



E S P E
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA
ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

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

**AUTORES: VELASCO ULCO VÍCTOR
MANUEL**

PILICITA CAIZA EDISON ENRIQUE

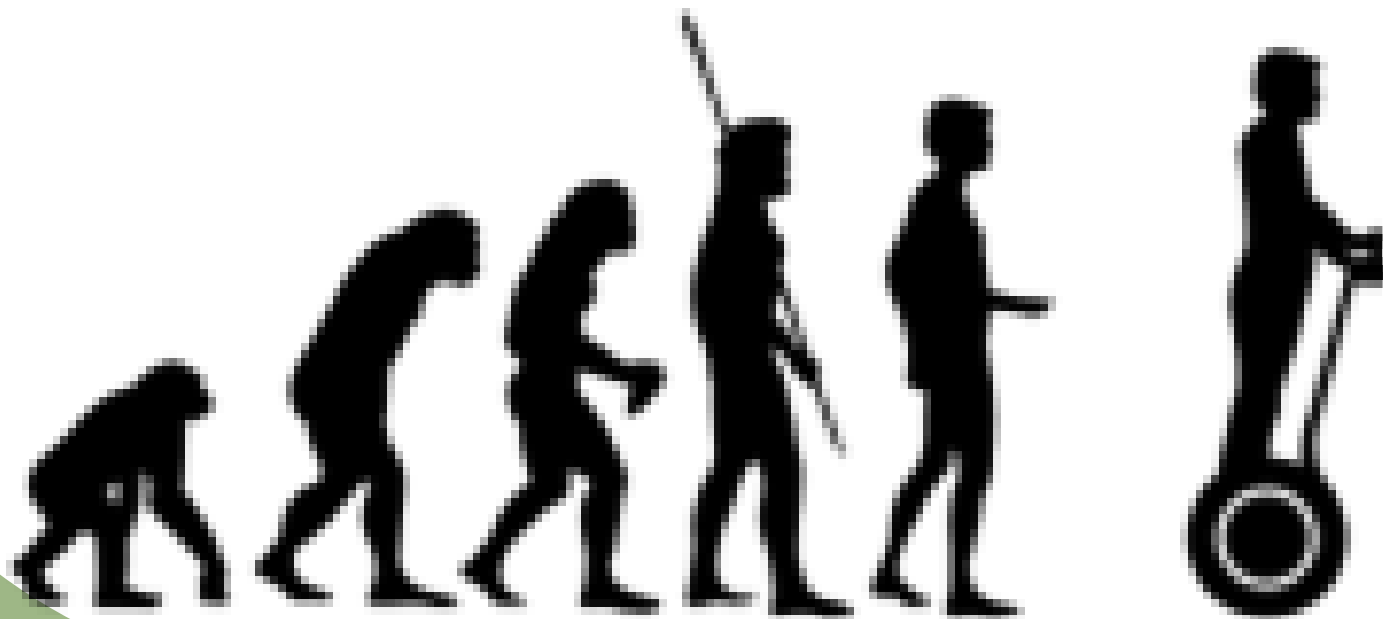
**DIRECTOR: ING. SALAZAR FREDDY
CODIRECTOR: ING. QUIROZ JOSÉ**

LATACUNGA, DICIEMBRE 2014

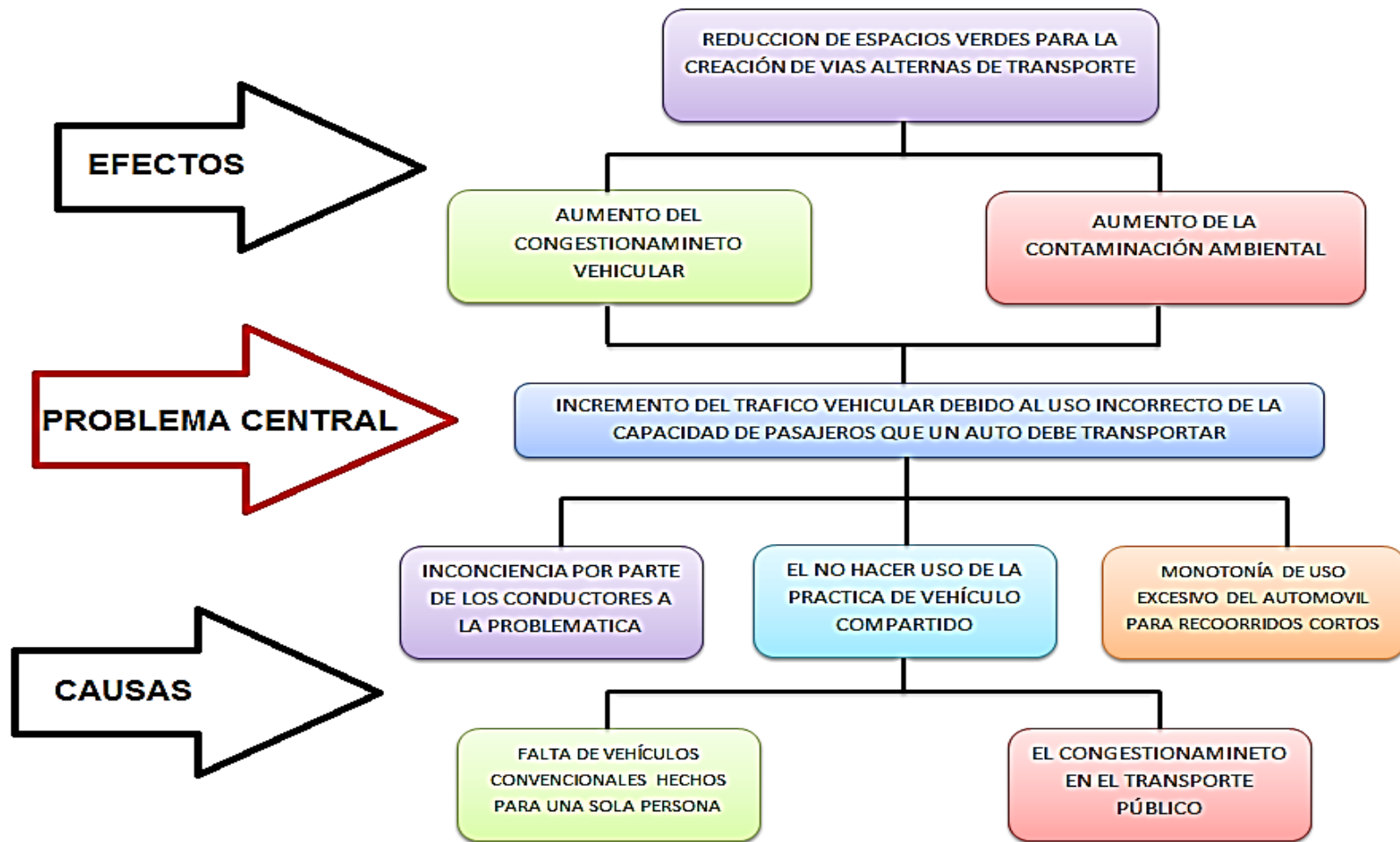


ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO AUTOBALANCEADO PERSONAL (VEAP) DE DOS RUEDAS EN PARALELO ESTILO SEGWAY



Planteamiento del problema

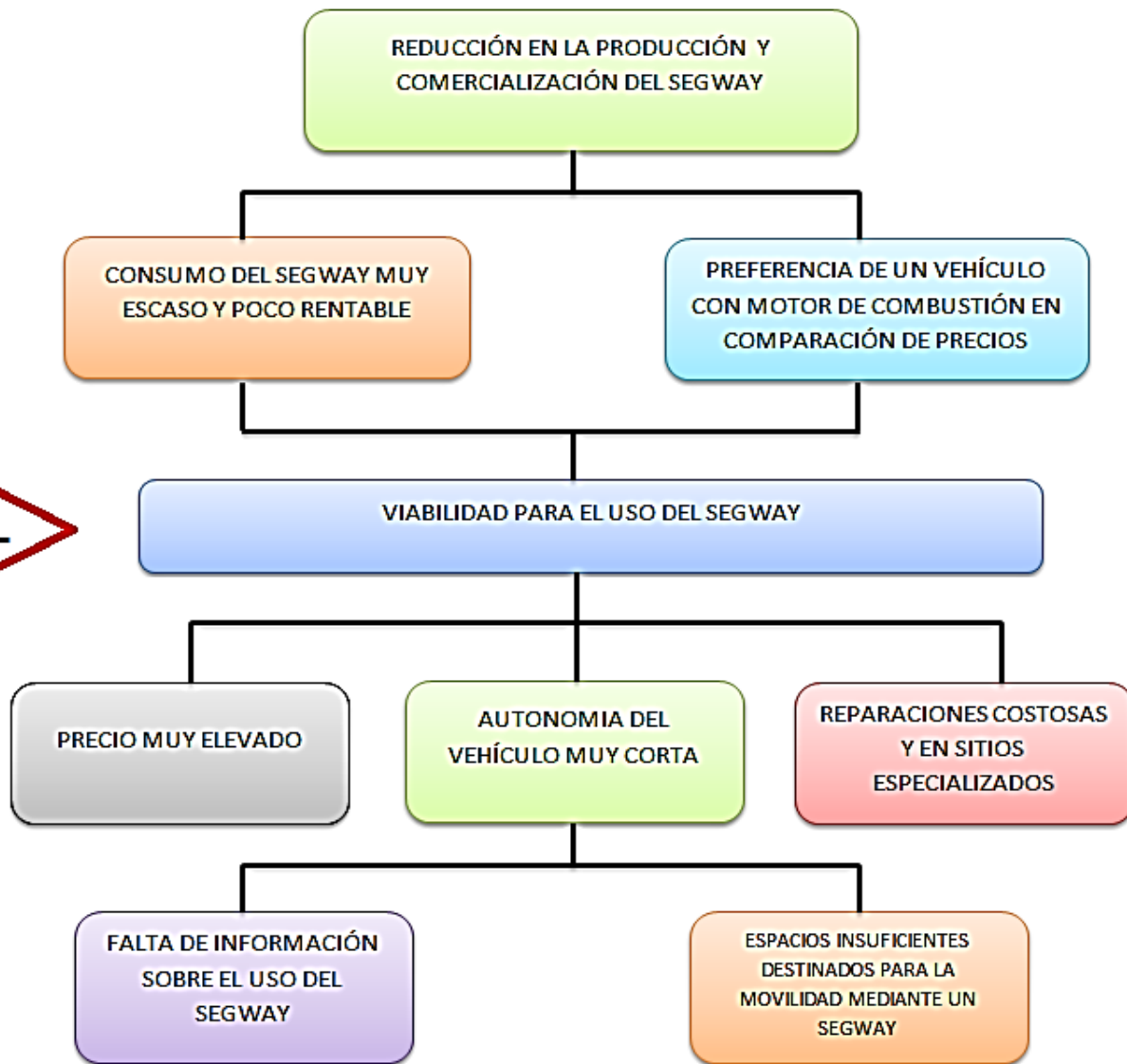




EFEKTOS

PROBLEMA CENTRAL

CAUSAS





JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El desarrollo de este tema aportará a la iniciativa de motivar a la creación de soluciones verdes de transporte personal que desafíen lo convencional, logrando así el cuidado del medioambiente, esto combinado con una sólida adaptación a las necesidades funcionales de las personas mejorando su productividad y reduciendo sus costos, permitiéndole ir más lejos, moverse más rápidamente y cargar más cosas o peso de lo habitual, donde se verá reflejada la aplicación teórica y práctica de los conocimientos adquiridos durante la carrera de ingeniería, comprobándose todos los principios que se estudiaron en las mismas.



OBJETIVO

GENERAL

- Diseñar y construir un vehículo eléctrico autobalanceado personal (VEAP) de dos ruedas en paralelo estilo Segway.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar y determinar el principio de funcionamiento de los transportadores personales tipo Segway, los componentes utilizados y autonomía que adquieren este tipo de vehículo.
- Realizar el diseño del modelo estructural del VEAP y los requerimientos de los componentes que serán implementados en el vehículo.
- Ejecutar la construcción del VEAP mediante el ensamblaje de componentes mecánicos y eléctricos con los que contará el proyecto.
- Efectuar las pruebas de funcionamiento del VEAP luego de su ensamble completo para garantizar la seguridad de uso del mismo.

INTRODUCCIÓN

En el año 2001, el empresario e inventor estadounidense Dean Kamen presentó en sociedad su nueva creación: un dispositivo de transporte en base a dos ruedas independientes sobre un mismo eje, el cual era capaz de autobalancearse con una persona sobre él. El concepto, bautizado como Segway.





