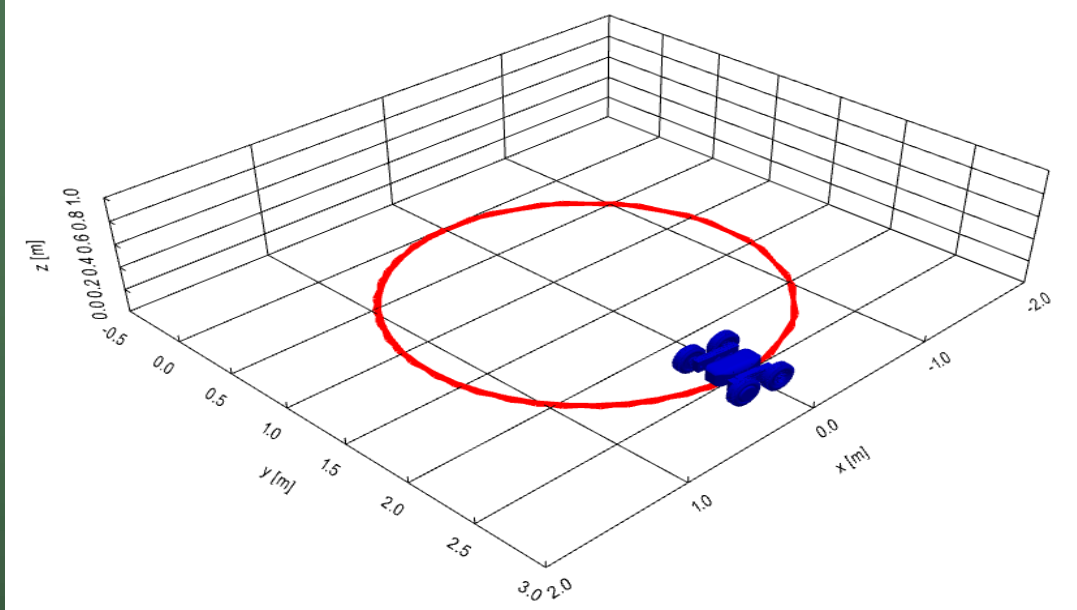
DISEÑO DEL MODELO CINEMÁTICO DEL ROBOT



- La superficie de movimiento del robot es plana y sin imperfecciones.
- Las ruedas presentan rodadura pura
- Se considera al robot como un sólido rígido

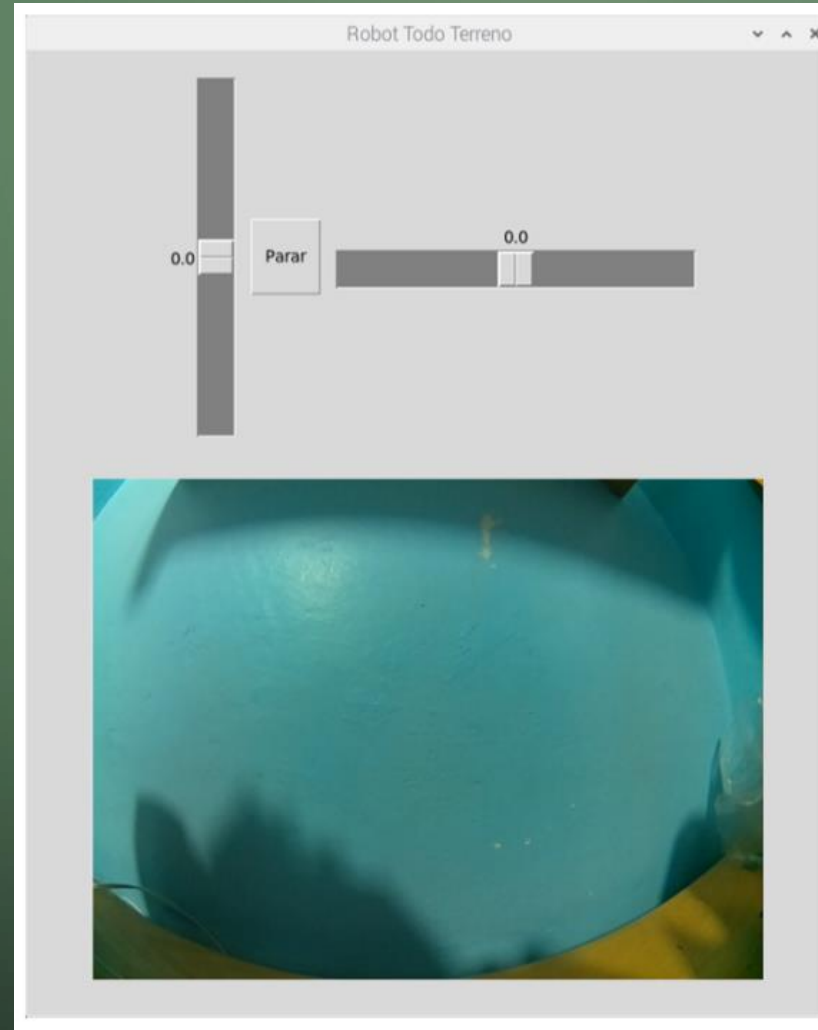
$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\text{sen}\theta \times ra}{2} & -\frac{\text{sen}\theta \times ra}{2} \\ \frac{\text{cos}\theta \times ra}{2} & \frac{\text{cos}\theta \times ra}{2} \\ \frac{2}{ra} & \frac{2}{ra} \\ \frac{2}{b} & \frac{2}{b} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} wr \\ wl \end{bmatrix}$$

