



Universidad Católica "Nuestra Señora de la Asunción"

Campus Alto Paraná

Facultad de Ciencias y Tecnología

Ingeniería Electromecánica con Orientación Electrónica

MODELADO Y SIMULADO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO A ESCALA 1:8 (AGUARA'I)

Alumnos: Ariel David Bogado Arce
Juan José Gini Bécker

Tutor: Lic. Gregorio Ariel Guerrero Moral

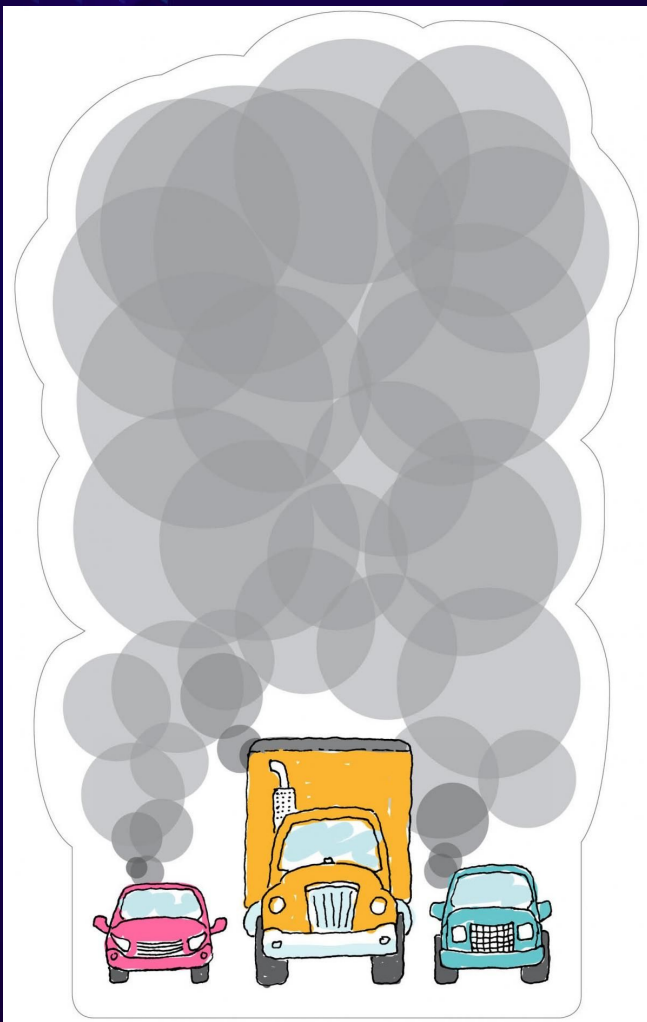
Hernandarias, julio de 2019

CONTENIDO

- INTRODUCCIÓN
- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- OBJETIVOS
- METODOLOGÍA
- MARCO TEÓRICO
- DESARROLLO DEL TRABAJO
- PRUEBAS Y RESULTADOS
- CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS
- CRÉDITOS Y AGRADECIMIENTOS

INTRODUCCIÓN

- ▶ Vehículos Eléctricos como alternativas prometedoras
- ▶ Importancia del modelado
- ▶ Aguara'i



VEHÍCULOS ELÉCTRICOS



Jaguar I-Pace



Mercedes-Benz EQC



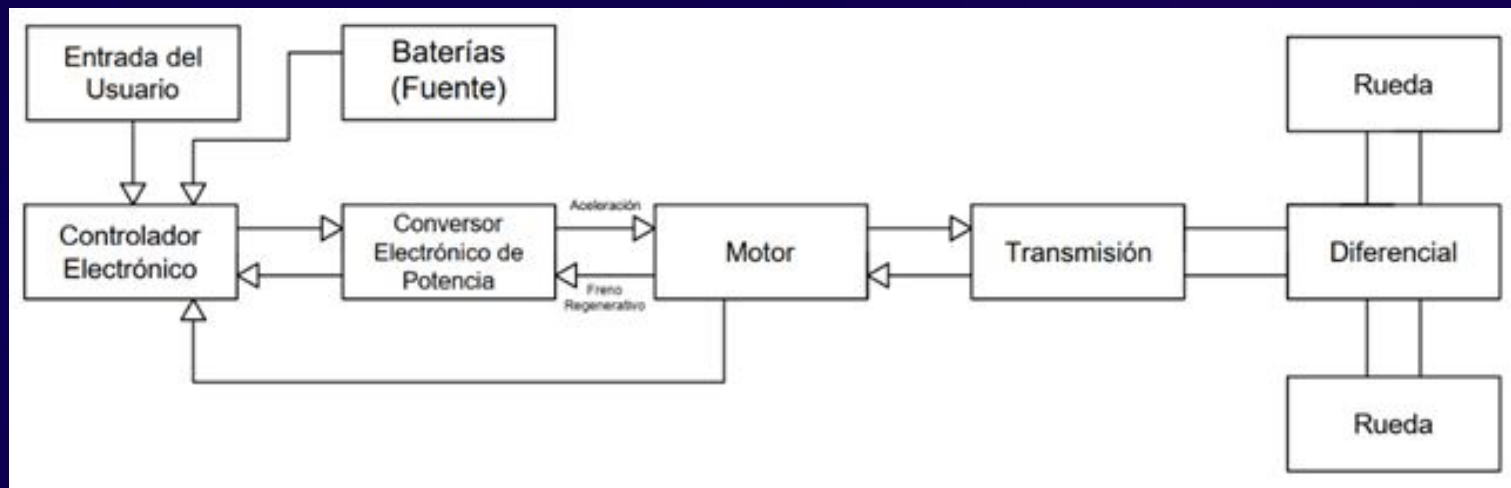
Rivian R1T



Tesla Model Y

INTRODUCCIÓN

- ▶ Vehículos Eléctricos como alternativas prometedoras
- ▶ Importancia del modelado
- ▶ Aguara'i



INTRODUCCIÓN

- ▶ Vehículos Eléctricos como alternativas prometedoras
- ▶ Importancia del modelado
- ▶ Aguara'i



Largo	460 mm
Ancho	306 mm
Alto	280 mm
Peso	5.5 Kg

CONTENIDO

- INTRODUCCIÓN
- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- OBJETIVOS
- METODOLOGÍA
- MARCO TEÓRICO
- DESARROLLO DEL TRABAJO
- PRUEBAS Y RESULTADOS
- CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS
- CRÉDITOS Y AGRADECIMIENTOS

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- ▶ Importancia del control de velocidad en el desarrollo de un vehículo autónomo

CONTENIDO

- INTRODUCCIÓN
- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- OBJETIVOS
- METODOLOGÍA
- MARCO TEÓRICO
- DESARROLLO DEL TRABAJO
- PRUEBAS Y RESULTADOS
- CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS
- CRÉDITOS Y AGRADECIMIENTOS

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- ▶ Obtener un modelo matemático de un vehículo eléctrico a escala 1:8 para su posterior simulación e implementación en el control de tracción

OBJETIVOS

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ▶ Estudiar los modelos dinámicos de un vehículo eléctrico a escala
- ▶ Derivar un modelo que represente a la tracción del Aguará'i
- ▶ Diseñar un control apropiado de velocidad

CONTENIDO

- INTRODUCCIÓN
- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- OBJETIVOS
- METODOLOGÍA
- MARCO TEÓRICO
- DESARROLLO DEL TRABAJO
- PRUEBAS Y RESULTADOS
- CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS
- CRÉDITOS Y AGRADECIMIENTOS

METODOLOGÍA

CONTEXTO

▶ Robocar Race 2018

ALCANCE

▶ Equipo A2G

DISEÑO

▶ Proyecto “Aguara’i”

ENFOQUE

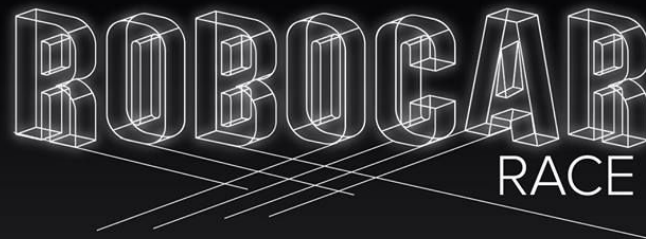
METODOLOGIA

CONTEXTO

ALCANCE

DISEÑO

ENFOQUE



O PRIMEIRO CAMPEONATO BRASILEIRO DE CORRIDA
DE VEÍCULOS AUTÔNOMOS EM ESCALA

INSCREVA-SE EM ROBORACE.COM.BR

04/11/2018

Pista do AARC do ABC (ao lado do Sam's Club de Santo André),
bem próximo da estação de Santo André e da UFABC.