MODELO	SEGWAY i2	SEGWAY x2
Peso total de la máquina	47 kg	54,4 kg
Velocidad máxima	20 km/h	20 km/h
Alimentación	Baterías de ion-litio	Baterías de ion-litio
Dimensiones de baterías	35,7 x 19x8,2 cm	35,7 x 19x8,2 cm
Peso de las baterías	10,3 kg	10,3 kg
Autonomía baterías	De 26 a 39 km	De 14 a 19 km
Largo y ancho de la máquina	65 x 63 cm	67 x 84 cm
Tamaño de neumático	48.3 cm	53.3 cm
Tamaño de bases	48 x 63 cm	67 x 84 cm
Motores	Brushless	Brushless
Precio en Ecuador	\$ 7700	\$ 10000



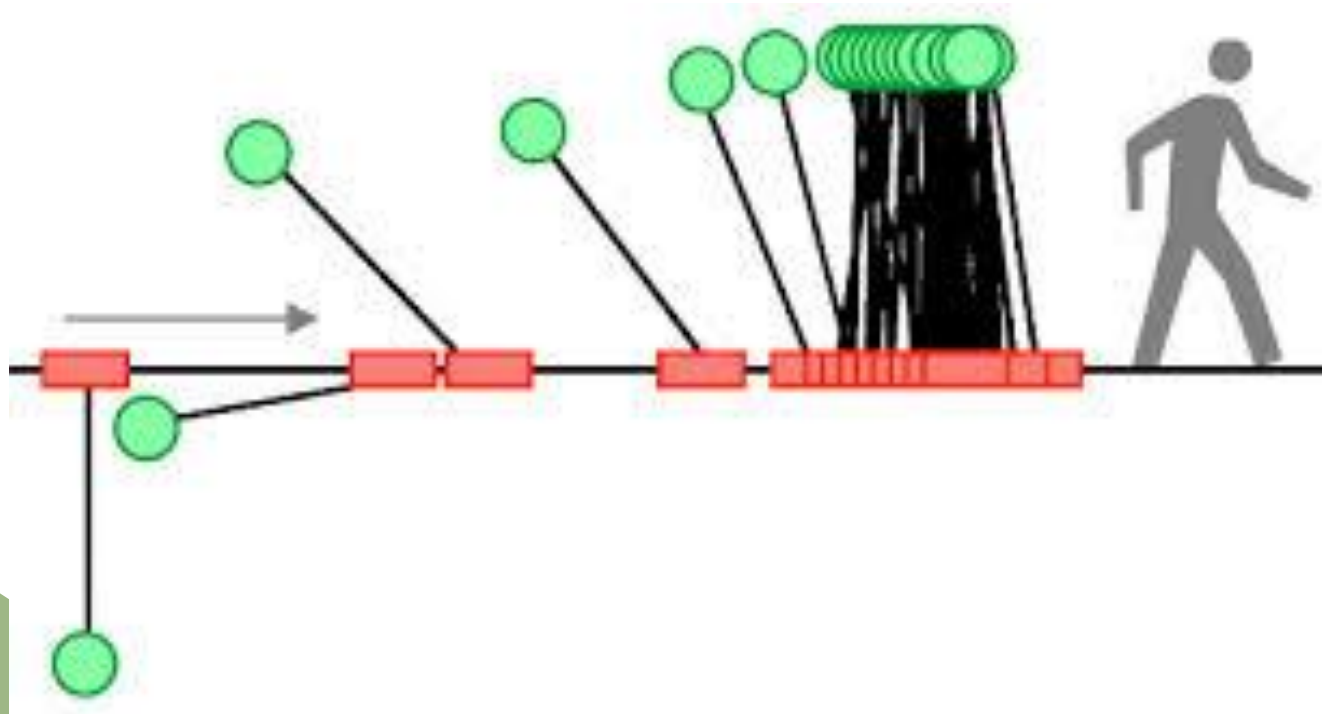
ESPE
ESCUOLA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

CAPITULO II

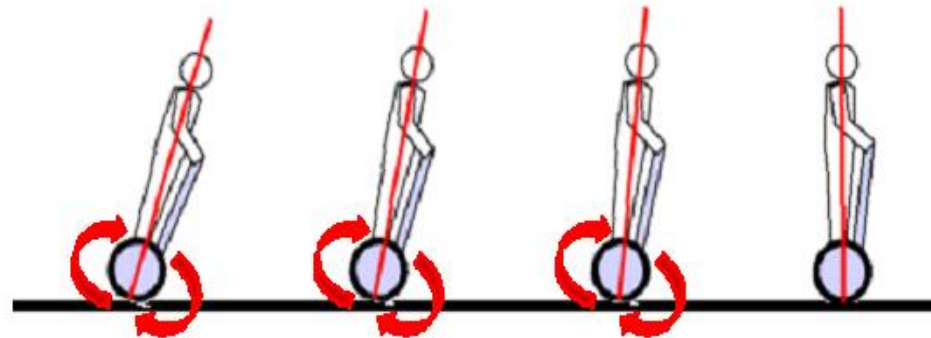
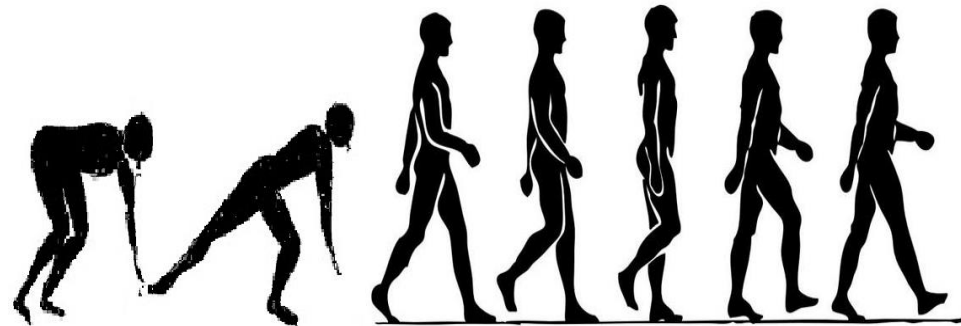
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

DINÁMICA DE LA ESTABILIZACIÓN

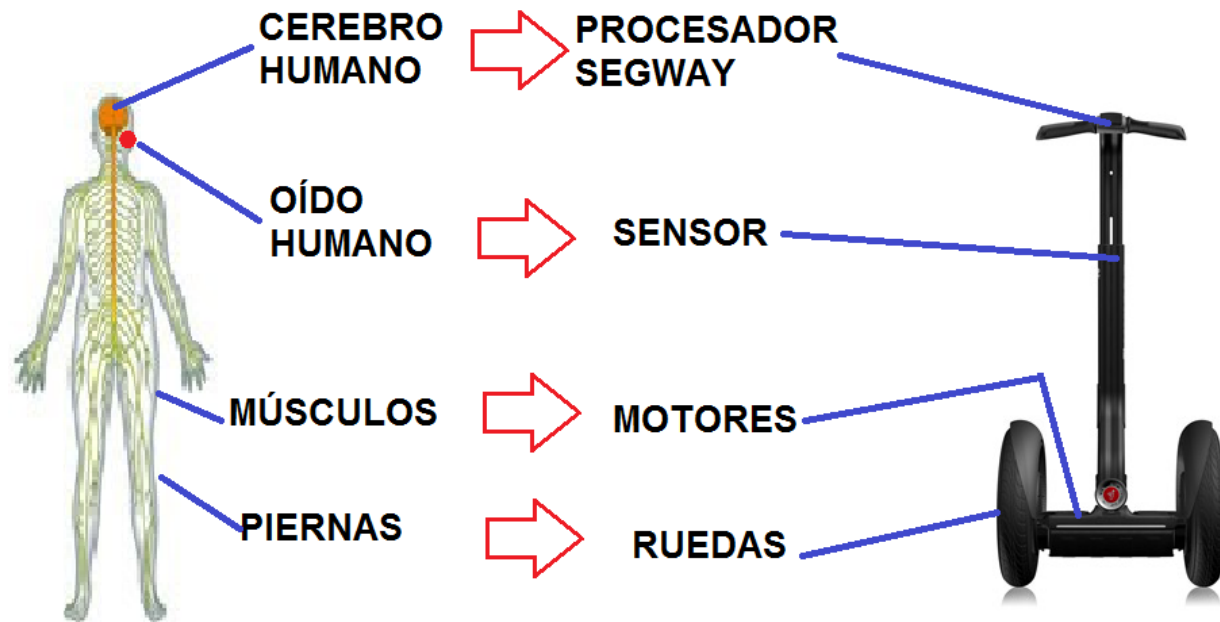
El principio del proyecto basa su diseño en el péndulo invertido



El aspecto más sorprendente del Segway es su capacidad para equilibrarse, para entender de una mejor manera se hará una analogía con el ser humano. Cuando el ser humano se pone de pie y se inclina hacia delante, de manera que se pierda el equilibrio, este probablemente no se caerá de cara debido a que el cerebro sabe que está desequilibrado porque el líquido en el oído se desplaza, así que hace mover la pierna hacia delante para evitar la caída.

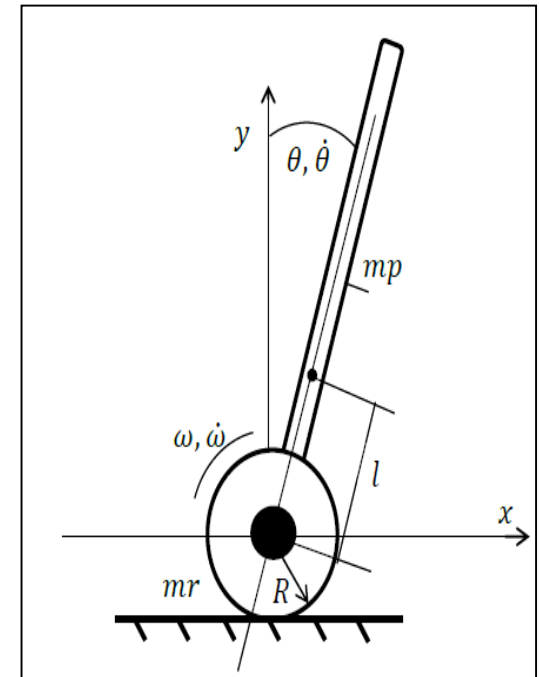


El Segway hace casi lo mismo excepto que tiene ruedas en lugar de piernas, un motor en lugar de músculos, una colección de microprocesadores en lugar de un cerebro y un juego de sensores sofisticados para la inclinación en lugar de un sistema de equilibrio del oído interno.



Modelado teórico de un vehículo basado en el péndulo invertido

Como se aprecia en el modelo de prototipo de la Figura, el agente que induce el movimiento (el motor) tiene una acción directa tanto para el movimiento lineal como para el movimiento angular. En el caso del péndulo invertido clásico, la acción sobre el movimiento angular es sólo consecuencia de la dinámica de los cuerpos.



A continuación se enumeran dichos parámetros:

θ : Ángulo de inclinación del péndulo.

$\dot{\theta}$: Velocidad angular del péndulo.

m_p : Masa del péndulo. Se incluye los elementos estructurales salvo las ruedas.

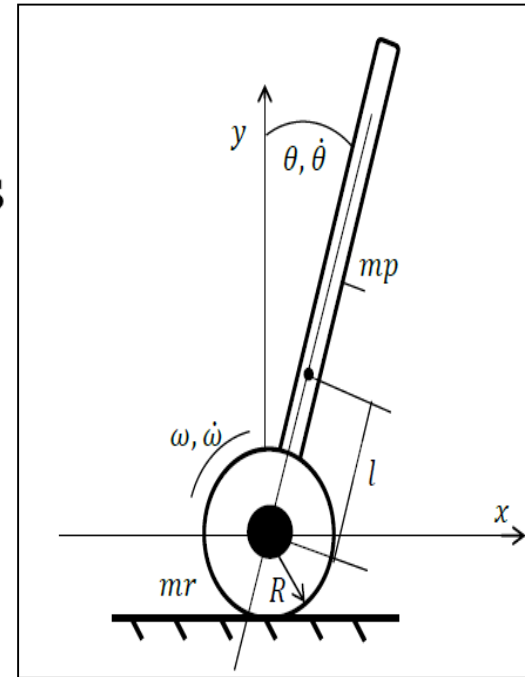
l : Longitud del centro de masa del péndulo al eje de los motores

ω : Ángulo girado por el eje de los motores

$\dot{\omega}$: Velocidad en el eje de los motores.

m_r : Masa de las ruedas.

R : Radio de las ruedas





Lo primero para el modelado será la obtención de la expresión del Lagrangiano a través de la diferencia entre las energías cinética E_c y potencial E_p .”

$$L(\theta(t), \omega(t)) = E_c - E_p$$

La energía cinética total es la suma de la energía cinética del péndulo y la energía cinética de las ruedas, la cual se tendrán en cuenta por separado puesto que en el movimiento de cada una de esas partes intervienen tanto traslación como rotación

$$E_c = E_{cr} + E_{cp}$$

La energía cinética de las ruedas viene dada por la ecuación

$$E_{cr} = E_{tras} + E_{rot}$$

Ecuación desarrollada de la energía cinética de las ruedas

$$E_{cr} = \frac{3}{4} * m_r * R^2 * \dot{\omega}^2$$



Las coordenadas del centro de masa del péndulo vienen dadas por las ecuaciones

Centro de masa en el eje x

$$x_{cm} = l * \text{sen}(\theta) + R * \omega$$

Centro de masa en el eje y

$$y_{cm} = l * \text{cos}(\theta)$$

Derivada del centro de masa del eje x

$$\dot{x}_{cm} = l * \dot{\theta} * \text{cos}(\theta) + R * \dot{\omega}$$

Derivada del centro de masa del eje y

$$\dot{y}_{cm} = l * \dot{\theta} * \text{sen}(\theta)$$

La energía cinética del péndulo E_{cp} se calcula según la ecuación

$$E_{cp} = \frac{1}{2} * m_p * l^2 * \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} * m_p * R^2 * \dot{\omega}^2 + m_p * l * R * \dot{\theta} * \dot{\omega} * \text{cos}\theta + \frac{1}{2} * I_p * \dot{\theta}^2$$

Por lo tanto, La energía cinética total será la suma de las calculadas en las ecuaciones y donde se obtiene

$$E_c = \left(\frac{1}{2} * m_p + \frac{3}{4} * m_r\right) * R^2 * \dot{\omega}^2 + \frac{1}{2} * m_p * l^2 * \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} * I_p * \dot{\theta}^2 + m_p * l * R * \dot{\theta} * \dot{\omega} * \text{cos}\theta$$



Para el cálculo de la energía potencial se tomará el eje de giro, coincidente con el de los motores, como el punto de referencia. Las ruedas, por tanto, no se tendrán en cuenta para el cálculo de la misma. La energía potencial del sistema

$$E_p = m_p * g * l * \cos\theta$$

Las ecuaciones que modelan la dinámica del vehículo se obtienen por tanto sustituyendo las ecuaciones

$$m_p * l * R * \ddot{\theta} * \cos\theta - m_p * l * R * \dot{\theta}^2 * \sin\theta + \left(m_p + \frac{3}{2} m_r \right) * R^2 * \ddot{\omega} = \tau - k_r * \dot{\omega}$$

