UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO HIBRIDO A TRAVÉS DE LA DEFINICIÓN DE SU TREN DE POTENCIA Y MODELO MATEMÁTICO

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Automotriz

AUTOR: DIEGO FERNANDO SARANGO CASANOVA

TUTOR: ING.PABLO RENATO FIERRO JIMENEZ, MSc

Guayaquil – Ecuador

2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Diego Fernando Sarango Casanova con documento de identificación N° 0927020768 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 25 de febrero del año 2022

Atentamente,

Diego Fernando Sarango Casanova

0927020768

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Diego Fernando Sarango Casanova con documento de identificación No. 0927020768, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor(a) del Proyecto Técnico: "Caracterización Tecnológica del Vehículo Eléctrico Hibrido a través de la Definición de su Tren de Potencia y Modelo Matemático"**,** el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 25 de febrero del año 2022

Atentamente,

Diego Fernando Sarango Casanova

0927020768

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Pablo Renato Fierro Jiménez con documento de identificación N° 1103588578, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **CARACTERIZACION TECNOLOGICA DEL VEHICULO ELECTRICO HIBRIDO A TRAVES DE LA DEFINICION DE SU TREN DE POTENCIA Y MODELO MATEMATICO**, realizado por Diego Fernando Sarango Casanova con documento de identificación N° 0927020768, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 25 de febrero del año 2022

Atentamente,

Ing. Pablo Renato Fierro Jiménez, MSc

1103588578

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a Dios por otorgarme sabiduría, fortaleza y paciencia para desarrollarme tanto en lo personal como en lo profesional.
Dedico este trabajo a mi familia quienes, con su amor, su apoyo incondicional y fortaleza, me han guiado en el transcurso de mi vida personal y profesional; sin el apoyo de ellos y sus buenos consejos, a pesar de la trayectoria dura no hubiera logrado cumplir esta meta.

Diego Sarango

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por otorgarme la sabiduría necesaria para culminar este trabajo de titulación. A mi familia por su constante apoyo, por nunca perder la fe en mí, por sus consejos y fortaleza sin el apoyo de ellos no hubiera logrado cumplir esta meta que me he propuesto. Al personal docente de la Universidad Politécnica Salesiana que con sus enseñanzas y consejos me orientaron para la realización de este proyecto.
Tengo que ser una mención especial de agradecimiento a la persona que fue mi tutor en el presente proyecto técnico el Ing. Renato Fierro, que con sus acertadas directrices supo orientar para llegar a feliz término.

RESUMEN

En el presente proyecto técnico se desarrolla la caracterización tecnológica del vehículo eléctrico hibrido del laboratorio Blue Drive de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil; para ello se realizó una revisión de investigaciones y publicaciones verificadas de varios autores, en los que estiman la velocidad que desarrolla el tren de potencia, para medir el rendimiento del vehículo; estos estudios se basaron en la adaptación de la arquitectura "Power Slip Hybrid Transmisión" que es una de las configuraciones preestablecidas en el software Matlab/Simulink. La adecuación del modelo matemático se realiza mediante la introducción de datos técnicos, constructivos y funcionales del tren de potencia, posteriormente se ensaya en diferentes velocidades en recorridos urbanos, en condiciones controladas de conducción realizados en la ciudad de Guayaquil, simulando el modelo matemático.

Se construyó un modelo matemático del tren de potencia del HEV en la herramienta computacional de programación y simulación Matlab/Simulink, el que permite investigar el comportamiento del HEV y los elementos que conforman el tren de potencia, con el fin de verificar este modelo matemático a través de los recorridos urbanos realizados en condiciones controladas de conducción para lograr estimar la velocidad que desarrolla el vehículo. Para el desarrollo del modelo matemático se establece una función de transferencia que permitirá conocer el comportamiento en cada componente de la configuración de tren de potencia.

La adquisición de los datos del vehículo se lo obtendrá mediante la comunicación con el OBD-II y un software OBDWIZ, que permitirá visualizar las variables en tiempo real del funcionamiento del tren de potencia del vehículo eléctrico hibrido.

La información que se obtiene en la adquisición de datos en recorridos urbanos y el modelado matemático realizado en Simulink brindará variables de velocidad del vehículo vs tiempo recorrido, con el fin de realizar el método estadístico de pruebas **"t"** y validar las diferencias significativas que existen entre las velocidad real y velocidad teórica, con esto se obtiene el error porcentual del modelamiento cuyo resultado debe ser inferior al 10 por ciento

Palabras claves: HEV, OBD, MCI, MG2, MG1.

ABSTRACT

In the present technical project, the technological characterization of the hybrid electric vehicle of the Blue Drive laboratory of the Salesian Polytechnic University, Guayaquil, is developed; For this, a review of research and verified publications of several authors was carried out, in which they estimate the speed developed by the power train, to measure the performance of the vehicle; These studies were based on the adaptation of the "Power Slip Hybrid Transmission" architecture, which is one of the preset configurations in the Matlab/Simulink software. The adequacy of the mathematical model is carried out by introducing technical, constructive and functional data of the power train, later it is tested at different speeds in urban routes, under controlled driving conditions carried out in the city of Guayaquil, simulating the mathematical model.

A mathematical model of the HEV power train was built in the computer programming and simulation tool Matlab/Simulink, which allows investigating the behavior of the HEV and the elements that make up the power train, in order to verify this mathematical model. through urban routes carried out under controlled driving conditions in order to estimate the speed developed by the vehicle. For the development of the mathematical model, a transfer function is established that will allow knowing the behavior in each component of the power train configuration.

The acquisition of vehicle data will be obtained through communication with the OBD-II and OBDWIZ software, which will allow visualizing the variables in real time of the operation of the power train of the hybrid electric vehicle.

The information obtained in the acquisition of data in urban routes and the mathematical modeling carried out in Simulink will provide variables of vehicle speed vs. travel time, in order to carry out the statistical method of "t" tests and validate the significant differences that exist. between the real speed and theoretical speed, with this the percentage error of the modeling is obtained whose result must be less than 10 percent

Key words: HEV, OBD, MCI, MG2, MG1.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN 1
CAPÍTULO II: CONCEPTUALIZACION DEL VEHICULO HIBRIDO Y SU MODELAMIENTO 4
2.1. Definición Vehículo Hibrido Eléctrico (HEV) 4
2.2. Concepto de hibridación vehicular. 4
2.3. Grado de hibridación. 4
2.3.1. Micro hibrido 4
2.3.2. Hibridación leve o mild hybrid 5
2.3.3. Hibrido puro o completo (full) 5
2.3.4. Hibrido enchufable (plug in – PHEV) 5
2.4. Arquitectura vehículo hibrido 5
2.4.1. Híbrido en serie 6
2.4.2. Híbrido en paralelo 6
2.4.3. Híbrido en serie-paralelo 7
2.5. SIMULACION: 8
2.6. MODELOS MATEMATICOS 8
2.6.1. METODOLOGIA PARA DEFINIR MODELOS MATEMATICOS 9
2.6.2. MODELOS MATEMATICOS DE CADA ELEMENTO DEL TREN DE POTENCIA. 10
2.6.2.1. Modelo del motor de combustión interna: 10
2.6.2.2. Modelo de la batería 12
2.6.2.3. Modelo de la maquina eléctrica 13
2.6.2.4. Modelos de Sistema de Engranes Planetarios 14
2.6.2.5. Modelo de Transmisión y Neumáticos 17
2.6.2.6. ESTRATEGIA DE CONTROL 18
2.6.2.7. MODELADO DINÁMICO DEL VEHÍCULO 19
2.6.2.7.1. RESISTENCIA AERODINAMICA AL AVANCE (Cx) 20
2.6.2.7.1.1. Empuje lateral aerodinámico 22
2.6.2.7.1.2. Sustentación aerodinámica 22
2.6.2.7.1.3. Área frontal 22
2.6.2.7.2. RESISTENCIA AL AVANCE POR RODADURA 23
2.6.2.7.3. RESISTENCIA DE GRAVEDAD 24
CAPÍTULO III: DESARROLLO DE MODELO MATEMATICO. 25
3.1. CONSTRUCCION DEL MODELO MATEMATICO SERIE/PARALELO SIMULINK 27
3.1.1. Simulación de batería de alta tensión (High Voltage) 28
3.1.2. Simulación de convertidor DC-DC (High Voltage) 28

3.1.3. Simulación del Motor Eléctrico. 29
3.1.4. Simulación del Generador Eléctrico 29
3.1.5. Simulación del Motor de Combustión Interna (MCI). 30
3.1.6. Simulación del Transmisión (POWER SLIPT) 31
3.1.7. Simulación de la Dinámica del vehículo (POWER SLIPT). 31
3.1.7.1. Cálculo de centro de gravedad. 33
3.1.7.2. Radio Dinámico 205/55R16 34
3.1.8. Modelo matemático del tren de potencia en Simulink 35
3.2. Adquisición de datos de la ECU 36
3.2.1. OBD WIZ 36
3.2.2. OBDLINK-MX 36
3.2.3. Determinación de recorrido urbano. 37
3.2.4. Variables usadas para la comparación con el modelo matemático HEV 37
3.2.4.1. Velocidad del vehículo (MPH) 37
3.2.4.2. Tiempo de recorrido. 38
3.3. Método de Análisis de datos 38
3.3.1. Prueba “t” Student para dos muestras independientes 38
CAPÍTULO IV. RESULTADOS 40
4.1. Resultado de la dinámica del vehículo. 40
4.2. Gráficas de velocidad con respecto al tiempo en Matlab 41
4.3. Resultados de Prueba “t” Student para dos muestras independientes suponiendo varianzas iguales 43
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN 45
5.1. Gráficas de velocidades en Matlab 45
5.2. Prueba “t” Student para dos muestras independientes con varianzas desconocidas suponiendo que estas son iguales 47
5.3. Descripción de la caracterización tecnológica del HEV 50
CONCLUSIONES 51
RECOMENDACIONES 52
REFERENCIAS 53
ANEXO 57
ANEXO I. FICHA TECNICA 57
ANEXO II. Códigos en Matlab 59
ANEXO III. VELOCIDAD REAL DE 40 KM/H 61
ANEXO IV. VELOCIDAD REAL DE 60 KM/H 62
ANEXO V. VELOCIDAD REAL DE 80 KM/H 63

ANEXO VI. VELOCIDAD TEORICO DE 40 KM/H..... 64
ANEXO VII. VELOCIDAD TEORICO DE 60 KM/H 69
ANEXO VIII. VELOCIDAD TEORICO DE 80 KM/H 74
ANEXO IX. PRUEBA T PARA DOS MUESTRAS INDEPENDIENTE CON VELOCIDAD DE 40 KM/H 79
ANEXO X. PRUEBA T PARA DOS MUESTRAS INDEPENDIENTE CON VELOCIDAD DE 60 KM/H 80
ANEXO XI. PRUEBA T PARA DOS MUESTRAS INDEPENDIENTE CON VELOCIDAD DE 80 KM/H 81
ANEXO XII. TABLA T-STUDENT 82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Configuración de tren de potencia Serie. 6
Figura 2: Configuración de tren de potencia Paralelo 7
Figura 3: Configuración de tren de potencia Serie/Paralelo. 7
Figura 4: Simulación de tren de potencia en Simulink. 9
Figura 5: Modelo de motor de combustión interna en Simulink. 12
Figura 6: Modelo de motor eléctrico. 14
Figura 7: Sistema de engranes planetarios. 15
Figura 8: Sistema de engranes planetarios. 16
Figura 9: Modelo de sistemas de engranajes planetario. 16
Figura 10: Modelo de transmisión y neumáticos. 17
Figura 11: Bloque de estrategia de control. 19
Figura 12: Fuerzas y momentos que actúan sobre un vehículo. 20
Figura 13: Fuerzas de resistencia aerodinámica. 20
Figura 14: Área frontal de un vehículo. 23
Figura 15: Área frontal de un vehículo. 23
Figura 16: Fuerza de resistencia rodadura. 24
Figura 17: Fuerza de resistencia gravedad. 24
Figura 18: Simulación de tren de potencia en Simulink. 28
Figura 19: Convertidor DC-DC. 29
Figura 20: Modelo del motor eléctrico. 29
Figura 21: Modelo del generado eléctrico. 30
Figura 22: Modelo de combustión interna (MCI). 30
Figura 23: Modelo de la transmisión. 31
Figura 24: Modelo de la dinámica del vehículo. 32
Figura 25: Centro de gravedad del vehículo 33
Figura 26: Simulación de tren de potencia en Simulink. 35
Figura 27: OBDLINK MX. 37
Figura 28: Prueba bilateral. 39
Figura 29: Velocidad de 40 Km/h en tiempo real vs tiempo teórico. 41
Figura 30: Velocidad de 60 Km/h en tiempo real vs tiempo teórico. 42
Figura 31: Velocidad de 80 Km/h en tiempo real vs tiempo teórico. 42
Figura 32: Velocidad constante de 40 km/ h tiempo real vs velocidad en tiempo teórico. 46

Figura 33: Velocidad constante de 60 km/ h tiempo real vs velocidad en tiempo teórico. 46
Figura 34: Velocidad constante de 80 km/ h tiempo real vs velocidad en tiempo teórico. 47
Figura 35: Prueba “t” para muestra independientes de la velocidad constante de 40 km/h. 48
Figura 36: Prueba “t” para muestra independientes de la velocidad constante de 60 km/h. 49
Figura 37: Prueba “t” para muestra independientes de la velocidad constante de 80 km/h. 49

ÍNDICE DE TABLAS

Table 1: Velocidad del motor de combustión interna 12
Table 2: Factores que afectan a Cx 21
Tabla 3. Parámetros de la batería Ni-MH 28
Tabla 4. Parámetros del motor eléctrico 29
Tabla 5. Parámetros del motor de combustión interna (ICE) 30
Tabla 6. Parámetros de Transmisión (Power Slipt) 31
Tabla 7. Parámetros de Dinámica del vehículo. 32
Tabla 8. Coeficientes de adhesión para diferentes condiciones del asfalto 33
Tabla 9. Dinámica del vehículo 41
Tabla 10. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales sobre la velocidad de 40 km/h 43
Tabla 11. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales sobre la velocidad de 60 km/h 44
Tabla 12. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales sobre la velocidad de 80 km/h 44

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el cambio climático altera las condiciones meteorológicas generales de la Tierra en su conjunto, este cambio continuo se debe a que, a lo largo de los años producto de la intensificación del efecto invernadero se produce el calentamiento global atmosférico (Chamorro Aguado, 2013). La razón es que las concentraciones atmosféricas de ciertos gases han aumentado, principalmente por la actividad humana, lo que ha permitido que nuestro planeta tierra retenga más energía solar y provoque cambios importantes en el ambiente. Para hablar de emisiones del transporte, se debe distinguir entre las emisiones que contribuyen al cambio climático y las emisiones que afectan directamente a la salud humana, es decir emisiones de gases que afectan la calidad del aire. Como las emisiones de dióxido de carbono, que incluye gases y diversas partículas, como óxidos de nitrógeno (NOX), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV) y partículas (PM) (Chamorro Aguado, 2013). Los sistemas tradicionales de producción de energía utilizados en los vehículos autopropulsados durante décadas provienen de los derivados de combustibles fósiles, pero en los últimos años se ha iniciado un mayor enfoque en el ahorro de combustible para realizar una mejor protección del medio ambiente, esto ha originado la búsqueda de nuevas fuentes de energía que nos sirvan para impulsar sistemas de propulsión alternativos amigables con el medio ambiente. Esto nos lleva a la investigación y desarrollo de vehículos eléctricos híbridos de propulsión a base de hidrogeno cuyo principal objetivo es reducir las emisiones de gases contaminantes y el consumo de combustibles fósiles.(Chele, 2017)

En el ámbito nacional, hay entidades públicas y privadas que trabajan en conjunto para evitar la contaminación ambiental realizando planes y programas sobre la descarbonización y la sostenibilidad del transporte terrestre en el Ecuador, esto permitirá reducir hasta un 9% de las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector de energía a 2025, con esta información el gobierno nacional y gobiernos locales deben coordinar e implementar programas y acciones relacionadas con el transporte eléctrico (Estrategia Nacional de Electromovilidad Para Ecuador, 2021). Uno de los beneficios que se tiene con la adopción de la electromovilidad es de mejorar las condiciones del mercado por medio de la exención de aranceles IVA, además de reducciones en otros impuestos para los vehículos eléctricos, las baterías y los cargadores. En Guayaquil, la normativa reformatoria a la “Ordenanza de Estímulo a la Transportación Eléctrica” tiene como objetivo de establecer las directrices, reglamentación y normas de aplicación

(“ORDENANZA DE ESTIMULO A LA TRANSPORTACIÓN ELÉCTRICA,” 2018). La ordenanza referida establece. La colocación de espacios exclusivos para el suministro de electricidad en estaciones de servicios y estacionamientos de locales comerciales, universidades, edificios y urbanizaciones (*VARUS - Nueva Ordenanza Para El Transporte Eléctrico En Guayaquil*, n.d.). El acatamiento de la disposición otorga, legalmente hasta un 25% de bonificación en impuestos, tasas y aportes de mejoras municipales en el caso de estacionamientos no residenciales. Además, la resolución del cabildo propone incentivos monetarios directos para alentar a los operadores de transporte público privado a adoptar unidades eléctricas en sus flotas (*VARUS - Nueva Ordenanza Para El Transporte Eléctrico En Guayaquil*, n.d.).

La importancia de este medio de transporte se enfoca en realizar una caracterización tecnológica del vehículo eléctrico hibrido del laboratorio Blue Drive de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, a través de la definición de su tren de potencia y su modelo matemático. En la actualidad existen diferentes modelos matemáticos que permitirá interpretar las arquitecturas hibridas por medio del programa Simulink para conocer el comportamiento del vehículo en ciclos de conducción. Estos modelos matemáticos son de difícil interpretación para los estudiantes y profesionales, por lo que existe la necesidad de mejorar estos modelos para que sean fácilmente interpretable y sin conocimiento previo se pueda simular el comportamiento del vehículo eléctrico hibrido. Como la realización de un modelo matemático representa un modelo simbólico que consiste, en la configuración del tren de potencia que se integra por: El comando de velocidad, estrategia de control y la dinámica del vehículo. En cada bloque operacional se implementa una operación matemática (simple o compleja) que permita manipular numéricamente para obtener soluciones del comportamiento del sistema, para eso se cuenta con variables de entrada, variables de salida y parámetros internos ajustables. El desarrollo de la simulación se realizó con el programa SIMULINK, que permite a los usuarios realizar la simulación de sistemas dinámicos y accede a modelizar un sistema en diagramas de bloques que son manejables dinámicamente.

Con el presente trabajo de titulación se busca realizar la caracterización tecnológica de un vehículo eléctrico hibrido a través de la definición de su tren de potencia y modelo matemático. Para ello se realiza una investigación literaria sobre las tecnologías de la configuración del tren de potencia del vehículo eléctrico hibrido. Posteriormente se analiza metodologías de modelos matemáticos de cada elemento del tren de potencia, para

desarrollar el modelo matemático del tren de potencia mediante la programación Simulink, con el fin de simular el comportamiento del vehículo. Finalmente, se valida los resultados obtenidos del programa Simulink realizando pruebas en recorridos urbanos para determina el error del modelamiento.

CAPÍTULO II: CONCEPTUALIZACION DEL VEHICULO HIBRIDO Y SU MODELAMIENTO

En esta sección, se revisará toda la literatura necesaria sobre las tecnologías, componentes del tren de potencia, arquitecturas hibridas y metodologías sobre modelo matemático para la aplicación en el vehículo eléctrico hibrido del laboratorio Blue Drive de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

2.1. Definición Vehículo Hibrido Eléctrico (HEV)

El concepto de un vehículo hibrido eléctrico según el International Organization for Standardization (ISO) es “aquel vehículo con un sistema de almacenamiento de energía recargable (sistema que almacena energía para el suministro de energía eléctrica y que es recargable) y una fuente de energía alimentada con combustible para propulsión”. Según la Society American Engineers (SAE) es “aquel vehículo con dos o más sistemas de almacenamiento de energía los cuales deben proporcionar potencia al sistema propulsor bien juntos o de modo independiente”. Según las Naciones Unidas es “aquel vehículo híbrido con un sistema de propulsión que contiene máquinas eléctricas como convertidores de energía”.

2.2. Concepto de hibridación vehicular.

La hibridación de un vehículo se puede ver desde dos perspectivas, ambas comparten como principio básico la existencia de sistemas eléctricos y térmicos, se complementarán para provocar el movimiento del vehículo, y serán diferentes porque en una solo tendrá el motor eléctrico encargado de proporcionar tracción al vehículo, por otro lado, el motor eléctrico y el motor térmico trabajan juntos para propulsar el vehículo (Susana Alegre Buj, n.d.) .

2.3. Grado de hibridación.

Según el grado de hibridación, se clasifican como vehículos híbridos: Micro o hibrido suave, Hibridación leve o (mild hybrid), hibrido puro o completo (full) e hibrido enchufable (plug in PHEV).

2.3.1. Micro hibrido

El Micro HEV es un vehículo que utiliza tecnología de Start / Stop. La tecnología Start / Stop es donde el vehículo apaga automáticamente al motor mientras está en ralentí, luego

se reinicia cuando el conductor suelta el pedal del freno. Aunque en este sistema el automóvil solo funciona con un motor de combustión interna (Center for Advance Automotive Technology, 2018) (Nanaki, 2021).

2.3.2. Hibridación leve o mild hybrid

El Mild Hybrid es un vehículo que utiliza el motor de combustión interna como propulsión principal, pero está asociado con un motor eléctrico que lo asiste en ciertas condiciones. El motor eléctrico, junto con el frenado regenerativo, suministra energía a la batería, que es un acumulador de energía, alimentándola al motor térmico cuando es necesario. Esta batería no se puede conectar a una fuente de alimentación. Si el conductor incrementa la demanda de energía, el motor eléctrico se activará, proporcionando más potencia al motor térmico (Plaza, 2021) (Nanaki, 2021).

2.3.3. Hibrido puro o completo (full)

Un HEV completo, el motor eléctrico, el alternador y las baterías son mucho más grandes que los micro HEV y los mild HEV. Por lo tanto, dependiendo de las necesidades energéticas del vehículo, el motor térmico es generalmente más pequeño, puede propulsar exclusivamente fuera del motor eléctrico que utiliza como única fuente de energía y requieren un sistema de control más sofisticado para optimizar la eficiencia. (Nanaki, E. A, 2021) (Center for Advance Automotive Technology, 2018).

2.3.4. Hibrido enchufable (plug in – PHEV)

Un PHEV es esencialmente la misma configuración que un HEV completo, pero utiliza un motor térmico más reducido y componentes eléctricos más grandes, como el motor eléctrico, alternador y batería capaz de cargar la red eléctrica externa enchufe de carga. Los PHEVs son capaces de funcionar con energía eléctrica durante largos períodos prolongados (60 millas) hasta que el motor térmico debe arrancar. (Nanaki, E. A, 2021) (Center for Advance Automotive Technology, 2018).

2.4. Arquitectura vehículo hibrido

La arquitectura del vehículo híbrido se refiere entonces a la interconexión de subsistemas del vehículo en una configuración específica para utilizar sus recursos energéticos para lograr su movimiento. Según al tipo de arquitectural, los vehículos híbridos se clasifican

en: híbrido en serie, híbrido en paralelo, híbrido en serie/paralelo. (Maldonado et al., 2018)(Gorbea et al., 2008)

2.4.1. Híbrido en serie

La configuración en serie está compuesta por motor térmico, generador, convertidor de potencia, motor eléctrico y batería como se muestra en la Figura 1. El motor térmico no tiene conexión mecánica directa a la transmisión. Por lo tanto, el motor térmico solo se usa para generar la energía eléctrica que recargue las baterías de alta tensión y luego es consumida por el motor eléctrico. La serie HEV se puede describir como propulsada principalmente por un motor eléctrico y, en segundo lugar, por un motor térmico (ICE). (Nanaki, 2021)(Capellan, 2017)

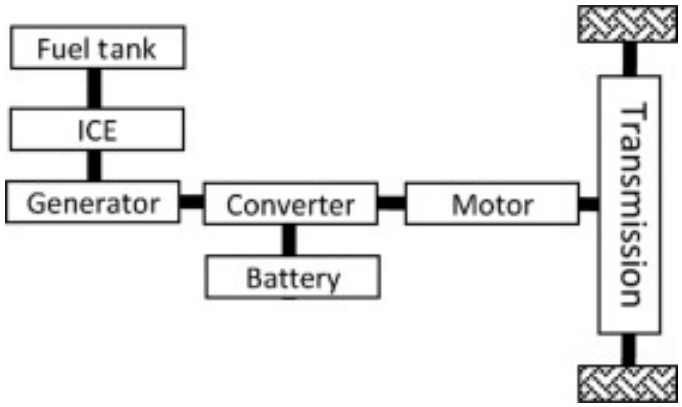


Figura 1: Configuración de tren de potencia Serie. Fuente: (Nanaki, 2021)

2.4.2. Híbrido en paralelo

La configuración en paralelo permite que tanto el motor eléctrico como el motor térmico suministren energía en paralelo para impulsar el vehículo, es decir, el motor térmico y el motor eléctrico pueden funcionar de forma independiente o en conjunto para garantizar la tracción como se muestra en la Figura 2. El motor térmico está unido mecánicamente a las ruedas mediante a través de la transmisión, mientras que el motor eléctrico se utiliza para ayudar al motor térmico durante la aceleración. Dependiendo de la potencia del motor térmico, también se puede usar como la única fuente de energía del vehículo al ralentí y al arrancar. Los motores utilizados en configuraciones HEV en paralelo suelen ser más grandes, mientras que los motores eléctricos son relativamente más pequeños y menos potentes. (Nanaki, 2021)(Capellan, 2017)

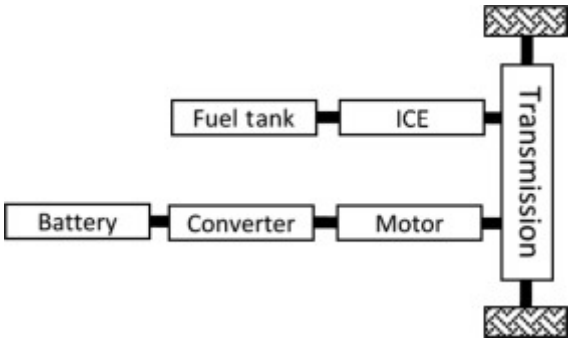


Figura 2: Configuración de tren de potencia Paralelo. *Fuente:* (Nanaki, 2021)

2.4.3. Híbrido en serie-paralelo

La configuración en serie/paralelo combina las funciones en serie y paralelo agregando una conexión adicional mecánica y de alternador entre el motor térmico y el convertidor/ inversor en la configuración en paralelo como se muestra en la Figura 3. La configuración Series-Paralelo pueden separar completamente el motor térmico del vehículo, lo que permite que el vehículo funcione solo mediante el uso de los motores eléctricos (Liu & Peng, 2008). También proporciona la capacidad de operar el motor térmico en la región de máxima eficiencia debido a la flexibilidad del par y la velocidad de salida del motor térmico. Estas ventajas se compensan parcialmente cuando se tiene en cuenta la pérdida de energía al convertir la energía mecánica en energía eléctrica. (Nanaki, 2021)

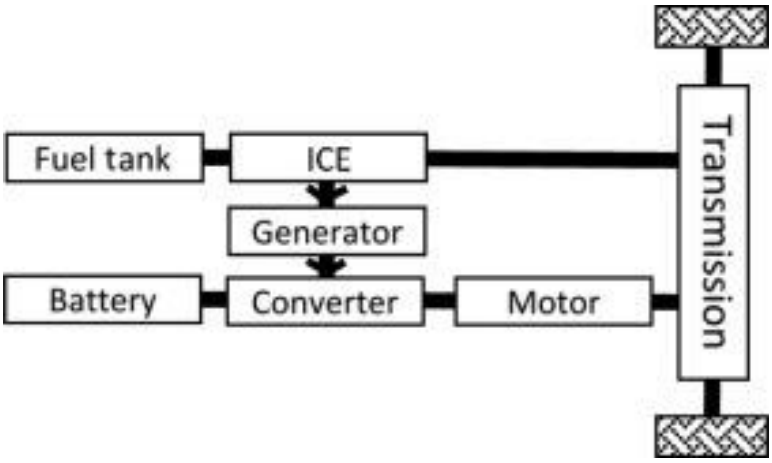


Figura 3: Configuración de tren de potencia Serie/Paralelo. Fuente: (Nanaki, 2021)

El vehículo eléctrico hibrido del laboratorio Blue Drive de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil posee la configuración serie/paralelo asignada por el fabricante Toyota en el modelo Corolla Hybrid.