SIMULACIÓN DEL MODELO CINEMÁTICO



Python conocido como pyRobotics

DISEÑO DE LA HMI

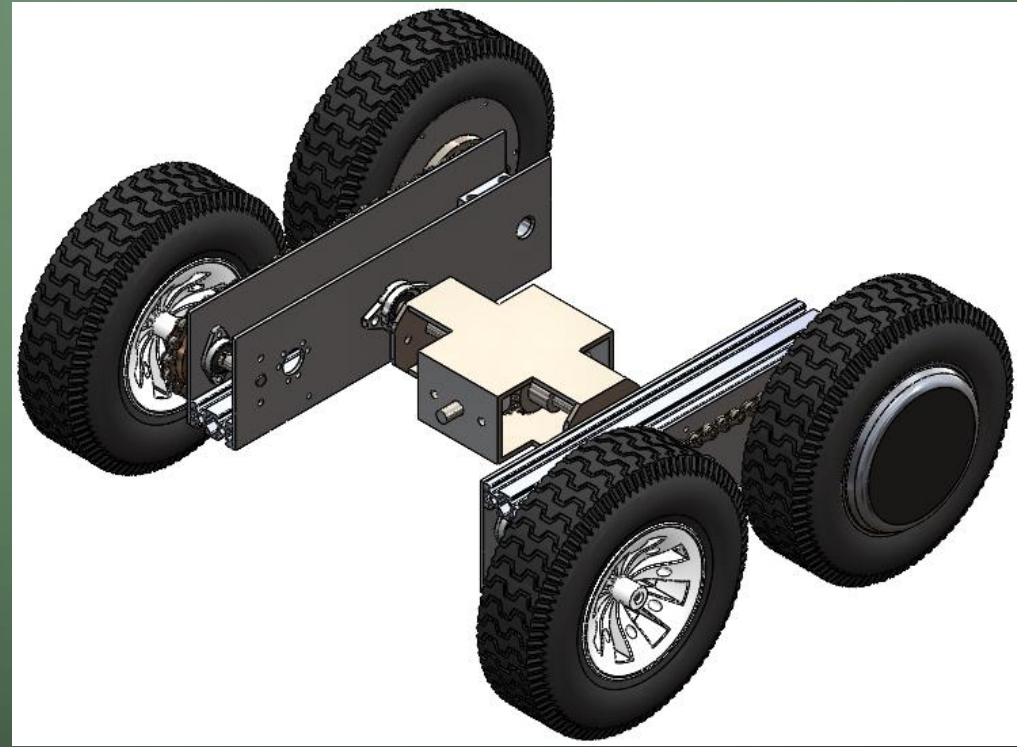
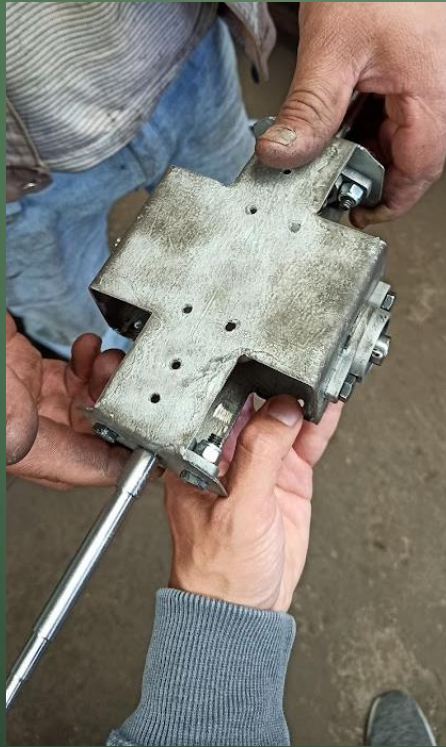


- Python con la herramienta Tkinter.

