



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN Y FRENOS DE UNA TRICICLETA SOLAR”

AUTORES: GUANO LUIS
JORQUE ABRAHAN

DIRECTOR: ING. CASTRO JUAN
CODIRECTOR: ING. MANJARRÉS FÉLIX



INTRODUCCIÓN

En la Universidad de las Fuerzas Armadas se requiere impulsar la investigación de nuevas tecnologías limpias y amigables con el medio ambiente para lo cual hace necesario un proyecto que aporte al desarrollo de la movilidad vehicular híbrida y a crear conciencia sobre la importancia de las energías renovables como impulsoras de una sociedad más sustentable. Debido a esta necesidad diseñaremos un sistema de Transmisión y de Frenos para una tricicleta híbrida la misma que debe alcanzar un alto rendimiento y seguridad al frenar.



OBJETIVOS

GENERAL:

- Diseñar y construir los sistemas de transmisión y frenos para una tricicleta solar.



ESPECÍFICOS:

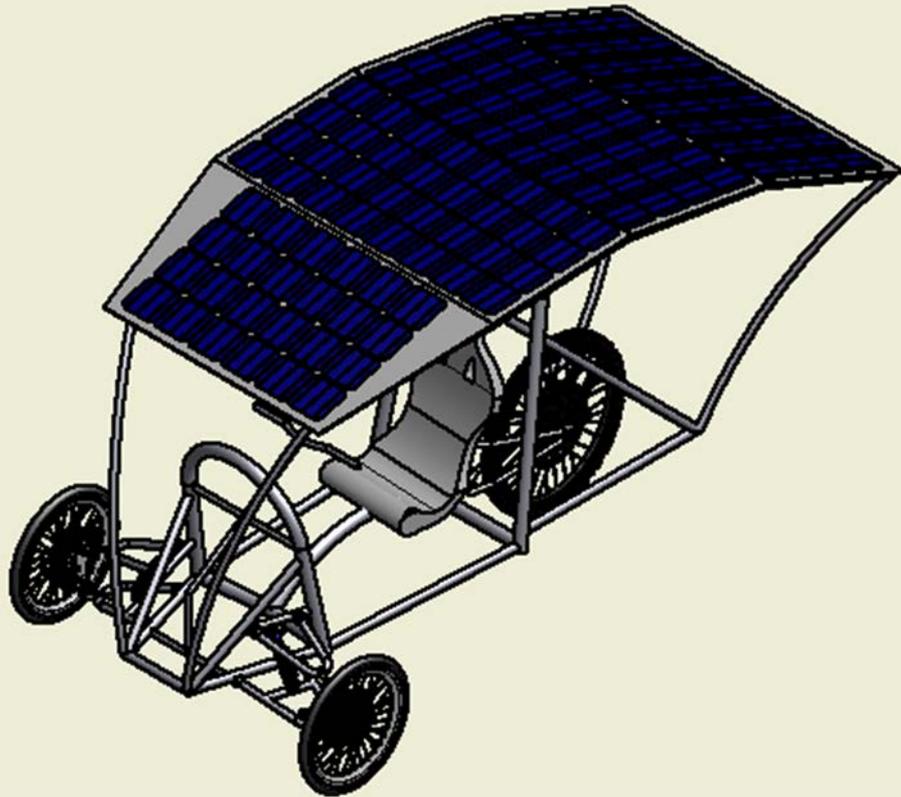
- Efectuar la recolección de información y realizar un estudio de campo de los sistemas de transmisión y de frenos para la aplicación en la tricicleta solar.
- Diseñar en CAD los sistemas de transmisión y de Frenos, cumpliendo los requerimientos y la normativa de la competencia “La Ruta Solar”.
- Analizar los esfuerzos y posibles deformaciones a la que debe soportar los sistemas expuestos cuando se le apliquen cargas y cambios bruscos de velocidad.
- Realizar un protocolo de pruebas de campo para verificar el comportamiento y desempeño de los sistemas manifestados para así generar información estadística en la tricicleta híbrida.



JUSTIFICACIÓN

Un vehículo híbrido que funcione con energías renovables es el propósito de esta investigación y desarrollo del proyecto que pueden ser posteriormente aplicados a los vehículos eléctricos para hacerlos competitivos frente a los vehículos de combustión interna y acelerar así, su aceptación en el mercado creando conciencia ambiental en sus ocupantes.





SISTEMA DE
TRANSMISIÓN

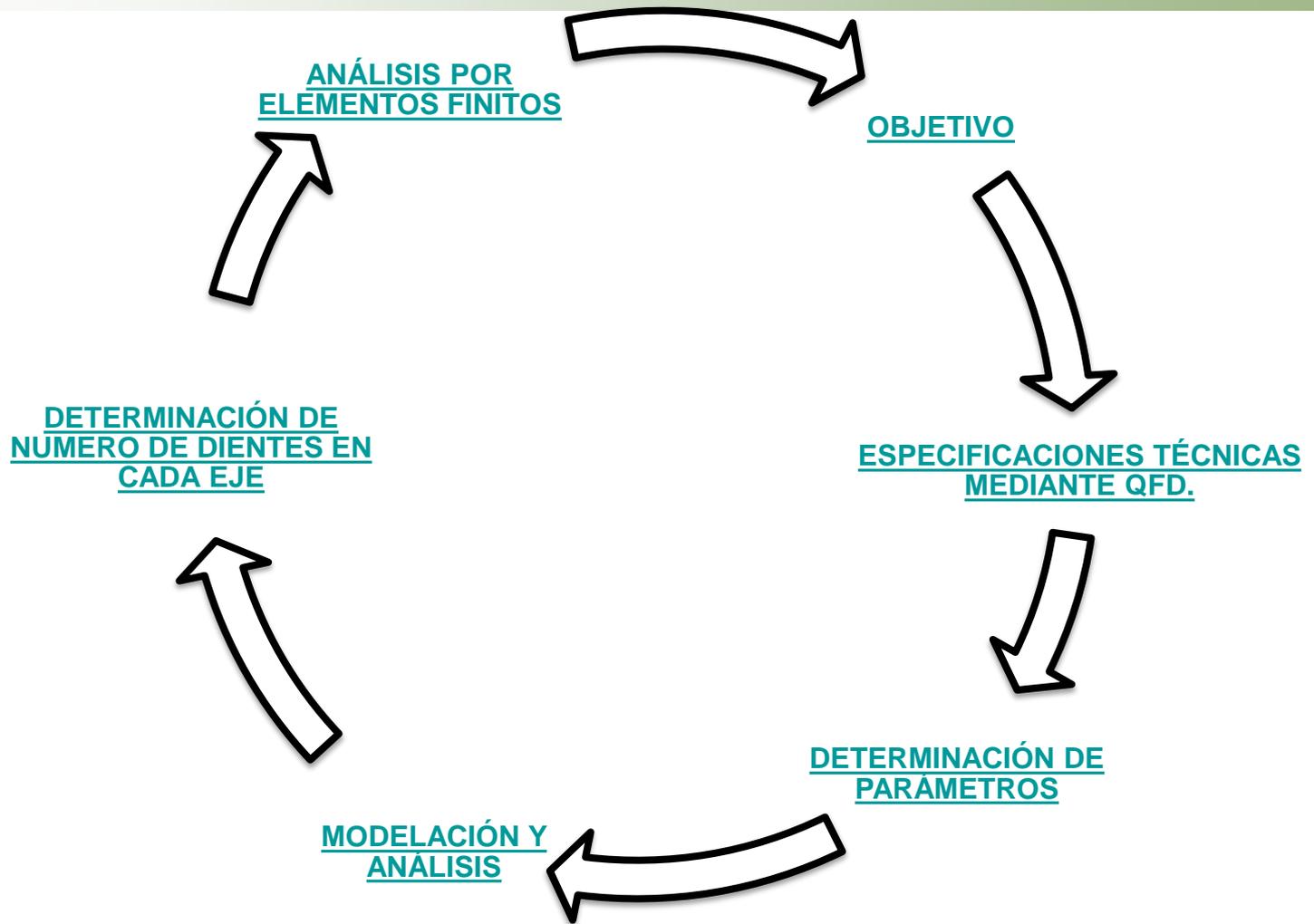
SISTEMA DE
FRENOS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

SISTEMA DE TRANSMISIÓN





OBJETIVOS

Diseñar

Construir

SISTEMAS DE :

Transmisión

Frenos

FUNCIONAMIENTO

Energía Humana

Energía solar



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

O
B
J
E
T
I
V
O



Fiable



Ergonómico



Versátil



Seguro



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

Especificaciones técnicas para el diseño y construcción.

