FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO

Diseño e implementación de un prototipo toma fuerza para Suzuki samurái mediante elementos finitos.

Autores:
Dr.: Edilberto Llanes
Ing.: Cristhian Garzón

.

Quito, Marzo 2019

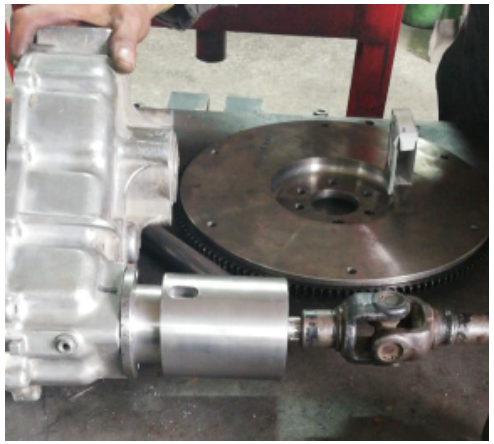
INTRODUCCIÓN

Planteamiento

- Costos altos y eficiencia baja
- No se cuenta con estudio técnico
- Gran demanda de piezas y partes automotriz

Justificación

- **Crear un prototipo toma fuerza con un convenio con IMPROMEC.**
- **La demanda busca cabrestantes que reduzcan la utilización de energía eléctrica.**
- **Fabricación nacional.**
- **Estudios técnicos mediante análisis finitos.**



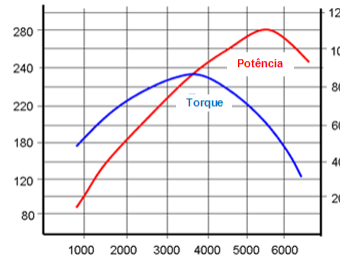
OBJETIVO GENERAL

Implementación de un prototipo toma fuerza para Suzuki samurái mediante cálculo analítico y análisis por elementos finitos para la adaptación de un cabrestante.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Recopilar información en medios electrónicos del sistema toma fuerza proponiendo un diseño conceptual.

2. Establecer los parámetros iniciales de diseño en base al ensayo torque y potencia bajo la norma SAE J1349.

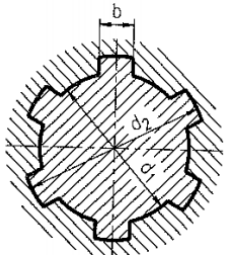


3. Validar el diseño conceptual del prototipo de toma fuerza para la aplicación de una wincha mecánica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

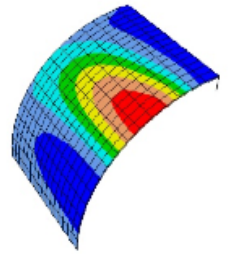
4

- Dimensionar bajo normas de diseño mecánico para perfiles de ejes nervados el sistema toma fuerza.



5

- Validar el diseño en la toma fuerza de Suzuki Samurái mediante el análisis por elementos finitos utilizando un software de modelamiento mecánico.

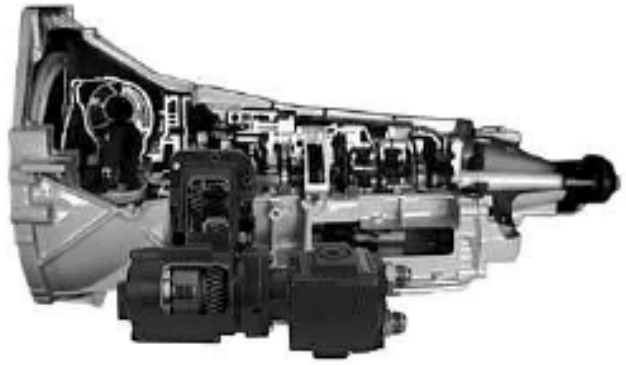


6

- Implementar un prototipo funcional para la aplicación de una wincha mecánica.

ESTADO DEL ARTE

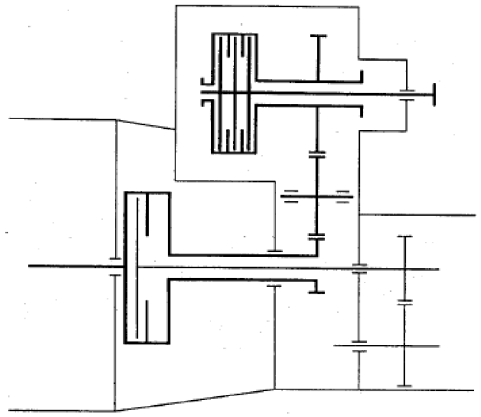
TOMA FUERZA



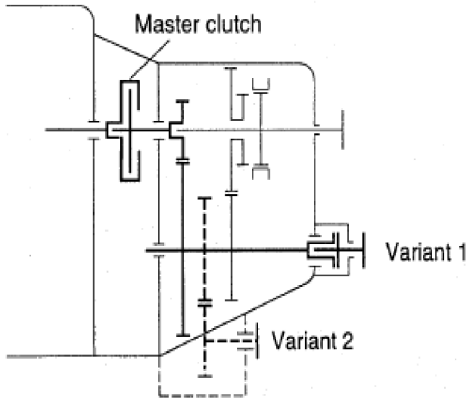
Clases:

- Montaje lateral
- Montaje posterior

Tipos de toma fuerza:



Controlada por motor

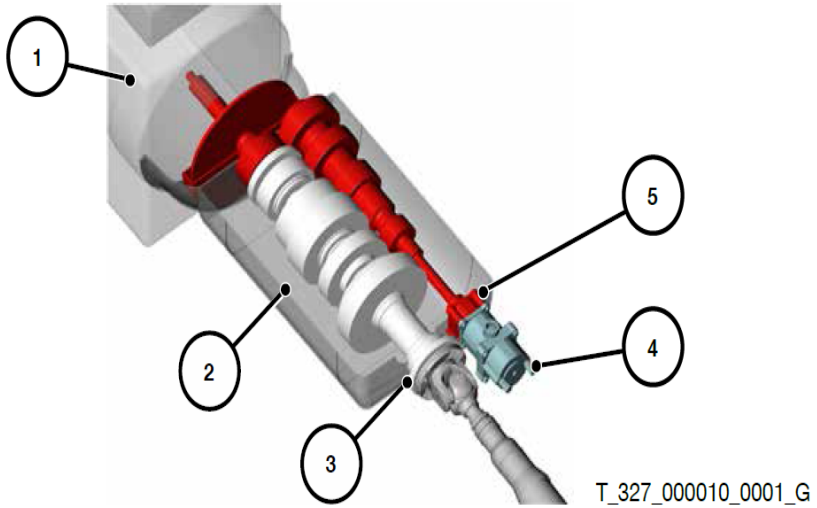


Controlada por embrague

Controlada por caja de transferencia.

