



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE BICICLETA IMPULSADA POR UN SISTEMA DE POTENCIA NEUMÁTICO CONTROLADO ELECTRÓNICAMENTE”

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTOR: CRISTIAN MARIO MORETA MALDONADO

DIRECTOR: ING. PAÚL AYALA



CAPÍTULO 1

GENERALIDADES



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Definición del Problema

Casi la totalidad de ciudades tienen un modelo de transporte basado en el uso de vehículos particulares impulsados por energía fósil, lo que crea problemas ambientales y de movilidad entre los que destacan la contaminación del aire, efectos sobre la salud y en especial la saturación de vías, lo que ha provocado un deseo de encontrar alternativas que ayuden a contrarrestar los efectos negativos de este sistema e idear un nuevo modelo (Páez Pérez, 2010).

Se propone la utilización de aire comprimido como medio de propulsión para bicicletas y así poder transportar mayor cantidad de personas con este sistema de transporte, aumentando la distancia que se puede recorrer y con un consumo de energía menor, además de contribuir al desarrollo de una comunidad autónoma que aplique nuevas tecnologías y amplíe las opciones de transporte.

Principalmente con el uso del aire comprimido, un fluido ecológico, como fuente de potencia.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Objetivo General

- Diseñar e implementar un prototipo de bicicleta impulsada por un sistema de potencia neumática controlado electrónicamente.



Objetivos Específicos

- Diseñar y construir la estructura del vehículo, el sistema de propulsión neumático y los elementos de control y regulación de potencia electrónicos.
- Realizar montaje de instrumentos de medición para condiciones de tanques de almacenamiento de aire comprimido.
- Ejecutar pruebas de campo para determinar el correcto funcionamiento del vehículo y su función específica de movilizar personas.
- Realizar análisis de costos del vehículo.



Justificación e Importancia

- El proyecto se sustenta en que la movilización en las ciudades actualmente se está dirigiendo hacia el uso de eco-movilidad (bajo consumo unitario de energía y de bajas emisiones).
- Con la implementación de bicicletas con un sistema de potencia neumático se contribuirá al desarrollo de un modelo con menos emisiones nocivas, aumenta la distancia recorrida por una bicicleta tradicional y se contribuirá a reducir el uso de automóviles dentro de las ciudades.
- Reducir los daños ecológicos y de salud.
- Contribuir los problemas de movilidad en la ciudades pobladas.



Alcance

- Materialización del diseño de una bicicleta que pueda ser propulsada mecánicamente y con un sistema de potencia neumático de apoyo, controlado electrónicamente, para facilitar la movilidad en zonas urbanas.
- Diseñar, construir e implementar una bicicleta que pueda ser propulsada mecánicamente, mediante pedales tradicionales, y con un sistema neumático de apoyo que pueda ser controlado electrónicamente y ayude a la persona a transportarse mayores distancias.
- Implementar un sistema de regeneración de energía neumática por medio de frenado regenerativo .



CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Estado del Arte

- El uso de aire comprimido para el almacenamiento de energía es un método que no sólo es eficiente y limpio, pero también económico y se ha utilizado desde el siglo XIX.
- El primer vehículo registrado que utilizaba aire comprimido como combustible fue construido en Francia por Andraud y Tessie de Motay en 1838.
- En 1903, la Liquid Air Company con base en Londres, fabricó una serie de autos impulsados por aire comprimido.
- En 1926, aparece la primera patente registrada de un sistema de potencia neumática que se puede acoplar a una bicicleta ordinaria, presentada por Luis Jochum de Buenos Aires, Argentina.



Estado del Arte

- 1967, Sorgato propuso el motor de aire comprimido como una fuente viable y una alternativa al coche eléctrico para uso industrial y urbano.
- Y lanzó su primer modelo experimental, mismo que tenía nueve acumuladores pequeños de aire que podían ser cargados hasta a 2800 PSI por un compresor externo.
- La velocidad máxima de este vehículo fue de 50 km/h. con una autonomía de dos horas.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Estado del Arte

- En 2005, en la Universidad de California, cinco estudiantes construyeron una bicicleta impulsada con energía neumática.



2009 tres estudiantes de ingeniería mecánica de la Universidad Estatal de San José construyeron una moto, basada en la estructura de una bicicleta de montaña, que funciona con aire comprimido.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Estado del Arte

- En junio de 2011, en la Universidad de Santa Clara un grupo de estudiantes, tomaron una bicicleta normal y utilizando medidores de presión, engranajes hicieron que funcione con aire comprimido, los tanques de aire pueden sostener 4,500 libras por pulgada cuadrada.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Estado del Arte

En la actualidad, marcas importantes en la construcción de vehículos están impulsando la investigación de un sistema de movilidad con fuente de potencia neumáticas (Faircompanies Productions, 2013).



Fuente: (Toyota Industries Corp., 2015)



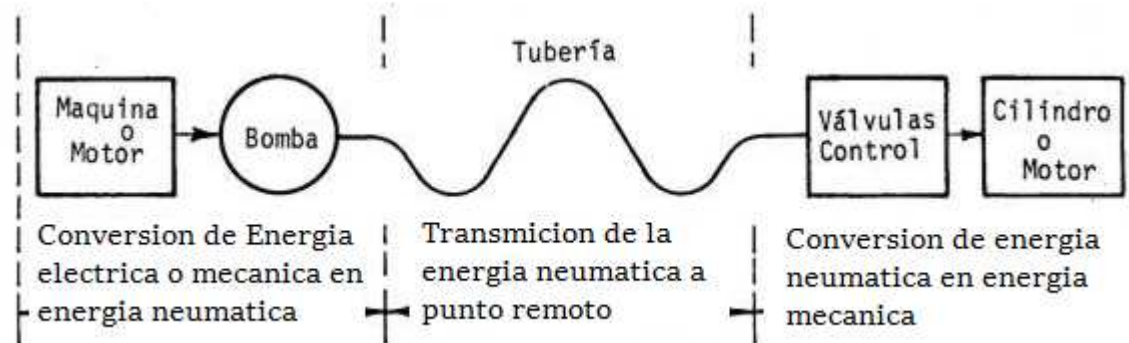
Fuente: (Celsias, 2012)



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

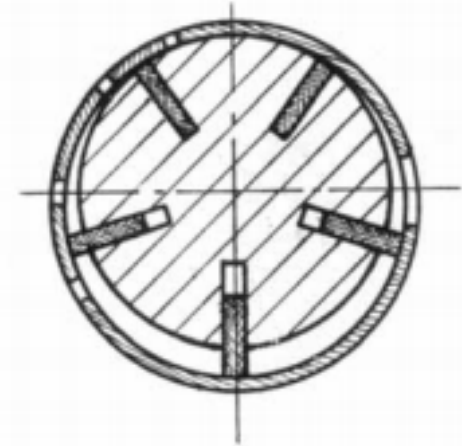
Sistemas Neumáticos de Potencia

- Los sistemas neumáticos de potencia emplean el aire comprimido como modo de transmisión de la energía necesaria para generar y mover mecanismos. (Goyanes, 2013).



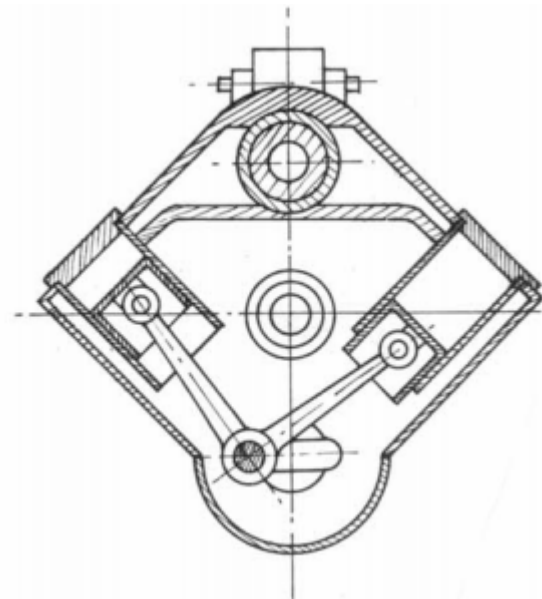
Motores de Paleta

- Motores neumáticos son los encargados de la transformación de la energía neumática en energía mecánica (movimiento rotatorio constante).
- Su constitución interna es similar a la de los compresores de paletas, es decir, un rotor ranurado, en el cual se alojan una serie de paletas, que gira excéntricamente en el interior del estator. En estas ranuras se deslizan hacia el exterior las paletas o aletas por acción de la fuerza centrífuga cuando se aplica una corriente de aire a presión.



Motores Neumáticos de Pistones

- Los motores neumáticos de pistones tienen de 4 a 6 cilindros. La potencia se desarrolla bajo la influencia de la presión encerrada en cada cilindro, trabajan a revoluciones más bajas que los motores de paletas.

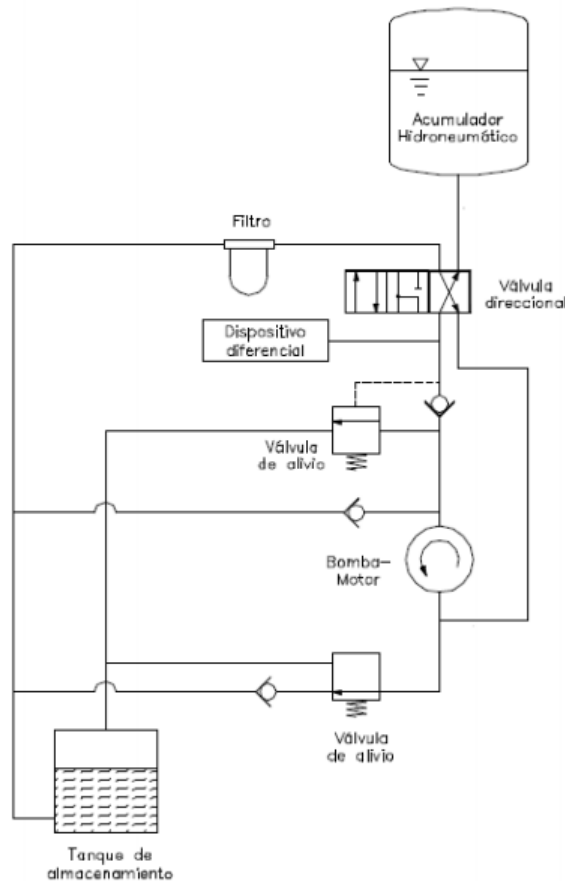


Freno Regenerativo

- El frenado regenerativo es un mecanismo en el cual la energía cinética que se perdería en la frenada, se acumula de distintas formas y se utiliza posteriormente para proporcionar una ayuda de propulsión al vehículo, para incrementar en un determinado momento su potencia o para utilizarla en recuperar la energía disipada en otras funciones del vehículo (García Amorós, 2015).



Frenado Regenerativo Mecánico

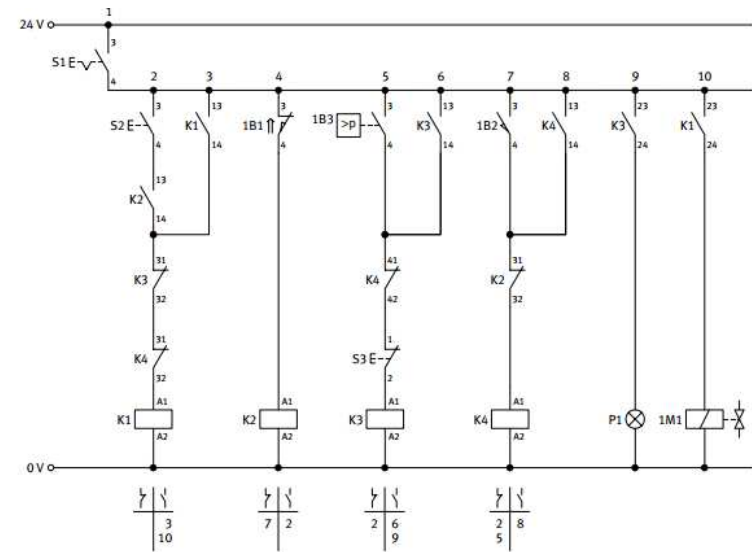


- Este tipo de frenado regenerativo es mayoritariamente hidráulico y neumático.
- Un sistema de frenado regenerativo puramente mecánico básico constaría de un bomba/motor, acoplada a la transmisión que se encarga del bombeo de un fluido, una válvula direccional que regula el régimen de funcionamiento (es decir si esta tiene que trabajar como bomba o tiene que hacerlo como motor) y un sistema de acumulación que es el encargado de proporcionar la energía de recuperación de la frenada.



Control Electroneumático

Un sistema electroneumático típico está compuesto por actuadores neumáticos y válvulas solenoides que proporcionan los movimientos y la lógica electrónica o eléctrica necesaria para el control.



S1 = Interruptor principal; S2 = Pulsador de start; S3 = Pulsador de confirmación; 1B1/1B2 = Detector de posición final; 1B3 = Presostato

Fig. 12.4: Esquema de distribución eléctrico (esquema de circuitos eléctricos) de un sistema de control electroneumático



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CAPÍTULO 3

DISEÑO CONCEPTUAL



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Requisitos y Restricciones del Prototipo

- Deben considerar limitaciones y restricciones que pueden aparecer durante el proceso de diseño y construcción.
- Se debe tener en cuenta todo tipo de restricciones; pero con mayor énfasis aquellas impuestas por el entorno social, reglamentos y normas.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Restricciones Geográficas

- Un factor dentro de las limitaciones es el porcentaje máximo de pendiente que podrá ser capaz de subir el prototipo, a continuación se detalla la subida en grados que son capaces de subir una bicicleta

SUBIDA EN PORCENTAJE	SUBIDA EN GRADOS	TIPO DE VEHÍCULO
5%	2.86°	Vehículo eléctrico
10%	5.71°	Vehículo eléctrico
15%	8.53°	Vehículo eléctrico

Fuente: (ALKE, 2015)



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Restricciones Tecnológicas

- Estas restricciones surgen por la dificultad que existe en el mercado nacional de encontrar materiales y componentes que formaran parte del prototipo.
- Acumulador de aire comprimido.
- Adquisición de materiales modernos, como la fibra de carbono, capaces de soportar altas presiones, con una relación de peso menor en comparación a materiales tradicionales, como el aluminio y el acero, es difícil de conseguir y muchas veces no se cuenta con técnicos especializados en procesos de manufactura con este tipo de materiales.
- También se debe tomar en cuenta que aunque en la ciudad de Quito existen lugares donde realizar carga de acumuladores aire comprimido hasta a 310 bar (4500 psi) pero estos son muy escasos, provocando una deficiencia en cuanto a la infraestructura necesaria para estaciones de carga de aire de alta presión.



Restricciones Legislativas

- NTE INEN 2656:2012 clasifica como un velocípedo bicimotor, vehículo de dos ruedas impulsado principalmente por energía muscular por medio de pedales y por un motor de baja potencia para poder asistir al vehículo en subidas.
- También la norma ecuatoriana NTE INEN 2552:2010 referente a velocípedos recalca que una bicicleta con asistencia de potencia no puedan sobrepasar la velocidad de 25 km/h y permanecerán exentas de la regulación sobre motocicletas.