2.5. SIMULACION:

Simular proviene de la palabra latina “simulare”, cuyo significado es fingir (Devendra K. Chaturvedi, 2010) . La simulación es la aplicación de un modelo con el objetivo de derivar estrategias que ayuden a resolver un problema o responder una pregunta relacionada con un sistema. (Velten, K, 2008). Otro autor lo define como “La simulación implica un proceso de abstracción para que, de la realidad compleja se deduzca un sistema el cual pueda ser operativo al conformar un modelo de éste” (Rodriguez, 1991). Otro autor afirma como “La simulación lo definen como el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y realizar experimentos con este modelo con el propósito de comprender el comportamiento del sistema y/o evaluar varias estrategias para el funcionamiento del sistema”(Shannon, 1998).

La simulación es una herramienta de investigación de operación que puede utilizar para aprovechar al máximo sus sistemas en particular (Devendra K. Chaturvedi, 2010). Los beneficios de la simulación son los siguientes:

- La simulación permite estudiar condiciones que son difíciles o costosas de lograr experimentalmente (Santafe & Gozalvez, 2016).
- Permite explorar distintas posibilidades con gran rapidez, pudiendo realizar análisis a diferente escala temporal (Santafe & Gozalvez, 2016).
- La simulación nos permite controlar el tiempo. Así podemos operar el sistema durante varios meses o años de experiencia en cuestión de segundos permitiéndonos mirar rápidamente horizontes de tiempo largos o podemos ralentizar fenómenos para su estudio (Shannon, 1998)
- Nos permite obtener información sobre cómo funciona realmente un sistema modelado y comprender qué variables son más importantes para el rendimiento (Shannon, 1998).
- Las simulaciones proporcionan una gran perspectiva del rendimiento. Mejora la productividad general del sistema mediante la identificación de problemas como el exceso de capacidad y la falta de espacio (Devendra K. Chaturvedi, 2010).

2.6. MODELOS MATEMATICOS

El modelado de sistemas es un proceso en el que se visualizan y extraen las características y el comportamiento de un sistema. El modelo resultante puede ser un objeto físico, una visualización o un modelo matemático. En el caso de los sistemas físicos, los

componentes del sistema y sus interacciones se describen mediante modelos matemáticos. Un modelo matemático es una descripción matemática de las propiedades e interacciones de un sistema. El desarrollo de un modelo matemático depende de los límites del sistema, sus componentes y sus interacciones. (Devendra K. Chaturvedi, 2010)

2.6.1. METODOLOGIA PARA DEFINIR MODELOS MATEMATICOS.

La aplicación de la simulación a diferentes tipos de sistemas junto con los diferentes tipos de estudios que se pueden realizar conduce a un gran número de diferencias en la forma en que se realiza un estudio de simulación. Sin embargo, en el flujograma que se muestra en la Figura 4 se identifica el proceso que debe llevar a cabo para realizar una metodología del estudio de simulación. (Chamorro Aguado, 2013)

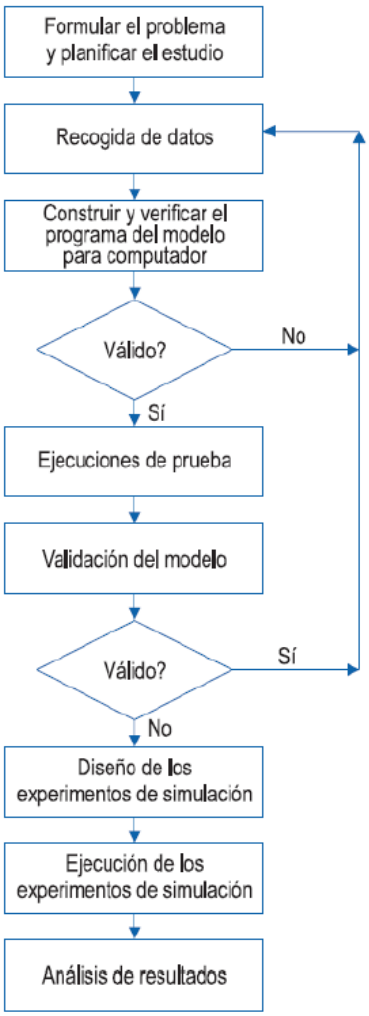


Figura 4: Simulación de tren de potencia en Simulink. Fuente: (Chamorro Aguado, 2013)

2.6.2. MODELOS MATEMATICOS DE CADA ELEMENTO DEL TREN DE POTENCIA.

2.6.2.1. Modelo del motor de combustión interna:

Uno de los artículos de los cuales se está basando este estudio es de (Becerra & Alvarez-Icaza, 2011). El enfoque de la estrategia se basa en satisfacer las restricciones dinámicas y cinemáticas del sistema de engranes planetarios. Este modelo está tomado de (Outbib et al., 2002). Suponiendo que el aire que ingresa al múltiple de admisión sigue la ley de los gases ideales, la temperatura del múltiple de admisión varía lentamente con respecto a la presión y la velocidad del motor.

Como vemos en la Ecuación 1 el modelo es descrito por:

$$\frac{dw_{mci}}{dt} = \frac{h_1}{w_{mci}}\dot{m}_f + h_2 p_a + \frac{h_3}{w_{mci}}P_b + \frac{h_4}{\dot{m}_f}$$

$$\frac{dp_a}{dt} = h_5\dot{m}_{ai} - h_6 w_{mci} p_a \qquad (1)$$

donde

$w_{mci} =$ Es la velocidad del motor.

$\dot{m}_f =$ El flujo de combustible que entra a la cámara de combustión y es usado como control.

$p_a =$ Es la presión en el múltiple de admisión;

$\dot{m}_{ai} =$ El flujo de masa de aire que entra al múltiple

$P_b =$ La potencia total de carga.

Los términos h_j son constantes determinados a partir del modelo de (Outbib et al., 2002).

(Becerra et al., 2013) propone una estrategia óptima para la administración del flujo de potencia en vehículos eléctricos híbridos (VEH) basada en el principio del mínimo de Pontryagin (PMP) establece la distribución de la potencia entre la maquina eléctrica (ME) y el motor de combustión interna (MCI) con el objetivo de cubrir la demanda de potencia del usuario, ahorrar combustible y preservar el estado de carga de las baterías. La estrategia utiliza una configuración paralela para el HEV con un sistema de engranes planetarios como medio para acoplar fuentes de energía. El propósito de este trabajo es comparar la estrategia óptima con otra estrategia denominada SEP (Becerra et al., 2012),

la cual es menos intensiva computacionalmente que las estrategias basadas en PMP y mostrar que esta última corresponde a la estrategia de solución óptima para una elección adecuada. de sus factores de ponderación. Ambas estrategias fueron simuladas en MATLAB SIMULINK para el mismo ciclo de conducción y los mismos elementos dinámicos, encontrando equivalencia entre las dos estrategias.(Becerra et al., 2013)

El modelo MCI es tomado de (Outbib et al., 2002), el cual considera la eficienciaη_{mci}, la potencia de entrada P_{ent} y la potencia de salida P_{out} (Becerra et al., 2013). Este último depende principalmente del par y la velocidad a la que opera el MCI.

Como vemos en la Ecuación 2 del modelo son:

$$\eta_{mci} = \frac{P_{ent}}{P_{mci}} = \frac{\dot{m}_{fmci} p_{th}}{T_{mci} w_{mci}}$$

$$\dot{m}_{fmci} = \frac{\eta_{mci} P_{mci}}{p_{th}}$$

$$\frac{dw_{mci}}{dt} = c_1 \frac{\dot{m}_f}{w_{mci}} + c_2 p_a + c_3 \frac{{p_a}^2 w_{mci}}{\dot{m}_f} P_b - c_4 \frac{1}{w_{mci}} (P_b) \qquad (2)$$

donde,

$\dot{m}_{fmci} =$ El flujo de combustible

$p_{th} =$ El poder calórico del combustible (43,000)

$T_{mci} =$ El par

$w_{mci} =$ La velocidad

$c_1 =$ Son constantes descritas en (Outbib et al., 2002)

$p_a =$ Es la presión en el múltiple de admisión

$P_b =$ Es la potencia de carga del MCI respectivamente.

En esta investigación, el motor está diseñado como una fuente de par, con una salida variable debido a la velocidad del motor. La velocidad del motor se establece mediante la función MATLAB. Esta función establece la velocidad máxima y mínima posible del motor. El valor de la velocidad mínima se considera cuando el vehículo está frenando y el valor máximo se calcula durante la aceleración. Los valores de la velocidad máxima y mínima del generador y la relación de transmisión del conjunto planetario son parámetros

a la hora de calcular la velocidad del motor. La otra parte del engranaje planetario es el eje de transmisión, que es proporcional a la velocidad real del vehículo y, por lo tanto, sirve como valor final de la velocidad del motor. El valor de velocidad calculado se utiliza como entrada, por lo que la salida es el par del motor a esa velocidad. (Can GÖKÇE, 2005)

Como se muestra en la tabla 2 las diferentes velocidades con sus respectivas revoluciones.

Table 1: Velocidad del motor de combustión interna

Vehicle Speed in Acc. (km/h)	Max. ICE speed (rpm)	Vehicle Speed in Dec. (km/h)	Min. ICE speed (rpm)
0-12	1600	0-89	1250
12-31	2000	89-100	1550
31-50	2500	100-110	1810
50-69	3000	110-120	2100
69-87	3500	120-130	2350
87-150	4000	130-140	2610

Fuente:(Can GÖKÇE, 2005)

Como se muestra en la Figura 5 el modelo matemático del motor de combustión.

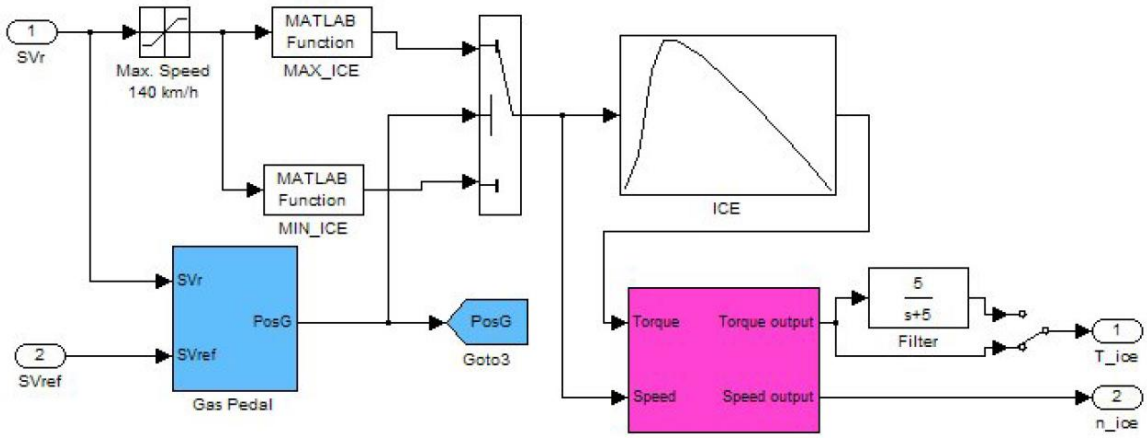


Figura 5: Modelo de motor de combustión interna en Simulink. Fuente: (Can GÖKÇE B. S,2005)

2.6.2.2. Modelo de la batería

En los VEH, la batería es usada como fuente de almacenamiento de energía para ayudar a economizar combustible y reducir las emisiones. El estado de carga de la batería (soc) se define como la proporción de almacenamiento de energía, que sería análoga a la cantidad de combustible en el tanque.

De (Pang et al., 2001) como vemos en la Ecuación 3 el SOC se obtiene de la expresión.

$$soc(t) = \frac{Q_0 - \int_{t_0}^{t} I_b(\tau)d\tau}{Q_t} * 100$$

$$soc(t) = -\frac{P_b}{V_b Q_t} \qquad (3)$$

donde

$I_b =$ Es la corriente de carga o descarga;

$\int_{t_0}^{t} I_b(\tau)d\tau =$ La carga entregada a la batería;

$Q_t =$ La carga que puede almacenar

$P_b =$ La potencia

$V_b =$ El voltaje

$Q_0 =$ La carga inicial en la batería.

$Q_t =$ El total de carga que puede almacenar la batería.

Como vemos en las ecuaciones dinámicas 4 que describen el modelo de la descarga y recarga son:

$$\dot{V}_p = -V_p \frac{1}{R_d C} + V_o \frac{1}{R_d C} - I_b \frac{1}{C}, \quad si \;\; V_p \leq V_o$$

$$\dot{V}_p = -V_p \frac{1}{R_c C} + V_o \frac{1}{R_c C} - I_b \frac{1}{C}, \quad si \;\; V_p > V_o \qquad (4)$$

2.6.2.3. Modelo de la maquina eléctrica.

Él ME es un motor de inducción que funciona como motor o generador. Cuando funciona como motor, extrae energía de la batería y genera par para impulsar el sistema, posiblemente en combinación con el MCI. Funciona como generador, logra recuperar la energía cinética en frenada regenerativa o extraer energía del MCI para cargar la batería. (Becerra & Alvarez-Icaza, 2011)

Como vemos en la Ecuación 5 el modelo de la ME fue tomado de (Peresada et al., 2004). Ahora solo nos importa la relación entre la potencia de la batería P_{bat} y la potencia de salida mecánica PME, dada por

$$P_{me} = \eta_{bm}(T_{me}, w_{me}) P_{bat} \qquad (5)$$

donde la eficiencia η_{bm} considera el conjunto batería- motor, T_{me} es el par y w_{me} la velocidad de la ME, respectivamente

El motor generador se utiliza para arrancar el motor, generar potencia a partir del exceso de potencia del motor, así como para ajustar la relación de transmisión. Se simula como fuente de potencia y par. La entrada de velocidad para este grupo de bloques se calcula en el grupo de bloques de engranajes planetarios. La salida está conectada a la entrada de potencia del motor eléctrico, luego se calcula la parte de la batería. También se diseña el modelo de puesta en marcha de esta máquina como se muestra en la Figura 6 (Can GÖKÇE, 2005)

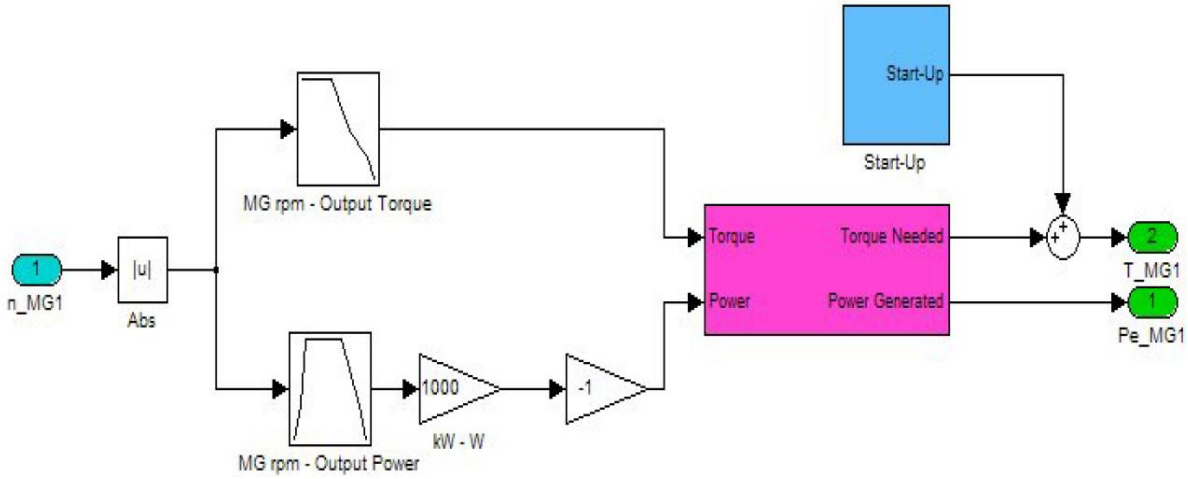


Figura 6: Modelo de motor eléctrico. Fuente: (Can GÖKÇE, 2005)

2.6.2.4. Modelos de Sistema de Engranes Planetarios

El acoplamiento entre la fuente de energía y la tracción es a través de un sistema de engranajes planetarios (SEP) (Becerra & Alvarez-Icaza, 2011) . La Figura 7 muestra un diagrama esquemático de este mecanismo. El MCI está conectado al engranaje solar SEP a través del freno de embrague, él ME está conectado a la corona y las ruedas están conectadas al portasatélites (Ambarisha y Parcker, 2007) y (Szumanowski et al., 2005).

La relación de engranaje es calculada a partir de la velocidad de la porta planetas con respecto al engrane anular y al engrane solar, lo que resulta ser equivalente a una división del radio del engrane anular entre el radio del engrane solar, de (Kessels et al., 2008) y (John. M. Miller, 2006).

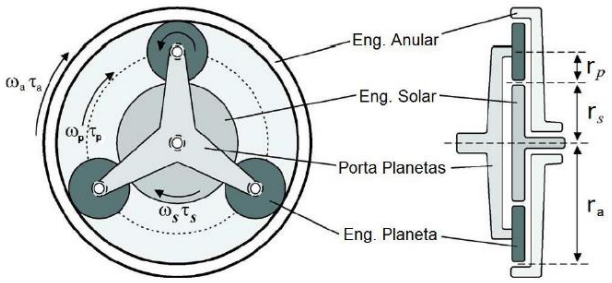


Figura 7: Sistema de engranes planetarios. Fuente: (Becerra & Alvarez-Icaza, 2011)

Como vemos en la Ecuación 6 la relación del engranaje se obtiene de la expresión.

$$R = \frac{w_s - w_p}{w_a - w_p} = -\frac{r_a r_p}{r_p r_s} = -\frac{r_a}{r_s} = -\frac{z_a}{z_s} \qquad (6)$$

Donde

$\omega =$ Es la velocidad angular,

$r =$ El radio

$z =$ El número de dientes y los subíndices s, p y a representan al engrane solar, porta planetas y engrane anular, respectivamente.

Definiendo $k = \frac{r_a}{r_s} = -R$, como vemos en la ecuación 7 la velocidad angular en el SEP satisface

$$w_p = \frac{1}{(k+1)} w_s + \frac{k}{(k+1)} w_a \qquad (7)$$

donde ωp, ωs y ωa son las velocidades angulares de la porta planetas, MCI y ME.

Como vemos en la ecuación 8 el balance de potencias en el SEP satisface

$$T_p w_p = T_s w_s + T_a w_a \qquad (8)$$

Las Ecuaciones son las restricciones dinámicas y cinemáticas, respectivamente, que se deben satisfacer todo el tiempo por las estrategias empleadas para el flujo de potencia del SEP.

Los engranajes planetarios se utilizan para dividir la potencia de salida del motor entre el eje motriz y el motor generador, y también se utilizan como una transmisión continuamente variable controlada electrónicamente (e-CVT). El eje del motor está conectado los satélites, el generador está conectado al engranaje solar y el eje de

transmisión está conectado a la corona dentado como se muestra en la Figura 8. (Can GÖKÇE, 2005)

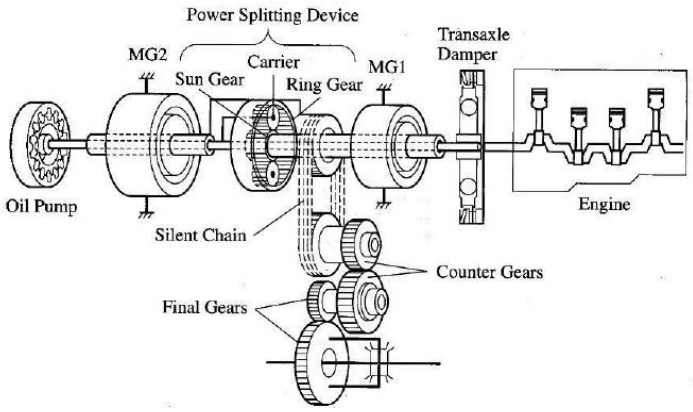


Figura 8: Sistema de engranes planetarios. Fuente: Can GÖKÇE B. S,2005.

Como vemos en la ecuación 9 la relación entre los tres componentes se muestra a continuación:

$$\eta_{engine} = (\eta_{generator} + 2.6 * \eta_{driving})/3.6 \qquad (9)$$

Utilizando la ecuación anterior, vemos que en la ecuación 10 los coeficientes de par para definir el par afectado a las ruedas por el motor y el generador se pueden calcular como:

$$C_{T_MG1} = \frac{(\eta_{ice}*9.36)-(\eta_{MG2}*6.76)}{(\eta_{ice}*3.60)-\eta_{MG1}}$$

$$C_{T_ICE1} = \frac{(\eta_{ice}*3.60)}{0.722*(\eta_{MG1}+(\eta_{MG2}*2.6))} \qquad (10)$$

Como se muestra en la Figura 9 representa el modelo matemático del sistema de engranajes planetarios.

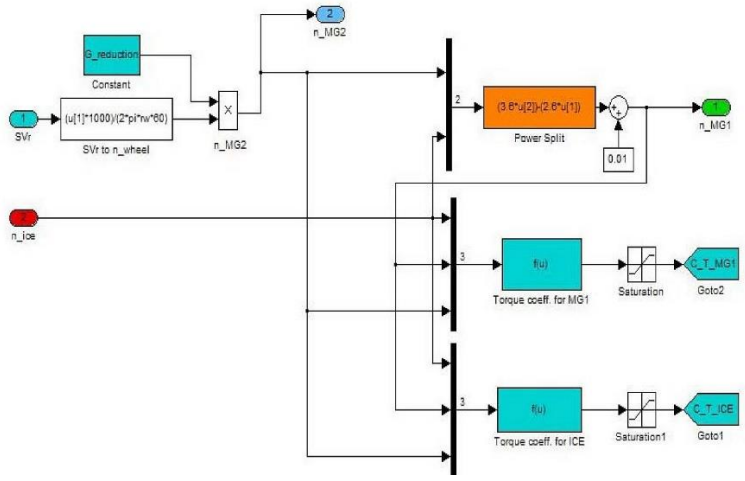


Figura 9: Modelo de sistemas de engranajes planetario. Fuente: (Can GÖKÇE, 2005)

2.6.2.5. Modelo de Transmisión y Neumáticos

Todos los valores de carga y par de la máquina se retroalimentan a la transmisión y las ruedas para calcular la velocidad del vehículo. Los valores de torque del motor y del generador se multiplican por las relaciones de transmisión calculadas en el modelo del equipo de distribución de energía. Después de sumar todos estos valores de torque y transferir el valor de torque de la máquina al eje de transmisión, el valor calculado se multiplica por la relación de los reductores. La relación de transmisión se establece en 3,905. Multiplique el resultado por la eficiencia de la transmisión para determinar el valor del par mecánico que actúa sobre la rueda. El valor del par de carga se resta de este valor y, finalmente, se calcula el par total de la rueda. Suponiendo que todo el vehículo es un modelo de una sola rueda, la velocidad de la rueda se puede calcular mediante la ejecución de la siguiente ecuación se puede conocer la velocidad del vehículo. (Can GÖKÇE, 2005)

$$\eta_{rueda} = \frac{\int T_{total} * dt}{M_{total} * {r_w}^2} \qquad (11)$$

Donde

η_{rueda} = Representa la velocidad de giro de las ruedas.

T_{total} = Es el valor de torque total.

M_{total} = Es el peso total de vehículo.

r_w = Es el radio de las ruedas.

Como se muestra en la Figura 10 el modelo de transmisión y neumático.