TOMA FUERZA

Esquema de la caja de transferencia con embrague dependiente



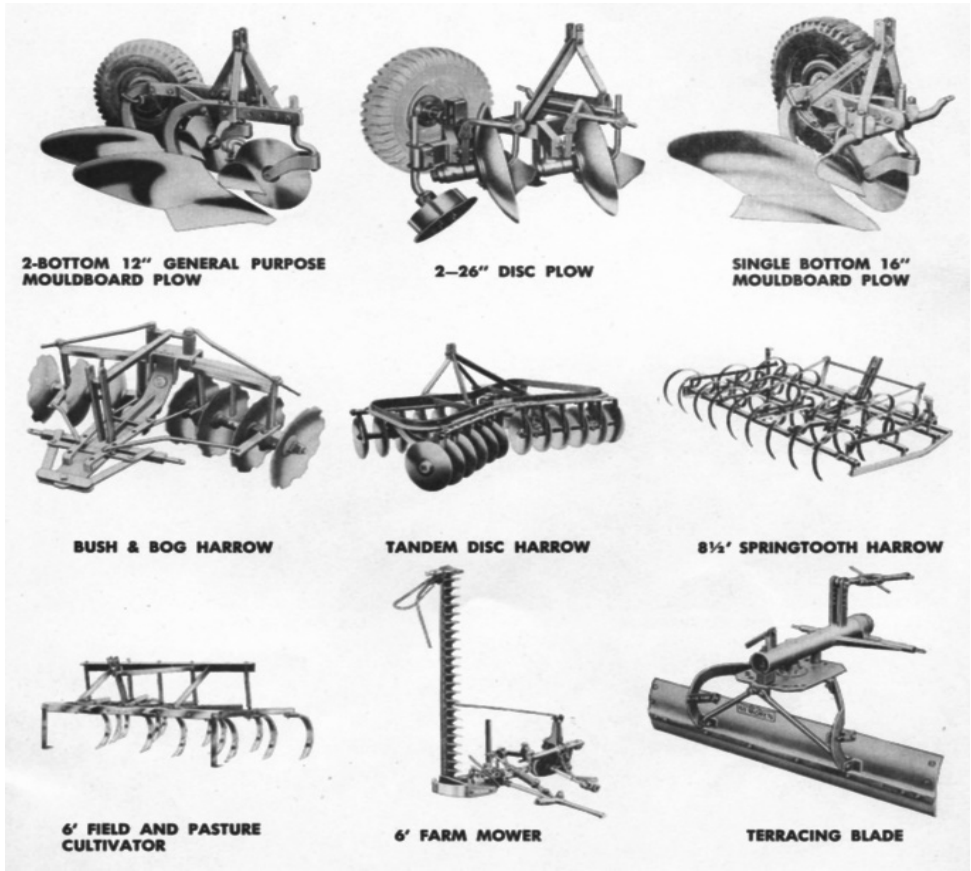
1. Motor.
2. Caja de transferencia.
3. Brida de salida principal.
4. Bomba.
5. TDF

APLICACIONES

Aplicación de wincha mecánica.

Montaje de cortacésped

Montaje de equipo de suelda



Accesorios para el sector agrícola

MÉTODO

MÉTODO PARA ENSAYO DE TORQUE Y POTENCIA

SAE J1349

Vehículo de pruebas.

Dinamómetro de chasis LPS 3000.

MÉTODO PARA DETERMINAR PARÁMETROS DE APLICACIÓN COME UP (2017)

Fuerza de tiro requerida [mm].

$$RPF = (Wt \times S) + (Wt \times G)$$

Donde:

RPF: Fuerza de tiro requerida
Wt: Peso del vehículo
S: Tipo de superficie por atravesar.
G: Inclinación de la superficie.

Tipo de superficie (S)

Tipo de superficie	Arrastre de superficie (S)
Metal	0,15
Arena	0,18
Grava	0,20
Arena Suave	0,22
Barro	0,32
Pantano	0,52
Arcilla	0,52

Gradiente a superar (G)

Gradiente	Angulo (0)	Gradiente (G)
5%	3°	0,06
10%	6°	0,11
20%	11“	0,2
30%	17“	0,3
50%	26“	0,44
70%	35“	0,58
100%	45“	0,71

Medición de parámetros de cabrestante.

$$W = RPF * (9.81) \qquad M = W * r$$

Potencia útil [hp].

$$P = \frac{M * 2\pi * w * 745.7}{60 * 1000}$$

Donde:
M: Momento torsor. [N.m]
w: Velocidad angular. (rpm)

Velocidad lineal[m/min].

$$v = 2\pi * \omega * r$$

Donde:

ω: Velocidad angular [rpm]

r: Radio del tambor [m]

MÉTODO PARA DIMENSIONAMIENTO DEL EJE

Diámetro mínimo del eje [mm].

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{16 * M_t * Ka * S_f * 10^3}{\pi * \tau_a * K_f}}$$

Esfuerzo de corte calculado

$$\tau_c = \frac{16 * T * 10^3 * K_a}{\pi * {d_c}^3 * K_f}$$

Tensión de von Mises

$$\sigma' = \sqrt{3\tau_c^2}$$

Factor de seguridad

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma'}$$

Donde:

M_t: Momento de torsión [N.m].

Ka: Factor de aplicación.

S_f: Factor de seguridad.

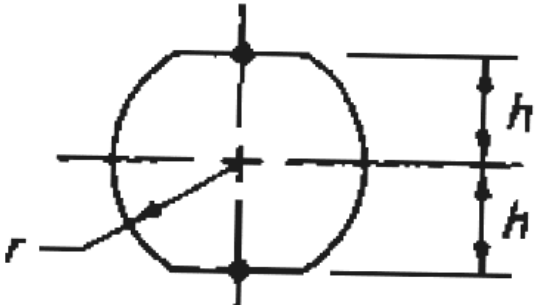
τ_a: Esfuerzo de corte permisible [Mpa].

K_f: Factor de vida útil del eje.

S_y: Resistencia a la fluencia

Mott (2006)

MÉTODO PARA DIMENSIONAMIENTO DE SECCIÓN TRANSVERSAL NO CIRCULAR



Factor para calcular torsión

h/r	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
C_3	0,44	0,67	0,93	1,19	1,39	1,57
C_4	0,47	0,6	0,81	1,02	1,25	1,57

Valor para calculo de torsión

$$Q = C_4 * r^3$$

Esfuerzo de torsión calculado

$$\tau_c = \frac{M_t}{Q}$$

Tensión de von Mises

$$\sigma' = \sqrt{3\tau_c^2}$$

Factor de seguridad

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma'}$$

Donde:

M_t: Momento de torsión [N.m].

Ka: Factor de aplicación.

S_f: Factor de seguridad.

Mott (2006)

MÉTODO PARA RANURADO

Longitud mínima de las nervaduras [mm].

$$L_{min} = \frac{Mt * 10^3 * Ka * S_f}{d_s * \sigma_{min} * \frac{h_{st}}{2} * N * K_m * k_f}$$

Presión calculada [Mpa].

$$\sigma_c = \frac{Mt * 10^3 * Ka * Sf}{d_s * L * N * K_m * k_f}$$

Esfuerzo de torsión calculada [Mpa].

$$\tau_c = \frac{Mt * 10^3 * Ka * Sf}{\pi * d * Kf}$$

Tensión de von Mises

$$\sigma' = (\sigma_c^2 + 3\tau_c^2)^{0.5}$$

Donde:

M_t: Momento de torsión [N*m].

Ka: Factor de aplicación.

S_v: Factor de seguridad.

d_s: Diámetro medio [mm].

σ_{min}: Presión mínima admitida [mm].

h_{st}: Altura de conexión [mm].

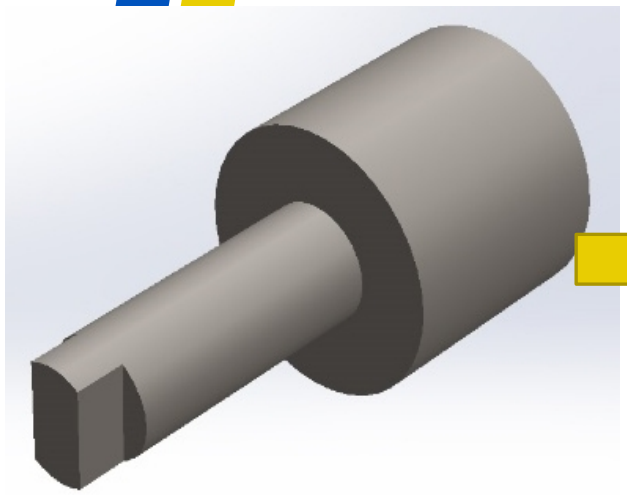
N: Número de nervaduras.