Requisitos

ESPECIFICACIÓN	VALOR
Velocidad Máxima	20 km/h
Máxima Presión de Diseño en el Marco	500 psi/34.5 bar
Máxima Presión en Acumulador Principal	4500 psi/310 bar
Peso de Persona a Transportar	70 kg
Pendiente Máxima	10 %
Material del Marco	Acero



Voz del Usuario

- Ergonomía
- Estabilidad
- Durabilidad y resistencias a impactos
- Seguridad
- Debe ser capaz de soportar impactos debido a irregularidades del terreno.
- Debe ser apto para entornos de uso.
- No debe perder la facultad del pedaleo.
- Debe soportar vibraciones del motor.



Voz del Ingeniero

- El prototipo debe cumplir con especificaciones para ser capaz de soportar cargas
- de presión dentro de su estructura.
- Debe poseer geometría estructural.
- Debe poseer dos sistemas de transmisión por fuerza humana y por energía neumática.
- Facilidad de construcción y montaje.
- Resistencia a la corrosión
- Rigidez.

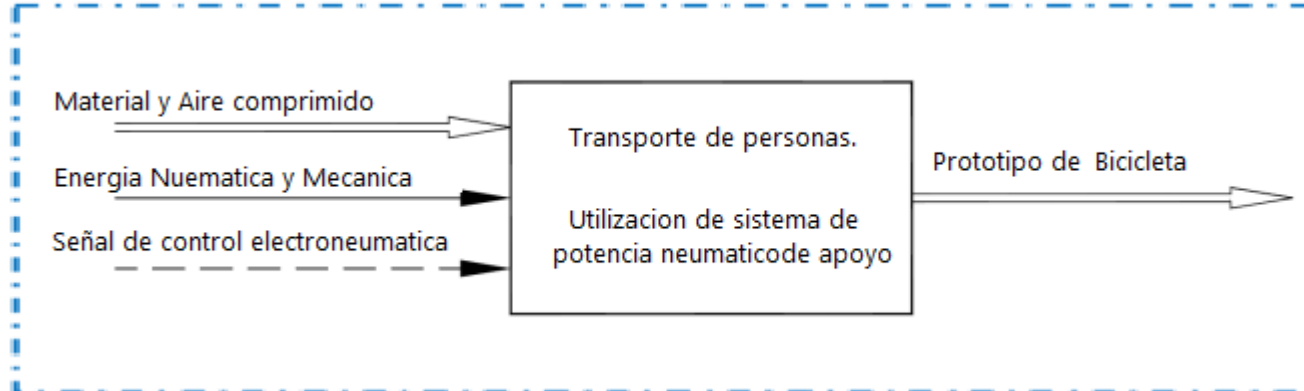


Documento de Especificaciones

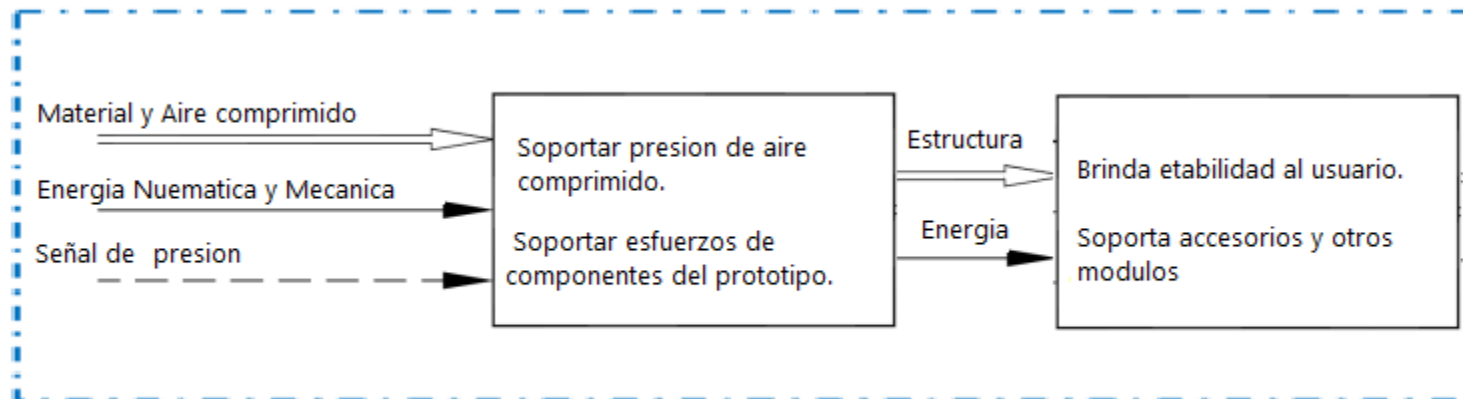
Especificaciones			
Concepto	Pro.	R/D	Descripción
Función	U	R	Bicicleta debe transportar una persona promedio
	U	R	Soportar cargas estáticas y dinámicas, tanto del sistema de potencia como del usuario.
	U	R	Maniobrabilidad.
Dimensiones	U	R	Buen desempeño mecánico.
	I	D	Debe tener dimensiones de una bicicleta urbana mediana.
Movimiento	I	D	Movimiento Rotacional (motor y sistema de transmisión de potencia)
	I	R	Debe soportar presión de aire comprimido dentro de su estructura.
Fuerzas	I	R	Resistencia a vibraciones durante trabajo
	I	R	Absorción de impactos del terreno.
	I	R	Torque necesario para mover el prototipo y al usuario
	I	R	Presión máxima de carga del acumulador dentro del marco 500 psi y en acumulador principal 4500 psi
Materiales	I	R	Aire comprimido
	U+I	R	Medida de presión de acumulador.
Señales y Control	I	R	Control Electroneumático
	I	D	Control de potencia mediante electroválvulas.
	U	D	Medida de Velocidad
	I	R	Aceleración mediante regulador de presión proporcional
Mantenimiento	U	R	Fácil Mantenimiento
	U	R	Fácil montaje y desmontaje de repuestos.
Vida útil	U+I	D	En operación: 10 años
Costes y Plazos	I	R	Presupuesto 1500 USD
	I	D	Plazo 6 meses.



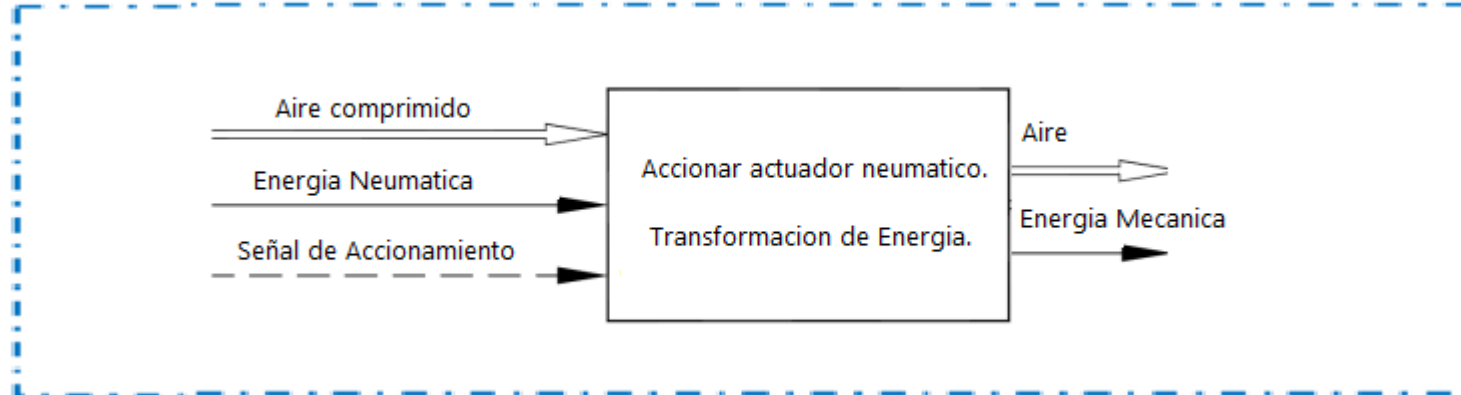
Análisis Funcional



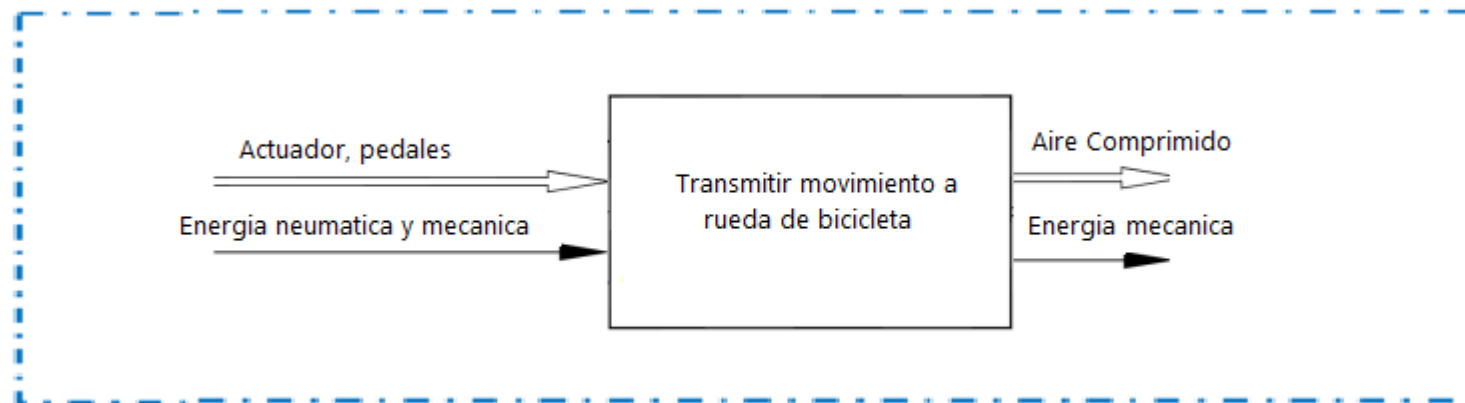
Módulo Sistema Estructural



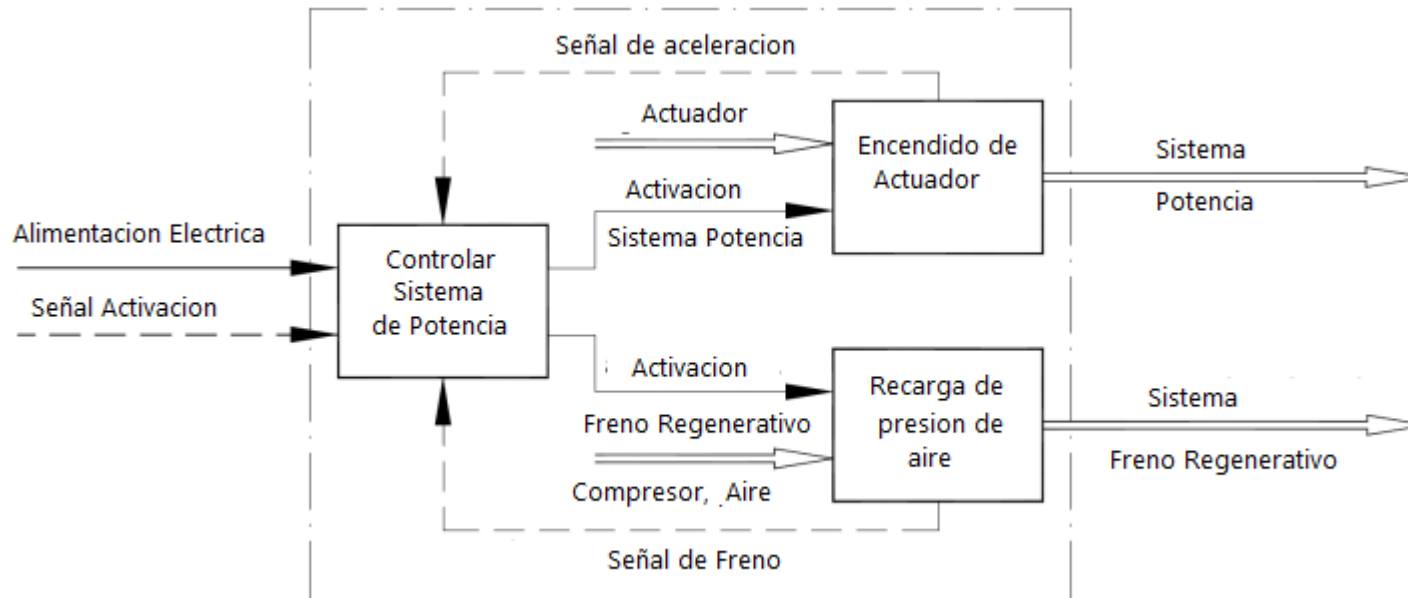
Módulo Sistema De Potencia



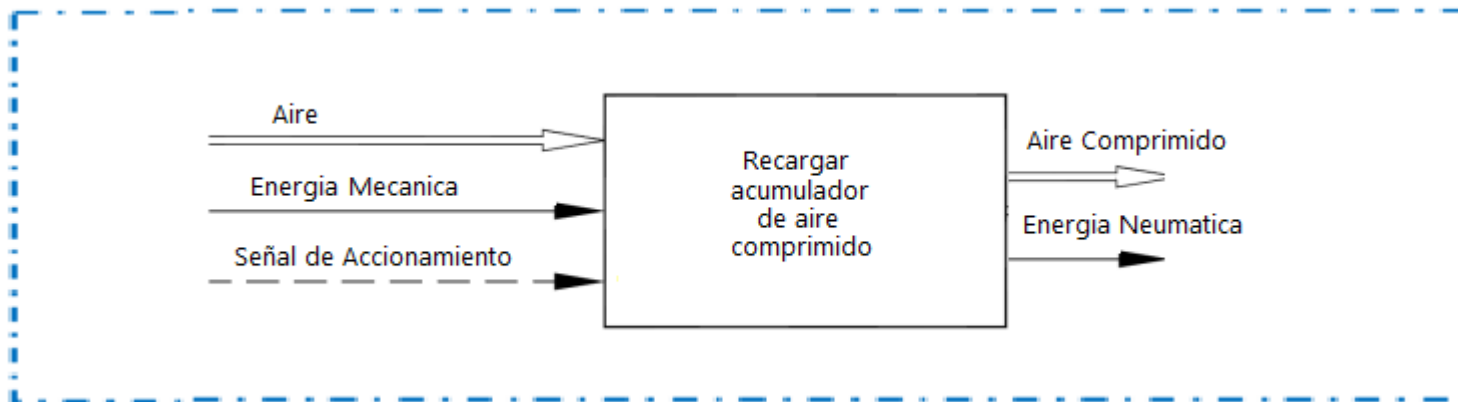
Módulo Sistema De Transmisión



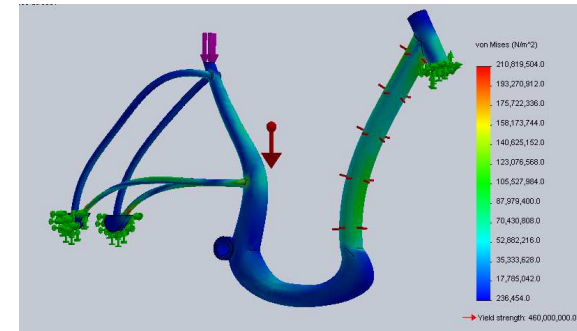
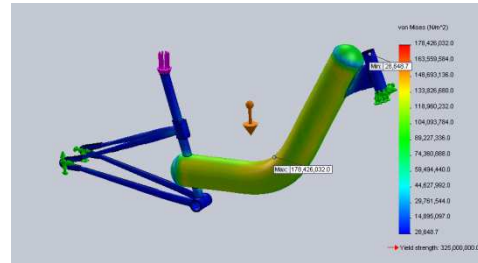
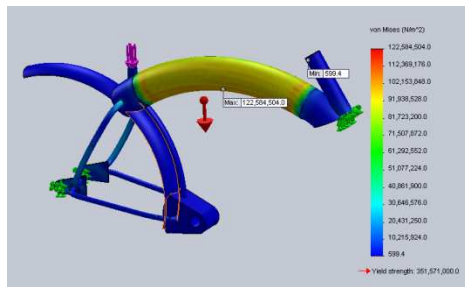
Módulo Sistema de Control



Módulo Sistema De Frenado Regenerativo



Diseño Conceptual del Sistema Estructural



ESPECIFICACIÓN	VALOR
Esfuerzo máximo	178.42 MPa (25878.55 psi)
Peso de la Estructura	10.28 Kg
Volumen de aire comprimido	6.31 Litros



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diseño Conceptual del Sistema Estructural

- Con el objetivo de determinar la solución más conveniente para el módulo, se emplea el método ordinal de criterios ponderados), específicamente la utilización de matrices combinadas para obtener los valores de puntos ponderados, WF.

