

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO



EXTENSIÓN LATACUNGA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN CON
CADENA Y DIFERENCIAL TORSEN PARA UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO
TIPO MONOPLAZA PARA LA COMPETENCIA FORMULA STUDENT.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AUTOMOTRIZ**

PABLO JONATHAN OJEDA MONTOYA

Latacunga, Abril del 2012.

ANTECEDENTES

La industria del automóvil de competición, tiene una gran necesidad de ingenieros calificados para satisfacer sus objetivos.

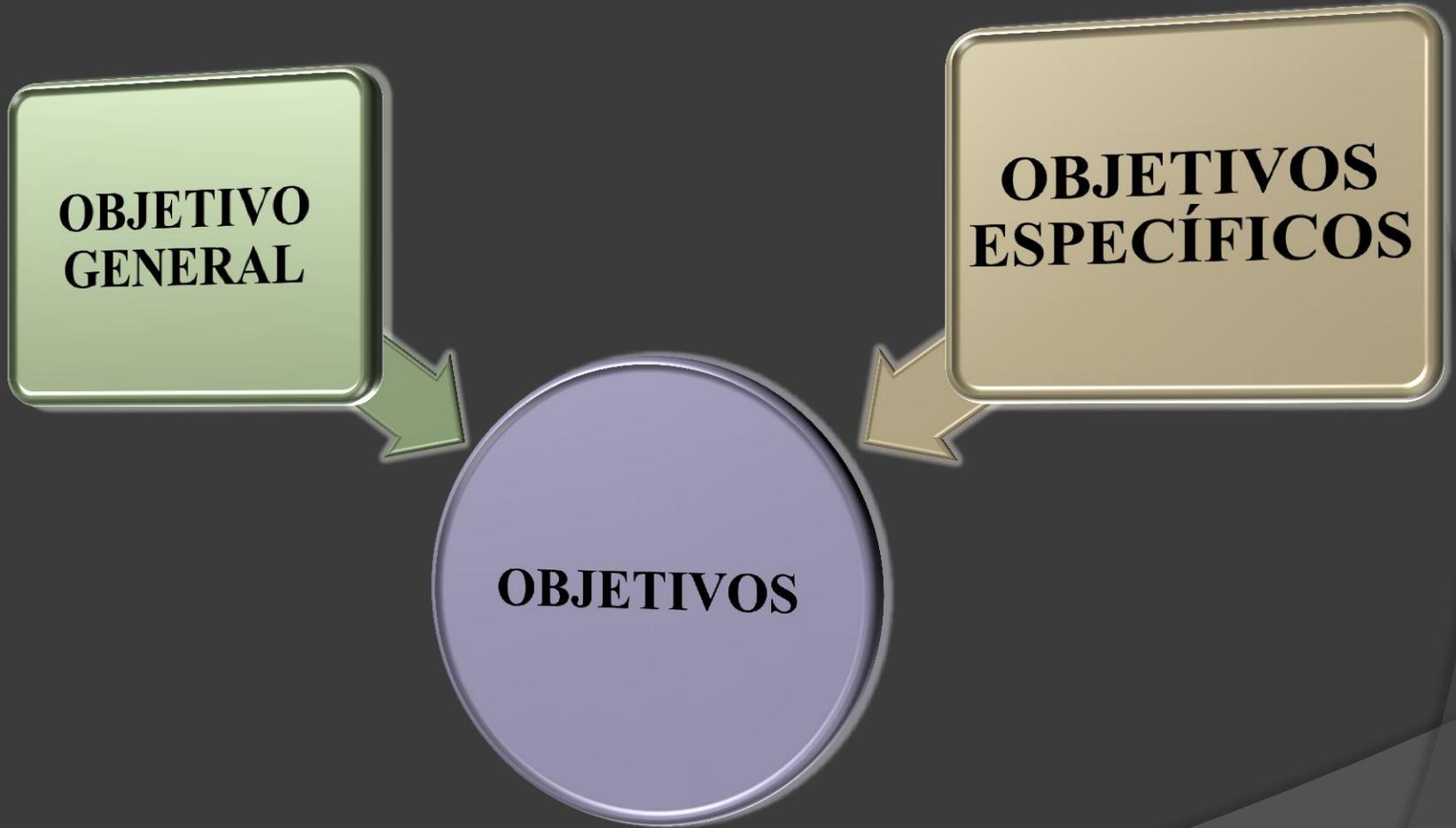


La Formula Student aporta a los jóvenes una oportunidad de demostrarse a si mismos de lo que son capaces con sus conocimientos técnicos y les prepara para su carrera profesional.

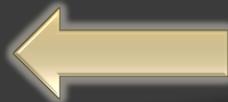
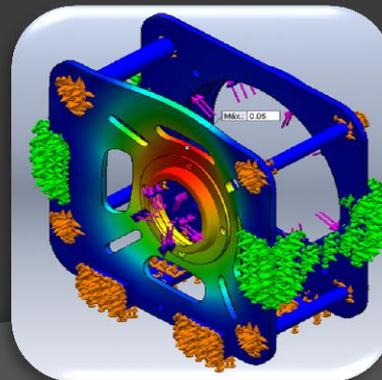
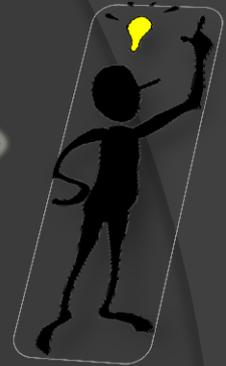
**OBJETIVO
GENERAL**

**OBJETIVOS
ESPECÍFICOS**

OBJETIVOS



METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL PROYECTO



El desarrollo del proyecto se guiara a través del cumplimiento progresivo de pasos que permitirán ir llevando a cabo el desarrollo del sistema de transmisión

FORMULA STUDENT

Formula SAE (Formula Student) - es un proyecto llevado a cabo bajo el auspicio de la Sociedad Internacional de Ingenieros Automotrices SAE (Society of Automotive Engineers).





I MECH E







Business Plan



Cost Report



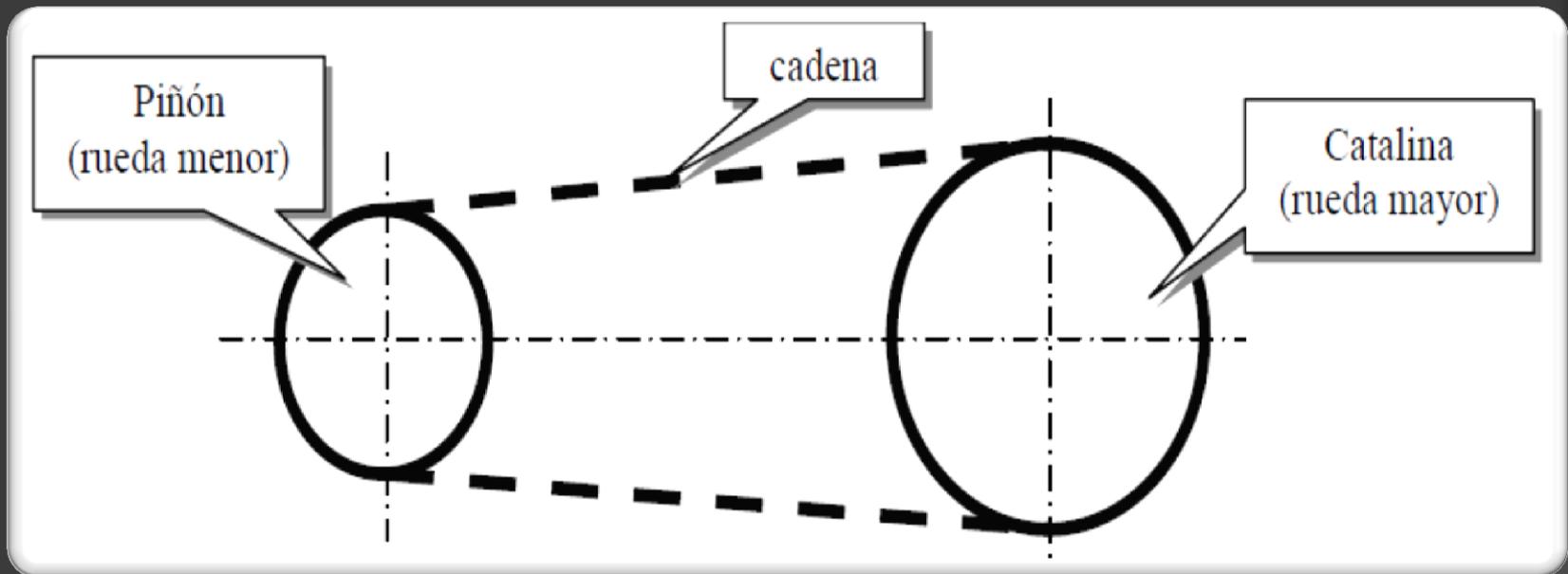
Engineering Design

Por ello el vehículo deberá tener muy altas prestaciones en términos de aceleración, frenada y maniobrabilidad manteniendo un costo de producción no superior a 25000 euros. Además el diseño deberá cumplir un estricto reglamento impuesto por la organización.



FINALIDAD DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN CON CADENA.

- ⦿ Este tipo de transmisiones trabajan de acuerdo con el principio de engranaje.
- ⦿ A las transmisiones por cadenas se le incorporan cubiertas protectoras llamadas (guarderas).



CADENAS

- Una cadena es un elemento de transmisión de potencia que se fabrica como una serie de eslabones que se unen mediante pernos.



