

“Universidad Internacional del Ecuador”



Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz

Tesis de Grado para la Obtención del Título de Ingeniería en Mecánica Automotriz

Estudio para el diseño de un dispositivo electrónico anti-volteo aplicado a un prototipo de un modelo de vehículo de transporte público que alerte mediante señales acústicas y luminosas y pueda integrarse al sistema de seguridad activa del vehículo.

Pablo Santiago Álvarez Castillo.

Director: Ing. Juan Fernando Iñiguez.

Quito, Agosto 2018

CERTIFICACIÓN

Yo, PABLO SANTIAGO ÁLVAREZ CASTILLO, con cédula de indentidad #1722814801, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoria, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o certificación y; que he consultado las diferentes referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Cedo el derecho de mi propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual.

Pablo Santiago Álvarez Castillo



Yo, Ing. Juan Fernando Iñiguez, declaro que conozco al autor del presente trabajo siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad de su contenido.



Ing. Juan Fernando Iñiguez

Director de Tesis

DEDICATORIA

El presente proyecto dedico a mis queridos padres Edgar y Mariana, quienes han sido el pilar fundamental en mi carrera universitaria y me han apoyado a lo largo de mi vida para poder alcanzar mis metas y objetivos; a mi hermana Nicole quien me ha dado su ayuda cuando lo he necesitado y por recordarme a cada instante lo importante que es luchar por los sueños y metas que uno se propone y traza en la vida y por acompañarme en esta maravillosa etapa. Dedico también a mis maestros por haberme formado profesionalmente con sus conocimientos demostrando el amor a la docencia y su gran idoneidad académica y a la Universidad Internacional del Ecuador que me ha brindado la oportunidad de culminar mi carrera y mis sueños.

AGRADECIMIENTO

Le doy gracias a Dios por todas las bendiciones que me dado cada día y de esa manera lograr que culmine una etapa muy importante en mi vida. A mis padres Edgar Y Mariana por todo su amor y ser columna a lo largo de mi vida, por ser mí mejor ejemplo de responsabilidad, honestidad y esfuerzo, por siempre animarme y guiarme para alcanzar mis sueños y objetivos. Sobre todo les agradezco porque todo lo que soy se lo debo a ellos y todo lo que seré reflejará lo que ellos hicieron en mí. A mi hermana Nicole por siempre darme su apoyo y estar a mi lado constantemente. Tambien quiero agradecer a mis amigos por su compañía y amistad incondicional a lo largo de mi carrera universitaria. Finalmente ofrezco un especial agradecimiento al Ingeniero Juan Fernando Iñiguez, por el conocimiento impartido, la confianza y la entrega de herramientas necesarias para elaborar este trabajo de titulación en excelencia.

INDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	iii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	v
INDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xv
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.2 PLANTEAMIENTO, FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4 JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.4.1 JUSTIFICACIÓN	4
1.4.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL	5

1.4.3 DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA.....	5
1.4.4 DELIMITACIÓN DEL CONTENIDO	5
2. GENERALIDADES DE ACCIDENTABILIDAD Y SU RELACIÓN CON EL MAL FUNCIONAMIENTO DE LA SUSPENSIÓN POR EXCESO DE PESO ...	7
2.1 Antecedentes (Tasa de Accidentabilidad en el Ecuador).....	7
2.1.1 Tasa de Accidentabilidad por parte del Transporte Público Interprovincial en la Provincia de Pichincha.....	9
2.1.2 Calidad de Servicio de Transporte Público en la Provincia de Pichincha	11
2.1.3 Transporte Público en el Distrito Metropolitano de Quito	12
2.2 Determinación de Cargas Transversales y Longitudinales que soporta el Transporte Público	14
2.2.1 Generalidades.....	14
2.3 Características que debe reunir la suspensión en el Transporte Pesado y Público.....	15
2.3.1 Arquitectura y Normativa de Construcción (Autobuses Públicos).....	16
2.3.1.1 Estabilidad Lateral.....	19
2.3.2 Suspensión con Eje Rígido	20
2.3.3 Sistema de Suspensión Neumática	20
2.3.3.1 Mantenimiento y Prevención de Averías.....	21
2.4 Comportamiento Dinámico en el Vehículo	22
2.4.1 Comportamiento Direccional del Vehículo: Subviraje y Sobreviraje	23
2.4.2 Transferencia Longitudinal de Carga en el Vehículo	23
2.4.2.1 Transferencia Longitudinal de Carga en Aceleración	23
2.4.2.2 Transferencia Longitudinal de Carga en Frenado.....	26

2.4.3 Transferencia Transversal de Carga del Vehículo en Curva	27
3. ESTUDIO DE UN COMPONENTE ELECTRONICO ANTI-VOLTEO, CÁLCULOS SOBRE EL COMPORTAMIENTO DINÁMICO Y SEGURIDAD ACTIVA Y PASIVA EN EL VEHÍCULO	30
3.1 Tipos y Funcionamiento de los Diferentes Sistemas de Regulación de Carga...30	30
3.1.1 Funcionamiento Sensor de Eje en Transporte Pesado	30
3.1.1.1 Galgas Extensiométrica	30
3.1.1.2 Sensor de Carga por Eje GNOM DDE	31
3.1.1.3 Sensor de Carga por Eje GNOM DP	31
3.1.2 Control del Peso de la Carga por Eje (Transporte Pesado).....	32
3.2 Concepto Generalizado sobre Sensor y Transductor	33
3.3 Generalidades sobre un Acelerómetro o Sensor de Aceleración	34
3.4 IMU MPU – 6050 Acelerómetro / Giroscopio	39
3.4.1 Comunicación I2C	40
3.4.2 Ángulos de Navegacion: Pitch, Roll y Yaw	42
3.5 Cálculo Grado de Inclinación Previo al Volteo del Transporte Público.....	42
3.5.1 Antecedentes	42
3.5.2 Análisis Dinámico para un Transporte Pesado	43
3.5.2.1 Vuelco	43
3.5.2.2 Aceleración Normal y Transferencia de carga	45
3.5.2.3 La Fuerza Centrífuga sobre la Deriva.....	47
3.5.2.4 Velocidad de Derrape	47
3.5.2.5 Velocidad de Vuelco.....	49

3.6 Relación del Funcionamiento del Componente con los Sistemas Activos de Seguridad del Vehículo	50
3.6.1 Sistemas de Seguridad Activa y Pasiva del Vehículo.....	50
3.6.1.1 Elementos de Seguridad Activa del Vehículo	51
3.6.1.2 Funcionamiento del Componente Anti-Volteo y su Relación con el Sistema de Seguridad Activa del Vehículo	52
4. DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y APLICACIÓN DEL COMPONENTE EN EL MODELO A ESCALA	54
4.1 Construcción de Modelo a Escala (Transporte Público).....	54
4.1.1 Escala.....	54
4.1.2 Materiales.....	54
4.1.3 Proceso de Construcción.....	55
4.2 Software Utilizado.....	60
4.2.1 Uso de Entorno de Desarrollo Integrado.....	60
4.2.1.1 Aplicación en Entorno de Desarrollo Integrado IDE.....	62
4.2.1.2 Diseño de Software.....	63
4.2.1.3 Diagrama de Conexiones Electrónicas	66
4.2.1.4 Sistema de Alerta al Tablero de Instrumentos del Vehículo	67
4.3 Normas de Seguridad Eléctrica para la Instalación del Dispositivo Electrónico..	68
4.3.1 Cálculo para el Dimensionamiento del Cable Conductor.....	68
4.4 Componentes para la construcción del sistema anti volteo	69
4.5 Proceso para la Instalación del Dispositivo en el Modelo a Escala.....	69
5. PRUEBAS, CÁLCULOS, ANÁLISIS DE RESULTADOS Y APLICABILIDAD DEL COMPONENTE EN EL MODELO	73

5.1 Pruebas y Análisis de funcionamiento del Dispositivo Electrónico en el Modelo	73
5.1.1 Determinación de las variables y su forma de lectura	73
5.1.2 Pruebas de Operación del Dispositivo con Transferencia de Carga Transversal a Plena Carga	78
5.2 Cálculos Dinámicos	79
5.3 Factor Económico	81
5.3.1 Costos de Componentes y Fabricación del Dispositivo Electrónico	83
5.3.2 Costos de Construcción Modelo a Escala (Transporte Público).....	83
5.3.3 Costo Total del Proyecto.....	84
5.4 Aplicabilidad	85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
GLOSARIO DE TÉRMINOS	91
FUENTES BIBLIOGRÁFICA	93
ANEXOS	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Prevención de Averías	19
Tabla 3.2. Determinacion del peso de la carga que se transporta para un cabezal de dos ejes según el valor de la carga por el eje trasero con el semiremolque de tres ejes	33
Tabla 3.3. Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera.....	53
Tabla 4.1. Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera.....	53
Tabla 5.1. Determinación de la primera variable según la velocidad	73
Tabla 5.2. Determinación de la segunda variable según la velocidad	74
Tabla 5.3. Determinación de la tercera variable según la velocidad.....	75
Tabla 5.4. Costos Elementos Dispositivos Electrónicos.....	80
Tabla 5.5. Costos Elementos para Construcción Modelo a Escala.....	81
Tabla 5.6. Costos Total del Proyecto de Titulación	82
Tabla 5.7. Descripción de Pines del Display 16 x 02	99
Tabla 5.8. Tabla de velocidades para vehículos livianos, pasajeros y de carga.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Exceso de pasajeros en unidades de transporte público en la Provincia de Pichincha	12
Figura 2.2. Exceso de pasajeros en unidad Trans Alfa en el DMQ.....	13
Figura 2.3. Arquitectura de construcción de un bastidor de un autobus.....	16
Figura 2.4. Superestructura de un autobus.....	17
Figura 2.5. Estructura superior de un autobus montado en su bastidor.....	17
Figura 2.6. Espacio de supervivencia de un autobus.....	18
Figura 2.7. Modelo de cálculo y ensayo de estabilidad.....	20
Figura 2.7. Sistema de Suspensión Neumática de un Camión.....	21
Figura 2.8. Esquema Sólido Libre del vehículo en Aceleración.....	24
Figura 2.9. Esquema de fuerzas para un vehiculo en acción de frenado.....	26
Figura 2.10. Esquema de un vehículo sometido a movimiento de balanceo.....	27
Figura 2.11. Diagrama de cuerpo libre de un vehiculo sometido a fuerzas transversales.....	28
Figura 3.1. Diagrama de un acelerómetro (Galgas extensiométrico).....	31
Figura 3.2. Carga de eje en los diferentes transportes.....	32
Figura 3.3. Diagrama de un acelerómetro Piezoeléctrico.....	37
Figura 3.4. Diagrama de un acelerómetro Piezoresistivo.....	38
Figura 3.5. Disposición de ejes en la placa MPU – 6050.....	39
Figura 3.6. Disposicion de dispositivos en comunicación I2C.....	41

Figura 3.7 Trama de datos en comunicación I2C	41
Figura 3.8. Diagrama de fuerzas previo a un volteo	43
Figura 3.9. Esquema para el análisis y cálculo aproximado de la velocidad limite de derrape y vuelco	48
Figura 4.1: Construcción del Chasis del Modelo a Escala	55
Figura 4.2: Sistema de Dirección aplicado al modelo a escala	56
Figura 4.3: Sistema de Dirección (Vista Lateral).....	56
Figura 4.4: Sistema de Suspensión Aplicado al Modelo (Vista Inferior).....	57
Figura 4.5: Sistema de Suspensión Aplicado al Modelo (Vista Superior).....	57
Figura 4.6. : Construcción previa en una placa de cartón.....	58
Figura 4.7 : Cortes de la placa metálica.....	58
Figura 4.8: Remache de la carrocería al chasis del modelo.....	59
Figura 4.9: Instalación del peso muerto en el modelo (Asientos, Tablero de instrumentos y ventanas)	59
Figura 4.10: Instalación Peso Muerto en el Modelo (Vista Trasera).....	60
Figura 4.11: Proceso de Selección de Componentes IDE (Entorno de Desarrollo Integrado)	61
Figura 4.12: Proceso de Instalacion IDE (Entorno de Desarrollo Integral)	61
Figura 4.13: Aplicación de IDE (Entorno de Desarrollo Integral), Proceso de Programacion.	62

Figura 4.14 Diagrama de Flujo Principal (Inicialización de Programación).....	63
Figura 4.15 Diagrama de Flujo del Timer	64
Figura 4.16 Diagrama de Flujo del Timer (Continuación).....	65
Figura 4.17 Diagrama de Conexiones Electrónicas para Sensor Anti-Volteo.....	66
Figura 4.18: Centro de Gravedad previo instalación de la IMU	70
Figura 4.19: Instalacion de la IMU MPU – 6050 en el chasis del modelo.....	71
Figura 4.20: Vista Inferior de la Instalacion de IMU-MPU - 6050	72
Figura 5.1: Alerta Visual de Velocidad (1er Led encendido).....	74
Figura 5.2: Alerta Visual de Velocidad al Máximo.....	75
Figura 5.3: Alerta de Velocidad al Máximo, Leds de alerta anti-volteo encendidos	76
Figura 5.4: Prueba de Inclinación sobre plataforma, encendido de primera alerta	77
Figura 5.5: Prueba de Inclinación sobre plataforma, encendido de segunda alerta.....	77
Figura 5.6: Máximo de velocidad y las alertas luminosa y acustica encendidas.....	78
Figura 5.7: Diagrama de Distribución de Pines del Arduino	101
Figura 5.8: Distribucion de Pines del Display 16x02.....	102

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1. Cálculo para la suma de fuerzas en el eje vertical	24
Ecuación 2.2. Cálculo para la suma de fuerzas en el eje horizontal	24
Ecuación 2.3. Ecuación de la aceleración producida por el vehículo	25
Ecuación 2.4. Sumatoria de momentos en punto de contacto rueda-suelo	25
Ecuación 2.5. Despeje de N_1 y N_2 de las ecuaciones 2 y 3.....	26
Ecuación 2.6. Cálculo para el peso del vehículo.....	28
Ecuación 3.1. Ecuación para determinar un momento de balanceo.....	44
Ecuación 3.2. Ecuación sobre el momento que afecta a la fuerza lateral	44
Ecuación 3.3. Ecuación consecuencia del peso del vehículo.....	45
Ecuación 3.4. Ecuación estabilizadora para los momentos antes mencionados	45
Ecuación 3.5. Ecuación sobre la aceleración normal en curva	46
Ecuación 3.6. Ecuación cálculo transferencia de carga	46
Ecuación 3.7. Cálculo Fuerza Centrifuga	47
Ecuación 3.8. Ecuación sobre el cálculo para determinar la velocidad límite de derrape	49
Ecuación 3.9. Cálculo para determinar la velocidad límite con peralte igual a 0.....	49
Ecuación 3.10. Ecuación cálculo velocidad límite de vuelco	50
Ecuación 3.11. Ecuación cálculo velocidad límite de vuelco con peralte igual a 0.....	50
Ecuación 4.1. Cálculo de la potencia consumida por la Placa Arduino.....	68
Ecuación 4.2 Cálculo de la potencia consumida por la IMU MPU – 6050	68
Ecuación 5.1. Cálculo Velocidad Óptima en Curva $\zeta = 0$ (Caso Ideal)	80
Ecuación 5.2. Cálculo Velocidad Óptima en Curva $\zeta = 5^\circ$ (Caso Real)	80
Ecuación 5.3. Cálculo Velocidad Óptima en Curva $\zeta = 10^\circ$ (Caso Extremo).....	80
Ecuación 5.4. Cálculo Transferencia de Carga Lateral.....	81
Ecuación 5.5. Cálculo Fuerza Centrífuga Producido en el Transporte Público.....	81

Ecuación 5.6. Cálculo de la Pendiente (m) del ángulo con respecto a la Velocidad	82
Ecuación 5.7. Cálculo del Ángulo de Inclinacion.....	82
Ecuación 5.8. Cálculo Mano de Obra para Construcción del Proyecto	85

RESÚMEN

La presente investigación fue desarrollada para realizar el diseño, construcción e implementación de un dispositivo electrónico anti-volteo en un prototipo del transporte urbano del Distrito Metropolitano de Quito. Su función es llevar a cabo un previo aviso mediante una alerta visual y sonora en el panel de instrumentos del vehículo sobre un posible volcamiento debido al exceso de peso y velocidad. Este dispositivo fue creado con la tecnología actualmente disponible en el mercado, para el diseño se requiere de: Sensor de aceleración de mayor o menor tamaño dependiendo del prototipo. Para esta investigación se utilizará un sensor de aceleración de menor tamaño, este elemento registra en base a la velocidad del vehículo los grados de inclinación durante una curva, y según el resultado obtenido enviará señales para transmitirse de manera sonora y visual en el panel de instrumentos del vehículo, de esa forma alertar al conductor sobre la peligrosa inclinación y posible volcamiento del vehículo dando como resultado que la persona que conduzca pueda reaccionar y disminuir la velocidad evitando un inminente accidente y pérdida de vidas.

Palabras Claves: Sensor de aceleración, exceso de velocidad, exceso de peso, accidentes de tránsito, transporte urbano

ABSTRACT

The present investigation was developed to carry out the design, construction and implementation of an electronic anti-dumping device in a prototype of the urban transport of the Metropolitan District of Quito. Its function is to carry out a prior warning through a visual and audible warning on the instrument panel of the vehicle about a possible rollover due to excess weight and speed. This device was created with the technology currently available in the market, for the design is required: Acceleration sensor of greater or less size depending on the prototype. For this investigation, a smaller acceleration sensor will be used, this element registers based on the speed of the vehicle the degrees of inclination during a curve, and according to the obtained result will send signals to be transmitted in a visual and sound way in the instrument panel of the vehicle, in this way alert the driver about the dangerous inclination and possible overturning of the vehicle, resulting in the person driving can react and slow down avoiding an imminent accident and loss of life.

Keywords: Acceleration sensor, speeding, excess weight, traffic accidents, urban transport.

CAPITULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN

Estudio para el diseño de un dispositivo electrónico anti-volteo aplicado a un prototipo de un modelo de vehículo de transporte público que alerte mediante señales acústicas y luminosas y pueda integrarse al sistema de seguridad activa del vehículo.

1.2 PLANTEAMIENTO, FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos 5 años el número de accidentes en Ecuador por exceso de carga y velocidad se ha reducido considerablemente según datos actualizados de la Agencia Metropolitana de Tránsito (AMT). Sin embargo, una de las principales quejas de los usuarios del transporte público se centra en el exceso de pasajeros que llevan las unidades (El Comercio, 2014).

Además en el Ecuador, en el transporte de carga pesada se dan casos de sobre peso a los vehículos, esto conlleva a que sumado el exceso de velocidad, la unidad tienda a voltearse, ocasionando accidentes con pérdidas de vidas y destrucción de los vehículos. Por otro lado los transportistas tampoco tienen una señal que les indique una alerta al momento que el vehículo este a punto de voltearse.

Si bien los índices de accidentes de tránsito por no cumplir las normas establecidas al transportar pasajeros, cargas pesadas y velocidad, es baja (0,16% del total de accidentes según la AMT), no quiere decir que no sea un problema que afecte a la sociedad, sin embargo esta investigación se centra en resolver algunas aristas de este problema como son:

la eficiencia y un buen servicio a los usuarios del transporte privado de uso público optimizando los recursos de la empresa privada en el uso de este tipo de transporte.

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas, en coordinación con los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales y Provinciales, han implementado diferentes medios informativos como, señalética con el número máximo de pasajeros. De esta manera, informar a los usuarios acerca de los límites del número máximo de pasajeros y la velocidad actual a la que se moviliza el mismo (vehículos de transporte interprovincial), cuyo objetivo es fomentar la cultura y la conciencia del usuario.

Se busca oportunidad de desarrollo con la ayuda de esta investigación, diseñando un dispositivo electrónico de inclinación o anti-volteo a partir del principio de funcionamiento de un acelerómetro, aplicándolo específicamente a un modelo de transporte de pasajeros, esperando que a futuro sea aplicable al transporte pesado y en general; de esta manera mejorar la calidad de servicio y minimizar la accidentabilidad en el Ecuador.

1.2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿La falta de implementación de un dispositivo electrónico anti-volteo en el vehículo, que alerte al conductor mediante una señal luminosa y acústica, contribuirá con la cantidad de accidentes de tránsito por volcamiento causado por exceso de peso y el deterioro de la calidad de servicio en el transporte de pasajeros?

1.2.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿Cuál es el principio electrónico mediante el cual funcionará el sensor anti-volteo?
- ¿Cuál es el principio mecánico que apoyaría la gestión funcional del sistema del dispositivo electrónico de inclinación?
- ¿Cuáles son los sistemas mecánicos y electrónicos del vehículo relacionados?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar en un modelo de un bus interprovincial a escala, un mecanismo electrónico aplicable, que alerte con una señal acústica y luminosa en el tablero de instrumentos, con el fin de minimizar los índices de accidentabilidad causados por exceso de peso y velocidad y por ende mejorar la calidad de servicio en el transporte urbano.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar las diferentes causas de accidentabilidad producidas en el transporte interprovincial, las cuales estén directamente relacionadas a daños en el funcionamiento de la suspensión por exceso de peso.
- Demostrar la factibilidad tecnológica de un diseño, basado en un control electrónico que permita determinar el nivel de inclinación en un vehículo mediante el peso y la velocidad, emitiendo señales de alerta al operario.
- Diseñar el prototipo de un dispositivo de inclinación comandado electrónicamente, aplicándolo a un modelo a escala de un bus interprovincial.
- Realizar pruebas mediante la inclinación del modelo en estado estático simulando un exceso de peso y con la ayuda de un simulador de velocidad, se determinan los límites de inclinación máxima.
- Efectuar cálculos, basados en velocidad, peso, ángulo de peralte y diámetro de la curva, considerando condiciones reales en un transporte público como en las vías de circulación, de esa forma aportando con datos máximos de tolerancia de volcamiento.

1.4 JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 JUSTIFICACIÓN

Las circunstancias que llevaron a la investigación de este tema se evidencian por el desconocimiento de los conductores de un medio de transporte interprovincial, de un dispositivo electrónico anti-volteo que es capaz de medir un ángulo de inclinación y de esta manera evitar accidentes de tránsito debido al exceso de velocidad y exceso de pasajeros en la unidad de transporte. Adicional, se espera que en un futuro y gracias al apoyo de la Agencia Nacional de Tránsito, la implementación de este sistema anti-volteo en el transporte interprovincial sea obligatorio, pues es de gran importancia mejorar la seguridad de los pasajeros y del conductor, además, reducir los niveles de accidentabilidad en el Ecuador.

Considerando otros factores importantes como el confort y seguridad de los usuarios que utilizan este medio de movilización, se debería implementar este sistema de seguridad en el vehículo, pues con este mecanismo se logrará que las unidades de transporte lleven la cantidad de pasajeros reglamentada por el fabricante y las entidades de control. Adicionalmente, se espera mejorar la cultura del conductor, ya que al implementar este dispositivo, que advierte un posible volcamiento mediante una alerta preventiva basada en una señal luminosa y auditiva en el tablero de instrumentos con el fin de asegurar la conducción en las vías ecuatorianas.