NO.	PARÁMETROS DE DECISIÓN	1	2	3	4	5	6	SUM	WF
1	Volúmen Acumulador	0	1	1	1	1	1	5	0.33
2	Peso de la Estructura		0	0.5	1	1	1	3.5	0.23
3	Soporte de Cargas		0.5	0	1	1	1	3.5	0.23
4	Manufactura				0	1	1	2	0.13
5	Precio					0	1	1	0.07
							Suma	15	1



Diseño Conceptual del Sistema Estructural

MÓDULO SISTEMA ESTRUCTURAL								
No.	PARÁMETROS DE DECISIÓN	WF	ALT 1		ALT 2		ALT 3	
			RF	VAL	RF	VAL	RF	VAL
1	Volumen del Acumulador	0.33	7	2.33	9	3.00	3	1.00
2	Peso de la Estructura	0.23	5	1.17	9	2.10	7	1.63
3	Soporte de Cargas	0.23	5	1.17	7	1.63	9	2.10
4	Precio	0.13	7	0.93	7	0.93	7	0.93
5	Manufactura	0.07	7	0.47	7	0.47	7	0.47
Suma		1.00	6.07		8.13		6.13	
Prioridad			3		1		2	



Diseño Conceptual del Sistema de Potencia

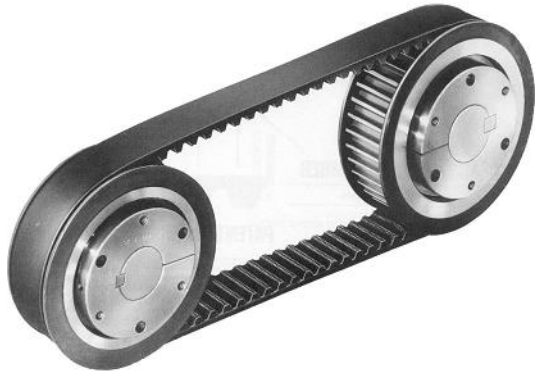


Diseño Conceptual del Sistema de Potencia

MÓDULO SISTEMA DE POTENCIA								
No.	PARÁMETROS DE DECISIÓN	WF	ALT 1		ALT 2		ALT 3	
			RF	VAL	RF	VAL	RF	VAL
1	Trans. de Movimiento	0.23	9	2.07	9	2.07	7	1.61
2	Generación de Potencia	0.23	9	2.07	9	2.07	7	1.61
3	Peso	0.16	9	1.45	5	0.80	10	1.60
4	Control de Potencia	0.16	9	1.45	8	1.28	1	0.16
5	Control de Velocidad	0.11	8	0.88	8	0.88	7	0.77
6	Precio y Disponibilidad	0.07	8	0.56	5	0.35	9	0.63
7	Estética	0.04	7	0.28	6	0.24	6	0.24
Suma		1.00	8.76		7.69		6.62	
Prioridad			1		2		3	



Diseño Conceptual del Sistema de Transmisión



Diseño Conceptual del Sistema de Transmisión

MÓDULO SISTEMA DE TRANSMISIÓN						
No.	PARÁMETROS DE DECISIÓN	WF	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2	
			RF	VAL	RF	VAL
1	Peso	0.29	9	2.61	10	2.90
2	Eficiencia	0.24	9.5	2.28	9.5	2.28
3	Precio y Disponibilidad	0.19	7	1.33	10	1.90
4	Resistencia al Desgaste	0.14	8	1.12	9	1.26
5	Mantenimiento	0.09	8	0.72	9	0.81
6	Rango de Potencia	0.05	8	0.40	7	0.35
Suma		1.00	8.46		9.50	
Prioridad		2			1	



Diseño Conceptual del Sistema de Control



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

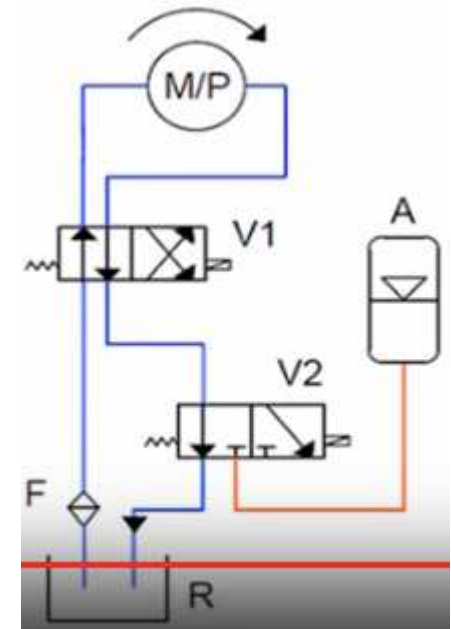
Diseño Conceptual del Sistema de Control

MÓDULO SISTEMA DE CONTROL						
NO.	PARÁMETROS DE DECISIÓN	WF	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2	
			RF	VAL	RF	VAL
1	Facilidad de Programación	0.29	7	2.03	10	2.90
2	Conectividad	0.24	7	1.68	9	2.16
3	Precio	0.19	8	1.52	10	1.90
4	Disponibilidad	0.14	8	1.12	9	1.26
5	Velocidad de Respuesta	0.09	10	0.90	5	0.45
6	Resistencia al desgaste	0.05	8	0.40	8	0.40
Suma		1.00	7.65		9.07	
Prioridad			2		1	



Diseño Conceptual del Sistema de Frenado Regenerativo

MÓDULO SISTEMA DE FRENO REGENERATIVO						
NO.	PARÁMETROS DE DECISIÓN	WF	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2	
			RF	VAL	RF	VAL
1	Peso	0.33	5	1.65	9	2.97
2	Número de elementos	0.28	5	1.40	8	2.24
3	Precio	0.22	6	1.32	8	1.76
4	Eficiencia	0.17	7	1.19	6	1.02
	Suma	1.00	5.56		7.99	
	Prioridad	2			1	



CAPÍTULO 4

DISEÑO



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Cálculo del Acumulador de Aire Comprimido

- Presión de Diseño
- Presión de diseño se define como la carga debido a la presión en la condición más severa, que cause máxima diferencia de presión. Para el cálculo de la presión de diseño el código sugiere que se aumente a la presión máxima a la que va a trabajar el recipiente

$$Pd = Pt + MAX (0.1Pt \text{ o } 30\text{PSI})$$

$$Pd = 500\text{PSI} + 50\text{PSI}$$

$$Pd = 550\text{PSI}$$



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

- El código ASME sección VIII en su apartado UG-31 que permite la fabricación de cuerpos a partir de tuberías
- Para los cálculos de la resistencia del material, se utiliza tubería de acero al carbono construido bajo el estándar ASTM A500 grado B, con una resistencia a la fluencia de 46000 PSI, con diámetro externo de 4 pulgadas y un Factor de Seguridad de 1.6, recomendado por la norma ISO TC17/SC10 para acero utilizado en aplicaciones que requieren presión interna.

$$S = \frac{S_y}{F S}$$

$$S = \frac{46000\text{PSI}}{1.6}$$

$$S = 28750\text{PSI}$$

$$t_{\text{cuerpo}} = \frac{Pd.Ro}{S.E + 0.4Pd} + CA$$

$$t_{\text{cuerpo}} = \frac{(550\text{PSI})(2\text{pulg})}{(28750\text{PSI})(0.7) + (0.4)(495\text{PSI})} + t/6$$

$$t_{\text{cuerpo}} = 0.065\text{pulg.}$$

$$t_{\text{cuerpo}} = 1.65\text{mm}$$

Se sugiere el valor de corrosión admisible como la sexta parte del valor del espesor mínimo del cuerpo y una eficiencia de la tubería como 0.7 ya que la tubería es de la clase ERW, es decir con costura.



UG-16 del código especifica que el mínimo espesor para cuerpos y cabezas usados en servicio de aire comprimido deberá ser de 3/32", por lo que el espesor requerido será de:

$$t_{min_{cuerpo}} = 0.09375 \text{ pulg.}$$

$$t_{min_{cuerpo}} = 2.38 \text{ mm}$$

$$MAWP_{cuerpo} = \frac{SE t_{min_{cuerpo}}}{Ro - 0.4 t_{min_{cuerpo}}}$$

$$MAWP_{cuerpo} = \frac{28750 \text{ PSI}(0.70)(0.09375 \text{ pulg.})}{(2 \text{ pulg.} - 0.4(0.09375 \text{ pulg.}))}$$

$$MAWP_{cuerpo} = 961.38 \text{ PSI}$$



Espesor de Cabezas

- Para el cálculo del espesor mínimo de cabezas elipsoidales.

$$h = \frac{D_o}{4}$$

$$t_{cabeza} = \frac{Pd D_o}{2SE + 1.8Pd} + CA$$

$$MAWP_{cabeza} = \frac{2SE t_{min_{cabeza}}}{D_o - 1.8 t_{min_{cabeza}}}$$

$$h = 1 \text{ pulg.}$$

$$t_{cabeza} = \frac{550 \text{ psi}(4 \text{ pulg.})}{2(28750 \text{ PSI})(0.7) + 1.8(550 \text{ PSI})} + t/6$$

$$MAWP_{cabeza} = \frac{2(28750 \text{ PSI})(0.7)(0.09375 \text{ pulg})}{4 \text{ pulg} - (1.8)(0.09375 \text{ pulg})}$$

$$h = 25.4 \text{ mm}$$

$$t_{cabeza} = 0.064 \text{ pulg.}$$

$$MAWP_{cabeza} = 984.91 \text{ PSI}$$

$$t_{cabeza} = 1.62 \text{ mm}$$



Espesor Mínimo de la Curvatura

- M11 de la American Water Works Association (AWWA)

$$R_{curv} = 1.5D_i$$

$$t_{codo} = \frac{Pd.D_i}{2S} \left[1 + \frac{D_i}{3R - 1.5D_i} \right]$$

$$R_{curv} = 1.5(96.83\text{mm})$$

$$t_{codo} = \frac{3.79\text{MPa} \cdot (96.84\text{mm})}{2(198\text{MPa})} \left[1 + \frac{(96.84\text{mm})}{3(145.25\text{mm}) - 1.5(96.84\text{mm})} \right]$$

$$t_{codo} = 1.24\text{mm}$$

$$R_{curv} = 145.25\text{mm}$$

$$t_{codo} = 0.048\text{pulg.}$$

S=28750 equivalente a S= 198 MPa y un diámetro interno de 96.84 mm.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Análisis de Esfuerzos

Los esfuerzos en recipientes debido a presión interna varían en función de la posición en la pared, pero si el espesor de la pared cumple con la relación expuesta se considera un recipiente de pared delgada y se suponen esfuerzos uniformes en toda la pared.

$$\frac{Dm}{t} \geq 20$$

$$41.7 \geq 20$$



Anillo de cualquier longitud L con presión interna p

Donde:

$\sigma_{C\text{cuerpo}}$ = Esfuerzo circunferencial del cuerpo

$$\sigma_{C\text{cuerpo}} = \frac{Pd.Dm}{2.t_{\text{min}}}$$

$$\sigma_{C\text{cuerpo}} = \frac{550\text{PSI} \cdot (3.91\text{pulg.})}{2 \cdot (3/32\text{pulg.})}$$

$$\sigma_{C\text{cuerpo}} = 11469.3\text{PSI}$$

$$\sigma_{C\text{cuerpo}} = 79.08\text{MPa}$$

Figura 46: Esfuerzo Circunferencial

Fuente: (Mott, 2009)



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Análisis de Esfuerzos

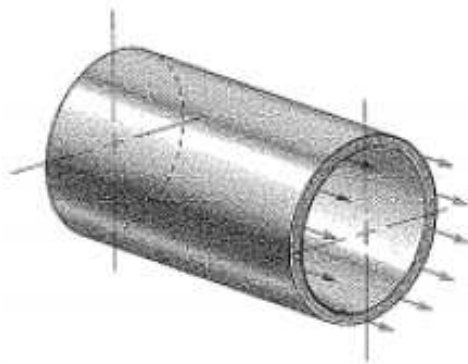


Figura 45: Esfuerzo Longitudinal
Fuente: (Mott, 2009)

Alrededor del cilindro aparece otro esfuerzo que tiende a romperlo en el anillo, formando un esfuerzo circunferencial

$$\sigma_{Lcuerpo} = \frac{Pd.Dm}{4t_{min}}$$

Donde:

$\sigma_{Lcuerpo}$ = Esfuerzo longitudinal del cuerpo

$$\sigma_{Lcuerpo} = \frac{550\text{PSI} \cdot (3.91\text{pulg.})}{4 \cdot (3/32\text{pulg.})}$$

$$\sigma_{Lcuerpo} = 5734.7\text{PSI}$$

$$\sigma_{Lcuerpo} = 39.59\text{MPa}$$



Esfuerzos en Cabezas

Para el prototipo se utilizan cabezas elipsoidales, para el cálculo de esfuerzos en este caso, el radio de curvatura varía en cada punto de la elipsoide de semiejes mayor (a) y menor (b), La mayor combinación de esfuerzos se da en el ecuador de la cabeza, por lo que los valores de esfuerzos máximos están dados por:

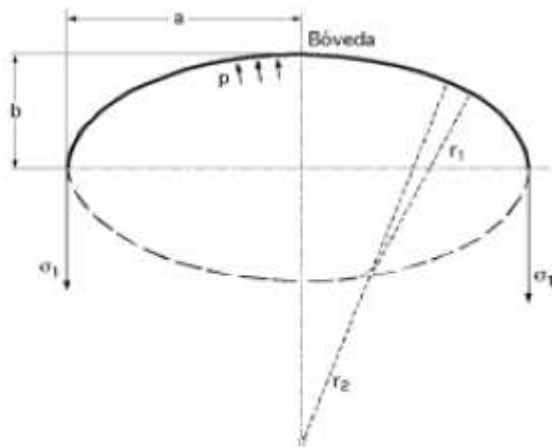


Figura 47: Esfuerzos en Elipsoide
Fuente: (Fernández Díez)

$$\sigma_{Lcabeza} = \frac{p \cdot a}{2 \cdot t}$$

Donde:

$\sigma_{Lcabeza}$ = Esfuerzo longitudinal de la cabeza

$$\sigma_{Lcabeza} = \frac{550 \text{PSI} \cdot (1.96 \text{pulg.})}{2 \cdot (3/32 \text{pulg.})}$$

$$\sigma_{Lcabeza} = 5734.7 \text{PSI}$$



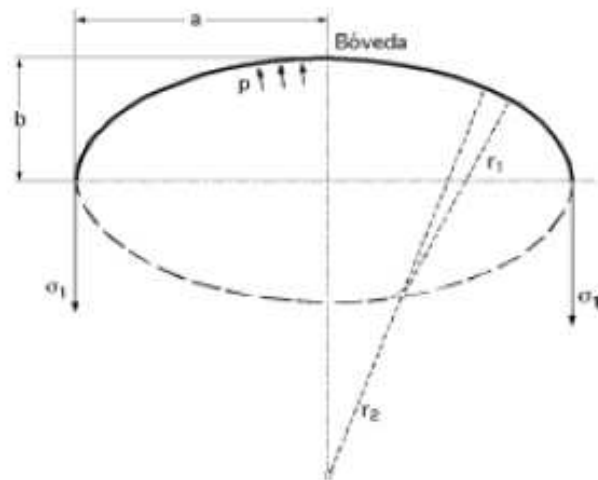


Figura 47: Esfuerzos en Elipsoide
Fuente: (Fernández Díez)

$$\sigma_{C\text{cabeza}} = \frac{p \cdot a}{t} \left(1 - \frac{a^2}{2b} \right)$$

Donde:

$\sigma_{C\text{cabeza}}$ = Esfuerzo circunferencial de la cabeza

$$\sigma_{C\text{cabeza}} = \frac{550\text{PSI}(0.91\text{pulg.})}{3/32\text{pulg.}} \left(1 - \frac{(1.96\text{pulg.})^2}{2(0.91\text{pulg.})} \right)$$

$$\sigma_{C\text{cabeza}} = 5930\text{PSI}$$



Esfuerzos en la Curvatura

El esfuerzo circunferencial varía en distintos puntos de la sección transversal, este esfuerzo en la línea recta es la misma que en un cilindro recto, en la parte exterior de la fibra neutra los esfuerzos son menores, mientras que en la parte interior alcanzan sus valores máximos, por lo que se debe utilizar este ángulo para obtener la máxima distribución de esfuerzos.