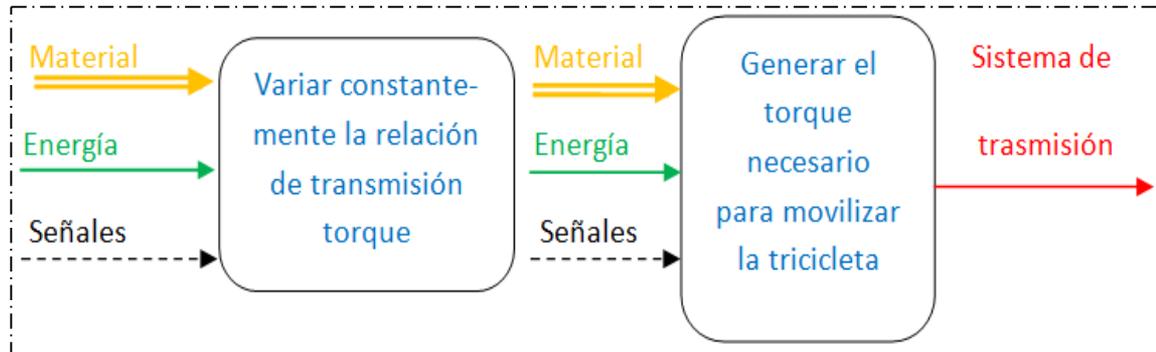
Concepto	Propone	R/D	Descripción
Función	D	R	Sistema de transmisión que permita acoplar y desacoplar de manera fácil y segura la tracción humana con la eléctrica, generando la mayor eficiencia en su funcionamiento.
Fuerzas	D	R	Disminución y aprovechamiento adecuado del esfuerzo ejercido por las extremidades inferiores en los pedales o el motor eléctrico.
		R	Absorción correcta de vibraciones generadas por la irregularidades de la vía y masas no suspendidas del vehículo.
Energía	C	D	Aprovechamiento adecuado de la radiación solar por medio de paneles fotovoltaicos para lograr el desplazamiento del vehículo.
Revisión	C	R	Lubricación periódica de la cadena de transmisión de potencia y engrasado de los rodamientos
	D	D	De fácil montaje y desmontaje.

Propone: M=Márquetin, D= Diseño, P= Producción, F= Fabricación, C= Calcular
R/D: R= Requerimiento, D= Deseo, MR= Modificación de requerimiento.



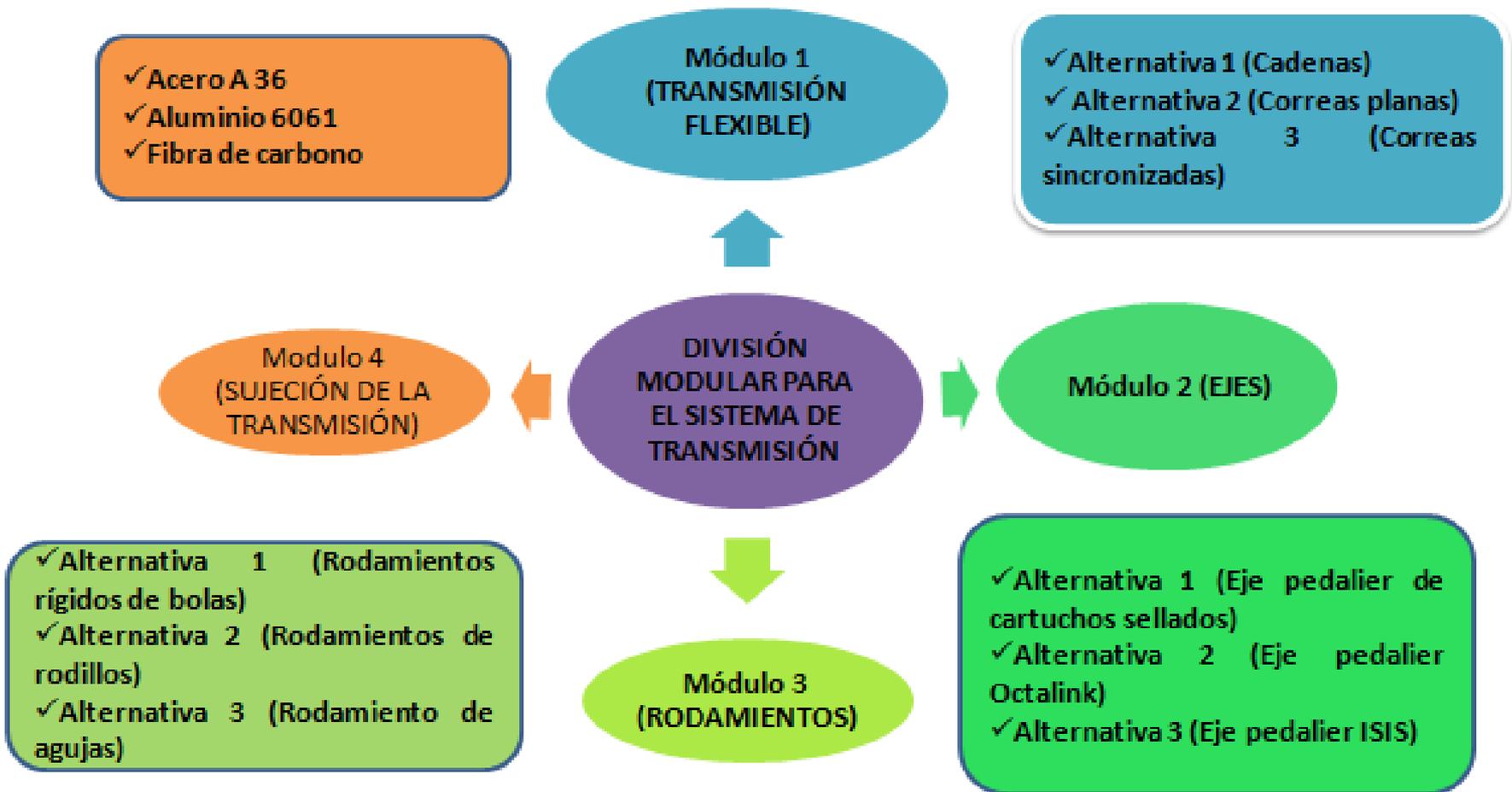
Análisis funcional

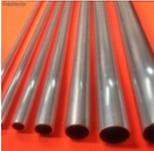
FUNCIÓN PRINCIPAL



FUNCIÓN PRINCIPAL

Ejecutar variaciones de relaciones de transmisión y torque necesario acorde a las condiciones de la carretera y requerimiento del conductor.



soluciones Funciones	Ejecutor de funciones		
Módulo 1 (TRANSMISIÓN FLEXIBLE)			
Módulo 2 (EJES)			
Módulo 3 (RODAMIENTOS)			
Modulo 4 (SUJECIÓN DE LA TRANSMISIÓN)			

SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	
Módulo 1 (TRANSMISIÓN FLEXIBLE)	Cadena
Módulo 2 (EJES)	Cartuchos sellados
Módulo 3 (RODAMIENTOS)	Rodamiento de bolas rigido
Módulo 4 (SUJECIÓN DE LA TRANSMISIÓN)	Acero A-36



DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

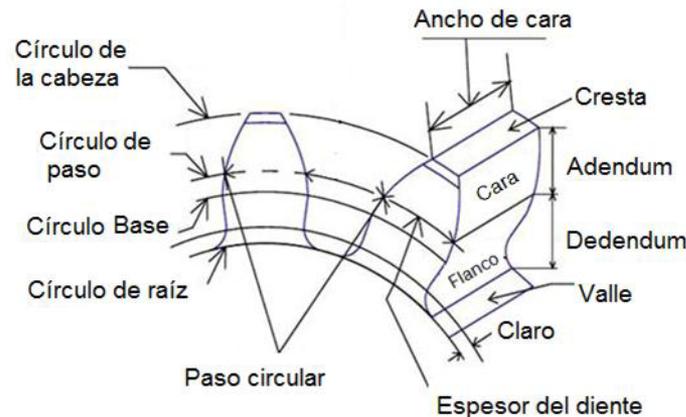
Dimensionamiento de las ruedas dentadas.

$$D_{p1} = \left(\frac{p}{\text{sen} \left(\frac{180^\circ}{N_1} \right)} \right) = 16.18 \text{ cm}$$

$$D_{ex} = \frac{(N + 2)}{P} = 17 \text{ cm}$$

$$p = \frac{\pi}{P} = \frac{\pi}{2.47} = 1.27 \text{ cm}$$

$$b = \frac{1.25}{P} = 0.506 \text{ cm}$$



$$a = \frac{1}{P} = 0.405 \text{ cm}$$

$$t = \frac{\pi}{2P} = 0.635 \text{ cm}$$

Dimensionamiento para la selección de la cadena del mecanismo delantero.