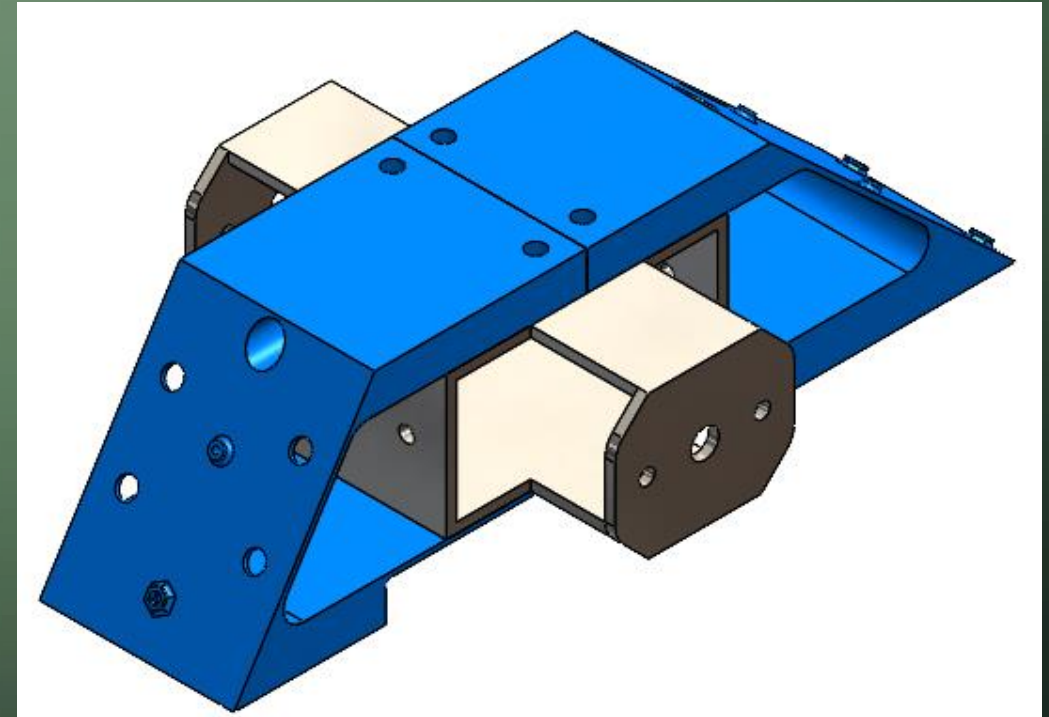
DISEÑO DE LA HMI



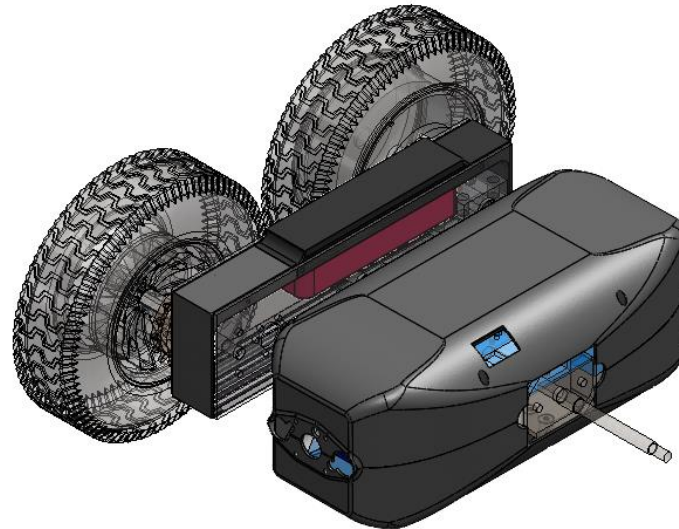
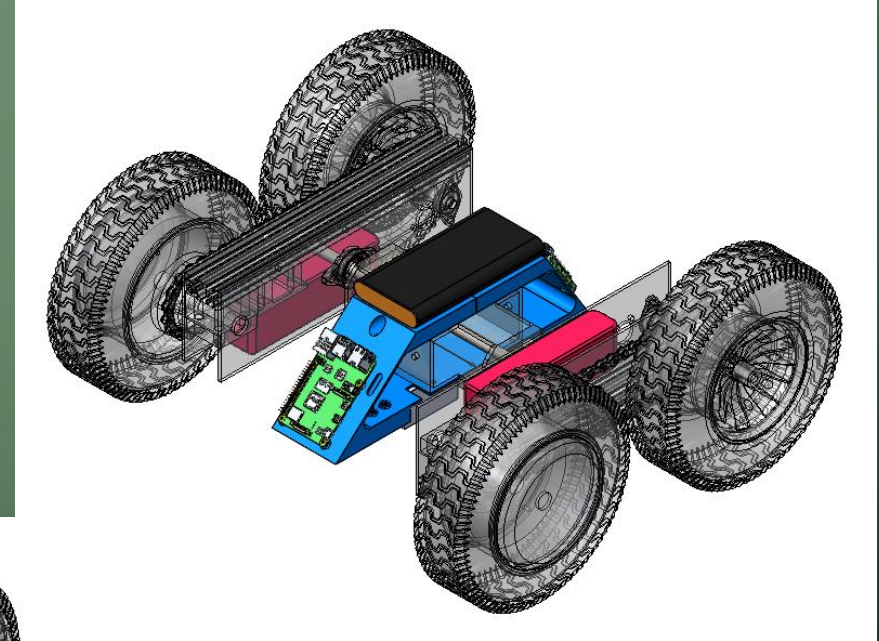
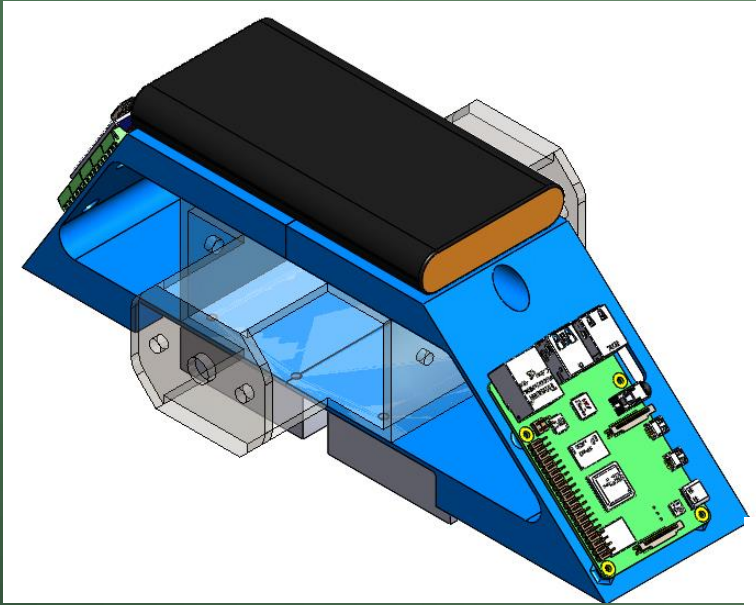