Este proyecto se va realizar mediante la investigación y construcción de un dispositivo anti-volteo ubicado entre la carrocería y el chasis del vehículo de transporte. Su funcionamiento se basa con el exceso de peso que recibe el vehículo, el cual envía una señal por parte del sensor que funciona de manera conjunta con el sistema mecánico, al momento que el sistema detecte un alto grado de inclinación tanto positivo como negativo, automáticamente enviará una señal al tablero de instrumentos comunicándole al conductor

sobre una inminente inclinación peligrosa del vehículo, en ese momento una señal acústica y luminosa se enciende en el tablero de instrumentos. Por lo tanto; de acuerdo a lo antes expuesto, la importancia de esta investigación radica en analizar de manera general la futura implementación de un dispositivo electrónico anti-volteo en la industria de transportes de pasajeros, las posibles oportunidades de desarrollo, producción y comercialización del componente, aportando de esta manera no sólo a la seguridad y confort de los usuarios que usan este medio sino, a la industria automotriz ya que se puede implementar este dispositivo desde su fabricación enfocado al transporte de pasajeros a nivel nacional.

1.4.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL

Para lograr una muestra de análisis viable se tomó en cuenta el índice de mortalidad por exceso de peso y velocidad en los transportes de pasajeros interprovinciales desde el año 2013, hasta la información disponible del año 2017. De esta manera se puede evidenciar la situación en la que se encuentra las unidades de transporte terrestre, con respecto al cumplimiento de las regulaciones de peso ideal emitidas por las entidades de control, antes de la aplicación de este componente y el efecto que esta medida tendrá a nivel nacional.

1.4.3 DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA

La investigación y ejecución de este estudio, será efectuada en la Provincia de Pichincha.

1.4.4 DELIMITACIÓN DEL CONTENIDO

La investigación se realizará en relación al exceso de peso y velocidad en los vehículos de transporte de pasajeros, comprendido en el periodo 2013 – 2017. Mismo que abarcará los cambios que han tenido estos vehículos antes, durante y después de la aplicación del dispositivo electrónico anti-volteo.

Se buscará además, generar el conocimiento que permita la fabricación e implementación de este dispositivo electrónico en los transportes de pasajeros, en el área geográfica ya mencionada. Adicional lograr acceder a la aceptación por parte de los propietarios y fabricantes, para ser aplicado en un futuro a nivel nacional.

CAPITULO II

2. GENERALIDADES DE ACCIDENTABILIDAD Y SU RELACIÓN CON EL MAL FUNCIONAMIENTO DE LA SUSPENSIÓN POR EXCESO DE PESO

2.1 Antecedentes (Tasa de Accidentabilidad en el Ecuador)

Según datos recopilados por un informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS), República Dominicana encabeza los países con más accidentes de tránsito, 20 muertes por cada 100,000 habitantes, con un promedio de 29.3 muertes en carreteras. Siguiendo en la lista se encuentra en segundo lugar Brasil con 23.4, Bolivia 23.2, El Salvador 21.1, Paraguay 20.7 y Ecuador 20.1, ocupando el sexto lugar en América Latina (Kogan, 2015).

Según la opinión de Guillermo Abad Director de Justicia Vial, la situación todavía no ha mejorado después de la aprobación de la Reforma a la Ley de Tránsito (Registro Oficial Suplemento 415 de 29 de marzo del 2011, vigente), pues no se ha cumplido en un 50% (La Hora, 2013).

Tanto a nivel mundial como en América Latina, específicamente en Ecuador existen Leyes y Regulaciones de Tránsito rigurosas, pese a ello, no es suficiente pues el índice de accidentabilidad en el Ecuador no ha disminuido, a pesar de las duras sanciones que los gobiernos descentralizados aplican, este tipo de medidas implementadas no han logrado la reducción de siniestralidad en el País, esto evidencia que es necesario crear una cultura en los individuos sobre seguridad vial, una cultura que no vaya encaminada por sanciones, sino más bien con la preservación de la vida, de conductores, motociclistas, ciclistas, pasajeros y peatones (Román, 2015).

De acuerdo con información actualizada de la Agencia Nacional de Tránsito (ANT), la causa del 50,09% de accidentes registrados a nivel Nacional ocurren por imprudencia o

impericia del conductor, el 13,2% suceden por irrespeto a las normas de tránsito, el 12,31% es por exceso de velocidad, el 9,73% por embriaguez, el 7,69% por condiciones externas sin determinar y el 6,99% por imprudencia de otros involucrados (Agencia Metropolitana de Tránsito de Quito, *et al.*, 2017).

Según algunos accidentes que ocurrieron en nuestro país se encuentra uno de los más sonados que sucedió en la vía Ibarra-San Lorenzo, ya que según testimonios el accidente ocurrió por exceso de velocidad y por sobrepeso en la unidad, debido a investigaciones las autoridades policiales ubicadas al norte de la ciudad de Ibarra, en su control hicieron bajar a un considerable número de pasajeros de dicha unidad, sin embargo, el dueño de la unidad decidió recoger más pasajeros, desgraciadamente este suceso cobró la vida de más de 30 personas fallecidas y aproximadamente 28 heridos, según fuentes no oficiales el automotor no había ingresado a la terminal terrestre para su revisión de rutina, por lo tanto había viajado con algunos desperfectos mecánicos (Ecuadorinmediato, 2012).

Por otro lado en la ciudad de Ambato se produjo un grave accidente por causa de un volcamiento de un camión tipo 350, según el Coronel Robalino Jefe de tránsito de la provincia de Tungurahua manifestó que se debió a que el transporte era de carga liviana más no para transportar pasajeros, no obstante en este caso también se transportaban pasajeros sin adoptar medidas de seguridad, siendo también responsable de este error la compañía encargada “Duatine S.A.” (El Universo, 2012).

Seguido de eso la lista continua con numerosos accidentes de tránsito a nivel nacional ya sea por el exceso de velocidad y/o por el sobrepeso, según el Coronel Robalino Jefe de tránsito en la Provincia de Tungurahua en septiembre del 2012 se registraron 35 accidentes de tránsito con un índice de 12 personas fallecidas y 39 heridos, en ese mismo período según un reporte policial se detuvieron a 42 conductores por exceso de velocidad, 39 por conducir

en estado de embriaguez, así como 720 contravenciones por distintas causas y 71 vehículos detenidos.

2.1.1 Tasa de Accidentabilidad por parte del Transporte Público Interprovincial en la Provincia de Pichincha

Los índices indican que existe un considerable aumento de accidentes de tránsito en las carreteras del país, las provincias en las cuales tiene mayor afectación son Guayas y Pichincha, lo cual están directamente involucrados diferentes empresas de transporte público, intercantonal e interprovincial. El creciente número de accidentes y de víctimas, se debe tanto a las fallas mecánicas, exceso de peso y velocidad de las unidades del transporte público como también a la imprudencia de sus conductores, pese a ello, los controles por parte de las autoridades a su cargo, cuidado y vigilancia ha sido bajo (Expreso, 2018).

De enero a noviembre del año 2017 según datos propiciados por la Agencia Nacional de Tránsito (ANT), informa que aproximadamente 3.744 vehículos estuvieron involucrados en accidentes de tránsito, 1.354 son automóviles, 637 motocicletas, 422 camionetas, 237 buses, 173 camiones y 37 bicicletas. Esto dejó como resultado 1.935 personas fallecidas, dando un alarmante índice de 6 personas que mueren diariamente. Las causas fueron distracción en un 22%, exceso de velocidad 17% y cambio brusco de carril en un 10%, sin embargo, ante esta penosa realidad que existe en la Provincia de Pichincha es importante que las autoridades e instituciones de control tomen las medidas necesarias para que se reduzcan la accidentabilidad en la Provincia (Expreso, 2018).

Debido a esto, los siniestros por parte de los transportes inter provinciales han sido los accidentes que más conmoción han generado tanto a nivel nacional como en la Provincia de Pichincha, entre esos están los acontecidos en julio del 2017 un bus de la cooperativa La Maná se impactó con otro vehículo en la vía Alóag-Santo Domingo y dejó alrededor de 14

personas fallecidas y 30 resultaron heridas. Otro caso fue el de un automotor en el que viajaban con exceso de pasajeros, el cual perdió pista y se incineró. Los testigos del hecho manifestaron que los ocupantes del automotor murieron calcinados (Pichincha Universal, 2017).

En marzo del 2017 un bus de servicio público, que cubría la ruta Cayambe-Quito se accidentó dejando 12 personas fallecidas y 25 heridos. Las investigaciones de los especialistas atribuyeron que el siniestro fue provocado por una falla mecánica del vehículo. Uno de los más recientes accidentes ocurrió la madrugada del viernes 22 de diciembre, ocasionados por tres unidades de servicio público de las cooperativas Aray, Macuchi y Trans Esmeraldas mismas que se impactaron en el kilómetro 5 de la vía Alóag - Sto. Domingo, producto de esta triple colisión, dos personas fallecieron y 28 quedaron heridas (Pichincha Universal, 2017).

Sin embargo, las autoridades de control están pendientes en reducir este tipo de accidentes de tránsito y evitar más muertes en las vías. Pablo Calle, Director de la ANT en julio del 2017 informó que se estudiará si fue correcto o no reducir de dos a una la revisión vehicular para los transportistas del servicio público. Este análisis no se hace desde el año 2016 cuando el expresidente Rafael Correa, en abril del 2016, firmó el Decreto 975 y flexibilizó la inspección mecánica del transporte público, al ordenar que este tipo de vehículos únicamente se someta a un control técnico cada año (Pichincha Universal, 2017).

Pese a ello, muchos usuarios que usan este medio de transporte público confían que los conductores sean profesionales y las cooperativas encargadas tanto del cuidado de las unidades como de sus respectivos controles lo hagan con responsabilidad y eficiencia, sobre todo a los vehículos que están a disposición pública (Expreso, 2018).

2.1.2 Calidad de Servicio de Transporte Público en la Provincia de Pichincha

La calidad del servicio público en el sistema urbano, inter parroquial e inter provincial involucra un conjunto de actores, esto es producto de la acción consensuada por parte de los Gobiernos Autónomos en función de la construcción del bien público. Según datos compartidos por parte de la Agencia Nacional de Tránsito (ANT), se estima que un 62,8% del total de la población en el Distrito Metropolitano de Quito utiliza este servicio público para movilizarse, entre estos están: buses del sistema Metro-Q, buses urbanos, inter parroquiales e inter provinciales, por medio de la Resolución No C-057-2015 se estableció mediante una serie de diálogos y negociaciones realizadas en el año 2014, establecer un Plan de Fortalecimiento de Calidad del Servicio de Transporte Público (Instituto de la Ciudad, 2017).

La Secretaría de Movilidad entre mayo y junio del 2017 desarrolló un proceso de evaluación técnica, institucional y social para la aplicación de un Plan de Fortalecimiento, esto se dio a la existencia de una serie de charlas entre el municipio y los transportistas no obstante, después de una encuesta y una veeduría ciudadana realizada por la Concejala Daniela Chacón, se estimó que el 86% de los encuestados consideran que el servicio de transporte público no ha tenido mejora desde el año 2015 (Instituto de la Ciudad, 2017).

Según (NTE INEN 1323, 2009), los vehículos de transporte público se clasifican en buses y minibuses. La capacidad total de pasajeros según los requisitos de la ANT debe ser en aproximadamente a 36 pasajeros con un promedio de 70 kg masa de cada ocupante.

En junio del 2008 mediante la resolución No. 009-2008 publicada en el Registro Oficial No. 370, el directorio del INEN oficializó con carácter Obligatorio-Emergente el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 038 para “Bus Público”, para que de esa forma se oficialice el control de peso y según eso el transporte público pueda trabajar bajo los reglamentos establecidos por la normativa.

Éste Reglamento Técnico aplica a los vehículos de transporte público que van a ingresar al parque automotor ecuatoriano, ya sean importados, ensamblados o fabricados en el país.

2.1.3 Transporte Público en el Distrito Metropolitano de Quito

Actualmente existen sofisticados instrumentos de revisión de carga para los vehículos de transporte público o pesado en el Ecuador, sin embargo, las autoridades competentes no han podido regular los diferentes problemas que tienen actualmente los vehículos de transporte público, especialmente en la Provincia de Pichincha, debido a que por medio de varios testimonios por parte de los usuarios que utilizan este medio de transporte, tal como lo dice María Goncalves ciudadana Venezolana que reside en la capital “Hay buses que compiten unos con otros por los pasajeros y no respetan las paradas, con frenazos bruscos por el exceso de velocidad ocasionando que los pasajeros se golpeen y que exista una insatisfacción en el usuario”, tal como se muestra en las figuras a continuación.

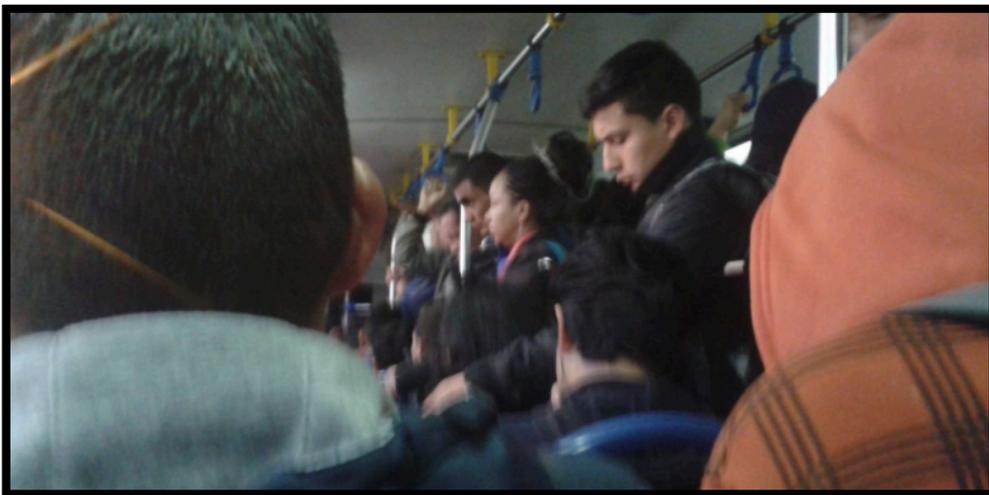


Figura 2.1. Exceso de pasajeros en unidades de transporte público en la Provincia de Pichincha

Fuente. Manuel Lira (2017), *El exceso de pasajeros es común en los buses de Quito*



Figura 2.2. Exceso de pasajeros en unidad Trans Alfa en el DMQ

Fuente. www.ecuadorlibrered (2017), *Calidad del transporte publico en el DMQ*

El índice de accidentabilidad que ha tenido el Distrito Metropolitano de Quito, por volcamientos por parte del transporte público a sido mínimo, a pesar de ello, todavía persiste el problema debido a las altas velocidades y peligrosidad en los anillos viales, de igual forma se suma la inexperiencia de los conductores como la impericia de los mismos.

Existen 3 vías de alto riesgo en la Ciudad de Quito, en primer lugar se encuentra la Avenida Simón Bolívar, misma que registra diariamente un alto índice de accidentes, las estadísticas indican que un camión que circulaba en sentido Sur-Norte a la altura de la Universidad Internacional del Ecuador, debido a situaciones externas el camión perdió pista y se volcó; otras vías de alto riesgo son la avenida Mariscal Sucre e Interoceánica. Como también la Av. Galo Plaza, Maldonado y Eloy Alfaro también indican índices de accidentabilidad importantes, sin embargo, no es tan alto como las anteriores mencionadas (El Comercio, 2016).

Según la Agencia Nacional de Tránsito conjuntamente con el Municipio reporta aproximadamente 50 accidentes entre el 11 de Noviembre al 31 de Diciembre del 2013, adicionalmente (El Comercio, 2016).

En el siguiente año (2014) se registró un alza considerable de accidentabilidad en el Distrito Metropolitano de Quito, de acuerdo con estadísticas de la Agencia Nacional de Tránsito (ANT), los siniestros pasaron de 4.630, los cuales se habían registrado entre enero y julio del año 2014, a 8.517 en el mismo periodo del año 2015, eso quiere decir un incremento del 44,44%, mientras que se estima un 7,2% en promedio por volcamiento según los datos estadísticos de transporte INEC. Por otro lado según cifras publicadas por la ANT los siniestros viales se habían reducido en un 12%, en el primer semestre del año anterior, en comparación con el año 2014 (El Telégrafo, 2016).

Mientras que en el año 2017 según Ángela Amoroso, directora de Seguridad Vial de la AMT, indica que la tasa de accidentabilidad se ha reducido en un 17% a comparación del año 2016, a pesar de ello, se registran diariamente al menos 23 accidentes a nivel del Distrito Metropolitano de Quito, eso quiere decir entre enero y septiembre del año 2017 se registraron un total de 6.283 siniestros (El Comercio, 2017).

2.2 Determinación de Cargas Transversales y Longitudinales que soporta el Transporte Público

2.2.1 Generalidades

El comportamiento direccional que existe en un vehículo se debe al desplazamiento que tiene en la carretera, esta define su respuesta a las acciones que son ejercidas por el conductor sobre el volante, así como aquellas que son ejercidas por los medios externos, que pueden afectar a la dirección del movimiento como son la fuerza centrífuga, viento e irregularidades de la calzada.

Existen condiciones en las que el conductor puede actuar de forma sencilla y segura, para modificar ciertos parámetros en función a las situaciones externas en las que circula el vehículo, estos parámetros son los giros de las ruedas directrices respecto al eje. El vehículo en movimiento se encuentra bajo afectaciones por acciones del medio y durante el período

transitorio de funcionamiento, por lo que relaciona movimientos tanto laterales como transversales respecto a su trayectoria, eso quiere decir, que el vehículo experimenta en su comportamiento direccional problemas en la estabilidad de la dirección del movimiento frente a perturbaciones externas (Chudacov, 1977).

2.3 Características que debe reunir la suspensión en el Transporte Pesado y

Público

Las principales características que debe tener la suspensión tanto en los camiones como en el transporte de pasajeros, esta formada por las ballestas, horquillas, rótulas, muelles, amortiguadores, ruedas y neumáticos. Se puede decir que el bastidor de los camiones se lo considera como el cuerpo integrador de la suspensión, este se encuentra fijo a los brazos de los ejes mediante ballestas o amortiguadores, otro elemento importante de la suspensión es la barra estabilizadora delantera esta se encuentra equipada en todos los chasis, ya sean de carga o para el transporte de pasajeros; en la actualidad este elemento también es usado en la parte posterior del vehículos con el fin de brindar mayor estabilidad al mismo (Coronel, 2010).

En los vehículos pesados la suspensión es la mejor forma de mantener un equilibrio constante entre el bastidor y las ruedas, estos elementos adquieren mayor relevancia, no solo para soportar la carga, sino también para que exista estabilidad y regularidad en la marcha del vehículo, sobre todo cuando circula en curvas o por terrenos irregulares y cuando acelera o frena el vehículo, eso quiere decir que en cualquier situación en las que actúan las fuerzas dinámicas logran afectar a la masa del vehículo (Pons Editorial, s.f.).

La suspensión que es usada en el transporte de pasajeros, es reforzada, también conocida como suspensión rígida, debido a que el chasis debe resistir una mayor carga, generalmente está formado en su mayoría por paquetes o ballestas tanto en la parte delantera como en la trasera (Coronel, 2010).

2.3.1 Arquitectura y Normativa de Construcción (Autobuses Públicos)

Con lo que respecta a su estructura y arquitectura de un autobús la mayoría de este tipo de vehículos están compuestos por el bastidor y una superestructura.

- **Bastidor:** esta estructura se encuentra en la parte inferior del vehículo y tiene la función de soportar toda la superestructura y el conjunto de sistemas mecánicos tales como el motor, las suspensiones y la transmisión, sin embargo, también se encarga de unir y organizar los diferentes sistemas para conferirle unidad al conjunto, su construcción se basa por dos largueros de sección en T que aportan con una buena rigidez a flexión y otras vigas transversales normalmente ubicadas en sección rectangular para un excelente rigidez a flexión y torsión (Donaire, 2016).



Figura 2.3. Arquitectura de construcción de un bastidor de un autobus

Fuente: Donaire, (2016), *Comparativa de modelos de simulación de vuelcos de autobuses según los procedimientos del reglamento 66*, Pg. 8.

- **Superestructura:** la estructura que se encuentra en la parte superior del bastidor, donde esta el habitáculo de pasajeros y el conductor, el objetivo de esta estructura es soportar toda la carrocería, brindarle rigidez y absorber la mayor parte de la energía durante un

impacto. La superestructura esta formada por perfiles de sección rectangular, formando anillos que se encuentran colocados en planos perpendiculares al eje longitudinal del autobús (Donaire, 2016).



Figura 2.4. Superestructura de un autobus

Fuente: Donaire, (2016), *Comparativa de modelos de simulación de vuelcos de autobuses según los procedimientos del reglamento 66*, Pg. 9.

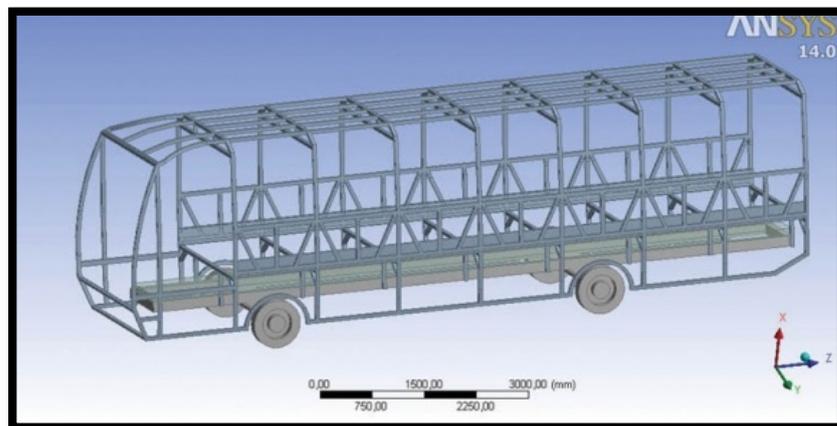


Figura 2.5. Estructura superior de un autobus montado en su bastidor

Fuente: Donaire, (2016), *Comparativa de modelos de simulación de vuelcos de autobuses según los procedimientos del reglamento 66*, Pg. 9.

La normativa (NTE INEN 1323), explica sobre los requisitos que deben cumplir las carrocerías de los buses, esta vigencia se encuentra disponible desde 1985, a pesar de ello, a partir del año 2008 el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) convocó a técnicos especializados de diferentes sectores y de esa manera establecer los requisitos más apropiados que deben tener las estructuras de las carrocerías, de este modo el Subcomité Técnico tomó la decisión para que se establezcan niveles de deformación que debe tener la carrocería, adicionalmente se establecieron dos condiciones más sobre las posibles eventualidades el cual debe tener el diseño de la estructura.

Por medio de esta normativa la carrocería deberá soportar el peso máximo del chasis y la deformación que tenga la carrocería no exceda los límites máximos según lo establecido por el fabricante que están en función del material y sus dimensiones, en caso de que exista un volcamiento se realizaron ensayos que fueron tomados directamente de la Regulación 66 de la Comunidad Europea, este requisito establece que debe existir una zona de supervivencia de la cual no podrá ser afectada, ni invadida por cualquier elemento que forma parte de la estructura de la carrocería (Figura 2.6.), esta zona está considerada como espacio de seguridad en donde sus ocupantes podrán mantenerse a salvo sin sufrir lesiones graves.