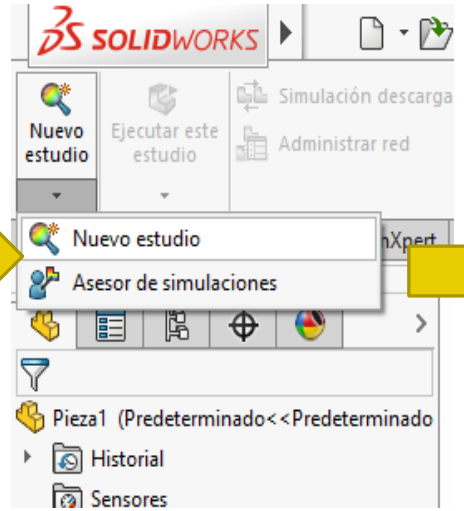
K_m: Factor de distribución de carga

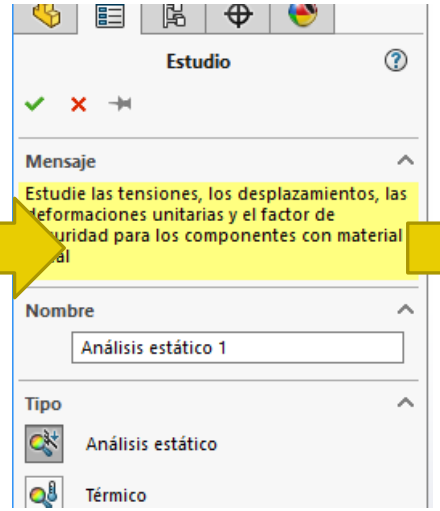
K_f: Factor de vida útil del eje.

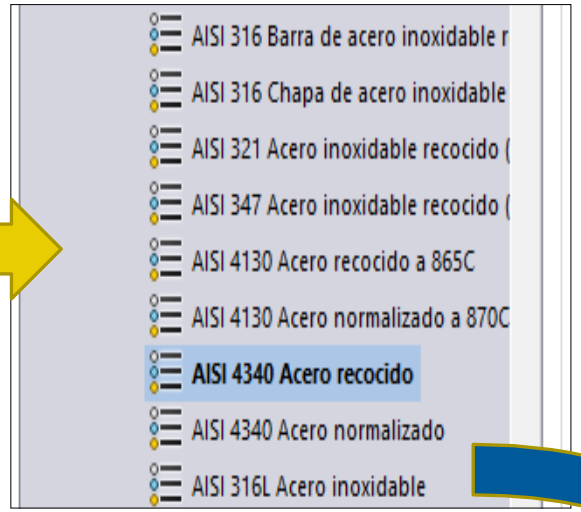
Mott (2006)

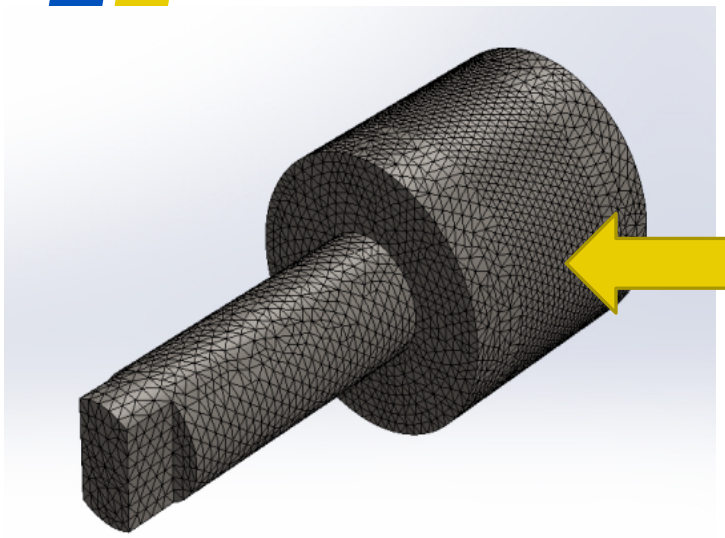
MÉTODO PARA ANÁLISIS ESTÁTICO MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

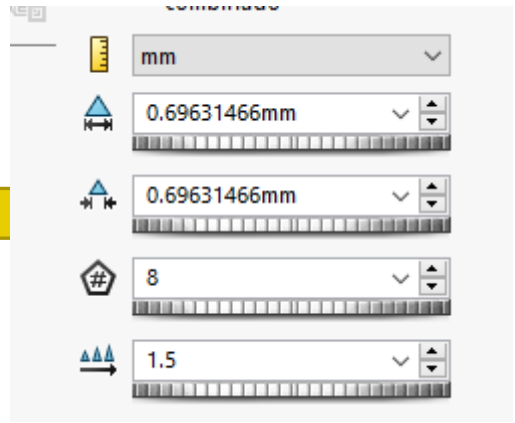


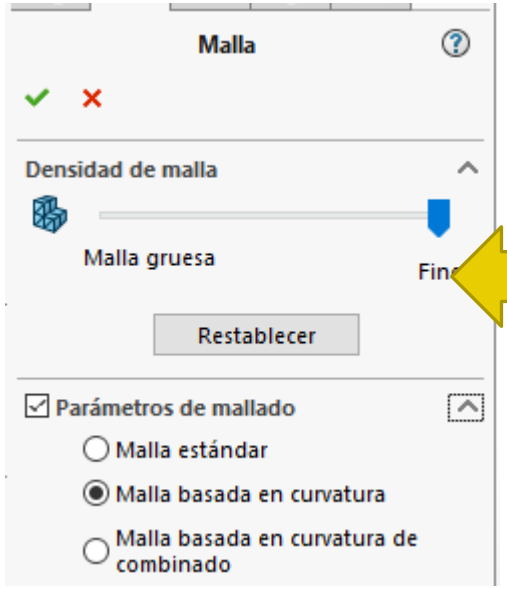


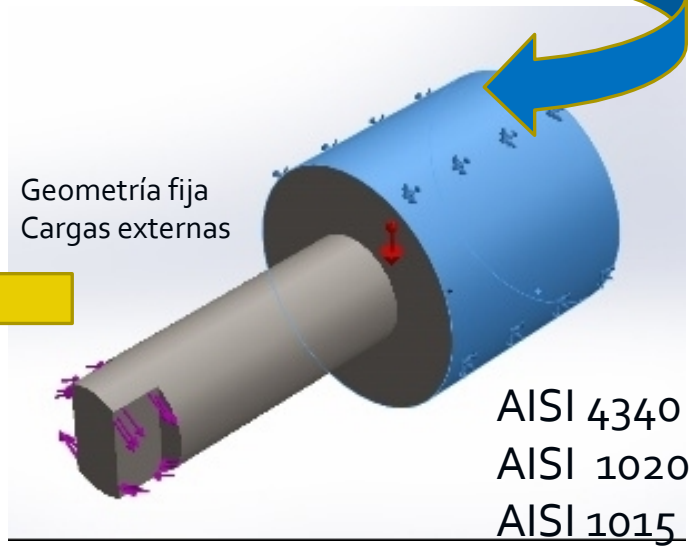












RESULTADOS

RESULTADOS DEL ENSAYO TORQUE Y POTENCIA

Datos ensayo torque y potencia.

n	V	P rueda	P motor	P normal	M normal	M normal
[rpm]	[mph]	[HP]	[HP]	[HP]	[lbf.ft]	[N.m]
965	13,20	4,50	7,20	10,40	56,60	76,73
1861	25,40	10,30	15,50	22,40	63,10	85,55
2760	37,70	14,60	23,10	33,40	63,50	86,09
3658	50,00	16,90	30,10	43,40	62,30	84,46
4553	62,20	13,70	32,70	47,20	54,50	73,89
5385	73,60	8,20	32,90	47,60	46,40	62,9

Parámetros del motor

ISO_500-1

Parámetro	Magnitud	Unidad
n	965	rpm
P motor	7.20	HP
P normal	10.40	HP
M normal	76.73	N-m

PARÁMETROS DE APLICACIÓN

Peso del vehículo

1320 kg

Fuerza de tiro requerida [mm].

$RPF = 1623{,}6\ kg)$

$M = W * r \qquad r = 78{,}90\ mm$

Potencia útil [hp].