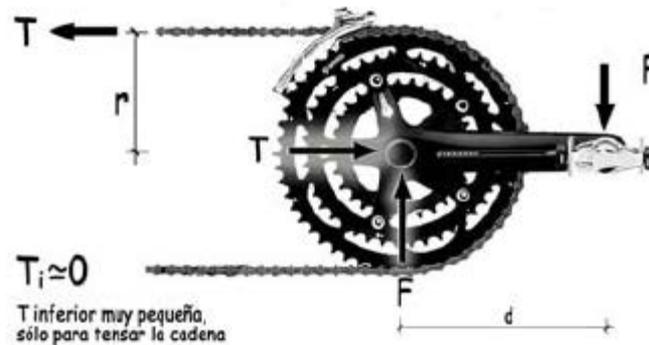
$$L = 2C + \frac{N_2 + N_1}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 C} = \mathbf{174 \text{ PASOS}}$$

$$C = \frac{1}{4} \left[L - \frac{N_2 + N_1}{2} + \sqrt{\left[L - \frac{N_2 + N_1}{2} \right]^2 - \frac{8(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2}} \right] = \mathbf{85.09 \text{ cm}}$$

$$\theta_1 = 180^\circ - 2 \sin^{-1} \left[\frac{D_2 - D_1}{2C} \right] = \mathbf{180^\circ}$$



Distribución de fuerzas del mecanismo delantero.



$$F_A * r_1 = F * d$$

$$F_A = \frac{F * d}{r_1} = 1081.58 \text{ N}$$

$$F_{\text{CADENA\#1}} = \frac{F_A}{\cos(0^\circ)} = 1081.58 \text{ N}$$

$$T_A = F * d = 87.5 \text{ Nm}$$



Determinación de velocidad y potencia del mecanismo delantero.

$$v_1 = p * N_1 * n_1 = 1.1 \text{ m/s}$$

$$P_1 = F_{\text{CADENA\#1}} * v_1 = 1189.74 \text{ W}$$



Dimensionamiento para la selección de la cadena del mecanismo posterior

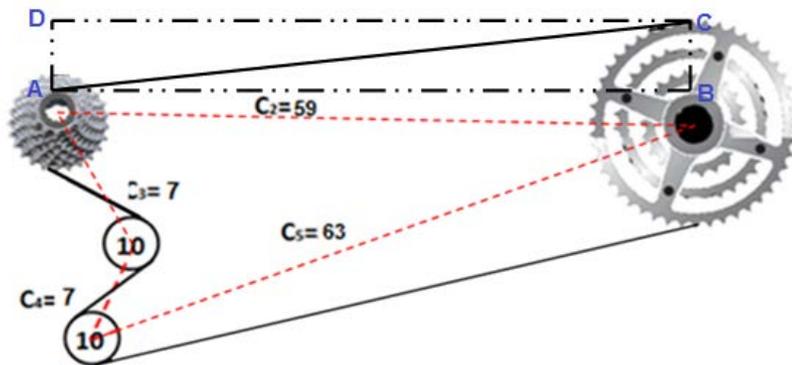
$$L = C_2 + \frac{N_4 + N_3}{4} + \frac{(N_4 - N_3)^2}{8\pi^2 C_2} + C_3 + \frac{N_5 + N_4}{4} + \frac{(N_5 - N_4)^2}{8\pi^2 C_3} + C_4 + \frac{N_6 + N_5}{4} + \frac{(N_6 - N_5)^2}{8\pi^2 C_4} + C_5 + \frac{N_3 + N_6}{4} + \frac{(N_3 - N_6)^2}{8\pi^2 C_5} = 162 \text{ PASOS}$$

$$L = 2C_2 + \frac{N_4 + N_3}{2} + \frac{(N_4 - N_3)^2}{4\pi^2 C_2} = L = 146 \text{ PASOS}$$

$$C = \frac{1}{4} \left[L - \frac{N_2 + N_1}{2} + \sqrt{\left[L - \frac{N_2 + N_1}{2} \right]^2 - \frac{8(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2}} \right] = 74.93 \text{ cm}$$



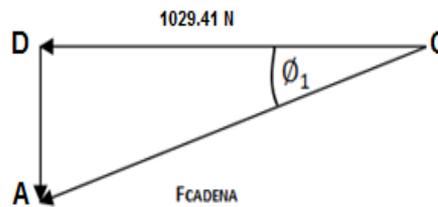
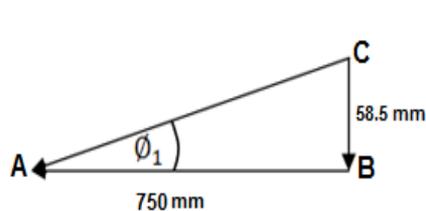
Distribución de fuerzas del mecanismo posterior.



$$F_C = \frac{T_B}{r_3} = 1029.41 N$$

$$\operatorname{tg} \phi_1 = \frac{BC}{AB} = 4.46^\circ$$

$$F_{\text{CADENA}\#2} = \frac{F_C}{\cos \phi_1} = 1032.12 N$$



Determinación de velocidad y potencia del mecanismo delantero.

$$v_4 = p * N_4 * n_3 = 1.155 \text{ m/s}$$

$$P_3 = F_{CADENA\#2} * v_4 = 1192.1 \text{ W}$$

$$T_D = F_D * r_9 = 47.97 \text{ Nm (torque del eje 3)}$$



DETERMINACIÓN DE NUMERO DE DIENTES EN CADA EJE

El sistema de transmisión es elaborado a partir de una configuración en serie, determinamos la numeración de dientes de las catarinas y piñones.

Plato 1	Plato 2	Plato 3	Plato 4
40	40	42	11
		34	13
		24	15
			17
			19
			21
			23



DETERMINACIÓN DE LA MÍNIMA Y MÁXIMA RELACIÓN DE TRANSMISIÓN

Determinación de las combinaciones de las diferentes catarinas y piñones, que muestran las relaciones de transmisión del mecanismo

$$i = \frac{\text{Plato 1}}{\text{Plato 2}} * \frac{\text{Plato 3}}{\text{Piñones}}$$

Plato 1	Plato 2	Plato 3	11	13	15	17	19	21	23
40	40	42	3.81	3.23	2.8	2.47	2.21	2	1.82
		34	3.1	2.61	2.26	2	1.78	1.61	1.47
		24	2.18	1.84	1.6	1.4	1.26	1.14	1.05