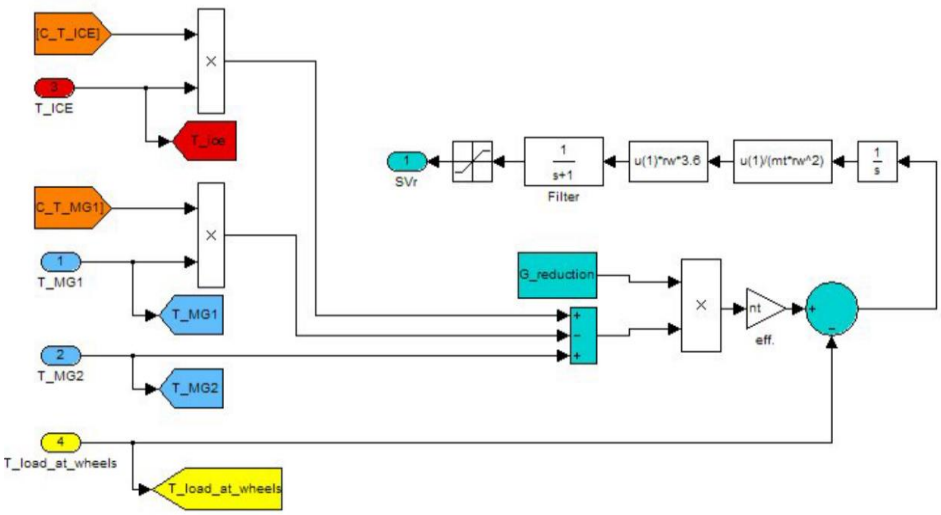


Figura 10: Modelo de transmisión y neumáticos. Fuente: (Can GÖKÇE, 2005)

En el trabajo realizado por (Becerra, G; Alvarez, L, 2011) se presentó una estrategia que se experimentó un modelo matemático de un autobús hibrido para controlar el flujo de potencia en un vehículo eléctrico híbrido paralelo sometido a demandas de potencia de áreas urbanas representadas por ciclos de manejo. El enfoque de la estrategia se basa en satisfacer las demandas del operador y reducir el consumo de combustible. Los resultados de simulación indican que la estrategia logra el mínimo error de seguimiento de velocidad y alcanza buenos niveles de reducción del consumo de combustible. En esta investigación (Liu & Peng, 2008) se utiliza en el vehículo híbrido en la cual permitirá desarrollar un modelo dinámico del tren motriz y luego lo aplicamos para el desarrollo de controles basados en modelos. Se introducen dos algoritmos de control: uno basado en el método de programación dinámica estocástica y otro basado en la estrategia de minimización del consumo equivalente que determinan la potencia del motor en función de la eficiencia general del vehículo y aplican las máquinas eléctricas para optimizar el comportamiento del motor. En estos métodos realizados lograron excelentes resultados de economía de combustibles para desarrollar algoritmos de control. A sí mismo, en la investigación de (Susana Alegre Buj, n.d.) a continuación, se modelan los vehículos híbridos eléctricos y paralelos utilizando el entorno Matlab/Simulink, esto nos permitirá estudiar rápidamente varios apariencia del vehículo, como la potencia del motor, el tipo y tamaño de la batería, el peso, etc., y comprender cómo estos cambios afectan el rendimiento y autonomía. Se simula el modelo para obtener la autonomía de los vehículos eléctricos híbridos para hacer frente al aumento contaminación y reducir el consumo enérgico (Susana Alegre Buj, n.d.). Este articulo (Gallardo, 2019) demuestra la simulación de un vehículo híbrido serie-paralelo complejo utilizando el entorno de programación SIMULINK de The MathWorks Corporation, que permite analizar el comportamiento del vehículo a través de gráficos obtenidos de la simulación. Después de analizar los gráficos de simulación, se diseña una adaptación de la estrategia de control del vehículo para optimizar el modelo.

2.6.2.6. ESTRATEGIA DE CONTROL

La idea de la estrategia de control en gestión energética es optimizar el consumo de energía para un circuito desconocido seleccionando uno de los 4 modos de funcionamiento disponibles en el vehículo en un momento dado. Para ello se ha desarrollado un método de optimización en MATLAB que realiza los cálculos necesarios para saber si conviene acoplar el generador a la transmisión en cada momento (Chamorro Aguado, 2013). La optimización trabaja en base a la velocidad y par deseados en los

portadores [ωc y Tc], y obtiene la velocidad a la que debe girar el generador en cada caso [ωr], para luego decidir en el bloque de decisión de qué modo de captura depende si es necesario cargar la batería como se muestra en la Figura 11 (Chamorro Aguado, 2013).

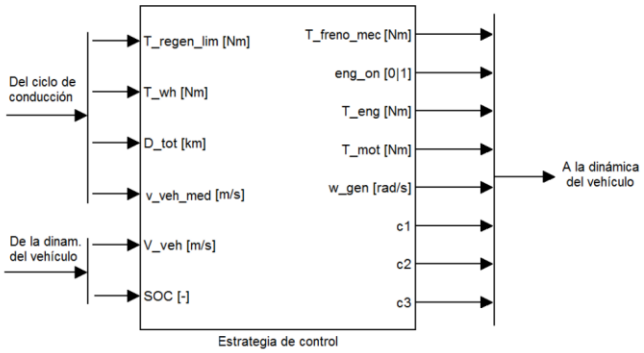


Figura 11: Bloque de estrategia de control. Fuente: (Chamorro Aguado, 2013)

2.6.2.7. MODELADO DINÁMICO DEL VEHÍCULO

La aerodinámica se ha convertido en un tema de mayor preocupación para los ingenieros ahora; la fuerza aerodinámica generada por la resistencia del aire al avance del vehículo es un factor importante que afecta la eficiencia y el rendimiento, uno de los cuales es la llamada resistencia del aire, que se presenta principalmente en la superficie delantera del vehículo, esta fuerza es la razón por la que el motor tiene que producir más potencia para avanzar con facilidad a alta velocidad, es decir, cuando el vehículo supera los 90-110 km/h, la diferencia en el consumo de combustible se empieza a notar muy rápidamente, la razón debe ser A medida que aumenta la velocidad, el motor requerirá más potencia para contrarrestar esa resistencia aerodinámica, lo que resultará en un aumento de combustible (Guillcatanda & Zambrano, 2019).

Para modelar la dinámica del vehículo se utilizan expresiones de la física para determinar los principales fenómenos que soporta el vehículo de ruedas. La acción aerodinámica sobre un vehículo motorizado se puede expresar como la suma de la fuerza y el momento resultante, ambos ejercidos por encima del centro de gravedad del vehículo como se muestra en la Figura 12 (Izquierdo et al., 2001).

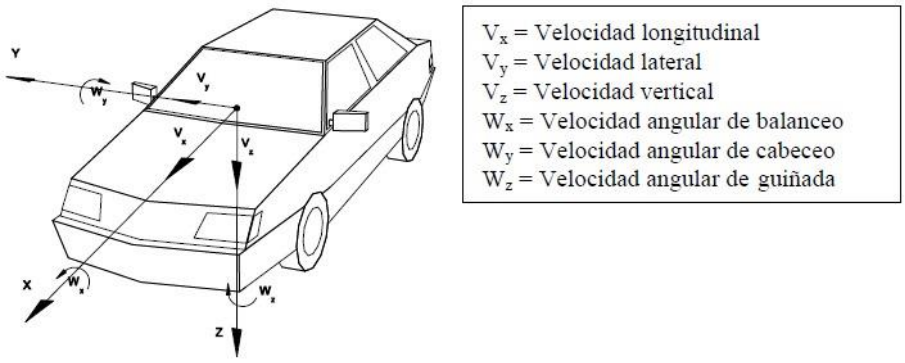


Figura 12: Fuerzas y momentos que actúan sobre un vehículo. *Fuente:*(Izquierdo et al., 2001).

2.6.2.7.1. RESISTENCIA AERODINAMICA AL AVANCE (Cx)

La resistencia aerodinámica proviene de las fuerzas que un objeto en movimiento debe enfrentar en el aire y es la resistencia aerodinámica frontal (Cx) más importante en el análisis aerodinámico del vehículo como se muestra en la Figura 13. (Luque et al., 2004)

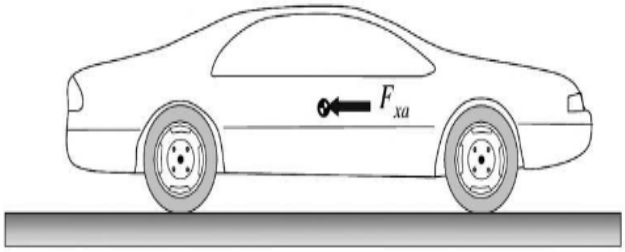


Figura 13: Fuerzas de resistencia aerodinámica. Fuente: (Luque et al., 2004)

$$F_{XA} = \frac{1}{2}\rho * C_x * A_f * v^2 \qquad (12)$$

Donde:

F_{XA} = Resistencia aerodinámica [N]

ρ = Densidad del aire [kg/m3]

C_x = Coeficiente de resistencia aerodinámica

A_f = Área frontal [m2]

v = Velocidad [m/s]

Cada uno de ellos afecta más o menos el valor de C_x así como el consumo de combustible y la comodidad del vehículo. Como ejemplo, podemos citar el efecto del ángulo de inclinación del capó y el parabrisas delantero sobre la resistencia al avance:

Como se muestra en la siguiente tabla 2 los factores que afecta a C_x.

Table 2: Factores que afectan a C_x

FORMA GEOMÉTRICA PARTE DELANTERA
PUNTO DE ESTANCAMIENTO
INCLINACIÓN CAPOT
INCLINACIÓN PARABRISAS DELANTERO Y TRASERO
FORMA GEOMÉTRICA PARTE TRASERA
EFECTO DIFUSOR PARTE TRASERA
LATERALES DEL VEHICULO
BAJOS DEL VEHÍCULO
RINES (Flujos)
SPOILER DELANTERO Y TRASERO
ANGULO DE ATAQUE

Fuente: (Izquierdo et al., 2001)

La contribución de diferentes resistencias a la resistencia total varía según el tipo de vehículo, a continuación, se dan algunos valores indicativos (Izquierdo et al., 2001).

Resistencia de presión, también llamada resistencia de forma > 70%

Este valor de esta resistencia va a depender de la forma del objeto, sin embargo, este porcentaje significa que la resistencia de presión va a tener una influencia en la resistencia total, superior al setenta por ciento, siendo la más significativa de todas. (Izquierdo et al., 2001)

Resistencia de fricción o viscosa < 10%

Esta resistencia dependerá del acabado de la superficie del vehículo, que contribuye con menos del diez por ciento de la resistencia total (Izquierdo et al., 2001).

Resistencia de densidad exterior > 10%

Esta resistencia es generada por componentes tales como espejos retrovisores, faros, antenas, manijas de puertas y varios componentes que se ajustan al vehículo y tienen superficies sobresalientes. El impacto de esta resistencia en la resistencia total es mayor al diez por ciento (Izquierdo et al., 2001).

Resistencia interna del vehículo≈ 10%

Este arrastre se genera por la pérdida de energía del aire que ingresa al compartimiento de los pasajeros, dividido entre refrigeración del motor y aire acondicionado, su valor es igual al diez por ciento. De todas estas resistencias, la resistencia a la presión es la más importante en la que centrarse, que es la resistencia que funciona mejor con la resistencia total.(Guillcatanda & Zambrano, 2019)

2.6.2.7.1.1. Empuje lateral aerodinámico

Como vemos en la ecuación 13, esta fuerza es el empuje lateral que el viento ejerce sobre el vehículo (Izquierdo et al., 2001).

$$F_{YA} = \frac{1}{2}\rho * C_Y * A_f * v^2 \qquad (13)$$

Donde:

F_{YA}= Resistencia aerodinámica [N]

ρ = Densidad del aire [kg/m3]

C_Y= Coeficiente de resistencia aerodinámica lateral

A_f = Área frontal [m2]

v = Velocidad [m/s]

2.6.2.7.1.2. Sustentación aerodinámica

Como vemos en la ecuación 14, la sustentación aerodinámica es la respectiva fuerza que se ejerce sobre el vehículo en sentido perpendicular al movimiento de este. (Izquierdo et al., 2001)

$$F_{ZA} = \frac{1}{2}\rho * C_Z * A_f * v^2 \qquad (14)$$

Donde:

F_{ZA}= Resistencia aerodinámica [N]

ρ = Densidad del aire [kg/m3]

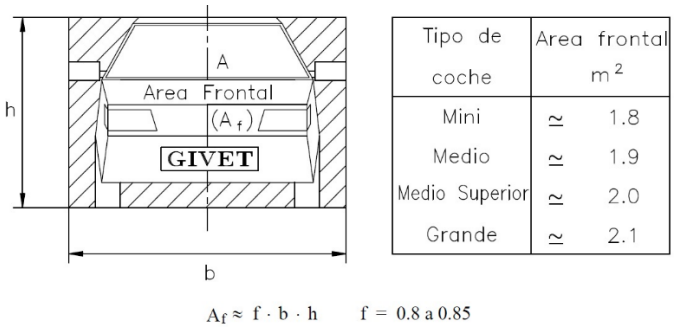
C_Z= Coeficiente de resistencia aerodinámica de sustentación.

A_f = Área frontal [m2]

v = Velocidad [m/s]

2.6.2.7.1.3. Área frontal

La fuerza de sustentación adquiere normalmente un valor negativo en relación con el Sistema de referencia como se muestra en la figura 14., en vehículos de competición se hace positiva mediante alerones con efecto de ala invertida



Tipo de coche	Area frontal m^2
Mini	≃ 1.8
Medio	≃ 1.9
Medio Superior	≃ 2.0
Grande	≃ 2.1

Figura 14: Área frontal de un vehículo. Fuente: (Izquierdo et al., 2001)

Como se muestra en la figura 15, se visualiza los diferentes coeficientes aerodinámicos para diferentes vehículos.

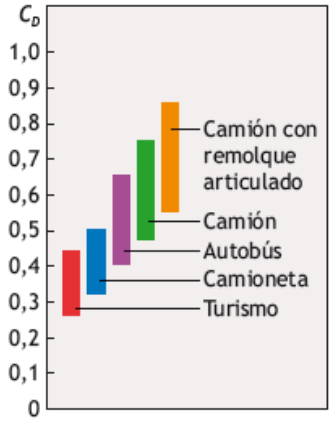


Figura 15: Área frontal de un vehículo. Fuente:(Luque et al., 2004)

2.6.2.7.2. RESISTENCIA AL AVANCE POR RODADURA

La Resistencia al avance del vehículo como se muestra en la ecuación 15, será la suma de la resistencia debida a las cuatro ruedas o, en este caso en que se utilizan modelos planos, la suma de la resistencia de ambos ejes. (Luque et al., 2004)

$$F_r = F_{rd} + F_{rt} = f_r * P \qquad (15)$$

Donde:

f_r: coeficiente de Resistencia a la rodadura

P: es el peso total del vehículo.

Como se muestra en la figura 16, las fuerzas que se ejercen en la rodadura.

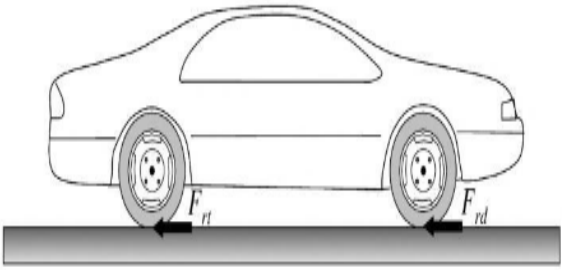


Figura 16: Fuerza de resistencia rodadura. Fuente: (Rodríguez, P; Álvarez, D; Vera, C. 2004)

2.6.2.7.3. RESISTENCIA DE GRAVEDAD

En la ecuación 16 de la dinámica longitudinal se considera siempre como una fuerza de resistencia, es decir, sumada a la de frenado, y aplicada en el centro de gravedad del vehículo en dirección paralela al suelo, según la expresión:

$$F_g = P * \sin\theta \qquad (16)$$

Se considera un ángulo positivo $(\theta > 0)$ cuando se sube una rampa y ángulo negativo cuando se baja de una pendiente $(\theta < 0)$. De esta forma en este ultimo caso tomara un valor negativo, que restara a la fuerza de frenado en la ecuación general, contribuyendo a incrementar la velocidad del vehículo como se muestra en la figura 17. (Luque et al., 2004)

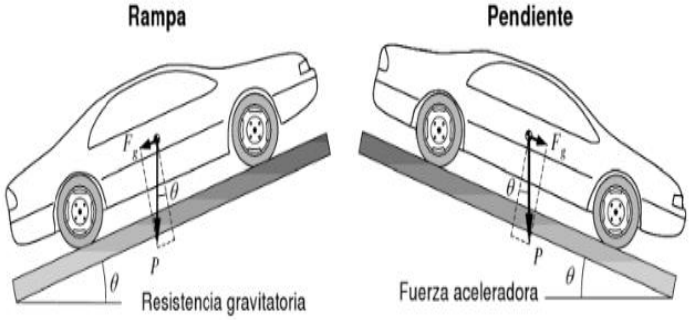


Figura 17: Fuerza de resistencia gravedad. Fuente: (Rodríguez, P; Álvarez, D; Vera, C. 2004)

CAPÍTULO III: DESARROLLO DE MODELO MATEMATICO.

En esta sección se desarrolla el modelo matemático que representa la configuración del tren de potencia del vehículo eléctrico hibrido del laboratorio Blue Drive de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, mediante la adaptación de configuraciones preestablecidas en la herramienta computacional de programación y simulación Matlab/Simulink. Para ello se estudia la función de transferencia característica de cada elemento que conforman la arquitectura hibrida del tren de potencia, en investigaciones y publicaciones previas verificadas, que se adaptan a la configuración, esto es la metodología propuesta en este proyecto. Simulink que contiene modelos preestablecido de diferentes configuraciones de trenes de potencia de HEV[1] que han sido adaptadas por varios autores para realizar optimizaciones de modelos y aplicaciones en estudios mediante el uso de la arquitectura "Power Slipt Hybrid Transmission" propuesta por simulink que les permitió estimar la velocidad que desarrolla el tren de potencia, y medir el rendimiento del vehículo desarrollando estrategias de gestión de energía para ejecutar en cualquier ciclo de conducción como es el caso de los autores (Nasiri et al., n.d.) y (Can GÖKÇE, 2005). En la adaptación del modelo basado en Matlab Simulink se procedió a realizar modificaciones en los subsistemas que conforman los elementos del tren de potencia, la mayor modificación se realizó en la estrategia de gestión de energía que contiene un controlador principal que permite definir la cantidad de torque que se produce en el motor de combustión interna, motor eléctrico y generador esto se explica por medio de la velocidad y la demanda de potencia.

Posteriormente se realizó la adecuación del modelo matemático, mediante la introducción de datos técnicos, constructivos y funcionales de los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos. Para ello se debió investigar los datos técnicos de cada elemente del tren de potencia del vehículo eléctrico hibrido como se muestra en el anexo I, pero también se requirió calcular la dinámica del vehículo.

El modelo matemático el tren de potencia del HEV funciona mediante variables de entrada como: el tiempo de inicio de aceleración (TIA) que se define como el tiempo que inicia de manera constante el incremento de la velocidad del vehículo, luego el tiempo que finaliza la aceleración (TFA) que consiste en el tiempo que finaliza el vehículo al incrementar la velocidad; por otra parte, el tiempo que inicia la desaceleración (TID) que

[1] Vehículo eléctrico hibrdo

consiste en el tiempo que inicia el vehículo a disminuir la velocidad y por último, el tiempo que finaliza la desaceleración (TFD), que es el tiempo que el vehículo disminuye la velocidad y se mantiene constante, además la velocidad de recorrido y las revoluciones son datos adquiridos en condiciones controladas de conducción, estos parámetros son: la velocidad, tiempo de recorrido, tiempo de aceleración, tiempo de desaceleración, distancia de recorrido, tráfico urbano y la autopista (Wang & Lukic, 2011). En el caso de las variables fijas estos se establecieron mediante los datos técnicos de cada componente del tren de potencia y los cálculos realizados en la dinámica del vehículo, con esta metodología se efectuará la simulación de la batería de alta tensión para obtener un voltaje donde será transmitida a la simulación del convertidor DC-DC que por otra parte transfiere el voltaje requerido para el funcionamiento de la simulación del motor eléctrico (MG2) y la simulación de generador (MG1) por otro lado, en la simulación de la transmisión se realizará el acople del MCI[2], el MG2[3] y el MG1[4] en la cual transforma la relación de transmisión y también este resultado se enlaza a la dinámica del vehículo donde se determina la fuerza y momentos que actúan en el vehículo. Finalmente, como variable de salida a través de bloque Scope se obtiene como resultado la estimación de la velocidad que desarrolla el tren de potencia en un tiempo de 20 segundos.

La determinación del recorrido urbano se estableció mediante condiciones controladas de manejo en función de lo planteado una vez determinada la trayectoria a desplazarse se realizó el modo de conducción Normal a velocidades de crucero de 40 km/h, 60 km/h y 80 km/h. Dentro de este marco se procedió a la adquisición de datos en tiempo real sobre comportamiento del tren de potencia del vehículo eléctrico hibrido del laboratorio Blue Drive de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, a través del módulo de la ECU, en la que, se realizó la extracción de datos mediante la utilización de un adaptador OBDLINK-MX con conexión vía inalámbrica que permite identificar y detectar fallos en los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos que afectan en el rendimiento del vehículo, finalmente el software de diagnóstico automotriz OBDWIZ que posee herramientas de escaneo, permite procesar los datos obtenidos del módulo de la ECU sobre el comportamiento del HEV a través de la computadora grabando estos datos en un archivo CSV para visualizar en aplicaciones de Excel.

[2] Motor de Combustión Interna
[3] Motor Eléctrico
[4] Generador

A continuación, se explicará el método estadístico de prueba **"t"** student para dos muestras de variables independientes, con ello se quiere determinar la diferencia significativa que existe entre las medias muestrales de dos grupos establecidos como la velocidad real y velocidad teórica obtenidos en el recorrido urbano y del modelado matemático del tren de potencia HEV con este fin el análisis permitirá encontrar el porcentaje de error de modelamiento.

3.1. CONSTRUCCION DEL MODELO MATEMATICO SERIE/PARALELO SIMULINK

Para la construcción de este modelo matemático, se define como las variables de entrada para TIA[5] de 3 segundos; para TFA[6] de 3.28 segundos; el TID[7] es 16.72 segundos y el TFD[8] de 17 segundos, donde mediante la experimentación en función de las pruebas realizadas en el vehículo eléctrico hibrido se estableció el comportamiento del tren de potencia en autopista, observando la capacidad del conductor en mantener los tiempos de aceleración, velocidad y las revoluciones, estableciendo estas condiciones controladas. Como variables fijas, se determinaron los datos técnicos de cada componente del tren de potencia del vehículo eléctrico hibrido y los cálculos realizados en la dinámica del vehículo, con esto se obtiene la variable de salida de la velocidad desarrolla de tren de potencia en un tiempo de 20 segundos.

La simulación comprende los componentes del tren de potencia del vehículo eléctrico hibrido del laboratorio Blue Drive de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

1. Simulación de Batería de alta tensión (HV)

2. Simulación de Convertidor DC-DC

3. Simulación de Motor de combustión interna gasolina (ICE)

4. Simulación de Motor eléctrico frontal (MG2)

5. Simulación de Motor eléctrico generador (MG1)

6. Simulación de Dinámica del vehículo.

[5] El tiempo que inicia la aceleración.
[6] El tiempo que finaliza la aceleración.
[7] El tiempo que inicia la desaceleración.
[8] Es tiempo que finaliza la desaceleración.

3.1.1. Simulación de batería de alta tensión (High Voltage)

Simulink posee una amplia gama de librerías en su biblioteca, la que nos permite realizar el modelado de la batería de alta tensión para lo cual se utiliza un bloque del subsistema en donde accede a un diagrama equivalente circuito eléctrico teniendo un voltaje de alta tensión de salida que se enlaza con la simulación convertidor DC-DC como es mostrado en la Figura 18.

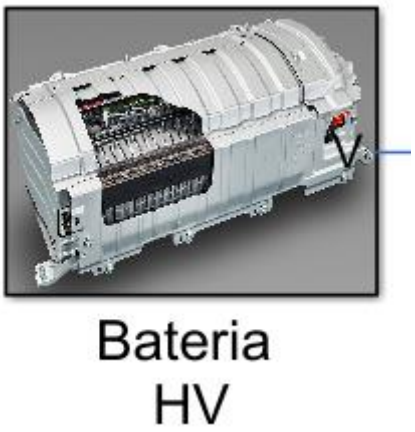


Figura 18: Simulación de tren de potencia en Simulink.

La industria automotriz Toyota utiliza la tecnología hidruro metálico niquelado (Ni-MH) en las baterías de alta tensión en una amplia gama de modelos, lo que representa una ventaja en términos de peso, volumen y costos utilizando un enfriamiento por aire simple (TOYOTA VALLEJO, n.d.). Como datos primordiales se puede destacar una fuente de voltaje, una resistencia interna y una intensidad de corriente que recibe los parámetros de la ficha técnica que se encuentra en el Anexo I, presentados en la siguiente tabla 3.

Tabla 3. Parámetros de la batería Ni-MH

Parámetros	Valores
Voltaje nominal	201.6 [V]
Numero de celdas	28
Capacidad nominal	6.5 [Ah]
Resistencia	0.069757

3.1.2. Simulación de convertidor DC-DC (High Voltage)

El subsistema modela un convertidor de DC a DC, usa un componente transformador ideal el cual consiste el flujo magnético producido por la bobina primaria conectada en la batería de alta tensión que alcanza a una bobina secundaria conectada al generador y al motor eléctrico como se muestra en la figura 19 con el fin de controlar el voltaje de DC-DC para optimizar las pérdidas de potencias en las resistencias de las bobinas.

Figura 19: Convertidor DC-DC.

3.1.3. Simulación del Motor Eléctrico.

El subsistema de motor eléctrico es un sistema complejo de modelar, para ello el programa simulink tiene una amplia gama de modelos básicos de cada elemento del tren de potencia por lo cual esta técnica proporciona un modelo bastante preciso para realizar el cálculo de funcionamiento obteniendo como entrada el voltaje de salida del convertidor DC-DC para convertirlo en una velocidad. Finalmente, está conectada a la transmisión como se muestra en la figura 20.

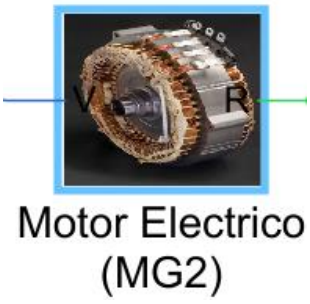


Figura 20: Modelo del motor eléctrico.

Las características del motor eléctrico se referencian en la tabla 4.

Tabla 4. Parámetros del motor eléctrico

Parámetros	Valores
Perdida en el motor	1e-2 [W/(N*M)^2]
Constante de tiempo del motor eléctrico	0.02

3.1.4. Simulación del Generador Eléctrico.

El subsistema de generador eléctrico utiliza bloques que calcula los diferentes estados de velocidad de giro proporcionado por el acople de la transmisión con el motor de combustión interna, con el fin de determinar el cálculo de voltajes obteniendo como resultado la regeneración de carga de la batería de alta tensión (Ni-MH) como se muestra en la figura 21.

Figura 21: Modelo del generado eléctrico.

3.1.5. Simulación del Motor de Combustión Interna (MCI).

El subsistema de motor de combustión interna utiliza un bloque Generic Engine, representa un sistema de motor de encendido por chipa de ignición (Spark-ignition) utilizando una señal de entrada del acelerador T, las conexiones F y B representa la conservación rotacional asociadas con el cigüeñal y del bloque del motor, las conexiones P y FC son puertos de salida que indica a potencia del motor y la tasa de consumo de combustible como se muestra en la figura 22.

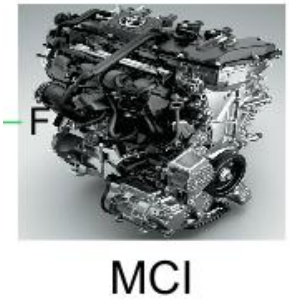


Figura 22: Modelo de combustión interna (MCI).

Los parámetros requeridos para la simulación son obtenidos en la ficha técnica que se encuentra en el Anexo I establecidos en la Tabla (5).