$P = 3\text{hp}$

Velocidad lineal[m/min].

$950\ rpm\ v = 6{,}82 \frac{\text{m}}{\text{min}}$

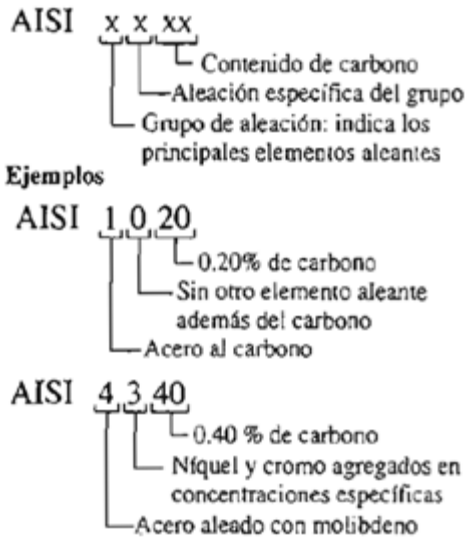
$1000\ rpm\ v = 7{,}18 \frac{\text{m}}{\text{min}}$

Line Speed and Amp. Draw (1st layer of rope on the drum)

Line Pull kg / lb	Line Speed, mpm / fpm	Amp. Draw, A 12V
No Load	50 / 164	96
910 / 2,000	13.9 / 45.6	310
1,810 / 4,000	7.0 / 22.9	500
2,720 / 6,000	4.0 / 13.1	610
3,630 / 8,000	1.6 / 5.2	820

COME UP (2017)

PARÁMETROS INICIALES DE DISEÑO



Parámetros

Parámetros			Unidades
Momento de torsión	Mt	76.73	N.m
Factor de aplicación	Ka	2	
Factor de seguridad	Sf	2	
Factor de distribución de carga	Km	0.8	
Factor de vida útil del eje	Kf	1	

Materiales

Material	Dureza	Resistencia a la fluencia (S_y)	Resistencia a la compresión admisible (σ_a)	Resistencia al corte admisible (τ_a)
	Brinell	MPa	MPa	MPa
Acero estructural	150-200	350	90	140
Acero al carbono	220-270	500	130	200
Aleación de acero	300-350	600	200	275
Acero endurecido superficial	650	650	250	275
Hierro fundido	400	400	135	140

FACTORES

S_f: Factor de seguridad.

Valores de orientación para la elección de seguridad:

- 1.3 a 1.5: información de entrada muy precisa, perfecto conocimiento de las características del material, alta calidad y seguimiento exacto de la tecnología de producción; Acoplamientos insignificantes, daños a los que no provoca consecuencias graves.
- 1.5 a 1.8: cálculo menos preciso sin ninguna verificación experimental, menor precisión en la tecnología de producción, acoplamientos de menor importancia.
- 1.8 a 2.5 : Disminución de la precisión de los cálculos, determinación aproximada de las características del material, conocimiento inexacto de los efectos reales de la carga externa; Grandes diámetros de ejes, acoplamientos muy importantes, daños que podrían poner en peligro la vida humana o provocar grandes pérdidas materiales.

Vida útil del acoplamiento

Especificación	Durabilidad
Maquinas domesticas raramente usadas	2000
Herramientas manuales eléctricas, máquinas para tiradas cortas	5.000
Máquinas para operación de 8 horas	10.000
Máquinas para operación de 16 horas	100.000

Km: Factor de distribución de cargas.

Km	Diseño de acople
0.8	Acoplamiento fijo con longitudes cortas y alta precisión de rodamiento.
0.6 - 0.7	Acoplamiento con precisión normal de rodamiento.
0.5	Acoplamientos deslizantes con grandes longitudes de superficies de contacto y gran desalineación del acoplamiento.

Ka: Factor de aplicación.

Fuente de poder	Tipo de carga			
	Uniforme	Choque Ligero	Choque moderado	Choque pesado
Uniforme	1,00	1,20	1,50	1,80
Choque ligero	1,20	1,30	1,80	2,10
Choque moderado	2	2,20	2,40	2,80

K_f: Factor de vida útil del eje.

Número de ciclos de Torque	Dirección de la carga	
	Unidireccional	Bidireccional
10.000	1,0	1,0
100.000	0,5	0,4
1.000.000	0,4	0,3
10.000.000	0,3	0,2

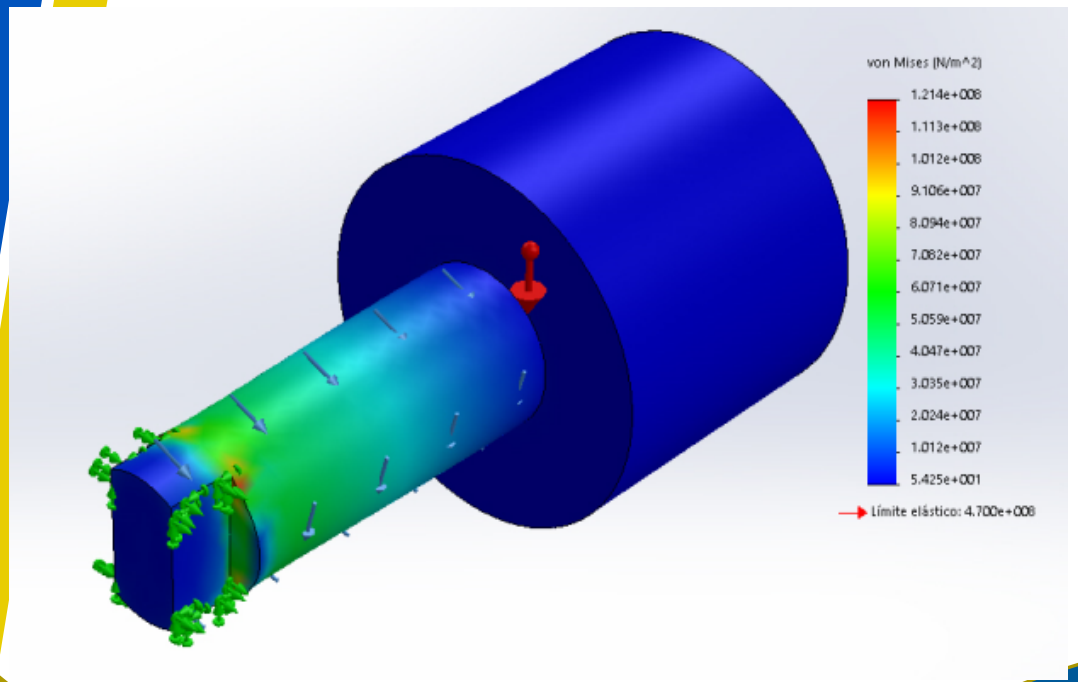
RESULTADOS DEL DIMENSIONAMIENTO DEL EJE

Resultados para el eje.