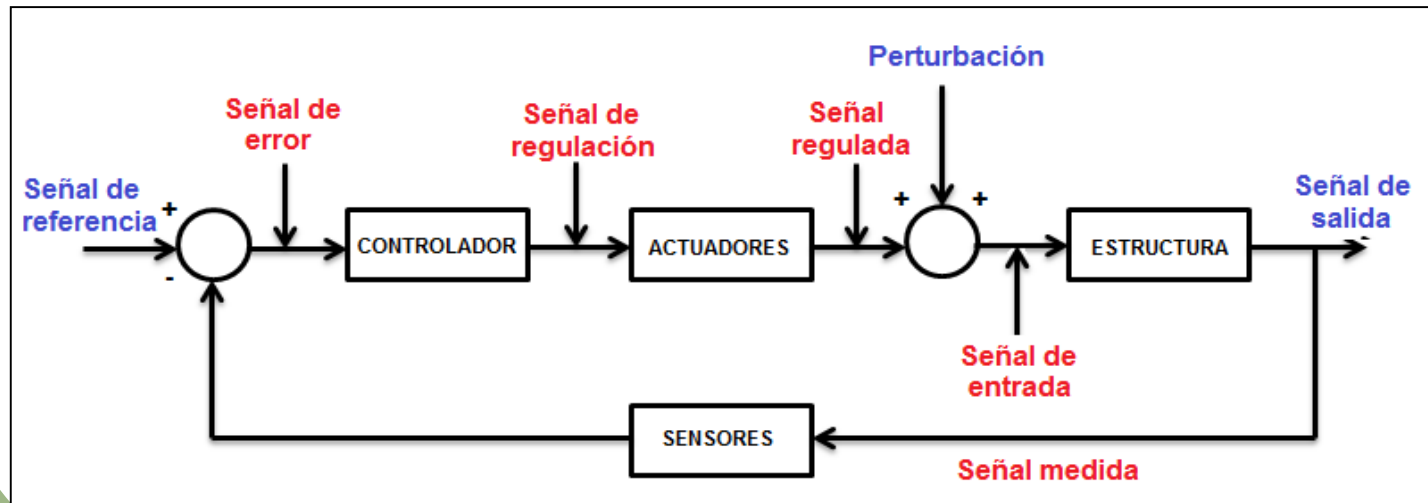


Parte operativa

La parte operativa de un sistema dinámico controlado, está compuesta por el conjunto (estructura, sensores y actuadores), los cuales están dispuestos en una máquina de manera adecuada para dar soporte a estos y permiten asegurar el perfecto funcionamiento de todo el conjunto



El sistema de control del vehículo se puede representar en forma básica como un sistema de control en lazo cerrado como el visto en la figura. Para este caso el sistema controla el ángulo de inclinación del vehículo, controlando el movimiento lineal del vehículo





Sensores

Son los que permiten hacer la retroalimentación. Es uno de los elementos fundamentales de cualquier sistema de control de lazo cerrado. En el sistema de control referente al presente trabajo, los sensores permiten estimar las distintas variables físicas (inclinación del vehículo) y enviárselas al micro controlador para ejecutar alguna acción de control que ha sido programada previamente y así realizar el control de la planta dinámica



Características de selección de sensores

Voltaje de alimentación del sensor: Es el voltaje que continuamente debe alimentar el sensor, por tanto la salida en voltios del sensor variara entre 0 y el Vdd, la importancia de esta característica radica que estos sensores son sensibles a sobre voltajes y a posibles daños,

Consumo de corriente: La corriente de consumo permite cuantificar cuanta potencia requiere el sensor en el modo activo

Rango: Rango de medida del acelerómetro, es el valor máximo de aceleración que puede medir el sensor

Sensibilidad: permite obtener la relación entre los voltios entregados por el sensor y la variable física censada

Costo: Debido a que el presupuesto es limitado, se seleccionó la mejor opción en cuanto a prestaciones y soporte

Disponibilidad: la disponibilidad del sensor se refleja en el costo y el tiempo de espera, los sensores que se encuentren a nivel nacional reducirán los costos de importación



El giroscopio

El giroscopio es un dispositivo que permite conocer como varía un ángulo en el tiempo, mientras este se encuentra rotando (velocidad angular), con esto es posible determinar la actitud del móvil en el cual se encuentra montado.

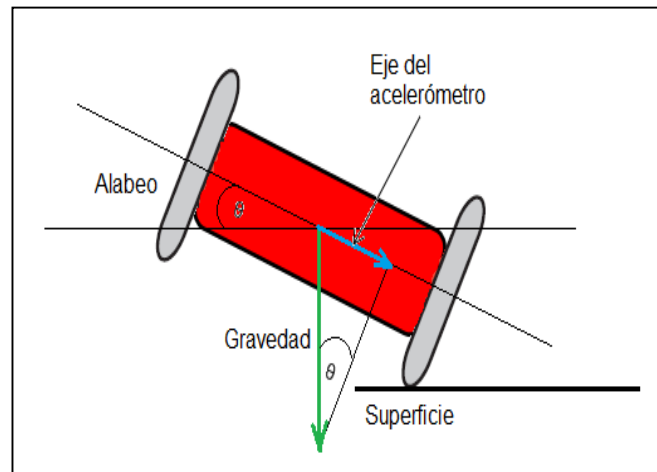
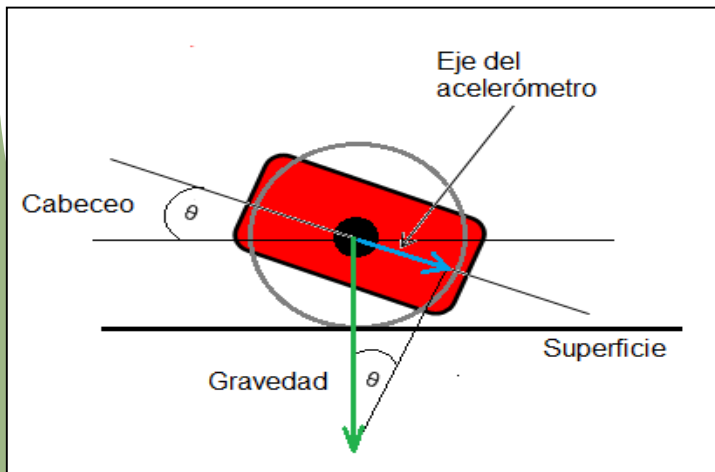


El acelerómetro

Es un sensor que permite conocer la aceleración que se produce al realizarse un movimiento, a lo largo del eje en el cual se esté trabajando. Hay que tomar muy en cuenta que un acelerómetro no mide la aceleración de la gravedad en sí, sino, que mide una magnitud de aceleración en general

Hay dos parámetros principales a la hora de escoger el medidor adecuado, los rangos de funcionamiento de temperatura y frecuencia. Otros parámetros importantes pueden ser el tamaño, si tienen más funciones, la resistencia a golpes y por supuesto el precio

Primero hay que establecer que el acelerómetro se encuentra unido firmemente a la plataforma, por lo que cuando el vehículo se encuentra paralela a la superficie terrestre, los dos ejes del acelerómetro “X” y “Y” también se encontrarán paralelos con respecto a tierra, es decir, perpendiculares a la gravedad



Cabeceo con un ángulo Θ en sentido horario Alabeo con un ángulo Θ en sentido horario



Selección del sensor usando giroscopio y acelerómetro

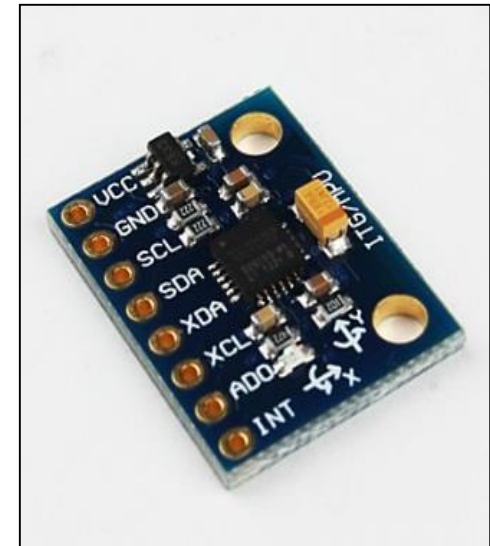
Tomando como referencia los dos métodos anteriores se aprecia claramente que al usar tanto el giroscopio como el acelerómetro de manera individual, se tienen varios inconvenientes que producen que el resultado deseado tienda a medir error en su magnitud.

Debido a estos inconvenientes, surge la necesidad de trabajar con ambos sensores simultáneamente, con el fin de poder tomar las mejores características de cada uno y que a la vez se contrarresten en cierto grado los inconvenientes.



MPU-6050 (Unidad de Procesamiento del Movimiento)

Para tomar los datos de referencia que en este caso son los parámetros que intervienen en el péndulo invertido para el VEAP se usará el sensor inercial MPU-6050 de InvenSense. El principal motivo de la elección de este sensor es que; en un solo chip se integra un giroscopio y un acelerómetro que presenta una sobresaliente linealidad, reduciendo de esta manera significativamente el error de desalineación que se presenta cuando se fusionan los sensores.



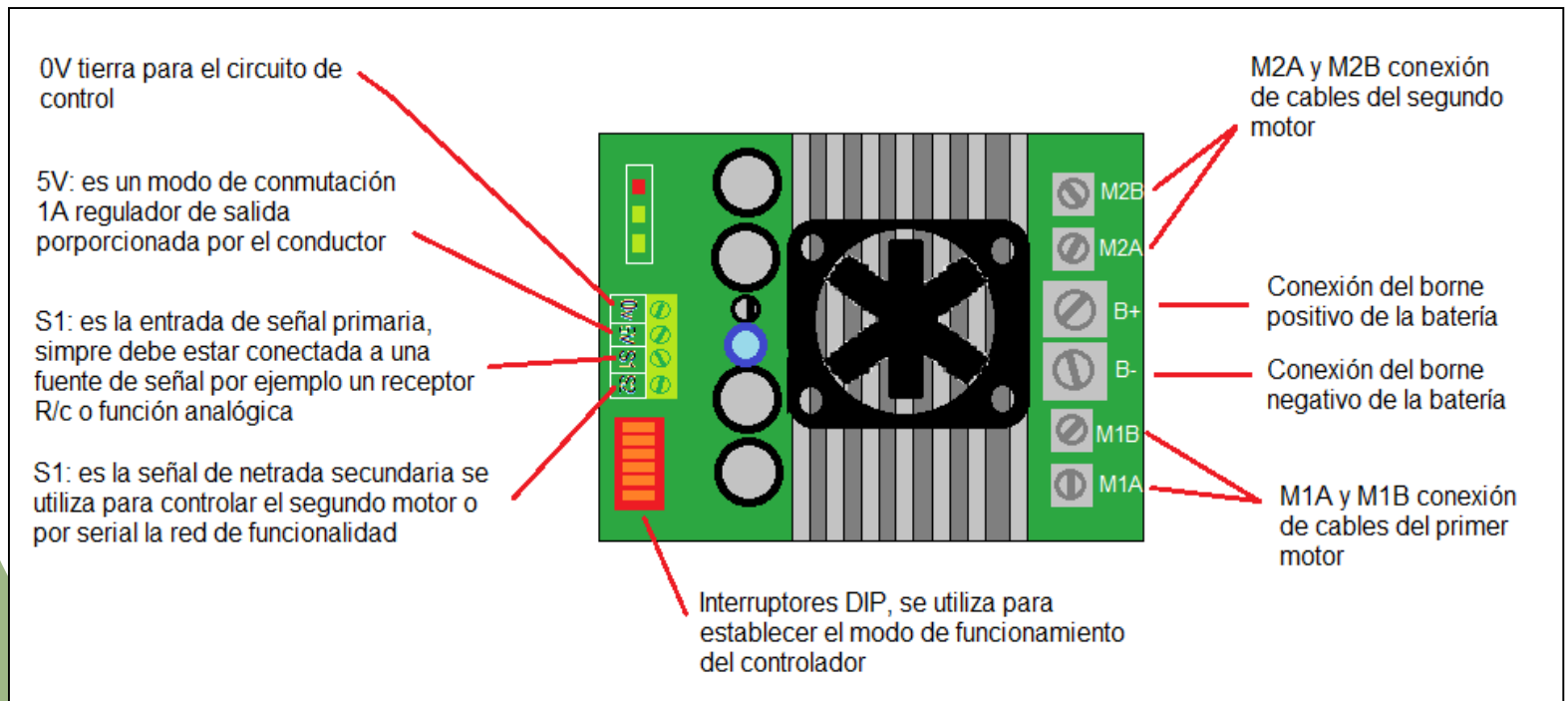
Actuadores

En esta parte se considera el análisis y la selección de los motores ya que es uno de los elementos fundamentales del modelo estructural del sistema dinámico, se optó por utilizar motores de corriente continua. Este tipo de motor es muy poco utilizado en el mercado y debido a ello la disponibilidad en el mercado nacional es muy reducida, por lo que hace necesario importarlos, no obstante lo que se pretende con este proyecto es reducir sus costos de fabricación con lo cual se utilizó motores disponibles en el país



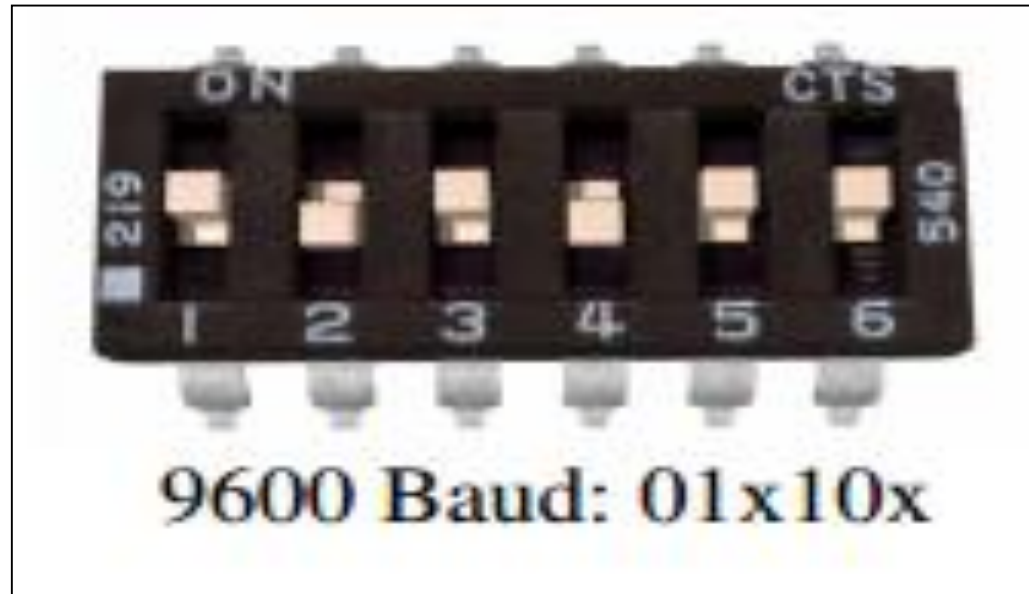
Unidad controladora de motores

Sabertooth dual 60A motor conductor



Posicionamiento de interruptores para el modo serial

Para la selección de velocidad de transmisión (baud rate) es seleccionada por los interruptores 2 y 4 como se ve en la figura , con un baud de 9600.



Sistema de control

El sistema desarrollo o placa microcontroladora es la STM32F407VG DISCOVERY. Se trata de una placa de desarrollo basada en el microcontrolador STM32F407VGT6





Baterías características a considerar

Voltaje Nominal: es el voltaje en las terminales de una celda. Esta tensión varía de una tecnología a otra.

