



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA DIAGNÓSTICO DE CONVERGENCIA EN AUTOMOTORES

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGÍSTER EN SISTEMAS AUTOMOTRICES

CÓRDOVA ORELLANA CLAUDIO CONSTANTE
claudioc3o@hotmail.com

DIRECTOR: ING. ÁNGEL PORTILLA, MSc.
angel.portilla@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. RICARDO SOTO, MSc.
ricardo.soto@epn.edu.ec

Quito, Noviembre, 2017

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **CLAUDIO CÓRDOVA**, bajo mi supervisión.

Ángel Adalberto Portilla Aguilar

DIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo, **Claudio Córdova**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Claudio Córdova

DEDICATORIA

A mis queridos padres por el aliento constante para seguir adelante.

A mi esposa e hijos por la comprensión y paciencia en momentos difíciles.

A mis buenos amigos que de una u otra manera han aportado positivamente en mi desarrollo humano y profesional.

En especial, al Ingeniero Ángel Portilla en el que siempre han resaltado, una gran calidad humana y profesional.

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Politécnica Nacional

A mi familia

Al Ingeniero Ángel Portilla por su valiosa guía para el desarrollo del presente trabajo.

Doy testimonio de gratitud.

INDICE DE CONTENIDOS

Certificación	i
Declaración	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Índice de contenido	v
Resumen	xiii
Abstract	xiv
Presentación	xv
Plan de tesis	xvi
1. Capítulo I. Marco Teórico	1
1.1. Introducción	1
1.2. Conceptos básicos	2
1.2.1. Caster o avance	2
1.2.2. Camber o caída	2
1.2.3. Convergencia y divergencia.....	3
1.3. Fuerzas que actúan en las llantas de un vehículo	3
1.3.1. Transmisión del movimiento angular a las llantas	3
1.3.2. Propulsión del vehículo y fuerza de rozamiento	4
1.4. Convergencia y divergencia	5
1.4.1. Convergencia de las llantas y sus efectos	5
1.4.2. Convergencia cero	6
1.4.3. Convergencia positiva	7
1.4.4. Convergencia negativa o divergencia	8
1.5. Ddesplazamiento generado por desalineación	9
1.6. Restricciones de grados de libertad	10
2 Capítulo II. Diseño del Equipo	12
Introducción	12
2.1. Diseño mecánico y cálculo estructural del equipo	14
2.1.1. Análisis funcional	14
2.1.2. Soluciones para cada módulo	17

2.1.3.	Cálculos y dimensionamiento	25
2.1.3.1.	Cálculo de esfuerzos sobre la estructura	26
2.1.4.	Simulación por elementos finitos	28
2.2.	Diseño eléctrico del equipo	31
2.2.1.	Conceptos de control automático	31
2.2.1.2.	Sistemas de control de lazo abierto	31
2.1.1.3.	Función de transferencia o transmitancia	32
2.2.1.4.	Sistemas de control de lazo cerrado	33
2.2.2.	Diseño de sensor de desplazamiento	33
2.2.2.1.	Diseño conceptual	33
2.2.2.2.	Diseño básico	34
2.2.2.3.	Diseño de detalle, para sensor de movimiento longitudinal	35
2.3	Diseño electrónico del equipo	40
2.3.1.	Análisis funcional	41
2.3.2.	Análisis conceptual	42
2.3.2.1.	Módulos conceptuales	42
2.3.3.	Análisis y diseño de detalle.....	48
2.3.3.1.	Acondicionador de voltaje de entrada	49
2.3.3.2.	Conversión de señales analógicas a señales digitales	50
2.3.3.3.	Micro controlador	55
2.3.3.3.1.	Diagrama de flujo para el micro controlador	56
2.3.4.	Visualización de resultados	57
2.3.5.	Planos de detalle del sistema electrónico	58
3	Capítulo 3. Construcción del Equipo	60
3.1.	Construcción Mecánica	60
3.1.1.	Construcción mecánica sección 1.1	60
3.1.1.1.	Estructura Base o de Soporte Inferior	61
3.1.1.2.	Barra para deslizamiento de rodamientos.....	63
3.1.1.3.	Mecanismo de vaivén	65
3.1.1.4.	Encerador mecánico	67
3.1.1.5.	Pilares de apoyo anti torques	78
3.1.1.6.	Porta sensor de desplazamiento	70

3.1.1.7.	Soportes para anclaje	72
3.1.2.	Construcción mecánica sección 1.2	72
3.1.2.1.	Rieles porta esferas de rodamiento	73
3.1.3.	Construcción mecánica sección 1.3	74
3.1.3.1.	Estructura sostén, base superior	75
3.1.3.2.	Rieles superiores para rodamientos	77
3.1.3.3.	Perfil de apoyo para pilares y encerador	79
3.1.3.4.	Movimiento de la sección 1.3 respecto a la sección 1.1	81
3.1.3.5.	Placas de sujeción para plataforma superior	82
3.1.3.6.	Plataforma superior	83
3.1.4.	Ensamblaje de las secciones mecánicas del equipo	83
3.2.	Construcción de etapas: eléctrica y electrónica	85
3.2.1.	Descripción de módulos eléctricos y electrónicos	86
3.2.1.1.	Fuente de poder	86
3.2.1.2.	Acondicionamiento de voltaje para el sensor de movimiento	86
3.2.1.3.	Entrada y salida de señal eléctrica del sensor de desplazamiento	87
3.2.1.4.	El micro controlador	87
3.2.1.5.	Tarjeta de visualización de datos	87
3.2.1.6.	Re inicio	87
3.2.2.	Construcción de etapa eléctrica	88
3.2.2.1.	Fuente externa de poder	88
3.2.2.2.	Tarjeta acondicionadora de voltaje para el sensor de movimiento	88
3.2.2.2.1.	Análisis de detalle	89
3.2.2.2.2.	Construcción de la tarjeta acondicionadora de voltaje	89
3.2.2.2.3.	Trabajo de laboratorio en el potenciómetro ALPHA - B10K	90
3.2.3.	Construcción etapa electrónica	94
3.2.3.1.	Micro controlador	94
3.2.3.2.	Programa para el micro controlador	95
3.2.3.3.	Visualización de datos en pantalla PLC	97
3.2.3.4.	Software, Programa para visualización de datos en pantalla	98
3.2.4.	Ensamblaje total del sistema electrónico	99
3.2.5.	Construcción de caja de control eléctrico y electrónico	100
3.2.6.	Protocolo de pruebas experimentales	104
3.2.6.1.	Pruebas de construcción etapa mecánica 1	104

3.2.6.1.1.	Pruebas de construcción etapa mecánica 1 sección 1.1	105
3.2.6.1.2.	Pruebas de construcción etapa mecánica 1 sección 1.2	106
3.2.6.1.3.	Pruebas de construcción etapa mecánica 1 sección 1.3	106
3.2.6.2.	Pruebas de construcción etapa eléctrica 2	107
3.2.6.3.	Pruebas de construcción etapa electrónica 3	107
3.2.6.4.	Pruebas de ensamblaje y anclaje del equipo	107
3.2.6.5.	Pruebas de funcionamiento del equipo en vacío	111
3.2.6.6.	Pruebas de funcionamiento del equipo con carga	113
3.3	Análisis económico	115
4	Capítulo 4. Conclusiones y Recomendaciones	117
4.1	Conclusiones	117
4.2	Recomendaciones	117
	Referencias bibliográficas	118

LISTA DE ANEXOS

Anexo A	Normas SAE, Clasificación de aceros	i
Anexo B	Planos de detalle	
Anexo B-1	Plano estructura base inferior	vii
Anexo B-2	Plano barras de desplazamiento	viii
Anexo B-3	Plano mecanismo de vaivén	ix
Anexo B-4	Plano mecanismo encerador	x
Anexo B-5	Plano apoyo de seguridad	xi
Anexo B-6	Plano porta sensor de desplazamiento	xii
Anexo B-7	Plano riel de deslizamiento	xiii
Anexo B-8	Plano estructura base superior	xiv
Anexo B-9	Plano barras de desplazamiento	xv
Anexo B-10	Plano ensamblaje alineador de convergencia	xvi
Anexo C	Plataformas de comunicación para micro	xvii
Anexo D	Prueba de funcionamiento del equipo	xliv
Anexo E	Análisis económico	xlvi

LISTA DE FIGURAS

I MARCO TEÓRICO

Figura 1.1.	Torques en el giro normal	4
Figura 1.2.	Mecanismo para estudiar efectos de convergencia	5
Figura 1.3.	Efecto de convergencia nula	6
Figura 1.4.	Efecto de convergencia positiva	7
Figura 1.5.	Efecto de convergencia negativa	8
Figura 1.6.	Efectos de convergencia: positiva, nula y negativa	10

II DISEÑO

Figura 2.1.	Esquema de las partes: mecánica, eléctrica y electrónica	12
Figura 2.2.	Estructura funcional. Nivel 0	14
Figura 2.3.	Estructura funcional. Nivel 1	15
Figura 2.4.	Estructura funcional. Nivel 2	15
Figura 2.5.	Solución del módulo 1, pulsador de arranque	16
Figura 2.6.	Solución del módulo 2, movimiento lateral inducido	19
Figura 2.7.	Solución del módulo 3, encendedor mecánico	20
Figura 2.8.	Solución del módulo 4, sensor de desplazamiento	21
Figura 2.9.	Solución del módulo 6, Micro controlador	23
Figura 2.10.	Solución del módulo 7, pulsador de reseteo	24
Figura 2.11.	Solución final, equipo de convergencia	25
Figura 2.12.	Diagrama de cuerpo libre de la estructura superior	26
Figura 2.13.	Diagrama de cuerpo libre de una viga	27
Figura 2.14.	Diagramas de cortante y de momento de la viga	28
Figura 2.15.	Disposición de las cargas y de los apoyos de la estructura superior	29
Figura 2.16.	Deformación de la estructura superior	29
Figura 2.17.	Diagrama de cortante de la estructura superior	29
Figura 2.18.	Diagrama flector de la estructura superior	30
Figura 2.19.	Esfuerzos generados en la estructura superior	30
Figura 2.20.	Diagrama de sistema de control de un solo bloque transformador	31
Figura 2.21.	Diagrama de sistema de control de lazo abierto	32
Figura 2.22.	$Y = F(X)$, función de transferencia	32
Figura 2.23.	Diagrama de sistema de control de lazo cerrado	33
Figura 2.24.	Sensor de desplazamiento	34

Figura 2.25.	Elementos del sensor de desplazamiento	35
Figura 2.26.	Datos recolectables mediante el sensor de movimiento	35
Figura 2.27.	Diagrama eléctrico para sensor de desplazamiento	36
Figura 2.28.	Desplazamiento del sensor y su voltaje de salida	41
Figura 2.29.	Módulos secuenciales que cumple el monitoreo electrónico	41
Figura 2.30.	Esquema de las partes de un micro controlador	49
Figura 2.31.	Diagrama para regulador de voltaje, de 1.1 voltios	50
Figura 2.32.	Regulador de voltaje de referencia de 1.1 voltios	50
Figura 2.33.	Gráfica del desplazamiento del sensor y su voltaje de salida	50
Figura 2.34.	Partición regular del dominio de desplazamiento	51
Figura 2.35.	Histograma del voltaje de salida en función del desplazamiento	52
Figura 2.36.	Histograma prevalece ante la señal analógica	53
Figura 2.37.	Conversión del valor de voltaje a ancho relativo por período	53
Figura 2.38.	Micro controlador ATMEGA 328P-PU	55
Figura 2.39.	Tarjeta ARDUINO 1, con micro controlador	56
Figura 2.40.	Diagrama de flujo para el micro controlador	57
Figura 2.41.	Tarjeta LCD keypad shiel, para visualización	58
Figura 2.42.	Diseño electrónico para sensor de movimiento	58

III CONSTRUCCIÓN

Figura 3.1.	Construcción del equipo por etapas: Mecánica, Eléctrica, Electrónica	60
Figura 3.2.	Sección mecánica inferior 1.1	61
Figura 3.3.	Diagrama para estructura de sostén, sección inferior	62
Figura 3.4.	Base inferior del equipo	62
Figura 3.5.	Diagrama para guías antifricción	64
Figura 3.6.	Barra de deslizamiento	64
Figura 3.7.	Diagrama para mecanismo de vaivén	66
Figura 3.8.	Mecanismo central de vaivén construido	66
Figura 3.9.	Diagrama para mecanismo encerador mecánico	67
Figura 3.10.	Construcción del encerador mecánico	68
Figura 3.11.	Diagrama para apoyos antifricción	69
Figura 3.12.	Apoyos antifricción construidos	70
Figura 3.13.	Diagrama para porta sensor de movimiento	71
Figura 3.14.	Porta sensor de movimiento	71