ORGANIZAÇÃO

Fatec
Santo André

UFABC

ROBÓTICA
PAULA SOUZA

APOIO

Ford
Go Further

ibis
SANTO ANDRÉ

Mitutoyo
Soluções para o Futuro

NATIONAL
INSTRUMENTS



BOSCH
Tecnologia para a vida

ETAS

UNIVERSIDADE DE
SANTO ANDRÉ

UDACITY

NVIDIA

X-TEAM RC



BGB
Associação Brasileira de
Robótica e Automação Industrial

MANUTE

ROBOCORE

METODOLOGÍA

CONTEXTO

▶ Robocar Race 2018

ALCANCE

▶ Equipo A2G

DISEÑO

▶ Proyecto “Aguara’i”

ENFOQUE

METODOLOGIA

CON

AL

EN



METODOLOGÍA

CONTEXTO

▶ Robocar Race 2018

ALCANCE

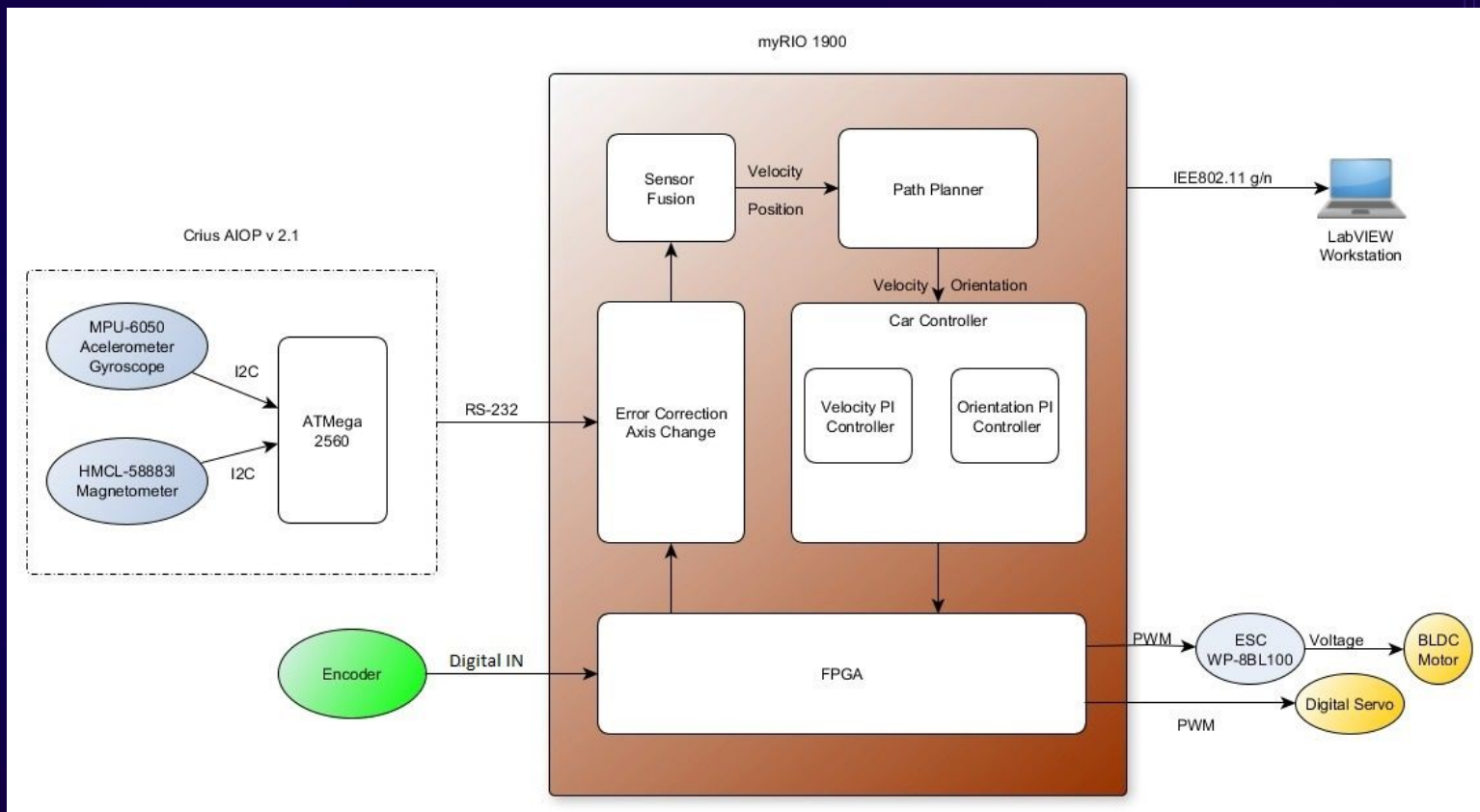
▶ Equipo A2G

DISEÑO

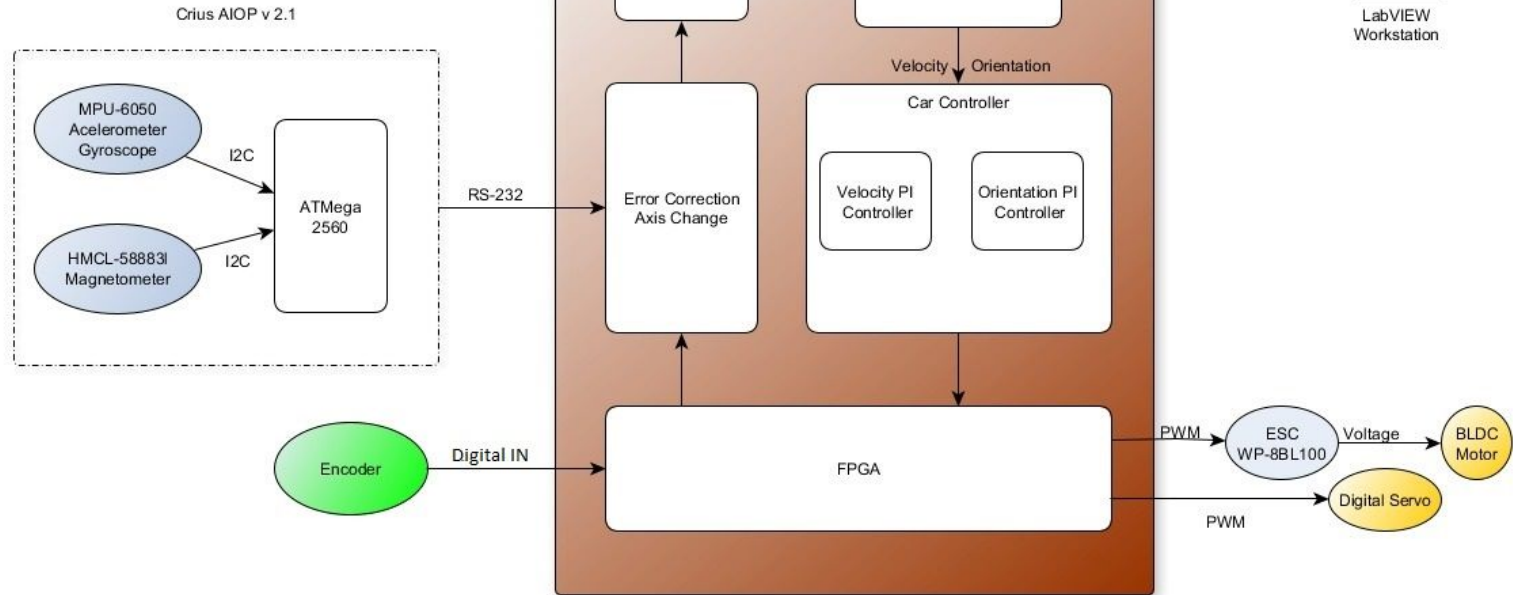
▶ Proyecto “Aguara’i”

ENFOQUE





myRIO 1900



METODOLOGÍA

CONTEXTO

ALCANCE

DISEÑO

ENFOQUE

- Modelado matemático, simulación e implementación de un control de velocidad para el vehículo eléctrico a escala “Aguara’i”

METODOLOGÍA

CONTEXTO

ALCANCE

DISEÑO

ENFOQUE



Experimental

METODOLOGÍA

CONTEXTO

ALCANCE

DISEÑO

ENFOQUE



Cuantitativo

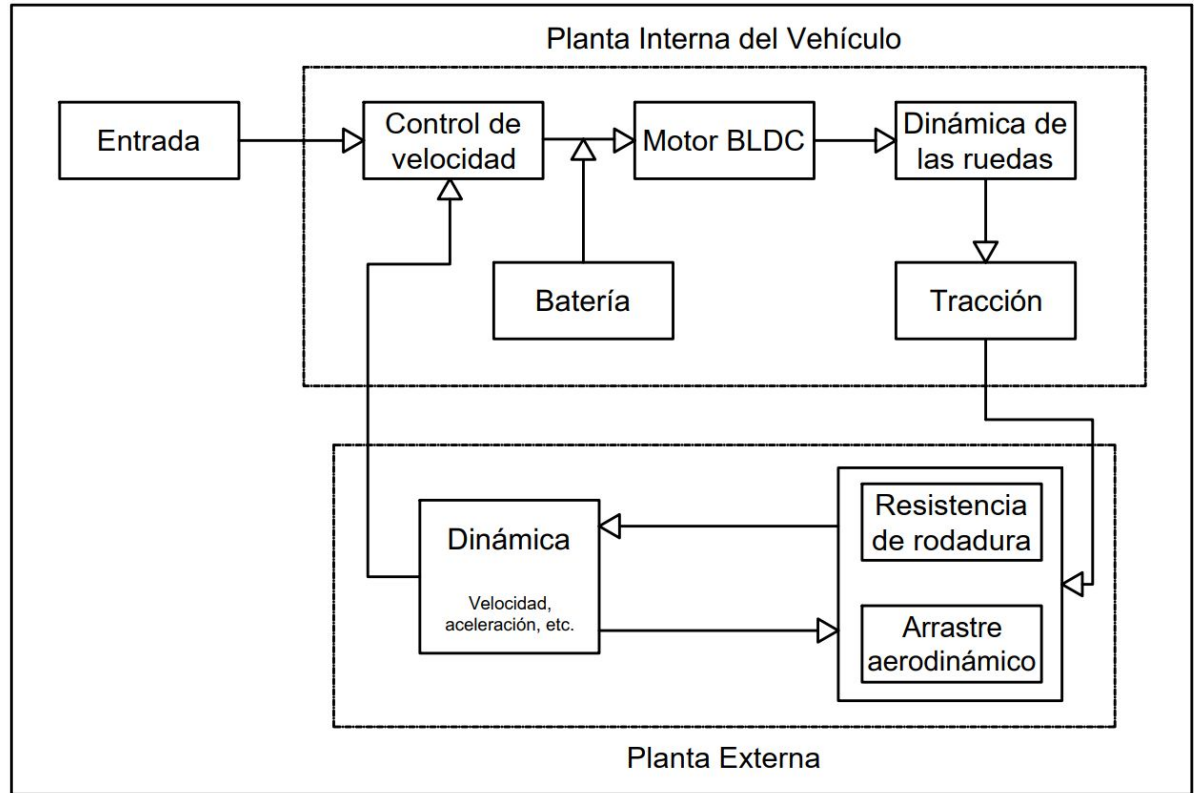
CONTENIDO

- INTRODUCCIÓN
- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- OBJETIVOS
- METODOLOGÍA
- MARCO TEÓRICO
- DESARROLLO DEL TRABAJO
- PRUEBAS Y RESULTADOS
- CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS
- CRÉDITOS Y AGRADECIMIENTOS