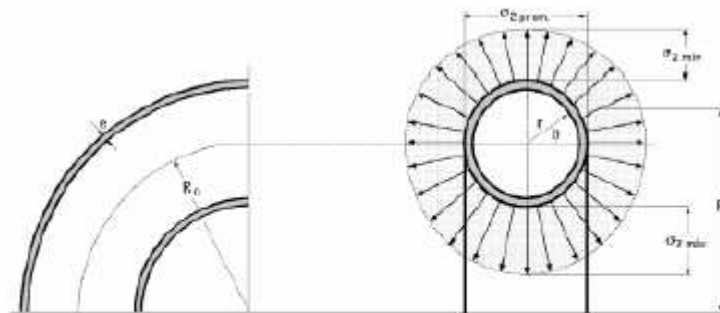


Figura 48: Variación Esfuerzo Circunferencial en Curvaturas
Fuente: (Fernández Díez)



Para el análisis de esfuerzos en codos, se debe considerar que el esfuerzo longitudinal permanece constante y es idéntica a la de un cilindro recto.

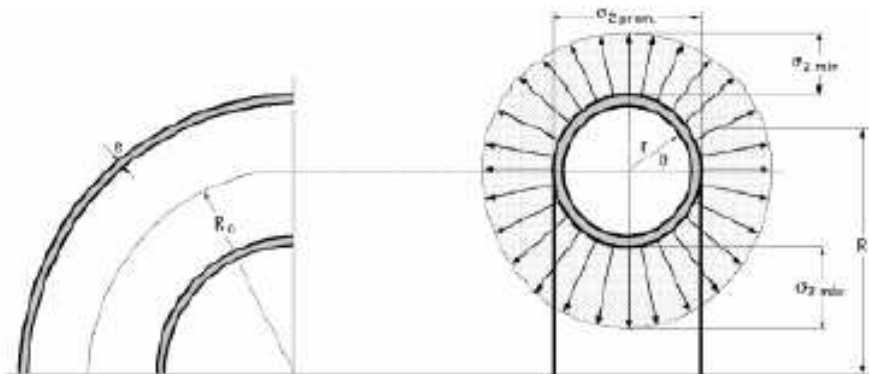


Figura 48: Variación Esfuerzo Circunferencial en Curvaturas
Fuente: (Fernández Díez)

$$\sigma_{Ccurva} = \frac{p \cdot r_m}{2t} \left(\frac{2R_{curv} + r_m \sin(\delta)}{R_{curv} + r_m \sin(\delta)} \right)$$

Donde:

R_{curv} = Radio de curvatura en la fibra neutra

r_m = Radio medio de la tubería

δ = Posición angular del esfuerzo circunferencial

$$\sigma_{Ccurva} = \frac{550\text{PSI} \cdot 1.96\text{pulg.}}{2(3/32\text{pulg.})} \left(\frac{2(5.72\text{pulg.}) + (1.96\text{pulg.}) \sin(270)}{5.72\text{pulg.} + (1.96\text{pulg.}) \sin(270)} \right)$$

$$\sigma_{Ccurva} = 14495.7\text{PSI}$$



Aplicación de Teoría de Falla

Por tratarse de un estado de esfuerzos en el plano, así utilizando la Teoría de la Energía de Distorsión, indicado para materiales dúctiles

$$\sigma_{equ} = \sqrt{\sigma_c^2 + \sigma_t^2 - \sigma_c \sigma_t}$$

Donde:

σ_{equ} = Esfuerzo equivalente de Von Mises

$$\sigma_{equ} = \sqrt{14495.7^2 + 5734.7^2 - (14495.7)(5734.7)}$$

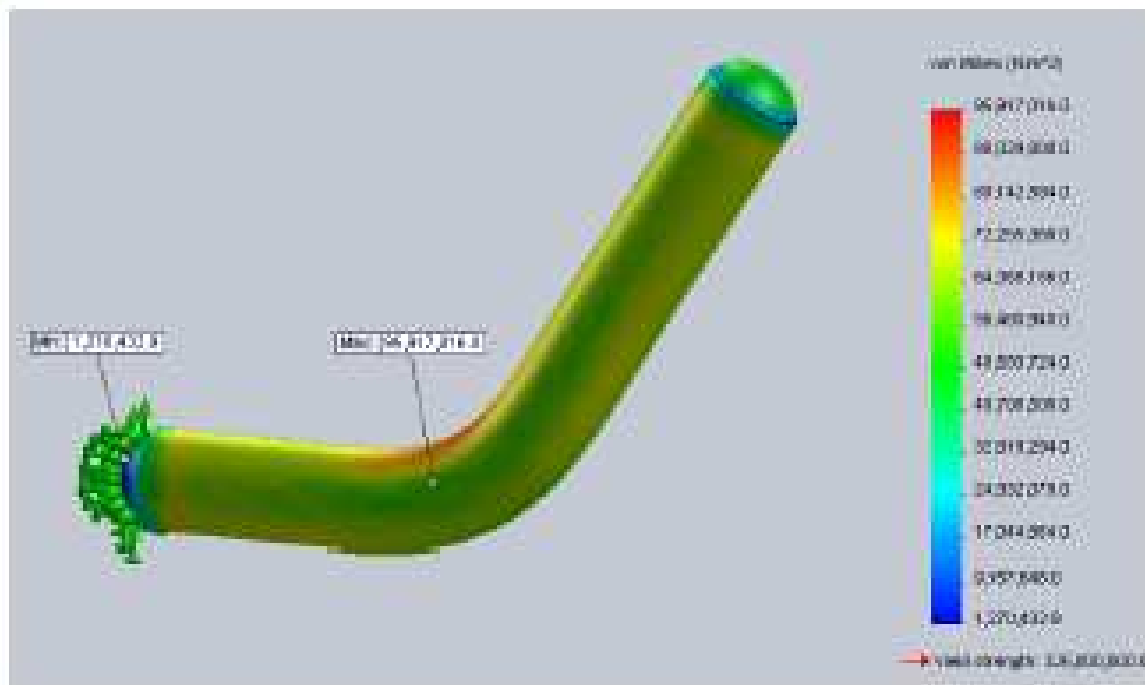
$$\sigma_{equ} = 12644.5 \text{ PSI}$$

$$\sigma_{equ} = \frac{S_y}{n}$$

$$n = \frac{46000 \text{ psi}}{12644.5 \text{ psi}}$$

$$n = 3.64$$





$$\sigma_{equ} = 95.91 \text{ MPa,}$$

$$n = \frac{325 \text{ MPa}}{95.91 \text{ MPa}}$$

$$n = 3.38$$

Figura 49: Simulación Acumulador de Aire Comprimido

- En cuanto al peso, éste se distribuye entre el sillín y los pedales.
- En un 72% en el sillín, un 23% en los pedales y 5% en el manubrio. (Araujo Uribe, Martínez Márquez, & Salazar Palacio, 2009).
- También se debe tener en consideración la fuerza producida por la transmisión de la cadena. Para lo que se debe conocer el tamaño del plato más pequeño para tener la condición más desfavorable, $D_{cat}=0.120m$.

$$P_{ped} = M \cdot \omega$$

Donde:

ω =Velocidad angular de la rueda

$$736W = M \left(10.47 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} \right)$$

$$M = 70.29Nm$$

$$M = F_{pedal}L$$

$$70.29Nm = F_{pedal}(0.17m)$$

$$F_{pedal} = 413.47N$$

$$F_t = \frac{M}{r_{cat}}$$

$$F_t = \frac{70.29Nm}{0.06m}$$

$$F_t = 1171.5N$$



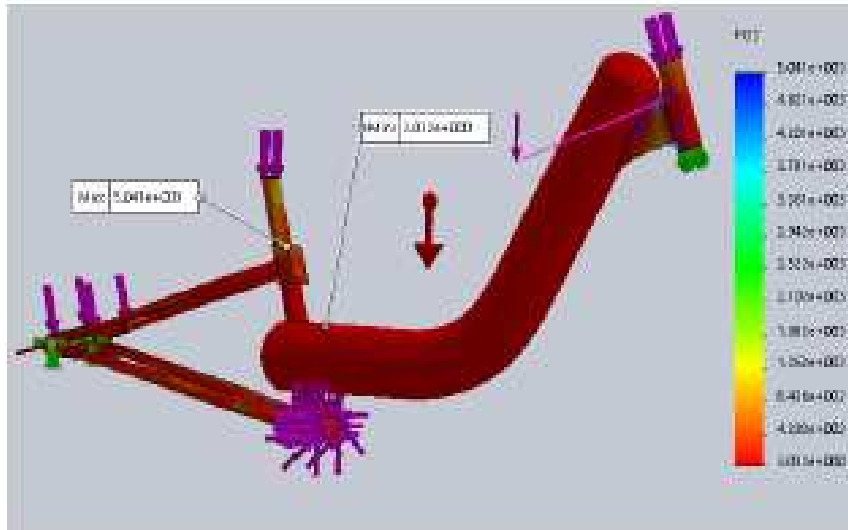


Figura 89: Análisis FOS Estructura Bicicleta
factor de seguridad mínimo de 3.03

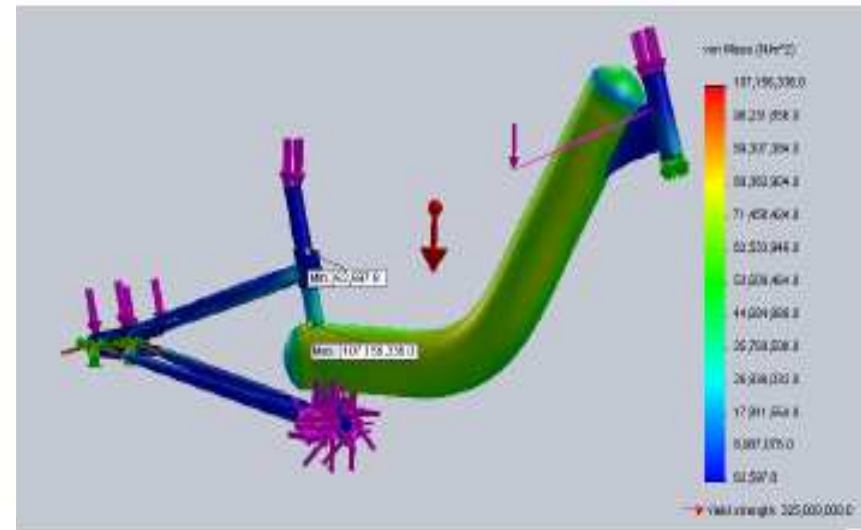


Figura 52: Análisis Estático del Prototipo
 $\sigma_{equ} = 107.56\text{MPa}$,

Diseño del Sistema Neumático

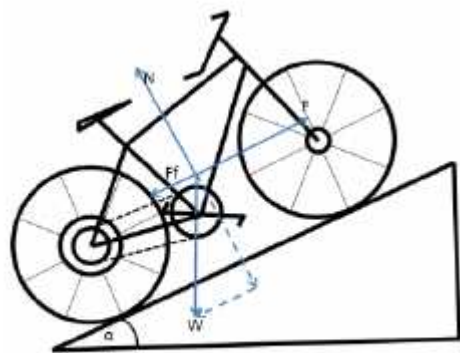


Figura 53: Diagrama de Cuerpo Libre Bicicleta

DESCRIPCIÓN	PESO
Bicicleta	15 kg
Sistema Neumático	10 kg
Sistema de Control	5 kg
Persona Promedio	75 kg
Total	105 kg

$$F = mg \sin \alpha + umg \cos \alpha$$

Donde

α = Coeficiente de Rodadura entre Caucho y Asfalto

$$F = 105\text{Kg} \cdot (9.8\text{m/seg}^2) (\sin(5.71) + (0.03) \cos(5.71))$$

$$F = 133.23\text{N}$$

$$\omega = \frac{V_{max}}{R_{rueda}}$$

$$\omega = \frac{5.55\text{m/seg}}{0.33\text{m}}$$

$$\omega = 16.82\text{rad/seg}$$

$$\omega = 160.6\text{rpm}$$

$$T_n = R_{rueda} F$$

$$T_n = 0.330\text{m}(133.23\text{N})$$

$$T_n = 43.96\text{Nm}$$

$$P_{max} = V_{max} \cdot F$$

$$P_{max} = 5.55\text{m/seg}(133.23\text{N})$$

$$P_{max} = 740.16\text{Watts}$$



Selección Motor Neumático

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Máxima Potencia	0.79 kW
Velocidad a Máx. Potencia	47 rpm
Par a Máx. Potencia	161 Nm
Par de Arranque Min.	207 Nm
Consumo de Aire C.N.	18 L/seg
Sentido de Rotación	Reversible
Peso	4.7 Kg

Fuente: (Atlas Copco, 2015)



Figura 54: Motores Neumático Atlas Copco
Fuente: (Atlas Copco, 2015)

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Máxima Potencia	0.80 kW
Velocidad a Máx. Potencia	190 rpm
Par a Máx. Potencia	40 Nm
Par de Arranque Min.	51 Nm
Consumo de Aire C.N.	18 L/seg
Sentido de Rotación	Reversible
Peso	2.5 Kg

Fuente: (Atlas Copco, 2015)

MOTOR NEUMÁTICO						
NO.	PARÁMETROS DE DECISIÓN	WF	LZB54 AR0009-11		LZB54 AR004-11	
			RF	VAL	RF	VAL
1	Precio	0.33	10	3.30	5	1.65
2	Torque Mínimo	0.28	9	2.52	8	2.24
3	Consumo de Aire CN	0.22	8	1.76	8	1.76
4	Peso	0.17	6	1.02	9	1.53
Suma		1.00	8.60		7.18	
Prioridad			1		2	