Link-Belt



LA MEJOR CALIDAD EN TODO EL MUNDO

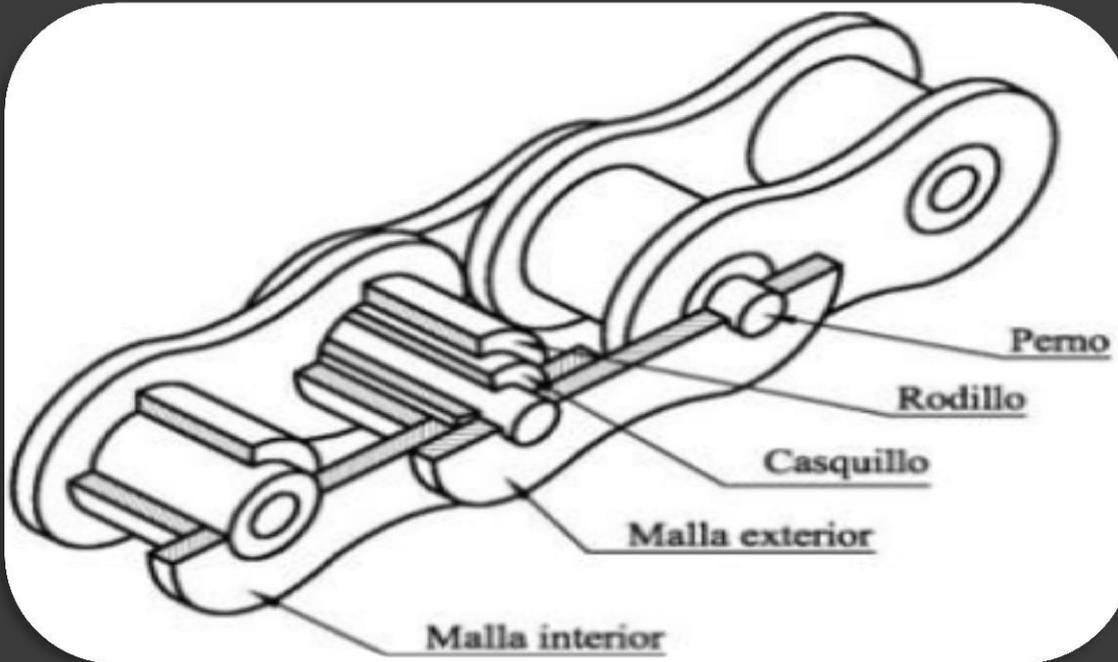
Rexnord



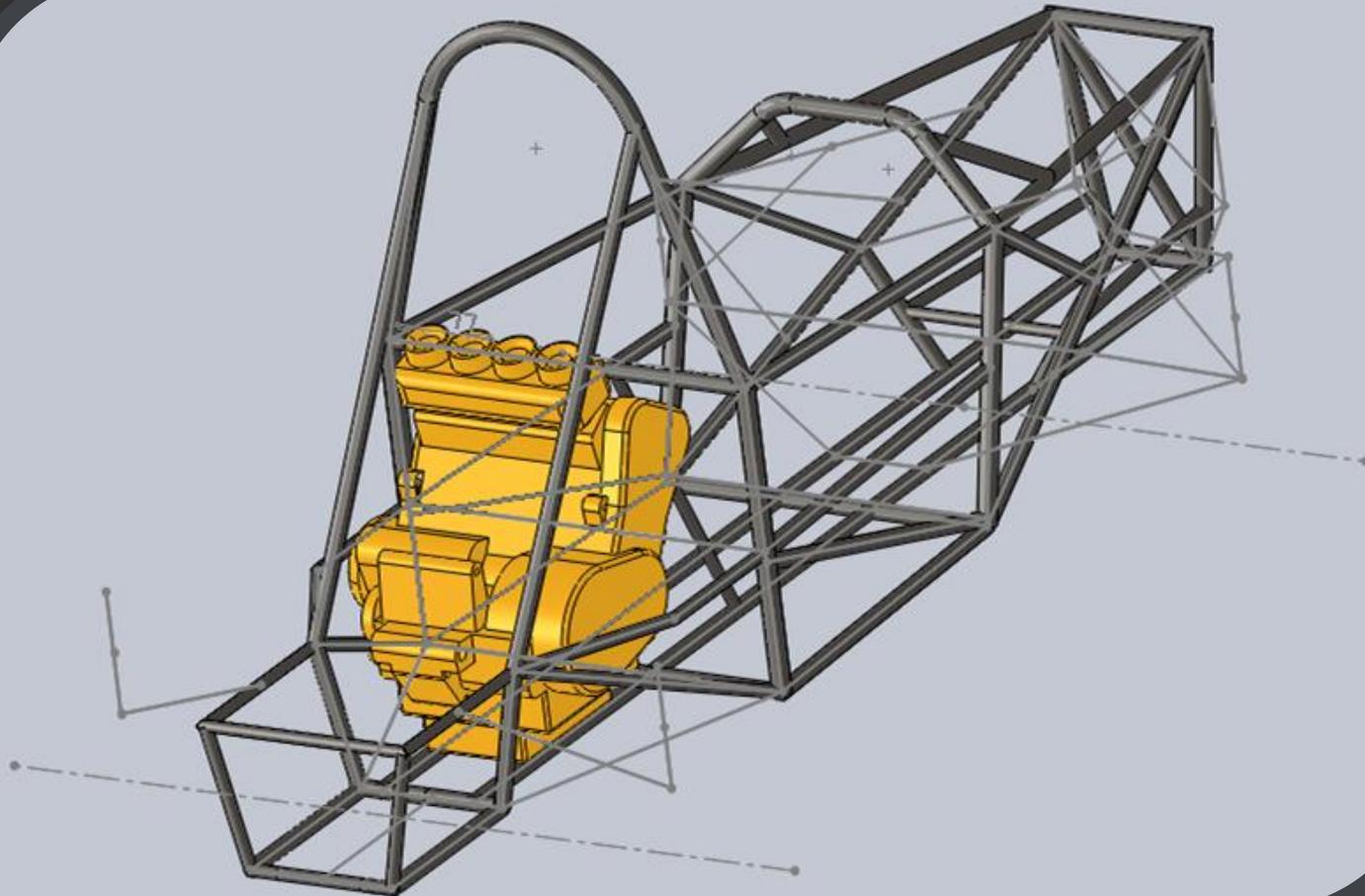
DESIGNACIÓN DE CADENAS

Número de cadena	Paso (pulg)	Resistencia promedio al esfuerzo de tracción (lb)
25	$\frac{1}{4}$	925
35	$\frac{3}{8}$	2100
41	$\frac{1}{2}$	2000
40	$\frac{1}{2}$	3700
50	$\frac{5}{8}$	6100
60	$\frac{3}{4}$	8500
80	1	14500
100	$1 \frac{1}{4}$	24000
120	$1 \frac{1}{2}$	34000
140	$1 \frac{3}{4}$	46000
160	2	58000
180	$2 \frac{1}{4}$	80000
200	$2 \frac{1}{2}$	95000
240	3	130000

PARTES QUE FORMAN LA CADENA DE RODILLOS

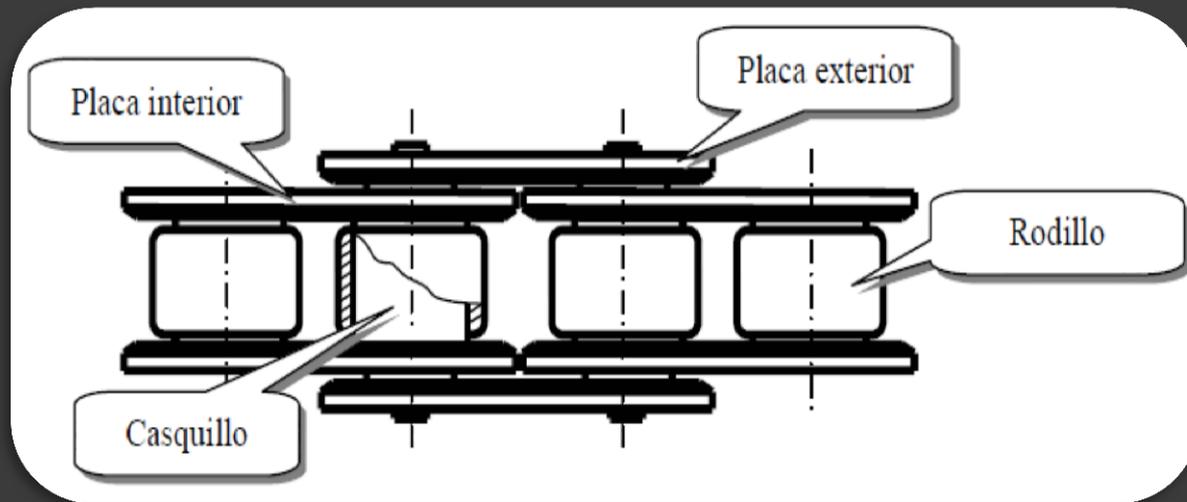


GEOMETRÍA DEL TREN POSTERIOR



PARTES QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN POR CADENA.

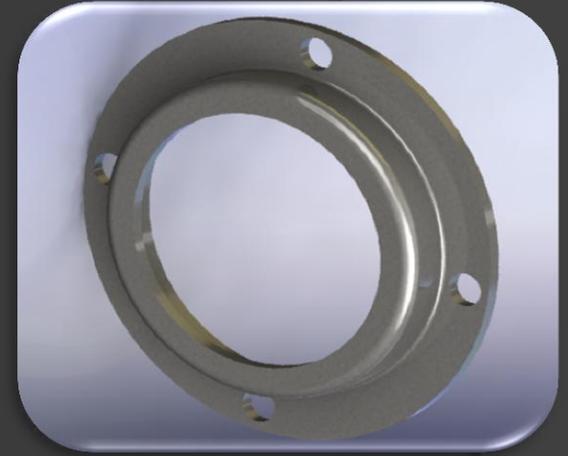
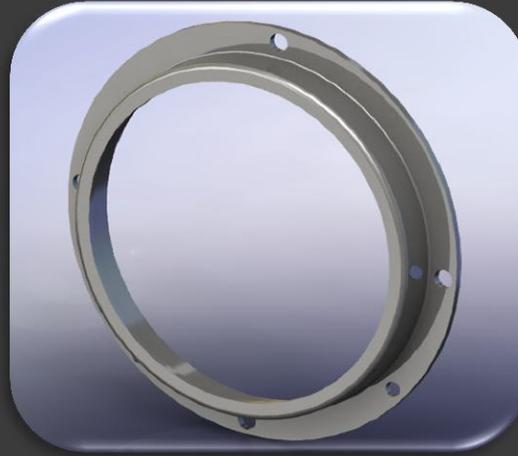
◉ CADENAS DE RODILLOS