Tabla 5. Parámetros del motor de combustión interna (ICE)

Parámetros	Valores
Potencia Máxima	72332.9 [W]
Velocidad de Potencia Máxima	5200 [RPM]
Velocidad de Perdida	500 [RPM]
Volumen Desplazado	1798 [cm^3]
Revolución por ciclo	2
Vector Velocidad	[1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000] [RPM]

3.1.6. Simulación del Transmisión (POWER SLIPT).

El subsistema de transmisión utiliza un bloque Power Slipt que representa un sistema de engranajes planetarios en la cual componen de los engranajes de corona, solar y porta-satélites para realizar cálculos de relación de transmisión, es así como la conexión del C pertenece al engranaje de la corona la cual está conectado con la simulación del MCI además la conexión R corresponde a los engranajes del porta-satélites que este acoplado con la simulación del MG2. Finalmente, la conexión S representa al engranaje solar esta unido con la simulación del MG1 como se indica en la figura 23.

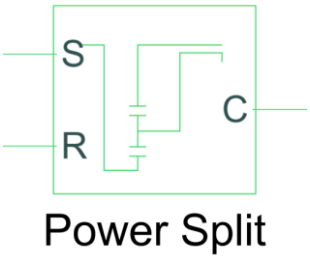


Figura 23: Modelo de la transmisión.

Los parámetros requeridos para la simulación son obtenidos en ficha técnica establecidos en la tabla (6).

Tabla 6. Parámetros de Transmisión (Power Slipt)

Parámetros	Valores
Numero de dientes del Engranaje Solar	30
Numero de dientes del Engranaje Corona	78
Numero de dientes del Engranaje Porta-Satélites	23

3.1.7. Simulación de la Dinámica del vehículo (POWER SLIPT).

El subsistema de dinámica del vehículo utiliza los bloques Vehicle body y Tire por ello, interpreta las sumatorias de fuerzas aerodinámica entre los cuales tenemos: la resistencia aerodinámica, la oposición del aire al movimiento del vehículo y la fuerza que ejerce para la adherencia del neumático sobre el terreno, cabe destacar el componente longitudinal y transversal del vehículo, estas reacciones varían en función a una magnitud física denominada aceleración aplicados en el exterior, igualmente los momentos aplicados en el chasis del vehículo en el equilibrio para demostrar en los tres planos guiñada (Yaw), cabeceo (Pitch) y de balanceo (Roll). Finalmente, se establece el centro de gravedad para la distribución del peso del vehículo eléctrico hibrido.

Como podemos ver en la Figura (24) el modelo de la dinámica del vehículo.

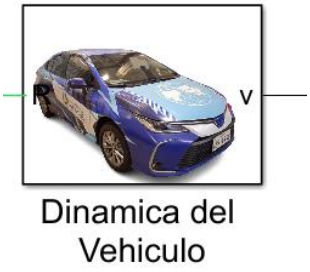


Figura 24: Modelo de la dinámica del vehículo.

El bloque Vehicle Body representa la dinámica del vehículo cuyos componentes son: la masa total del vehículo, la resistencia aerodinámica, el ángulo de inclinación de carretera, la velocidad del viento y el centro de gravedad.

Los parámetros requeridos para la simulación son obtenidos en la ficha técnica que se encuentra en el Anexo I, establecidos en la tabla (7).

Tabla 7. Parámetros de Dinámica del vehículo.

Parámetros	Valores
Masa	1285 kg
Área frontal	2.2 m^2
Coeficiente aerodinámico.	0.3
Densidad del aire	1.225 kg/m^3
Altura	1455 mm
Largo	4630 mm
Ancho	1780 mm
Distancia entre ejes.	2700 mm

El bloque Tire representa el comportamiento longitudinal del neumático caracterizado por la Magic Formula, que presenta las fuerzas cortantes y momentos del neumático simbolizado por un modelo de deslizamiento combinado, como se expresa en la siguiente ecuación 17 de Pacejka.

$$F = D * \sin[C * arctanB\kappa - E(B\kappa - \arctan(B\kappa))] \qquad (17)$$

Donde:

$F =$ Es la fuerza longitudinal.

$\kappa =$ Es la relación de deslizamiento longitudinal del neumático.

$D, B, E =$ Son coeficientes de adhesión para diferentes condiciones del asfalto

Los coeficientes de adhesión para diferentes condiciones del asfalto se establecen en la siguiente Tabla (8).

Tabla 8. Coeficientes de adhesión para diferentes condiciones del asfalto

CONDICION	A	B	C	D
Seco	10	1.9	1	0.97
Mojado	12	2.3	0.82	1
Nieve	5	2	0.3	1
Hielo	4	2	0.1	1

Fuente: (Rodríguez, 2020).

3.1.7.1. Cálculo de centro de gravedad.

Se considera que el centro de gravedad es el punto donde tiene mayor peso, por lo que si el vehículo estuviera suspendido en ese punto se equilibraría debido a que peso del lado izquierdo es igual al peso del lado derecho como se muestra en la Figura 25.

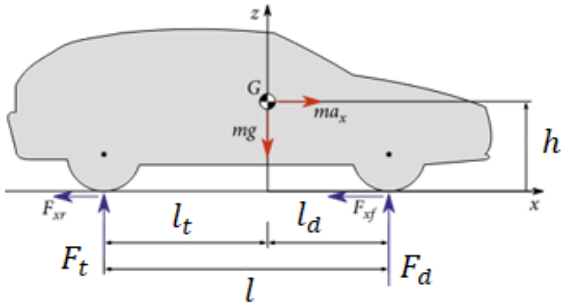


Figura 25: Centro de gravedad del vehículo.

Donde:

F_t = Fuerza eje trasero

F_d = Fuerza delantera

m = Masa total del vehículo

Para determinar la distancia entre ejes se define en la ecuación 18:

$$l = l_t + l_d \qquad (18)$$

Donde:

l = Distancia entre eje

l_d = Distancia del eje delantero al centro de gravedad.

l_t = Distancia del eje trasero al centro de gravedad.

Para obtener las distancias del eje delantero y trasero se realiza una sumatoria de momentos. Las fuerzas F_D y F_T son las fuerzas ejercidas por la masa del vehículo en cada eje se realiza la sumatoria de fuerzas como se indica en la siguiente ecuación 19:

$$\sum F_y = 0 \ ; \ \sum M_{CG} = 0 \qquad (19)$$

Aplicando las ecuaciones de equilibrio 20 y 21 se obtiene:

$$\sum F_y = 0$$

$$2F_D * +2\ F_T - mg = 0 \qquad (20)$$

$$\sum M_{CG} = 0$$

$$2F_D * l_D + 2\ F_T * l_T = 0 \qquad (21)$$

Despejando las fuerzas se obtiene:

Como vemos en la ecuación 22 la fuerza ejercida en neumático delantero.

$$F_D = \frac{1}{2} * (m * g) * \frac{l_T}{l_D + l_T} = \frac{1}{2} * (m * g) * \frac{l_T}{l} \qquad (22)$$

Como vemos en la ecuación 23 la fuerza ejercida en neumático posterior.

$$F_T = \frac{1}{2} * (m * g) * \frac{l_D}{l_D + l_T} = \frac{1}{2} * (m * g) * \frac{l_D}{l} \qquad (23)$$

La siguiente ecuación 24 representa la altura h del centro de gravedad

$$h = R + \frac{F_D * l_D - F_T * l_T}{mg} \cot(\theta) \qquad (24)$$

donde

$h =$ Altura del centro de la gravedad.

$R =$ Radio de la rueda.

$\theta =$ Ángulo formado por el eje longitudinal del vehículo y la calzada

3.1.7.2. Radio Dinámico 205/55R16

La siguiente ecuación 25 representa el radio dinámico del neumático.

$$r_d = \frac{[(\frac{D}{2}) * 25.4 + (A * R_{AL/AN})]}{1000} * 0.9 \qquad (25)$$

Donde:

r_d = Radio dinámico de la rueda (m)

D = Diámetro del rin (in).

A = Ancho de la llanta (mm).

$R_{AL/AN}$ = Relación alto/ ancho (%).

3.1.8. Modelo matemático del tren de potencia en Simulink

La representación modelo matemático del tren de potencia del vehículo eléctrico hibrido serie/paralelo del laboratorio Blue Drive de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil en el programa Matlab/Simulink terminado, como se muestra en la Figura 26.

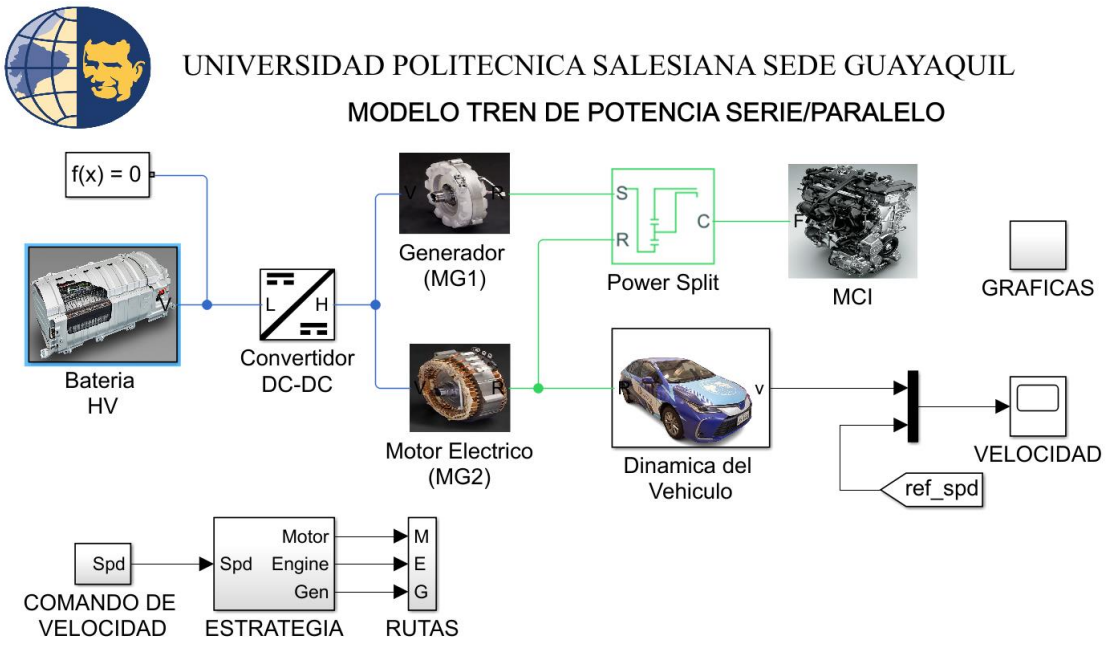


Figura 26: Simulación de tren de potencia en Simulink.

En el comando de velocidad se introduce los datos de las variables de entrada como por ejemplo el TIA, el TFA, el TID y por último el TFD, además la velocidad constante y las revoluciones. En la estrategia del control se obtiene la velocidad de entrada que se convierte a revoluciones y esta enlaza al MG2, las revoluciones que se establecieron de entrada se conectan con el MCI y la demanda de torque se establece de modo que, en condiciones de arranque el MCI proporciona la potencia suficiente para mantener el vehículo en movimiento a una velocidad constante, por lo tanto, la potencia de la batería será casi nula. La demanda del RPM del motor se establece en el simulador de 2000 rpm

para una buena eficiencia y está acoplada con el MG1. Las variables fijas obtenidas de los datos técnicos del vehículo eléctrico hibrido se muestran en la representación matemática de la simulación de la batería de alta tensión que tiene una entrada de voltaje y resistencia que se enlaza a la simulación del convertidor que alimenta a MG2 y un MG1. En la simulación de Power Slip acopla el MG2, el MG1 y el MCI que realiza la relación de transferencia cuyo resultado va conectado a la simulación dinámica del vehículo, lo que se transforma en una variable se salida que es proyectada como la velocidad en km/h vs tiempo en segundos.

3.2. Adquisición de datos de la ECU

Para la transferencia de información sobre el funcionamiento del tren de potencia del vehículo eléctrico hibrido de la ECU se realizó por medio de un módulo OBDLINK-MX con conexión vía bluetooth por lo cual, lee los datos proporcionados y lo almacena en la computadora con el fin de interpretar los datos del vehículo se adquirió el uso del software OBD WIZ. Finalmente, se encontraron 63 variables que consiste en el funcionamiento del tren de potencia.

3.2.1. OBD WIZ

Es un software de diagnóstico automotriz que incluye una herramienta de escaneo compatible en PC, este programa proporciona una rapidez y precisión en la toma de datos en tiempo real realizado en las condiciones controladas de manejo. Para ello, se realiza la exportación utilizando un archivo de Excel de variables de funcionamiento del tren de potencia vehículo eléctrico hibrido.

3.2.2. OBDLINK-MX

Es una herramienta de escaneo brinda una conexión inalámbrica por vía Bluetooth compartible con dispositivos Ios, Android y Windows que permite identificar y detectar fallos en los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos que afectan en el rendimiento del vehículo como se muestra en la figura 27

*Figura 27: OBDLINK MX. Fuente:(*OBDLink MX+ OBD2 - Escáner Bluetooth Para IPhone, Android y Windows : Automotriz*, n.d.)*

3.2.3. Determinación de recorrido urbano.

La recopilación de datos del comportamiento del tren de potencia del vehículo eléctrico hibrido se obtuvieron del módulo de la ECU[9] al realizar el trayecto urbano en la ciudad de Guayaquil cabe destacar las velocidades de crucero se ejecutaron a partir de 40 km/h, 60 km/h y 80 km/h es necesario resaltar que son velocidades permitidas en el tránsito vehicular en la Av. del bombero- Universidad Politécnica Salesiana campus Vía a la Costa.

3.2.4. Variables usadas para la comparación con el modelo matemático HEV

En esta sección, se detalla las variables en condiciones controladas de conducción que son utilizadas para realizar el diseño de grafica en Matlab, así mismo el método estadístico para identificar diferencias significativas de las velocidades reales y velocidades teóricas. con el fin de obtener el error de modelamiento.

3.2.4.1. Velocidad del vehículo (MPH)

La velocidad expresa la rapidez es decir mide la distancia del recorrida del vehículo durante un determinado tiempo esta medida es marcada por el velocímetro. Las unidades que se usan para medir la velocidad son metro por segundo (m/s), kilómetro por hora (km/h) y milla por hora (MPH)

[9] Unidad de Control Electrónica

3.2.4.2. Tiempo de recorrido.

Se denomina tiempo recorrido a la cantidad de tiempo que el vehículo requiere para desplazarse de un lugar a otro. Las unidades que usa para medir el tiempo son segundos (s) y hora (H).

3.3. Método de Análisis de datos

En esta sección se detalla el método estadístico para realizar la identificación de diferencias significativas de la velocidad real y velocidad teórica, así mismo encontrar el error de modelamiento.

3.3.1. Prueba "t" Student para dos muestras independientes

Gutiérrez y de La Vara (2012) define una hipótesis estadística como: "Una afirmación sobre los valores de los parámetros de una población o proceso, que puede probarse a partir de la información contenida en una muestra". La prueba de hipótesis consiste en investigar si lo afirmado por la hipótesis nula es verdad o no. El método estadístico de prueba **"t"** para dos muestras independientes con varianzas desconocidas suponiendo que estas son iguales, es un procedimiento estadístico que permite comparar las medias muestrales de dos grupos independientes sin conocer las varianzas de las poblaciones y determina si las poblaciones de muestra pueden tener razonablemente las mismas medias (Lind et al., 2012). En u_1 representa la media de la velocidad real y u_2 la media de la velocidad teórica; la hipótesis nula H_o indica que no existe diferencias significativas y la hipótesis alternativa H_1 que sí existe diferencias significativas.

La asignación del valor específico de las hipótesis son las siguientes ecuaciones 29:

$$H_o: u_1 = u_2$$

$$H_1: u_1 \neq u_2 \qquad (29)$$

En este caso se usa la prueba bilateral o de dos colas ya que la hipótesis alternativa H_1 es de tipo "no igual" ($\neq$) y la ubicación de la región de rechazo estaría repartida entre ambos lados de la distribución del estadístico de prueba, se usa estos datos de la tabla de los anexos XII

Como podemos ver en la figura 28, la prueba bilateral y las regiones de aceptación y de rechazo.

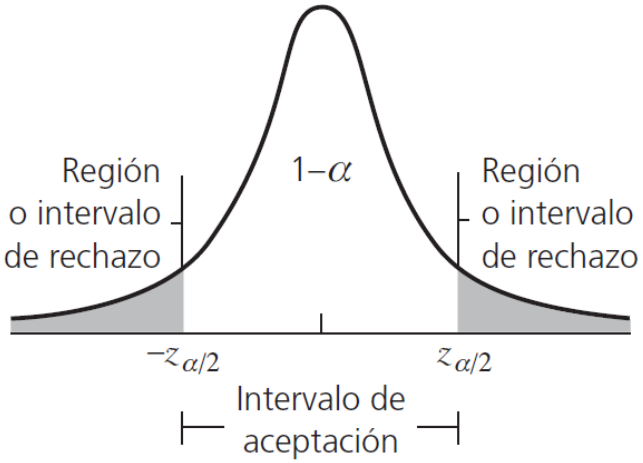


Figura 28: Prueba bilateral. Fuente:(Gutiérrez y de La Vara, 2012).

Como vemos en la ecuación (30) se emplea para agrupar las desviaciones estándares de las muestras.

$$S_P{}^2 = \frac{(n_1-1)S_1{}^2+(n_2-1)S_2{}^2}{n_1+n_2-2} \quad (30)$$

Donde:

$S_1{}^2$= Es la varianza de la primera muestra.

$S_2{}^2$= Es la varianza de la segunda muestra.

El estadístico t se calcula a partir de la siguiente ecuación 30 :

$$t = \frac{\bar{X}_1-\bar{X}_2}{\sqrt{S_P{}^2 * \frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}}} \quad (31)$$

Donde:

$\bar{X}_1$ = Es la media de la primera muestra.

$\bar{X}_2$ = Es la media de la segunda muestra.

n_1 = Es el número de observaciones de la primera muestra.

n_2 = Es el número de observaciones de la segunda muestra.

$S_P{}^2$ = Es un estimador de desviación estándar.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

En la presente sección se visualiza los resultados obtenidos de las pruebas en los recorridos urbanos, en condiciones controladas utilizando el modo de conducción Normal y las velocidades de crucero con el fin de adquirir una la recopilación de datos del módulo de la ECU, se visualizó las variables de funcionamiento del HEV en tiempo real cuyos valores se encuentra registrados en las tablas de los Anexos (III, IV y V), para lo cual se seleccionaron las variables de las velocidades y los tiempos de recorridos, además del modelado matemático del tren de potencia en el software Simulink que de la misma manera se lo registró en las tablas de los Anexos (VI, VII y VIII) utilizando los tiempos de entrada, donde se estableció en función de las pruebas realizadas en el HEV mediante experimentación del comportamiento del tren de potencia en autopista midiendo la capacidad que el conductor mantenga los tiempos de aceleración. En el caso de las variables fijas estos se establecieron los datos técnicos de cada elemento del tren de potencia y se realizó los cálculos en la dinámica del vehículo para obtener la estimación de la velocidad que desarrolla el tren de potencia en un tiempo de 20 segundos.

Se elaboró códigos de programación en Matlab para generar gráficas de las velocidades reales y teóricas como se muestra en el anexo II, para ello se emplea el método estadístico de prueba de hipótesis para la comparación de medias de dos muestras de variables independientes con varianzas poblacionales desconocidas suponiendo que estas son iguales. A partir de esto se determina que sí existen diferencias significativas entre las medias de las dos velocidades, con un nivel de confianza de 95%, seguido se obtiene el error del modelamiento que son las diferencias entre la velocidad real y la teórica, siendo este menor al 10%.

4.1. Resultado de la dinámica del vehículo.

En la presente sección se realiza los cálculos de la dinámica del vehículo entre las cuales tenemos las fuerzas aerodinámicas y la fuerza que se ejerce en los neumáticos en el terreno además del centro de gravedad que se ejerce en el vehículo. Los resultados de los cálculos realizados de la dinámica del vehículo que se introducen en el programa Simulink como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Dinámica del vehículo

	REAL
Distancia horizontal desde el centro de gravedad hasta el eje delantero	1.08
Distancia horizontal desde el centro de gravedad hasta el eje trasero	1.62
Altura del CG sobre el suelo	0.28
Fuerza vertical en el neumático	2269.05
Fuerza longitudinal en el neumático	3500

4.2. Gráficas de velocidad con respecto al tiempo en Matlab

El proceso de recopilación de datos del módulo de la ECU a través de la comunicación OBD-II y procesando los datos en el software OBDWIZ, la información se clasifica por sus distintas velocidades de recorrido, luego se toma las variables con que se van a realizar en el análisis de resultados del funcionamiento del tren de potencia del HEV las cuales son la velocidad y el tiempo para realizar las gráficas en el software Matlab de la velocidad real y teórica como se muestra en el anexo II.

Las gráficas realizadas en Matlab que se detallan en los anexos III y VI, para la comparación entre la velocidad real y teórica se fijó a una velocidad constante de 40 km/h como se muestra la figura 29.

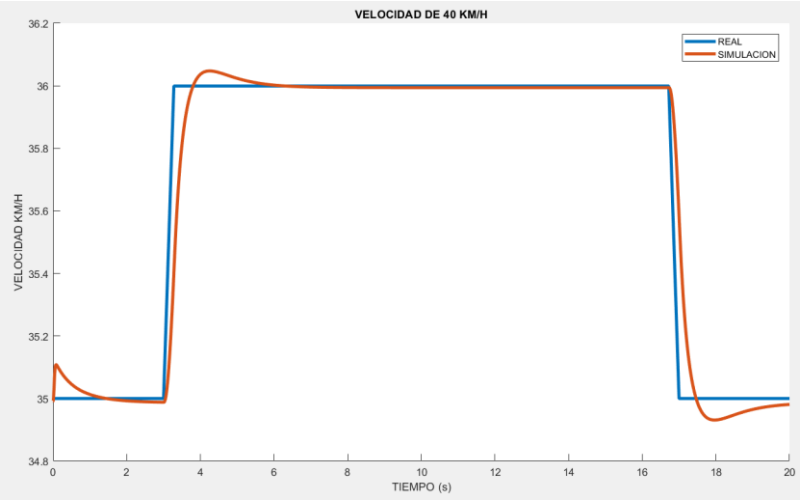


Figura 29: Velocidad de 40 Km/h en tiempo real vs tiempo teórico.

Las gráficas realizadas en Matlab que se detallan en los anexos IV y VII, para la comparación entre la velocidad real y teórica se fijó a una velocidad constante de 60 km/h como se muestra la figura 30.

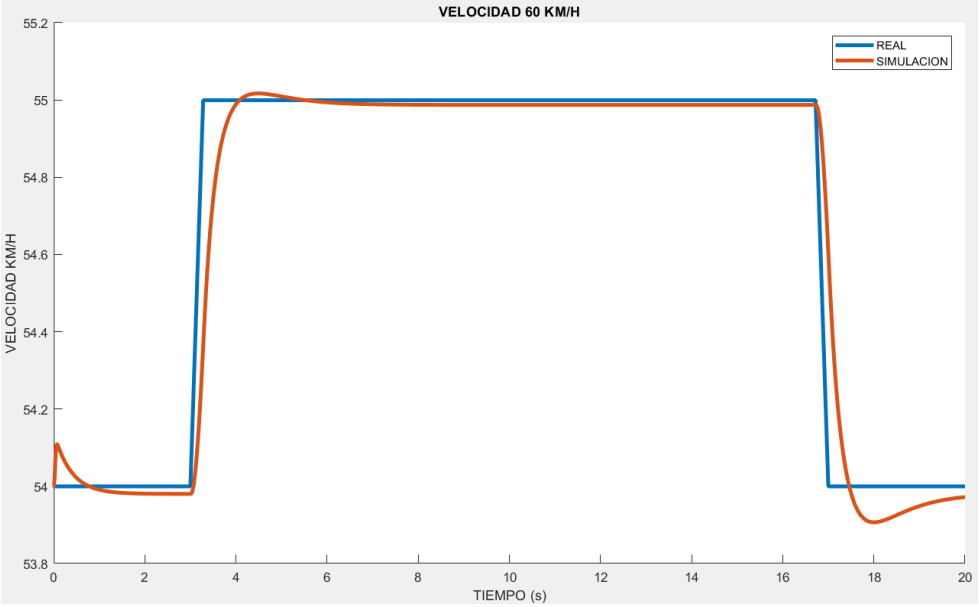


Figura 30: Velocidad de 60 Km/h en tiempo real vs tiempo teórico.

Las gráficas realizadas en Matlab que se detallan en los anexos V y VIII, para la comparación entre la velocidad real y teórica se fijó a una velocidad constante de 80 km/h como se muestra la figura 31

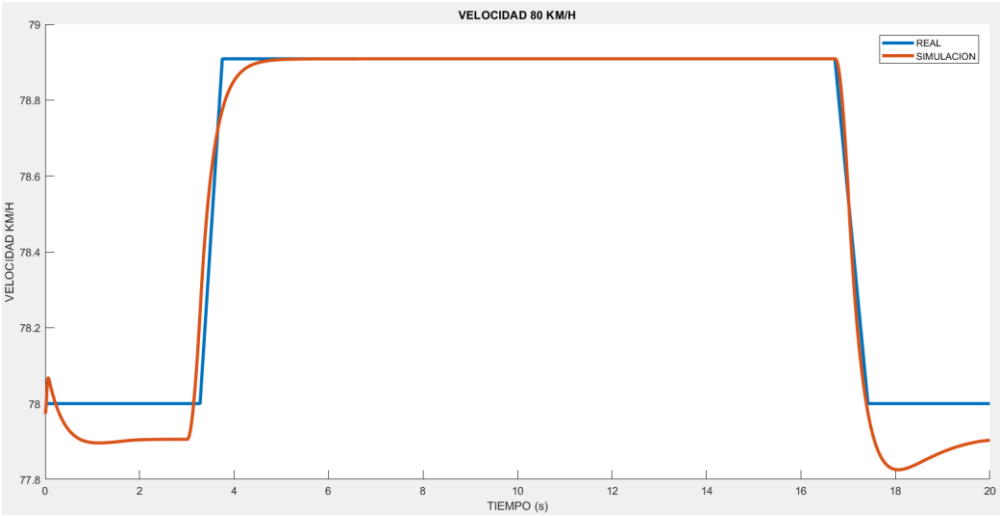


Figura 31: Velocidad de 80 Km/h en tiempo real vs tiempo teórico.

4.3. Resultados de Prueba "t" Student para dos muestras independientes suponiendo varianzas iguales

Se emplea el método estadístico de Prueba **"t"** para dos muestras independientes para comprobar si existe una diferencia significativa entre las medias poblacionales de las dos velocidades, utilizando el estimador puntual[10] de la media muestral suponiendo que las varianzas poblacionales son iguales; para esto se determina la diferencia significativa que existen entre la velocidad real y velocidad teórica con un nivel de confianza del 95% además de un nivel de significancia[11] de 0.05, después se seleccionó una muestra de 24 observaciones[12], registrado en la adquisición de datos en las tablas de los Anexos (III, IV y V) y del modelo matemático del tren de potencia en las tablas de los Anexos (VI, VII y VIII). Finalmente, se realizó el cálculo mediante la utilización de la función de Prueba **"t"** para dos muestras independientes suponiendo varianzas iguales establecido en el programa de Excel.