Selección Acumulado de Aire Comprimido



Figura 55: Tanque de Aire Comprimido
Fuente: (Scott Safety, 2015)

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Presión Máxima	4500 PSI
Capacidad de Aire a C.N.	1841 Litros
Longitud	51.8 cm
Diámetro	16 cm
Peso	6.62 Kg
Volúmen Recipiente	10.4 Litros

Fuente: (Scott Safety, 2015)



Autonomía Teórica

$$Dist_{teórica} = \frac{V_{max} \times Vol_{aire}}{Consumo_{aire}}$$

Donde:

Vol_{aire} = Volumen de Aire en CN dentro del Acumulador

$$Dist_{teórica} = \frac{V_{max} \times Vol_{aire}}{Consumo_{aire}}$$

$$Dist_{teórica} = \frac{5.55 \text{ m/seg}(1841 \text{ L})}{18 \text{ L/seg}}$$

$$Dist_{teórica} = 567.6 \text{ m}$$



Exergía en el Acumulador

$$Exerg = (U - U_o) + p_o(V - V_o) - T_o(S - S_o) + m\frac{Vel^2}{2} + mgz$$

$$Exerg = p_o(V_1 - V_o) - T_o(S_1 - S_o)$$

$$Exerg = m_1 \left[p_o \left(\frac{RT_1}{p_1} - \frac{RT_o}{p_o} \right) - T_o \left(Cp \ln \frac{T_1}{T_o} - R \ln \frac{p_1}{p_o} \right) \right]$$

$$Exerg = m_1 \left[RT_o \left(\frac{p_o}{p_1} - 1 \right) + RT_o \left(\ln \frac{p_1}{p_o} \right) \right]$$

$$Exerg = (3.6 \text{ Kg}) (0.287 \text{ kPa}\cdot\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{K}) (300\text{K}) \left[\ln \frac{31000 \text{ kPa}}{72 \text{ kPa}} + \frac{72 \text{ kPa}}{31000 \text{ kPa}} - 1 \right]$$

$$Exerg = 1379.14 \text{ KJ}$$

$$m_1 = \frac{p_1 V}{RT_1}$$

Donde:

m_1 = Masa de Aire en el Acumulador

R = Constante Universal de los Gases ($\text{kPa}\cdot\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{K}$)

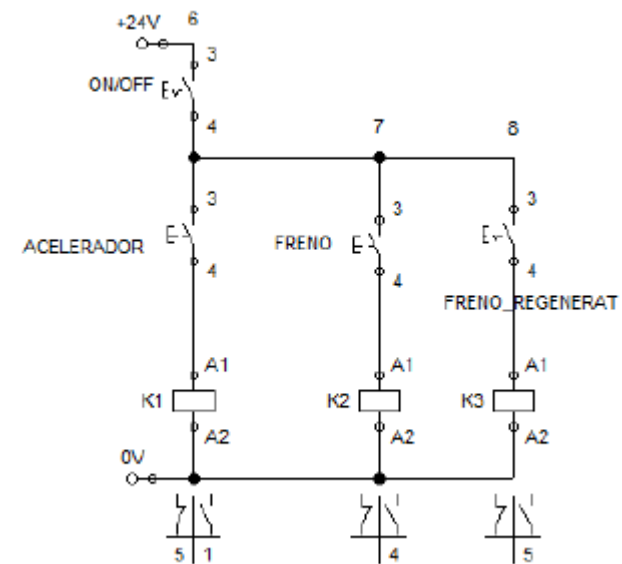
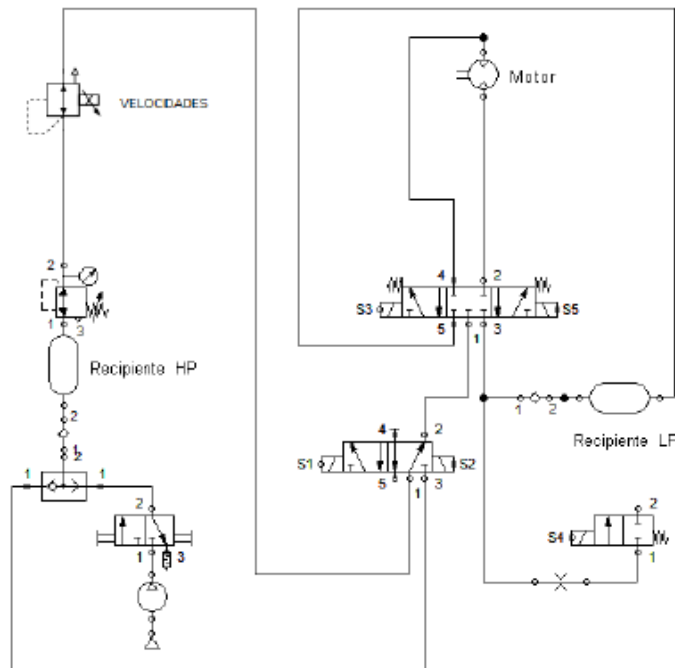
$$m_1 = \frac{(31000 \text{ kPa})(0.01 \text{ m}^3)}{(0.287 \text{ kPa}\cdot\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{K})(300\text{K})}$$

$$m_1 = 3.6 \text{ Kg}$$



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

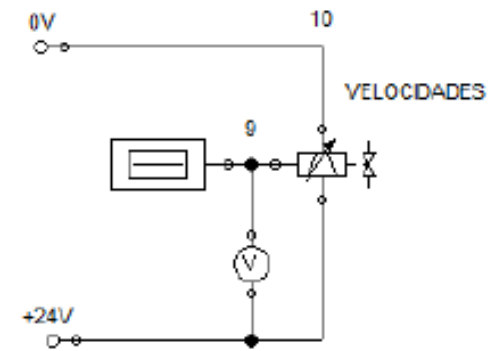
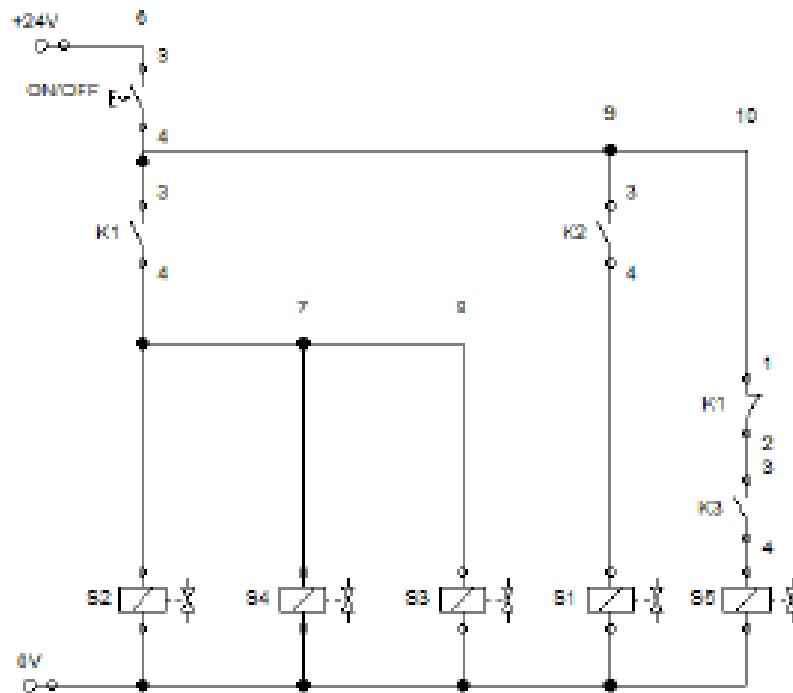
Circuito Neumático



Control de Flujo de Aire



Control de Potencia



Regulador de Presión Proporcional



ITV3050-31N4CL4

Salida: 0 a 100 PSI

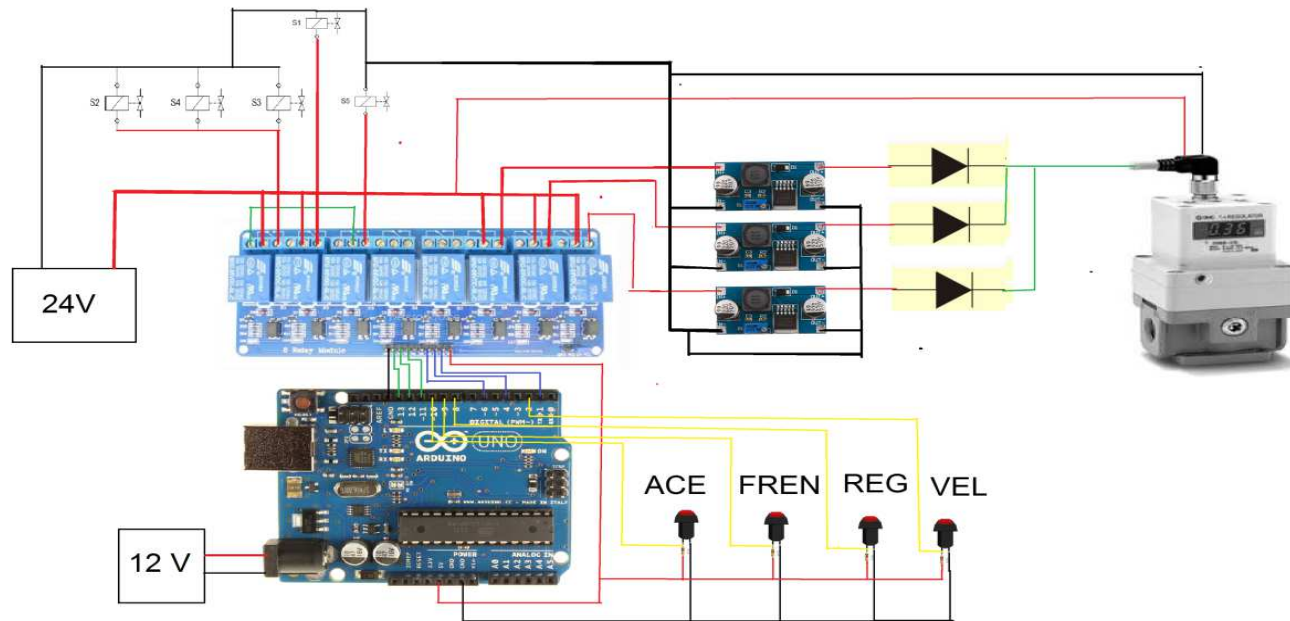
Señal de Entrada: 0 a 10 VDC

Figura 68: Regulador de Presión Electrónico
Fuente: (SMC, 2015)



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Sistema de Control



Diseño de Sistema de Transmisión

La transmisión debe diseñarse tomando en cuenta la velocidad de entrada de 47 rpm, y una velocidad de salida de 160.6 rpm, la potencia a transmitir será la máxima potencia del motor neumático igual a 1.06 HP (0.79 Kw)

$$Rel = \frac{n1}{n2}$$
$$Rel = \frac{47rpm}{160.6rpm}$$

$$Rel = 0.29$$

$$Rel = i_1 \times i_2$$

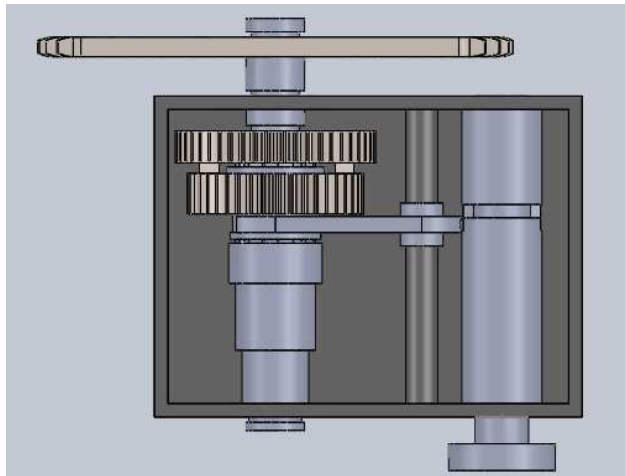
$$Rel = 0.53(0.55)$$

$$Rel = 0.29$$



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diseño Caja de Cambios



Donde
 Z_g = Número de dientes del Engrane
 Z_p = Número de dientes del Piñon

$$Z_p = 90,$$

$$i_1 = \frac{Z_g}{Z_p}$$

$$Z_g = 0.53 (90)$$

$$Z_g = 48 \text{ dientes}$$

Donde

i_1 = Relación de Transmisión 1

ω_{g1} = Velocidad angular del Piñon 1

ω_{p1} = Velocidad angular del Engrane 1

$$i_1 = \frac{\omega_{p1}}{\omega_{g1}}$$

$$\omega_{g1} = \frac{\omega_{p1}}{i_1}$$

$$\omega_{g1} = \frac{47 \text{ rpm}}{0.53}$$

$$\omega_{g1} = 88.6 \text{ rpm}$$



Torque en el Piñón

$$T_p = 9550 \times \frac{Pot}{\omega_{p1}}$$

$$T_p = 9550 \left(\frac{0.79 \text{ Kw}}{47 \text{ rpm}} \right)$$

$$T_p = 160.5 \text{ Nm}$$

Fuerza Tangencial Piñón

$$F_{tg\piñon} = \frac{2 \times T_p}{d_p}$$

$$F_{tg\piñon} = \frac{2(1000 \text{ mm})(160.5 \text{ Nm})}{135 \text{ mm}(1 \text{ m})}$$

$$F_{tg\piñon} = 2377.8 \text{ N}$$

Fuerza Radial Piñón

$$F_{r\piñon} = F_{tg} \times \tan(\phi)$$

$$F_{r\piñon} = 2377.8 \text{ N} \times \tan(20^\circ)$$

$$F_{r\piñon} = 865.44 \text{ N}$$

Torque en el Engrane

$$T_e = 9550 \times \frac{Pot}{\omega_{g1}}$$

$$T_e = 9550 \left(\frac{0.79 \text{ Kw}}{88.6 \text{ rpm}} \right)$$

$$T_e = 85.15 \text{ Nm}$$

Fuerza Tangencial del Engrane

$$F_{tgengrane} = \frac{2 \times T_e}{D_p} \times 1000$$

$$F_{tgengrane} = \frac{2(1000 \text{ mm})(85.15 \text{ Nm})}{72 \text{ mm}(1 \text{ m})}$$

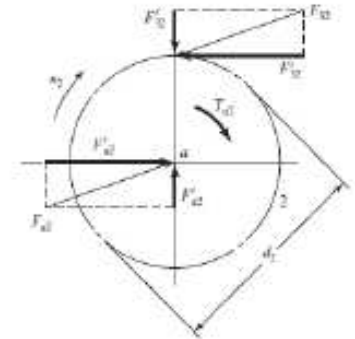
$$F_{tgengrane} = 2365.27 \text{ N}$$

Fuerza Radial del Engrane

$$F_{rengrane} = F_{tg} \times \tan(\phi)$$

$$F_{rengrane} = 1261.48 \text{ N} \times \tan(20^\circ)$$

$$F_{rengrane} = 860.89 \text{ N}$$



Análisis de Esfuerzos de Flexión

$$\sigma_b = \frac{Ftg}{K_v \times m \times B \times J} \times K_a \times K_s \times K_m$$

Donde

σ_b = Número de Esfuerzos Permisibles de la AGMA

Factor Geométrico (J)

Factor de Aplicación (K_a)

Factor de Tamaño (K_s)

Factor de Distribución de Carga (K_m)

Factor Dinámico (K_v)

y

$$\sigma_{b\text{piñon}} = \frac{2377.8 \text{ N}}{(0.99)(1.5 \text{ mm})(24 \text{ mm})(0.46)} (1.25)(1)(1.6)$$

$$\sigma_{b\text{piñon}} = 290.1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{b\text{engrane}} = \frac{2365.27 \text{ N}}{(0.99)(1.5 \text{ mm})(24 \text{ mm})(0.42)} (1.25)(1)(1.6)$$

$$\sigma_{b\text{engrane}} = 316 \text{ MPa}$$



Selección de Material

1. Calcular la resistencia a la fatiga corregido flexión, S_b la resistencia a la fatiga por flexión publicada por la AGMA y S_{bper} la resistencia a la fatiga corregida, misma que debe compararse con el esfuerzo pico S_b ; calculado en el apartado anterior y los factores K son modificadores para tomar en cuenta varias condiciones de trabajo de los engranajes.