Figura 3.15.	Soportes para anclaje de elementos, de la sección 1.1	72
Figura 3.16.	Porta esferas de rodamiento, de la sección 1.2	73
Figura 3.17.	Diagrama para riel de deslizamiento antifricción	73
Figura 3.18.	Conjunto de rieles antifricción	74
Figura 3.19.	Diagrama para estructura de sostén, sección superior	75
Figura 3.20.	Estructura, sección superior	76
Figura 3.21.	Estructura terminada, sección mecánica superior 1.3	76
Figura 3.22.	Diagrama para guías antifricción	78
Figura 3.23.	Barras superiores de deslizamiento	78
Figura 3.24.	Barras laterales de seguridad	79
Figura 3.25.	Elemento anti torque sobre la barra de seguridad	80
Figura 3.26.	Apoyo del encerador sobre la barra de seguridad	80
Figura 3.27.	Conexión de la sección 1.3 al mecanismo de vaivén	81
Figura 3.28.	Conexión de la sección móvil 1.3 al sensor de desplazamiento	82
Figura 3.29.	Placas de sujeción para fijar plataforma superior	82
Figura 3.30.	Plataforma superior del equipo	83
Figura 3.31.	Ensamblaje del equipo en disposición vertical	84
Figura 3.32.	Ensamblaje mecánico del equipo, sin la plataforma superior	84
Figura 3.33.	Ensamblaje mecánico del equipo, con la plataforma superior	85
Figura 3.34.	Esquema modular para construcción de etapas eléctrica y electrónica ..	86
Figura 3.35.	Fuente externa de poder, puerto USB 2.0	88
Figura 3.36.	Diagrama electrónico para voltaje de referencia	89
Figura 3.37.	Acondicionador de voltaje para sensor de movimiento	90
Figura 3.38.	Respuesta resistiva del potenciómetro versus desplazamiento	90
Figura 3.39.	Sensor, respuesta experimental de voltaje versus desplazamiento	92
Figura 3.40.	Sensor de desplazamiento una vez construido	93
Figura 3.41.	Tarjetas electrónicas ARDUINO keypad shield	94
Figura 3.42.	Encabezado de programa para micro controlador	95
Figura 3.43.	Captura de pantalla del programa para el micro controlador	96
Figura 3.44.	Software, programa para micro controlador Atmega avr 8 -32bit	97
Figura 3.45.	Software, Programa de comunicación para visualización de datos	99
Figura 3.46.	Sistema de monitoreo eléctrico para el sensor de movimiento	100
Figura 3.47.	Lado exterior de la caja de control	101
Figura 3.48.	Vista interior de la caja de control con pilares de apoyo	101

Figura 3.49.	Anclaje de placa de acrílico entre los pilares de apoyo	102
Figura 3.50.	Tarjeta de procesamiento de datos, Arduino, Keypad shield	102
Figura 3.51.	Anclaje de la tarjeta Arduino, Keypad shield	103
Figura 3.52.	Tarjeta de visualización de datos, Arduino, Keypad shield	103
Figura 3.53.	Vista frontal de la caja control	104
Figura 3.54.	Prueba de construcción, sección mecánica 1.1	105
Figura 3.55.	Prensa hidráulica, enderezamiento de deformaciones de soldadura	105
Figura 3.56.	Siete rieles para anclaje de esferas de rodamiento	106
Figura 3.57.	Prueba de construcción, sección mecánica 1.3	106
Figura 3.58.	Funcionamiento correcto del sistema eléctrico y electrónico	107
Figura 3.59.	Anclaje de la estructura del equipo, en fosa de 120cm X 75cm X 16cm	108
Figura 3.60.	Anclaje de la estructura del equipo	108
Figura 3.61.	Anclaje del marco exterior a la estructura del equipo.	109
Figura 3.62.	Pruebas de ajuste, movilidad, de la sección superior del equipo.....	109
Figura 3.63.	Relleno de concreto del: fondo y paredes laterales de la fosa	110
Figura 3.64.	Relleno de concreto del: fondo y paredes laterales de la fosa	110
Figura 3.65.	Conector USB de la tarjeta debe conectarse a USB2.0 del computador	111
Figura 3.66.	Conector USB de la tarjeta a USB2.0 del computador, activación	111
Figura 3.67.	Desplazamiento transversal derecho, convergencia negativa	112
Figura 3.68.	Desplazamiento transversal izquierdo, convergencia positiva	112
Figura 3.69.	Prueba de funcionamiento con carga, vehículo de 2.5 toneladas de peso	113
Figura 3.70.	Diagnóstico de convergencia, para vehículo sin defecto de convergencia	113
Figura 3.71.	Diagnóstico de entrada, para vehículo con defecto de convergencia	114
Figura 3.72.	Diagnóstico de salida para el vehículo, luego de corregido el defecto de .. convergencia	114

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1.	Peso bruto de automotores livianos y pesados de uso particular	25
Tabla 2.2.	Conversión de magnitud física a valores de voltaje	43
Tabla 2.3.	Conversión de valores de voltaje de decimal al sistema binario	54
Tabla 3.1.	Respuesta de voltaje en función del desplazamiento	91
Tabla 3.2.	Resultado análisis económico	115

RESUMEN

Convencido que al organizar y unificar factores como: adecuado conocimiento científico, materiales, equipos y herramientas disponibles en el mercado nacional, se puede y debe producirse tecnología básica, capaz de suplir múltiples necesidades. Razón acorde con la respuesta de la Escuela Politécnica Nacional, para dar soluciones a problemas tecnológicos nacionales, con estándares tecno científico internacionales.

El presente trabajo, versa sobre el diseño y construcción de un equipo para diagnóstico de convergencia, en automotores, livianos y semi livianos. En manos de técnicos y mecánicos calificados, el equipo es un valioso instrumento para el mantenimiento preventivo y correctivo de automotores con problemas de alineación de convergencia. Los métodos usados para su diseño y construcción se describen en tres capítulos.

En el capítulo I, se describen definiciones básicas referentes a la posición y orientación relativa de las llantas, respecto a la estructura del vehículo, las cuales influyen en la respuesta dinámica del mismo. Luego se describe los distintos tipos de convergencia y se termina con un análisis comparativo de sus efectos. Con estos elementos, se concibe la estructura funcional integral que debe tener el equipo. En el capítulo II, la estructura del equipo es dividida en etapas bien marcadas: mecánica, eléctrica, electrónica, y en lo posible éstas son divididas en secciones, entonces comienza el diseño del equipo propiamente dicho, a tres niveles de profundidad: nivel conceptual general, nivel básico con descripción de estructura modular, el nivel de detalle con desarrollo formal y la elaboración de planos de detalle. En el capítulo III, se describe la elaboración de cada una de las piezas correspondientes a cada sección y etapa del equipo, mostrando el diseño previsto con la pieza respectiva una vez ejecutada. Terminada la construcción de cada etapa, se describe el proceso de ensamblaje del equipo, primero por etapas y luego en forma total, para terminar con la realización de un protocolo de pruebas de funcionamiento, tanto en vacío como con carga.

Se pueden resumir entre otros, algunos resultados obtenidos: El desarrollo del modelo físico formal del fenómeno de convergencia se reflejó con éxito en la práctica. El diseño y construcción del sensor electrónico de desplazamiento longitudinal fue satisfactoria. La construcción mecánica del equipo así como su ensamblaje y su respectivo empotramiento en el sitio de trabajo fue satisfactorio. Las respuestas estructurales y dinámicas, así como sus mediciones electrónicas de convergencia tanto en vacío como con carga, fueron satisfactorias. El costo unitario del equipo es menor al de similares extranjeros, a pesar de ser un prototipo.

Palabras clave: equipo, automotores, diagnóstico, convergencia, alineación.

ABSTRACT

Convinced that in organizing and unifying factors such as: adequate scientific knowledge, materials, equipment and tools available in the national market, basic technology can and should be produced, capable of meeting multiple needs. Reason according to the response of the National Polytechnical School, to provide solutions to national technological problems, with international techno scientific standards.

The present work deals with the design and construction of a team for the diagnosis of convergence, in automotive, light and semi-light. In the hands of technicians and qualified mechanics, the equipment is a valuable instrument for the preventive and corrective maintenance of automotive with convergence alignment problems. The methods used for its design and construction are described in three chapters.

Chapter I describes basic definitions concerning the position and relative orientation of the tires, with respect to the structure of the vehicle, which influence the dynamic response of the same. The different types of convergence are then described and a comparative analysis of their effects is completed. With these elements, the integral functional structure that the equipment must have is conceived. In Chapter II, the team structure is divided into well-defined stages: mechanical, electrical, and electronic, and where possible these are divided into sections, then the design of the equipment itself begins at three levels of depth: general conceptual level , basic level with description of modular structure, level of detail with formal development and elaboration of detailed plans. In Chapter III, the elaboration of each of the pieces corresponding to each section and stage of the equipment is described, showing the intended design with the respective piece once executed. Once the construction of each stage is completed, the process of assembly of the equipment is described, first in stages and then in complete form, to finish with the realization of a test protocol of operation, both in vacuum and under load.

Some of the results obtained can be summed up as follows: The development of the formal physical model of the convergence phenomenon was successfully reflected in practice. The design and construction of the electronic longitudinal displacement sensor was satisfactory. The mechanical construction of the equipment as well as its assembly and its respective embedding in the workplace was satisfactory. The structural and dynamic responses, as well as their electronic convergence measurements both under vacuum and under load, were satisfactory. The unit cost of the equipment is lower than that of similar foreigners, despite being a prototype.

Key words: team, automotive, diagnosis, convergence, alignment.

PRESENTACIÓN

El equipo es construido para satisfacer la demanda de equipos para el diagnóstico de convergencia, que constituye un importante problema en las revisiones periódicas de la Revisión Técnica vehicular, instaladas a lo largo y ancho de nuestro país. En el presente trabajo se describen: la concepción, el diseño, y la construcción de un equipo para diagnóstico de defectos de convergencia que pueden presentar automotores livianos y semi livianos de hasta 3 toneladas de peso bruto. En cuanto a los materiales requeridos para éste propósito, éstos existen y han sido adquiridos en el mercado local.

Se ha pretendido que la exposición del trabajo sea: secuencial, clara y didáctica, a través de los diferentes capítulos que lo conforman. Todo el trabajo ha sido documentado con suficientes fotografías que dan testimonio de su proceso de desarrollo.

En el Capítulo 1 se estudia fenómeno de convergencia, sus efectos y repercusiones, así como la concepción de la estructura del equipo.

En el Capítulo 2 se desarrolla el diseño, desde los puntos de vista: conceptual, básico y de detalle de las partes del equipo. Se realizan los planos y diagramas del equipo. En este capítulo se expone uno de los logros fundamentales del presente trabajo, como fruto del análisis teórico, se logra hallar una relación funcional entre la medida del desplazamiento transversal inducido y la medida de voltaje eléctrico asociado.

En el Capítulo 3 se detalla el proceso constructivo de cada una de las partes: mecánica eléctrica y electrónica del equipo, en base a los diseños correspondientes previstos. Presentando en forma secuencial el diagrama de diseño y el elemento correspondiente ya construido. Se finaliza con el ensamblaje integral del equipo. Luego se detalla un protocolo de pruebas de funcionamiento del equipo, tanto en vacío como con carga, realizándose posteriormente un análisis de costos de la unidad.

En el Capítulo 4 se exponen conclusiones y recomendaciones relevantes, que han salido como frutos del trabajo terminado.

PLAN DE TESIS

1. Título del Trabajo de Titulación

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO PARA DIAGNOSTICO DE CONVERGENCIA EN AUTOMTORES. LIVIANOS

2. Planteamiento del Problema

Problema:

Necesidad de la implementación de un sistema automático de adquisición de datos para el diagnóstico preventivo correctivo de problemas de convergencia para el parque automotor ecuatoriano, a precios convenientes.

Importancia y actualidad del tema.

La implementación del sistema permite:

- Mantener las vías en buen estado, evitando el agrietamiento de la carpeta asfáltica debido a esfuerzos laterales debidos defectos de convergencia del automotor.
- Brinda seguridad al conductor y al público por el desvío lateral del vehículo en la vía.
- Se logra un gasto homogéneo de las llantas que conlleva a la estabilidad del automotor.
- En la actualidad la mayoría de diagnósticos de problemas no solo mecánicos, se los realiza con tecnología digital y computarizada, lo que aumenta la precisión y rapidez en la solución de problemas automotrices.
- Se cumple con las exigencias de la Revisión Técnica Vehicular.

3. Justificación

Antecedentes

En Ecuador, en las ciudades de Quito, Sangolquí, Guayaquil, Cuenca, y otras ciudades, se ha establecido La Revisión Técnica Vehicular (RTV) con carácter obligatorio para el parque automotor. La alineación de convergencia del vehículo, constituye un importante parámetro de control en la Revisión Vehicular. Los equipos utilizados para este propósito son: importados, escasos y de elevado costo. Un alto porcentaje de talleres automotrices, no disponen de este equipo.

Propuesta

Se propone dar solución a la falta de equipos de producción nacional para alineación de convergencia vehicular, mediante el diseño y construcción de una alineadora de convergencia automotriz, de producción nacional y costo competitivo.

Resultados

Aportar al cambio de la matriz productiva del país, generando tecnología para fabricar localmente este tipo de equipos, y con ello, mejorar el nivel tecnológico en los talleres automotrices a nivel nacional, volviéndolos más competitivos. Es la forma en que La Escuela Politécnica Nacional, oferta soluciones tecnológicas a problemas sociales concretos como el citado.

El desarrollo del presente proyecto será financiado con recursos propios del proponente.