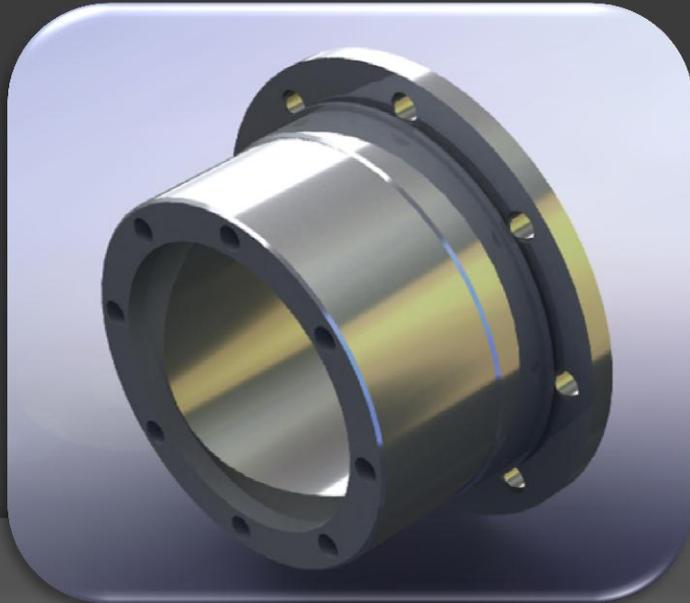
SPROCKET



CHUMACERAS



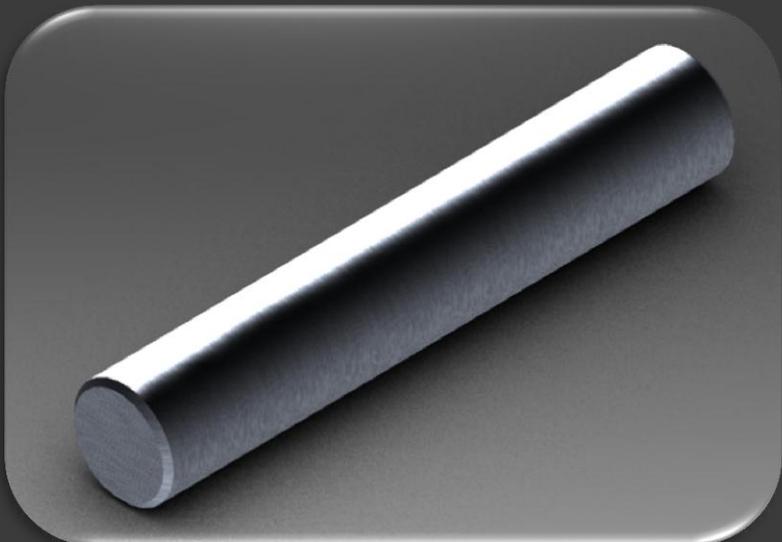
MANZANA DEL DIFERENCIAL



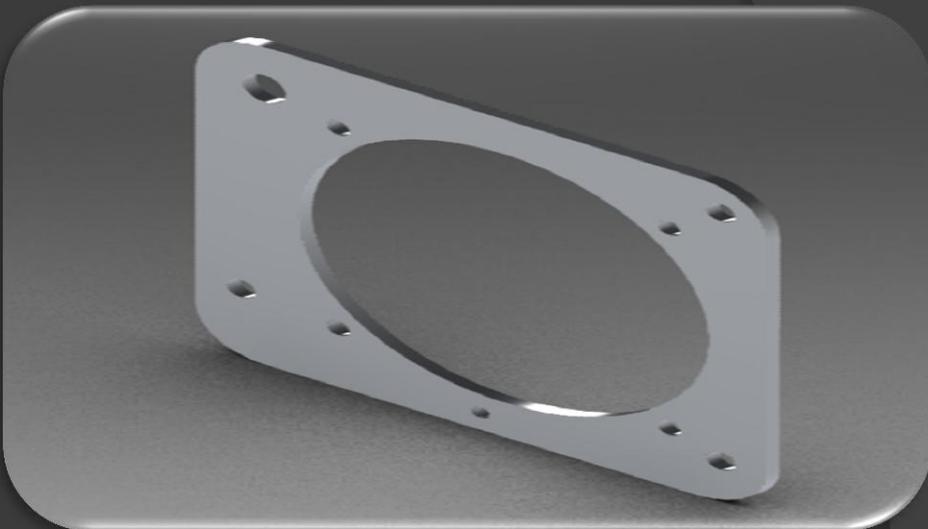
MANZANA DEL SPROCKET



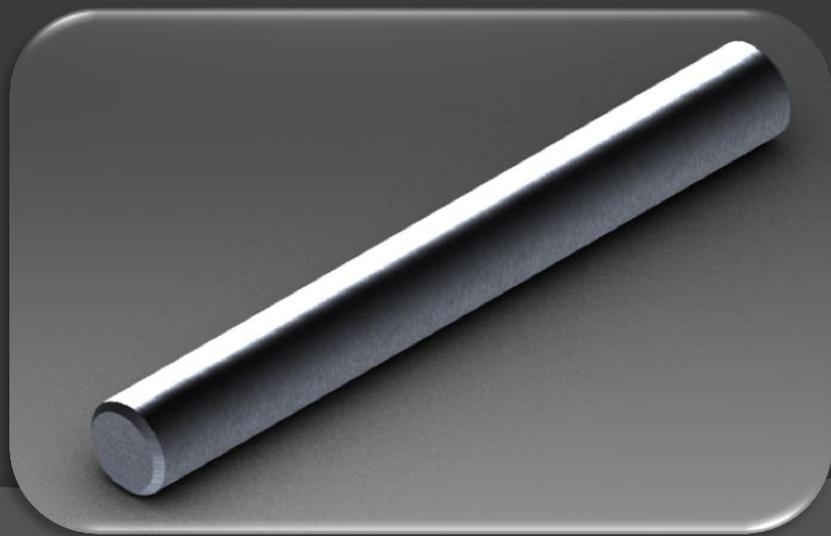
TUBO DE ALUMNIO DE 3/4



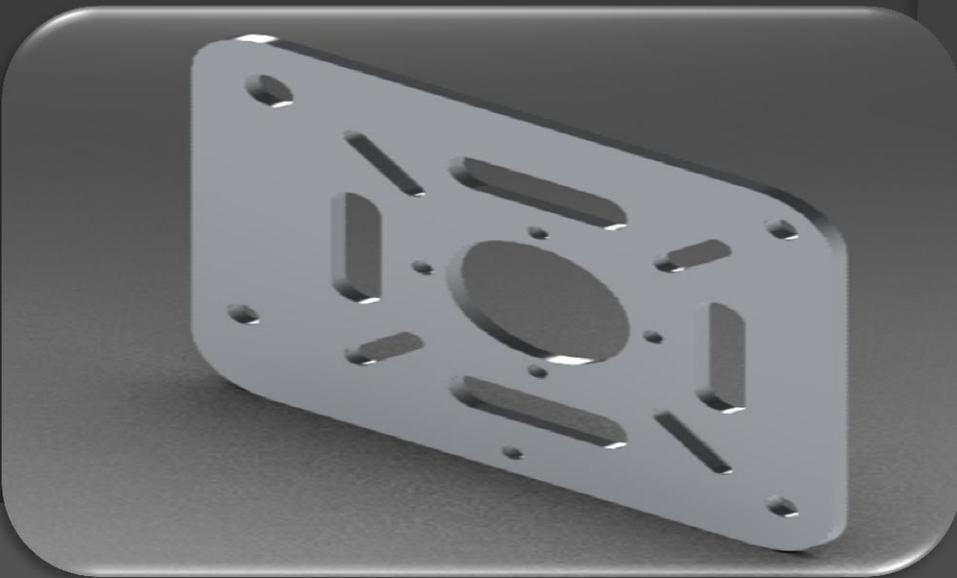
TAPA DE RODAMIENTO GRANDE



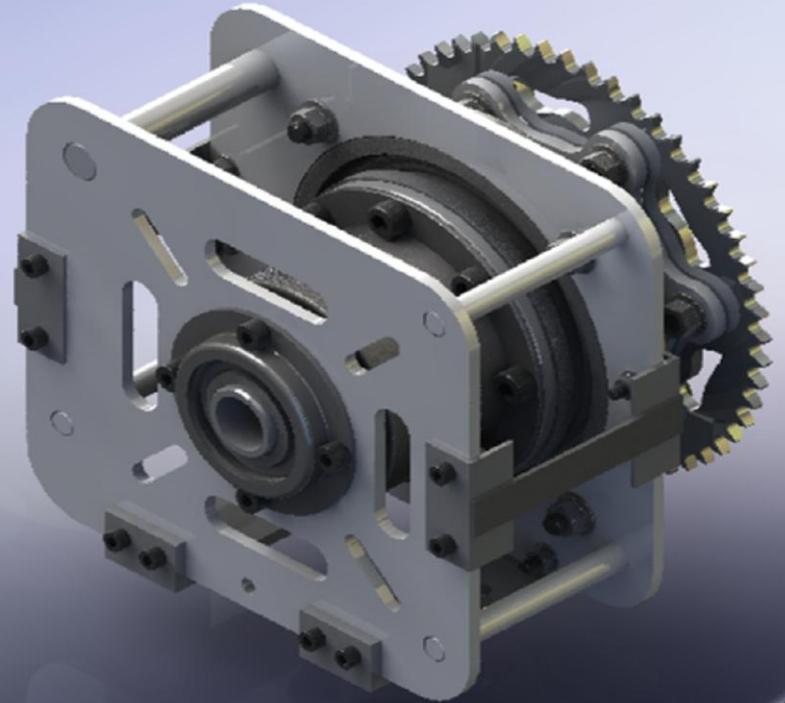
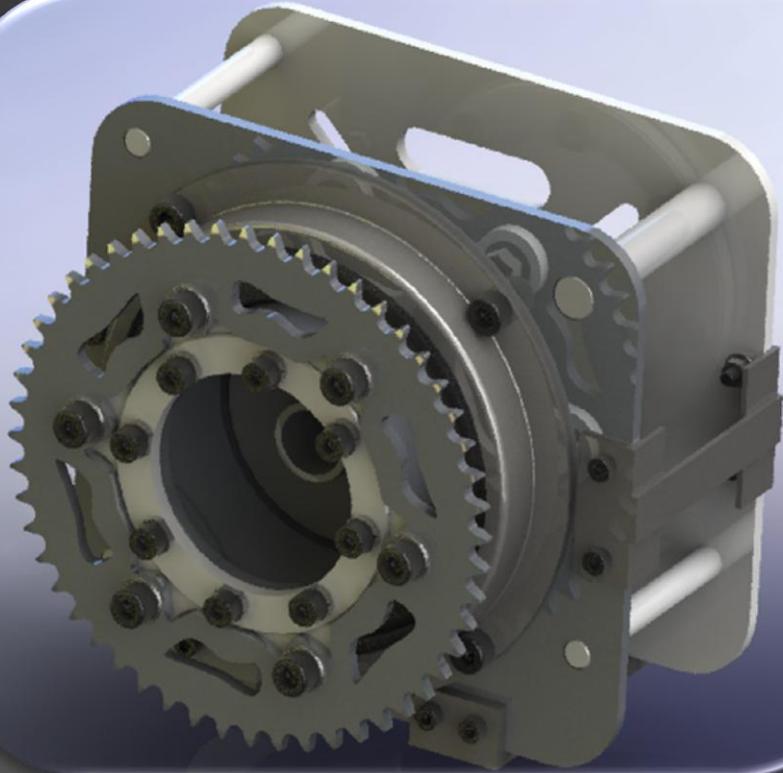
TUBO DE ALUMNIO DE 1/2



