

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

SEDE CUENCA

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

Trabajo de titulación previo a la

obtención del título de Ingeniero

Mecánico Automotriz

**Proyecto Técnico:**

**“Diseño y construcción de un banco para la determinación del centro de gravedad y transferencia de pesos en vehículos livianos”**

AUTORES:

Benito Isaías Barbecho Morales

Guido Alexis Palacios Ortiz

TUTOR:

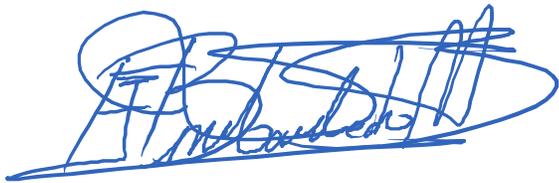
Ing. Juan Fernando Chica Segovia. M.Sc.

Cuenca – Ecuador

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Benito Isaías Barbecho Morales con C.I. 0104854039 y Guido Alexis Palacios Ortiz con C.I. 0105265268, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD Y TRANSFERENCIA DE PESOS EN VEHÍCULOS LIVIANOS”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Mecánico Automotriz en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Benito Barbecho

Cédula: 0104854039

Fecha: 19/01/2017



Nombre: Guido Palacios

Cedula: 0105265268

Fecha: 19/01/2017

## CERTIFICACIÓN

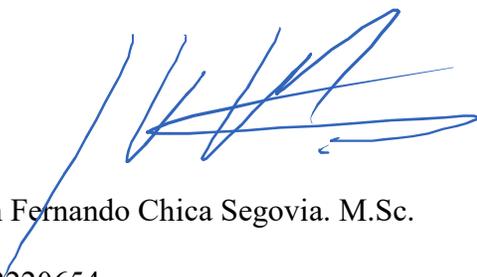
Yo Juan Fernando Chica Segovia declaro que bajo mi tutoría, fue desarrollado el proyecto técnico titulado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD Y TRANSFERENCIA DE PESOS EN VEHÍCULOS LIVIANOS”**, realizado por los autores, Benito Isaías Barbecho Morales con C.I. 0104854039 y Guido Alexis Palacios Ortiz con C.I. 0105265268, obteniendo el Proyecto Técnico, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, Enero de 2017

Firma:

Ing. Juan Fernando Chica Segovia. M.Sc.

C.I. 0102220654

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and strokes, positioned to the right of the text 'Firma:'.

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Benito Isaías Barbecho Morales con C.I. 0104854039 y Guido Alexis Palacios Ortiz con C.I. 0105265268, del proyecto técnico “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD Y TRANSFERENCIA DE PESOS EN VEHÍCULOS LIVIANOS**” certificamos que el contenido total del **Proyecto Técnico**, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.



.....  
Nombre: Benito Barbecho

Cédula: 0104854039

Fecha: 19/01/2017



.....  
Nombre: Guido Palacios

Cedula: 0105265268

Fecha: 19/01/2017

Cuenca, Enero de 2017.

## DEDICATORIA

v

Este proyecto dedico con mucho afecto a mis padres Jorge y Celina, quienes, con su apoyo incondicional, esfuerzo y consejos que me han permitido ser lo que soy y culminar mi carrera.

A mi esposa y compañera Ana María, quien ha estado conmigo durante toda mi carrera; hemos pasado momentos difíciles, pero siempre con su apoyo hemos salido adelante.

***Benito Barbecho.***

El presente trabajo está dedicado a Dios por darme la sabiduría y constancia para poder alcanzar mis objetivos planteados en mi vida. A mis hijas Victoria Alejandra y Amelia Saori por ser el motor y la inspiración para seguir adelante, planteándome más metas día a día. A mi compañera de vida Priscila Pulla por darme el apoyo como base para seguir adelante. A mis padres Clever Palacios y Rosa Ortiz por ser el vínculo en darme valores y sobre todo brindarme la educación en base a su esfuerzo. A mis amigos por apoyarme moralmente en culminar esta etapa universitaria en momentos malos y buenos. Gracias a todos ustedes por estar presentes en mi vida.

***Guido Palacios.***

## AGRADECIMIENTOS

vi

A Dios por brindarles salud a mis padres y permitirles estar siempre a mi lado y poder apoyarme económicamente y culminar mi carrera Universitaria.

A la Universidad Politécnica Salesiana por permitirme estar en sus aulas y adquirir los conocimientos que al momento me ha permitido integrarme al mundo profesional aun siendo estudiante.

Un agradecimiento especial a mi tutor, Ing. Juan Fernando Chica. M.Sc. quien con su guía y paciencia se desarrolló este proyecto, sus conocimientos y experiencia me han servido de mucho en la vida profesional, ha sido un gusto ser su estudiante.

A mi esposa Ana María, que con su conocimiento ha aportado al desarrollo de este proyecto,

A Israel y familia quienes me ha brindado su tiempo y apoyo.

***Benito Barbecho.***

Quiero agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, a los docentes de la carrera Ing. Mecánica Automotriz y a mis compañeros de carrera, por haberme brindado sus conocimientos en base a mi preparación profesional, los cuales fueron aportados de la mejor manera y con los valores que maneja esta prestigiosa institución.

Agradezco a Dios y a mi familia, por haber estado presentes, y ser el apoyo fundamental para culminar esta meta trascendental en mi vida.

Agradezco de manera especial a nuestro tutor, Ing. Fernando Chica, por su carisma como persona, por ser nuestro guía profesional en esta bella rama automotriz, y por ser nuestro amigo y tutor en todo el transcurso de nuestra vida universitaria.

***Guido Palacios.***

## RESUMEN

vii

El método de transferencia de pesos, permite hallar la ubicación del centro de gravedad de un vehículo con un cálculo sencillo en condiciones reales. El presente proyecto propone la construcción de un banco basándose en este método permitiendo calcular el centro de gravedad con un procedimiento práctico previamente definido; con la ayuda de un juego de balanzas automotrices se obtienen los pesos de cada uno de los ejes necesario para este proceso.

Al promediar los resultados obtenidos en más de una medición a diferentes alturas, se obtiene un valor más consistente, por lo que se necesita generar esta transferencia de pesos a diferentes alturas para lo que se usa tres alzas normalizadas para elevar el eje delantero del vehículo. Los datos obtenidos en la medición se ingresan en un programa elaborado en Visual Basic en el que se ingresa de manera organizada los datos necesarios, este programa arroja como resultando las coordenadas del centro de gravedad.

Finalmente se realiza una serie de mediciones y se calcula el centro de gravedad con cada una de estas, para evaluar la eficacia del método seleccionado, usando medidas estadísticas de dispersión y el cálculo del error para la validación de este proyecto.

## **ABSTRACT**

viii

The weight transfer method, allows finding the location of the gravity center of a vehicle with a simple calculation, under real conditions. The present project proposes the construction of a testing bench that based on this method allows to find the center of gravity with a simple procedure previously defined, with the aid of a set of automotive scales with the help of a set of automotive scales when the weight of the axes, necessary for the calculation, can be obtain.

By averaging the results obtained in more than one measurement at different heights, a more consistent value is obtained than if only one measure is taken at a single height, so to generate these variations three standardized wood escalations are used for rising the vehicle front axe. The data obtained in the measurement are input in a program developed in Visual Basic in which the necessary data is entered in an organized way and gives as results the coordinates of the gravity center.

Finally, a series of measurements are made and the gravity center is calculated with each one to evaluate the effectiveness of the selected method using statistical dispersion measures and the calculation of the error, when not having a reference value the results will be compared between them and analyzed.

## TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT.....	viii
FASE 1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	1
1.1 Ubicación del centro de gravedad.....	3
1.2.1 Según la Forma Geométrica del Cuerpo .....	4
1.2.2 Método de Sujeción de Cuerpos .....	4
1.2.3 Programas por Computadora .....	5
1.2.4 Método de Peso Individual en Cada Eje .....	5
1.3 Consideraciones Iniciales.....	6
1.4 Variables que afectan al centro de gravedad.....	7
1.4.1 Momentos .....	7
1.4.2 Vuelco estático.....	8
1.4.3. Velocidad de vuelco.....	9
1.5 Dimensionamiento .....	11
1.5.1 Datos y pesaje del vehículo.....	12
1.5.2 Ancho de vía .....	13
1.5.3 Batalla .....	13
1.6 Ubicación del centro de gravedad.....	14
1.6.1 Ubicación en el plano.....	14

1.6.2 Altura del centro de gravedad .....	16x
FASE 2 DISEÑO DEL SISTEMA PARA DETERMINAR LAS CARGAS EJERCIDAS EN EL VEHÍCULO .....	19
2.2. Pruebas y cálculos a considerar para del diseño del algoritmo.....	21
2.2.1 Mahindra - Pick Up - Hawk.....	21
2.2.2.Chevrolet – Aveo 1.6 2016 .....	23
2.2.3. Fiat Uno 1.1 .....	24
2.3. Algoritmo para el sistema de control del centro de gravedad y transferencia de pesos ....	26
2.3.1. Variables .....	26
2.3.2. Cálculos a utilizar .....	27
2.3.3. Diagrama de flujo .....	31
2.3.4. Programa.....	32
FASE 3 CONSTRUCCIÓN DEL BANCO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD .....	38
3.1. Descripción del Equipo a utilizar proform vehicle scale .....	38
3.1.1. Principales características y partes.....	38
3.1.2 Proceso para la calibración del sistema .....	41
3.2. Descripción del banco para las pruebas en vehículo .....	42
3.3. Protocolo para el cálculo CG.....	45
FASE 4 PRUEBAS EN DIFERENTES VEHÍCULOS PARA LA VALIDACIÓN DEL PROYECTO. ....	46
4.1 Mediciones en los vehículos.....	46

4.1.1. Vehículo Fórmula SAE.....	46xi
4.1.2. Hyundai Accent 2002. ....	53
4.1.3. Grand Vitara 5p, 2001.....	59
4.1.4. Fiat 1, 1.1. ....	65
4.1.5. Lada Niva, 1.7.....	72
4.2 Comparación y evaluación de datos. ....	78
4.2.1 Resumen de datos. ....	79
4.2.2 Rango porcentual. ....	85
4.2.3 Desviación estándar. ....	86
4.2.4 Errores aleatorios. ....	86
5. CONCLUSIONES.....	88
6. LISTA DE REFERENCIAS.....	89
6.1 Libros.....	89
6.2 Páginas web.....	91

# LISTA DE TABLAS

xii

Tabla 1 Nomenclatura de las variables .....	11
Tabla 2 Variables cálculo de la altura CG. ....	16
Tabla 3 Datos Técnicos Mahindra Pick Up 2.2 .....	21
Tabla 4 Datos variación de Pesos Mahindra Pick Up 2.2.....	22
Tabla 5 Datos técnicos Chevrolet Aveo 1.6 2012.....	23
Tabla 6 Datos técnicos Chevrolet Aveo.....	23
Tabla 7 Datos técnicos Fiat uno 1.1 .....	24
Tabla 8 Variación de Pesos Fiat Uno 1.1 .....	24
Tabla 9 Resultados obtenidos en el cálculo del CG a diferentes alturas .....	25
Tabla 10 Variables del programa.....	26
Tabla 11 Coordenadas del CG.....	27
Tabla 12 Variables descriptivas.....	30
Tabla 13 Dimensiones FSAE para el cálculo. ....	46
Tabla 14 Pesaje 1, vehículo FSAE.....	47
Tabla 15 Cálculo 1, CG de FSAE.....	47
Tabla 16 Pesaje 2, FSAE. ....	47
Tabla 17 Cálculo 2, CG de FSAE.....	47
Tabla 18 Pesaje 3, FSAE. ....	47
Tabla 19 Cálculo 3, CG de FSAE.....	48
Tabla 20 Pesaje 4, FSAE. ....	48
Tabla 21 Cálculo 4, CG de FSAE.....	48
Tabla 22 Pesaje 5, FSAE. ....	48

Tabla 23 Cálculo 5, CG de FSAE.....	48
Tabla 24 Pesaje 6, FSAE. ....	49
Tabla 25 Cálculo 6, CG de FSAE.....	49
Tabla 26 Pesaje 7, FSAE. ....	49
Tabla 27 Cálculo 7, CG de FSAE.....	49
Tabla 28 Pesaje 8, FSAE. ....	49
Tabla 29 Cálculo 8, CG de FSAE.....	50
Tabla 30 Pesaje 9, FSAE. ....	50
Tabla 31 Cálculo 9, CG de FSAE.....	50
Tabla 32 Pesaje 10, FSAE. ....	50
Tabla 33 Cálculo 10, CG de FSAE.....	50
Tabla 34 Pesaje 11, FSAE. ....	51
Tabla 35 Cálculo 11, CG de FSAE.....	51
Tabla 36 Pesaje 12, FSAE. ....	51
Tabla 37 Cálculo 1, CG de FSAE.....	51
Tabla 38 Pesaje 13, FSAE. ....	51
Tabla 39 Cálculo 13, CG de FSAE.....	52
Tabla 40 Pesaje 14, FSAE. ....	52
Tabla 41 Cálculo 14, CG de FSAE.....	52
Tabla 42 Pesaje 15, FSAE. ....	52
Tabla 43 Cálculo 15, CG de FSAE.....	52
Tabla 44 Dimensiones Hyundai Accent para el cálculo. ....	53

Tabla 45 Pesaje 1, Hyundai Accent.....	53
Tabla 46 Cálculo 1, CG de Hyundai Accent.....	53
Tabla 47 Pesaje 2, Hyundai Accent.....	53
Tabla 48 Cálculo 2, CG de Hyundai Accent.....	54
Tabla 49 Pesaje 3, Hyundai Accent.....	54
Tabla 50 Cálculo 3, CG de Hyundai Accent.....	54
Tabla 51 Pesaje 4, Hyundai Accent.....	54
Tabla 52 Cálculo 4, CG de Hyundai Accent.....	54
Tabla 53 Pesaje 5, Hyundai Accent.....	55
Tabla 54 Cálculo 5, CG de Hyundai Accent.....	55
Tabla 55 Pesaje 6, Hyundai Accent.....	55
Tabla 56 Cálculo 6, CG de Hyundai Accent.....	55
Tabla 57 Pesaje 7, Hyundai Accent.....	55
Tabla 58 Pesaje 7, Hyundai Accent.....	56
Tabla 59 Pesaje 8, Hyundai Accent.....	56
Tabla 60 Cálculo 8, CG de Hyundai Accent.....	56
Tabla 61 Pesaje 9, Hyundai Accent.....	56
Tabla 62 Cálculo 9, CG de Hyundai Accent.....	56
Tabla 63 Pesaje 10, Hyundai Accent.....	57
Tabla 64 Cálculo 10, CG de Hyundai Accent.....	57
Tabla 65 Pesaje 11, Hyundai Accent.....	57
Tabla 66 Cálculo 11, CG de Hyundai Accent.....	57

Tabla 67 Pesaje 12, Hyundai Accent.....	57
Tabla 68 Cálculo 12, CG de Hyundai Accent.....	58
Tabla 69 Pesaje 13, Hyundai Accent.....	58
Tabla 70 Cálculo 13, CG de Hyundai Accent.....	58
Tabla 71 Pesaje 14, Hyundai Accent.....	58
Tabla 72 Cálculo 14, CG de Hyundai Accent.....	58
Tabla 73 Pesaje 15, Hyundai Accent.....	59
Tabla 74 Cálculo 15, CG de Hyundai Accent.....	59
Tabla 75 Dimensiones Grand Vitara 5p, para el cálculo.....	59
Tabla 76 Pesaje 1, Grand Vitara 5p.....	59
Tabla 77 Cálculo 1, CG de Grand Vitara 5p.....	60
Tabla 78 Pesaje 2, Grand Vitara 5p.....	60
Tabla 79 Cálculo 2, CG de Grand Vitara 5p.....	60
Tabla 80 Pesaje 3, Grand Vitara 5p.....	60
Tabla 81 Cálculo 3, CG de Grand Vitara 5p.....	60
Tabla 82 Pesaje 4, Grand Vitara 5p.....	61
Tabla 83 Cálculo 4, CG de Grand Vitara 5p.....	61
Tabla 84 Pesaje 5, Grand Vitara 5p.....	61
Tabla 85 Cálculo 5, CG de Grand Vitara 5p.....	61
Tabla 86 Pesaje 6, Grand Vitara 5p.....	61
Tabla 87 Cálculo 6, CG de Grand Vitara 5p.....	62
Tabla 88 Pesaje 7, Grand Vitara 5p.....	62

Tabla 89 Cálculo 7, CG de Grand Vitara 5p.....	62
Tabla 90 Pesaje 8, Grand Vitara 5p. ....	62
Tabla 91 Cálculo 8, CG de Grand Vitara 5p.....	62
Tabla 92 Pesaje 9, Grand Vitara 5p. ....	63
Tabla 93 Cálculo 9, CG de Grand Vitara 5p.....	63
Tabla 94 Pesaje 10, Grand Vitara 5p. ....	63
Tabla 95 Cálculo 10, CG de Grand Vitara 5p.....	63
Tabla 96 Pesaje 11, Grand Vitara 5p. ....	63
Tabla 97 Cálculo 11, CG de Grand Vitara 5p.....	64
Tabla 98 Pesaje 12, Grand Vitara 5p. ....	64
Tabla 99 Cálculo 12, CG de Grand Vitara 5p.....	64
Tabla 100 Pesaje 13, Grand Vitara 5p. ....	64
Tabla 101 Cálculo 13, CG de Grand Vitara 5p.....	64
Tabla 102 Pesaje 14, Grand Vitara 5p. ....	65
Tabla 103 Cálculo 14, CG de Grand Vitara 5p.....	65
Tabla 104 Pesaje 15, Grand Vitara 5p. ....	65
Tabla 105 Cálculo 15, CG de Grand Vitara 5p.....	65
Tabla 106 Dimensiones Fiat 1, para el cálculo. ....	66
Tabla 107 Pesaje 1, Fiat 1. ....	66
Tabla 108 Cálculo 1, CG de Fiat 1. ....	66
Tabla 109 Pesaje 2, Fiat 1. ....	66
Tabla 110 Cálculo 2, CG de Fiat 1. ....	67