4. Hipótesis

El conocimiento adquirido, amalgamado con la facilidad de obtención de materiales y de elementos electrónicos básicos en nuestro mercado nacional, constituye valiosos factores que nos permiten, generar tecnología para satisfacer necesidades del parque automotor ecuatoriano.

5. Objetivo General

Diseñar y Construir un Equipo para Alineación de Convergencia, para mantenimiento automotriz, tanto preventivo como correctivo, previsto para automotores de hasta 3 toneladas de peso bruto.

6. Objetivos específicos

- Especificar problemas de alineación de convergencia en vehículos y presentar un plan de solución.
- Determinar relaciones funcionales entre desplazamientos lineales y diferencias de potencial eléctrico.
- Diseñar y construir sensor digital de desplazamiento lineal.
- Diseñar los elementos constitutivos una plataforma de va y ven.
- Construir y ensamblar una plataforma de movimiento de un grado de libertad.

7. Metodología

Se diseñará un sensor eléctrico para desplazamiento lineal.

- Se realizarán pruebas de funcionamiento del sensor.
- Se diseñara un software y se programará micro-controlador para mediciones automáticas de alineación de convergencia.
- Se diseñará y construirá un mecanismo para desplazamiento lineal.
- Se ensamblará el equipo para alineación de convergencia.
- Se realizará un protocolo para el diagnóstico de convergencia.
- Se diagnosticará y medirá convergencias en vehículos de hasta 3 toneladas de peso bruto.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Introducción.

El buen estado mecánico del vehículo, y la correcta calibración de cada una de sus partes o sistemas, garantiza una buena respuesta dinámica del mismo.

Los vehículos automotrices tienen como propósito transportar carga inanimada así como personas. Estas son razones suficientes para comprender que conforme se ha desarrollado la industria automotriz a lo largo del tiempo, se ha puesto énfasis en la: eficiencia energética, funcionalidad operativa, estética, seguridad, y en minimizar las repercusiones nocivas al medio ambiente, causadas como producto de su funcionamiento.

Los parámetros e indicadores que reflejan una buena respuesta dinámica del vehículo son numerosos, entre otros: caster o avance, camber o caída, convergencia o divergencia de sus llantas, inclinación de rótulas, ángulo de empuje, inclinación del eje de dirección, entre otros.[1]

En el presente trabajo se estudia la alineación de convergencia en automotores. La desalineación de convergencia del vehículo se encuentra tipificada como un defecto grave en el comportamiento dinámico del mismo, según las directrices de la Revisión Técnica Vehicular implementada en nuestro país a nivel nacional, considera que todo defecto del vehículo tipificado como grave, debe corregirse obligatoriamente para posibilitar su circulación en los distritos urbanos, normativas que deben cumplirse para que se extienda el certificado anual de buen funcionamiento del vehículo.

El objetivo del presente trabajo es diseñar y construir un equipo para diagnóstico de convergencia que cumpla doble objetivo, por un lado detectar la desalineación de convergencia en un vehículo y por otro lado con su ayuda, poder corregir o eliminar tal defecto. Equipos de alineación son escasos en nuestro mercado y su precio es elevado, el presente trabajo puede ser visto como una alternativa de desarrollo local, con miras al desarrollo industrial nacional.

Las condiciones para el desarrollo del equipo están desprovistas de: grandes inversiones financieras, modernos paquetes tecnológicos, atractivos mercados. Más bien es el convencimiento de que se puede transformar las materias primas disponibles, hacia el desarrollo de tecnología básica requerida para solucionar problemas en nuestro país. Aún sin estos factores importantes de mercadeo, se estima que el costo unitario por equipo es competitivo respecto a similares extranjeros.

1.2. Conceptos básicos.

El concepto de alineación de un automotor involucra la calibración de varios parámetros como:

- Caster o avance
- Camber o caída
- Convergencia y divergencia

1.2.1. Caster o avance

El pivote, eje fijado a la parte estática de la llanta, alrededor del cual se orientan las ruedas no es vertical respecto al piso, sino que por debajo apunta hacia adelante un cierto ángulo, llamado *ángulo de avance o caster*, el cual [2] según el modelo de vehículo toma valores en el intervalo $[1^\circ, 7^\circ]$ aunque su valor promedio es 2.5° . Este ángulo de avance o caster proporciona fijeza a la dirección. Un valor muy pequeño la dirección oscila transversalmente al sentido de avance del vehículo. Un valor muy alto de caster, causa un tiro constante hacia un lado de la carretera especialmente si ésta es bombeada y también provoca trepidaciones oscilantes.

Si el caster es invertido, la dirección reacciona en forma brusca y peligrosa. El ángulo de avance o caster es tomado en cuenta en el diseño de bicicletas, y todo tipo de automotores como motos, autos, camiones, etc. En algunos tipos de suspensión, el caster no es ajustable mientras que en otras si es regulable. El pivote, además del ángulo longitudinal de avance o caster, tiene un ángulo de inclinación transversal, llamado *ángulo de salida o de inclinación "outward slant"* el cual [2] según el modelo de vehículo toma valores en el intervalo $[4^\circ, 9^\circ]$ aunque su valor promedio es 5° . La prolongación de la línea eje del pivote hasta el piso, no se hace pasar por punto central de la base de apoyo del neumático sino a una distancia entre 2 y 4 centímetros de este centro transversalmente hacia el interior del vehículo.

El ángulo de salida o de inclinación viene fijo de fábrica y no es regulable y su función es tal que, al virar la dirección del vehículo, levanta un poco al vehículo, de manera que por su propio peso éste tiende a volver a la posición de marcha recta.

1.2.2. Camber o caída

Es el ángulo entre el plano que contiene a una de las caras laterales de la llanta y el plano vertical respecto al piso (horizontal). Este ángulo de camber o de caída en autos deportivos puede llegar a medir hasta 5° , en motocicletas puede llegar a medir 50° . [3]

Para automotores de 4 llantas el ángulo de camber puede entenderse así:

Si los planos que contienen al par de llantas delanteras (o traseras) son paralelos entre sí y perpendiculares al piso se dice que el camber es nulo.

Si los planos que contienen al par de llantas delanteras (o traseras) se intersectan hacia arriba del piso horizontal, formando entre sí un ángulo agudo, se dice que el ángulo de camber es negativo y su magnitud es el número de grados que se desvía el plano que contiene la cara lateral de la llanta respecto al plano vertical respecto al piso.

Si los planos que contienen al par de llantas delanteras (o traseras) se intersectan debajo del piso horizontal, formando entre sí un ángulo agudo, se dice que el ángulo de camber es positivo y su magnitud es el número de grados que se desvía el plano que contiene la cara lateral de la llanta respecto al plano vertical respecto al piso.

1.2.3. Convergencia y divergencia

Si los planos que contienen al par de llantas delanteras (o traseras) se intersectan hacia delante de la parte delantera del vehículo, formando entre sí un ángulo agudo, se dice que las llantas o el vehículo presenta una convergencia positiva y su magnitud está dada por la diferencia entre las partes delanteras y traseras del par de llantas delanteras (o del par de llantas traseras), en otras palabras. Cuando la parte delantera de las ruedas están más cerca entre sí que sus respectivas partes traseras, se dice que estas ruedas son convergentes. Cuando las partes delanteras de las ruedas están más separadas que sus respectivas partes traseras, se dice que este par de ruedas presentan divergencia, o son divergentes.[3]

1.3. Fuerzas que actúan en las llantas de un vehículo

La convergencia, el camber y el caster entre otros parámetros, tienen repercusiones en la respuesta dinámica del vehículo. A continuación se expone algunas fuerzas presentes en la dinámica de las llantas del vehículo.

1.3.1 Transmisión del movimiento angular a las llantas

Cuando un vehículo se mueve por una trayectoria curvilínea, es conveniente llamar llantas interiores aquellas que se encuentran más cerca del centro de curvatura de la curva y llantas exteriores, a las que quedan más lejos del centro de curvatura de la curva en ese instante. En una curva las llantas interiores recorren menos longitud de arco que las exteriores, en consecuencia las llantas interiores deben tener menor rapidez angular que las exteriores [4]. Esto se logra en forma automática mediante el mecanismo llamado *diferencial*. En este mecanismo, dos piñones cónicos transmiten el movimiento angular a las ruedas interior y exterior, en dirección perpendicular al eje de transmisión. Cuando el

móvil se mueve en una curva, el piñón satélite cónico que transmite el movimiento angular a la rueda interior se aleja de la dirección de transmisión comunicando una rapidez angular menor que la transmitida por el otro piñón a la rueda exterior. Mientras menor es el radio de curvatura de la curva más se aleja el piñón correspondiente a la rueda interior. Cuando la distancia al eje transmisión los piñones satélites citados es la misma, la velocidad angular transmitidas a las ruedas exterior e interior es la misma, esto se da cuando el vehículo se mueve en línea recta. Este principio es muy utilizado para transmitir distintas velocidades angulares a partir de un acople de piñones cónicos. El problema de alineación de convergencia que nos preocupa es analizado cuando el vehículo se mueve en línea recta.

1.3.2 Propulsión del vehículo y fuerza de rozamiento

El par motor o torque del par de fuerzas que se transmiten desde el motor a las ruedas del vehículo, permiten el giro de las llantas y la impulsión del vehículo. En la figura 1.1, se muestra el par de fuerzas \vec{F} , $-\vec{F}$, la fuerza de rozamiento \vec{f}_r de entre la llanta y el piso y el movimiento del eje de la llanta (movimiento del vehículo) con velocidad \vec{v} .

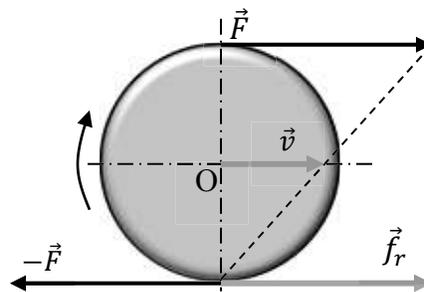


Figura 1.1. Torques en el giro normal:

Fuente: Race Cars Vehicle Dynamics. [4]

Si la fuerza $-\vec{F}$ componente del par \vec{F} , $-\vec{F}$, se anula con la fuerza de rozamiento \vec{f}_r entre la rueda y el piso, entonces la fuerza \vec{F} es la causa del movimiento relativo de la rueda respecto al piso, así, el eje de la rueda se moverá respecto al piso con velocidad \vec{v} . Tomando en cuenta que el eje de la rueda está sujeto al chasis del vehículo, entonces su movimiento de traslación respecto al piso es el movimiento del vehículo respecto al piso. La fuerza de fricción entre la rueda y el piso puede cambiar con: el tipo de neumático, el tipo de piso, el peso del vehículo, la presión de inflado, el desgaste del neumático.

Si la fuerza de fricción no logra anular a la fuerza $-\vec{F}$ del par, entonces la llanta comienza a resbalar o patinar disminuyendo la movilidad de su eje de tracción, que comunica el movimiento de avance del vehículo respecto al piso.

1.4. Convergencia y divergencia

En esta sección se exponen los conceptos y definiciones de convergencia; nula, positiva y negativa y sus repercusiones, vitales a la hora de diseñar y construir un equipo de diagnóstico de convergencia. Todos los diagramas presentados ilustran el movimiento de la llanta delantera izquierda, teniendo presente que el movimiento de la llanta delantera derecha es simétrico a la llanta izquierda respecto línea de avance del vehículo.

1.4.1. Convergencia de las llantas y sus efectos

La figura 1.2, muestra el esquema de un modelo didáctico experimental, ideado para mostrar los distintos efectos que pueden darse en neumáticos con diferentes tipos y grados de convergencia.

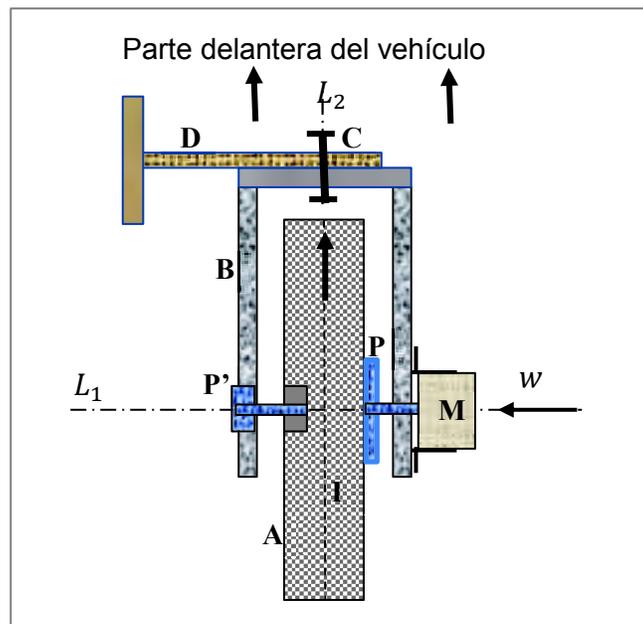


Figura 1.2. Mecanismo para estudiar efectos de convergencia
Fuente: Propia

La llanta **A** de línea central **I**, gira respecto a su eje central perpendicular L_1 con velocidad angular w impulsada por el motor **M**, el cual está consolidado al neumático por medio del plato **P** y el eje **P'**. La platina **B** en forma de U ajustable y girable respecto al brazo fijo **D** mediante el pasador **C** de eje central L_2 , mantiene suspendido al neumático **A** en movimiento. Esta platina **B** puede girar horizontalmente a cualquier ángulo respecto al brazo fijo **D**. Con el mecanismo estructurado de la manera descrita, se puede simular cualquier estado de convergencia de la llanta.