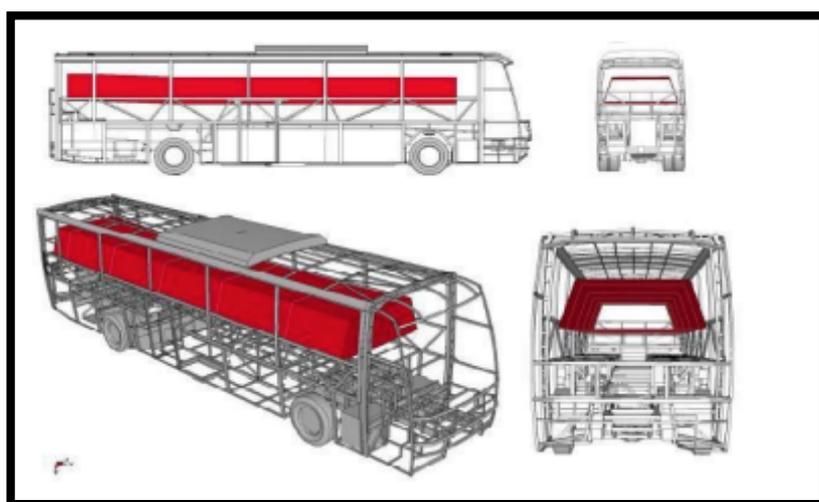


Figura 2.6. Espacio de supervivencia de un autobús

Fuente: Donaire, (2016), *Comparativa de modelos de simulación de vuelcos de autobuses según los procedimientos del reglamento 66*, Pg. 14.

Luego de varios años de estudio, la BSD Solutdevelop Cía. Ltda. fue la encargada de realizar el conocimiento necesario para obtener la designación No SC-11-015, “Ensayos en base a la Norma Técnica INEN 1323-2009”, que se realizó mediante el modelamiento matemático con Ansys LS-Dyna.

2.3.1.1 Estabilidad Lateral

Según la Directiva 2001/85/CE en el punto 7.4, establece como requisito que los autobuses deben soportar sin que se produzca un vuelco un ángulo de inclinación lateral sobre una plataforma de 28° tal como se muestra en la (Figura 2.7), con el vehículo en plena marcha, las masas Q ubicados en cada uno de sus asientos tal como se muestra en la (Tabla 2.1) a continuación (Corral et al., 2008).

Tabla 2.1. Masa de cada pasajero para ensayo

Clase de Vehículo	Q (kg) Masa de un pasajero	Ssp (m2/pasajero) Espacio convencional para un pasajero en pie
Clase I y A	68	0,125
Clase II	71	0,15
Clase II y B	71	ningún pasajero de pie

Elaborado por: Álvarez, (2018).

Fuente: Corral et al., (2008), *Nuevos Requisitos y Avances en Seguridad Pasiva en Autobuses y Autocares*. Pg. 16

En el caso que existan pasajeros de pie se debe considerar la masa Q, distribuyéndola por el espacio destinado colocándoles a una altura de 875 mm y en caso de llevar una silla de ruedas se deberá considerar una masa de 250 kg a una altura de 500 mm (Corral et al., 2008).

Entre algunos parámetros para evitar un vuelco se tomará en cuenta los siguientes puntos como son; masas y dimensiones, rigidez de la suspensión, centro de balanceo, características del control de presión de la suspensión neumática y rigidez torsional (Corral et al., 2008).

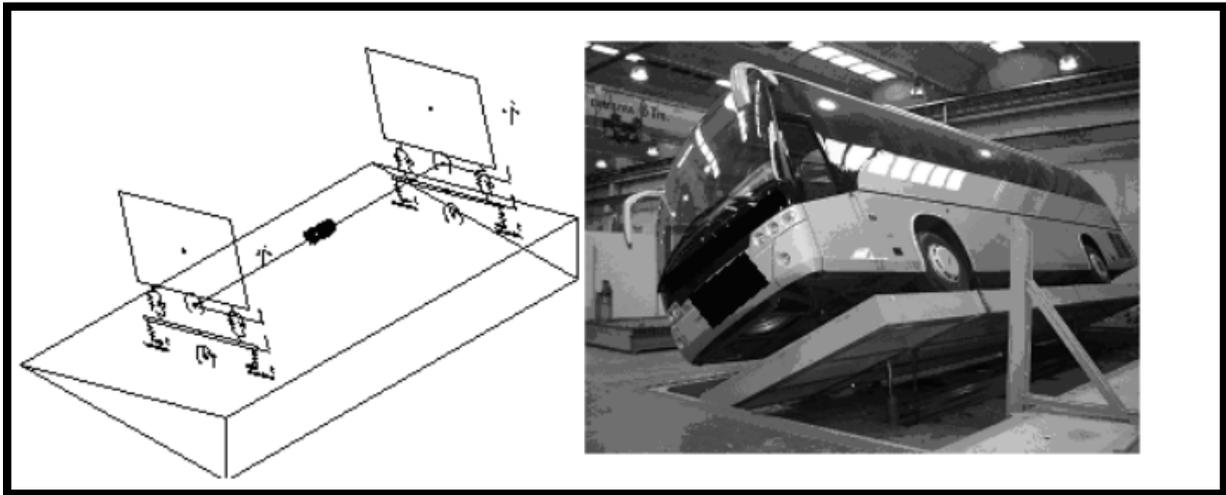


Figura 2.7. Modelo de cálculo y ensayo de estabilidad

Fuente: Corral et al., (2008), *Nuevos Requisitos y Avances en Seguridad Pasiva en Autobuses y Autocares*. Pg. 16

2.3.2 Suspensión con Eje Rígido

Este tipo de suspensión esta empleada fundamentalmente por vehículos de propulsión con puente rígido, entre ellos existe diversos tipos que son: ballestas tanto transversales como longitudinales y por muelles helicoidales este tipo de elementos se disponen entre las trompetas del eje y el bastidor este suele montarse un tirante pivotante entre el puente y el bastidor el cual actúa como barra estabilizadora (Valbuena, 2007).

2.3.3 Sistema de Suspensión Neumática

La suspensión neumática principalmente es utilizada en transporte de pasajeros, de carga pesada o grandes camiones, debido a su gran estructura y su enorme robustez, sin embargo, se debe mantener la suavidad y confort en la adaptación de las irregularidades del terreno, de esta forma sustituye el sistema de suspensión que utiliza ballestas, últimamente ya no se

los utiliza debido al nuevo sistema que usa fuelles o cojinetes de aire (neumáticos), ubicado conjuntamente en el eje trasero y en algunos casos también en el eje delantero, para que de esa forma colabore y tenga mayor estabilidad con el vehículo (Pons Editorial, s.f.).

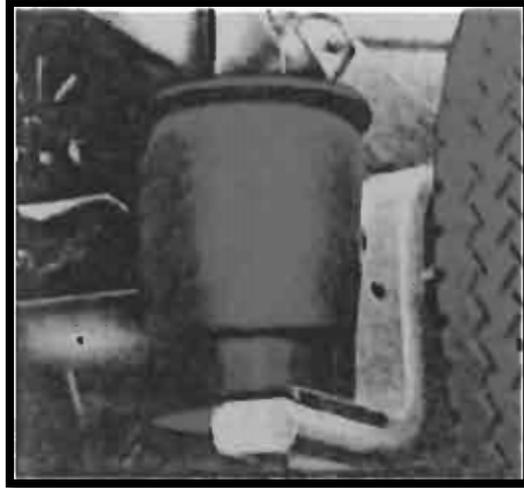


Figura 2.8. Sistema de Suspensión Neumática de un Camión

Fuente: (s.f.), *Mecánica Vehículos Pesados*. Pg. 242

Este sistema está basado principalmente en interponer entre la rueda y elementos suspendidos mediante un resorte neumático. Este resorte se encuentra conformado por medio de un pistón que actúa sobre un diafragma lleno de aire a presión. La fuerza de reacción que tiene está en función del desplazamiento que tiene el pistón y la presión interna que se encuentra en el diafragma. Este método utilizado por este sistema es indicado para vehículos que usan frenos de aire debido a que su funcionamiento se basa con la instalación ya presente, lo que hace que su uso sea muy extendido como en vehículos industriales, camiones y autobuses (Valbuena, 2007).

2.3.3.1 Mantenimiento y Prevención de Averías

Se deben tener en cuenta algunos parámetros como la suspensión neumática para mantenerlo en óptimo funcionamiento, el cual se debe realizar un chequeo y control de los resortes seguido de eso revisar que no exista fugas de aire en el sistema y finalmente realizar

un control minucioso del estado de las tuberías cuidando que los enlaces estén en perfectamente condiciones de funcionamiento (Valbuena, 2007).

Tabla 2.2. Prevención de Averías

DEFECTO	CAUSA	¿QUE HACER?
Suspensión muy blanda	<ul style="list-style-type: none"> • Muelles cedidos. • Mal estado de los amortiguadores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reemplazar. • Sustituir.
Suspensión muy dura	<ul style="list-style-type: none"> • Mal estado de los muelles o barras de torsión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sustitución.
El vehículo cabecea	<ul style="list-style-type: none"> • Amortiguadores deformados. • Muelles delanteros deformados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sustituir. • Sustituir.
El vehículo se inclina hacia delante	<ul style="list-style-type: none"> • Muelle averiado. • Ballesta rota. • Barra de torsión mal. • Avería sistema hidráulico, neumático o hidroneumático. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reponer. • Cambiar. • Reponer. • Reparar.
Ruidos y golpes en la parte delantera	<ul style="list-style-type: none"> • Cojinetes defectuosos. • Pivotes y casquillos dirección mal. • Amortiguador deformado. • Barras o gomas gastadas. • Brazo de suspensión defectuoso. • Articulaciones flojas. • Silentbloc en mal estado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar. • Cambiar. • Cambiar. • Cambiar. • Cambiar. • Apretar. • Cambiar.
El vehículo bota y pierde adherencia	<ul style="list-style-type: none"> • Neumáticos excesivamente inflados 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar presión.

Fuente: (s.f.), *Mecánica Vehículos Pesados*. Pg. 247

2.4 Comportamiento Dinámico en el Vehículo

La dinámica en el vehículo habitualmente se produce debido a oscilaciones tanto en la carrocería, como en la dirección y la tracción del transporte, de esta forma para que el comportamiento inercial sea el adecuado ya que según el fabricante del vehículo se deben repartir de forma precisa las masas del vehículo, debido a que el punto de vuelco depende de esta situación por que es difícil ubicar un centro de gravedad, de modo que se debe determinar el apoyo en las cuatro ruedas del vehículo, seguido de esto se deben centrar las masas del vehículo tomando en cuenta un centro geométrico. Para obtener un comportamiento ideal, es importante realizar una distribución equilibrada, siendo así permitiendo aprovechar de manera óptima la tracción como las fuerzas laterales de las ruedas y la suspensión del vehículo (Iris, 2011).

2.4.1 Comportamiento Direccional del Vehículo: Subviraje y Sobreviraje

Existen algunos tipos de comportamientos dinámicos en el vehículo en el transcurso de su trayectoria, como balanceos producidos en arrancada, frenada y giro en una curva. A pesar de ello la fuerza centrífuga generada en virajes demasiado cerrados supera la adherencia de las ruedas del vehículo con el suelo, por lo que el comportamiento del vehículo se ve alterado o tiende a irse hacia el exterior de la curva sin continuar la trayectoria de las ruedas delanteras, por lo que se denomina Subviraje. Por otro lado, existe el caso en donde las ruedas traseras tienden irse hacia el exterior, por lo que produce que el vehículo gire hacia el interior de la curva llamado Sobreviraje (Gómez *et al.*, 2011).

2.4.2 Transferencia Longitudinal de Carga en el Vehículo

La dinámica longitudinal del vehículo que existe en tracción o aceleración como en frenada, estas acciones están inmersas en la circulación de un vehículo en un estado longitudinal, este fenómeno físico está aplicado tanto para vehículos livianos como en transportes urbanos o de carga (Santos y Sancho, 2012).

2.4.2.1 Transferencia Longitudinal de Carga en Aceleración

Cuando existe aceleración en el vehículo, existe un fenómeno físico denominado momento de giro, esto tiende a cargar el eje trasero y aliviar el eje delantero del vehículo, esta acción se produce debido a la distancia que existe entre el centro de gravedad del vehículo y las ruedas donde se encuentra la fuerza de tracción (Santos y Sancho, 2012).

Al momento que existe una sobre carga en el eje trasero debido a la aceleración, incrementa la fuerza normal tanto en las ruedas traseras como en el sistema de la suspensión, lo que implica mayor rozamiento entre el suelo y los neumáticos del vehículo, por ende una mayor tracción. Para calcular la carga vertical que gravita sobre las ruedas en el proceso de tracción se utiliza un modelo simplificado en donde apoya la suspensión rígida, despreciando los efectos debidos al cabeceo y de este modo se calculan los momentos

respecto a los puntos de contacto de rueda-suelo, que deben ser cero (Santos y Sancho, 2012).

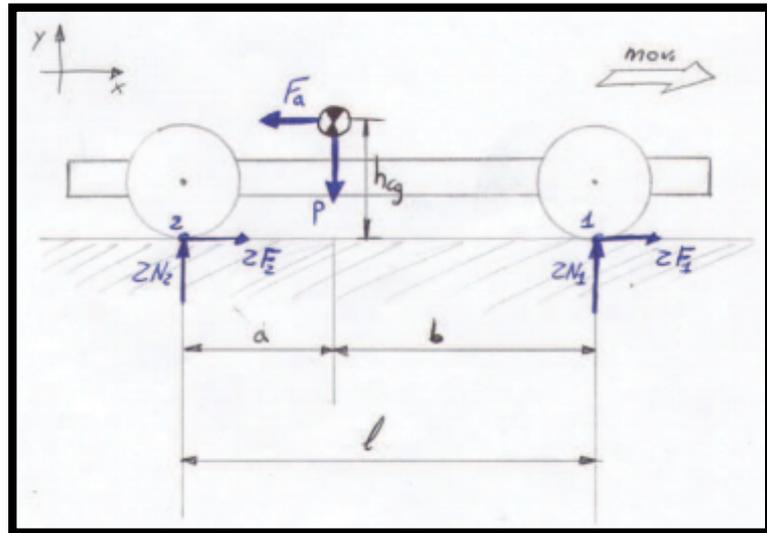


Figura 2.9. Esquema Sólido Libre del vehículo en Aceleración

Fuente: Santos y Sancho (2012), *Diseño de vehículo Karting con un sistema de suspensión*. Pg. 55

Debido a esto se considera al vehículo como un solo cuerpo libre, por esa razón el centro de gravedad y la masa se consideran como un conjunto en general, considerando estos factores se plantearán en primer lugar la suma de fuerzas en el eje vertical, y seguido de eso la suma en el eje horizontal, dando una sumatoria total igual a cero (Santos y Sancho, 2012).

Ecuación 2.1. Cálculo para la suma de fuerzas en el eje vertical

$$\sum F_x = 0 ;$$

$$2 \cdot (F_1 + F_2) - F_a = 0 ;$$

Ecuación 2.2. Cálculo para la suma de fuerzas en el eje horizontal

$$(2)$$

$$\sum F_x = 0 ;$$

$$2. (N1 + N2) - P = 0 ;$$

En el eje horizontal está presente una fuerza debido a la aceleración producida por el vehículo (F_a), la cual depende de las características de este, y del modo de aceleración, ya sea aceleración máxima a todo gas desde el momento que el vehículo está parado.

Ecuación 2.3. Ecuacion de la aceleración producida por el vehiculo

$$F_a = m \cdot A_x \text{ aceleracion } ;$$

Seguido de eso se plantea la suma de momentos respecto al punto de contacto rueda-suelo que es igual a cero, por lo tanto se obtiene:

Ecuación 2.4. Sumatoria de momentos en punto de contacto rueda-suelo

$$(3)$$

$$\sum M_1 = 0 ;$$

$$(2 \cdot N_2 \cdot l) - (P \cdot b) - (F_a \cdot h_{cg}) = 0 ;$$

Donde:

- **hcg** : la altura del centro de gravedad al suelo.
- **Fa** : la fuerza debida a la aceleración.
- **P** : peso total del vehículo aplicado en el centro de gravedad.
- **b** : la distancia en el eje horizontal desde el centro de gravedad hasta el punto de contacto rueda-suelo delantero.
- **N2** : la transferencia de carga que aparece el punto de contacto rueda-suelo trasero.
- **N1** : la transferencia de carga que aparece el punto de contacto rueda-suelo delantero.
- **l** : la distancia entre ejes “wheelbase”.

Finalmente de las ecuaciones (2) y (3) se despejaron N1 y N2, respectivamente para su futuro cálculo.

Ecuación 2.5. Despeje de N1 y N2 de las ecuaciones 2 y 3

$$N2 = \frac{(P \cdot b) + (Fa \cdot hcg)}{2 \cdot l} 0 ;$$

$$N1 = \frac{P}{2} - N2 ;$$

Mediante este proceso de cálculo podrán determinarse las cargas que aparecerán en los puntos de contacto rueda-suelo en el momento de una aceleración, a continuación se seguirá el mismo método para el estudio de la transferencia de carga longitudinal en el caso de una frenada (Santos y Sancho, 2012).

2.4.2.2 Transferencia Longitudinal de Carga en Frenado

En lo que respecta al estudio de la dinámica del vehículo en frenado se considera el movimiento del auto en línea recta sin acciones laterales y sin tener en cuenta los movimientos de la suspensión. Como se puede apreciar en la (Figura 2.9), cada rueda del vehículo está representada en cada uno de los ejes y la suma de fuerzas que actúan sobre ellas, seguido de eso se aprecian las fuerzas externas que actúan sobre el vehículo como la pendiente, rodadura y aerodinámica (Santos y Sancho, 2012).

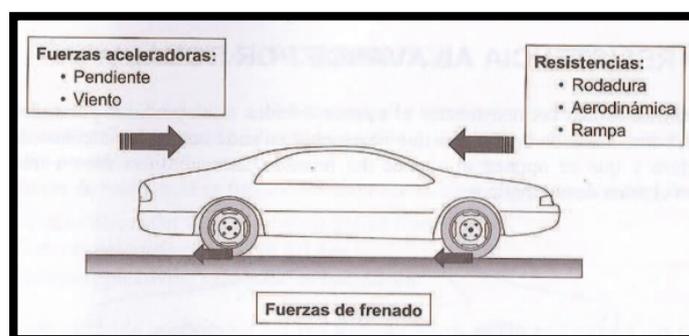


Figura 2.10. Esquema de fuerzas para un vehículo en acción de frenado

Fuente: Santos y Sancho (2012), *Diseño de vehículo Karting con un sistema de suspensión*. Pg. 57

En este caso, las diferentes fuerzas que actúan sobre el vehículo dependen de las circunstancias en las que se encuentre el mismo como son la aerodinámica, fuerza que actúa a favor, siempre y cuando la velocidad del viento no supere a la del vehículo y actúe en la misma dirección que éste, en el caso de la rodadura del vehículo continuamente lo va a hacer mientras que, la rampa actuará a favor del vehículo, siempre y cuando sea una cuesta; en tanto que si es una bajada actuará desfavorablemente ya que se necesitará más potencia de frenado o más distancia para detener el vehículo. Cuando estas fuerzas actúan de manera favorable en el vehículo se las denomina resistencia, mientras que si son desfavorables se las denominará fuerzas aceleradoras (Santos y Sancho, 2012).

2.4.3 Transferencia Transversal de Carga del Vehículo en Curva

La transferencia transversal de carga en un vehículo pesado, es producida principalmente por el balanceo. Según Santos y Sancho (2012) afirman: “Que el balanceo a su vez se define como la rotación en torno al eje X (longitudinal) del vehículo. En general, el balanceo de la carrocería (ϕ) es la suma del balanceo de la suspensión y del eje producido por la deformación de los neumáticos, es decir, es la suma del balanceo relativo de masa suspendida (ϕ_s), respecto a la semi suspendida y el balanceo absoluto de la masa semi suspendida (ϕ_{ss})” (p. 50).

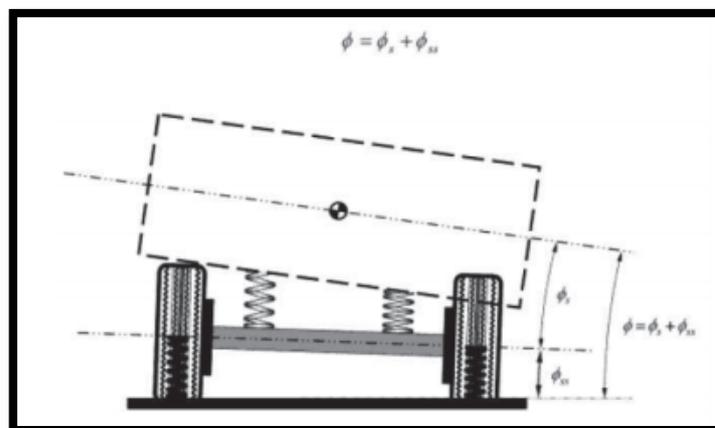


Figura 2.11. Esquema de un vehículo sometido a movimiento de balanceo.

Fuente: Santos y Sancho (2012), *Diseño de vehículo Karting con un sistema de suspensión*. Pg. 57

Cuando existe balanceo del vehículo por medio de una aceleración transversal, la masa suspendida empieza a balancearse a través de este fenómeno, el centro de gravedad de la masa suspendida gira como se aprecia en la (Figura 2.11.) denominado (G_s), un ángulo (ϕ_s) respecto al plano vertical que pasa por el centro de gravedad (R), seguido de eso se puede apreciar la sección transversal que tiene el vehículo con respecto a uno de los ejes del mismo, en el cual se diferencia como masa suspendida (m_s), masa semi suspendida (m_{ss}), la altura del vehículo del centro de gravedad, con respecto a la masa suspendida con el suelo (h_s) y finalmente la altura del centro de gravedad con a la masa semi suspendida (h_{ss}). A continuación se puede apreciar en la siguiente figura (Santos y Sancho, 2012).

En donde el peso total del vehículo será:

Ecuación 2.6. Cálculo para el peso del vehículo

$$P = m_s \cdot g + m_{ss} \cdot g$$

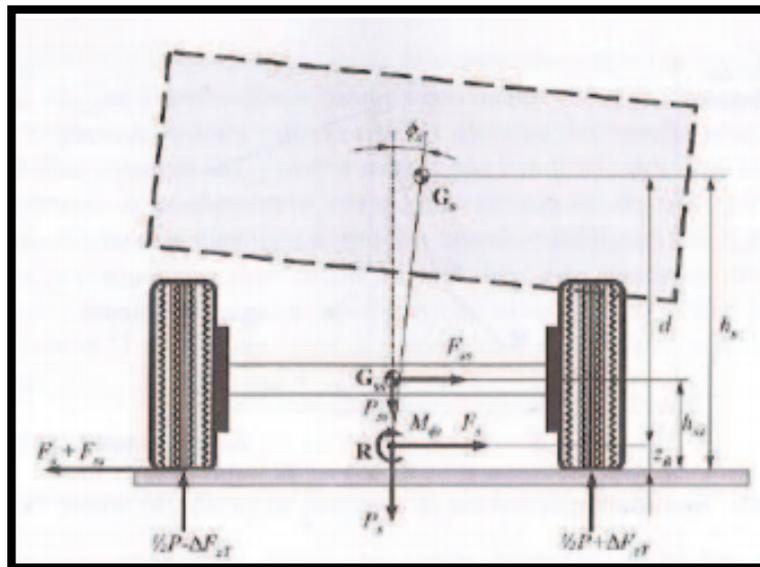


Figura 2.12. Diagrama de cuerpo libre de un vehículo sometido a fuerzas transversales

Fuente: Santos y Sancho (2012), *Diseño de vehículo Karting con un sistema de suspensión*. Pg. 52

El centro de balanceo al cual el vehículo está sometido, se considera como centro instantáneo de rotación de masa suspendida, respecto a la masa semi-suspendida. Esto sucede cuando el vehículo está sujeto a una fuerza transversal durante su movimiento, el cual es provocado durante el paso en una curva; sin embargo, existe otro tipo de fuerzas que afectan el balanceo del vehículo como es la acción de un fuerte viento en dirección transversal, un derrape o un trompo (Santos y Sancho, 2012).