Con la velocidad constante de 40 km/h se ha realizado la prueba **"t"** para dos muestras suponiendo varianzas iguales utilizando el anexo IX. Los resultados obtenidos de estas pruebas se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales sobre la velocidad de 40 km/h

	REAL	***TEORICO***
Media	35,6661931	35,3527247
Varianza	0,23160595	0,22071989
Observaciones	24	24
Varianza agrupada	0,22616292	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	46	
Estadístico t	2,28335597	
P(T<=t) una cola	0,01353825	
Valor crítico de t (una cola)	1,67866041	
P(T<=t) dos colas	0,0270765	
Valor crítico de t (dos colas)	2,0128956	

Con la velocidad constante de 60 km/h se ha realizado la prueba **"t"** para dos muestras suponiendo varianzas iguales utilizando el anexo X. Los resultados obtenidos de estas pruebas se muestran en la tabla 11.

[10] Estadístico que estima un valor especifico.
[11] Probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera.
[12] Son los datos obtenidos de las velocidades reales y teóricas

Tabla 11. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales sobre la velocidad de 60 km/h

	REAL	***TEORICO***
Media	54,6660611	54,3706845
Varianza	0,23160595	0,24402022
Observaciones	24	24
Varianza agrupada	0,23781308	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	46	
Estadístico t	2,09820984	
P(T<=t) una cola	0,02070378	
Valor crítico de t (una cola)	1,67866041	
P(T<=t) dos colas	0,04140757	
Valor crítico de t (dos colas)	2,0128956	

Con la velocidad constante de 80 km/h se ha realizado la prueba **"t"** para dos muestras suponiendo varianzas iguales utilizando el anexo XI. Los resultados obtenidos de estas pruebas se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales sobre la velocidad de 80 km/h

	REAL	***TEORICO***
Media	78,5679411	78,1840846
Varianza	0,20203286	0,19095805
Observaciones	24	24
Varianza agrupada	0,19649545	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	46	
Estadístico t	2,99973764	
P(T<=t) una cola	0,00217574	
Valor crítico de t (una cola)	1,67866041	
P(T<=t) dos colas	0,00435149	
Valor crítico de t (dos colas)	2,0128956	

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

En esta sección se interpreta las gráficas de los resultados realizados en el programa de Matlab y el método estadístico de pruebas **"t"** para dos muestras independientes que se realizó en el capítulo IV. Durante la realización del recorrido urbano usando el modo de conducción Normal y la velocidad crucero de 40 km/h, 60km/h y 80 km/h del HEV, en cada muestra se adquirió los datos en lapsos de 10 minutos de conducción, así mismo la selección de variables involucradas en el comportamiento del tren de potencia se logró 63 variables, por esta razón se estableció la filtración de variables mediante condiciones controladas de manejo, de las cuales se obtiene: la velocidad, el tiempo de recorrido, el tiempo de aceleración y el tiempo de desaceleración.

La elaboración del código de programación en Matlab para generar gráficas de salidas de la simulación, que permite visualizar el comportamiento del HEV obtenidas del modelo matemático y del módulo de la ECU, posterior se analiza las gráficas de cada velocidad crucero en modo Normal que se obtuvo en un lapso de 10 minutos, para ello se construye una nueva gráfica tomando en cuenta los límites máximos y mínimos, tiempos similares en un lapso de 20 segundos y en dicho tiempo nos arroja 24 observaciones que están detalladas en las tablas de los Anexos (IX, X y XI) del presente proyecto técnico, para poder realizar el método estadístico de prueba **"t"** para dos muestras independientes con varianzas desconocidas suponiendo que estas son iguales, con el fin de determinar que si existen diferencia significativas entre las gráficas de velocidad real y velocidad teórica. Finalmente, se obtiene el error de modelamiento que es el resultado entre la diferencia de las velocidades analizadas y esto se expresa en cantidades porcentuales.

5.1. Gráficas de velocidades en Matlab

Como podemos ver en la figura 32, el comportamiento de la velocidad teórica vs la velocidad real en la prueba realizada a una velocidad constante de 40 km/h presenta distorsiones en la gráfica del modelo matemático con respecto a las pruebas de recorrido, debido a esto los parámetros de entrada localizados en el comando de velocidad de modelo matemático del tren de potencia, donde se determina los tiempos de aceleración y desaceleración, que se efectúa en función de las pruebas realizadas en el HEV mediante experimentación del comportamiento del tren de potencia en autopista, midiendo la capacidad de que el conductor mantenga los tiempos de aceleración. Por lo tanto, se define el punto "A" mostrado en los gráficos un tiempo de inicio de aceleración (TIA) de

3 segundos, luego en el punto “B” el tiempo que finaliza la aceleración (TFA) que es de 3.28 segundos, por otra parte, en el punto “C” es el tiempo que inicia la desaceleración (TID) de 16.72 segundos y, por último, el punto “D” el tiempo que finaliza la desaceleración (TFD) es de 17 segundos.

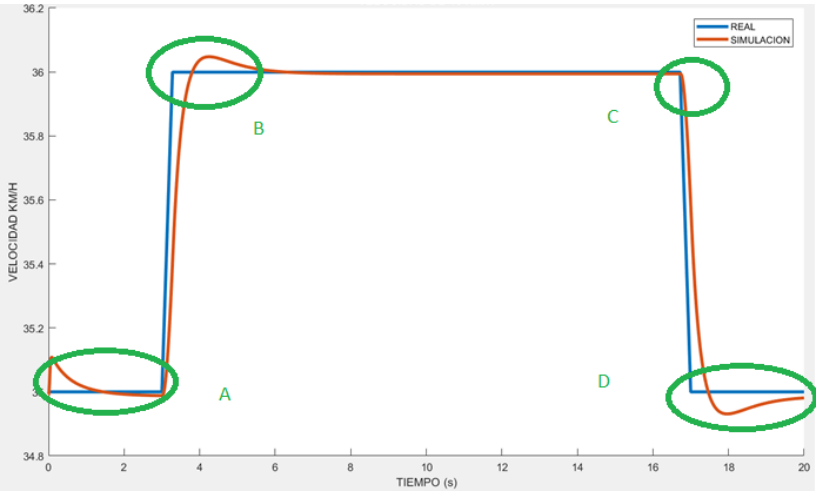


Figura 32: Velocidad constante de 40 km/ h tiempo real vs velocidad en tiempo teórico.

En la Figura 33 se muestra el comportamiento de la velocidad teórica vs la velocidad real en la prueba realizada a una velocidad constante de 60 km/h donde las zonas A, B, C y D tienen el mismo comportamiento descrito anteriormente.

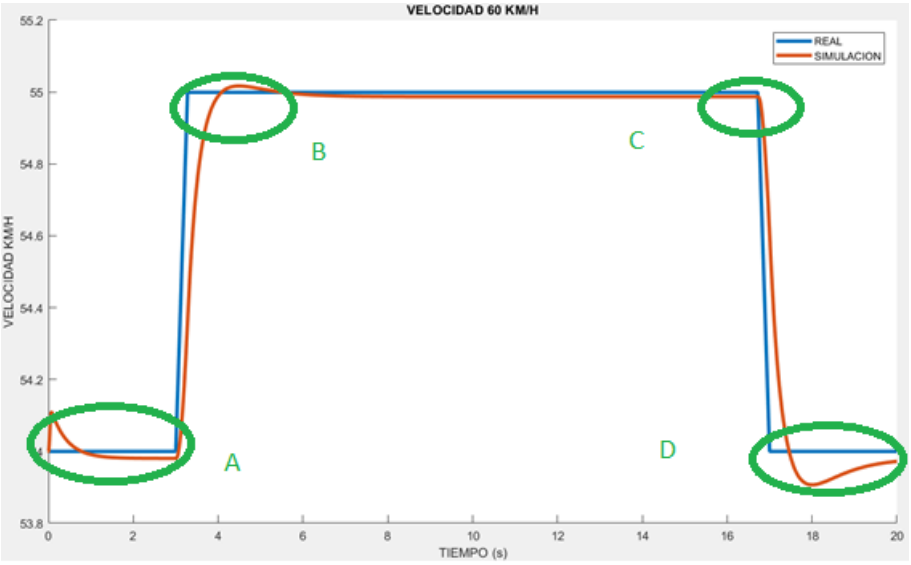


Figura 33: Velocidad constante de 60 km/ h tiempo real vs velocidad en tiempo teórico.

En la Figura 34 se muestra el comportamiento de la velocidad teórica vs la velocidad real en la prueba realizada a una velocidad constante de 80 km/h donde las zonas A, B, C y D tienen el mismo comportamiento descrito anteriormente.

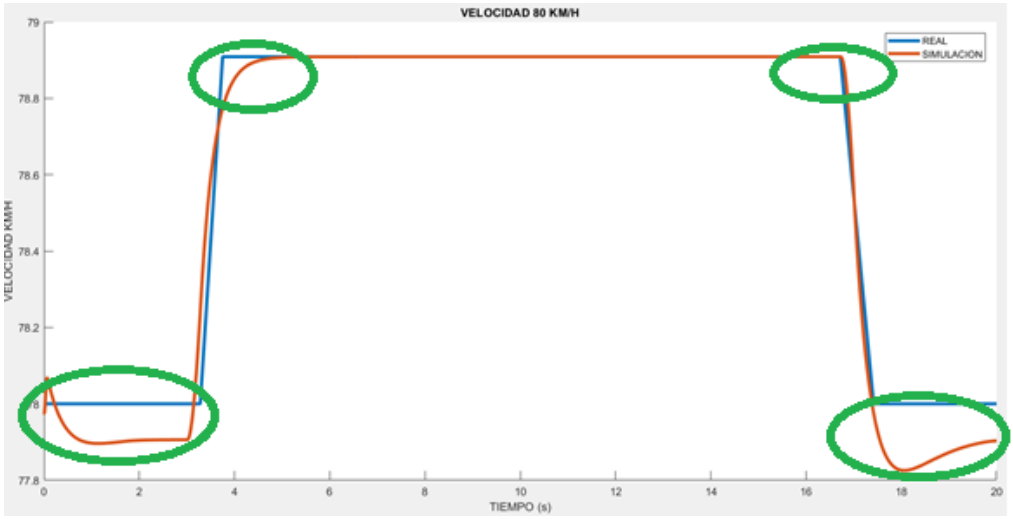


Figura 34: Velocidad constante de 80 km/ h tiempo real vs velocidad en tiempo teórico.

Se concluye que las tres graficas tiene un comportamiento similar, porque a pesar de ser diferentes velocidades, la variable de entrada que se componen de: el tiempo de inicio de aceleración, el tiempo que finaliza la aceleración, el tiempo de inicio de desaceleración y el tiempo que finaliza la desaceleración son valores iguales en todas las pruebas a diferentes velocidades.

5.2. Prueba “t” Student para dos muestras independientes con varianzas desconocidas suponiendo que estas son iguales

El método de Prueba “t” para dos muestras independientes con observaciones menores a 30, nos permite estimar si hay diferencias significativas entre la velocidad real y la velocidad teórica con un nivel de confianza de 95% y un nivel de significancia de 0.05. En u_1 representa la media de la velocidad real y u_2 la media de la velocidad teórica; en la hipótesis nula H_o indica que no existe diferencias significativas y la hipótesis alternativa H_1 que sí existe diferencias significativas también se realiza la prueba “p” donde si el valor es mayor al nivel de significancia la hipótesis nula se acepta, caso contrario si es menor al nivel de significancia la hipótesis nula se rechaza. Finalmente, el error de modelado se calcula mediante la diferencia de las velocidades analizadas multiplicado por cien y divido con la media de la gráfica de la velocidad real.

Con la velocidad constante de 40 km/h se realiza la prueba “**t**” para dos muestras con varianzas desconocidas suponiendo que estas son iguales como se presenta en la tabla 10 (capítulo IV). Para empezar se obtiene 46 grados de libertad que proviene de la suma de dos tamaños de muestras (24 observaciones cada uno) restando dos y con un nivel de

confianza 95% se obtiene un valor crítico para un prueba "**t**" (dos colas)[13] es de 2.0128956 donde se determina la localización del límite de la zona de aceptación y de rechazo de la hipótesis nula, luego se calcula el valor de prueba "**t**" que es de 2.283356, situándose este valor en la zona de rechazo de la hipótesis nula, por otro lado, el valor de "p" es de 0,0270765 siendo este menor al valor nivel de significancia y con esto se afirma que la hipótesis nula se rechaza como podemos ver en la Figura 35. Con estos resultados se concluye que existen diferencias significativas entre las medias poblacionales de la velocidad real con respecto a la velocidad teórica y esta es de 0.3134684 km/h, con dicha diferencia se calcula el error de modelamiento por lo cual se obtiene 0.886688%.

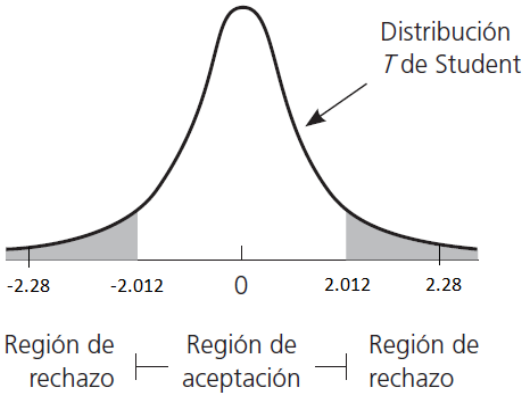


Figura 35: Prueba "t" para muestra independientes de la velocidad constante de 40 km/h.

Con la velocidad constante de 60 km/h se realiza la prueba "**t**" para dos muestras con varianzas desconocidas suponiendo que estas son iguales como se presenta en la tabla 11 (Capitulo IV). Para empezar se obtiene 46 grados de libertad que proviene de la suma de dos tamaños de muestras (24 observaciones cada uno) restando dos y con un nivel de confiabilidad 95% se obtiene un valor crítico para un prueba "**t**" (dos colas) es de 2.0128956 donde se determina la localización del límite de la zona de aceptación y de rechazo de la hipótesis nula, luego se calcula el valor de prueba "**t**" que es de 2,09820984, situándose este valor en la zona de rechazo de la hipótesis nula, por otro lado, el valor de "p" es de 0,04140757 siendo menor al valor nivel de significancia y se concluye, que la hipótesis nula se rechaza como podemos ver en la Figura 36. Con estos resultados se concluye que existen diferencias significativas entre las medias poblacionales de la

[13] La hipótesis alternativa H_1 es de tipo "no igual" ($\neq$) y la ubicación de la región de rechazo estaría repartida entre ambos lados de la distribución del estadístico de prueba

velocidad real con respecto a la velocidad teórica y esta es de 0.29537666 km/h, con dicha diferencia se calcula el error de modelamiento por lo cual se obtiene 0.54326455 %.

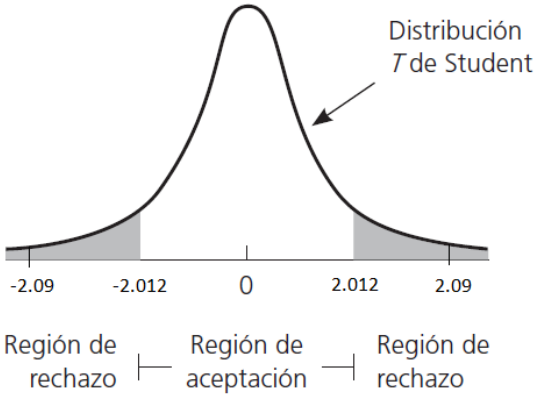


Figura 36: Prueba "t" para muestra independientes de la velocidad constante de 60 km/h.

Con la velocidad constante de 80 km/h se realiza la prueba "**t**" para dos muestras con varianzas desconocidas suponiendo que estas son iguales como se presenta en la tabla 12 (Capitulo IV). Para empezar se obtiene 46 grados de libertad que proviene de la suma de los tamaños de muestras (24 observaciones cada uno) restando dos y con un nivel de confiabilidad 95% se obtiene un valor crítico para un prueba "**t**" (dos colas) es de 2,0128956 donde se determina la localización del límite de la zona de aceptación y rechazo de la hipótesis nula, luego se calcula el valor de prueba "**t**" que es de 2,99973764 situándose este valor en la zona de rechazo de la hipótesis nula, por otro lado, el valor de "p" es de 0,00435149 siendo este menor al valor nivel de significancia y se concluye, que la hipótesis nula se rechaza como podemos ver en la Figura 37. Con estos resultados que existen diferencias significativas entre las medias poblacionales de la velocidad real con respecto a la velocidad teórica y esta es de 0.29537666 km/h, con esta dicha diferencia se calcula el error de modelamiento por lo cual se obtiene 0.38162714 km/h.

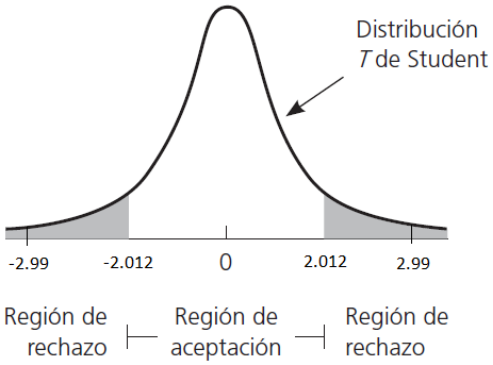


Figura 37: Prueba "t" para muestra independientes de la velocidad constante de 80 km/h.

5.3. Descripción de la caracterización tecnológica del HEV

Mediante la caracterización tecnológica del HEV a través de la definición de su tren de potencia y del modelo matemático se logró obtener los siguientes datos: la media de la velocidad constante de 40 km/h, en la velocidad real es de 35.66 km/h y en la velocidad teórica es de 35.35 km/h, tiene una variación estimada con una desviación estándar en la velocidad real que es de 0.48 km/h esto quiere decir que la velocidad se encuentra entre 35.18 km/h y 36.14 km/h. En la velocidad teórica tiene una variación estimada con una desviación estándar de 0.46 km/h lo que significa que la velocidad se encuentra entre 34.89 km/h y 35.81 km/h. El límite máximo que se logra al observar sobre el comportamiento de las velocidades analizadas es de 35.99 km/h y el límite mínimo es de 34.99 km/h, como se muestra Figura 29 (Capitulo IV).

La siguiente caracterización corresponde a la velocidad constante de 60 km/h donde: la media de la velocidad real es de 54.66 km/h y en la velocidad teórica es de 54.37 km/h, tiene una variación estimada con una desviación estándar en la velocidad real que es de 0.48 km/h esto quiere decir que la velocidad se encuentra entre 54.18 km/h y 55.14 km/h. En la velocidad teórica tiene una variación estimada con una desviación estándar de 0.49 km/h lo que significa que la velocidad se encuentra entre 53.88 km/h y 54.86 km/h. El límite máximo que se logra al observar sobre el comportamiento de las velocidades analizadas es de 53.99 km/h y el límite mínimo es de 54.99 km/h, como se muestra Figura 30 (Capitulo IV).

Finalmente, con la caracterización que corresponde a la velocidad constante de 80 km/h donde: la media de la velocidad real es de 78.56 km/h y en la velocidad teórica es de 78.18 km/h, tiene una variación estimada con una desviación estándar en la velocidad real que es de 0.44 km/h esto quiere decir que la velocidad se encuentra entre 78.12 km/h y 79 km/h. En la velocidad teórica tiene una variación estimada con una desviación estándar de 0.43 km/h lo que significa que la velocidad se encuentra entre 77.75 km/h y 78.61 km/h. El límite máximo que se logra al observar sobre el comportamiento de las velocidades analizadas es de 53.99 km/h y el límite mínimo es de 54.99 km/h, como se muestra Figura 31 (Capitulo IV).

CONCLUSIONES

- Mediante la revisión bibliográfica de estos estudios relacionados con la tecnología del HEV del laboratorio Blue Drive de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil se logró conocer los diferentes conceptos del HEV, los grados de hibridación y las arquitecturas hibridas; así mismo, el proceso de la simulación y revisión de diferentes modelos matemáticos aplicados en el HEV, esto permitió desarrollar una metodología acerca de los modelos matemáticos de cada uno de los elementos del tren de potencia a aplicarse.
- Se construyó el modelo matemático de la configuración del tren de potencia del HEV mediante una adaptación de la arquitectura hibrida preestablecida “Power Slip Hybrid Transmision” propuesta por la herramienta computacional de programación y simulación Matlab/Simulink que permite estimar la velocidad que desarrolla el tren de potencia. Posteriormente, se realizó la adecuación del modelo matemático del tren de potencia del HEV, por lo que se definió las variables de entradas, variables fijas y variable de salidas.
- Mediante la realización de pruebas en recorridos urbanos en la ciudad de Guayaquil se registró los datos del módulo de la ECU desde un OBD-II realizando la conducción en modo Normal y a velocidades de crucero de 40 km/h, 60km/h y 80 km/h con lo cual se logró conocer las variables de funcionamiento el HEV y se procedió a clasificar las variables de la velocidad y el tiempo de recorrido, utilizando el software OBDWIZ para almacenar los datos en el ordenador, con el fin de comparar los resultados de las pruebas del recorrido urbano y el modelo matemático del tren de potencia. Finalmente, se determinó el error de modelamiento por medio del método estadístico de prueba “t” para dos muestras independientes con varianzas iguales en diferentes velocidades obteniendo un error porcentual promedio de 0.6038599% que es inferior al 10% que se tenía como objetivo a lograr.

La caracterización tecnológica del HEV, permite conocer el flujo de variables en un modelo matemático que rige el comportamiento del tren de potencia y simular condiciones de funcionamiento con un error mínimo, abriendo las puertas, a futuros estudios de la aplicación de los vehículos híbridos en Ecuador.

RECOMENDACIONES

Para realizar el uso de los modelos matemáticos propuestos en el programa Matlab/Simulink, se recomienda verificar las versiones en la que fueron elaborados debido a que estas configuraciones preestablecidas del programa de simulación son desarrolladas en versiones anteriores y sus componentes de la biblioteca de Simulink no se encuentra en las versiones actuales es por esta razón que las configuraciones al realizar la adecuación de las arquitecturas hibridas se procede a obtener errores en el sistema.

En la adquisición de datos, es recomendable realizar un estudio acerca del software en la que se puede almacenar los datos y posterior puedan exportar en archivos que pueda facilitar para realizar el proyecto.

REFERENCIAS

Acosta, J. (2013). *Estudio del sistema híbrido, diseño, construcción e implementación de un modelo de conexión de fuerzas propulsoras de transmisión por medio de engranajes planetarios*. [UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR]. https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/149/1/T-UIDE-0146.pdf

Alcivar, J. (2006). *Diseño Implementación Y Análisis De Un Prototipo De Vehiculo Hibrido* [ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL]. https://www.researchgate.net/publication/28793882_Diseno_Implementacion_Y_Analisis_De_Un_Prototipo_De_Vehiculo_Hibrido

Alejandro López Sebastián. (2013). *Estudio del Tren de Potencia del Toyota Prius y la influencia de la batería en los diferentes modos de conducción* [Universidad Zaragoza]. moz-extension://0c13f9ee-267a-4a7f-ad18-37cc0850098e/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Fzaguan.unizar.es%2Frecord%2F12929%2Ffiles%2FTAZ-TFM-2013-1101.pdf

Autonomie. (n.d.). *Hybrid Electric Vehicles*. Retrieved October 10, 2021, from https://www.autonomie.net/references/hev_26d.html

Bas, K., Kravets, V., Ziborov, K., Fedoriachenko, D., Krivda, V., Fedoriachenko, S., & Kornilenko, I. O. (2017). Mathematical Models of Hybrid Vehicle Powertrain Performance. Mechanics. *Materials Science & Engineering Journal*. https://doi.org/10.2412/mmse.01.971.560ï

Becerra, G., & Alvarez-Icaza, L. (2011). *Control del flujo de potencia en vehículos híbridos*. http://amca.mx/memorias/amca2011/papers/amca2011-58-tema10.pdf

Becerra, G., Pantoja-Vázquez, A., & Alvarez-Icaza, L. (2013). *Estrategias para el control de flujo de potencia en vehículos híbridos*. http://amca.mx/memorias/amca2013/papers/0106.pdf

Berzi, L., Delogu, M., & Pierini, M. (2016). Development of driving cycles for electric vehicles in the context of the city of Florence. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *47*, 299–322. https://doi.org/10.1016/J.TRD.2016.05.010

Can GÖKÇE, B. Sc. (2005). *MODELLING AND SIMULATION OF A SERIES PARALLEL HYBRID ELECTRICAL VEHICLE*. http://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/1398/1/3337.pdf

Capellan, G. (2017). *Caracterización del tren de potencia de un vehículo eléctrico de categoría L7 tipo Smart* . https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/108997/tfmguillermocuestafinal.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Carson, J. S. (2005). Introduction to modeling and simulation. *Proceedings - Winter Simulation Conference*, *2005*, 16–23. https://doi.org/10.1109/WSC.2005.1574235

Center for Advance Automotive Technology. (2018). *HEV Levels*. Center for Advance Automotive Technology. http://autocaat.org/Technologies/Hybrid_and_Battery_Electric_Vehicles/HEV_Levels/

Chamorro Aguado, J. (2013). *Diseño de una estrategia para la gestión energética de un vehículo híbrido enchufable*. https://minio2.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/pdf/2020/09_23/apk6vl1600853111.pdf?X

-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=LB63ZNJ2Q66548XDC8M5%2F20211010%2F%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20211010T233602Z&X-Am

Chele, D. (2017). Vehículos híbridos, una solución interina para bajar los niveles de contaminación del medio ambiente causados por las emisiones provenientes de los motores de combustión interna . *INNOVA Research Journal*, *2*(12), 1–10. https://doi.org/10.33890/innova.v2.n12.2017.527

Chong Terán, Y. (2018). *Análisis De La Batería De Alta Tensión Del Toyota Prius 4G* [Universidad Internacional del Ecuador]. https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2558/1/T-UIDE-182.pdf

Dademuchconnection. (n.d.). *Modelo matemático de un vehículo. Simulación en Matlab/Simulink*. Retrieved October 10, 2021, from https://dademuch.com/2018/04/30/modelo-matematico-de-un-vehiculo-en-matlab-simulink/

Dao, T.-S., Seaman, A., & Mcphee, J. (2010). Mathematics-Based Modeling of a Series-Hybrid Electric Vehicle. In *5th Asian Conference on Multibody Dynamics 2010*. https://www.maplesoft.com/Whitepapers/SeriesHEV_acmd2010.pdf