1.4.2. Convergencia cero.

La figura 1.3, ilustra el movimiento de la rueda **A**, de modo ésta gira con velocidad angular w , avanzando hacia la parte delantera del vehículo, impulsada por el motor **M**. La línea central **I** de la llanta, está superpuesta a línea **R**, por la que avanza el vehículo hacia adelante. Entonces se dice que el grado de convergencia de la llanta es cero o nula.

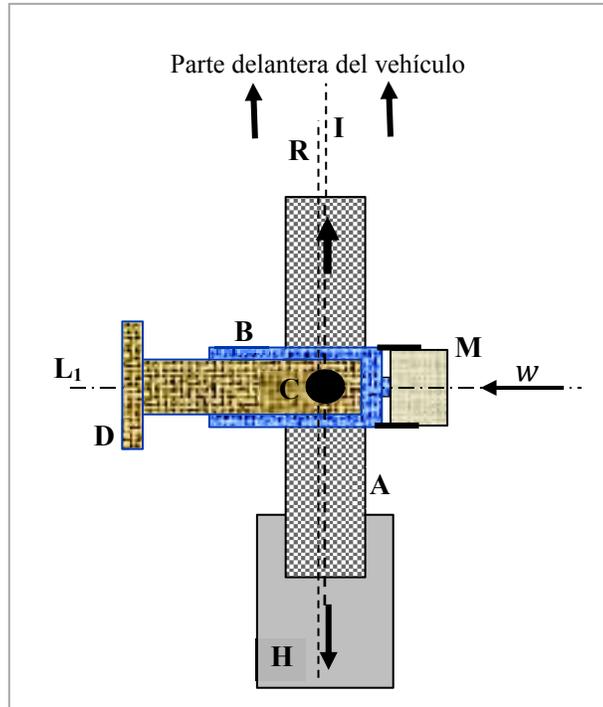


Figura 1.3. Efecto de convergencia nula
Fuente: Propia

En estas condiciones, si la llanta pisa y gira sobre una hoja de papel que yace en el piso y si entre la hoja y el piso no hay rozamiento, la hoja de papel se mueve en la dirección **H**, alineada con la línea central **I** de la llanta. El papel no sufre desviación lateral alguna. El vehículo avanza hacia la dirección delantera aún si el conductor quita las manos del volante.

La condición de alineación de convergencia nula, es ideal para la buena marcha de un vehículo cuando éste se encuentra a plena carga. Si un vehículo está desalineado en términos de convergencia con valores positivos o negativos mayores o iguales a 7, se considera una avería grave del mismo, situación que requiere pronta compostura, la cual

consiste en dejar sus llantas en el grado de convergencia mínimo, o en un valor muy próximo a éste, en todo caso con convergencia menor a 7 en valor absoluto.

Cualquier desviación de la línea central de la llanta respecto de la línea de avance del vehículo, que se encuentre fuera del límite de diseño del vehículo, ocasiona falla en la dirección en la que avanza el vehículo y se considera un desperfecto del mismo. Ya que la línea central de la llanta respecto a la línea de avance frontal puede estar desviada hacia la derecha o hacia la izquierda, da lugar a una convergencia positiva y a una convergencia negativa.

1.4.3. Convergencia positiva

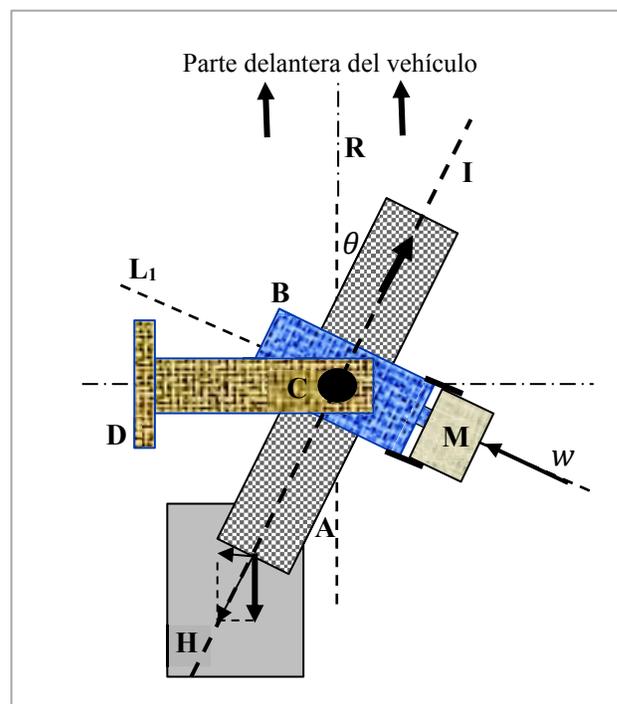


Figura 1.4. Efecto de convergencia positiva
Fuente: Propia

La figura 1.4, ilustra el montaje didáctico correspondiente a la convergencia positiva o simplemente convergencia, en el se observa el movimiento de la rueda delantera izquierda **A**. La orientación de la rueda delantera derecha es simétrica a la izquierda, respecto a la línea **R** por la que avanza el vehículo, esta gira con velocidad angular w , impulsada por el motor **M**. La línea central **I** de la rueda está desviada un ángulo θ en el sentido horario, respecto a la línea de dirección **R** en la que avanza el vehículo hacia adelante. Se dice entonces que la convergencia de la llanta es positiva y diferente de cero. A la convergencia positiva es común nombrarla simplemente como convergencia

1.4.4. Convergencia negativa o divergencia

La figura 1.5, ilustra el movimiento de la rueda delantera izquierda **A** (la orientación de la rueda delantera derecha es simétrica a la izquierda, respecto a la línea **R**), de modo que gira con velocidad angular w , impulsada por el motor **M**, con la línea central **I** de la rueda desviada un ángulo θ en el sentido anti horario, respecto a la línea de dirección **R** en la que avanza el vehículo hacia adelante. Entonces se entiende que la convergencia de la llanta es negativa y diferente de cero.

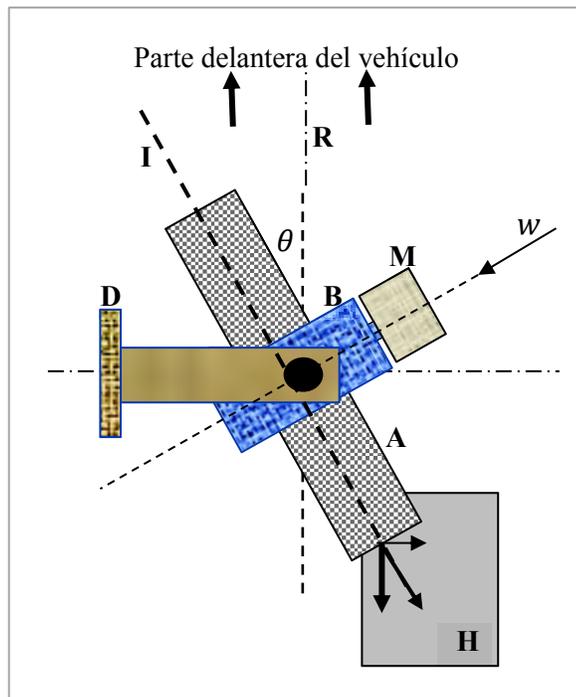


Figura 1.5. Efecto de convergencia negativa
Fuente: Propia

Una forma alternativa de definir el valor de convergencia ya sea negativa o positiva es [5] Existen varias maneras de entender la convergencia o la divergencia. Convergencia es la diferencia entre la distancia entre las partes traseras y delanteras de las ruedas que pertenecen a un mismo eje. Cuando la distancia entre las partes delanteras y traseras de las llantas de un mismo eje es igual, la convergencia es cero. Cuando la parte delantera de las ruedas que pertenecen a un mismo eje, están más cerca que sus partes traseras, hay convergencia positiva. Cuando la parte delantera de las ruedas del eje delantero o trasero están más separadas que las partes traseras de las ruedas del mismo eje, hay convergencia negativa o divergencia.

1.5. Desplazamientos Generados por la Desalineación.

Cuando el vehículo es forzado a avanzar en una línea diferente a la línea central de la llanta, estando sus llantas en condición de convergencia ya sea positiva o negativa, se generan grandes fuerzas sobre el pivote de la llanta, que es el eje alrededor del cual éstas se orientan. Por otro lado, el movimiento del vehículo por la línea de avance se dificulta, esta oposición a moverse por la línea de avance, es mayor mientras mayor es el grado de desalineación. Esta proporcionalidad no es una relación lineal.

Los valores de alineación de convergencia distintos de cero, también generan fuerzas concentradas en los bordes de las llantas (especialmente en los bordes internos), lo que provoca un rápido desgaste de los mismos. Una convergencia no nula en las llantas traseras además del rápido desgaste del neumático puede modificar el ángulo de empuje del automotor. Los valores de alineación de convergencia ya sean positivos o negativos, pueden ser corregidos, mediante un ajuste de los extremos roscados que conectan la llanta a la barra de acoplamiento. [5]

Un indicador del valor de convergencia, es el valor del menor ángulo formado entre la línea de avance del vehículo y la línea central de la llanta, el cual como máximo, rara vez llega a un valor de dos grados, por lo tanto, su ajuste no se lo puede hacer confiando en la percepción directa del ojo, sino que requiere de un instrumento de precisión. Este detalle justifica con creces el objetivo de trabajar en el diseño y construcción de un equipo para diagnóstico de convergencia y que permita corregir el defecto de desalineación de las llantas del automotor.

En las condiciones de convergencia mostrados en la figura 1.4, si la llanta pisa y gira sobre una hoja de papel que yace en el piso horizontal, la hoja de papel tendrá un movimiento en la dirección **H**, el cual puede descomponerse en dos movimientos: uno hacia la parte trasera del vehículo y otro movimiento de la hoja hacia la izquierda de la línea **R** en la que avanza el vehículo hacia adelante. Con estas condiciones de alineación, el vehículo sufre desviación lateral derecha, y si forzamos al vehículo en estas condiciones a avanzar derecho por la línea **R**, la llanta izquierda del vehículo tiende a desplazar la carpeta asfáltica hacia la izquierda de la línea **R**.

Por otra parte, en las condiciones de convergencia negativa o divergencia, mostradas en la figura 1.5, si la llanta pisa y gira sobre una hoja de papel que yace en el piso horizontal. La hoja de papel tendrá un movimiento en la dirección **H**, el cual puede descomponerse en dos movimientos: uno hacia la parte trasera del vehículo y otro movimiento de la hoja hacia la derecha de la línea **R** de avance del vehículo hacia

adelante. Con estas condiciones de alineación el vehículo sufre desviación lateral izquierda, y si el vehículo es forzado en estas condiciones a avanzar derecho por la línea **R**, la llanta izquierda del vehículo tiende a desplazar la carpeta asfáltica hacia la derecha de la línea **R**.

1.6. Restricciones de Grados de Libertad.

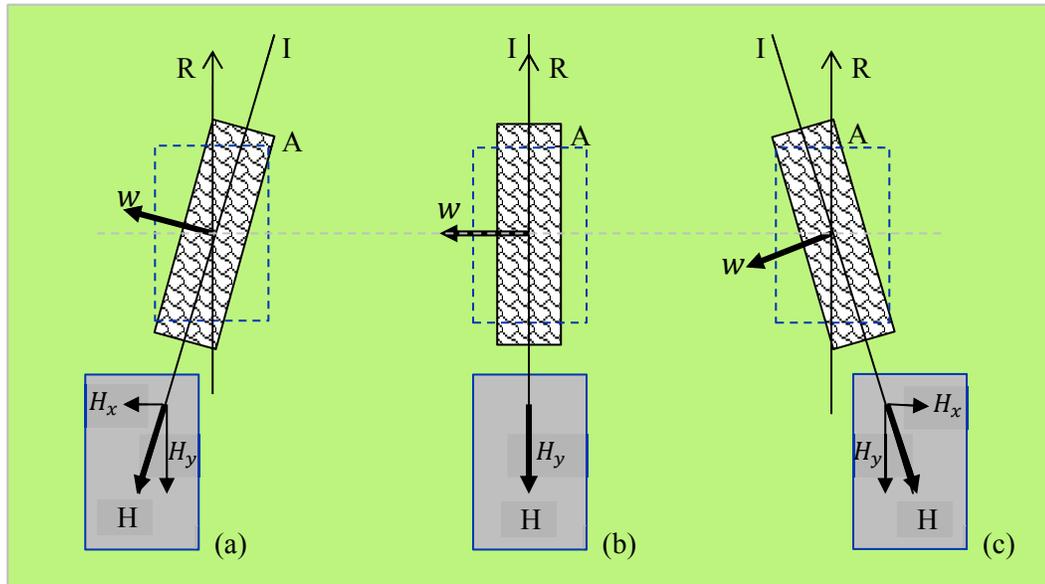


Figura 1.6. Efectos de convergencia: positiva, nula y negativa
Fuente: Propia.

