

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN MECÁNICA
Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN**

**MCTG-1015
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE MAQUINAS**

**PROYECTO #1
SIMULACIÓN DINÁMICA**

**Autores:
André Alberto Apolo Aguirre**

**Fecha de entrega:
11 de diciembre de 2022**



PROYECTO #1

SIMULACIÓN DINÁMICA

Objetivos

- Analizar un mecanismo utilizando la herramienta de simulación dinámica en Inventor.
- Analizar un componente del mecanismo con FEA para determinar si falla por fatiga.
- Proponer una fuente de potencia viable para mover el mecanismo.

PARTE 1: Introducción

- Descripción del mecanismo que se va a analizar:

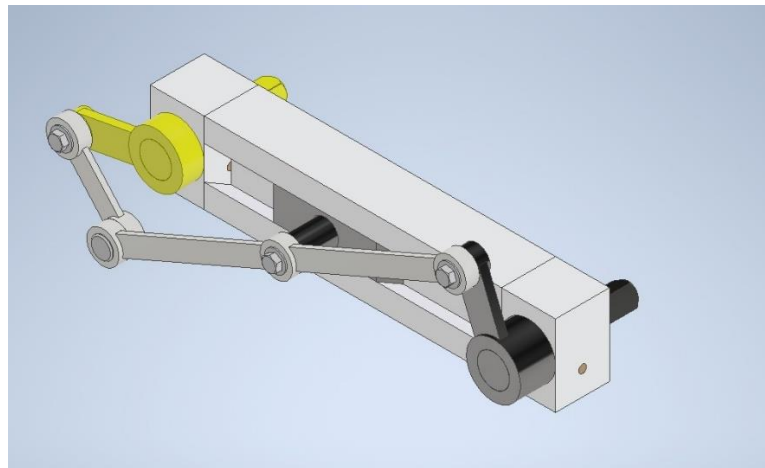


Ilustración 1. Vista isométrica del sistema. Elaborado en el software Inventor

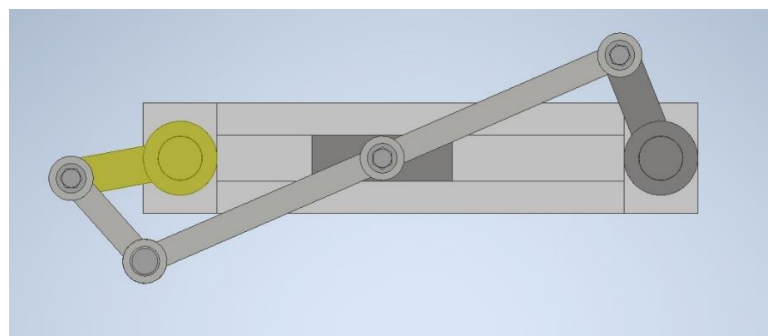


Ilustración 2. Vista frontal del sistema. Elaborado en el software Inventor

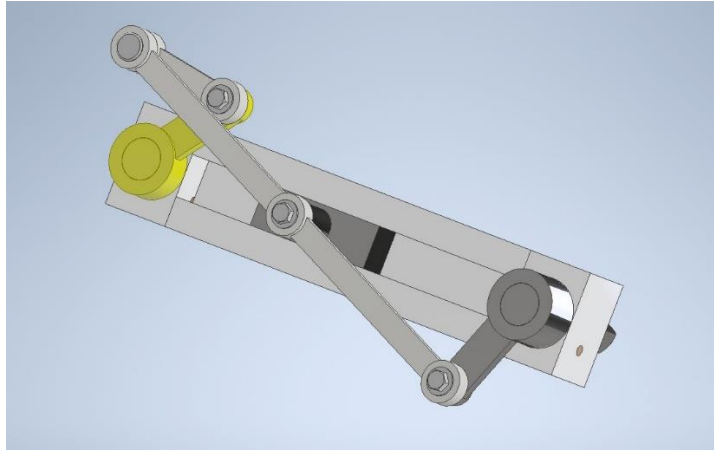


Ilustración 3. Sistema de 6 barras elaborado en el software Inventor.

El mecanismo que se analizó en el proyecto fue un mecanismo conocido como six link reverser, este tipo de mecanismos permite transformar movimiento rotatorio constante en un movimiento lineal, sin embargo, esta es una modificación con la cual se transforma el movimiento rotatorio uniforme en movimiento rotatorio no uniforme. Este tipo de mecanismo posee muchas ventajas como sistema de desplazamiento avanzado, solventando algunas limitaciones. Puede subir bordillos, escaleras, o desplazarse en zonas que no son accesibles para vehículos con ruedas normales.

Normalmente esos nuevos modelos o prototipos son usados en vehículos auto pilotados de reconocimiento para terrenos hostiles



Este tipo de mecanismos normalmente se encuentran elaborados de materiales ligeros pero resistentes. En el caso del proyecto se simuló al mecanismo con el material acero al carbón.

La carga externa a la que estaría sometido el mecanismo sería además de la gravedad, el peso del mismo vehículo

Fuente: <https://prezi.com/nzni-abr6dlr/mecanismos-de-6-barras/>

- Capturas del ensamble y sus restricciones (*constraints*).

El mecanismo se encuentra conformado por dos manivelas que se encuentran unidos por una corredera en común. Dicha corredera interconecta ambos extremos mediante un eslabón largo, luego en el extremo opuesto al de la entrada de movimiento se coloca un eslabón corto antes de unirlo a la segunda manivela.

El mecanismo cuenta con varias restricciones. En primer lugar, se tienen 3 restricciones de tipo flush para fijar la distancia y alineación en los 3 ejes entre ambos extremos del mecanismo. Además, se tienen varias restricciones de tipo insert para cada una de las uniones entre los eslabones. Finalmente se tienen dos restricciones de tipo mate, dos para colocar la corredera con el “pasador” y una para alinear la segunda manivela.

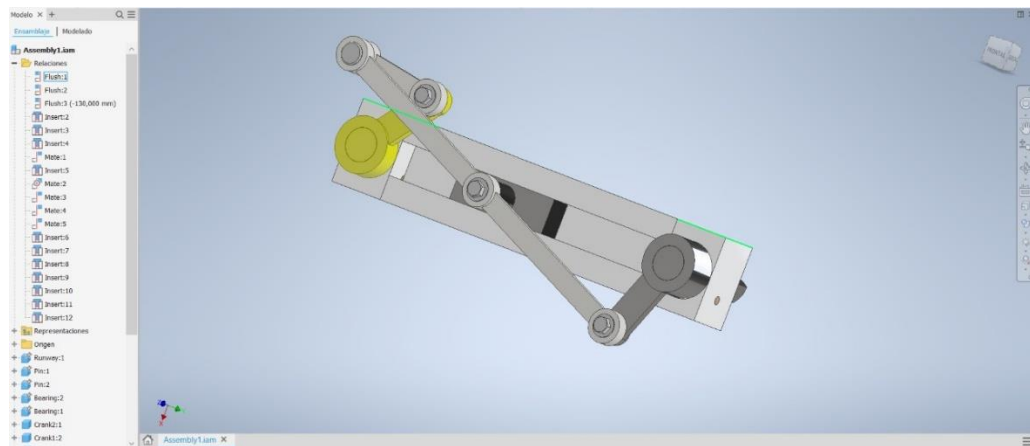


Ilustración 4 Restricción fija tipo flush para extremos del mecanismo (x)

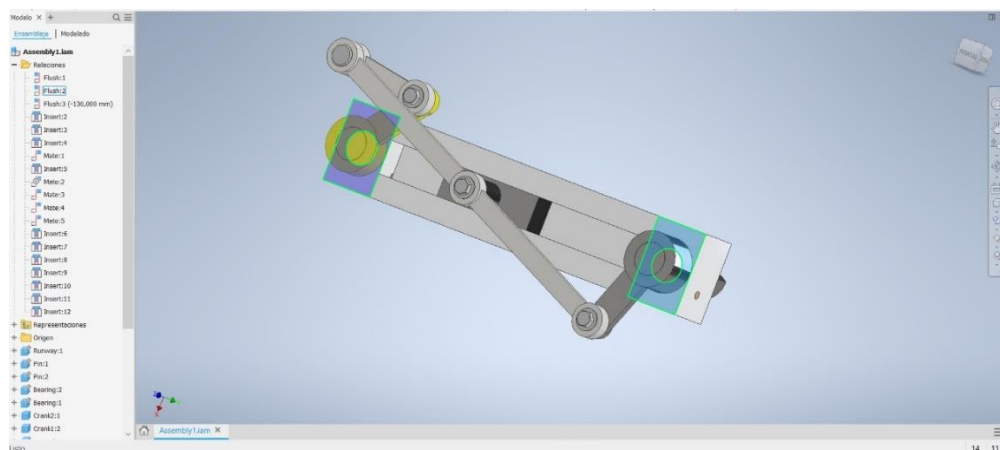


Ilustración 5 Restricción fija tipo flush para extremos del mecanismo (z)

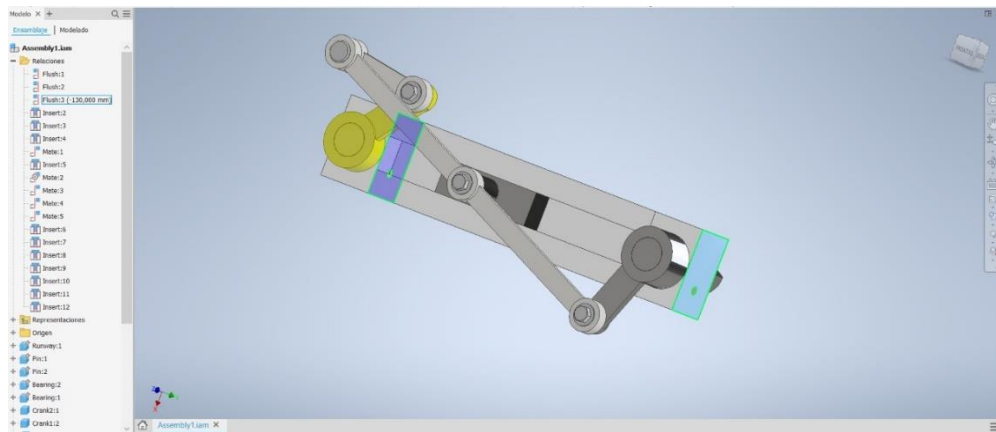


Ilustración 6 Restricción fija tipo flush para los extremos del mecanismo (z)