Devendra K. Chaturvedi. (2010). *Modeling and Simulation of Systems Using MATLAB and Simulink* . CRC PRESS. https://www.academia.edu/42768785/Modeling_and_Simulation_of_Systems_Using_MATLAB_and_Simulink_Devendra_K_Chaturvedi_CRC_2010_

Estrategia Nacional de Electromovilidad para Ecuador. (2021). *Banco Interamericano (BID)*. https://varusecuador.com/wp-content/uploads/2021/05/Estrategia_Nacional_de_Electromovilidad_Ecuador.pdf

Evangelou, S. A., & Shukla, A. (2012). Advances in the modelling and control of series hybrid electric vehicles. *Proceedings of the American Control Conference*, 527–534. https://doi.org/10.1109/ACC.2012.6315156

Panzera, D. (2020). *ficha-técnica-Toyota-corolla*. 16 Válvulas. https://www.16valvulas.com.ar/wp-content/uploads/2020/02/ficha-tecnica-toyota-corolla.jpg

Gallardo, A. (2019). *"Simulación y optimización de un vehículo de tracción híbrida, para recuperar y gestionar la energía de las baterías."* https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2372/Alejandro Gallardo_Tesis_Titulo Profesional_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gorbea, C., Spielmannleitner, T., Lindemann, U., & Fricke, E. (2008). Analysis of Hybrid Vehicle Architectures using Multiple Domain Matrices. *10TH INTERNATIONAL DESIGN STRUCTURE MATRIX CONFERENCE, DSM'08*. https://www.designsociety.org/download-publication/27453/Analysis+of+Hybrid+Vehicle+Architectures+using+Multiple+Domain+Matrices

Govardhan, O. M. (n.d.). Fundamentals and Classification of Hybrid Electric Vehicles. *International Journal of Engineering and Techniques*, *3*. Retrieved December 14, 2021, from http://oaji.net/articles/2017/1992-1515159589.pdf

Guillcatanda, P., & Zambrano, M. (2019). *Análisis y optimización del comportamiento aerodinámico de la carrocería de un bus categoría M3 (interprovincial)*. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18381/1/UPS-CT008691.pdf

Gutiérrez, H., & de La Vara, R. (2012). *Análisis y Diseño de Experimentos Gutiérrez, H.; De La Vara, R. McGraw-Hill, México, 2012* (Tercera). McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. https://1library.co/document/download/zg6d25vq?page=1

HOLGUÍN OJEDA, C. E. (2015). *ESTUDIO Y ANALISIS DE LA TRASMISIÓN DEL VEHÍCULO TOYOTA PRIUS HÍBRIDO MODELO A, AÑO 2010* [UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR]. https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/837/1/T-UIDE-13.pdf

Hybrid Auto. (n.d.). *Toyota Power Split device*. Retrieved October 10, 2021, from https://hybridautopart.com/blog/toyota-prius-power-split-device/

Izquierdo, Francisco., Diaz, Vicente., & Vera, Carlos. (2001). *Teoría de los vehículos automóviles* (Segunda). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid. https://www.worldcat.org/title/teoria-de-los-vehiculos-automoviles/oclc/907308571

Lind, D., Marchal, W., & Wathen, S. (2012). *ESTADISTICA APLICADA A LOS NEGOCIOS Y LA ECONOMIA* (Decimoquinta). McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. https://cape.fcfm.buap.mx/jdzf/cursos/est1/libros/book1e1.pdf

Liu, J., & Peng, H. (2008). Modeling and control of a power-split hybrid vehicle. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, *16*(6), 1242–1251. https://doi.org/10.1109/TCST.2008.919447

Luque, P., Álvarez, D., & Vera, C. (2004). *Ingeniería del automóvil : Sistemas y Comportamiento dinámico*. Editorial Paraninfo. https://books.google.com/books/about/Ingenier%C3%ADa_del_autom%C3%B3vil_Sistemas_y_co.html?hl=es&id=JDuzY9j6HwMC

Maldonado, S., Martínez, E., & Francisco, C. (2018). *INVESTIGACIÓN DEL PROCESO DE CARGA (SOC) Y DE DESCARGA (DSOC) DE LAS BATERÍAS DE ALTA TENSIÓN PARA ESTIMAR SU EFICIENCIA Y TIEMPO DE VIDA ÚTIL A TRAVÉS DE UN MÓDULO DE CORRIENTE CONSTANTE*. http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/14952/T-ESPEL-MAI-0634.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Nanaki, E. A. (2021). *Electric Vehicles for Smart Cities*. Copyright © 2021 Elsevier Inc. All rights reserved. https://bibliotecas.ups.edu.ec:2230/science/article/pii/B978012815801200006X#bib90

Nasiri, H., Radan, A., & Ghayebloo, A. (n.d.). A MATLAB Simulink model for Toyota Prius 2004 based on DOE reports. *2011*. Retrieved February 26, 2022, from https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6020579&tag=1

OBDLink MX+ OBD2 - Escáner Bluetooth para iPhone, Android y Windows : Automotriz. (n.d.). Amazon.Com. Retrieved March 6, 2022, from https://www.amazon.com/-/es/OBDLink-MX-OBD2-Esc%C3%A1ner-Bluetooth/dp/B07JFRFJG6

ORDENANZA DE ESTIMULO A LA TRANSPORTACIÓN ELÉCTRICA. (2018). *GACETA OFICIAL M.I MUNICIPALIDAD DE GUAYAQUIL*. https://www.guayaquil.gob.ec/wp-content/uploads/Documentos/Gacetas/Periodo%202014-2019/Gaceta%2077.pdf

Plaza, D. (2021). *Mild Hybrid, semihíbrido o MHEV, ¿qué es y para qué sirve?* Motor.Es. https://www.motor.es/que-es/mild-hybrid

Rodriguez, F. (1991). *Tecnicas y modelos de simulacion de sistemas* (Primera). Instituto Politecnico Nacional. https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/72173?page=11

Rodríguez, S. (2020). *Modelado y simulación de un coche eléctrico en Simulink-Simscape*. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/31686/TFG_Samuel_Rodriguez_Carmona.pdf?sequence=1

Santafe, A., & Gozalvez, J. M. (2016). *Analisis y simulacion de procesos con Mathcad* (Primera). Universidad Politécnica de Valencia. https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/57405?page=11

Shannon, R. E. (1998). Introduction to the art and science of simulation. *Winter Simulation Conference Proceedings*, *1*, 7–14. https://doi.org/10.1109/WSC.1998.744892

Susana Alegre Buj, M. (n.d.). *MODELADO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO E HÍBRIDO PARALELO POR MEDIO DE MATLAB/SIMULINK Y PLANIFICACIÓN DE ESTACIONES DE CARGA MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y ALGORITMOS GENÉTICOS* . Retrieved October 5, 2021, from http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/tesisuned:IngInd-Msalegre/ALEGRE_BUJ_Susana_Tesis.pdf

TOYOTA VALLEJO. (n.d.). *TOYOTA COROLLA-HYBRID 2021*. Retrieved October 9, 2021, from https://toyotavallejo.com.mx/COROLLA-HYBRID/21/

VARUS - Nueva Ordenanza para el Transporte Eléctrico en Guayaquil. (n.d.). Retrieved October 19, 2021, from https://varusecuador.com/guayaquil-incentivos-electricos/

Wang, R., & Lukic, S. M. (2011). Review of Driving Conditions Prediction and Driving Style Recognition Based Control Algorithms for Hybrid Electric Vehicles. *IEEE Xplore*. https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6043061

Wei Liu. (n.d.). *Introduction to Hybrid Vehicle System Modeling and Control* . Retrieved October 10, 2021, from https://books.google.es/books?hl=es&lr&id=sVgVbG5WtYkC&oi=fnd&pg=PP7&dq=hybrid+vehicle+mathematical+modeling&ots=oSkux4Wlo5&sig=vfHltVUDZWKIWXOVBoadasI5BMA#v=onepage&q=hybrid vehicle mathematical modeling&f=false

Zhang, J., Wang, Z., Liu, P., Zhang, Z., Li, X., & Qu, C. (2019). Driving cycles construction for electric vehicles considering road environment: A case study in Beijing. *Applied Energy*, *253*, 113514. https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2019.113514

Zhang, X. (2015). *Design of Power Split Hybrid Powertrains with Multiple Planetary Gears and Clutches*. https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/116659/xiaowuz_1.pdf?sequence=1

ANEXO

ANEXO I. FICHA TECNICA

Nuevo Corolla	2.0 XLI MT	2.0 XLI CVT	2.0 XEI MT	2.0 XEI CVT	2.0 SEG CVT	HV 1.8 XEI eCVT	HV 1.8 SEG eCVT
Dimensiones y Pesos							
Largo / Ancho / Alto (mm)	4.630 / 1.780 / 1.435					4.630 / 1.780 / 1.455	
Distancia entre ejes (mm)	2.700						
Capacidad del baúl (lt)	470						
Radio mínimo de giro (m)	5,6				5,8	5,6	5,8
Capacidad del tanque combustible (lt)	50					43	
Peso en orden de marcha (kg)	1.340	1.375	1.355	1.390	1.405		1.425

Motor naftero		
Modelo	Dynamic Force - M20A- FKS	2ZR-FXE
Cilindrada (cc)	1.987	1.798
Tipo	4 cilindros en línea, naftero	
Distribución	16 válvulas, DOHC con cadena de distribución y sistema Dual VVT-i (VVT-iE de admisión y VVT-i de escape)	16 válvulas, DOHC con cadena de distribución y sistema VVT-i
Alimentación	Sistema de inyección mixta D4-S (directa e indirecta)	Sistema de inyección electrónica multipunto
Diámetro y carrera de pistón (mm)	80,5 x 97,6	80,5 x 88,3
Relación de compresión	13.0:1	
Potencia máxima (Cv (Kw) / rpm)	170 (125) / 6.600	98 (72) / 5.200
Torque máximo (Nm / rpm)	200 / 4.400-4.800	142 / 3.600

Sistema híbrido autorecargable		
Potencia máxima combinada (CV (Kw) / rpm)	-	122 (90) / 5.200

Fuente: Panzera, D. (2020). *ficha-tecnica-toyota-corolla*. 16 Valvulas. https://www.16valvulas.com.ar/wp-content/uploads/2020/02/ficha-tecnica-toyota-corolla.jpg

Sistema híbrido autorecargable		
Potencia máxima combinada (CV (Kw) / rpm)	-	122 (90) / 5.200

Motor eléctrico		
Modelo	-	1 NM
Potencia máxima (CV (Kw))	-	72 (53)
Voltaje (V)	-	600

Batería		
Tipo	-	Níquel Metal hidruro (Ni-HM)
Voltaje (V)	-	201,6
Capacidad (Ah)	-	6,5

Nuevo Corolla		2.0 XLI MT	2.0 XLI CVT	2.0 XEI MT	2.0 XEI CVT	2.0 SEG CVT	HV 1.8 XEI eCVT	HV 1.8 SEG eCVT
Transmisión y Chasis								
Transmisión	Tipo	Manual	AT "Direct Shift" CVT	Manual	AT "Direct Shift" CVT		AT eCVT controlada electrónicamente	
	Cantidad de velocidades	6	10 pre-programadas	6	10 pre-programadas		-	
Suspensión	Delantera	Independiente tipo MacPherson con amortiguadores telescópicos, resortes helicoidales y barra estabilizadora						
	Trasera	Independiente esquema doble horquilla con amortiguadores telescópicos, resortes helicoidales y barra estabilizadora						
Dirección	Tipo	Piñón y cremallera, con asistencia eléctrica progresiva (EPS)						
Frenos	Delanteros (mm)	Discos ventilados (282 mm)						
	Traseros (mm)	Discos sólidos (270 mm)						

Fuente: Panzera, D. (2020). *ficha-tecnica-toyota-corolla*. 16 Valvulas. https://www.16valvulas.com.ar/wp-content/uploads/2020/02/ficha-tecnica-toyota-corolla.jpg

ANEXO II. Códigos en Matlab

```
% dividir graficas en dos partes
subplot (2,1,1)
plot(MODONORMAL40S5 (:,1),MODONORMAL40S5(:,2))
subplot (2,1,2)
plot (VELOCIDAD_34(:,1),VELOCIDAD_34(:,2))

subplot (2,1,1)
plot(MODONORMAL60S5 (:,1),MODONORMAL60S5(:,2))
subplot (2,1,2)
plot (VELOCIDAD_54(:,1),VELOCIDAD_54(:,2))

subplot (2,1,1)
plot(MODONORMAL85S4 (:,1),MODONORMAL85S4(:,2))
subplot (2,1,2)
plot (VELOCIDAD_78(:,1),VELOCIDAD_78(:,2))

% guardar variables en una archivo mat
save ('grafica_34', 'VELOCIDAD_34', 'MODONORMAL40S5')
save ('grafica2_34', 'VELOCIDAD_34DV',
'MODONORMAL40S6','COMAND34')

save ('grafica_54', 'VELOCIDAD_54', 'MODONORMAL60S5')
save ('grafica2_60', 'VELOCIDAD_60DV',
'MODONORMAL60S6','COMAND60')

save ('grafica_78', 'VELOCIDAD_78', 'MODONORMAL85S4')
save ('grafica2_80', 'VELOCIDAD_80DV',
'MODONORMAL85S7','COMAND80')

% cargar variables
load ('grafica_34')
load ('grafica2_34')

load ('grafica_54')
load ('grafica2_60')

load ('grafica_78')
load ('grafica2_80')

% crear graficas en una sola
hold on
plot(MODONORMAL40S4 (:,1),MODONORMAL40S4(:,2))
plot (velocidad(:,1),velocidad(:,2))

hold on
plot(MODONORMAL40S6 (:,1),MODONORMAL40S6(:,2))
```

```
plot (VELOCIDAD_34DV(:,1),VELOCIDAD_34DV(:,2))

hold on
plot(MODONORMAL60S6 (:,1),MODONORMAL60S6(:,2))
plot (VELOCIDAD_60DV(:,1),VELOCIDAD_60DV(:,2))

hold on
plot(MODONORMAL85S7 (:,1),MODONORMAL85S7(:,2))
plot (VELOCIDAD_80DV(:,1),VELOCIDAD_80DV(:,2))

% guardar las variables a excel
xlswrite('matlab 34.xlsx', VELOCIDAD_34)
xlswrite('matlab 34M.xlsx', VELOCIDAD_34CM)
xlswrite('matlab 34DV.xlsx', VELOCIDAD_34DV)

xlswrite('matlab 54.xlsx', VELOCIDAD_54)
xlswrite('matlab 60.xlsx', VELOCIDAD_60DV)

xlswrite('matlab 78.xlsx', VELOCIDAD_78)
xlswrite('matlab 80DV.xlsx', VELOCIDAD_80DV)
```

ANEXO III. VELOCIDAD REAL DE 40 KM/H

Tiempo	Velocidad del vehiculo (km/h)
1	34,9999263
2	34,9999263
3	34,9999263
4	35,9993265
5	35,9993265
6	35,9993265
7	35,9993265
8	35,9993265
9	35,9993265
10	35,9993265
11	34,9999263
12	34,9999263
13	34,9999263
14	34,9999263
15	34,9999263
16	34,9999263
17	34,9999263
18	34,9999263
19	34,9999263
20	34,9999263
21	34,9999263
22	35,9993265
23	35,9993265
24	35,9993265
25	35,9993265
26	35,9993265
27	35,9993265
28	35,9993265
29	35,9993265
30	35,9993265
31	34,9999263
32	34,9999263
33	34,9999263
34	34,9999263
35	34,9999263
36	34,9999263
37	34,9999263
38	34,9999263
39	35,9993265
40	35,9993265
41	35,9993265
42	35,9993265
43	35,9993265
44	35,9993265
45	35,9993265
46	34,9999263
47	34,9999263
48	34,9999263
49	34,9999263
50	34,9999263
51	34,9999263
52	34,9999263
53	34,9999263
54	34,9999263
55	34,9999263
56	34,9999263
57	35,9993265
58	35,9993265
59	35,9993265
60	35,9993265
61	34,9999263
62	34,9999263
63	34,9999263
64	34,9999263
65	34,9999263
66	34,9999263
67	34,9999263
68	34,9999263
69	34,9999263
70	34,9999263
71	35,9993265
72	35,9993265
73	35,9993265
74	35,9993265
75	34,9999263
76	34,9999263
77	34,9999263
78	34,9999263
79	34,9999263
80	34,9999263
81	34,9999263
82	34,9999263
83	34,9999263
84	34,9999263
85	34,9999263
86	35,9993265
87	35,9993265
88	35,9993265
89	34,9999263
90	34,9999263
91	34,9999263
92	34,9999263
93	34,9999263
94	34,9999263
95	34,9999263
96	34,9999263
97	34,9999263
98	34,9999263
99	34,9999263
100	35,9993265
101	35,9993265
102	35,9993265
103	34,9999263
104	34,9999263

ANEXO IV. VELOCIDAD REAL DE 60 KM/H

Tiempo	Velocidad del vehiculo (km/h)
0	53,9997944
1	53,9997944
2	53,9997944
3	54,9991945
4	54,9991945
5	54,9991945
6	54,9991945
7	54,9991945
8	54,9991945
9	54,9991945
10	54,9991945
11	54,9991945
12	54,9991945
13	54,9991945
14	54,9991945
15	53,9997944
16	53,9997944
17	53,9997944
18	53,9997944
19	53,9997944
20	54,9991945
21	54,9991945
22	54,9991945
23	54,9991945
24	54,9991945
25	54,9991945
26	54,9991945
27	54,9991945
28	54,9991945
29	54,9991945
30	54,9991945
31	54,9991945
32	54,9991945
33	54,9991945
34	54,9991945
35	54,9991945
36	53,9997944
37	53,9997944
38	53,9997944
39	53,9997944
40	54,9991945
41	54,9991945
42	54,9991945
43	54,9991945
44	54,9991945
45	54,9991945
46	54,9991945
47	54,9991945
48	54,9991945
49	54,9991945
50	54,9991945
51	54,9991945
52	54,9991945
53	54,9991945
54	54,9991945
55	54,9991945
56	53,9997944
57	53,9997944
58	53,9997944
59	53,9997944
60	54,9991945
61	54,9991945
62	54,9991945
63	54,9991945
64	54,9991945
65	54,9991945
66	54,9991945
67	54,9991945
68	54,9991945
69	54,9991945
70	54,9991945
71	54,9991945
72	54,9991945
73	54,9991945
74	54,9991945
75	54,9991945
76	53,9997944
77	53,9997944
78	53,9997944
79	53,9997944
80	54,9991945
81	54,9991945
82	54,9991945
83	54,9991945
84	53,9997944
85	53,9997944
86	53,9997944
87	54,9991945
88	54,9991945
89	54,9991945
90	54,9991945
91	53,9997944
92	53,9997944
93	53,9997944

ANEXO V. VELOCIDAD REAL DE 80 KM/H

Tiempo	Velocidad del vehiculo (km/h)
0	77,9998818
1	77,9998818
2	77,9998818
3	77,9998818
4	78,9992819
5	78,9992819
6	78,9992819
7	78,9992819
8	78,9992819
9	78,9992819
10	78,9992819
11	78,9992819
12	78,9992819
13	78,9992819
14	78,9992819
15	78,9992819
16	78,9992819
17	78,9992819
18	77,9998818
19	77,9998818
20	77,9998818
21	77,9998818
22	78,9992819
23	78,9992819
24	78,9992819
25	78,9992819
26	78,9992819
27	78,9992819
28	78,9992819
29	78,9992819
30	78,9992819
31	78,9992819
32	78,9992819
33	78,9992819
34	78,9992819
35	78,9992819
36	78,9992819
37	78,9992819
38	77,9998818
39	77,9998818
40	77,9998818
41	77,9998818
42	78,9992819
43	78,9992819
44	78,9992819
45	78,9992819
46	78,9992819
47	78,9992819
48	78,9992819
49	78,9992819
50	78,9992819
51	78,9992819
52	78,9992819
53	78,9992819
54	78,9992819
55	78,9992819
56	78,9992819
57	77,9998818
58	77,9998818
59	77,9998818
60	77,9998818
61	77,9998818
62	78,9992819
63	78,9992819
64	78,9992819
65	78,9992819
66	78,9992819
67	78,9992819
68	78,9992819
69	78,9992819
70	78,9992819
71	78,9992819
72	78,9992819
73	78,9992819
74	78,9992819
75	78,9992819
76	78,9992819
77	78,9992819
78	77,9998818
79	77,9998818
80	77,9998818
81	77,9998818
82	78,9992819
83	78,9992819
84	78,9992819
85	78,9992819
86	78,9992819
87	78,9992819
88	78,9992819
89	78,9992819
90	78,9992819
91	78,9992819
92	78,9992819
93	78,9992819
94	78,9992819
95	78,9992819
96	78,9992819
97	77,9998818
98	77,9998818
99	77,9998818
100	77,9998818
101	77,9998818
102	78,9992819
103	78,9992819
104	78,9992819
105	78,9992819
106	78,9992819
107	78,9992819
108	78,9992819
109	78,9992819
110	78,9992819
111	78,9992819
112	78,9992819
113	78,9992819
114	78,9992819
115	78,9992819
116	78,9992819
117	78,9992819
118	77,9998818
119	77,9998818

ANEXO VI. VELOCIDAD TEORICO DE 40 KM/H

TIEMPO	VELOCIDAD
0	34,992
3,1554E-30	34,992
1,1068E-06	34,9919999
3,3204E-06	34,9919996
5,534E-06	34,9919994
1,0776E-05	34,9919989
1,4906E-05	34,9919984
2,0188E-05	34,9919979
2,547E-05	34,9919973
3,2803E-05	34,9919966
4,2384E-05	34,9919956
5,6322E-05	34,9919942
7,7025E-05	34,9919922
0,00011249	34,991989
0,0001845	34,9919832
0,00038491	34,9919723
0,00063716	34,9919693
0,00088941	34,9919782
0,00125329	34,9920115
0,00170181	34,9920853
0,00224705	34,9922227
0,00251235	34,992308
0,00251235	34,992308
0,00258103	34,9923325
0,00271839	34,992383
0,00289353	34,992452
0,0032441	34,9926054
0,00413623	34,9930849
0,00502836	34,9936887
0,00536871	34,9939508
0,00536871	34,9939508
0,0055481	34,9940981
0,00590686	34,9944021
0,00626563	34,9947245
0,00698984	34,9954298
0,00832325	34,9969114
0,00965665	34,9986184
0,01128793	35,0009914
0,0129192	35,0036553
0,01455047	35,0065874
0,01654184	35,0104989
0,0185332	35,014744
0,02093139	35,0202534
0,02332958	35,0261515
0,02622798	35,0337348
0,02912637	35,0417543
0,02961471	35,0431462
0,02961471	35,0431462
0,02980407	35,0436888
0,03018277	35,0447763
0,03056148	35,0458679
0,03110065	35,047426
0,03186235	35,0496286
0,03262406	35,0518248
0,03357391	35,0545416
0,03452376	35,0572216
0,03577865	35,0606857
0,03703354	35,0640444
0,03854592	35,0679288
0,04005831	35,0716165
0,04119881	35,0742591
0,04119881	35,0742591
0,04119881	35,0742591
0,04148727	35,0749043
0,04206418	35,0761789
0,0429199	35,0780108
0,04476928	35,0817305
0,04661865	35,0851261
0,04896986	35,0889897
0,05132106	35,0923702
0,05367227	35,0953008
0,05602347	35,0978183
0,05837468	35,0999606
0,06072588	35,1017652
0,06307708	35,103268
0,06483215	35,1042126
0,06658722	35,1050213
0,06834228	35,1057064
0,07009735	35,1062795
0,07185242	35,1067511
0,07318685	35,1070477
0,07452127	35,1072954
0,0758557	35,1074979
0,07719013	35,1076588
0,07821521	35,107756
0,07924028	35,1078321
0,08026536	35,1078882
0,08129043	35,1079256
0,0823155	35,1079455
0,08334058	35,107949
0,08344987	35,1079484
0,08344987	35,1079484
0,0835648	35,1079475
0,08379466	35,1079454
0,083976	35,1079432
0,08429768	35,1079381
0,08523781	35,1079154
0,08642487	35,1078705
0,08761193	35,1078088
0,08879899	35,1077315
0,08998605	35,1076397
0,09117311	35,1075347
0,09268035	35,1073837
0,0941876	35,107215
0,09569484	35,1070301
0,0976863	35,1067639
0,09967776	35,1064757
0,10239593	35,1060522
0,10511411	35,1055995
0,10840743	35,1050196
0,11170074	35,1044126
0,11499406	35,1037848
0,11828738	35,1031414
0,12158069	35,1024865
0,12487401	35,1018235
0,12816732	35,1011549
0,13070628	35,100637
0,13324523	35,1001179
0,13500736	35,0997573
0,1367695	35,0993965
0,1380458	35,0991353
0,13979958	35,0987765
0,14155335	35,098418
0,14403516	35,0979115
0,14651697	35,0974062
0,14962317	35,0967757
0,15272937	35,0961478
0,15646707	35,0953961
0,16020478	35,0946489
0,16469528	35,0937576
0,16918578	35,0928736
0,17463375	35,0918113
0,18008171	35,0907604
0,18683483	35,0894737