En la figura 1.6, casos: a), b), c), se ilustran los casos de convergencia: positiva, nula y negativa respectivamente para la misma llanta delantera izquierda del automotor. En los tres casos el vehículo es obligado a avanzar en la misma dirección **R**, a pesar que en los casos: a), c), sus llantas están desviadas respecto a la dirección de avance como lo muestra la línea central **I** de la llanta. En todos los casos la llanta gira con una velocidad angular, de magnitud w y dirección perpendicular al plano de giro correspondiente, entonces, si la llanta en su movimiento, pisa con rozamiento a una hoja de papel la cual a su vez se desliza sin rozamiento respecto al piso, ésta es desplazada por arrastre en la dirección \vec{H} distinta en cada caso como muestra en esta figura 1.6. Cada desplazamiento \vec{H} puede ser descompuesto en sus componentes cartesianas: \vec{H}_x , \vec{H}_y . En todos los casos mostrados, los desplazamientos \vec{H}_y se producen en la misma dirección, entonces éstos no se pueden usar como indicadores de las distintas formas de alineación de convergencia, sin embargo, los desplazamientos laterales \vec{H}_x generan la diferencia entre los diferentes casos de alineación de convergencia, así: una convergencia positiva produce un desplazamiento de la hoja de papel lateral \vec{H}_x hacia la izquierda, una

convergencia nula produce un desplazamiento \vec{H}_x nulo y una convergencia negativa produce un desplazamiento lateral \vec{H}_x hacia la derecha de la hoja de papel. Es por esta razón que los desplazamientos laterales \vec{H}_x de la hoja de papel, constituyen en sí, adecuados indicadores de los diferentes casos de alineación de convergencia.

Ya que el movimiento de la hoja arrastrada por la llanta es 2-dimensional, se dice que su movimiento tiene dos grados de libertad. Por otro lado, ya que el desplazamiento \vec{H}_y de la hoja, no aporta información sobre las diferentes formas de alineación, éste puede ser bloqueado y no se pierde información sobre la alineación de convergencia de la llanta. En consecuencia, para tener la información de convergencia de la llanta, se puede omitir el desplazamiento \vec{H}_y . En este sentido se dice que se ha restringido un grado de libertad del movimiento de la hoja, resultando que, para determinar las diferentes formas de convergencia, solo se debe observar con detenimiento el desplazamiento lateral \vec{H}_x de la hoja arrastrada por la llanta mediante fricción.

El estudio del movimiento de la hoja de papel, desplazada mediante fricción por la llanta y su deslizamiento lateral sobre el piso horizontal liso, es el centro de atención para investigar y cuantificar los diferentes efectos que se presentan en la alineación de convergencia, y constituye la base conceptual para el desarrollo del equipo para diagnóstico de convergencia y puede ser abstraído en los siguientes términos.

La hoja de papel puede ser reemplazada por una plancha de acero, con una de sus caras rugosa y la otra cara lisa, ésta característica puede obtenerse mediante la adhesión de un sistema mecánico antifricción a la cara inferior de la plancha. Una vez restringido el movimiento de ésta en la línea de avance del vehículo, su desplazamiento lateral \vec{H}_x , perpendicular a la línea de avance, dará información acerca de la alineación de convergencia. De hecho, construir tal mecanismo es posible y constituye un primer elemento esencial de nuestro equipo de alineación. El segundo elemento esencial es resolver el problema de la cuantificación del movimiento lateral de la plataforma de acero, teniendo en cuenta que el valor de su desplazamiento lateral es muy pequeño respecto al desplazamiento de avance del vehículo. Sencillos cálculos demuestran que la precisión de la medición de desplazamiento transversal $|\vec{H}_x|$ es milimétrico o de menor magnitud.

2. DISEÑO DEL EQUIPO

El diseño y construcción de tecnología actual, requiere el enfoque integrado interdisciplinario de ingenierías: mecánica, eléctrica, electrónica y de control, se necesita de conjuntos humanos interdisciplinarios cada vez más participativos. El equipo que se diseña y construye tiene componentes: mecánicas, eléctricas y electrónicas, las cuales se integran para su funcionamiento, por ello se puede decir que se trata de un equipo electromecánico, o que el equipo tiene características mecatrónicas [6].

La figura 2.1 representa el esquema básico de las partes que conforman el equipo, en la misma se puede observar tres etapas bien diferenciadas.

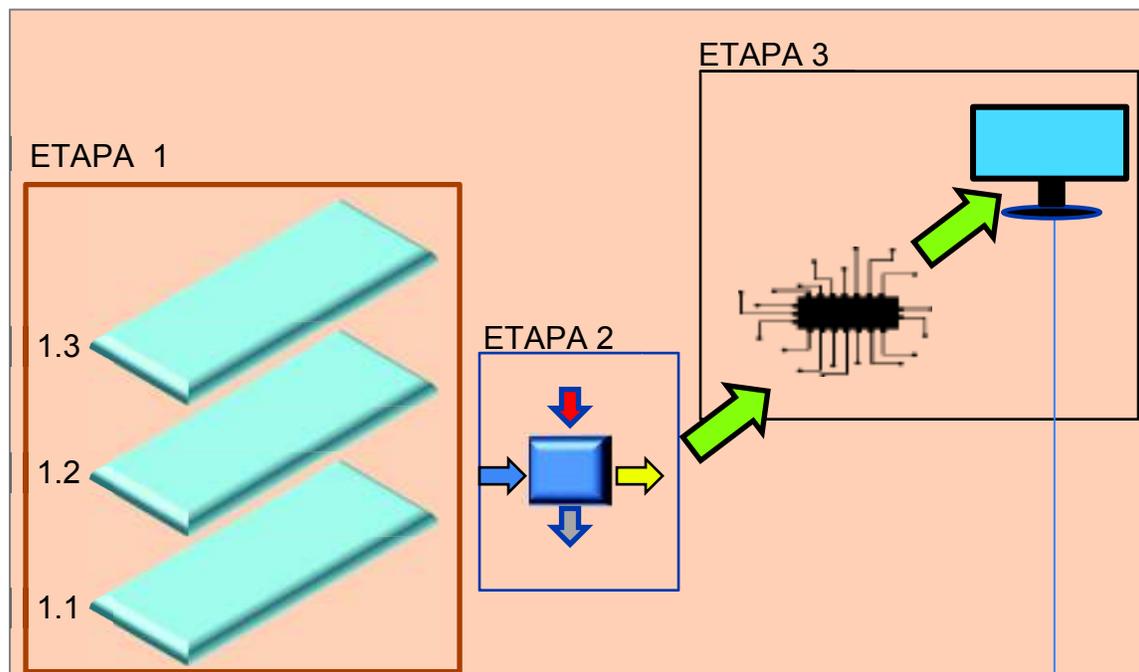


Figura 2.1. Esquema de las partes: mecánica, eléctrica y electrónica del equipo.

Fuente: Propia.

Etapa 1. Representa la estructura mecánica del equipo. Como muestra la figura 2.1, esta etapa consta de tres secciones que se describen a continuación.

Sección 1.1: que corresponde a la sección inferior o base inferior del equipo, la cual tiene la particularidad física de ser fija respecto al piso o respecto a tierra. Esta base está constituida por algunos elementos del equipo como: estructura base, mecanismo de vaivén, encerador mecánico, barras guía para elementos antifricción, apoyos para

bloqueo anti torques, porta sensor de desplazamiento, elementos de soporte para anclaje. En este sentido se puede decir que la base inferior es una sección mecánica compuesta.

Sección 1.2: La constituye una sección fundamentalmente superficial, que separa las secciones 1.1 y 1.3 y por otro lado permite el movimiento relativo de éstas, es fundamentalmente una superficie ideal lisa, necesaria para que el movimiento de la sección 1.3 respecto a la sección 1.1 sea suave a pesar del alto valor de carga que deben soportar todas las secciones mecánicas del equipo, las cuales se encuentran en el rango entre 300 y 1000 kilogramos, según el peso del vehículo este entre 800 y 3000 kilogramos respectivamente.

Sección 1.3: Sección superior de la estructura mecánica, constituye un bloque compuesto móvil, el cual se debe desplazar sin rozamiento respecto a la sección 1.1. Sección está constituida por algunos elementos del equipo como: estructura sostén, plataforma superior, mecanismo de conexión de movimiento, portaobjeto para comunicación de movimiento al sensor de desplazamiento, apoyos de sujeción para plataforma superior, barras guía para elementos antifricción. En este sentido se puede decir que la base superior 1.3, es una sección mecánica compuesta.

Etap 2. Tiene por función generar un conjunto de mediciones de desplazamiento lateral debido al defecto de convergencia, en forma simultánea con el avance de automotor por la plataforma superior del equipo. Cuando un vehículo con defecto de convergencia, avanza por la plataforma superior de la sección mecánica 1.3, induce en ésta, un movimiento transversal perpendicular a la dirección de avance, de magnitud milimétrica y proporcional al grado de defecto. Teniendo en cuenta la magnitud del desplazamiento y la seguridad del personal que pudiera realizar el conjunto de mediciones, se concluye que los métodos convencionales de medida no son aplicables, por ello el proceso de medición debe hacerse remotamente, usando técnicas eléctricas y electrónicas.

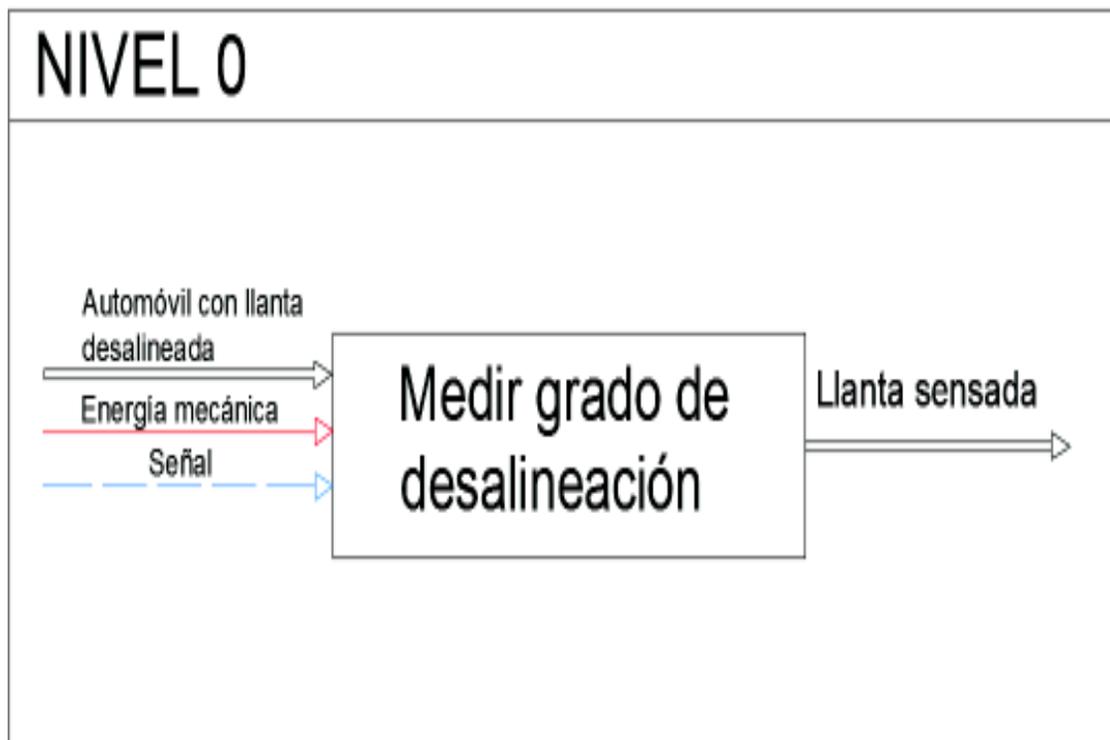
Etap 3. Tiene por función el procesamiento electrónico del conjunto de datos obtenidos en la etapa 2. Del análisis secuencial del conjunto de datos, se encuentra el valor del defecto de convergencia, este proceso se logra mediante el uso de un micro controlador el cual dispone internamente de un micro procesador de datos. Una vez encontrado el valor de convergencia, éste debe mostrar en pantalla, con lo que concluye el diagnóstico de convergencia, con este dato, se procede en forma progresiva a la corrección del defecto, hasta alcanzar los niveles permisibles que van desde cero hasta ± 6.99 metros de desplazamiento lateral por kilómetro de recorrido.

2.1. Diseño Mecánico y Cálculo Estructural del Equipo

El diseño mecánico del equipo, se refiere al diseño de la etapa mecánica del mismo, subdividida en tres secciones mecánicas: 1.1, 1.2, 1.3., inferior, media y superior respectivamente, las secciones 1.2, 1.3, en movimiento relativo respecto a la sección fija 1.1, la sección 1.2 es una superficie antifricción.

2.1.1. Análisis funcional

Es útil establecer cada una de las funciones que debe realizar el equipo y agruparlas en módulos de acuerdo a su afinidad. Existen 3 niveles de detalle en donde el nivel 0 es el de menor grado de detalle y el nivel 2 es el de mayor grado de detalle [6]. Los niveles 0, 1 y 2 de las funciones que debe cumplir el equipo de alineación son los que se muestran en las Figuras 2.2, 2.3 y 2.4, respectivamente.