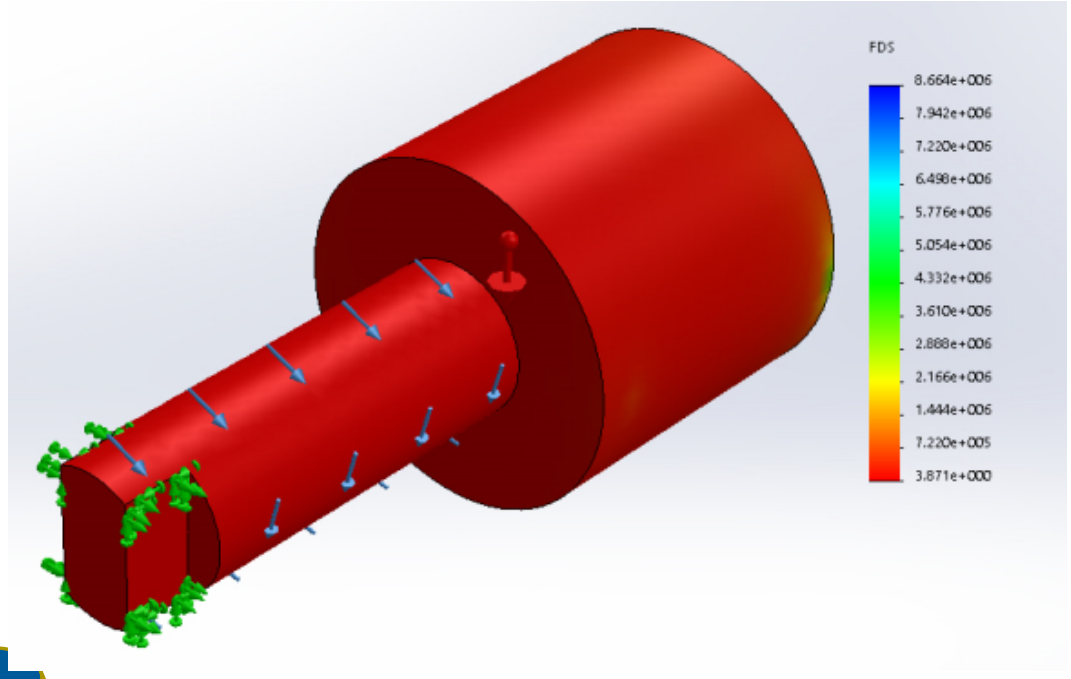
Parámetros		Eje	Unidades
Diámetro mínimo	d_{min}	19.85	mm
Diámetro elegido	d_c	22	mm
Torsión calculada	τ_c	73.4	Mpa
Tensión de von Mises	σ'	127.13	Mpa
Factor de seguridad	Fs	3.70	

EJE

Tensión de Von Mises



Factor de Seguridad



$\sigma' = 127{,}13$ MPa

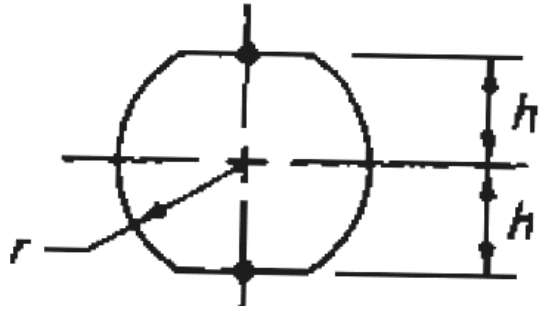
VALIDACIÓN TEÓRICO

$F_s = 3{,}70$

RESULTADOS DEL DIMENSIONAMIENTO DE SECCIÓN TRANSVERSAL NO CIRCULAR

Parámetros iniciales de diseño.

Parámetros		Magnitud	Unidades
Altura desde centro hasta la cara plana	h	5.5	MPa
Radio del eje	r	11	mm
Valor para hallar C4	C_4	0.47	
Valor para calcular la tensión máx.	Q	634.14	mm



Control de la deformación de los dientes ranurados

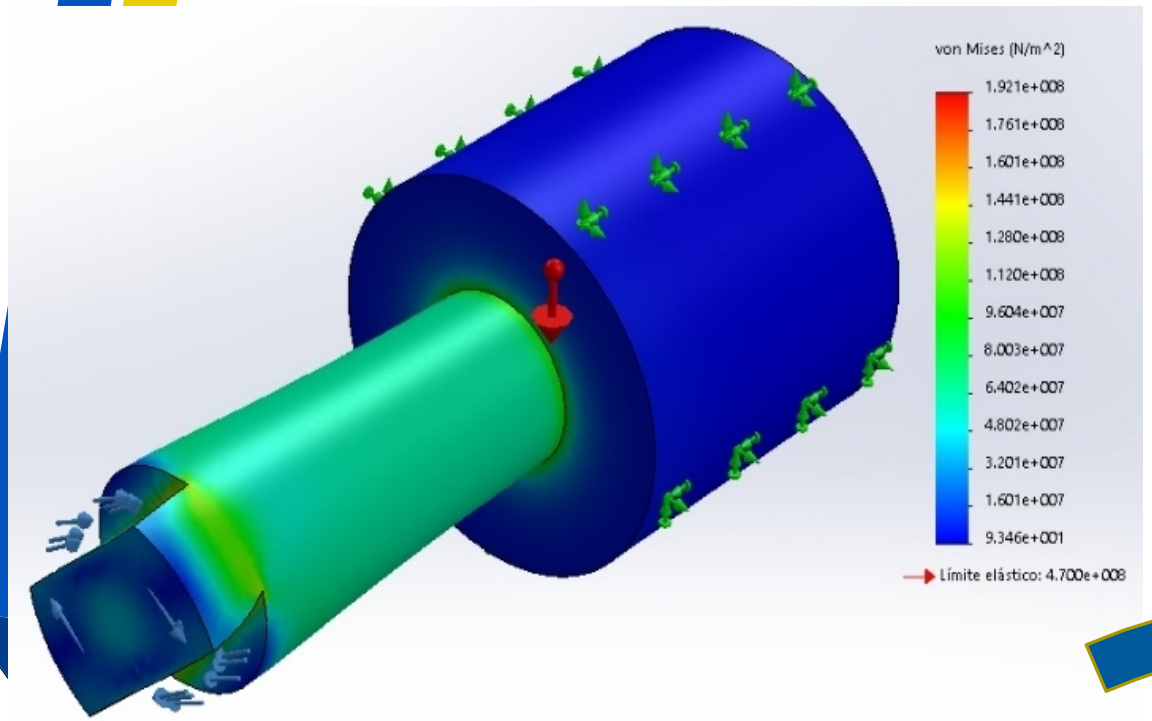
Parámetros		Eje	Unidades
Torsión calculada	τ_c	121.00	MPa
Tensión de von Mises	σ'	209.58	MPa
Factor de seguridad	Fs	2.24	

Factor para calcular torsión

h/r	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
C_3	0,44	0,67	0,93	1,19	1,39	1,57
C_4	0,47	0,6	0,81	1,02	1,25	1,57