Capacidad: se refiere a la cantidad de carga que puede almacenar la batería

Autodescarga: es el proceso de descarga que sufren las baterías aun cuando no se utilicen

Efectos de la temperatura: debido a la presencia en las baterías de componentes químicos, la temperatura juega un papel importante en el desempeño de éstas, al punto de que afecta notablemente su capacidad, longevidad, tensión de fin de carga, tensión de fin de descarga, auto descarga

Equipo auxiliar: cargador de baterías

El modelo seleccionado ofrece todas las especificaciones y características necesaria para las especificaciones con las que cuenta las baterías LiPo, cuenta con un circuito de balanceador lo que permite cargar las baterías individualmente por celdas. Puede ser alimentado desde cualquier toma (110 o 220 Vac). Es completamente automático, una vez que las baterías se encuentran cargadas, se pone en modo standby. Su pequeño tamaño y peso ligero hacen extremadamente fácil de transportar.





E S P E
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

CAPÍTULO III

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL VEAP



Requerimientos del sistema

En el modelo real se tienen los siguientes datos:

m: Masa del vehículo: 30kg

M: Masa de la persona (péndulo): 70kg

g: Aceleración de la gravedad: 9.8m/s²

l: Altura del centro de masa con persona: 95cm aproximadamente
(Determinado mediante simulación en Autodesk Inventor).



Requerimiento de etapa de potencia de motores

$$v = \omega \times R$$

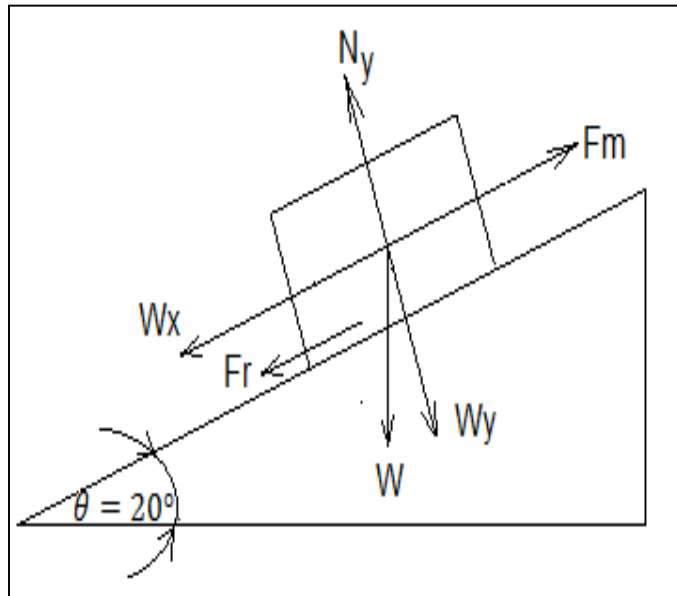
V= velocidad lineal

$$20 \frac{km}{h} \times \frac{1000m}{1 km} \times \frac{1 h}{3600 s} = 5,56 \frac{m}{s}$$

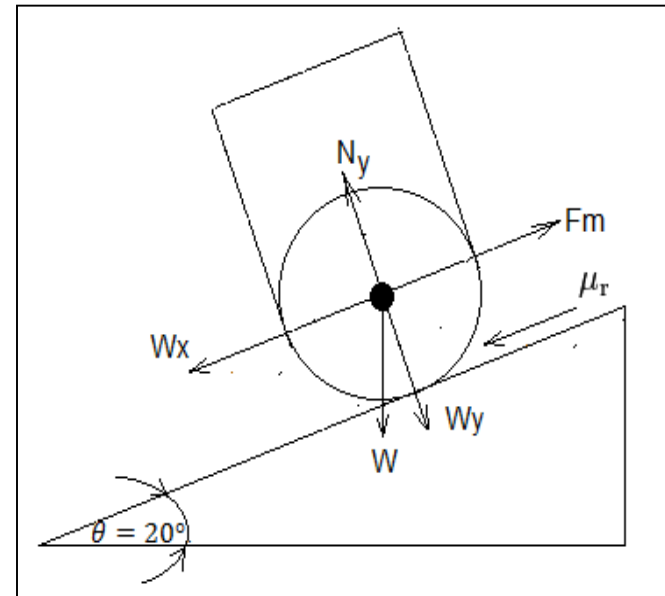
$$\omega = \frac{v}{R} = \frac{5,56 \frac{m}{s}}{0,165 m} = 33,697 \frac{rad}{s}$$

$$\begin{aligned} n &= 33,697 \frac{rad}{s} \times \frac{1 rev}{2 \pi rad} = 5,36 rps \\ &= 321,78 rpm \end{aligned}$$

Determinación de la fuerza requerida para los motores



coeficiente de fricción



coeficiente de rodadura



Calculo de fuerza

$$\sum Fy = 0$$

$$ay = 0$$

$$N - Wy = 0$$

$$N = Wy = m \times g \times \cos\theta$$

$$N = (70 + 30)kg \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times \cos 20^\circ = 921,84 N$$

$$\sum Fx = 0$$

$$2Fm - Rr - Wx = 0$$

$$2Fm = Rr + Wx = (\mu_r \times N) + (m \times g \times \sin\theta)$$

$$Fm = \frac{[(0,035 \times 1474,94 N) + (100 kg \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times \sin 20^\circ)]}{2} = 183,89 N$$



Par nominal de giro

$$M_n = F_m \times R$$

Dónde:

M_n = Par nominal en Nm

F_m = Fuerza aplicada por el conjunto motor-caja reductora [N]

R = Radio de la rueda en [m]

$$M_n = 183,89 \text{ N} \times 0,165 \text{ m} = 30,34 \text{ Nm}$$



Para el cálculo de la potencia del motor será necesario realizar el análisis en condiciones de funcionamiento sobre una superficie plana aplicando un torque constante de 30Nm

$$P_m = M_n \times \omega$$

Dónde:

P_m = Potencia del motor en vatios (W)

M_n = Par nominal en Nm

ω = velocidad angular en rad/s

$$P_m = 30 \text{ Nm} \times 33,697 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 1022.44 \text{ Watts}$$



E S P E
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA



NPC



AmpFlow



KING RIGHT MOTOR

Requerimientos de espacio para las baterías

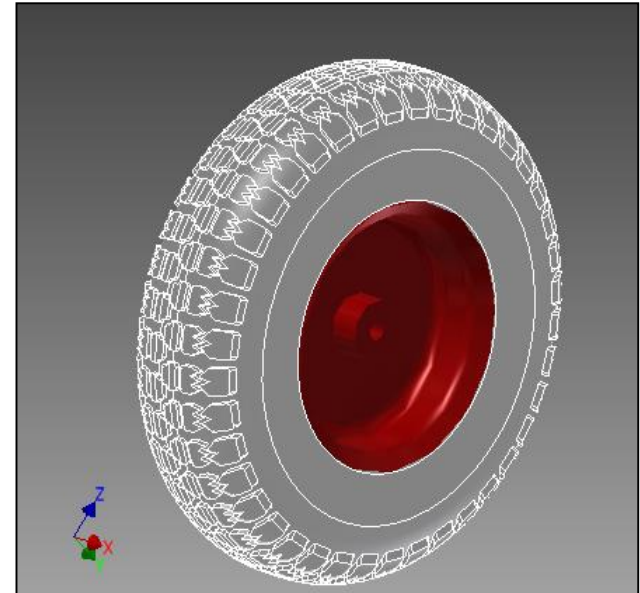
El tipo de baterías que permite minimizar peso y volumen con buena respuesta en corriente es el basado en polímeros de litio (Li-Po, Lithium polymer).



Capacity(mAh)	5000
Config (s)	6
Discharge (c)	30
Weight (g)	784
Max Charge Rate (C)	2
Length-A(mm)	146
Height-B(mm)	53
Width-C(mm)	53

Ruedas del vehículo

Se seleccionó como ruedas para el proyecto, aquellas que no demandaran mucho presupuesto y que sean de fácil acceso a la hora de su adquisición, en torno a esto se utilizó ruedas comunes comercializadas en cualquier centro ferretero



Diseño y construcción estructural del VEAP

The image shows a 3D model of a mechanical assembly on the left and a software window titled "VEAP iProperties" on the right. The 3D model depicts a vertical shaft with a horizontal crossbar at the top, mounted on a base with two wheels. A yellow box highlights a specific component on the shaft. The software window displays various physical and inertial properties for the selected component.

VEAP iProperties

General | Resumen | Proyecto | Estado | Personalizadas | Guardar | Propiedades físicas

Material: [Dropdown] Actualizar

Densidad: 3,033 g/cm³ Precisión solicitada: Baja Portapapeles

Propiedades generales

Incluir soldaduras ficticias Incluir anulaciones de CTDAD

Centro de gravedad

Masa: 30,577 kg (Error re) X: -0,000 m (Error rela)

Área: 3,645 m² (Error n) Y: 0,041 m (Error rela)

Volumen: 0,010 m³ (Error n) Z: 0,006 m (Error rela)

Propiedades de inercia

Principal Global Centro de gravedad

Momentos máscicos

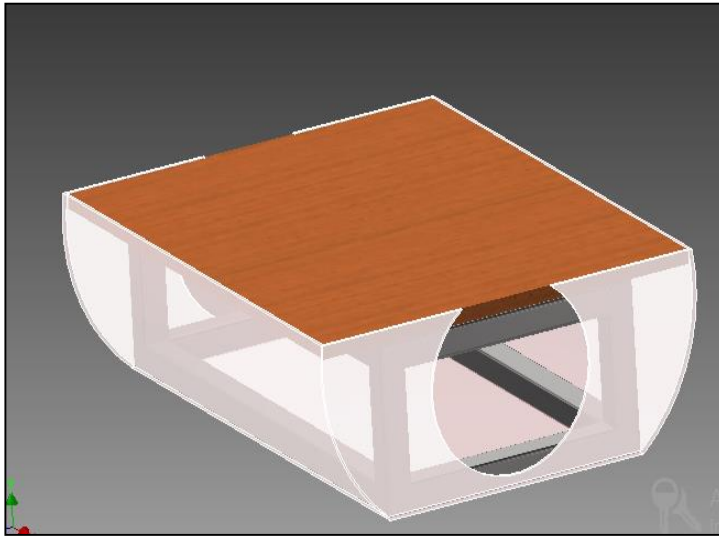
Ixx: 1,641 kg m² (Cálculo realizado mediante integral negativa.

Ixy: 0,004 kg m² (Iyy: 1,332 kg m² (

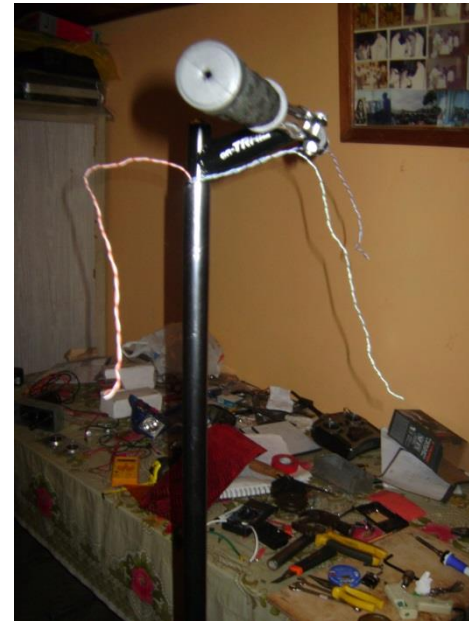
Ixz: 0,000 kg m² (Iyz: -0,277 kg m² Izz: 2,392 kg m² (