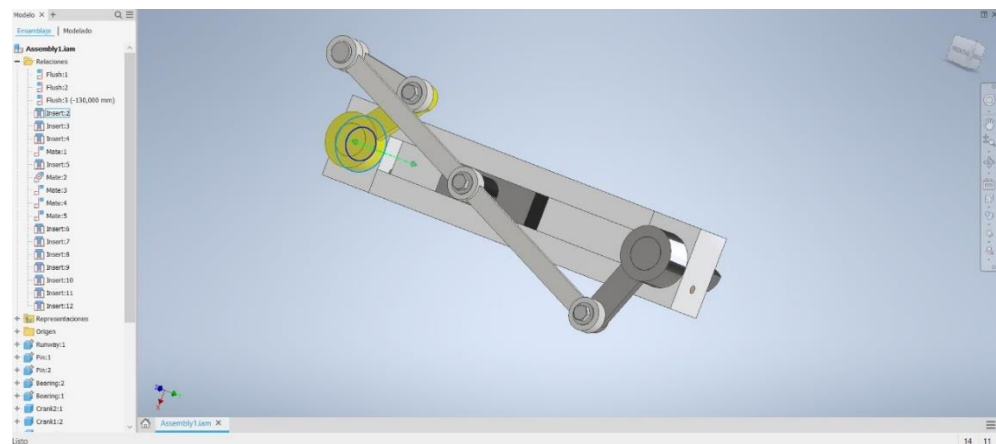


Ilustración 7 Restricción tipo insert para la segunda manivela

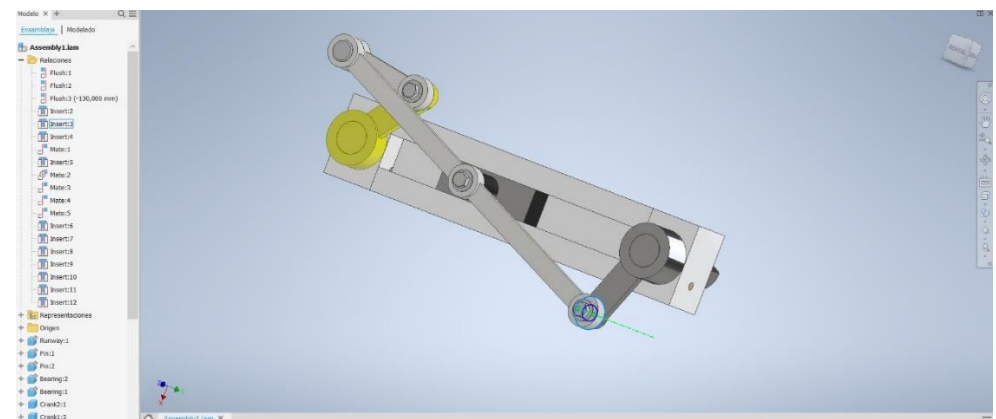


Ilustración 8 Restricción tipo insert para unión de eslabón 1

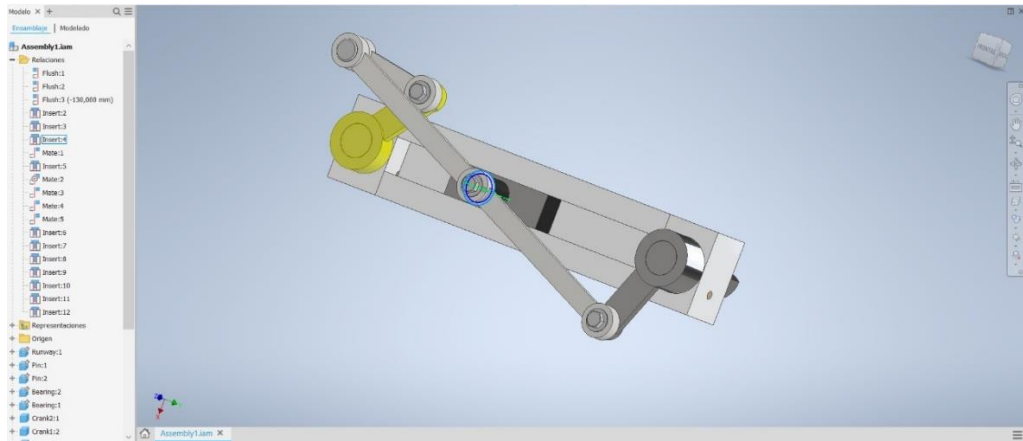


Ilustración 9 Restricción tipo insert para unión de corredera

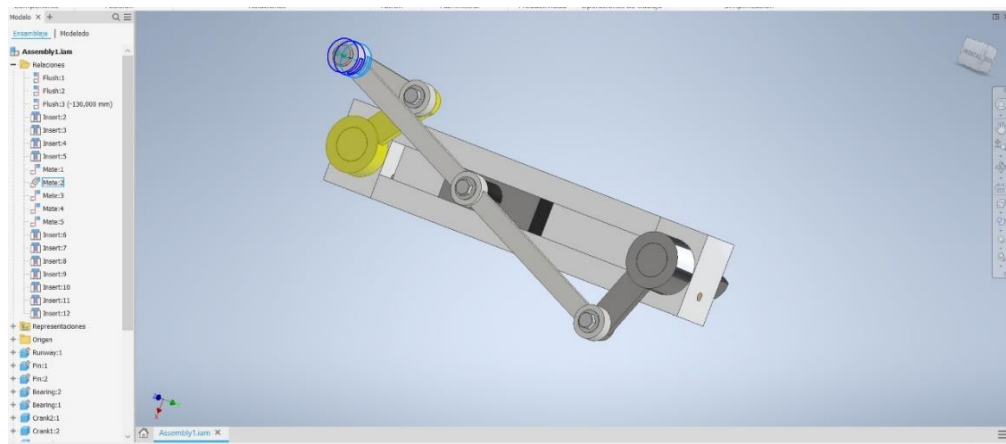


Ilustración 10 Restricción tipo insert para eslabón 2

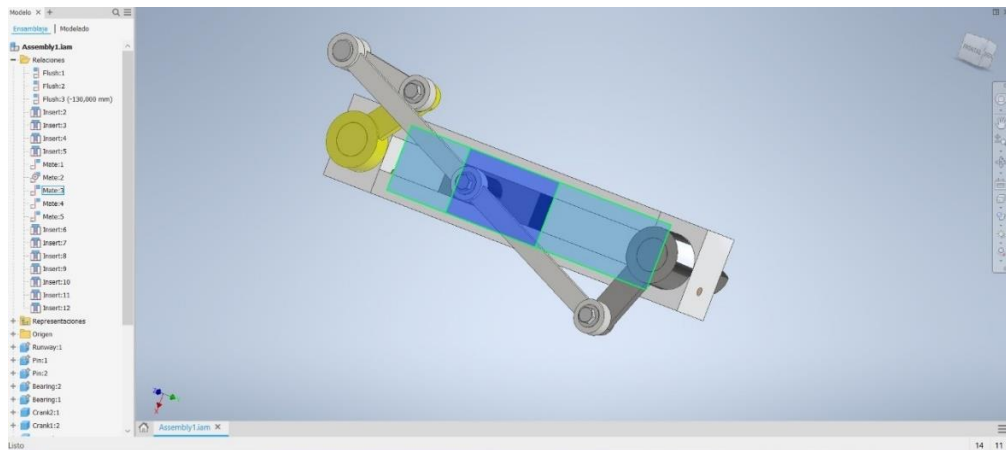


Ilustración 11 Restricción tipo mate para la corredera

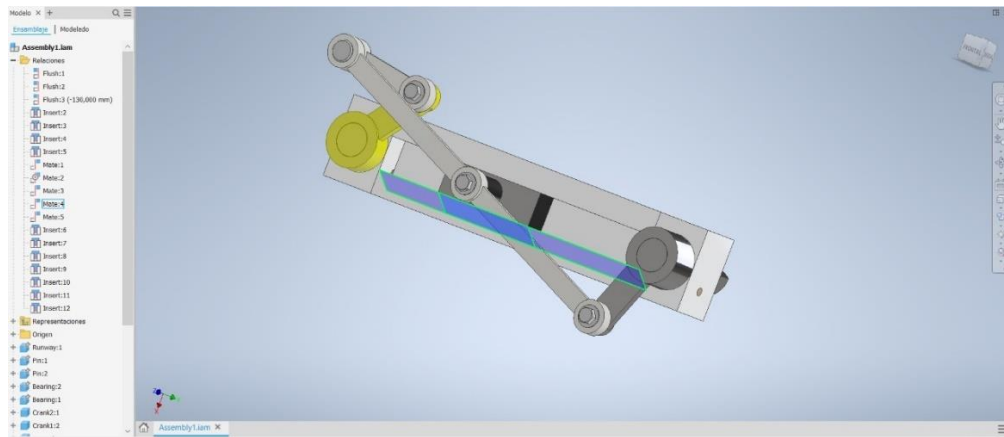


Ilustración 12 Restricción tipo mate para la corredera (x)

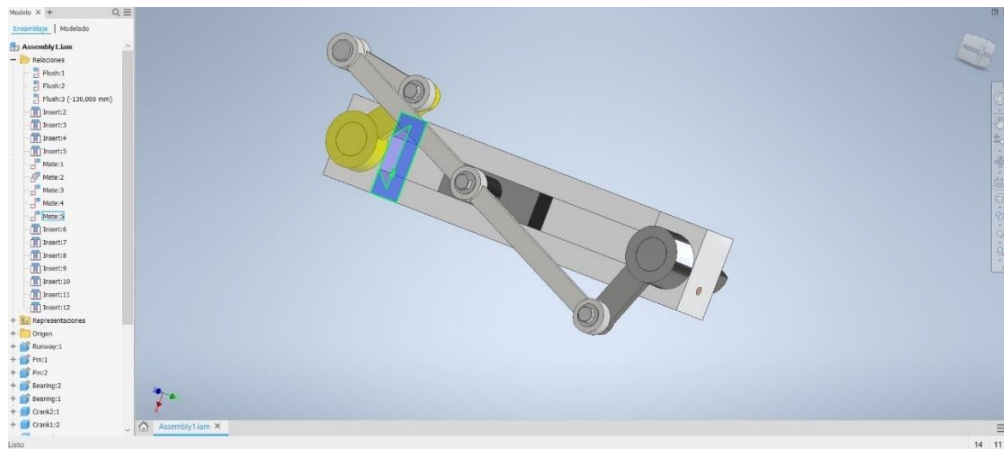


Ilustración 13 Restricción tipo mate para el extremo

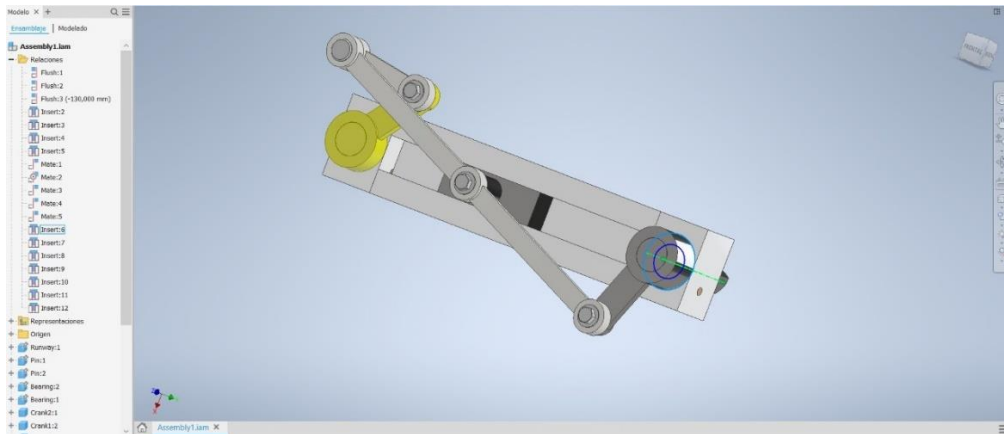


Ilustración 14 Restricción tipo insert para la manivela 1

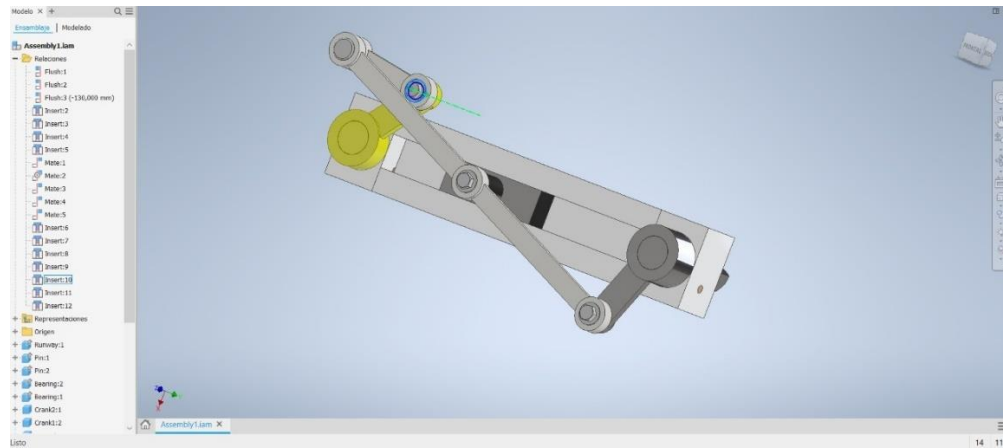


Ilustración 15 Restricción tipo insert para eslabón 3

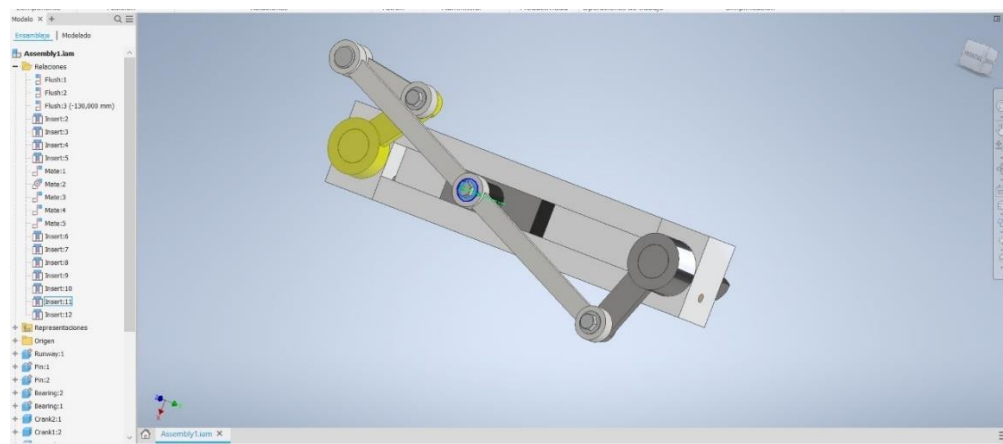


Ilustración 16 Restricción tipo insert para perno central

- Video de la simulación.