Tabla 111 Pesaje 3, Fiat 1.....	67
Tabla 112 Cálculo 3, CG de Fiat 1.....	67
Tabla 113 Pesaje 4, Fiat 1.....	67
Tabla 114 Cálculo 4, CG de Fiat 1.....	67
Tabla 115 Pesaje 5, Fiat 1.....	68
Tabla 116 Cálculo 5, CG de Fiat 1.....	68
Tabla 117 Pesaje 6, Fiat 1.....	68
Tabla 118 Cálculo 6, CG de Fiat 1.....	68
Tabla 119 Pesaje 7, Fiat 1.....	68
Tabla 120 Cálculo 7, CG de Fiat 1.....	69
Tabla 121 Pesaje 8, Fiat 1.....	69
Tabla 122 Cálculo 8, CG de Fiat 1.....	69
Tabla 123 Pesaje 9, Fiat 1.....	69
Tabla 124 Cálculo 9, CG de Fiat 1.....	69
Tabla 125 Pesaje 10, Fiat 1.....	70
Tabla 126 Cálculo 10, CG de Fiat 1.....	70
Tabla 127 Pesaje 11, Fiat 1.....	70
Tabla 128 Cálculo 11, CG de Fiat 1.....	70
Tabla 129 Pesaje 12, Fiat 1.....	70
Tabla 130 Cálculo 12, CG de Fiat 1.....	71
Tabla 131 Pesaje 13, Fiat 1.....	71
Tabla 132 Cálculo 13, CG de Fiat 1.....	71

Tabla 133 Pesaje 14, Fiat 1.....	71
Tabla 134 Cálculo 14, CG de Fiat 1.....	71
Tabla 135 Pesaje 15, Fiat 1.....	72
Tabla 136 Cálculo 15, CG de Fiat 1.....	72
Tabla 137 Dimensiones Niva, para el cálculo.....	72
Tabla 138 Pesaje 1, Niva.....	72
Tabla 139 Cálculo 1, CG de Niva.....	73
Tabla 140 Pesaje 2, Niva.....	73
Tabla 141 Cálculo 2, CG de Niva.....	73
Tabla 142 Pesaje 3, Niva.....	73
Tabla 143 Cálculo 3, CG de Niva.....	73
Tabla 144 Pesaje 4, Niva.....	74
Tabla 145 Cálculo 4, CG de Niva.....	74
Tabla 146 Pesaje 5, Niva.....	74
Tabla 147 Cálculo 5, CG de Niva.....	74
Tabla 148 Pesaje 6, Niva.....	74
Tabla 149 Cálculo 6, CG de Niva.....	75
Tabla 150 Pesaje 7, Niva.....	75
Tabla 151 Cálculo 7, CG de Niva.....	75
Tabla 152 Pesaje 8, Niva.....	75
Tabla 153 Cálculo 8, CG de Niva.....	75
Tabla 154 Pesaje 9, Niva.....	76

Tabla 155 Cálculo 9, CG de Niva.....	76
Tabla 156 Pesaje 10, Niva. ....	76
Tabla 157 Cálculo 10, CG de Niva.....	76
Tabla 158 Pesaje 11, Niva. ....	76
Tabla 159 Cálculo 11, CG de Niva.....	77
Tabla 160 Pesaje 12, Niva. ....	77
Tabla 161 Cálculo 12, CG de Niva.....	77
Tabla 162 Pesaje 13, Niva. ....	77
Tabla 163 Cálculo 13, CG de Niva.....	77
Tabla 164 Pesaje 14, Niva. ....	78
Tabla 165 Cálculo 14, CG de Niva.....	78
Tabla 166 Pesaje 15, Niva. ....	78
Tabla 167 Cálculo 15, CG de Niva.....	78
Tabla 168 Resumen de datos Fórmula SAE.....	79
Tabla 169 Resumen de datos Hyundai Accent.....	80
Tabla 170 Resumen de datos Grand Vitara.....	82
Tabla 171 Resumen de datos Fiat Uno.....	83
Tabla 172 Resumen de datos Niva.....	84
Tabla 173 Tabla comparativa del rango porcentual.....	85
Tabla 174 Tabla comparativa de la desviación estándar.....	86
Tabla 175 Tabla comparativa del error aleatorio.....	87

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Desplazamiento del centro de gravedad. ....	1
Figura 2 Fuerzas que actúan en el centro de gravedad. ....	2
Figura 3 Ubicación del centro de gravedad. ....	3
Figura 4 Centro de gravedad. ....	4
Figura 5 Sujeción de cuerpos. ....	5
Figura 6 Momentos en el centro de gravedad. ....	7
Figura 7 Vuelco estático. ....	9
Figura 8 Circulación en curva con peralte. ....	10
Figura 9 Sistema de referencia del vehículo. ....	12
Figura 10 Balanzas automotrices Proform 5000lb. ....	12
Figura 11 Ancho de vía. ....	13
Figura 12 Batalla. ....	14
Figura 13 Ubicación en el plano del centro de gravedad. ....	15
Figura 14 Localización Vertical del Centro de Gravedad. ....	17
Figura 15 Algoritmo del sistema de control. ....	19
Figura 16 Juego de balanzas automotrices. ....	20
Figura 17 Pesaje Mahindra Pick 2.2. ....	21
Figura 18 Variación de altura para la generación de transferencia de pesos. ....	22
Figura 19 Variación de peso Chevrolet Aveo. ....	23
Figura 20 Variación de pesos Fiat Uno 1.1. ....	24
Figura 21 Diagrama de flujo. ....	32

Figura 22 Ventana de ingreso de peso ejercido en cada balanza.....	33
Figura 23 Ingreso de batalla y ancho de vía posterior y frontal.....	34
Figura 24 Ingreso de pesos posterior a la elevación. ....	35
Figura 25 Cálculo del radio del neumático. ....	36
Figura 26 Radio del neumático. ....	36
Figura 27 Ubicación del centro de gravedad. ....	37
Figura 28 Equipo de pesaje Proform Scale.....	39
Figura 29 Pantalla LCD del equipo Proform Vehicle Scale. ....	39
Figura 30 Conector macho equipo Proform Scale. ....	40
Figura 31 Identificación de los cables mediante colores Equipo Proform Scale.....	40
Figura 32 Bases para la generación de transferencia de pesos. ....	43
Figura 33 Colocación de balanzas con elevador hidráulico de 2 postes.....	43
Figura 34 Gato hidráulico aplicado para las pruebas en el FSAE .....	44
Figura 35 Colocación de la balanza sobre alzas en una superficie nivelada. ....	44
Figura 36 Cuadro comparativo del cálculo CG, Fórmula SAE. ....	80
Figura 37 Cuadro comparativo del cálculo CG, Hyundai Accent. ....	81
Figura 38 Cuadro comparativo del cálculo CG, Grand Vitara. ....	82
Figura 39 Cuadro comparativo del cálculo CG, Fiat 1. ....	84

# LISTA DE FORMULAS

Fórmula 1 Vuelco estático .....	8
Fórmula 2 Sumatoria de fuerzas en y .....	10
Fórmula 3 Sumatoria de fuerzas en z .....	10
Fórmula 4 Comparación de fuerzas .....	10
Fórmula 5 Velocidad de vuelco .....	10
Fórmula 6 Velocidad de vuelco en una carretera sin peralte .....	10
Fórmula 7 Sumatoria pesos individuales de cada llanta .....	14
Fórmula 8 Peso frontal .....	14
Fórmula 9 Peso posterior .....	14
Fórmula 10 Coordenadas del Centro de Gravedad en x .....	14
Fórmula 11 Coordenadas del Centro de Gravedad en y .....	15
Fórmula 12 Primera derivada en y .....	15
Fórmula 13 Segunda derivada en y .....	15
Fórmula 14 Segunda derivada en y con ancho de vía constante .....	16
Fórmula 15 Cálculo de a con el ancho de vía constante .....	16
Fórmula 16 Distancia en x de las alzas con el vehículo elevado .....	17
Fórmula 17 Cálculo de momento en O .....	17
Fórmula 18 Distancia en y de las alzas con el vehículo elevado .....	17
Fórmula 19 Distancia entre alzas con el vehículo elevado en x .....	17
Fórmula 20 Cálculo en x con ancho de vía diferente .....	18
Fórmula 21 Distancia al centro de gravedad al eje delantero .....	18

Fórmula 22 Altura del centro de gravedad .....	18
Fórmula 23 Promedio de la altura de ejes .....	18
Fórmula 24 Altura del centro de gravedad con altura variable de ejes .....	18

## FASE 1

### FUNDAMENTOS TEÓRICOS

El centro de gravedad se define como un punto de equilibrio, lo que implica encontrar donde la fuerza neta es igual a cero con un momento nulo. Este, no siempre coincide con el centro geométrico del vehículo.

(Sánchez, 2014)

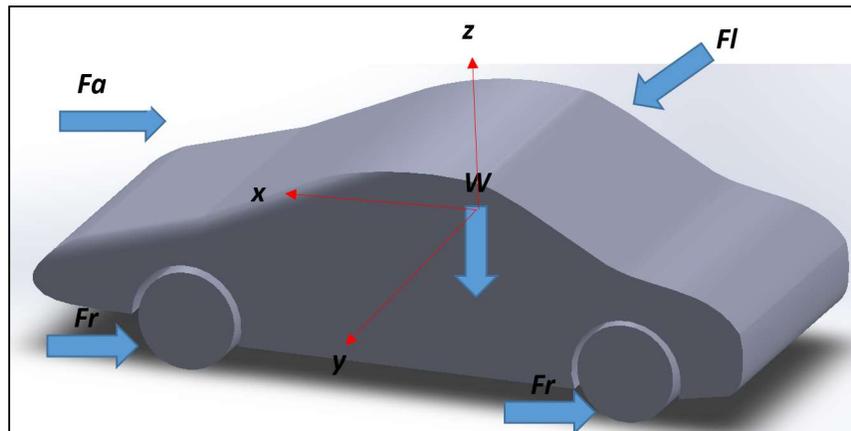


**Figura 1 Desplazamiento del centro de gravedad.**  
**Fuente: (Peña, 2017)**

El comportamiento del centro de masa puede simplificar el análisis del movimiento de un cuerpo complejo considerándolo una partícula. En el estudio del comportamiento dinámico del automóvil, existen varias condiciones de conducción que provocan diferentes cargas que afectan al centro de gravedad, entre estas se encuentran:

- El peso del vehículo ( $W$ )
- Fuerza de rozamiento o rodadura ( $F_r$ )
- Carga aerodinámica ( $F_a$ ),
- Fuerzas laterales ( $F_l$ ) provocadas por ráfagas de viento y/o desplazamiento en curva.

(Giancoli, 2006), (Luque, Álvarez, & Vera, 2004)



**Figura 2 Fuerzas que actúan en el centro de gravedad.**  
Fuente: Autores

Además, depende de las características geométricas del auto tales como, ancho de vía, distancia entre ejes, radio del aro y del neumático, ángulo de giro en curva, geometría de la suspensión (camber, caster, ángulo de avance), se debe considerar el desplazamiento de fluidos, la forma y el diseño del chasis y carrocería según sea su aplicación, como por ejemplo: vehículos de turismo, deportivos, todoterreno, deportivo utilitario, furgoneta y camioneta (pickup); Todo este conjunto de características comprometen la ubicación y el desplazamiento del centro de gravedad.

(Luque, Álvarez, & Vera, 2004)

La determinación del centro de gravedad es importante para determinar el comportamiento del vehículo en derrapes, causados por: frenado brusco, colisiones, aceleraciones repentinas, etc. Cuando la fuerza se ejerce fuera de la línea de desplazamiento.

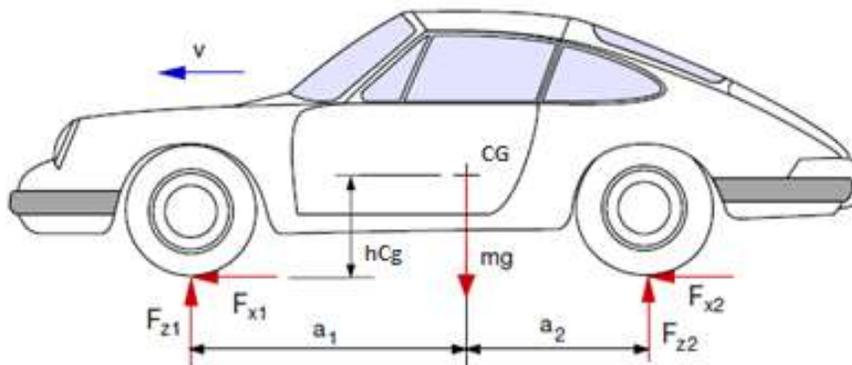
(Sánchez, 2014)

Se debe considerar además que los efectos dinámicos mencionados dependen también de la aplicación y tipo de vehículo, el número de pasajeros y cargas adicionales, debiendo

considerar estas al momento de realizar modificaciones, especialmente en vehículos de competición.

### 1.1 Ubicación del centro de gravedad

La estabilidad del automóvil depende de la ubicación y el equilibrio de masas en su centro de gravedad (CG), además sabemos que si tenemos un centro de gravedad elevado el vehículo será muy inestable al momento de tomar una curva a un determinado radio y velocidad, para evitar este problema y mejorar la seguridad del automóvil en desplazamiento lo que se busca es reducir la altura del centro de gravedad ( $h_{CG}$ ) hacia la calzada mejorando de esta forma la estabilidad del vehículo.



**Figura 3 Ubicación del centro de gravedad.**  
Fuente: (Rill, 2004)

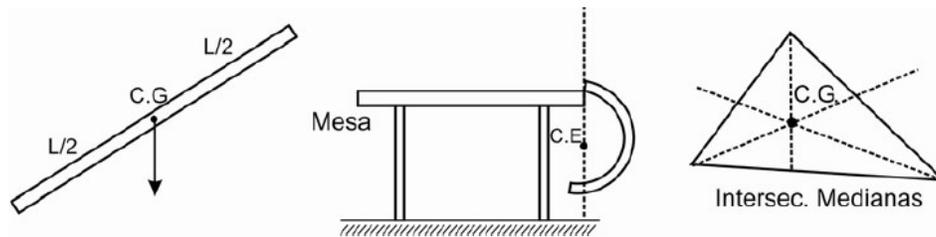
Por esto, los sistemas de cálculo que pueden ser validos en otros casos se vuelven en los automóviles poco prácticos debido a la complejidad del sistema. Incluso el conocer el centro de gravedad dado por el fabricante se vuelve irrelevante en un vehículo modificado. (Luque, Álvarez, & Vera, 2004)

## 1.2 Métodos para la Determinación del Centro de Gravedad

### 1.2.1 Según la Forma Geométrica del Cuerpo

En cuerpos geométricos sencillos, el centro de gravedad resulta relativamente fácil de calcular ya que estará en el centro geométrico del mismo, esto es cierto en elementos que posean formas regulares y de materiales homogéneos, lo que no se cumple en nuestro caso ya que el vehículo es un sistema complejo que no puede ser considerado como un solo elemento debido a las partes que en muchos casos poseen formas extremadamente complejas y son de materiales diferentes, incluso si se realizara el cálculo del centro geométrico, este no coincidiría con el centro de gravedad

(Hibbeler, 1996)

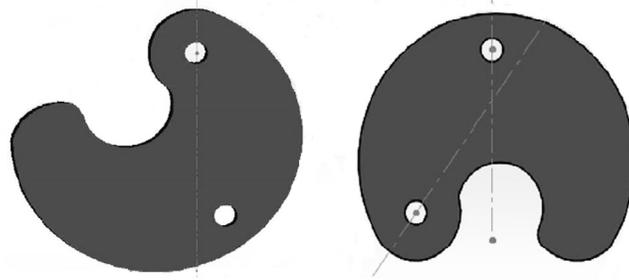


**Figura 4 Centro de gravedad.**  
Fuente: (Sánchez, Paucar, & Orellana, n.d.)

### 1.2.2 Método de Sujeción de Cuerpos

Otro de los métodos con el que se cuenta para determinar el centro de gravedad consiste en suspender el objeto en un punto cerca de uno de sus bordes y con ayuda de una plomada trazar una línea perpendicular al piso y repetir la operación desde otro punto; el punto en el que estas líneas se intersectan será el centro de gravedad y es válido solo para cuerpos planos y pequeños.

(Hibbeler, 1996)



**Figura 5 Sujeción de cuerpos.**  
(Giancoli, 2006) modificado por los autores

### *1.2.3 Programas por Computadora*

Los métodos computarizados por números finitos, son utilizados en competencias automovilísticas de alto nivel: sin embargo, requieren de simulaciones avanzadas e incluso el uso de un túnel de viento lo que genera altos costos que no justificarían su uso en el trucaje de vehículos en nuestro medio.

(Hibbeler, 1996)

### *1.2.4 Método de Peso Individual en Cada Eje*

Este método permite determinar el centro de gravedad de un vehículo en función de la fuerza que ejerce cada uno de los neumáticos contra la calzada, tomando en cuenta que la fuerza ejercida es igual al peso que soporta cada uno, es decir la distribución de pesos.

Este tiene muchas ventajas, ya que permite determinar el centro de gravedad estático de un vehículo en sus condiciones reales de distribución de pesos; incluso variando las mismas fácilmente, tales como: número de pasajeros, cargas adicionales (tanque lleno, tanque vacío, equipamiento, modificaciones, etc.) y demás condiciones estáticas que se puedan generar en un vehículo.

Este proyecto propone la elaboración de un programa, que realice el cálculo del centro de gravedad de un vehículo aplicando este método.

Su viabilidad, limitaciones, ventajas y un estudio de su validez; se desarrollará a lo largo de este capítulo, simplificando variables y analizando las condiciones reales del vehículo.

(Milliken & Milliken, 2003)

### **1.3 Consideraciones Iniciales**

El vehículo se encuentra en condiciones estables de funcionamiento, es decir todas las variables tales como: aceleración tanto frontal como lateral se mantienen fijas y no sufren variaciones en la suspensión debido a irregularidades en la carretera, por lo que se desprecian las variaciones que existen entre el peso suspendido y no suspendido.

Se asume además que el peso del vehículo y sus dimensiones, altura diámetro del neumático, ancho de vía batalla, etc. son constantes, estos valores varían siempre en cierta medida, sin embargo, pueden ser despreciadas para el cálculo. En vehículos de competencia se busca la estabilidad del mismo, la suspensión es rígida y el número de pasajeros constantes por lo que estas asunciones son válidas, sin embargo, este método no se puede utilizar en vehículos que sufran grandes variaciones en este aspecto.

Se considera que el comportamiento de todos los muelles, incluidos los de la suspensión, son lineales, lo que es cierto dentro del rango normal de funcionamiento de los mismos.

Para simplificar el cálculo debemos además valernos del principio de superposición es decir la fuerza total que afecta a un cuerpo va a ser igual a la suma de cada una de las fuerzas individuales, si se mide individualmente cada una de las cargas la suma de estas nos dará el peso total de vehículo.

Otra consideración a tomar es que el chasis es rígido, mientras más flexible sea este mayor será el fallo en el cálculo especialmente en torsión, un chasis razonablemente rígido no producirá desviaciones mayores en el cálculo, lo que permite el uso de este método (Milliken & Milliken, 2003)

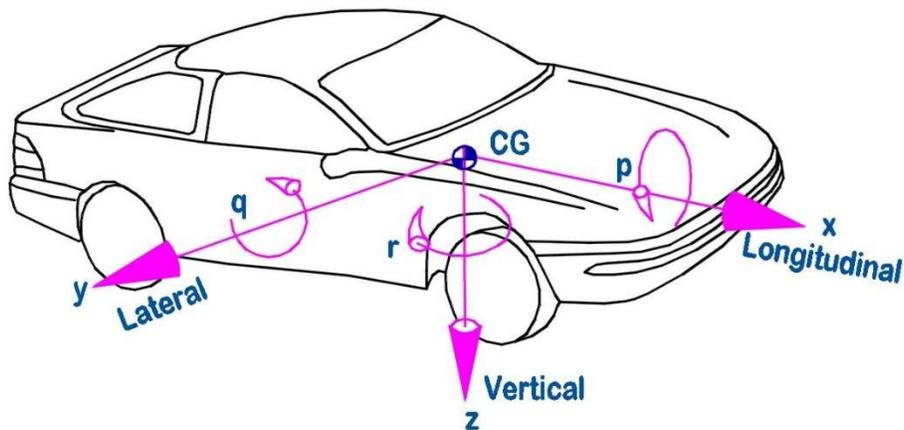
#### 1.4 Variables que afectan al centro de gravedad

El cálculo del Centro de Gravedad dentro de la dinámica del automóvil como en la preparación de vehículos para competencia es de suma importancia, ya que como se explicó anteriormente el Centro de Gravedad es el punto donde todas las fuerzas de un cuerpo se concentran.

Así que son varios los efectos dinámicos que se ven afectados por la ubicación del mismo, se procede entonces a explicar algunos de ellos.

##### 1.4.1 Momentos

Las fuerzas que actúan a distancia del centro de gravedad generan un momento, este tiende a desequilibrar el vehículo, así que: un centro de gravedad mejor ubicado ayuda a reducir el efecto de estas fuerzas.



**Figura 6 Momentos en el centro de gravedad.**  
Fuente: (Borg, 2009) modificado por los autores.

La ubicación del centro de gravedad está determinada por la distribución de cargas, es el peso del motor el que más influye en su localización, por esto en vehículos deportivos de alta gama donde se espera un mayor rendimiento y exigencias en la conducción, el fabricante coloca el motor en la parte posterior, he incluso algunos modelos tienen un motor central.

Cuando se realiza modificaciones en el vehículo se debe tener cuidado con la distribución de las cargas que se adicionan y disminuyen, generalmente al modificar un vehículo se trata de retirar peso muerto como asientos (se retiran los posteriores y cambian los delanteros), accesorios, peso en carrocería y bastidor, etc. Sin embargo, se debe cuidar de que al reducir el peso en la parte posterior el centro de gravedad traslade más adelante en el vehículo, lo que no es deseable, así que los pesos adicionales se deben repartir tratando de mantener o idealmente retroceder el centro de gravedad.

(Luque, Álvarez, & Vera, 2004)

#### 1.4.2 Vuelco estático

Otro factor a considerar y que esta también relacionado con la altura del centro de gravedad, es lo que se conoce como el vuelco estático, en el que su fórmula es:

$$a_{ymax} = g \frac{B}{2h} \quad (1)$$

Para este cálculo consideraremos que:

**$A_{ymax}$**  = Es el ángulo máximo que se puede inclinar el vehículo antes del vuelco.

**$g$**  = Aceleración de la gravedad.

**$h$**  = Altura del centro de gravedad.



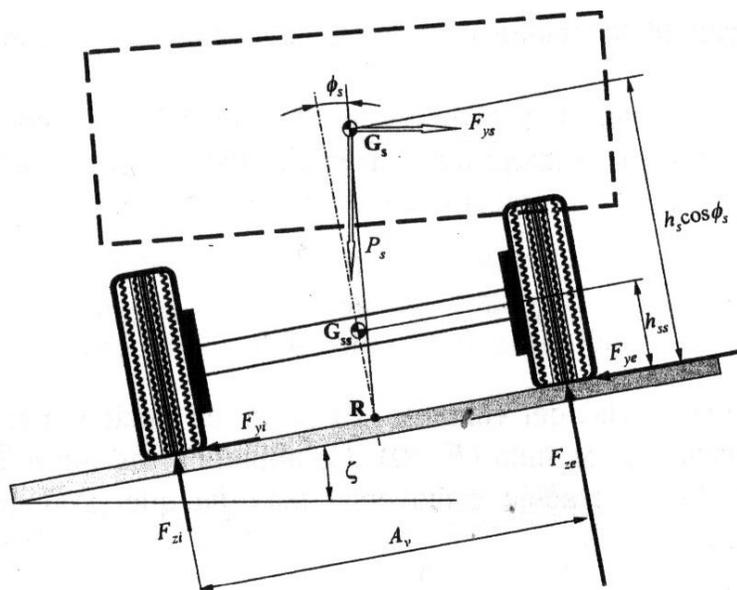
**Figura 7 Vuelco estático.**  
**Fuente: (Arribas & Martín, 2016)**

Se puede entonces apreciar cuan crítica es la altura del centro de gravedad ya que esta es inversamente proporcional al ángulo máximo de inclinación, lo que quiere decir que un centro de gravedad más bajo permitirá al vehículo circular en ángulos mayores de calzada, esta fórmula se aplica en condiciones estáticas, sin embargo, en el siguiente punto se estudiará las condiciones dinámicas.

(Luque, Álvarez, & Vera, 2004)

#### *1.4.3. Velocidad de vuelco*

La estabilidad del vehículo en una curva se pierde en el momento en que la fuerza centrífuga, supera a las fuerzas estabilizadoras, que incluyen la altura del centro de gravedad y la fuerza que ejercen los neumáticos sobre el piso.



**Figura 8** Circulación en curva con peralte.  
Fuente: (Luque, Álvarez, & Vera, 2004)

Esta se calcula al saber que:

$$F_y = F_c \cos \zeta - P \operatorname{Sen} \zeta \quad (2)$$

$$F_z = P \cos \zeta + F_c \operatorname{Sen} \zeta \quad (3)$$

De esto se deduce:

$$\frac{F_y}{F_z} = \frac{F_c \cos \zeta - P \operatorname{Sen} \zeta}{P \cos \zeta + F_c \operatorname{Sen} \zeta} = \frac{B/2}{h} \quad (4)$$

Sustituyendo y despejando la velocidad, se obtiene, por lo tanto, que la velocidad de vuelco:

$$V_{lv} = \sqrt{gR \frac{B/2h + tg\zeta}{1. B/2h \cdot tg\zeta}} \quad (5)$$

Si no existe peralte (ángulo de la calzada), la fórmula sería:

$$V_{lv} = \sqrt{gR \frac{B}{2h}} \quad (6)$$

En el que la nomenclatura de las variables es:

**Tabla 1 Nomenclatura de las variables**

*Fuente: Los autores.*

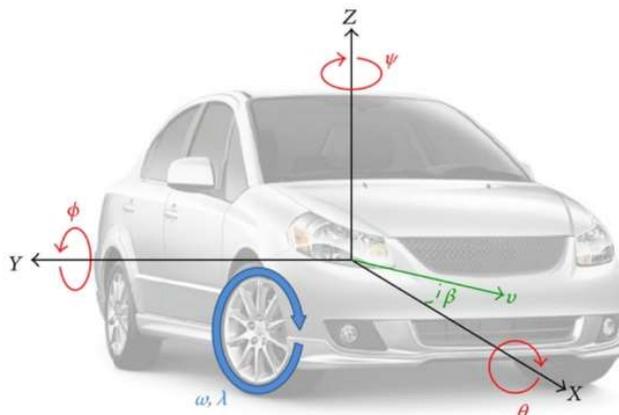
<b>NOMENCLATURA DE LAS VARIABLES.</b>	
<b><i>Viv</i></b>	Velocidad de vuelco
<b><i>Fy</i></b>	Fuerza Lateral
<b><i>Fc</i></b>	Fuerza Centrífuga
<b><i>Fz</i></b>	Fuerza Normal a la Superficie de Rodadura
<b><i>P</i></b>	Peso
<b><i>c</i></b>	Angulo de inclinación de la calzada (Peralte)
<b><i>g</i></b>	Aceleración de la gravedad
<b><i>R</i></b>	Radio de la Trayectoria del Vehículo
<b><i>B</i></b>	Vía del vehículo
<b><i>h</i></b>	Altura del centro de gravedad

De lo que se deduce, que la altura del centro de gravedad es inversamente proporcional a la velocidad de vuelco, por lo que mientras más bajo es el centro de gravedad, se brinda mayor estabilidad y permite circular en curvas a una mayor velocidad, básico en la preparación de vehículos de competencia.

(Luque, Álvarez, & Vera, 2004)

### **1.5 Dimensionamiento**

Para determinar la ubicación del centro se usará coordenadas ortogonales en tres dimensiones, estableciendo la ubicación en el plano necesaria para mejorar la distribución de pesos y la altura del centro de gravedad. La ubicación del centro O de coordenadas se decidirá y discutirá en la parte concerniente al cálculo.



**Figura 9 Sistema de referencia del vehículo.**  
**Fuente: (Vivas, Tudor, Hernández, & Morales, 2015)**

### 1.5.1 Datos y pesaje del vehículo

Para el pesaje del vehículo, se utilizará balanzas marca Proform®, las mismas que son exclusivamente de uso automotriz, al momento de realizar el pesaje propone el uso de rampas que permitan colocar el vehículo progresivamente sobre las mismas. La pantalla de control del sistema, entrega la información tanto en Sistema Internacional, como en unidades americanas; de cada uno de los neumáticos individuales así registramos la información ( $W1$ ,  $W2$ ,  $W3$ ,  $W4$ ).

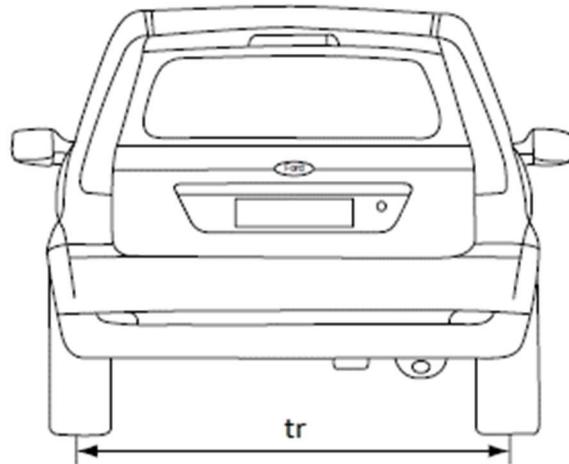


**Figura 10 Balanzas automotrices Proform 5000lb**  
**Fuente: (Proform, n.d.)**

Adicionalmente, se debe verificar que la superficie este nivelada, lo que permite exactitud en la medición. Antes de tomar los valores esperamos a que alcance un equilibrio estático, luego registramos el valor de peso de cada uno de los neumáticos y en que condición se toma la medición (tanque lleno, vacío, número de pasajeros, etc.). Posteriormente, se realiza las mediciones en el vehículo para obtener la siguiente información:

### *1.5.2 Ancho de vía*

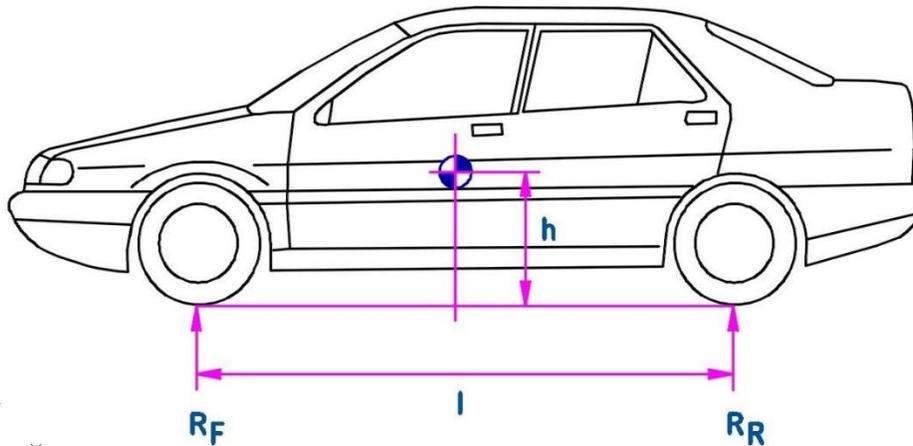
Este puede variar de eje delantero a eje posterior en algunos vehículos de competencia, por eso en este caso se utilizará ambos valores por lo que el programa requerirá el ingreso de dos datos, ancho de vía de eje frontal ( $tF$ ) y ancho de vía del eje posterior ( $tR$ ). Este valor debe medirse desde la línea central de ambos neumáticos.



**Figura 11 Ancho de vía.**  
**Fuente: (Bonnick, 2008)**

### *1.5.3 Batalla*

Finalmente necesitamos conocer la batalla del vehículo ( $\ell$ ), medida desde el centro de la rueda delantera a la posterior.



**Figura 12 Batalla.**

**Fuente: (Bonnick, 2008) modificado por los autores.**

Se debe considerar que las unidades de medida deben ser iguales y estar en el mismo sistema de medición, es decir si se elige metros, todas las unidades deben ser iguales.

## 1.6 Ubicación del centro de gravedad

### 1.6.1 Ubicación en el plano

Basándose en el teorema de superposición, en el cuál el peso total del vehículo será la suma de cada uno de los pesos individuales, así:

$$W_T = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 \quad (7)$$

Así mismo el peso individual de cada eje, será igual al peso de cada uno de los neumáticos.

$$W_F = W_1 + W_2 \quad (8)$$

$$W_R = W_3 + W_4 \quad (9)$$

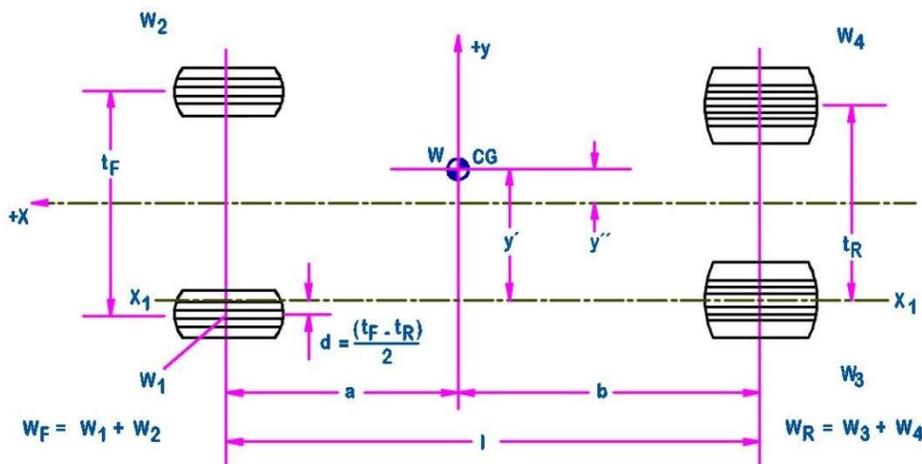
Para establecer entonces el centro de gravedad se usa la fórmula de momentos en la que:

$$b = \frac{W_F \times \ell}{W} \quad (10)$$

y:

$$a = \ell - b \quad (11)$$

Así se establece la ubicación horizontal del CG.



**Figura 13 Ubicación en el plano del centro de gravedad.**  
Fuente: (Milliken & Milliken, 2003) modificado por los autores.

A continuación, se considera los momentos respecto de la línea \$x\_1 - x\_1\$, (línea paralela a la línea central del vehículo, que pasa por el centro de la llanta posterior izquierda).

$$y' = \frac{W_2}{W} (t_F - d) - \frac{W_1}{W} (d) + \frac{W_4 t_R}{W} \quad (12)$$

Esto se resuelve mediante \$y''\$ (debido a que \$y'' = y' - (t\_R/2)\$) para darle el cambio del eje central a la línea \$x\_1 - x\_1\$.

$$y'' = \frac{W_2}{W} (t_F - d) - \frac{W_1}{W} (d) + \frac{W_4 t_R}{W} - \frac{t_R}{2} \quad (13)$$

Nótese que \$y''\$ está representado en el gráfico de forma positiva, esto puede no ser cierto en algunos vehículos dependiendo del tipo pista. Estas son ecuaciones generales, en vehículos en los que: \$t\_F = t\_R = t\$, la expresión se puede simplificar como:

$$y'' = \frac{W_2 + W_4}{W} t - \frac{1}{2} \quad (14)$$

Y si esta condición se mantiene entonces el centro de gravedad estará en la línea central entonces:

$$W_2 + W_4 = \frac{W}{2} \quad (15)$$

(Milliken & Milliken, 2003)

### 1.6.2 Altura del centro de gravedad

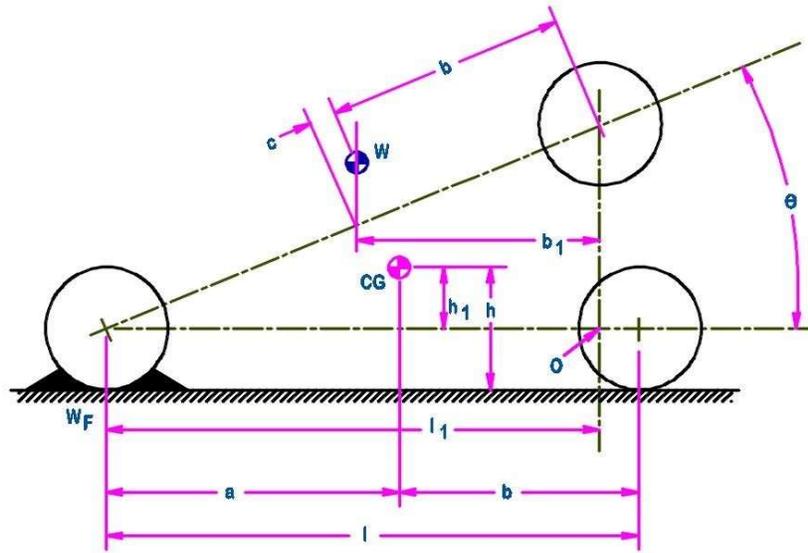
Para determinar la altura del centro de gravedad se requiere de nuevas mediciones luego de generar un ángulo del vehículo con el piso. Elevamos dos de las ruedas ambas deben mantener la misma distancia al piso y las dos que no estén elevadas deben estar igualmente niveladas entre ellas. Se debe tener mucha precaución al momento de elevar el vehículo para que este no se desplace. La suspensión debe ser lo más rígida posible idealmente los amortiguadores deben ser reemplazados por elementos rígidos

Toda carga que se pueda desplazar debe ser asegurada y el tanque de combustible debe estar completamente lleno o vacío.

**Tabla 2 Variables cálculo de la altura CG.**

*Fuente: Los autores.*

<b>NOMENCLATURA DE LAS VARIABLES.</b>	
<b>W</b>	Peso total de vehículo.
<b>WF1</b>	Peso delantero de vehículo con las ruedas posteriores elevadas
<b>B</b>	Distancia horizontal del eje posterior al centro de gravedad
<b>θ</b>	Angulo de elevación del vehículo
<b>ℓ</b>	Distancia entre ejes
<b>RLF</b>	Radio de neumático frontal
<b>RLR</b>	Radio de neumático frontal



**Figura 14 Localización Vertical del Centro de Gravedad.**  
**Fuente: (Milliken & Milliken, 2003) modificado por los autores.**

Así por trigonometría se establece que:

$$l_1 = l \cos \theta \quad (16)$$

Y al tomar momentos del punto, O

$$W_F l_1 = W b_1 \quad (17)$$

Por lo que

$$b_1 = \left( \frac{W_F}{W} \right) l \cos \theta \quad (18)$$

Entonces

$$\frac{b_1}{b + c} = \cos \theta \quad (19)$$

De esto se deduce que

$$c = \left( \frac{W_F}{W} l \right) - b \quad (20)$$

Si se aplica  $c/h_1 = \tan \theta$ , por lo que la expresión finalmente sería:

$$h_1 = \frac{W_F \ell - W_b}{W \tan \theta} \quad (21)$$

Nótese que  $h_1$  es la altura del centro de gravedad, sobre la línea que conecta la altura de las ruedas RL. Si RL es igual en ambas ruedas entonces.

$$h = R_L + h_1 \quad (22)$$

Si es diferente entonces.

$$R_{L\ CG} = R_{LF} \left( \frac{b}{\ell} \right) + R_{LR} \left( \frac{a}{\ell} \right) \quad (23)$$

Si RL es diferente entre las ruedas delanteras y posteriores, entonces el centro de gravedad es

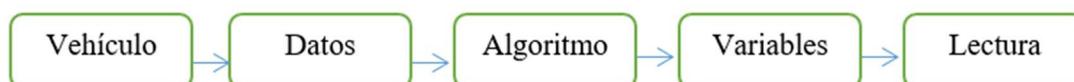
$$h = R_{L\ CG} + h_1 \quad (24)$$

(Milliken & Milliken, 2003)

## FASE 2

### DISEÑO DEL SISTEMA PARA DETERMINAR LAS CARGAS EJERCIDAS EN EL VEHÍCULO

El cálculo del centro de gravedad de los vehículos es la base para el estudio de los mismos, ya que de este depende su comportamiento bajo diferentes condiciones de conducción, permitiendo determinar el impacto de ciertas modificaciones y así analizar si estas resultan beneficiosas.



*Figura 15 Algoritmo del sistema de control.  
Fuente: Los autores.*

Para determinar el centro de gravedad el primer paso es medir los pesos individuales, ancho de vía, batalla, altura del vehículo y transferencia de pesos generada al elevar dos de las llantas del mismo lado o de un eje, luego mediante un proceso de cálculo se determina la ubicación y la altura del mismo.

El juego de balanzas automotrices que se utiliza son: Proform Vehicle Scale que permite conocer el peso total y el peso individual en cada eje, así como el porcentaje del peso distribuido. Se considera además que el peso total del eje delantero y posterior va a ser igual a la suma de los pesos individuales de los ejes delanteros y posteriores respectivamente, y que el peso total va a ser igual a la suma de los pesos individuales en cada eje.



**Figura 16** Juego de balanzas automotrices.  
**Fuente:** (Proform, 2016)

El centro de gravedad varía su ubicación ligeramente en función de la distribución de pesos que puede alterarse por variables como: número de pasajeros, ubicación y peso de los mismos, ubicación y peso de la carga, niveles de líquidos, debido a esto se debe aproximar este lo más posible a las condiciones normales de funcionamiento. Es necesario que la superficie en la que se va a trabajar este perfectamente nivelada para así evitar errores en la medición.

La transferencia de pesos se obtiene al elevar uno de los ejes de forma segura y se realiza las pruebas a diferentes alturas en varios tipos de vehículos con diferentes características, Se debe considerar que la relación entre la altura y la estabilidad del vehículo es inversamente proporcional, y la inestabilidad se incrementa exponencialmente con la altura.

Se eleva uno de los ejes utilizando cubos de madera con un espesor de 140mm con una altura inicial de 210mm hasta llegar a un máximo de 280mm.

## 2.2. Pruebas y cálculos a considerar para del diseño del algoritmo

En función método estudiado en la fase 1 se procede con el cálculo para la determinación del centro de gravedad, se toma en consideración que se promedian los valores obtenidos de  $h$  y se prueban a diferentes alturas. A continuación, se exponen los valores obtenidos en tres diferentes tipos de vehículos.

### 2.2.1 Mahindra - Pick Up - Hawk.

Vehículo tipo camioneta.

**Tabla 3 Datos Técnicos Mahindra Pick Up 2.2**

*Fuente: Los autores.*

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.	VALOR/UNIDAD
Ancho de vía	1770mm
Batalla	3015mm
Neumático	245/75 R16



**Figura 17 Pesaje Mahindra Pick 2.2**

*Fuente: Los autores.*

**Tabla 4 Datos variación de Pesos Mahindra Pick Up 2.2**

**Fuente: Los autores.**

<b>MAHINDRA 2.2 CABINA SIMPLE</b>					
<b>Altura [cm]</b>	<b>Delanteras [kg]</b>		<b>Posteriores [kg]</b>		<b>Peso T [Kg]</b>
	<b>Izquierda (Kg)</b>	<b>Derecha (Kg)</b>	<b>Izquierda (Kg)</b>	<b>Derecha (Kg)</b>	
<b>0</b>	530.50	499.00	409.00	232.50	1671.00
<b>7</b>	530.00	493.50	408.50	237.50	1669.50
<b>14</b>	518.50	492.50	410.50	246.00	1667.50
<b>21</b>	517.00	489.00	409.00	244.50	1659.50
<b>28</b>	511.00	488.50	413.50	248.50	1661.50

Los datos que se obtienen en la tabla, no considera la variación del peso causada por los efectos del desplazamiento de la suspensión; se mide la altura y el desplazamiento de la suspensión, esta es mínima al tratarse de un vehículo nuevo.

La variación del peso total en cada altura no se considera ya que se aplica únicamente el peso inicial en todos los casos. Con la ayuda de un elevador hidráulico de dos postes se procede a elevar el eje delantero asegurando el posterior con el freno de mano.



**Figura 18 Variación de altura para la generación de transferencia de pesos.**

**Fuente: Los autores.**

### 2.2.2. Chevrolet – Aveo 1.6 2016

Vehículo tipo sedán.

**Tabla 5 Datos técnicos Chevrolet Aveo 1.6 2012**

*Fuente: Los autores.*

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.	VALOR/ UNIDAD
Ancho de vía	1690mm
Batalla	2525mm
Llanta	185/60 R14

Para la medición de esta unidad se usará las mismas consideraciones anteriores.



**Figura 19 Variación de peso Chevrolet Aveo**

*Fuente: Los autores.*

**Tabla 6 Datos técnicos Chevrolet Aveo.**

*Fuente: Los autores.*

CHEVROLET AVEO					
Altura [cm]	Delanteras [kg]		Posteriores [kg]		Peso T [Kg]
	Izquierda (Kg)	Derecha (Kg)	Izquierda (Kg)	Derecha (Kg)	
0	332.00	529.00	338.50	315.00	1514.50
7	325.00	527.50	340.00	325.00	1517.50
14	316.00	527.00	347.50	327.00	1517.50
21	315.00	526.50	350.00	329.00	1520.50
28	311.00	521.00	352.50	334.50	1519.00

### 2.2.3. Fiat Uno 1.1

Vehículo tipo compacto.

**Tabla 7 Datos técnicos Fiat uno 1.1**

*Fuente: Los autores.*

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.	VALOR/ UNIDAD
Ancho de vía (delantero)	1340mm
Ancho de vía (posterior)	1300mm
Batalla	2360mm
Llanta	175/70 R13

**Tabla 8 Variación de Pesos Fiat Uno 1.1**

*Fuente: Los autores.*

FIAT UNO					
Altura [cm]	Delanteras [kg]		Posteriores [kg]		Peso T [Kg]
	Izquierda (Kg)	Derecha (Kg)	Izquierda (Kg)	Derecha (Kg)	
<b>0</b>	242.50	287.00	40.5	61.50	631.50
<b>7</b>	242.00	287.00	40.0	62.00	631.00
<b>14</b>	241.00	280.00	39.5	68.00	628.50
<b>21</b>	238.50	281.50	44.5	59.00	623.50
<b>28</b>	237.50	276.50	42.5	69.50	626.00



**Figura 20 Variación de pesos Fiat Uno 1.1.**

*Fuente: Los autores.*

### 2.3 Cálculo y análisis de resultados

Aplicando la formulas de la fase 1 y generando transferencia de pesos a diferentes alturas se obtienen las coordenadas del centro de gravedad ( $b$ = eje  $y$ , medida desde el centro de la rueda posterior,  $c$ = eje  $x$  medida desde la rueda izquierda hacia el centro de gravedad y  $h$  la altura del centro de gravedad medida desde el piso hasta el centro de gravedad), los resultados se exponen en la siguiente tabla.

**Tabla 9 Resultados obtenidos en el cálculo del CG a diferentes alturas**  
Fuente: Los autores.

<b>Alturas</b>	<b><math>b</math></b>	<b><math>c</math></b>	<b><math>h</math></b>	<b>Promedio <math>h</math></b>
<b>Mahindra Pick Up 2.2</b>				
7	774.8384	1857.536	419.1152	430.116275
14	774.8384	1857.536	418.2345	
21	774.8384	1857.536	434.3182	
28	774.8384	1857.536	448.7972	
<b>Chevrolet Aveo 1.6</b>				
7	738.8282	1978.812	335.008	405.04665
14	738.8282	1978.812	381.3201	
21	738.8282	1978.812	429.8269	
28	738.8282	1978.812	474.0316	
<b>Fiat Uno 1.1</b>				
7	941.8026	1435.474	301.3126	313.256675
14	941.8026	1435.474	309.5166	
21	941.8026	1435.474	317.5788	
28	941.8026	1435.474	324.6187	

Como se observa en la tabla, los resultados del cálculo en el eje  $x$  y  $y$ , no varían, sin embargo, la altura del centro gravedad cambia a medida que se genera la transferencia de pesos a diferentes alturas; el método de cálculo aplicado, recomienda realizar estas pruebas y promediar el resultado de la altura  $h$  del centro de gravedad.

### 2.3. Algoritmo para el sistema de control del centro de gravedad y transferencia de pesos

Para determinar el algoritmo a utilizar, en el cálculo del centro de gravedad se utilizará las ecuaciones explicadas anteriormente. Como primer paso se determinará las variables y constantes a utilizar, el algoritmo, y posteriormente en el programa.

#### 2.3.1. Variables

Se dividirá las variables entre: las que el usuario debe ingresar, aquellas que se determinarán mediante el programa y las que se nos darán los resultados.

##### 2.3.1.1. Variables a ingresar por el usuario

**Tabla 10 Variables del programa.**

*Fuente: Los autores.*

<b>NOMENCLATURA DE LAS VARIABLES.</b>	
<b>W1</b>	Valor de peso en la llanta delantera izquierda en kilogramos (FL).
<b>W2</b>	Peso en kilogramos en la llanta delantera derecha (FR).
<b>W3</b>	Peso en kilogramos en la llanta posterior izquierda (RL).
<b>W4</b>	Peso en kilogramos en la llanta posterior derecha (RR).
<b>W1e</b>	Peso en kilogramos en la llanta posterior izquierda con el vehículo elevado 70mm (RL).
<b>W2e</b>	Peso en kilogramos en la llanta posterior derecha con el vehículo elevado 70mm (RR).
<b>W1e2</b>	Peso en kilogramos en la llanta posterior izquierda con el vehículo elevado 140mm (RL).
<b>W2e2</b>	Peso en kilogramos en la llanta posterior derecha con el vehículo elevado 140mm (RR).
<b>W1e3</b>	Peso en kilogramos en la llanta posterior izquierda con el vehículo elevado 210mm (RL).
<b>W2e3</b>	Peso en kilogramos en la llanta posterior derecha con el vehículo elevado 210mm (RR).
<b>tf</b>	Es el valor en milímetros del ancho de vía delantero.
<b>tr</b>	Es el valor en milímetro del ancho de vía posterior.
<b>L</b>	Es la batalla del vehículo en milímetros.

Los valores de peso se muestran en la pantalla del display del conjunto de balanzas y es el usuario el encargado de ingresar los valores en la pantalla de la computadora, las mediciones se realizan inicialmente con todas las llantas niveladas y luego con una elevación de las llantas posteriores dado por las rampas, las medidas de la longitud del vehículo deben ser medidas o extraídos del catálogo del fabricante

### 2.3.1.2. Variables de resultados

Las variables que se van a utilizar en los resultados son tres correspondientes a cada uno de los ejes en el espacio ortogonal.

**Tabla 11 Coordenadas del CG.**  
**Fuente: Los autores.**

<b>NOMENCLATURA DE COORDENADAS.</b>	
<b><i>a</i></b>	Es la distancia del centro de la rueda a la coordenada del centro de gravedad en el eje x.
<b><i>b</i></b>	Es la distancia del centro de la rueda a la coordenada y del centro de gravedad.
<b><i>h</i></b>	Es la altura de centro de gravedad desde el piso.

### 2.3.1.3. Variables utilizadas en el cálculo

Para fines de cálculo se utilizarán una serie de variables intermedias estas pueden variar entre el algoritmo y el programa en función de los requerimientos de cada uno.

### 2.3.2. Cálculos a utilizar

Para el programa se utilizará el algoritmo completo que permite el cálculo con un ancho de vía diferente en el eje delantero y el posterior, para el cálculo final se utilizará los siguientes valores.

### 2.3.2.1. Peso de eje frontal ( $W_f$ )

Para obtener el peso del eje frontal se sumarán los valores las llantas delanteras antes de elevarlo o se los valores de  $W_1$  y  $W_2$ .

$$W_f = W_1 + W_2 \quad (25)$$

### 2.3.2.2. Peso de eje posterior ( $W_r$ )

El peso del eje posterior será entonces la suma de los pesos de las llantas posteriores.

$$W_r = W_3 + W_4 \quad (26)$$

### 2.3.2.3. Peso total ( $W$ )

El peso total puede ser tanto la suma de todos los pesos, como la suma de los pesos de ambos ejes, en función de las facilidades del programa.

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 = W_f + W_r \quad (27)$$

### 2.3.2.4. Vía promedio ( $d$ )

Es la suma de la vía frontal y posterior dividida sobre dos.

$$d = (t_f - t_r)/2 \quad (28)$$

### 2.3.2.5. Peso del eje posterior elevado ( $W_{f2}$ )

La altura del centro de gravedad se determinará por la variación de los pesos medidos posterior a la elevación del eje posterior.

$$W_{f2} = W_{1e} + W_{2e} \quad (29)$$

Este procedimiento se repetirá en tres valores para promediarlo valiéndose de las variables:

$W_{1e2}$ ,  $W_{2e2}$ ,  $W_{1e3}$  y  $W_{2e3}$ .

### 2.3.2.6. Desviación del eje central al centro de gravedad en el eje x (doble y)

Este nos da la distancia en y, al eje central.

$$doble\ y = ((W2 / W) * (tf - d)) - ((W1/W) * d) + ((W4 * tr) / W) - (tr / 2) \quad (30)$$

### 2.3.2.7. Distancia del centro del neumático al centro de gravedad en el eje x (c)

Este será uno de los resultados que nos da la coordenada en X del centro de gravedad resultado esta medido desde el centro de la llanta delantera derecha hacia el interior del vehículo figura 13.

$$c = (tf / 2) + doble\ y \quad (31)$$

### 2.3.2.8. Distancia del centro del neumático al centro de gravedad en el eje y (a)

Es la distancia en el eje y, del centro de gravedad medido desde la llanta posterior hacia el centro del vehículo.

$$b = ((Wf * L) / W) \quad (32)$$

$$a = L - b \quad (33)$$

### 2.3.2.9. Altura del centro de gravedad desde el centro de la llanta (h1)

Este valor permite hallar la altura del centro de gravedad desde el centro del eje delantero.

$$h1 = ((b - (L * (Wf2 / W))) * \cotan \theta) + h2 \quad (34)$$

Para determinar la altura del centro de gravedad se utilizarán las variables utilizadas anteriormente adicionando la altura al eje que es equivalente al radio de la llanta.

### 2.3.2.10. Radio de la llanta ( $h_2$ )

El método para calcular la altura de centro de gravedad desde el centro de la llanta se basa en usar la nomenclatura del neumático en el que se especifican tanto las dimensiones, como las condiciones de funcionamiento, tipo, etc.

La nomenclatura en algunos casos inicia con la letra P, esta corresponde a neumáticos que son únicamente para uso temporal, a continuación, es un número que corresponde al ancho del neumático en milímetros, seguido de una barra oblicua que indica el aspecto, la relación porcentual entre la altura y el ancho del neumático, por ejemplo, si el número es 70 quiere decir que la altura es 70% del ancho de la llanta y seguido de la letra R antes del diámetro del rin en pulgadas.

El programa ofrece dos opciones, la primera permite al usuario ingresar el valor del radio si este es conocido o su caso usar el radio dinámico, y la segunda opción es calcular el radio en función de la nomenclatura, las variables a utilizar se detallan a continuación.

**Tabla 12 Variables descriptivas.**

*Fuente: Los autores.*

<b>NOMENCLATURA DE LAS VARIABLES.</b>	
<b><i>x</i></b>	Ancho del neumático.
<b><i>y</i></b>	Relación de aspecto.
<b><i>z</i></b>	Ancho del rin en pulgadas.
<b><i>a</i></b>	Porcentaje de la relación de aspecto.
<b><i>b</i></b>	Alto de la llanta.
<b><i>c</i></b>	Radio del rin.
<b><i>d</i></b>	Radio de la llanta.

Para el cálculo inicialmente se divide la relación de aspecto sobre 100.

$$a = y / 100 \quad (35)$$

A continuación, se halla la altura al multiplicar el valor obtenido anteriormente por el ancho.

$$b = x * a \quad (36)$$

Se transforma el valor del diámetro del rin a milímetros al multiplicar el valor en pulgadas por 25,4, el radio se obtiene al dividir el valor obtenido para 2.

$$c = (z * 25,4) / 2 \quad (37)$$

Finalmente se suma el radio del rin a la altura de la llanta para obtener el radio de la llanta.

$$d = b + c \quad (38)$$

Este valor será usado para el cálculo final de la altura del centro de gravedad.

#### 2.3.2.11. *Altura del centro de gravedad (h)*

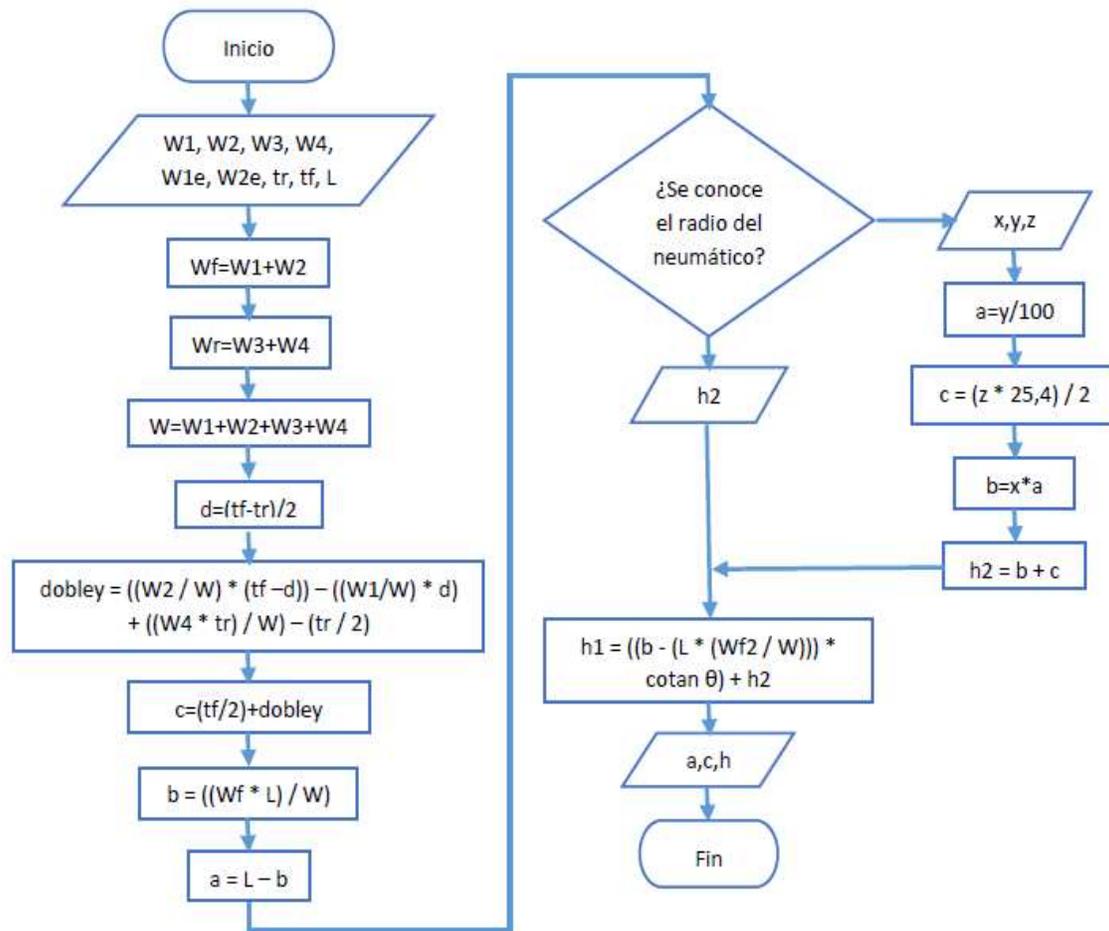
La altura del centro de gravedad es entonces el valor calculado anteriormente más el radio de la llanta.

$$h = h1 + h2. \quad (39)$$

El cálculo se repite tres veces y finalmente se promedia y se obtienen las tres coordenadas del centro de gravedad.

#### 2.3.3. *Diagrama de flujo*

Un diagrama de flujo es la representación gráfica de un proceso para el caso en estudio se elaborará un diagrama de flujo, usando las variables anteriores.



**Figura 21 Diagrama de flujo.**  
Fuente: Los autores.

### 2.3.4. Programa

Se utilizará Visual Studio en el que la programación se basa en objetos y permite crear programas ejecutables en Windows.

#### 2.3.4.1. Ventana 1, ingreso de peso

Se solicita el ingreso de los valores de peso de cada llanta de los valores obtenido en la medición.

 **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR**

**Ingrese el peso ejercido en cada balanza:**

FR  kg RR  kg



FL  kg RL  kg

NOTA: Los valores ingresados deben estar en kilogramos.

**Figura 22 Ventana de ingreso de peso ejercido en cada balanza.**  
**Fuente: (Lotus, 2016) modificado por los autores.**

 **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR**

**Ingrese el peso de cada llanta:**

FR  kg RR  kg



FL  kg RL  kg

NOTA: Los valores ingresados deben estar en kilogramos.

**Figura 24 Ventana de ingreso de pesos.**  
**Fuente: (Lotus, 2016) modificado por los autores**

Adicionalmente, se dispone de dos botones uno para salir y otro que almacena los datos en una variable y nos permite acceder a la siguiente ventana.2.3.4.2. Ventana 2, dimensiones del vehículo

En esta ventana se ingresan la batalla y anchos de vía frontal y posterior, se dispone de tres botones, anterior que nos permite volver a la pantalla anterior, salir y el botón siguiente que almacena los datos ingresados y permite continuar a la siguiente página, tras mostrar un mensaje de elevar el vehículo.



The image shows a web form titled "Ingrese las dimensiones del vehículo." (Enter the vehicle dimensions). The form is part of a system from the "UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR". It features a central top-down view of a car with three measurement lines: a front track width line, a rear track width line, and a wheelbase line. Each line is associated with a text input field and the unit "mm". The labels are "Ancho de vía frontal", "Ancho de vía posterior", and "Batalla". Below the car image, there is a note: "NOTA: Recuerde que las medidas se deben tomar desde el centro de cada llanta, los valores se deben ingresar en milímetros." (NOTE: Remember that the measurements should be taken from the center of each wheel, the values should be entered in millimeters). At the bottom right, there are three buttons: "Anterior" (Previous), "Siguiete" (Next), and "Cerrar" (Close).

**Figura 23 Ingreso de batalla y ancho de vía posterior y frontal.**  
**Fuente: (Lotus, 2016) modificado por los autores.**

#### 2.3.4.3. Ventana 3, peso del eje posterior con el vehículo elevado

Esta medición se realiza posterior a la elevación del eje delantero y se ingresa el peso del eje posterior a las diferentes elevaciones 140mm, 210mm y 280mm, lo que se indica en cada una de las ventanas. Los botones son los mismos usados en la ventana anterior.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR

Ingrese los pesos con el vehículo elevado a 140mm.

RR  kg

RL  kg

Anterior Siguiete Cerrar

**Figura 24 Ingreso de pesos posterior a la elevación.**  
**Fuente: (Lotus, 2016) modificado por los autores.**

#### 2.3.4.4. Ventana 4, radio del neumático.

En esta ventana se puede ingresar el radio dinámico del neumático si el dato se conoce, si no se dispone de este existe la opción “calcular” que permite acceder a una ventana adicional en la que se puede ingresar la nomenclatura del neumático recomendado para cálculos rápidos.

Además de esto se cuenta con los botones, “anterior”, “siguiete” y “salir”, siendo ambas opciones validas en función de los requerimientos del usuario.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR

Altura al centro de la llanta.



Ingrese el radio dinámico

 mm  
 o  


**Figura 26 Radio del neumático.**  
**Fuente: (Lotus, 2016) modificado por los autores**

#### 2.3.4.5. Ventana 5, Cálculo del radio del neumático.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR

Calculo de la altura al centro de la llanta.



/  R

**Figura 25 Cálculo del radio del neumático.**  
**Fuente: (Lotus, 2016) modificado por los autores.**

Esta es una ventana opcional a la que se accede a través del botón calcular, permite ingresar la nomenclatura del neumático, adicional al botón volver, el botón aceptar almacena los datos y calcula el radio de este.

#### 2.3.4.6. Ventana 6, resultados

Esta ventana despliega los resultados automáticamente al abrirse, dispone además del botones anterior y salir.



**Figura 27 Ubicación del centro de gravedad.**  
**Fuente: (Lotus, 2016) modificado por los autores.**

Se debe considerar que los datos deben ingresarse en las unidades adecuadas, mm para las medidas de longitud y kg que es una de las opciones disponibles en las balanzas.

## **FASE 3**

### **CONSTRUCCIÓN DEL BANCO PARA LA DETERMINACIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD**

Se analiza una opción viable y practica para el montaje de las balanzas para el proceso de pesado del vehículo; el sistema garantiza una medición precisa permitiendo la fácil operación y cuidado de la integridad del equipo.

Durante esta fase se describen las partes de las que está constituido el equipo, los cuidados que se debe tener en el proceso, además de los pasos a seguir en el caso de que el equipo llegara a desprogramarse.

#### **3.1. Descripción del equipo a utilizar proform vehicle Scale**

A continuación, el detalle de la constitución física del equipo.

##### *3.1.1. Principales características y partes*

1. Cuatro almohadillas de pesaje y la unidad de visualización LCD.
2. Cada almohadilla de pesaje tiene una capacidad máxima de 1250 libras (567 kg.)
3. La unidad de pantalla LCD funciona con cuatro pilas AA (incluidas).
4. La pantalla LCD indica el porcentaje (%) de peso de cada rueda respecto al total del vehículo.
5. La exhibición del LCD indica
  1. Cargas del porcentaje del peso cruzado,
  2. Cargas de porcentaje de lado a lado, y
  3. Cargas de porcentaje de peso de adelante a atrás.

6. Muestra las medidas en libras o en kg para cada rueda y el peso total del vehículo.

7. La pantalla LCD indica el nivel de la batería.



**Figura 29 Pantalla LCD del equipo Proform Vehicle Scale.**  
Fuente: Los autores.



**Figura 28 Equipo de pesaje Proform Scale.**  
Fuente: (Proform., 2016)

Al momento de realizar el conexionado del equipo hay que tomar en cuenta la muesca que disponen cada uno de los conectores, estos deben encajar correctamente entre macho y hembra.



**Figura 30 Conector macho equipo Proform Scale.**  
**Fuente (Proform., 2016)**

Las almohadillas de pesaje se identifican por colores al igual que los cables para cada una de las ruedas.



**Figura 31 Identificación de los cables mediante colores Equipo Proform Scale**  
**Fuente: (Proform., 2016)**

A continuación, se realizan pruebas en diferentes tipos de vehículos.

### 3.1.2 Proceso para la calibración del sistema

Se colocan las cuatro almohadillas de pesaje en una superficie completamente nivelada.

2. Asegurarse que el interruptor de la batería esté en la posición ON y luego encienda la pantalla LCD.

3. Con los botones TARE y Kg / lb presionados, encender la pantalla LCD presionando el botón ON / OFF hasta que "cal" aparece en la posición superior derecha de la pantalla LCD. Soltar y presionar el botón ON / OFF hasta que "cal" cambie a lectura numérica y suelte todos los botones una vez que se haya logrado.

4. Presionar y soltar el botón Kg / lb. la pantalla debe mostrar "RST" y luego "OK", indicando que los datos anteriores han sido eliminados. Si la pantalla sólo muestra "RST" y no muestra "OK", apague la batería, volver a encender y repetir el paso 3.

5. Espere 10 segundos, luego presione lentamente y suelte el botón TARE para poner a cero las lecturas.

6. Colocar 550 libras en la almohadilla FL, esperar 10 segundos para que se estabilice.

7. Mantener presionado el botón Kg / lb lentamente y luego presionar y soltar lentamente el botón TARE varias veces hasta que aparezca "cal15" en la esquina superior derecha. Soltar el botón Kg / lb, y "cal15" cambiará a "OK". Esto significa que la almohadilla FL registró las 550 libras, y la calibración de la almohadilla FL es completa.

8. Colocar 550 libras. En la almohadilla FR, espere 10 segundos para que se estabilice.

9. Repetir el paso 7 hasta que aparezca "cal25". Cuando aparece "OK", esto significa que la almohadilla FR registró las 550 libras, y la calibración de la almohadilla FR está completa.

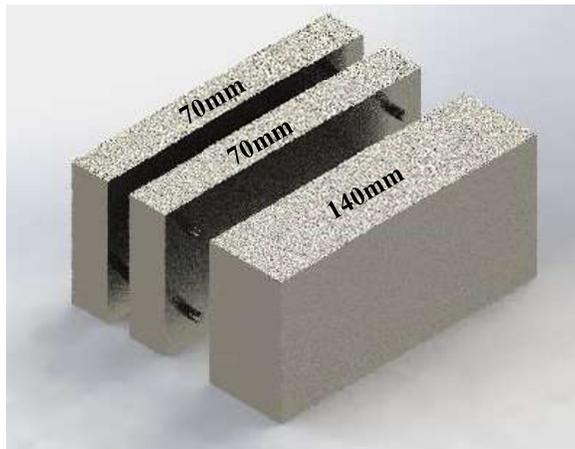
10. Colocar 550 libras en la almohadilla RL y esperar 10 segundos para que se estabilice.
11. Repetir el paso 7 hasta que aparezca "cal35". Cuando aparece "OK", esto significa que la almohadilla RL registró las 550 libras y la calibración de la almohadilla RL está completa.
12. Colocar 550 libras en la almohadilla RR y esperar 10 segundos para que se estabilice.
13. Repetir el paso 7 hasta que aparezca "cal45". Cuando aparece "OK", significa que la almohadilla RR registró las 550 libras, y la calibración de la almohadilla RR está completa.
14. Retirar los pesos de la almohadilla, para que la escala vuelva a "0", luego apague la pantalla LCD presionando el botón ON / OFF.
15. Vuelva a encender la pantalla LCD y compruebe cada almohadilla para asegurarse de que pesa un peso conocido correctamente (es decir pesarse a sí mismo).

### **3.2. Descripción del banco para las pruebas en vehículo**

A continuación los requisitos previos y la descripción para la operación del banco de pruebas.

- Utilizar el equipo de seguridad adecuado: overol o mandil, zapatos con punta de acero, gafas y casco.
- Alzas de madera estandarizadas con una medida que permita soportar el área de contacto del neumático cuyas medidas son: 70mm x 240mm x 500mm, su construcción es de madera y se encuentran ensambladas de tal forma que cumplen las medidas descritas.

Cada una de ellas contiene centros que ayudan a prevenir el desplazamiento al colocar una sobre otra.



**Figura 32 Bases para la generación de transferencia de pesos.**  
**Fuente: Los autores.**

Elevador de 2 postes con una capacidad mínima de 2000 kg. Al hacer uso de este hay que tener cuidado en su manipulación ya que al inclinar el vehículo se utiliza únicamente 2 brazos.

En su lugar se puede aplicar un gato hidráulico que permita levantar la parte delantera del vehículo al menos 400 mm de la superficie de contacto la llanta al piso.



**Figura 33 Colocación de balanzas con elevador hidráulico de 2 postes.**  
**Fuente: Los autores.**



**Figura 34 Gato hidráulico aplicado para las pruebas en el FSAE**  
**Fuente: Los autores.**

- La Superficie para la medición debe ser nivelada y libre de fluidos que pueden comprometer la seguridad del operador y la integridad del equipo.



**Figura 35 Colocación de la balanza sobre alzas en una superficie nivelada.**  
**Fuente: Los autores.**

- Disponer de una computadora con el software instalado para el cálculo del centro de gravedad explicados en el capítulo 2.
- Balanzas automotrices.

- Datos técnicos del vehículo o realizar la medición directa.

### **3.3. Protocolo para el cálculo CG.**

- Establecer las condiciones de carga en operación tales como número de pasajeros, tipo de suspensión, nivel de fluidos, tipo de neumático, rin, cargas adicionales, etc.

Nota: Si el tanque de combustible se encuentra lleno o vacío la medición será más exacta.

- Realizar las mediciones del ancho de vía delantero y posterior, la batalla y el radio dinámico de la rueda; el programa permite ingresar la nomenclatura del neumático para obtener un valor directo.

Se puede también usar el manual del fabricante del vehículo.

- Ejecutar la medición inicial de pesos sin elevar el vehículo.
- Elevar el vehículo a: 140mm, 210mm y 280mm; utilizando las alzas de madera.
- Ingresar cada uno de los valores obtenidos del eje posterior (RL y RR) en las balanzas automotrices, generadas por la transferencia de pesos a diferentes alturas e insertar en el software del cálculo de centro de gravedad.
- Visualizar los resultados obtenidos por el software.
- En todo el proceso tener cuidado de las sondas de comunicación de las balanzas al módulo de visualización Proform.

## FASE 4

### PRUEBAS EN DIFERENTES VEHÍCULOS PARA LA VALIDACIÓN DEL PROYECTO.

En el desarrollo de esta fase se realiza un análisis comparativo de diferentes pruebas realizadas a cinco diferentes vehículos con 15 muestras de cada uno para el análisis y comparación de los resultados obtenidos. Las mediciones son estáticas y se realizarán con una persona en el asiento del conductor.

#### 4.1 Mediciones en los vehículos.

Se seguirá el procedimiento planteado en la fase 2; los resultados obtenidos se ingresan en el programa diseñado, mismos que se detallan a continuación.

##### 4.1.1. Vehículo Fórmula SAE.

Las medidas de la geometría a ingresar en el programa para el cálculo se obtienen mediante medición y observación directa y se exponen en la siguiente tabla.

**Tabla 13 Dimensiones FSAE para el cálculo.**  
**Fuente: Los autores.**

MEDIDA	VALOR
Ancho de vía delantero	1370.00
Ancho de vía posterior	1350.00
Batalla	1480.00
Radio dinámico	272.60

A continuación, se muestran cada una de las mediciones y los resultados obtenidos mediante las balanzas, generando una transferencia de peso al elevar el eje delantero a 140mm, 210mm y 280mm se obtiene.

**Tabla 14 Pesaje 1, vehículo FSAE.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	1
0	107.50	125.50	93.00	150.50	
140	106.50	127.00	102.50	154.00	
280	106.50	122.50	105.50	157.50	

**Tabla 15 Cálculo 1, CG de FSAE.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	791.51
Eje (Y)	722.94
Eje (Z)	260.31

**Tabla 16 Pesaje 2, FSAE.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	2
0	106.50	134.50	102.50	150.50	
140	160.00	129.50	103.00	154.50	
280	104.50	125.00	108.50	154.50	

**Tabla 17 Cálculo 2, CG de FSAE.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	789.41
Eje (Y)	722.02
Eje (Z)	264.30

**Tabla 18 Pesaje 3, FSAE.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	3
0	103.00	138.50	108.50	144.50	
140	102.00	135.00	108.50	151.50	
280	106.50	126.00	104.00	156.50	

**Tabla 19 Cálculo 3, CG de FSAE.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	783.32
Eje (Y)	722.79
Eje (Z)	264.55

**Tabla 20 Pesaje 4, FSAE.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	4
0	102.00	137.50	106.00	146.00	
140	107.50	128.00	99.50	158.00	
210	105.50	127.50	103.00	158.00	
280	103.00	131.00	104.50	151.00	

**Tabla 21 Cálculo 4, CG de FSAE.***Fuente: Los autores.*

CENTRO DE GRAVEDAD (mm)	
Eje (X)	789.41
Eje (Y)	721.18
Eje (Z)	264.7

**Tabla 22 Pesaje 5, FSAE.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	5
0	104.50	136.50	105.50	148.50	
140	103.00	134.00	107.00	150.50	
210	104.50	129.50	104.00	155.00	
280	103.50	128.00	109.50	153.50	

**Tabla 23 Cálculo 5, CG de FSAE.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	787.92
Eje (Y)	720.57
Eje (Z)	265.2

**Tabla 24 Pesaje 6, FSAE.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	6
0	104.50	137.00	106.50	150.00	
140	106.00	131.00	103.50	156.50	
280	106.00	127.50	102.50	160.00	

**Tabla 25 Cálculo 6, CG de FSAE.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	788.66
Eje (Y)	717.71
Eje (Z)	264.08

**Tabla 26 Pesaje 7, FSAE.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	7
0	107.00	137.00	103.50	151.50	
140	107.50	130.50	101.50	158.00	
280	106.00	126.50	104.00	163.00	

**Tabla 27 Cálculo 7, CG de FSAE.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	791.1
Eje (Y)	723.69
Eje (Z)	264.64

**Tabla 28 Pesaje 8, FSAE.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	8
0	108.50	132.50	102.50	154.00	
140	107.50	130.00	102.00	158.50	
280	108.00	127.00	102.50	160.00	

**Tabla 29 Cálculo 8, CG de FSAE.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	789.09
Eje (Y)	718.48
Eje (Z)	264.04

**Tabla 30 Pesaje 9, FSAE.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	9
0	108.50	135.00	102.50	153.50	
140	106.50	133.50	106.00	155.00	
210	106.00	131.00	107.00	157.50	
280	108.50	126.00	102.50	161.00	

**Tabla 31 Cálculo 9, CG de FSAE.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	790.26
Eje (Y)	721.48
Eje (Z)	264.18

**Tabla 32 Pesaje 10, FSAE.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	10
0	107.00	136.00	104.50	151.50	
140	104.50	135.00	109.50	153.50	
210	104.50	133.00	109.00	154.50	
280	109.50	126.50	100.00	162.50	

**Tabla 33 Cálculo 10, CG de FSAE.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	788.39
Eje (Y)	720.72
Eje (Z)	264.1

**Tabla 34 Pesaje 11, FSAE.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	11
0	105.00	136.00	105.00	148.00	
140	103.00	134.50	106.50	150.00	
210	104.50	129.50	104.50	149.50	
280	103.50	128.00	110.00	153.00	

**Tabla 35 Cálculo 11, CG de FSAE.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	787.96
Eje (Y)	720.57
Eje (Z)	265.05

**Tabla 36 Pesaje 12, FSAE.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	12
0	107.00	125.00	94.40	150.50	
140	106.00	127.00	102.00	154.50	
210	105.00	125.00	106.50	155.00	
280	106.50	122.00	106.00	157.00	

**Tabla 37 Cálculo 1, CG de FSAE.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	790.09
Eje (Y)	719.83
Eje (Z)	259.64

**Tabla 38 Pesaje 13, FSAE.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	13
0	104.00	137.00	105.00	149.00	
140	103.50	134.00	106.50	150.50	
210	104.00	130.00	104.50	154.50	
280	103.00	128.00	109.00	154.00	

**Tabla 39 Cálculo 13, CG de FSAE.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	790.67
Eje (Y)	720.57
Eje (Z)	264.29

**Tabla 40 Pesaje 14, FSAE.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	14
0	106.00	134.50	103.00	150.00	
140	106.00	130.00	104.00	154.50	
210	106.00	127.00	103.00	155.00	
280	104.50	125.00	108.50	154.00	

**Tabla 41 Cálculo 14, CG de FSAE.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	789.42
Eje (Y)	720.53
Eje (Z)	264.15

**Tabla 42 Pesaje 15, FSAE.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	15
0	107.00	135.50	105.00	151.00	
140	105.00	135.50	109.00	153.00	
210	104.50	133.00	109.50	154.00	
280	109.00	126.50	108.00	157.00	

**Tabla 43 Cálculo 15, CG de FSAE.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	786.45
Eje (Y)	719.96
Eje (Z)	264.07

#### 4.1.2. Hyundai Accent 2002.

Las medidas de este vehículo son:

**Tabla 44 Dimensiones Hyundai Accent para el cálculo.**

*Fuente: Los autores.*

MEDIDA	VALOR
Ancho de vía delantero	1670.00
Ancho de vía posterior	1670.00
Batalla	2240.00
Radio dinámico calculado	287.60

Los resultados de las mediciones y cálculos, se muestran en las siguientes tablas.

**Tabla 45 Pesaje 1, Hyundai Accent.**

*Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	1
0	341.00	535.00	363.00	347.50	
140	339.50	526.00	364.50	357.50	
210	337.00	521.00	368.50	361.00	
280	334.50	519.50	370.00	366.50	

**Tabla 46 Cálculo 1, CG de Hyundai Accent.**

*Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	928.71
Eje (Y)	1237.23
Eje (Z)	306.92

**Tabla 47 Pesaje 2, Hyundai Accent.**

*Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	2
0	343.50	529.50	360.00	353.50	
140	340.00	527.00	365.50	358.50	
210	338.00	519.50	373.50	356.00	
280	335.00	520.00	371.00	364.00	

**Tabla 48 Cálculo 2, CG de Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	929.47
Eje (Y)	1232.6
Eje (Z)	306.53

**Tabla 49 Pesaje 3, Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	3
0	341.50	536.50	363.00	348.50	
140	339.00	528.00	366.00	357.00	
210	337.00	523.50	369.50	361.00	
280	333.50	520.00	374.50	362.50	

**Tabla 50 Cálculo 3, CG de Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	929.82
Eje (Y)	1237.32
Eje (Z)	307.03

**Tabla 51 Pesaje 4, Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	4
0	344.50	531.00	362.00	349.00	
140	340.00	524.00	368.00	356.50	
210	334.50	524.00	369.00	360.50	
280	334.50	518.00	378.50	357.50	

**Tabla 52 Cálculo 4, CG de Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	926.16
Eje (Y)	1236.13
Eje (Z)	306.79

**Tabla 53 Pesaje 5, Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	5
0	342.50	528.00	360.50	338.00	
140	338.00	522.50	367.50	350.50	
210	335.00	519.00	371.00	352.00	
280	331.50	518.00	377.00	353.50	

**Tabla 54 Cálculo 5, CG de Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	921.75
Eje (Y)	1242.78
Eje (Z)	307.15

**Tabla 55 Pesaje 6, Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	6
0	342.00	526.00	361.00	343.00	
140	337.50	521.00	366.00	350.00	
210	335.50	519.00	369.50	351.00	
280	330.00	518.50	378.00	349.50	

**Tabla 56 Cálculo 6, CG de Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	923.17
Eje (Y)	1236.85
Eje (Z)	307.13

**Tabla 57 Pesaje 7, Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	7
0	342.50	528.00	360.00	338.50	
140	330.00	522.50	366.50	350.50	
210	335.00	519.00	370.50	352.00	
280	331.00	518.00	377.50	353.50	

**Tabla 58 Pesaje 7, Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	922.28
Eje (Y)	1242.78
Eje (Z)	307.17

**Tabla 59 Pesaje 8, Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	8
0	342.00	525.50	361.00	342.50	
140	337.50	510.50	366.00	350.00	
210	335.00	519.50	371.00	352.00	
280	332.50	516.50	375.00	353.50	

**Tabla 60 Cálculo 8, CG de Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	922.7
Eje (Y)	1236.92
Eje (Z)	306.9

**Tabla 61 Pesaje 9, Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	9
0	341.00	536.50	363.50	348.50	
140	337.50	523.00	368.00	350.00	
210	337.50	523.50	370.00	360.50	
280	334.50	518.00	378.50	357.50	

**Tabla 62 Cálculo 9, CG de Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	922.82
Eje (Y)	1236.62
Eje (Z)	307.38

**Tabla 63 Pesaje 10, Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	10
0	341.50	536.00	361.50	349.00	
140	337.50	523.00	368.00	350.00	
210	337.00	523.50	370.00	361.00	
280	334.00	518.50	379.00	357.00	

**Tabla 64 Cálculo 10, CG de Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	930.7
Eje (Y)	1237.78
Eje (Z)	307.17

**Tabla 65 Pesaje 11, Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	11
0	342.00	525.50	361.50	343.50	
140	358.00	520.00	366.00	350.50	
210	335.00	519.00	370.00	351.00	
280	332.00	517.00	375.00	353.00	

**Tabla 66 Cálculo 11, CG de Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	922.88
Eje (Y)	1235.74
Eje (Z)	306

**Tabla 67 Pesaje 12, Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	12
0	342.50	535.50	363.50	347.50	
140	338.00	522.50	367.50	350.00	
210	334.50	521.00	373.50	349.50	
280	330.50	520.00	378.50	350.00	

**Tabla 68 Cálculo 12, CG de Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	928.01
Eje (Y)	1237.71
Eje (Z)	308.03

**Tabla 69 Pesaje 13, Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	13
0	341.50	533.00	362.00	339.00	
140	339.00	523.00	363.00	351.00	
210	336.00	520.50	368.00	354.00	
280	332.50	518.50	372.50	355.00	

**Tabla 70 Cálculo 13, CG de Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	924.3
Eje (Y)	1242.34
Eje (Z)	307.95

**Tabla 71 Pesaje 14, Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	14
0	342.00	535.50	361.50	341.00	
140	339.00	520.00	366.00	350.50	
210	335.00	519.00	370.00	351.00	
280	335.00	520.00	378.50	349.50	

**Tabla 72 Cálculo 14, CG de Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	926.43
Eje (Y)	1244.05
Eje (Z)	308.23

**Tabla 73 Pesaje 15, Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	15
0	341.50	536.50	362.50	349.00	
140	340.00	524.00	368.00	356.50	
280	331.00	518.00	377.00	353.50	

**Tabla 74 Cálculo 15, CG de Hyundai Accent.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	930.35
Eje (Y)	1237.32
Eje (Z)	307.41

#### 4.1.3. Grand Vitara 5p, 2001.

En el cálculo se usarán las medidas tomadas en el vehículo el radio de la llanta se calcula en base a la nomenclatura.

**Tabla 75 Dimensiones Grand Vitara 5p, para el cálculo.***Fuente: Los autores.*

MEDIDA	VALOR
Ancho de vía delantero	1780.00
Ancho de vía posterior	1780.00
Batalla	2240.00
Radio dinámico calculado	344.20

Los resultados de las mediciones y cálculos, se muestran en las siguientes tablas.

**Tabla 76 Pesaje 1, Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	1
0	390.00	594.50	517.50	554.50	
140	387.50	583.00	517.00	572.00	
280	381.00	576.00	518.00	588.50	

**Tabla 77 Cálculo 1, CG de Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	994.51
Eje (Y)	1187.24
Eje (Z)	332.358

**Tabla 78 Pesaje 2, Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	2
0	393.50	591.00	512.00	559.00	
140	389.50	582.00	512.00	578.00	
210	386.00	576.50	509.50	588.50	
280	381.00	574.00	517.00	590.00	

**Tabla 79 Cálculo 2, CG de Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	995.86
Eje (Y)	1187.82
Eje (Z)	332.32

**Tabla 80 Pesaje 3, Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	3
0	393.00	595.00	515.50	557.00	
140	389.00	584.00	518.00	570.00	
210	383.00	581.00	525.00	573.00	
280	380.00	575.00	527.00	580.50	

**Tabla 81 Cálculo 3, CG de Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	995.18
Eje (Y)	1189.15
Eje (Z)	332.73

**Tabla 82 Pesaje 4, Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	4
0	394.50	593.50	513.50	557.50	
140	390.50	581.00	509.00	581.00	
280	380.50	573.00	524.50	584.00	

**Tabla 83 Cálculo 4, CG de Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	995.86
Eje (Y)	1191.27
Eje (Z)	332.85

**Tabla 84 Pesaje 5, Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	5
0	394.50	595.00	513.50	559.00	
140	390.00	582.50	513.50	577.00	
280	379.50	578.50	533.50	573.50	

**Tabla 85 Cálculo 5, CG de Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	996.78
Eje (Y)	1190.08
Eje (Z)	332.86

**Tabla 86 Pesaje 6, Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	6
0	391.50	596.00	514.00	555.50	
140	387.50	586.50	517.00	571.50	
280	379.00	577.50	533.50	574.50	

**Tabla 87 Cálculo 6, CG de Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	996.44
Eje (Y)	1190.57
Eje (Z)	332.58

**Tabla 88 Pesaje 7, Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	7
0	389.00	598.00	518.00	554.50	
140	387.00	583.00	518.00	572.00	
210	383.00	580.00	520.00	579.00	
280	381.00	576.00	518.00	589.00	

**Tabla 89 Cálculo 7, CG de Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	995.33
Eje (Y)	1187.27
Eje (Z)	332.35

**Tabla 90 Pesaje 8, Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	8
0	391.50	596.00	515.00	556.00	
140	387.00	587.00	516.50	572.00	
210	384.50	581.50	525.50	573.50	
280	381.00	576.50	518.50	588.50	

**Tabla 91 Cálculo 8, CG de Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	996.14
Eje (Y)	1189.7
Eje (Z)	332.65

**Tabla 92 Pesaje 9, Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	9
0	393.00	595.00	516.00	556.50	
140	389.00	583.50	518.00	570.00	
280	381.00	576.00	520.00	580.00	

**Tabla 93 Cálculo 9, CG de Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	994.74
Eje (Y)	1189.15
Eje (Z)	332.74

**Tabla 94 Pesaje 10, Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	10
0	391.00	596.00	514.00	556.00	
140	387.00	587.00	516.50	572.00	
280	381.00	576.00	518.50	588.50	

**Tabla 95 Cálculo 10, CG de Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	996.87
Eje (Y)	1189.97
Eje (Z)	332.57

**Tabla 96 Pesaje 11, Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	11
0	394.00	590.50	512.50	558.50	
140	389.00	282.50	513.00	578.00	
280	381.00	574.00	517.00	590.00	

**Tabla 97 Cálculo 11, CG de Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	995
Eje (Y)	1187.82
Eje (Z)	332.3

**Tabla 98 Pesaje 12, Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	12
0	390.00	595.00	518.00	554.00	
140	387.00	583.50	517.00	572.00	
210	383.00	580.00	519.00	579.50	
280	381.00	574.00	517.00	590.00	

**Tabla 99 Cálculo 12, CG de Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	994.27
Eje (Y)	1187.56
Eje (Z)	332.39

**Tabla 100 Pesaje 13, Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	13
0	395.00	594.00	513.00	558.00	
140	390.00	581.50	509.00	581.00	
210	384.00	580.00	520.00	579.00	
280	380.00	573.50	524.00	583.50	

**Tabla 101 Cálculo 13, CG de Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	995.42
Eje (Y)	1190.64
Eje (Z)	332.15

**Tabla 102 Pesaje 14, Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	14
0	391.50	596.00	514.00	556.00	
140	387.00	587.00	517.50	572.00	
280	379.50	577.00	534.00	574.00	

**Tabla 103 Cálculo 14, CG de Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	996.63
Eje (Y)	1190.28
Eje (Z)	332.56

**Tabla 104 Pesaje 15, Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	15
0	394.00	595.50	513.50	559.00	
140	390.50	582.00	515.00	577.50	
280	380.00	378.00	533.00	574.00	

**Tabla 105 Cálculo 15, CG de Grand Vitara 5p.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	996.61
Eje (Y)	1190.09
Eje (Z)	332.86

#### 4.1.4. Fiat 1, 1.1.

En el cálculo se usarán las siguientes medidas obtenidas mediante medición directa, se obtuvo una distancia diferente entre el ancho de vía delantero y posterior, el radio del neumático varía respecto al de fábrica.

**Tabla 106 Dimensiones Fiat 1, para el cálculo.***Fuente: Los autores.*

MEDIDA	VALOR
Ancho de vía delantero	1340
Ancho de vía posterior	1300
Batalla	2360
Radio dinámico calculado	287.6

Los resultados de las mediciones obtenidas y los resultados del cálculo de la localización del centro de gravedad obtenidos mediante el programa desarrollado, se muestran en las siguientes tablas.

**Tabla 107 Pesaje 1, Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	1
0	305.50	445.50	266.00	247.50	
140	303.50	436.50	266.50	259.50	
210	300.50	433.50	267.00	265.50	
280	294.50	429.00	272.50	270.00	

**Tabla 108 Cálculo 1, CG de Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	734.67
Eje (Y)	1401.63
Eje (Z)	323.56

**Tabla 109 Pesaje 2, Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	2
0	304.50	445.00	263.50	252.50	
140	302.50	438.50	266.50	259.50	
210	297.00	432.50	276.00	260.00	
280	295.00	428.50	273.50	269.00	

**Tabla 110 Cálculo 2, CG de Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	738.74
Eje (Y)	1397.72
Eje (Z)	322.94

**Tabla 111 Pesaje 3, Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	3
0	304.50	446.00	263.50	250.00	
140	301.50	439.00	266.00	261.00	
210	298.00	435.00	270.50	264.50	
280	294.00	431.00	276.00	268.00	

**Tabla 112 Cálculo 3, CG de Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	738.06
Eje (Y)	1401.25
Eje (Z)	323.2

**Tabla 113 Pesaje 4, Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	4
0	303.00	446.50	263.00	251.00	
140	302.50	446.50	262.00	263.00	
210	297.00	433.50	273.50	262.50	
280	293.50	428.50	276.00	263.50	

**Tabla 114 Cálculo 4, CG de Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	739.92
Eje (Y)	1399.94
Eje (Z)	323.29

**Tabla 115 Pesaje 5, Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	5
0	304.50	446.00	266.00	247.50	
140	303.50	436.50	266.50	259.50	
280	294.00	431.00	276.00	268.00	

**Tabla 116 Cálculo 5, CG de Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	735.49
Eje (Y)	1401.25
Eje (Z)	323.22

**Tabla 117 Pesaje 6, Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	6
0	302.00	448.00	267.00	247.00	
140	300.00	442.00	269.00	255.00	
280	294.50	435.50	275.00	261.50	

**Tabla 118 Cálculo 6, CG de Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	735.49
Eje (Y)	1401.25
Eje (Z)	323.22

**Tabla 119 Pesaje 7, Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	7
0	305.50	445.00	265.50	248.00	
140	303.50	436.50	266.50	259.50	
280	295.00	428.00	273.50	269.50	

**Tabla 120 Cálculo 7, CG de Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	734.94
Eje (Y)	1401.25
Eje (Z)	323.45

**Tabla 121 Pesaje 8, Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	8
0	304.50	446.00	263.50	250.00	
140	301.50	439.00	266.00	261.00	
210	298.00	435.00	270.00	264.50	
280	294.00	431.50	274.50	268.50	

**Tabla 122 Cálculo 8, CG de Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	738.06
Eje (Y)	1401.25
Eje (Z)	323.31

**Tabla 123 Pesaje 9, Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	9
0	302.50	449.00	264.50	249.50	
140	301.00	441.00	266.50	258.50	
210	297.50	436.00	272.50	260.00	
280	296.00	433.00	274.50	263.50	

**Tabla 124 Cálculo 9, CG de Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	739.86
Eje (Y)	1401.45
Eje (Z)	323.99

**Tabla 125 Pesaje 10, Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	10
0	303.00	446.50	264.00	250.50	
140	302.50	438.50	266.50	259.50	
210	297.00	432.50	276.00	260.00	
280	294.00	429.00	272.50	270.00	

**Tabla 126 Cálculo 10, CG de Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	739.12
Eje (Y)	1399.38
Eje (Z)	323.13

**Tabla 127 Pesaje 11, Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	11
0	302.50	447.00	262.50	251.50	
140	301.00	446.00	264.00	263.00	
210	297.00	443.30	273.30	262.50	
280	293.00	429.00	276.50	263.00	

**Tabla 128 Cálculo 11, CG de Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	740.97
Eje (Y)	1399.94
Eje (Z)	323.33

**Tabla 129 Pesaje 12, Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	12
0	305.50	445.50	266.00	247.50	
140	303.00	337.00	267.00	260.00	
210	300.50	432.50	276.00	265.50	
280	293.50	428.50	276.00	263.50	

**Tabla 130 Cálculo 12, CG de Fiat 1.**

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	734.67
Eje (Y)	1401.63
Eje (Z)	323.1

**Tabla 131 Pesaje 13, Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	13
0	304.00	446.00	263.00	250.50	
140	301.50	439.00	266.00	261.00	
210	298.00	435.00	270.50	263.50	
280	293.50	431.50	275.50	268.50	

**Tabla 132 Cálculo 13, CG de Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	738.58
Eje (Y)	1401.25
Eje (Z)	323.29

**Tabla 133 Pesaje 14, Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	14
0	304.00	445.50	263.00	253.00	
140	303.00	439.00	266.50	260.00	
210	297.00	433.00	276.00	259.50	
280	298.00	435.00	275.00	270.00	

**Tabla 134 Cálculo 14, CG de Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	739.78
Eje (Y)	1397.72
Eje (Z)	322.91

**Tabla 135 Pesaje 15, Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	15
0	305.50	445.50	266.00	247.50	
140	303.50	437.00	266.00	260.00	
280	295.00	428.50	273.00	270.00	

**Tabla 136 Cálculo 15, CG de Fiat 1.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	734.67
Eje (Y)	1401.63
Eje (Z)	323.35

**4.1.5. Lada Niva, 1.7.**

En el cálculo se usarán las medidas.

**Tabla 137 Dimensiones Niva, para el cálculo.***Fuente: Los autores.*

MEDIDA	VALOR
Ancho de vía delantero	1430.00
Ancho de vía posterior	1400.00
Batalla	2200.00
Radio dinámico calculado	325.70

Los resultados de las mediciones y cálculos, se muestran en las siguientes tablas.

**Tabla 138 Pesaje 1, Niva.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	1
0	351.00	558.00	392.50	369.00	
140	342.00	550.00	404.50	377.00	
280	334.00	541.50	416.50	384.00	

**Tabla 139 Cálculo 1, CG de Niva.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	793.75
Eje (Y)	1197.13
Eje (Z)	340.39

**Tabla 140 Pesaje 2, Niva.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	2
0	350.00	565.00	391.50	364.00	
140	344.00	550.00	401.00	374.50	
210	339.00	547.50	408.00	379.50	
280	335.00	540.00	414.00	386.50	

**Tabla 141 Cálculo 2, CG de Niva.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	795.5
Eje (Y)	1205.03
Eje (Z)	341.42

**Tabla 142 Pesaje 3, Niva.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	3
0	349.00	562.00	392.50	367.00	
140	342.00	552.50	403.00	375.50	
210	339.50	550.00	403.00	381.00	
280	335.50	544.50	411.00	384.50	

**Tabla 143 Cálculo 3, CG de Niva.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	795.48
Eje (Y)	1199.76
Eje (Z)	341.26

**Tabla 144 Pesaje 4, Niva.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	4
0	347.00	565.00	392.00	367.00	
140	342.50	555.00	395.00	377.00	
280	335.50	543.50	410.00	384.50	

**Tabla 145 Cálculo 4, CG de Niva.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	797.57
Eje (Y)	1200.36
Eje (Z)	341.57

**Tabla 146 Pesaje 5, Niva.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	5
0	350.00	557.50	393.00	369.00	
140	342.00	549.50	404.00	377.50	
280	334.00	342.00	416.00	384.50	

**Tabla 147 Cálculo 5, CG de Niva.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	793.8
Eje (Y)	1195.87
Eje (Z)	340.21

**Tabla 148 Pesaje 6, Niva.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	6
0	349.00	562.00	392.00	364.00	
140	342.00	553.00	403.00	375.00	
280	335.00	540.00	414.50	386.00	

**Tabla 149 Cálculo 6, CG de Niva.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	794.6
Eje (Y)	1202.28
Eje (Z)	341.03

**Tabla 150 Pesaje 7, Niva.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	7
0	351.00	558.00	393.00	369.50	
140	342.50	554.00	394.50	378.00	
210	340.00	549.50	403.50	380.50	
280	335.00	540.00	414.00	386.00	

**Tabla 151 Cálculo 7, CG de Niva.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	793.7
Eje (Y)	1196.41
Eje (Z)	340.91

**Tabla 152 Pesaje 8, Niva.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	8
0	347.00	563.00	392.50	366.50	
140	343.00	554.50	395.50	376.00	
210	339.50	549.00	403.00	382.00	
280	335.00	544.00	410.00	385.00	

**Tabla 153 Cálculo 8, CG de Niva.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	796.63
Eje (Y)	1199.52
Eje (Z)	341.33

**Tabla 154 Pesaje 9, Niva.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	9
0	350.00	558.00	396.00	368.50	
140	342.00	550.00	405.00	376.50	
210	339.00	547.00	412.00	378.00	
280	333.50	542.00	416.00	385.00	

**Tabla 155 Cálculo 9, CG de Niva.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	792.41
Eje (Y)	1194.38
Eje (Z)	340.48

**Tabla 156 Pesaje 10, Niva.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	10
0	351.00	558.00	393.00	368.50	
140	341.50	550.50	405.00	376.50	
210	339.00	547.00	413.00	377.00	
280	333.50	542.50	412.50	386.00	

**Tabla 157 Cálculo 10, CG de Niva.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	793.33
Eje (Y)	1197.13
Eje (Z)	340.35

**Tabla 158 Pesaje 11, Niva.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	11
0	347.00	563.00	392.50	367.00	
140	343.00	554.50	396.00	375.50	
210	339.00	549.50	403.00	382.00	
280	334.50	544.50	411.00	384.00	

**Tabla 159 Cálculo 11, CG de Niva.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	796.81
Eje (Y)	1199.16
Eje (Z)	341.24

**Tabla 160 Pesaje 12, Niva.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	12
0	348.50	562.50	393.00	363.00	
140	341.50	553.50	403.50	374.50	
210	339.00	550.50	404.00	380.00	
280	334.50	541.00	415.00	386.50	

**Tabla 161 Cálculo 12, CG de Niva.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	797.59
Eje (Y)	1198.07
Eje (Z)	340.14

**Tabla 162 Pesaje 13, Niva.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	13
0	350.50	557.50	395.00	369.50	
140	342.50	549.50	404.50	377.00	
210	339.00	547.00	412.50	377.50	
280	334.00	542.50	415.50	385.50	

**Tabla 163 Cálculo 13, CG de Niva.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	792.82
Eje (Y)	1194.38
Eje (Z)	340.22

**Tabla 164 Pesaje 14, Niva.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	14
0	346.50	565.50	391.50	367.50	
140	341.50	554.00	394.00	378.00	
280	335.00	547.00	411.00	383.50	

**Tabla 165 Cálculo 14, CG de Niva.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	798.18
Eje (Y)	1201.32
Eje (Z)	341.57

**Tabla 166 Pesaje 15, Niva.***Fuente: Los autores.*

ALTURA (mm)	FL(kg)	FR(kg)	RL(kg)	RR(kg)	15
0	350.00	565.00	392.00	363.50	
140	342.00	549.50	404.50	378.00	
280	334.00	542.50	416.00	380.00	

**Tabla 167 Cálculo 15, CG de Niva.***Fuente: Los autores.*

Centro de Gravedad (mm)	
Eje (X)	795.08
Eje (Y)	1205.03
Eje (Z)	341.09

#### 4.2 Comparación y evaluación de datos.

Durante la medición, se observó que se generan variaciones en el peso, pero estas no afectan significativamente a la ubicación del centro de gravedad, para demostrar esto se usará el cálculo de medidas de dispersión y error.

#### 4.2.1 Resumen de datos.

En los siguientes cuadros comparativos se exponen los resultados del cálculo del centro de gravedad en milímetros con el fin de facilitar el análisis de los datos.

##### 4.2.1.1 Formula SAE.

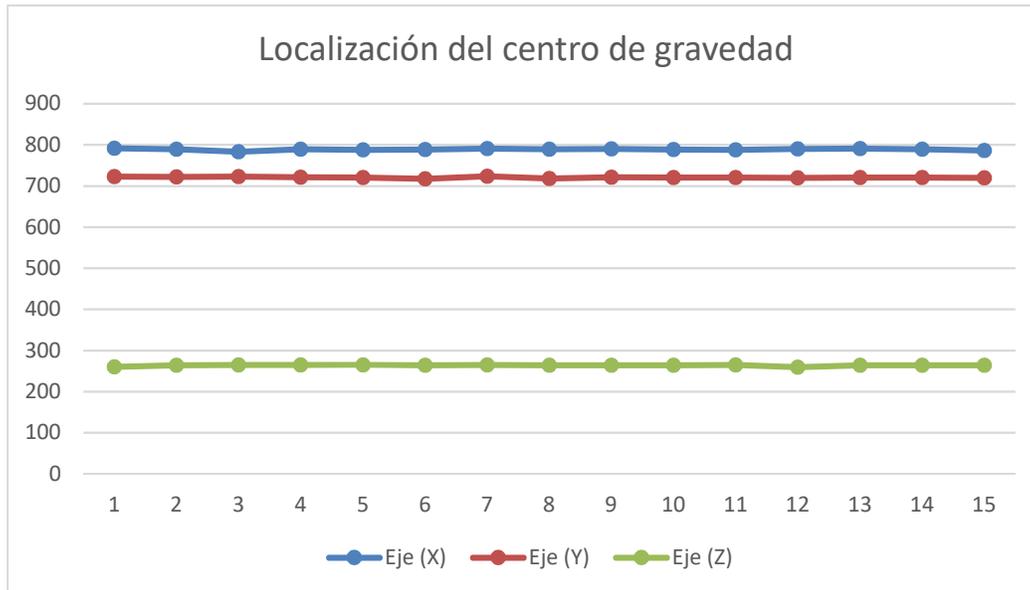
Se realizó quince diferentes pruebas en las cuales se calculó la ubicación del centro de gravedad a tres diferentes elevaciones, los valores obtenidos en cada una de estas se ingresaron en el programa mismo calcula la ubicación del centro de gravedad, los resultados obtenidos se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 168 Resumen de datos Fórmula SAE.**

*Fuente: Los autores.*

<i>n</i>	<i>Eje (X) (mm)</i>	<i>Eje (Y) (mm)</i>	<i>Eje (Z) (mm)</i>
1	791.51	722.94	260.31
2	789.41	722.02	264.30
3	783.32	722.79	264.55
4	789.41	721.18	264.70
5	787.92	720.57	265.20
6	788.66	717.71	264.08
7	791.10	723.69	264.64
8	789.09	718.48	264.04
9	790.26	721.48	264.18
10	788.39	720.72	264.10
11	787.96	720.57	265.05
12	790.09	719.83	259.64
13	790.67	720.57	264.29
14	789.42	720.53	264.15
15	786.45	719.96	264.07

En base a los datos obtenidos y para facilitar la comparación visual se elaboró un gráfico comparativo de la ubicación del centro de gravedad.



**Figura 36 Cuadro comparativo del cálculo CG, Fórmula SAE.**

**Fuente: Los autores.**

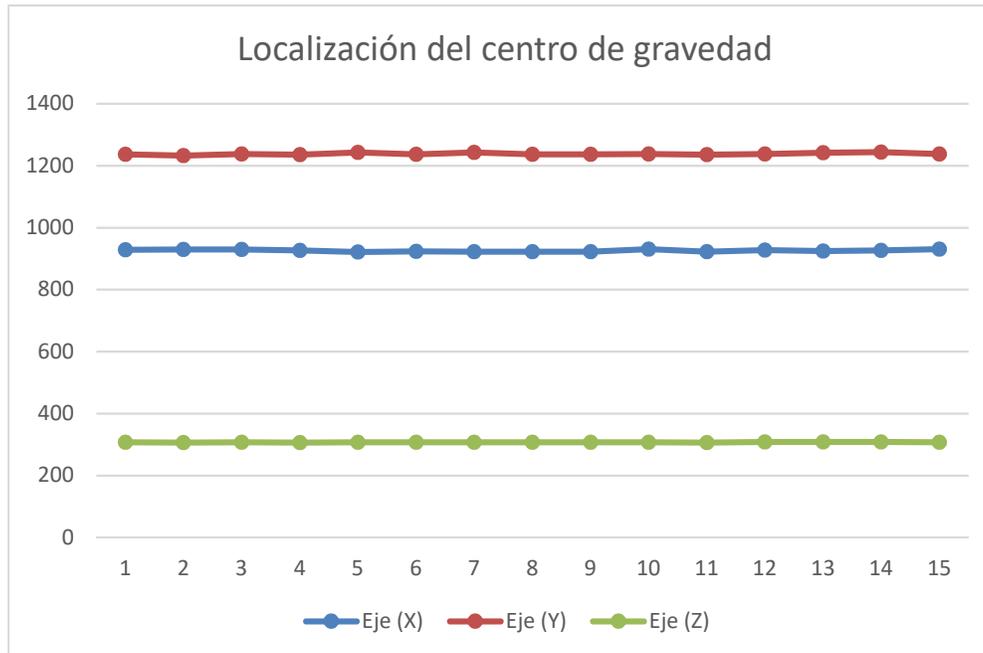
#### 4.2.1.2 Hyundai Accent.

Se repite el procedimiento para este vehículo.

**Tabla 169 Resumen de datos Hyundai Accent.**

**Fuente: Los autores.**

<i>n</i>	Eje (X) (mm)	Eje (Y) (mm)	Eje (Z) (mm)
1	928.71	1237.23	306.92
2	929.47	1232.6	306.53
3	929.82	1237.32	307.03
4	926.16	1236.13	306.79
5	921.75	1242.78	307.15
6	923.17	1236.85	307.13
7	922.28	1242.78	307.17
8	922.70	1236.92	306.90
9	922.82	1236.62	307.38
10	930.70	1237.78	307.17
11	922.88	1235.74	306.00
12	928.01	1237.71	308.03
13	924.30	1242.34	307.95
14	926.43	1244.05	308.23
15	930.35	1237.32	307.41



**Figura 37 Cuadro comparativo del cálculo CG, Hyundai Accent.**  
**Fuente: Los autores.**

En el cuadro comparativo obtenido se muestra el desplazamiento del centro de gravedad en cada una de las mediciones y se puede apreciar que el centro de gravedad se desplaza ligeramente, sin una variación significativa de su localización.

#### 4.2.1.3. Grand Vitara 5p.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los resultados obtenidos del cálculo, permitiendo comparar visualmente los resultados mediante un gráfico la ubicación del centro de gravedad con cada una de las pruebas.

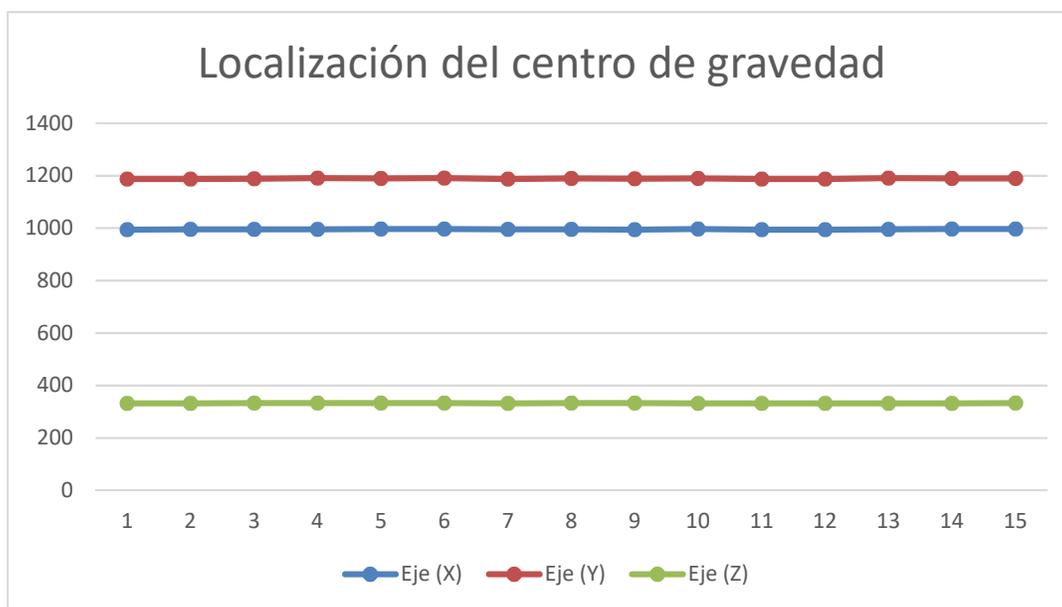
Al igual que en las anteriores se observa que no existe mayor variación en el resultado obtenido, es importante mencionar que la variación de las mediciones en los pesos están relacionadas con el estado y el ajuste de la suspensión; en el caso de este vehículo, la misma se encuentra en un estado mecánico aceptable.

**Tabla 170 Resumen de datos Grand Vitara.**

**Fuente: Los autores.**

<i>n</i>	<i>Eje (X)</i> (mm)	<i>Eje (Y)</i> (mm)	<i>Eje (Z)</i> (mm)
1	994.51	1187.24	332.36
2	995.86	1187.82	332.32
3	995.18	1189.15	332.73
4	995.86	1191.27	332.85
5	996.78	1190.08	332.86
6	996.44	1190.57	332.58
7	995.33	1187.27	332.35
8	996.14	1189.7	332.65
9	994.74	1189.15	332.74
10	996.87	1189.97	332.57
11	995.00	1187.82	332.30
12	994.27	1187.56	332.39
13	995.42	1190.64	332.15
14	996.63	1190.28	332.56
15	996.61	1190.09	332.86

En el cuadro comparativo se exponen los resultados obtenidos en cada uno de los ejes permitiendo visualizar la variación en el resultado del cálculo del centro de gravedad.



**Figura 38 Cuadro comparativo del cálculo CG, Grand Vitara.**

**Fuente: Los autores**

## 4.2.1.4 Fiat 1.

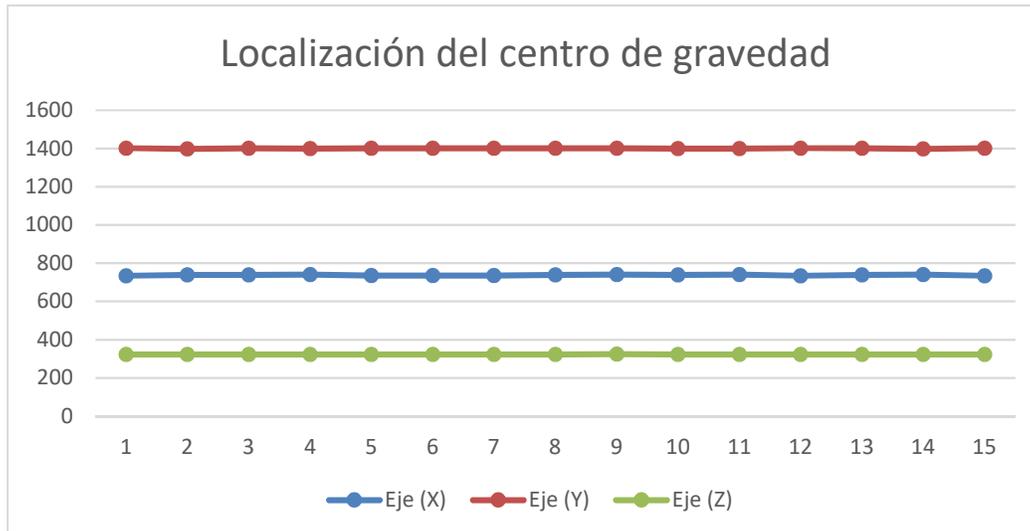
Al realizar las medicaciones de peso en este se puede observar que existe una mayor variación en el resultado, esto se debe a que el estado mecánico de la suspensión no es aceptable.

**Tabla 171 Resumen de datos Fiat Uno.**

*Fuente: Los autores*

<i>n</i>	<i>Eje (X) (mm)</i>	<i>Eje (Y) (mm)</i>	<i>Eje (Z) (mm)</i>
1	734.67	1401.63	323.56
2	738.74	1397.72	322.94
3	738.06	1401.25	323.20
4	739.92	1399.94	323.29
5	735.49	1401.25	323.22
6	735.49	1401.25	323.22
7	734.94	1401.25	323.45
8	738.06	1401.25	323.31
9	739.86	1401.45	323.99
10	739.12	1399.38	323.13
11	740.97	1399.94	323.33
12	734.67	1401.63	323.10
13	738.58	1401.25	323.29
14	739.78	1397.72	322.91
15	734.67	1401.63	323.35

Sin embargo la ubicación del centro de gravedad no varía significativamente; por ejemplo, para la altura del centro de gravedad el menor valor obtenido es de 322.91mm y el máximo de 323.99 mm, obteniendo una diferencia 1.08 mm, en el eje x el valor menor es de 734.64mm y el valor máximo es de 740.97mm, siendo la diferencia de 6.33mm, este incremento en el valor calculado mediante el programa, se debe a la transferencia de pesos generada por el estado de la suspensión.



**Figura 39 Cuadro comparativo del cálculo CG, Fiat 1.**

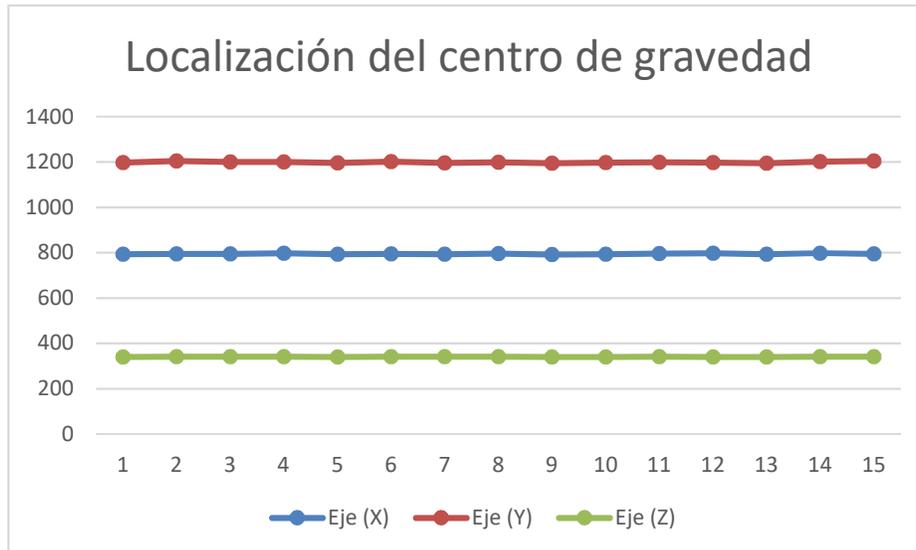
**Fuente: Los autores.**

#### 4.2.1.5 Niva.

**Tabla 172 Resumen de datos Niva.**

**Fuente: Los autores.**

<i>n</i>	<i>Eje (X)</i> (mm)	<i>Eje (Y)</i> (mm)	<i>Eje (Z)</i> (mm)
1	793.75	1197.13	340.39
2	795.5	1205.03	341.42
3	795.48	1199.76	341.26
4	797.57	1200.36	341.57
5	793.8	1195.87	340.21
6	794.6	1202.28	341.03
7	793.7	1196.41	340.91
8	796.63	1199.52	341.33
9	792.41	1194.38	340.48
10	793.33	1197.13	340.35
11	796.81	1199.16	341.24
12	797.59	1198.07	340.14
13	792.82	1194.38	340.22
14	798.18	1201.32	341.57
15	795.08	1205.03	341.09



**Ilustración 1 Cuadro comparativo del cálculo CG, Niva.**

**Fuente: Los autores.**

#### 4.2.2 Rango porcentual.

Se aplica el cálculo del rango porcentual ya que al ser la medida de dispersión más simple, permite visualizar la diferencia entre los valores mayores y menores obtenidos, con el fin de poder comparar la relevancia del rango obtenido se obtendrá el valor como porcentaje del promedio.

**Tabla 173 Tabla comparativa del rango porcentual.**

**Fuente: Los autores.**

VEHÍCULO	Eje (X)	Eje (Y)	Eje (Z)
Formula SAE	0.39	0.59	0.13
Hyundai Accent	0.49	0.72	0.64
Grand Vitara	0.47	0.44	0.42
Fiat 1	0.41	0.32	0.49
Niva	0.51	0.49	0.42

Los valores obtenidos son en todos los casos menores al 1%, siendo este valor insignificante con relación a la geometría de las unidades de prueba.

#### 4.2.3 Desviación estándar.

La desviación estándar es la medida de dispersión más comúnmente utilizada y permite visualizar la dispersión de los datos, el método de cálculo que se utiliza elimina el signo permitiendo visualizar la dispersión de los datos con respecto al promedio en valores absolutos.

**Tabla 174 Tabla comparativa de la desviación estándar.**

**Fuente: Los autores.**

<b>VEHÍCULO</b>	<b>Eje (X) mm</b>	<b>Eje (Y) mm</b>	<b>Eje (Z) mm</b>
Formula SAE	2.0385	1.5975	1.6066
Hyundai Accent	3.3033	3.2047	0.5763
Grand Vitara	0.8610	1.3590	0.2298
Fiat 1	2.2876	1.3463	0.2592
Niva	1.8634	3.3657	0.5279

La variabilidad en los resultados obtenidos no es significativa y se ubica en todos los casos por debajo de los 5 mm.

#### 4.2.4 Errores aleatorios.

El cálculo del error aleatorio se aplica cuando no se dispone de un patrón de referencia, como es el caso del centro de gravedad de un vehículo, debido a que las fábricas de automotores no proporcionan estos valores en las fichas técnicas. Este permite comparar los valores obtenidos en el cálculo generado por las variaciones en la transferencia de pesos a diferentes alturas en las pruebas realizadas.

Se observa que el error obtenido está por debajo de los 3 mm, siendo un error no significativo en relación a las magnitudes de un automóvil.

**Tabla 175** *Tabla comparativa del error aleatorio.**Fuente: Los autores.*

<b>VEHÍCULO</b>	<b>Eje (X) mm</b>	<b>Eje (Y) mm</b>	<b>Eje (Z) mm</b>
Formula SAE	1.634436	1.280850	1.288146
Hyundai Accent	2.648532	2.569476	0.462068
Grand Vitara	0.690336	1.089624	0.184250
Fiat 1	1.834160	1.079441	0.207822
Niva	1.494044	2.698563	0.423262

## 5. CONCLUSIONES.

El vehículo es un sistema complejo por lo que para el cálculo de su centro de gravedad el método de la transferencia de pesos, se presenta como una alternativa viable, sencilla y relativamente económica, para su aplicación práctica.

Durante la medición se observó que cualquier cambio, incluido el movimiento de los pasajeros o cargas, estado de la suspensión, desplazamiento de fluidos, etc. Generan pequeñas variaciones menores al 1% como se muestra en el rango porcentual.

El uso de un sistema de elevación sencillo permite obtener mediciones precisas al reducir las holguras que puedan generarse en sistemas más complejos y costosos tales como: tijeras mecánicas, sistemas hidráulicos, etc. Obteniendo un sistema más seguro y didáctico.

El programa interactivo sigue un proceso sistemático y metodológico permitiendo al usuario una asimilación del proceso de cálculo.

Se selecciona dos indicadores de dispersión: el rango y la desviación estándar, que permiten visualizar la variabilidad en los resultados, obteniendo un rango máximo de 0.72% y una desviación estándar máxima 3.30mm.

Debido a que no se dispone de una medida de referencia en la ubicación del Centro de Gravedad proporcionada fabricante con el que se pueda comparar los resultados obtenidos se aplica el cálculo del error aleatorio, que analiza la incertidumbre de la medición dado por la variación en las condiciones durante la medición, el error más alto obtenido fue de 2.69mm, resultando insignificante en comparación con las medidas de un vehículo.

## 6. LISTA DE REFERENCIAS

### 6.1 Libros

Giancoli, D. (2006). Física: Principios con Aplicaciones. (6th ed., pp. 182-187). Ciudad Juárez México: Pearson Education.

Sánchez, M. J. (2014). Aplicación de los cálculos de velocidad a la reconstrucción de accidentes: el informe pericial. Alicante, ES: ECU. Retrieved from <http://www.ebrary.com>

Luque, P., Álvarez, D., & Vera, C. (2004). Ingeniería del automóvil. Madrid, España: Thomson.

Milliken, D. & Milliken, W. (2003). Race car vehicle dynamics. (pp. 665-690)Warrendale, PA: SAE International.

Schofield, B. (2006). Vehicle Dynamics Control for Rollover Prevention. (pp. 34-47). Lund: Lund University.

Rill, G. (2004). Vehicle Dynamics (1st ed.). University of applied sciences.

Sanchez, E., Páucar, A., & Orellana, M. Física General (pp. 63-82). Lima: Universidad Tecnológica del Perú.

Hibbeler, R. (1996). Ingeniería Mecánica. Estática. (pp. 411-468). Juarez: Prentice Hall.

Borg, L. (2009). An Approach to Using Finite Element Models to Predict Suspension Member Loads in a Formula SAE Vehicle (1st ed.). Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University.

Abe, M. & Manning, W. (2009). Vehicle handling dynamics. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Bonnick, A. (2008). *Automotive science and mathematics*. Oxford: Elsevier/Butterworth-Heinemann.

Walpole, R., Myers, R., Myers, S. and Cruz, R. (1999). *Probabilidad y estadística para ingenieros*. 1st ed. México: Prentice Hall.

## 6.2 Páginas Web

Arribas, D. & Martín, A. (2016). Modelos matemáticos de la estabilidad lateral de Vehículos de Transporte Colectivo, Industriales y Especiales. Retrieved 25 October 2016, from [http://oa.upm.es/3777/1/INVE\\_MEM\\_2008\\_57208.pdf](http://oa.upm.es/3777/1/INVE_MEM_2008_57208.pdf)

Mex.tl (2017). Ing-mecanica-2010.mex.tl. Retrieved 16 January 2017, from [http://ing-mecanica-2010.mex.tl/1901468\\_1-2.html](http://ing-mecanica-2010.mex.tl/1901468_1-2.html)

Peña, D. (2014). HISTORIA DEL TUNNING. *Historiatunningla.blogspot.com* Retrieved 6 January 2017, from [http://historiatunningla.blogspot.com/2014\\_03\\_25\\_archive.html?m=1](http://historiatunningla.blogspot.com/2014_03_25_archive.html?m=1)

Proform,. 5000lb Vehicle Weigth Scale. Retrieved from [https://www.proformparts.com/product-exec/product\\_id/280/nm/5000lb\\_VEHICLE\\_WEIGHING\\_SCALE/category\\_id/166](https://www.proformparts.com/product-exec/product_id/280/nm/5000lb_VEHICLE_WEIGHING_SCALE/category_id/166)

L., C. (2016). Tutorial 06: inserción de referencias (blueprints). MVBlog - Blog de Carlos González Larenas, docente de Dibujo y construcción, destinados a informar a sus alumnos y compartir experiencias. Retrieved 14 December 2016, from <http://www.mvblog.cl/2010/12/17/rhinoceros-insertando-referencias-blueprints/>

Peña, D. (2017). HISTORIA DEL TUNING. [online] *Historiatuningla.blogspot.com*. Available at: [http://historiatuningla.blogspot.com/2014\\_03\\_25\\_archive.html](http://historiatuningla.blogspot.com/2014_03_25_archive.html) [Accessed 12 Jan. 2017].

Proform,. (2016). Proform 5000lb Vehicle Weighing Scale: 4-Pad System, 1250lbs Per Pad 67650 | eBay. Retrieved 14 December 2016, from

<http://www.ebay.com/itm/proform-500lb-vehicle-weighing-scale-4-pad-system-1250lbs-per-pad-67650-/301152341700>

Vivas, C., Tudor, J., Hernández, D., & Morales, R. (2015). Global Chassis Control System Using Suspension, Steering, an Braking Subsystems. ResearchGate. Retrieved 9 January 2017, from [https://www.researchgate.net/figure/288480528\\_fig4\\_Vehicle-reference-system-and-important-dynamical-variables](https://www.researchgate.net/figure/288480528_fig4_Vehicle-reference-system-and-important-dynamical-variables)