SISTEMA DEL DIFERENCIAL



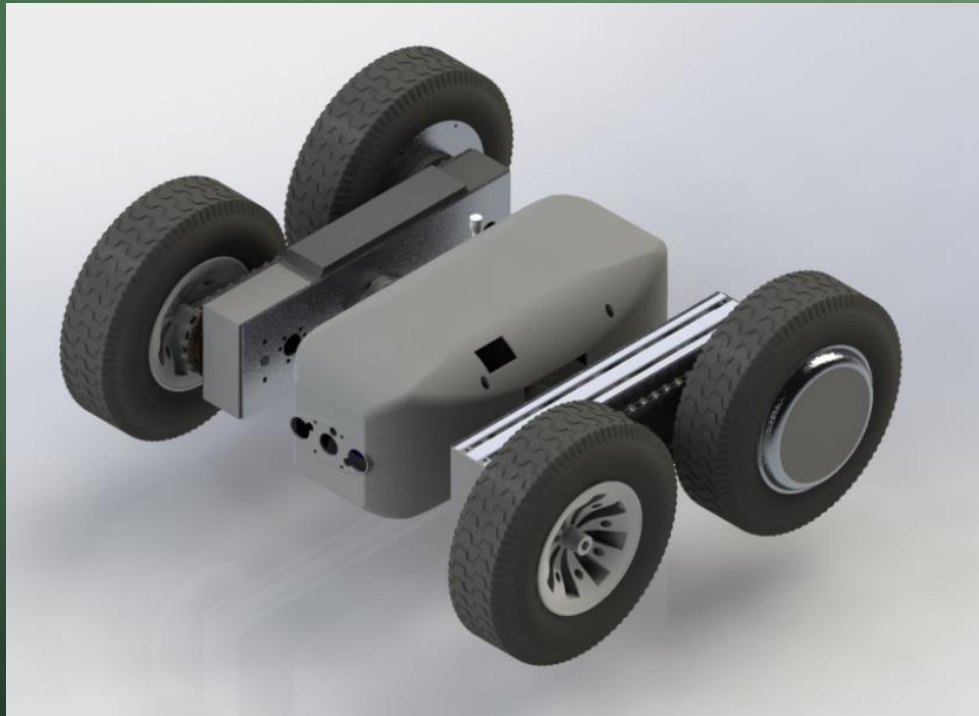
IMPLEMENTACIÓN DE LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS



IMPLEMENTACIÓN DE LOS COMPONENTES ELECTRÓNICOS



RESULTADO FINAL DEL ROBOT DESPUÉS DE SUPERAR TODAS LAS ETAPAS DE DISEÑO

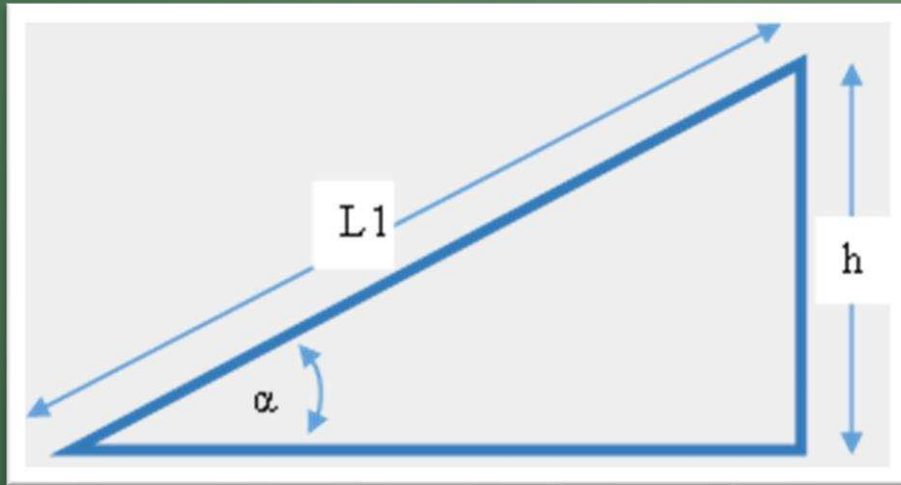


DISEÑO DEL EXPERIMENTO



- Longitud $L=40\text{cm}$
- Velocidad constante $V=0.1\text{m/s}$
- Se realizó 3 pruebas para cada caso

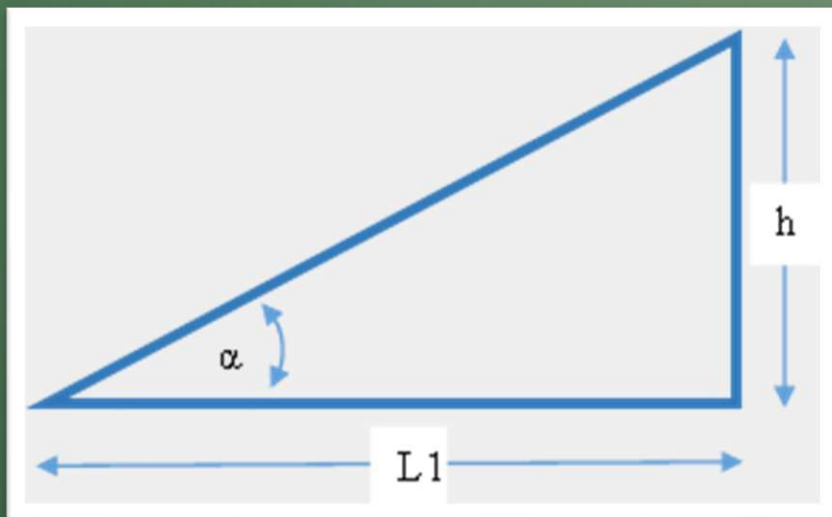
INCLINACIÓN DEL PISO



- $L1=48\text{cm}$ (distancia longitudinal del robot)
- $\alpha_1=20^\circ$, $h_1=16\text{cm}$
- $\alpha_2=30^\circ$, $h_2=23\text{cm}$
- $\alpha_3=40^\circ$, $h_3=30\text{cm}$
- $\alpha_4=50^\circ$, $h_1=36\text{cm}$
- $\alpha_5=60^\circ$, $h_1=42\text{cm}$