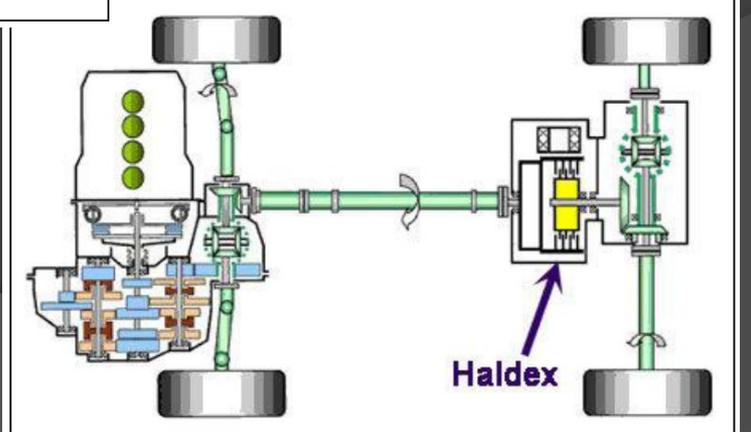
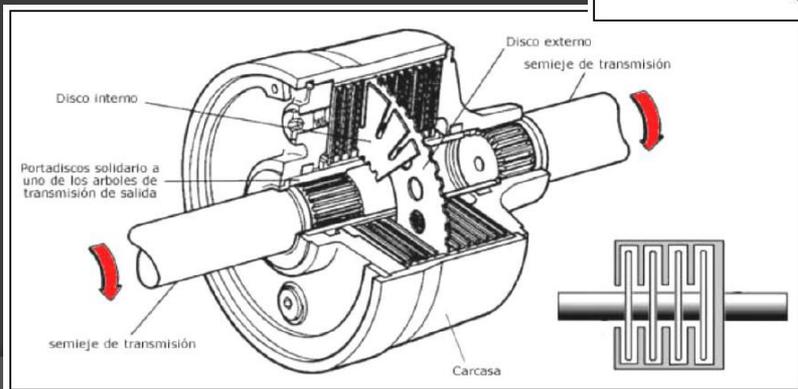
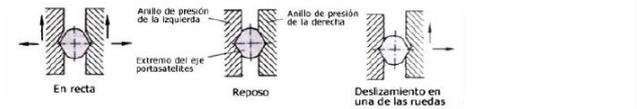
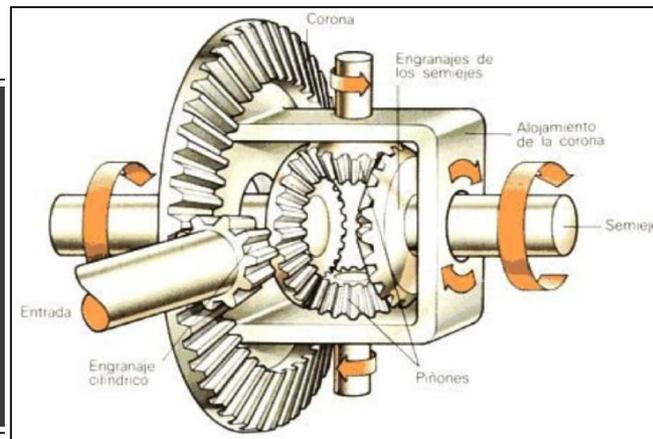
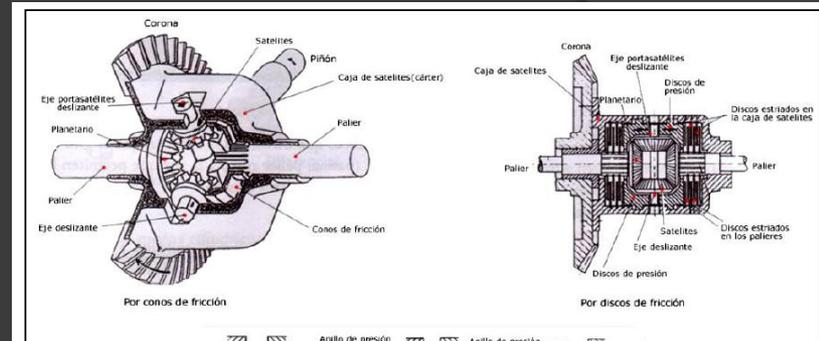
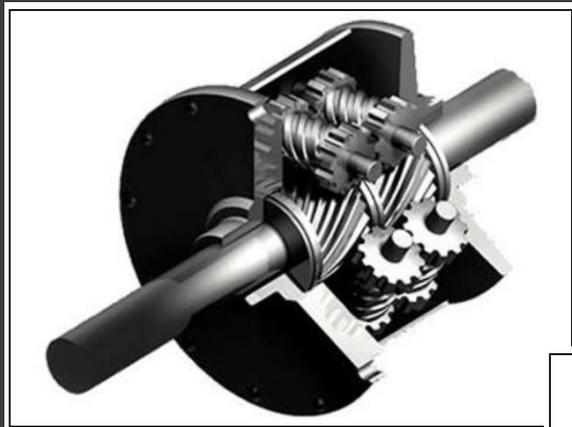
TAPA DE RODAMIENTO PEQUEÑO