Descripción

Máximo
Mínimo



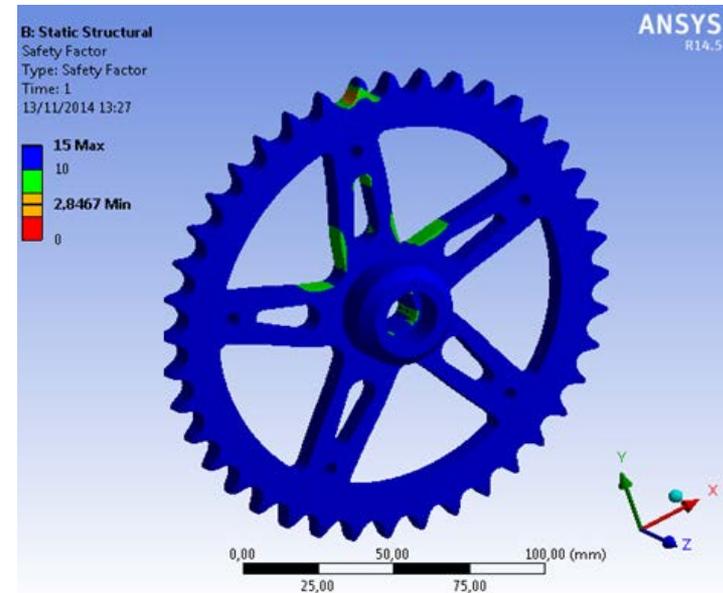
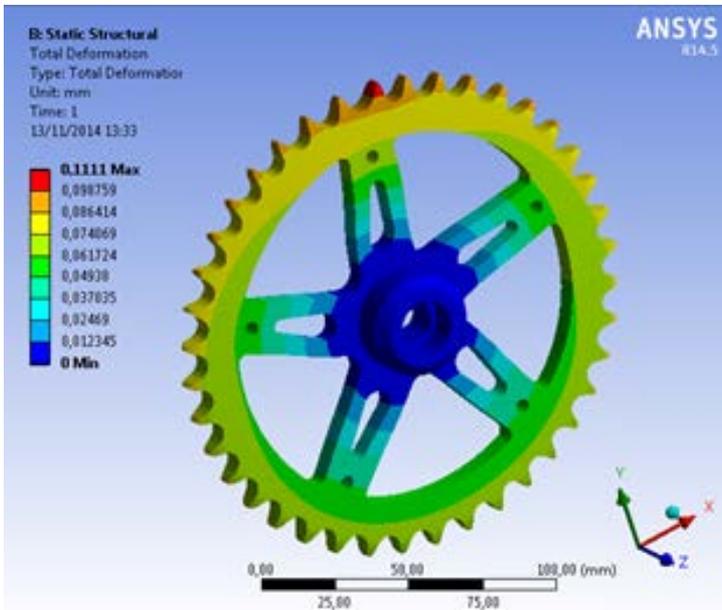
La relación de transmisión que permite alcanzar una velocidad máxima se analiza mediante la cadencia, La cadencia es el ritmo al cual el conductor puede mantener una velocidad angular constante de los pedales. El análisis se realiza para una para una cadencia de 130 rpm

	Relación de transmisión	W=130 rpm	Velocidad lineal(Km/h) Rueda posterior d=0.66 m	Combinación
Mínimo	1.05	134.65	16.75	40-40-24-23
Máximo	3.81	496.36	61.75	40-40-42-11



DESARROLLO DE ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS

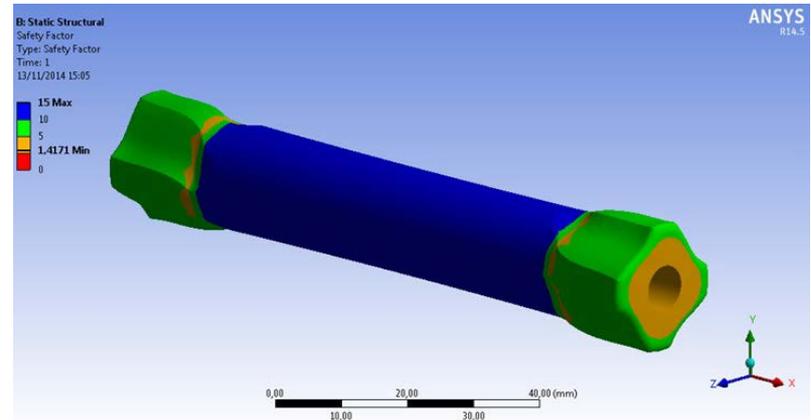
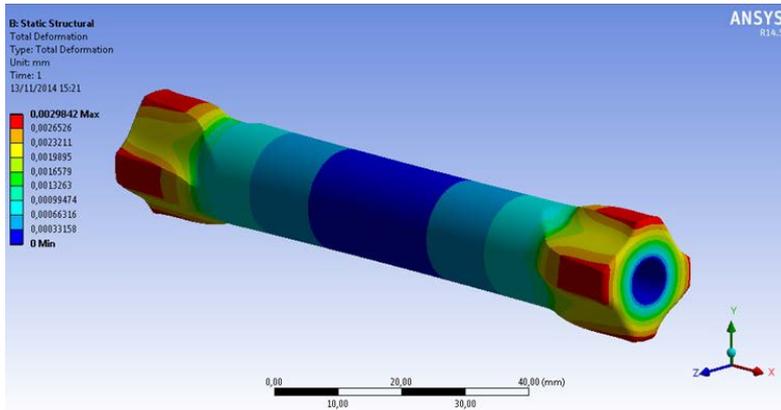




RESULTADO ANÁLISIS ESTÁTICO

Parámetro	Deformación Total	Factor de seguridad
Mínimo	0 mm	2,84
Máximo	0.11 mm	15





RESULTADO ANÁLISIS ESTÁTICO

Parámetro	Deformación Total	Factor de seguridad
Mínimo	0 mm	1,41
Máximo	0.002 mm	15



SISTEMA DE FRENOS



SISTEMA DE FRENOS

OBJETIVOS

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
MEDIANTE QFD.

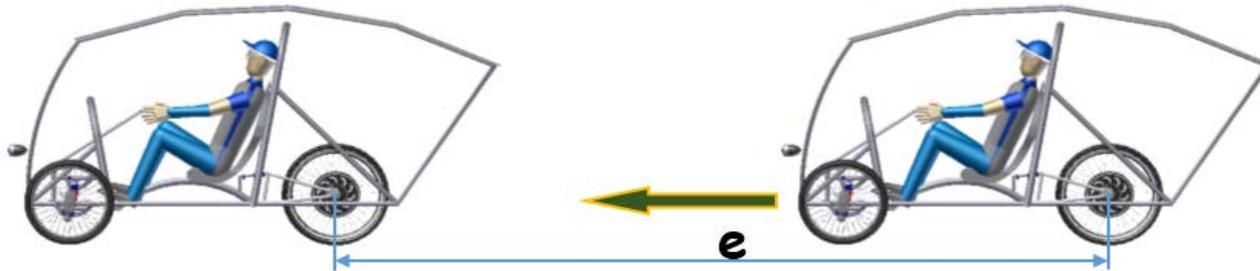
PROCESO DE DISEÑO

CONFIGURACIÓN Y PARTES DEL
SISTEMA DE FRENOS



Objetivos del sistema de frenos

- Lograr una distancia de frenado con velocidad 20 a 0 km/h en menos de 5 m.



- Contar con dos sistemas de frenos equilibrados e independientes entre sí (principal y secundario), de manera que si un sistema falla, el otro pueda ser accionado para detener el vehículo.

Especificaciones técnicas para el diseño y construcción.

Concepto	Propone	R/D	Descripción
Función	D	D	Conferir la capacidad de disminuir o anular progresivamente la velocidad de la tricicleta solar.
Fuerzas	D	R	La fuerza de accionamiento de los frenos debe ser mínima para que al ocupante de la tricicleta no le cause estrés en conducción.
		R	La fuerza aplicada en el contacto entre disco-pastilla debe ser capaz de detener la tricicleta en la distancia dispuesta por la competencia.
Precisión	D	R	La precisión de frenado es directamente proporcional a la calidad de material utilizado.
Revisión	C	D	Sistema de frenos que cumpla con la normativa de la competencia.
	D	R	Visualizar el sellado correcto del sistema hidráulico.
	D	R	Revisa el desgaste normal de la superficie de fricción entre las pastillas con el disco

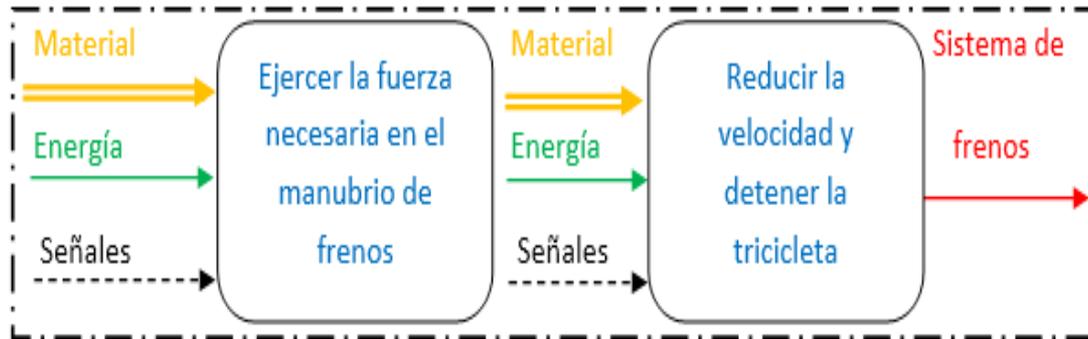
Propone: M=Márquetin, D= Diseño, P= Producción, F= Fabricación, C= Calcular

R/D: R= Requerimiento, D= Deseo, MR= Modificación de requerimiento.