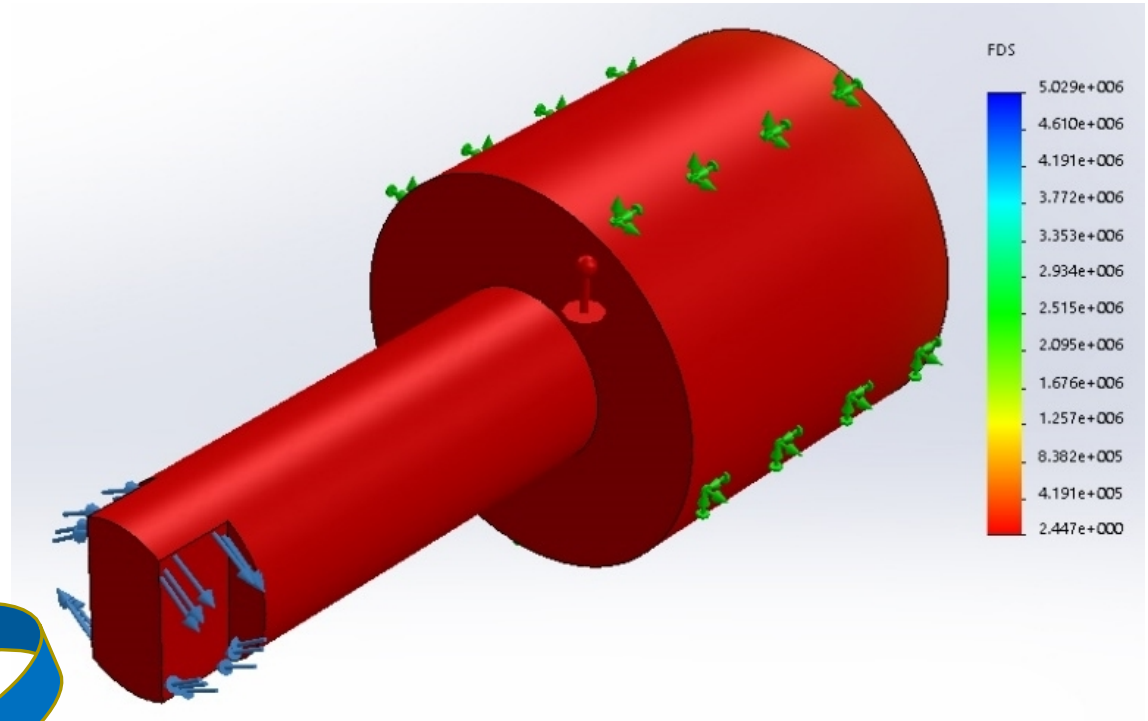
SECCIÓN TRANSVERSAL NO CIRCULAR

Tensión de Von Mises



$\sigma' = 212{,}45$ MPa

Factor de Seguridad



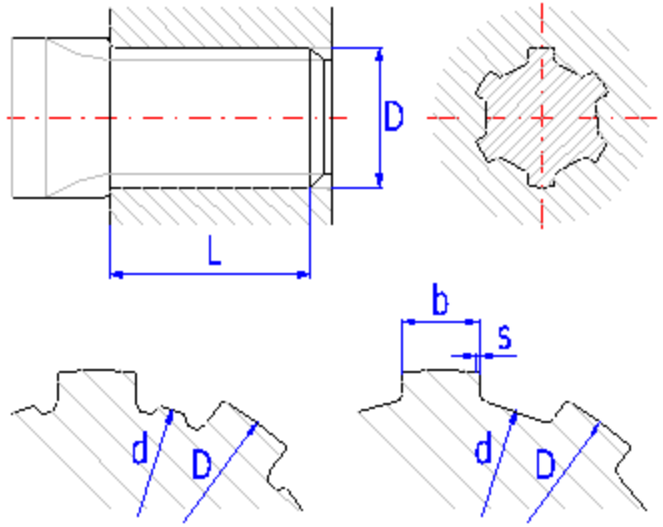
$F_S = 2{,}21$

VALIDACIÓN TEÓRICO

RESULTADOS DEL PERFIL DE EJE RANURADO FLANCOS RECTOS

Geometría del eje y cubo nervado bajo la norma DIN 5472

Parámetros		Eje	Cubo	Unidades
No. De dientes	n	6	6	
Diámetro interior	d	24 j6	24 H7	mm
Diámetro exterior	D	28 a11	28 H13	mm
Ancho del diente	b	8 h9	8 D9	mm
Chaflan (radio)	s	0.4	0.4	mm
Longitud mínima funcional	Lmin	31.6	31.6	mm
Longitud de ranura elegida	L	38	38	mm
Diámetro min.	Di		44.8	mm
Diámetro máx.	Da		50.4	mm
Diámetro elegido	De		50	mm

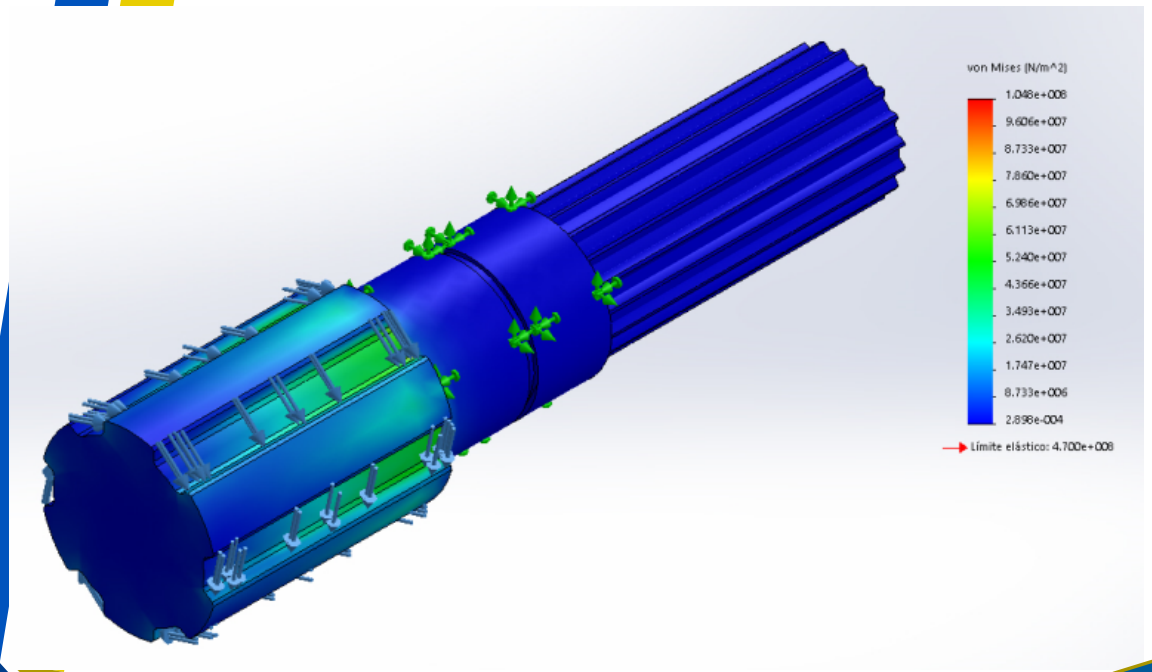


Control de la deformación de los dientes ranurados

Parámetros		Eje	Unidades
Torsión calculada	τ_c	56.54	Mpa
Compresión calculada	σ_a	53.93	MPa
Tensión de von Mises	σ'	111.79	Mpa
Factor de seguridad	Fs	4.20	mm