SISTEMA DE TRANSMISIÓN COMPLETA



TIPOS DE DIFERENCIALES



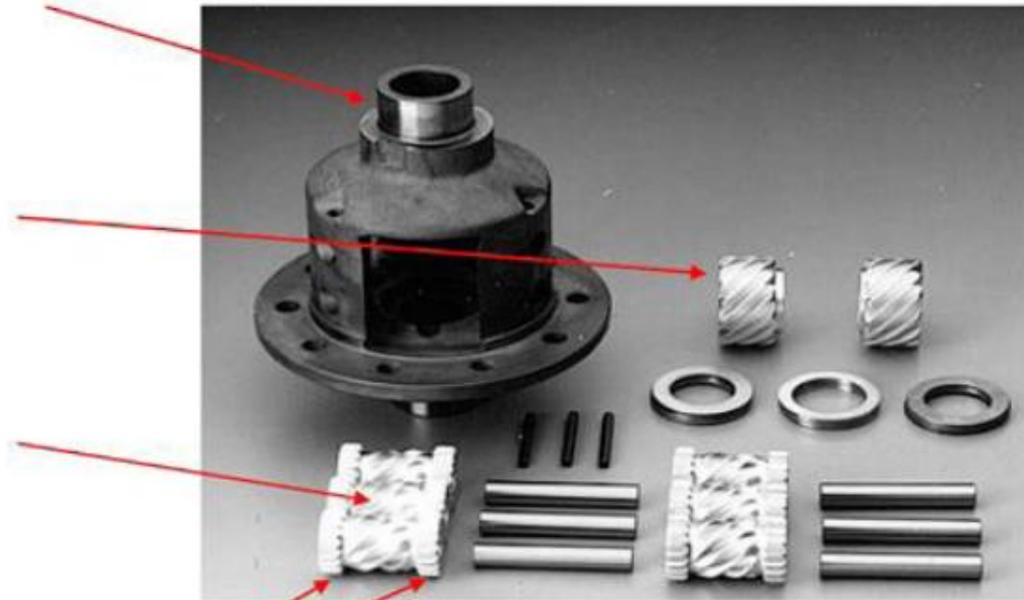
SLIP LIMIT O DIFERENCIAL TORSEN

Muñón lateral con alojamiento para rodamiento

Engranajes sin fin planetarios

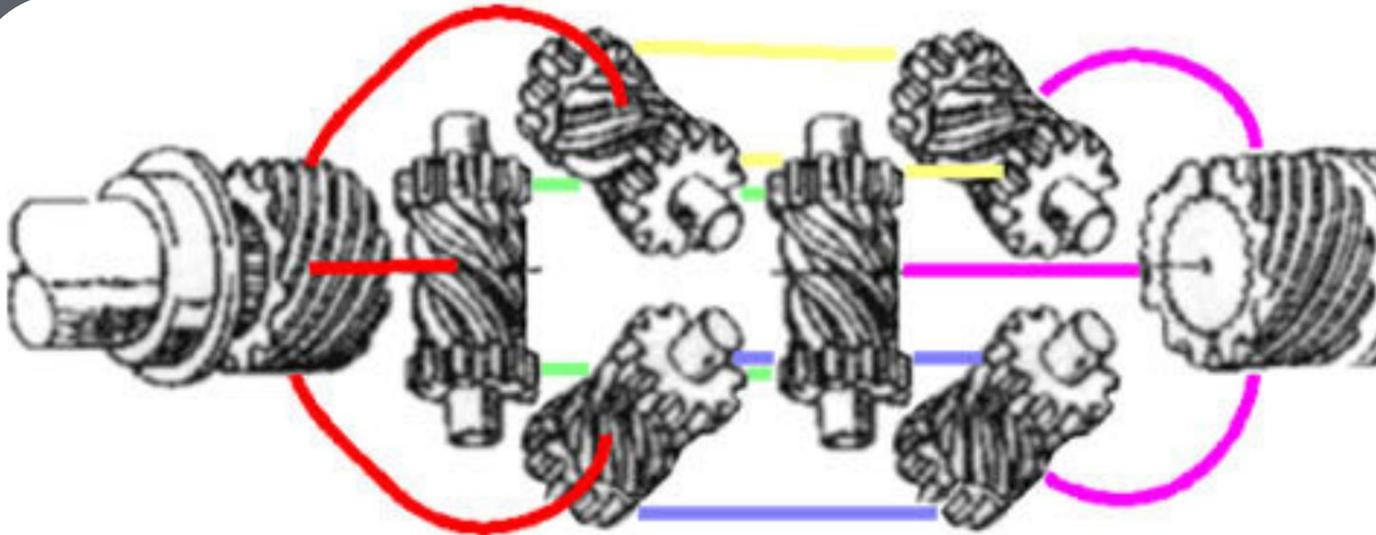
Engranajes sin fin satélites

Engranajes de combinación



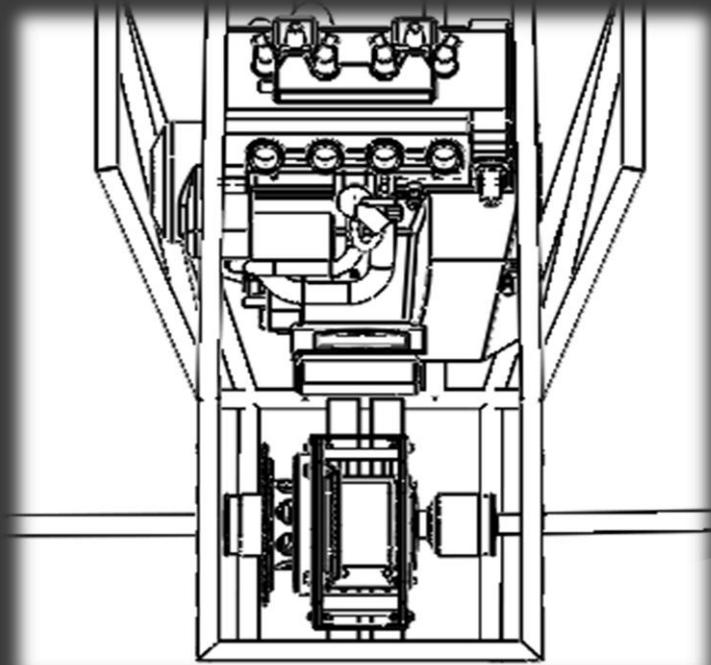
Componentes del diferencial Torsen

La característica de distribución asimétrica de par se logra por el par de rozamiento de una fuerza en un radio de fricción efectivo.

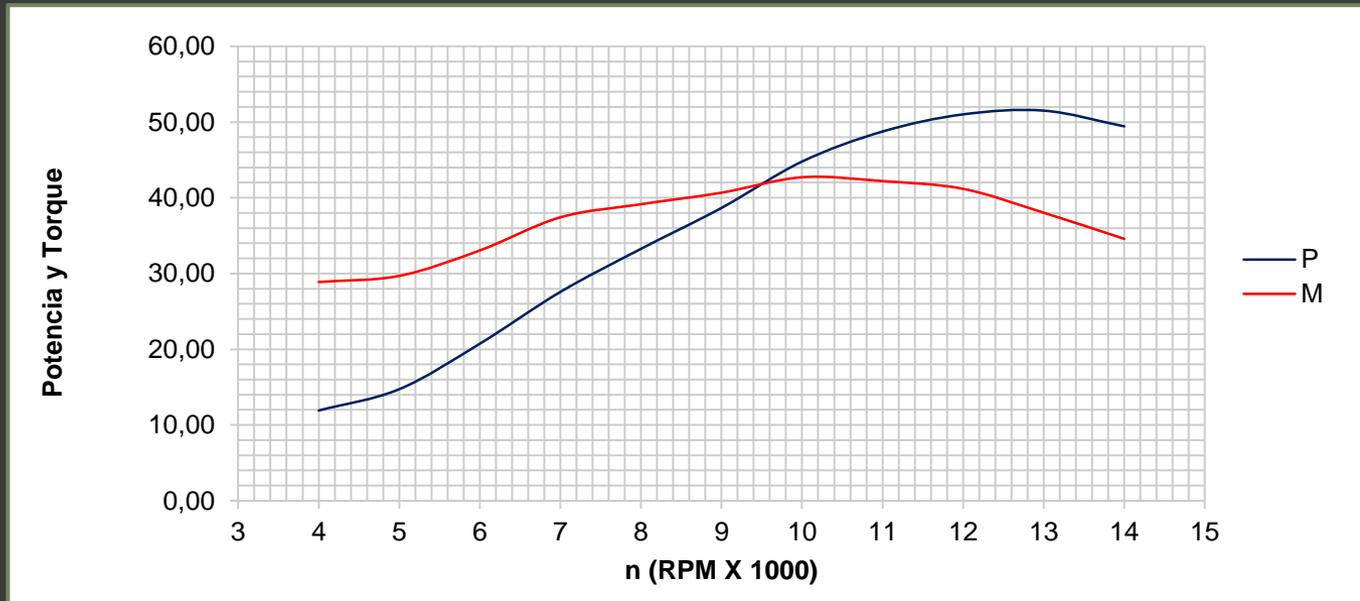


DISEÑO CINEMÁTICO

- Para el diseño de la transmisión se baso en las medidas y en el espacio que existe en la parte posterior del chasis para que no tenga ningún problema en la colocación de la caja de la transmisión y en la salida del escape.



CÁLCULOS



N	P, KW	M, N-m	P, Hp
4000	11,91	28,88	16,20
5000	14,73	29,69	20,03
6000	20,74	33,05	28,20
7000	27,57	37,42	37,50
8000	33,26	39,15	45,23
9000	38,66	40,67	52,58
10000	44,78	42,71	60,90
11000	48,75	42,20	66,30
12000	51,01	41,18	69,38
13000	51,51	38,03	70,05
14000	49,43	34,58	67,23

Datos

Cx	0,4
P	1,225
F	1
Ga	3626

Eficiencia de la transmisión y relación de marchas

Kpd	0,891	Reducción n Primaria
rk	0,250	1,822
i1	5,162	
i2	3,757	
i3	3,001	
i4	2,589	
i5	2,318	
i6	2,137	
i0	3,250	

Fuerza en la rueda en primera marcha

n	1	
	v	PK
4000	22,5	1726,7
5000	28,1	1775,1
6000	33,7	1976,0
7000	39,3	2237,3
8000	44,9	2340,7
9000	50,6	2431,6
10000	56,2	2553,6
11000	61,8	2523,1
12000	67,4	2462,1
13000	73,0	2273,7
14000	78,7	2067,5

Fuerza de resistencia aerodinámica, fuerza de resistencia por deformación de las ruedas, resistencia al movimiento del vehículo

V	PW	PF	PW+PF
10	1,89	50,97	52,86
20	7,56	51,58	59,14
30	17,01	52,59	69,61
40	30,25	54,01	84,26
50	47,26	55,84	103,10
60	68,06	58,07	126,13
70	92,63	60,71	153,34
80	120,99	63,76	184,75
90	153,13	67,21	220,34
100	189,04	71,07	260,11
110	228,74	75,33	304,08
120	272,22	80,00	352,23
130	319,48	85,08	404,56
140	370,52	90,56	461,09
150	425,35	96,45	521,80
160	483,95	102,75	586,70
170	546,33	109,45	655,78
180	612,50	116,55	729,05
190	682,45	124,07	806,51
200	756,17	131,99	888,16

FÓRMULAS PARA LOS CÁLCULOS

$$PK = \frac{M * i0 * i1 * Kpd}{rk}$$

$$PW = (Cx/2) * \rho * F * (V/3.6)^2$$

$$PF = Ga * (0.014 * (1 + (4 \times 10^{-5}) * V^2))$$

$$v = \frac{0.377 * n * rk}{i0 * i1}$$

Donde:

P_K = Fuerza en las ruedas (N)

P_W = Fuerza de resistencia aerodinámica

P_F = Fuerza de resistencia por deformación de las ruedas

M = Torque en el motor (Nm)

i_0 = Relación final de reducción de la caja de transmisión

K_{pd} = Coeficiente de eficiencia de la transmisión

r_k = Radio de la rueda (m)