Análisis funcional

FUNCIÓN PRINCIPAL

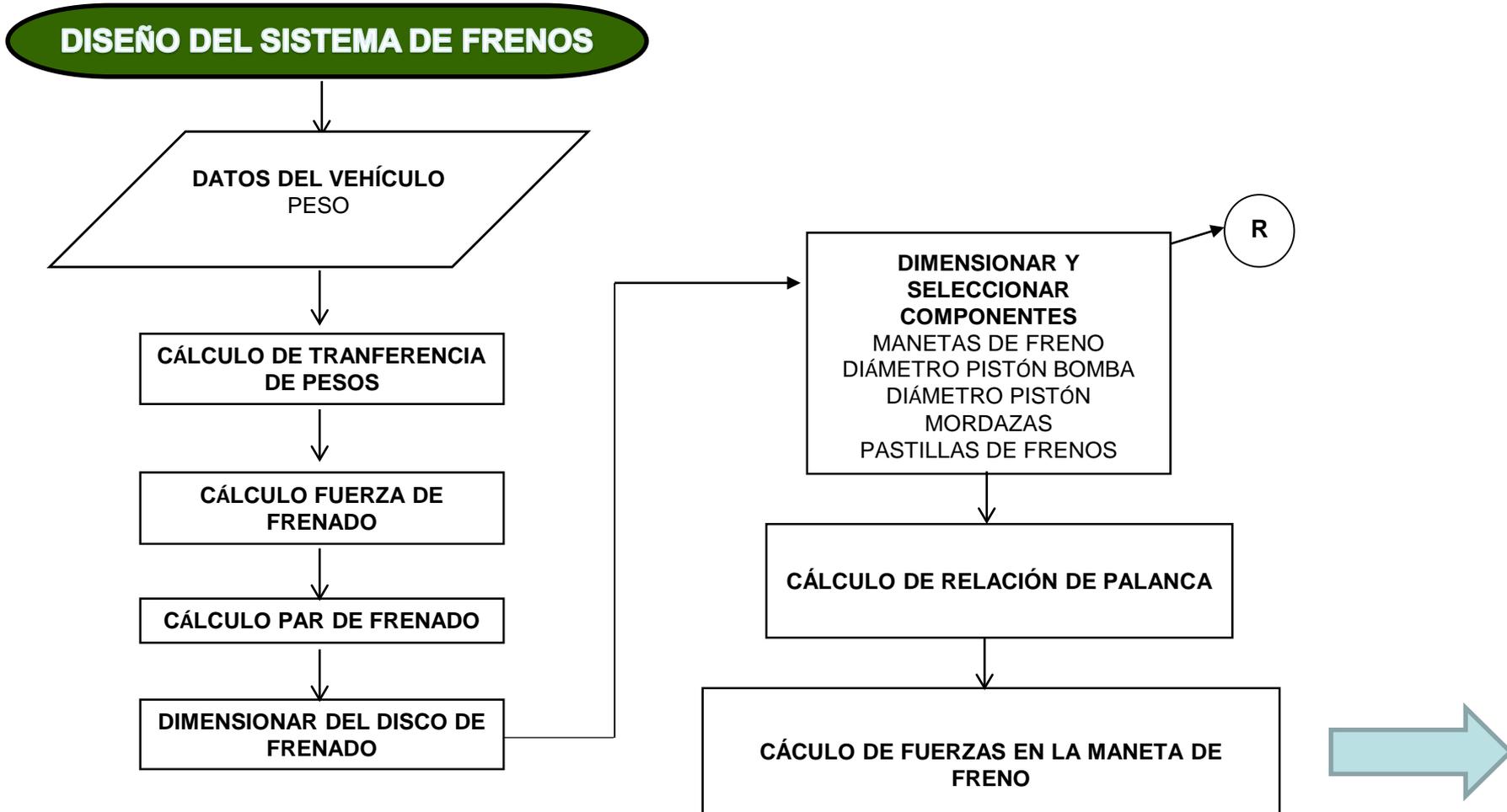


FUNCIÓN PRINCIPAL

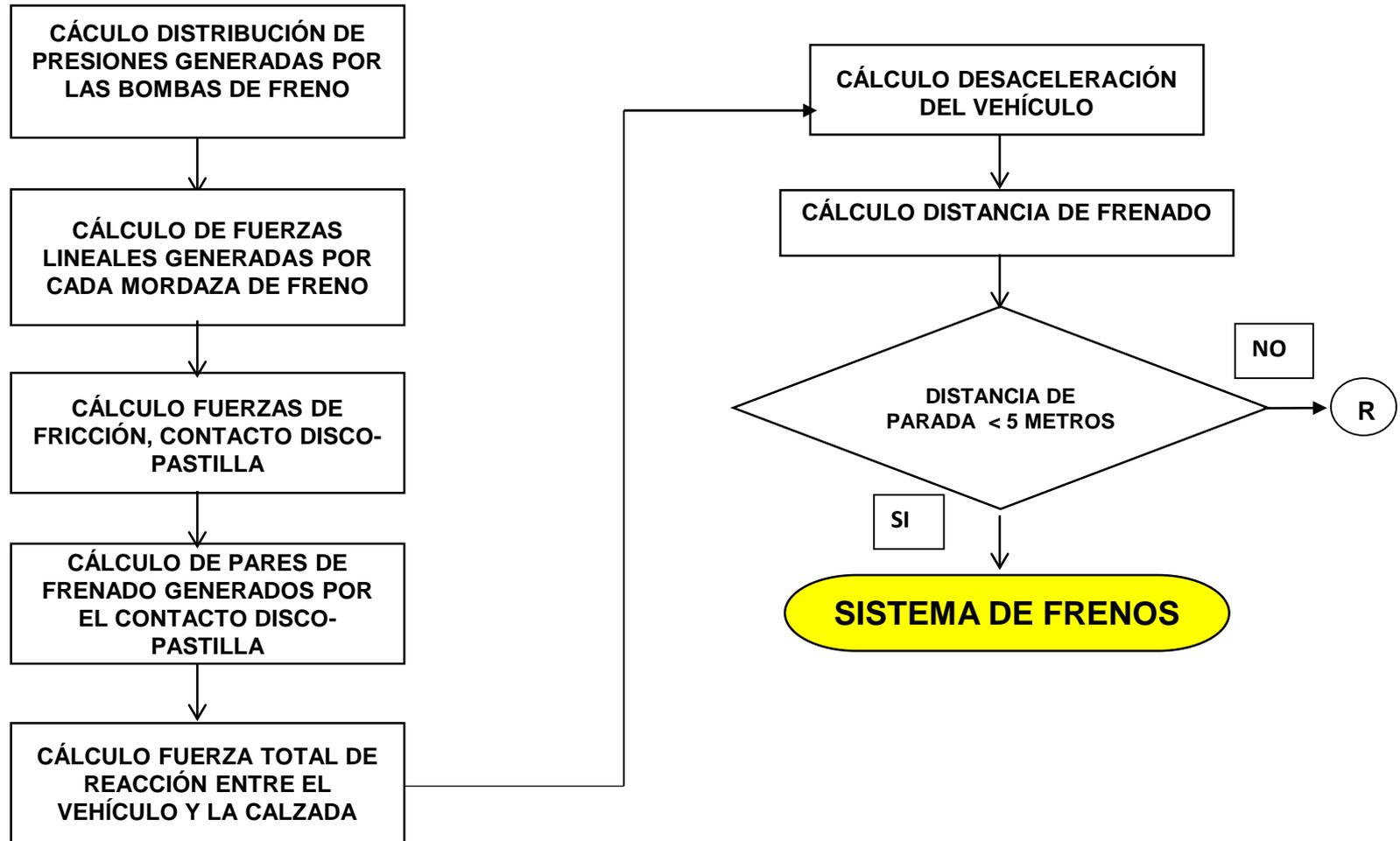
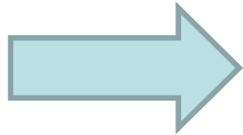
Otra función de la tricicleta solar es la de disminuir, anular progresivamente su velocidad llegando a detenerlo completamente y mantenerlo inmóvil cuando está detenido mediante el sistema de frenos brindando de esta manera seguridad al piloto.