En este caso, considerando a buses públicos el centro de balanceo es importante para determinar el comportamiento del vehículo en una curva, por lo tanto, su comportamiento puede aportar información con su tendencia a balancear, además de resumir el efecto de la geometría de la suspensión (Santos y Sancho, 2012).

Para poder caracterizar la transferencia de pesos tanto en el eje delantero como en el eje trasero, se puede realizar si se conoce la altura del centro de balanceo y el centro de gravedad de la masa suspendida y semi-suspendida, de esta forma se conoce la carga a la que está sometido el neumático. Con esta información se puede conocer datos sobre la estabilidad, reparto de cargas en los muelles y brazos de suspensión y lo más importante información sobre la dinámica que tiene el vehículo bajo aceleraciones transversales (Santos y Sancho, 2012).

CAPITULO III

3. ESTUDIO DE UN COMPONENTE ELECTRONICO ANTI-VOLTEO, CÁLCULOS SOBRE EL COMPORTAMIENTO DINÁMICO Y SEGURIDAD ACTIVA Y PASIVA EN EL VEHÍCULO

3.1 Tipos y Funcionamiento de los Diferentes Sistemas de Regulación de Carga

Entre los problemas que persisten en el servicio de transporte público es el exceso de pasajeros, por medio de esta investigación se pretende realizar un estudio y seguido de eso implementar en un modelo a escala un dispositivo anti-volteo que apoye con la regulación de inclinación, y mediante pruebas controladas se pretende en un futuro con el apoyo de los gobiernos descentralizados implementar en las unidades y prevenir accidentes por exceso de pasajeros y velocidad.

Entre algunos dispositivos que facilitan la regulación de carga en los medios de transporte están:

- Galgas Extensiométrica
- Sensor de carga por eje GNOM DDE
- Sensor de carga por eje GNOM DP

3.1.1 Funcionamiento Sensor de Eje en Transporte Pesado

3.1.1.1 Galgas Extensiométrica

En este tipo de acelerómetro, una o más galgas Extensiométrica hacen de puente entre la carcasa del instrumento y la masa inercial, la aceleración produce una deformación de la galga que traduce en una variación en la corriente detectada por un puente de Wheatstone, la deformación es directamente proporcional a la aceleración aplicada al acelerómetro, al

igual que en el piezo-resistivo la respuesta de frecuencia llega hasta los cero Hz (Giménez, 2009).

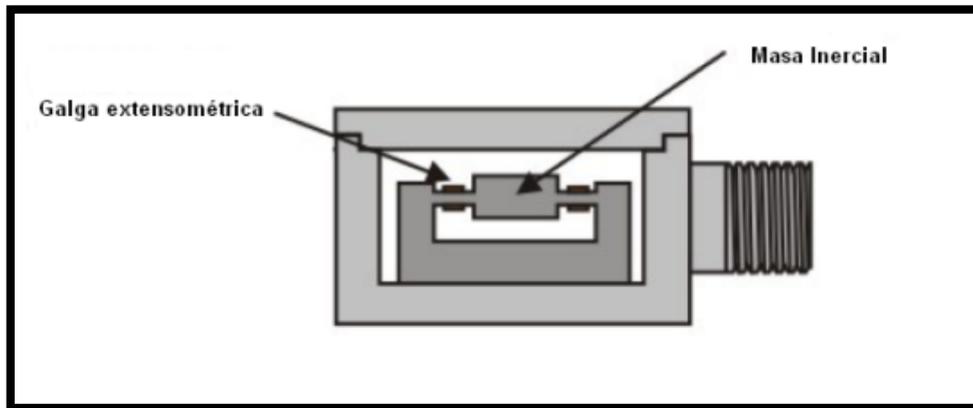


Figura 13 Diagrama de un acelerómetro (Galgas extensiométrico)

Fuente: Gimenez (2009), *Teoría y Aplicaciones de la Informática 2*. Pg. 9

3.1.1.2 Sensor de Carga por Eje GNOM DDE

Este tipo de sensor está aplicado principalmente en vehículos equipados con suspensión neumática, su funcionamiento se basa en medición de presión del aire comprimido en perímetro de la suspensión neumática del vehículo que cambia en dependencia del peso de la carga que se le aplique (Technoton, 2015).

3.1.1.3 Sensor de Carga por Eje GNOM DP

El sensor de movimiento GNOM sirve para la determinación de carga por eje y del peso de la carga en vehículos equipados con suspensión de ballestas, su instalación se basa ubicándolo en el chasis del vehículo y con la ayuda del sistema de manguetas se conecta con el eje trasero, este sensor mide la distancia entre el eje y el chasis y cambia en dependencia del peso de la carga (Technoton, 2015).

3.1.2 Control del Peso de la Carga por Eje (Transporte Pesado)

El uso que tienen los diferentes sensores de carga por eje permite al propietario del parque automovilístico tanto en vehículos particulares como en los de carga pesada controlar el peso de la carga que se transporta. Debido al elevado costo que tienen este tipo de sensores no se los aplica en cada eje del vehículo, sino en un lugar específico, por lo tanto, se debe considerar y estudiar detenidamente que punto del transporte existe mayor cantidad de peso tal como se observa en la (Figura 3.2.), por otro lado existe peso en el eje delantero creada por el peso de la cabina y el motor que por estructura es técnicamente más pequeña a comparación de la carga que soporta el eje trasero, por lo tanto el sensor que controlará el peso de la carga se instalará en el eje más cargado del vehículo.

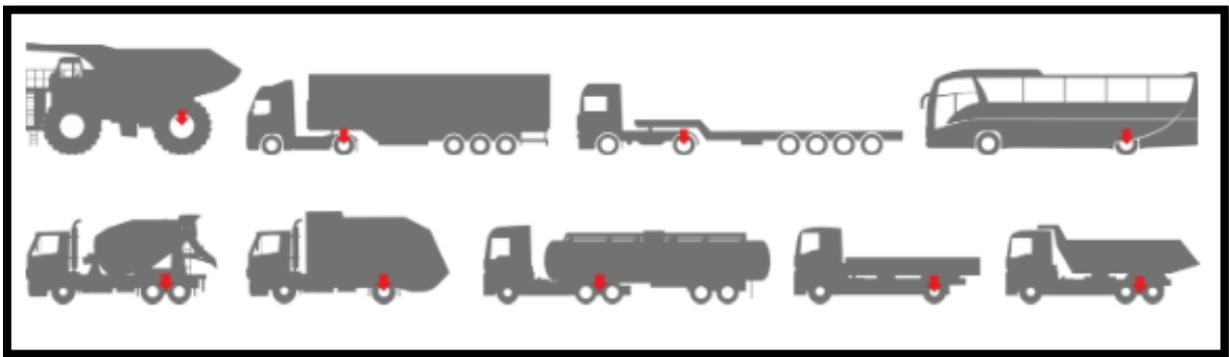


Figura 14.2. Carga de eje en los diferentes transportes

Fuente: Technoton (2015), *Sensores de carga por eje*. Pg. 9

Según datos propiciados por la empresa Technoton con respecto al sensor de carga por eje se puede determinar el peso aproximado de la carga en la carrocería por varios tipos de vehículos.

Tabla 3.2. Determinación del peso de la carga que se transporta para un cabezal de dos ejes según el valor de la carga por el eje trasero con el semirremolque de tres ejes

Carga por el eje*, t	Peso aproximado de la carga**, t	Nota
Menos de 2	—	Calibración incorrecta
2,3		Semirremolque desacoplado
4	0	Semirremolque acoplado
6	de 9,0 a 9,5	
8	de 18 a 19	
10	de 27 a 28	

Fuente: Technoton (2015), *Sensores de carga por eje* Pg. 9

3.2 Concepto Generalizado sobre Sensor y Transductor

De acuerdo a un concepto general se puede decir que un sensor está íntimamente relacionado con la definición de un transductor, mientras que según (Balcells & Romeral, 2004) es un dispositivo eléctrico y/o mecánico que convierte magnitudes físicas como luz, magnetismo, presión, etc. En valores medibles de dicha magnitud.

Las magnitudes físicas se logran convertir en valores medibles mediante tres fases:

- Un fenómeno físico a ser medido es captado por un sensor y muestra en su salida una señal eléctrica dependiente del valor de la variable física.
- La señal eléctrica es modificada por un sistema de acondicionamiento de señal cuya salida es un voltaje.
- El sensor dispone de una circuitería que transforma y/o amplifica la tensión de salida, la cual pasa a un conversor A/D, conectado a un PC. El convertidor A/D transforma la señal de tensión continua en una señal discreta (Corona et al., 2014).

(Pallas, 1993) explica que un sensor es un dispositivo que a partir de la energía que existe en el medio, envía una señal de salida transductible en función de la variable que fue medida.

Un transductor es un dispositivo electrónico, el cual se encarga de convertir una señal de un tipo a otro, eso quiere decir que logra convertir una magnitud en otra que resulte más apta para el análisis de un fenómeno físico. Existen 6 tipos de señales para el control industrial que son: mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas y moleculares (Castro, 2008).

De acuerdo con (Castro, 2008), el transductor por lo general convierte cualquier señal en eléctrica, esto se da por el tipo de aplicaciones industriales. Un transductor ideal es aquel que para producir su señal de salida no disminuye la energía de la señal de entrada, sin embargo, en la práctica esto no se da, por lo que es importante que el transductor consuma la menor energía de la señal de entrada para que altere en lo menos posible el fenómeno físico estudiado. Existen varias ventajas al momento de utilizar transductores, como por ejemplo una de ellas es convertir las diversas señales físicas en señales eléctricas.

Según (Corona *et al.*, 2014) un sensor representa a un dispositivo que permite cuantificar una variable física, mientras que los actuadores a partir de la variable física medida por el sensor, tienen la tarea de realizar una acción como consecuencia de haber procesado la magnitud que tendrá dicha variable, es decir, la definición de concepto de sensor está íntimamente relacionada con la definición de transductor.

3.3 Generalidades sobre un Acelerómetro o Sensor de Aceleración

Un acelerómetro o sensor de aceleración es un dispositivo electromecánico que mide la aceleración de un objeto, transformando magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas, lo hace midiendo respecto de una masa inercial interna (Giménez, 2009).

Según (Jara *et al.*, 2010) un acelerómetro es un dispositivo electromecánico con la finalidad de medir la fuerza de aceleración el cual su escala de medición se encuentra en décimas de micrones con niveles de sensibilidad relativamente pequeños, la unidad de medida el cual se encarga para la facilitación es la gravedad (g's), por lo tanto, los

acelerómetros son quizás el dispositivo electromecánico más simple de los sistemas MEMS (Micro Electro-Mechanical System).

Los acelerómetros MEMS se encuentran disponibles en una gama amplia de variedades de los cuales pueden llegar hasta los miles de (g's), este tipo de sensado se lo puede realizar en varios modelos o tipos de ejes ya sea de uno, dos o tres ejes. La función principal que tienen estos dispositivos es la de censar los cambios de velocidad con respecto al tiempo, adicional a eso también se los utiliza para el control de mecanismos de vibración (Jara *et al.*, 2010).

Las diferentes funciones de un acelerómetro son principalmente medir las vibraciones en los coches pequeños, máquinas, edificios, sistemas de control de proceso e instalaciones de seguridad entre otros, seguido de eso sus aplicaciones también están incluidas en la medición de actividades sísmicas, la inclinación, vibraciones en máquinas, distancia dinámica y la velocidad con o sin influencia de gravedad, sin embargo, existe un tipo de acelerómetro el cual es el encargado de medir la gravedad y se lo denomina gravímetros (Jara *et al.*, 2010).

Con respecto al sensado de tipo capacitivo, el desplazamiento es detectado por la medición del cambio de la capacitancia entre la masa sísmica y los electrodos adyacentes que se encuentran fijos, estos valores suelen ser relativamente pequeños de capacitancia los cuales son críticos para los esquemas de conversión de voltaje, debido a la capacitancia parásita que estos dispositivos presentan en la integración de la señal de acondicionamiento, circuitos electrónicos y empaquetados (Jara *et al.*, 2010).

Entre los acelerómetros o micro acelerómetros usados por la industria automotriz se encuentran:

- Acelerómetros capacitivos
- Acelerómetros con tecnología Piezoeléctrica

- Acelerómetros con tecnología Piezoresistivo

Existen algunos micro acelerómetros en el mercado, sin embargo, el más utilizado en el sector automotriz emplea una transducción capacitiva, por lo que son llamados micro acelerómetros capacitivos, por otro lado existen otros que cumplen la misma función (Herrera *et al.*, 2009).

- **Micro Acelerómetros Capacitivos**

La función principal de los micro acelerómetros capacitivos es censar la aceleración aprovechando la variación o el cambio en la capacitancia de un capacitor formado por su estructura. Una aceleración provoca una variación en la distancia entre ambos electrodos, alterando su capacitancia inicial en proporción a la aceleración experimentada (Herrera *et al.*, 2009).

Los microacelerómetros capacitivos tienen varias ventajas que los hacen atractivos para la industria automotriz. En primer lugar tienen una baja dependencia a la temperatura, poseen una buena respuesta en corriente directa, alta sensibilidad, baja disipación de potencia y una estructura simple. Por otro lado, su principal desventaja es ser sensibles a la interferencia electromagnética, por lo que se necesita un empaquetado de mayor calidad para proteger el acelerómetro y su circuito electrónico (Herrera *et al.*, 2009).

Según (Jara, *et al.*, 2010) explica que el diseño y modelo de un acelerómetro capacitivo es aquel que en su estructura cuenta con un conjunto de peines fijos y otro con peines móviles que tienen las mismas dimensiones de $3.5\mu\text{m}$ de grosor, $2\mu\text{m}$ de ancho y $30\mu\text{m}$ de longitud.

Este conjunto de peines fijos se encuentran en una sección tipo barra de Poly1, Poly2 y Metal de tal manera que conforman un mismo conductor. Por otro lado el conjunto de peines

móviles son aquellos que se encuentran unidos a los extremos laterales de la placa llamada masa sísmica, compuesta de la misma manera por Poly1, Poly2 y Metal (Jara, *et al.*, 2010).

- **Acelerómetros con Tecnología Piezoeléctrica**

El funcionamiento de este tipo de acelerómetros se basa en las propiedades de los cristales piezo-eléctricos. Estos cristales cuando son sometidos a alguna fuerza ya sea de compresión, flexión o extensión, producen una corriente eléctrica. De esa forma se pone un cristal de este tipo entre la carcasa el cual está unida al objeto cuya aceleración se quiere medir a una masa inercial, y mediante eso se producirá una corriente, cuando ocurra una aceleración la masa ejercerá una fuerza sobre el cristal midiendo esta corriente se podrá calcular la aceleración, ya sea directamente de un acelerómetro de salida con corriente medida en culombios/g o bien convirtiéndola a un voltaje de baja impedancia (Giménez, 2009).

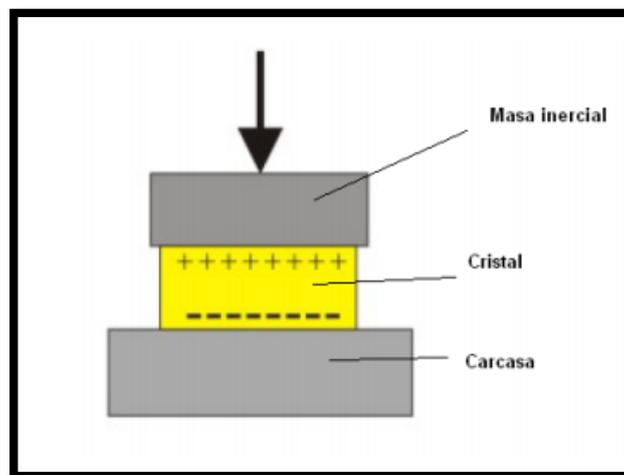


Figura 15. Diagrama de un acelerómetro Piezoeléctrico

Fuente: Gimenez (2009), *Teoría y Aplicaciones de la Informática 2*. Pg. 8

- **Acelerómetros con Tecnología Piezo-resistivo**

Un acelerómetro piezo-resistivo a diferencia de uno piezo-eléctrico utiliza un sustrato en lugar de un cristal piezo-eléctrico, con esta tecnología las fuerzas que ejerce la masa sobre

el sustrato varían su resistencia, que forma parte de un circuito que mediante un puente de Whetstone mide la intensidad de la corriente. La ventaja de esta tecnología respecto a la piezo-eléctrica es que pueden medir aceleraciones hasta cero Hz de frecuencia (Giménez, 2009).

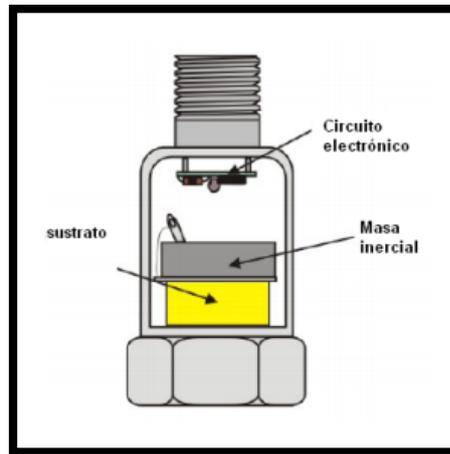


Figura 16. Diagrama de un acelerómetro Piezoresistivo

Fuente: Gimenez (2009), *Teoría y Aplicaciones de la Informatica 2*. Pg. 9

El uso de este tipo de materiales en el diseño de la masa sísmica y de los peines, ayudará a producir un mejor desplazamiento de la masa sísmica al momento en que el acelerómetro se encuentre bajo una aceleración, adicionalmente, ayudará a tener una frecuencia de resonancia más baja (Jara, *et al.*, 2010).

Este tipo de sensores tienen un enorme potencial para la industria automotriz ya que no solo sirve para medir el fenómeno de peso según su masa, si no también está aplicado para bolsas de aire, sistemas de suspensión activa, control de tracción de los vehículos, entre otros (Herrera *et al.*, 2009). El estudio de este sensor se encargó de realizar la revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana ubicada al Suroeste de la República Mexicana, adicionalmente fue la encargada de la investigación sobre los micro acelerómetros para la industria automotriz.

A nivel mundial existen varias compañías que han sido capaces de producir micro acelerómetros en gran volumen, y uno de los productos más exitosos en el mercado es la serie de ADXL de Analog Devices. Esta compañía se convirtió en líder a nivel mundial en la fabricación de microacelerómetros para el sector automotriz principalmente para los usos antes mencionados (Herrera *et al.*, 2009).

3.4 IMU MPU – 6050 Acelerómetro / Giroscopio

El MPU – 6050 es una unidad de medición inercial (IMU), fabricado por Invensense, el cual posee 6 diferentes grados de libertad de modo que combina un acelerómetro de 3 ejes y un giroscopio de 3 ejes tridimensionales respectivamente (Figura 3.5.). A pesar de que los dispositivos electrónicos que se encuentran dentro de la placa MPU – 6050 operan a 3,3V, se encuentra con un regulador para que de ese modo funcione a 5V (Arvind, 2017).

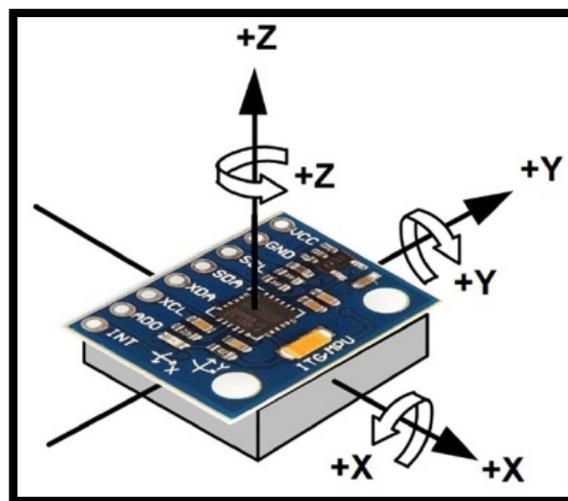


Figura 17. Disposición de ejes en la placa MPU – 6050

Fuente: Arduino (s.f.), *arduino Playground – MPU – 6050*.

La comunicación con el cual opera este módulo se lo realiza mediante la comunicación I²C, y para que de esa manera trabaje con la mayoría de los microcontroladores (Arduino, s.f.).

Este tipo de módulos dispone de conversores analógicos digitales (ADC) de 16 bits. Por otro lado el rango de un acelerómetro esta ajustado desde $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ y $\pm 16g$, mientras que el giroscopio estará a ± 250 , ± 500 , ± 1000 y $\pm 2000^\circ / \text{sec}$. Este sensor consume alrededor de 3,5 mA, siempre y cuando todos los sensores y el DMP (Digital Motion Processor) estén activos, adicionalmente dispone de un sensor de temperatura embebido, un reloj de alta precisión e interrupciones programables (Llamas, 2016)

3.4.1 Comunicación I²C

Su nombre proviene del acrónimo en ingles “Inter – IntegrateddCircuit”, el cual empezó en los años 80`s, su comunicación fue diseñado por la compañía Philips debido a la necesidad de la simplificación y normalización de los procesos de transmisión de datos, el cual debe tener entre diversos circuitos integrados. El bus I²C cuenta únicamente con dos cables para la transmisión bidireccional de datos:

- **SCL:** señal de reloj que permite la sincronización de todos los datos transferidos por SDA.
- **SDA:** señal de datos o línea de datos.

Para el uso del bus I²C es necesario el uso de una resistencia de polarización también conocida como Pull Up conectada a una fuente de energía de 5 V en cada una de las líneas (SDA-SCL), tal como la como se muestra en (Figura 3.6.). Las resistencias de pull-up son independientes del número de dispositivos conectados al bus I²C. La IMU utilizada viene incorporada con estas resistencias dentro de su placa (García, 2012).

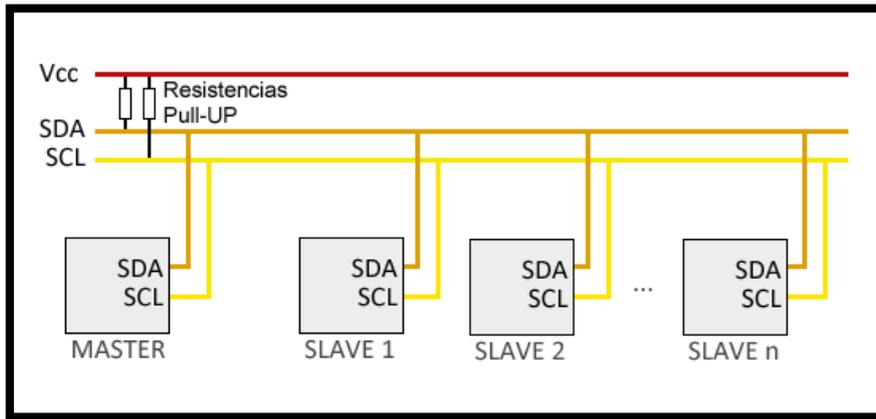


Figura 18. Disposición de dispositivos en comunicación I^2C .

Fuente: García (2012), *Introducción al I^2C bus*.

Dentro del bus I^2C , pueden existir maestros o esclavos. El maestro es el encargado de manejar la línea de reloj SCL y por lo tanto comenzar la transferencia a través del bus. Los esclavos son los que responden al maestro. Usualmente se cuenta con un maestro y varios esclavos; sin embargo, también es posible contar con 2 o más maestros. Para que cada uno de los esclavos sean reconocidos cuenta con direcciones específicas (García, 2012).