Cerrar Cancelar Aplicar

Bastidor del vehículo

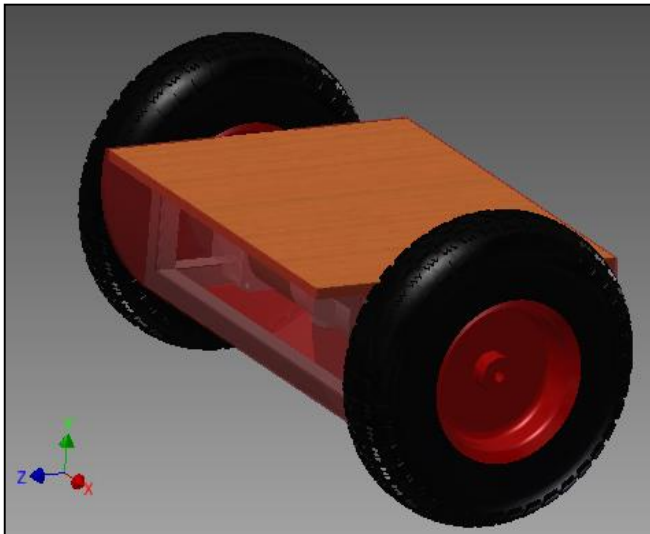


Mecanismo barra de dirección

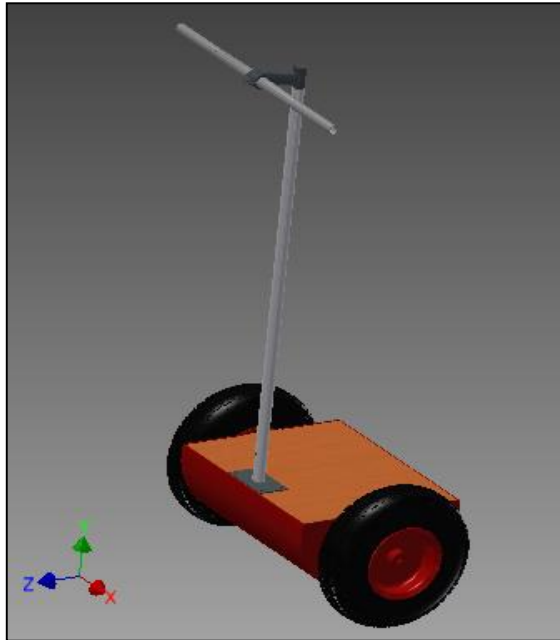




Ensamblaje de transmisión de movimiento

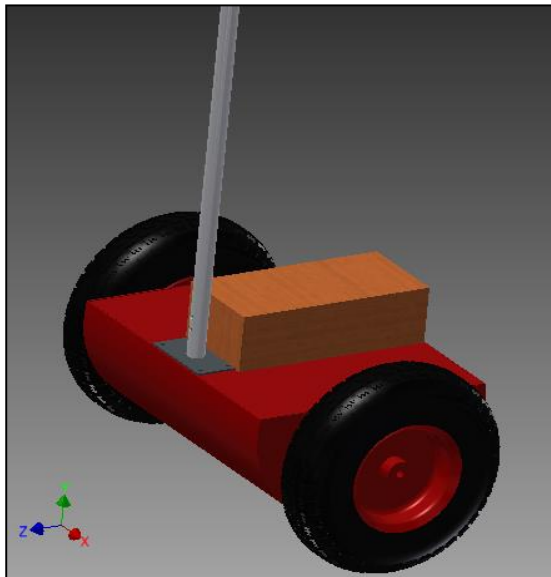


Ensamblaje de mecanismo de dirección al vehículo

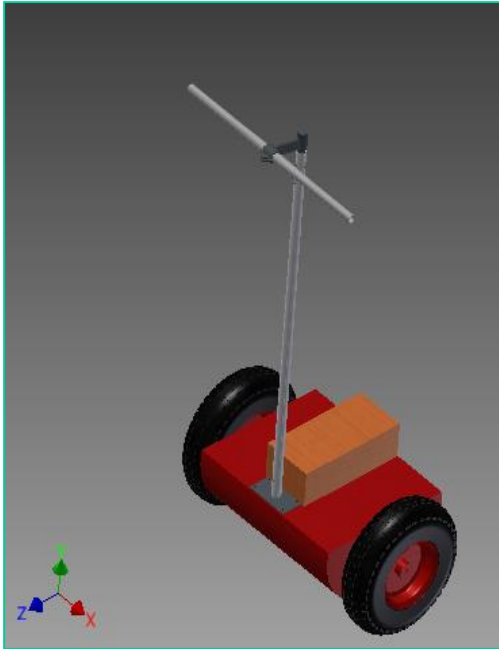




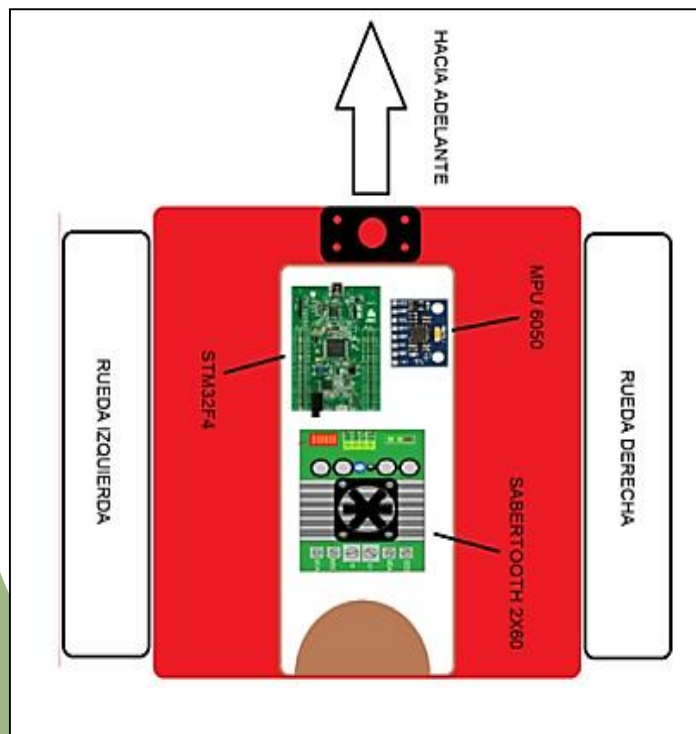
Ensamble de la caja protectora



Diseño estructural del VEAP



Ubicación de los componentes electrónicos

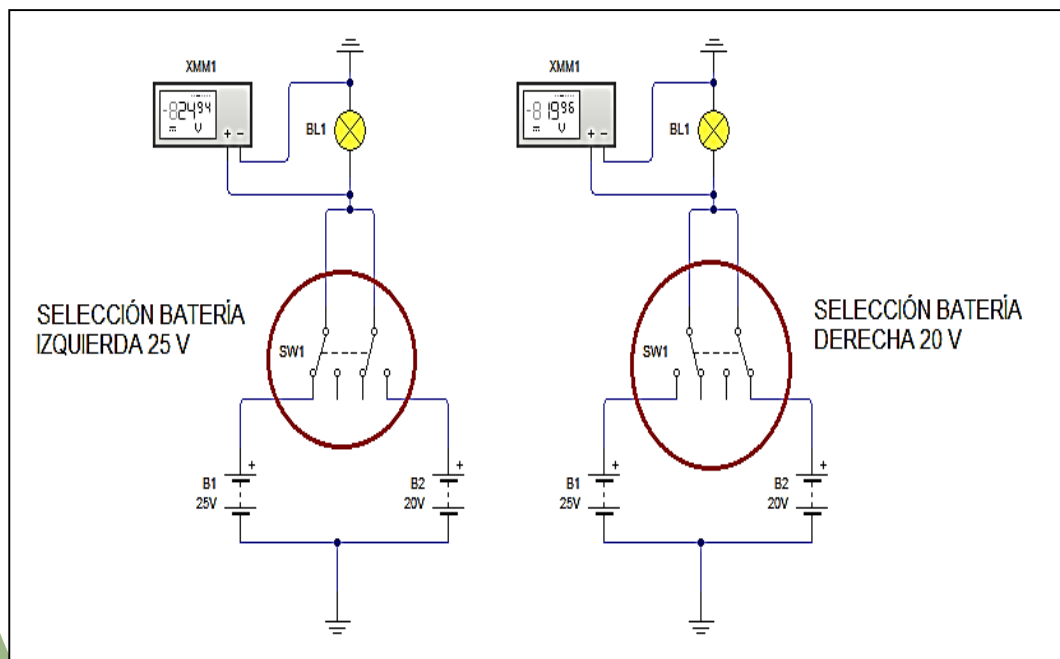




Ubicación de baterías Li-Po



Interruptores de alimentación





Interruptores de seguridad





Pulsadores de dirección

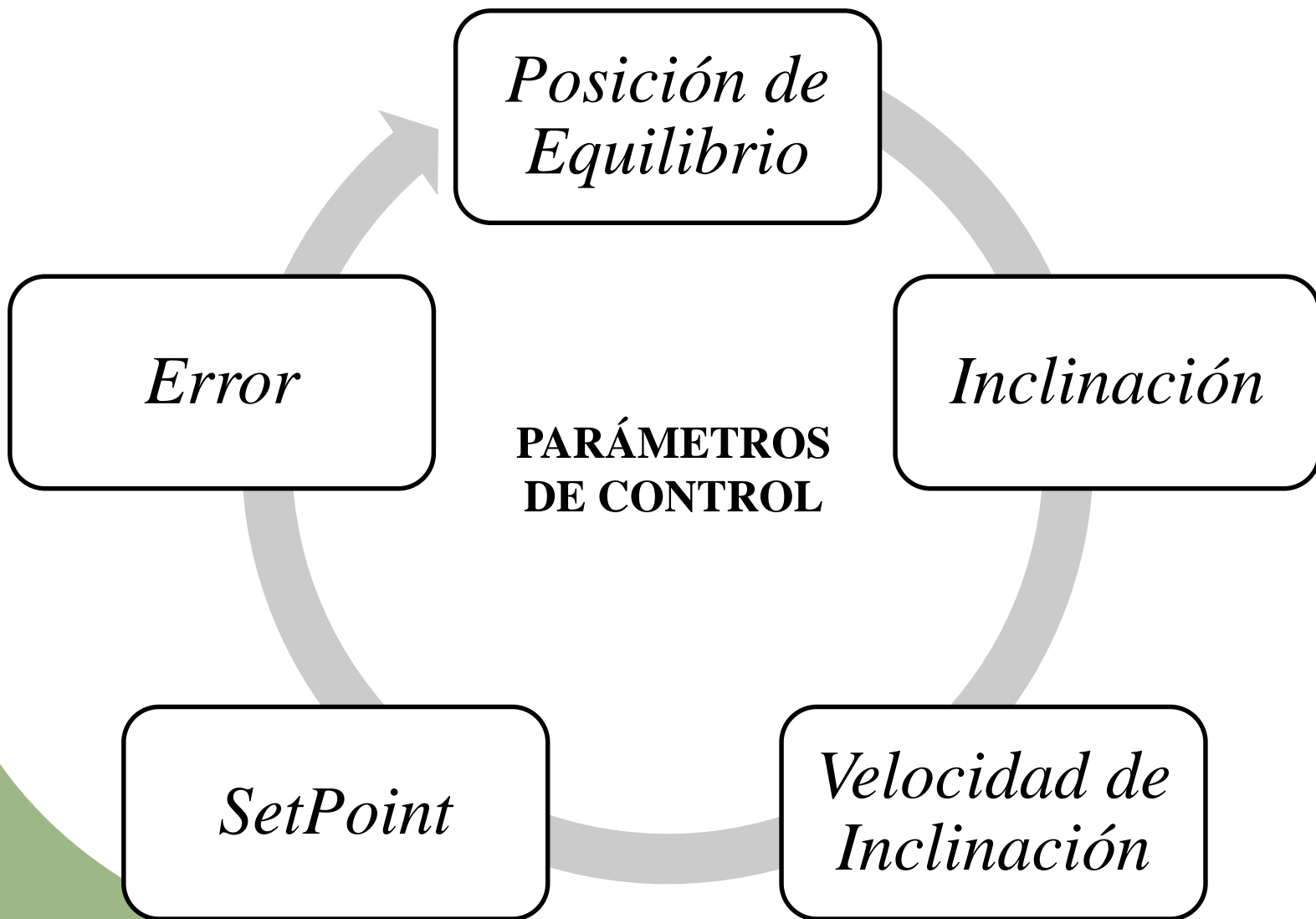




ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL





Condiciones de Inicialización del software de control

La tarjeta STM32F4 cuenta con
una aplicación STM32 ST-
LINK_Utility_v3.3.0.exe

Permite la conexión para la
compilación y programación
en el entorno Simulink.

CursoSTM32 ▶ INSTALACION

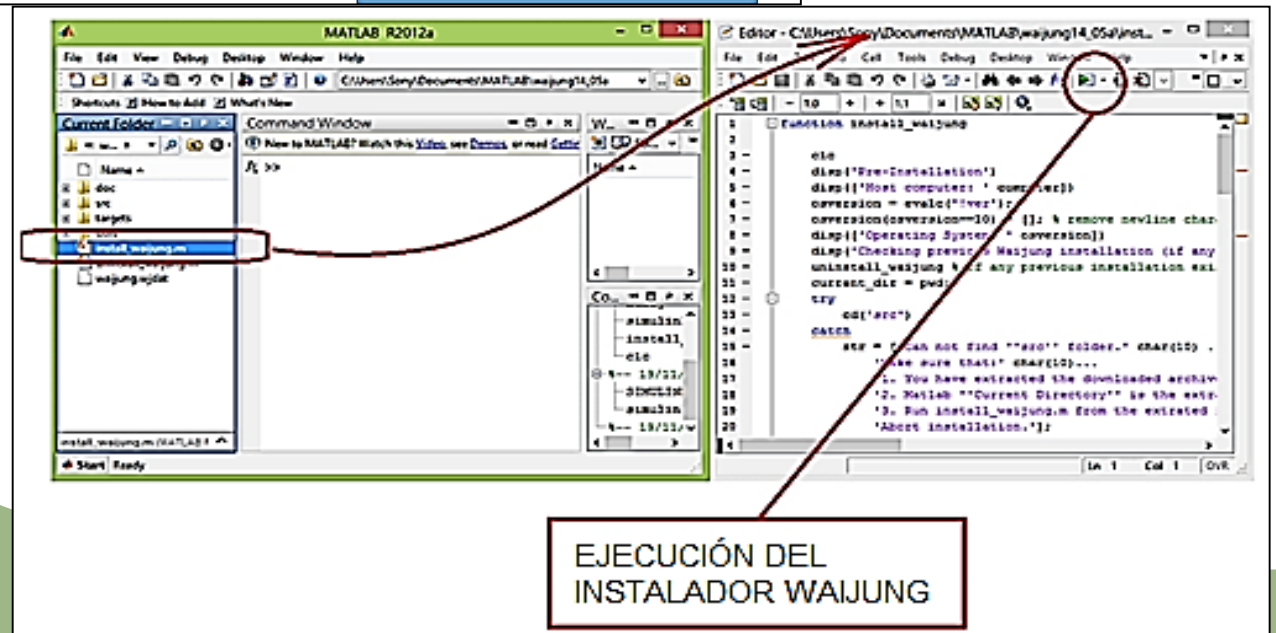
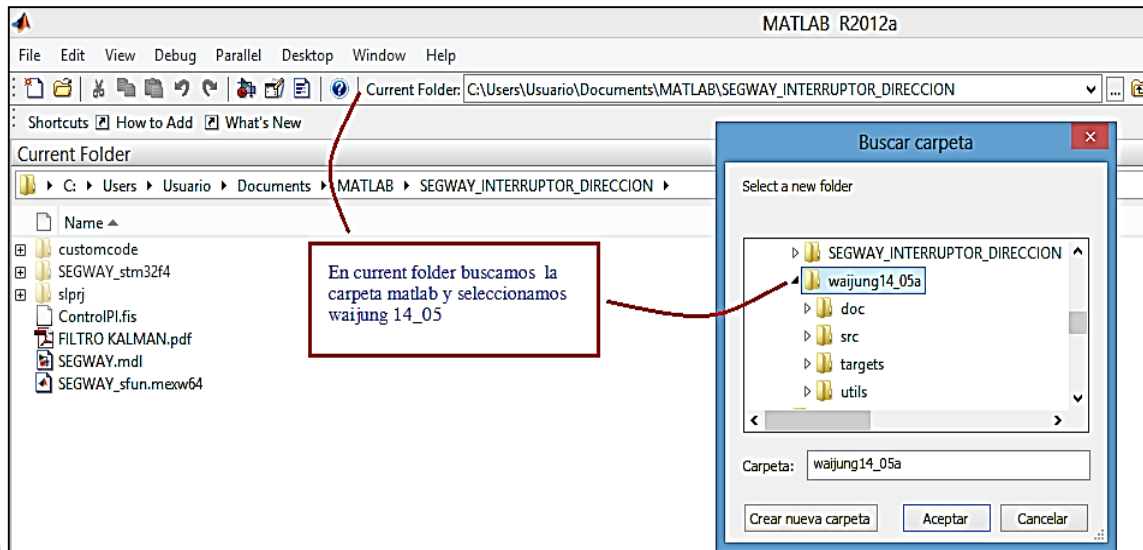
Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
waijung14_05a	05/11/2014 13:17	Carpeta de archivos	
addons v2.5 Beyond Control 32 & 64 Bits	25/05/2014 15:15	WinRAR archive	20.336 KB
amg_clcd.tlc	04/06/2014 19:00	Archivo TLC	21 KB
Pasos	17/10/2014 22:40	Documento de tex...	2 KB
Prueba1STM32.mdl	11/07/2014 12:46	Archivo MDL	29 KB
rx_stm_prueba.mdl	14/08/2014 9:49	Archivo MDL	34 KB
st-link_v2_usbdriver	09/05/2011 18:44	Aplicación	11.299 KB
STM32 ST-LINK Utility_v3.3.0	24/02/2014 17:54	Aplicación	17.673 KB
tx_stm_prueba.mdl	14/08/2014 9:47	Archivo MDL	26 KB
VCP_V1.3.1_Setup	23/07/2010 23:08	Aplicación	6.345 KB
VCP_V1.3.1_Setup_x64	23/07/2010 23:10	Aplicación	6.345 KB

Se instala esta aplicacion para poder continuar con la instalacion de la libreria waijung a ser utilizada en el entorno simulink.