- Piñón

$$S_{bper} = \sigma_b \times FS_{flexion}$$

$$S_{bper} = 290.1 \text{ MPa}(1.5)$$

$$S_{bper} = 435.15 \text{ MPa}$$

- Engrane

$$S_{bper2} = 316 \text{ MPa}(1.5)$$

$$S_{bper2} = 474 \text{ MPa}$$



$$Sb_{per} = \frac{Sb_t \times K_L}{K_R \times K_T}$$

Factor de Vida (K_L)

Factor de Temperatura (K_T)

Factor de Confiabilidad (K_R)

■ Piñon

$$Sb_{per} = 435.15 \text{ MPa}$$

$$435.15 \text{ MPa} = \frac{Sb_{tp}(1)}{(0.85) \times (1)}$$

$$Sb_{tp} = 369.87 \text{ MPa}$$

$$Sb_{tp} = 53.65 \text{ KSI}$$

■ Engrane

$$Sb_{per2} = 474 \text{ MPa}$$

$$474 \text{ MPa} = \frac{Sb_{te}(1)}{(0.85) \times (1)}$$

$$Sb_{te} = 402.9 \text{ MPa}$$

$$Sb_{te} = 58.4 \text{ KSI}$$



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

- Piñon

$$Sb_l = 0.703H_B + 113 \text{ MPa}$$

$$Sb_{lp} = 369.87 \text{ MPa}$$

$$369.1 \text{ MPa} = 0.703H_B + 113 \text{ MPa}$$

$$H_B = 364.2$$

- Engrane

$$Sb_{ie} = 402.9 \text{ MPa}$$

$$402.9 \text{ MPa} = 0.703H_B + 113 \text{ MPa}$$

$$H_B = 413.7$$

La AGMA no recomienda utilizar endurecimiento total en valores de dureza superiores a los 400HB, debido al funcionamiento inconsistente en servicio (Mott, 2006).

Material: AISI 4340

Dureza superficial de entre 240 a 380HB (Dipac, 2016)

Los dientes de los engranes son sometidos a un proceso de cementación a 900°C con la que se espera obtener una dureza superficial de hasta 62 HRc (Córdova, 2014), equivalente a 627 HB ideal para el funcionamiento del sistema de transmisión.



Análisis de Esfuerzos de Contacto

$$\sigma_c = C_p \sqrt{\frac{Ftg}{B \times D_p \times I}} \times K_a \times K_s \times K_m \times K_v \times C_f$$

Coficiente Elástico

Factor Geométrico de Resistencia Superficial

Factor de Condición Superficial

$$\sigma_c = 191 \text{ MPa}^{0.5} \sqrt{\frac{2365.27 \text{ N}}{(24 \text{ mm}) \times (72 \text{ mm}) \times (0.06)}} \times 1.25 \times 1 \times 1.6 \times 0.99 \times 1$$

$$\sigma_c = 1283.7 \text{ MPa}$$



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Resistencia Teórica de Contacto

- Con los datos del material seleccionado, para nuestro caso el del acero AISI 4340, de dureza 380HB, consideración antes del proceso de cementación para garantizar su utilización, se puede calcular el número de esfuerzos sugerido por la AGMA para resistencia al contacto

$$S_c = 2.41H_B + 237 \text{ MPa}$$

$$S_c = 2.41(380) + 237 \text{ MPa}$$

$$S_c = 1152.8 \text{ MPa}$$



Resistencia por Contacto

$$S_{cp} = \frac{S_{cl} \times C_L \times C_H}{C_R \times C_T}$$

Coefficiente de Vida $C_L = 0.96$

Coefficiente de Dureza de Dientes $C_H = 1$

Coefficiente de Confiabilidad $C_R = 0.85$

Coefficiente de Temperatura $C_T = 1$

$$S_{cp} = \frac{1152.8 \text{ MPa}(0.96)(1)}{0.85(1)}$$

$$S_{cp} = 1301.98 \text{ MPa}$$

$$FS_{\text{Contacto}} = \left(\frac{S_{cp}}{\sigma_c} \right)^2$$

$$FS_{\text{Contacto}} = \left(\frac{1301.98 \text{ MPa}}{1283.7 \text{ MPa}} \right)^2$$

$$FS_{\text{Contacto}} = 1.11$$



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diseño Transmisión por Cadena

- Cadena de una sola hilera
- Cadena número 40
- Paso = 1/2pulg:
- Catarina de 42 dientes
- W de 88.6 rpm
- Lubricación manual o por goteo.

$$Pot_{diseño} = Pot_{Nom} F_{serv}$$

Donde

$Pot_{diseño}$ =Potencia de Diseño

Pot_{Nom} =Potencia Nominal

F_{serv} =Factor de Servicio

$$Pot_{diseño} = (1.06HP)(1)$$

$$Pot_{diseño} = 1.06HP$$



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diseño Transmisión por Cadena

$$i_2 = \frac{\omega_{conductora}}{\omega_{conducida}}$$

$$0.55 = \frac{88.6 \text{ rpm}}{\omega_{conducida}}$$

$$\omega_{conducida} = 161.1 \text{ rpm}$$

$$Rel = \frac{Z_2}{Z_1}$$

Donde

Z_1 = Número de Dientes Catarina Conductora

Z_2 = Número de Dientes Catarina Conducida

$$Z_2 = 42 \text{ dientes}(0.55)$$

$$Z_2 = 23 \text{ dientes}$$



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Fuerza en las Catarinas

$$F_{cat} = \frac{2T_{conductor}}{D_2}$$

Donde

F_{cat} = Fuerza en la Catarina

$T_{conductor}$ = Torque Catarina Conductor

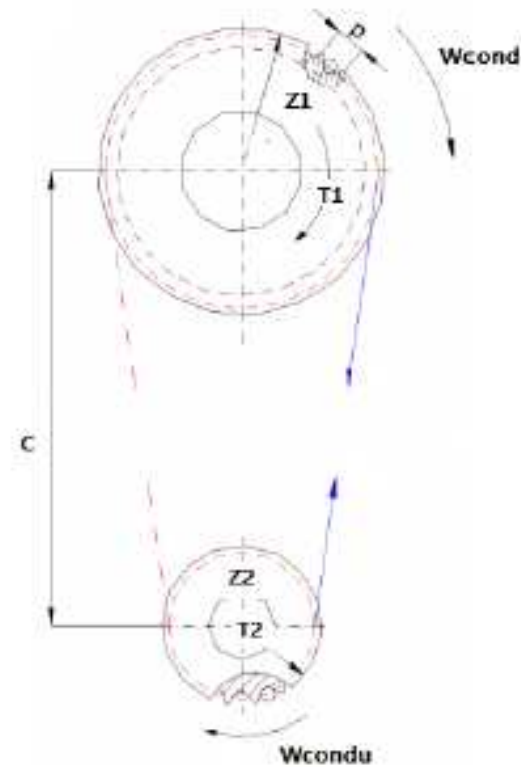
D_2 = Diámetro de Catarina

$$F_{cat} = \frac{2(85.15\text{Nm})(1000)}{(169.9\text{mm})}$$

$$F_{cat} = 1007.35\text{N}$$

$$Ft_{g_{cat}} = 1003.5\text{N}$$

$$Frad_{cat} = 87.8\text{N}$$



$$F_{cat} = \frac{2T_{conducido}}{D_1}$$

$$T_{conducido} = \frac{(93.2\text{mm})(1007.35\text{N})}{2(1000)}$$

$$T_{conducido} = 46.94\text{Nm}$$



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diseño de Ejes

Análisis Estático del Eje Principal

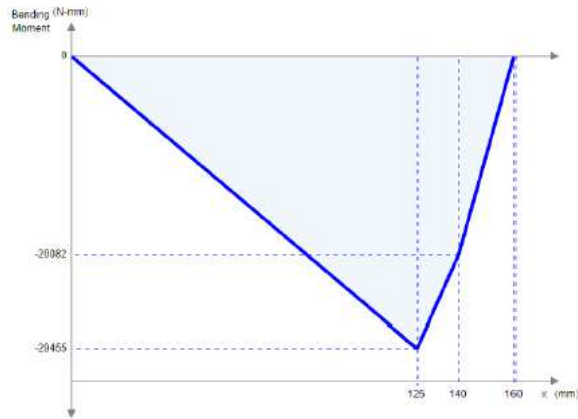


Figura 83: Momento Flector Plano XY

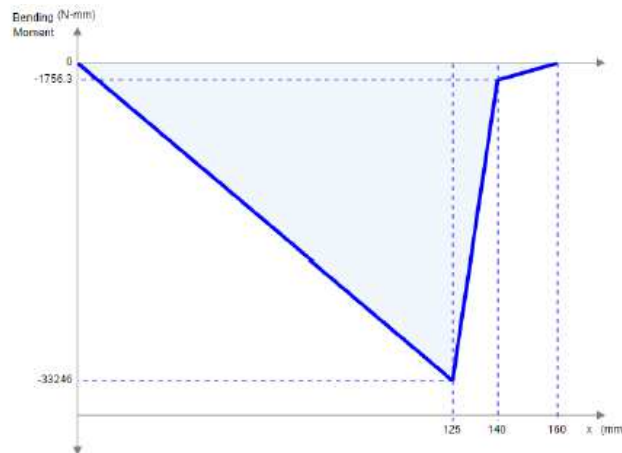
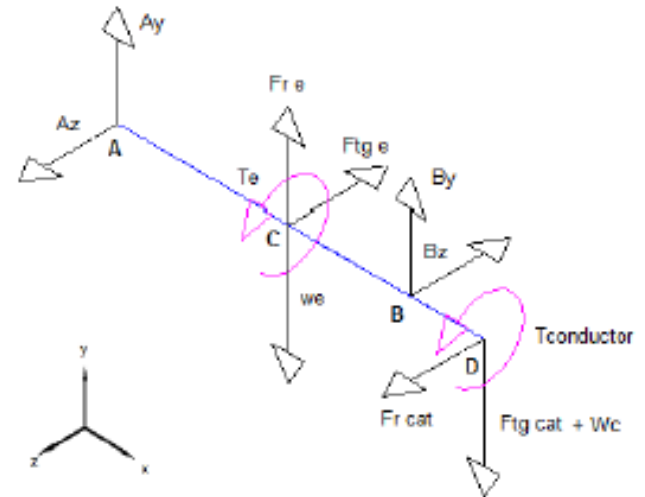


Figura 84: Momento Flector Plano XZ



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Diseño de Ejes

$$M_{total} = \sqrt{M_{zx}^2 + M_{yx}^2}$$

Donde

M_{total} = Momento Flector Total

M_{zx} = Momento Flector Plano ZX

M_{yx} = Momento Flector Plano XY

$$M_{total} = \sqrt{(29455 \text{ N.mm})^2 + (33246 \text{ N.mm})^2}$$

$$M_{total} = 44417.27 \text{ N.mm}$$

Esfuerzo Normal

$$\sigma_b = \frac{32 \times M_{total}}{\pi \times d_1^3}$$

$$\sigma_b = \frac{32(44417.27 \text{ N.mm})}{\pi \times d_1^3}$$

Esfuerzo Cortante

$$\tau_b = \frac{16 \times T_{max}}{\pi \times d_1^3}$$

$$\tau_b = \frac{16(85150 \text{ N.mm})}{\pi \times d_1^3}$$



Diseño de Ejes

$$\sigma_{equ} = \sqrt{\sigma_b^2 + 4(\tau_b)^2}$$

Donde

σ_{equ} = Esfuerzo Equivalente TECM

σ_b = Esfuerzo Normal

τ_b = Esfuerzo Cortante

$$\sigma_{equ} = \sqrt{\left(\frac{32(44417.27 \text{ N.mm})}{\pi \times d_1^3}\right)^2 + 4\left(\frac{16(85150 \text{ N.mm})}{\pi \times d_1^3}\right)^2}$$

$$\sigma_{equ} = \sqrt{\left(\frac{2.046 \times 10^{11}}{d_1^6}\right) + \left(\frac{7.523 \times 10^{11}}{d_1^6}\right)}$$

$$\sigma_{equ} = \sqrt{\left(\frac{9.569 \times 10^{11}}{d_1^6}\right)}$$

$$\sigma_{equ} = \frac{978193.57}{d_1^3}$$



Diseño de Ejes

- Acero AISI 4340 HB=380 ,
Su = 1300MPa,
- Sy = 900MPa (Dipac, 2016)
- Factor de seguridad
estático para el eje de 4,
se puede determinar el
valor mínimo del diámetro
del eje.

$$\sigma_{equ} = \frac{S_y}{F S_{eje}}$$

$$\frac{978193.57}{d_1^3} = \frac{900}{4}$$

$$d_1 = \sqrt[3]{2877.04}$$

$$d_1 = 16.3\text{mm}$$



Análisis a Fatiga

- Eje puede girar en los dos sentidos y que el mayor momento flector ocurre en el contacto del par de engranes.
- Se puede calcular el esfuerzo flector máximo y mínimo para calcular los esfuerzos medio y alterno necesarios para el cálculo del diámetro del eje.