La trama de envío de datos está representada en la siguiente (Figura 3.7.):

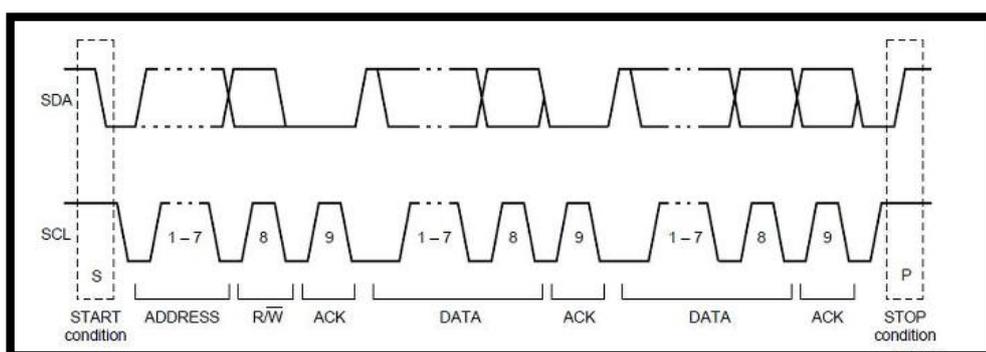


Figura 19 Trama de datos en comunicación I^2C

Fuente: García (2012), *Introducción al I^2C bus*.

La distancia recomendada para la comunicación I^2C debe ser de máximo 2m.

3.4.2 Ángulos de Navegación: Pitch, Roll y Yaw

Ángulos de navegación o también denominados como ángulos de Euler se los utiliza principalmente en aplicaciones robóticas, aeronáuticas, etc. Este tipo de orientaciones de objetos en términos de ángulos de Euler giran en torno a los 3 ejes (x, y y z), también conocidos como cabeceo, alabeo y guiñada “pitch, roll y yaw” (Hernández, s.f.).

3.5 Cálculo Grado de Inclinación Previo al Volteo del Transporte Público

3.5.1 Antecedentes

Usualmente los vehículos de carga pesada no se encuentran en grandes proporciones en los accidentes de tránsito en DMQ, no obstante, estos vehículos son de especial interés porque los accidentes en los que participan pueden presentar altos porcentajes de mortalidad, según datos propiciados por la Agencia Nacional de Tránsito del año 2017 en la provincia de Pichincha, Quito presenta el mayor índice de siniestros que corresponde a un 2,13% que representa a accidentes por volcamiento mientras que un 12,09% está representado por pérdida de pista, que indirectamente también involucra altamente en accidentes de tránsito en vehículos de transporte público el cual está enfocado esta investigación.

A pesar de que los vehículos públicos pueden presentar altas tasas de mortalidad en ocasiones no se realizan estudios para determinar si se presentan problemas de seguridad vial asociados a su comportamiento dinámico; y además, las normas de pesos y dimensiones. De los cuales en esta presente investigación se pretende realizar los cálculos dinámicos para un vehículo de transporte urbano mediante algunos factores internos y externos, provocando volcamientos a nivel nacional, y específicamente en el Distrito Metropolitano de Quito.

3.5.2 Análisis Dinámico para un Transporte Pesado

3.5.2.1 Vuelco

Debido a sus características geométricas los vehículos de transporte pesado y vehículos de transporte público sufren de un mal comportamiento cuando existen vuelcos por exceso de velocidad y peso, siendo este uno de los accidentes más peligrosos para este tipo de vehículos, pese a ello, tanto la normativa implementada como las empresas participantes en su construcción y diseño muestran gran interés en cómo es el comportamiento del vehículo en relación a los vuelcos que sufre (Donaire,2016).

El vuelco se produce al superar un valor máximo de aceleración lateral también conocido como umbral de vuelco, debido a la contribución de la aceleración en circulación en curva y ángulo de peralte de la calzada, el valor que se produce por la aceleración puede ser afectado por los movimientos laterales de la masa suspendida con respecto a su centro de balanceo, produciendo un giro y alterando su centro de posición del centro de gravedad (Figura 3.8.)(Donaire, 2016).

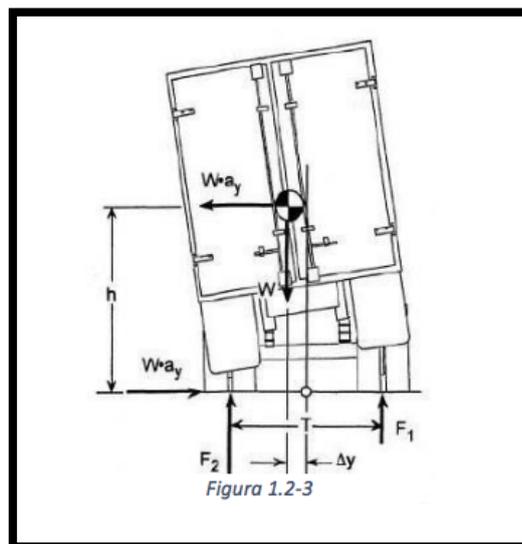


Figura 20. Diagrama de fuerzas previo a un volteo

Fuente: Donaire, (2016), *Comparativa de modelos de simulación de vuelcos de autobuses según los procedimientos del reglamento 66*, Pg. 14.

Donde:

- a_y : Aceleración lateral
- F_i : Carga lateral en neumáticos
- h : Altura del centro de gravedad
- T : Ancho de vía
- W : Peso del vehículo
- Δ_y : Desplazamiento lateral del centro de gravedad
- Φ : Angulo de balanceo del vehículo

Con respecto a la ecuación para el momento de balanceo posicionando un punto firme en el centro de la trazada se lo representa de la siguiente forma:

Ecuación 3.1. Ecuación para determinar un momento de balanceo

$$W \cdot h \cdot a_y = (F_2 - F_1) \cdot \frac{T}{2} - W \cdot \Delta_y$$

Sin embargo, existen dos momentos que afectan de manera negativa el vuelco del vehículo.

El primer momento que afecta se debe a la fuerza lateral que existe por la presencia de una aceleración lateral actuando sobre el centro de gravedad, y está representada por medio de la siguiente ecuación (Donaire, 2016):

Ecuación 3.2. Ecuación sobre el momento que afecta a la fuerza lateral

$$W \cdot h \cdot a_y$$

Existe un segundo momento debido al peso del vehículo, cuando existe un balanceo en su estructura por lo que se provoca un ángulo de balanceo, por lo tanto, el centro de gravedad es desplazado de su posición de equilibrio original con respecto al punto de balanceo de la calzada representándose de la siguiente forma (Donaire, 2016):

Ecuación 3.3. Ecuación consecuencia del peso del vehículo

$$W \cdot \Delta_y$$

Estos dos momentos se los puede considerar desestabilizadores, por lo que se encuentran contrarrestados mediante un momento estabilizador que está representada por la siguiente ecuación (Donaire, 2016).

Ecuación 3.4. Ecuación estabilizadora para los momentos antes mencionados

$$(F_2 - F_1) \cdot \frac{T}{2}$$

Según (Donaire, 2016) en las ecuaciones anteriores se relaciona tres tipos de momentos. El momento que está provocado debido al peso del vehículo puede llegar a afectar de manera considerable según el tipo de suspensión con la que cuente en su diseño como su rigidez al momento del balanceo ya sea:

- Rigidez de la suspensión
- Rigidez de los neumáticos

3.5.2.2 Aceleración Normal y Transferencia de carga

Considerando algunos factores importantes que intervienen en el cálculo dinámico para determinar un previo volteo por exceso de velocidad y peso.

Tomando en cuenta el radio de la carretera y la velocidad a la cual un transporte público circula en la Provincia de Pichincha, se pretende utilizar la siguiente ecuación y de esa manera calcular la aceleración normal el cual circularía por esa curva.

Ecuación 3.5. Ecuación sobre la aceleración normal en curva

$$a_n = \frac{v^2}{\rho}$$

Donde:

- a_n : Aceleración Normal (m/s²)
- v : Velocidad del Transporte (m/s)
- ρ : Radio de la curva (m)

Sin embargo, existen algunas fuerzas que colaboran con el movimiento dinámico en un vehículo, como en este caso es la transferencia de carga que se produce durante una curva, considerándolo con la siguiente ecuación para realizar su cálculo.

Ecuación 3.6. Ecuación cálculo transferencia de carga

$$W_l = \frac{a_n * m * h}{b}$$

Donde:

- W_l : Transferencia de Masa
- m : Masa Total del Vehículo
- h : Altura Total del Vehículo
- b : Distancia Total del Vehículo

3.5.2.3 La Fuerza Centrífuga sobre la Deriva

La causa que más influye sobre la deriva o también conocida como desviación direccional en las curvas es la fuerza centrífuga (F_c), este tipo de fuerza de componente normal apoya al movimiento aplicada al centro de gravedad del automóvil, dependiendo en todo momento de la masa (m), la velocidad de giro (V) y el radio de la curva (R) por la que transita (Gonzales, 1981).

Siendo la siguiente ecuación estructurada de la siguiente forma:

Ecuación 3.7. Cálculo Fuerza Centrifuga

$$F_c = \frac{mv^2}{R}$$

Cuando existe una velocidad pequeña en una radio de giro de curva grande, la fuerza centrífuga que actúa sobre el vehículo es considerablemente escasa e influye ligeramente sobre la trayectoria impuesta por la dirección, esta pequeña desviación es absorbida por la reacción de elasticidad que oponen tanto los neumáticos como la suspensión del vehículo sea rígida o elástica, mientras que cuando la velocidad del vehículo es grande y la curva demasiado cerrada o pequeña la desviación que existe en la trayectoria por efecto de la fuerza centrífuga se hace mucho más sensible, por lo tanto, la reacción del conductor debe ser aumentar el radio de giro de la curva para poder compensar el desplazamiento lateral que el vehículo sufre (Gonzales, 1981).

3.5.2.4 Velocidad de Derrape

Cuando un vehículo de turismo o transporte público que transita sobre una trayectoria curva, actúa la fuerza centrífuga la cual efectúa sobre su centro de gravedad, a una altura h determinada que va desde la superficie de rodadura hasta la parte superior del autobús, en

este punto se origina un esfuerzo lateral el cual debe ser compensado con la fuerza de adherencia de los neumáticos, el funcionamiento de la suspensión y un momento de vuelco, al momento en que se sobre limita la velocidad del vehículo se incrementan todos los efectos antes mencionados por lo que el vehículo tiende a perder su trayectoria y en ciertas condiciones a volcarse (Aparicio, *et al.*, s.f.).

Se pueden considerar algunas variantes previo al volcamiento de un vehículo como son, el ángulo de la calzada, la velocidad, el peso y el tipo de suspensión ya sea esta rígida o neumática, etc. Prácticamente lo mismo que el desplazamiento del centro de gravedad debido a la flexibilidad que tiene la suspensión, puede influenciar de una manera despreciable en los movimientos dinámicos del vehículo, de igual forma se debe considerar la construcción de la calzada debido que en todas las curvas tienen los grados de peralte reglamentados, expresados por su ángulo de inclinación (ζ) con respecto a la horizontal (Aparicio, *et al.*, s.f.).

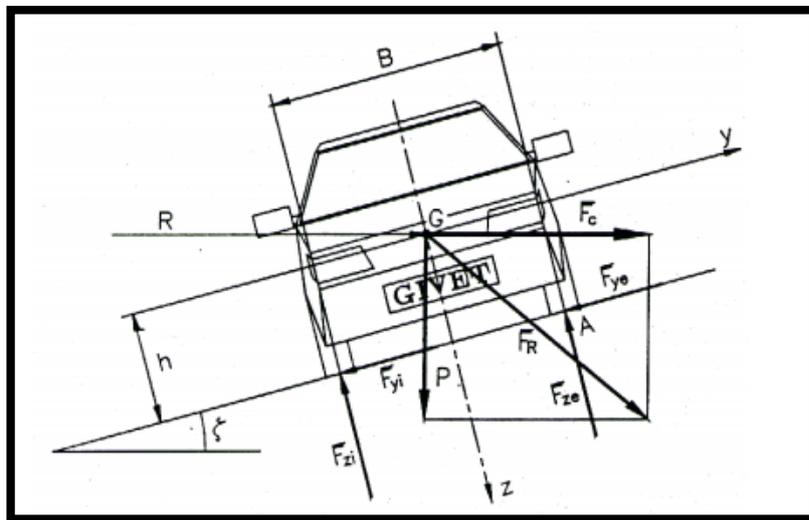


Figura 21. Esquema para el análisis y cálculo aproximado de la velocidad límite de derrape y vuelco

Fuente: Aparicio., *et al* (s.f.), *Teoría de los vehículos automóviles*. Pg. 352

Donde:

- **B**: Vía o ancho del vehículo
- **R**: Radio de la trayectoria del vehículo
- **G**: centro de gravedad del vehículo
- **h**: Altura del centro de gravedad del vehículo
- **F_c**: Fuerza centrífuga
- **F_{zi} F_{ze}**: Fuerzas normales a la superficie de rodadura
- **F_{yi} F_{ye}**: Fuerzas laterales
- **μ**: Coeficiente de rozamiento neumático-piso

Representada en la siguiente ecuación se puede calcular la velocidad límite de derrape el cual el transporte público tendría:

Ecuación 3.8. Ecuación sobre el cálculo para determinar la velocidad límite de derrape

$$V_{ld} = \sqrt{\frac{gR (\mu_{ymax} + \tan \zeta)}{(1 - \mu_{ymax} \tan \zeta)}}$$

Si la curva no se encuentra peraltada $\zeta = 0$ se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 3.9. Cálculo para determinar la velocidad límite con peralte igual a 0

$$V'_{ld} = \sqrt{gR \mu_{ymax}}$$

3.5.2.5 Velocidad de Vuelco

Según (Aparicio *et al.*, s.f.) el límite de vuelco se lo puede representar en la imagen antes mencionada (Figura 3.9.) debido a la resultante F_R de las fuerzas que actúa sobre el centro

de gravedad del vehículo (P y F_c), cortando la superficie de rodadura en el punto exterior de la huella de contacto del neumático exterior.

Representado en la siguiente ecuación como la velocidad límite de vuelco:

Ecuación 3.10. Ecuación cálculo velocidad límite de vuelco

$$V_{lv} = \sqrt{\frac{gR (B/2h + \tan \zeta)}{(1 - B/2h \tan \zeta)}}$$

y para el caso de $\zeta = 0$:

Ecuación 3.11. Ecuación cálculo velocidad límite de vuelco con peralte igual a 0

$$V'_{lv} = \sqrt{gR \left(\frac{B}{2h}\right)}$$

3.6 Relación del Funcionamiento del Componente con los Sistemas Activos de Seguridad del Vehículo

3.6.1 Sistemas de Seguridad Activa y Pasiva del Vehículo

Es importante tomar en cuenta y diferenciar los dos sistemas de seguridad que se pueden encontrar en el vehículo, de esta manera entender mejor su funcionamiento:

La seguridad activa o primaria del vehículo fundamentalmente es la que se debe tener para evitar que se produzca cualquier tipo de accidente, comprende de un conjunto de elementos destinados exclusivamente para el conductor, y de esa forma él tenga el completo y perfecto control del vehículo, por lo tanto, evitar cualquier tipo de accidentes en donde se requiera de una actuación previa del conductor, existen algunos sistemas de seguridad activos del vehículo, procurando siempre la seguridad y que el conductor sea dueño de los

movimientos del vehículo entre están los frenos, la suspensión, dirección, potencia, etc. (Pulido, 2004).

Por el contrario el sistema de seguridad pasiva comprende de una serie de dispositivos cuyo objetivo consiste en lograr disminuir al máximo cualquier tipo de lesión o accidente una vez que este se haya producido, en este campo entran los cinturones de seguridad, parabrisas laminados y su estructura deformable (Pulido, 2004).

Este tipo de seguridades en cualquier tipo de vehículos ya sean autobuses o vehículos de turismo es esencial su fase de diseño para su comercialización a nivel mundial y nacional, a pesar de ello, los autobuses no siempre son fabricados con el mismo índice de seguridad que los vehículos de turismo, por lo tanto su seguridad pasiva en este tipo de vehículos es menor, de hecho casi toda la seguridad que tiene un autobús es conferida casi en su totalidad por su estructura (Donaire, 2016).

Sin lugar a duda siempre es muy importante evitar el accidente, debido a esta investigación por medio de un dispositivo electrónico anti-volteo en donde se pretende implementarlo en el transporte urbano, y de esa forma exista una previa alerta en el tablero de instrumentos advirtiéndolo al conductor sobre una peligrosa inclinación con riesgo que exista un volcamiento.

3.6.1.1 Elementos de Seguridad Activa del Vehículo

Este tipo de seguridad engloba algunos de los principales elementos del vehículo, cuya misión es mejorar las condiciones dinámicas y de esa manera contribuir a la disminución de accidentes, se debe tener en cuenta factores que están directamente relacionados con el conductor por su mayor implicación, de igual manera el comportamiento del vehículo a situaciones extremas de manejo, sobre todo con el conductor debido a que sus decisiones son primordiales para evitar accidentes (Pulido, 2004).

Entre algunos elementos importantes de seguridad activa del vehículo son:

- Frenos
- El ABS
- El ESP
- La dirección
- Los neumáticos
- La suspensión
- La aerodinámica
- La tracción integral

3.6.1.2 Funcionamiento del Componente Anti-Volteo y su Relación con el Sistema de Seguridad Activa del Vehículo

Usando el principio de funcionamiento de un acelerómetro, el cual se está utilizando en esta investigación como la IMU MPU – 6050 acelerómetro – giroscopio, determinará los grados de inclinación en el eje de las x mediante el exceso de velocidad y sobre peso en el vehículo.

Considerando la construcción de las carreteras en la Provincia de Pichincha se tomará en cuenta según la normativa NTE INEN ISO 3833 vigente al Reglamento de la Ley de Transito y Transporte Terrestre el radio de giro en curva y el porcentaje de peralte, dependiendo de la velocidad el cual esta sometido ese tipo de curva, tal como se muestra en la (Tabla 3.2).

Tabla 3.3. Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera

Velocidad (del vehículo) (km/h)	Radio de curvatura de la carretera (m)	Peralte (%)
80	250	8
85	300	
90	350	
95	400	
100	450	
105	500	
110	550	
115	600	
120	700	
125	800	
130	900	7,51
135	1050	6,25
140	1250	5,49
145	1475	4,84
150	1725	4,29

Fuente: NTE INEN 1323 (2009), *Vehículos Automotores. Carrocería de buses. Requisitos.*

Seguido de eso, si el automotor supera el límite de inclinación en carretera programada en la IMU MPU – 6050 por consecuencia del exceso de peso y velocidad, o solo por exceso de velocidad esta enviará una señal preventiva tanto auditiva como luminosa ubicada en el tablero de instrumentos, los cuales estarán representadas en el modelo como dos luces led y un buzzer de modo que es el encargado de sonar, dependiendo de la alerta para que el conductor tenga tiempo a reaccionar, los cuales son los encargados de encenderse al momento que vehículo público supere los valores ingresados en la IMU.

De esa manera aportando y relacionándose directamente con la seguridad activa del vehículo para prevenir accidentes en las carreteras de la Provincia de Pichincha por consiguiente evitando numerosos desastres y muertes en las vías de la Provincia antes mencionada.

CAPITULO IV

4. DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y APLICACIÓN DEL COMPONENTE EN EL MODELO A ESCALA

4.1 Construcción de Modelo a Escala (Transporte Público)

4.1.1 Escala

Considerando las medidas reales que se usará en el modelo a escala utilizado para esta investigación, se ha basado en un modelo de transporte público denominado Marcopolo Viaggio 900 G7, el cual según sus dimensiones reales tiene como: un ancho total de 2.600 mm, una altura total de 3.620 mm y un largo total de 12.500 mm, por lo tanto la escala utilizada para el modelo será de 1:10. Tomando en cuenta pesos tanto del chasis, carrocería y pasajeros reales reducidos a escala para una metodología de pruebas y análisis más preciso.

4.1.2 Materiales

Los materiales usados para la construcción del modelo de un vehículo público a escala fueron:

- Placa metálica de 0,7 mm 2,44 m x 1,22 m
- Barras rectangulares de acero de 6 cm x 2 cm
- 6 Llantas
- Pernos y Tuercas de seguro
- Vidrio de 6 mm
- Pintura
- Unión con Pernos y el PVC Plastigama
- Bandas para la Dirección
- Discos de Corte

- Placa de cartón de 2,44 m x 1,22 m
- Pesas de 70 gramos para simular a los pasajeros
- Platinas Rectangulares de 6 cm x 2 cm
- Thinner
- Silicón

4.1.3 Proceso de Construcción

El procedimiento de construcción empieza con la elección del modelo real con el cual se trabajará, reduciéndole a la escala predeterminada que se ha mencionado anteriormente (1:10).

Se procedió con la construcción del chasis del modelo tal como se muestra en la (Figura 4.1), cabe resaltar que tanto el chasis como cada elemento que esta incluido en la construcción del mismo esta regido mediante los pesos de un modelo real reducido a escala.



Figura 22: Construcción del Chasis del Modelo a Escala

Fuente: Álvarez, (2018)

De modo que en este modelo se ha incluido un sistema de dirección mecánica como se aprecia en la (Figura 4.2) y la carcasa de un motor eléctrico simulando un motor a

combustión de un vehículo de transporte público como se muestra, de esa manera simular de forma más eficiente los pesos que tiene un vehículo real.



Figura 23: Sistema de Dirección aplicado al modelo a escala

Fuente: Álvarez, (2018)

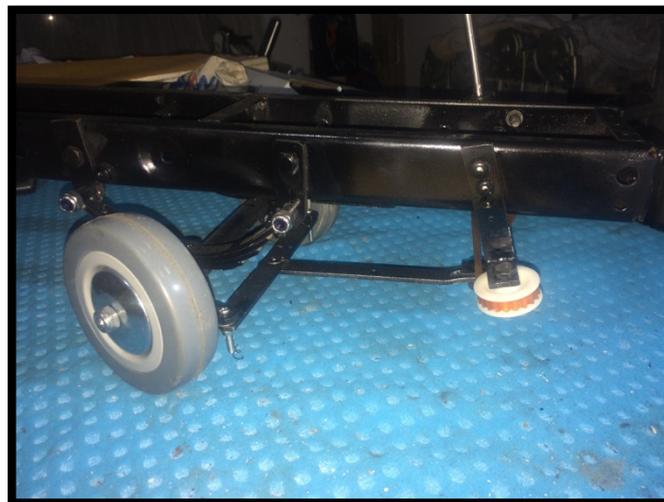


Figura 24: Sistema de Dirección (Vista Lateral)

Fuente: Álvarez, (2018)

De igual forma para una eficiente simulación en las pruebas en transferencia de carga lateral se ha construido un sistema de suspensión utilizando el principio de las ballestas y un resorte en el eje trasero para mayor amortiguación.



Figura 25: Sistema de Suspensión Aplicado al Modelo (Vista Inferior)

Fuente: Álvarez, (2018)

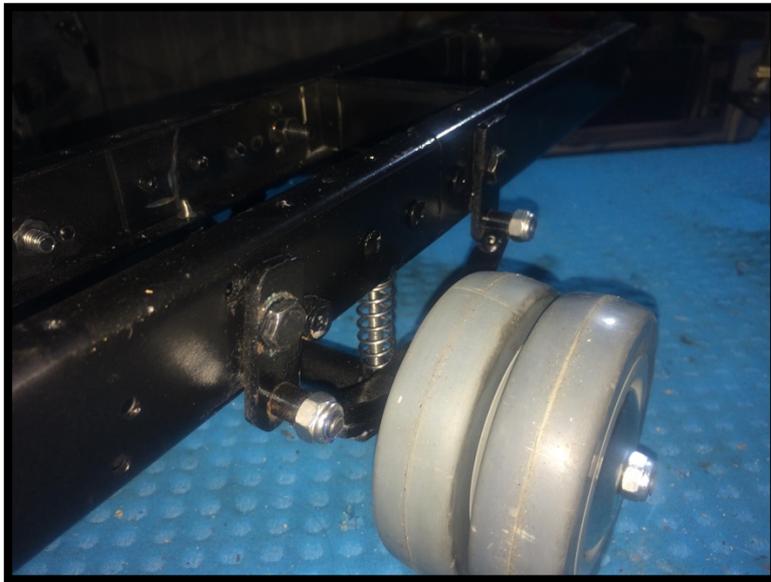


Figura 26: Sistema de Suspensión Aplicado al Modelo (Vista Superior)

Fuente:

Seguido de eso, para el diseño y construcción de la carrocería del modelo se ha utilizado una placa metálica, previo a eso se graficó de forma manual en una placa de cartón (Figura 4.3).