<https://youtu.be/ppGGWB0bf1Y>

- Captura del listado de piezas del ensamble indicando cuáles son fijas y cuáles móviles, así como las articulaciones (*joints*) generadas.

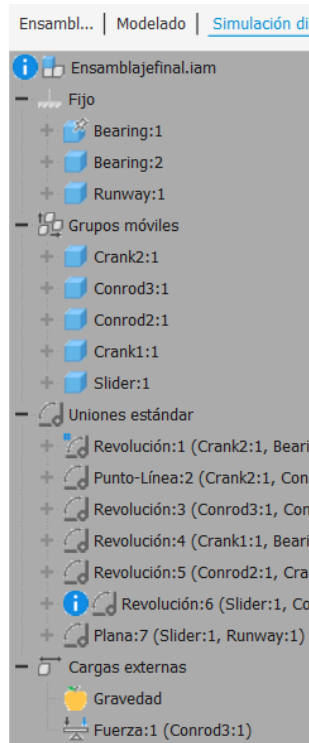


Ilustración 17 Listado de piezas de ensamble y sus joints

- Curva de velocidad de movimiento impuesto:

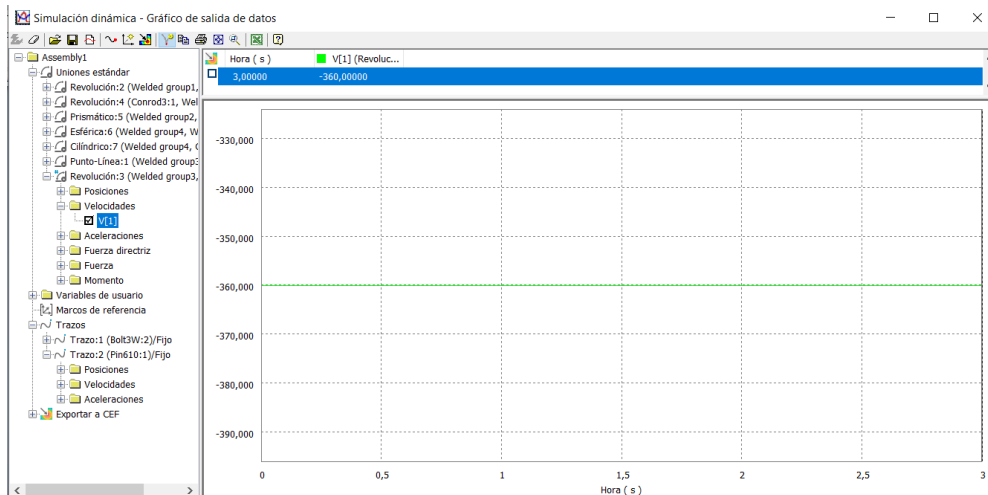


Ilustración 18 Curva de velocidad del movimiento impuesto

El movimiento impuesto al mecanismo es una velocidad de entrada constante de -360 gr/s o lo que es lo mismo -60rpm. Esto es una entrada de un motorreductor, esta velocidad “baja”, es necesaria ya que el tipo de vehículos tienen una función de movilidad y estabilidad en terrenos, mas no de velocidad.

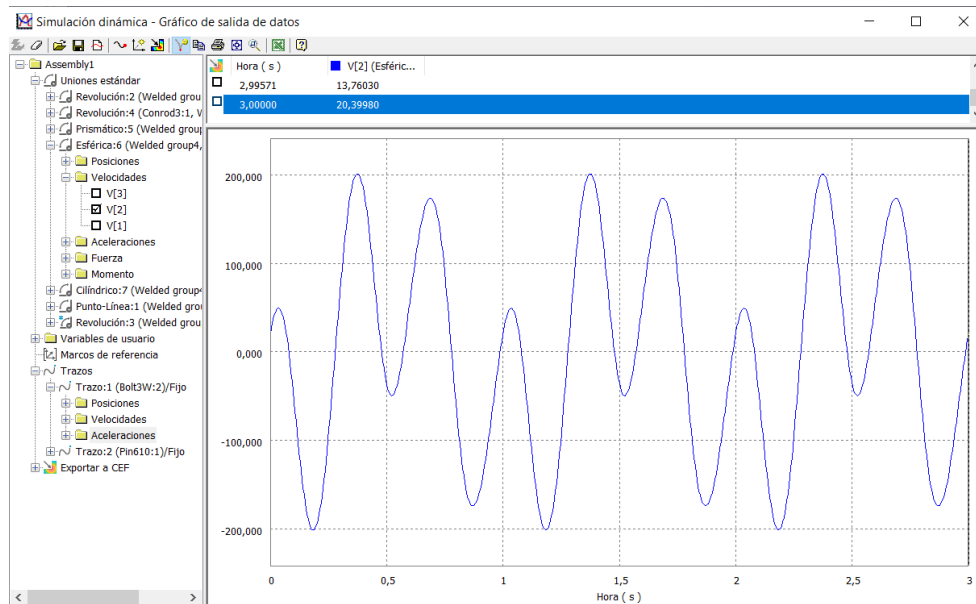


Ilustración 19 Movimiento salida

En cuanto al movimiento de salida podemos ver como se tiene un máximo de 200gr/s y un mínimo de -200gr/s, sin embargo, aunque la velocidad es periódica, no sigue un patrón constante entre sus variaciones, esto es debido al tipo de movimiento que se busca transmitir.

- Detalle de las cargas externas aplicadas.

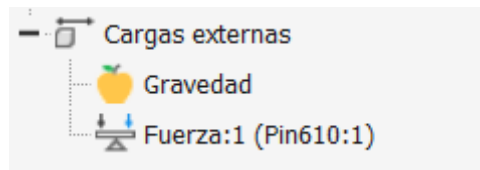


Ilustración 20 Cargas externas aplicadas al mecanismo

Las cargas externas que se muestran en la ilustración corresponden a el valor de la gravedad y a la fuerza aplicada por el peso del mismo vehículo no tripulado. Siendo este de unos 15kg debido al tipo de uso, debe ser considerablemente ligero.

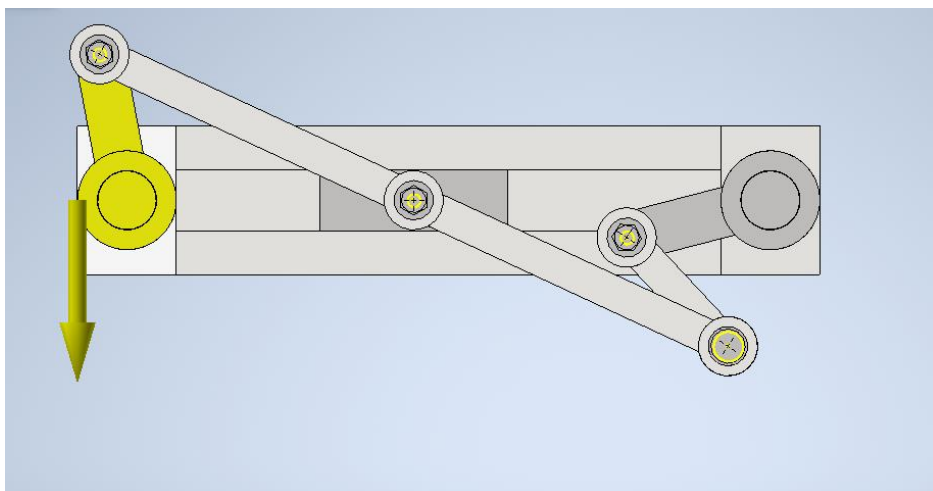


Ilustración 21 Asignación de la fuerza de gravedad

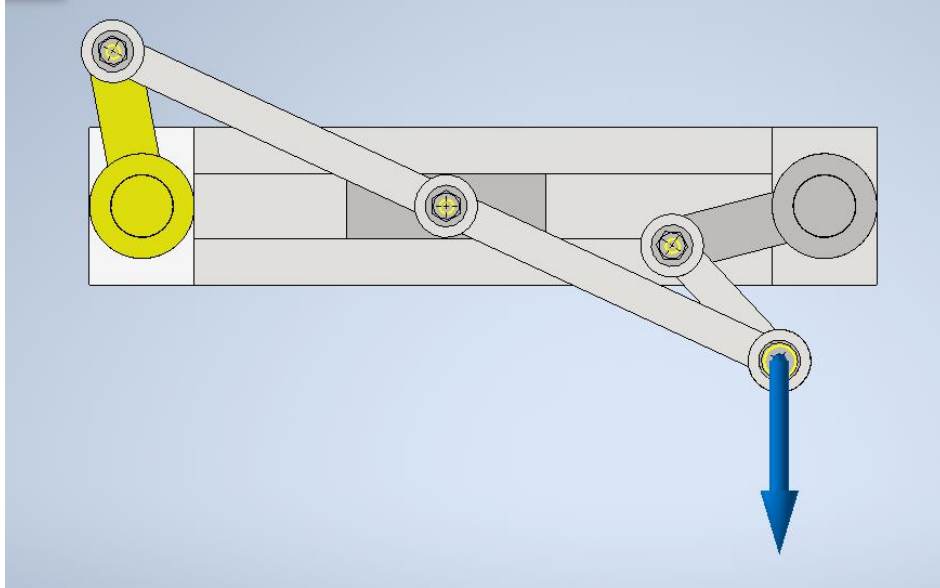
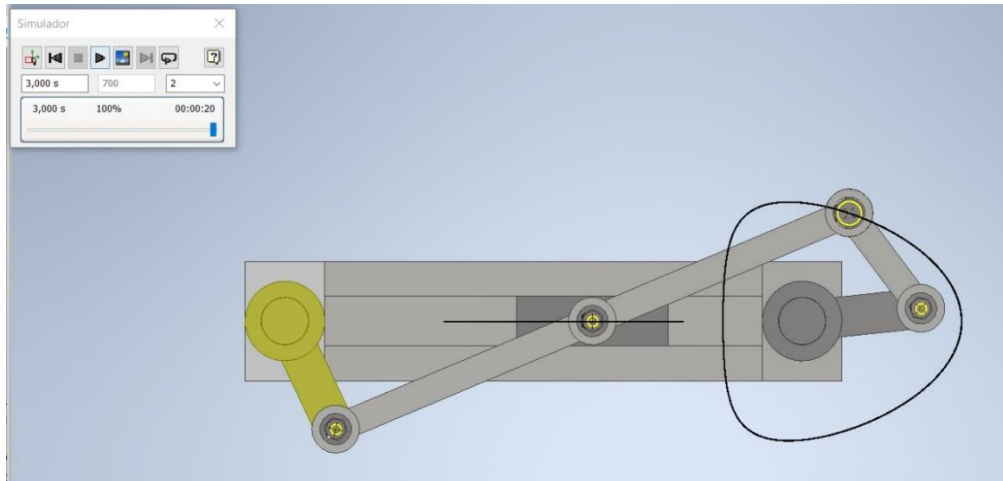


Ilustración 22 Asignación del peso del VNT

PARTE 2: Simulación dinámica

- Capturas de los *traces* de trayectoria:



Punto 1: Segundo eslabón

Punto 2: Centro de la corredera

- Capturas de las curvas de velocidad y aceleración para los puntos seleccionados.