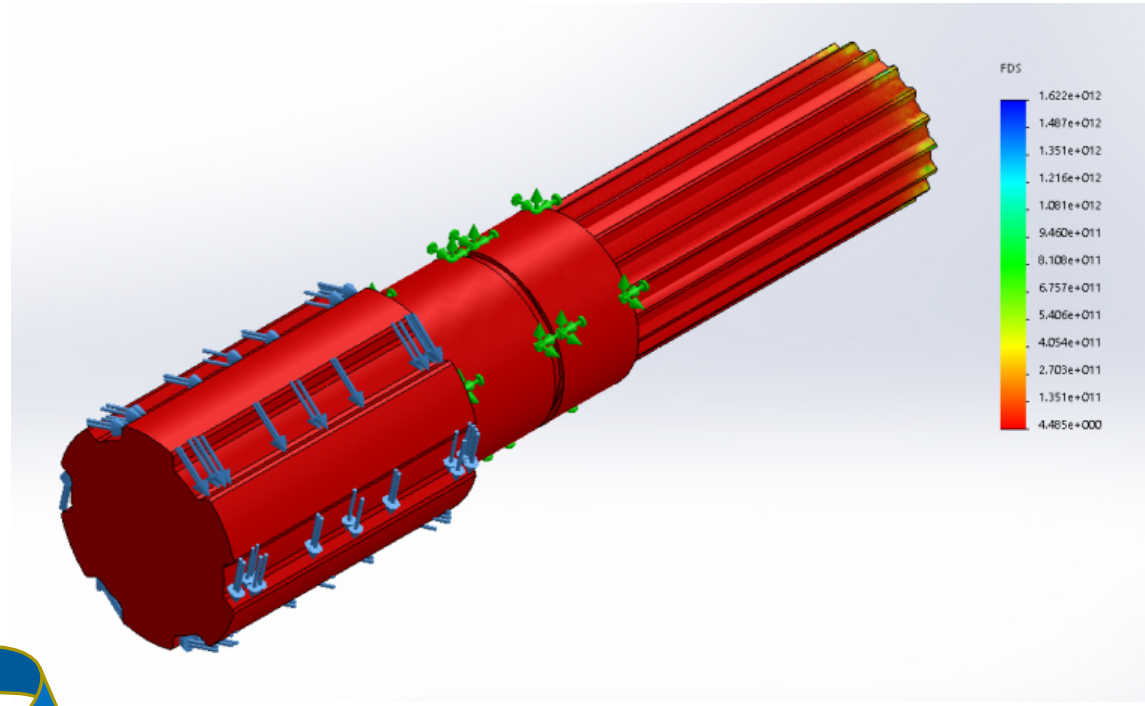
EJE RANURADO FLANCOS RECTOS

Tensión de Von Mises



$\sigma' = 111{,}79$ MPa

Factor de Seguridad



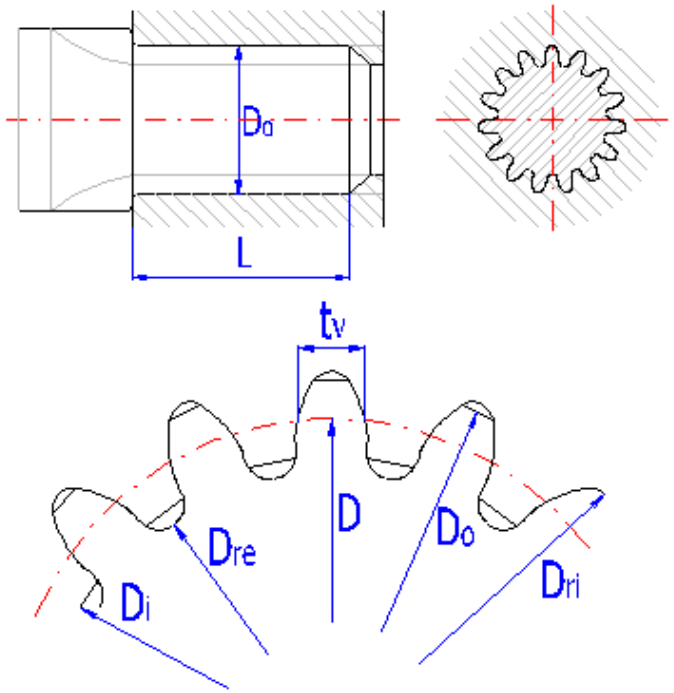
$F_s = 4{,}20$

VALIDACIÓN TEÓRICO

RESULTADOS DEL PERFIL DE EJE RANURADO FLANCOS ENVOLVENTES

Geometría de flancos envolventes bajo la norma DIN 5480

Parámetros				Unidades
Modulo/No. De dientes	m/n	1	18	
Paso/Diámetro base	D/Db	18	15.59	mm
Diámetro externo de ranura	Do/Dre	19,8	17.8	mm
Diámetro interno de ranura	Di/Dri	18	20	mm
Grosor de diente/Ranura de diente	tv/sv	2,09	2.09	mm
Paso/Forma	p/Cf	3,14	0.1	mm
Diámetro referencia	Dd	20		mm
Longitud mínima funcional	Lmin	19,3		mm
Longitud de ranura elegida	L	20		mm

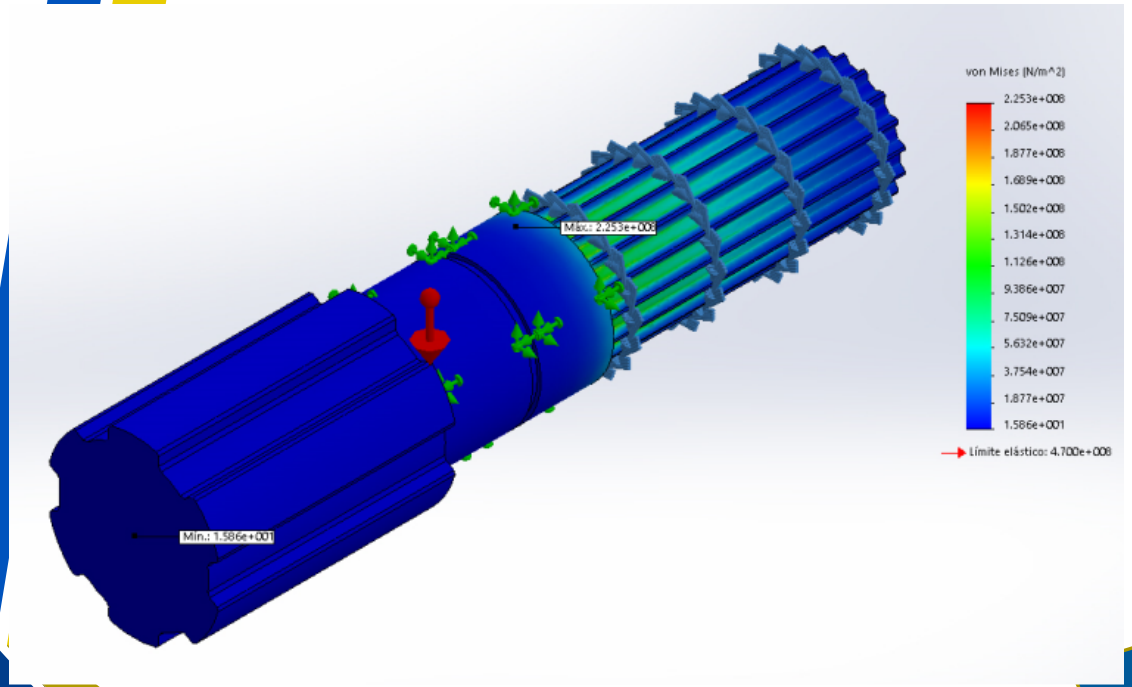


Control de la deformación de los dientes envolventes

Parámetros		Eje	Unidades
Torsión calculada	τ_c	134.01	MPa
Compresión calculada	σ_a	29.83	MPa
Tensión de von Mises	σ'	234.03	Mpa
Factor de seguridad	Fs	2.01	mm