MARCO TEÓRICO

MODELADO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO MOTOR BLDC IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS

Diagrama del modelo



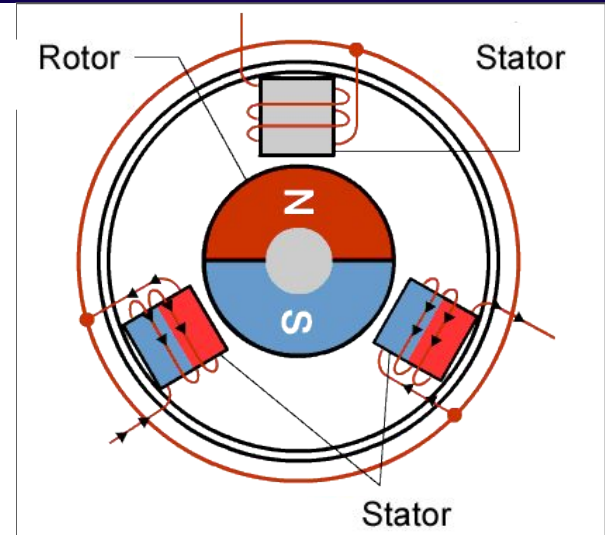
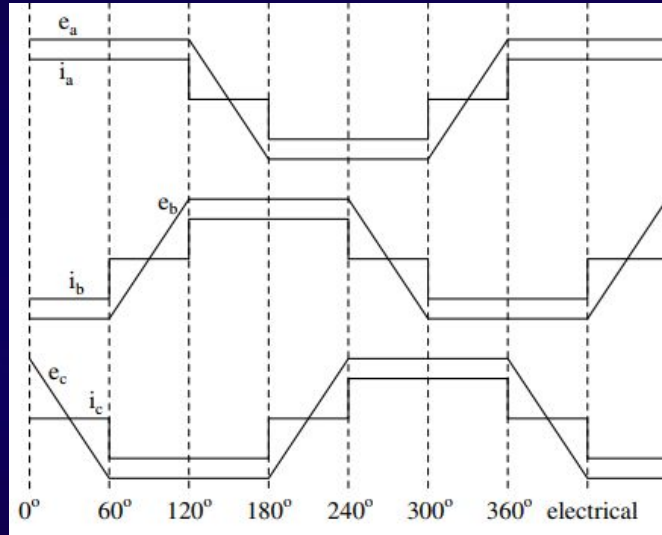
MARCO TEÓRICO

MODELADO DE UN
VEHÍCULO
ELÉCTRICO
MOTOR BLDC
IDENTIFICACIÓN
DE SISTEMAS



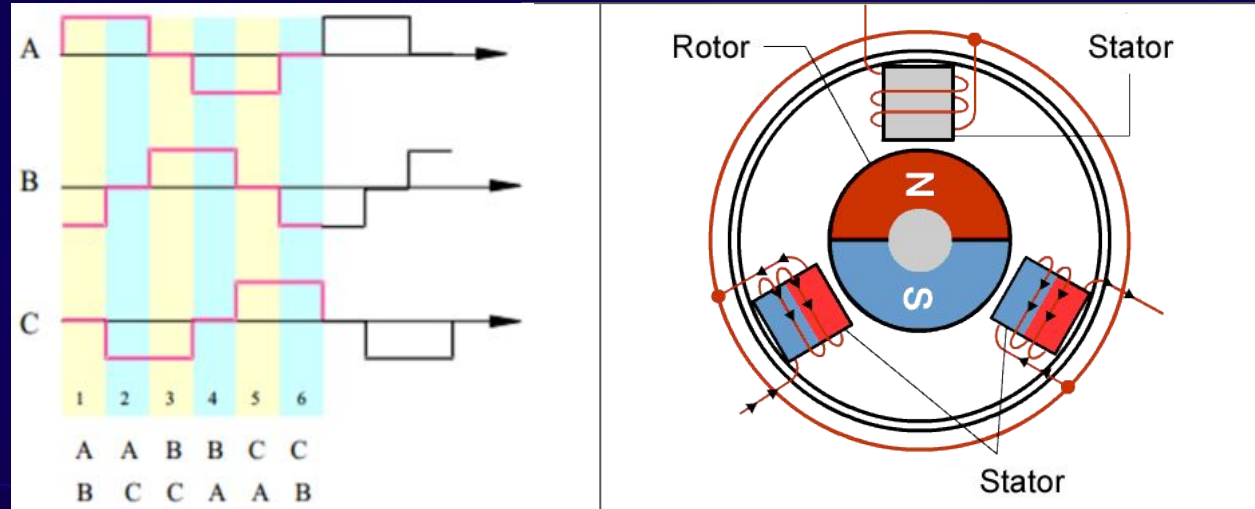
MARCO TEÓRICO

MODELADO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO MOTOR BLDC IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS



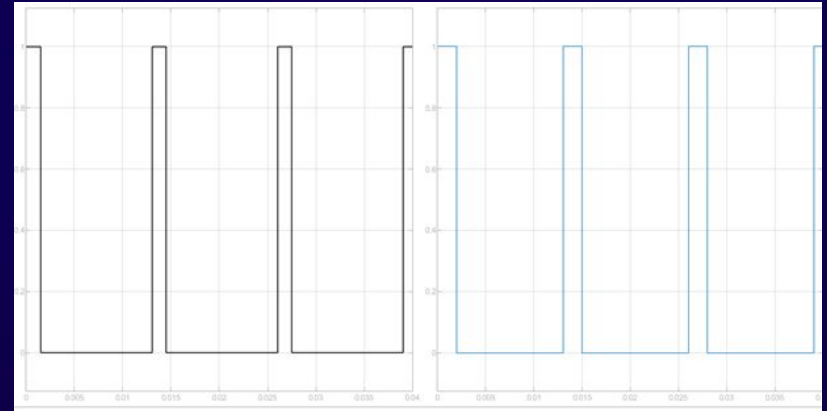
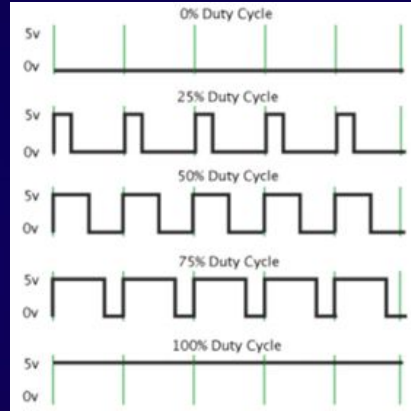
MARCO TEÓRICO

MODELADO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO MOTOR BLDC IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS



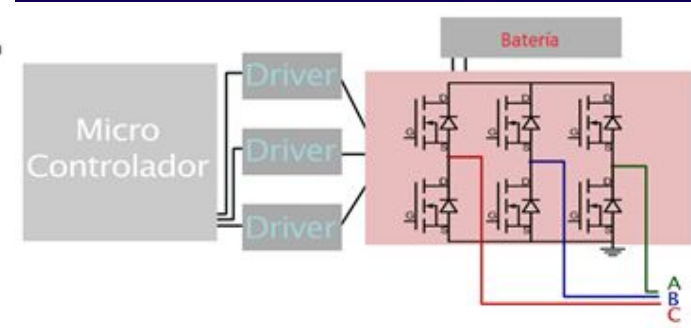
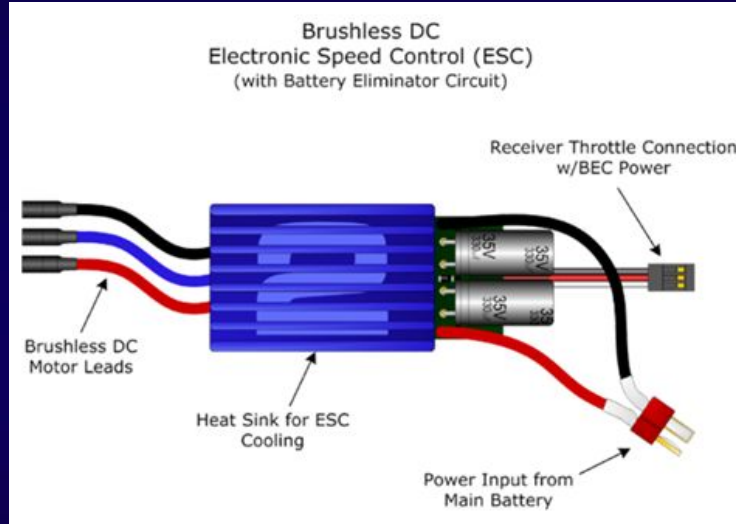
MARCO TEÓRICO

MODELADO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO MOTOR BLDC IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS



MARCO TEÓRICO

MODELADO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO MOTOR BLDC IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS



MARCO TEÓRICO

MODELADO DE UN
VEHÍCULO
ELÉCTRICO
MOTOR BLDC
IDENTIFICACIÓN
DE SISTEMAS

ENFOQUES

- ▶ Por vía analítica
- ▶ Por vía experimental

MARCO TEÓRICO

MODELADO DE UN
VEHÍCULO
ELÉCTRICO
MOTOR BLDC
IDENTIFICACIÓN
DE SISTEMAS

CAJA NEGRA

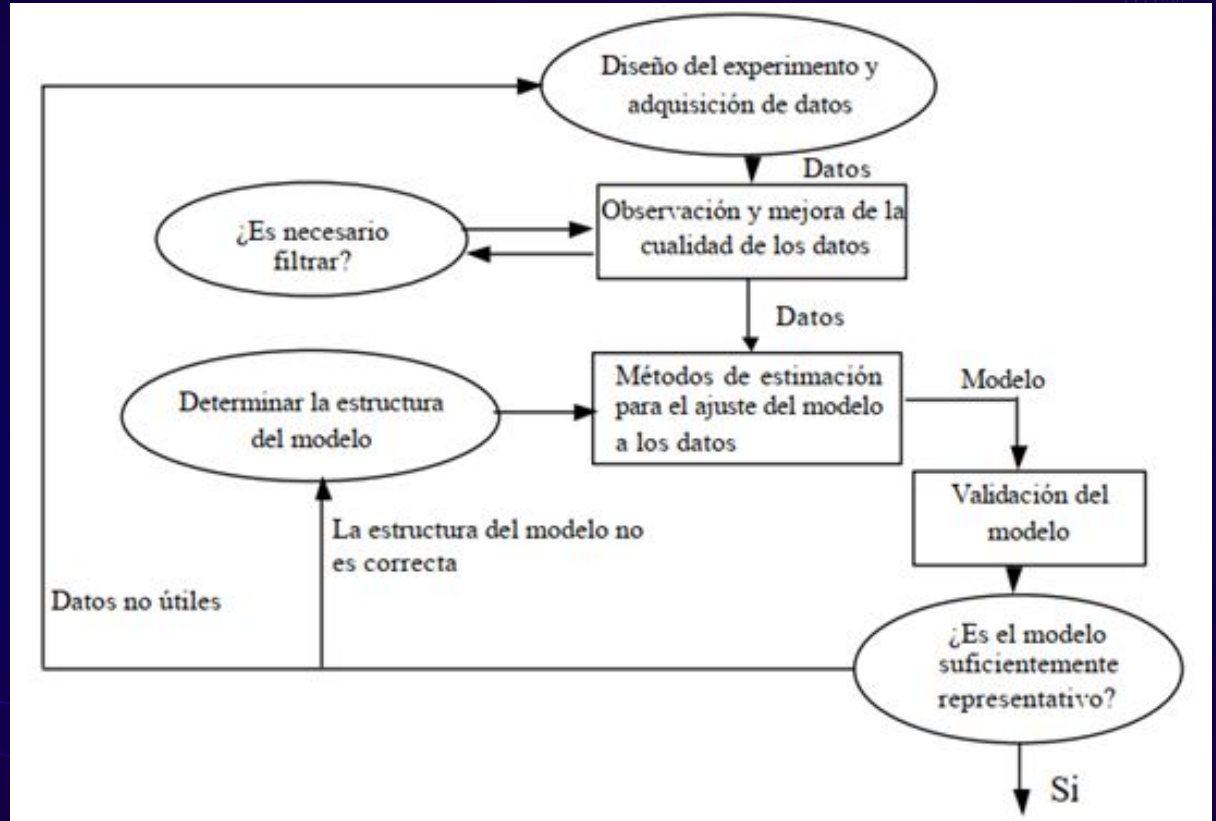


ETAPAS A SEGUIR PARA LA IDENTIFICACIÓN DE UN MODELO

- ▶ Diseño del experimento de identificación
- ▶ Observación y mejora de la calidad de los datos capturados
- ▶ Determinación de la estructura del modelo
- ▶ Estimación de los parámetros
- ▶ Validación del modelo

MARCO TEÓRICO

MODELADO DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO MOTOR BLDC IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS



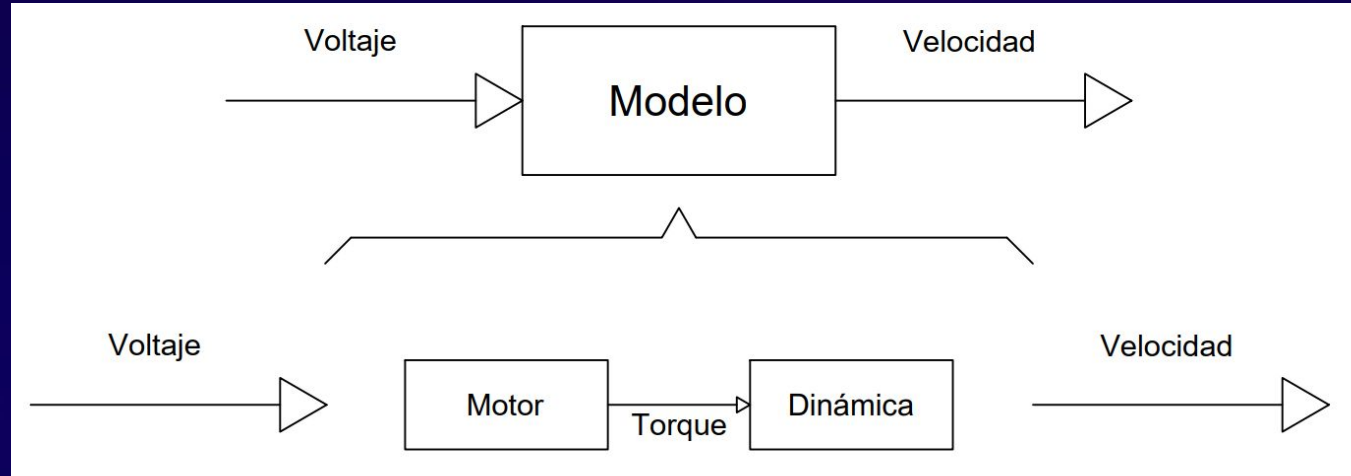
CONTENIDO

- INTRODUCCIÓN
- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- OBJETIVOS
- METODOLOGÍA
- MARCO TEÓRICO
- DESARROLLO DEL TRABAJO
- PRUEBAS Y RESULTADOS
- CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS
- CRÉDITOS Y AGRADECIMIENTOS

DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO

IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN
DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN

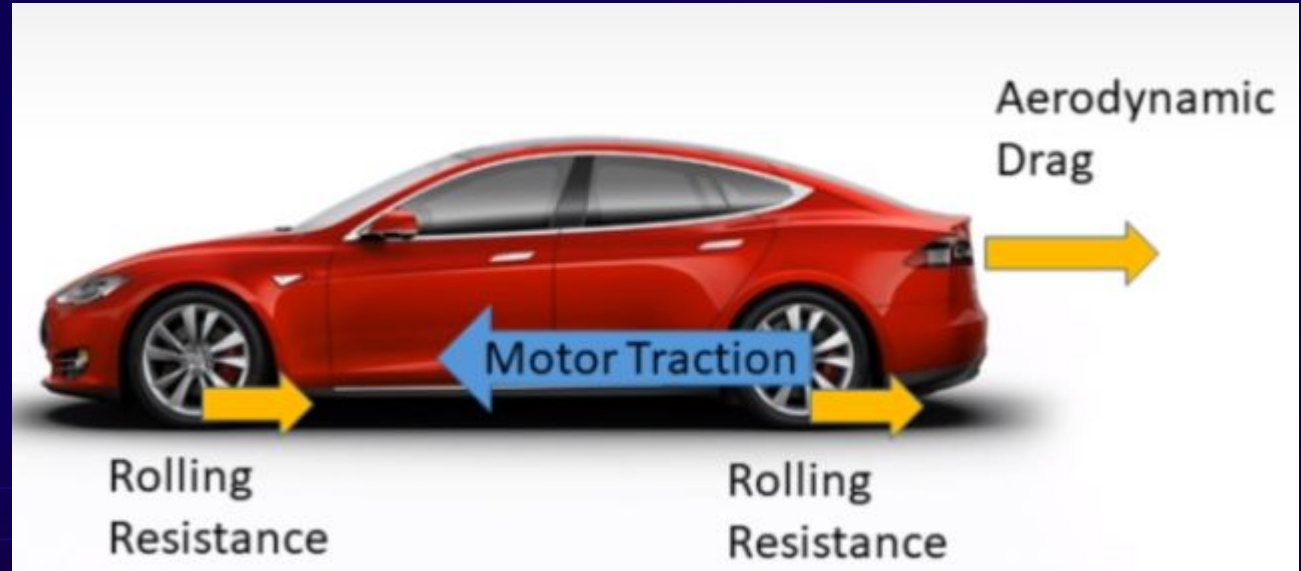


DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO

IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN
DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN

DINÁMICA DEL VEHÍCULO



Planta externa

DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO

IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN

DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN

FUERZA DE TRACCIÓN

$$F_t = \frac{T}{L} \times Gr$$

- ▶ T es el torque entregado por el motor (N/m)
- ▶ L es el radio de la rueda (m)
- ▶ Gr es la relación de transmisión entre el motor y la rueda

DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO

IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN
DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN

RESISTENCIA DE RODADURA

$$F_r = C_r \times m \times g$$

- ▶ C_r es el coeficiente de resistencia de rodadura
- ▶ m la masa del vehículo (kg)
- ▶ g es la gravedad (m/s^2)

DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO

IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN
DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN

ARRASTRE AERODINÁMICO

$$D = 1/2 \cdot \rho v^2 S C_D$$

- ▶ ρ es la densidad del aire (kg/m³)
- ▶ v la velocidad del vehículo (kg)
- ▶ S es la superficie frontal del vehículo (m²)
- ▶ C_D es el coeficiente de arrastre del vehículo

DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO

IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN
DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN

$$\sum F_{uerzas} = F_t - F_r - D = m.a$$

DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO

IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN
DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN

$$\sum F_{uerzas} = F_t - F_r - D = m.a$$

DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO

IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN
DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN

FUERZA DE OPOSICIÓN AL MOVIMIENTO

$$F_o = F_r + D$$

$$F_o = C \cdot m \cdot g + 1/2 \cdot \rho v^2 S C_D$$

DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO

IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN
DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN

FUERZA DE OPOSICIÓN AL MOVIMIENTO

$$F_o = 0.02 \cdot 5.5 \cdot 9.81 + 1/2 \cdot 1.2252 \cdot 12^2 \cdot 0.04445 \cdot 0.5$$