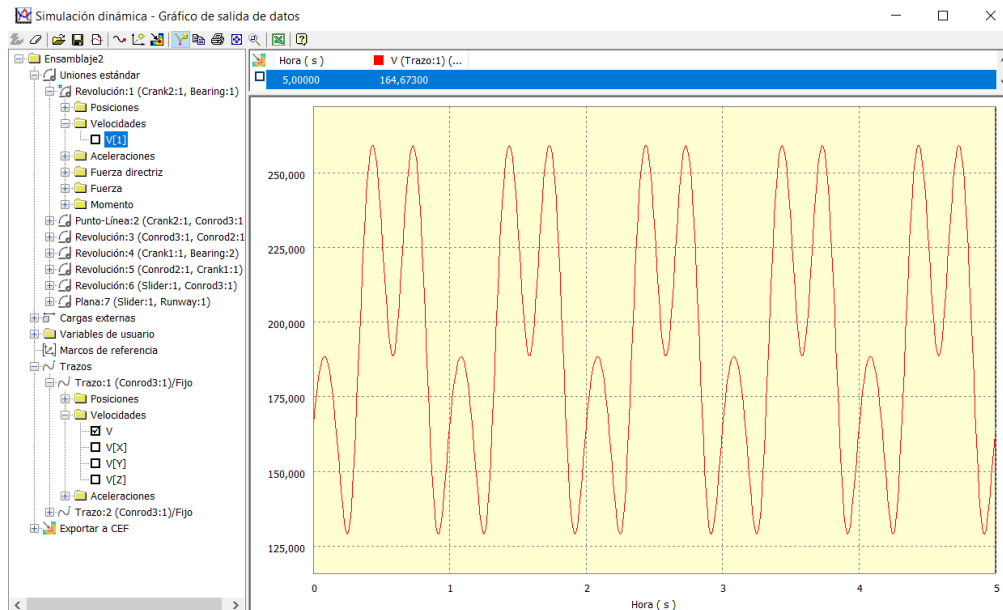


Ilustración 23 Velocidad para el punto 1

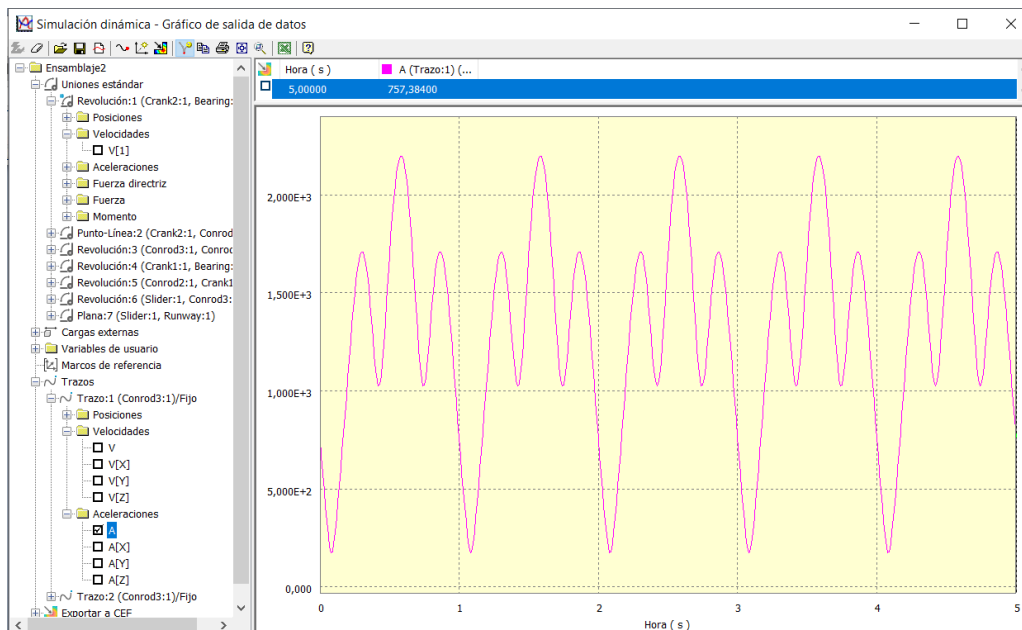


Ilustración 24 Aceleración para el punto 1

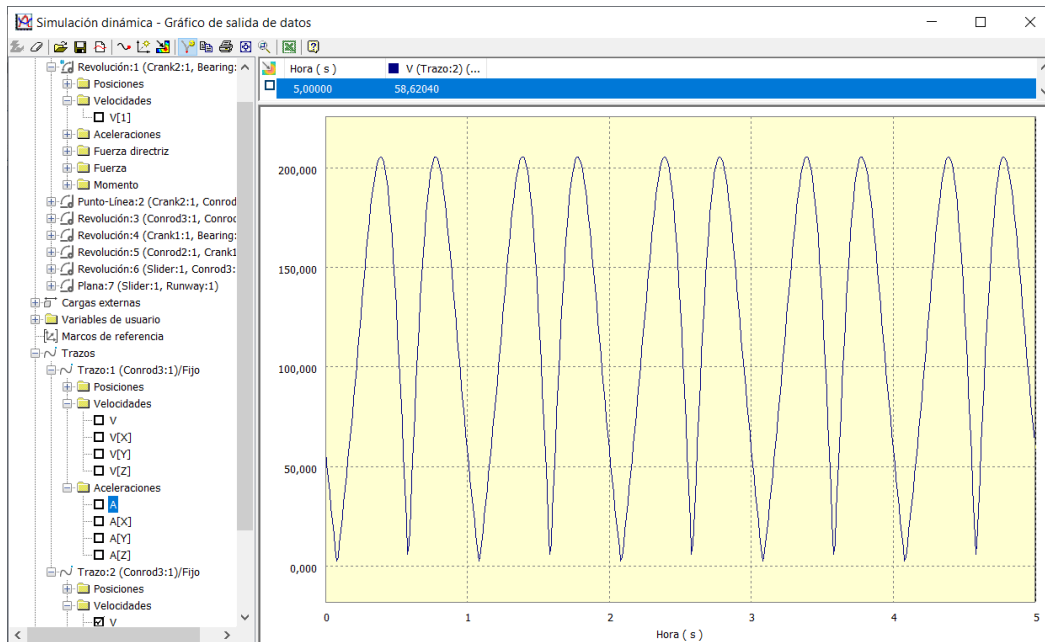


Ilustración 25 Velocidad para el punto 2

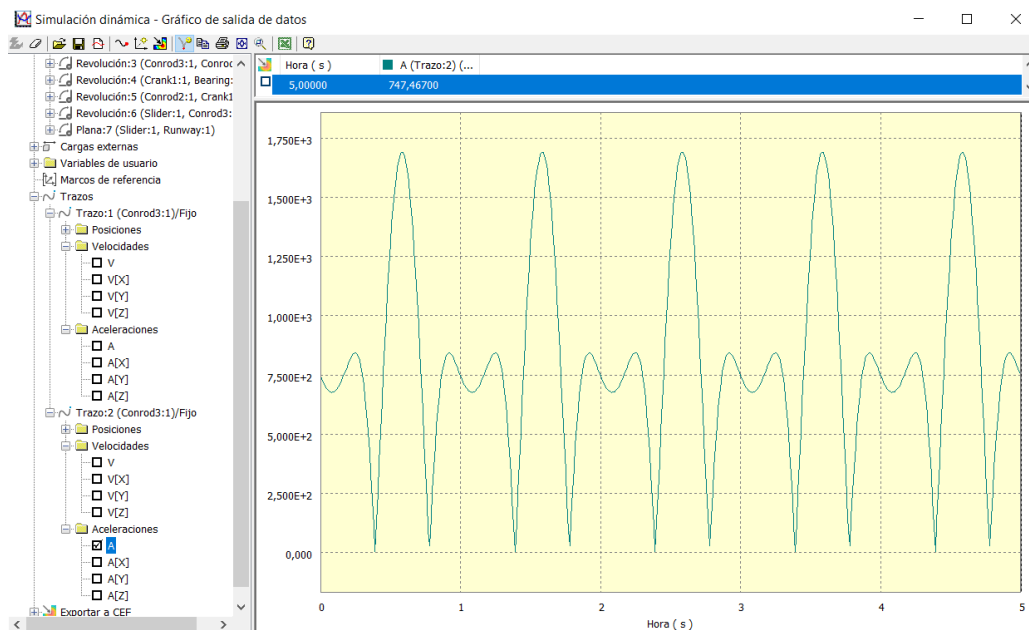


Ilustración 26 Aceleración para el punto 2

- Capturas de las curvas de velocidad angular (deg/s), torque (Nm) y potencia (W) que resultaron de la simulación.

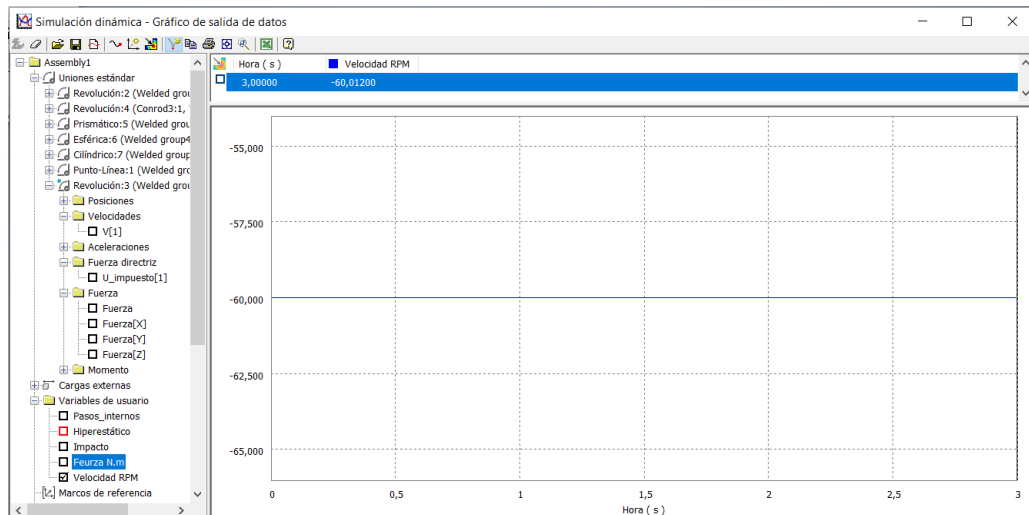


Ilustración 27 Velocidad de entrada para el mecanismo RPM

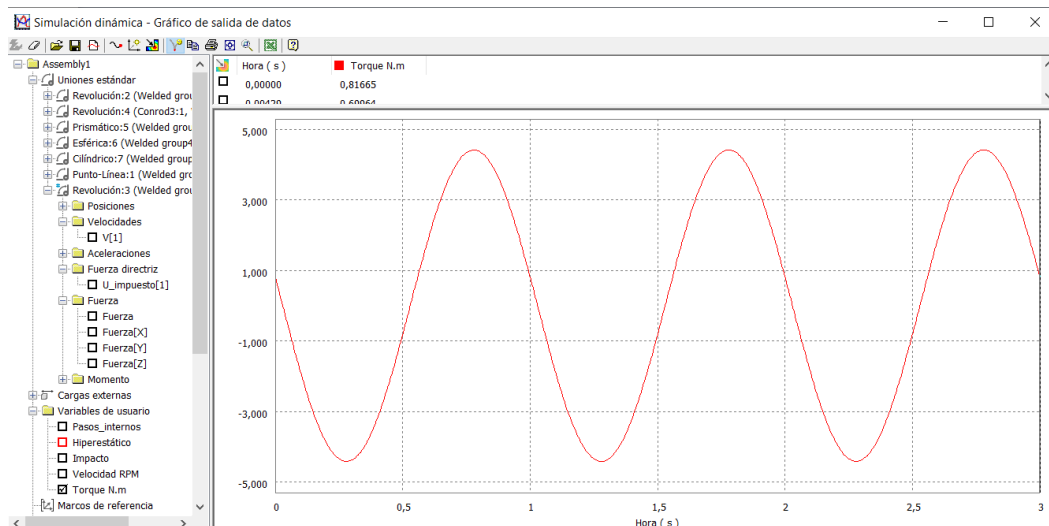


Ilustración 28 Torque necesario a la entrada

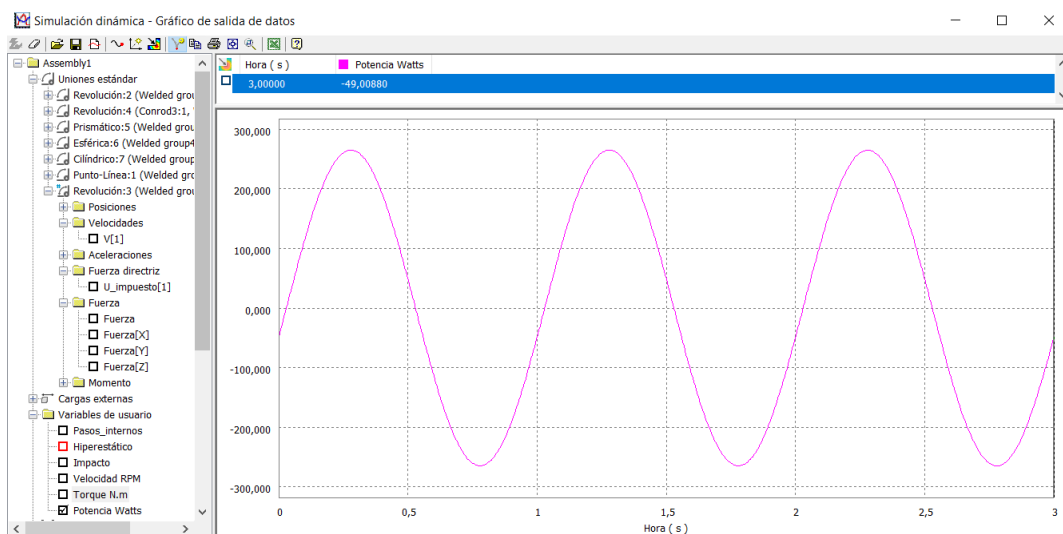


Ilustración 29 Potencia necesaria para el sistema.