0,19358795	35,0882049
0,20228482	35,0865968
0,2109817	35,0850178
0,22289009	35,0829018
0,23479848	35,080838
0,25275317	35,0778218
0,27432336	35,0743441
0,30343716	35,0698888
0,34110324	35,0645044
0,37876933	35,0595159
0,41643541	35,0548901
0,4541015	35,0505966
0,49176758	35,0466082
0,521615	35,0436483
0,55146242	35,0408529
0,58130985	35,0382115
0,61115727	35,0357142
0,64100469	35,0333522
0,67085211	35,0311169
0,70069954	35,0290006
0,73054696	35,026996
0,76039438	35,0250964
0,78250372	35,0237534
0,80461306	35,0224621
0,8267224	35,0212202
0,85662511	35,0196153
0,89550569	35,0176493
0,93845115	35,0156256
0,98139661	35,0137452
1,02434207	35,0119965
1,06728753	35,0103693
1,10026859	35,0091963
1,13324965	35,0080855
1,16623071	35,007033
1,19921177	35,0060356
1,23219283	35,00509
1,2651739	35,0041932
1,29815496	35,0033425
1,33113602	35,0025352
1,36411708	35,001769
1,39709814	35,0010415
1,4416694	35,000116
1,50488366	34,9989083
1,56809791	34,9978128
1,61304684	34,9970964
1,65799577	34,9964273
1,70294469	34,9958024
1,74789362	34,9952185
1,79284255	34,9946727
1,83779148	34,9941625
1,8827404	34,9936854
1,92768933	34,9932391
1,98230134	34,9927353
2,05135107	34,9921536
2,11640624	34,9916572
2,18146141	34,9912059
2,24651658	34,9907955
2,31157175	34,9904222
2,37662693	34,9900826
2,4416821	34,9897736
2,50673727	34,9894923
2,57179244	34,9892362
2,57209605	34,9892351
2,57209605	34,9892351
2,57209605	34,9892351
2,57209605	34,9892351
2,57209605	34,9892351
2,57209605	34,9892351
2,57209606	34,9892351
2,57209608	34,9892351
2,5720962	34,9892351
2,57209679	34,9892351
2,57209974	34,9892351
2,57211449	34,989235
2,57218823	34,9892347
2,57255695	34,9892334
2,57440055	34,9892265
2,58361855	34,9891922
2,62970855	34,9890277
2,67579855	34,9888737
2,74726127	34,9886541
2,81872399	34,9884559
2,89018671	34,9882771
2,96164944	34,9881156
3	34,9880355
3	34,9880355
3	34,9880355
3,00009525	34,9880353
3,00028575	34,9880349
3,00047624	34,9880345
3,00078214	34,988034
3,00168391	34,9880328
3,00258568	34,9880328
3,00348745	34,9880346
3,00438923	34,9880386
3,005291	34,9880455
3,00640155	34,9880587
3,0075121	34,9880778
3,00891473	34,9881119
3,01031735	34,9881584
3,01206061	34,9882358
3,01380386	34,9883371
3,01554711	34,9884647
3,01729036	34,9886205
3,01903362	34,9888063
3,02128557	34,9890934
3,02353752	34,9894363
3,02656867	34,9899904
3,03022477	34,9908061
3,03388087	34,9917892
3,03863803	34,9933267
3,04339519	34,9951623
3,04972492	34,998073
3,05605464	35,0015202
3,0642067	35,0067454
3,07235876	35,0128435
3,08290503	35,0219972
3,0934513	35,0325378
3,10755163	35,0487115
3,12165197	35,0671665
3,13938277	35,0934332
3,15711357	35,122918
3,17951662	35,1644485
3,20191968	35,2104115
3,23032668	35,2744886
3,2561121	35,3377522
3,2561121	35,3377522
3,25804128	35,3426832
3,26189964	35,3525907
3,265758	35,3625858
3,27204107	35,3790341
3,27832415	35,3956796
3,28	35,4001511
3,28	35,4001511
3,28	35,4001511
3,28056253	35,4016554
3,28168759	35,4046661
3,28281266	35,4076805

3,28439934	35,4119359
3,28706887	35,4190979
3,28907143	35,4244668
3,29185742	35,4319197
3,29464341	35,4393441
3,29807086	35,4484241
3,3014983	35,4574319
3,30492575	35,4663559
3,30916792	35,4772716
3,31341009	35,4880326
3,31765226	35,49863
3,32297062	35,5116758
3,32828898	35,5244486
3,33470228	35,5394844
3,34111558	35,5541196
3,34902823	35,5716313
3,35694088	35,5885524
3,36728851	35,609817
3,37763614	35,6301368
3,39229049	35,657379
3,40694484	35,6829165
3,43040434	35,7205327
3,45386383	35,7544516
3,47732333	35,7850394
3,50078283	35,8126255
3,52424233	35,8375066
3,54770183	35,8599496
3,57116132	35,8801948
3,59462082	35,8984587
3,61808032	35,914936
3,64153982	35,9298024
3,66499931	35,9432161
3,68845881	35,9553194
3,71191831	35,966241
3,73537781	35,9760964
3,73545798	35,9761283
3,73545798	35,9761283
3,73545798	35,9761283
3,73909143	35,9775532
3,74635832	35,9803585
3,75362522	35,9830759
3,77344524	35,9900624
3,79326527	35,9964574
3,8130853	36,0023017
3,83290533	36,007633
3,85272535	36,0124866
3,87254538	36,0168953
3,89236541	36,0208899
3,91218544	36,0244993
3,93200546	36,0277505
3,95182549	36,0306688
3,97164552	36,0332778
3,99146555	36,0355997
4,01128557	36,0376552
4,0311056	36,0394637
4,05092563	36,0410433
4,07074566	36,042411
4,09056568	36,0435826
4,11038571	36,0445729
4,13020574	36,0453959
4,15002577	36,0460643
4,17413873	36,0466872
4,19825169	36,0471194
4,22236465	36,0473795
4,24647762	36,0474846
4,27059058	36,0474503
4,29470354	36,047291
4,30140798	36,047226
4,30140798	36,047226
4,30140799	36,047226
4,30140799	36,047226
4,30140799	36,047226
4,301408	36,047226
4,30140804	36,047226
4,30140827	36,047226
4,3014094	36,047226
4,30141507	36,0472259
4,30144341	36,0472256
4,30158512	36,0472241
4,30229365	36,0472168
4,30564348	36,0471806
4,31857094	36,0470225
4,33756906	36,0467389
4,36147239	36,046303
4,38537571	36,045788
4,40927904	36,0452031
4,4387966	36,0443975
4,46831417	36,0435128
4,49783173	36,0425619
4,53455953	36,0413044
4,57128733	36,039982
4,60801513	36,0386117
4,64474293	36,0372082
4,68147073	36,0357844
4,71819853	36,034351
4,74491404	36,0333074
4,77162954	36,0322669
4,79834505	36,031232
4,83054779	36,0299957
4,86275052	36,0287747
4,90261042	36,0272894
4,94247032	36,0258371
4,98233021	36,0244216
5,03130312	36,0227372
5,08027603	36,0211168
5,12924895	36,0195629
5,17822186	36,018077
5,24021668	36,0162942
5,3022115	36,0146205
5,36420633	36,0130539
5,42620115	36,0115913
5,50467026	36,0098828
5,58313938	36,0083256
5,66160849	36,0069099
5,75735318	36,0053594
5,85309788	36,0039866
5,96930541	36,0025332
6,07593813	36,0013814
6,07593813	36,0013814
6,0759382	36,0013814
6,0759382	36,0013814
6,07593827	36,0013814
6,07593841	36,0013814
6,07593912	36,0013814
6,07594269	36,0013814
6,07596051	36,0013812
6,07604961	36,0013803
6,07649512	36,0013758
6,07872266	36,0013535
6,08986038	36,0012431
6,13959609	36,0007694
6,20408561	36,0002004
6,29177758	35,9995019
6,37946955	35,9988822
6,48964575	35,9982019
6,59982194	35,9976175
6,70999814	35,9971161
6,84694881	35,9965907

6,98389948	35,9961571
7,12085014	35,9957994
7,25780081	35,9955046
7,39475148	35,9952616
7,53170215	35,9950615
7,70039677	35,9948626
7,86909139	35,994706
8,037786	35,9945829
8,20648062	35,9944861
8,41963459	35,9943925
8,63278857	35,9943235
8,84594254	35,9942726
9,11745477	35,9942265
9,38896701	35,9941952
9,73056157	35,9941697
10,0721561	35,9941542
10,4137507	35,9941447
10,7553452	35,9941389
11,0969398	35,9941354
11,4385344	35,9941332
11,7801289	35,9941319
12,1217235	35,9941311
12,463318	35,9941306
12,8049126	35,9941303
13,1465072	35,9941302
13,4881017	35,9941301
13,8296963	35,99413
14,1712908	35,9941299
14,5128854	35,9941299
14,85448	35,9941299
15,1960745	35,9941299
15,5376691	35,9941299
15,8792636	35,9941299
16,2208582	35,9941299
16,5624528	35,9941299
16,72	35,9941299
16,72	35,9941299
16,72	35,9941299
16,7201092	35,9941299
16,7203275	35,9941299
16,7205458	35,9941299
16,7208849	35,9941298
16,721839	35,9941289
16,7227932	35,9941267
16,7237474	35,9941223
16,7247016	35,9941152
16,724931	35,994113
16,724931	35,994113
16,724931	35,994113
16,724931	35,994113
16,724931	35,994113
16,724931	35,994113
16,724931	35,994113
16,724931	35,994113
16,7249311	35,994113
16,7249312	35,994113
16,7249321	35,994113
16,7249365	35,9941129
16,7249586	35,9941127
16,7250691	35,9941116
16,7256215	35,9941052
16,7265518	35,9940912
16,7274822	35,9940731
16,7286189	35,9940443
16,7297557	35,9940076
16,7312377	35,9939465
16,7327197	35,9938688
16,734504	35,9937514
16,7362883	35,9936057
16,7380727	35,9934296
16,739857	35,9932213
16,7416414	35,9929792
16,7442056	35,9925693
16,7467698	35,9920831
16,7503285	35,9912768
16,7538872	35,9903124
16,7586452	35,9887683
16,7634032	35,9869275
16,7696901	35,9840343
16,7759771	35,9806153
16,7840964	35,9754267
16,7922158	35,9693789
16,8027261	35,9603051
16,8132365	35,949866
16,8272132	35,9339538
16,84119	35,9158212
16,8588474	35,889913
16,8765049	35,8608413
16,8989112	35,8197161
16,9213176	35,7741882
16,9498302	35,7104541
16,9783428	35,6408082
16,9845809	35,6248217
16,9845809	35,6248217
16,9864626	35,6199434
16,990226	35,610145
16,9939894	35,600266
16,9998724	35,5846752
17	35,5843351
17	35,5843351
17	35,5843351
17,0005785	35,5827915
17,0017356	35,5797018
17,0028927	35,5766079
17,0045163	35,5722617
17,0072778	35,564866
17,0092257	35,5596524
17,0119739	35,552312
17,0147221	35,5449987
17,018082	35,5361082
17,0214418	35,5272856
17,0248016	35,5185417
17,0289461	35,5078771
17,0330905	35,4973568
17,037235	35,4869891
17,0424277	35,4742229
17,0476205	35,4617112
17,0538931	35,4469407
17,0601657	35,4325454
17,0679379	35,4152235
17,07571	35,3984611
17,0859615	35,3771826
17,096213	35,3568186
17,1109464	35,3290758
17,1286683	35,2979554
17,1525381	35,2596217
17,176408	35,2250553
17,2002779	35,1938913
17,2241477	35,1657991
17,2480176	35,1404791
17,2718875	35,1176605
17,2957573	35,0970982
17,3196272	35,0785708
17,3434971	35,0618783
17,3673669	35,0468401
17,3912368	35,033293
17,4151067	35,02109
17,4389765	35,0100982

17,4513003	35,0048576
17,4513003	35,0048576
17,4548462	35,0034139
17,4619381	35,0005705
17,4690299	34,9978143
17,4884489	34,9906916
17,5078679	34,9841613
17,5272869	34,9781832
17,5467059	34,9727205
17,5661249	34,9677385
17,5855439	34,963205
17,6049629	34,9590894
17,6243819	34,9553633
17,6438009	34,9519999
17,6632199	34,9489741
17,6826389	34,9462625
17,7020579	34,9438428
17,7214769	34,9416945
17,7408959	34,9397982
17,7603149	34,9381358
17,7797339	34,9366902
17,7991529	34,9354454
17,8185718	34,9343867
17,8379908	34,9335001
17,8574098	34,9327724

17,8768288	34,9321916
17,9013813	34,931649
17,9259337	34,9313015
17,9504862	34,9311297
17,9513317	34,9311268
17,9513317	34,9311268
17,9525075	34,9311232
17,9548593	34,9311166
17,957211	34,9311115
17,9623426	34,9311051
17,9805622	34,9311334
17,9987818	34,9312373
18,0231338	34,9314833
18,0474858	34,93184
18,0771479	34,9324055
18,10681	34,9330966
18,1364722	34,9338951
18,1735571	34,9350187
18,210642	34,9362565
18,2477269	34,937584
18,2848118	34,9389798
18,3218968	34,9404257
18,3589817	34,9419057
18,3960666	34,9434065
18,4255204	34,9446056

18,4549743	34,9458054
18,4844281	34,9470014
18,5138819	34,9481899
18,5433358	34,9493675
18,579551	34,9507963
18,6157661	34,9521999
18,6519813	34,9535747
18,6979564	34,9552737
18,7439315	34,956917
18,7899066	34,9585011
18,8450854	34,9603211
18,9002643	34,9620509
18,9554431	34,9636898
19,010622	34,9652384
19,0804223	34,9670707
19,1502227	34,968766
19,220023	34,9703302
19,2898234	34,97177
19,3798247	34,9734552
19,469826	34,9749614
19,5598274	34,9763045
19,6730798	34,9777871
19,7863322	34,979064
19,8995846	34,9801613
20	34,9810029

ANEXO VII. VELOCIDAD TEORICO DE 60 KM/H

TIEMPO	VELOCIDAD
0	54
3,1554E-30	54
7,7269E-07	53,9999998
2,3181E-06	53,9999994
4,5251E-06	53,9999988
9,3902E-06	53,9999976
1,4255E-05	53,9999964
2,024E-05	53,9999949
2,6225E-05	53,9999933
3,3477E-05	53,9999915
4,2619E-05	53,9999892
5,4776E-05	53,9999862
7,1155E-05	53,9999822
9,4483E-05	53,9999766
0,0001304	53,9999681
0,0001903	53,9999545
0,0003068	53,9999301
0,00056818	53,9998845
0,00082957	53,9998517
0,00117575	53,9998276
0,00153508	53,9998254
0,00153508	53,9998254
0,0015725	53,9998267
0,00164735	53,9998296
0,00175085	53,9998354
0,00196826	53,9998535
0,00261216	53,9999551
0,00325605	54,0001266
0,00409565	54,0004513
0,00419743	54,0004984
0,00419743	54,0004984
0,00433236	54,0005646
0,00460221	54,0007026
0,00487207	54,0008517
0,00544471	54,0012041
0,00663267	54,0020859
0,00782063	54,0031624
0,00929593	54,0047529
0,01077123	54,0066062
0,01224653	54,0087038
0,01403376	54,0115464
0,015821	54,0146936
0,01760824	54,0181193
0,0198933	54,0228658
0,02217836	54,0279842
0,02496831	54,0346776
0,02775825	54,0418016
0,03119128	54,0510737
0,03228384	54,0541308
0,03228384	54,0541308
0,0324558	54,0546165
0,03279972	54,0555898
0,03314364	54,0565657
0,03361408	54,0579029
0,03427927	54,0597928
0,03494446	54,061676
0,03591959	54,0644104
0,03689473	54,0670996
0,03817377	54,0705339
0,03945281	54,0738409
0,04073185	54,0770014
0,04188554	54,0797144
0,04188554	54,0797144
0,04188554	54,0797144
0,04213499	54,0802802
0,0426339	54,0813988
0,04336963	54,0830004
0,04492067	54,0861863
0,04683066	54,0897536
0,04874064	54,0929328
0,05065063	54,0957365
0,05256061	54,0981831
0,05500636	54,1008323
0,05745212	54,1029841
0,05989787	54,1046918
0,0617067	54,1056985
0,06351552	54,1065116
0,06532435	54,1071503
0,0667671	54,1075466
0,06820986	54,1078523
0,06965261	54,1080756
0,07109537	54,1082239
0,07253812	54,1083044
0,07361725	54,108324
0,07469637	54,1083119
0,07577549	54,1082705
0,07685462	54,108202
0,07764771	54,1081355
0,0784408	54,1080563
0,07923389	54,1079653
0,08002698	54,1078629
0,08082007	54,1077501
0,08116759	54,1076974
0,08116759	54,1076974
0,08123946	54,1076863
0,08138321	54,1076638
0,08152695	54,107641
0,08178595	54,1075992
0,08254244	54,1074716
0,08350831	54,1072973
0,08447417	54,1071113
0,08544004	54,1069143
0,08663938	54,1066559
0,08783872	54,1063836
0,08903806	54,1060987
0,09050057	54,1057362
0,09196307	54,105359
0,09342557	54,1049691
0,09488808	54,104568
0,09677571	54,1040365
0,09866334	54,1034918
0,1010538	54,102787
0,10344427	54,1020693
0,10583473	54,101342
0,10822519	54,1006079
0,11061565	54,0998695
0,11300612	54,0991286
0,11474891	54,0985877
0,11595555	54,0982131
0,11716219	54,0978386
0,11836883	54,0974644
0,12011742	54,0969228
0,12186602	54,0963822
0,12413458	54,0956829
0,12640314	54,094986
0,12912553	54,0941537
0,13184791	54,0933261
0,1345703	54,0925034
0,13806092	54,0914564
0,14155155	54,0904182
0,14580753	54,0891649
0,1500635	54,0879254
0,15532931	54,0864109
0,16059511	54,0849175

0,16755805	54,0829748
0,174521	54,081068
0,18476282	54,0783271
0,19500465	54,0756604
0,20939201	54,0720353
0,22377936	54,068547
0,24186389	54,0643481
0,25994842	54,0603475
0,27803296	54,0565358
0,30019597	54,0521088
0,32235899	54,0479368
0,34452201	54,0440052
0,36668502	54,0403002
0,38884804	54,0368088
0,39115767	54,0364571
0,39115767	54,0364571
0,39279214	54,0362099
0,39606108	54,0357176
0,39933003	54,0352297
0,40675961	54,0341364
0,42961181	54,030906
0,45246402	54,0278676
0,48322799	54,0240599
0,51399197	54,0205541
0,54475594	54,0173263
0,57551992	54,0143547
0,6062839	54,011619
0,63704787	54,0091007
0,66781185	54,0067824
0,69857582	54,0046485
0,7293398	54,0026843
0,75359889	54,0012467
0,77785798	53,9999
0,80211707	53,9986387
0,82637615	53,9974573
0,85818405	53,9960206
0,90271213	53,9942051
0,94382919	53,9927124
0,98494625	53,9913771
1,02606332	53,9901826
1,06718038	53,9891142
1,0999169	53,9883451
1,13265342	53,9876415
1,16538994	53,9869979
1,19812647	53,9864091
1,23086299	53,9858706
1,26359951	53,985378
1,29633603	53,9849276
1,32907256	53,9845157
1,36180908	53,9841391
1,3945456	53,9837948
1,44098015	53,9833563
1,50784939	53,9828148
1,55221367	53,9825073
1,59657795	53,9822353
1,64094223	53,9819947
1,68530651	53,981782
1,72967078	53,9815939
1,77403506	53,9814277
1,81839934	53,9812809
1,86276362	53,9811513
1,9071279	53,9810369
1,95149217	53,9809359
2,01424228	53,9808129
2,07699238	53,9807101
2,15851765	53,9806011
2,22054508	53,9805339
2,28257251	53,9804778
2,34459994	53,9804311
2,40662738	53,9803922
2,46865481	53,9803598
2,53068224	53,980333
2,62076692	53,9803019
2,74261519	53,9802716
2,83939062	53,9802548
2,93616605	53,9802426
3	53,9802365
3	53,9802365
3	53,9802365
3,00015443	53,9802365
3,0004633	53,9802364
3,00077216	53,9802365
3,00144918	53,9802368
3,00377667	53,9802445
3,00610415	53,9802685
3,00843163	53,9803173
3,01075911	53,9803984
3,01308659	53,9805183
3,01603325	53,9807346
3,01897991	53,9810309
3,02192657	53,9814146
3,02569072	53,9820411
3,02945488	53,9828285
3,034213	53,9840635
3,03897113	53,9855729
3,04481713	53,9878086
3,05066312	53,9904662
3,05785189	53,9943093
3,06504065	53,9987792
3,07465736	54,0057184
3,08427407	54,0137299
3,09886488	54,0278584
3,1134557	54,044277
3,12804651	54,0628814
3,14921011	54,093535
3,17037371	54,1282876
3,19659226	54,1766022
3,19784604	54,179057
3,19784604	54,179057
3,20012408	54,1835604
3,20468017	54,1926431
3,20923625	54,2018731
3,2167575	54,2174106
3,22427876	54,2333015
3,23180001	54,2495252
3,23932126	54,2660662
3,24684251	54,2829122
3,25683466	54,3057455
3,26682681	54,3290769
3,28	54,36056
3,28	54,36056
3,28	54,36056
3,2806638	54,3621687
3,2819914	54,3653891
3,28297977	54,36779
3,28457249	54,3716627
3,28765366	54,3791576
3,28981822	54,3844183
3,29276331	54,3915573
3,2957084	54,3986646
3,29865349	54,4057306
3,30159858	54,4127474
3,30533837	54,421577
3,30907816	54,4303081
3,31281795	54,4389341
3,31738333	54,449315
3,32194871	54,4595275
3,32651409	54,4695691

3,33242629	54,4823182
3,33833848	54,4947813
3,34590394	54,5103188
3,35346939	54,5254045
3,36377137	54,5452431
3,37407335	54,564297
3,39042239	54,5930059
3,41218858	54,6284926
3,43395477	54,6610815
3,45572096	54,6910114
3,47748715	54,7185012
3,49925334	54,7437514
3,52101953	54,7669457
3,54278572	54,7882527
3,5690538	54,8116788
3,59532188	54,8328264
3,62158996	54,8519186
3,64785804	54,869156
3,67412611	54,8847197
3,70039419	54,8987729
3,72666227	54,9114629
3,75293035	54,9229223
3,77919842	54,9332708
3,8054665	54,9426165
3,83173458	54,9510568
3,85800266	54,9586797
3,88427073	54,9655644
3,90394187	54,970282
3,90394187	54,970282
3,90394187	54,970282
3,90971321	54,9715832
3,92125591	54,9741284
3,9327986	54,9765617
3,95196776	54,9803677
3,97113692	54,9838941
3,99769748	54,9883503
4,03384933	54,9936799
4,07000119	54,9982416
4,10615304	55,0021202
4,14230489	55,0053919
4,17845675	55,0081251
4,2146086	55,0103816
4,25076045	55,0122165
4,2869123	55,0136794
4,33134226	55,0150351
4,37577221	55,0159686
4,42020216	55,016544
4,46463211	55,0168171
4,50906207	55,0168364
4,56383784	55,0165749
4,61861362	55,0160586
4,6733894	55,0153444
4,72816517	55,0144796
4,78294095	55,0135037
4,83771673	55,0124493
4,88017314	55,0115946
4,92262954	55,0107197
4,96508595	55,0098332
5,00754236	55,0089428
5,04999877	55,0080549
5,09245518	55,0071746
5,13491159	55,0063064
5,177368	55,0054541
5,21982441	55,0046204
5,26228082	55,0038078
5,31436805	55,0028423
5,36645529	55,0019138
5,41854252	55,0010238
5,47062975	55,0001735
5,53627485	54,9991588
5,60191995	54,9982075
5,66756505	54,9973184
5,73321014	54,9964899
5,81539594	54,9955345
5,89758174	54,9946655
5,97976753	54,9938776
6,0788086	54,9930273
6,17784967	54,9922764
6,27689074	54,991615
6,40763252	54,9908626
6,53837429	54,9902306
6,74598102	54,9894288
7,03025717	54,9886423
7,31453332	54,9881174
7,52539816	54,9878473
7,736263	54,9876482
7,94712784	54,9875018
8,15799269	54,9873941
8,41125414	54,9873017
8,66451559	54,9872381
8,97091874	54,9871869
9,27732189	54,9871544
9,66226181	54,9871297
10,0472017	54,9871159
10,4321417	54,9871082
10,8170816	54,9871039
11,2020215	54,9871015
11,5869614	54,9871001
11,9719014	54,9870994
12,3568413	54,9870989
12,7417812	54,9870987
13,1267212	54,9870986
13,5116611	54,9870985
13,896601	54,9870984
14,2815409	54,9870984
14,6664809	54,9870984
15,0514208	54,9870984
15,4363607	54,9870984
15,8213006	54,9870984
16,2062406	54,9870984
16,5911805	54,9870984
16,72	54,9870984
16,72	54,9870984
16,72	54,9870984
16,7201755	54,9870984
16,7205266	54,9870984
16,7208777	54,9870983
16,721608	54,9870977
16,7239843	54,9870887
16,7263607	54,9870618
16,728737	54,9870082
16,7311134	54,9869199
16,7330089	54,9868203
16,7349044	54,9866914
16,7367999	54,9865306
16,7386955	54,9863359
16,740591	54,9861051
16,7424865	54,9858369
16,7433255	54,9857058
16,7433255	54,9857058
16,7433255	54,9857058
16,7433255	54,9857058
16,7433255	54,9857058
16,7433255	54,9857058
16,7433255	54,9857058
16,7433256	54,9857058
16,7433259	54,9857057

16,7433273	54,9857055
16,7433345	54,9857043
16,7433705	54,9856985
16,7435505	54,9856693
16,7444505	54,9855179
16,7458358	54,985267
16,7478596	54,9848612
16,7498833	54,9844078
16,7523138	54,9837994
16,7547442	54,9831201
16,7581134	54,98206
16,7625927	54,9804356
16,7680275	54,9781341
16,7746019	54,974867
16,7811763	54,9710761
16,7900933	54,9651125
16,7990103	54,9582233
16,8102758	54,9482365
16,8215412	54,9368623
16,8360214	54,9202873
16,8505015	54,9016028
16,8689064	54,8749669
16,8873114	54,8452673
16,9018515	54,8197516
16,9163916	54,7925193
16,9355941	54,7540654
16,9587241	54,7042097
16,9818542	54,6507498
17	54,606483
17	54,606483
17	54,606483
17,0008394	54,6043841
17,0019934	54,6014958
17,0031474	54,5986019
17,0047921	54,5944701
17,0073818	54,5879551
17,0099715	54,5814376
17,0125612	54,5749272
17,0151509	54,5684323
17,0177406	54,5619596
17,0209215	54,5540482
17,0241023	54,5461872
17,0272832	54,538383
17,0311871	54,5288899
17,035091	54,5194962
17,0389948	54,5102063
17,0438952	54,4986959
17,0487956	54,4873561
17,0548117	54,473669
17,0608279	54,4602397
17,0685628	54,4433484
17,0762977	54,4268721
17,0815725	54,4158696
17,0815725	54,4158696
17,0838207	54,4112549
17,0883171	54,402095
17,0928136	54,3930756
17,1009412	54,377134
17,1090689	54,3616592
17,1171965	54,3466471
17,1253242	54,3320889
17,1353418	54,3147529
17,1453594	54,2980668
17,1604612	54,2740856
17,179635	54,2455646
17,2041777	54,2119781
17,2287205	54,1814126
17,2532632	54,1536
17,277806	54,1282953
17,3023488	54,1052748
17,3268915	54,0843342
17,3514343	54,0652873
17,3759771	54,047964
17,4005198	54,0322095
17,4190136	54,0212843
17,4190136	54,0212843
17,422264	54,0194572
17,4287646	54,0158484
17,4352653	54,0123295
17,4529329	54,0032018
17,4706006	53,9946875
17,4882682	53,9867533
17,5059358	53,9793679
17,5236034	53,9725015
17,541271	53,9661259
17,5589387	53,9602143
17,5766063	53,9547411
17,5942739	53,9496821
17,6119415	53,9450141
17,6296092	53,9407153
17,6432837	53,9376287
17,6569582	53,9347415
17,6706328	53,9320448
17,6843073	53,9295301
17,6979819	53,9271893
17,7116564	53,9250144
17,7143351	53,9246074
17,7143351	53,9246074
17,7160762	53,9243473
17,7195583	53,923832
17,7230404	53,9233268
17,7287076	53,9225256
17,7462162	53,920209
17,7637248	53,9181231
17,7812335	53,9162542
17,7987421	53,9145895
17,8162507	53,9131165
17,8337593	53,9118236
17,8549982	53,9104807
17,876237	53,9093682
17,8974758	53,9084684
17,9256157	53,9075752
17,9537556	53,9069921
17,9896958	53,9066453
18,0256361	53,9066913
18,0743168	53,9072799
18,1229976	53,9083731
18,1716783	53,9098699
18,2203591	53,9116841
18,2690398	53,9137426
18,3177206	53,9159837
18,3664013	53,9183552
18,4150821	53,9208134
18,4528644	53,9227584
18,4906467	53,9247189
18,5183212	53,9261579
18,5459958	53,9275942
18,5736703	53,9290241
18,6013449	53,9304443
18,638401	53,9323253
18,6754571	53,9341774
18,7204884	53,9363819
18,7655196	53,938529
18,8105509	53,9406129
18,8649318	53,943039
18,9193127	53,9453615
18,9736936	53,9475773
19,0280745	53,9496848