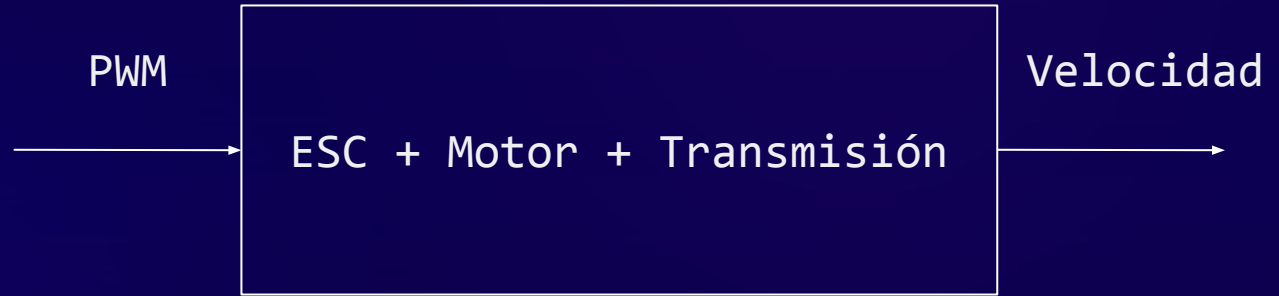
$$F_o = 3.03 \text{ N}$$

DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO

IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN

DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN

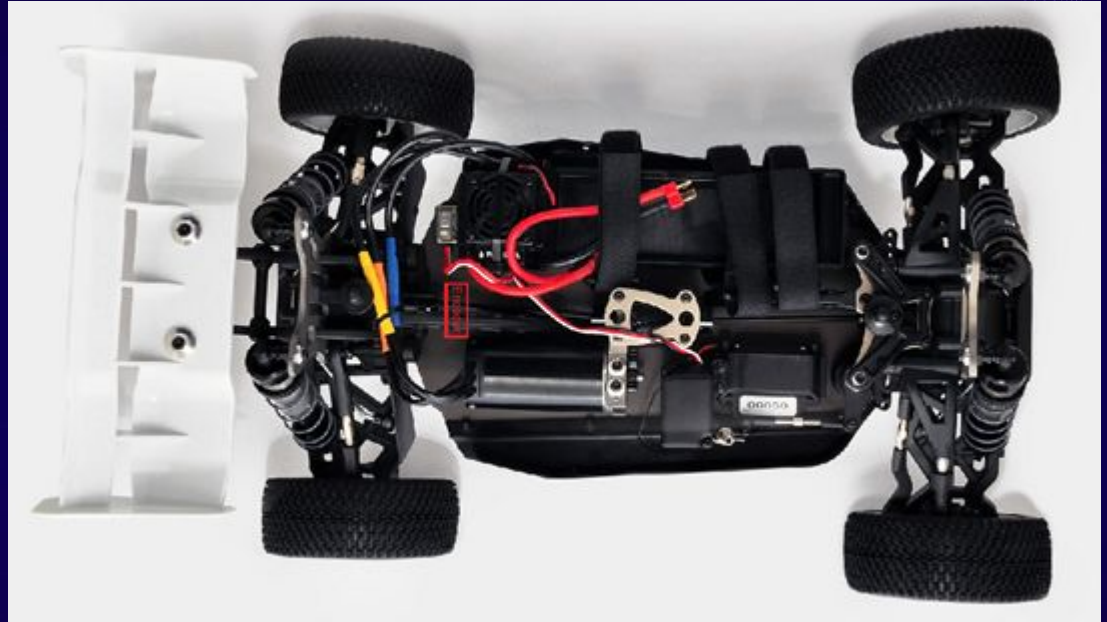


Caja Negra

DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO

IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN
DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN

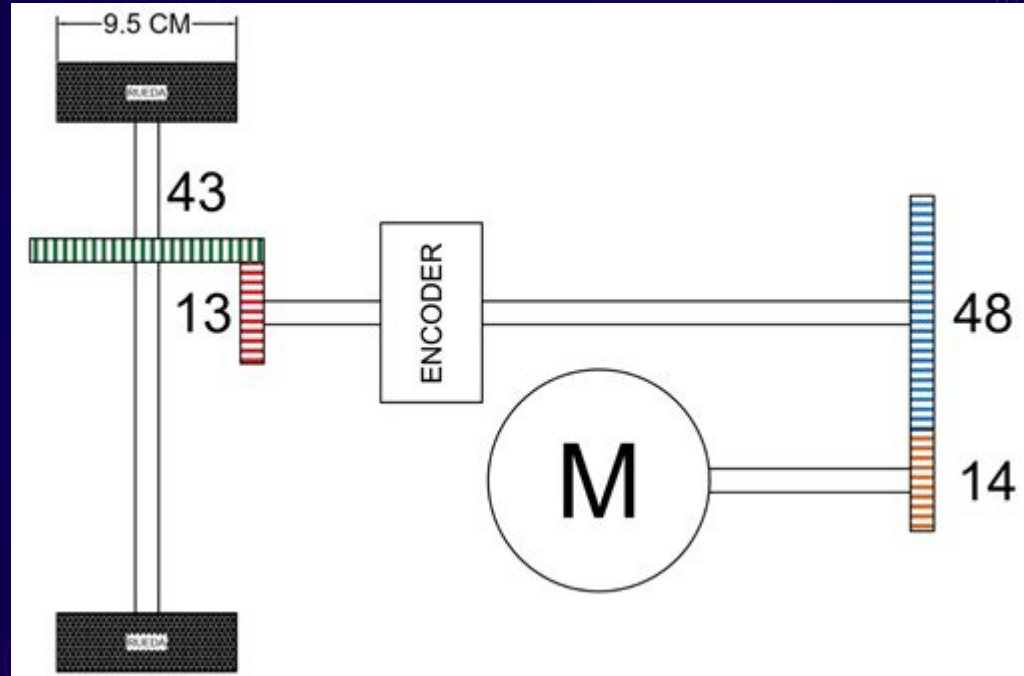


DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO

IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN

DISEÑO Y SIMULACIÓN
DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN



DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO

IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN

DISEÑO Y SIMULACIÓN

DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN

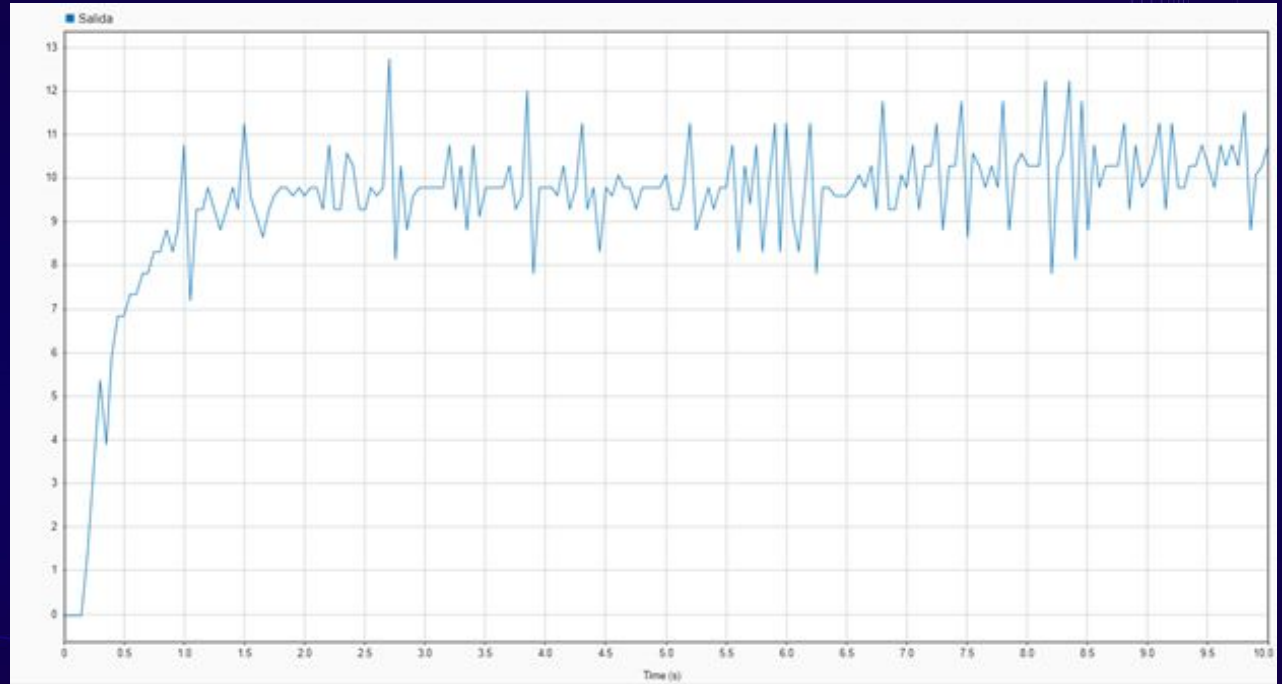
$$Velocidad \left(\frac{m}{s} \right) = i_{eje / rueda} \cdot \frac{PE}{4} \cdot Cia_{Rueda}$$

$$Velocidad \left(\frac{m}{s} \right) = \frac{13}{43} \cdot \frac{PE}{4} \cdot \pi \cdot 0.095$$

DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO

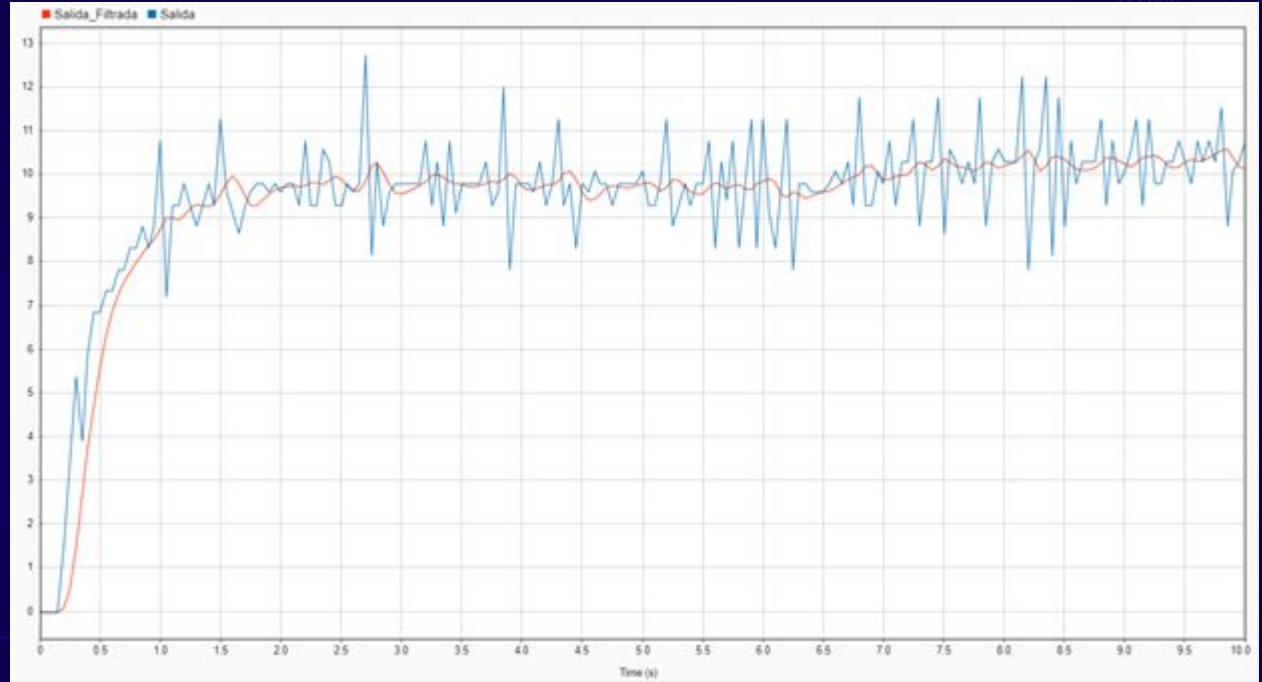
IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN
DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN



DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO

IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN
DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN



FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

OBJETIVO DEL

MODELADO

IDENTIFICACIÓN DEL

SISTEMA DE TRACCIÓN

DISEÑO Y SIMULACIÓN

DEL CONTROL

IMPLEMENTACIÓN

$$G(s) = k_p \cdot \frac{1 + T_z s}{(1 + T_{p1}s)(1 + T_{p2}s)} \cdot e^{-T_D s}$$

- ▶ K_p es la constante proporcional
- ▶ T_z es el valor del Cero
- ▶ T_{p1} es el valor del polo 1
- ▶ T_{p2} es el valor del polo 2
- ▶ T_D es el valor del delay

DESARROLLO DEL TRABAJO

FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

OBJETIVO DEL
MODELADO

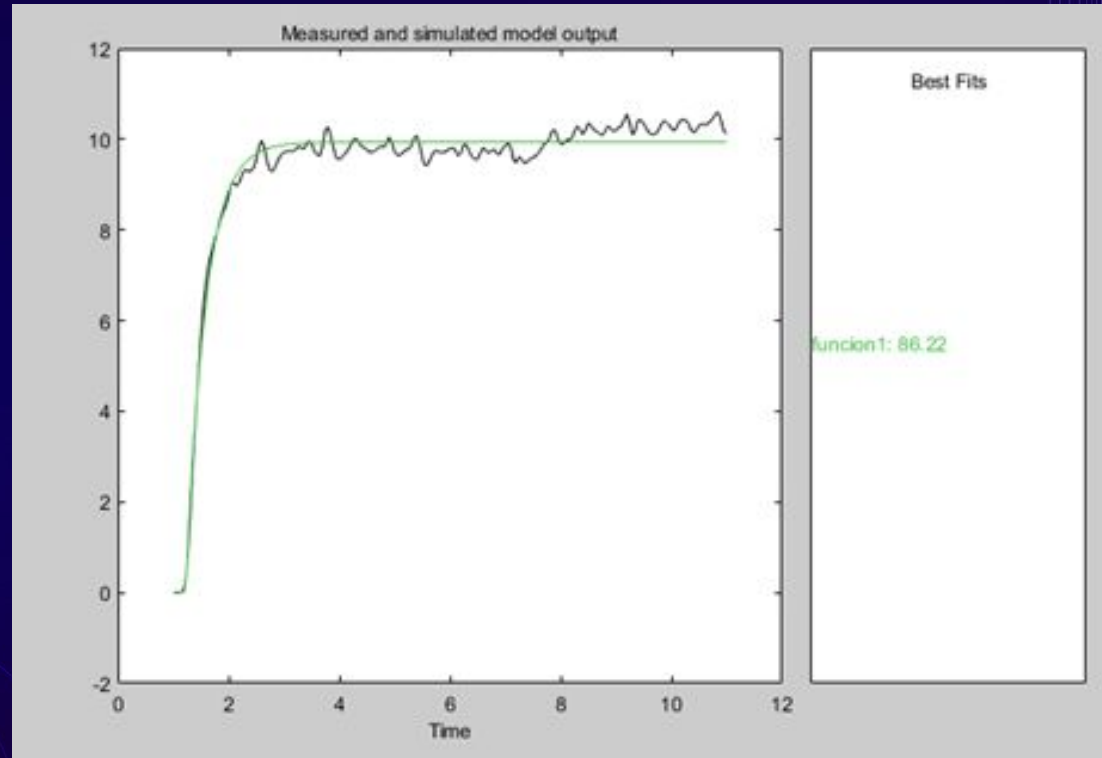
IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN
DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN

$$G(s) = \frac{-0.5856s + 24.85}{0.002562s^2 + 0.35363s + 1} \cdot e^{-0.2s}$$

DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO

IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN
DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN



DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL

MODELADO

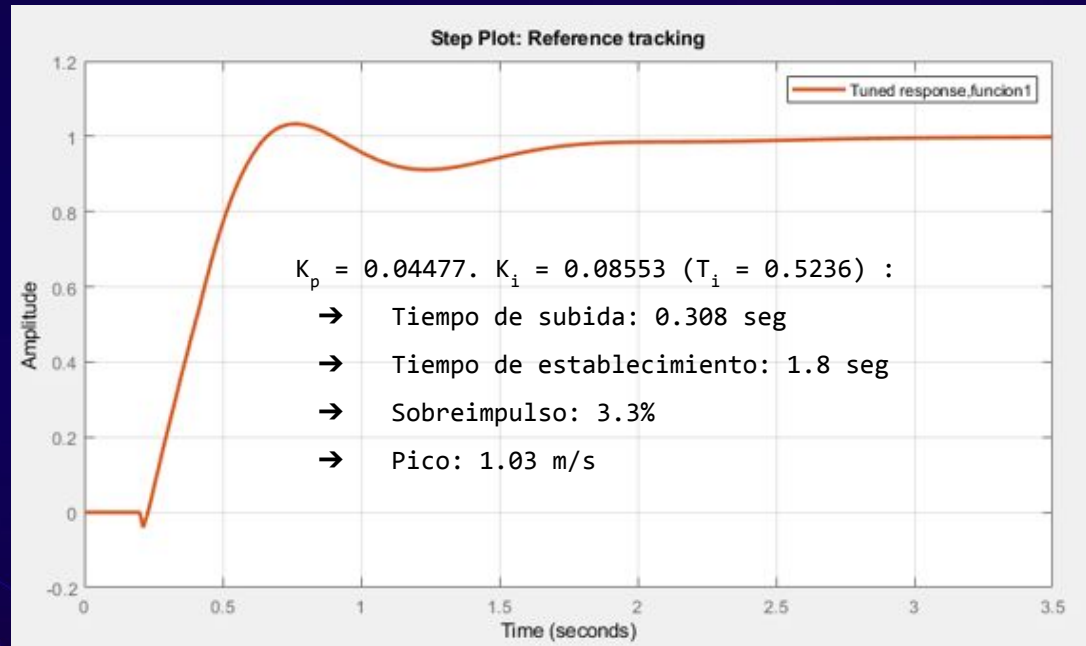
IDENTIFICACIÓN DEL

SISTEMA DE TRACCIÓN

DISEÑO Y SIMULACIÓN

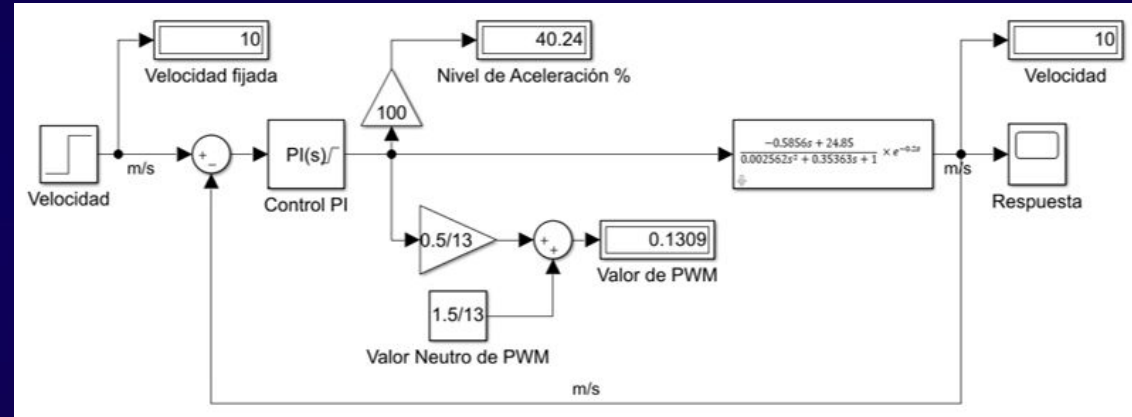
DEL CONTROL

IMPLEMENTACIÓN



DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO
IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN
DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN

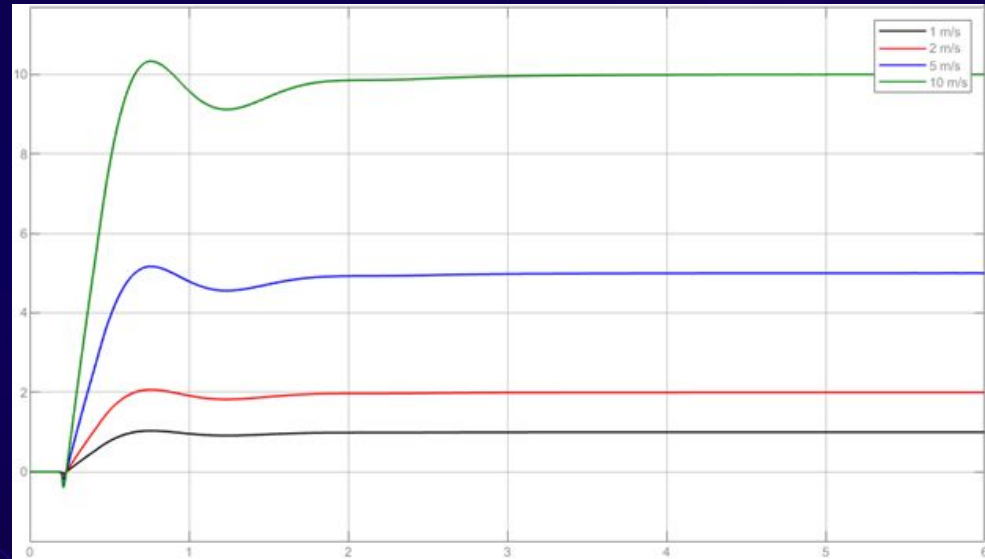


DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO

IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN

DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN



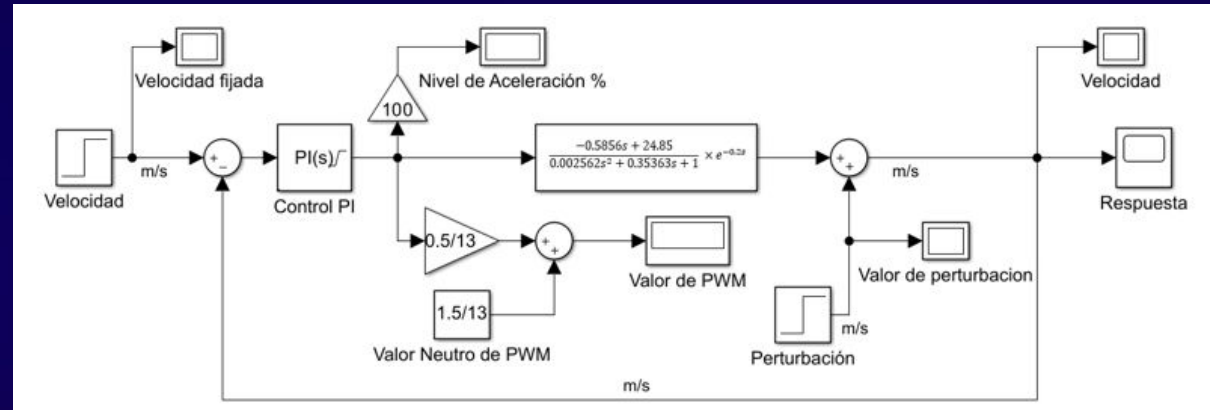
DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO
IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN
DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN

Velocidad	1 m/s	2 m/s	5 m/s	10 m/s
Tiempo de subida t_r	0.3168 s	0.3218 s	0.3070 s	0.2878 s
Tiempo de establecimiento t_s	2.0027 s	2.0208 s	2.014 s	2.0327 s
Sobreimpulso P_o	3.3172 %	3.285 %	3.296 %	3.312 %
Pico P	1.0331 m/s	2.0657 m/s	5.1648 m/s	10.3312 m/s

DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO
IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN
DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN

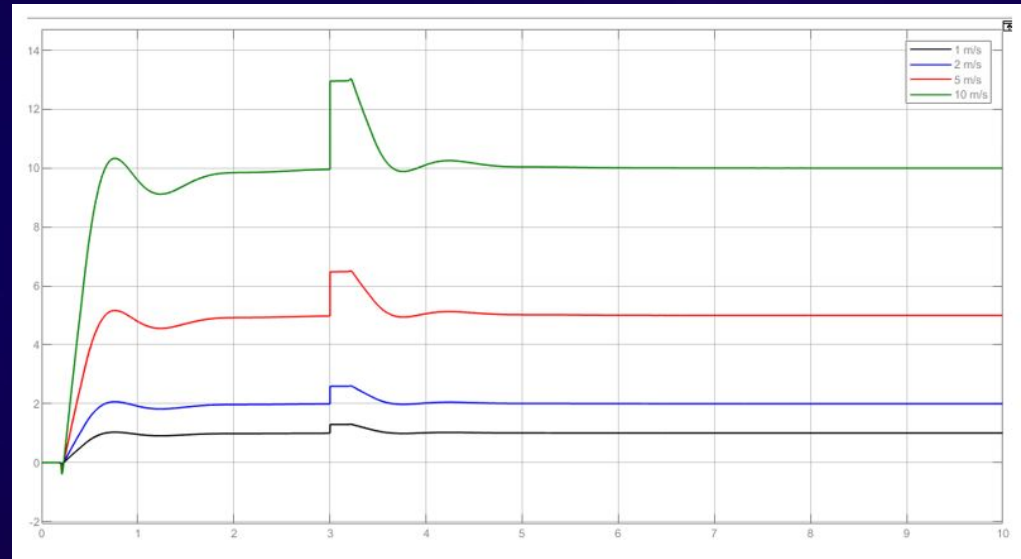


DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO

IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN

DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN

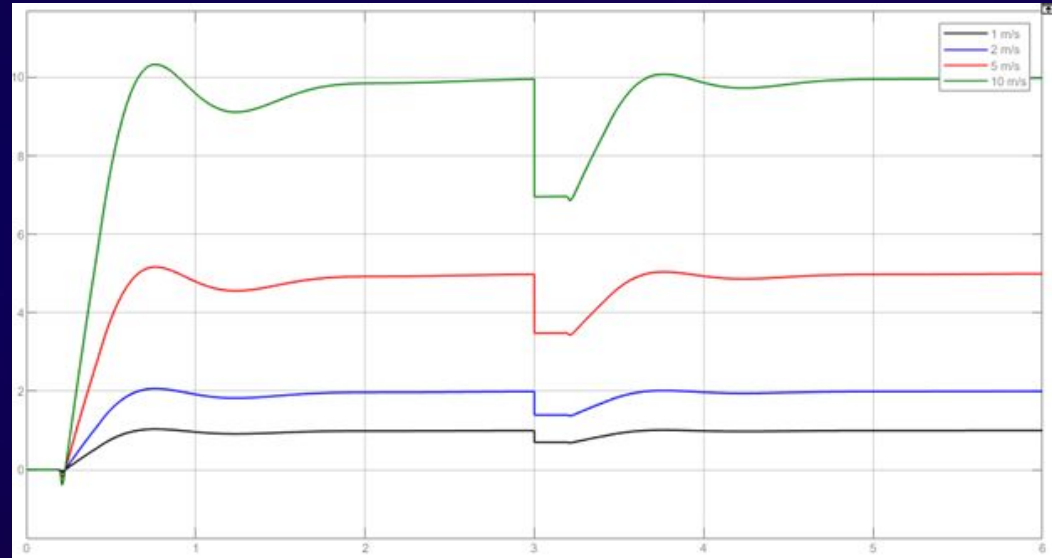


DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO

IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN

DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN



DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO
IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN
DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN

Valor de la perturbación con relación a la velocidad fijada	Tiempo de reacción (Aceleración)	Tiempo de reacción (Desaceleración)
30 %	0.456 s	0.462 s
50 %	0.513 s	0.557 s
80 %	0.653 s	0.582 s

DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO

IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN

DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN

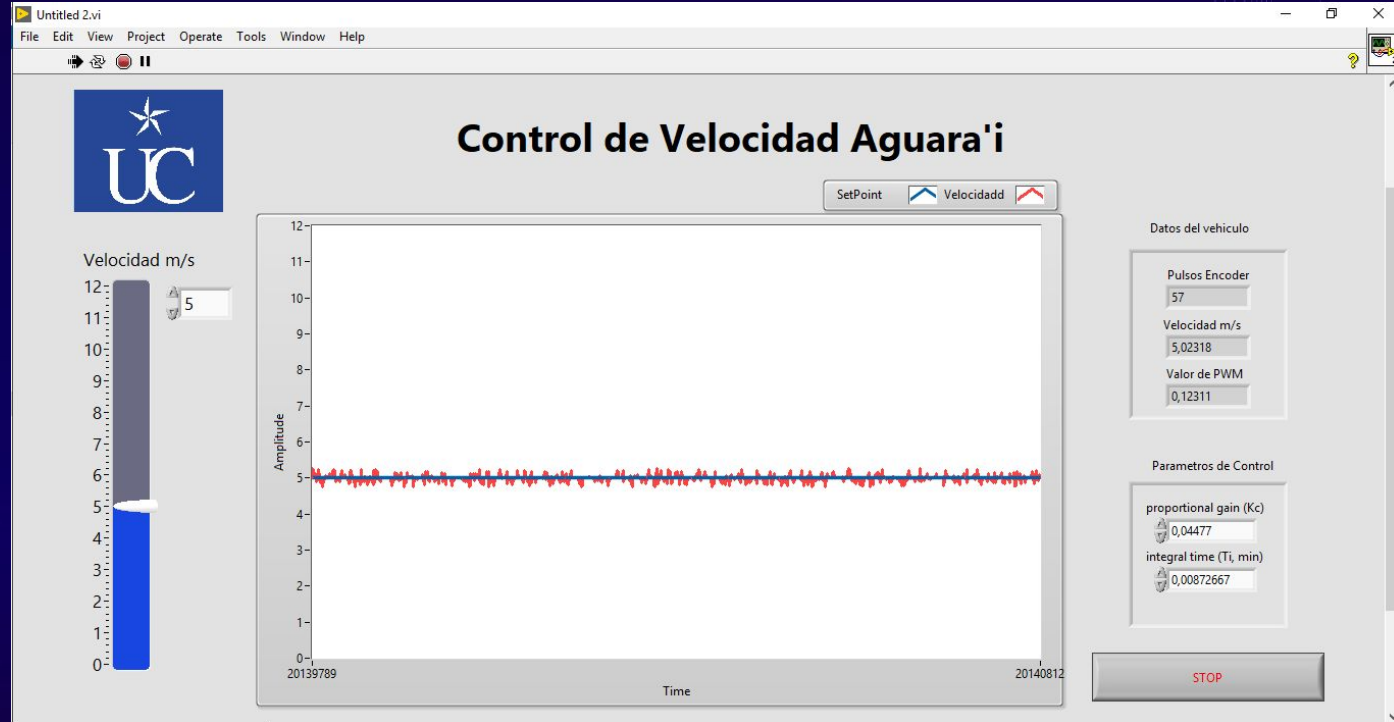


DESARROLLO DEL TRABAJO

OBJETIVO DEL
MODELADO

IDENTIFICACIÓN DEL
SISTEMA DE TRACCIÓN
DISEÑO Y SIMULACIÓN

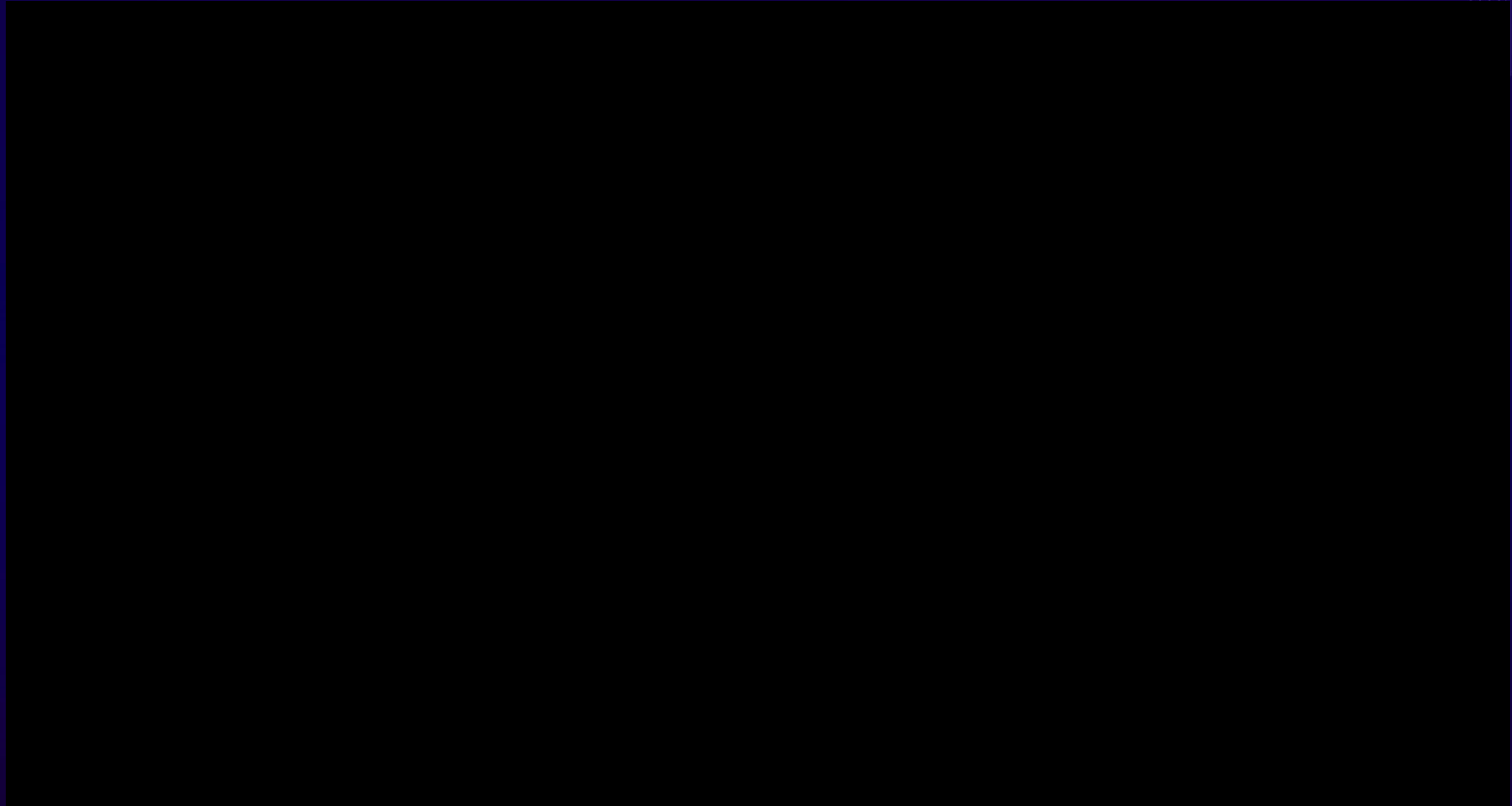
DEL CONTROL
IMPLEMENTACIÓN



CONTENIDO

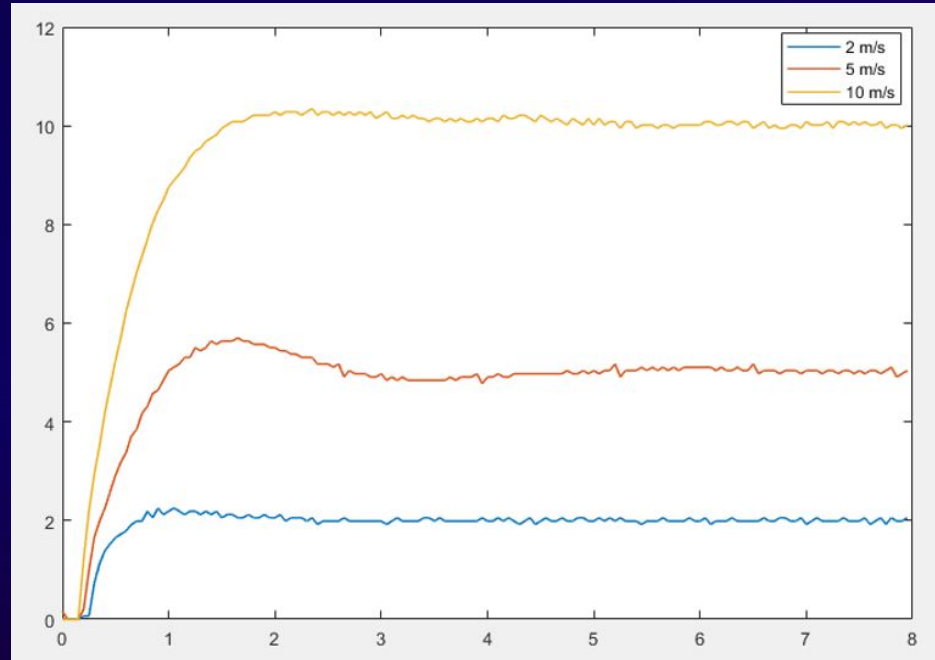
- INTRODUCCIÓN
- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- OBJETIVOS
- METODOLOGÍA
- MARCO TEÓRICO
- DESARROLLO DEL TRABAJO
- **PRUEBAS Y RESULTADOS**
- CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS
- CRÉDITOS Y AGRADECIMIENTOS

PRUEBAS Y RESULTADOS



PRUEBAS Y RESULTADOS

Comportamiento del vehículo a 2, 5 y 10 m/s



PRUEBAS Y RESULTADOS

Comportamiento del vehículo a 2, 5 y 10 m/s

Velocidad	2 m/s	5 m/s	10 m/s
Tiempo de subida t_r	0.3850 s	0.6484 s	0.905 s
Tiempo de establecimiento t_s	2.20172 s	4.050 s	3.1200 s
Sobreimpulso P_o	3.285 %	13.157 %	3.13 %
Pico P	2.0657 m/s	5.703 m/s	10.34 m/s

CONTENIDO

- INTRODUCCIÓN
- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- OBJETIVOS
- METODOLOGÍA
- MARCO TEÓRICO
- DESARROLLO DEL TRABAJO
- PRUEBAS Y RESULTADOS
- CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS
- CRÉDITOS Y AGRADECIMIENTOS

CONCLUSIÓN

- Se consideró obtener el modelo matemático por dos métodos: el modelado tradicional y por el método de “caja negra”
- Se optó por el método de caja negra debido al tiempo de implementación y la dificultad de hallar de forma precisa los parámetros del motor BLDC
- Se despreciaron los efectos del comportamiento dinámico luego de un análisis preliminar
- Las simulaciones con la función de transferencia obtenida arrojaron resultados esperados, incluso ante la presencia de perturbaciones externas
- El software implementado cumple con la función requerida de desplazar el vehículo a la velocidad solicitada y tiene la rapidez suficiente para mantener o variar la velocidad del vehículo

TRABAJOS FUTUROS

- Modelado matemático del vehículo eléctrico a escala “Aguara’i” con todos los subsistemas (ESC, motor BLDC, batería, transmisión y dirección)
- Diseño de control predictivo de velocidad y dirección para un vehículo eléctrico a escala
- Diseño de un control electrónico de velocidad (ESC) para un motor BLDC

CONTENIDO

- INTRODUCCIÓN
- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- OBJETIVOS
- METODOLOGÍA
- MARCO TEÓRICO
- DESARROLLO DEL TRABAJO
- PRUEBAS Y RESULTADOS
- CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS
- CRÉDITOS Y AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

Universidad
Católica
“Nuestra Señora de la Asunción”
Campus Universitario Alto Paraná



PTI
Parque Tecnológico Itaipu