PARTE 3: Selección de motor

- Aspectos cualitativos



Ilustración 30 Motor seleccionado

Para mover el mecanismo se seleccionaría un motor como el mostrado en la figura, esto posee una potencia de 300[W], que es la necesaria para mover el mecanismo, el tamaño del motor es bastante reducido debido al tipo de aplicación, debe de ser liviano. Las características se muestran a continuación. Este tipo de motor se alimenta de una batería, y se puede controlar su sentido de giro invirtiendo la polaridad. El motor posee control de velocidad por medio de controladores propios del modelo. Es bastante económico, con un costo de alrededor de \$45-\$60.

- Motor seleccionado



United MY1016 Motor de 24 V CC de 250 W con rueda dentada de cadena de dientes de 11

\$57,48 ()

(\$57,48Inc GST PARA AUS SOLO)

Pinceles de repuesto

MY1016 (

Conjunto de 4

Por favor, selecciona uno

Modelo	MI 1016			
Estándar	200W 24V / 36V	250W 24V / 36V	300W 24V / 36V	350W 24V / 36V
Moneda sin carga / A	≤ 1.5 / 1.0	≤ 1.6 / 1.2	≤ 1.8 / 1.4	≤ 2.0 / 1.4
Velocidad sin carga / rpm	3300	3350	3400	3450
Torque de clasificación / N · m	0,70	0,90	1.04	1.22
Velocidad de clasificación / rpm	2700	2750	2750	2750

Ilustración 31 características del motor seleccionado

No existían datos específicos del modelo para las curvas características, sin embargo, sabemos que el funcionamiento general de un motor DC esta descrito por las siguientes curvas.

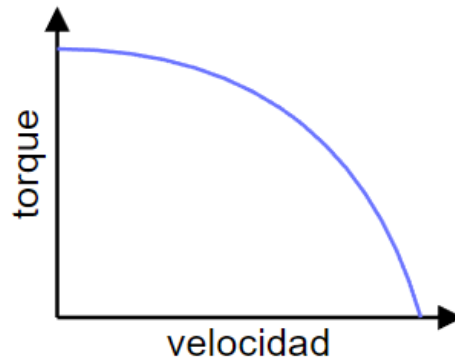


Ilustración 32 Curva Torque vs velocidad de un motor DC

- Transmisión de poder

El motor seleccionado viene ya con una rueda dentada de cadena #25 de 11 dientes, así como con un soporte de montaje de 4 pernos en la base. Sin embargo, la salida del motor no será utilizada de manera directa al sistema, debido a que los rpm son demasiado altas y el torque es menor al necesario.

Para ello se necesita un sistema de reducción de velocidad en un factor de alrededor de 40:1. Para lograr establecer una salida de alrededor de 60 RPM. Esto si se toma la salida especificada en la ilustración 32, sin embargo, se puede variar la velocidad de salida mediante controladores propios del motor. Además, con esto también se logrará aumentar el torque. Para el aumento de torque que se necesite se pueden utilizar cadenas, ya que viene una rueda dentada con en el motor

PARTE 4: Análisis de fatiga

- Captura del análisis de elemento finito en cada uno de los cinco tiempos diferentes del ciclo para una pieza seleccionada.