Figura 27 : Construcción previa en una placa de cartón

Fuente: Álvarez, (2018)

Posteriormente se cortará la placa metálica mediante discos de corte y realizarán los respectivos dobleces para su instalación (Figura 4.7), y esa forma el diseño de la carrocería sea más precisas acorde a las dimensiones antes establecidas.



Figura 28 : Cortes de la placa metálica

Fuente: Álvarez, (2018).

A continuación se procede con la instalación y remache de la carrocería en el chasis (Figura 4.8)



Figura 29: Remache de la carrocería al chasis del modelo

Fuente: Álvarez, (2018).

Finalmente se incluye el peso muerto que tiene un vehículo público como son asientos, vidrios para ventanas, tablero de instrumentos (Figura 4.9)



Figura 30: Instalación del peso muerto en el modelo (Asientos, Tablero de instrumentos y ventanas)

Fuente: Álvarez, (2018).



Figura 31: Instalación Peso Muerto en el Modelo (Vista Trasera)

Fuente: Álvarez, (2018)

4.2 Software Utilizado

4.2.1 Uso de Entorno de Desarrollo Integrado

El programa que se utilizó para la programación de la IMU MPU – 6050 fue Arduino, el cual se puede obtener a través de la web, realizando la búsqueda en cualquier buscador disponible, el programa necesita ser descargado y posteriormente realizar la instalación del mismo. Es importante tomar en cuenta que el programa Arduino se lo puede instalar fácilmente en un procesador Windows; mientras que, en un procesador Mac se requiere de otro tipo de licencias para su funcionamiento.

1. Para realizar la instalación se requiere de su descarga en la pagina:
<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>
2. Una vez realizada la descarga se necesita la ejecución del programa, para proceder con la instalación.

3. Se abre una ventana en donde se escoge los complementos que se desean instalar

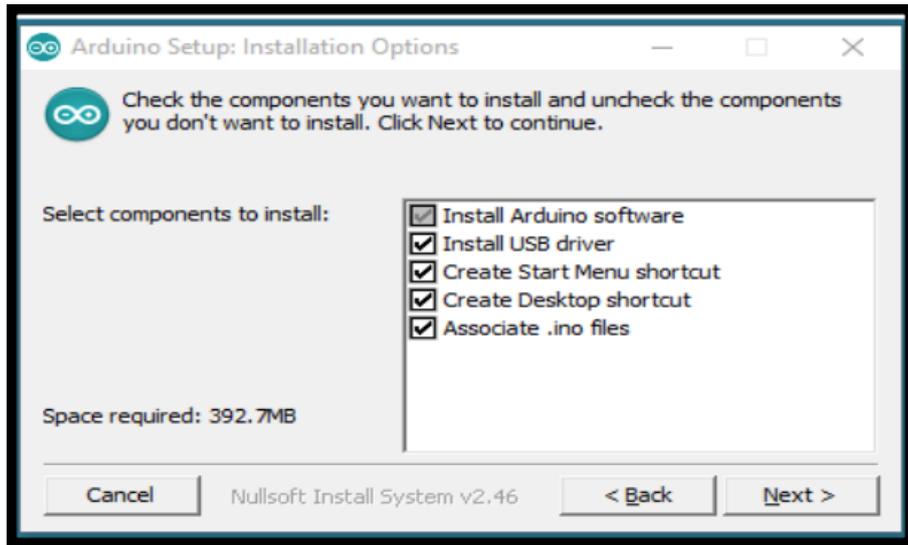


Figura 32: Proceso de Selección de Componentes IDE (Entorno de Desarrollo Integrado)

Fuente: Álvarez, (2018).

4. Se oprime el botón siguiente o next para continuar con la instalación.
5. Finalmente el programa se carga junto con los complementos antes seleccionados y esta listo para su uso.

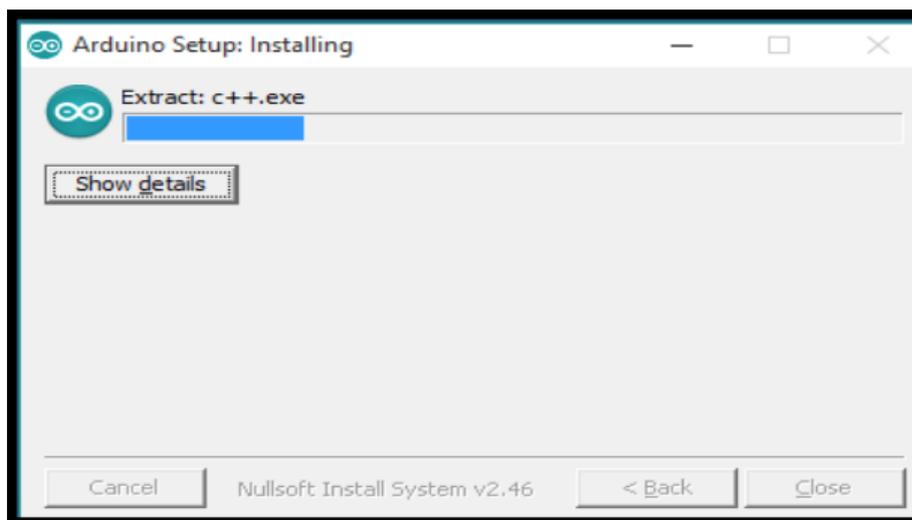


Figura 33: Proceso de Instalacion IDE (Entorno de Desarrollo Integral)

Fuente: Álvarez, (2018).

4.2.1.1 Aplicación en Entorno de Desarrollo Integrado IDE

Al ejecutar el programa se abrirá un cuadro de programación, o el entorno de Arduino donde se procederá a escribir los diferentes códigos para el desarrollo y programación de la IMU MPU – 6050.

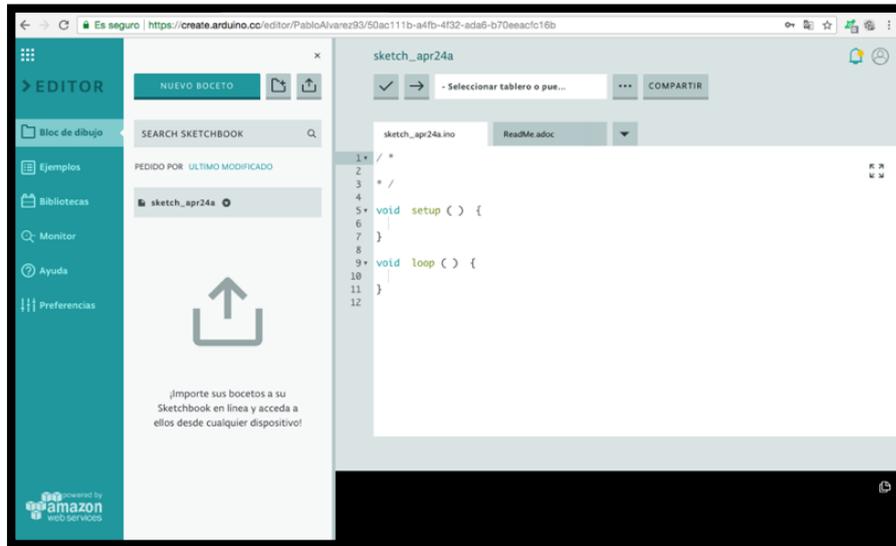


Figura 34: Aplicación de IDE (Entorno de Desarrollo Integral), *Proceso de Programación*.

Fuente: Álvarez, (2018).

Al desarrollar la programación para el funcionamiento del sensor, se debe incluir la librería antes descargada de la web llamada I2Cdev.h y la MPU6050, al incorporar las dos diferentes carpetas, seguido de eso se determinará las diferentes variables y definiciones para que de esa forma al realizar la programación no envíe un mensaje de error, y tampoco la programación no funcione correctamente al momento de ejecutarlo y subirlo al Arduino.

4.2.1.2 Diseño de Software

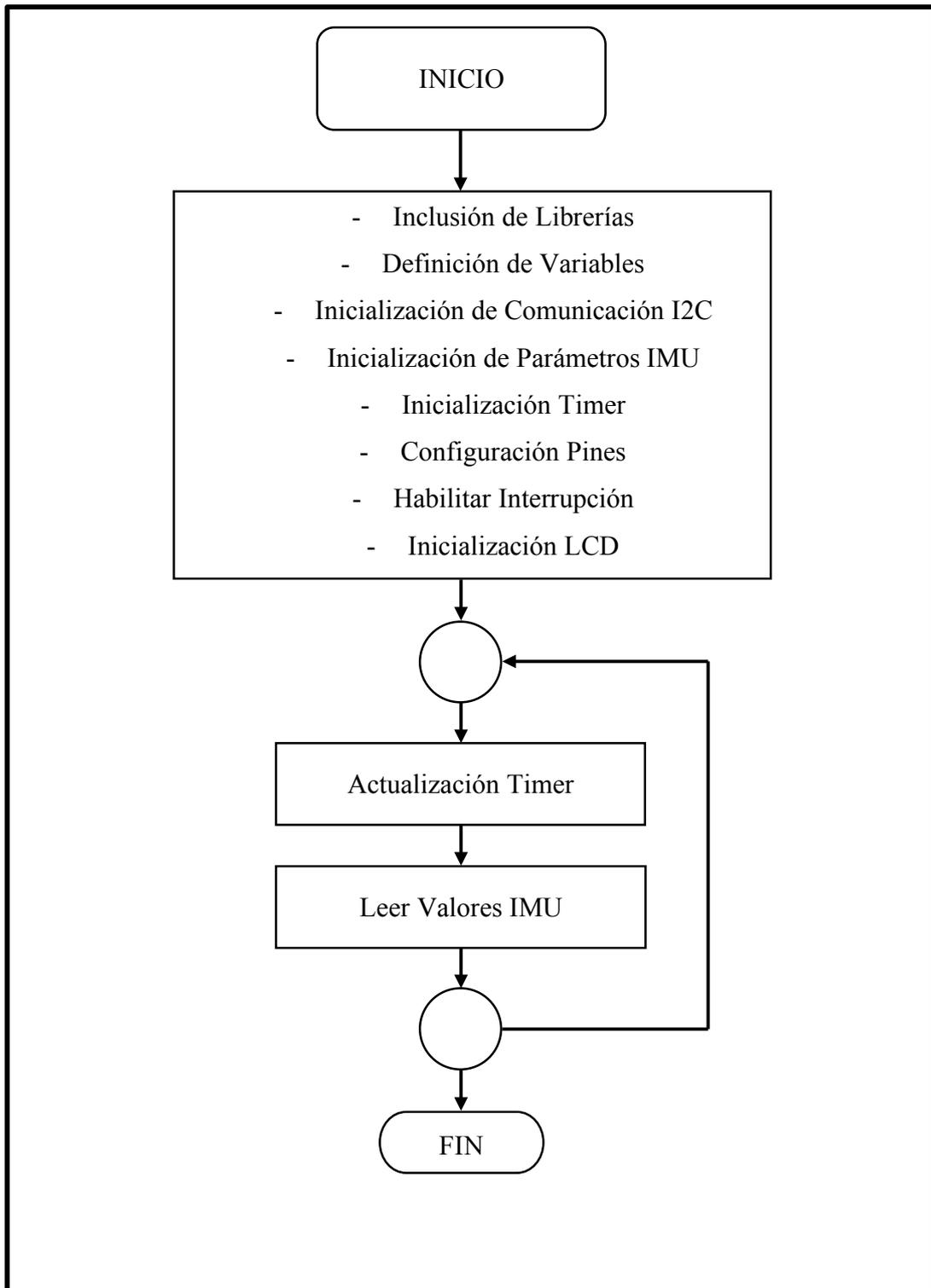


Figura 35 Diagrama de Flujo Principal (Inicialización de Programación)

Fuente: Álvarez, (2018)

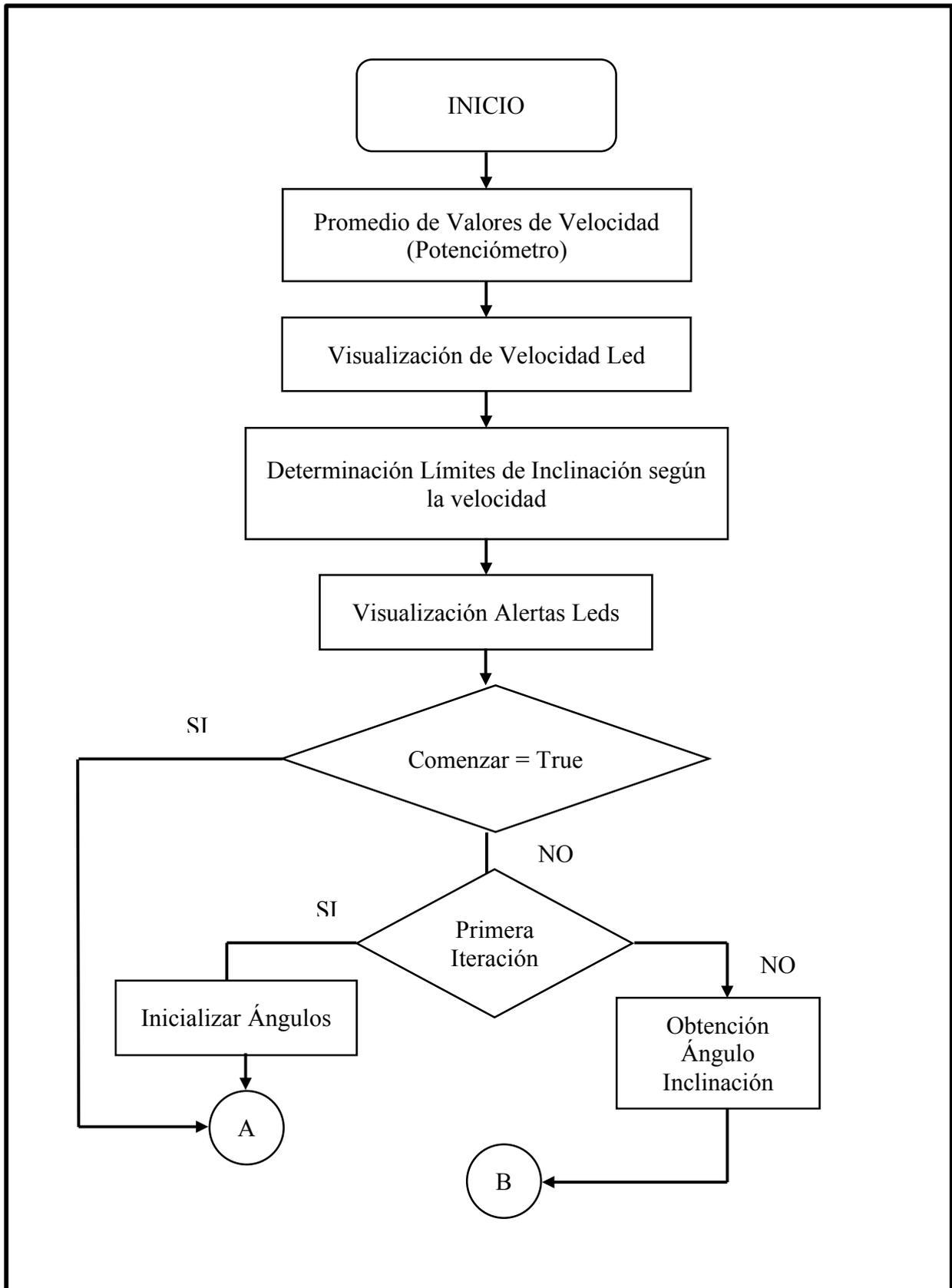


Figura 36 Diagrama de Flujo del Timer

Fuente: Álvarez, (2018)

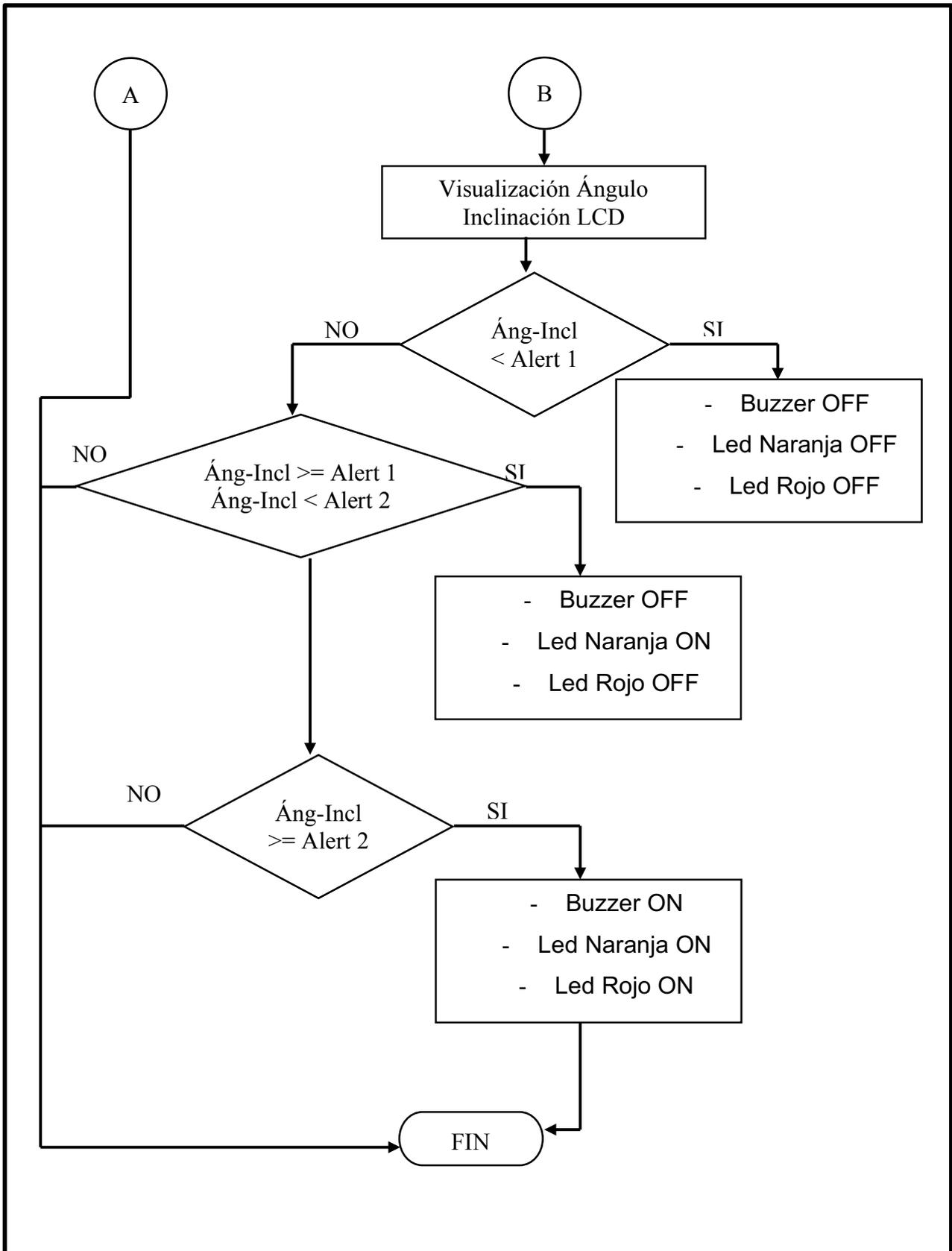


Figura 37 Diagrama de Flujo del Timer (Continuación)

Fuente: Álvarez, (2018)

4.2.1.3 Diagrama de Conexiones Electrónicas

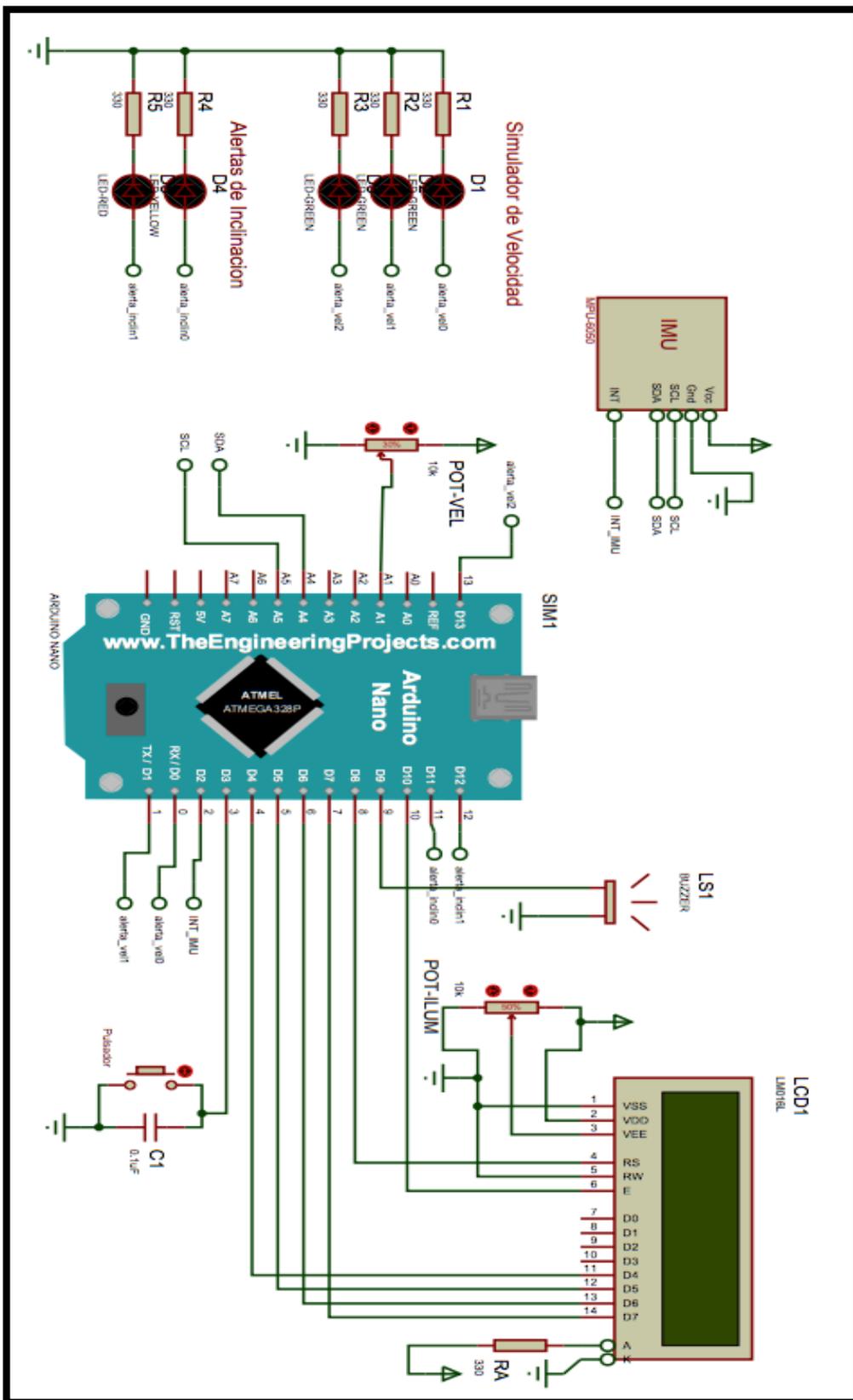


Figura 38 Diagrama de Conexiones Electrónicas para Sensor Anti-Volteo

Fuente: Álvarez, (2018)

4.2.1.4 Sistema de Alerta al Tablero de Instrumentos del Vehículo

Tabla 4.1. Rangos de Velocidades y Alertas según grados de inclinación

RANGO DE VELOCIDADES	LIMITES	
	0 KM/H - 25 KM/H	1ERA ALERTA
2DA ALERTA		22°
25 KM/H - 50 KM/H	1ERA ALERTA	14°
	2DA ALERTA	17°
50 KM/H - 65 KM/H	1ERA ALERTA	10°
	2DA ALERTA	13°
65 KM/H - 85 KM/H	1ERA ALERTA	7°
	2DA ALERTA	9°

Fuente: Álvarez, (2018).