Medir el grado de desalineación es equivalente a decir, realizar un diagnóstico de convergencia en el automotor. Con la ayuda del mismo equipo, se hace posible corregir el defecto de convergencia hasta llegar a los valores permisibles, tipificados por la Revisión Técnica Vehicular.

NIVEL 1

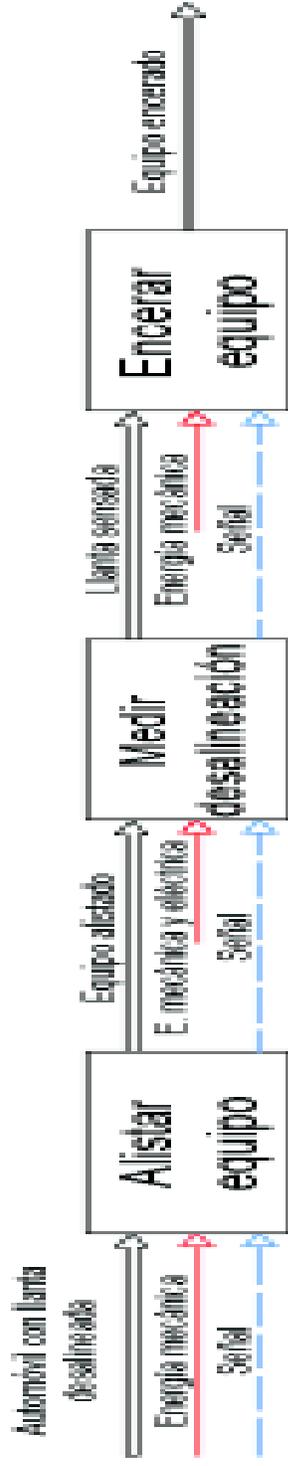


Figura 2.3. Estructura funcional. Nivel 1
Fuente: Propia

NIVEL 2

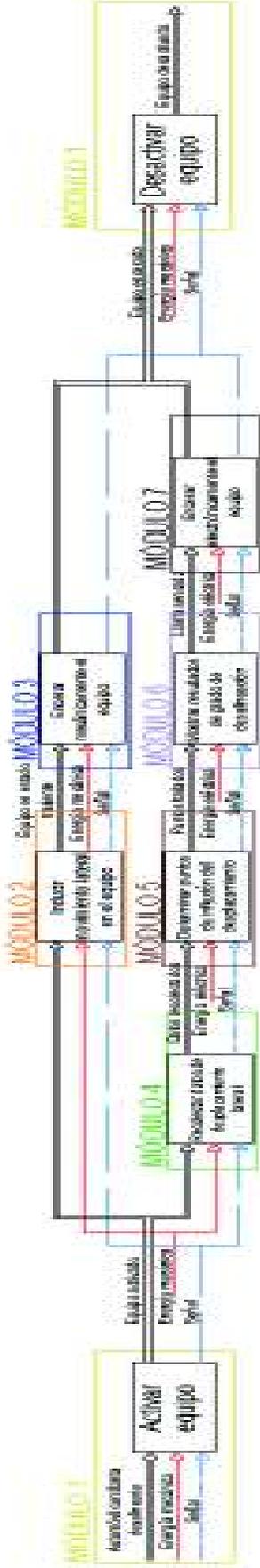


Figura 2.4. Estructura funcional. Nivel 2.
Fuente: Propia

2.1.2. Soluciones para cada módulo

En base a la estructura funcional del equipo ilustrada por medio de módulos como se observa en la figura 2.4, procedemos a describir las funciones, ventajas y desventajas que presenta cada módulo.

Módulo 1

En este módulo se tienen las siguientes funciones:

- Activar equipo
- Desactivar equipo

Cuando la llanta delantera izquierda del vehículo, se pone en contacto con la plataforma horizontal superior, móvil, del equipo, éste debe estar activado, es decir, debe estar libre de obstrucciones mecánicas para su desplazamiento lateral y por otro lado, su sensor electrónico debe estar listo para censar cualquier desplazamiento lateral de la plataforma superior, debido a la desalineación de convergencia. La Figura 2.5 muestra la solución para este módulo.



Figura 2.5. Solución del módulo 1.
Fuente: Google pulsadores eléctricos

Ventajas

El desplazamiento de la lateral de la plataforma superior del equipo está físicamente conectado al desplazamiento del cursor móvil del sensor de movimiento y sus indicadores mecánicos y eléctricos tienen valores directamente proporcionales, es decir, éstos están en relación lineal. En otros casos las relaciones funcionales entre los indicadores pueden ser de tipo no lineal, aun así, las ideas de solución siguen los mismos lineamientos.

Desventajas

Tanto el equipo como el sensor de movimiento, están expuestos a fuertes vibraciones generadas por el funcionamiento del motor del vehículo al pasar por la plataforma, sin embargo el equipo está consolidado uniformemente al piso, y esto no afecta sensiblemente la estructura del sensor, ni tampoco su funcionamiento electrónico.

Módulo 2

En este módulo se tiene la siguiente función:

- Inducir movimiento lateral en el equipo

Cuando el vehículo avanza por la plataforma, en dirección paralela a su línea central longitudinal y debido a una desalineación de convergencia propicia un desplazamiento lateral de la plataforma, cuya medida es directamente proporcional al grado de desalineación de la llanta o del vehículo. Las unidades de la desalineación de convergencia pueden entenderse en grados de desviación o en metros de desplazamiento lateral por cada kilómetro de avance longitudinal del vehículo. Los valores máximos permitidos son de hasta ∓ 6.99 metros de desplazamiento lateral por cada kilómetro de avance del vehículo, defectos de convergencia cuyos valores superen en magnitud a ∓ 7.00 son rechazados por el concepto de defecto de convergencia. La escala de convergencia sale de límite cuando se presentan valores de defecto de convergencia ∓ 20.0 m/Km , metros de desplazamiento lateral por kilómetro de avance.

Con la ayuda de la función trigonométrica $\tan \theta$, donde θ es el ángulo de desviación de la línea central de la llanta respecto a la línea de avance del vehículo.

$$\text{Entonces } \tan \theta = \frac{\text{desplazamiento lateral [m]}}{1 \text{ Km de avance}}$$

$$\tan \theta_{\text{max admisible}} = \frac{6.99\text{m}}{1000\text{m}}$$

$$\theta = \tan^{-1}[0.00699]$$

$$\theta_{\text{max admisible}} = 0.4^\circ$$

Es el ángulo de desviación máxima admisible para cualquier vehículo, es la máxima desviación del plano que contiene a la cara lateral de los aros de la llanta que es

perpendicular al piso, con respecto a la línea de avance del vehículo. En cambio el valor de ángulo que rebasa la escala de convergencia será.

$$\tan \theta_{\text{límite de escala}} = \frac{20\text{m}}{1000\text{m}}$$

$$\tan \theta_{\text{límite de escala}} = 0.02^\circ$$

$$\theta_{\text{límite de escala}} = \tan^{-1}[0.02]$$

$$\theta_{\text{límite de escala}} = 1.14^\circ$$

La Figura 2.6 muestra la solución para este módulo. En ella, cuando un vehículo avanza por la plataforma superior del equipo, se genera en ésta, un movimiento lateral perpendicular a la dirección de avance.

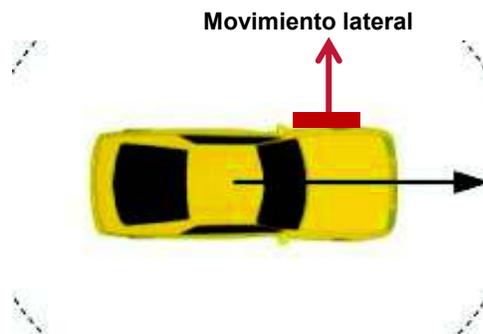


Figura 2.6. Solución del módulo 2, movimiento lateral inducido
Fuente: Propia

Ventajas

La medición de la desalineación en metros de desplazamiento lateral por cada kilómetro de avance del vehículo, es idéntica a milímetros de desplazamiento lateral por cada metro de avance del vehículo. Esta abstracción de proporcionalidad directa, es tomada en cuenta para la medida longitudinal de la plataforma.

Dada la pequeña magnitud del desplazamiento lateral de la plataforma superior, que es de 20mm, este factor prácticamente no influye en el ancho de la plataforma, esta es tomada en función de la facilidad para ingresar a ella con el vehículo.

Desventajas

Como se puede ver, los valores admisibles de convergencia se encuentran en el intervalo $[-6.99, +6.99]$, dando un valor admisible de desviación de 0.4° , aun la desviación de

convergencia, cuando esta se encuentra fuera de escala es menor a 1.2° , por lo que la medición en términos angulares resulta muy delicada por la alta precisión requerida, décimas y centésimas de grado.

Módulo 3.

En este módulo se tiene la siguiente función:

- Encerar mecánicamente el equipo

Una vez culminado el paso longitudinal del vehículo sobre la plataforma, esta debe regresar automáticamente al punto central denominado punto cero y permanecer en equilibrio. Este enceramiento es de naturaleza mecánica, se lo hace por fuerza elástica mediante la acción de resortes previamente calibrados, tanto en mecanismo de vaivén así como en el encerador mecánico. La Figura 2.7 muestra la solución para este módulo.



Figura 2.7. Solución del módulo 3, encerador mecánico
Fuente: Propia.

Ventajas

El enceramiento del equipo no requiere elementos ni eléctricos ni electrónicos, es de naturaleza mecánica. El ajuste elástico se realiza mediante dos etapas: un macroajuste por medio del mecanismo de vaivén y un micro ajuste mediante el encerador mecánico, La acción conjunta de estos mecanismos permiten obtener un enceramiento satisfactorio del equipo.

Desventajas

Debido a que el enceramiento es mecánico, de tipo elástico, en este proceso se genera un proceso de oscilación amortiguada alrededor del centro de oscilación, el regreso de la plataforma no es instantáneo, demora alrededor de un segundo, sin embargo, este es un tiempo prudencial que no afecta el tiempo de espera para otra medición, ya que el

tiempo entre dos mediciones es mínimo de 20 segundos, distribuidos en: reseteo del equipo, retroceso lento del vehículo, preparación de arranque del equipo y nuevo avance del vehículo por la plataforma.

Módulo 4

En este módulo se tiene la siguiente función:

- Recolectar datos de desplazamiento lateral

En cada intervalo de tiempo, el desplazamiento lateral de la plataforma es medido respecto al centro de oscilación o de equilibrio, tomándose un muestreo de 100 mediciones, cada una de ellas cada 2 centésimas de segundo aproximadamente. La Figura 2.8 muestra la solución para este módulo. El tiempo de recolección de datos generalmente puede cambiar con la naturaleza del evento a realizarse, así como el número de mediciones a tomarse para procesar la información, el programa para el procesamiento de la información debe considerar condiciones aleatorias que pueden afectar el procesamiento general de datos, por ejemplo, el tiempo en que el vehículo para por la plataforma, depende del conductor.

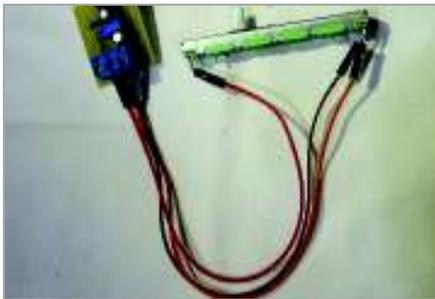


Figura 2.8. Solución del módulo 4, sensor de desplazamiento
Fuente: Propia.

Ventajas

El conjunto de medidas son los valores de la variable desplazamiento, en términos de voltaje y son guardadas como coordenadas de un vector o mediante un arreglo matricial, los datos almacenados de esta manera y con la ayuda de un programa computacional, se pueden realizar múltiples operaciones que nos permiten dar el resultado de diagnóstico de convergencia.

Desventajas

En el proceso de recolección de datos se debe tener en cuenta fluctuaciones de voltaje que alimenta a los microcircuitos y que podrían echar a perder el proceso de medición a pesar de que el firmware del proceso esté bien direccionado y ejecutado.

Módulo 5

En este módulo se tiene la siguiente función:

- Determinar puntos de inflexión del desplazamiento

Cuando a medida que pasa el tiempo los incrementos de desplazamiento que son de un mismo signo indican el avance en una misma dirección y si en el siguiente intervalo de tiempo el incremento de desplazamiento cambia de signo quiere decir que se ha producido un retroceso y por lo tanto habido un punto de inflexión en el desplazamiento lateral.

Ventajas

Con el procesamiento de datos se encuentran los puntos de inflexión vía operación matemática y dado que la alta velocidad de un procesador, es posible caracterizar con rapidez una inversión del desplazamiento lateral, entonces es posible dar un diagnóstico de convergencia prácticamente instantáneo respecto a la escala temporal de reflejos humanos.