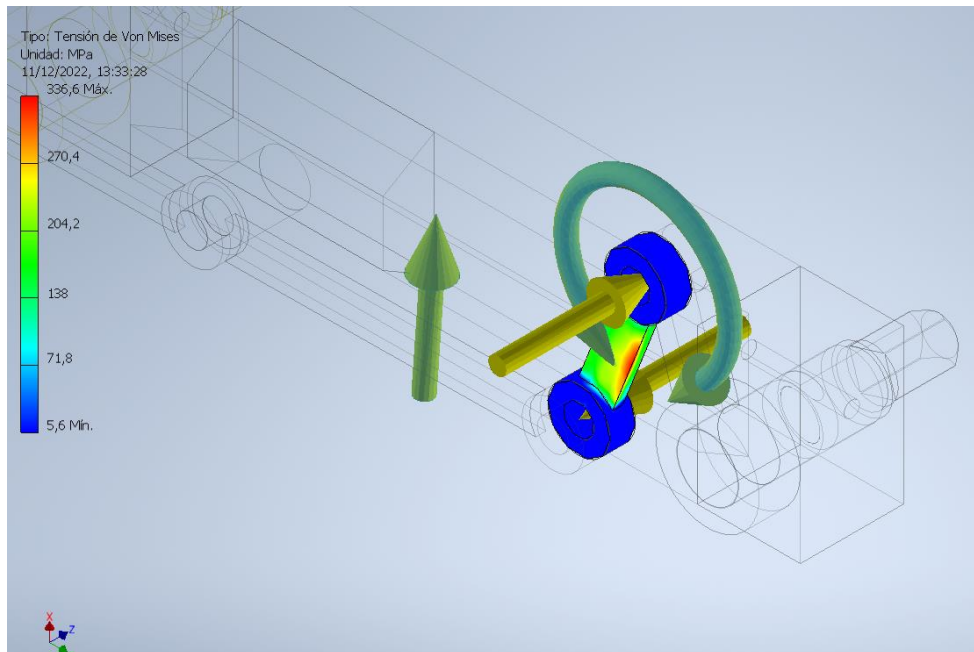


Ilustración 33 Von misses tiempo 1

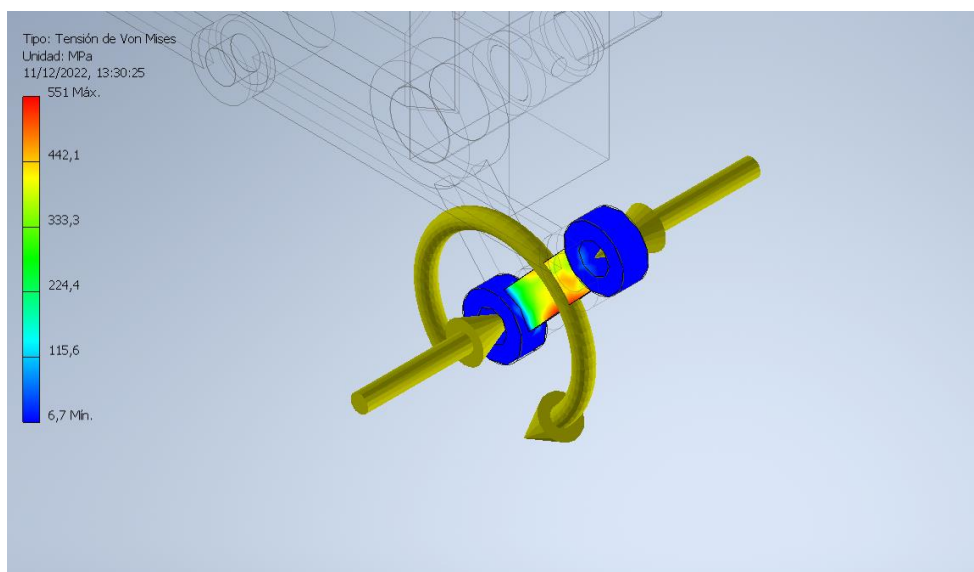


Ilustración 34 Von misses para tiempo 2

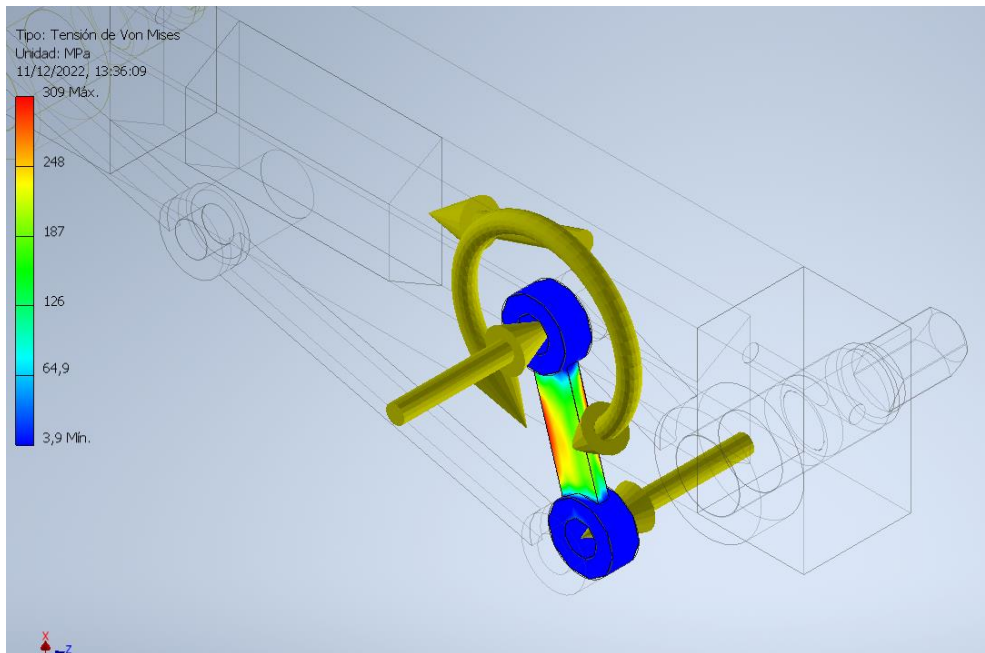


Ilustración 35 Von misses tiempo 3

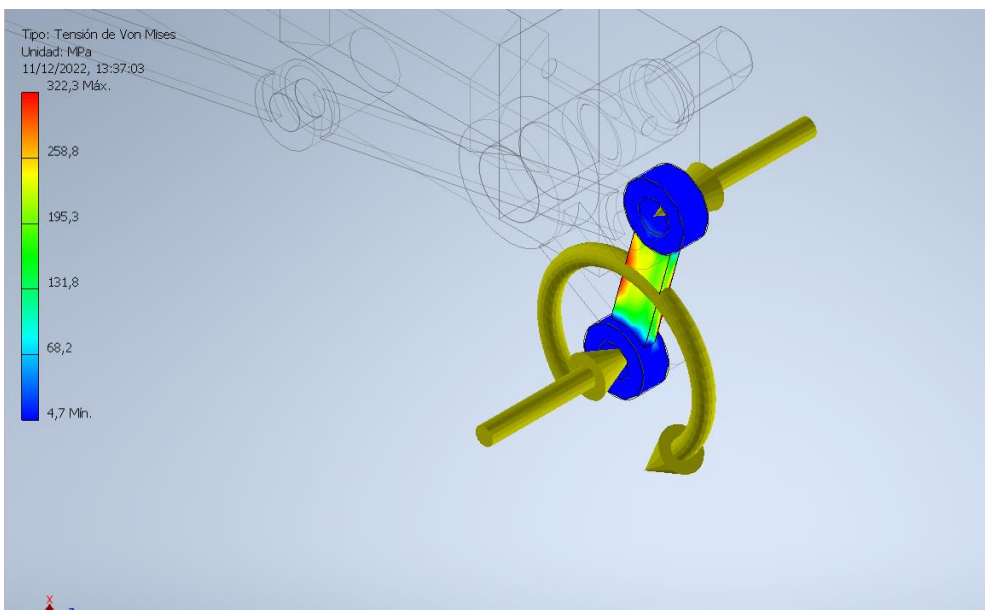


Ilustración 36 Von misses tiempo 4

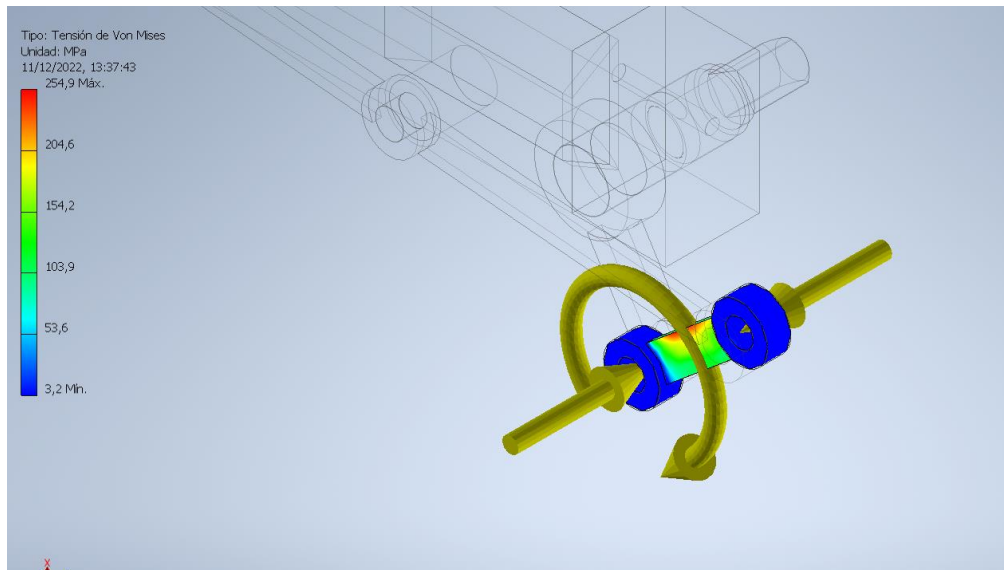


Ilustración 37 Von misses tiempo 5

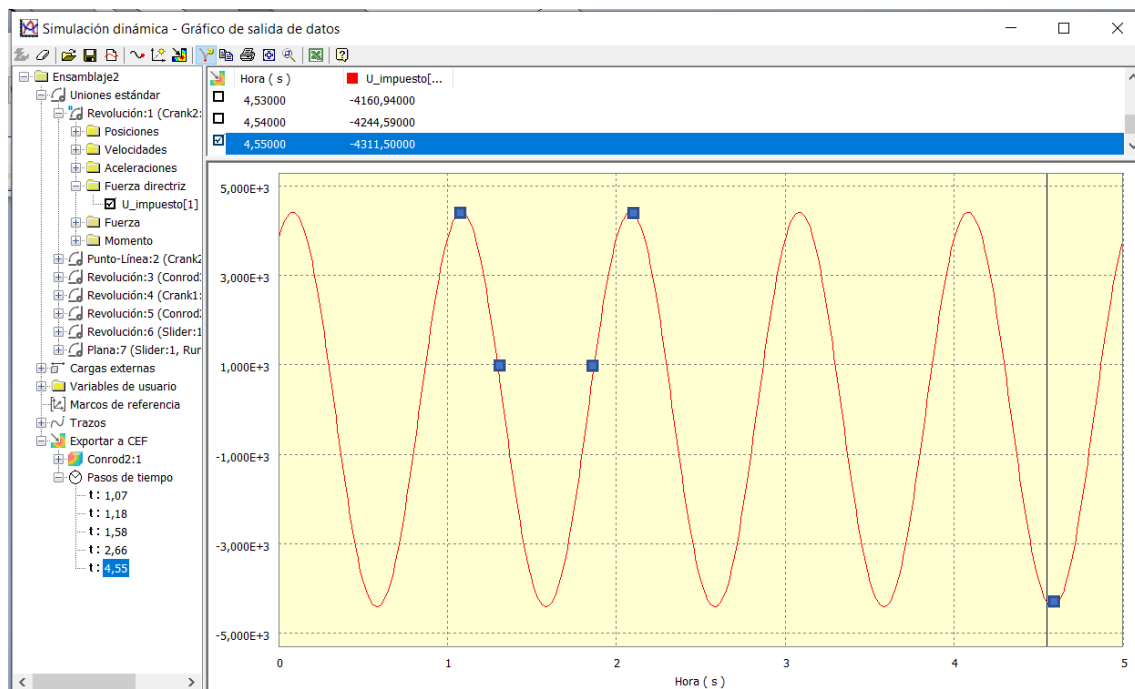


Ilustración 38 U impuesto en cada tiempo

- Detalles de la pieza seleccionada para el análisis
- Como se muestra, se seleccionó la pieza que está sometida movimiento de interés del mecanismo, y al peso del vehículo que utilizara.

Propiedades	
Material	Acero al carbón 4340
Resistencia a la tensión (S_{ut})	792 Mpa
Resistencia a la fluencia (S_y)	407 Mpa
Resistencia a la fatiga sin corregir (S'_e)	396 Mpa

Fuente=<https://www.neonickel.com/es/alloys/aceros-inoxidables/4340-alloysteel/#:~:text=4340%20Acero%20Aleado&text=El%20acero%20aleado%204340%20puede,so%20l%20idez%20hasta%20los%20315%20%C2%BA>

- Análisis de elemento finito.

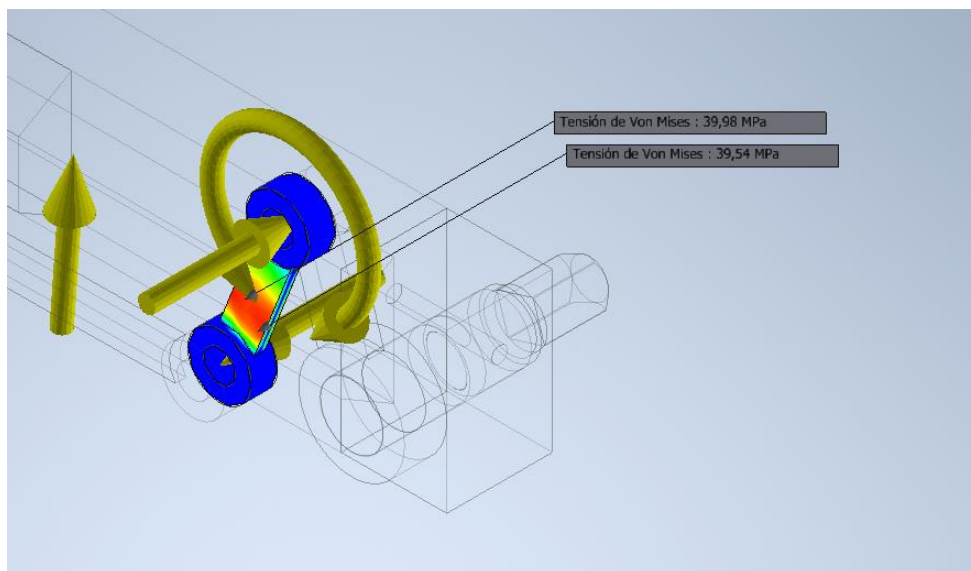


Ilustración 39 Von misses tiempo 1 (sondas)

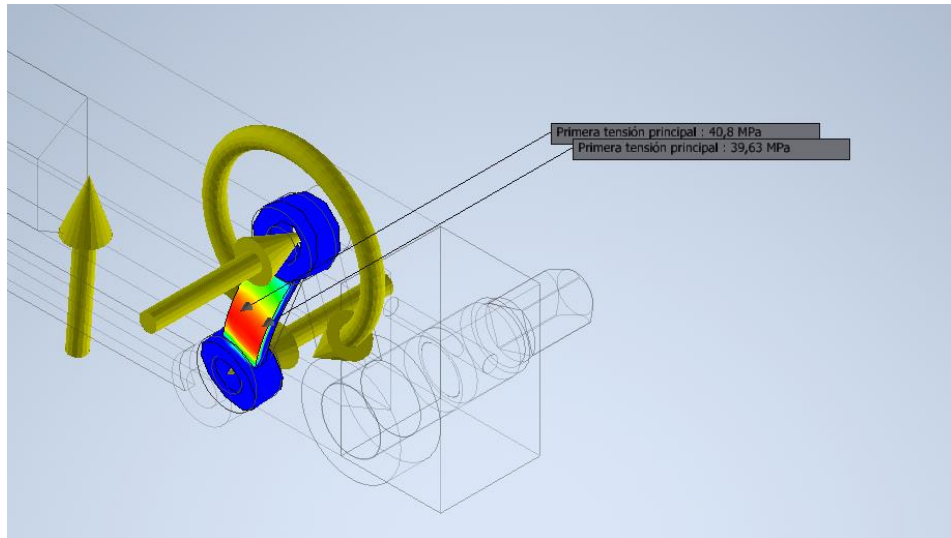


Ilustración 40 Primer esfuerzo principal t1

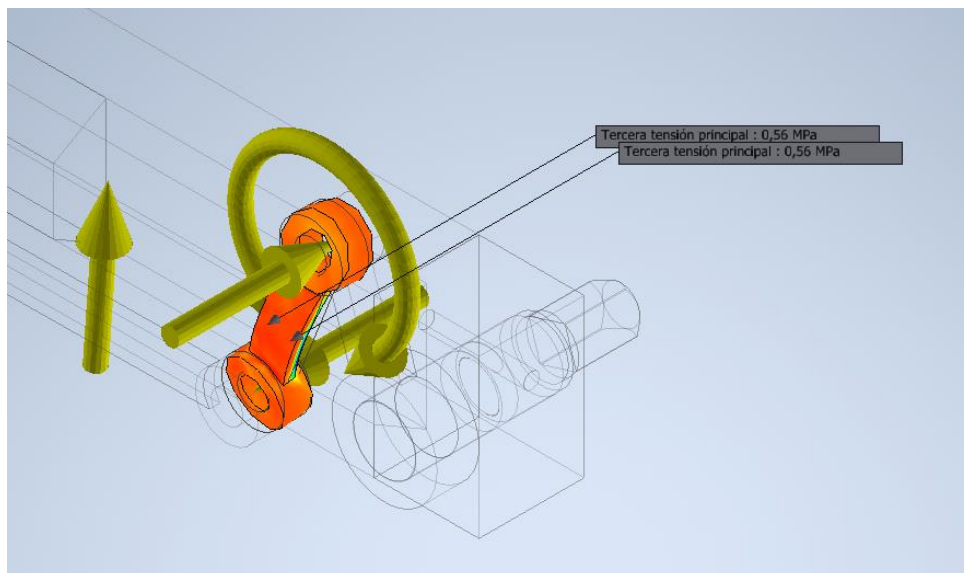


Ilustración 41 Tercer esfuerzo principal t1

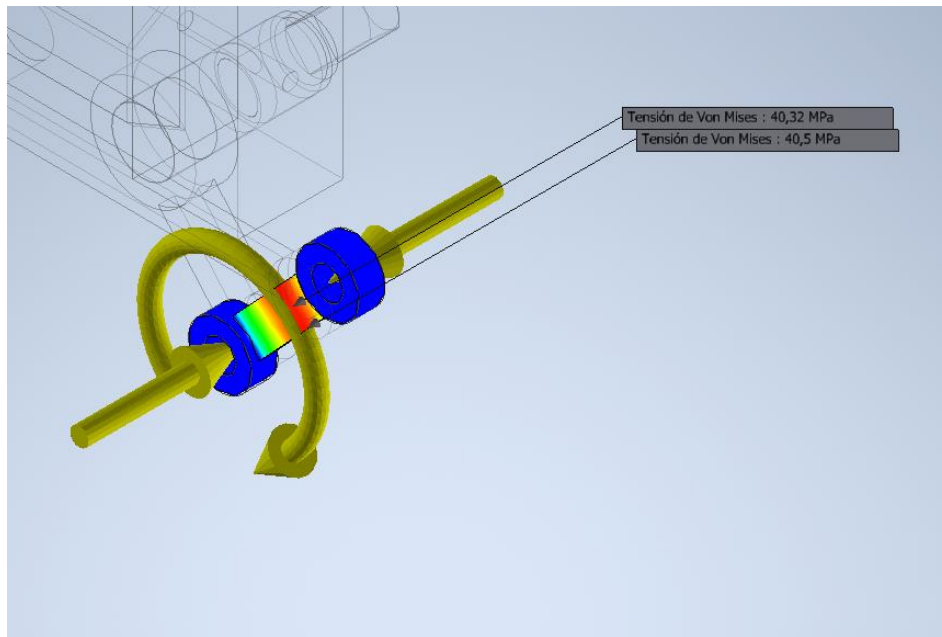


Ilustración 42 Von misses tiempo 2 (sondas)