Esfuerzos de Flexión Máximo

$$\sigma_{bmax} = \frac{32 \times M_{total}}{\pi \times d_1^3}$$

$$\sigma_{bmax} = \frac{32(44417.27 \text{ N.mm})}{\pi \times d_1^3}$$

$$\sigma_{bmax} = \frac{452430.6}{d_1^3}$$



Análisis a Fatiga

Esfuerzos de Flexión Mínimo

$$\sigma_{bmin} = \frac{-32 \times M_{total}}{\pi \times d_1^3}$$

$$\sigma_{bmin} = \frac{-32(44417.27 \text{ N.mm})}{\pi \times d_1^3}$$

$$\sigma_{bmin} = \frac{-452430.6}{d_1^3}$$

Esfuerzos de Flexión Medio

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{bmax} + \sigma_{bmin}}{2}$$

$$\sigma_m = 0$$

Esfuerzos de Flexión Alterno

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{bmax} - \sigma_{bmin}}{2}$$

$$\sigma_a = \frac{452430.6}{d_1^3}$$



Análisis a Fatiga

Esfuerzos Cortantes Máximo

$$\tau_{bmax} = \frac{16 \times T_{max}}{\pi \times d_1^3}$$

$$\tau_{bmax} = \frac{16(85150 \text{ N.mm})}{\pi \times d_1^3}$$

$$\tau_{bmax} = \frac{433665.4}{d_1^3}$$

Esfuerzos Cortantes Mínimo

$$\tau_{bmin} = \frac{-16 \times T_{max}}{\pi \times d_1^3}$$

$$\tau_{bmin} = \frac{-16(85150 \text{ N.mm})}{\pi \times d_1^3}$$

$$\tau_{bmin} = \frac{-433665.4}{d_1^3}$$

Esfuerzos Cortante Alterno

$$\tau_a = \frac{\tau_{bmax} - \tau_{bmin}}{2}$$

$$\tau_a = \frac{433665.4}{d_1^3}$$

Esfuerzos Cortante Medio

$$\tau_m = \frac{\tau_{bmax} + \tau_{bmin}}{2}$$

$$\tau_m = 0$$



Análisis a Fatiga

Esfuerzos de Flexión Alterno Corregido

$$\sigma_a^* = K_{fb} \times \sigma_a$$

$$\sigma_a^* = 4.05 \left(\frac{452430.6}{d_1^3} \right)$$

$$\sigma_a^* = \frac{1832343.9}{d_1^3}$$

Esfuerzo Equivalente Alterno

$$\sigma_{aequ}^* = \sqrt{(\sigma_a^*)^2 + 4(\tau_a^*)^2}$$

$$\sigma_{aequ}^* = \sqrt{\left(\frac{1832343.9}{d_1^3} \right)^2 + 4 \left(\frac{1335689.4}{d_1^3} \right)^2}$$

$$\sigma_{aequ}^* = \frac{3239405.6}{d_1^3}$$

Esfuerzos Cortantes Alterno Corregido

$$\tau_a^* = K_{ft} \times \tau_a$$

$$\tau_a^* = 3.08 \left(\frac{433665.4}{d_1^3} \right)$$

$$\tau_a^* = \frac{1335689.4}{d_1^3}$$



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Análisis a Fatiga

Factores de Carga Para flexión se elige un factor $K_b = 1$ y para la carga de torsión se seleccionó $K_t = 0.59$

Factor de Superficie para el Eje (K_{sup})

Factor de Confiabilidad (K_{conf})

Factor de Tamaño (K_{tam})

$$S_e^* = 0.5 \times S_u$$

$$S_e^* = 0.5(1300\text{MPa})$$

$$S_e^* = 650\text{MPa}$$

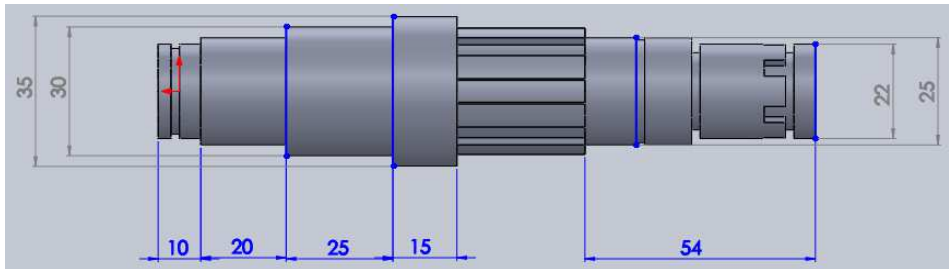
$$S_e = S_e^* \times K_{sup} \times K_{conf} \times K_b \times K_{tam}$$

$$S_e = 650\text{MPa}(0.86)(0.897)(1)(0.91)$$

$$S_e = 456.29\text{MPa}$$



Análisis a Fatiga



Aplicando la teoría de falla de acuerdo a Soderberg, se puede obtener el valor de los esfuerzos equivalentes alternos, al no existir valores de esfuerzos de flexión y cortante medios, el esfuerzo equivalente medio es igual a cero y la teoría de falla se reduce de la siguiente manera.

$$\frac{S_y}{FS_{fatiga}} = \sigma_{mequ}^* + \frac{S_y}{Se} \times \sigma_{aequ}^*$$

$$\frac{900\text{MPa}}{2} = \frac{900\text{MPa}}{456.29\text{MPa}} \left(\frac{3239405.6}{d_1^3} \right)$$

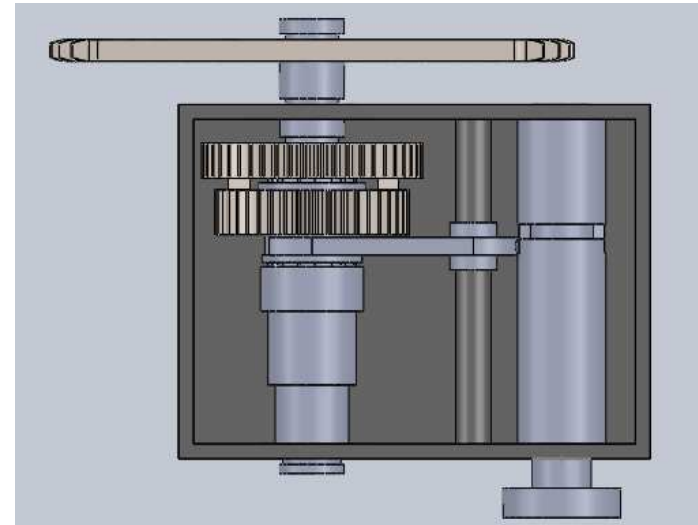
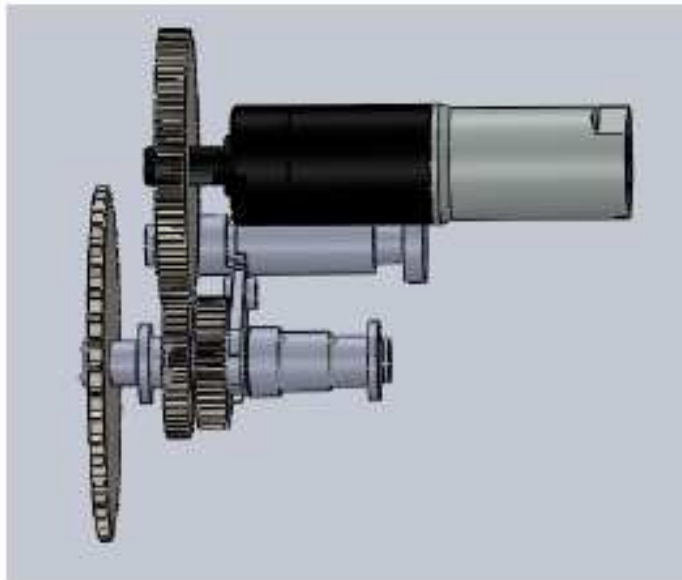
$$d_1^3 = 12568$$

$$d_1 = 24.21\text{mm}$$

$$d_1 = 25\text{mm}$$



Caja de Cambios



CAPÍTULO 5

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Construcción de la Estructura del Vehículo

- Medición y Corte
- Biselado del material
- Proceso de Doblado de Tubos
- Repujado de Cabezas



Estructura del Vehículo

Soldadura

- Acumulador de aire comprimido soldadura MIG (Metal Inert Gas)
- Parámetros precalificados y sugeridos por el código ASME.
- Para el proceso se usa un diámetros de alambre de 1.2mm, recomendado para el grosor de las partes que se van a unir.



Estructura del Vehículo

Parámetros de Soldadura MIG/MAG

PROCESO MIG	DIÁMETRO		VOLT.	FLUJO (L/MIN)	VEL. DE ALIMENT. (CMT/MIN)
	ALAMBRE	AMP.			
Corto Circuito	1.2	100-130	17-22	8-15	250-560
Spray	1.2	200-450	24-30	10-20	530-990

- Proceso de soldadura seleccionado por corto circuito para el material base en este caso tubo estructural ASTM A500 grado B, se utiliza un amperaje de 100-130 A, con un voltaje de 20 V y la velocidad de alimentación del alambre de 390 cmt/min



Soldadura Componentes del Marco

- Reynolds 531, acero aleado con Cromo y Molibdeno
- Proceso de soldadura SMAW(shield metal arc welding),

El proceso se realizó con electrodos E308L-16, que es un electrodo de fácil encendido, reencendido y remoción de escoria, con buena resistencia a la corrosión utilizado para aceros inoxidables de diámetro de 3/32 pulg.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Perforación y Soldadura de Accesorios

- Uniones de rosca cónica NPT (National Pipe Thread), de diámetro nominal 1/4 pulg. utilizadas frecuentemente en aplicaciones de aire comprimido.



Proceso MIG, con parámetros de soldadura similares.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Proceso de Pintura

Primera capa

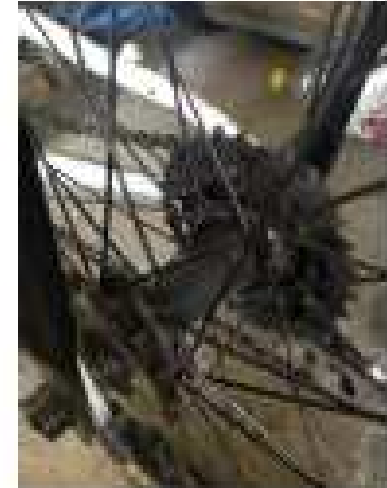
- Pintura anticorrosiva
- Inhibir el proceso de corrosión en la superficie de los tubos de acero y sirve como base para la posterior adherencia de la siguiente capa de pintura.

Segunda capa

- Pintura inerte químicamente e impermeable a la atmósfera externa, el principal objetivo de esta capa es dar un aspecto estético a la estructura de la bicicleta.



Construcción de Elementos de Transmisión



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Sistema de Transmisión

- Montaje de la cadena de transmisión, se selecciona la cadena número 40 con un paso de $\frac{1}{2}$ pulgadas, similar a la que se emplea en motocicletas



Montaje Sistema de Control

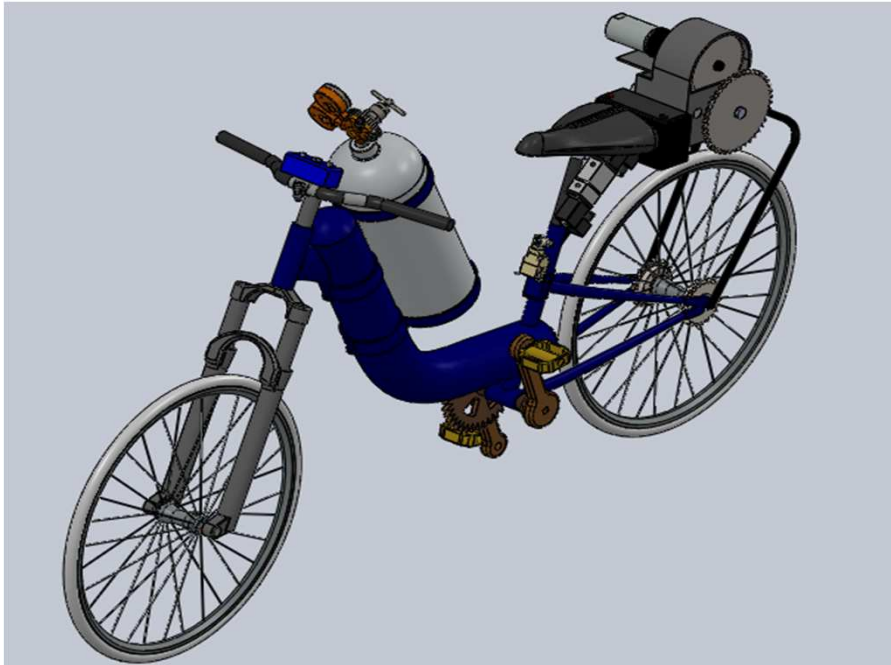


Montaje de Sistema Neumático

- El sistema neumático está constituido por tres electroválvulas direccionales y un motor neumático
- Instalación de racores para manguera neumática de 12mm de diámetro (sugeridas por el fabricante del motor para garantizar el óptimo funcionamiento del sistema)



Prototipo Terminado



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CAPÍTULO 6

PROTOCOLO DE PRUEBAS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Metodología de Pruebas

- Para comprobar el funcionamiento se realizaron 4 pruebas, sobre diferentes trayectos y con el mismo ciclista, cuyas características antropométricas son las siguientes.

Peso: 70kg (peso utilizado en los cálculos del prototipo)

Altura: 1.70

Edad: 25 años

Hora de las Pruebas: 12 pm a 14 pm

Localización: Valle de los Chillos (Ubicación específica en cada prueba)

Temperatura Ambiente: 16-20°C

Clima: Soleado-Nublado (Evitar uso en lluvia)



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Metodología de Pruebas

- Como el prototipo fue concebido como un vehículo para uso dentro del perímetro urbano las pruebas se realizaron dentro de las instalaciones del Campus de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, superficie asfalto y con una extensión total de camino igual a 2.1 Km.
- Además, debido a que se debe realizar pruebas en terrenos llanos, estas se realizan en un campo de baloncesto ubicado dentro del propio campus, las dimensiones de la cancha son 23m de largo por 12m de ancho y la superficie es de cemento.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Pruebas de Funcionamiento

Verificación Sistema de Control

- El sistema de control se encuentra correctamente instalado
- Solenoides se activan correctamente y
- No existe interferencia en las señales de la tarjeta.
- Salida hacia los relés es efectiva
- Sistema de control trabaja adecuadamente.

Verificación de Funcionamiento del Motor

- El motor funciona perfectamente
- Existe un pico de potencia
- Salto en el arranque
- Funcionamiento normal del motor



Prueba de Funcionamiento General

- El recorrido se realiza en un segmento del circuito de pruebas, desde el laboratorio de mecánica de fluidos hasta el laboratorio de metrología de la Universidad de la Fuerzas Armadas-ESPE (300m) delimitado mediante marcas en el piso.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Arranque

MARCHA	PRESIÓN	ARRANQUE.
Primera	100 PSI	Si
Segunda	87 PSI	Si
Tercera	58 PSI	No

Sistema de Frenado

MARCHA	DISTANCIA ANTES DE DETENERSE
Primera	5.1 m
Segunda	2.5 m
Tercera	No se realizó

Velocidad del Prototipo

MARCHA	PRESIÓN	VELOCIDAD MAX.	SEÑAL DE ENTRADA
Primera	100 PSI	17.3 Km/h	10 VDC
Segunda	87 PSI	9.9 Km/h	8 VDC
Tercera	58 PSI	0 Km/h	6 VDC



Funcionamiento General

PROTOTIPO DE BICICLETA NEUMÁTICA					
Respon: Cristian Moreta	Fecha: 06/06/2106		Duración: 12 pm-1pm		
ACCIONAMIENTOS	MAL	REG	BUE	EXC	OBSERVACIÓN
Arranque			x		Arranque brusco
Cabeceo al Frenar		x			Necesitan Regulación
Oscilaciones del Marco			x		
Estabilidad			x		Se inclina a la derecha
Comportamiento en rompevelocidades			x		Presenta ruidos al pasar por rompevelocidades
Suspensión			x		
Vibraciones			x		
Ruidos		x			Ruido Eléctrico
Maniobrabilidad			x		
Sistema Electrónico			x		
Sistema Neumático			x		
Sistema de Transmisión				x	
Sistema de Freno			x		Efectivo
Control de Velocidades		x			3era velocidad no arranca



Prueba de Aceleración en Línea Recta

- En esta prueba el prototipo parte del reposo acelerando hasta su velocidad máxima.
- Se mantiene esta velocidad hasta completar el recorrido de 500m (sin pendiente) y luego se quita alimentación de aire al motor y se frena la bicicleta hasta que llegue al reposo.