CursoSTM32 ▶ INSTALACION

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
waijung14_05a	05/11/2014 13:17	Carpeta de archivos	
addons v2.5 Beyond Control 32 & 64 Bits	25/05/2014 15:15	WinRAR archive	20.336 KB
amg_clcd.tlc	04/06/2014 19:00	Archivo TLC	21 KB
Pasos	17/10/2014 22:40	Documento de tex...	2 KB
Prueba1STM32.mdl	11/07/2014 12:46	Archivo MDL	29 KB
rx_stm_prueba.mdl	14/08/2014 9:49	Archivo MDL	34 KB
st-link_v2_usbdriver	09/05/2011 18:44	Aplicación	11.299 KB
STM32 ST-LINK Utility_v3.3.0	24/02/2014 17:54	Aplicación	17.673 KB
tx_stm_prueba.mdl	14/08/2014 9:47	Archivo MDL	26 KB
VCP_V1.3.1_Setup	23/07/2010 23:08	Aplicación	6.345 KB
VCP_V1.3.1_Setup_x64	23/07/2010 23:10	Aplicación	6.345 KB

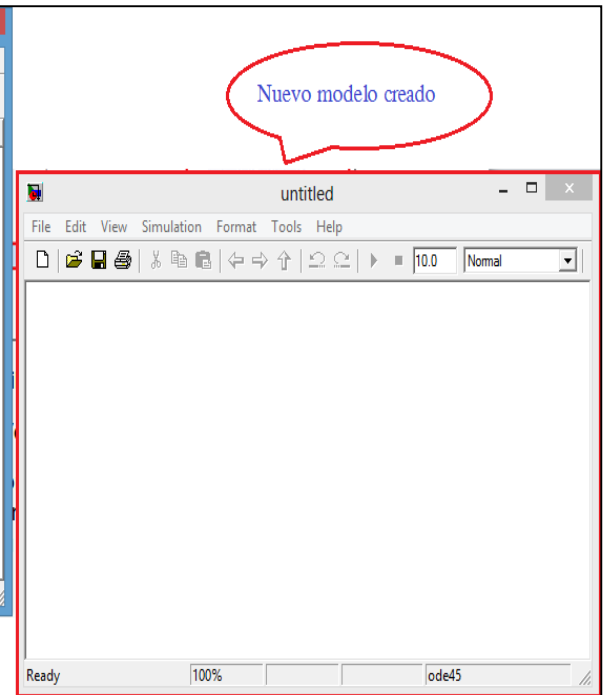
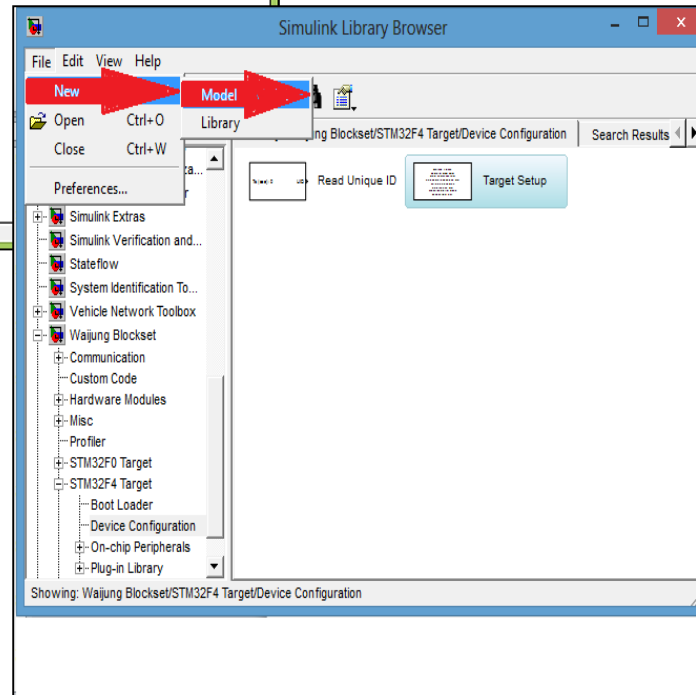
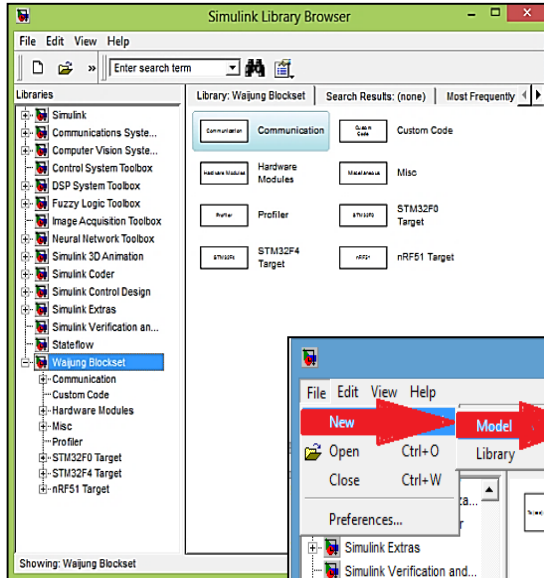
Luego se instala esta aplicación con la cual se realiza la depuración y programación de la estrategia de control



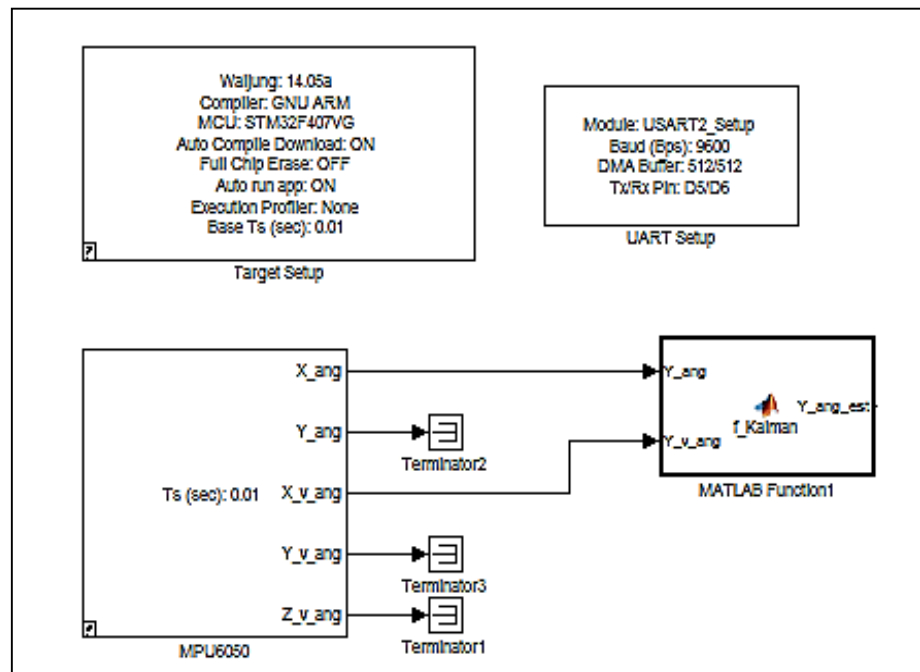
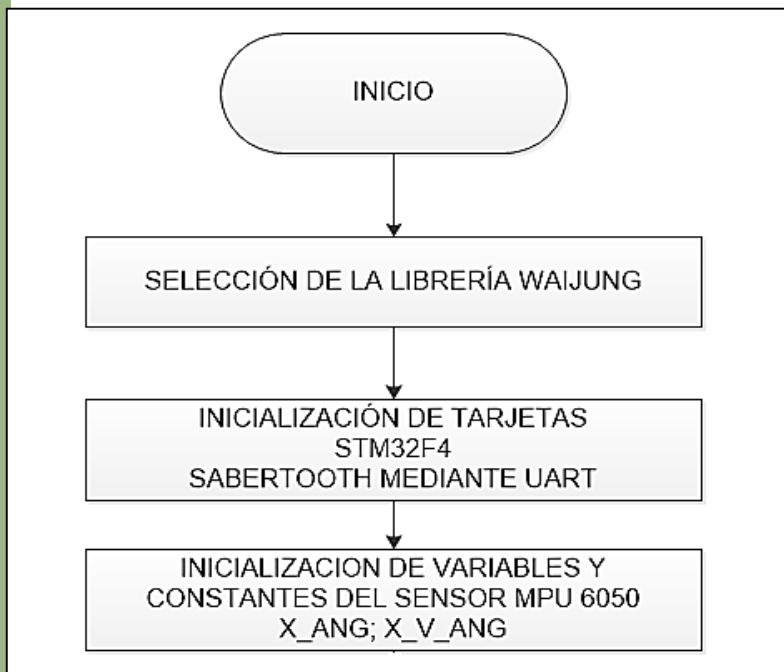


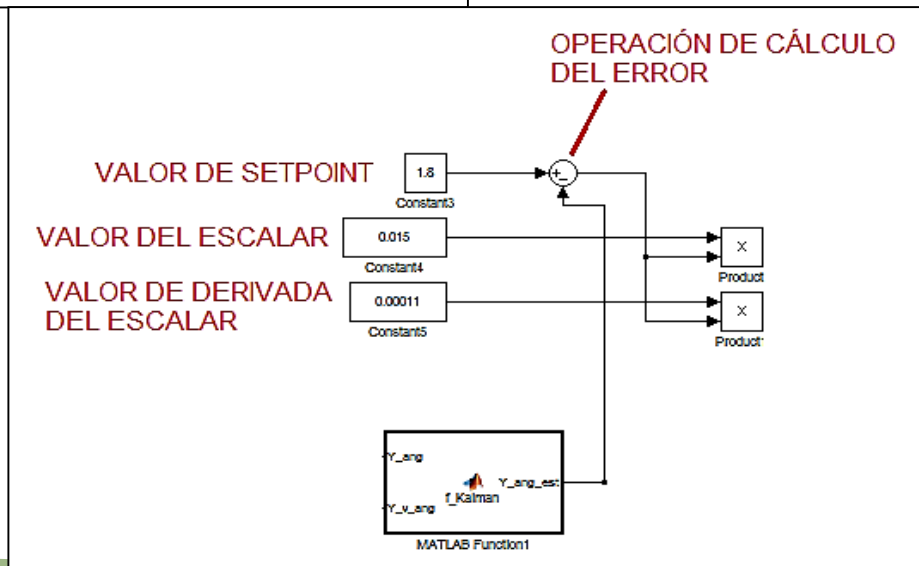
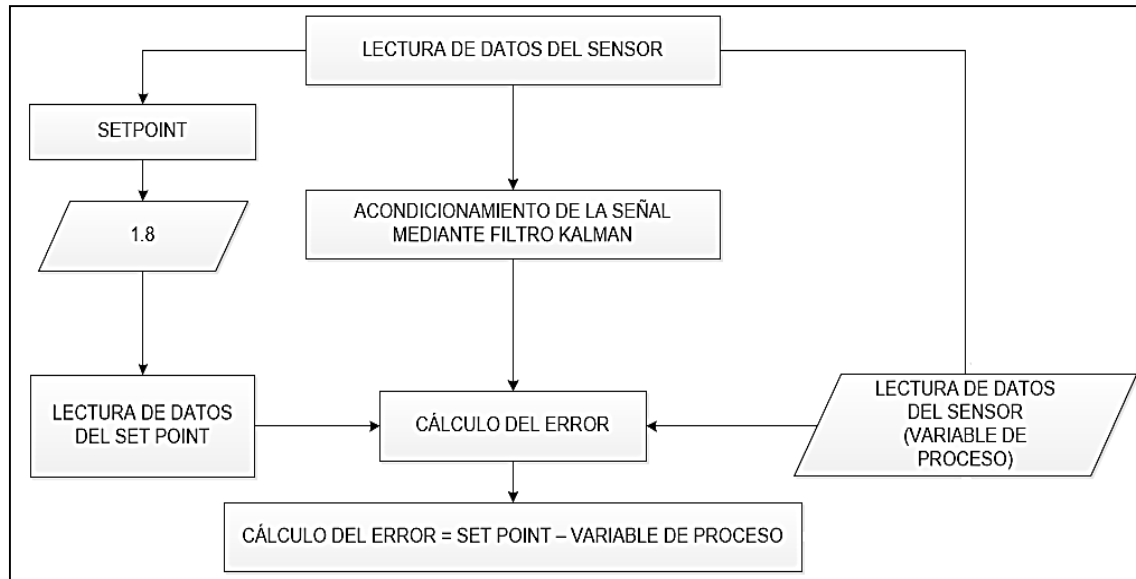
ESPE