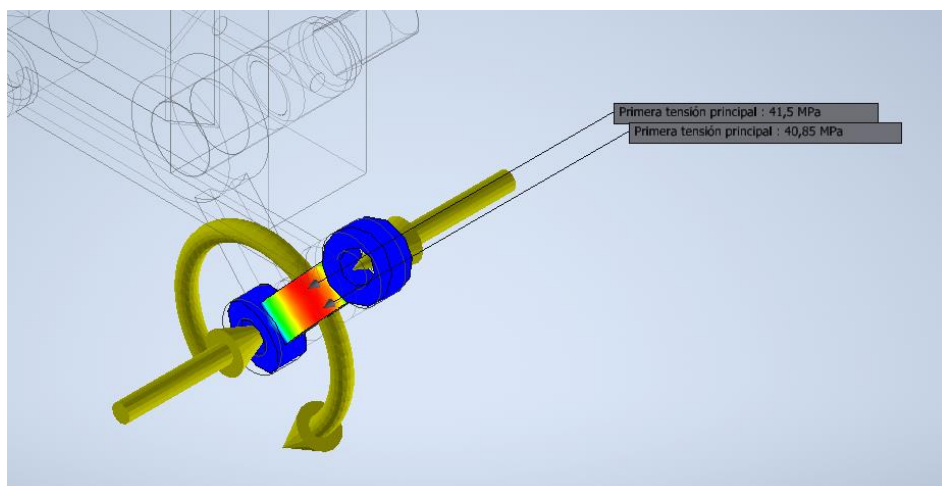


Ilustración 43 Primer esfuerzo principal t2

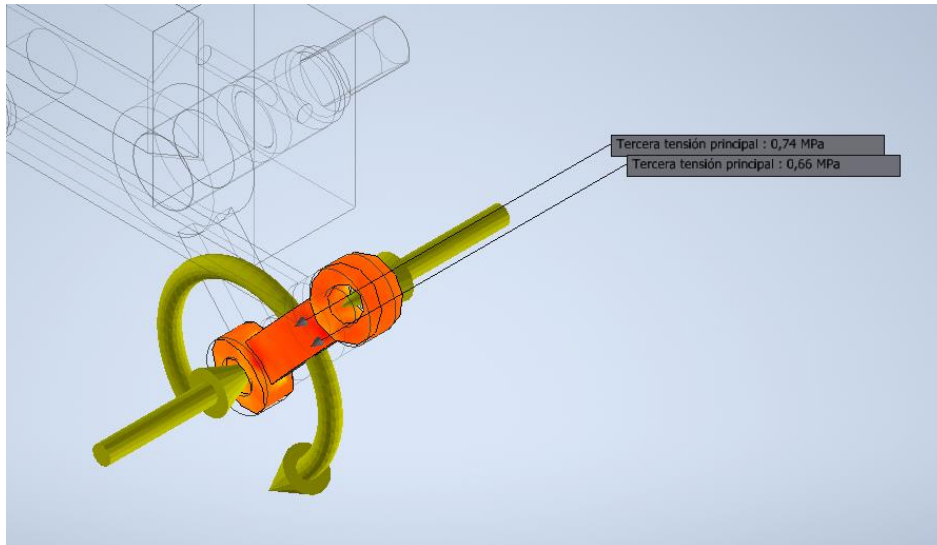


Ilustración 44 Tercer esfuerzo principal t2

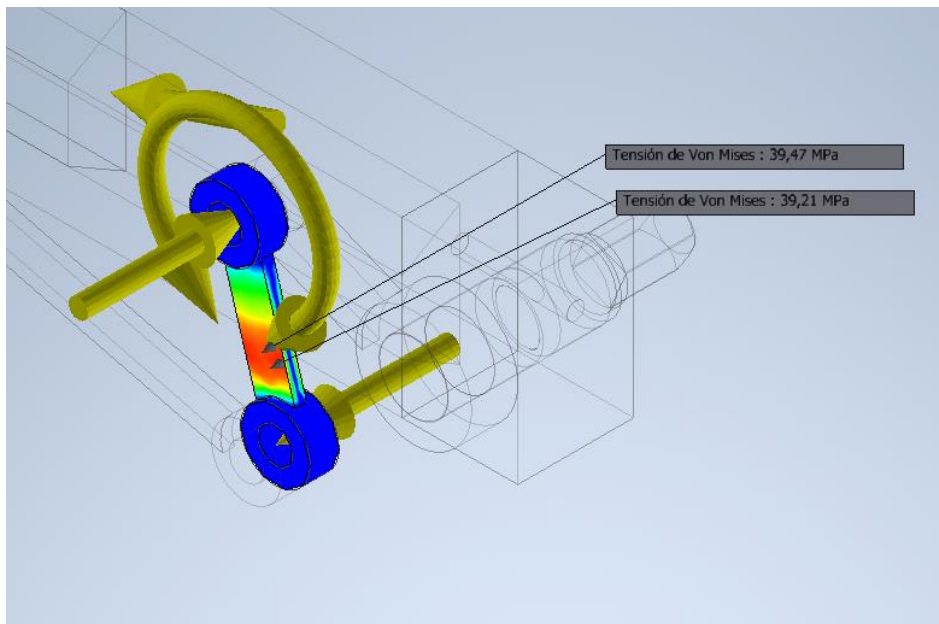


Ilustración 45 Von misses tiempo 3 (sondas)

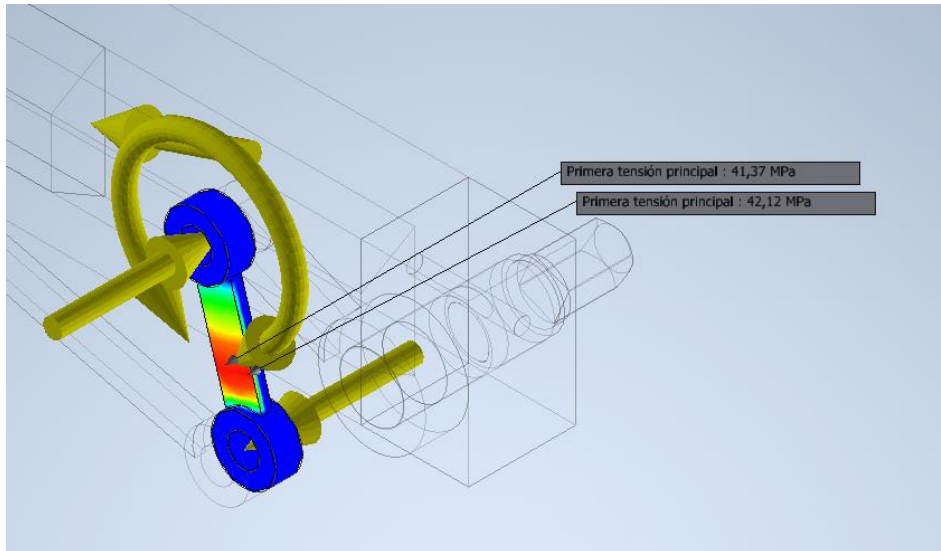


Ilustración 46 Primer esfuerzo principal para t3

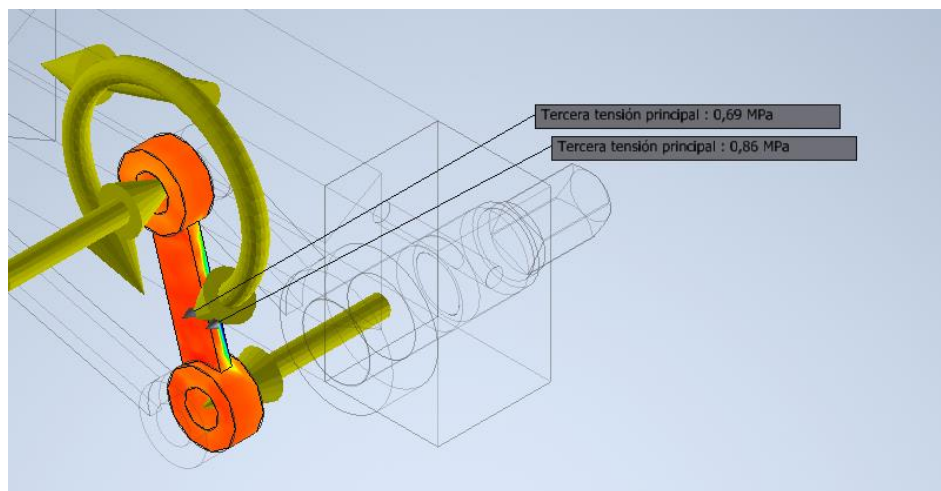


Ilustración 47 Tercer esfuerzo principal para t3

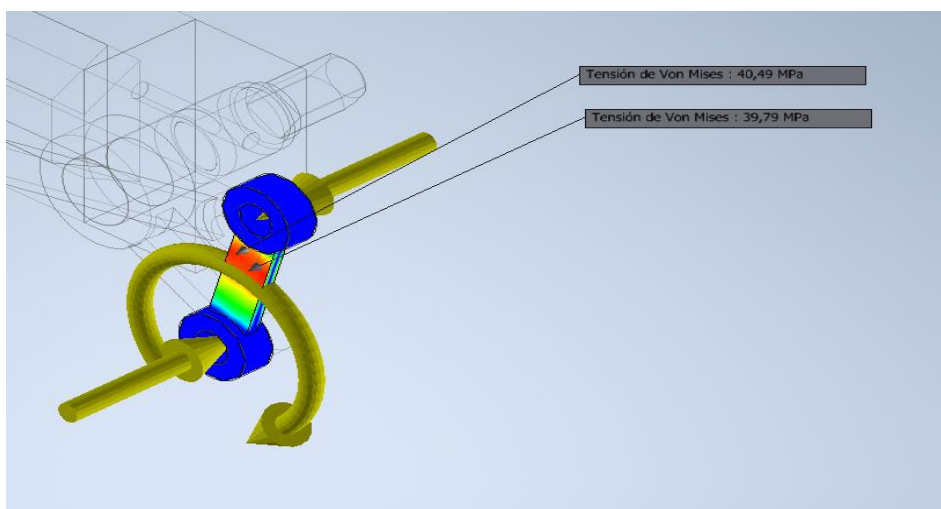


Ilustración 48 Von misses tiempo 4 (sondas)