19,0962992	53,952176
19,164524	53,9544994
19,2327487	53,9566594
19,3009734	53,958662

19,3869499	53,9609727
19,4729264	53,9630599
19,5589029	53,9649398
19,6636867	53,9669749

19,7684704	53,9687552
19,8964841	53,9706258
20	53,9719214

ANEXO VIII. VELOCIDAD TEORICO DE 80 KM/H

TIEMPO	VELOCIDAD
0	77,976
3,1554E-30	77,976
5,351E-07	77,9759997
1,6053E-06	77,9759991
3,83E-06	77,975998
8,7042E-06	77,9759954
1,5065E-05	77,975992
2,1425E-05	77,9759886
2,7785E-05	77,9759853
3,4146E-05	77,9759819
4,3864E-05	77,9759768
5,5816E-05	77,9759705
7,1643E-05	77,9759622
9,2029E-05	77,9759516
0,00012042	77,975937
0,00016161	77,9759161
0,00022246	77,9758858
0,00032644	77,9758356
0,00056374	77,9757287
0,00080103	77,9756323
0,00103085	77,9755489
0,00103085	77,9755489
0,00105699	77,9755401
0,00110929	77,9755227
0,00118048	77,9754998
0,00133286	77,9754539
0,00183511	77,975332
0,00233737	77,9752544
0,00301271	77,9752176
0,00368805	77,9752562
0,00460367	77,9754242
0,00531535	77,9756434
0,00531535	77,9756434
0,00547117	77,9757033
0,00578282	77,9758301
0,0061592	77,976002
0,00686218	77,976376
0,008198	77,9772696
0,00953382	77,9783909
0,01115623	77,9800372
0,01277863	77,9819734
0,01440104	77,9841769
0,01637882	77,9871934
0,0183566	77,9905419
0,02073686	77,9949665
0,02311713	77,9997781
0,02599113	78,0060401
0,02886513	78,0127363
0,0324418	78,0215863
0,03433048	78,0264614
0,03433048	78,0264614
0,03433048	78,0264614
0,03451737	78,0269515
0,03489115	78,0279332
0,03515823	78,0286363
0,03555602	78,0296842
0,03608612	78,0310793
0,0368852	78,0331708
0,03786484	78,0357008
0,03884449	78,0381757
0,04013669	78,0413284
0,04142889	78,0443295
0,04233321	78,0463277
0,04233321	78,0463277
0,04233321	78,0463277
0,04255098	78,0467932
0,04298651	78,0477136
0,04362796	78,0490295
0,04495783	78,0516037
0,046729	78,0547034
0,04850017	78,0574261
0,05027134	78,0597785
0,05204251	78,0617747
0,05424729	78,0637929
0,05645207	78,0653335
0,05865685	78,0664442
0,06040905	78,0670516
0,06216125	78,0674425
0,06391344	78,0676401
0,06523343	78,067674
0,06655341	78,0676197
0,0678734	78,0674853
0,06919338	78,0672789
0,07024437	78,0670676
0,07129535	78,0668187
0,07234634	78,0665354
0,07339732	78,0662207
0,07421803	78,065955
0,07503874	78,0656731
0,07585945	78,0653764
0,07668016	78,0650659
0,07750086	78,0647427
0,07832157	78,0644078
0,07914228	78,0640621
0,07938508	78,0639579
0,07938508	78,0639579
0,07945568	78,0639274
0,07959689	78,0638663
0,0797381	78,0638049
0,0799779	78,0637
0,08064652	78,0634036
0,08145156	78,0630394
0,08247248	78,0625671
0,08349341	78,0620843
0,08451434	78,0615922
0,08578633	78,060968
0,08705832	78,060333
0,08859477	78,0595543
0,09013121	78,0587652
0,09166766	78,0579681
0,0932041	78,0571649
0,09474055	78,0563575
0,09627699	78,0555473
0,09746757	78,0549183
0,09865814	78,0542889
0,09984872	78,0536594
0,1010393	78,0530304
0,10222988	78,0524021
0,10342045	78,0517748
0,10496517	78,0509628
0,10650989	78,0501533
0,10846056	78,0491353
0,11041123	78,0481223
0,11282808	78,0468751
0,11524492	78,0456368
0,11766177	78,0444078
0,12063837	78,0429072
0,12361498	78,041421
0,12720807	78,0396458
0,13080117	78,0378911
0,13531143	78,0357165
0,13982169	78,0335724
0,14622146	78,0305803
0,15262123	78,0276453

0,16066531	78,0240343
0,1687094	78,0205078
0,17233002	78,0189475
0,17233002	78,0189475
0,17350043	78,0184475
0,17584126	78,0174509
0,17818209	78,0164612
0,18290744	78,0144838
0,19424751	78,0098485
0,20879771	78,0041233
0,2233479	77,9986398
0,23789809	77,9933891
0,25244829	77,9883625
0,26699848	77,9835518
0,28477492	77,9779553
0,30255136	77,9726551
0,32500294	77,9663625
0,34745452	77,9604952
0,37556875	77,953709
0,40368299	77,947506
0,43907345	77,9404596
0,47446392	77,934193
0,50985439	77,9286346
0,54524485	77,9237188
0,58063532	77,9193856
0,61602579	77,91558
0,65141626	77,9122519
0,67955877	77,9099165
0,70770128	77,9078324
0,73584379	77,9059798
0,76398631	77,9043403
0,78605769	77,9031929
0,80812908	77,9021582
0,83020046	77,901229
0,86090277	77,9000982
0,90217867	77,8988473
0,9447584	77,8978455
0,98733814	77,8970997
1,02991787	77,8965765
1,07249761	77,8962459
1,10521404	77,8961066
1,13793047	77,8960545
1,1706469	77,8960794
1,20336333	77,8961726
1,23607976	77,8963258
1,26879619	77,8965314
1,30151262	77,8967828
1,33422905	77,8970738
1,36694548	77,8973988
1,39966191	77,8977527
1,44527927	77,8982856
1,49089664	77,8988551
1,536514	77,8994518
1,58213136	77,9000673
1,62774872	77,9006948
1,67336608	77,9013282
1,69576678	77,9016399
1,69576678	77,9016399
1,69619936	77,9016459
1,69706453	77,9016579
1,6979297	77,90167
1,69927381	77,9016887
1,7030066	77,9017404
1,7067394	77,9017919
1,71047219	77,9018429
1,71420499	77,9018936
1,71793778	77,9019437
1,72167058	77,9019932
1,72540337	77,9020422
1,72999858	77,9021017
1,73459378	77,9021602
1,73918898	77,9022179
1,74521242	77,9022922
1,75123587	77,9023649
1,75725931	77,9024362
1,76681596	77,9025462
1,77890126	77,9026804
1,79746368	77,9028759
1,82696965	77,9031625
1,85647563	77,9034216
1,89384545	77,9037146
1,94429084	77,9040555
1,99473623	77,9043423
2,04518161	77,9045836
2,095627	77,9047867
2,14607239	77,9049576
2,19651778	77,9051014
2,24696316	77,9052224
2,29740855	77,9053242
2,34785394	77,9054099
2,39829932	77,9054819
2,46131838	77,9055562
2,52433743	77,9056161
2,58735648	77,9056644
2,65037553	77,9057032
2,73121665	77,9057423
2,81205776	77,905772
2,89289888	77,9057944
2,97374	77,9058114
3	77,9058159
3	77,9058159
3	77,9058159
3,0001706	77,905816
3,00051179	77,9058161
3,00085299	77,9058162
3,00156114	77,9058168
3,00481933	77,9058342
3,00807752	77,9058904
3,01133571	77,9060064
3,0145939	77,9061991
3,01785209	77,9064814
3,02177574	77,9069539
3,0256994	77,9075816
3,02962306	77,9083723
3,03354671	77,9093301
3,03846289	77,9107693
3,04337906	77,9124746
3,04942744	77,914935
3,05547581	77,9177896
3,06350508	77,9221747
3,07153435	77,9272227
3,0843297	77,9365878
3,10258397	77,9526328
3,12083824	77,9716704
3,14437131	78,0003267
3,16790438	78,0332984
3,19733377	78,0800802
3,22676317	78,132495
3,26510864	78,2083161
3,28	78,2398731
3,28	78,2398731
3,28	78,2398731
3,28055845	78,2410792
3,28167536	78,2434939
3,28279227	78,245913
3,28441497	78,2494327
3,28683541	78,2546881
3,28925584	78,2599423

3,29167627	78,2651872
3,29409671	78,2704163
3,29705695	78,2767817
3,3000172	78,2831071
3,30297745	78,2893863
3,3059377	78,2956147
3,30964612	78,3033405
3,31335454	78,310977
3,31706296	78,3185216
3,32163891	78,3277028
3,32621486	78,3367417
3,33186236	78,3477026
3,33750986	78,358451
3,34495658	78,3723061
3,3524033	78,3858084
3,36397744	78,4061182
3,38000648	78,4329431
3,40994117	78,479272
3,43987587	78,5210676
3,46981056	78,5587773
3,49974525	78,5928035
3,52967995	78,6235087
3,55961464	78,6512192
3,58954934	78,676229
3,61948403	78,6988029
3,64941872	78,7191793
3,67935342	78,7375733
3,71540859	78,7573771
3,75146376	78,7748854
3,78751893	78,7903653
3,8235741	78,8040525
3,85962927	78,8161554
3,89568444	78,8268577
3,93173961	78,836322
3,97646415	78,8465619
4,02118869	78,8553534
4,06591323	78,8629016
4,11063777	78,8693827
4,15536231	78,8749476
4,20008685	78,8797261
4,2448114	78,8838293
4,28953594	78,8873527
4,33426048	78,8903784
4,37898502	78,8929766
4,42370956	78,8952079
4,4684341	78,897124
4,51315864	78,8987694
4,55788318	78,9001825
4,60260772	78,901396
4,64733226	78,9024382
4,6920568	78,9033332
4,73678134	78,9041018
4,78150588	78,9047619
4,82623042	78,9053287
4,87095496	78,9058156
4,9156795	78,9062337
4,96040404	78,9065927
5,00512858	78,9069011
5,04985312	78,9071659
5,09457766	78,9073933
5,1393022	78,9075886
5,18402674	78,9077564
5,22875128	78,9079004
5,27347582	78,9080242
5,31820036	78,9081304
5,37263766	78,9082398
5,42707497	78,9083307
5,48151227	78,9084062
5,53594957	78,9084689
5,60363325	78,9085324
5,67131694	78,9085828
5,73900063	78,9086227
5,82078389	78,9086603
5,90256715	78,9086887
5,98435041	78,9087102
6,08843117	78,9087302
6,19251194	78,9087442
6,32027199	78,9087558
6,44803205	78,9087632
6,60880913	78,908769
6,76958622	78,9087723
6,98517981	78,9087747
7,2007734	78,9087758
7,51598165	78,9087764
7,89525876	78,9087767
8,27453587	78,9087767
8,65381298	78,9087767
9,03309008	78,9087767
9,41236719	78,9087767
9,7916443	78,9087767
10,1709214	78,9087767
10,5501985	78,9087767
10,9294756	78,9087767
11,3087527	78,9087767
11,6880299	78,9087767
12,067307	78,9087767
12,4465841	78,9087767
12,8258612	78,9087767
13,2051383	78,9087767
13,5844154	78,9087767
13,9636925	78,9087767
14,3429696	78,9087767
14,7222467	78,9087767
15,1015238	78,9087767
15,4808009	78,9087767
15,8600781	78,9087767
16,2393552	78,9087767
16,6186323	78,9087767
16,72	78,9087767
16,72	78,9087767
16,72	78,9087767
16,7201698	78,9087767
16,7205093	78,9087767
16,7208488	78,9087766
16,7215549	78,9087762
16,7238079	78,9087672
16,7238079	78,9087672
16,7238079	78,9087672
16,7240959	78,9087652
16,7246719	78,9087607
16,725446	78,9087527
16,7269777	78,9087291
16,7303412	78,9086313
16,7337048	78,9084567
16,7370683	78,9081899
16,7404318	78,9078192
16,7437954	78,907336
16,7471589	78,9067345
16,7505225	78,9060106
16,753886	78,9051619
16,7572496	78,9041871
16,7606131	78,9030857
16,764832	78,9015256
16,7690508	78,8997678
16,7690922	78,8997495
16,7690922	78,8997495
16,7690922	78,8997495
16,7690922	78,8997495

16,7690922	78,8997495
16,7690922	78,8997495
16,7690922	78,8997495
16,7690922	78,8997495
16,7690922	78,8997495
16,7690923	78,8997495
16,7690927	78,8997494
16,7690944	78,8997486
16,7691031	78,8997447
16,7691468	78,8997255
16,769365	78,899629
16,7704563	78,8991385
16,774232	78,8973409
16,7780077	78,8953884
16,7817834	78,8932826
16,7863728	78,8905194
16,7919151	78,8868883
16,7974575	78,8829405
16,8051915	78,8769127
16,8129255	78,8702919
16,8233054	78,8604982
16,8336853	78,8496908
16,8471807	78,8341747
16,8606761	78,8170579
16,8778109	78,7931175
16,8949457	78,7668132
16,9164939	78,7305595
16,9380421	78,6909611
16,9650983	78,6368261
16,9921544	78,5781111
17	78,5602686
17	78,5602686
17	78,5602686
17,0005841	78,5589256
17,0017524	78,5562364
17,0029207	78,5535415
17,0046688	78,5495016
17,0072084	78,5436231
17,0097481	78,5377425
17,0122877	78,5318688
17,0148273	78,5260094
17,017367	78,5201704
17,0199066	78,5143567
17,0230545	78,5071914
17,0262024	78,5000763
17,0293503	78,4930153
17,0324982	78,4860111
17,036551	78,4770801
17,0406037	78,4682482
17,0446564	78,4595162
17,0499194	78,4483255
17,0551823	78,4373016
17,06218	78,4228991
17,0691776	78,4087826
17,0798778	78,3877362
17,0946667	78,3596901
17,1222659	78,3104336
17,149865	78,2649868
17,1774642	78,2230968
17,2050633	78,1845256
17,2326624	78,149049
17,2602616	78,1164562
17,2878607	78,0865491
17,3154598	78,0591417
17,343059	78,0340595
17,3650875	78,0156023
17,387116	77,9984431
17,4091445	77,9825075
17,431173	77,9677248
17,448289	77,9569934
17,4654049	77,9468873
17,4825209	77,9373779
17,4954206	77,9305893
17,5083203	77,9241124
17,5212201	77,9179363
17,5341198	77,9120503
17,5450697	77,9072736
17,5450697	77,9072736
17,5450697	77,9072736
17,5450697	77,9072736
17,5450698	77,9072736
17,5450698	77,9072736
17,5450698	77,9072736
17,54507	77,9072735
17,5450712	77,907273
17,545077	77,9072705
17,5451058	77,9072582
17,5452501	77,9071966
17,545923	77,9069098
17,5476194	77,9061899
17,5561014	77,9026597
17,5682178	77,8978129
17,5803343	77,8931901
17,5924507	77,8887838
17,6045672	77,8845866
17,6166836	77,8805912
17,6288	77,8767906
17,6448011	77,8720583
17,6608022	77,8676391
17,6808665	77,8625175
17,7009308	77,8578386
17,7260312	77,8525681
17,7511315	77,8479028
17,7826468	77,8428314
17,8141621	77,8385622
17,8543789	77,8341557
17,8945957	77,8307909
17,9480237	77,8277047
18,0014516	77,8259688
18,0548795	77,8253531
18,1083075	77,8256597
18,1617354	77,8267181
18,2151633	77,8283824
18,2685913	77,8305274
18,3220192	77,8330469
18,3754471	77,8358502
18,4288751	77,8388609
18,482303	77,8420146
18,5357309	77,8452572
18,5747387	77,8476556
18,6137464	77,8500622
18,6420437	77,8518061
18,670341	77,8535431
18,7044133	77,8556201
18,7384856	77,8576757
18,7827022	77,860303
18,8269188	77,8628765
18,8711354	77,8653885
18,9259153	77,8684062
18,9806953	77,8713116
19,0354752	77,8740986
19,0902551	77,8767632
19,1591336	77,879937
19,2280121	77,8829138
19,2968905	77,8856958
19,365769	77,8882875
19,4510943	77,891244
19,5364195	77,8939326

19,6217448	77,8963692
19,7040382	77,8984968
19,7040382	77,8984968
19,7048117	77,8985158
19,7063587	77,8985537
19,7079057	77,8985915
19,7104159	77,8986527
19,7162537	77,8987936
19,7208137	77,8989023

19,7253737	77,8990095
19,7299338	77,8991153
19,7344938	77,8992195
19,7390538	77,8993221
19,7436139	77,8994232
19,7499039	77,8995601
19,7561939	77,8996941
19,7645488	77,8998676
19,7729037	77,9000363

19,7858024	77,9002874
19,8036816	77,9006178
19,8368624	77,9011802
19,8700432	77,9016824
19,9109513	77,9022283
19,961882	77,9028099
20	77,9031831

ANEXO IX. PRUEBA T PARA DOS MUESTRAS INDEPENDIENTE CON VELOCIDAD DE 40 KM/H

VELOCIDAD REAL DE 40 KM/H

REAL

Tiempo	Velocidad del vehiculo (km/h)
0	34,9999263
1	34,9999263
2	34,9999263
3	34,9999263
3,28	35,9993265
3,75	35,9993265
4	35,9993265
5	35,9993265
6	35,9993265
7	35,9993265
8	35,9993265
9	35,9993265
10	35,9993265
11	35,9993265
12	35,9993265
13	35,9993265
14	35,9993265
15	35,9993265
16	35,9993265
16,72	35,9993265
17,4188	34,9999263
18	34,9999263
19	34,9999263
20	34,9999263

VELOCIDAD TEORICO DE 40 KM/H

TEORICO

Tiempo	Velocidad del vehiculo (km/h)
0	34,992
0,08344987	35,1079484
0,85662511	35,0196153
1,50488366	34,9989083
2,57179244	34,9892362
3,03022477	34,9908061
3,27204107	35,3790341
3,28	35,4001511
3,50078283	35,8126255
3,71191831	35,966241
3,95182549	36,0306688
4,60801513	36,0386117
6,13959609	36,0007694
12	35,9993265
13	35,9993265
16,72	35,9993265
17,4389765	35,0100982
17,6243819	34,9553633
17,8574098	34,9327724
18,0474858	34,93184
19,0804223	34,9670707
19,1502227	34,968766
19,469826	34,9749614
20	34,9999263

ANEXO X. PRUEBA T PARA DOS MUESTRAS INDEPENDIENTE CON VELOCIDAD DE 60 KM/H

VELOCIDAD REAL DE 60 KM/H

REAL

Tiempo	Velocidad del vehiculo (km/h)
0	53,9997944
1	53,9997944
2	53,9997944
3	53,9997944
3,28	54,9991945
3,75	54,9991945
4	54,9991945
5	54,9991945
6	54,9991945
7	54,9991945
8	54,9991945
9	54,9991945
10	54,9991945
11	54,9991945
12	54,9991945
13	54,9991945
14	54,9991945
15	54,9991945
16	54,9991945
16,72	54,9991945
17,4188	53,9997944
18	53,9997944
19	53,9997944
20	53,9997944

VELOCIDAD TEORICO DE 60 KM/H

TEORICO

Tiempo	Velocidad del vehiculo (km/h)
0	54
0,07253812	54,1083044
0,85818405	53,9960206
1,50784939	53,9828148
2,53068224	53,980333
3,00144918	53,9802368
3,26682681	54,3290769
3,75293035	54,9229223
4,03384933	54,9936799
4,61861362	55,0160586
4,88017314	55,0115946
6,0788086	54,9870984
12,3568413	54,9870989
13	54,9870984
16	54,9870984
16,72	54,9870984
17,4529329	54,0032018
17,6843073	53,9295301
17,9896958	53,9066453
18,7655196	53,938529
19,164524	53,9544994
19,5589029	53,9649398
19,8964841	53,9706258
20	53,9719214

ANEXO XI. PRUEBA T PARA DOS MUESTRAS INDEPENDIENTE CON VELOCIDAD DE 80 KM/H

VELOCIDAD REAL DE 80 KM/H

REAL

Tiempo	Velocidad del vehiculo (km/h)
0	77,9998818
1	77,9998818
2	77,9998818
3	77,9998818
3,28	77,9998818
3,75	78,9087767
4	78,9087767
5	78,9087767
6	78,9087767
7	78,9087767
8	78,9087767
9	78,9087767
10	78,9087767
11	78,9087767
12	78,9087767
13	78,9087767
14	78,9087767
15	78,9087767
16	78,9087767
16,72	78,9087767
17,4188	77,9998818
18	77,9998818
19	77,9998818
20	77,9998818

VELOCIDAD TEORICO DE 80 KM/H

TEORICO

TIEMPO	VELOCIDAD
0	77,976
0,10342045	78,0517748
0,40368299	77,947506
0,86090277	77,9000982
0,83020046	77,901229
3,03354671	77,9093301
3,52967995	78,6235087
3,75146376	78,7748854
4,06591323	78,8629016
4,4684341	78,897124
5,04985312	78,9071659
16,7572496	78,9041871
16,8471807	78,8341747
17,1222659	78,3104336
17,6448011	77,8720583
17,7826468	77,8428314
17,8141621	77,8385622
17,8543789	77,8341557
17,8945957	77,8307909
18,0548795	77,8253531
18,9259153	77,8684062
19,7499039	77,8995601
19,961882	77,9028099
20	77,9031831

ANEXO XII. TABLA T-STUDENT

Tabla t-Student

Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
41	0.6805	1.3025	1.6829	2.0195	2.4208	2.7012
42	0.6804	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.6981
43	0.6802	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951
44	0.6801	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923
45	0.6800	1.3007	1.6794	2.0141	2.4121	2.6896
46	0.6799	1.3002	1.6787	2.0129	2.4102	2.6870
47	0.6797	1.2998	1.6779	2.0117	2.4083	2.6846
48	0.6796	1.2994	1.6772	2.0106	2.4066	2.6822
49	0.6795	1.2991	1.6766	2.0096	2.4049	2.6800

50	0.6794	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778
51	0.6793	1.2984	1.6753	2.0076	2.4017	2.6757
52	0.6792	1.2980	1.6747	2.0066	2.4002	2.6737
53	0.6791	1.2977	1.6741	2.0057	2.3988	2.6718
54	0.6791	1.2974	1.6736	2.0049	2.3974	2.6700
55	0.6790	1.2971	1.6730	2.0040	2.3961	2.6682
56	0.6789	1.2969	1.6725	2.0032	2.3948	2.6665
57	0.6788	1.2966	1.6720	2.0025	2.3936	2.6649
58	0.6787	1.2963	1.6716	2.0017	2.3924	2.6633
59	0.6787	1.2961	1.6711	2.0010	2.3912	2.6618
60	0.6786	1.2958	1.6706	2.0003	2.3901	2.6603
61	0.6785	1.2956	1.6702	1.9996	2.3890	2.6589
62	0.6785	1.2954	1.6698	1.9990	2.3880	2.6575
63	0.6784	1.2951	1.6694	1.9983	2.3870	2.6561
64	0.6783	1.2949	1.6690	1.9977	2.3860	2.6549
65	0.6783	1.2947	1.6686	1.9971	2.3851	2.6536
66	0.6782	1.2945	1.6683	1.9966	2.3842	2.6524
67	0.6782	1.2943	1.6679	1.9960	2.3833	2.6512
68	0.6781	1.2941	1.6676	1.9955	2.3824	2.6501
69	0.6781	1.2939	1.6672	1.9949	2.3816	2.6490
70	0.6780	1.2938	1.6669	1.9944	2.3808	2.6479
71	0.6780	1.2936	1.6666	1.9939	2.3800	2.6469
72	0.6779	1.2934	1.6663	1.9935	2.3793	2.6458
73	0.6779	1.2933	1.6660	1.9930	2.3785	2.6449
74	0.6778	1.2931	1.6657	1.9925	2.3778	2.6439
75	0.6778	1.2929	1.6654	1.9921	2.3771	2.6430
76	0.6777	1.2928	1.6652	1.9917	2.3764	2.6421
77	0.6777	1.2926	1.6649	1.9913	2.3758	2.6412
78	0.6776	1.2925	1.6646	1.9908	2.3751	2.6403
79	0.6776	1.2924	1.6644	1.9905	2.3745	2.6395
80	0.6776	1.2922	1.6641	1.9901	2.3739	2.6387
81	0.6775	1.2921	1.6639	1.9897	2.3733	2.6379
82	0.6775	1.2920	1.6636	1.9893	2.3727	2.6371
83	0.6775	1.2918	1.6634	1.9890	2.3721	2.6364
84	0.6774	1.2917	1.6632	1.9886	2.3716	2.6356
85	0.6774	1.2916	1.6630	1.9883	2.3710	2.6349
86	0.6774	1.2915	1.6628	1.9879	2.3705	2.6342
87	0.6773	1.2914	1.6626	1.9876	2.3700	2.6335
88	0.6773	1.2912	1.6624	1.9873	2.3695	2.6329
89	0.6773	1.2911	1.6622	1.9870	2.3690	2.6322
90	0.6772	1.2910	1.6620	1.9867	2.3685	2.6316
91	0.6772	1.2909	1.6618	1.9864	2.3680	2.6309
92	0.6772	1.2908	1.6616	1.9861	2.3676	2.6303
93	0.6771	1.2907	1.6614	1.9858	2.3671	2.6297
94	0.6771	1.2906	1.6612	1.9855	2.3667	2.6291
95	0.6771	1.2905	1.6611	1.9852	2.3662	2.6286
96	0.6771	1.2904	1.6609	1.9850	2.3658	2.6280
97	0.6770	1.2903	1.6607	1.9847	2.3654	2.6275
98	0.6770	1.2903	1.6606	1.9845	2.3650	2.6269
99	0.6770	1.2902	1.6604	1.9842	2.3646	2.6264
100	0.6770	1.2901	1.6602	1.9840	2.3642	2.6259
∞	0.6745	1.2816	1.6449	1.9600	2.3263	2.5758