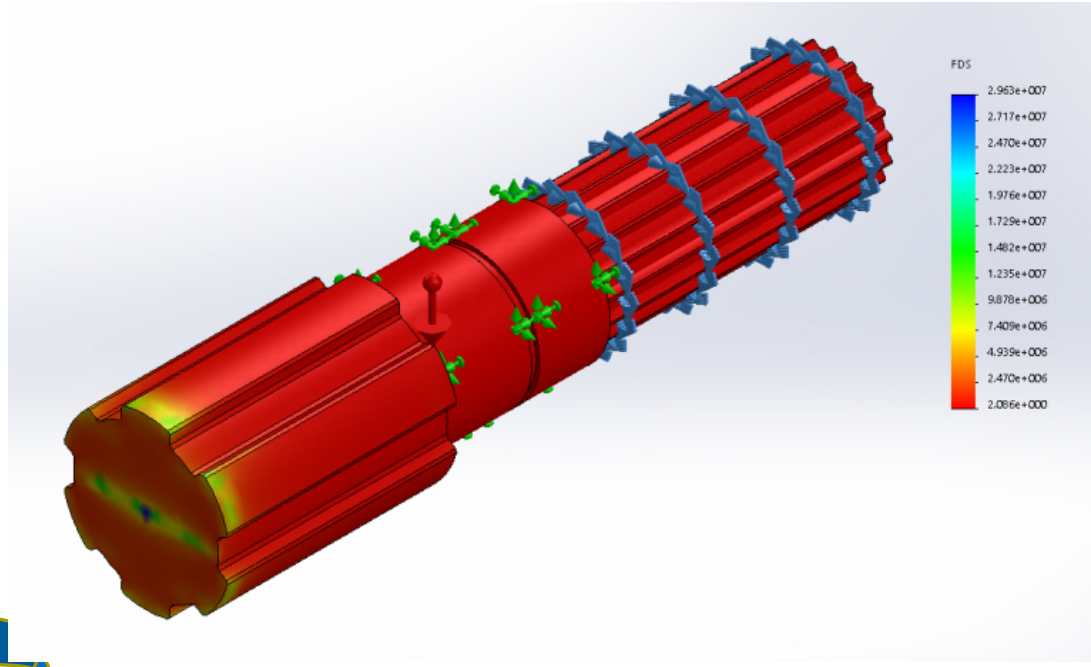
EJE RANURADO FLANCOS ENVOLVENTES

Tensión de Von Mises



$\sigma' = 234{,}03$ MPa

Factor de Seguridad



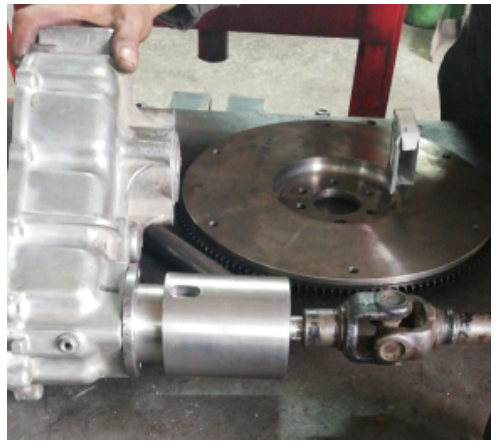
$F_S = 2{,}01$

VALIDACIÓN TEÓRICO

ÁNALISIS DE COSTOS DEL PROTOTIPO

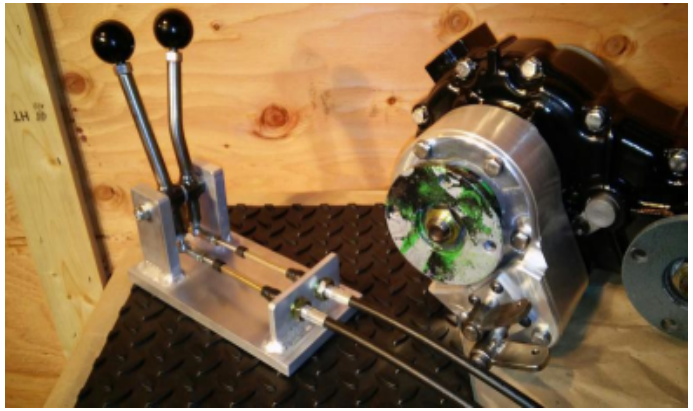
Costos por elementos del prototipo.

Elementos	Precio
Eje ranurado	69,14
Acople ranurado	60,79
Carcaza de eje	80,86
Carcaza de acople	90,01
Componentes mecánicos	52,00
TOTAL	352,81



Kamo oko vidi off road industries → Croacia → $1700 dólares

Sector 4 Offroad Innovations → Estados Unidos → $1450 dólares



DISCUSIÓN DE RESULTADOS

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Ramachandran (2016): Comparación de materiales utilizando un estudio de fallo. Verificación del material del prototipo utilizando índice de factor de seguridad.
- Ramachandran (2016): Análisis de fallo debido a fatiga y validación mediante elementos finitos. Cálculo analítico de los elementos y validación mediante ANSYS
- Thomas (2011): Comparación del modo de funcionamiento del sistema toma fuerza. Modo mecánico utilizado en el prototipo.
- Barsoum (2012): Aspectos geométricos y materiales. Selección de perfiles utilizando la norma DIN 5462 30º y 5472 45º
- Jaramillo (2016): Influencia de los parámetros de mallado. Mallado fino en la validación del diseño.

CONCLUSIONES

- La fundamentación y conceptualización del diseño: Definición de los parámetros iniciales de diseño.
- El desarrollo del ensayo torque y potencia: Alta confiabilidad de los datos iniciales utilizados para el estudio.
- La definición de las etapas de desarrollo: el diseño conceptual permite entregar un prototipo funcional en base a la etapa de diseño y validación.
- La selección del perfil de eje y cubo nervado mediante normativas constituyen el prototipo y permitieron el desarrollo de la presente investigación para su posterior validación
- La validación del cálculo analítico y el proceso de selección: Los elementos fueron correctamente definidos en la etapa de diseño del prototipo
- La fabricación del prototipo del sistema toma fuerza: El sistema desarrollado tiene un costo relativamente bajo, y presenta la factibilidad del ingreso al mercado comercial.

RECOMENDACIONES

- En base al análisis realizado al sistema de toma fuerza fabricado, se pudo determinar ciertas mejoras en la fase de pruebas del prototipo de toma fuerza, como es el método de accionamiento, protecciones que el sistema deba contemplar y posibles mejoras referentes a la selección del material de construcción.

- Se recomienda realizar una comparación de varias aplicaciones utilizando el sistema de toma fuerza, y de esta manera validar la funcionalidad del diseño conceptual del prototipo del sistema de toma fuerza.

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA
MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO

Diseño e implementación de un prototipo toma fuerza para Suzuki samurái mediante elementos finitos.

Autores:
Dr.: Edilberto Llanes
Ing.: Cristhian Garzón

Quito, Marzo 2019

Gracias!

ECUADOR
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
SER MEJORES

REFERENCIAS

- Allen, J. (15 de Febrero de 2017). *jeepcollection.* Obtenido de http://www.jeepcollection.com/portfolio/1946-willys-cj-2a/
- Arenas, E., & León, J. (2012). *Ejes y Árboles Manual de Diseño.* Colombia.
- Barsoum, I. (Enero de 2012). *researchgate.* Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/235944347_Strength_Optimization_of_Induction_Hardened_Splined_Shaft_-_Material_and_Geometric_Aspects
- Bernal, J. (2005). *Diseño conceptual de productos asistido por ordenador.* Departament de Projectes d'Enginyeria.
- Budynas, G., & Keith, J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.* México,D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Carsopedia. (20 de Enero de 2016). *CARSOPEDIA*. Obtenido de https://carsopedia.com/es/catalog/mitsubishi/pajero/metal-top/2-5-td-1990-12738/
- *COME UP WINCH.* (16 de 11 de 2017). Obtenido de http://www.comeupwinch.com/ab/download.php#.XItc7yhKiUk
- Cray, A. (13 de Febrero de 2018). *offroaders.* Obtenido de http://www.offroaders.com/winch-tech/parts-of-a-winch/
- Domínguez, E. J., & Ferrer, J. (2012). Embrague y convertidores de par. En E. J. Domínguez, & J. Ferrer, *Sistemas de trasmisión y frenado* (págs. 47-51). Editex.
- Espinoza, J. (2011). REPOSITORIO UG. *LAS IMPORTACIONES DE ACERO EN EL ECUADOR:ANALISIS Y PERSPECTIVAS.* UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL, Guayaquil.
- Hall, A. (1988). *Teoría y problemas de diseño de máquinas.* Mexico: McGraw-Hill.
- ISO_500-1. (2014). *Agricultural tractors- Rear-mounted power take-off types 1,2,3 and 4*. Switzerland: International Standard.
- Lechner, G., & Harald, N. (1999). *Automotive Transmissions:fundamentals,selection,design and aplication.* Berlin : Springer.
- Melvin, C. (2017). Métodos de Investigación Académica. *Fundamentos de Investigación Bibliográfica.* Universidad de DCosta Rica, Costa Rica.
- Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas.* Mexico: PRENTICE HALL INC.
- Niemann. (1973). *ELEMENTOS DE MÁQUINAS.* Barcelona: Labor S.A.
- Pascal. (8 de Febrero de 2016). *jeepwillysworld*. Obtenido de http://jeepwillysworld.com/blog/2016/02/08/1967-ramsey-winches-for-jeep/
- Ramachandran, D. (2016). FAILURE ANALYSIS AND REDESIGN OF FORGING HAMMER SHAFT. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, (pág. 32). Germany.
- retro_rides. (29 de Enero de 2014). *retro_rides*. Obtenido de http://forum.retro-rides.org/thread/162139/1989-pajero-factory-winch-goodness
- *silodrome*. (s.f.). Obtenido de https://silodrome.com/wp-content/uploads/2018/10/Jeep-CJ2A.jpg
- Staff. (23 de Enero de 2018). *truckinginfo*. Obtenido de https://www.truckinginfo.com/278402/mack-introduces-split-shaft-functionality-for-mdrive-hd-transmission
- Thomas, R. (2001). *Development of a computer-controlled.* Pennsylvania, Estados Unidos.