V = Velocidad lineal asumida

v = Velocidad lineal calculada

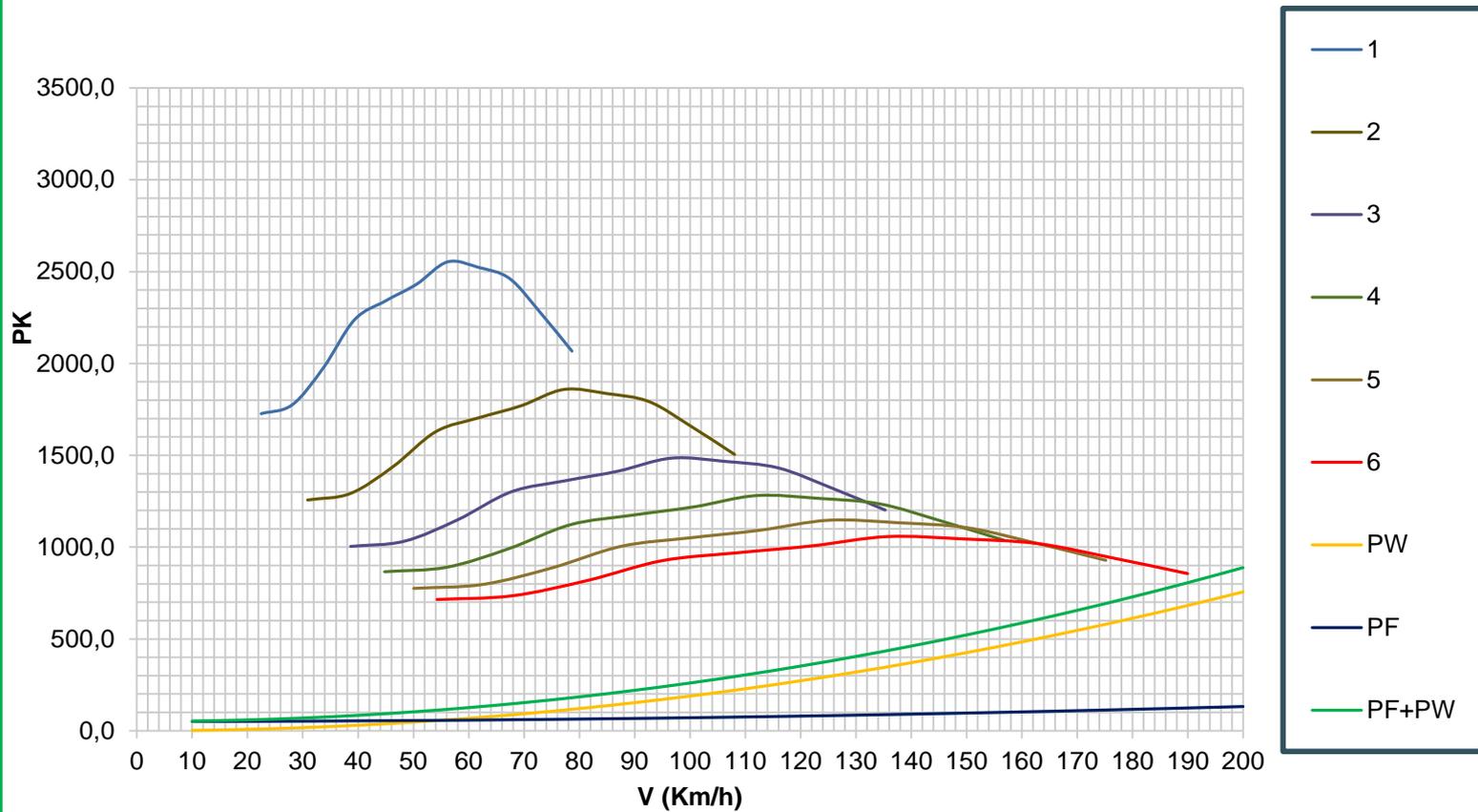
C_x = Coeficiente aerodinámico de resistencia

ρ = Constante densidad del aire

F = Área de proyección frontal

G_a = Masa del carro en aceleración de caída libre

n = Revoluciones por minuto



Entonces la fuerza máxima que va a tener en las ruedas es 2553,6 N o 574.07 lb.

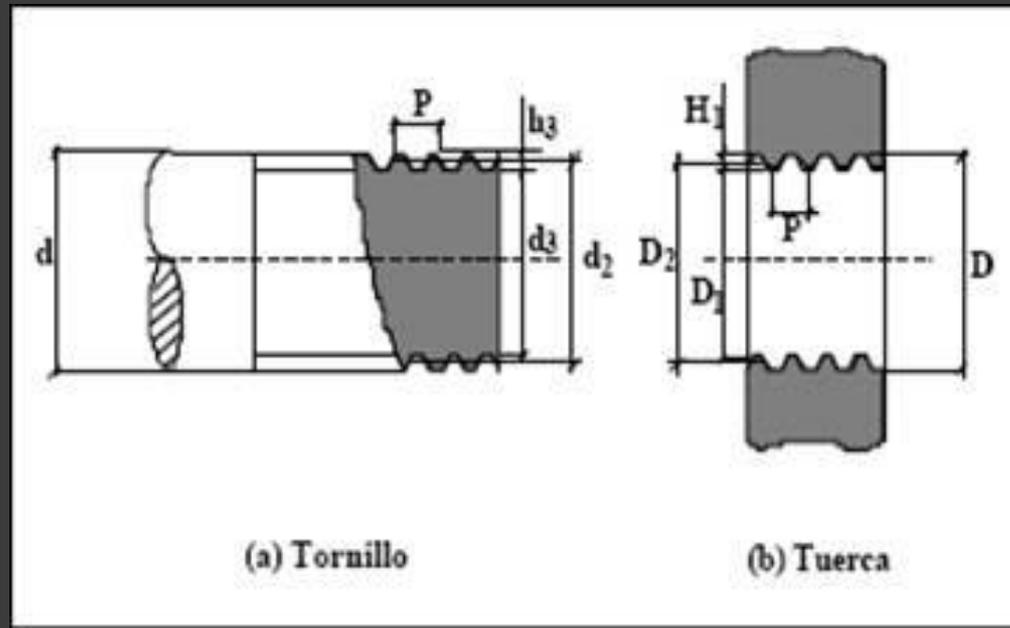
DISEÑO DE ROSCA

Fuerza en el perno (P) = 253,08 lb

El pernos que se va ah utilizar es M8 x 1,25 x 20 mm de grado 12.9.

Área de esfuerzo de tensión (A_t) = 36,6 mm² = 0,0567 pulg², (ver Anexo A)

Resistencia de prueba (MPa) = 970 MPa = 140686,6 psi. = 140,6866 Ksi



PROPIEDADES TÍPICAS DEL ALUMINIO

Con aleación y templado	Resistencia a la tracción		Resistencia a punto cedente		Ductibilidad (elongación porcentual en 2 pulg)	Resistencia al corte		Resistencia por durabilidad	
	Ksi	MPa	Ksi	MPa		Ksi	MPa	Ksi	MPa
1060-O	10	69	4	28	43	7	48	3	21
1060-H14	14	97	11	76	12	9	62	5	34
1060-H18	19	131	18	124	6	11	121	6	41
1350-O	12	83	4	28	28	8	55	—	—
1350-H14	16	110	14	97	—	10	69	—	—
1350-H19	27	186	24	165	—	15	103	7	48
2014-O	27	186	14	97	18	18	124	13	90
2014-T4	62	427	42	290	20	38	262	20	138
2014-T6	70	483	60	414	13	42	290	18	124
2024-O	27	186	11	76	22	18	124	13	90
2024-T4	68	469	47	324	19	41	283	20	138
2024-T361	72	496	57	393	12	42	290	18	124
2219-O	25	172	11	76	18	—	—	—	—
2219-T62	60	414	42	290	10	—	—	15	103
2219-T87	69	476	57	393	10	—	—	15	103
3003-O	16	110	6	41	40	11	121	7	48
3003-H14	22	152	21	145	16	14	97	9	62
3003-H18	29	200	27	186	10	16	110	10	69
5052-O	28	193	13	90	30	18	124	16	110
5052-H34	38	262	31	214	14	21	145	18	124
5052-H38	42	290	37	255	8	24	165	20	138
6061-O	18	124	8	55	30	12	83	9	62
6061-T4	35	241	21	145	25	24	165	14	97
6061-T6	45	310	40	276	17	30	207	14	97
6063-O	13	90	7	48	—	10	69	8	55
6063-T4	25	172	13	90	22	—	—	—	—
6063-T6	35	241	31	214	12	22	152	10	69
7001-O	37	255	22	152	14	—	—	—	—
7001-T6	98	676	91	627	9	—	—	22	152
7075-O	22	228	15	103	16	22	152	—	—
7075-T6	83	572	73	503	11	48	331	23	159

Nota: propiedades comunes

Densidad: 0.095 a 0.102 lb/pulg³ (2635–2829 Kg/m³)

Módulo de elasticidad: 10 a 10.6 × 10⁶ psi (69-73 GPa).

Resistencia por durabilidad a 5 × 10⁸ ciclos

Grados métricos de aceros para pernos

Grado	Tamaño del perno	Resistencia a la tensión (MPa)	Resistencia de fluencia (MPa)	Resistencia de prueba (MPa)
4.6	M5-M36	400	240	225
4.8	M1.6-M16	420	340 ^a	310
5.8	M5-M24	520	415 ^a	380
8.8	M17-M36	830	660	600
9.8	M1.6-M16	900	720 ^a	650
10.9	M6-M36	1040	840	820
12.9	M1.6-M36	1220	1100	970

^aLas resistencias de fluencia son aproximadas, y no se incluyen en la norma.

Dimensiones de roscas de tornillos métricas

Diámetro mayor básico, D (mm)	Roscas gruesas		Roscas finas	
	Paso (mm)	Área en esfuerzo de tensión (mm ²)	Paso (mm)	Área en esfuerzo de tensión (mm ²)
1	0.25	0.460		
1.6	0.35	1.27	0.20	1.57
2	0.4	2.07	0.25	2.45
2.5	0.45	3.39	0.35	3.70
3	0.5	5.03	0.35	5.61
4	0.7	8.78	0.5	9.79
5	0.8	14.2	0.5	16.1
6	1	20.1	0.75	22.0
8	1.25	36.6	1	39.2
10	1.5	58.0	1.25	61.2
12	1.75	84.3	1.25	92.1
16	2	157	1.5	167
20	2.5	245	1.5	272
24	3	353	2	384
30	3.5	561	2	621
36	4	817	3	865
42	4.5	1121		
48	5	1473		

$$L_e = \frac{S_{utB} (2A_{tB})}{S_{utN} \pi OD_{Bmin} [0,5 + 0,57735 n (OD_{Bmin} - PD_{Nmáx})]}$$

Donde:

S_{utB} = resistencia última de tensión, del material del perno

S_{utB} = 1120 MPa = 176946 psi, (ver Anexo A)

S_{utN} = resistencia última de tensión, del material de la tuerca

S_{utN} = 572 MPa = 83000 psi, (ver Anexo A)