Desventajas

Para alcanzar buena precisión al evaluar la magnitud de los mini desplazamientos laterales, se debe evaluar el parámetro desplazamiento en un tren de pequeños y regulares intervalos de tiempo, pero el sensor correspondiente real, no ideal, tiene errores de construcción en su pista resistiva, que introducen error en los valores de las medidas, [7]. Afortunadamente se han tomado medidas para superar estos inconvenientes y poder contar con un proceso de medición confiable.

Módulo 6

En este módulo se tiene la siguiente función:

- Mostrar resultados de grado de desalineación

Una vez que se tiene los valores de desplazamiento almacenados en forma vectorial o arreglo matricial y mediante las operaciones matemáticas correspondientes previstas en

el programa, se determina el valor de la desalineación, éste se puede exponer en forma digital ya sea en la pantalla LCD o en el monitor, no sin antes realizar la programación de visualización de datos, lo cual es muy conveniente para que el técnico proceda a la corrección del defecto en caso de haberlo. La Figura 2.9 muestra la solución para este módulo.

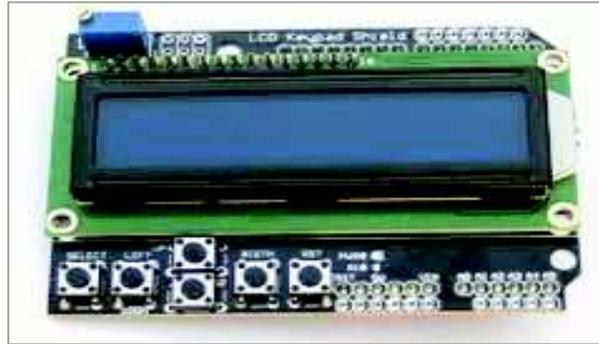


Figura 2.9. Solución del módulo 6, Micro controlador
Fuente: Google, Arduino 1, micro controlador [23]

Ventajas

Tanto el cliente como el técnico son testigos de la información visual y de su evolución, en el proceso de corrección del defecto. La información expuesta digitalmente por un tiempo prudencial, genera confianza y permite tomar con calma el proceso de corrección.[8]. El tiempo promedio que se tarda en realizar las pruebas de diagnóstico de convergencia es de 20 minutos, si se toma en cuenta los ajustes progresivos de corrección.

Desventajas

El proceso de medición, su cálculo, su exposición requiere de una fuente de energía eléctrica en estado activo. Si por algún motivo se suspende la alimentación de energía eléctrica no existe visualización de la medida. Sin embargo de ello se puede decidir por la alternativa de percepción del desplazamiento lateral por parte del operador, condición que se adquiere con un poco de experiencia en el fenómeno de corrección del defecto de alineación.

Módulo 7

En este módulo se tiene la siguiente función:

- Encerar electrónicamente el equipo

Una vez expuestos los resultados de alineación, se puede optar por dos alternativas: la primera es, apagar el equipo con una suspensión de energía eléctrica hasta que se requiera un nuevo proceso de medición, y como segunda alternativa, si el trabajo de reparación es intenso puede indicarse al micro controlador reiniciar automáticamente un nuevo proceso de medición. La Figura 2.10 muestra la solución para este módulo.

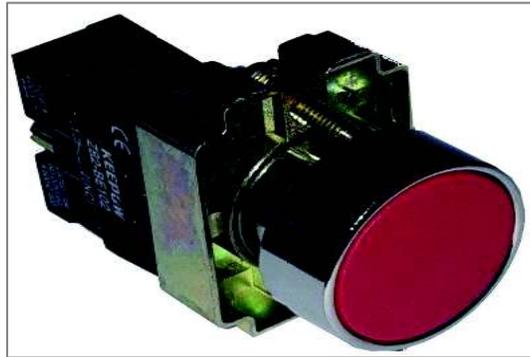


Figura 2.10. Solución del módulo 7, pulsador de reseteo

Fuente: Propia.

El pulsador de la figura 2.10, de 22mm de diámetro, de construcción metálica, es adecuado para el trato de taller, su geometría frontal se adapta al manipuleo por parte del operador, en el , la pérdidas por resistencia eléctrica son muy bajas y pueden despreciarse, puede trabajar hasta con 220voltios y 6 amperios de intensidad en forma nominal.

Ventajas

La primera alternativa de apagado del equipo, en caso que se requiera un diagnóstico de alineación no muy frecuente, incide en un ahorro de energía, evita un desgaste innecesario tanto mecánico como electrónico del equipo.

Desventajas

Dada la curvatura de llanta y neumático, no resulta fácil estimar el instante de contacto del neumático con el equipo de alineación, Echar a andar el equipo solo por la percepción

espacial del técnico no es la mejor opción, por ello, mandar al equipo a realizar un proceso de medición continua apenas se encuentre activado por un intervalo de tiempo, consideramos una buena opción.

Solución final

La solución conceptual del equipo de alineación se indica en la Figura 2.11.



Figura 2.11. Solución final, equipo de convergencia

Fuente: Propia.

En la figura 2.11. Se aprecia la estructura del equipo es dos secciones una superior y la otra inferior. La sección intermedia no es muy concreta ya que se trata de una sección superficial no continua pero que cumple su función específica, la de propiciar un movimiento relativo suave entre las secciones superior e inferior. En cada una de las secciones indicadas se incorporan elementos propios de la sección, por ello decimos que el equipo consta de secciones compuestas.

2.1.3. Cálculos y dimensionamiento

El cálculo estructural requiere de valores referenciales confiables de carga, los valores de carga mínimos y máximos son requeridos, ya que actúan sobre el equipo. La tabla 2.1, fue elaborada con los datos consultados en las páginas de Google, acerca de peso del peso bruto de los automotores más livianos y de los más pesados que se conocen en nuestro medio, referenciando marca y modelo en forma particular. En ella se puede observar que los vehículos livianos y los más pesados de uso particular, se encuentran entre 820 y 3100 kilogramos respectivamente, en el contenido de ésta tabla, también se encuentra el ancho exterior entre sus llantas delanteras, así como el ancho interno entre estas llantas.

Tabla 2.1. Peso bruto de automotores livianos y pesados de uso particular.

PESO BRUTO DEL VEHICULO, DISTANCIA INTERNA Y EXTERNA ENTRE LLANTAS DELANTERAS

MARCA	MODELO	PESO APROX KG	DIST. EXT. (CM)	ANCHO DE LLANTA (CM)	DISTANCIA INTERNA (CM)
FIAT	FIORINO	1117	149	14	121
CHEVROLET	CORSA	820	158	18	122
CHEVROLET	SPARK LT	985	144	16	112
FORD	F-150	3000	200	20	160
CHEVROLET	TAHOE LS	2450	204	20	164
CHEVROLET	SILVERADO	2770	200	20	160
HUMMER	1	3000	216	22	172
HYUDAI	H1	2450	190	18	154

Fuente: Google, peso, marca, modelo.

Estos datos son relevantes al momento de determinar el ancho más funcional del equipo, el cual resultó ser 600mm. Con los datos obtenidos, resultó que máxima fuerza a la que estará sometido nuestro equipo no supera las 1.0 toneladas, quedando definido que el peso referencial máximo del vehículo para diagnosticar con nuestro equipo es de 3.1 toneladas.

Para ello se ha tomado en cuenta un peso bruto del vehículo de 3100 kilogramos, de donde el peso distribuido entre las 4 llantas es de 775 kilogramos, adicionalmente asumimos un excedente de peso sobre el eje delantero respecto al eje posterior del 15%, resultando 891.25 kilogramos y adicionalmente se consideró el peso propio del equipo de aproximadamente de 100kilogramos, dando el total de fuerza vertical sobre el equipo como se detalla a continuación.

$$\frac{3100}{4} \times (1 + 0.15) + 100 = 991.25 \text{ Kilogramos, valor algo inferior a una tonelada.}$$

2.1.3.1. Cálculo de la estructura

Se procede a realizar el cálculo de esfuerzos que actúan en la estructura de sostén de la sección superior, los mismos que están presentes por medio de la presión que ejerce la llanta del automóvil sobre la plataforma superior del equipo. La máxima fuerza sobre la plataforma proviene de aproximadamente la cuarta parte del peso bruto de los automotores más representativos en peso conocidos, los cuales en total no sobrepasan

las 3.0 toneladas, si se toma en cuenta los datos registrados en la tabla 2.1. Los datos de pesos mínimos de la tabla no repercuten en la seguridad estructural del equipo, más bien se los debe tomar en cuenta a la hora de posicionar el equipo en el sitio de trabajo.

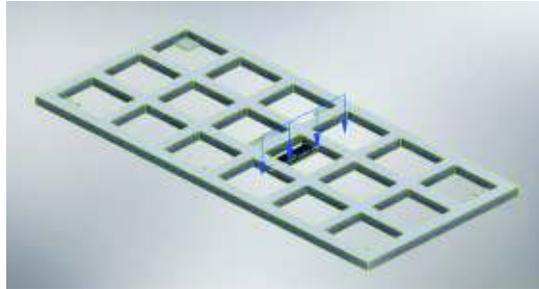


Figura 2.12. Diagrama de cuerpo libre de la estructura superior.
Fuente: Propia

Si el análisis se realiza para el instante en el cual actúa sobre la estructura el máximo esfuerzo previsto, se obtiene el diagrama de fuerza que se indica en la Figura 2.12.

Cada una de las siete vigas de la estructura, estará sometida a la séptima parte del peso del semi eje delantero, a través de la llanta respectiva. Si se considera que la máxima carga ejercida verticalmente sobre el equipo, a través de la llanta del vehículo es de 1 tonelada, se obtiene el diagrama de cuerpo libre mostrado en la Figura 2.13.

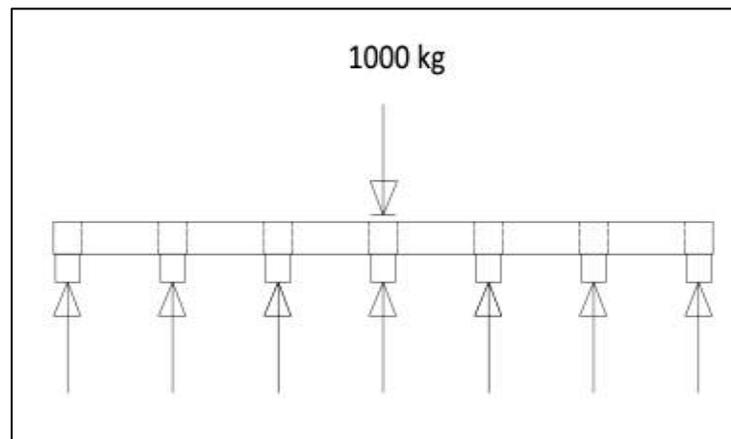


Figura 2.13. Diagrama de fuerzas de la estructura superior.
Fuente: Propia

Considerando que los siete apoyos son simples, se obtienen los diagramas de esfuerzo cortante y de momento flector mostrados en la Figura 2.14.

El momento máximo está relacionado con el esfuerzo máximo mediante la Ecuación 2.1.

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad \text{Ec.(2.1)}$$

Donde:

σ : Esfuerzo $\left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right]$

M : Momento flector [kgf.cm]

c : Distancia desde el centro de la sección transversal hasta el extremo [m]

I : Inercia [m⁴]

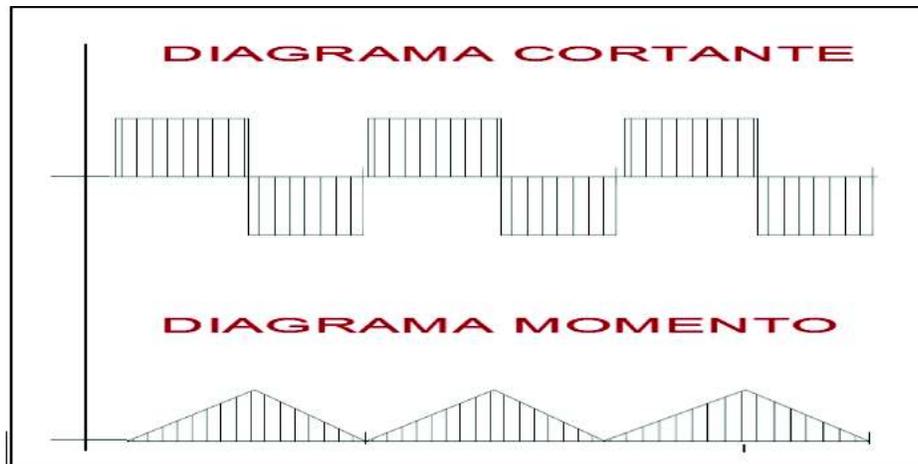


Figura 2.14. Diagramas de cortante y de momento de la viga.
Fuente: Propia

Si se conoce que la viga tiene una sección transversal cuadrada de 30 mm * 30 mm y un espesor de 1,6 mm se obtiene:

$$c = 2,24 \text{ [cm]}$$

$$I = 2,451 \text{ [cm}^4\text{]}$$

Reemplazando los datos anteriores resulta:

$$\sigma = 63.78 \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right]$$

El material de la viga es acero A-36 el cual tiene un límite de fluencia de 2549 $\left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right]$

El factor de seguridad se calcula por medio de la Ecuación 2.2. [9]

$$n = \frac{S}{\sigma} \quad \text{Ec.(2.2)}$$

Donde:

n : Factor de seguridad

S : Límite de fluencia [kgf/cm²]

σ : Esfuerzo máximo [kgf/cm²]

Reemplazando los valores anteriores se obtiene que el factor de seguridad es:

$$n = 39.96$$

2.1.4. Simulación por elementos finitos

Mediante el proceso de simulación, se requiere verificar que los esfuerzos generados en la estructura del equipo de alineación, los cuales fueron calculados previamente de manera analítica no superen el límite de fluencia del material. Para este análisis se usará el software SAP 2000. Suponiendo que las cargas están aplicadas como se indica en la Figura 2.15 se obtiene que la deformación de la estructura superior (mostrada de manera exagerada) para esta carga máxima es la mostrada en la Figura 2.16.