En la tabla anteriormente publicada se muestran los diferentes valores de los cuales variarán según el movimiento que es realizado por el potenciómetro, considerando límites máximos y mínimos tal como se muestra, existen algunos parámetros para que las alertas funcionen, dependiendo de la velocidad a la que se simule el prototipo como se muestra con la primera fila de 0 Km/H – 25 Km/H, la primera alerta funcionará, eso quiere decir el primer Led del tablero se encenderá al momento de encontrarse en los 18°, en el instante que alcance los 22° o la supere ambas alertas estarán encendidas incluyendo el Buzzer, el cual es el encargado de simular la alerta auditiva.

4.3 Normas de Seguridad Eléctrica para la Instalación del Dispositivo Electrónico

4.3.1 Cálculo para el Dimensionamiento del Cable Conductor

Tabla 4.1. Datos de consumo del dispositivo y sus elementos

DESCRIPCION	CONSUMO	CAPACIDAD	TENSIÓN
Arduino	500 mA		Requerida T < 9 V CC.
MPU - 6050	3,9 mA		
Elementos de Alarma	125 mA		

Fuente: Álvarez, (2018).

Para el cálculo de la potencia requerida, $P: I \cdot V$, se analizará la potencia para los elementos como el Arduino y la IMU MPU – 6050.

- **Placa Arduino:**

- Consumo Arduino: 500 mA., Consumo elementos de alarma: 125 mA.
- Voltaje Máximo de la Batería: 9 V

Ecuación 4.1. Cálculo de la potencia consumida por la Placa Arduino

$$P: I * V = 625 \text{ (mA)} * 9 \text{ (V)} = 0,625 \text{ (A)} * 9 \text{ (V)} = 5.62 \text{ W.}$$

- **IMU MPU – 6050**

- Consumo IMU MPU – 6050: 3,9 mA.
- Voltaje Máximo de la Batería: 9 V

Ecuación 4.2. Cálculo de la potencia consumida por la IMU MPU – 6050

$$P: I * V = 3,9 \text{ (mA)} * 9 \text{ (V)} = 0,0039 \text{ (A)} * 9 \text{ (V)} = 0,0351 \text{ W.}$$

4.4 Componentes para la construcción del sistema anti volteo

Para el desarrollo del dispositivo electrónico anti-volteo se requirió de los siguientes componentes:

- IMU MPU – 6050 acelerómetro/giroscopio
- Display LSD 16 x 02
- Placa Arduino Nano
 - Estaño y Pasta para soldar
 - Componentes de Protección
 - Resistencias
 - Cableado
 - Capacitor de 0,1 microfaradios
 - Capacitor de 0,33 microfaradios
 - Regulador 7805 de 5V
- Buzzer
- Luces Led
- Pulsador selector 2 posiciones
- Potenciometro

4.5 Proceso para la Instalación del Dispositivo en el Modelo a Escala

El proceso que realizó para la instalación del dispositivo electrónico en el modelo empieza con el desmontaje de la parte superior de la carrocería que previamente se ha construido, ubicando el dispositivo en el centro de gravedad como está en la (Figura 4.10), para que de esa forma la lectura y los datos transmitidos sean óptimos al momento de realizar las diferentes pruebas.



Figura 39: Centro de Gravedad previo instalación de la IMU

Fuente: Álvarez, (2018).

- **Conexiones en la Placa Arduino:** Es importante considerar que todos los elementos eléctricos y electrónicos estén conectados, eso quiere decir que las conexiones de alimentación a la placa Arduino, el IMU MPU – 6050, los diferentes componentes de protección, el buzzer y los led, estén conectados a una línea que va a tierra.
- **Instalación del Dispositivo en el Modelo:** Para realizar la instalación en el modelo, primeramente se debe identificar el centro de gravedad en la carrocería del mismo (Figura 4.16), siendo este el punto donde existirá movimiento transversal por consecuencia del peso aplicado. El dispositivo anti volteo también conocido como la IMU MPU – 6050, componente encargado de la medición de inclinación que producirá las alertas en el modelo, se pegará directamente en la carrocería, manteniendo un valor neutro sin que afecte los datos de medición, ni produzca una alerta errónea. Con lo que respecta a la instalación de las alertas que producirán las señales luminosas y acústicas

y el regulador de velocidad se las ubicará en el tablero de instrumentos del modelo como se muestra en la (Figura 4.17).

- **Proceso de Alimentación:** La fuente de alimentación que se utilizará para el funcionamiento de la IMU y los componentes conectados a este, funcionará por medio de una batería Energizer de 9V, el cuál se ubicará en las bahías de carga, parte lateral del modelo. Para la utilización del proyecto, el sistema anti volteo contará con un Switch, el cual permitirá la alimentación de todo el sistema, de esa manera no exista un consumo en vano de la batería por parte del Arduino debido a consumo del microcontrolador y de la IMU por datos enviados hacia el Arduino que no contribuyen con la medición de inclinación; sin embargo, se ha incluido un pulsador para que dé inicio al proceso de medición de inclinación. Si se requiere de un cambio de batería, se recomienda apagar todo el sistema anti volteo, realizar el cambio conectar, iniciar y seguir con el procedimiento de medición del dispositivo.



Figura 40: Instalacion de la IMU MPU – 6050 en el chasis del modelo

Fuente: Álvarez, (2018).



Figura 41: Vista Inferior de la Instalacion de IMU-MPU - 6050

Fuente: Álvarez, (2018)

CAPITULO V

5. PRUEBAS, CÁLCULOS, ANÁLISIS DE RESULTADOS Y APLICABILIDAD DEL COMPONENTE EN EL MODELO

5.1 Pruebas y Análisis de funcionamiento del Dispositivo Electrónico en el Modelo

5.1.1 Determinación de las variables y su forma de lectura

La determinación de variables que se ha considerado para el modelo a escala dependerá de algunos parámetros, el cual fue implementado y programado con un dispositivo electrónico anti-volteo para realizar dichas alertas.

La determinación de la primera variable se basará en el momento que se modifique la velocidad por medio de un potenciómetro, implementado en el tablero de instrumentos del modelo tal como se muestra en la (Tabla 5.1) a continuación.

Tabla 5.1: Determinación de la primera variable según la velocidad

LED 1	ENCENDIDO	25 - 50 Km/h	17°
LED 2	APAGADO	50 - 65 Km/h	13°
LED 3	APAGADO	65 - 85 Km/h	9°

Fuente: Álvarez, (2018)

Eso determina al momento que este encendido el primer led en el tablero de instrumentos del modelo el cual se simularía que está circulando a una velocidad de 25 a 50 km/h, lo que significa que límite de tolerancia previo a una inclinación de volteo es de 17°

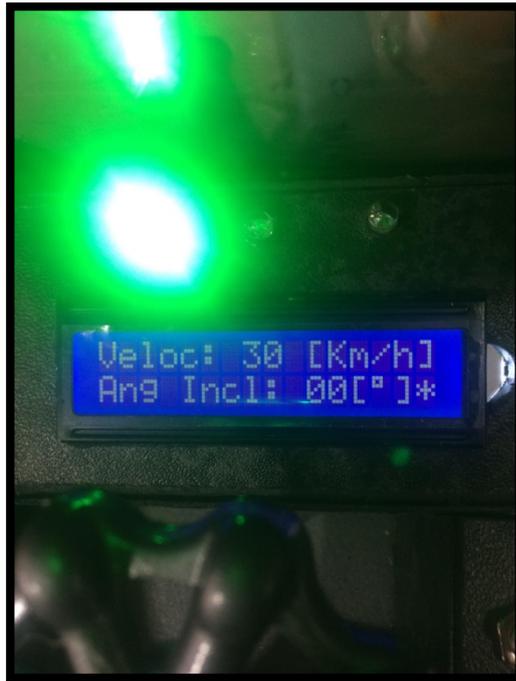


Figura 42: Alerta Visual de Velocidad (1er Led encendido)

Fuente: Álvarez, (2018)

Considerando como segunda forma de variable se representa con los dos leds encendidos, de manera que se interpretará que el modelo esta viajando entre los 50 a 65 Km/h que reglamentariamente estaría permitido en el parámetro de velocidad máxima el cual un vehículo de transporte de pasajeros puede circular por una curva en carretera. Al considerar esta velocidad la IMU interpreta que el modelo soportará hasta máximo los 13° de inclinación.

Tabla 3.2: Determinación de la segunda variable según la velocidad

LED 1	ENCENDIDO	25 - 50 Km/h	17°
LED 2	ENCENDIDO	50 - 65 Km/h	13°
LED 3	APAGADO	65 - 85 Km/h	9°

Fuente: Álvarez, (2018)



Figura 43: Alerta Visual de Velocidad al Máximo

Fuente: Álvarez, (2018)

Tabla 4.3: Determinación de la tercera variable según la velocidad

LED 1	ENCENDIDO	25 - 50 Km/h	17°
LED 2	ENCENDIDO	50 - 65 Km/h	13°
LED 3	ENCENDIDO	65 - 85 Km/h	9°

Fuente: Álvarez, (2018)

Contemplando factores extremos tal como se muestra en la (Tabla 5.2) anterior, en donde el transporte de pasajeros circularía por una curva a una velocidad entre los 65 a 85 km/h, la tolerancia de inclinación se reduce significativamente a 9°, por lo tanto si supera este límite, las alertas tanto luminosa como acústica se encenderán tal como se muestra en la (figura 5.3), previniendo al conductor sobre un inminente volcamiento de la unidad, de tal forma que tenga tiempo para reaccionar y no ocurra un catastrófico accidente.



Figura 44: Alerta de Velocidad al Máximo, Leds de alerta anti-volteo encendidos

Fuente: Álvarez, (2018)

De tal forma para el funcionamiento de las alertas en el tablero de instrumentos, dependerá de a que velocidad este circulando el modelo tal como se mostro en las tablas anteriores, en el primer caso se simulará una velocidad de 25 km/h con la programación incluida antes mencionada por Arduino, de modo que si detecta 18° de inclinación, habrá una alerta preventiva en donde se encenderá un led amarillo, advirtiendo al conductor sobre una pre-alerta, mientras que si se alcanza los 22° de inclinación habrá una alerta roja.



Figura 45: Prueba de Inclinación sobre plataforma, encendido de primera alerta

Fuente: Álvarez, (2018)



Figura 46: Prueba de Inclinación sobre plataforma, encendido de segunda alerta

Fuente: Álvarez, (2018)

Mientras que, si supera el limite establecido de 9° con una velocidad de 65 a 85 km/h antes mencionados la alerta que recibirá el conductor en el tablero será tanto auditiva como

luminosa tal como se muestra en la (Figura 5.5). Se tomo en cuenta este ángulo máximo de inclinación previo a un volteo debido a factores que conllevan al volcamiento de un medio de transporte de pasajeros como es el peso, velocidad de recorrido por una curva y diámetro de la curva.



Figura 47: Máximo de velocidad y las alertas luminosa y acustica encendidas

Fuente: Álvarez, (2018)

5.1.2 Pruebas de Operación del Dispositivo con Transferencia de Carga Transversal a Plena Carga

Las pruebas de operación que se realizaron, fueron efectuadas al dispositivo electrónico anti-volteo y el modelo directamente, las cuales se basaron en colocar el modelo a escala en una plataforma totalmente horizontal, debido a que para realizar la simulación no existen fuerzas centrifugas, por lo que el modelo se lo ubico en una posición totalmente estática, de esa manera para realizar las pruebas de operación se aplicó una fuerza transversal a plena carga. que en este caso vendrían a ser el peso de los pasajeros, dependiendo de la

distribución de peso en el modelo, determinar el comportamiento tanto de la suspensión del vehículo como el funcionamiento de las alertas.

Estas pruebas fueron realizadas en transferencia de carga a plena carga, aplicando una fuerza lateral aproximada, de esa forma analizar el comportamiento que tiene el modelo y las alertas que provocaría

5.2 Cálculos Dinámicos

Según las ecuaciones anteriormente planteadas sobre la fuerza centrífuga y la transferencia de carga en donde un vehículo de transporte público tendría al momento de tener una determinada velocidad circulando por una curva con x metros de diámetro, se ha considerado un escenario extremo, debido a que los conductores de nuestro país difícilmente cumplen con las diferentes leyes y normativas, el cual exige transitar por una curva a una determinada velocidad máxima, el cual según la Agencia Nacional de Tránsito el rango permitido para un transporte de pasajeros al recorrer una curva esta entre los 50 km/h a 65 km/h, según el Art. 142 (Anexo 3: Tabla de velocidades para vehículos livianos, de pasajeros y de carga).

Por lo tanto para la realización de estos cálculos se tomara la velocidad mínima y máxima y de esa forma establecer parámetros el cual un transporte publico estaría capacitado a soportar, como la velocidad optima de giro en determinada curva, transferencia de carga y la fuerza centrífuga que se produce, por lo tanto para realizar lo mencionado anteriormente se tomará una velocidad de 65 km/h el cual para un transporte de pasajeros es la máxima velocidad que puede circular por una curva en carreteras, para este ejemplo el vehículo esta con una capacidad total de 17,200 kg y se tomará un diámetro de curva de 40 m con un porcentaje de peralte del 8%, según la normativa NTE INEN 1323 esta establecida para las carreteras de la Provincia de Pichincha.

Para el cálculo de la velocidad se ha tomado en cuenta parámetros ideales, reales y extremos considerando una curva peraltada y sin peralte

Ecuación 5.1. Cálculo Velocidad Optima en Curva $\zeta = 0$ (Caso Ideal)

$$V = \sqrt{\rho * g * \mu}$$

$$V = \sqrt{40 \text{ m} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.75} = 17.14 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 62 \text{ km/h}$$

Considerando como parámetro ideal de recorrido de un transporte público el cual este se encuentra circulando por una curva de 40 m de diámetro, la velocidad óptima o ideal que debe utilizar para tomar una curva según lo establecido anteriormente por medio de estos cálculos en este ejemplo debe ser de 62 km/h en un curva sin peralte.

Ecuación 5.2. Cálculo Velocidad Optima en Curva $\zeta = 5^\circ$ (Caso Real)

$$V = \sqrt{40 \text{ m} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \frac{\text{sen } 5 + 0.75 * \cos 5}{\cos 5 - 0.75 * \text{sen } 5}}$$

$$V = 18.67 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 67 \text{ km/h}$$

Sin embargo como parámetros realistas la velocidad en una curva peraltada con grado de inclinación de 5° lo cual habla la normativa que una carretera en cualquier región o lugar debe tener, debe ser de 67 km/h como velocidad máxima, tomando en cuenta que está entre el rango establecido por la ANT.

Ecuación 5.3. Cálculo Velocidad óptima en Curva $\zeta = 10^\circ$ (Caso Extremo)

$$V = \sqrt{40 \text{ m} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \frac{\text{sen } 10 + 0.75 * \cos 10}{\cos 10 - 0.75 * \text{sen } 10}}$$

$$V = 20.45 \frac{m}{s} = 74 \text{ km/h}$$

Mientras tanto como parámetro extremo se ha considerado un ángulo de peralte entre los 8° o 10° de inclinación, el cual basándose en situaciones reales en las carreteras del Ecuador debido a la falta de cumplimiento con los grados de peralte reglamentarios, se ha tomado un caso radical utilizando para este ejemplo 10° de inclinación de peralte.

Ecuación 5.4. Cálculo Transferencia de Carga Lateral

$$a_n = \frac{v^2}{\rho} = \frac{\left(18.05 \frac{m}{s}\right)^2}{40 \text{ m}} = 8,14 \text{ m/s}^2$$

$$W_l = \frac{a_n * m * h}{b} = \frac{8.14 \text{ m/s}^2 * 17.200 \text{ kg} * 3,62 \text{ m}}{12,50 \text{ m}} = 40,546 \text{ Newtons}$$

Añadiendo a los datos obtenidos anteriormente el transporte público al momento de tomar una curva con la velocidad antes mencionada, obtiene una transferencia de carga lateral de 40,546 Newtons el cual es el máximo que este vehículo puede tolerar considerando su peso, el diámetro de la curva y el tipo de calzada por el cual transita,

Ecuación 5.5. Cálculo Fuerza centrífuga producido en el Transporte

$$F_c = \frac{mv^2}{R} = \frac{17.200 \text{ kg} * \left(18.05 \frac{m}{s}\right)^2}{40 \text{ m}} = 140.095 \text{ Newtons}$$

Continuando como siguiente dato, al momento de que el vehículo realiza el giro la fuerza centrífuga máxima que este produce es 140,095 Newtons, de esta forma para finalizar estos resultados se los ha considerado reales para futuras investigaciones acerca de los diferentes

comportamientos que este tipo de vehículo tendrá tomando en cuenta principalmente su velocidad y peso total.

Finalizando para la obtención del ángulo de inclinación con respecto a la velocidad con la que transita un transporte de pasajeros se lo ha calculado mediante la ecuación de la recta, la cual al momento que la velocidad aumenta el ángulo de inclinación se reduce como se puede ver en la ecuación 5.6

Ecuación 5.6. Cálculo de la pendiente (m) del ángulo con respecto a la velocidad

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{28^\circ - 8^\circ}{85 \text{ km/h} - 0 \text{ km/h}}$$

$$m = 0,23529$$

Ecuación 5.7. Cálculo del ángulo de inclinación

$$Y = m x + b$$

$$\phi = (0,23) V + b$$

$$\phi - b = (0,23)50 \text{ km/h}$$

$$\phi = 0,23 \left(50 \frac{\text{km}}{\text{h}} \right) - 28^\circ$$

$$\phi = 17^\circ$$

Considerando en este caso y en futuros cálculos para la obtención de los ángulos de inclinación se ha utilizado la ley de Pareto el cual dice que existe un 80% de asertividad con respecto a un 20% de falla, por lo tanto para considerar el ángulo de inclinación para la primera alerta del sensor anti volteo se calculará mediante el 20% del ángulo obtenido anteriormente, que en este caso es de 17° , lo cual como resultado se obtiene 14° . Este ángulo viene a ser por el cual el dispositivo anti volteo detectará como primera alerta preventiva,

mientras que los 17° antes mencionados serán la segunda alerta la cual se encenderá tanto una señal auditiva como luminosa.

Continuando con la obtención de los ángulos de inclinación restantes se ha utilizado el mismo procedimiento de cálculo.

5.3 Factor Económico

5.3.1 Costos de Componentes y Fabricación del Dispositivo Electrónico

Para el desarrollo del dispositivo electrónico se tuvo que adquirir algunos materiales los cuales tuvieron un costo de:

Tabla 5.4. Costos Elementos Dispositivos Electrónicos

Arduino Nano V3 + Cable USB	\$8,50
MPU Modulo 6050	\$4,50
Capacitor 0,1 microfaradios	\$0,40
Capacitor 0,33 microfaradios	\$0,50
Regulador de Voltaje7805 para 5V	\$0,80
Buzzer y luces Led	\$0,75
Display 16 x 02	\$4,50
Materiales Varios	\$16,00
Total	\$35,95

Fuente: Álvarez, (2018).

NOTA: Los costos referidos en la Tabla 5.4. son aproximados, debido a que el costo de los materiales electrónicos puede variar, según la fecha de adquisición de los mismos, en materiales varios se encuentra costos de movilidad como el costo del estaño para la soldadura de los componentes eléctricos y electrónicos del proyecto.

5.3.2 Costos de Construcción Modelo a Escala (Transporte Público)

Con lo que respecta a los costos que tuvo el construir el modelo a escala de un transporte publico inter provincial fueron los siguientes.

Tabla 5.5. Costos Elementos para Construcción Modelo a Escala

Placa Metálica de 0,7 mm 6 m x 1,20 m	\$ 17,60
Platinas Rectangulares de Acero 6 cm x 2 cm	\$ 10,00
6 Llantas	\$ 20,40
Plancha de Vidrio de 6 mm	\$ 4,00
Placa de Cartón	\$ 7,00
Pesas de 70 gramos	\$54,00
Pintura	\$9,00
Thinner	\$2,00
Silicón	\$3,50
Bandas de Dirección	\$ 4,00
Costos Varios	\$44,00
Pernos y Tuercas de Seguro	\$ 5,00
Unión con Pernos y Tubo PVC	\$ 6,00
Total	\$112,50

Fuente: Álvarez, (2018).

NOTA: Los materiales varios referidos en la Tabla 5.4. se encuentran elementos la bajada de ejes en torno, costo de discos de corte para la placa metálica, soldadura de pernos y el costo de mano de obra por parte de la persona encargada de realizar los cortes, soldadura y montaje de la carrocería en el chasis del modelo.

5.3.3 Costo Total del Proyecto

Para realizar el cálculo de un costo estimado del proyecto de investigación para la obtención del título de Ingeniero en Mecánica Automotriz se tomó en cuenta los valores tanto del dispositivo electrónico creado como la construcción del modelo a escala de un Marcopolo Viaggio 900 G7. Se tomará en cuenta los días laborados por la persona encargada de realizar los cortes, soldadura e instalación de la carrocería en el chasis del modelo, mediante un estimado de trabajo por Horas/día, de igual forma se incluirán los costos totales tanto del dispositivo como los de la construcción del modelo.

Realizando un cálculo sobre sueldo básico unificado dividido para el total de horas que corresponden al mes siendo 240 por lo tanto se tiene:

Ecuación 5.8. Cálculo Costo Mano de Obra para construcción del proyecto

Costo Hora: Sueldo Básico Unificado / Total horas al mes

Costo Hora: \$ 368/240 días = \$ 1,53

Horas Trabajadas: $4 \frac{\text{horas}}{\text{día}} * 25 \text{ días} = 100 \text{ horas}$

Costo Mano de Obra: \$ 1,53 * 100 = \$ 153,30

Tabla 5.6. Costos Total del Proyecto de Titulación

Costos totales Componentes Eléctricos y Electrónicos	\$35,95
Costos Totales de Materiales Construcción Modelo	\$112,50
Costos Hombre Hora/Día	\$ 153,30
Costo Total del Proyecto de Titulación	\$ 301,75

Fuente: Álvarez, (2018).

5.4 Aplicabilidad

La finalidad de esta investigación y con los resultados obtenidos por medio de pruebas y los análisis realizados, es que se pretenda realizar platicas con los gobiernos descentralizados o con la Agencia Nacional de Tránsito y mediante los antecedentes y los altos índices de accidentabilidad que existen en nuestro país en especial en la Provincia de Pichincha, es considerar la aprobación y aplicación en un futuro de este dispositivo anti-volteo, considerándole como un reglamento en la construcción o ensamble de buses urbanos, escolares, interprovinciales, etc. De esa manera previniendo accidentes futuros a nivel nacional, convirtiendo al Ecuador en pionero y fuente para la implementación de este dispositivo en vehículos de transporte de pasajeros.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- Se pudo concluir que por medio de la adquisición de materiales disponibles en el mercado, se logró la construcción de un modelo de bus interprovincial a escala corroborando con la implementación de un mecanismo electrónico aplicable que advierta con señales acústicas y luminosas en el panel de instrumentos, advirtiendo al conductor sobre un inminente volcamiento, de esa forma prevenir accidentes futuros y mejorando la calidad servicio del transporte público.
- Se ha concluido que las principales causas de accidentabilidad producidas por el transporte público inter provincial en la Provincia de Pichincha fue el resultado de un exceso de velocidad, impericia de los conductores y fallas mecánicas, las cuales se relacionaron directamente con el funcionamiento y el comportamiento que tiene la suspensión al limitar este con un sobre peso y exceso de velocidad.
- Se demostró la factibilidad por parte de un diseño electrónico anti volteo utilizando componentes electrónicos de sencilla adquisición en el mercado, aplicándolo a un bus público, el cual permite medir el grado de inclinación por medio del exceso de peso y velocidad que pueda tener este.
- Se logró diseñar y construir un dispositivo electrónico de inclinación, utilizando la programación Arduino de modo que se configuró de manera que mida movimiento en el eje de las x, aplicándolo a un modelo de un bus inter provincial.
- Se lograron realizar pruebas en el modelo a escala en estado estático en diferentes situaciones de velocidad mediante un simulador implementado con un potenciómetro, lo cual se determinó los diferentes comportamientos que tendrá el modelo y sus grados máximos de inclinación.

- Se lograron efectuar diferentes tipos de pruebas por medio de cálculos en base a la velocidad, peso total del vehículo, ángulo de peralte y diámetro de la curva , de modo que determinó a la transferencia de carga y la fuerza centrífuga el cual circularía el vehículo en una determinada curva y de esa manera el mecanismo electrónico anti volteo funcione advirtiendo al conductor sobre una peligrosa inclinación, dándole tiempo suficiente para que este logre reaccionar evitando un inminente accidente catastrófico.

Recomendaciones:

- A pesar de la gran preparación profesional que ofrece la Universidad Internacional del Ecuador hacia sus estudiantes, es importante considerar sumar a la malla curricular de la Facultad de Ingeniería Automotriz la materia sobre programación de placas, en base al programa Arduino, ya que actualmente las nuevas tecnologías están en constante cambio y evolución, por lo que gracias a esta consideración los estudiantes puedan estar a la vanguardia de dichas tecnologías.
- Analizar la posibilidad de implementar y comercializar el prototipo sobre el dispositivo electrónico Anti-volteo, partiendo de que es un elemento económico, versátil y de fácil instalación, debido a que sus componentes se encuentran libres en el mercado a un precio accesible y de esa forma evitar considerables accidentes de tránsito a nivel Nacional.
- Tener en cuenta el avance tecnológico presente, considerando la posibilidad de adquirir nuevos dispositivos para futuros proyectos que cumplan con mejores prestaciones con respecto a su programación, apoyando con nuevas funciones, aplicándolo no solo a transportes públicos, sino también a vehículos particulares y de esa forma prevenir cualquier tipo de accidentes de tránsito y evitar la pérdida de vidas.
- Aplicar un plan de mantenimiento para realizar un chequeo constante y comprobar el óptimo funcionamiento tanto de la IMU MPU – 6050 como del Arduino y de esa manera ambos dispositivos electrónicos interpreten correctamente los datos enviados hacia el conductor, evitando futuros accidentes.
- Se debe considerar la seguridad y precaución al momento de construir este tipo de prototipos, ya que en su construcción se opera tanto con equipos de corte, como de soldadura, utilizar en todo momento equipos de seguridad industrial como guantes de protección para cortes o suelda, gafas de seguridad y casco para protección UV.

- Para la instalación y construcción del prototipo importante tomar en cuenta los diferentes materiales utilizados, de esa manera lograr un estabilidad más eficiente al momento de realizar pruebas que conlleven a una mayor exigencia y sus resultados sean mucho más exactos.
- Para futuros proyectos es recomendable la implementación de nuevas funciones que posee la IMU MPU – 6050, que indique en el tablero de instrumentos los grados de inclinación en todas las direcciones y comportamiento que involucre al transporte ya sea en pitch, roll y yaw directamente en una pantalla digital y de esa manera perfeccionar el sistema de seguridad activa de un vehículo de transporte de pasajeros como en un vehículo particular.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- A: Amperaje, amperios.
- ABS: Antilock Braking System o Antibloqueo de Frenos
- AMT: Agencia Metropolitana de Tránsito
- ANT: Agencia Nacional de Tránsito.
- C: Cantidad Eléctrica, coulomb o culombio
- cm: Longitud, centímetros
- DMP: Digital Motion Processor
- DMQ: Distrito Metropolitano de Quito
- ESP: Control Electrónico de Estabilidad
- HTTP: Hypertext Transfer Protocol o Protocolo de Transferencia de Hipertexto.
- Hz: Frecuencia, hertz.
- I2C: Inter Integrateddcircuit
- IDE: Integrated Development Environment o Entorno de Desarrollo Integrado.
- IMU: Inercial Measurement Unit o Unidad de Medición Inercial.
- INEC: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
- INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- ISO: Organización Internacional de Normalización.
- m: Longitud, metros
- mA: Amperaje, miliamperios
- MEMS: Microelectromechanical Systems o Sistemas Microelectromecánicos.
- mm: Longitud, milímetros
- NTE: Norma Técnica Ecuatoriana.
- Ohm: Ohmios.

- PC: Personal Computer.
- RTE: Reglamentos Técnicos Ecuatorianos.
- USB: Universal Serial Bus o Bus Universal en Serie.
- V: Voltaje, voltios.
- WWW: World Wide Web o Red Informática Mundial
- μm : Longitud, micra

FUENTES BIBLIOGRÁFICA

Agencia Metropolitana de Tránsito. (6 de Enero de 2016). Los accidentes de tránsito se duplicaron en Quito. *El Telégrafo*. Recuperado de:
<http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/quito/1/los-accidentes-de-transito-se-duplicaron-en-quito>

Agencia Nacional de Tránsito. (13 de julio de 2017). Calidad del transporte público en el Distrito Metropolitano de Quito. *Instituto de la Ciudad*. Recuperado de:
<http://www.institutodelaciudad.com.ec/coyuntura-sicoms/170-calidad-del-transporte-publico-en-el-dmq.html#ftn1>

Agencia Nacional de Tránsito. (13 de julio de 2017). Calidad del transporte público en el Distrito Metropolitano de Quito. *Instituto de la Ciudad*. Recuperado de:
<http://www.institutodelaciudad.com.ec/coyuntura-sicoms/170-calidad-del-transporte-publico-en-el-dmq.html#ftn1>

Agencia Nacional de Tránsito. (6 de septiembre de 2016). Foto radares de última tecnología para el control de velocidades. Recuperado de:
<https://www.ant.gob.ec/index.php/component/content/article/49-boletines/189-agencia-nacional-de-transito-participa-en-la-semana-de-seguridad-vial#.WvN9JNMvy8r>

<http://creandoconciencia.org.ar/enciclopedia/accidentologia/la-fisica-de-la-colision/COMPORTAMIENTO-DEL-VEHICULO.pdf>

Arduino. (s.f.). Arduino Playground - MPU-6050. Recuperado de:
<https://playground.arduino.cc/Main/MPU-6050>.

- Arroyo, E., Ayala, R., Torres, G., & Erazo, G. (2013). Diseño y construcción del bastidor y sistema de suspensión de un Car-Cross monoplaza para servicio turístico. *Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica*, 2-4. Recuperado de: <http://repositorio.espe.edu.ec:8080/bitstream/21000/7188/1/AC-ESPEL-MAI-0438.pdf>
- Arvind, S. (2017). How to Interface Arduino and the MPU 6050 Sensor | Arduino | Maker Pro. Recuperado de: <https://maker.pro/arduino/tutorial/how-to-interface-arduino-and-the-mpu-6050-sensor>
- Ascenso de accidentes de tránsito. (8 de enero de 2018). *Expreso*. Recuperado de: <http://www.expreso.ec/opinion/editoriales/ascenso-de-accidentes-de-transito-FD1948070>
- Atapuma, F. (2009). Diseño y construcción de un prototipo usando un acelerómetro tridimensional para la determinación de movimientos en el vehículo. Escuela Politécnica Nacional. Recuperando de: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1721/1/CD-2329.pdf>
- Balcells, J., & Romeral, J. (2004). *Autómatas programables*. Ingeniería de Sistemas y Automáticas. Universidad de Oviedo. Recuperado de: <http://isa.uniovi.es/docencia/autom3m/Temas/Tema7.pdf>
- Bellini, B. (2009). Sensores de presión utilizados en las plataformas de fuerza aplicadas al estudio de la posturografía. Universidad de la República. Recuperado de: <http://www.nib.fmed.edu.uy/Seminario%202009/Monografias%20seminario%202009/Bellini-Celdas%20de%20carga%20para%20plataforma.pdf>

Bravo, D. (11 de noviembre de 2013). En 3 vías de Quito ocurre el mayor número de accidentes de tránsito. *El Comercio*. Recuperado de: <http://www.elcomercio.com/actualidad/vias-de-quito-ocurre-mayor.html>

Castro, A. (2009). Sensores utilizados en la Automatización Industrial. Universidad de Costa Rica. Recuperado de: <http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0813t.pdf>

Corona, L., Abarca, G & Carreño, J. (2014). Sensores y Actuadores aplicaciones con Arduino. Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/328231426/Sensores-y-Actuadores-Aplicaciones-Con-Arduino>

Corral, M., López, A., Pastoril, R., & Izquierdo, F. (2008). *Nuevos Requisitos y avances en Seguridad Pasiva en Autobuses y Autocares: Situación Actual y Necesidades*. Madrid, España. Recuperado de: http://oa.upm.es/3213/1/INVE_MEM_2008_53550.pdf

Cuerpo de Profesores de enseñanza Secundaria. (s.f.). *Sistema de suspensión: eje delantero y eje trasero, tipos, constitución, características y funcionamiento*. Recuperado de: <http://www.oposicion-secundaria.com/temarios/OPMVehiculos.pdf>

Chudacov, D. A. (1977). *Fundamentos de la teoría y el cálculo de tractores y automóviles*. Recuperado de: http://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=36069&shelfbrowse_itemnumber=48759#shelfbrowser

DNCTSV, CTE, EMOV - Cuenca, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Loja, Gobierno Autónomo Descentralizado de Manta, Municipio de Ambato, Autoridad de Tránsito Municipal de Guayaquil, Movidelnor & Agencia Metropolitana de Tránsito de Quito. (2017). Siniestros por provincia a nivel nacional- septiembre 2017. Agencia

nacional de transito. Recuperado de:
<file:///Users/hv/Downloads/siniestros%20septiembre%202017-5.pdf>

DNCTSV, CTE, EMOV - Cuenca, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Loja, Gobierno Autónomo Descentralizado de Manta, Municipio de Ambato, Autoridad de Tránsito Municipal de Guayaquil, Movidelnor & Agencia Metropolitana de Tránsito de Quito. (2017). Siniestros por provincia a nivel nacional- octubre 2017. Agencia nacional de transito. Recuperado de: <http://www.ant.gob.ec/index.php/descargable/file/4412-siniestros-octubre-2017>

Donaire, J. (2016). *Comparativa de modelos de simulación de vuelcos de autobuses según los procedimientos del reglamento 66* (Tesis de Grado). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Universidad Politécnica de Madrid, España. Recuperado de: http://oa.upm.es/43844/1/TFG_JESUS_MANUEL_DONAIRE_SANCHEZ.pdf

Ecuador es el segundo país en muertes por accidentes de transito. (19 de junio de 2013). *La Hora*. Recuperado de: <https://www.lahora.com.ec/noticia/1101523310/ecuador-segundo-pac3ads-en-muertes-por-accidentes>

Exceso de velocidad y sobrecarga de pasajeros, causas de accidente en Imbabura. (22 de febrero de 2012). *Ecuadorinmediato*, p.1. Recuperado de: http://www.ecuadorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=news_user_vie_w&id=167646

García, V. (2012). Introducción al I2C Bus. Recuperado de: <https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/introduccion-al-i2c-bus>.

Giménez, C. (2009). Teórica y aplicaciones de la informática 2. Departamento de Ingeniería Electrónica e Informática. Recuperado de: <http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/Acelerometro.pdf>

Gómez, T., Navarro, J., Águeda, E., & García, J. (2011). *Estructuras del Vehículo*. Recuperado de: <https://books.google.com.ec/books?id=obI4IEDGXHIC&pg=PA183&lpg=PA183&dq=transferencia+de+carga+en+vehiculos&source=bl&ots=DMDKcJoknU&sig=1WZNuIaDgh7veabpTup4PqsHTAc&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwuj3cfEz5bYAhXB7CYKHdiaD2Y4FBD0AQgxMAI#v=onepage&q=transferencia%20de%20carga%20en%20vehiculos&f=false>

Gonzales, A. (1981). *Tecnología de la Automoción*. Recuperado de: <http://creandoconciencia.org.ar/enciclopedia/accidentologia/la-fisica-de-la-colision/COMPORTAMIENTO-DEL-VEHICULO.pdf>

Goyes, R. (31 de diciembre de 2017). 26.291 accidentes en las vías se registraron hasta noviembre de 2017. *Pichincha Universal*. Recuperado de: <http://www.pichinchauniversal.com.ec/26-291-accidentes-en-las-vias-se-registraron-hasta-noviembre-de-2017/>

Güémez, C. (2013). Comportamiento Dinámico de los vehículos de carga pesada en el cantón de San José (2011-2012). *Infraestructura vial/LanammeUCR*, 15(26), 15-19. Recuperado de: [file:///Users/hv/Downloads/12177-19224-1-SM%20\(2\).PDF](file:///Users/hv/Downloads/12177-19224-1-SM%20(2).PDF)

Hernández, J. (s.f.). *Técnicas Modernas en Automática Parte III: Robótica*. Recuperado de: <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo377/documentos/TMA-RoboticaJHS.pdf>

- Herrera, A., Cortés, A., Aguilera L., & García, L. (2009). Micro acelerómetros para la industria automotriz. *Revista de divulgación científica y tecnológica de la universidad veracruzana*, volumen (22). P.p. 1-2. Recuperado de: <https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol22num2/articulos/microace/index.html>
- Hurani, R., Imaz, F., & Jaurena, J. (2015). Estudio del índice de confort del servicio del transporte público de pasajeros a través de la medición de aceleraciones. CETRAM. Universidad Tecnológica Nacional Lavaisse. Recuperado de: http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2015/trabajos/A010_COINI2015.pdf
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. *El transporte terrestre de pasajeros en Ecuador y Quito: Perspectiva histórica y situación actual*. Recuperado de: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Estudios/Estudios_Economicos/Transporte_Quito.pdf
- Iris, P. (2011). *Dispositivo para el estudio de la transferencia de carga durante maniobras de frenado en curva de un vehículo auto tanque* (Tesis de Grado). Universidad Autónoma de Querétaro, San Juan del Río. Recuperado de: <http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/2361/1/RI000818.pdf>
- Jara, R., Ambrosio, R., & Mireles, J. (2010). Análisis y caracterización de un acelerómetro capacitivo fabricado con tecnología polymump's. Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología Aplicada. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/sv/v23n3/v23n3a6.pdf>
- Kogan, E. (21 de octubre de 2015). ¿En que país de América Latina mueren mas personas en accidentes de tránsito?. *El Diario*. Recuperado de: <https://eldiariony.com/2015/10/21/pais-america-latina-mueren-mas-personas-accidentes-transito/>

- Llamas, L. (2018, 22 de septiembre). Determinar la orientación con Arduino y el IMU MPU – 6050. *Ingeniería, informática y diseño*. Recuperado de: <https://www.luisllamas.es/arduino-orientacion-imu-mpu-6050/>
- Merizalde, M. (20 de octubre de 2017). Un promedio de 23 accidentes de tránsito ocurren a diario en Quito. *El Comercio*. Recuperado de: <http://www.elcomercio.com/actualidad/accidentes-transito-quito-amt-vias.html>
- Negligencia provocó accidente de tránsito en Ambato, que deja dos muertos. (19 de Septiembre de 2012). *El Universo*. Recuperado de: <https://www.eluniverso.com/2012/09/19/1/1447/negligencia-provoco-accidente-transito-ambato-deja-dos-muertos.html>
- Pallas, R. (1993). Sensores y Acondicionadores de señal. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/175837678/Sensores-y-Acondicionadores-de-Senal-4-ED-Ramon-Pallas-Areny>
- Pineda, I. (2006). Sistema automatizado de calibración de sensores de desplazamiento, fuerza y aceleración. UNAM. México. Pp. 1-16.
- Román, D. (2015). Integración de un programa de seguridad vial al modelo Ecuador (Tesis de Magister). Universidad San Francisco de Quito, Ecuador. Recuperado de: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/4030/1/110442.pdf>
- Sánchez, C. (2004). *El vehículo como elemento de seguridad vial, la seguridad activa de los vehículos, elementos de seguridad activa, la seguridad pasiva de los vehículos y elementos de seguridad pasiva*. Recuperado de: <http://autoescuela-valleaguado.com.es/wp-content/uploads/2014/05/SEGURIDAD-ACTIVA-Y-PASIVA.pdf>

Sancho, A., Sancho J. (2012). *Comportamiento dinámico del vehículo*. Recuperado de:

<file:///Users/hv/Downloads/578216.pdf>

Technoton. (2015). *Sensores de carga por eje*. Recuperado de:

<http://docplayer.es/47737836-Sensores-de-carga-por-eje.html>

Valbuena, O. (2007). *Sistemas de Suspensión: eje delantero y eje trasero, tipos, constitución, características y funcionamiento*. Recuperado de: [http://www.oposicion-](http://www.oposicion-secundaria.com/temarios/OPMVehiculos.pdf)

[secundaria.com/temarios/OPMVehiculos.pdf](http://www.oposicion-secundaria.com/temarios/OPMVehiculos.pdf)

<http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanicageneral/CURSO%20DE%20HIDRAULIC>

[A/CAMIONES%20PESADOS.-.pdf](http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanicageneral/CURSO%20DE%20HIDRAULIC)

ANEXO 2: Diagrama de distribución de pines Display 16x02

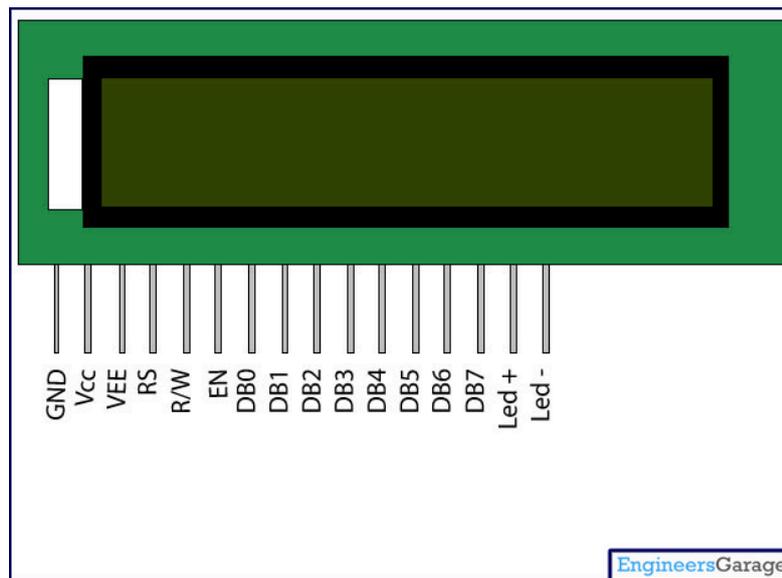


Figura 49: Distribución de Pines del Display 16x02

Fuente: EngineersGarage, (2012)

Tabla 5.7. Descripción de Pines de Display 16x02

Pin No.	Función	Nombre
1	Tierra (0v)	Suelo
2	Voltaje de suministros; 5 V (4,7 V - 5,3 V)	Vcc
3	Ajuste de contraste; a través de una resistencia variable	Vee
4	Selecciona el registro comando cuando esta bajo; y el registro de datos cuando está alto	Registrarse
5	Bajo para escribir en el registro; Alto para leer desde el registro	Leer escribir
6	Envía s atos a los pines de datos cuando se da un pulso de alto a bajo	Habilitar
7	Pines de datos de 8 bits	DB0
8		DB1
9		DB2
10		DB3
11		DB4
12		DB5
13		DB6
14		DB7
15	Luz de fondo V cc (5 V)	Led +
16	Luz de fondo Tierra (0 V)	Led -

Fuente: EngineersGarage, (2012)

Elaborado: Álvarez, (2018)

ANEXO 3: Tabla de Velocidades para vehículos livianos, de pasajeros y de carga

Tabla 5.8: Tabla de velocidades para vehículos livianos, pasajeros y de carga

1. Para vehículos livianos, motocicletas y similares:			
Tipo de vía	Límite máximo	Rango moderado (Art. 142.g de la Ley)	Fuera del rango moderado (Art. 145.e de la Ley)
Urbana	50 Km/h	>50 Km/h - <60 Km/h	>60 Km/h
Perimetral	90 Km/h	>90 Km/h - <120 Km/h	> 120 Km/h
Rectas en carreteras	100 Km/h	>100 Km/h - <135 Km/h	> 135 Km/h
Curvas en carreteras	60 Km/h	>60 Km/h - <75 Km/h	> 75 Km/h

2. Para vehículos de transporte público de pasajeros:			
Tipo de vía	Límite máximo	Rango moderado (Art. 142.g de la Ley)	Fuera del rango moderado (Art. 145.e de la Ley)
Urbana	40 Km/h	>40 Km/h - <50 Km/h	>50 Km/h
Perimetral	70 Km/h	>70 Km/h - <100 Km/h	> 100 Km/h
Rectas en Carreteras	90 Km/h	>90 Km/h - <115 Km/h	> 115 Km/h
Curvas en carreteras	50 Km/h	>50 Km/h - <65 Km/h	> 65 Km/h

3. Para vehículos de transporte de carga:			
Tipo de vía	Límite máximo	Rango moderado (Art. 142.g de la Ley)	Fuera del rango moderado (Art. 145.e de la Ley)
Urbana	40 Km/h	>40 Km/h - <50 Km/h	>50 Km/h
Perimetral	70 Km/h	>70 Km/h - <95 Km/h	> 95 Km/h
Rectas en Carreteras	70 Km/h	>70 Km/h - <100 Km/h	> 100 Km/h
Curvas en carreteras	40 Km/h	>40 Km/h - <60 Km/h	> 60 Km/h

Fuente: Agencia Nacional de Tránsito, (2016).

ANEXO 4: Tabla de conversión de grados de peralte a porcentaje

Tabla 5.9. Conversion de Grados a porcentajes

Grados	Porcentaje	Grados	Porcentaje
0.25 (15')	0.44	11	19.44
0.50 (30')	0.87	12	21.26
0.75 (45')	1.31	13	23.09
1	1.75	14	24.93
2	3.49	15	26.79
3	5.24	16	28.68
4	6.99	17	30.57
5	8.75	18	32.49
6	10.51	19	34.43
7	12.28	20	36.40
8	14.05	30	57.74
9	15.84	40	83.91
10	17.63	45	100

Elaborado: Álvarez, (2018)