OD_{Bmin} = diámetro exterior mínimo de las roscas del perno

OD_{Bmin} = 6,65 mm = 0,2616 pulg

$PD_{Nmáx}$ = diámetro de paso máximo de las roscas de la tuerca

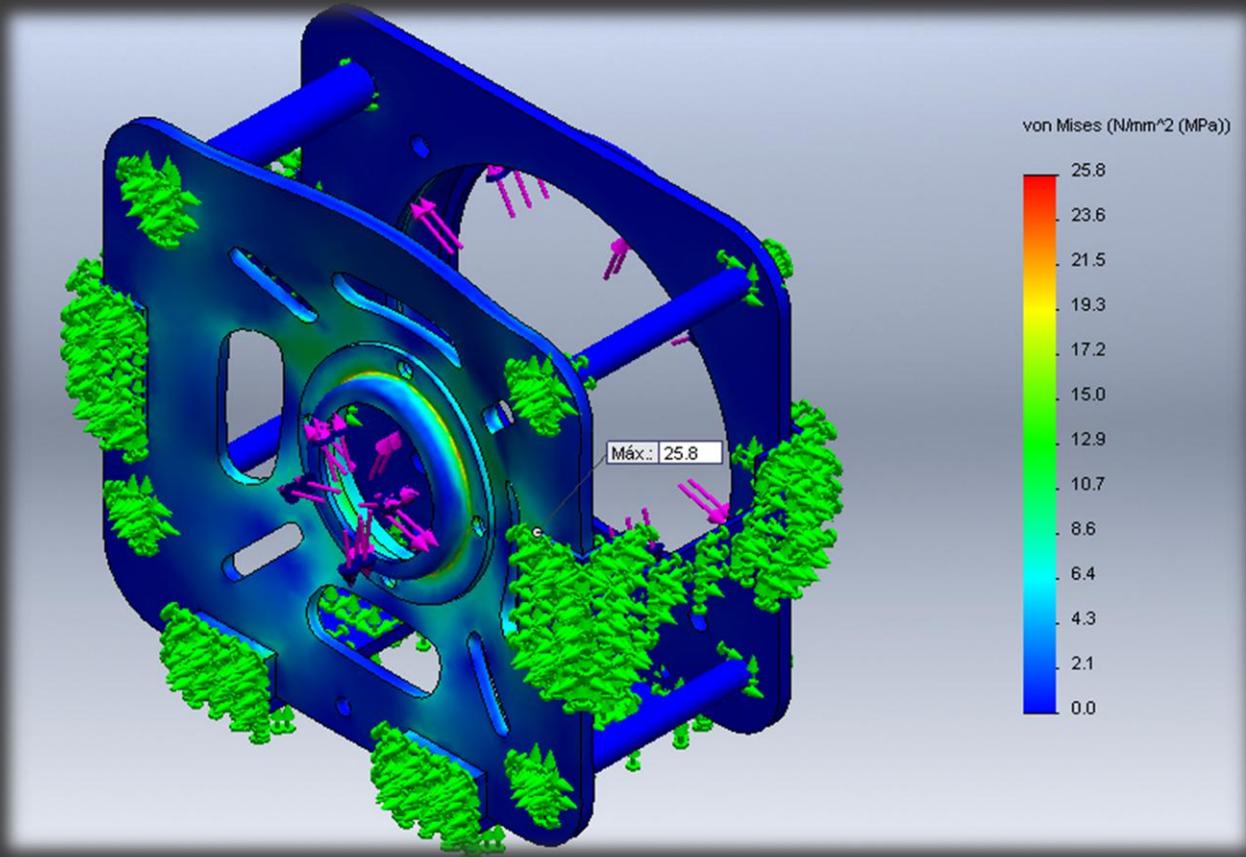
$PD_{Nmáx}$ = 7,35 mm = 0,2893 pulg

A_{tB} = área del perno para esfuerzo de tensión

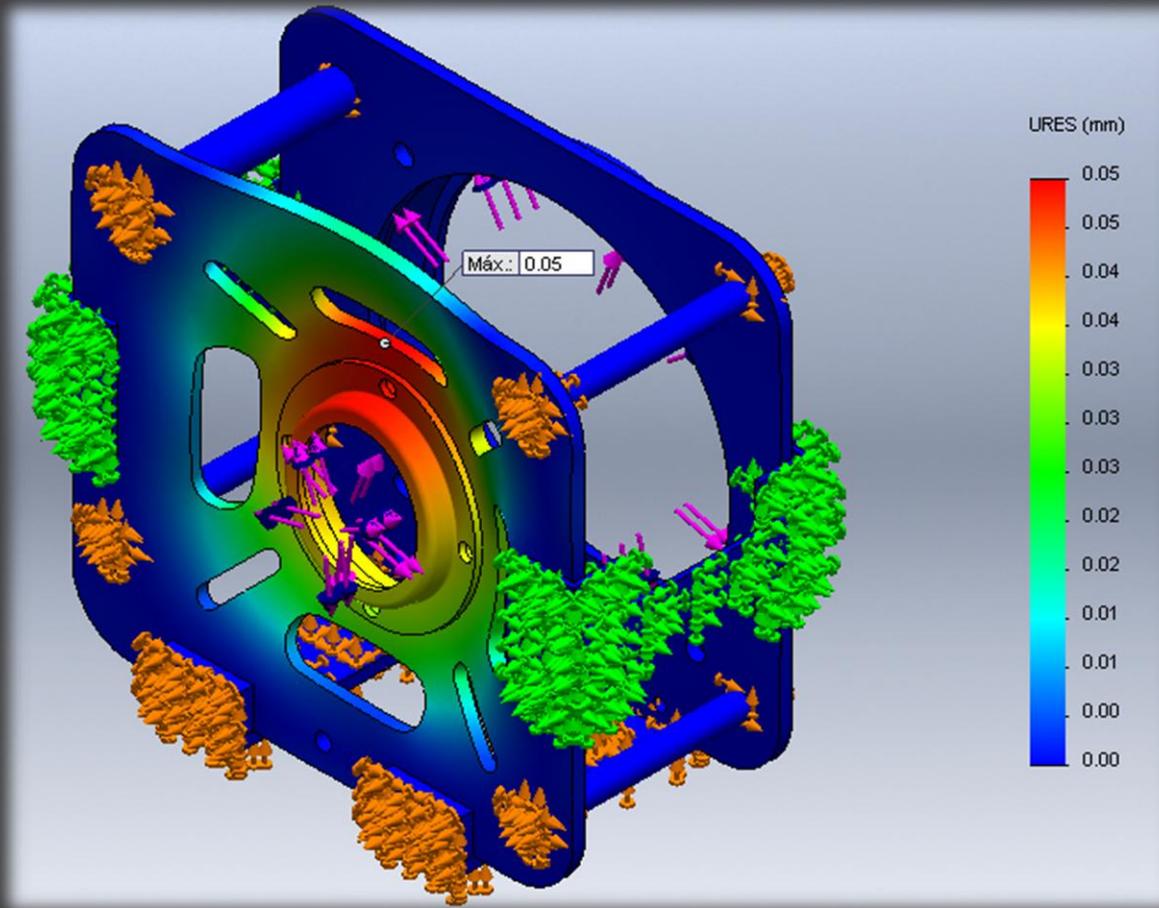
n = número de roscas

DISEÑO DINÁMICO

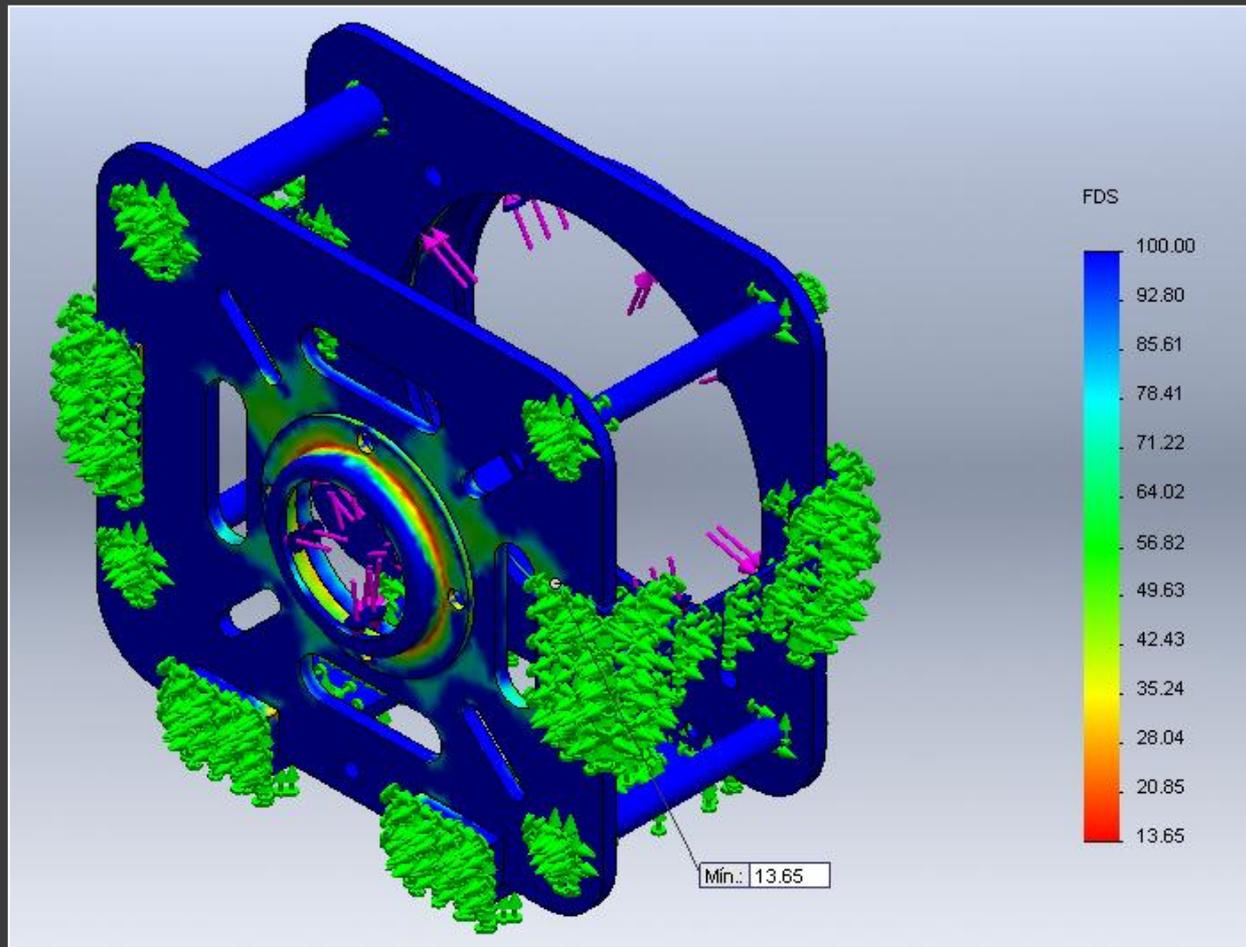
- ⦿ Datos utilizados para la simulación:
 - Materiales: Acero AISI 1020, $S_y = 351.57$ MPa
Aluminio 7075 - T6 (SN), $S_y = 505$ MPa
Aluminio Aleación 2024, $S_y = 75.83$ MPa.
 - Fuerza en las Ruedas: 574.07 lb
 - Fuerza en el rodamientos grande: 386.02 lb
 - Fuerza en el rodamiento pequeño: 389.19 lb