Proceso de diseño del sistema de frenos



Proceso de diseño del sistema de frenos



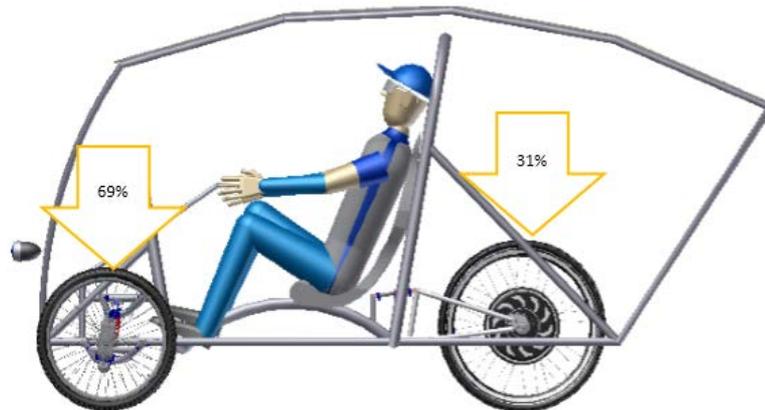
Cálculo de transferencia de pesos

$$\text{Distribución de peso en el eje delantero} = \frac{P_d}{P} * 100 = 43,2 \%$$

$$\text{Distribución de peso en el eje trasero} = \frac{P_t}{P} * 100 = 56,8 \%$$

$$TP = \left(\frac{\mu * g}{g} \right) * \left(\frac{h}{L} \right) * P$$

$$TP = \left(\frac{1,2 * 9,81 \text{ m/s}^2}{9,81 \text{ m/s}^2} \right) * \left(\frac{421,3 \text{ mm}}{1668 \text{ mm}} \right) * (208 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2) = 618,46 \text{ N}$$



Cálculo fuerza de frenado

$$P_{d,d} = P_d + TP$$

$$P_{d,d} = (89,94 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2) + 618,46 \text{ N} = 1500,77 \text{ N}$$

$$P_{t,d} = P_t - TP$$

$$P_{t,d} = (118,36 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2) - 618,46 \text{ N} = 542,66 \text{ N}$$

$$F_{f,d} = \mu * P_{d,d} = 1,2 * 1500,77 \text{ N} = 1800,92 \text{ N}$$

$$F_{f,t} = \mu * P_{d,t} = 1,2 * 542,66 \text{ N} = 651,19 \text{ N}$$



Cálculo par de frenado

En el eje delantero

$$N_d = \frac{F_{f,d} * R_d}{2}$$

$$N_d = \frac{1800,92 \text{ N} * 254 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{2} = 228,72 \text{ N.m}$$

En el eje posterior

$$N_t = F_{f,t} * R_t$$

$$N_t = 651,19 \text{ N} * 330 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 179,08 \text{ N.m}$$



Dimensionar del disco de frenado

$$D_{\text{disco}} = \frac{N_{\text{max}}}{F_{\text{max}}}$$

$$D_{\text{disco}} = \frac{(228,72 + 179,08) \text{ N.m}}{2452,11 \text{ N}} = 0,166 \text{ m}$$



Dimensionar componentes

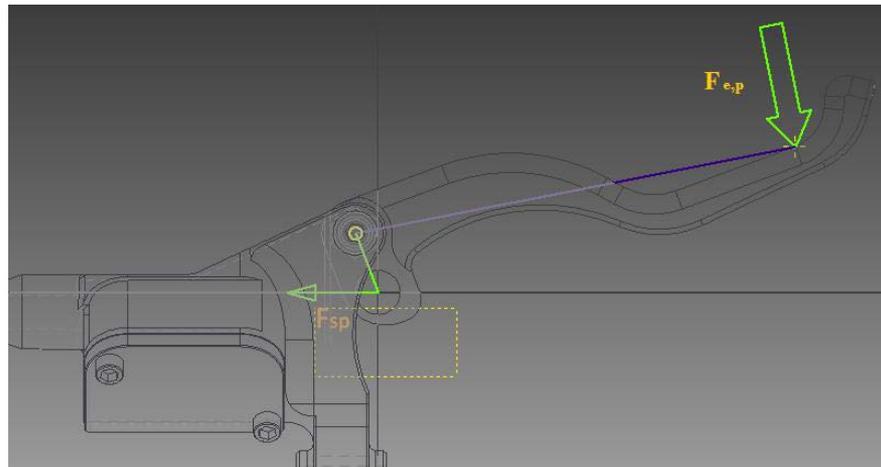
CARACTERISTICA	Símbolo	VALOR	UNIDAD
Diámetro del pistón de la Bomba	D_b	11,2	mm
Área del pistón de la Bomba	A_b	98,52	mm ²
Diámetro del pistón de la mordaza delantera	$D_{ef,d}$	21	mm
Diámetro del pistón de la mordaza posterior	$D_{ef,p}$	21	mm
Área de pistón en la mordaza	$A_{pistón,d y t}$	346	cm ²
Numero de pistones por mordaza		2	
Coefficiente de fricción de pastilla	$\mu_{pastilla}$	0,55	
Coefficiente máximo de fricción del asfalto	$\mu_{asfalto}$	1,2	
Fuerza ejercida en la maneta de freno	$F_{e,p}$	40	N
Relación de palanca	l_1/l_2	7	
Número (Pi)	π	3,1416	



Cálculo fuerzas en la palanca de frenos

$$F_{s,p} = F_{e,p} * \frac{l_1}{l_2} = 40 \text{ N} * 7 = 280 \text{ N}$$

$$F_{s,p} = F_{s,p,d} = F_{s,p,t} = F_{e,p} * \frac{l_1}{l_2} = 40 \text{ N} * 7 = 280 \text{ N}$$



Cálculo de presiones generadas por las bombas de freno

$$P_b = \frac{F_{s,p}}{A_b} = \frac{F_{s,p}}{\pi * r^2} = \frac{280 \text{ N}}{\pi * (5,6 \text{ mm})^2} = 2,84 \text{ Mpa}$$

Cálculo fuerzas lineales generadas en cada pinza de freno

$$F_{mordaza} = n^{\circ} \text{ pistones} * P_b * A_{pistón}$$

$$F_{mordaza} = 2 * 2,84 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 346 \text{ mm}^2 = 1966,71 \text{ N}$$

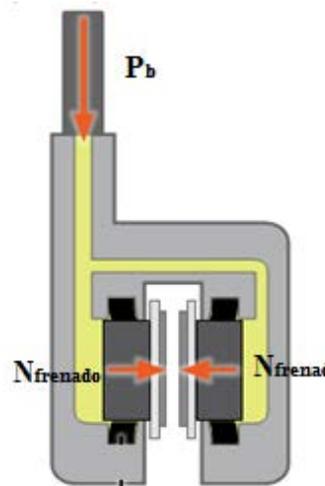


Cálculo fuerzas de fricción, contacto disco-pastilla

$$F_{fricción} = F_{mordaza} * \mu_{pad} = 1966,71 N * 0,55 = 1081,69 N$$

Cálculo de pares de frenado generados por el contacto disco-pastilla

$$N_{frenado} = 2 * F_{fricción} * R_{ef} = 2 * 1081,69 N * 0,1015 m = 219,58 N.m$$