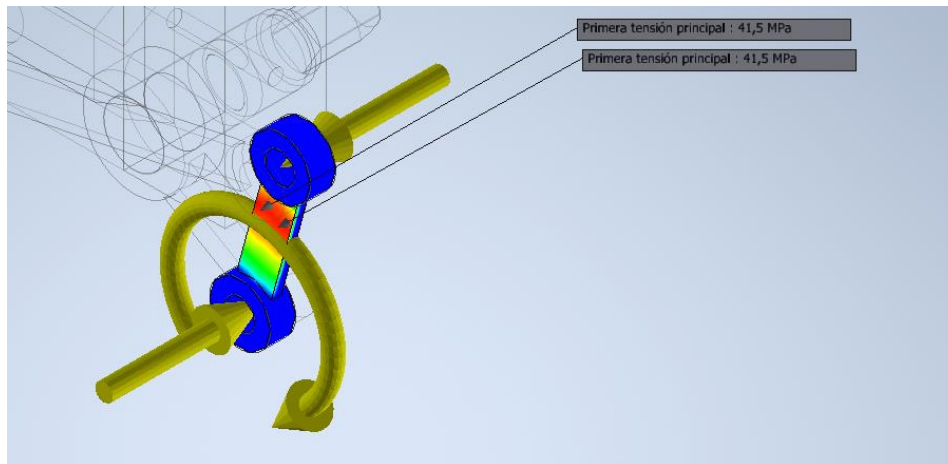


Ilustración 49 Primer esfuerzo principal para t_4

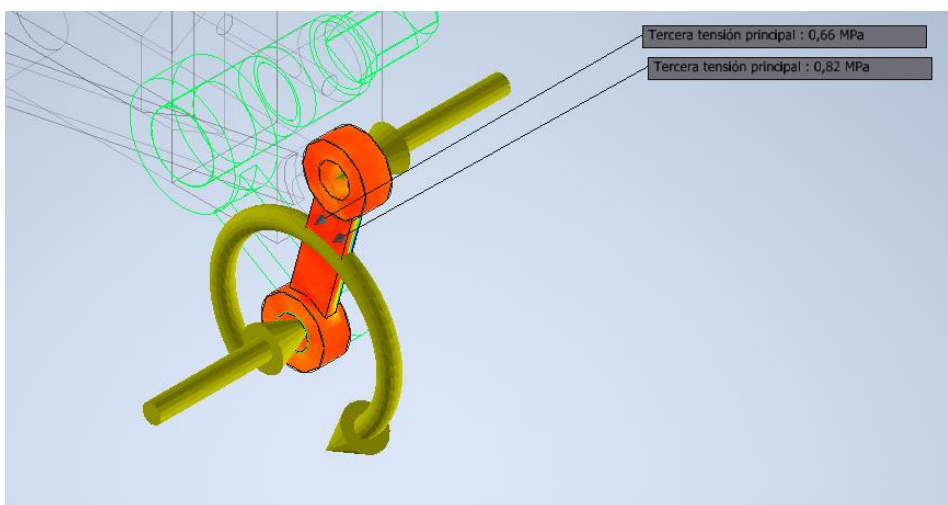


Ilustración 50 Tercer esfuerzo principal para t_4

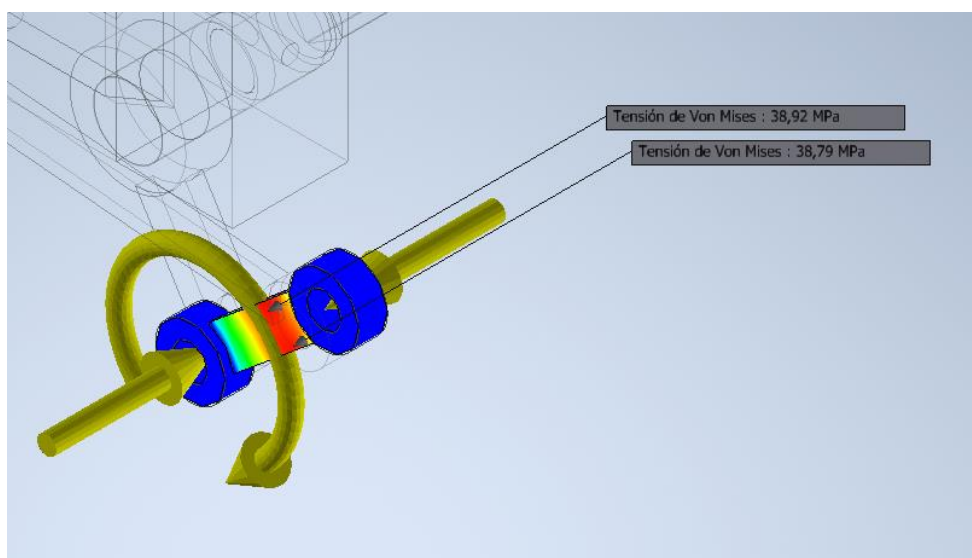


Ilustración 51 Von misses tiempo 5 (sondas)

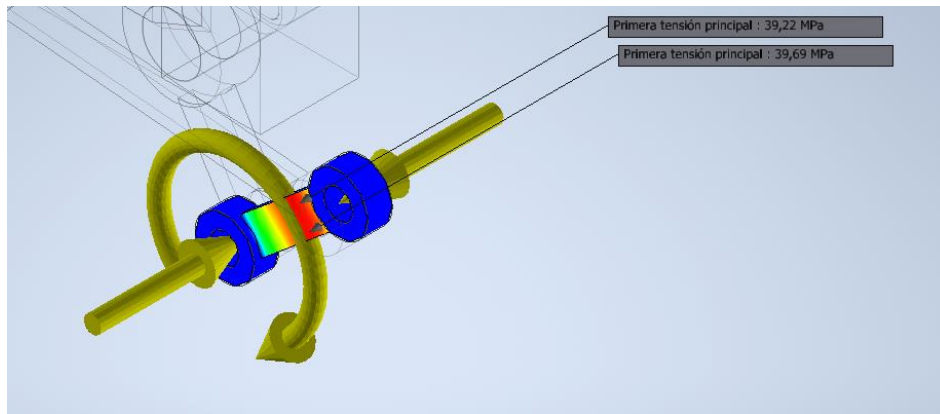


Ilustración 52 Primer esfuerzo principal t_5

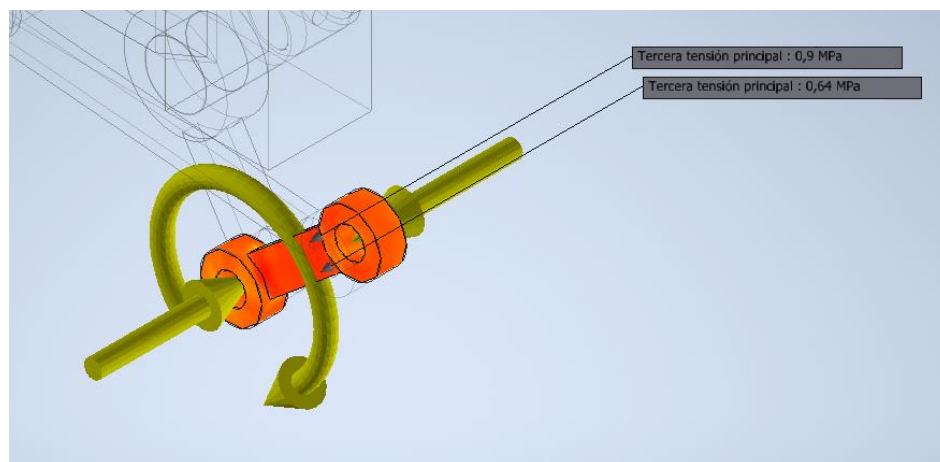


Ilustración 53 Tercer esfuerzo principal t_5

Punto 1:

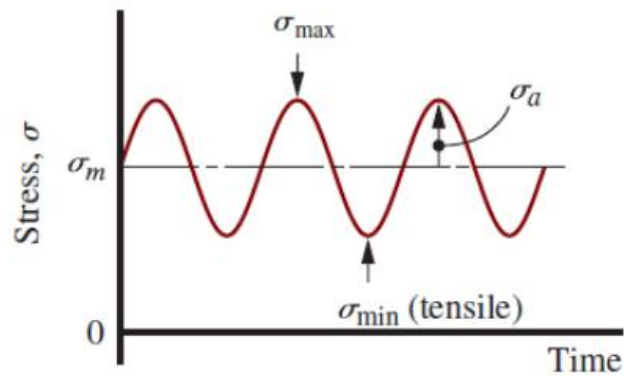
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
σ'	39.98	40.32	39.47	40.49	38.92
σ_1	40.8	41.5	41.37	41.5	39.22
σ_3	0.56	0.74	0.69	0.66	0.9

Ciclo de esfuerzos	
σ'_{max}	41.49
σ'_{min}	0.56
σ'_m	21.23
σ'_a	20.46
R	0.01

Punto 2:

	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
σ'	39.54	40.5	39.21	39.79	38.79
σ_1	39.63	40.85	42.12	41.5	39.69
σ_3	0.56	0.66	0.86	0.82	0.64

Ciclo de esfuerzos	
σ'_{max}	42.12
σ'_{min}	0.56
σ'_m	21.34
σ'_a	20.78
R	0.01



(a) Tensile mean stress—
all stresses tensile
 $0 < R < 1.0$

Ilustración 54 Tipo de carga fluctuante para los puntos

RESISTENCIA A LA FATIGA

- Resistencia a la fatiga sin corregir para el material seleccionado:

$$S'_e = 0.5 S_{ut}$$

$$S'_e = 0.5(792) = 396 \text{ [Mpa]}$$

- Factores de corrección para la ecuación de Marín.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S'_e$$

- Factor de superficie, k_a :

Tabla 6-2

Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin, ecuación (6-19)

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{utr} kpsi	S_{utr} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

De C. J. Noll y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", en Society for Experimental Stress Analysis, vol. 3, núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O. J. Hargreaves (ed.), Metals Engineering Design ASME Handbook, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright © 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

Ilustración 55 Determinación del factor K_a

Se considera que la fabricación de las piezas se realizó mediante laminado en caliente.

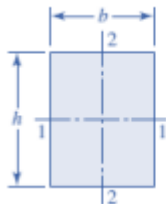
$$k_a = 57.7 * 792^{-0.718} = 0.478$$

- Factor de tamaño, k_b :

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

$$k_b = 1.24d^{-0.107} = 0.97$$

Como la sección no es circular se determina el diámetro equivalente:



$$A_{0.95\sigma} = 0.05hb$$

$$d_e = 0.808\sqrt{hb}$$

$$De = 0.808 * \sqrt{20.25 * 7} = 9.61 \text{ [mm]}$$

- Factor de carga, k_c :

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^{17} \end{cases}$$

$$k_c = 0.85$$

En el elemento del mecanismo, el tipo de carga que predomina es la de tipo axial.

- Factor de temperatura, k_d :

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

*Fuente de datos: figura 2-9.

Ilustración 56 Tabla de valores para K_d

$$k_d = 1.0$$

El mecanismo trabaja a temperatura ambiente

- Factor de confiabilidad, k_e :

Confiabilidad, %	Factor de confiabilidad k_e
50	1.000
90	0.897
95	0.868
99	0.814
99.9	0.753
99.99	0.702
99.999	0.659
99.9999	0.620

$$k_e = 0.868$$

Por el tipo de uso del mecanismo, no es necesario tanta confiabilidad, ya que no esta en riesgo vidas humanas.

- Límite de resistencia a la fatiga corregida para vida infinita.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S'_e$$

$$S_e = 0.478 * 0.97 * 0.85 * 1 * 0.86 * 396 = 134.21 \text{ [Mpa]}$$

- Factor de seguridad para cada punto usando la teoría de Goodman.

$$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} = \frac{1}{N}$$

Punto	N
1	5.85
2	5.28

Factor de seguridad por fluencia en los primeros ciclos:

$$\frac{\sigma'_a}{S_y} + \frac{\sigma'_m}{S_y} = \frac{1}{N}$$

Punto	N
1	9.76
2	9.66

PARTE 5: Conclusiones y recomendaciones

Plantee al menos tres conclusiones y/o recomendaciones de su trabajo en base al análisis realizado. Considere las siguientes preguntas:

- ¿Tendrá vida infinita la pieza? Explique.
Teóricamente la pieza debería tener vida infinita ya que se obtuvieron factores de seguridad bastante altos tanto para la fatiga como para la fluencia. Sin embargo, existen otros factores externos a tomar en cuenta, sobre todo por el uso del mecanismo que estará sometido a el ambiente.
- ¿Qué cambio haría en la geometría de la pieza para alargar su tiempo de vida?
Ninguno, ya que según los análisis el elemento no falla para el funcionamiento que se le dará. Sin embargo, parece estar un poco sobredimensionado, siendo que se podría utilizar un material más ligero como aluminio.
- ¿Qué otras fuentes de potencia para el mecanismo le parecen viables?
Cualquier otro tipo de motor eléctrico que funcione con corriente directa, que no sea pesado y permita tener un funcionamiento autónomo.
- ¿Qué otras restricciones se pueden incluir para mejorar la simulación? ¿Qué limitaciones tiene este análisis?
Se pueden añadir restricciones de rozamiento entre las piezas para así seleccionar de mejor manera el tipo de motor a utilizar, ya que la interacción interna entre las diferentes piezas afecta también a la necesidad de potencia y torque de entrada.
- Si este mecanismo se deseara implementar físicamente, ¿qué aspectos cree que se deban tener en cuenta? ¿Qué cosas serían diferentes a la simulación?
La principal diferencia sería el acople de la “rueda”, en el proyecto se dejó libre la parte que conectaría a el elemento que mueve el vehículo, en ese caso se debería tomar en cuenta también el peso de dicha pieza adicional, así como que efecto tendrá sobre el momento y fuerza que experimenta el eslabón analizado.

Recomendación:

- Tomar en cuenta que los motores eléctricos poseen controladores que permiten modificar el valor de velocidad de manera sencilla, esto es importante al momento de seleccionar la relación de reducción que se implementara en el motorreductor.
- En el caso de la simulación, el inventor da datos muy útiles, sin embargo, se debe realizar el cambio correcto de unidades para poder analizar los datos de manera correcta. Además, en el caso de las graficas creadas por el usuario se debe tomar en cuenta que la potencia debe obtenerse Del torque en N.m y no en N.mm como lo da el programa originalmente.