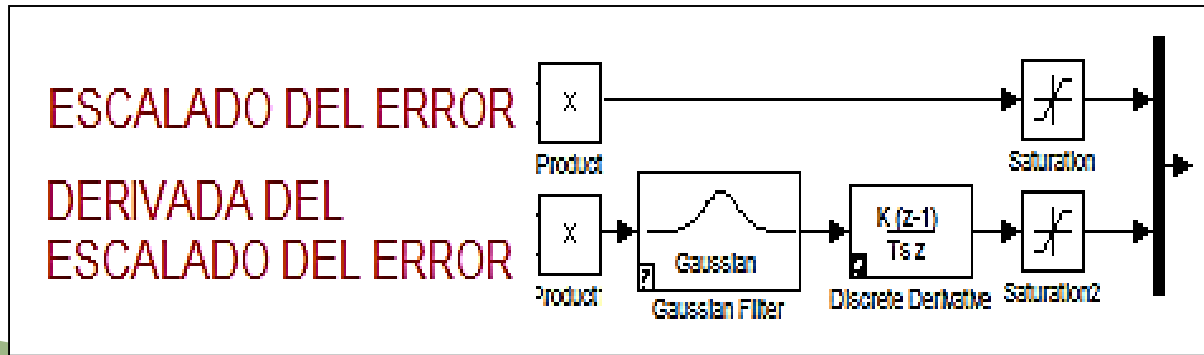
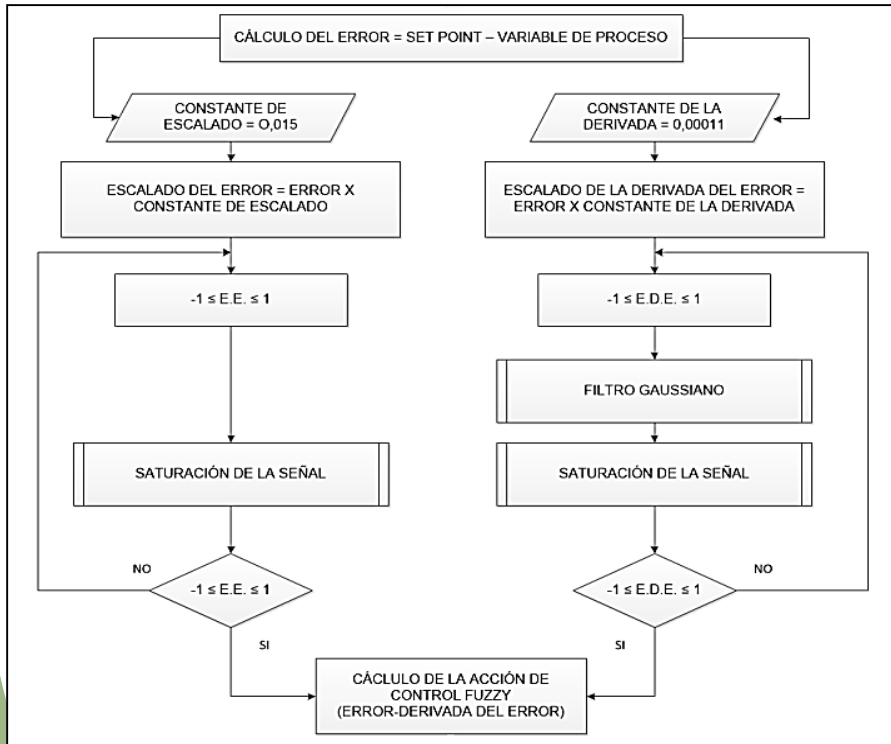
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

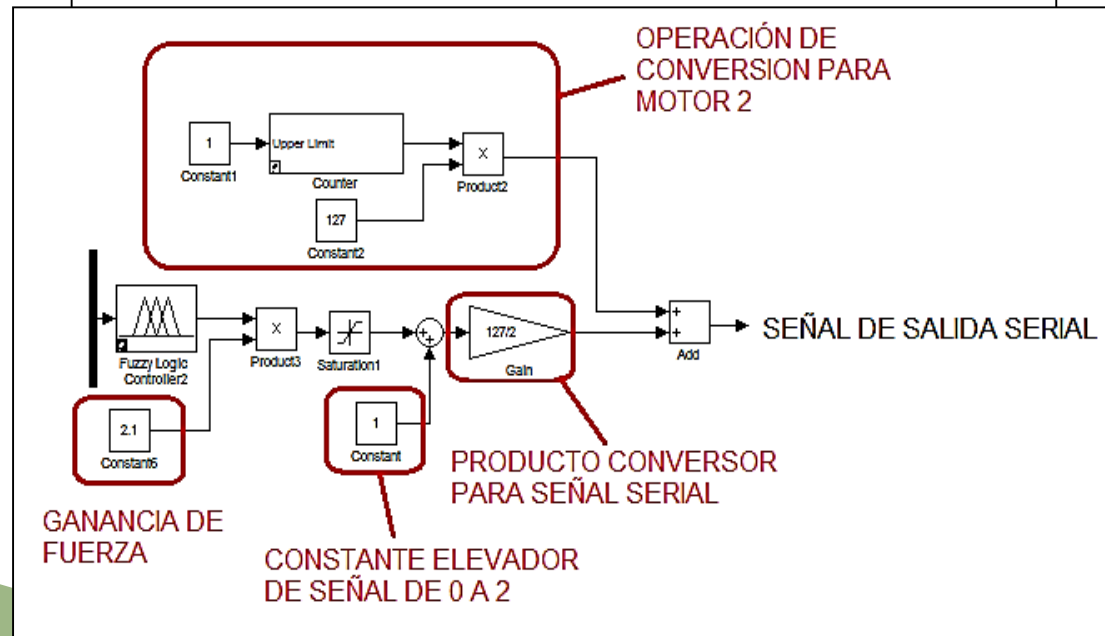
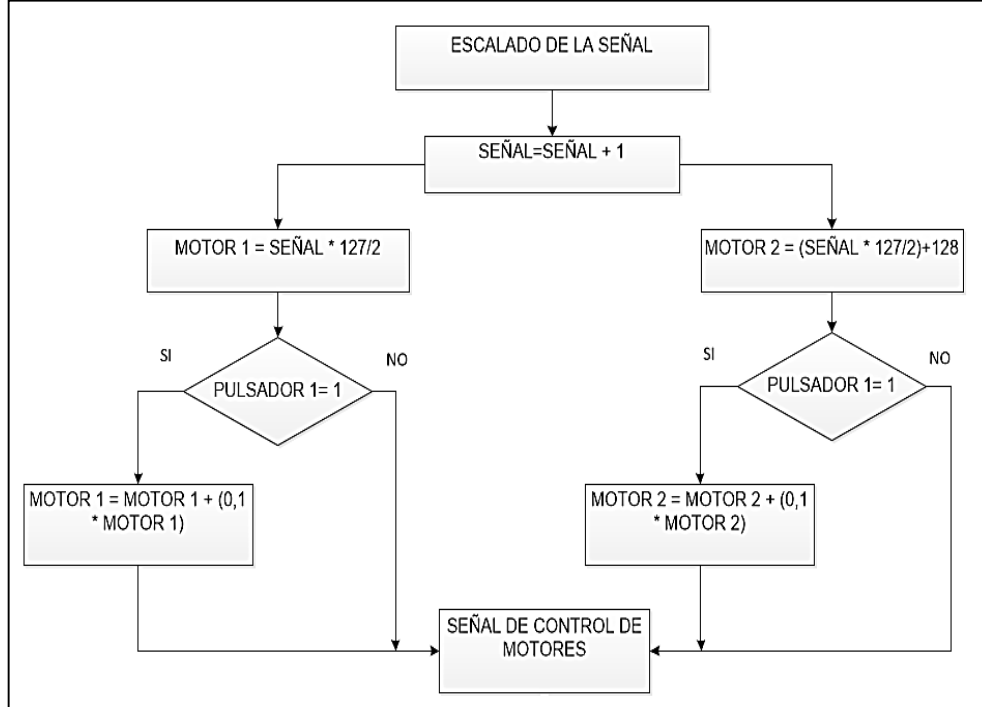


Estrategia de control mediante diagramas de flujo/Diagrama de boques Simulink











	MOTOR 1	MOTOR 2
Condición	Valor del caracter	Valor del caracter
Full hacia delante	127	255
Hacia delante	65	193
Detener	64	192
Hacia atrás	63	191
Full hacia atrás	1	128
Apagado	0	0



Acción de control Fuzzy

No necesita conocer la planta, es decir no se necesita el modelo matemático del cuerpo para determinar sus valores

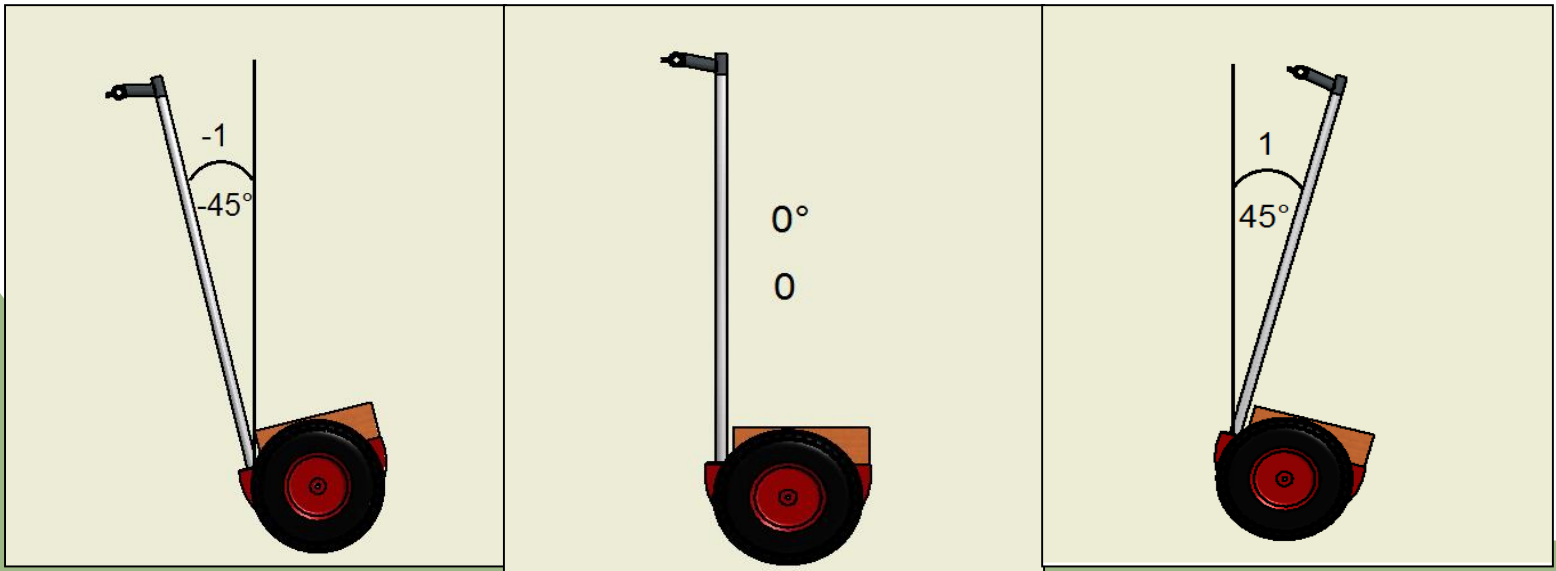
Se debe conocer es que acción va a realizar ante la presencia de un determinado error.