Angulo [°]	Altura [cm]	Resultado
20	16	Cumple
30	23	Cumple
40	30	Cumple
50	36	No Cumple
60	42	No cumple

INCLINACIÓN DEL PISO



- $L1=15\text{cm}$
- $\alpha1=40^\circ$, $h1=15\text{cm}$
- $\alpha2=35^\circ$, $h2=12\text{cm}$
- $\alpha3=30^\circ$, $h3=10\text{cm}$
- $\alpha4=25^\circ$, $h4=8\text{cm}$
- $\alpha5=20^\circ$, $h5=5\text{cm}$

Angulo [°]	Altura [cm]	Resultado
20	5	Cumple
25	8	Cumple
30	10	Cumple
35	12	Cumple
40	15	Cumple

ALTURA DE OBSTÁCULOS



- $h_1=5\text{cm}$
- $h_2=8\text{cm}$
- $h_3=10\text{cm}$
- $h_4=12\text{cm}$
- $h_5=15\text{cm}$

Altura [cm]	Resultado
5	Cumple
8	Cumple
10	No cumple
12	No cumple
15	No cumple

FUNCIONAMIENTO EN TERRENO CON INCLINACIONES INDEPENDIENTES

Rueda izquierda	Rueda derecha
$\alpha_1=20^\circ$, $h_1=16\text{cm}$	$\alpha_2=35^\circ$, $h_2=12\text{cm}$
$\alpha_3=30^\circ$, $h_3=10\text{cm}$	$\alpha_2=30^\circ$, $h_2=23\text{cm}$
$\alpha_4=25^\circ$, $h_4=8\text{cm}$	$h_3=10\text{cm}$
$h_3=10\text{cm}$	$\alpha_5=20^\circ$, $h_5=5\text{cm}$
$\alpha_4=50^\circ$, $h_1=36\text{cm}$	$\alpha_1=40^\circ$, $h_1=15\text{cm}$

Rueda Izquierda		Rueda derecha		
Angulo [°]	Altura [cm]	Angulo [°]	Altura [cm]	Resultado
20	16	35	12	Cumple
30	10	30	23	Cumple
25	8		10	Cumple
	10	20	5	Cumple
50	36	40	15	No cumple

RESULTADOS DE AUTONOMÍA ENERGÉTICA

Batería	Duración [min]
Power Bank BOMT	240
Zee Power 14.8V	80
Zee Power 14.8V	84

RESULTADOS FUNCIONAMIENTO DADO LA VUELTA

Diámetro de llantas es mayor al ancho del cuerpo del robot

Correcto funcionamiento del robot

Diferencial funciona en ambos sentidos del robot.

CONCLUSIONES

- Se desarrollo un prototipo de robot móvil multi terreno con un sistema mecánico robusto que le permite la exploración de entornos de alto riesgo, además posee un sistema electrónico confiable que permite tener una comunicación en tiempo real con el operario.
- Se implemento un sistema de suspensión Rocker-Bogie de cuatro ruedas, este presento un excelente desempeño ya que es más compacto que el diseño de 6 ruedas, lo que le permite ser más ágil para movilizarse en terrenos de difícil acceso o de alto riesgo.
- Se realizo pruebas de funcionamiento del mecanismo Rocker-Bogie mediante distintos experimentos que comprobaron su efectividad, lo que da paso para escalar el prototipo a otro tipo de robots con aplicaciones más específicas.
- Se implemento dos tipos de teleoperación, gracias a que se utilizó la tarjeta de control Raspberry Pi 3+ la cual cuenta con conexión vía Bluetooth y conexión vía Wifi, lo que le⁶¹ brinda más robustez al sistema de teleoperación.

CONCLUSIONES

- Se selecciono un sistema electrónico confiable que en sinergia con el control implementado garantiza el pleno funcionamiento del prototipo en todas las pruebas realizadas, obteniendo excelentes resultados.