Cálculo fuerza total de reacción entre el vehículo y la calzada

$$F_{neumático,d} = \frac{N_{frenado}}{R_{neumático,d}} = \frac{439,17 \text{ N.m}}{0,254 \text{ m}} = 864,50 \text{ N}$$

$$F_{neumático,t} = \frac{N_{frenado}}{R_{neumático,t}} = \frac{219,58 \text{ N.m}}{0,330 \text{ m}} = 665,40 \text{ N}$$

$$F_{total} = \sum F_{neumáticos,DI,DD,T} = 2 * 864,50 \text{ N} + 665,40 \text{ N} = 2394,40 \text{ N}$$



CÁLCULO DESACELERACIÓN DEL VEHÍCULO

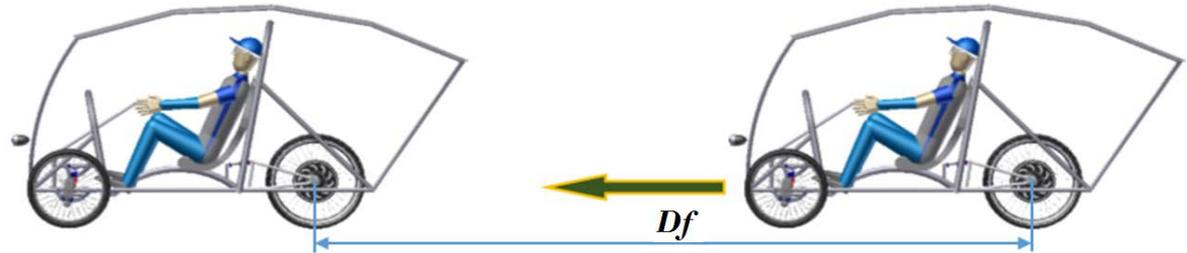
$$a_v = \frac{F_{max}}{m_v}$$

$$a_v = \frac{2394,40 \text{ N}}{208 \text{ kg}} = 11,51 \text{ m/s}^2$$

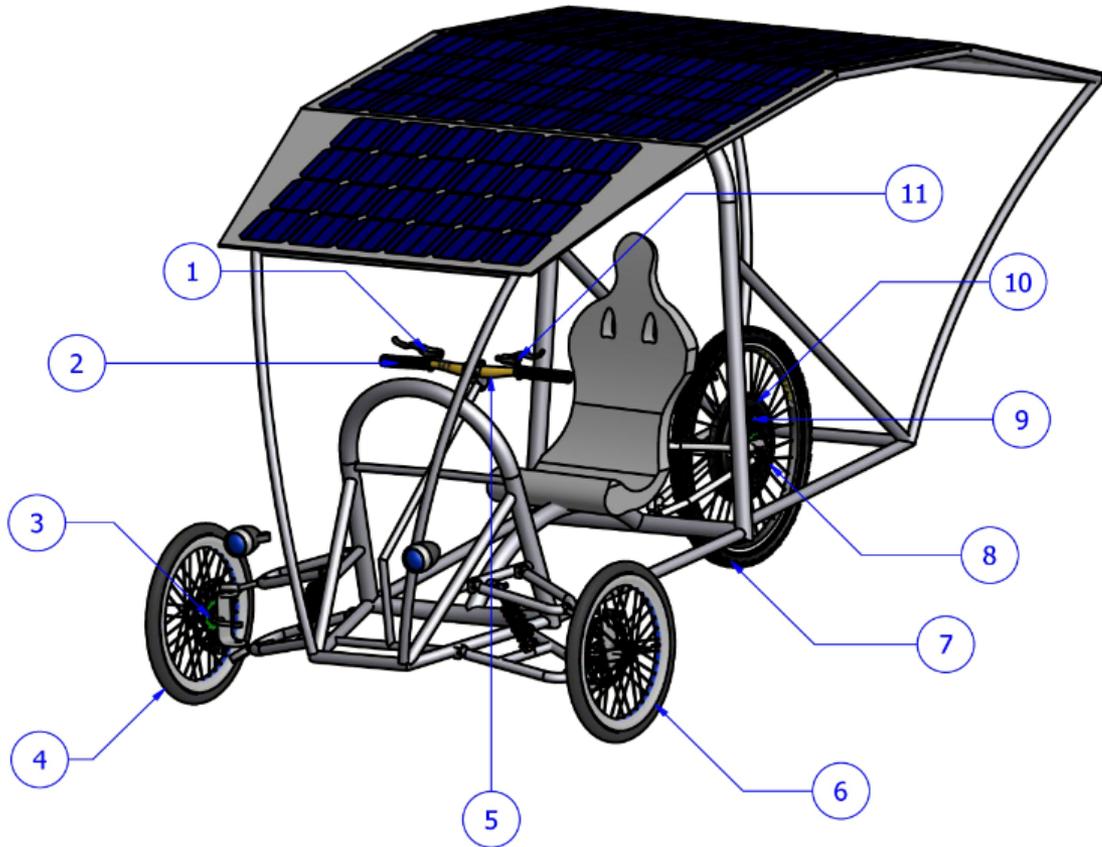
CÁLCULO DISTANCIA DE FRENADO

$$D_f = \frac{V_v^2}{2 * a_v}$$

$$D_f = \frac{(5,55 \text{ m/s})^2}{2 * 11,51 \text{ m/s}^2} = 1,33 \text{ m}$$



Modelación del sistema de frenos



1	2	3
No. Orden	No. de piezas	Denominación
1	1	Maneta de freno delantero
2	2	Manillar de freno
3	2	Disco de freno eje delantero
4	1	Neumático delantero derecho
5	1	Timón de dirección
6	1	Neumático delantero izquierdo
7	1	Neumático posterior
8	1	Disco de freno posterior
9	3	Mordaza de freno
10	1	Motor eléctrico
11	1	Maneta de freno posterior



PROCESO DE MANUFACTURA, ENSAMBLE Y MONTAJE



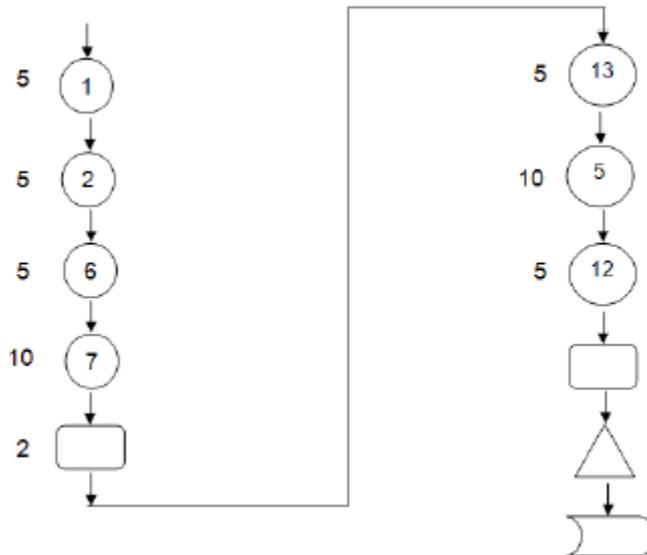
ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

N.- DE OPERACIÓN	OPERACIONES
1	Medición y trazado
2	Corte del material: manualmente por cortadora de disco eléctrica
3	Biselado de los bordes del material
4	Limpieza de rebabas: cincel, amoladora o lima
5	Mandrinado (roscas interiores)
6	Refrentado
7	Rectificado
8	Esmerilado
9	Nivelado
10	Unión de partes (Soldadura)
11	Montaje
12	Pintura
13	Taladrado

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
	Operación tecnológica
	Inspección
	Traslado o transporte
	Almacenamiento
	Espera