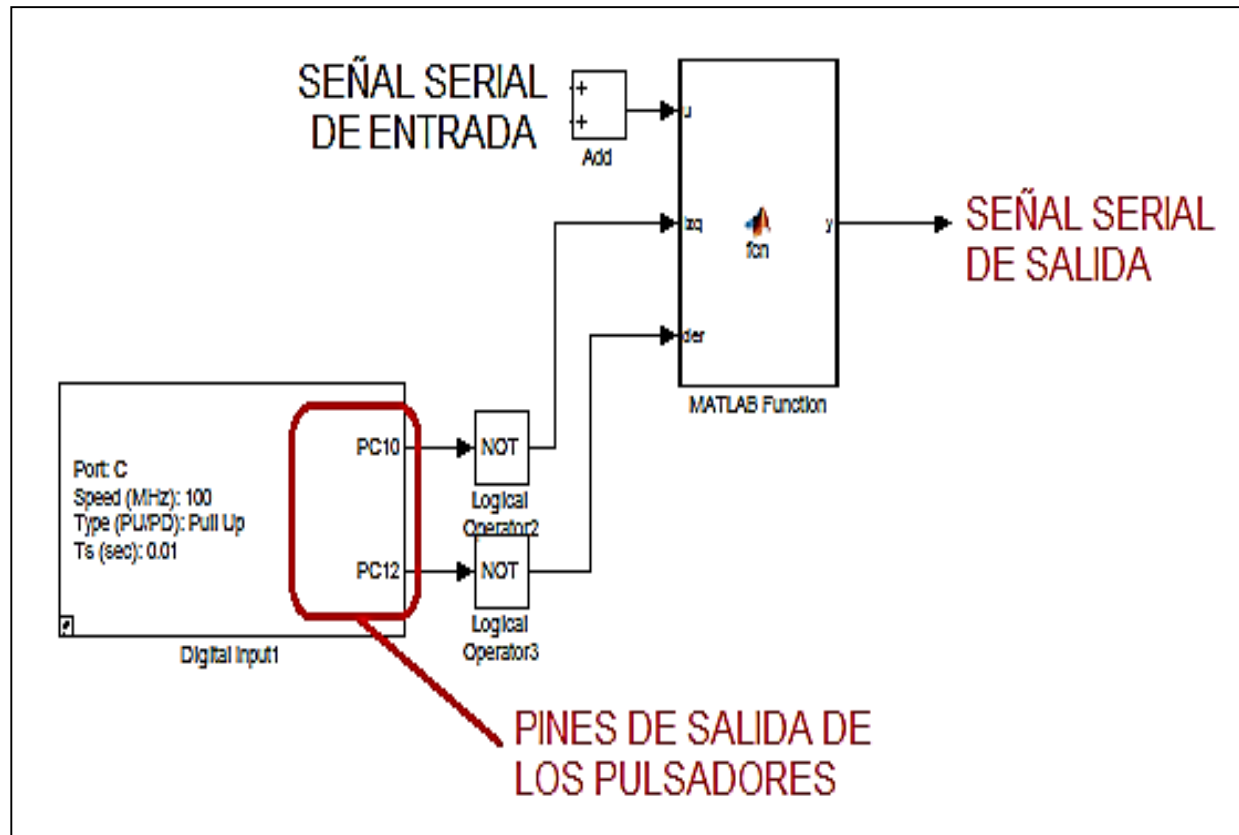
Asigna valores lingüísticos

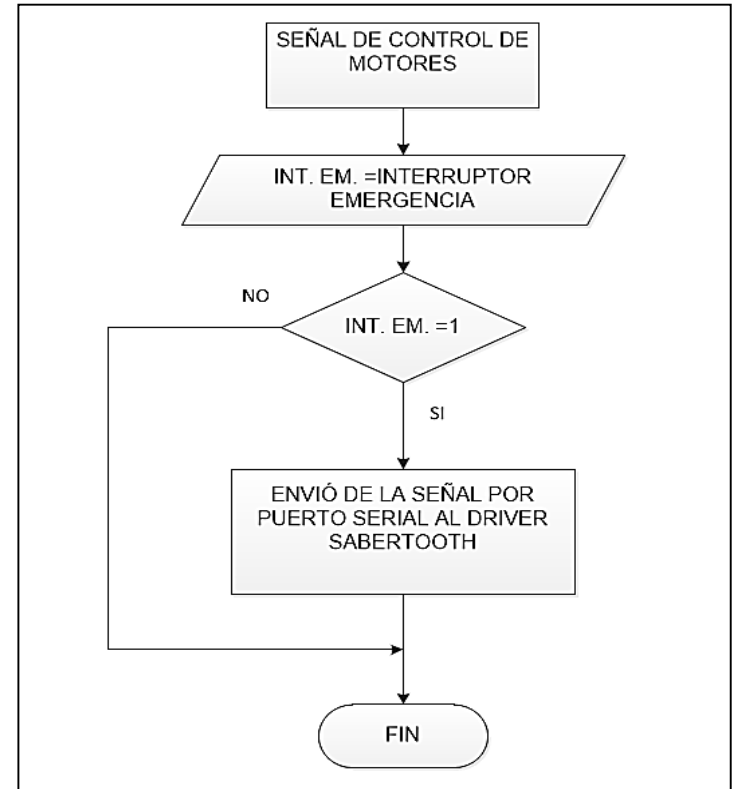
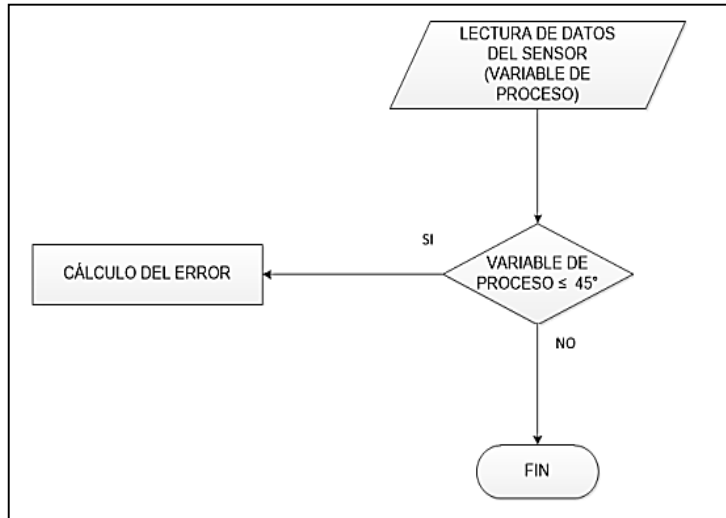
Grande negativo:	-1
Pequeño negativo:	-0.5
Cero:	0
Pequeño positivo:	0.5
Grande positivo:	1

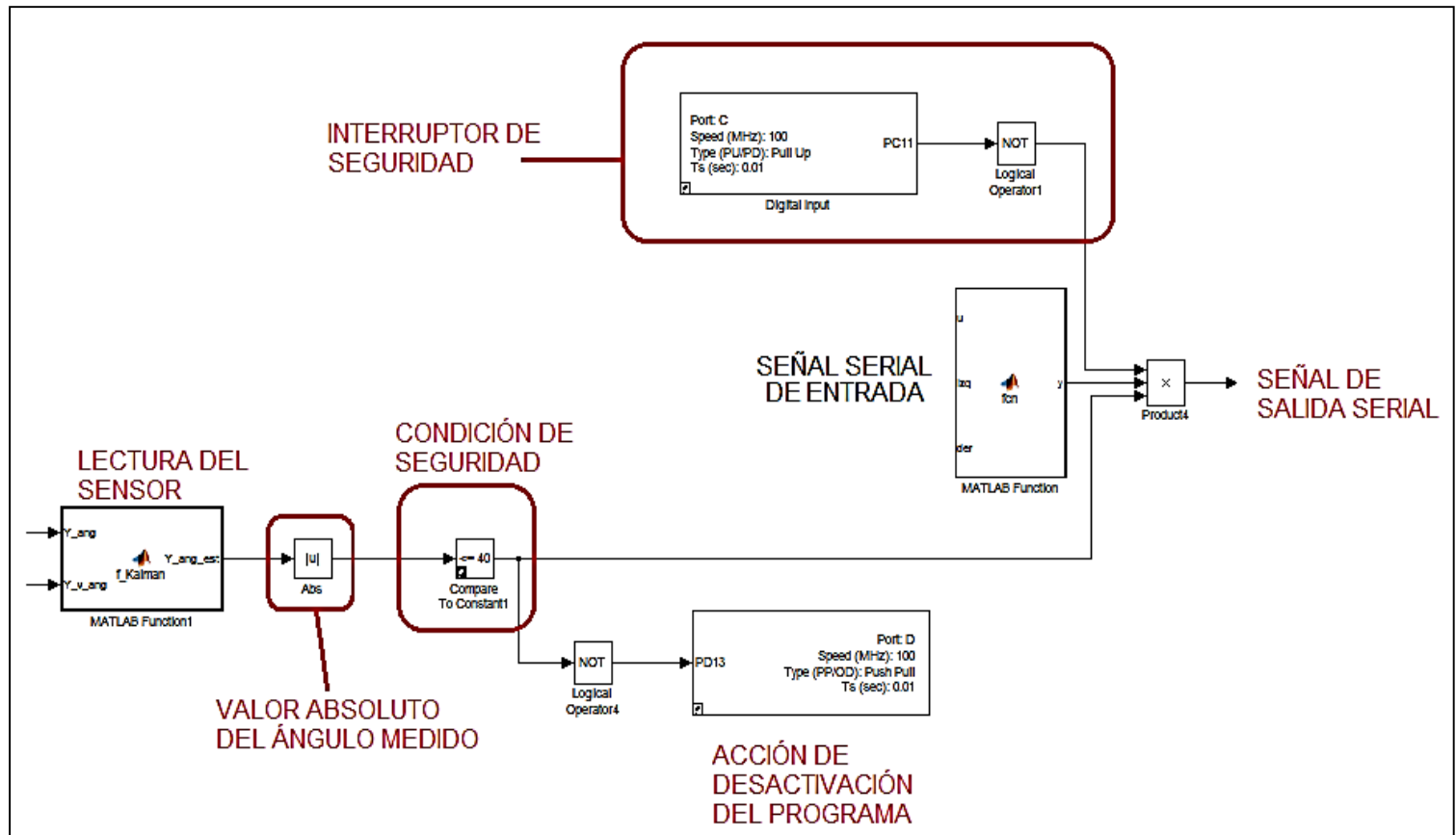
Acción de control Fuzzy

Acción de control	Derivada del error					
	-1	-0.5	0	0.5	1	
-1	1	1	1	0.5	0	
-0.5	1	1	0.5	0	-0.5	
0	1	0.5	0	-0.5	-1	
0.5	0.5	0	-0.5	-1	-1	
1	0	-0.5	-1	-1	-1	





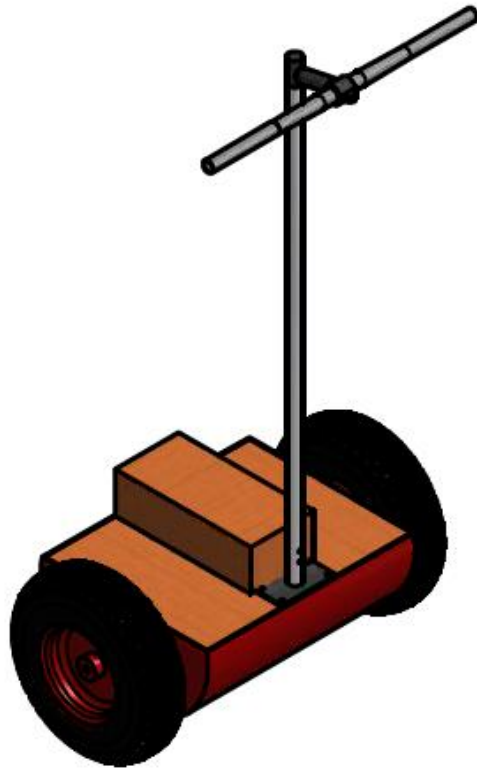






CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS



- **RANGO DE TRABAJO**
VOLTAJE DE LAS BATERÍAS
- **AUTONOMÍA**
- **TIEMPOS DE CARGA**
- **PRUEBAS DE**
FUNCIONALIDAD
- **COSTOS DEL PROYECTO**



• RANGO DE TRABAJO VOLTAJE DE LAS BATERÍAS

RANGO DE TRABAJO PERMITIDO:
DE 25,2 V – 20 V



EN 25,2 V LA PLATAFORMA
TIENDE A VIBRAR



EN 20 V LA VELOCIDAD Y
FUERZA DEL VEAP DISMINUYE





• AUTONOMÍA DEL VEAP

AUTONOMÍA
EN TIEMPO
HORAS

tiempo de autonomía
$$= \frac{150 \text{ Ah}}{(37.5 * 2)A}$$

= 2 horas
(POR
BATERÍA)

AUTONOMÍA
EN
KILOMETRAJE

kilometraje
$$= 4 \text{ h} \times 10 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

= 40 km

- **TIEMPOS DE CARGA**

VOLTAJE A
PLENA CARGA



TIEMPO DE
CARGA DE LAS
BATERÍAS



E S P E
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA

- **PRUEBAS DE FUNCONALIDAD**



• COSTOS DEL PROYECTO

Desglose de costos de materiales del sistema mecánico

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Costo total
1	Tubo cuadrado estructural (6 metros)	15	15
2	Motorreductores King Motors	50	100
2	Ruedas neumáticas	18	36
2	Adaptador eje rueda	25	50
1	Retazos de láminas de tol	5	5
1	Conjunto volante/base	15	15
10	Tornillos 7/16-24-UNF de longitud 16mm, resistencia 12,9 y cabeza DIN912	0.15	1.50
Total de materiales			\$ 222.5



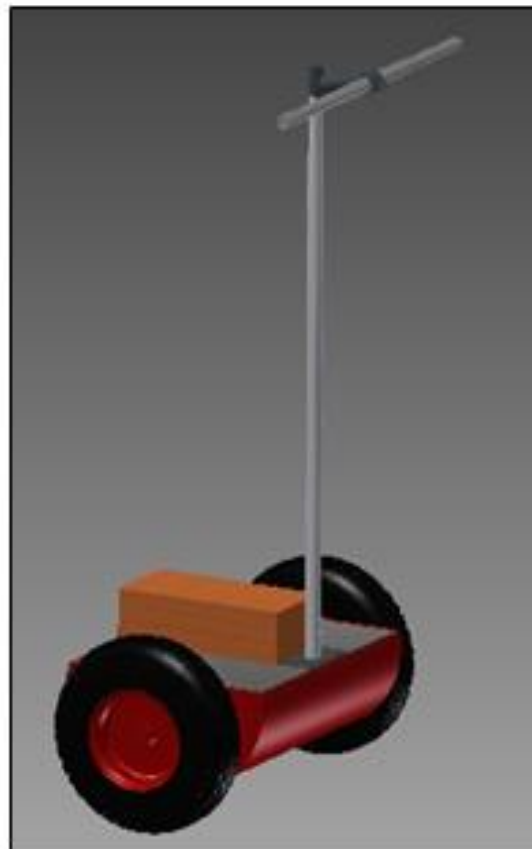
Desglose de costos de materiales eléctricos y electrónicos.

Cantidad	Descripción	Precio unitario	Costo total
1	Tarjeta STM32F4 Discovery	40	40
1	Sensor MPU 6050	20	20
1	Driver Sabertooth 2x60	193	193
2	Baterías LiPo	100	200
1	Cargador de baterías LiPo	100	100
1	Borneras	1.20	1.20
2	Cableado (metros)	0.80	1.60
20	Cables para protoboard	0,25	2.50
2	Interruptores	1	2
2	Pulsadores	0,60	1.20
Total de materiales			\$ 561.6



Análisis financiero del VEAP

Costo de materiales	\$ 784
Costo de construcción del proyecto	\$ 20
Costo de ingeniería	\$ 500
Total	\$ 1304





CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un vehículo eléctrico autobalanceado personal (VEAP) de dos ruedas en paralelo estilo Segway, logrando satisfactoriamente el control de estabilidad y darle al vehículo la funcionalidad deseada, de modo que una persona sea capaz de trasladarse de un lugar a otro sin mayor dificultad.

La integración y programación de los sistemas electrónicos instalados en el vehículo se ha realizado de manera exitosa, dando lugar, junto con el diseño y construcción, a que se hayan podido realizar la puesta en marcha del vehículo y esté totalmente operativo.



Se ejecutó la construcción del VEAP mediante el ensamblaje de componentes mecánicos y eléctricos de los que estaba previsto el proyecto. La construcción mecánica del VEAP requirió de sumo cuidado y de cálculos geométricos que determinaron notablemente el desempeño final del vehículo, y que además intervinieron, activamente, en el proceso de control del vehículo.

Se logró establecer una autonomía del VEAP de 4 horas con el uso de dos baterías LiPo, que supera por mucho a los Segway comerciales.

Los costos de construcción fueron rotundamente satisfactorios, ya que con el uso de materiales reciclados y adquiridos en el mercado nacional redujo enormemente su valor económico para poder fabricarlos en serie.



RECOMENDACIONES

Para el desarrollo de un vehículo de este tipo completamente funcional y seguro, se recomienda el uso de la implementación de más sensores sofisticados de tal manera que efectúen el control considerando cada parámetro que pueda afectar a la inestabilidad..

También se debería cambiar el método en que se determina el giro deseado, ya que si bien el volante instalado es bastante intuitivo, es peligroso ya que en una eventual caída, en caso de no soltar uno de los dos lados, el vehículo tenderá a girar sin control.



Agregar un tipo de motorreductor diferente y más sofisticado al que se usó en este proyecto, tomando en cuenta características de rpm, torque y potencia

Agregar una circuitería que permita utilizar los motores como generadores, en determinados momentos del recorrido, para aprovechar la energía mecánica y convertirla en energía eléctrica, para su posterior uso.

Dotar el vehículo con baterías de una tecnología superior que permitan tener una mayor autonomía y un menor tiempo de carga.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN



Worth1000.com