ANALISIS DE TENSION DE VON MISES (25.8 MPa)

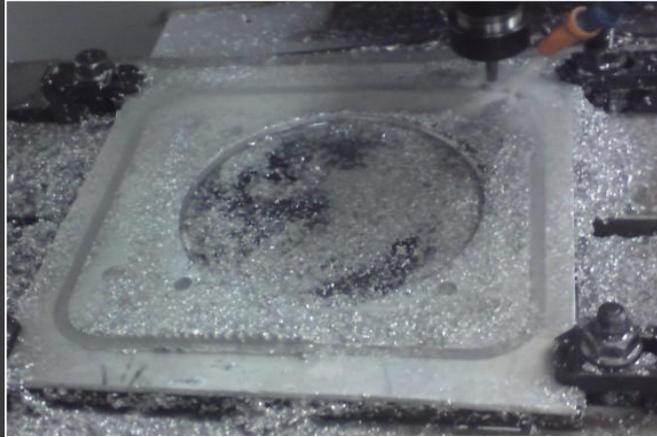


ANÁLISIS DE DESPLAZAMIENTO ESTÁTICO (0.05mm.)

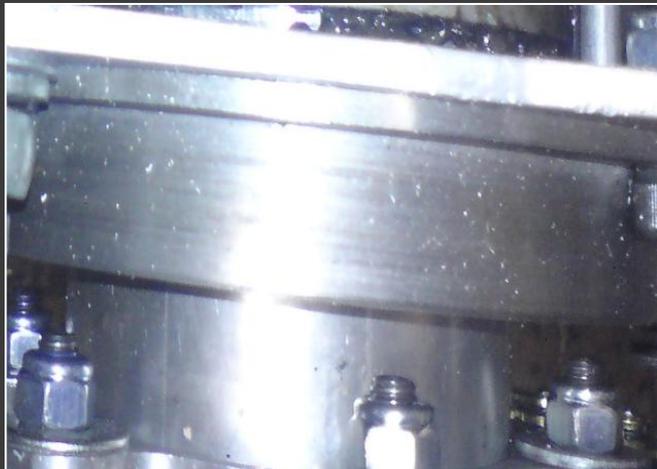


ANÁLISIS DEL FACTOR DE SEGURIDAD (13.65)

FABRICACIÓN DE PIEZAS

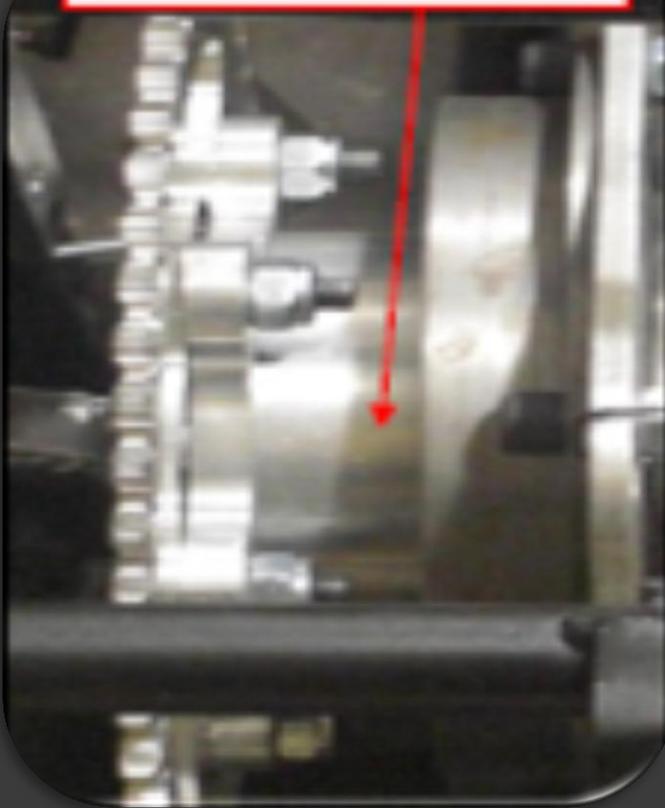


Tapas de rodamientos grande y pequeña

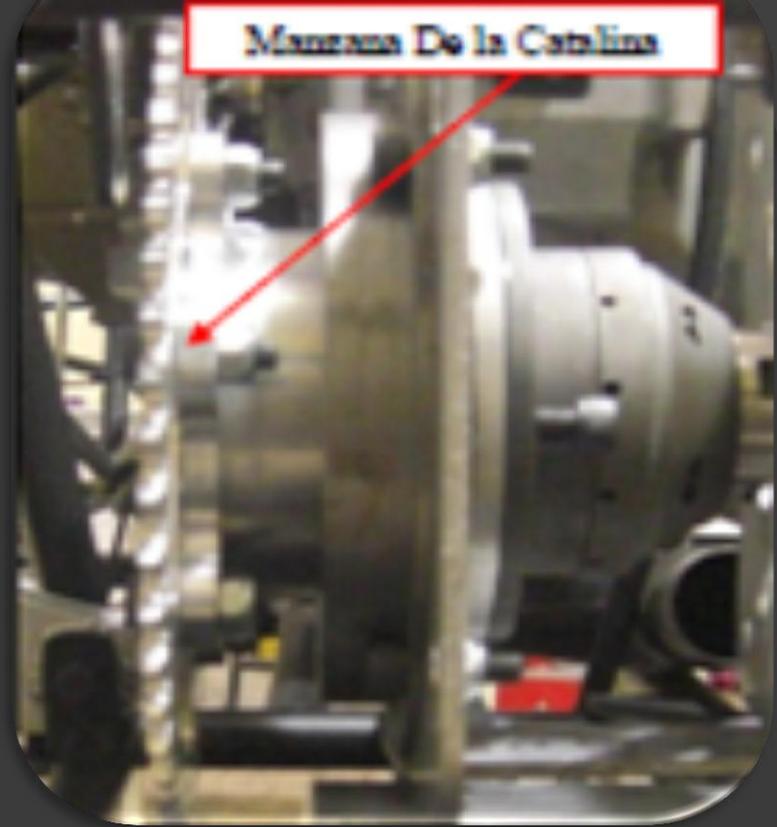


Chumacera grande y pequeña

Manzana Del Diferencial



Manzana De la Catalina



Manzana del diferencial y manzana de la catalina

ENSAMBLAJE DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN



PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO



Prueba 1



Prueba 2



Prueba 3



Prueba 4



AUTOMOTRIZ ESPE



- Audi
- Autodesk
- BMW GROUP
- Bosch Engineering
- BOSCH**
Invented for life
- Brunel
- Continental
- DAIMLER
- DEKRA
- ETAS
- HARTING
- iau
Automotive Engineering
- MAHLE
- MAN
- SIEMENS
- SKF
- Tagnum
KING OF POWER BRANDS
- VW
- ZF

	PIT 22	UAS Dortmund
	CAR 36	Germany
	PIT 23	UAS Deggendorf
	CAR 78	Germany
	PIT 24	Army Polytechnic Institute
	CAR 99	Latacunga - Ecuador



CONCLUSIONES

- ⦿ Se pudo concluir que mediante el software SolidWorks se logro hacer la simulación del sistema de transmisión en condiciones reales, por lo tanto se pudo mejorar algunos puntos críticos de la misma.
- ⦿ Se debe tomar en cuenta las limitaciones que nuestro país tiene con respecto al diseño, ya que al necesitar cierto tipo de piezas o aditamentos no se los puede encontrar con facilidad y se ve la necesidad de importar de otros países.
- ⦿ Se concluye que el colapso de la rotura de las roscas de la manzana del diferencial es por una causa simple, al momento de armar la manzana de la catalina con la manzana del diferencial no se utilizo arandelas de presión junto con los pernos que sujetaban dichas piezas ya citadas anteriormente, por lo cual no había una buena sujeción de la rosca del perno contra la rosca de la manzana del diferencial, el motivo del desgaste es que el perno es acerado y la rosca de la manzana del diferencial era de aluminio, la vibración hace que el material más duro desgaste al material más suave, por lo tanto eh ahí la causa del colapso de las piezas ya mencionadas.

RECOMENDACIONES

- ⦿ Se recomienda la utilización de arandelas de presión al momento de armar la manzana de la catalina contra la manzana del diferencial para que no haya vibración y no se desprenda la rosca, además se debe poner loctite en las roscas para que no haya juego entre roscas.
- ⦿ Para un mejor funcionamiento de la cadena y del diferencial se recomienda utilizar una grasa líquida de litio en spray.
- ⦿ Los sistemas de fijación del eje como las chumaceras y demás elementos de rodadura se deben mantener lubricados para su óptimo funcionamiento.
- ⦿ Como una acotación principal, al momento de diseñar las diferentes partes del sistema de transmisión se debe tomar todos los aspectos de diseño y el lugar donde tiene que desenvolverse las diferentes partes del sistema de transmisión.

GRACIAS POR LA ATENCIÓN PRESTADA