Respon: C. Moreta	Fecha: 08/06/2106	Duración: 11 am-1pm	
Temperatura: 20°C	Clima: Despejado		
MARCHA	PRESIÓN	VELOCIDAD MAX.	TIEMPO
Primera	100 PSI	17.6 Km/h	1 min 57seg
Segunda	87 PSI	10.2 Km/h	3 min 05 seg
Tercera	58 PSI	0 Km/h	0



Prueba de Autonomía en Terreno Llano

- La prueba en terreno llano se llevó a cabo en una de las canchas de básquet de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE campus Sangolquí, delimitando un recorrido por vuelta de 70 m correspondiente al perímetro de la cancha.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Prueba de Autonomía en Terreno Llano

Ensayo de Autonomía

- Contar el número de vueltas y la distancia que se puede conseguir con un tanque de aire comprimido a plena carga.

Ensayo de Regeneración de Energía

- Es similar al de autonomía con la diferencia que se divide en dos etapas.
- La primera es idéntica al ensayo anterior.
- Y la segunda etapa consiste en activar el sistema de freno regenerativo para luego pedalear hasta cargar nuevamente el acumulador de aire comprimido.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Prueba de Autonomía en Terreno Llano

Autonomía en Terreno Llano

ESPECIFICACIÓN	VALOR
Distancia Recorrida	654.3 m
Presión del Tanque Alta presión	4500 PSI
Tiempo de Funcionamiento	9 min 54.6 seg
Número de Vueltas Completas	9 vueltas

Autonomía Terreno Llano con FR

ESPECIFICACIÓN	VALOR
Distancia Recorrida	668.1 m
Distancia Recorrida Extra (FR)	16.3 m
Distancia TOTAL	684.4 m
Presión del Tanque Alta Presión	4500 PSI
Tiempo de Funcionamiento	11 min 25.68 seg
Número de Vueltas Completas	9 vueltas
Tiempo de Funcionamiento Extra (FR)	0 min 14 seg
Presión Alcanzada Freno Regenerativo	110 PSI



Prueba en Circuito Urbano

Las prueba de autonomía se realizaron con el motor puesto en marcha a su máxima potencia y en su segunda marcha, la prueba incluyó dentro del recorrido perimetral del campus Sangolquí una pendiente pronunciada del 14%. Para esta prueba no se necesita un flujo continuo de aire, al alcanzar la velocidad máxima se puede continuar el recorrido con el impulso adquirido además se utilizará durante la subida de pendientes.

Resp: Moreta	Fecha: 10/06/2106	Durac: 10am-12pm			
Temp: 20°C	Clima: Despejado	Ubicación: ESPE			
MARCHA	PRESIÓN	VEL. 1-2	VEL. 3-4	ASIST.	TIEMPO
Sin Asistencia	0 PSI	3.3 Km/h	13.7 Km/h	N/A	13 min 41 seg
Primera	100 PSI	13.7 Km/h	23.4 Km/h	Buena	7 min 47 seg
Segunda	87 PSI	7.6 Km/h	16.3 Km/h	Regular	10 min 32 seg



Prueba en Circuito Urbano



Resp: Moreta	Fecha: 10/06/2106	Durac: 10am-12pm			
Temp: 20°C	Clima: Despejado	Ubicación: ESPE			
MARCHA	PRESIÓN	VEL. 1-2	VEL. 3-4	ASIST.	TIEMPO
Sin Asistencia	0 PSI	3.3 Km/h	13.7 Km/h	N/A	13 min 41 seg
Primera	100 PSI	13.7 Km/h	23.4 Km/h	Buena	7 min 47 seg
Segunda	87 PSI	7.6 Km/h	16.3 Km/h	Regular	10 min 32 seg

Se aprecia que el tiempo en completar cada vuelta es menor mientras el nivel de asistencia aumenta y el ciclista siente la ayuda por parte del motor dependiendo del nivel de asistencia seleccionado.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Eficiencia del Prototipo

Prototipo de bicicleta:

- Impulsada mediante aire comprimido
- Tanque de fibra de carbono de 10 litros, con un peso de 6.62 kilos
- Presión máxima de trabajo del acumulador es de 4500 PSI (7 bar)
- Motor de neumático de paletas de 790 Watts de potencia (47 RPM)



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Eficiencia de descompresión

La energía que tiene el tanque de alta presión lleno de aire comprimido a 4500PSI (310.2 bares) de presión viene dado por la Ley de Boyle.

$$E = 10 \times (P_1 \ln(P_1) - P_1 + 1)$$

Donde:

E : Energía del aire comprimido en un volumen de 1 litro en el tanque.

P_1 : Presión a la que está comprimido el aire en el acumulador.

$$E = 10 \times [(310.2\text{bar} \times (\ln(310.2) - 310.2\text{bar} + 1))]$$

$$E = 14704.84\text{Kgf.m}$$

$$E_{\text{tanque}} = E \times Vol_{\text{tanque}}$$

$$E_{\text{tanque}} = 14704.84\text{Kgf.m/L} \times 10\text{L}$$

$$E_{\text{tanque}} = 147048.47\text{Kgf.m} = 1442.05\text{KJ}$$



- Como el regulador de presión ubicado luego del acumulador de alta presión actúa como un descompresor a 100PSI (6.89), presión a la que actúa el motor neumático, o sea 45 veces menos presión y 45 veces más volumen, por lo que se puede calcular la energía que se gasta en la expansión del aire.

$$E_{exp} = \frac{P_1}{P_2} \times [10 \times (P_2 \ln(P_2) - P_2 + 1)]$$

Donde:

E_{exp} : Energía del aire al ser expandido.

P_2 : Presión de descompresión del aire.

$$E_{exp} = \frac{310.2\text{bar}}{6.89\text{bar}} \times [10 \times [(6.89\text{bar} \times (\ln(6.89) - 6.89\text{bar} + 1))]]$$

$$E_{exp} = 3333.68\text{Kgf.m}$$

$$n_{exp} = \frac{E_{exp}}{E}$$

Donde:

n_{exp} : Eficiencia de expansión.

$$n_{exp} = \frac{3333.68\text{Kgf.m}}{14704.84\text{Kgf.m}}$$

$$n_{exp} = 0.226$$



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Eficiencia Exergética

$$n_{exerg} = \frac{Exerg}{E_{tanque}}$$

Donde:

n_{exerg} : Eficiencia exergética.

$$n_{exerg} = \frac{1379.14\text{KJ}}{1442.05\text{KJ}}$$

$$n_{exerg} = 0.956$$

$$E_{disp} = n_{exerg} \times n_{exp} \times E_{tanque}$$

$$E_{disp} = 0.956 \times 0.226 \times 1442.05\text{KJ}$$

$$E_{disp} = 311.56\text{KJ}$$



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Eficiencia del Prototipo

Conociendo la distancia del prototipo, que es la misma que la rueda posterior, se puede determinar la energía necesaria para que el prototipo se mueva.

$$F_{rueda} = \rho_{aire} \times C_D \times Vel^2 \times A_{Fronal}$$

Donde:

ρ_{aire} : Densidad del aire.

C_D : Coeficiente de penetración. (Anexo A)

A_{Fronal} : Área frontal del prototipo (Calculada con Solidworks).

Vel : Velocidad del prototipo a máxima potencia.

$$F_{rueda} = 1.25 \text{Kg/m}^3 \times 0.82 \times (4.89 \text{m/seg})^2 \times 0.850 \text{m}^2$$

$$F_{rueda} = 20.83 \text{N}$$

$$E_{rueda} = Dist_{rec} \times F_{rueda}$$

Donde:

E_{rueda} : Energía utilizada por el prototipo.

$Dist_{rec}$: Distancia recorrida.

F_{rueda} : Fuerza en la rueda posterior del prototipo.

$$E_{rueda} = Dist_{rec} \times F_{rueda}$$

$$E_{rueda} = 654.3 \text{m} \times 20.83 \text{N}$$

$$E_{rueda} = 13.63 \text{KJ}$$



Eficiencia del Prototipo

$$n_{prot} = \frac{E_{rueda}}{E_{disp}}$$

Donde:

n_{prot} : Eficiencia del prototipo.

$$n_{prot} = \frac{13.63\text{KJ}}{311.56\text{KJ}}$$

$$n_{prot} = 0.043$$



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Eficiencia de Transmisión

$$F_{tracción} = \frac{P_{motor}}{V_{maxp}}$$

Donde:

$F_{tracción}$: Fuerza de tracción.

P_{motor} : Potencia del motor.

V_{maxp} : Velocidad máxima del prototipo.

$$F_{tracción} = \frac{790\text{Watts}}{4.89\text{m/seg}}$$

$$F_{tracción} = 161.55\text{N}$$

$$T_{rueda} = F_{tracción} \times r_{rueda}$$

$$T_{rueda} = 161.55\text{N}(0.330\text{m})$$

$$T_{rueda} = 53.31\text{Nm}$$

$$n_{transmisión} = \frac{T_{motor} \times i_{transmisión}}{T_{rueda}}$$

$$n_{transmisión} = \frac{161\text{Nm}(0.29)}{53.31\text{Nm}}$$

$$n_{transmisión} = 0.875$$



Eficiencia Global del Prototipo

$$n_{Global} = n_{transmisión} \times n_{prot}$$

$$n_{Global} = 0.875 \times 0.043$$

$$n_{Global} = 3.8\%$$



CAPÍTULO 7

ESTUDIO ECONÓMICO



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Presupuesto del Prototipo

La siguiente tabla detalla el presupuesto del proyecto, mostrando los valores totales de todos los costos que involucran la concepción del prototipo, además hay que considerar un margen de 10% sobre el costo total del proyecto por cualquier inconveniente o imprevisto que se presente durante realización del presente proyecto de grado.

RUBRO	COSTO TOTAL (USD)
Materiales	211.60
Mano de Obra	300
Elementos Mecánicos	160.10
Elementos Neumáticos	644
Elementos Eléctricos	256.60
SUB-TOTAL	1572.30
10% Imprevistos	152.23
TOTAL	1724.53



CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Conclusiones

- Se diseñó e implementó un prototipo de bicicleta impulsada por un sistema de potencia neumática funcional y controlado electrónicamente mediante un microcontrolador,
- Se diseñó y construyó la estructura del prototipo capaz de soportar cargas de presión de aire comprimido, el diseño se validó mediante un análisis computacional con ayuda de un programa de elementos finitos, lo que permite tener una idea del comportamiento de la estructura cuando está en operación.
- Se construyó el sistema de propulsión neumático basado en un motor neumático controlado por un sistema de electroválvulas direccionales que permiten el accionamiento y frenado del mismo, para que el movimiento sea transmitido desde el motor hacia la rueda de la bicicleta se diseñó e implementó un sistema de transmisión por cadena.
- Se realizó el montaje los elementos de control y regulación de potencia electrónicos para controlar el flujo de aire, velocidad y la presión de entrada al sistema.
- El costo del prototipo incluido un porcentaje de 10% de imprevistos fue de 1725\$ y el costo de operación del sistema es de 4\$ por la recarga de un cilindro de aire comprimido a 4500PSI.
- Se determinó que la distancia de autonomía del prototipo es de 654.3 m sin utilizar el sistema de frenado regenerativo y 684.4 m con el sistema de freno regenerativo activado.



Conclusiones

- El sistema de control de velocidades mediante el regulador de presión electrónico se implementó satisfactoriamente en sus dos primeras marchas obteniendo una velocidad de 17.6 Km/h a la presión de 100PSI y de 10.2 Km/h a presión igual a 87PSI, la tercera marcha correspondiente a 58PSI no fue capaz de mover el prototipo.
- El prototipo no necesita un flujo constante de aire durante su uso en un circuito urbano, ya que una vez alcanzada la velocidad máxima a la que llegó el prototipo se puede suspender el flujo y continuar el recorrido con el impulso adquirido.
- Utilizando únicamente el sistema de potencia neumático sin pedalear la autonomía del prototipo aumenta en relación a la distancia teórica de 567.6 m a un valor de 654.3 Km, lo que significa un aumento en la distancia recorrida real con un tanque lleno a 4500 psi del 15.27% con respecto a la distancia teórica.
- Se cuenta con una capacidad de frenado aceptable en el prototipo pero es necesario mejorar el sistema de frenos, para garantizar la seguridad al momento del frenado.
- Con la realización de este proyecto se determinó que el aire comprimido puede ser utilizado como fuente de energía dentro de vehículo, pero tras un cálculo de exergía, se obtuvo que la autonomía que puede alcanzar el prototipo de bicicleta con unos depósitos de aire comprimido de tamaño estándar de 4500 PSI es muy baja.



Conclusiones

- La eficiencia global del prototipo es muy baja, de apenas el 3.8%, lo que lo vuelve el sistema ineficiente energéticamente.
- El cálculo de la potencia del motor fue el adecuado, ya que se obtuvo una velocidad máxima de 17.6 Km/h, además fue capaz de transportar una persona de 70 Kg en una pendiente de hasta 14% sin ningún inconveniente, pendiente mayor a la considerada dentro de las restricciones previas al diseño.
- Dentro del proyecto se implementó una primera aproximación a un sistema de frenado regenerativo, el sistema fue capaz de cargar el tanque principal de alta presión, sin embargo solo funcionaba cuando la presión del recipiente de alta presión se igualaba con el de baja presión llegando a una presión máxima de carga de 110 PSI lo que significó un aumento en la autonomía del vehículo de 16.3 m equivalente a una de una eficiencia del 2.5% para el sistema de freno regenerativo.



Recomendaciones.

- Antes de utilizar la bicicleta neumática se debe realizar una revisión previa que la presión del recipiente sea la adecuada y no que exista fugas de aire por las tuberías.
- Una vez terminado el aire del recipiente se debe apagar el sistema eléctrico del vehículo o se producirá ruido electrónico proveniente del regulador de presión.
- Para una producción de vehículos similares se debe considerar retirar el sistema de control electrónico, ya que se trata de un sistema muy simple que puede ser fácilmente sustituido por un sistema de válvulas manuales, y el sistema de frenado regenerativo, ya que estos incrementan el costo y peso del vehículo sin obtener resultados de carga significativos.
- El sistema de control de velocidades mediante un regulador de presión electrónico debe ser retirado ya que incrementa el costo del vehículo significativamente.
- El costo total del prototipo es muy alta debido a que los componentes utilizados no son fabricados en serie o tuvieron que ser importados, se podría reducir costos con la importación al por mayor de componentes y fabricación en serie de los demás componentes.
- Se debe considerar construir el marco de la bicicleta con materiales como fibra de carbono que resistan una mayor presión de aire comprimido que el acero, para de esta manera eliminar los recipientes de aire estándar y reducir el peso de la bicicleta, además de darle a la bicicleta una apariencia mucho más estética.
- La tecnología del aire comprimido para propulsar vehículos debe pulir los inconvenientes presentados para llegar a ser un medio de transporte confiable y efectivo.
- Reducir el peso total del prototipo ayudará a alcanzar mayores velocidades que las que alcanza actualmente.



THANK YOU

GRACIAS
ARIGATO
SHUKURIA
GOZAIMASHITA
EFCHARISTO

DANKSCHEEN
JUSPAXAR
SPASSIBO
SNACHALHUYA
NUHUN
CHALTY
YAQHANYELAY
TASHAKKUR ATU
WABEEJA
MAITEKA
HUI
YUSPAGARATAM
SUKSAMA
EKHMET
ATTO
DHANYADAAD
ANHA
UNALCHEESH
SPASIBO
DENKAUJA
NENACHALHYA
HATUR GI
EKOJU
SIKONO
MAKETAI
MINMONCHAR

BIYAN
SHUKRIA
TINGKI
MAAKE
GRAZIE
MEHRBANI
PALDIES
BOLZIN
MERCI
KOMAPSUMNIDA
LAH
BAIKA
TAVTAPUCH
MEDAWAGSE
MERASTAWHY
GAEJTHO
AGUYJE
FAKAARUE