EJE DE TRANSMISIÓN A 36

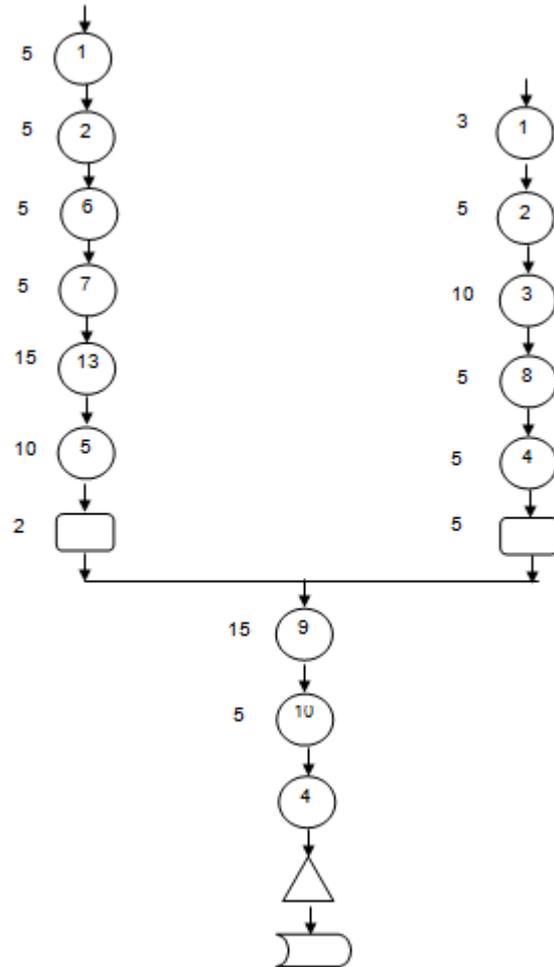


Bases de la transmisión



Eje de transmisión A36

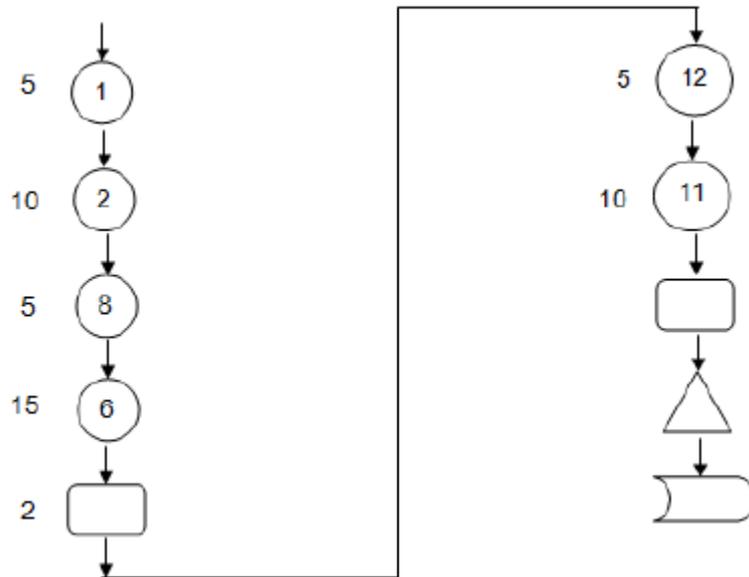
Tubería 38,1 x 2 mm



ESPE
ESCUOLA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

Reconstrucción de las catarinas

Aluminio 6061 T4

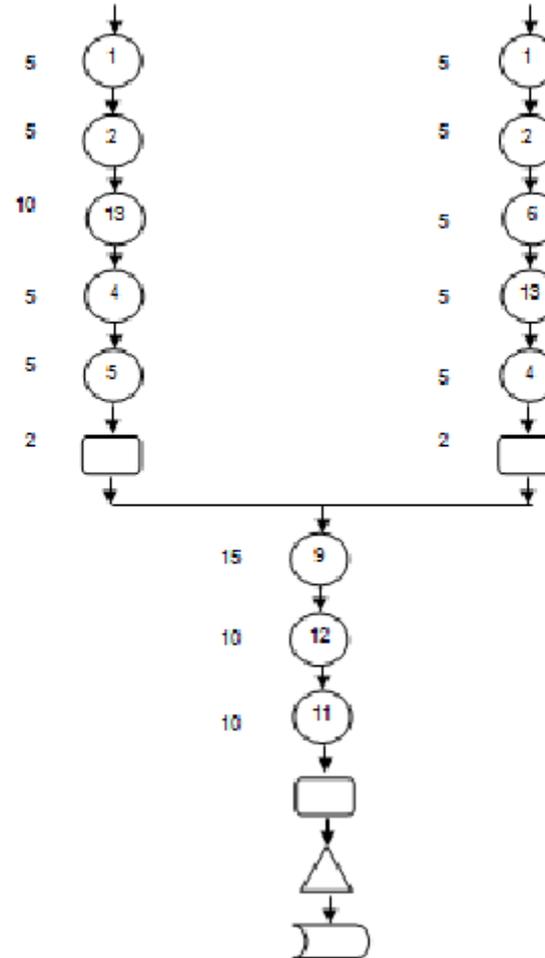


Bases de Frenos



Plancha de 100x100x7 mm

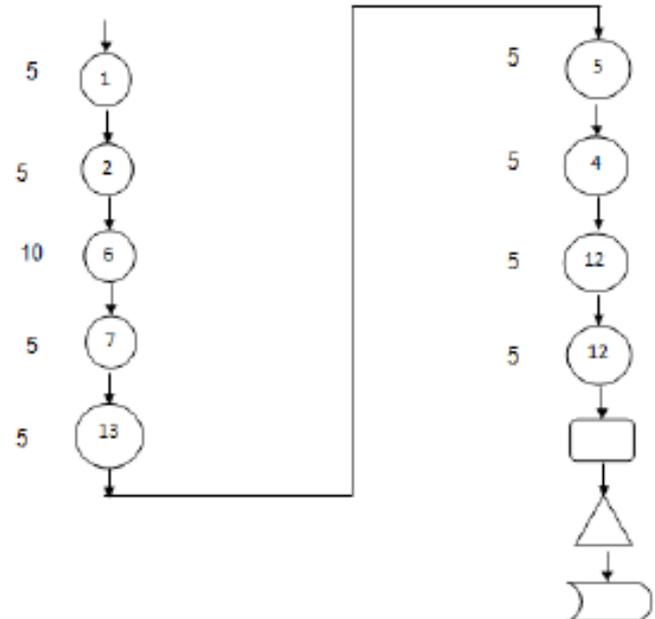
Acero de transmisión AISI 1080



Reconstrucción de las catarinas



Acero de transmisión AISI 1080



CONCLUSIONES

- Se desarrolló el diseño, construcción e implementación de los sistemas de transmisión y frenos, en apego a los parámetros y normas establecidas por la competencia “La Ruta Solar” para la construcción y configuración de estos sistemas, que son de importancia para el performance y la seguridad de la tricicleta solar.

- Se realizó un estudio técnico y matemático de los parámetros necesarios para poder dimensionar correctamente los elementos de los sistemas de transmisión y frenos de la tricicleta solar.



- Mediante el software de ANSYS se determinó los esfuerzos generados en los diferentes elementos de los sistemas, verificando que estos elementos tienen un factor de seguridad mayor a 1 acorde a los requerimientos, necesidades y recomendaciones que satisface el diseño de los sistemas de la tricicleta solar.
- Se logró un comportamiento ergonómico del sistema de transmisión por cadenas con una relación de transmisión que va desde 1 hasta 3.84, además acoplarse con el motor eléctrico en funcionamiento.
- Se realizó un protocolo de pruebas de funcionamiento en 20 Km confirmando el funcionamiento y la efectividad de los parámetros calculados.



RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar software de diseño y tecnologías informáticas computacionales para obtener dimensiones y resultados de análisis con alta precisión y rapidez, pudiendo modificar y efectuar cambios con facilidad y sin gastar material ni recursos económicos innecesarios.
- Se recomienda la construcción y adaptación del mecanismo de transmisión y frenos se debe realizarse con un proceso de calidad y precisión de manufactura para alcanzar el correcto funcionamiento de cada uno de sus elementos que los conforman.
- Todos los elementos que componen el sistema de transmisión y frenos, deben ser de fácil mantenimiento y rápido acceso.



- Se recomienda tener cuidado al momento del cableado de las cañerías hidráulicas de freno, tratando él lo posible de obviar curvas o deformaciones pronunciadas, ya que se pueden obstruir o romper averiando el sistema.
- Por otro lado, aunque no se trata de aspectos técnicos, sino económicos, se anima desde esta experiencia inicial a intentar conservar ciertos componentes que conforman la solución establecida en este documento intentando mejorar elementos importantes de estos sistemas.
- Es fundamental el estudio y desarrollo de materiales más ligeros con altas características mecánicas, para ocuparlos en nuevos prototipos con el fin de la reducción de peso, sabiendo que es un factor muy importante dentro del performance del prototipo y optimizando el rendimiento del mismo.



Gracias por su atención. . .



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA