



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO
AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

TEMA:

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO
DE PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS DE AMORTIGUADORES Y
MUELLES DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DE UN VEHÍCULO.

AUTOR:

LUNA PASQUEL BRAYAN ANDRÉS
VALLEJO TITO JHON ALEJANDRO

DIRECTOR:

ING. RAMIRO ROSERO MSC.

IBARRA 2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de texto completos en forma digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DE CONTACTO 1	
CEDULA DE IDENTIDAD:	100303115-8
APELLIDOS Y NOMBRES:	LUNA PASQUEL BRAYAN ANDRÉS
DIRECCIÓN:	Otavalo, Cdla. 31 de octubre
EMAIL:	balp9220@gmail.com
TELEFONO FIJO:	062920081 TELEFONO MÓVIL: 0959008221

DATOS DE CONTACTO 2	
CEDULA DE IDENTIDAD:	100357080-9
APELLIDOS Y NOMBRES:	VALLEJO TITO JHON ALEJANDRO
DIRECCIÓN:	IBARRA - JUANA DE LA CRUZ Y MARQUESA DE SOLANDA
EMAIL:	jhonvallejo23@yahoo.com
TELEFONO FIJO:	TELEFONO MÓVIL: 0969803422

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS DE AMORTIGUADORES Y MUELLES DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DE UN VEHÍCULO”
AUTORES:	LUNA PASQUEL BRAYAN ANDRÉS VALLEJO TITO JHON ALEJANDRO
FECHA:	06 de noviembre de 2017
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR/DIRECTOR	ING. RAMIRO ROSERO MSC.

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Nosotros, LUNA PASQUEL BRAYAN ANDRÉS con cédula de identidad Nro. 100303115-8 y VALLEJO TITO JHON ALEJANDRO con cédula de identidad Nro. 100357080-9 en calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos del autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 06 días del mes de noviembre de 2017

AUTORES:

Firma.....

Nombre: Luna Pasquel Brayan Andrés

Cédula: 100303115-8

Firma.....

Nombre: Vallejo Tito Jhon Alejandro

Cédula: 100357080-9



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

DECLARACIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Nosotros, **BRAYAN ANDRÉS LUNA PASQUEL** con cédula de identidad Nro. **100303115-8** y **JHON ALEJANDRO VALLEJO TITO** con cédula de identidad Nro. **100357080-9**, manifestamos mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado **“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS DE AMORTIGUADORES Y MUELLES DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DE UN VEHÍCULO”** que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ** en la Universidad Técnica del Norte quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi Condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 06 días del mes de noviembre de 2017

Firma.....

Nombre: Luna Pasquel Brayan Andrés

Cédula: 100303115-8

Firma.....

Nombre: Vallejo Tito Jhon Alejandro

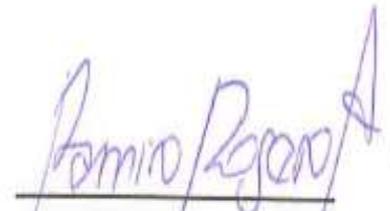
Cédula: 100357080-9



CERTIFICO:

Certifico que el presente proyecto fue realizado en su totalidad por los señores: Luna Pasquel Brayan Andrés y Vallejo Tito Jhon Alejandro, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz.

Atentamente,



Ing. Ramiro Rosero MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Debo agradecer de manera especial y sincera al Ingeniero Ramiro Rosero MSc. por el asesoramiento de trabajo de grado para la obtención del título de Ingeniería en mantenimiento Automotriz. Su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de este trabajo de grado, sino también en mi formación como investigador. Las ideas propias, siempre enmarcadas en su orientación y rigurosidad, han sido la clave del buen trabajo que hemos realizado juntos, el cual no se puede concebir sin su siempre oportuna participación.

Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento al Ingeniero Fredy Rosero MSc. por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de este trabajo de grado. Debo destacar, por encima de todo, su disponibilidad y paciencia que hizo que las reuniones tengan beneficios tanto a nivel científico como personal.

LOS AUTORES

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado a DIOS, a todos los que creyeron en mí y me apoyaron moral y económicamente, en especial a mi abuelita Rosa Pasquel, ya que con su apoyo incondicional y paciencia he podido culminar uno de mis grandes objetivos de formación educativa.

A mis maestros quienes nunca desistieron al enseñarme, aun sin importar que muchas veces no ponía atención en clase, a ellos que continuaron depositando su esperanza en mí.

BRAYAN ANDRÉS LUNA PASQUEL

Dedico este trabajo al esfuerzo, dedicación y apoyo de mis padres hacia a mí por lo que fueron parte fundamental de la culminación de la carrera, también agradezco a DIOS por darme salud y bienestar para finalizar esta etapa de mi vida.

De cierta manera también agradecer a las personas cercanas a mí los cuales pusieron su granito de arena para darme fuerzas en todo el transcurso de estudiante, quienes siempre confiaron en cumpliría las expectativas y los objetivos que tenía planteado en mi vida.

JHON ALEJANDRO VALLEJO TITO

ÍNDICE DE CONTENIDO

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN.....	i
CECIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	xix
CAPÍTULO I.....	xxi
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	xxi
1.1 Antecedentes.....	xxi
1.2 Planteamiento del problema.....	xxi
1.3 Formulación del problema.....	xxii
1.4 Delimitación.....	xxiii
1.4.1 Alcance.....	xxiii
1.4.2 Temporal.....	xxiii
1.4.3 Espacial.....	xxiii
1.5 Objetivos.....	xxiii
1.5.1 Objetivo General.....	xxiii
1.5.2 Objetivos Específicos.....	xxiii
1.5.3 Justificación.....	xxiv
CAPÍTULO II.....	1

2	Marco Teórico	1
2.1	Elementos de seguridad del vehículo.....	1
2.1.1	Seguridad activa	1
2.1.2	Seguridad pasiva.....	1
2.2	Suspensión	1
2.2.1	Principios de funcionamiento de la suspensión.....	2
2.3	Tipos de suspensión	2
2.3.1	Suspensión activa	3
2.3.2	Suspensión semi-activa	4
2.3.3	Suspensión pasiva.....	4
2.4	Componentes del sistema de suspensión	5
2.4.1	Muelles	5
2.4.2	Amortiguadores	7
2.5	Masas suspendidas y no suspendidas.....	9
2.5.1	Masas Suspendidas	9
2.5.2	Masas no Suspendidas	9
2.6	Sistema mecánico	10
2.6.1	Sistemas masa-resorte	14
2.6.2	Sistema resorte- masa amortiguador	17
2.7	Bancos de pruebas de suspensión	20
2.7.1	Banco de pruebas cimentado	20
2.7.2	Banco de pruebas de elementos de la suspensión	22
2.8	Software e instrumentación	23
2.8.1	Matlab.....	23
2.8.2	SolidWorks	23
2.8.3	LabView	23
2.8.4	Arduino.....	24

CAPITULO III	25
3 DESARROLLO DE LA PROPUESTA	25
3.1 Definiciones de las funciones del sistema.	25
3.2 Selección de los elementos y materiales mecánicos de la estructura.....	26
3.2.1 Selección del motor	28
3.2.2 Selección del reductor de velocidad	30
3.2.3 Selección de la gata hidráulica	30
3.3 Diseño y cálculo estructural.....	31
3.3.1 Análisis de carga.....	33
3.3.2 Análisis de tensión.....	34
3.3.3 Análisis de desplazamiento	35
3.3.4 Análisis de deformación	36
3.3.5 Análisis de Factor de Seguridad	37
3.4 Construcción del banco de pruebas.....	38
3.4.1 Zona del amortiguador	39
3.4.2 Identificación del mecanismo para la zona del amortiguador	41
3.4.3 Cálculo del mecanismo biela manivela	42
3.4.4 Acoplamiento mediante rodamientos del mecanismo	43
3.4.5 Zona del muelle	44
3.5 Implementación de los elementos electrónicos del banco de pruebas.....	45
3.5.1 Selección del variador de frecuencia	45
3.5.2 Selección de los sensores.....	46
3.6 Desarrollo de la interfase del banco de amortiguadores y muelles.....	50
3.6.1 Elaboración del código de programación en Arduino	51
3.6.2 Elaboración de la interfaz del banco de pruebas en LABIEW	53
3.6.3 Conexión del variador de frecuencia	67
3.6.4 Conexiones eléctricas del motor eléctrico	69

3.6.5	Diseño de las placas de circuitos	70
3.7	Implementación de una interfaz gráfica del sistema muelle amortiguador	72
3.7.1	Representación de la ecuación diferencial	74
3.7.2	Representación de los componentes físicos específicos.....	75
3.7.3	Representación del modelo matemático en una interfaz GUIDE.....	76
CAPITULO IV		83
4	Pruebas y análisis de resultados	83
4.1	Pruebas en amortiguadores	83
4.1.1	Prueba del amortiguador 1.....	84
4.1.2	Prueba del amortiguador 2.....	87
4.2	Análisis de las pruebas de los amortiguadores	89
4.3	Pruebas en muelles.....	90
4.3.1	Prueba del muelle 1	91
4.3.2	Prueba del muelle 2	92
4.4	Análisis de las pruebas de los muelles	93
CAPITULO V		94
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	94
5.1	CONCLUSIONES	94
5.2	RECOMENDACIONES.....	95
6	Bibliografía	96
ANEXOS.....		97
ANEXO		1
PLANOS DEL BANCO DE PRUEBAS		6
ANEXO		6
DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL MOTOR.....		7
ANEXO		9

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Elementos de una suspensión.....	2
Figura 2. Esquema de los componentes de la suspensión activa.....	3
Figura 3. Suspensión semi-activa	4
Figura 4. Suspensión pasiva	5
Figura 5. Dimensiones del muelle	6
Figura 6. Muelle convencional	6
Figura 7. Muelle con paso variable	7
Figura 8. Muelle Cónico.....	7
Figura 9. Amortiguador de doble efecto.....	8
Figura 10. Esquema de los amortiguadores.....	8
Figura 11. Masa suspendida	9
Figura 12. Sistema masa-resorte.....	14
Figura 13. La dirección hacia abajo de la posesión de equilibrio.....	15
Figura 14. Movimiento Armónico simple	16
Figura 15. Dispositivos de amortiguamiento.....	17
Figura 16. Movimiento vertical oscilatorio del apoyo	18
Figura 17. Esquema del Sistema Masa Resorte Amortiguado	19
Figura 18. Banco de pruebas de Suspensión Dinámico.....	21
Figura 19. Bancos de pruebas de elementos de suspensión	22
Figura 20. Placa de Arduino	24
Figura 21. Fases de desarrollo	25
Figura 22. Objetivos del sistema	26
Figura 23. Motor Trifásico	29
Figura 24. Reductor de Velocidad.....	30
Figura 25. Gata Hidráulica de Botella	31
Figura 26. Vista isométrica banco de pruebas	31
Figura 27. Esquema de la estructura metálica en SolidWorks	32
Figura 28. Análisis de las tensiones de Von Mises	34
Figura 29. Análisis de desplazamiento	35
Figura 30. Análisis de deformación.....	36
Figura 31. Análisis de Factor de Seguridad.....	37
Figura 32. Construcción del banco de pruebas (mesa).....	38

Figura 33. Base del motor y reductor	39
Figura 34. Bases del amortiguador	40
Figura 35. Acoplamiento del disco de aluminio y el reductor.....	40
Figura 36. Mecanismo Biela Manivela.....	41
Figura 37. Transferencia de Movimiento	42
Figura 38 Acople del mecanismo	43
Figura 39. Mecanismo para el muelle	44
Figura 40. Variador de Frecuencia AC Frenic Mini C2 400V	46
Figura 41. Celda de carga tipo S	47
Figura 42. Sensor Infrarrojo	48
Figura 43. Sensor de fin de carrera.....	49
Figura 44. Funciones de Programación en Arduino	50
Figura 45. Funciones de Programación en Arduino.....	51
Figura 46. Panel frontal LABIEW.....	53
Figura 47. Estructura While Loop	54
Figura 48. Flat Sequence Structure	55
Figura 49. Puerto de comunicación	55
Figura 50. Event Structure.....	56
Figura 51 . Bytes Serial	56
Figura 52. Comando de pedazos de cadena.....	57
Figura 53. Sección de caso "a"	58
Figura 54. Sección del caso "b"	59
Figura 55. Repeticiones del sistema	59
Figura 56. Sección del caso "c"	60
Figura 57. Sección del caso "d".....	61
Figura 58. Final de la Programación de la Interfaz	61
Figura 59. Final de la Programación de la Interfaz	62
Figura 60. Funcionamiento del sistema.....	63
Figura 61. Encendido del sistema.....	64
Figura 62. Funcionamiento de los botones virtuales	65
Figura 63. Circuito de la celda de carga-módulo Hx711-Arduino	67
Figura 64. Salidas Analógicas del Variador de Frecuencia.....	68
Figura 65. Diagrama de conexiones de variador de frecuencia con Arduino Mega	69

Figura 66. Conexiones Motor-Variador de Frecuencia	69
Figura 67. Diagrama de la placa de Arduino del Amortiguador	70
Figura 68. Diagrama de los componentes con la placa Arduino	70
Figura 69. Diagrama del Circuito del Muelle.....	71
Figura 70. . Diagrama de conexiones de Arduino para el muelle	71
Figura 71. Modelo dinámico de un cuarto de vehículo	72
Figura 72. Diagrama de bloques en Simulink	74
Figura 73. Grafica 1 del comportamiento en Simulink	74
Figura 74. Diagrama de bloques en Simulink de componentes físicos específicos	75
Figura 75. Grafica 2 del comportamiento en Simulink	76
Figura 76. Elementos de la modelación del sistema de masa-resorte	77
Figura 77. Flujograma de la modelación de la interfaz Masa Resorte Amortiguador ...	78
Figura 78. Ejecución del modelo matemático	79
Figura 79. Análisis de la frecuencia del sistema de suspensión	81
Figura 80. Prueba de Amortiguador 1	84
Figura 81. Grafica de valores del variador de frecuencia 1	85
Figura 82. Grafica de Velocidad de Amortiguador 1	86
Figura 83. Grafica de Fuerza vs. Velocidad Amortiguador 1	86
Figura 84. Prueba de Amortiguador 2	87
Figura 85. Grafica de los valores del variador de frecuencia 2	87
Figura 86. Grafica de Velocidad de Amortiguador 2	88
Figura 87. Grafica de Fuerza vs. Velocidad Amortiguador 2	88
Figura 88. Comparación de los resultados de las constantes de amortiguador	89
Figura 89. Prueba de muelle 1	91
Figura 90. Prueba de Muelle 2.....	92
Figura 91. Comparación de los resultados de las constantes de muelles	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Módulo de rigidez	20
Tabla 2. Materiales de la estructura.....	27
Tabla 3. Tipos de motores eléctricos	28
Tabla 4. Especificaciones del motor de 1kW FWEFG.....	29
Tabla 5. Tipos de Variadores de frecuencia	45
Tabla 6. Especificaciones Técnicas del Variador de Frecuencia.....	45
Tabla 7. Tipos y Selección de celdas de carga	47
Tabla 8. Especificaciones de la celda de Carga.....	48
Tabla 9. Elementos seleccionados	49
Tabla 10. Conexiones de la celda de carga.....	66
Tabla 11. Salida analógica para el inicio de la prueba del variador de frecuencia.....	67
Tabla 12. Salida analógica de voltaje del Variador de Frecuencia.....	68
Tabla 13. Resultados de la prueba en la interfaz de MatLab.....	80
Tabla 14. Frecuencias y características de las vibraciones en un vehículo	81
Tabla 15. Especificaciones de los Amortiguadores	83
Tabla 16. Valores de los resultados de los amortiguadores.....	89
Tabla 17. Especificaciones de los Muelles	90
Tabla 18. Valores de los resultados de los muelles	93

ÍNDICE DE ECUACIONES

(Ec 1: Cálculo de la masa).....	10
(Ec 2: Segunda ley de Newton).....	11
(Ec. 3 Formulas elementos de inercia).....	12
(Ec 5: Constante elástica).....	13
(Ec 6: Constante de Amortiguador).....	13
(Ec 7: Movimiento libre masa resorte).....	14
(Ec 8: Diferencial de segundo orden).....	15
(Ec 9: Diferencial de un movimiento libre amortiguado).....	17
(Ec 10: Sistema de masa resorte amortiguador).....	19
(Ec 11: Constante de Muelle).....	20
Ecu 12: Diferencial de masa resorte amortiguador.....	73
Ecu 13: Aceleración. Segunda Derivada de la posición.....	73

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AVR	Proyecto de Software Libre
ASTM	Asociación Americana de Ensayo de Materiales
AC	Corriente Alterna
CC	Corriente Continua
DT	Transmisión de Datos
EXP	Valor Exponencial
ESTRN	Deformación unitaria equivalente
FAM	Unidad de Frecuencia Variable
GND	Tierra del Amplificador
Hz	Hercio
kW	Kilovatio
LED	Diodo emisor de luz
MPa	Mega Pascales
MRA	Masa resorte amortiguador
PVB	Peso bruto vehicular
REV	Sentido De Rotación Del Variador, rpm del motor
SCK	Entrada de Tiempo en Serie (Serial Clock Input)
SMAW	Soldadura por arco eléctrico
USB	Bus Universal en Serie
VCC	Voltaje en Corriente Continua

RESUMEN

El diseño, construcción e implementación de un banco de pruebas para amortiguadores y muelles de vehículos livianos tiene el objetivo de proporcionar una herramienta para el aprendizaje y enseñanza del comportamiento físico y mecánico del sistema de suspensión

Para el diseño de la zona del amortiguador y la zona del muelle se realizaron cálculos de la potencia necesaria para el motor y la fuerza de la gata hidráulica mediante tablas de selección y comparación. La zona del amortiguador cuenta con un mecanismo de poleas conectado a un reductor de velocidad el cual está conectado a un mecanismo de biela manivela que ejercerá un movimiento en el eje “y”. La zona del muelle cuenta con una gata hidráulica que ejerce fuerza de compresión para los resortes, este mecanismo es accionado manualmente. La activación de los sensores que intervienen en las dos zonas del banco de pruebas para la medición se ha realizado mediante programación en el software LABVIEW.

Para el diseño estructural, mecánico y el análisis del elemento estructural de los componentes destinados a las zonas de las pruebas a realizar, se utilizó el software SolidWorks ya que este cumple con las necesidades del análisis estructural, con sus diversos componentes para el estudio del mismo, entre las más importantes se encuentran el estudio de deformaciones y el factor de seguridad.

A partir de pruebas realizadas a amortiguadores y muelles nuevos y otros que fueron sometidos a un tiempo específico de trabajo se pudo constatar la variación de las constantes C de amortiguamiento del amortiguador y la constante K de resistencia del muelle.

ABSTRACT

The design, construction and implementation of a test bench for dampers and springs of light vehicles is intended to provide a tool for learning and teaching the physical and mechanical behavior of the suspension system

The design of the damper zone and the dock area, calculations of the power required for the engine and the hydraulic jack force were made using selection and comparison tables. The damper zone has a pulley mechanism connected to a speed reducer which is connected to a crank link mechanism which will exert a movement on the "y" axis. The spring zone has a hydraulic jack that exerts compression force for the springs, this mechanism is manually operated. The activation of the sensors involved in the two zones of the test bench for the measurement has been made by programming in the LABVIEW software.

The structural and mechanical design and analysis of the structural element of the components destined to the zones of the tests to be realized, the SolidWorks software was used since this one meets the needs of the structural analysis, with its diverse components for the study of the same, among the most important are the study of deformations and the safety factor.

From tests performed on new shock absorbers and springs and others that were put through to a specific working time, it was possible to verify the variation of the damping constants C of the damper and the resistance constant K of the spring.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los problemas y fallos existentes en los vehículos que se originan en el sistema de suspensión se deben al desgaste progresivo de los amortiguadores y muelles ya que estos cumplen con la función de absorber directamente las irregularidades de la calzada. Esto se debe principalmente a agentes tanto internos como externos de los sistemas de suspensión, por lo cual los usuarios no toman en cuenta estos defectos de los componentes asumiendo que se encuentran en un buen estado. El sistema de suspensión incide directamente en la seguridad activa en un vehículo, en el cual brinda estabilidad y un confort al momento de conducir.

En el presente trabajo se realizó numerosas pruebas de compresión y tracción en amortiguadores y muelles, esto ayudó a determinar los rangos máximos y mínimos de utilidad de dichos elementos, es así como se determinó que el banco de pruebas va dirigido a elementos de la suspensión de vehículos livianos que no superen 3.5 toneladas de PVB.

El trabajo de grado está desarrollado por estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz en la Universidad Técnica del Norte para proporcionar una herramienta didáctica para realizar un debido mantenimiento y analizar el funcionamiento de los principales elementos del sistema de suspensión de un vehículo liviano.

El primer capítulo, asimila la situación actual del entorno al tema, el planteamiento, la formulación del problema, como también el lugar y tiempo que tomara el desarrollo del proyecto. Los objetivos tanto generales como específicos y la justificación de este proyecto están formulados en dicho capítulo. Así también, se observa la metodología a utilizar, las técnicas, métodos e instrumentos que serán útiles durante todo el proceso de construcción de este banco de pruebas.

El segundo capítulo referente a la fundamentación teórica obtenida de fuentes bibliográficas; se describe a la suspensión como elemento de seguridad activa del vehículo, se detallan los tipos de suspensiones, componentes del sistema de suspensión, masas suspendidas y no suspendidas, sistema mecánico, tipos de bancos de prueba de

suspensión, además de software e instrumentación que ayudara al desarrollo del presente proyecto.

En el tercer capítulo se detalla el diseño del banco de pruebas, se utiliza el software de SolidWorks para el diseño estructural y el análisis de carga, tensión, desplazamiento, deformación, y factor de seguridad de la estructura. Adicionalmente se realiza el desarrollo de una interface para la adquisición de datos mediante el software LabVIEW, para el efecto se desarrolló un código en la plataforma de Arduino, para el envío y recepción de datos de los sensores que se utiliza en el banco de pruebas. Seguidamente se implementa una interface para la simulación del comportamiento de un sistema muelle amortiguador, la modelación matemática del sistema de $\frac{1}{4}$ de vehículo en el software MATLAB, en el cual se obtiene gráficas de la frecuencia de amortiguamiento.

Finalmente, se realizó el análisis de los datos obtenidos por parte de las pruebas realizadas en el banco de diagnóstico de amortiguadores y muelles, para lo cual se utilizó como referencia 2 pares de muelles y amortiguadores para el vehículo Chevrolet Aveo, en donde se determinó montar un amortiguador y un muelle en el vehículo antes mencionado por un lapso de seis meses y comparar los resultados de los coeficientes con los elementos que no fueron sometidos a ningún tipo de trabajo.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes

El incremento del parque automotor en Ecuador ha provocado que los fabricantes de automóviles creen nuevas tecnologías de seguridad activa enfocándose en el confort para los vehículos donde intervienen muelles y amortiguadores con distintas especificaciones y aplicaciones, a su vez existe la tecnología que nos ayude a verificar las características que presentan los fabricantes a los compradores de los distintos tipos de suspensión, pero no obstante en nuestro medio aún no existe suficientes elementos de instrumentación para la verificar los componentes de la suspensión . El enfoque de control adaptativo emula el comportamiento dinámico de un sistema de suspensión pasivo que es sintonizado de forma óptima para el estado de conducción de recorrido, maximizando comodidad mientras se considera las restricciones sobre la dinámica de las ruedas, carga y la deflexión de la suspensión.

La falta de recursos para la adquisición de instrumentación en nuestro medio automotriz y en los talleres automotrices de la universidad dirigida hacia la prueba de los elementos de una suspensión y sus diferentes características y especificaciones se ha recurrido al diseño, construcción e implementación de un banco de pruebas que permita realizar las pruebas pertinentes de los amortiguadores y resortes de la suspensión de un vehículo liviano teniendo en cuenta que esto llevaría a una solución por parte de la seguridad activa en el vehículo.

El rango de oscilación de la suspensión de un vehículo está comprendido entre 1Hz y 2Hz, estos valores se pueden considerar como ideales ya que la impresión de los pasajeros será de confort, valores superiores a este rango son intolerables para los pasajeros, mientras que si existen valores inferiores a estos, producen una sensación de mareo (Gysen & van der Sande, 2011).

1.2 Planteamiento del problema

Uno de los grandes problemas respecto a la seguridad automotriz en nuestro país es la falta de interés al evaluar el estado mecánico del sistema de suspensión de nuestro vehículo en conjunto con la necesidad de implementar tecnología que permita obtener

datos reales con respecto a los parámetros de funcionamiento de los sistemas de suspensión de un vehículo liviano, específicamente en los amortiguadores y muelles, es por ello que se ha planteado el proyecto de construir un banco de pruebas de análisis de dichos elementos, implementando conocimientos y tecnología disponible para diseñar un método de análisis, el mismo que permitirá obtener datos teóricos y experimentales del funcionamiento de dichos componentes de la suspensión, con lo cual permitirá realizar pruebas comparativas de las distintas variables que puede presentarse en el sistema de suspensión de un vehículo.

1.3 Formulación del problema

La elaboración de este banco de pruebas permite conocer el comportamiento de los amortiguadores y muelles de un sistema de suspensión de un vehículo liviano, cuando es sometido a esfuerzos propios de su funcionamiento. Se logrará obtener datos específicos para la comparación de los mismos, cuando los componentes de la suspensión son nuevos o cuando ya tienen un tiempo de uso, esto facilitara tomar una decisión objetiva al técnico o ingeniero automotriz sobre si es necesario un cambio inmediato o si aún se puede alargar su uso. Cabe recordar que el sistema de suspensión a más de ser un componente que absorbe las irregularidades de la carretera, también influye en la estabilidad y agarre del vehículo, lo que se convierte en un requerimiento de seguridad para la maniobrabilidad del vehículo.

En nuestro país, la normativa NTE INEN 2349:2003 establece los procedimientos de la revisión técnica vehicular, para evaluar el estado de funcionamiento de los sistemas de seguridad activa y pasiva del vehículo. Es así que en los centros de revisión y control vehicular cuentan con un equipo que consistente en placas vibratorias y sensores convenientemente dispuestos, que permiten verificar el correcto funcionamiento del conjunto de la suspensión de un vehículo mediante la determinación de variables como amplitud de oscilación en resonancia y la eficiencia porcentual de la suspensión, datos que se obtendrán cuando el vehículo sea sometido a las pruebas correspondientes.

1.4 Delimitación

1.4.1 Alcance

Se realiza el diseño, construcción e implementación de un banco de pruebas el cual cuenta con un mecanismo que proporcione un movimiento longitudinal en muelles y amortiguadores, además de una interface que procesará los datos obtenidos en las pruebas, con el objetivo de analizar el estado mecánico de los mismos. Este banco de pruebas solo abarca los elementos de suspensión principales como son el amortiguador hidráulico y muelle de un vehículo liviano tipo sedán.

1.4.2 Temporal.

Este proyecto se llevará a cabo en el lapso comprendido en el cronograma de actividades que va desde el mes de marzo hasta el mes de agosto del año 2017, el cual contara con cuatro fases de acuerdo al cronograma propuesto: la primera fase estará enfocada a un estudio bibliográfico sobre la suspensión como elemento de seguridad activa y sistema mecánico, la segunda fase se enfocará en la determinación de los modelos matemáticos de un sistema muelle amortiguador, la tercera fase tratará sobre la construcción del banco de pruebas y finalmente, la cuarta fase tratara sobre el desarrollo de la interfaz que se implantará para la adquisición de datos del banco de pruebas.

1.4.3 Espacial

Este proyecto se llevará a cabo en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura-Ecuador en las instalaciones del taller automotriz de la Universidad Técnica del Norte.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Diseñar, construir e implementar un banco de pruebas para el análisis de la eficiencia de amortiguadores y muelles de un vehículo liviano.

1.5.2 Objetivos Específicos

1. Desarrollar un modelo matemático en Matlab, para simular el comportamiento de sistema un amortiguador y muelle.
2. Diseñar un banco de pruebas para el análisis del comportamiento de muelles y amortiguadores.

3. Implementar un software en LabVIEW para la adquisición de datos del comportamiento de muelles y amortiguadores.
4. Realizar una serie de pruebas para evaluar el funcionamiento del equipo y software de adquisición de datos.

1.5.3 Justificación

Para resolver uno de los grandes problemas de seguridad automotriz en nuestro país que se origina principalmente por la falta de implementación de tecnología que permita realizar pruebas de diagnóstico de los componentes mecánicos para detectar o descartar algún tipo de anomalía que comprometa la seguridad y estabilidad del vehículos, es por ello que se ha tomada la iniciativa de construir un banco de pruebas de análisis de amortiguadores y muelles automotrices, implementando métodos de análisis, los mismos que permitirá obtener datos experimentales y teóricos del su funcionamiento, además de realizar pruebas comparativas de las distintas variables que influyen en el comportamiento del sistema de suspensión de un vehículo.

La elaboración del presente trabajo de investigación está alineado a los objetivos del plan del buen vivir 2013-2017, entre ellos se puede citar el objetivo 3 que es Mejorar la calidad de vida de la población que nos dice generar movilidad segura y sustentable requiere romper los intereses corporativos y gremiales del transporte, fortaleciendo la planificación, la regulación y el control de la movilidad y la seguridad vial; fomentando el uso del transporte público seguro, digno y sustentable, también se tendrá en cuenta las políticas que hacen garantizan el acceso a servicios de transporte y movilidad incluyentes, seguros sustentables a nivel local e internacional. Otro objetivo que cabe mencionar es el número 10 que toca el tema de impulsar la transformación de la matriz productiva, haciendo referencia al promover la intensidad tecnológica en la producción primaria, de bienes intermedios y finales (SENPLADES, 2013-2017)

CAPÍTULO II

2 Marco Teórico

2.1 Elementos de seguridad del vehículo

El vehículo cuenta con sistemas de seguridad que brinda protección al conductor y a sus ocupantes, estos elementos de seguridad están divididos en: seguridad activa y seguridad pasiva, de esta manera la seguridad del vehículo no se enfoca únicamente al momento en que se suscita un siniestro, sino que se la tiene presente en todo momento, es así que los fabricantes de vehículos tienen el mismo esmero en desarrollar tecnología para la seguridad pasiva y activa.

2.1.1 Seguridad activa

Este tipo de seguridad está presente en todo momento, proporcionando al conductor facilidad de conducción y estabilidad del vehículo, en estos sistemas de seguridad podemos encontrar el tren de potencia, suspensión, dirección, frenos e iluminación.

2.1.2 Seguridad pasiva

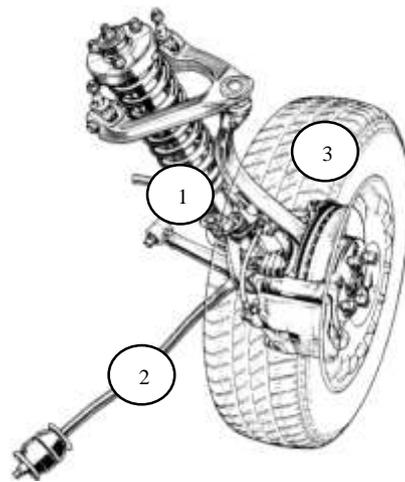
Este tipo de seguridad va enfocada a situaciones de impacto del vehículo que comprometan la seguridad del conductor y de los ocupantes del mismo, es así como su intervención es puntual en cuanto que solo se hará presente cuando el vehículo haya colisionado con un obstáculo que comprometa el bienestar de los ocupantes del vehículo, entre estos se pueden mencionar carrocerías con deformación programada, cristales de seguridad y sistemas de retención.

2.2 Suspensión

Se conoce como suspensión al conjunto de elementos elásticos que se interponen entre los órganos suspendidos del vehículo los cuales son bastidor, carrocería, pasajero y carga y los órganos no suspendidos como son las ruedas y ejes, estos elementos proporcionan estabilidad al vehículo y cierto nivel de seguridad que en conjunto con el tren de rodaje se convierte en un sistema de seguridad activa.

2.2.1 Principios de funcionamiento de la suspensión

El sistema de suspensión de un vehículo está encargado de mantener en contacto las ruedas con el terreno, de tal manera que absorba las vibraciones y movimientos de las ruedas cuando el vehículo se encuentre desplazándose, de esta manera se evita que los golpes producidos por las irregularidades de la calzada afecten la carrocería o bastidor, además contribuye a la estabilidad del vehículo, mejorando la adherencia del mismo y las respuestas de la dirección.



1. Conjunto muelle amortiguador
2. Barra estabilizadora
3. Llanta

Figura 1. Elementos de una suspensión
Fuente: (Reimpell, Stoll, & Betlzer, 2011)

Los principales elementos de la suspensión son: los elementos disipadores de energía o amortiguadores, los mecanismos de brazos, reenvíos, tirantes, rótulas, bujes y rueda y los elementos elásticos: ballestas, muelles helicoidales, barras de torsión, barras estabilizadoras.

2.3 Tipos de suspensión

La decisión de optar una suspensión delimita la elección de dos opciones que son el confort y la estabilidad que le proporcionara al vehículo en la carretera. Mientras la suspensión sea más rígida, aumentará la estabilidad, pero decrecerá el confort del vehículo, mientras que con una suspensión blanda ocurrirá lo contrario, el vehículo obtendrá mayor confort, pero la disminuirá la estabilidad.

Las suspensiones se clasifican en:

- Suspensión activa
- Suspensión semi-activa
- Suspensión pasiva

2.3.1 Suspensión activa

Este tipo de suspensión se dirige a un parque automotor de alta gama como lo es el Mercedes Clase S el cual pretende brindar una estabilidad y confort eficaz en el manejo de sus vehículos, el mismo que intenta brindar con mayor eficacia y por partida doble el mismo porcentaje a la seguridad y confort para los ocupantes del vehículo. Este tipo de suspensión dispone de un sistema neumático e hidráulico, el cual cuenta con un computador que se encarga de la obtención de los datos recogidos por los sensores y así enviar las señales pertinentes a los actuadores de la suspensión y obtener una estabilidad fiable del vehículo.



Figura 2. Esquema de los componentes de la suspensión activa
Fuente: (Reimpell, Stoll, & Betlzer, 2011)

Es así como esta suspensión cuenta con dos opciones de suspensiones en un solo sistema, una suspensión rígida y otra de confort dependiendo de las condiciones de la carretera. El funcionamiento de este sistema se realiza cuando el vehículo tiene una trayectoria recta, el cilindro hidráulico está comunicado con la esfera, así no actúa la barra estabilizadora directamente. Al iniciar una curva se interrumpe esa comunicación y la barra estabilizadora actúa de manera rígida, cuando la carrocería se inclina más de 0.3° , el

cilindro recibe o expulsa aceite a presión estirándose o encogiéndose, aplicando una fuerza en sentido inverso a la inclinación de la carrocería.

2.3.2 Suspensión semi-activa

Esta clase de suspensión emplea sistemas regulados que admiten cambios en los mecanismos de suspensión y amortiguación los que permiten al vehículo adecuarse a necesidades de uso deportivo o confort. Este sistema de suspensión cuenta con dispositivos regulables asistidos por la electrónica, sensores, módulos electrónicos que les adjudica la capacidad de regularización automática o en algunos casos por medio de operaciones determinadas por el conductor. El mecanismo de esta suspensión no necesita un canal externo de energía.



Figura 3. Suspensión semi-activa
Fuente: (Dominguez & Ferrer, 2016)

Este mecanismo cuenta con electroválvulas que le permite variar las características del amortiguador, esto hace referencia al coeficiente de amortiguación del mismo, otro punto a considerar es la variante no regulable de los muelles la cual se hace sobre la marcha del vehículo, esto se logra con muelles de deformación progresiva o muelles en forma cónica que también son conocidos como muelles con deformación variable.

2.3.3 Suspensión pasiva

Este tipo de suspensión es una de las más utilizadas por las empresas que fabrican automotores, enfocado a vehículos medianos y pequeños, las características de

amortiguamiento de esta suspensión siempre son constantes al momento que el vehículo se encuentra transitando cualquier tipo de calzada, esto quiere decir que su regulación es automática, sus componentes básicos son un muelle y amortiguador, aunque también en ciertos casos consta de ballestas, barras de torsión y barras estabilizadoras.

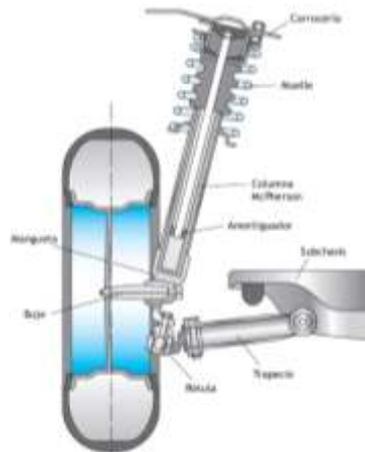


Figura 4. Suspensión pasiva
Fuente: (Dominguez & Ferrer, 2016)

Este sistema de suspensión es conocido como McPherson, pensado y diseñado como un mecanismo económico, sencillo, compacto y eficaz el mismo que es evidente para el comportamiento del motor del vehículo, este tipo de suspensión es el más usado en el parque automotor del Ecuador.

2.4 Componentes del sistema de suspensión

2.4.1 Muelles

Son elementos mecánicos que, en su gran totalidad de los vehículos livianos, ya que conllevan una ventaja con respecto a las ballestas, ya que tiene obtiene una elasticidad superior por su gran recorrido, además su espacio y peso son considerablemente reducidos.

Consisten en un arrollamiento helicoidal de acero elástico formado con hilo de diámetro variable que puede ser de 10 a 15 mm; este diámetro varía en función de la carga que tienen que soportar, las últimas espiras son planas para facilitar el asiento del muelle sobre

sus bases de apoyo del vehículo, en la siguiente grafica podemos contemplar esquemáticamente sus componentes.

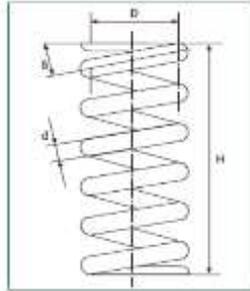


Figura 5. Dimensiones del muelle
Fuente: (Dominguez & Ferrer, 2016)

- β = diámetro medio
- H=altura del muelle
- d=diámetro del alambre
- D= Diámetro del muelle

La flexibilidad que pueden brindar los muelles depende del número de espiras, del diámetro de resorte, del espacio entre espiras y las características del material del cual este fabricado el muelle. Se puede obtener diferentes niveles de flexibilidad dependiendo del diámetro de enrollado de los muelles.

Muelle convencional

Este tipo de resorte es el más común utilizado en los campos de la industria mecánica, su diseño es sencillo brindando un eficaz amortiguamiento de los elementos a los que este sujeto, su diseño es contante, ya que el paso que tiene entre las espiras es el mismo.

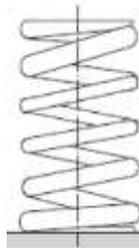


Figura 6. Muelle convencional
Fuente: (Dominguez & Ferrer, 2016)

Muelle con paso entre espiras variable

Este tipo de resorte como su nombre lo dice, se distingue por su curioso diseño al tener diferentes dimensiones de paso entre las espiras, esto es evidente entre las espiras superiores e inferiores, manteniendo un paso con dimensiones constantes en la mitad del mismo, este muelle va dirigido al campo automotriz, brindando un sencillo montaje y desmontaje de las bases del vehículo.

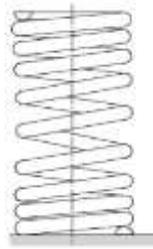


Figura 7. Muelle con paso variable
Fuente: (Dominguez & Ferrer, 2016)

Muelle cónico

Este tipo de resorte se diferencia entre los demás por su diámetro medio, el mismo que es variante en su parte superior con dimensiones menores a las de su parte inferior, su diseño es dirigido a la optimización de espacio en el vehículo.

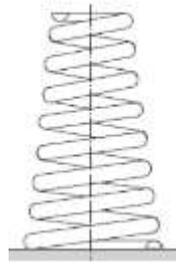


Figura 8. Muelle Cónico
Fuente: (Dominguez & Ferrer, 2016)

2.4.2 Amortiguadores

Este componente es el delegado de absorber las vibraciones de los elementos elásticos como son los muelles, barras de torsión y ballestas. Este elemento de la suspensión entra en acción cuando la rueda del vehículo cruza por un obstáculo y el muelle se estira o comprime obteniendo la energía mecánica producido por el golpe don el obstáculo, esta

energía es devuelta por efecto de la elasticidad del muelle rebotando sobre la carrocería, siendo este rebote y vibración la que debe aminorar el amortiguador, recogiendo en primer lugar, el efecto de compresión y luego la reacción del muelle, recibiendo el nombre de amortiguador de doble efecto al actuar en estas dos fases.



Figura 9. Amortiguador de doble efecto
Fuente: (Dominguez & Ferrer, 2016)

Tipos de amortiguadores

Los amortiguadores más comunes en el campo automotriz en la actualidad son el tipo telescopio de funcionamiento hidráulico de los cuales se pueden subdividir en los siguientes tipos: Monotubo y Bitubo

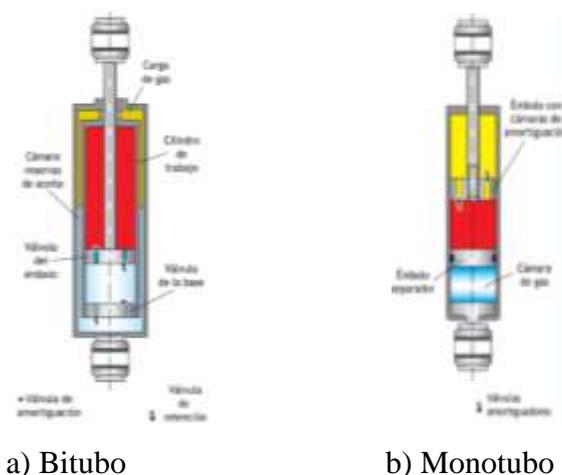


Figura 10. Esquema de los amortiguadores
Fuente: (Dominguez & Ferrer, 2016)

2.5 Masas suspendidas y no suspendidas

Al conceptualizar las masas suspendidas y no suspendidas se puede decir que este tema se enfoca en determinar la posición en la que se encuentran los componentes del sistema de la suspensión de un vehículo. La suma total de las masas que esta presentes en el vehículo, permitirá realizar cálculos con gran trascendencia del sistema mecánico de la suspensión del vehículo.

2.5.1 Masas Suspendidas

La masa suspendida es cierta porción de masa del vehículo, la cual está sujeta a elementos elásticos del sistema de suspensión. Estos elementos son los que se encuentran suspendidos y delimitan a no tener ningún tipo de contacto con la calzada, estos son: chasis, motor, combustible, caja de cambios, también incluye la carrocería y los pasajeros

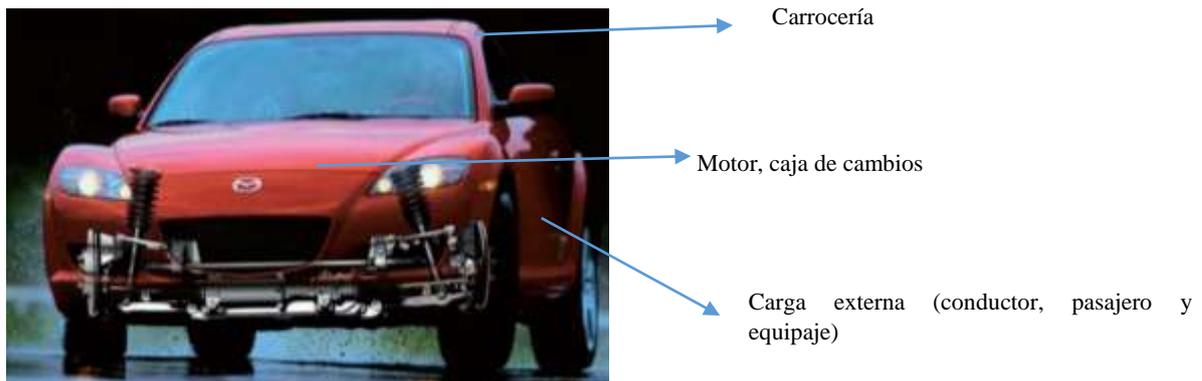


Figura 11. Masa suspendida
Fuente: (Dominguez & Ferrer, 2016)

La respuesta frecuencial es una función en variable compleja. El módulo representa, en el dominio frecuencial, la relación entre el movimiento de la masa suspendida respecto a lo que se mueve el punto de contacto rueda-suelo, suponiendo una entrada sinusoidal unitaria de pulsación y en régimen estacionario. El ángulo representa la fase entre ambos movimientos

2.5.2 Masas no Suspendidas

La masa no suspendida es el peso completo del vehículo la que esta sujetado a los muelles del sistema de suspensión. Se considera que está compuesta por los, neumáticos,

mordazas, cerca del 50% del peso de los brazos de suspensión, los ejes de transmisión, resortes y amortiguadores. La masa no suspendida es la que está sujeta a los amortiguadores que está encargada de mantener la estabilidad y control de los vehículos. Para el estudio de las masas no suspendidas se tendrá que considerar que existirá la intervención de las siguientes variables: masa no suspendida, suspensión, el rebote de la rueda y la compresión del neumático. Este tipo de mecanismo de masa no suspendida obra directamente en la capacidad de la rueda del vehículo al enfocarse en el aislamiento de las irregularidades de la calzada como lo son las vibraciones.

2.6 Sistema mecánico

Un sistema mecánico es la unión de componentes que actúan en conjunto para llegar a un objetivo, en la cual tienen como función en los sistemas dinámicos transforman el movimiento y convertir en cualquier tipo de energía, y con la ayuda del sistema mecánico sirve para el desarrollo de modelos matemáticos. Un modelo matemático determina cualquier tentativa del diseño de donde debe partir una suposición de su funcionamiento o construirse físicamente, esta es una descripción matemática con las características dinámicas, en los sistemas físicos son de mucha ayuda por lo que se describe en ecuaciones diferenciales, lo cual en la ingeniería requiere del apoyo de esta herramienta. Desde el punto de vista profesional debe ser capaz de obtener el modelo matemático de un sistema para predecir su funcionamiento, desde el punto de vista del diseño debe acarrear un análisis de funcionamiento antes de que se fabrique un prototipo.

La elaboración de los modelos matemáticos y el análisis de respuestas conllevan una descripción de los sistemas de unidades seguidas de conceptos básicos de masa, fuerza y las leyes de Newton, con las cuales se desarrollan modelos matemáticos de modelos mecánicos y vibraciones.

Masa

La masa de un cuerpo es la cantidad de materia que esta contiene, es la propiedad de su cuerpo que atraída hacia la tierra y esta es más conocida como peso.

$$m = \frac{w}{g} \quad (\text{Ec 1: Cálculo de la masa})$$

Donde:

m = masa

w = peso

g = gravedad

La masa es calculada mediante la ecuación 1, donde g es la constante de la gravedad ($9,8 \frac{m}{s^2}$).

Fuerza

Esta se define como el cambio producido en el movimiento de un cuerpo en el cual actúa, existen dos tipos de fuerzas capaces de actuar en un cuerpo: la fuerza de contacto aquellas que tienen un contacto directo hacia el cuerpo, y la fuerza de campo son aquellas que actúan sobre ella, pero no tiene ningún contacto con ellos, como por ejemplo la fuerza gravitatoria y magnética. Las unidades de medida de la fuerza son el Newton (N) el dará un kilogramo masa una aceleración de $1 \frac{m}{s^2}$ o $1N = 1kg \cdot \frac{m}{s^2}$

Segunda ley de Newton

La segunda ley de Newton nos dice que la aceleración de un cuerpo rígido es proporcional a la fuerza que actúe e inversamente proporcional a la masa de dicho cuerpo.

$$Fuerza = (masa)(aceleracion)$$

Suponiendo que algunas fuerzas interactúan con las masas F es la suma de todas las fuerzas que actúan en una dirección dada:

$$\sum F = ma \quad (\text{Ec 2: Segunda ley de Newton})$$

En la cual a es la aceleración de esa dirección de la fuerza que actúa sobre una masa debe atravesar el centro de la masa, entonces la segunda ley de Newton nos da una relación de fuerza aceleración de un cuerpo rígido en torsión.

Modelación matemática de un sistema muelle amortiguador

En cualquier modelo mecánico se desarrolla un modelo matemático aplicado a las leyes de Newton, para la cual es necesario tres elementos básicos que son:

- Elementos de inercia
- Elementos de resorte
- Elementos amortiguadores

Elementos de inercia: entendemos las masas y los momentos de inercia, esta se define como el cambio de fuerza (par) requerido para producir el cambio unitario en la aceleración.

$$masa = \frac{\text{cambio de la fuerza [N]}}{\text{cambio en la aceleracion } \left[\frac{m}{s^2} \right]}$$

(Ec. 3 Formulas
elementos de
inercia)

$$momento\ de\ inercia = \frac{\text{cambio en el par}}{\text{cambio en la aceleracion angular}} \left[\frac{N \cdot m^2}{\frac{rad^2}{s}} \right]$$

Elemento de resorte: este es un elemento mecánico que se deforma por una fuerza externa de tal manera la deformación es proporcional a la fuerza o par que esta aplicada en cada extremo, por lo que en los extremos de los resortes están en la misma línea y son de igual magnitud.

$$F = kx$$

$$F = k(x_1 - x_2) \quad (\text{Ec. 4: Ley de Hooke})$$

Donde:

k= constante del resorte.

x= fuerza/desplazamiento.

Cuando un resorte lineal se estira, alcanza un punto en el cual la fuerza por el desplazamiento empieza a cambiar viene a ser un resorte no lineal, lo cual este sobrepasa el punto de estirar este se rompe o cede. Elementos amortiguadores: un amortiguador es un elemento mecánico que absorbe la energía y esta energía obtenida es disipada en forma de calor en lugar de guardársela y esta fluye hacia el ambiente, este consiste en un pistón y de un cilindro lleno de aceite, el movimiento relativo del vástago del pistón y de cilindro se encuentra una resistencia del aceite ya que este se comprime de un lado al otro. Las fuerzas de en los extremos de los amortiguadores lineales existe una fuerza F que actúa sobre este y es proporcional a la diferencia de velocidad x de ambos extremos

En la ecuación anterior debemos tomar en cuenta que en este existirán dos diferentes posiciones en este caso la inicial y una final la que determinaría la muestra de avance para el cálculo de elasticidad, de esta manera con la ecuación anterior se despeja la variable que en este caso es el coeficiente en la cual obtenemos:

$$k = F/\Delta_x \quad (\text{Ec 5: Constante elástica})$$

Donde:

k = constante de amortiguamiento

F = fuerza en Newtons

Δ_x = Incremento de la distancia

La ecuación anterior sirve siempre y cuando el valor de la tensión del muelle no exceda un límite elástico en cuanto al material del muelle del cual está fabricado.

Fuerza de amortiguación en fluidos régimen lineal

Existen diversas modelizaciones de amortiguamiento, la más simple de ellas consta de una partícula o masa concentrada, que va perdiendo velocidad bajo la acción de una fuerza de amortiguamiento proporcional a su velocidad:

$$F = C \frac{dx}{dt} \quad C = \frac{F}{\frac{dx}{dt}} \quad (\text{Ec 6: Constante de Amortiguador})$$

Donde:

F = fuerza de oposición al movimiento medida en Newton.

C = es el amortiguamiento real del sistema medido en N/(m/s).
 dx/dt = es la velocidad del sistema medida en m/s

2.6.1 Sistemas masa-resorte

Movimiento libre no amortiguado

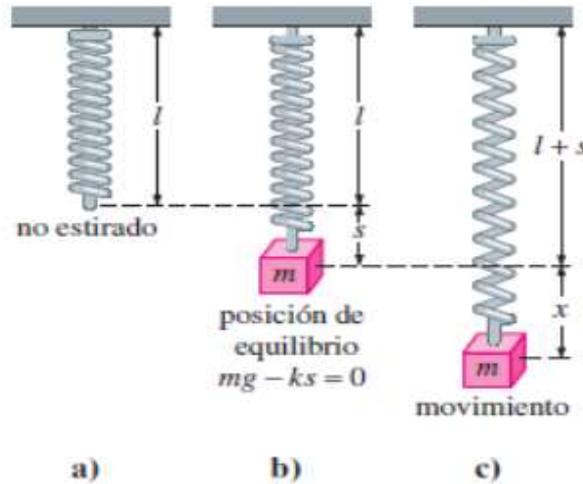


Figura 12. Sistema masa-resorte
 Fuente: (Zill, 2010)

La ley de Hooke dice que al suspender un resorte verticalmente en un soporte rígido y se coloca una masa al otro extremo del resorte, el alargamiento del resorte depende de la masa, la cual ejerce una fuerza restauradora opuesta a la dirección de elongación y proporcional a la cantidad de elongación.

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -k(s + x) + mg$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx + \underbrace{mg - ks}_{\text{cero}}$$

(Ec 7: Movimiento libre masa resorte)

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -ks$$

Después de la masa se une al resorte, este se alarga el resorte una cantidad y logra una posición de equilibrio mediante una fuerza restauradora, esto es determinado como la gravedad, donde la masa se desplaza una determinada cantidad de su posición de equilibrio, suponiendo que no hay fuerza restauradora en el sistema y suponiendo que la

masa vibra libre de otras fuerza externas (movimiento libre) se puede igualar la segunda ley de Newton con una fuerza neta o resultante de la fuerza restauradora y el peso.

En la siguiente ecuación el signo negativo indica la fuerza del resorte actúa opuesta a la dirección de movimiento, adopta la convención de que los desplazamientos medidos debajo de la posición de equilibrio son positivos.

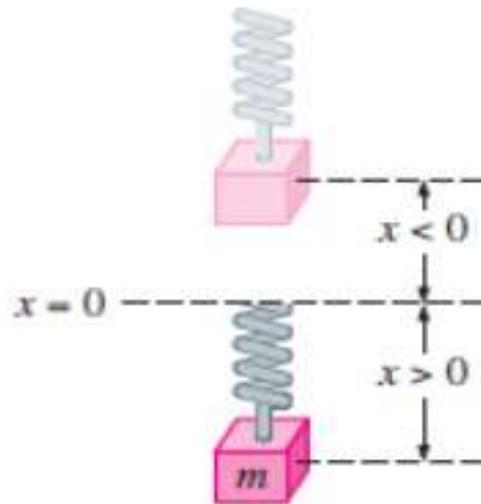


Figura 13. La dirección hacia abajo de la posesión de equilibrio
Fuente: (Zill, 2010)

Dividiendo entre la masa se obtiene una ecuación diferencial de segundo orden

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2x = 0 \quad (\text{Ec 8: Diferencial de segundo orden})$$

Donde:

dt = Derivada del tiempo

dx = derivada del desplazamiento

ω = Frecuencia Angular [rad/s]

Este describe un movimiento armónico simple o movimiento libre no amortiguado, el desplazamiento inicial de la masa, parte de un punto de debajo de la posición de equilibrio con una velocidad impartida hacia arriba, la masa se libera desde el punto de reposo de un punto hacia arriba de la posición de equilibrio.

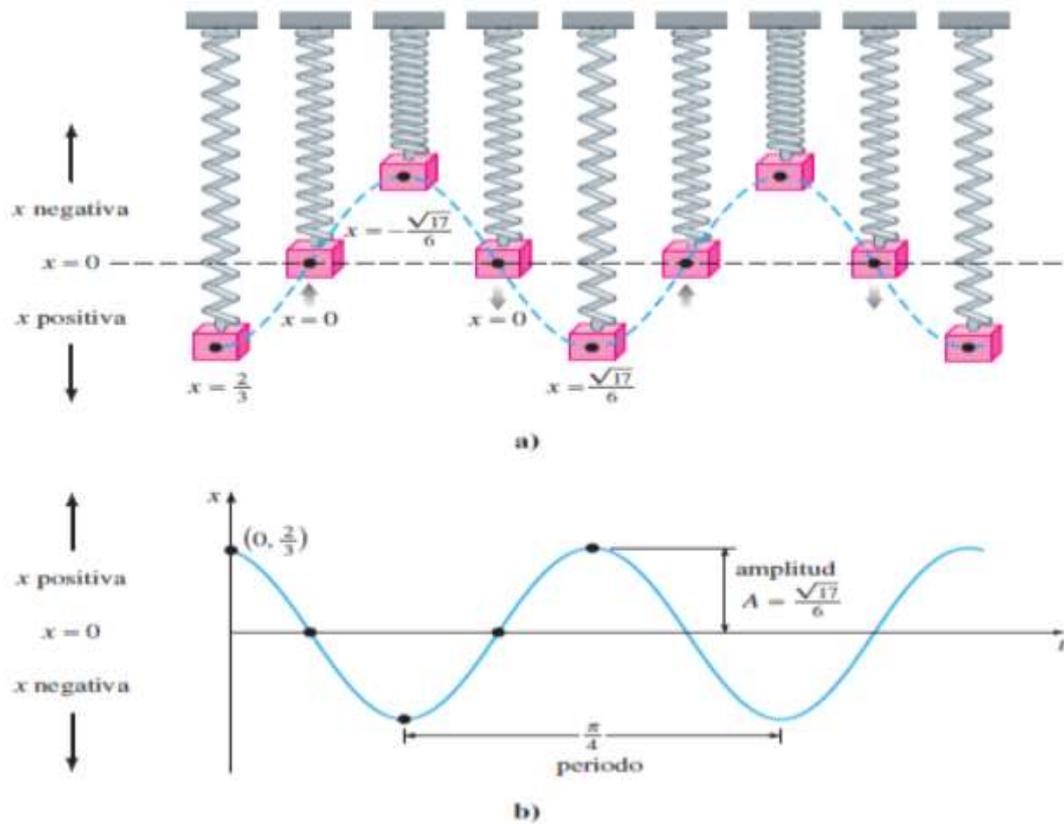


Figura 14. Movimiento Armónico simple
Fuente: (Zill, 2010)

El periodo del movimiento representado por el tiempo que tarda la masa en ejecutar un ciclo de movimiento, un ciclo de una oscilación completa de la masa se mueve al punto mínimo debajo de la posición de equilibrio hasta el punto más alto de arriba de la misma y luego de regreso del punto de mínimo. La frecuencia de movimiento es el número de ciclos completados en un segundo.

2.6.2 Sistema resorte- masa amortiguador

Movimiento libre amortiguado

El concepto de movimiento armónico simple es irreal, el movimiento que se supone que no hay fuerzas restauradoras que actúan en la masa en el movimiento, a menos que la masa se suspenda en vacío, por lo que habría una fuerza de resistencia en ese momento.

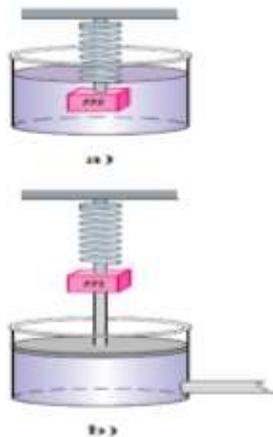


Figura 15. Dispositivos de amortiguamiento
Fuente: (Zill, 2010)

La masa podría estar suspendido en un medio viscoso o a una unidad de dispositivo viscoso.

Ecuaciones diferenciales de un movimiento libre amortiguado

Las fuerzas de amortiguamiento que actúan en el cuerpo se consideran proporcionales a una potencia de la velocidad instantánea, se supone que la fuerza está dada por un múltiplo constante de $\frac{dx}{dt}$. Cuando ninguna otra fuerza actúa en el sistema, de aquí la segunda ley de Newton:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx - \beta \frac{dx}{dt} \quad (\text{Ec 9: Diferencial de un movimiento libre amortiguado})$$

Donde:

β = constante de amortiguamiento

dt = derivada del tiempo

dx = derivada del desplazamiento

ω = frecuencia angular [rad/s]

En donde β es la constante de amortiguamiento positiva y el signo negativo es una consecuencia del hecho que la fuerza de amortiguamiento actúa en una dirección opuesta al movimiento.

Sistema resorte masa: movimiento forzado con amortiguador

Se toma en consideración una fuerza externa f que actúa sobre la masa vibrante del resorte.

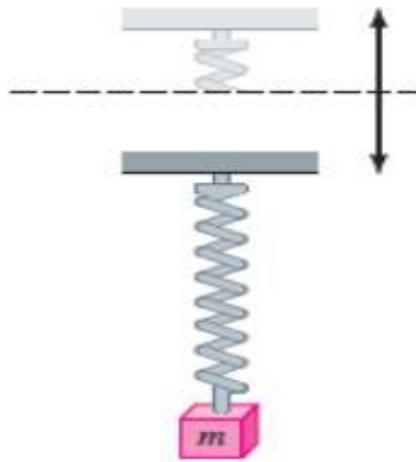


Figura 16. Movimiento vertical oscilatorio del apoyo
Fuente: (Zill, 2010)

Este sistema consta con una restricción, la cual solo le permite moverse en dirección vertical obteniendo como resultado un movimiento ascendente y descendente con respecto al punto de equilibrio (Zill, 2010). Este tipo de sistema cuenta con un elemento resorte opuesto a un elemento disipador, estos elementos se encuentran empotrados en uno de sus extremos, mientras que a su otro extremo se encuentra una masa, lo que le permite moverse en una sola dirección al sistema.

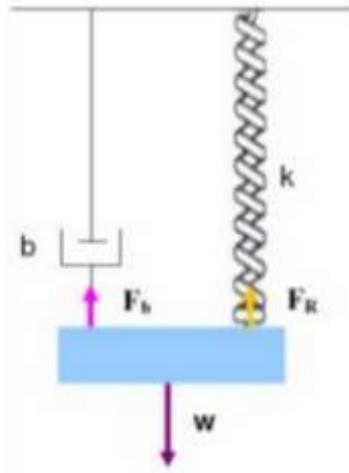


Figura 17. Esquema del Sistema Masa Resorte Amortiguado
Fuente: (carlo, 2014)

$$F_R + F_b = m \cdot a$$

$$F_R = -ky$$

$$F_b = -by$$

$$-ky - by = m \cdot a$$

(Ec 10: Sistema de masa resorte amortiguador)

$$ma + ky + by = 0$$

$$m \frac{d^2y}{dt^2} + b \frac{dy}{dt} + ky = 0$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{b}{m} \frac{dy}{dt} + \frac{k}{m} y = 0$$

Donde:

k = coeficiente de resistencia del muelle

W = trabajo o peso

F_r = Fuerza reestructiva del muelle

F_b = Fuerza reestructiva del amortiguador

b = constante del amortiguador

Se utiliza la formulación que es utilizado para la el procesos de fabricación de materiales, en la cual esta es utilizada para la obtención de un coeficiente de un muelle helicoidal el cual va estar sometido a fuerzas de compresión y extracción, es utilizado un módulo de rigidez de los materiales, en este caso el valor que se obtiene para la fabricación del muelle

es obtenido en tablas de libros, en el cual el valor G utilizado para un muelle es de $8.1 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$, este valor es el más convencional utilizado por los fabricantes.

Tabla 1. Módulo de rigidez

Metal	Módulo de rigidez G en 10^{10} N/m^2
Cobre estirado en frío	4.80
Aluminio	25.0-26.0
Acero al carbono	0.8
Acero aleado	8.1

La ecuación utilizada es:

$$k = \frac{d^4 * G}{8 * D^4 * N_{\text{espi}}} \quad (\text{Ec 11: Constante de Muelle})$$

Donde:

G = módulo de rigidez del Muelle de $8.1 \times 10^{10} \text{ xPa}^3$

D = diámetro de muelle

d = diámetro de la espira

N_{espi} = Numero de espiras

Con esta ecuación se determina de una forma eficaz en tanto se toma los valores del muelle para el valor de una constante en el cual nos servirá para estipular un resultado mediante este análisis matemático.

2.7 Bancos de pruebas de suspensión

El banco de pruebas de suspensión es un mecanismo destinado para vehículos de bajo tonelaje, siendo su principal objetivo el efectuar un análisis eficaz en un corto tiempo de la suspensión del vehículo.

2.7.1 Banco de pruebas cimentado

Las pruebas usualmente de este tipo de banco de suspensión son sometidas bajo los estándares del método EUSAMA, el cual se ejecutará midiendo las ruedas de cada eje

individualmente. La estructura del banco lleva incorporada un sistema de seguridad que detecta la presencia del vehículo durante el ensayo, de esta manera se muestra el peso del vehículo para que comience a efectuarse la prueba la cual cuenta con una interface conectado a un computador arroja los resultados pertinentes para el análisis del estado mecánico de la suspensión.



Figura 18. Banco de pruebas de Suspensión Dinámico
Fuente: (Equip, 2015)

La ejecución de este tipo de pruebas en la suspensión de vehículos livianos se realiza para constatar el estado mecánico de la suspensión y llegar a dar un veredicto el cual determine si es conveniente cambiar los amortiguadores y los espirales del vehículo o si aún cuenta con una vida útil los componentes de la suspensión, este tipo de banco de pruebas también se lo denomina dinámico.

2.7.2 Banco de pruebas de elementos de la suspensión

Esta máquina sustituye el método de prueba y error en un método fiable y eficiente para determinar el estado mecánico óptimo de los amortiguadores o muelles dependiendo de sus especificaciones.



Figura 19. Bancos de pruebas de elementos de suspensión
Fuente: (Sportdevices, 2015)

El mecanismo cuenta con un motor, una caja de marchas y dos tipos de sensores: una celda de carga y un sensor de temperatura de choque los cuales están montados sobre una estructura metálica. La velocidad de carrera y el motor se establece en un rango de velocidad elegido (Si no dispone de control de velocidad variable, rango de velocidad sólo puede ser selecto por el ajuste de longitud de carrera.). El equipo está configurado para recibir los datos y se toma la temperatura inicial. La máquina se pone en marcha y el elemento de la suspensión realiza un ciclo en el rango de velocidad elegido donde se envían los datos al ordenador. El ordenador puede entonces mostrar los datos en un método gráfico que permitirá al operador ajustar los parámetros de trabajo.

2.8 Software e instrumentación

2.8.1 Matlab

Es un software que está enfocado al uso como una herramienta para los ingenieros científicos que permite el análisis y diseño de sistemas de transformación en el campo automotriz enfocado a la seguridad del vehículo. Está basado en una matriz natural que permite expresar las condiciones de ciertas piezas o elementos mecánicos de forma matemática computacional, la cual contiene graficas integradas que facilitan la visualización y comprensión de los datos obtenidos al realizar el análisis del elemento elegido para realizar algún tipo de estudio, también permite implementar algoritmos y aplicaciones dentro de sistemas web, empresariales y de producción.

2.8.2 SolidWorks

Este es un software profesional enfocado a servir como una herramienta para determinar el rendimiento de productos industriales, es decir que permite a los ingenieros determinar la resistencia mecánica, la durabilidad, las presiones a las que podría a trabajar cierto instrumento o pieza mecánica, en el cual podremos realizar un sin número de simulaciones, diseños y rediseños de un elemento industrial, mecánico.

Existen dos factores que condicionan la mayoría de diseño y fabricación de productos como lo son el funcionamiento y la resistencia, es por eso que SolidWorks se divide en dos herramientas como son SolidWorks Emotion y SolidWorks Simulations ayudan a evaluar dichos objetivos

SolidWorks Emotion se puede ensayar de manera fácil en las primeras etapas de diseño y desarrollo para ayudar a ajustar el tamaño de piezas, rodamientos y motores. SolidWorks Simulations podemos realizar un análisis a más profundidad para asegurar que la resistencia del diseño es el adecuado. Se pueden colocar cargas que de distintas dimensiones para determinar el rendimiento de la pieza.

2.8.3 LabView

LabView es un software que brinda un entorno de desarrollo integrado y diseñado específicamente para ingenieros y científicos que desarrollan sistemas de medidas y control. Con un lenguaje de programación gráfica nativo, IP integrado para análisis de datos y procesamiento de señales y una arquitectura abierta que permite la integración de

cualquier dispositivo de hardware y cualquier enfoque de software, este software permite la programación las placas computacionales como Arduino, su programa está representado en esquemas de circuitos que facilitan el desarrollo e interpretación de los datos el que además nos permite realizar simulaciones del programa en tiempo real.

2.8.4 Arduino

Es una placa computadora que permite al operador facilitar un uso de la programación en sistemas electrónicos y mecatrónico, abarcando una plataforma en la cual se manipule los componentes de hardware y software, el mismo que contiene un código abierto que permite el acceso libre a los mismos.



Figura 20. Placa de Arduino
Fuente:(Arduino, 2016)

El hardware de Arduino consiste en una placa de circuito impreso con un micro controlador, que en su mayoría contiene un Atmel AVR, puertos de conexión análogos y digitales que permiten la comunicación con placas de expansión, también cuenta con una conexión USB que permite la comunicación con un computador para realizar la programación que el operador requiera.

CAPITULO III

3 DESARROLLO DE LA PROPUESTA

El diseño y construcción del banco de pruebas para amortiguadores y muelles de un vehículo liviano está dividido en cinco etapas; la primera etapa está enfocada a las funciones y parámetros del sistema del banco de pruebas para la realización de las múltiples pruebas con los elementos de la suspensión, en la segunda etapa es el diseño y construcción mecánica de la estructura en donde se determina los elementos seleccionados para la construcción del banco de pruebas, el análisis estructural del banco y de los esfuerzos a los que va a estar sometido. En la tercera etapa se detalla el diseño e implementación electrónica de los elementos que actuarán para toma de datos de las pruebas a realizar el banco de pruebas. La cuarta etapa se representa la adquisición de datos del software que se desarrolló mediante las plataformas de programación para la recepción de los datos del sistema del banco de pruebas. Finalmente se implementa un modelo matemático del sistema masa resorte que se utiliza para el desarrollo del proyecto.

A través de un organizador gráfico de procesos se especifica las etapas que componen este capítulo y el orden de desarrollo, el cual se muestra a continuación:

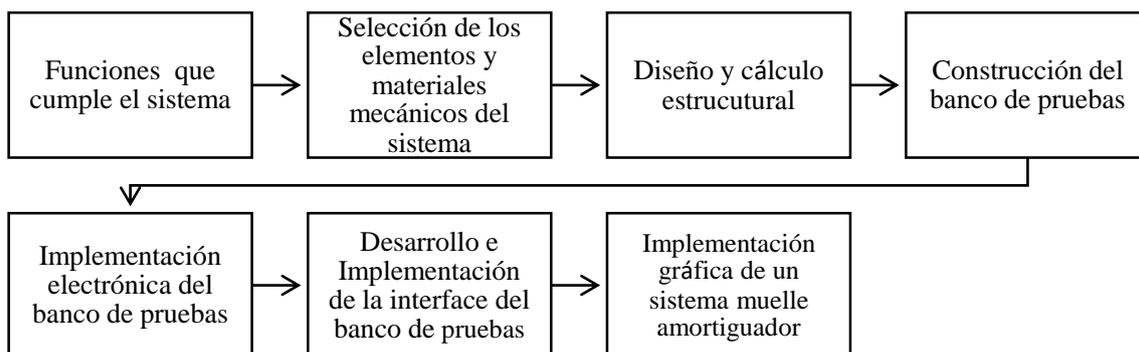


Figura 21. Fases de desarrollo

3.1 Definiciones de las funciones del sistema.

Es necesario mencionar los parámetros que son trazados para el desarrollo del presente trabajo de grado, debido a que estos son utilizados como bases directrices en el inicio del desarrollo de la propuesta. Las finalidades principales del sistema son: brindar una

herramienta didáctica para el estudio del comportamiento de muelles y amortiguadores, contribuir a la implementación de tecnologías que permitan realizar mantenimientos preventivos de vehículos livianos.

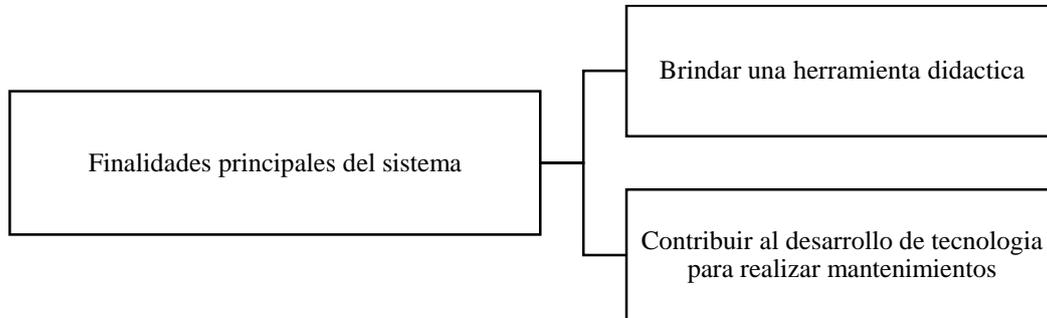


Figura 22. Objetivos del sistema

Funciones del sistema del banco de pruebas

Una vez determinados los propósitos, es momento de definir las funciones específicas que debe realizar el banco de pruebas, desde la obtención de información hasta la manera en la que se brinda la información hacia los usuarios de las distintas interfaces. Las funciones específicas que debe cumplir el sistema son las siguientes:

- Procesamiento de datos
- Representación de los datos obtenidos
- Identificación del coeficiente elástico
- Identificación del coeficiente de amortiguamiento

3.2 Selección de los elementos y materiales mecánicos de la estructura

En esta parte del capítulo se realiza la caracterización y una selección adecuada de materiales mecánicos para la realización de este proyecto, tomando en cuenta los siguientes tópicos: económico, accesibilidad a su obtención y especificaciones.

Los materiales estructurales utilizados en el banco de diagnóstico están detallados con sus respectivas especificaciones en la siguiente tabla:

Tabla 2. Materiales de la estructura

Denominación	Propiedad Mecánica	Marca o Fabricante	Norma	Dimensiones
Tubería galvanizada	Resistencia a la tracción = 2000 kg / cm ²	IPAC	ASTM A 653	2"x1.5x6m
Placa Estructural	Resistencia a la tracción = 2000 kg / cm ²	IPAC	ASTM A36	9(mm) grosor
Placa de acero	Resistencia a la tracción = 3000 kg / cm ²	IPAC	ASTM A36	6(mm) grosor
Tubería metálica cuadrada	Resistencia a la tracción = 2000 kg / cm ²	IPAC	ASTM A36	2"x1.5x6m

Se usa dos tipos de tubo cuadrado con diferentes dimensiones, los mismos que soportan de forma adecuada al trabajo deseado, también se utiliza distintas placas de metal con espesores que no sobrepasaban los 10mm de grosor.

Soldadura

La soldadura por arco es usada en construcción, agricultura, minería, conocidos como varillas de soldadura, para completar el proceso de soldado. El soldado es logrado cuando pasa electricidad a través del electrodo hacia el metal que se está soldando, creando un arco eléctrico que alcanza temperaturas de 5.000 °C. El arco eléctrico derrite el electrodo junto con el metal base, completando el proceso de soldado. Para la unión de los materiales de la estructura a fabricarse se utilizó electrodos 6011 para los pilares y bigas de la estructura mientras que para las placas se utiliza electrodos 6013 por sus características de realización de cordones con superficie suaves.

3.2.1 Selección del motor

El motor eléctrico es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Son máquinas eléctricas rotatorias compuestas por un estator y un rotor. Son utilizados en infinidad de sectores tales como instalaciones industriales, comerciales y particulares. Su uso está generalizado en todo dispositivo eléctrico actual como: ventiladores, vibradores para teléfonos móviles, bombas, medios de transporte eléctricos, electrodomésticos, esmeriles angulares y otras herramientas eléctricas, unidades de disco.

Tabla 3. Tipos de motores eléctricos

Motor	Característica	Uso/Potencia en kW	Accesibilidad \$
Motor eléctrico monofásicos	Existe una línea de un bobinado y no excede las fases de alimentación	Uso casero en molinos eléctricos Potencia: 0.7 a 1.47 kW	No
Motor eléctrico Bifásico	Motores utilizados en pequeña industria y herramientas	En la industria Potencia: 0.7 a 2.23 kW	No
Motor eléctrico Trifásico	El sistema trifásico existe tres líneas de voltaje, es utilizado más en ámbito industrial	Utilizados en ámbito por su alta rentabilidad industrial Potencia: 0.7 a 4.47kW	Si

Los motores eléctricos son impulsados por fuentes de corriente continua (CC), y por fuentes de corriente alterna (AC). Existen diferentes tipos de motores eléctricos y de diferentes marcas, para la elaboración del proyecto. Se considera el tipo de trabajo que realiza el motor y la fuerza que necesita para el desarrollo de las pruebas de diagnóstico, de esta manera se llega a la conclusión que las especificaciones que debe cumplir el motor trifásico son las siguientes:

Tabla 4. Especificaciones del motor de 1kW FWEFG

Potencia	kW	0.7
Par de Carga (kg fm)	0.747	
Momento de Inercia J (kgm²)	0.0026	
Tiempo máximo con el rotor trabado (s)	Caliente	12
	Frio	26
Peso (kg)	23.5	
Nivel de ruido dB (A)	62	
RPM	1750	
Corriente nominal In (A)	4.43	
Factor IP	IP54	

En la anterior tabla se constata las especificaciones con las que contara el motor trifásico WEG22 elegido para el proyecto como: la potencia, el tipo de carcasa, el par de carga, el momento de inercia, el par motor, el peso, el nivel de ruido las revoluciones, su rendimiento, su factor de potencia y la corriente nominal.



Figura 23. Motor Trifásico

El motor WEG22 de 0.7kW está ubicado en la zona inferior de la estructura y su función es proporcionar la fuerza necesaria para que el mecanismo de biela manivela que actúa sobre el amortiguador que se desea diagnosticar. Para el control de las revoluciones el motor está conectado a un variador de frecuencia.

3.2.2 Selección del reductor de velocidad

Los reductores de velocidad están diseñados de acuerdo con las especificaciones de cada motor, esto quiere decir que los engranajes están diseñados de manera exacta geoméricamente, con el fin de ir a diferentes velocidades de los motores eléctricos brindando un mejor funcionamiento de máquinas incrementando fuerza y partencia. Las características que se presentan en este reductor de velocidad dependen del tamaño, el cual brinda potencia (kW) tanto en entrada y salida, velocidad (rpm), par (T en kg/m) y relación de reducción (I).



Figura 24. Reductor de Velocidad

En el tipo de tornillo sin fin tiene una velocidad de deslizamiento de 6000 pie/min, por lo que se debe tener un agente lubricante para que exista un mejor desempeño. Este tipo de reductores son más utilizados por lo general con motores eléctricos, estos tienen límites de revoluciones a las cuales no pueden acceder a más de 3600 rpm en la toma de entrada que conecta al motor eléctrico con el reductor de velocidad.

3.2.3 Selección de la gata hidráulica

El mecanismo de la gata hidráulica permite elevar enormes cargas gracias al accionamiento manual de una palanca, que utiliza la energía hidráulica, a través de un líquido (aceite) que es impulsado a un cilindro donde la presión permite que el brazo de la gata se levante a una cierta altura, para poder manejar con las respectivas precauciones

distintos elementos con una carga que se encuentre en los rangos establecidos en las especificaciones del fabricante.



Figura 25. Gata Hidráulica de Botella

Se utiliza una gata hidráulica marca Pegasso tipo botella con capacidad de 6 toneladas será la adecuada para realizar el trabajo deseado de compresión de los muelles de la suspensión, siendo este un mecanismo ejecutado directamente por el usuario del banco de diagnóstico.

3.3 Diseño y cálculo estructural

Se acuerda utilizar el programa de SolidWorks 2017 para realizar la esquematización de la estructura y el estudio de las fuerzas que actuarían sobre el banco de pruebas de los amortiguadores y muelles tales como esfuerzos de tensión, deformaciones unitarias, desplazamiento y el valor del factor de seguridad.

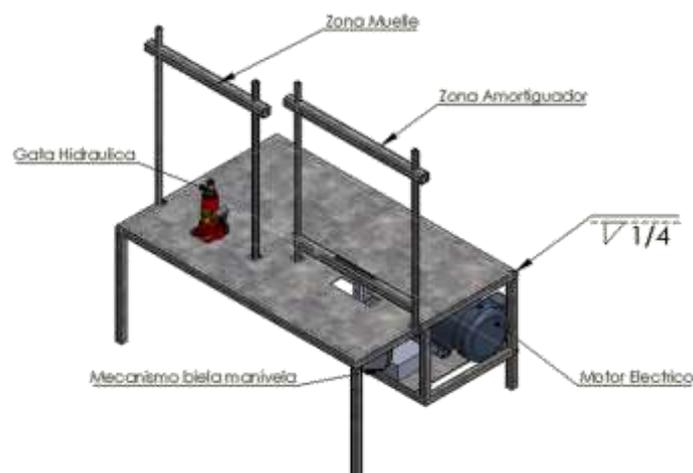


Figura 26. Vista isométrica banco de pruebas

En la anterior figura se observa el espacio de trabajo donde se realiza la esquematización estructural, en donde se escoge la opción de una pieza el cual despliega una ventana en

blanco en donde se comienza a realizar la estructura. Se utiliza la barra de herramientas principal, en donde se encuentra la opción de croquis la cual permite dimensionar los parámetros de la estructura, o en otros términos donde se puede realizar las cotas a las cuales se registrará la estructura.

Para la elaboración de la estructura se procede al uso de la barra lateral de herramientas, la cual se encuentra disponible en la opción insertar-piezas soldadas y estructuras para que esté disponible en la pantalla de trabajo, este tipo de comandos permite realizar las juntas o conexiones necesarias en la estructura.

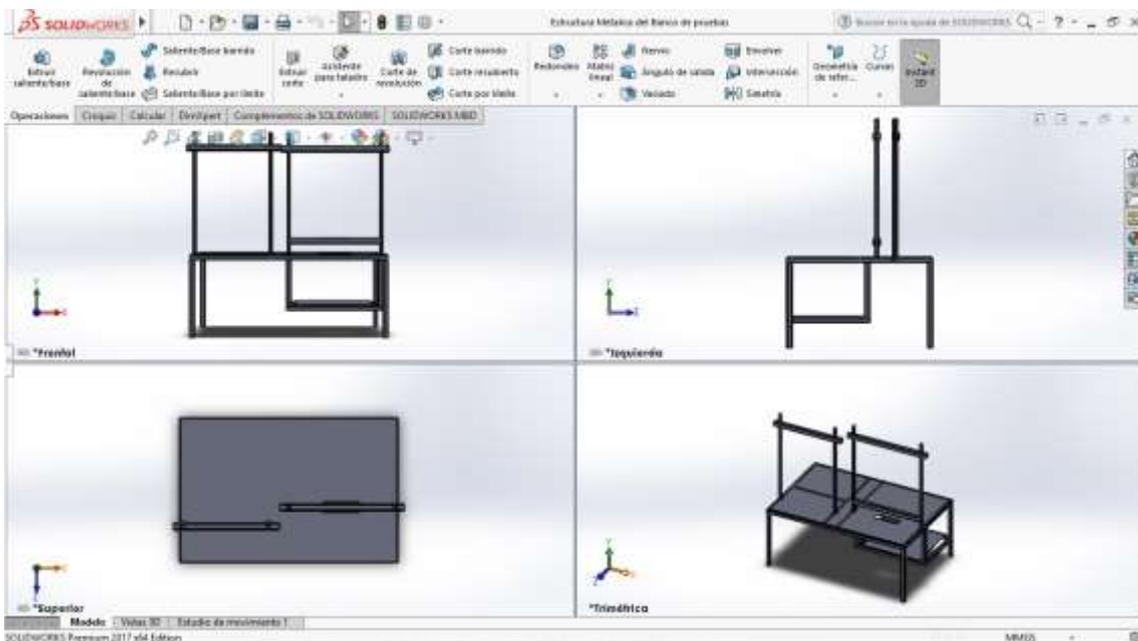


Figura 27. Esquema de la estructura metálica en SolidWorks

La estructura del banco de pruebas de los amortiguadores y muelles cuenta con dimensiones de 1200 mm de ancho y con una altura de 1300 mm, se cuenta también con una sub estructura en la parte inferior que aloja el motor que tiene las dimensiones de 440x600 mm la que está situada a una altura del piso de 160 mm. En la parte superior de la estructura se colocan dos pares de pilares destinados a tener una interrelación con los elementos sometidos a las pruebas, también están situados los respectivos sensores.

La estructura de la maquinaria es la parte básica de todo equipo o máquina, ya que es donde se alojan todos los elementos siendo la misma que soportara las acciones de las

fuerzas que desarrollara el equipo. La selección del material para las bancadas depende de sus condiciones de trabajo, método de elaboración y cantidad de máquina que se van a construir. Para el desarrollo del estudio estático se utilizó los comandos de simulación de SolidWorks 2017 los que nos permiten obtener diversos resultados de pruebas como son las tensiones, desplazamientos, deformaciones y factor de seguridad.

3.3.1 Análisis de carga

El análisis de carga en la rama de ingeniería nos brinda una herramienta que permite realizar simulaciones de agentes externos como esfuerzos de fatiga y cargas, en la cual sirve para determinar qué tipo de elementos utilizar y el tipo de juntas van en las uniones, donde existe el desarrollo del mayor esfuerzo de carga en la estructura, determinando un coeficiente de seguridad con la simulación en un entorno real, ayudado por el programa de simulación SolidWorks. A continuación, se determina las cargas en las cuales están las fuerzas a las que van a estar sometidas los elementos:

- Carga ejercida en la mesa por parte de la gata hidráulica accionada: 3600N
- Carga ejercida hacia el amortiguador con ayuda del reductor de velocidad: 900N

Las fuerzas aplicadas a una estructura se sub dividen en dos tipos de fuerzas actuando en un cuerpo: las externas y las internas. Las externas son las actuantes o aplicadas exteriormente y las reacciones o resistentes que impiden el movimiento. Las internas son aquellas que mantienen el cuerpo o estructura como un ensamblaje único y corresponden a las fuerzas de unión entre sus partes.

En esta categoría se puede clasificar las cargas correspondientes al peso propio y al peso de los materiales que soporta la estructura tales como las placas de acero, el motor, el sistema biela manivela, los sensores, la gata hidráulica de botella y la interfaz que arrojará los datos finales de las pruebas realizadas en el banco.

3.3.2 Análisis de tensión

El análisis estático de la estructura toca el punto de la fuerza de tensión, la misma que es aplicada a un cuerpo con ciertas propiedades elásticas con una probabilidad de deformación de la pieza, dependiendo del material del cual este constituido el elemento.

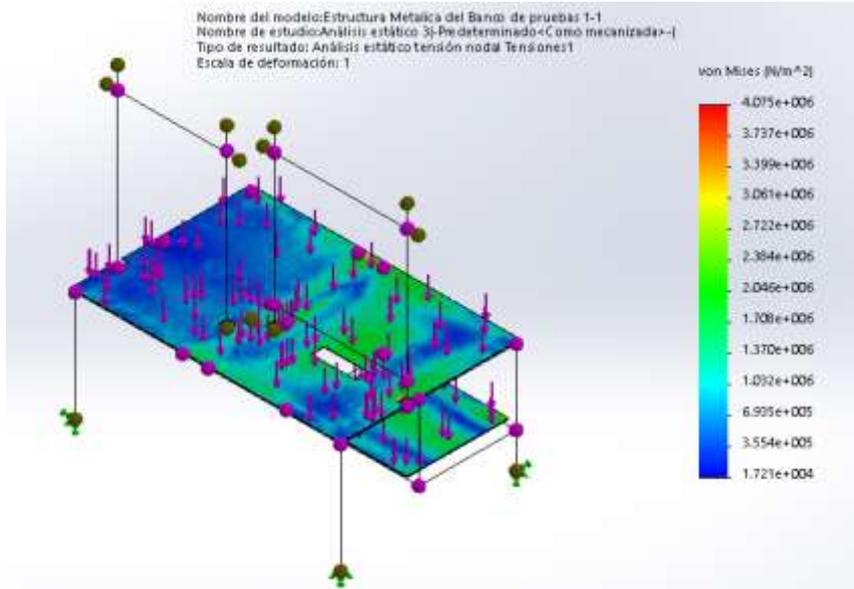


Figura 28. Análisis de las tensiones de Von Mises

Al definir la fuerza de la tensión se dice que es el estado de un cuerpo sometido a la acción de fuerzas opuestas que lo atraen. En este caso la estructura responde apropiadamente a este tipo de fuerza, demostrando que teóricamente según los parámetros de Von Mises la estructura soporta las condiciones de trabajo que se desea implementar en la misma, ya que no se acerca al límite elástico de los materiales de $350000 \text{ (N/m}^2\text{)}$, sino que se mantiene en un rango estable de trabajo donde se presentan valores de 1.72 a 4.075 $\text{(N/m}^2\text{)}$.

3.3.3 Análisis de desplazamiento

El desplazamiento se produce cuando un cierto elemento estructural tiende a moverse ya sea milimétricamente o en grandes tramos de un punto hacia otro en un determinado tiempo, denotando un cambio de una posición inicial cuantificable. El resultado que arroja la herramienta de simulación de SolidWorks la podemos ver a continuación:

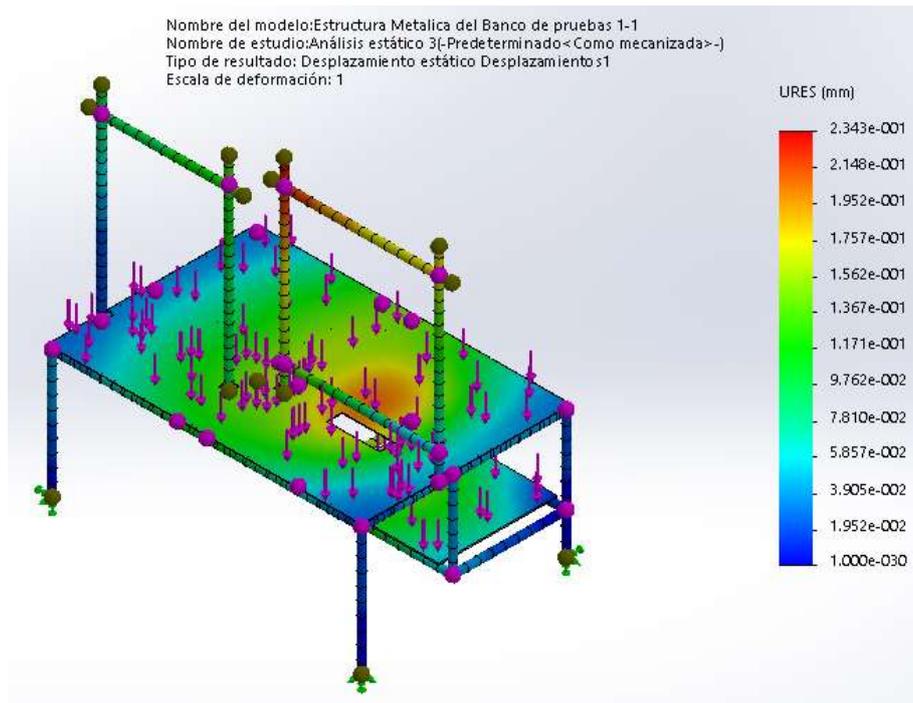


Figura 29. Análisis de desplazamiento

En este análisis se puede constatar cuales son los puntos donde se concentra un cierto nivel de fuerza que puede originar algún tipo de desplazamiento, de esta manera se demuestra que el material usado teóricamente no permite el movimiento de los elementos de la estructura, pero se denota cierto nivel de presión en la zona central de la placa superior que conforma la estructura, pero se mantiene en un margen estable y acorde a lo necesario para que trabaje el banco de diagnóstico de muelles y amortiguadores ya que la simulación de la estructura se mantiene en valores 1.00 a 1.75 mm donde se observa que no supera el valor de 3mm en donde la estructura comprometería su integridad según el libro de Shigley de diseño en ingeniería mecánica.

3.3.4 Análisis de deformación

Se conceptualiza como deformación de un cuerpo cuando cambia o se altera su tamaño y su forma original a través de fuerzas externas que actúan sobre él, estos cambios en los elementos serán cuantificables.

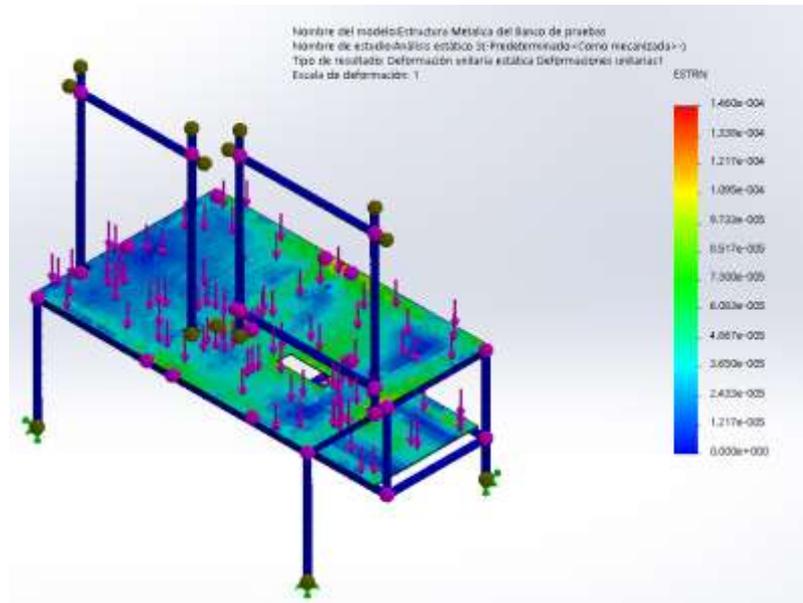


Figura 30. Análisis de deformación

Se realiza mediante la aplicación del software SolidWorks 2017, donde se utiliza el comando de simulación de elementos finitos de deformación, donde se obtiene los valores presentados en la anterior figura, así se confirma que la deformación de la estructura no ocurrirá ya que las fuerzas que actuarán de 3600 N sobre el banco de diagnóstico no supera el límite permitido del material, sino que presenta una estabilidad considerable en cuanto a la rigidez en la estructura en donde la simulación nos arroja valores de 1.27 a 1.4 ESTRN siendo las tensiones que soportará la estructura, estos valores son muy bajos y adecuados para proceder a realizar la construcción teóricamente. La deformación unitaria equivalente se representa con las siglas ESTRN .

3.3.5 Análisis de Factor de Seguridad

Todo elemento estructural debe contar con un factor de seguridad el cual avale su funcionalidad, esto hace referencia a un tipo de seguro que indique que las piezas estructurales resisten a cualquier posible sobre esfuerzo en el futuro que pueda llegar a comprometer la integridad física de sus elementos.

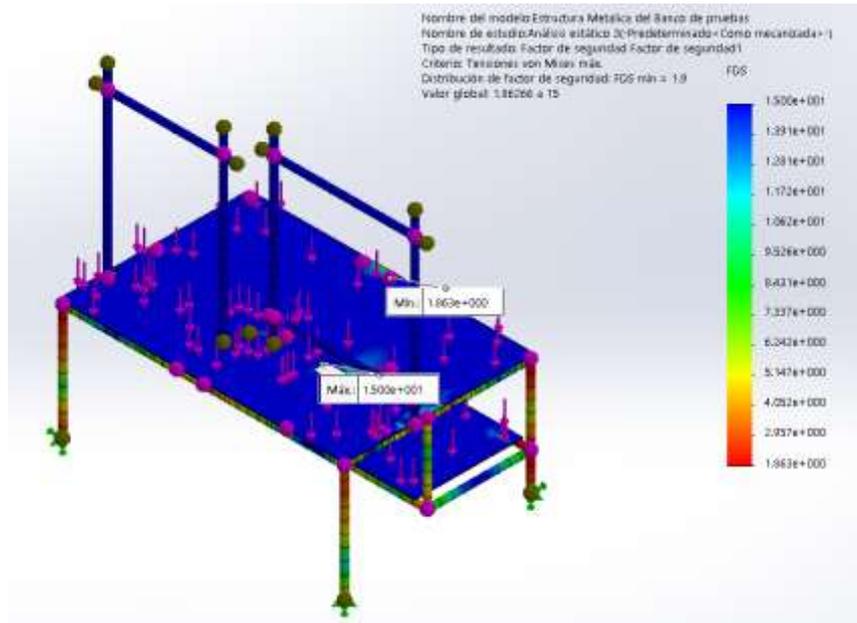


Figura 31. Análisis de Factor de Seguridad

El análisis del programa se hizo bajo los parámetros del factor de seguridad en esfuerzos de trabajo los cuales se registrarán dependiendo de los valores de las fuerzas externas que intervendrán en el estructurado. En este caso arroja un dato de 1.9 en el factor de seguridad de la estructura en donde se determina que el material en este caso es de un tubo galvanizado y láminas de acero 1020 con una dureza de 1.4. Se determina que la estructura es apta para el trabajo ya que los rangos de funcionamiento de una pieza van de 1.5 a 4 en cuanto al factor de seguridad.

3.4 Construcción del banco de pruebas

La construcción de la mesa parte desde la colocación de los tubos y el ensamblaje de los mecanismos que accionan al banco de diagnóstico, se inicia con el siguiente proceso:

Se utiliza el tubo galvanizado de 6400x50x3mm para la creación base de la estructura y los soportes de la misma. A continuación, se representa las medidas que se utiliza para la fabricación de la estructura:

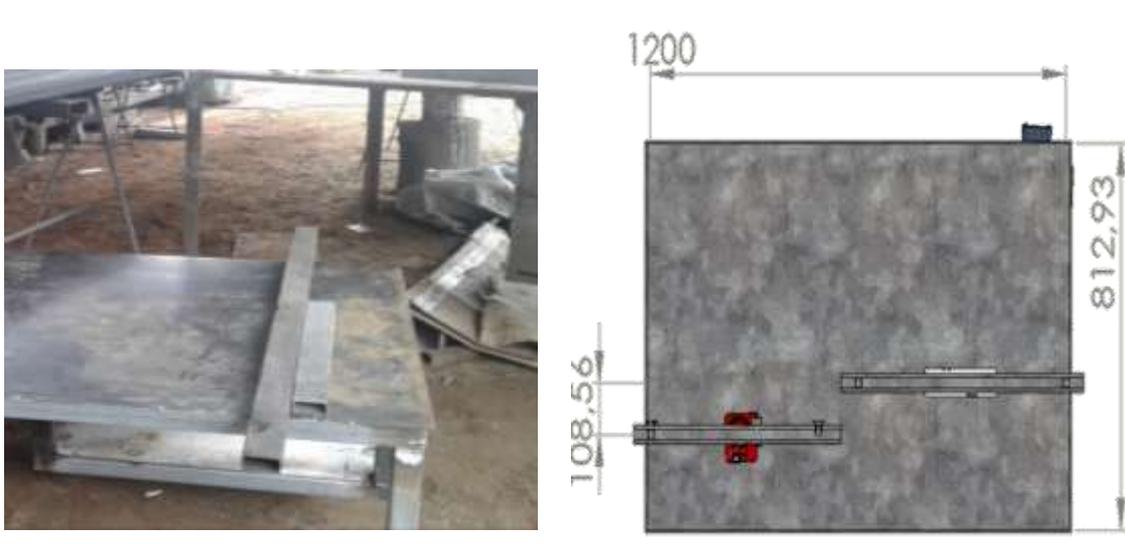


Figura 32. Construcción del banco de pruebas (mesa)

Se recorta 4 tubos de 1200 mm, 800 mm para la mesa y 4 tubos de 500 mm de largo para los soportes de la mesa. Para la unión de los tubos recortados se utiliza suelda SMAW con electrodos 6011 para unión provisional y luego se re-suelda con electrodo 6013 para una mejor unión de los tubos. En la parte superior de la mesa se coloca una plancha de acero de 1200 mm de largo y de 800 mm ancho con un espesor de 6 mm, después se procede a soldar en la parte inferior de la plancha con electro 6013 para unirla con la mesa.

Para fijar la colocación del motor y del reductor de velocidad en la zona inferior del banco de pruebas de amortiguadores se utiliza 6 tubos cuadrados de 50x50x3mm las cuales van unidas a la parte inferior izquierda donde están respectivamente soldadas, cuyas dimensiones son de 800 mm de largo, 490 mm de ancho y 340 mm de alto, también se colocó una plancha de acero corrugado de 3 mm de espesor, esta pequeña sub-estructura permite el montaje de los elementos mecánicos ya mencionados que conectan al

mecanismo biela manivela que transforma el movimiento circular producido por el motor eléctrico en movimiento lineal.

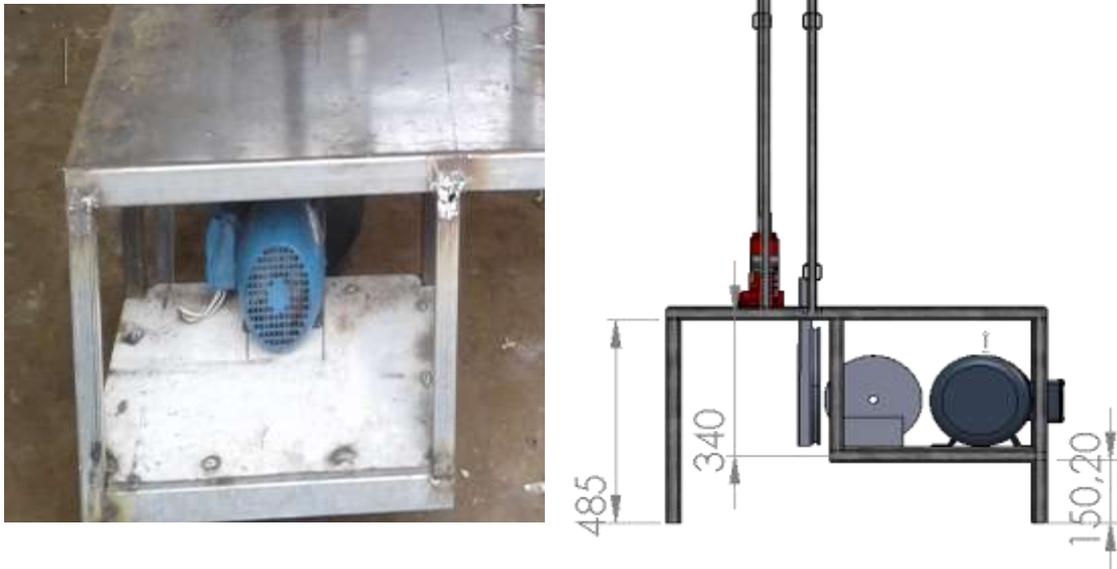


Figura 33. Base del motor y reductor

Al finalizar la construcción de la subestructura inferior se determina colocar un mecanismo adicional de poleas para controlar el número de revoluciones de 1750 rpm que produce el motor eléctrico, esto permite que el mecanismo trabaje a menores velocidades manteniendo una estabilidad considerable al realizar las pruebas de funcionamiento de los elementos mecánicos.

3.4.1 Zona del amortiguador

Para la zona del amortiguador se utiliza 2 tubos cuadrados de 900 mm de largo los cuales están puestos en la parte superior izquierda donde se localiza el mecanismo para lo cual se determina cortar la plancha de un espesor de 3mm en forma rectangular con las siguientes medidas 350x200 mm, esta sección es para el accionamiento del brazo del mecanismo. En estos tubos se realizan adaptaciones de unas correderas para un mejor accionamiento del movimiento lineal, las cuales están colocadas en las partes laterales de los tubos las que están soldadas al interior de los tubos cuadrados, tomando en cuenta que

tienen recorrido de 450 mm siendo este valor ideal para el recorrido del accionamiento lineal de los amortiguadores.

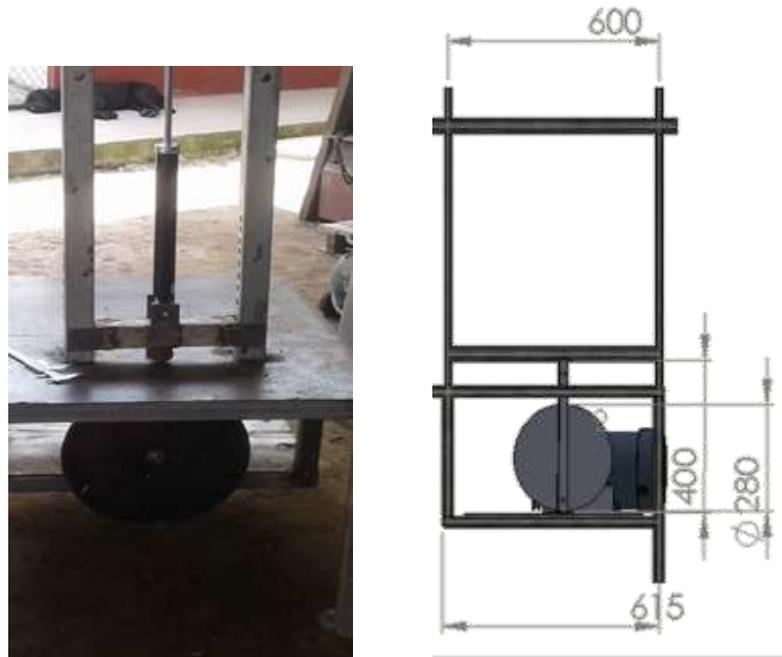


Figura 34. Bases del amortiguador

A continuación, se realiza orificios en la parte superior de estos tubos con una separación de 50 mm de distancia para el soporte de la parte superior donde se está colocada la celda de carga y la parte superior del amortiguador, esta parte cuenta con una pletina soldada en el extremo de 50 mm y esta a su vez sirve para la determinación de los ajustes de tamaño de acuerdo a cada amortiguador. Este tubo tiene una medida de 450 mm con todas uniones de las pletinas soldadas a los extremos.



Figura 35. Acoplamiento del disco de aluminio y el reductor

La colocación del reductor de velocidad se comienza al realizar un recuadro en la cual se fija con la parte inferior de la mesa ya realizada, este recuadro a su vez sirve para aumentar

el tamaño del paso de la polea. El recuadro es hecho con ángulo de hierro con medidas de 160 mm 250 mm se realizan orificios para sujetar el reductor con pernos y este a su vez es soldado en un extremo de la mesa. Para transferir el movimiento que el reductor brinda se utiliza un disco de aluminio la cual esta acoplada a la salida del mismo mediante un perno, las dimensiones del disco son de 260mm.

3.4.2 Identificación del mecanismo para la zona del amortiguador

El mecanismo consta de un disco de aluminio que cumple el trabajo de manivela, con una varilla de conexión, con cierta similitud al mecanismo de pistón y biela en un motor de combustión interna. El disco de aluminio tiene agujeros perforados para lograr distintos ajustes de longitudes de carrera. Una de las grandes ventajas de este mecanismo es su alto nivel de versatilidad y su aplicación de trabajo.

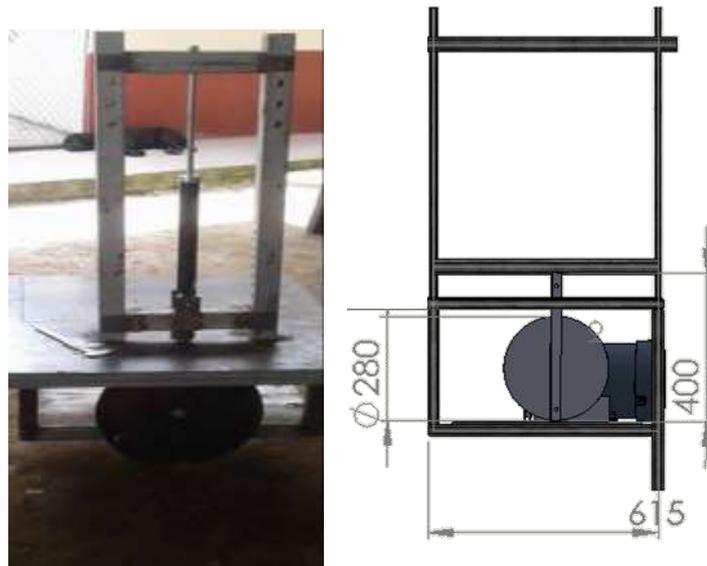


Figura 36. Mecanismo Biela Manivela

El mecanismo está conectado al motor trifásico y al reductor de velocidad, este a su vez está conectada a la base del amortiguador generando un movimiento en el eje “Y” con una carrera configurada que depende de las especificaciones del recorrido del pistón del amortiguador que se desee diagnosticar en el banco de pruebas.

Los materiales para la fabricación de este mecanismo son un tubo cuadrado de 400x250x3mm que actúa como la biela, el cual cuenta con rodamientos en la parte inferior y superior, la parte inferior se une al mecanismo del amortiguador, que conectaran con el disco de aluminio accionara el movimiento lineal del mecanismo.

3.4.3 Cálculo del mecanismo biela manivela

Para generar el movimiento deseado para el amortiguador, se realizó una toma de datos de velocidad y potencia tanto del motor eléctrico como del reductor de velocidad. Se acoplo poleas para conectar el movimiento de entre los distintos elementos que interactúan en el mecanismo, en la cual se concluye el uso de una reducción de 1/3, esto quiere decir que se comienza con la polea inicial de 40 mm y la final de 120 mm para la transferencia de velocidad

Con los siguientes valores:

- Motor eléctrico: 1750 rpm
- Reductor de velocidad (recibe): 588 rpm
- Reductor de velocidad (salida): 60 rpm

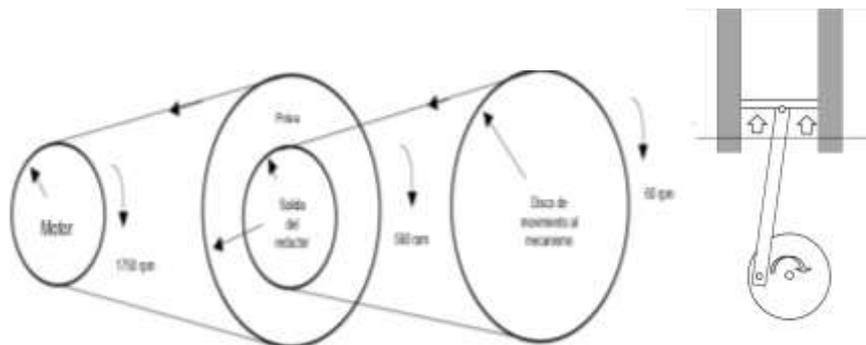


Figura 37. Transferencia de Movimiento

El motor de 1kW produce 1750 revoluciones por minuto considerado como un motor de bajas revoluciones, es necesario reducir este número de revoluciones para esto se decide integrar un mecanismo de poleas que reduce en un numero de cinco veces el número de revoluciones del motor consiguiendo una reducción a 588 rpm con una potencia sin

perdidas, a continuación, se acopla un reductor de velocidad que reduce el número de revoluciones hasta 60 rpm a las cuales podrá estar sometido el disco del mecanismo.

3.4.4 Acoplamiento mediante rodamientos del mecanismo

Este acople trabaja conjuntamente con el disco de movimiento el cual permite transmitir el movimiento a un tubo cuadrado que representa a una biela, que forma parte del mecanismo que brinda un movimiento lineal en la zona del amortiguador, esta pieza consta de dos accesos, uno de ellos cuenta con una rosca que esta atornillada al disco de movimiento y el otro permite una unión de acceso con uno de los orificios del tubo del mecanismo.

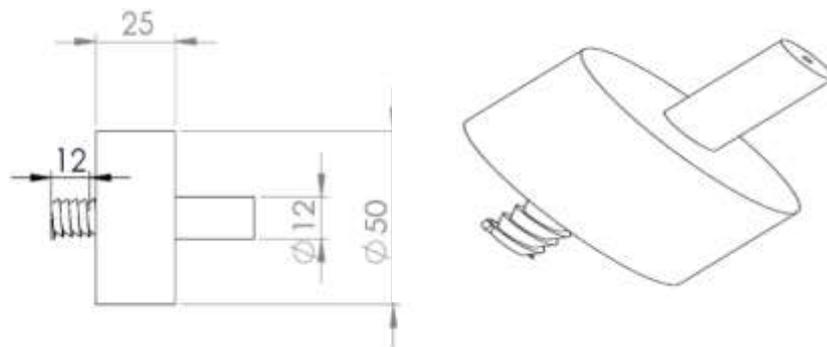


Figura 38 Acople del mecanismo

Este acople también cumple la función de un espaciador entre el disco y el tubo para el accionamiento del mecanismo, disminuyendo en gran medida vibraciones y ruidos. Este acople esta realizado por un trabajo de torno, el cual se inicia a partir de una varilla de acero con una dimensión de 50mm que son modificadas hasta obtener en la zona de atornillamiento un diámetro de 12 mm con una longitud de 12 mm, la zona central del acople tiene una longitud de 25 mm formando un diámetro de 50 mm.

3.4.5 Zona del muelle

Para el muelle se utiliza 3 tubos que dan una unión en forma de “U” invertida, las que permiten que el mecanismo se accione de forma manual, esta pieza tiene las siguientes medidas: 800 mm de alto por 250 mm de ancho, a su vez se realizan cortes a los extremos de los tubos para que pase un varillaje que sirve para el accionamiento manual de la gata hidráulica.

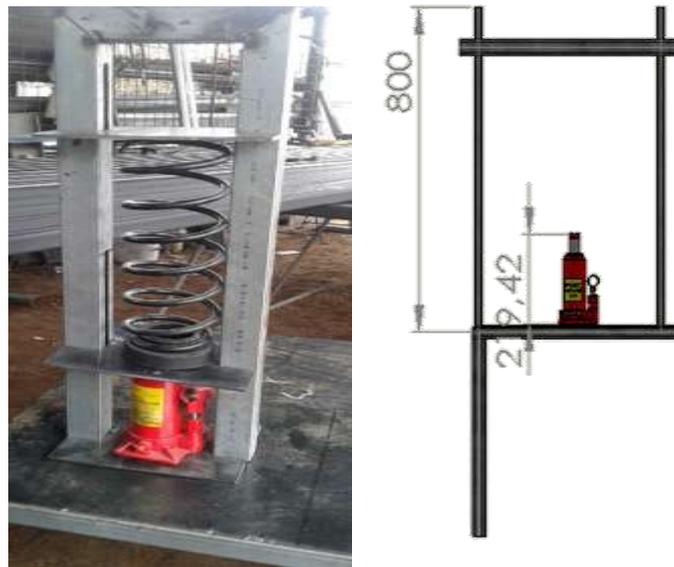


Figura 39. Mecanismo para el muelle

Para las bases de los muelles se utilizó 2 planchas de metal en forma de “H” las cuales fueron cortadas por láser por motivo de que eran de un espesor de 9 mm, estas placas tienen una medida de 220x190 mm con cortes cuadrados en la mitad de 50 x50mm, con estos cortes servirán para una de las placas recorra por el tubo. Las placas bases están soldadas a una barrilla a cada extremo de 120 mm de diámetro, las cuales recorren los orificios de los tubos previamente ya realizados. También estas placas cuentan con un tope para cada una, este tope se encuentra colocado en su parte central, esto sirve para que al momento de accionar la gata hidráulica el resorte no salga expulsado por los lados, por lo cual fueron hechos a partir de un pedazo cortado de tubo redondo de 25x50x3 mm. Para asegurar la posición de la gata hidráulica se colocó 3 pletinas de 150 mm de largo, de 3mm de espesor, las mismas que están colocadas entre los tubos cuadrados de los pilares.

3.5 Implementación de los elementos electrónicos del banco de pruebas

En esta parte del capítulo se realiza la caracterización y una selección adecuada de materiales electrónicos para la realización de este proyecto, tomando en cuenta los siguientes tópicos: económico, accesibilidad a su obtención y especificaciones.

3.5.1 Selección del variador de frecuencia

Los variadores de frecuencia son instrumentos electrónicos que tienen como objetivo el control de la velocidad, la rotación de un motor de corriente alterna. Un variador de frecuencia cumple con la función de determinar la cantidad de alimentación eléctrica, la cual actúa directamente sobre un motor eléctrico ya sea monofásico o trifásico. Para la selección de esta tomamos diferentes de tipos y precios que existían en el mercado de variadores de frecuencia.

Tabla 5. Tipos de Variadores de frecuencia

Tipo	Potencia de motor	Tipo	Accesibilidad \$
Denmark VLTmicro driver AC	0.7Kw	Motores monofásicos	No
AC Frenic Mini C2 400V	0.7W-2.2Kw	Motores Bifasicos, Trifásicos	Si
Lovato 7.5 kW	2.2Kw	Motores Trifásicos	No

En la siguiente tabla se puede apreciar las características técnicas con las que cuenta el variador de frecuencia AC Frenic Mini C2 400V con el que se trabaja para el desarrollo del proyecto.

Tabla 6. Especificaciones Técnicas del Variador de Frecuencia

Tipo	C2 400V
Potencia (kW)	2.2
Corriente de red (V)	10.8
Corriente de salida (%)	200
Protección IP	IP22
Numero de fases	3

Este elemento electrónico se alimenta con un voltaje de corriente alterna (CA), el equipo en la primera fase convertirá la energía de la Corriente Alterna en corriente directa (CD), por medio de un puente rectificador (diodos o SCR´s), este voltaje es filtrado por un banco de capacitores interno, con el fin de suavizar el voltaje rectificado y reducir la emisión de variaciones en la señal.



Figura 40. Variador de Frecuencia AC Frenic Mini C2 400V

Después de un estudio riguroso de los instrumentos que podrían ser accesibles a su disponibilidad de uso, se llega a la conclusión que la mejor opción para el control de las revoluciones del motor trifásico de 2.2kW es el variador de frecuencia AC Frenic Mini C2 400V que trabaja en un rango de 0.7 a 2.2 kW con un voltaje de 220.

3.5.2 Selección de los sensores

Los sensores son dispositivos análogos o digitales capaces de detectar magnitudes físicas y químicas, conocidas como variables de instrumentación, estos objetos cumplen con el trabajo de transformar las magnitudes del exterior en variables eléctricas.

Tipos de celdas de carga y su uso

Las celdas de carga se clasifican según su uso o aplicaciones a las que van a ser sometidas:

Tabla 7. Tipos y Selección de celdas de carga

Tipo	Característica	Numeración	Accesibilidad \$
Celda de carga de un solo punto	Se utiliza para la mediciones pequeñas.	Celda series LC501/LCM501	No
Celda de carga tipo "S"	Utilizado en el ámbito industrial	Celda de carga 6001	Si
Celda de carga de botón	Para aplicaciones robóticas con un botón de bajo perfil	Celda serie LC302	No

Celda de carga 60001

La celda de carga cumple con el objetivo de calcular la cantidad de fuerza que opone algún elemento como el amortiguador o el muelle de la suspensión de un vehículo, la capacidad nominal de carga de este sensor varía desde los 0.10 kg hasta 9000 kg dependiendo de sus características, están fabricadas mayormente en acero con aleación de níquel para obtener mayor resistencia a la corrosión.



Figura 41. Celda de carga tipo S

Se establece el uso de dos tipos de celda de carga tipo S 60001 con capacidades nominales de carga de 1000 y 3000 libras para las pruebas de diagnóstico del amortiguador y el muelle respectivamente.

Tabla 8. Especificaciones de la celda de Carga

Modelo	Out Put	Capacidad
60001 -1000	3,450 mV	0.12 a 455 kg
60001 -3000	3,4 mV	0.27 a 1363 kg

En la anterior tabla se verifica los datos técnicos como: el modelo, el tipo de clase de sensor y las capacidades nominales que distinguen a las celdas de carga que trabajaran en rangos de mili-voltios. El funcionamiento de esta celda de carga toma como base el puente de wheatstone por la producción de una diferencia de voltaje que realiza dos resistencias, una de sus principales características en el campo de trabajo es que permite medir la fuerza ejercida en cada uno de sus puntos en unión, necesita de un amplificador direccional para amplificar su voltaje medido en mili-voltios.

Sensor infrarrojo de distancia

Este sensor con nomenclatura GP2D120 cumple el propósito de medir la distancia, el sensor infrarrojo de proximidad identifica el recorrido del pistón del amortiguador y la distancia de compresión del muelle, por medio de una salida analógica que trabaja con rangos que variaran entre 0,31 a 3.2 voltios, dicha tensión de salida varia de forma no lineal cuando se detecta un objeto que refleja la luz infrarroja.



Figura 42. Sensor Infrarrojo

El sensor infrarrojo cuenta con tres pines de salida que cumplen con los objetivos de brindar una alimentación negativa del circuito, alimentación positiva del circuito y un

voltaje de referencia cero que estarán designados con las siguientes siglas GND, Vcc, V0 respectivamente.

Sensor de fin carrera

Estos son detectores de contacto, el cual da una señal eléctrica cuando en este existe el accionamiento del mecanismo, para detectar el posicionamiento de piezas motorizadas, o definir el final del recorrido.



Figura 43. Sensor de fin de carrera

Cuando este sensor entra en contacto con algún dispositivo o pieza, se activa y se establece su posición, lo que genera el comienzo o final de la prueba (encendido /apagado), estos sensores trabajan con márgenes de voltaje en el ámbito industrial 12V-24V CC y 120V-240V CA, funcionando con una fuente de directa con electricidad sin necesidad de una fuente adicional.

Tabla 9. Elementos seleccionados

Zona del amortiguador		Zona del muelle	
Celda de carga tipo S	0.12 kg a 455 kg	Celda de carga tipo S	0.27 kg a 1363 kg
Sensor de distancia Sharp	200 a 1500 (mm)	Sensor de distancia Sharp	200 a 1500 (mm)
Final de carrera	Conmutar el circuito	Final de carrera	Conmutar el circuito
Variador de frecuencia	1 a 3 (Hp)	Gato Hidráulico	1 a 6 (ton)
Motor eléctrico	0.7 Kw		

En la anterior tabla se puede observar los elementos electrónicos seleccionados que intervienen en la recolección de datos, en la zona de pruebas del amortiguador y en la zona pruebas del muelle.

3.6 Desarrollo de la interfase del banco de amortiguadores y muelles

El desarrollo de una interfaz para el banco de pruebas facilita la interacción entre el operario y el banco de pruebas obteniendo resultados confiables y claros de los procesos que intervienen al ejecutarse las pruebas independientes. Esta interfase permite la obtención de los datos requeridos para la ejecución de las pruebas de los muelles y amortiguadores, pero para esto se necesita utilizar la plataforma de Arduino, la cual permite elaborar un código de programación que determina las funciones de los sensores.

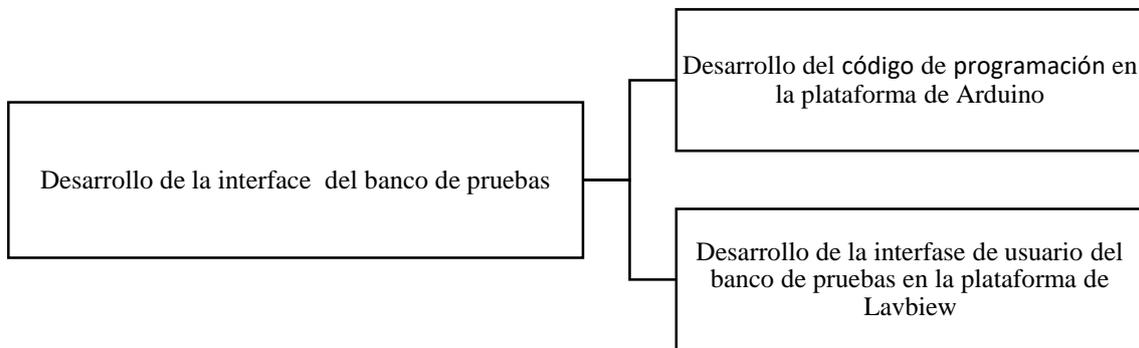


Figura 44. Funciones de Programación en Arduino

El desarrollo de la interface para el banco de pruebas en el software de Labview va de la mano con la plataforma de programación de Arduino en donde se determinan los parámetros a los que se trabajan los sensores que intervienen en las distintas zonas del banco de pruebas.

3.6.1 Elaboración del código de programación en Arduino

Se elabora dos códigos de programación en la plataforma de Arduino que sirven para las dos zonas de ejecución del banco de pruebas los cuales son: la zona del amortiguador y la zona del muelle que trabajan de forma independiente el uno del otro, estos códigos serán compilados y cargados a las placas de Arduino Mega 2560.

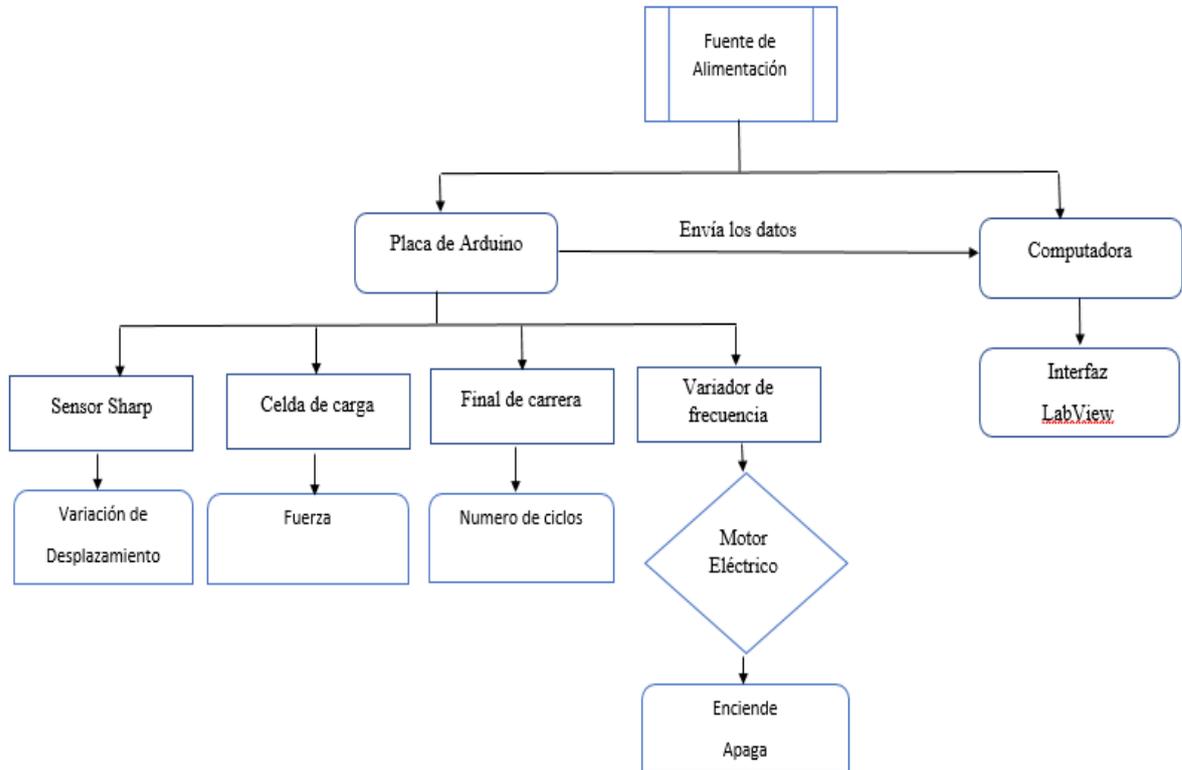


Figura 45. Funciones de Programación en Arduino

En la anterior imagen se puede ver las funciones que abarca la programación en la plataforma de Arduino, en donde el código que se desarrolló permite designar que los sensores que intervienen en la recolección de los datos cumpla con los siguientes objetivos: el sensor Sharp determina la variación de distancia que ocurre mientras se ejecuta la prueba diagnóstico (muelle-amortiguador), el sensor celda de carga tipo “S” determina la fuerza que se aplica a los elementos destinados a diagnosticar, el sensor de final de carrera permite comprobar el números de ciclos que cumple la prueba, y el variador de frecuencia que permite encender y apagar al motor trifásico de 1kW. Todos los datos recolectados por la placa de Arduino mediante la toma de datos de todos los sensores, esta envía a la computadora mediante un puerto de comunicación, en donde la

interface de LabView permite iniciar la ejecución de las pruebas en amortiguadores o muelles.

El código de programación requiere de una librería adicional para que la compilación del mismo se ejecute correctamente, el nombre de esta librería es Hx711, este archivo permite interpretar las señales de la celda de carga tipo S mediante el módulo que lleva el mismo nombre, se determina que se manejara un canal de 250000 baudios para la mejora de recepción de datos.

El programa de Arduino cuenta con dos voids principales:

Void setup

Es el encargado de programar y configurar toda la inicialización del módulo, es decir que define la comunicación que tiene con la computadora, en este caso para este código de programación se dé la salida de relé para la activación del variador de frecuencia, la inicialización del puerto de comunicación es de 250000 baudios, la inicialización de la comunicación de la celda de carga, la configuración del final de carrera y el inicio de la medición del tiempo.

Void loop

Es el entorno donde se puede realizar distintas configuraciones para la recepción de datos y lecturas de los sensores, en este caso para este tipo de código de programación se determina la recepción de datos de LABIEW en donde se define la habilitación del envío de datos a LAVIEW, es decir el inicio y detención del proceso, también se determina la lectura y envío de datos de la celda de carga, el sensor de distancia SHARP y en el caso del código destinado para la zona de pruebas del amortiguador se configura la lectura y envío de datos de la velocidad del variador de frecuencia.

Para el código de programación destinado para las pruebas del amortiguador se realiza la adición de un párrafo de programación que determina la lectura y envío de datos de la velocidad del variador de frecuencia, ya que esta zona es controlada desde la interfaz de la computadora, mientras que la zona de pruebas del muelle se ejecuta de manera manual mediante una gata hidráulica. Este código cumple con la función de permitir enviar y

recibir datos a la interfaz de LabView que permitan interpretar los datos recogidos por los sensores y determinar la frecuencia y el sentido que se desea que trabaje el variador de frecuencia al motor de 0.7kW

3.6.2 Elaboración de la interfaz del banco de pruebas en LABIEW

Al culminar la elaboración de los distintos códigos de programación del banco de pruebas de muelles y amortiguadores para la elaboración de la interfaz que comunica la placa de Arduino con LABIEW se procede a utilizar el software LABIEW 2015 el cual nos presenta las siguientes ventanas para el entorno del desarrollo del proyecto.

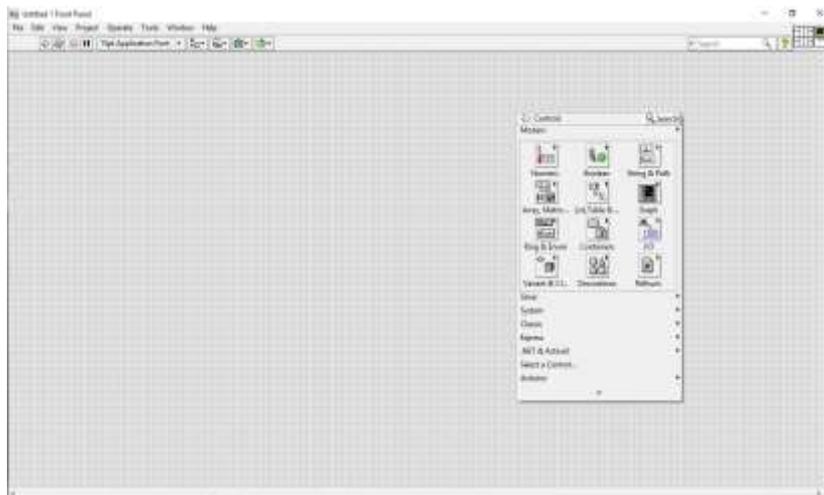


Figura 46. Panel frontal LABIEW

Esta ventana es denominada como panel frontal el cual cuenta con una paleta de controles con todas las categorías expuestas y la categoría moderna expandida. El usuario de este software puede modificar los valores de entrada de los controles según las necesidades que este requiera. Los controles que intervienen en el desarrollo del proyecto son botones, indicadores de gráficas, LEDs, controladores numéricos y otras pantallas. Estos controles simulan dispositivos de entrada de instrumentos y suministran datos al diagrama de bloques.

En la siguiente figura se puede ver la segunda ventana que nos presenta el software LABVIEW con la cual se interactúa para la elaboración de la interfaz la cual es denominada diagrama de bloques en donde se define las funciones, estructuras, constantes y

conexiones entre ellas, los cuales transferirán datos. En esta sección se despliega una ventana secundaria la cual se denomina paleta de funciones que cuenta con varias categorías que sirve para la elaboración de los diagramas cumpliendo con distintas necesidades del usuario del software. Se determina que para esta clase de programación es necesario que se ejecute de forma repetitiva donde el usuario de la interfaz determine cuando esta inicie o termine, por lo tanto, se selecciona la estructura base While loop para realizar las configuraciones pertinentes para que la interfaz trabaje con éxito.

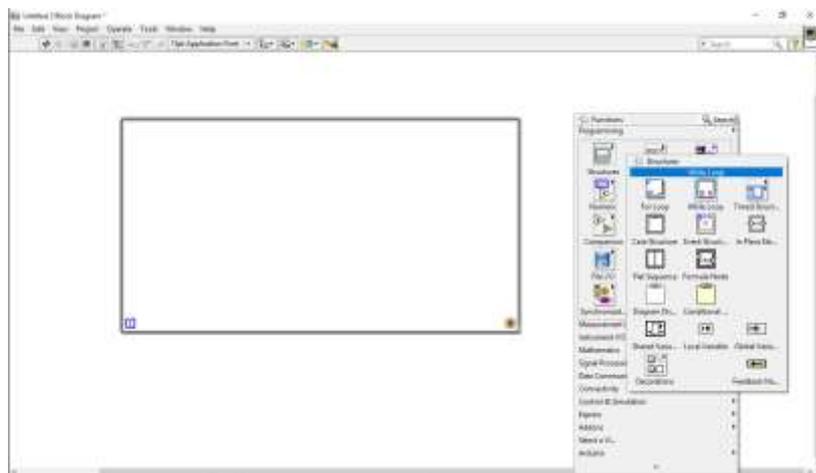


Figura 47. Estructura While Loop

Para obtener la estructura base While Loop en la ventana de diagramas se utiliza la ventana secundaria de funciones, la que a continuación permite dimensionar de acuerdo al tamaño y necesidades que se presenten en la programación, dentro de esta estructura se realiza de forma ordenada y jerárquica los procesos que intervienen al realizar la prueba del banco de muelles y amortiguadores.

Fuera de la estructura principal While Loop se utiliza la pequeña estructura Flat Sequence Structure que permite programar la comunicación serial con la placa de Arduino, en este caso 250000 baudios, donde se determina que si la lectura es correcta se procede a ejecutar el programa, pero si la lectura de datos es incorrecta se tiene que esperar un segundo para corregir el error. Se configura el puerto de comunicación dependiendo del puerto al que esté conectada la placa de Arduino Mega 2650.

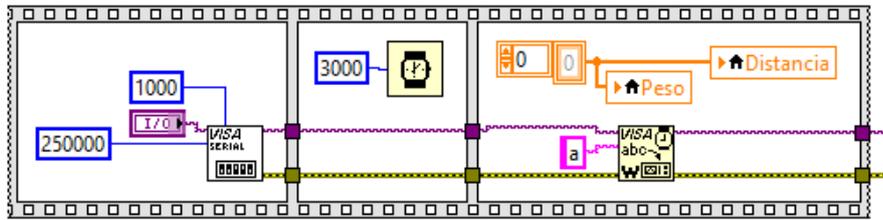


Figura 48. Flat Sequence Structure

A este puerto se le define cierta velocidad y se lo inicia, lo que provoca que Arduino se resetee y comience la captación de datos de las variables y activación de la tara, para esto se adecúa un intervalo de tiempo, en este caso de 3000 milisegundos, tiempo más que suficiente para que no se pierdan datos del sistema.

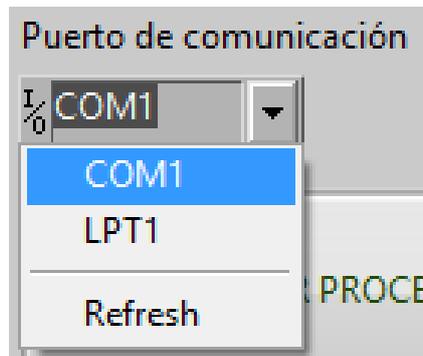


Figura 49. Puerto de comunicación

En la parte final del Flat Sequence Structure ubicamos los datos del peso y distancia para los gráficos, los cuales serán borrados para la siguiente prueba a realizarse. Se configura esta zona para que cuando la placa de Arduino reciba la letra “a” como comando de parte de LABVIEW comience el envío de datos de los sensores, mas no inicie el sistema, mientras que cuando se envía la letra “c” se comience a ejecutarse el sistema. Para esto se utiliza el bloque de VISA Write que sirve para “escribir” que envía datos a la placa de Arduino Mega 2650.

Esta zona es una sub estructura interna Event Structure donde se encuentran ubicados los comandos de los botones para el inicio del sistema, detener el sistema y la ventana que permite cambiar de graficas como son la de fuerza versus distancia, frecuencia, velocidad y fuerza versus velocidad.

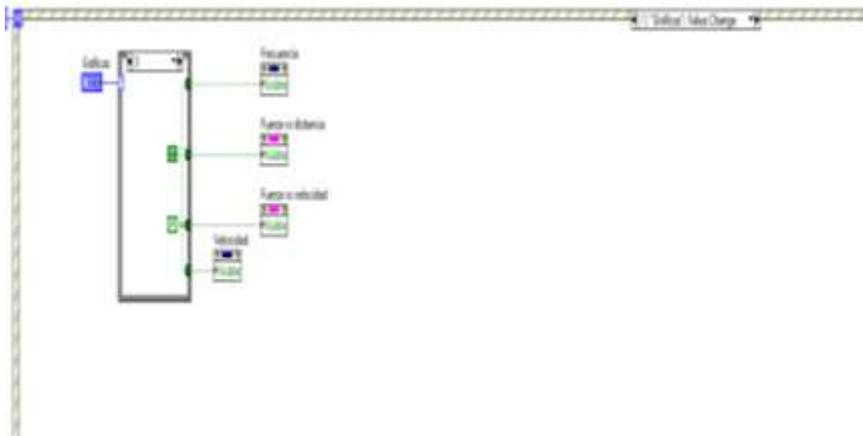


Figura 50. Event Structure

En esta zona se encuentra y se configura el botón OK que permite enviar la letra “c” que sirve para iniciar el sistema y poner en marcha el variador de frecuencia, también permite borrar los datos anteriores de las gráficas si existiese una prueba anterior mediante un cuadro de comando, también se encuentra el botón Stop que permite detener el envío de datos y detiene el variador de frecuencia mediante la configuración de un cuadro de comando VISA Write que envía la letra “b”.

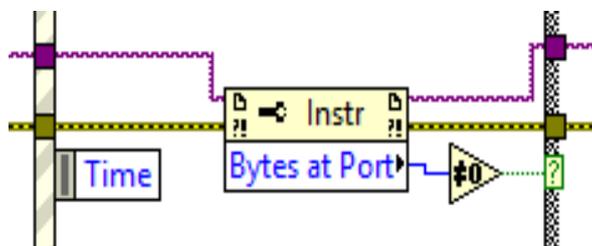


Figura 51 . Bytes Serial

Esta sección de la programación es un pequeño ciclo interno que permite al igual que en el código de programación de Arduino verificar si existe bytes en el puerto para recibirlos en donde se configura el case structure, en donde “false” significa que no hay datos y el programa no se ejecuta, mientras que si el comando es “true” se ejecuta un ciclo de recepción de datos.

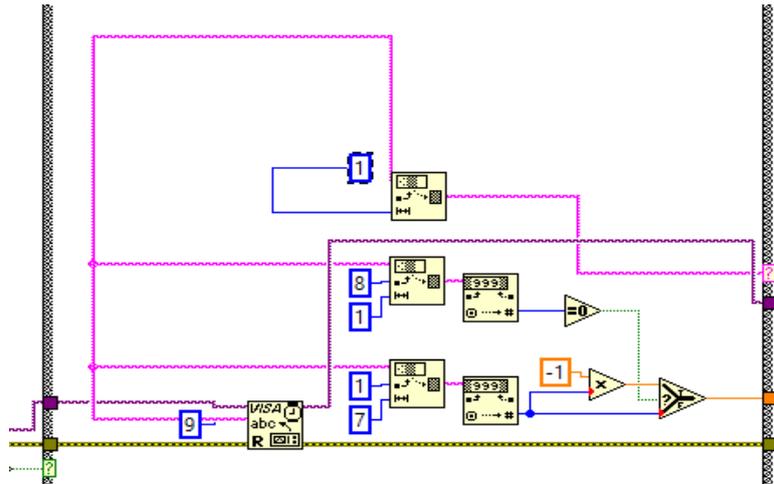


Figura 52. Comando de pedazos de cadena

En esta sección de programación del diagrama de bloques utilizamos el cuadro de VISA Read para recibir datos de la placa de Arduino, este cuadro está conectado a los bloques de comando representados por la letra “a” para el sensor de la celda de carga tipo s, la letra “b” sirve para representar el sensor de distancia SHARP, la letra es “c” para el numero de repeticiones a las que se puede determinar a la prueba y la letra “d” representa el variador de frecuencia. En el primer bloque string subset sirve para la extracción de datos, donde se recoge la primera posición que determinara en que letra se encuentra ubicada. En el segundo bloque de string subset está programado para saltarse 8 datos y tomar el noveno dato, el cual representara el signo, el cual será multiplicado por -1 cuando sea cero y sin multiplicar cuando este sea 1. En el tercer bloque de string subset está programado para saltar el primer byte y recoger siete datos sobre el valor numérico que envían los sensores.

La sección del caso “a” es donde está programada la interacción de la celda de carga, donde el dato obtenido por la placa de Arduino se lo multiplica por 100 para que el valor numérico de los decimales desaparezca y manejarlo con facilidad ya que si el valor contiene decimales este tomara más tiempo para procesarlo, pero cuando el dato llega a LABVIEW se procede a dividirlo para 100, este dato se lo multiplica con la constante obtenida de la linealización del sensor de la celda de carga, de esta manera se obtiene un determinado en kilogramos a los que está sometida la celda de carga.

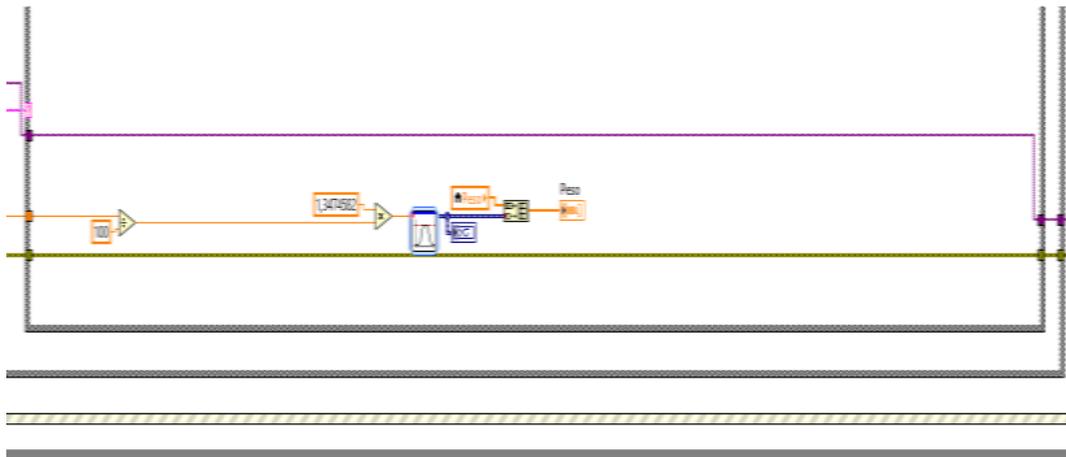


Figura 53. Sección de caso “a”

A continuación, se procede a colocar un filtro que consiste en tomar 10 muestras y dividirla para el número de muestras, este arroja resultados en la gráfica de la interfaz, esta gráfica está acompañada de una tabla de datos con una variable llamada peso. La gráfica cuenta con una ventana que arroja de forma numérica el valor de la fuerza ejercida en la celda de carga, usualmente tiende a dar un valor negativo cuando se estabiliza la gráfica ya que el sensor de carga tiene un problema de diseño, el cual es que no recupera en su totalidad su forma estructural, estos datos son mínimos y despreciables que no afectan en los resultados que arroja la prueba del banco de pruebas del muelle y amortiguador. En la gráfica se puede evidenciar la Fuerza en Newtons versus un tiempo determinado en este caso de 19:00:00,000 a 19:00:43,08, la lectura de datos tiene una amplitud de 44 segundos.

La sección del caso “b” es donde está programada la interacción del sensor de distancia SHARP, donde es necesario encontrar una fórmula mediante un proceso de linealización del sensor, en donde se toma una cantidad de datos los cuales son sometidos a un software de reconocimiento, obteniendo la siguiente fórmula $(y=72.5607*2*\exp(-x/206.93303)+8.66496;)$ en este caso se obtiene una función exponencial. En este caso tenemos una subdivisión para la distancia y la velocidad de tiempo las cuales cuentan con una tabla adicional de datos mediante el comando build array que permite guardar los datos de la distancia acompañada de una fila adicional de datos.

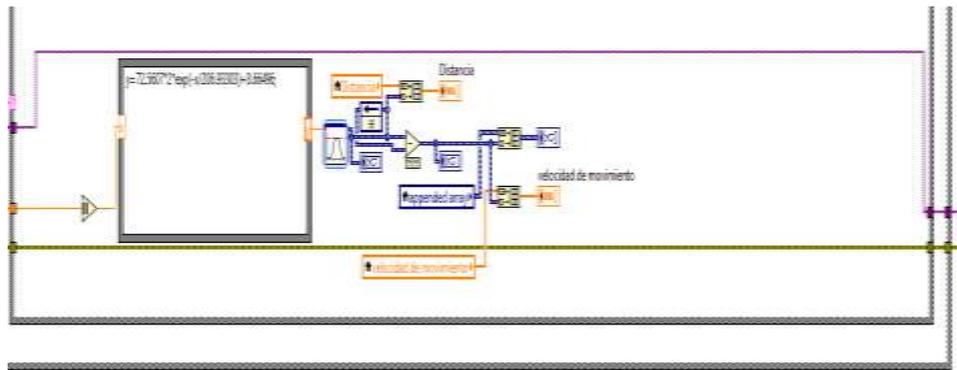


Figura 54. Sección del caso "b"

Para la velocidad de movimiento se la interpreta como la variación de distancia en el tiempo, para esto se requiere del comando Feedback Node el cual se determina como registro de desplazamiento el mismo que guarda un dato anterior en la memoria del sistema y la obtención del dato actual para dar el resultado de la variación de desplazamiento o velocidad de movimiento.

La sección del caso "c" es donde se programa la interacción del pulsador o final de carrera, aquí se empieza desde la toma de datos en donde interviene el número de repeticiones realizadas y el número de repeticiones destinadas a realizar en la prueba.

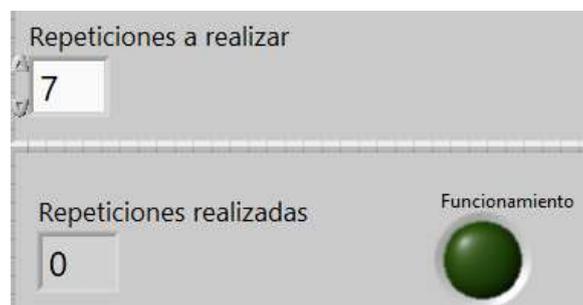


Figura 55. Repeticiones del sistema

El contador de repeticiones está sometido a dos etapas, la primera a esperar que se estabilice el sistema y la recepción de datos sea estable el cual es configurado a partir de la segunda repetición o dos ciclos culminados mediante un led testigo que verifica su actuación y la segunda etapa comienza la recepción de datos que culmina y detiene el sistema dependiendo del número de repeticiones que se establezca en la prueba. En el caso de que se cumpla la condición de los dos ciclos el sistema procede a tomar los datos

de las variables peso o fuerza, distancia y velocidad de movimiento y los resetea para comenzar una nueva prueba.

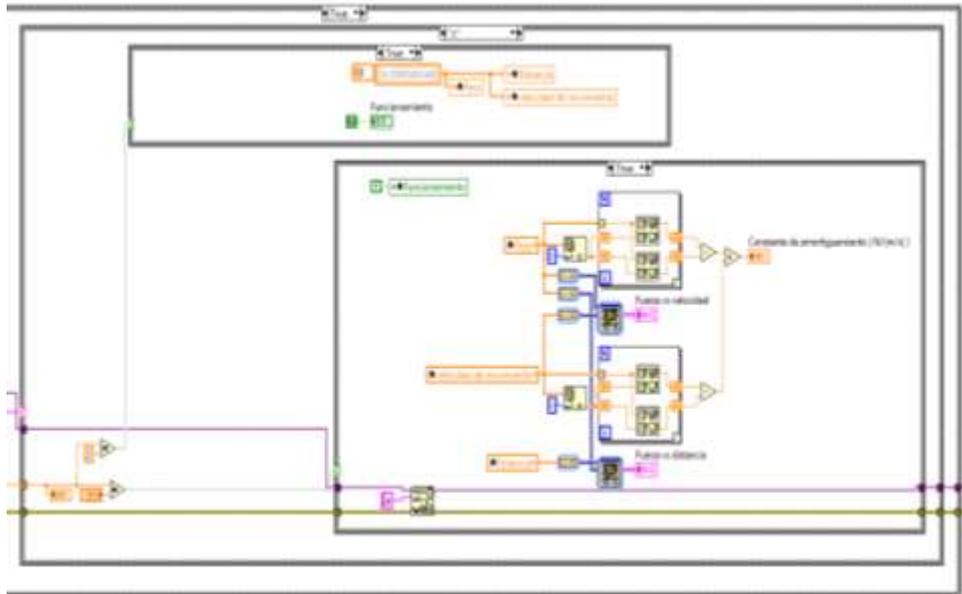


Figura 56. Sección del caso "c"

Al cumplir el número de repeticiones establecidas por el operario de la interfaz del banco de pruebas se redirige a la zona donde se encuentran dos ciclos prácticamente idénticos en donde se compara el máximo y mínimo valor numérico de la fuerza o peso, de la velocidad de movimiento y distancia que permitirá determinar la constante de amortiguamiento del muelle. De esta manera se presentan las gráficas de fuerza versus velocidad y fuerza versus distancia.

Al intentar dividir las curvas del valor de la fuerza y velocidad de desplazamiento la programación arroja resultados con valores de números infinitos, que no se acercan a la realidad de las especificaciones de los elementos, esto ocurre porque las curvas cruzan por cantidades que se aproximan a cero, es así como se determina tomar las amplitudes máximas de cada una de las curvas ya que estos valores mantienen un valor numérico estable.

La sección del caso "d" es donde se programa la interacción del variador de frecuencia con la interfaz de LABVIEW, donde se aplica una ecuación ($y=x/16,15;$) ya que los

valores que arroja el variador son analógicos, la frecuencia al ser lineal se divide para una constante donde el valor resultante se filtra se y gráfica.

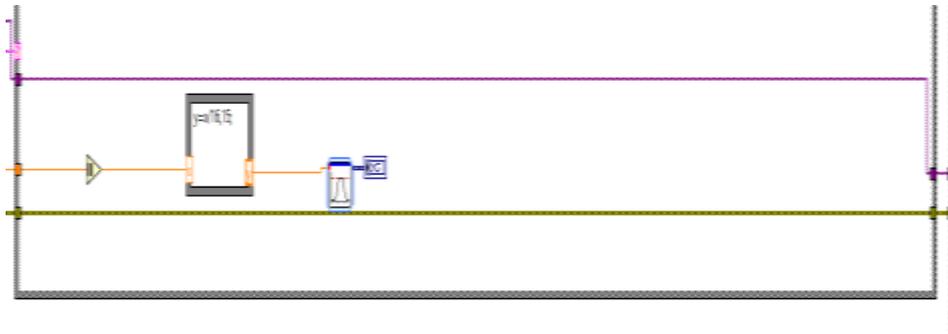


Figura 57. Sección del caso "d"

La gráfica de frecuencia arroja resultados en hercios con el símbolo Hz versus Tiempo aproximadamente en un intervalo de 5 segundos, este valor permite verificar el número a la que la frecuencia que permite trabajar el variador al motor eléctrico de 0.7kW.

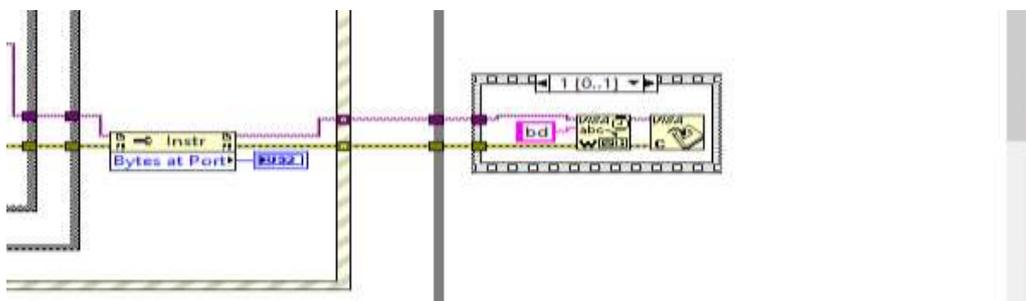


Figura 58. Final de la Programación de la Interfaz

Esta es la última etapa de la interfaz la cual está destinada para culminar la prueba, esta sección cuenta con un verificador de bytes y una pequeña estructura Flat Sequence Structure que permite programar la comunicación serial con la placa que comprende el final de la prueba mediante un comando de cuadro VISA Write que está programado con las letras "b" y "d" para realizar una última confirmación del código de programación.

La siguiente grafica se muestra la interfaz completa para el operario del banco de diagnóstico, en la cual se desarrollan las pruebas de los amortiguadores y muelles para constatar el valor de los coeficientes de amortiguamiento del amortiguador y la constante de compresión del muelle o resorte de vehículos livianos. Esta interfaz cuenta con dos botones de mando para el inicio y detención de la prueba, también cuenta con graficas que representaran en tiempo real los datos obtenidos por los sensores.



Figura 59. Final de la Programación de la Interfaz

Flujograma principal de funcionamiento del sistema

El sistema del banco de pruebas está diseñado con el objetivo de recolectar y analizar datos durante su funcionamiento, los mismos que luego de ser observados desencadenan en un conjunto de procesos para dar como resultado del coeficiente que se desee obtener. En el siguiente flujograma se representa el funcionamiento general del sistema:

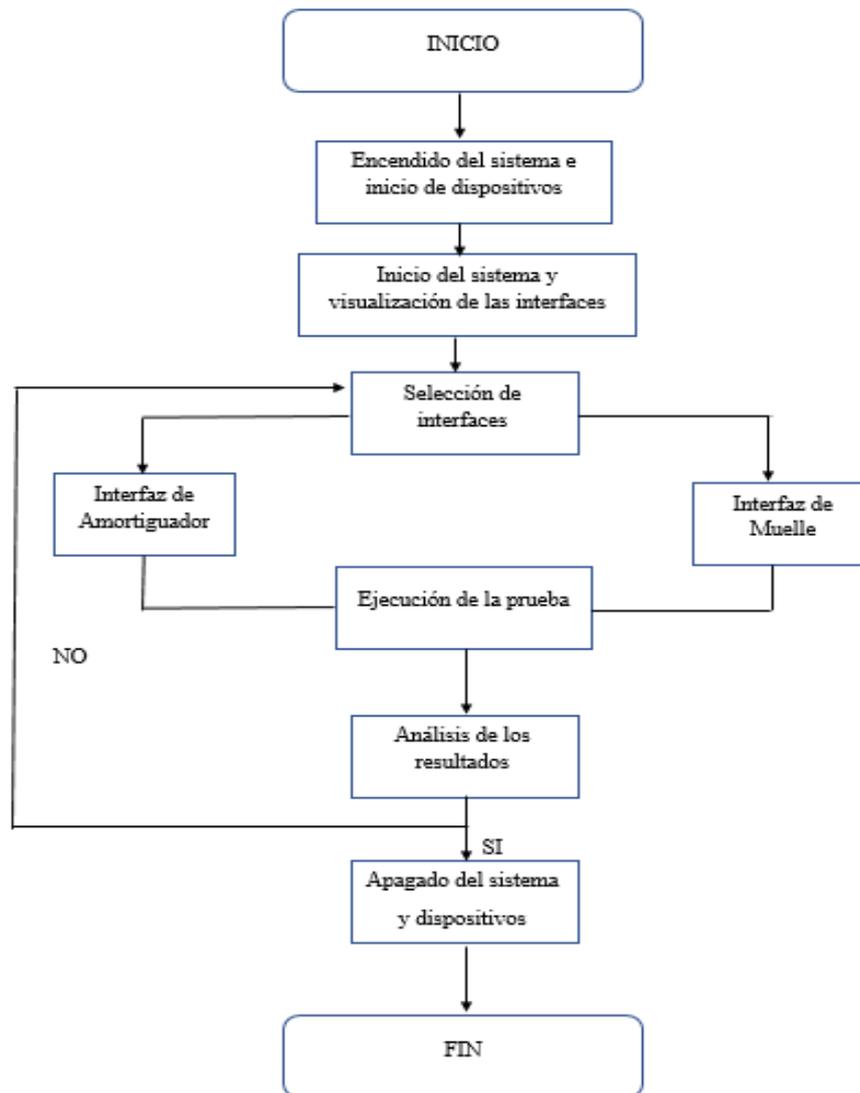


Figura 60. Funcionamiento del sistema

Los programas desarrollados constan de diferentes etapas que se ejecutan paulatinamente, en donde se alcanza a llegar a un punto donde se puede reconsiderar el volver a realizar una etapa permitiendo al usuario de la interfaz verificar los datos de las pruebas, o simplemente realizar una nueva prueba. Las principales etapas son:

- Etapa de encendido del sistema y dispositivos.
- Etapa de inicio del sistema.
- Etapa de selección de interfaces.
- Etapa de ejecución de prueba.
- Etapa de análisis de resultados y apagado del sistema.

Flujograma de encendido del sistema

La placa de Arduino es un circuito impreso, destinada a realizar distintos trabajos como el envío y recepción de datos. El siguiente flujograma muestra los procesos que realiza:

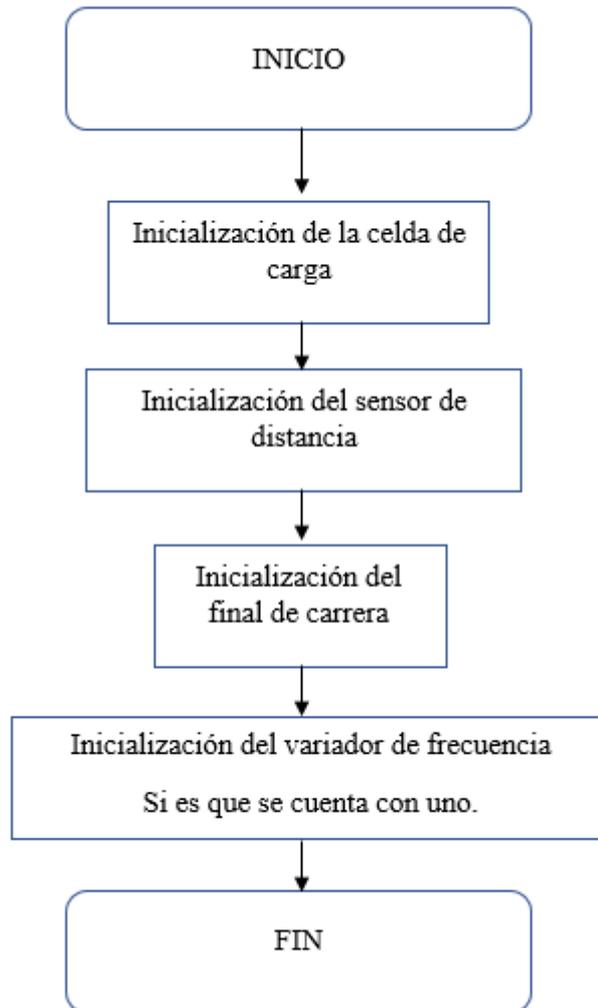


Figura 61. Encendido del sistema

La placa de Arduino se encarga de realizar la inicialización de la celda de carga, la inicialización del sensor de distancia, la inicialización del final de carrera y la inicialización del variador de frecuencia que solo ocurrirá en la zona pruebas del amortiguador.

Flujograma del funcionamiento de los botones virtuales

Una vez concluidas las inicializaciones de la placa de Arduino, las interfaces de usuario permiten visualizar dos botones virtuales de inicio de la prueba y final de proceso, este segundo botón permite detener el sistema, cuando es presionado si fuese necesario a la mitad de la misma, también se cuenta con botones que permiten determinar el número de ciclos a la que está sometida la prueba.

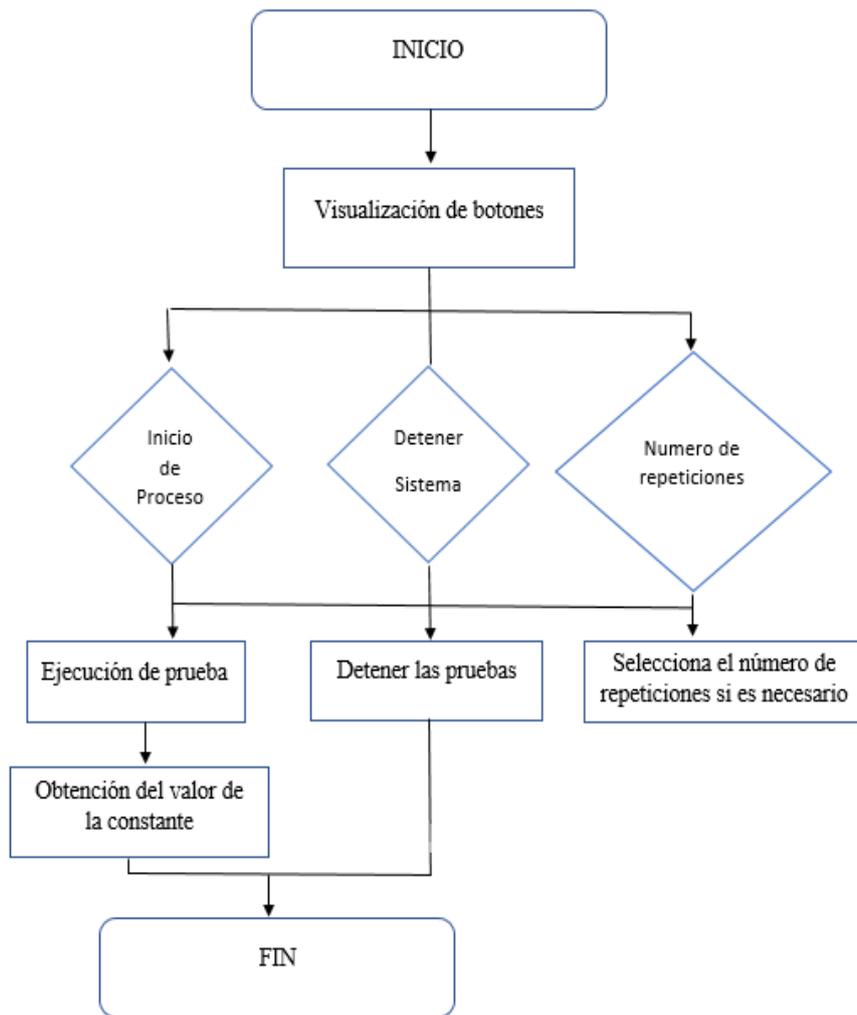


Figura 62. Funcionamiento de los botones virtuales

Conexiones de los elementos al banco de pruebas

Los sensores que son contemplados en el código de programación de la zona del amortiguador son:

- El sensor Sharp GP2Y0A02YK0F de distancia

- La celda de carga tipo S 60001 de 1000 libras
- Módulo Hx11
- Detector de contacto
- Variador de frecuencia Fuji Tech

Los sensores que son contemplados en el código de programación de la zona del muelle son:

- El sensor de distancia Sharp GP2Y0A02YK0F
- La celda de carga tipo S 60001 de 3000 libras
- Módulo Hx11
- Detector de contacto
- Las conexiones de la celda de carga tipo S con el módulo Hx711 y a la placa de Arduino Mega 2560 se representan en la siguiente gráfica:

Tabla 4. Conexiones de la celda de carga

CELDA DE CARGA	MODULO Hx711		Arduino Mega 2560
Cable rojo	E+	GND	GND
Cable negro	E-	DT	A1
Cable verde	A-	SCK	A0
Cable blanco	A+	VCC	5V

El módulo Hx711 cuenta con dos entradas laterales denominadas J1 y J2 las cuales cuentan con 6 pines en el lado izquierdo y 4 pines en el lado derecho respectivamente, los pines que se encuentran al lado derecho se utilizan para las conexiones con la placa de Arduino Mega, mientras que los pines del lado izquierdo se utilizan para las conexiones de la celda de carga tipo S de los cuales solo se necesitan 4.

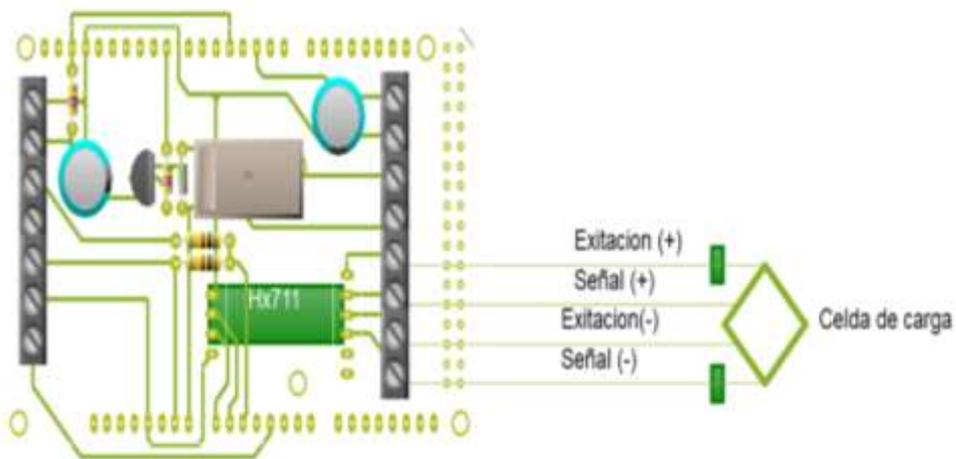


Figura 63. Circuito de la celda de carga-módulo Hx711-Arduino

El módulo de la celda de carga debe estar colocado cerca de la placa de Arduino Mega 2560 para que los ruidos externos y vibraciones del banco de pruebas no interfieran en la entrega y recepción de datos cuando se ejecuta una prueba a los amortiguadores o muelles.

3.6.3 Conexión del variador de frecuencia

La conexión del variador de frecuencia hacia la placa de Arduino consta de salidas analógicas divididas en dos, estas son para constatar la salida de voltaje que depende del nivel de frecuencia al que se programe el variador que arroja 10 voltios y la otra salida analógica permite comenzar y finalizar la prueba.

Tabla 5. Salida analógica para el inicio de la prueba del variador de frecuencia

Variador de frecuencia	Relé songle SRD-05VDC-SL-C		Placa de Arduino
REV	Ncerrado	GND	GND
Cm	Común	VCC	5V
		A(señal)	A4

El relé que va en medio de las conexiones entre el variador de frecuencia se lo utiliza como un interruptor que es controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

El Relé songle SRD-05VDC-SL-C consta de dos salidas laterales, en el lado derecho está destinado para la conexión con la placa de Arduino Mega mientras que en el lado izquierdo tenemos las conexiones que viene del variador de frecuencia.

Tabla 6. Salida analógica de voltaje del Variador de Frecuencia

Variador de frecuencia	Circuito	Arduino
FMA	1.2 K	A4
11	1 K	GND

En la mitad de las conexiones se adjunta un circuito que consta de dos resistencias de 1.2k y 1k para que el voltaje arrojado por el variador de frecuencia de (10V) descienda hasta la mitad (5V) y sea adecuado para la interacción y programación de la placa de Arduino Mega 2560.

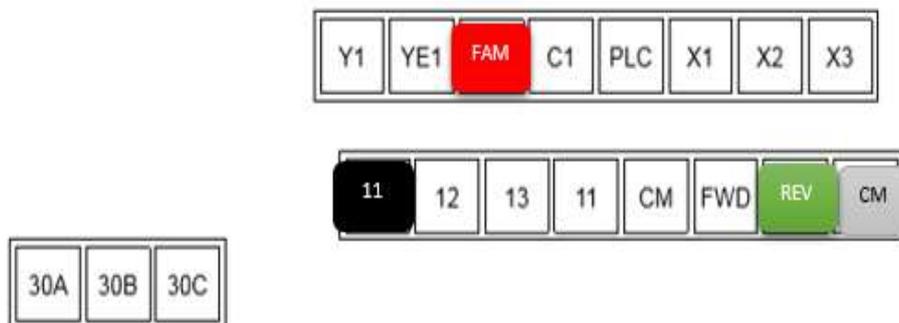


Figura 64. Salidas Analógicas del Variador de Frecuencia

En el anterior grafico se puede evidenciar cuales son los terminales que se utiliza para las conexiones y el color del recubrimiento que tienen los cables que interactúan entre la placa de Arduino u el variador de frecuencia:

- REV – Verde Retroceso- Permite definir el giro del motor
- CM – Blanco Común para entradas y señales digitales
- 11 – Negro Negativo
- FAM – Rojo Positivo 10 voltios

Estos cables están conectados a una placa de circuitos la cual colocada en parte superior de la placa de Arduino Mega 2650.

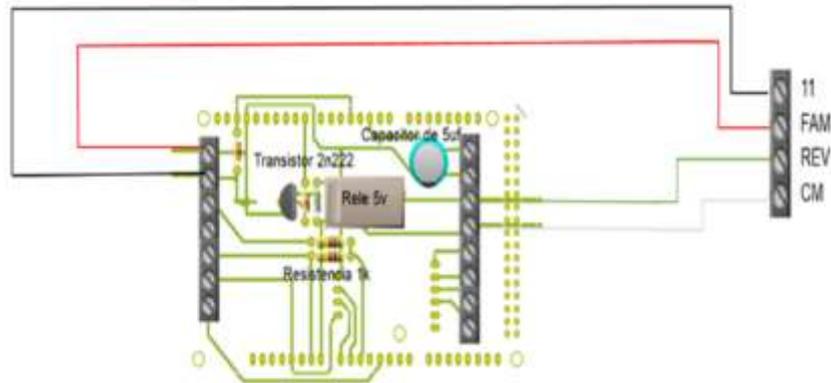


Figura 65. Diagrama de conexiones de variador de frecuencia con Arduino Mega

3.6.4 Conexiones eléctricas del motor eléctrico

Las conexiones del motor eléctrico están representadas en el siguiente diagrama, el motor está conectado al variador de frecuencia y el variador de frecuencia está conectado a un breaker de tres polos que protege a todo el circuito de un sobre voltaje que estropee al mismo.

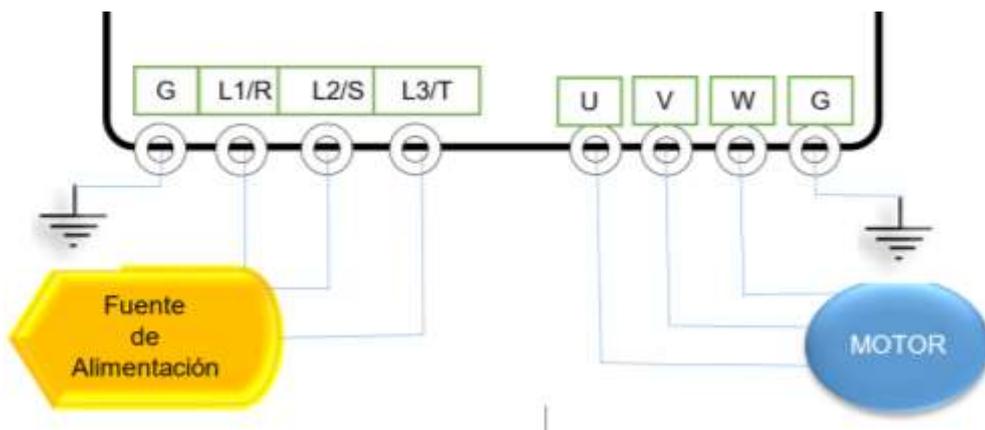


Figura 66. Conexiones Motor-Variador de Frecuencia

De parte del motor se encuentran tres cables de diferente color, el cable número 1 de color verde que conecta al borne “U”, el cable número 2 de color negro que está conectado al borne “V” y un cable de color blanco que está conectado al borne “W”. El variador de

frecuencia está conectado a una fuente de alimentación que cuenta con tres cables de distinto color, el cable número uno de color blanco está conectado al borne L1/R, el cable número dos de color verde está conectado al borne L2/S y el cable número tres de color negro está conectado al borne LR/3.

3.6.5 Diseño de las placas de circuitos

Diagrama de las conexiones de la zona del Amortiguador

El diseño de las placas de circuito este hecho mediante el software PCB Wizard, este software permite diseñar y configurar los diagramas de conexiones de una placa de circuito.

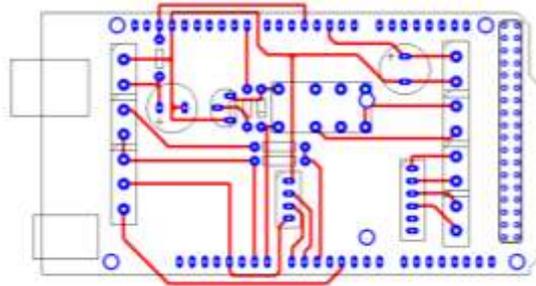


Figura 67. Diagrama de la placa de Arduino del Amortiguador

En la anterior figura se muestra el diseño de la placa de circuitos que pertenece a la zona de pruebas de amortiguadores, este diseño permite realizar las conexiones del variador de frecuencia, el sensor de distancia SHARP, la celda de carga tipo s de 1000 libras y el sensor de final de carrera.

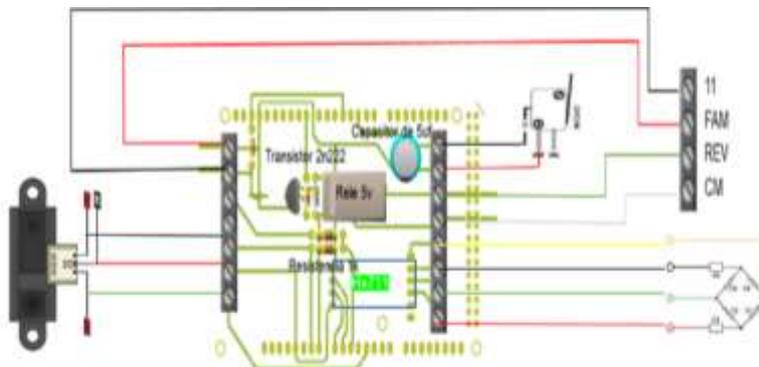


Figura 68. Diagrama de los componentes con la placa Arduino

En la anterior figura se observa la placa de circuito que conecta a la placa de Arduino Mega 2560, la placa de circuito cuenta con: un rele, un condensador, dos resistencias y un transistor, también está conectado al módulo Hx711 que permite la conexión con la celda de carga. Este circuito necesita de una fuente de alimentación externa además de la computadora para lo cual se utiliza un cargador de 5 Voltios.

Diagrama de las conexiones de la zona del Muelle

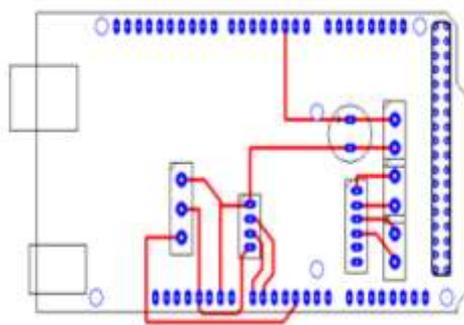


Figura 69. Diagrama del Circuito del Muelle

En la anterior figura se muestra el diagrama de las conexiones con las que cuenta la zona de pruebas del muelle, la configuración de esta placa es similar a la anterior, este diagrama es más sencillo ya que carece de algunos elementos que intervienen en la zona de pruebas del amortiguador como el variador de frecuencia.

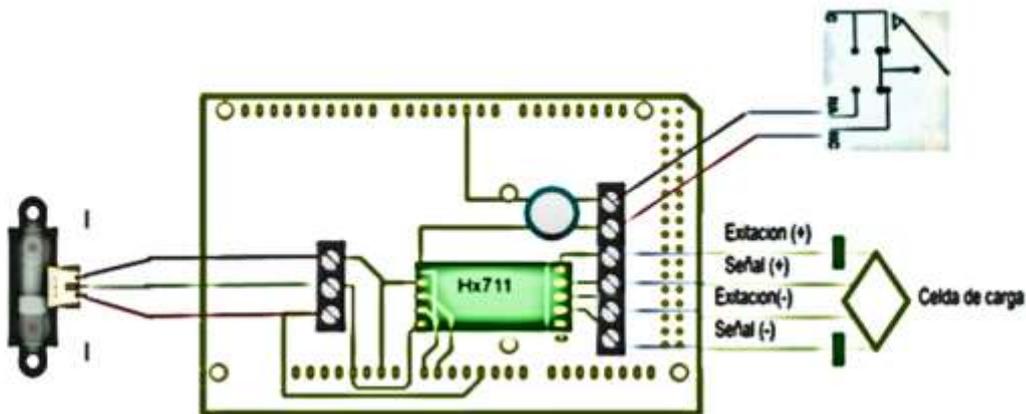


Figura 70. . Diagrama de conexiones de Arduino para el muelle

Esta placa está configurada para las conexiones del sensor de distancia, el final de carrera y la celda de carga, también cuenta con entradas para el módulo Hx711 que conecta la

celda de carga con la placa de Arduino Mega 2560. Esta placa de circuitos es más sencilla ya que no cuenta con un relé para el variador de frecuencia.

3.7 Implementación de una interfaz gráfica del sistema muelle amortiguador

El objetivo de la sección de este capítulo es implementar una interfase gráfica, utilizando un modelo matemático para la simulación del comportamiento de un sistema muelle amortiguador. Al ejecutar un estudio teórico de los distintos comportamientos que se pueden presentar en la suspensión de un vehículo liviano, con la finalidad de realizar pruebas y análisis de los resultados arrojados de manera teórica, para la elaboración de la interfaz gráfica se utiliza el software MATLAB, se establecerá una base estándar de estructuración y consecución de pasos, los cuales se regirán de manera jerárquica de acuerdo a las actividades establecidas las cuales nos permitirá entender el desarrollo de del modelo matemático paso a paso.

La implementación del modelo matemático y su validación se ejecuta: mediante la construcción del modelo gráfico de un cuarto de vehículo a continuación se realiza la identificación de las ecuaciones diferenciales.

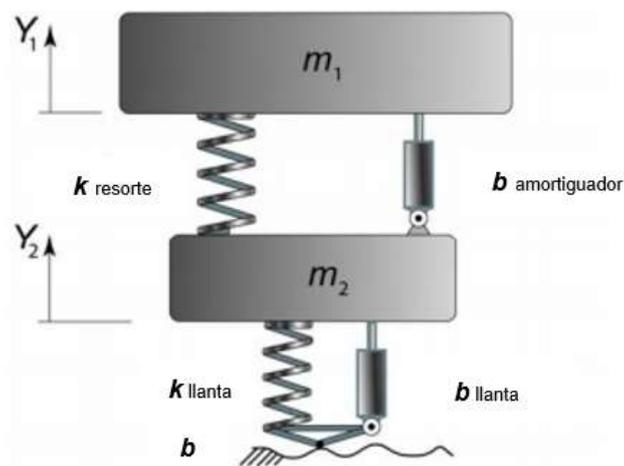


Figura 71. Modelo dinámico de un cuarto de vehículo (Toro, 2012)

La utilización de una ecuación que represente de mejor manera el movimiento del sistema de masa resorte requiere que se parta de una ecuación, la cual describe el funcionamiento del mismo:

$$mx'' + bx' + kx = F$$

Ecuación 12: Diferencial de masa resorte amortiguador

$$x'' = \frac{1}{m}(F - bx' - kx)$$

Ecuación 13: Aceleración. Segunda Derivada de la posición

m = masa

x'' = aceleración

b = constante del amortiguador

x' = velocidad

k = constante elástica del muelle

x = posición

F = Fuerza

El siguiente paso es representar esta ecuación en la aplicación de Simulink del software de Matlab, el cual nos permite implementar dos métodos: ecuación diferencial y componentes físicos específicos. Se utiliza un bloque de ganancia que representa 1/m que es una constante, a continuación, se coloca un bloque de que represente los signos necesarios.

3.7.1 Representación de la ecuación diferencial

En este grafico observamos que contara con elementos de dos bloques integradores que representan las derivadas la primera y segunda derivada de la posición, esto quiere decir la velocidad y aceleración respectivamente.

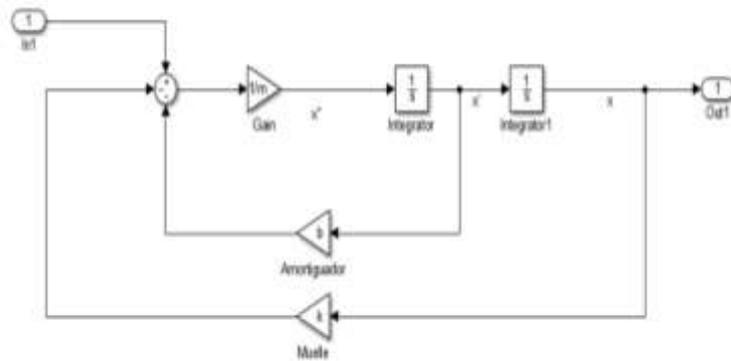


Figura 72. Diagrama de bloques en Simulink

Se utiliza 3 bloques de ganancia que representa $1/m$, b y k que son constantes, a continuación, se coloca un bloque de que represente los signos necesarios de la ecuación diferencial. Al final se coloca una gráfica que permite visualizar el comportamiento del sistema.

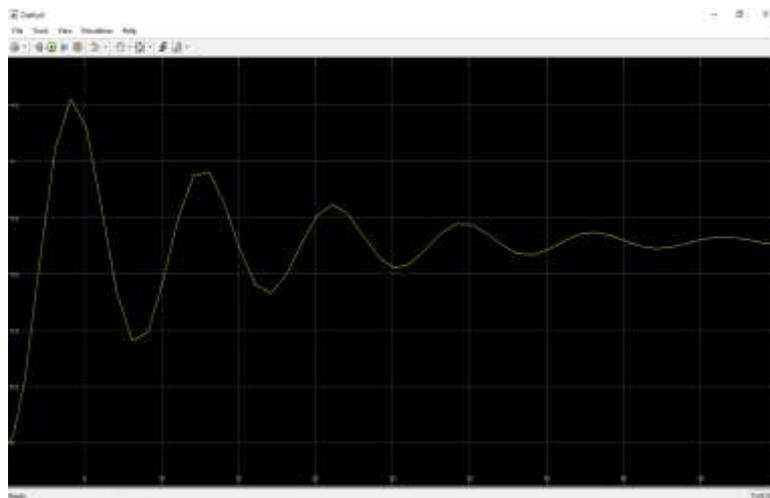


Figura 73. Grafica 1 del comportamiento en Simulink

La grafica anterior nos permite visualizar el comportamiento del sistema masa, muelle y resorte, en donde tenemos en el eje 'y' la posición y en el eje 'x' el tiempo, es de esta

manera que se interpreta que el sistema se desplaza aproximadamente 60 mm en la primera oscilación hasta estabilizarse y volver al punto de partida. Los valores de la masa, la constante del muelle y la constante del amortiguador son introducidos en la pantalla principal de Matlab la cual esta sincronizada con Simulink.

3.7.2 Representación de los componentes físicos específicos

En este grafico observamos que cuenta con elementos físicos específicos que permite trabajar Simulink en representación de los componentes que intervienen en el sistema masa resorte amortiguado.

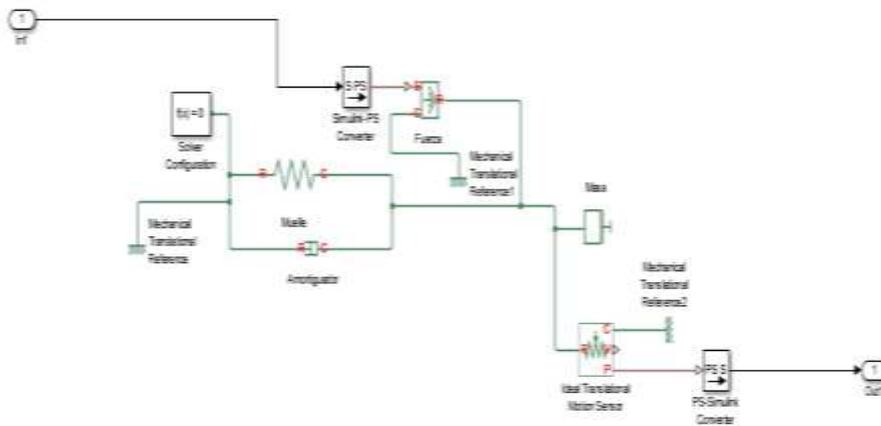


Figura 74. Diagrama de bloques en Simulink de componentes físicos específicos

Se inicia insertando elementos como el amortiguador, muelle y la masa que son elementos mecánicos que deben estar conectados a una referencia de tierra y un elemento solver. Este sistema debe contar con un bloque de fuerza ideal que debe estar conectado a una referencia y un conversor de señales que permite interpretar las señales a estado físico. A continuación, se necesita colocar un sensor de tres polos que nos permite identificar la posición y la velocidad del sistema, el cual también debe estar conectado a una referencia, el tercer polo está conectado a un convertidor de señales que traduce la señal física es transformada a una señal a la que el programa pueda representar en la gráfica.

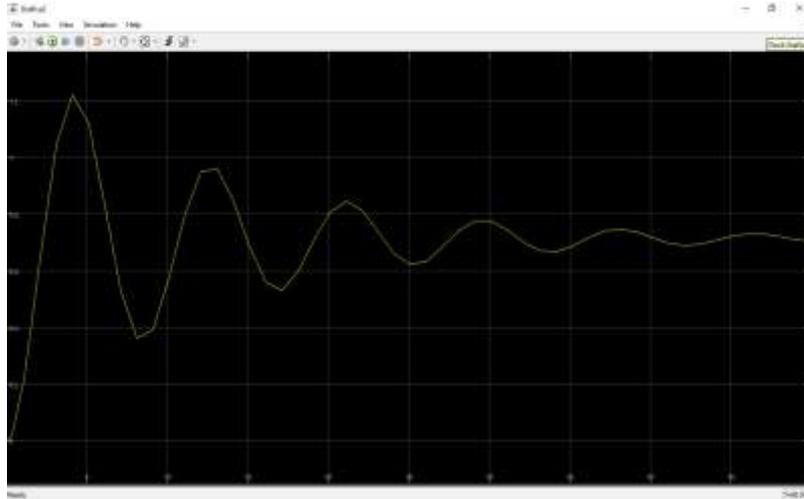


Figura 75. Grafica 2 del comportamiento en Simulink

Los valores son extraídos de la ventana principal de Matlab representando una gráfica idéntica a la de la interpretación de la simulación de la ecuación diferencial de masa resorte amortiguado. Los valores ingresados en la ventana de Comand Window de Matlab para la simulación de la anterior grafica son:

- (m) masa = 250 kg
- (b) constante del amortiguador = 40 (N/(s/m))
- (k) constante del muelle = 140 (N/m)

3.7.3 Representación del modelo matemático en una interfaz GUIDE

Se determina también utilizar la interfaz GUIDE de MATALAB permite representar con mayor eficiencia los resultados de los comandos utilizados, esta interface de trabajo puede ser modificada de acuerdo a las exigencias y necesidades del operario del software, el cual tendrá un numero variado de opciones para trabajar, determinando las variables que intervendrán en el progreso y uso del modelamiento, esto se lo logra con siguientes los botones:

- Push Botton (Botón para programación de algún tipo de acción)
- Axes (Representación de una gráfica)
- Edit Text (Permite la introducción de datos variables)
- Static Text (Permite la introducción de un texto constante).

Se procederá a caracterizar todos los elementos que intervienen, como la masa, la constante del muelle, la posición inicial de los elementos de la suspensión, la velocidad inicial con la que trabaja el sistema de suspensión, la constante de amortiguación y el tiempo. También se determinara el accionamiento de los Push Button, los que tienen con una programación previa, en conjunto con el modelamiento matemático, este tipo de archivo se guarda como un programa (.fig), el cual debe estar acompañado a otro archivo que cuenta con el mismo nombre pero con la terminación (.m) el cual se determina la programación y comandos principales del modelo matemático.

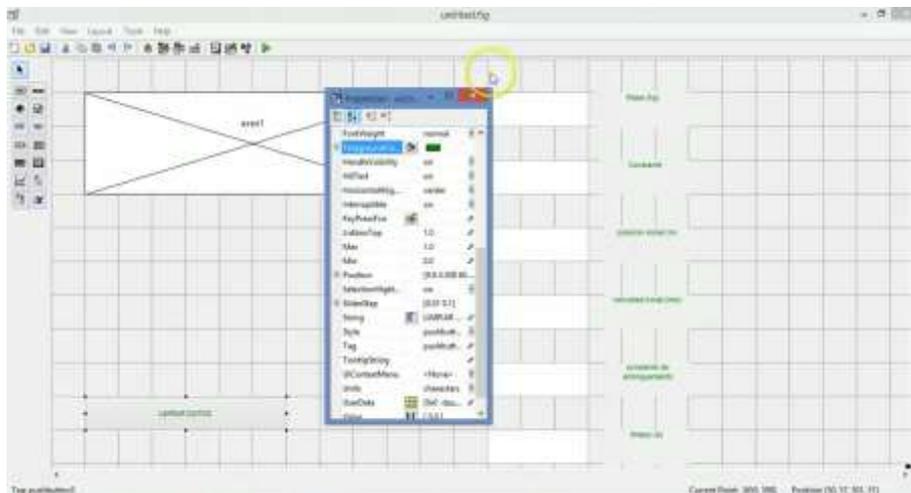


Figura 76. Elementos de la modelación del sistema de masa-resorte

Al colocar todos los elementos que intervienen en la elaboración del modelo encontramos opciones que permiten la configuración estética como es el tipo de color del texto, el relleno que lleva el texto, la posición y su tipo de fuente, de esta manera se determinara de mejor manera la presentación final.

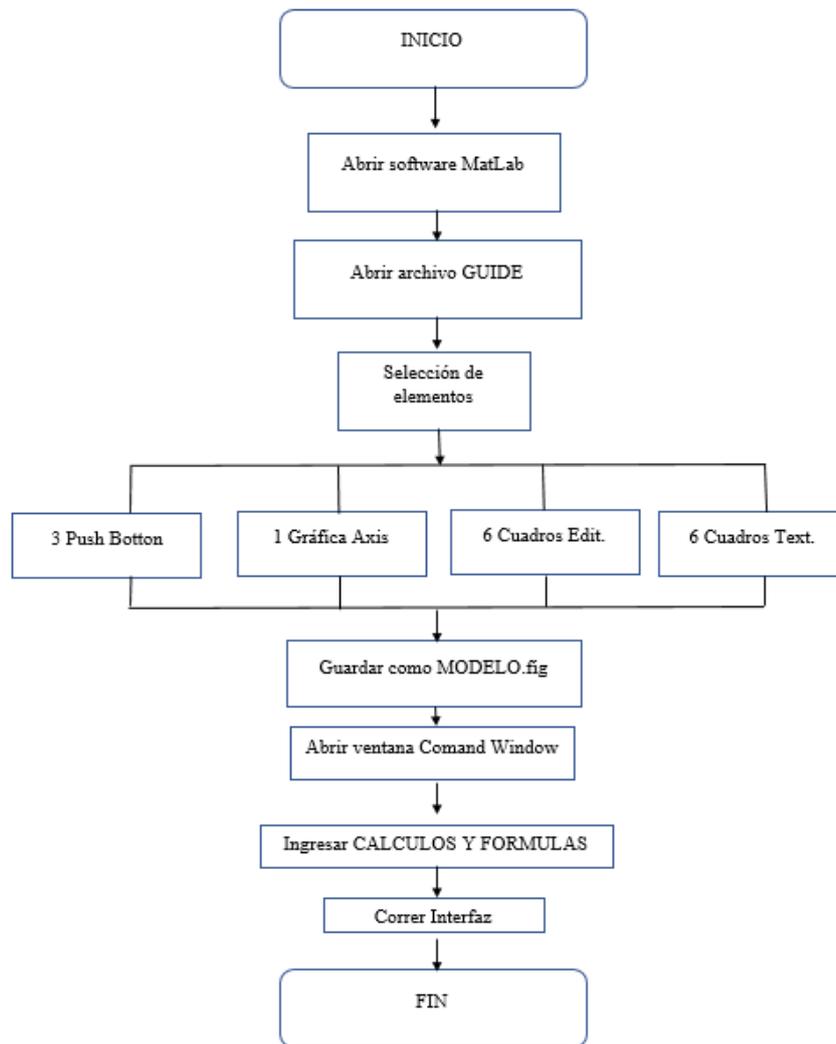


Figura 77. Flujograma de la modelación de la interfaz Masa Resorte Amortiguador

Se procede a determinar y guardar cada Push Botton, es así como nos arroja automáticamente la ventana principal de MATLAB en el panel de comandos el cual permite que se ingrese el código de trabajo asignado, hasta este momento contamos con dos botones los cuales permiten limpiar los datos y salir del programa.

En este punto se colocan todos los parámetros en el panel de Command Windows con los que se trabaja en el modelamiento del sistema masa resorte como son los cálculos, condicionales de las formulas y por último sus variables las que el que el usuario del programa tendrá que ingresar. Al determinar todos los Push Botton se obtiene tres diferentes tipos de botones de comando, los que permitirán ejecutar las siguientes opciones: EJECUTAR, SALIR y LIMPIAR DATOS, también se tiene la presencia de

una gráfica que trabaja bajo los parámetros de tiempo y desplazamiento en el eje X y Y respectivamente.

Se obtiene un número de 305 líneas de ingresos de diversas variables en el modelo matemático el cual tiene una estabilidad promedio, ya que si se visualiza con cierta atención se puede evidenciar un color rojo que representa que la fórmula tiene una estabilidad promedio para ejecutarse. En el siguiente gráfico se observa el resultado final del desarrollo del modelo matemático del sistema de masa resorte cuando se presiona el icono de RUN que permite que comience a correr el programa en la interfaz GUIDE, de esta manera se tiene la capacidad de manipular cualquier variable del sistema.

Podemos observar que podemos ingresar datos como:

- La masa (kg)
- Constante del muelle k (N/m)
- La posición inicial del sistema (m)
- Velocidad inicial del sistema (m/s)
- La constante de amortiguamiento del resorte c (N/(m/s))
- Tiempo (s)



Figura 78. Ejecución del modelo matemático

La gráfica se visualiza un eje “y” que representa el movimiento o desplazamiento que se produce en el sistema al presentarse una fuerza externa que trabaja en el mecanismo del sistema de suspensión de un $\frac{1}{4}$ de un vehículo, mientras que en el eje “x” se representa el

tiempo, estos datos dependen de las necesidades que crea prudente y conveniente el usuario del programa. Al final se introduce datos teóricos para el análisis de los resultados los mismos que se considera que tengan valores aproximados a vehículos livianos estándar. Se determina los siguientes valores reales para realizar la prueba de funcionamiento del modelo matemático:

- Masa del vehículo Chevrolet Aveo 1106 kg
- Masa $\frac{1}{4}$ del vehículo 276.5 kg
- Constante del muelle 140 N/m (valor promedio de la constante de los muelles k),
- La cantidad de 0 m como posición inicial del sistema
- El valor de 0.15m/s de velocidad inicial
- Una cantidad de 35 (N/(m/s)) para el coeficiente de amortiguamiento c del amortiguador
- Un rango de tiempo de 15 segundos siendo este el tiempo que se considerara para la obtención de los datos que arroja el modelo matemático.

Tabla 7. Resultados de la prueba en la interfaz de MatLab

Desplazamiento del sistema	1 ^{ra} Oscilación	2 ^{da} Oscilación	3 ^{ra} Oscilación	4 ^{ta} Oscilación	5 ^{ta} Oscilación
M.R.A.	60 mm	50 mm	40 mm	30 mm	20mm

Al finalizar la prueba se obtiene el resultado de una onda de oscilación máxima de (-60 mm) en el eje y de la gráfica, a continuación la gráfica muestra que la siguiente oscilación marca (50 mm), la misma que va disminuyendo progresivamente el tamaño de las oscilaciones hasta estabilizarse por completo, lo que significa que el sistema se encuentra en condiciones primordiales para ejercer su trabajo, ya que la deformación por parte de una fuerza exterior no provoco grandes cambios al sistema de suspensión. En este caso el sistema de suspensión se encuentra estático hasta que una fuerza externa trabaje sobre el mismo.

Para realizar el desarrollo de pruebas de los principales elementos de la suspensión como lo son el muelle y el amortiguador, se toma en cuenta cuales son las condiciones que se

pueden presentar un sistema de suspensión, tales como que el rango de las frecuencia del movimiento vertical del paso humano en el que se rige el número de oscilaciones entre 1 a 2 segundos, si este valor llega a elevarse el sistema nervioso de los pasajeros del vehículo comenzara a excitarse, pero si los valores fuesen menores se producen mareos.

Tabla 8. Frecuencias y características de las vibraciones en un vehículo

FRECUENCIA Hz		EFECTOS PRODUCIDOS	
		Sobre personas	Sobre Vehículos
MUY BAJAS	<0.5	Sensación de mareo con grandes amplitudes	
BAJAS	0.5 a 3	Frecuencia del movimiento vertical del paso humano	Produce cabeceo y balanceo
MEDIAS	4 a 20	Mínimo umbral de incomodidad	Circulación a bajas velocidades
ALTAS	>20	Resonancia del globo ocular	Vibraciones provocadas por acciones directas

Fuente: (ALVAREZ, IZQUIERDO, & LOPEZ, 2012)

La anterior tabla presenta las consecuencias que llegan a producir los distintos niveles de frecuencia a los que está sometido el sistema de suspensión de un vehículo, esto define los rangos de trabajo a los cuales debe actuar el banco de pruebas de suspensión.



Figura 79. Análisis de la frecuencia del sistema de suspensión

La frecuencia a la que trabaja este hipotético sistema de suspensión de vehículo liviano es de 0.7 Hz, de acuerdo con la tabla de frecuencias a las que se puede someter un vehículo es baja, lo que provocaría sensaciones de mareo en grandes amplitudes. Se llega a esta conclusión al realizar un estudio del número de ciclos en un tiempo 1.4 segundos, entendiendo el concepto de ciclos como la repetición de un suceso.

Esta interfaz toma una importante relevancia para el desarrollo del trabajo de grado ya que permite establecer el comportamiento mecánico de un sistema de suspensión de forma teórica, de esta forma se puede establecer las distintas variables que intervienen en el desarrollo de la interface en el software de Labview y la elección de los componentes físicos que intervienen en la recolección de los datos necesarios.

CAPITULO IV

4 Pruebas y análisis de resultados

4.1 Pruebas en amortiguadores

Se realiza dos pruebas, una para un amortiguador nuevo, y otra prueba para un amortiguador usado el cual estuvo sometido a un tiempo de trabajo específico de seis meses, esto nos permite comprobar y analizar qué cambio ha sufrido la constante C de amortiguamiento del amortiguador. El amortiguador nuevo contara con el numero uno y el amortiguador que estuvo sometido a un trabajo contara con el número dos.

Los dos amortiguadores cuentan con las siguientes especificaciones:

Tabla 9. Especificaciones de los Amortiguadores

Marca	Gabriel
Fabricado	Colombia
Altura comprimida	500 mm
Altura sin comprimir	680 mm
Diámetro de cilindro	41 mm
Diámetro de varilla del pistón	13 mm
Vehículos en los que se utiliza	Chevrolet Aveo
Tipo de amortiguador	Aceite Mono-tubo

Los amortiguadores que se utilizan para realizar las pruebas pertenecen a un vehículo altamente comercial en el mercado automotor de Ecuador, el amortiguador numero dos es montado en un Taxi Ejecutivo Aveo con un número de unidad 17 de placas ICQ 763 de la Cooperativa “Unión de taxista de Imbabura”.

4.1.1 Prueba del amortiguador 1

El amortiguador número uno se monta sobre el banco de pruebas en la zona de test de amortiguadores, se configura la interfaz de LabVIEW para que reciba datos recogidos por los sensores a la placa de Arduino Mega 2560 utilizando el puerto de comunicación COM8.



Figura 80. Prueba de Amortiguador 1

Se configura que el número de repeticiones que se ejecutaran en esta prueba sean de 5, en la segunda repetición se encenderá el LED que cumple la función de confirmar que se están recibiendo datos de parte del sistema de sensores de esta zona de pruebas de amortiguadores. La prueba nos arroja un resultado donde de la constante del amortiguador es de 42.84 (N/(m/s)), la interfaz nos permite visualizar los cambios de distancia y fuerza que ocurren mientras se ejecuta la prueba, esto se manifiesta en curvas senoidales que en el caso de la gráfica de distancia recorre intervalos que pasan entre 50 a 61 centímetros. En el caso de la gráfica de fuerza muestra que se ejerce una fuerza que va desde 19 a – 59 N, se obtiene números negativos por que se ejerce una fuerza que permita estirar hasta el punto superior el embolo del muelle, es decir que existe una fuerza que comprima el sistema del amortiguador y otra que permite expandir el sistema del amortiguador. La grafica de Fuerza versus distancia permite visualizar los ciclos a los que está sometido el amortiguador número uno, se describe el ciclo dependiendo de los datos obtenidos, esto

nos arroja una figura casi ovoide. La interfaz de pruebas de muelles cuenta con un sub-menú el cual permite visualizar distintas graficas:

- Fuerza vs. Distancia
- Frecuencia
- Velocidad
- Fuerza vs. Velocidad

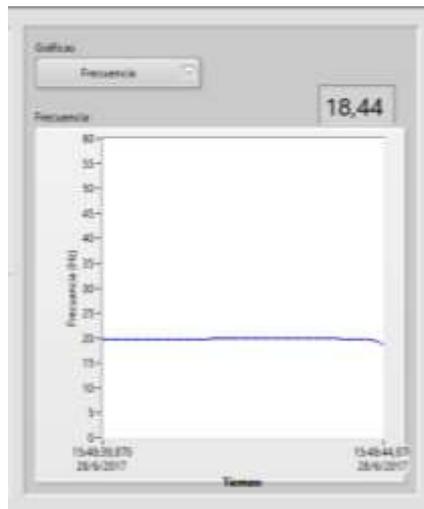


Figura 81. Grafica de valores del variador de frecuencia 1

La grafica de frecuencia nos indica el trabajo al que permite trabajar al motor eléctrico el variador de frecuencia, en este caso se configura que el variador de frecuencia trabaje a 20 Hz, en esta grafica se puede visualizar la rampa de aceleración y desaceleración a la que está sometido el sistema de pruebas de amortiguadores. Esta grafica cuenta en el eje “y” con el valor de la frecuencia mientras que en el eje “x” cuenta con el valor del tiempo, este valor se representa en una apertura de 5 segundos.

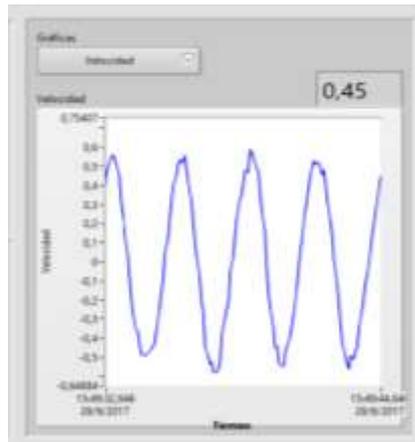


Figura 82. Grafica de Velocidad de Amortiguador 1

La grafica de velocidad arroja resultados en el eje “y” que van desde los 0.45 a 0.60 centímetros sobre segundo, estos valores pueden ser negativos ya que la existen dos trayectorias a las que está sometido el sistema, estas trayectorias son arriba y abajo.

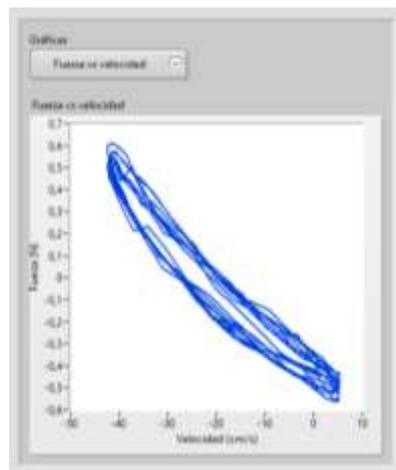


Figura 83. Grafica de Fuerza vs. Velocidad Amortiguador 1

La grafica de Fuerza versus Velocidad nos arroja un ciclo que se sobre escribe dependiendo del número de repeticiones al cual se haya configurado al inicio de la prueba, en el caso de esta prueba se puede evidenciar existe una fuerza que pasa por los puntos de 60 y -50 Newtons en el eje “y” y la velocidad recorrerá los puntos -0.45 y 5 cm/s en el eje “x”.

4.1.2 Prueba del amortiguador 2

La prueba del amortiguador número 2 se trata del elemento que fue sometido a un tiempo de trabajo de 6 meses. La configuración de la prueba lleva los siguientes parámetros: el número de repeticiones es de 5 y se utiliza el mismo puerto de comunicación COM8.



Figura 84. Prueba de Amortiguador 2

El valor del coeficiente del amortiguador numero dos es de 23.09 (N/(m/s)), en esta prueba se puede ver que la distancia varía entre 50 a 61 centímetros, la gráfica de fuerza versus tiempo muestra una curva senoidal que pasa por los puntos de 7 y -17 Newtons. La grafica de fuerza versus distancia muestra un ciclo sobre escrito en un número de 5 veces.



Figura 85. Grafica de los valores del variador de frecuencia 2

La grafica de Frecuencia del amortiguador número 2 muestra que el variador de frecuencia permite trabajar a 20 Hz al motor eléctrico, se puede ver que existe una rampa de desaceleración al finalizar la prueba, esto ocurre porque al completar el número de ciclos al cual fue configurada la prueba el sistema se detiene por completo, lo que provoca a un cese de recolecciones datos.

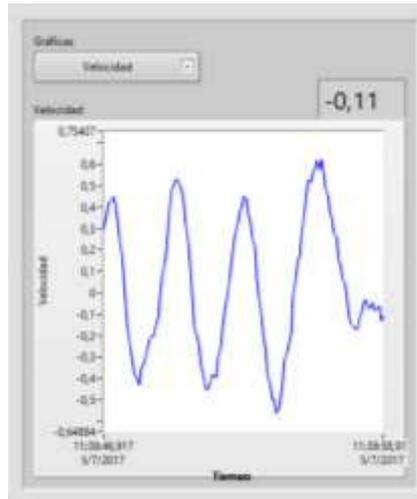


Figura 86. Grafica de Velocidad de Amortiguador 2

La grafica de velocidad de la prueba de amortiguador numero 2 muestra un resultado de velocidades entre los 0.64 a -0.55 centímetros sobre segundo, lo que permite sumar sus picos y obtener una velocidad promedio el sistema, se nota un incremento de velocidad con respecto al amortiguador número uno, esto se es por la pérdida de características porque ya se realizó un uso en este elemento.

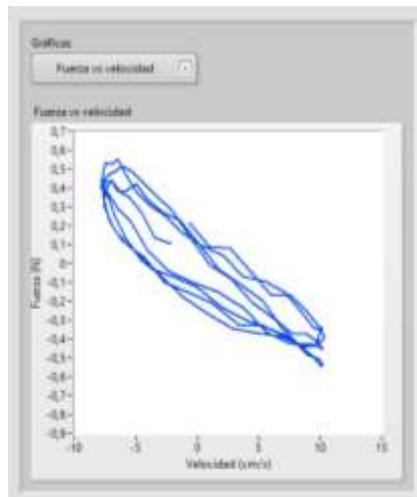


Figura 87. Grafica de Fuerza vs. Velocidad Amortiguador 2

La grafica de Fuerza versus Velocidad de la prueba el amortiguador numero dos nos arroja una figura con permite afirmar que existe un ciclo de trabajo del sistema en el cual se visualiza que la fuerza tendrá unas variantes entre -0.5 y 0.6 Newtons y la velocidad entre -7 y 10 centímetros sobre segundo.

4.2 Análisis de las pruebas de los amortiguadores

En las pruebas de los amortiguadores nuevos y con seis meses de uso se obtuvieron los siguientes resultados:

- Amortiguador número 1 con una constante C de 42.84 (N/(m/s))
- Amortiguador número 2 con una constante C de 23.09 (N/(m/s))

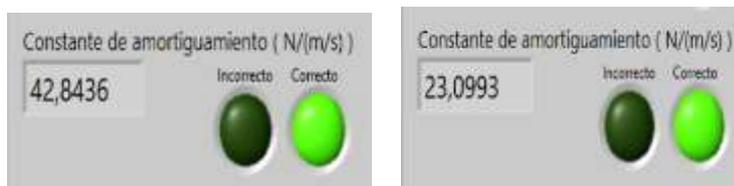


Figura 88. Comparación de los resultados de las constantes de amortiguador

Se puede evidenciar una disminución de 19.75(N/(m/s)) con respecto a la constante de amortiguamiento, esto ocurre en un intervalo de tiempo de seis meses con un inicio el primero de febrero de 2017 y culmina el primero de julio de 2017. La prueba de los dos amortiguadores es positiva para ser instalados en el vehículo, ya que los valores que arrojan ambos amortiguadores permanecen en el intervalo permitido para su correcto funcionamiento, el que es absorber las irregularidades de la calzada.

Tabla 10. Valores de los resultados de los amortiguadores

Amortiguador 1		Amortiguador 2	
Tipo	Hidráulico	Tipo	Hidráulico
Tiempo de Uso	0 meses	Tiempo de Uso	6 meses
Coefficiente de Amortiguamiento	42.84 N/(m/s)	Coefficiente de Amortiguamiento	23.09 N/(m/s)

En las pruebas realizadas anteriormente se obtuvo datos y gráficas, representados en fuerza y distancia, se considera que los amortiguadores están en correctas condiciones ya

que se encuentran en ciertos valores promedio, en el cual el amortiguador usado en durante de seis meses baja un 20% los cuales están representadas entre los valores de 20 a 30 N/(m/s) de la constante de amortiguamiento, a diferencia del amortiguador nuevo el cual se en un 100% de su funcionamiento con los cuales nos dio datos entre 40 a 60 N/(m/s) de la constante de amortiguamiento, con lo que llegamos a determinar que mientras menor sea el valor del coeficiente, estos bajan los valores de la resistencia de fuerza a los cuales está expuesta un amortiguador en un régimen de trabajo.

4.3 Pruebas en muelles

Se realiza dos pruebas, una para un muelle nuevo y otra prueba para un muelle el cual estuvo sometido a un tiempo de trabajo específico de seis meses, esto nos permite comprobar y analizar qué cambio ha sufrido la constante k de compresión o resistencia. El muelle nuevo cuenta con el numero uno y el muelle que estuvo sometido a un trabajo se le otorga el número dos.

Los dos muelles cuentan con las siguientes especificaciones:

Tabla 11. Especificaciones de los Muelles

Marca	SYD
Altura	370 mm
Diámetro del muelle	100 mm
Diámetro de espiras	12 mm
Espacio entre espiras	47 mm
Vehículos en los que se utiliza	Chevrolet Aveo
Posición	Trasera de vehículo

Los muelles que se utilizan para realizar las pruebas pertenecen a un vehículo altamente comercial en el mercado automotor de Ecuador, el muelle numero dos es montado en un Taxi Ejecutivo Aveo con un número de unidad 17 de placas ICQ 763 de la Cooperativa “Unión de taxista de Imbabura”.

4.3.1 Prueba del muelle 1

La interfaz para la prueba del muelle cuenta con dos botones, uno está dedicado para el inicio de la prueba, mientras que el otro está destinado para detener todo el sistema, es decir la recepción de datos obtenidos por los sensores y enviados a la placa de Arduino Mega 2560. La interfaz se configura para que utilice el puerto de comunicación COM 3.



Figura 89. Prueba de muelle 1

La prueba finaliza en el momento que se acciona el sensor final de carrera, esto genera que todos los datos obtenidos se procesen y se obtenga la constante k de 140.31 N/m. Se puede visualizar tres tipos de graficas:

- Distancia
- Fuerza
- Fuerza versus Distancia

La grafica de distancia muestra el espacio que recorre al comprimir el muelle, siendo sometido a la prueba, la distancia que recorre para ser comprimido el muelle es de 15 centímetros. La grafica de fuerza muestra una rampa ascendente que se estabiliza al encontrarse la distancia máxima de recorrido del muelle, la fuerza se fija en el valor de 46.2 N. La tercera grafica de Fuerza versus Velocidad muestra una línea ascendente casi

lineal que contiene picos de fuerza ya que el accionamiento de este sistema es manual, el cual utiliza una gata para proporcionar suficiente fuerza para comprimir el muelle.

4.3.2 Prueba del muelle 2

La prueba del muelle número 2 se trata del elemento que fue sometido a un tiempo de trabajo de 6 meses. Se utiliza el puerto de comunicación COM 3 el que permite la recepción de datos procesados por la placa de Arduino que son obtenidos por los sensores de distancia, celda de carga y final de carrera.



Figura 90. Prueba de Muelle 2

El resultado final de la prueba nos arroja una constante de resistencia del muelle de 133.70 N/m. En las gráficas de distancia, fuerza y fuerza vs distancia se observan los distintos valores que permiten el desarrollo de la prueba. La gráfica de distancia se muestra la variación de distancia que ha ocurrido mientras se ejecuta la prueba y cuando esta culmino. La gráfica de fuerza muestra una rampa ascendente que se estabiliza cuando este alcanza la variación de distancia máxima al pulsar el final de carrera, se obtiene un valor fijo de 45.55 Newtons. La tercera grafica de Fuerza versus Velocidad muestra una línea ascendente casi lineal que contiene picos de fuerza ya que el accionamiento de este sistema es manual, los picos dependerá de la velocidad en que se accione la palanca de la gata hidráulica.

4.4 Análisis de las pruebas de los muelles

En las pruebas de los muelles nuevos y con seis meses de uso se obtuvieron los siguientes resultados:

Muelle número 1 con una constante k de 140.31 N/m

Muelle número 2 con una constante k de 133.70 N/m



Figura 91. Comparación de los resultados de las constantes de muelles

Se evidencia la disminución de 6.61 N/m con respecto a la constante de resistencia k, esto ocurre en un intervalo de tiempo de seis meses con un inicio el primero de febrero de 2017 y culmina el primero de julio de 2017. La prueba de los dos muelles es positiva para ser instalados en el vehículo, ya que los valores que arrojan ambos resortes permanecen en el intervalo permitido para su correcto funcionamiento, el cual es absorber las irregularidades de la carretera por donde transitara el vehículo.

Tabla 12. Valores de los resultados de los muelles

Muelle 1		Muelle 2	
Tipo	Convencional	Tipo	Convencional
Tiempo de Uso	0 meses	Tiempo de Uso	6 meses
Coefficiente Elástico	140.03 N/m	Coefficiente Elástico	133.7 N/m

Se utiliza un muelle nuevo y un muelle que tiene un lapso de seis meses de trabajo, que el muelle usado en un intervalo de seis meses baja un 7%, estos valores están entre los rangos de 120 a 130 N/m de la constante de elasticidad de este muelle usado, y del muelle nuevo con valores de 140 a 150N/m de la constante de elasticidad, estableciendo que si supera estos valores en diferentes pruebas hacia los muelles podría tener una fractura.

CAPITULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El diseño y el cálculo realizado mediante Solidwork comprobó que la estructura del banco de pruebas tiene un factor de seguridad de 1.9 lo que significa que soporta fuerzas externas de superiores a 3600 N, suficientes para trabajar en rangos exigidos para muelles y amortiguadores de vehículos de hasta 3,5 toneladas PVB.
- La celda de carga tiene un nivel de precisión de 0.03% a 0.25% de escala completa, esto traducido a fuerza es 0.53 N y siendo adecuadas para todo tipo de aplicaciones industriales.
- El motor eléctrico tiene una potencia de 0.7kW que brinda 1750 rpm la cual esta va conectada al reductor de velocidad mediante un mecanismo de poleas que termina disminuyendo el primer valor hasta transforma en 60rpm para el accionamiento del mecanismo biela manivela.
- Los resultados obtenidos por las pruebas realizadas a los amortiguadores indica que existe una disminución del 40% del valor del coeficiente del amortiguador número 2 (usado) con respecto al amortiguador 1(nuevo).
- Los resultados obtenidos por las pruebas realizadas a los muelles indica que existe una disminución del 5.5% del valor del coeficiente del muelle número 2 (usado) con respecto al amortiguador 1 (nuevo).
- Se determinó que el comportamiento y especificaciones de las distintas marcas de amortiguadores y muelles varían de acuerdo a su fabricante, pero mantienen valores estándar que van desde los (15 a 60) ((N/(m/s)) para el amortiguador y valores que van entre (100 a 150) N/m para el muelle, valores de “k” y “c” que se

utilizaron para determinar los rangos de funcionamiento y el estado de los componentes.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso del manual de usuario para prevenir cualquier contratiempo en el momento de la ejecución de las distintas pruebas en el banco de diagnóstico de muelles y amortiguadores.
- Se recomienda la utilización del banco de pruebas, con muelles de un vehículo liviano los cuales no superen las medidas establecidas en el banco, en zona donde se realiza la prueba acepta elementos no mayores a los 150 mm
- Se recomienda realizar las pruebas del banco de muelles y amortiguadores en zonas con suficiente luz ya que los datos obtenidos del sensor SHARP pueden variar en un rango de precisión de 50mm a 100mm.
- Se recomienda que las pruebas en la zona del amortiguador sean de 5 ciclos, ya que la placa de Arduino Mega 2560 tiene un rango de tiempo de 2 segundos para realizar el procesado de datos obtenidos por parte de los sensores.
- Se recomienda establecer valores entre 15 a 25 Hz en el variador de frecuencia para que el sistema de recolección de datos pueda hacerlo con eficiencia, ya que si se eleva la frecuencia del mecanismo biela manivela los valores de los datos tendrán un margen de error elevado, que comprometería los valores finales del coeficiente del amortiguador.

6 Bibliografía

- ALVAREZ, C. V., IZQUIERDO, F. A., & LOPEZ, V. D. (2012). TEORIA DE LOS VEHICULOS. ETS INGENIEROS INDUSTRIALES.
- Arduino. (12 de Enero de 2016). ARDUINO. Obtenido de <https://www.arduino.cc/>
- carlo, J. (11 de Enero de 2014). <http://es.slideshare.net/hawer87/sistema-masa-resorte-amortiguador>.
- Dominguez, J. E., & Ferrer, J. (2016). Circuitos de fuidos, Direccion y Suspension. Macmillan Profesional.
- Equip, A. t. (2015). Ryme. Obtenido de <http://en.ryme.com/>
- Gysen, B., & van der Sande, T. (2011). Efficiency of a Regenerative Direct-Drive. IEEEXPLORE, 1384.
- INSTRUMENTS, N. (17 de Septiembre de 2013). NATIONAL INSTRUMENTS. Obtenido de <http://www.ni.com/labview/esa/>
- Lafita, F. (1999). Introduccion a la teoria de vibraciones mecanicas. España: Labor.
- mecanica, A. a. (24 de octubre de 2014). Aficionados a la mecanica. Obtenido de <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension2.htm>
- Ogata, K. (2001). Dinamica de Sistemas . Mexico: Prentice-Hall Hispanoamericano S.A.
- Reimpell, J., Stoll, H., & Betlzer, J. W. (2011). The Automotive Chasis: Engineering Principales. German: Butterworth Heinemann.
- SENPLADES. (2013-2017). Plan Nacional del Buen Vivir. Quito .
- Servicio Ecuatoriano de Normalización. (2011). Republic of Ecuador. Obtenido de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2349.2003.pdf>
- Sportdevices. (2015). Sportdevices. Obtenido de <http://www.sportdevices.co.uk/shockabsorber/index.htm>
- System, D. (2016). Dassult System. Obtenido de <http://www.solidworks.es/sw/products/simulation/simulation-professional.htm>
- Toro, A. (25 de Octubre de 2012). MODELADO, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS DE LA ADHESIÓN EN LA EVALUACIÓN EN SUSPENSIONES DE VEHÍCULOS . CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERIA MECANICA , 1141.
- Universitarios, F. P. (17 de Septiembre de 2013). Fatela. Obtenido de http://www.fatela.com.ar/trabajo_final_svg/5pag3.htm
- Zill, D. G. (2010). Ecuaciones diferenciales con aplicaciones de modelado. Mexico: Cengage learning.

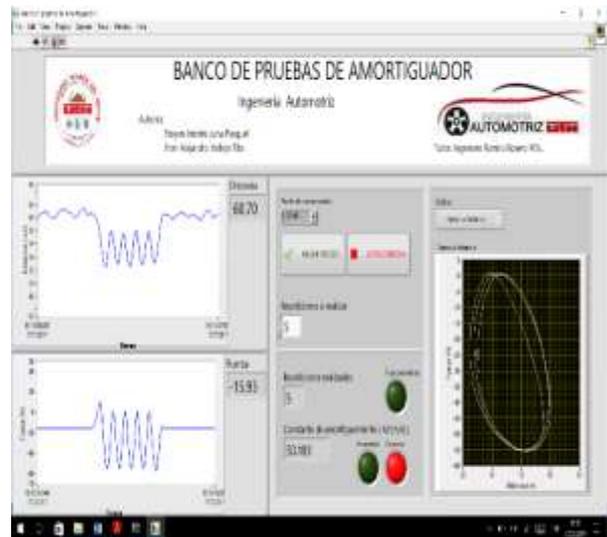
ANEXOS

ANEXO

BANCO DE PRUEBAS PARA EL ANÁLISIS DE AMORTIGUADORES Y MUELLES DEL SISTEMA DE SUSPENSIÓN DE UN VEHÍCULO

Guía de Usuario

El presente manual detalla el manejo y el uso del banco de pruebas, el cual nos ayudará a definir el estado de los sistemas de suspensión del vehículo. Contempla el uso de los elementos el cual son usados en el banco de pruebas, entre esto contara el uso de la zona de pruebas tanto para el amortiguador y muelle, también el uso del variador de frecuencia y la interfaz de LabView para la adquisición de datos.



Zona del amortiguador

Para la zona del amortiguador procederemos a cumplir los siguientes pasos:

1. Colocar el amortiguador que se desea probar, este se debe colocar de manera vertical en el área donde se realizará la adquisición de datos.
2. En la parte superior se encontrará una celda de carga, la que servirá para ajustar con el varillaje de la parte superior del amortiguador con un perno de seguridad, a continuación, se procede a ajustar en la base inferior con el perno mariposa, con

el cual este asegurará y unirá el movimiento el cual genera el reductor conjuntamente con el reductor.

3. Para el uso de este mecanismo se debe tomar en cuenta que el motor debe trabajar entre los rangos de 10 a 20 Hz para obtener datos precisos.
4. Al momento de la prueba asegurarse que el de comunicación controlador de LabView esté conectado.
5. Es recomendable establecer en la interfaz en un máximo de 5 a 6 ciclos de repetición del mecanismo para el amortiguador para tener una mejor obtención de datos.
6. Una vez culminada la prueba con el amortiguador es recomendable retirar el amortiguador al que se le realizó las pruebas, para evitar daños a futuro de la zona de accionamiento del amortiguador



NOTA: Una vez que el sistema de pruebas empiece con el movimiento, tener mucho cuidado de no apoyar las manos por donde recorre el mecanismo.

Zona del muelle

Para la zona del muelle procederemos a cumplir los siguientes pasos:

1. Asegurarse que la gata este en su posición adecuada por lo que este va a generar el movimiento ascendente de las placas en donde se colocara el muelle.
2. Se debe tener en cuenta que según sea el tamaño del muelle, se deberá ajustar el tornillo de la gata hidráulica para compensar la altura a recorrer.
3. Asegurar que cuando se accione la gata se encuentre el tornillo de aceite se encuentre cerrado.
4. Se debe colocar de forma correcta dentro de los límites de las placas que son para la colocación del muelle, de lo contrario este se comprimiría de una manera errónea.
5. La prueba iniciará cuando en la pantalla de la interfaz se encuentre una luz testigo de color amarillo, luego de eso se iniciará el accionamiento manual de la gata.
6. El término del recorrido de la prueba será cuando este toque el sensor de fin de carga que se encuentra en la zona del amortiguador.
7. Una vez terminada la prueba se deberá aflojar el tornillo de aceite de la gata hidráulica



NOTA: Una vez finalizada la prueba se deberá aflojar cuidadosamente el tornillo del aceite de la gata por lo que el muelle ejerce una fuerza de retorno y este puede ocasionar accidentes si se le libera de una manera repentina.

Para el uso del variador de frecuencia se determina seguir los siguientes pasos:

1. Se debe conectar a una fuente trifásica o si vez una fuente eléctrica de 220V
2. Una vez conectado este se debe encender con la ayuda de un interruptor de tres polos el cual va conectado al variador.
3. Este variador contiene un potenciómetro el cual sirve para regular la frecuencia.
4. El variador únicamente se enciende mediante la interfaz de adquisición de datos.
5. Se debe trabajar con frecuencias desde 15 a 25 Hz, este valor se marcará en la pantalla LED del variador de frecuencia.



NOTA: Asegúrese de manipular algún cable del variador cuando este se encuentre totalmente desconectado de la fuente eléctrica.

El uso de la interfaz de adquisición de datos

Para el uso de las interfaces del banco de pruebas se debe tomar en cuenta los siguientes pasos:



1. Cuando estén conectados las placas de Arduino, deben asegurarse de que en el sistema se debe colocar en los puertos correctos.
2. En la prueba que se vaya a realizar se debe seleccionar el COM (puerto de comunicación de la computadora) en la prueba que se vaya a utilizar.
3. El programa LabView tiene un comando de inicio del sistema que se encuentra en la parte superior del programa representado por una flecha.
4. Ya iniciado el sistema se presiona el botón inicio del proceso que están de letras verdes y se selecciona el número de repeticiones.
5. Debe encenderse una luz indicando que el sistema está adquiriendo datos de todos los sensores.
6. Al finalizar los ciclos de la interfaz se debe apagar el motor.
7. En la prueba realizada se muestran datos de la constante o coeficiente de amortiguamiento además de gráficas de fuerza y distancia.
8. Una vez obtenido los datos de la constante también nos informa si esta se encuentra en buen estado o no, informando en unas luces:
 - color verde si está CORRECTO
 - una luz roja si está INCORRECTO

PLANOS DEL BANCO DE PRUEBAS

ANEXO

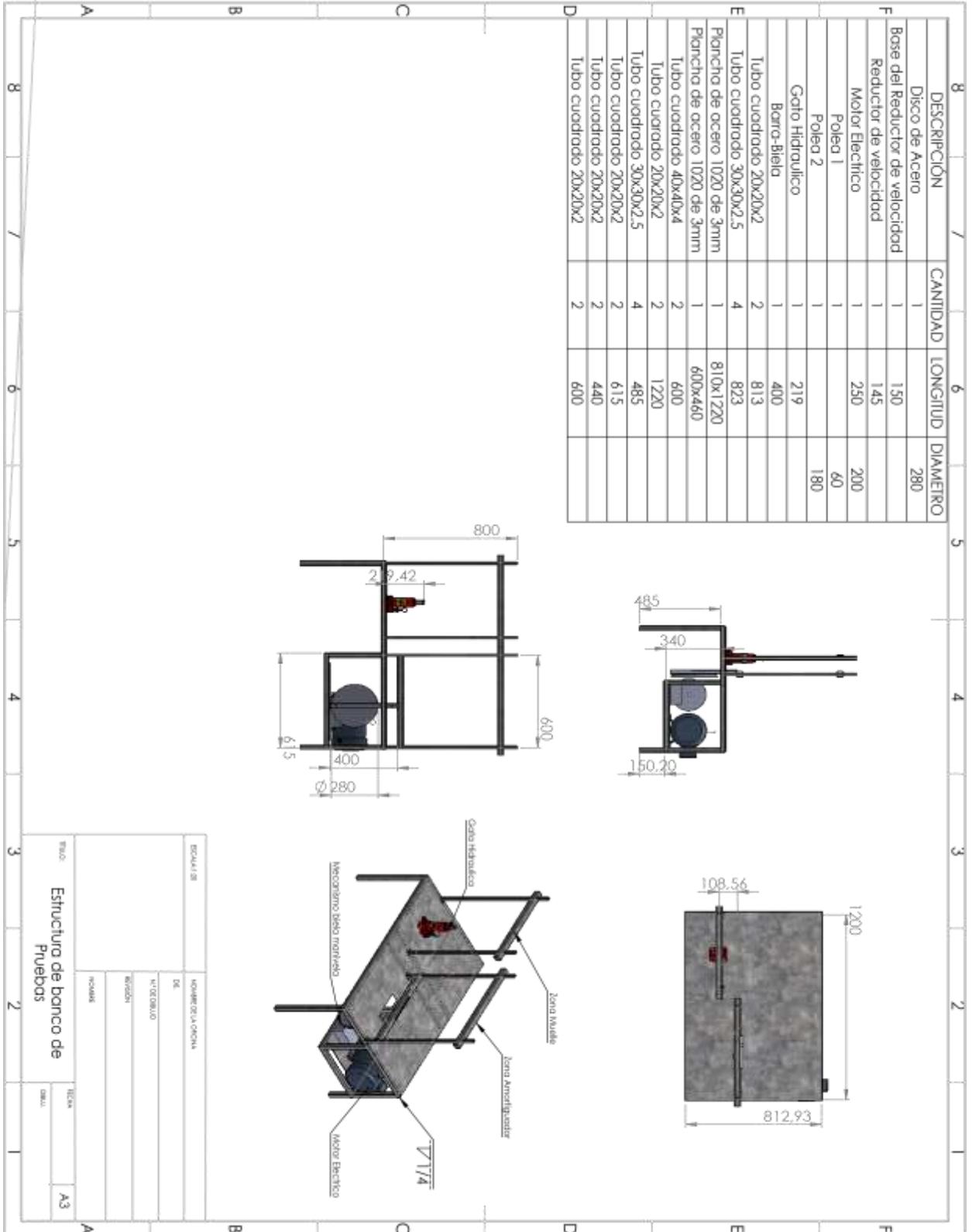
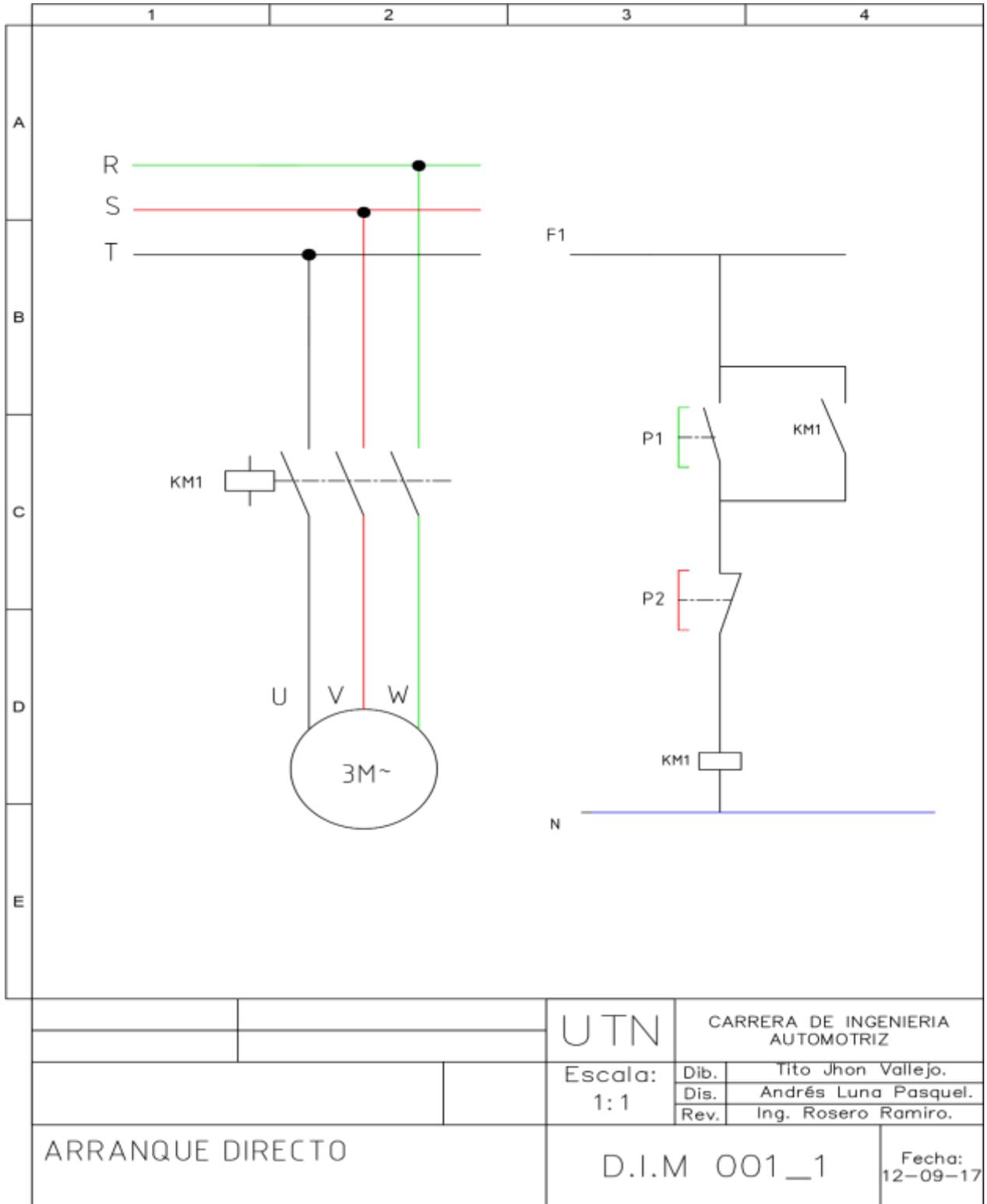
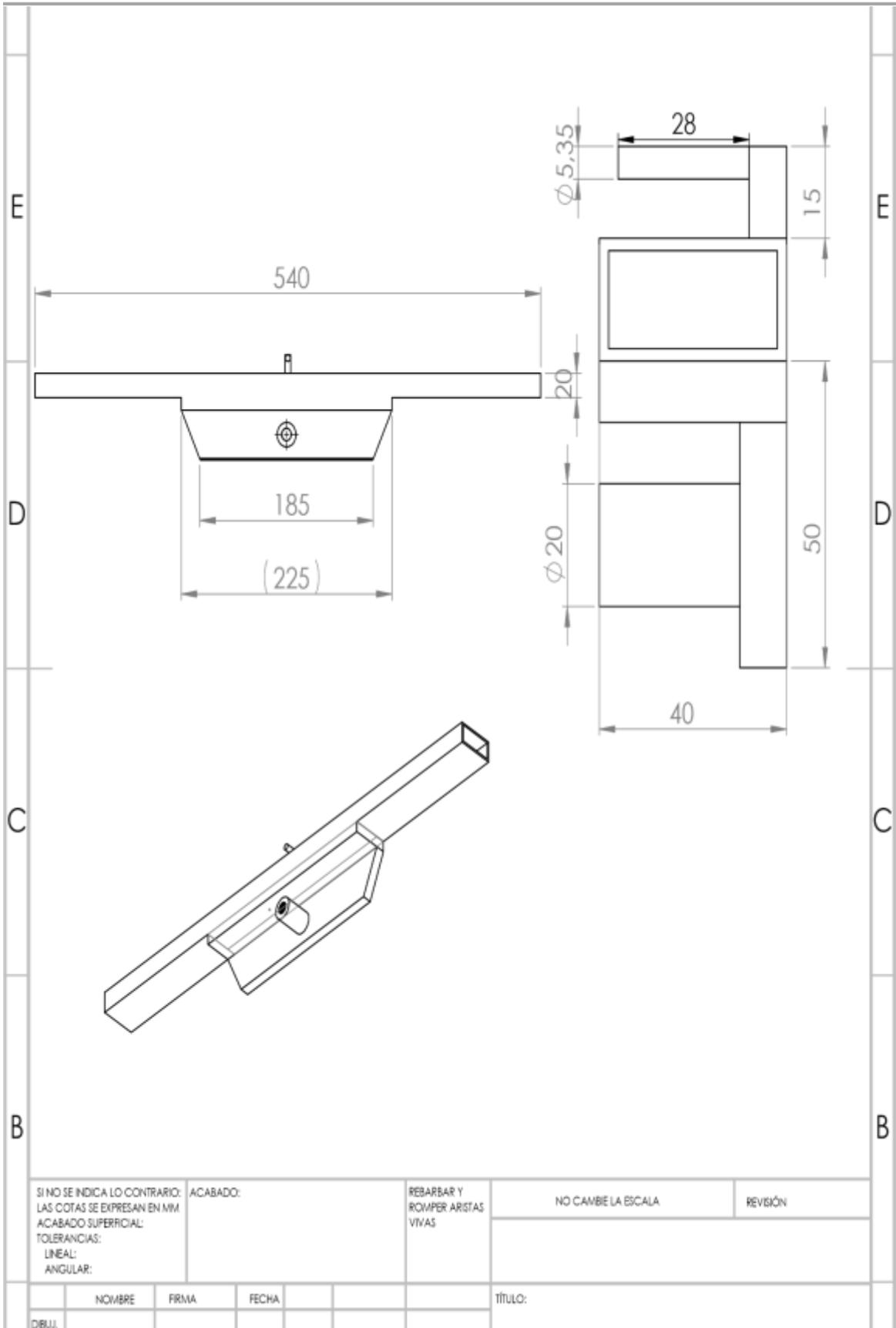


DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL MOTOR





ANEXO

CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN

Código de Arduino Amortiguador

```
#include "HX711.h"
HX711 scale;

long int v[8], v1[8];
int habilitar = 0;
char c;
boolean flag = 0;

char buff[10];

byte repeticiones = 0;

float time_f, last_time_f;

const int analogInPin = A4;
long int sensorValue = 0;

/*Interrupción para la medición de repeticiones*/
volatile int pin1state;
volatile char REGVALS;
void pin1Change()
{
  REGVALS = PINE;
  pin1state = REGVALS & B00010000;
  if ((pin1state == B00000000) && (float(micros()) - last_time_f > 300000))
  {
    flag = 1;
  }
}

void setup()
{
  /*Salida de rele para activación del variador*/
  pinMode(8, OUTPUT);
  digitalWrite(8, 0);
  /*Iniciar el puerto de comunicación con LABVIEW*/
  Serial.begin(250000);
  /*Iniciar la comunicación con el sensor de peso o celda de carga*/
  scale.begin(A1, A0);
```

```

scale.set_scale(12000);
scale.tare();
/*Configuración del final de carrera*/
pinMode(2, INPUT_PULLUP);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), pin1Change, FALLING);
/*Inicio de medición del tiempo*/
last_time_f = float(micros());
time_f = float(micros());
repeticiones = 0;
}

void loop()
{
/*Recepción de datos de LABVIEW*/
if (Serial.available())
{
c = Serial.read();
habilitar = (c != 'b'); //Habilitar el envío de datos a LABVIEW
if (c == 'c') //Inicio del proceso
{
digitalWrite(8, 1);
repeticiones = 0;
}
if (c == 'd')
{
digitalWrite(8, 0); //Detención del proceso
repeticiones = 0;
}
}
}
if (flag)
{
repeticiones++;
last_time_f = float(micros());
sprintf(buff, "%07u", repeticiones);
Serial.print("c");
Serial.print(buff);
Serial.print("1");
flag = 0;
}
if (habilitar)
{
/*Lectura del sensor de peso o celda de carga*/
long int peso = int(scale.get_units() * 100);

/*Filtro promedio*/

```

```

v[7] = v[6];
v[6] = v[5];
v[5] = v[4];
v[4] = v[3];
v[3] = v[2];
v[2] = v[1];
v[1] = v[0];
v[0] = peso;
long int peso_aux = (v[7] + v[6] + v[5] + v[4] + v[3] + v[2] + v[1] + v[0]) / 8;
peso = peso_aux;

/*Envío sensor de peso o celda de carga*/
sprintf(buff, "%07lu", abs(peso));
Serial.print("a");
Serial.print(buff);
if (peso > 0)
    Serial.print("1");
else
    Serial.print("0");

/*Lectura y envío del sensor de distancia SHARP*/
sensorValue = analogRead(A4);

v1[7] = v1[6];
v1[6] = v1[5];
v1[5] = v1[4];
v1[4] = v1[3];
v1[3] = v1[2];
v1[2] = v1[1];
v1[1] = v1[0];
v1[0] = sensorValue;
peso_aux = (v1[7] + v1[6] + v1[5] + v1[4] + v1[3] + v1[2] + v1[1] + v1[0]) / 8;
sensorValue = int(peso_aux);

sprintf(buff, "%07lu", sensorValue);
Serial.print("b");
Serial.print(buff);
Serial.print("1");

/*Lectura y envío de la velocidad del variador*/
sensorValue = analogRead(A2);
sprintf(buff, "%07lu", sensorValue);
Serial.print("d");
Serial.print(buff);

```

Código de Arduino Muelle

```
#include "HX711.h"
HX711 scale;

long int v[8], v1[8];
int habilitar = 0;
char c;
boolean flag = 0;

char buff[10];

byte repeticiones = 0;

float time_f, last_time_f;

const int analogInPin = A4;
long int sensorValue = 0;

/*Interrupción para la medición de repeticiones*/
volatile int pin1state;
volatile char REGVALS;
void pin1Change()
{
  REGVALS = PINE;
  pin1state = REGVALS & B00010000;
  if ((pin1state == B00000000) && (float(micros()) - last_time_f > 300000))
  {
    flag = 1;
  }
}

void setup()
{
  /*Salida de rele para activación del variador*/
  pinMode(8, OUTPUT);
  digitalWrite(8, 0);
  /*Iniciar el puerto de comunicación con LABVIEW*/
  Serial.begin(250000);
  /*Iniciar la comunicación con el sensor de peso o celda de carga*/
  scale.begin(A1, A0);
  scale.set_scale(12000);
  scale.tare();
  /*Configuración del final de carrera*/
  pinMode(2, INPUT_PULLUP);
```

```

attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), pin1Change, FALLING);
/*Inicio de medición del tiempo*/
last_time_f = float(micros());
time_f = float(micros());
repeticiones = 0;
}

void loop()
{
/*Recepción de datos de LABVIEW*/
if (Serial.available())
{
c = Serial.read();
habilitar = (c != 'b'); //Habilitar el envío de datos a LABVIEW
if (c == 'c') //Inicio del proceso
{
digitalWrite(8, 1);
repeticiones = 0;
}
if (c == 'd')
{
digitalWrite(8, 0); //Detención del proceso
repeticiones = 0;
}
}
if (flag)
{
repeticiones++;
last_time_f = float(micros());
sprintf(buff, "%07u", repeticiones);
Serial.print("c");
Serial.print(buff);
Serial.print("1");
flag = 0;
}
if (habilitar)
{
/*Lectura del sensor de peso o celda de carga*/
long int peso = int(scale.get_units() * 100);

/*Filtro promedio*/
v[7] = v[6];
v[6] = v[5];
v[5] = v[4];
v[4] = v[3];
}
}

```

```

v[3] = v[2];
v[2] = v[1];
v[1] = v[0];
v[0] = peso;
long int peso_aux = (v[7] + v[6] + v[5] + v[4] + v[3] + v[2] + v[1] + v[0]) / 8;
peso = peso_aux;

/*Envío sensor de peso o celda de carga*/
sprintf(buff, "%07lu", abs(peso));
Serial.print("a");
Serial.print(buff);
if (peso > 0)
    Serial.print("1");
else
    Serial.print("0");

/*Lectura y envío del sensor de distancia SHARP*/
sensorValue = analogRead(A4);

v1[7] = v1[6];
v1[6] = v1[5];
v1[5] = v1[4];
v1[4] = v1[3];
v1[3] = v1[2];
v1[2] = v1[1];
v1[1] = v1[0];
v1[0] = sensorValue;
peso_aux = (v1[7] + v1[6] + v1[5] + v1[4] + v1[3] + v1[2] + v1[1] + v1[0]) / 8;
sensorValue = int(peso_aux);

sprintf(buff, "%07lu", sensorValue);
Serial.print("b");
Serial.print(buff);
Serial.print("1");
}
delay(10);

```

Código del Modelo Matemático

```
function varargout = MODELO(varargin)
% MODELO MATLAB code for MODELO.fig
%   MODELO, by itself, creates a new MODELO or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = MODELO returns the handle to a new MODELO or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   MODELO('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in MODELO.M with the given input arguments.
%
%   MODELO('Property','Value',...) creates a new MODELO or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before MODELO_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to MODELO_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help MODELO

% Last Modified by GUIDE v2.5 03-Dec-2016 18:58:01

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @MODELO_OpeningFcn, ...
```

```

        'gui_OutputFcn', @MODELO_OutputFcn, ...
        'gui_LayoutFcn', [], ...
        'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before MODELO is made visible.
function MODELO_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to MODELO (see VARARGIN)

% Choose default command line output for MODELO
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes MODELO wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

```

```

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = MODELO_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function masa_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to masa (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of masa as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of masa as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function masa_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to masa (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

```

```
    set(hObject,'BackgroundColor','white');  
end
```

```
function constante_Callback(hObject, eventdata, handles)  
% hObject    handle to constante (see GCBO)  
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB  
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)  
  
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of constante as text  
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of constante as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.  
function constante_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)  
% hObject    handle to constante (see GCBO)  
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB  
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called  
  
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.  
%       See ISPC and COMPUTER.  
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),  
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))  
    set(hObject,'BackgroundColor','white');  
end
```

```
function posicion1_Callback(hObject, eventdata, handles)  
% hObject    handle to posicion1 (see GCBO)  
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```

% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of posicion1 as text
%    str2double(get(hObject,'String')) returns contents of posicion1 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function posicion1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to posicion1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%    See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function velocidad_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to velocidad (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of velocidad as text
%    str2double(get(hObject,'String')) returns contents of velocidad as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function velocidad_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject  handle to velocidad (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles  empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function constante2_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject  handle to constante2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles  structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of constante2 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of constante2 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.

```

```

function constante2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject  handle to constante2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles  empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.

```

```

%       See ISPC and COMPUTER.

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

```

```
    set(hObject,'BackgroundColor','white');  
end
```

```
function tiempo_Callback(hObject, eventdata, handles)  
% hObject    handle to tiempo (see GCBO)  
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB  
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)  
  
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of tiempo as text  
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of tiempo as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.  
function tiempo_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)  
% hObject    handle to tiempo (see GCBO)  
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB  
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.  
%       See ISPC and COMPUTER.  
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),  
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))  
    set(hObject,'BackgroundColor','white');  
end
```

```
% --- Executes on button press in pushbutton1.  
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)  
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)  
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```

% handles  structure with handles and user data (see GUIDATA)
limpiar = '';
set(handles.masa,'string',limpiar);
set(handles.constante,'string',limpiar);
set(handles.posicion1,'string',limpiar);
set(handles.velocidad,'string',limpiar);
set(handles.constante2,'string',limpiar);
set(handles.tiempo,'string',limpiar);

% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject  handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles  structure with handles and user data (see GUIDATA)

close(gcf)

% --- Executes on button press in pushbutton3.
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject  handle to pushbutton3 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles  structure with handles and user data (see GUIDATA)
Pos1=str2num(get(handles.posicion1,'string')); %posision
T2=str2num(get(handles.tiempo,'string'));    %tiempo
t2=0:0.01:T2;
masa2=str2num(get(handles.masa,'string'));   %masa
k2=str2num(get(handles.constante,'string')); %constante amortiguador
v1=str2num(get(handles.velocidad,'string')); %velocidad 1
h=str2num(get(handles.constante2,'string')); %constante de muelle

```

```

%calculos

a=(h/masa2);
w=4*k2/masa2;
m1=(-h/masa2+sqrt(((h/masa2)^2)-(4*k2/masa2)))/2;
m2=(-h/masa2-sqrt(((h/masa2)^2)-(4*k2/masa2)))/2;
s=(a^2)-(w^2);

if(s==0)

%criticamente amortiguado
c1=Pos1;
c2=v1-m1*c1;
x2=-(c1*exp-(m1*t2))+(c2*t2.*exp(m2*t2));
tmax=(c1*m1+c2)/(-c2*m2);
xmax=((c1*exp(m1*tmax))+(c2*tmax.*exp(m2*tmax)))+1;
axes(handles.axes1);
if (xmax>0)
    plot(t2,x2,'--b','linewidth',4),xlabel('Tiempo s'),ylabel('Movimiento m'),axis([-2 T2 -2
max ]),title('Respuesta Criticamente amortiguado'),grid on;
else
    plot(t2,x2,'--b','linewidth',4),xlabel('Tiempo s'),ylabel('Movimiento m'),axis([-2 T2
xmax 2 ]),title('Respuesta Criticamente amortiguado'),grid on;
end;

else

% sobre amortiguado
if(s>w)
    c2=(v1-Pos1*(m1))/(-m1+m2);
    c1=Pos1-c2;
x2=(c1*exp(m1*t2))+(c2*exp(m2*t2));
tmax=log((-c2*m2)/(c1*m2));

```

```

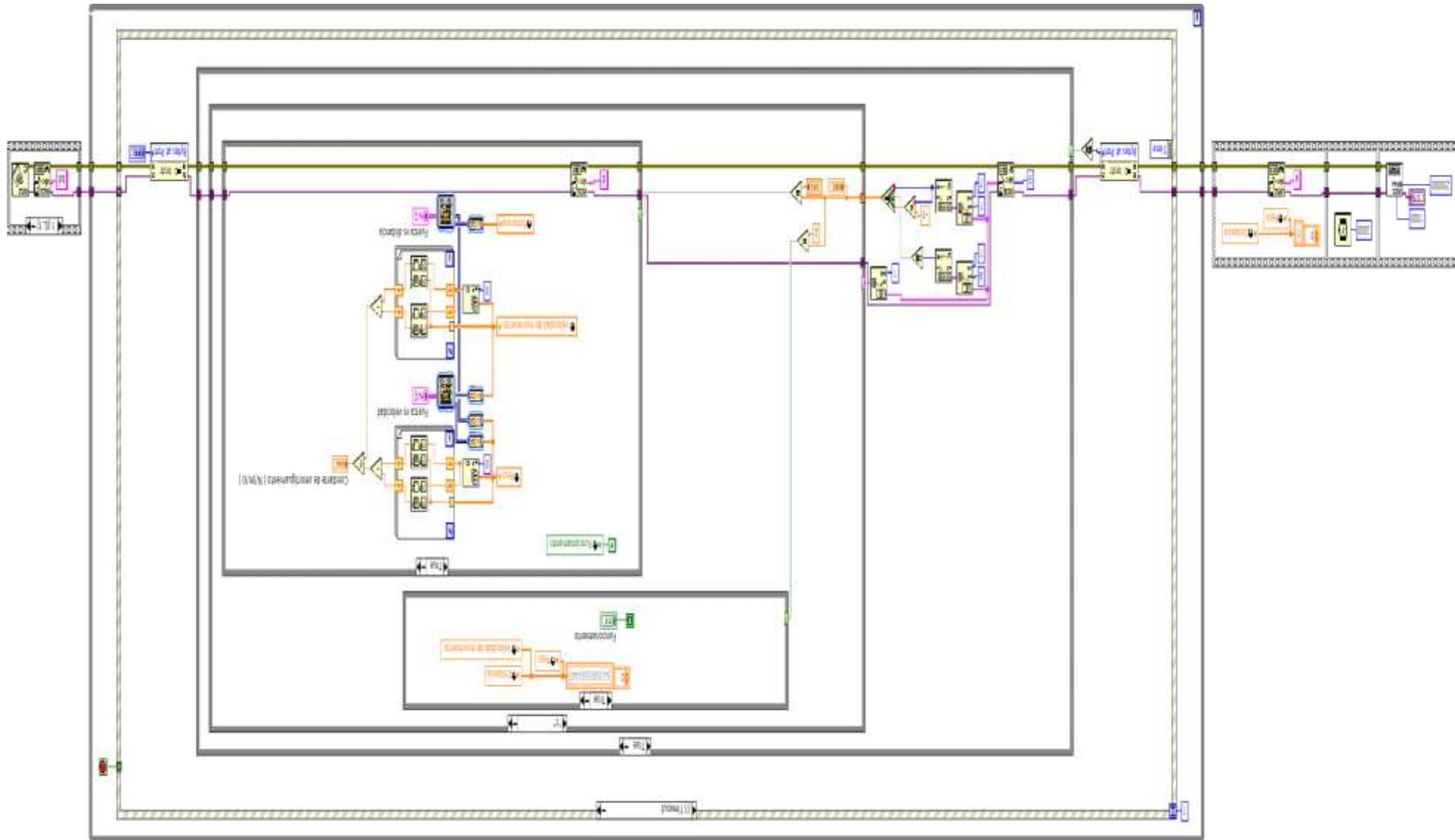
xmax=((c1*exp(m1*tmax))+(c2*exp(m2*tmax)))+1;
axes(handles.axes1);
plot(t2,x2,'--b','linewidth',4),xlabel('Tiempo s'),ylabel('Movimiento m'),axis([-2 T2 -1
xmax ]),title('Respuesta Sobre amortiguado'),grid on;

else

    %subamortiguado
    if (s<w)
    b1=(sqrt(-(a^2)+(w^2)));
    c1=Pos1;
    c2=(v1-Pos1*a)/b1;
    x2=((c2*sin(b1*t2))+(c1*cos(b1*t2))).*(exp(-a*t2));
    xmax=x2/sin(b1*t2);
    if(Pos1>0)
    axes(handles.axes1);
    plot(t2,x2,'--b','linewidth',4),xlabel('Tiempo s'),ylabel('Movimiento m'),axis([0 T2 -Pos1
Pos1 ]),title('Respuesta Subamortiguado')
    grid on;
    else

    axes(handles.axes1);
    plot(t2,x2,'--b','linewidth',4),xlabel('Tiempo s'),ylabel('Movimiento m'),axis([0 T2 Pos1
-Pos1 ]),title('Respuesta Subamortiguado')
    grid on;
    end;
    end;
    end;

```



DIAGRAMAS DE FLUJO DE LA PROGRAMACIÓN