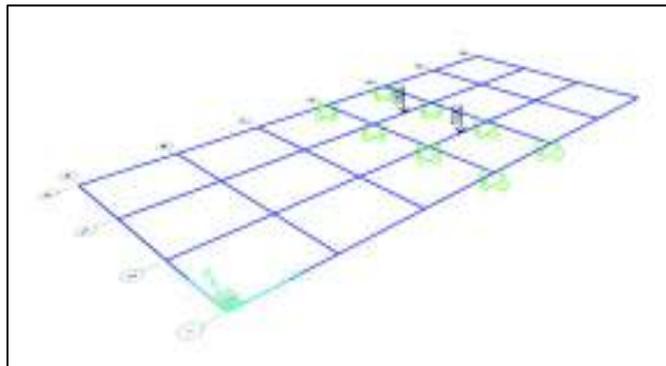


Figura 2.15. Disposición de las cargas y de los apoyos de la estructura superior.
Fuente: Propia

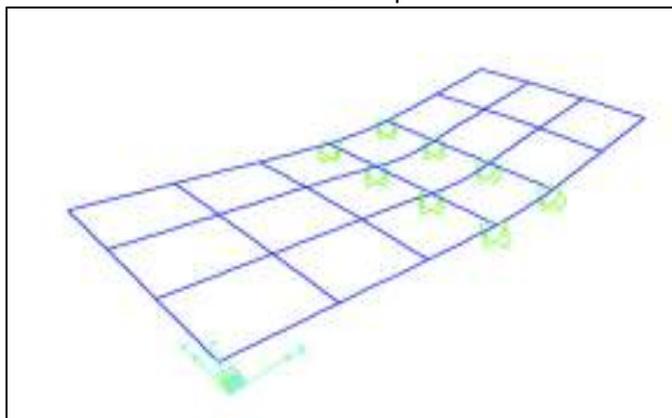


Figura 2.16. Deformación de la estructura superior.
Fuente: Propia

El diagrama de cortante de la estructura superior es como la mostrada en la Figura 2.17.

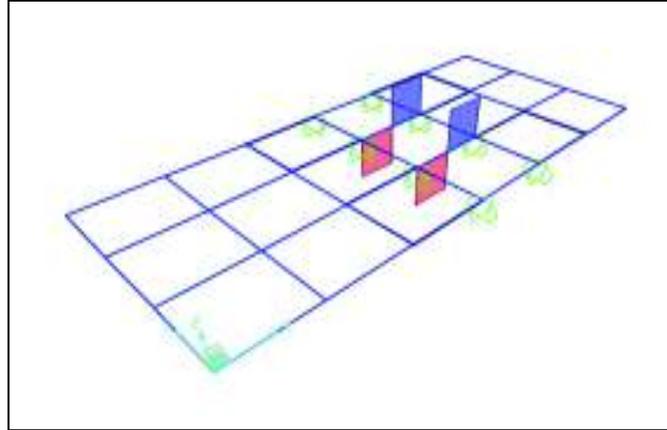


Figura 2.17. Diagrama de cortante de la estructura superior.
Fuente: Propia

El diagrama flector es el que se muestra en la Figura 2.18.

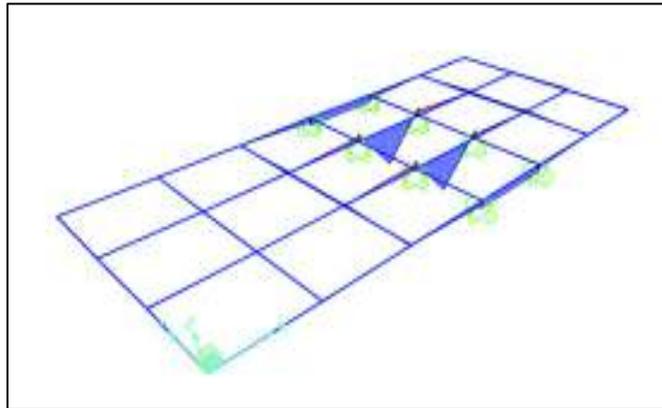


Figura 2.18. Diagrama flector de la estructura superior.
Fuente: Propia

Los esfuerzos en la estructura son los que se muestran en la Figura 2.19.

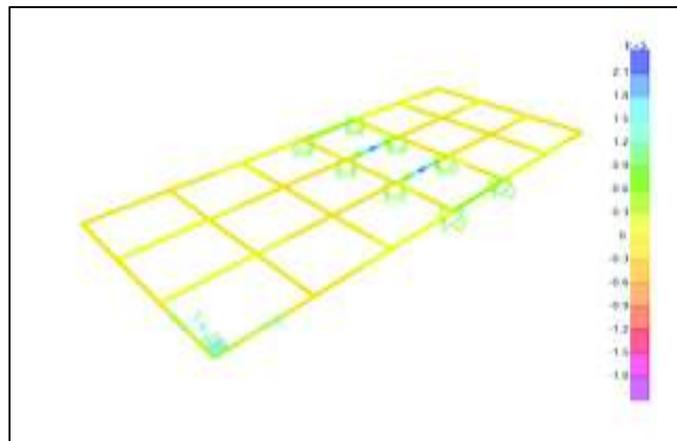


Figura 2.19. Esfuerzos generados en la estructura superior
Fuente: Propia

El máximo valor de esfuerzo es aproximadamente $2100 \left[\frac{kgf}{cm^2} \right]$

Mediante el análisis de elementos finitos se obtiene un factor de seguridad:

$$n = 25.89$$

De esta manera se verifica que la estructura no fallará para cargas verticales más altas de lo previsto inicialmente.

De los datos recolectados y expuestos en la tabla 2.1 podemos calcular y concluir que el mínimo margen de seguridad en cuanto a carga máxima de nuestro equipo, en relación al peso de los vehículos más pesados conocidos es del 40% y respecto a los más livianos es del 90% y con respecto a la carga que el equipo debe soportar al trabajar con vehículos de peso promedio 1000Kg, es del 33% de la carga total. Estos resultados nos brindan seguridad en cuanto a la estabilidad mecánica del equipo, aun en condiciones extremas de operación. [9]

2.2. Diseño eléctrico del equipo.

Un proceso de medición conformado por un numeroso conjunto de datos, registrados en cortos intervalos de tiempo como décimas o centésimas de segundo, como los requeridos en el presente trabajo no es compatible con un proceso de medición manual realizado por un operario o un conjunto de ellos. En forma general, se dice que todo sistema dinámico en función del tiempo es susceptible de monitorearlo y hasta controlarlo con sistemas automáticos de control [10].

2.2.1. Conceptos de control automático.

En un sistema dinámico, el comportamiento de cada una de sus componentes, generalmente cambiantes en el tiempo, se expresan como variables temporales, estas constituyen las variables del sistema. El valor de las variables del sistema en un instante particular definen el estado dinámico del sistema en dicho instante. Los sistemas dinámicos pueden ser de distinta naturaleza: mecánicos, termodinámicos, eléctricos, electrónicos, biológicos, etc.[11] El monitoreo y control automático de los sistemas dinámicos requiere de un lenguaje por medio de diagramas de bloques. En estos diagramas, cada bloque transforma una variable de entrada en una variable de salida y el bloque en sí, es el causante de tal transformación. En la figura 2.20, se muestra un diagrama básico de transformación que corresponde a un solo bloque.



Figura 2.20. Diagrama de sistema de control de un solo bloque transformador.
Fuente: Control automático de sistemas industriales [12].

2.2.1.2. Sistemas de control de lazo abierto.

Son los sistemas de control en los que la variable de salida con su respectivo cálculo de error, no retroalimenta al bloque transformador, con el objeto de reducir el valor del error. en el valor de la variable de salida, en el siguiente ciclo del proceso. En la figura 2.21, observamos el diagrama de bloques de un sistema de control de lazo abierto

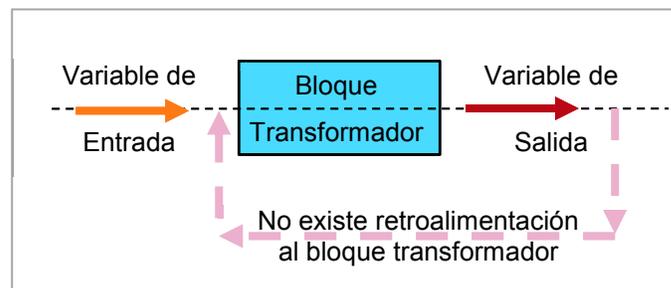


Figura 2.21. Diagrama de sistema de control de lazo abierto.
Fuente: Control automático de sistemas industriales [12].

En esta figura 2.21, se observa que no está permitida la retroalimentación al bloque transformador con el valor del error, en la obtención del valor de la variable de salida. El número de bloques transformadores dispuestos en forma secuencial, puede ser mayor a uno. En estos casos, para los bloques intermedios la variable de salida de un bloque es la variable de entrada para el siguiente bloque.

2.2.1.3. Función de transferencia o transmitancia.

Es la función que relaciona el valor de la variable de entrada, con el valor de la variable de salida desde el bloque transformador. La transformación de los valores de entrada se opera en el bloque transformador.

En la figura 2.22, se observa la relación entre los valores de entrada y los valores de salida,

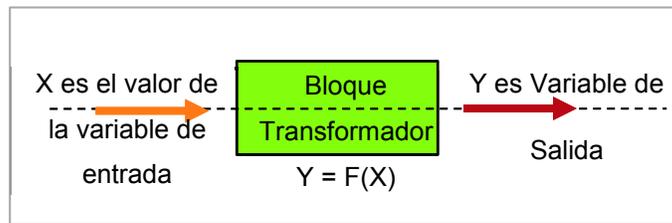


Figura 2.22. $Y = F(X)$, función de transferencia.
Fuente: Control automático de sistemas industriales [12].

La conversión del valor de la variable de entrada x , en el valor de la variable de salida Y por medio de la ecuación $Y = F(x)$ que se opera en el bloque transformador se llama función de transferencia o transmitancia del bloque transformador. Entonces cada bloque transformador tiene su propia función de transferencia o transmitancia. En general en un proceso de producción pueden propiciarse varias funciones de transferencia.

2.2.1.4. Sistemas de control de lazo cerrado

Contrariamente a los sistemas de control de lazo abierto, en los sistemas de control de lazo cerrado, el cálculo de error obtenido al calcular el valor de la variable de salida, sirve para retroalimentar al bloque transformador.

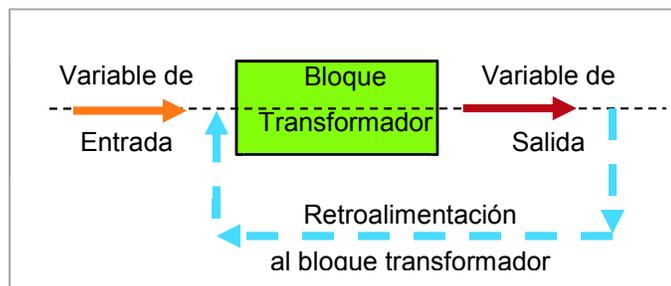


Figura 2.23. Diagrama de sistema de control de lazo cerrado.
Fuente: Control automático de sistemas industriales [12].

En la figura 2.23, observamos el diagrama de bloques de un sistema de control de lazo cerrado.[12]. El lazo cerrado es imperativo a la hora de reducir el valor del error en el valor de la variable de salida, en el siguiente ciclo del proceso. En este caso, el número de bloques transformadores dispuestos en forma secuencial, puede ser mayor a uno. Para los bloques intermedios la variable de salida de un bloque es la variable de entrada para el siguiente bloque.

2.2.2. Diseño de sensor de desplazamiento.

El proceso de medición o recolección de un conjunto de datos en el equipo, se logra incorporando un sensor eléctrico de movimiento. El desarrollo del diseño de este elemento eléctrico, se lo realiza en tres etapas de profundidad: diseño conceptual, diseño básico y diseño de detalle.[13]

2.2.2.1 Diseño conceptual

Un sensor se lo entiende como aquel sistema que al experimentar el valor o la variación de un observable físico, puede convertir a valor o variación de otro observable físico. Como por ejemplo: a una variación de longitud la convierte en un voltaje eléctrico, a una variación de temperatura la convierte en voltaje, a una variación de flujo luminoso lo convierte en voltaje, etc. Un conjunto de estas señales energéticas de respuesta, son procesadas y según sea el resultado del procesamiento, pueden usarse para activar automáticamente a otros sensores y/o actuadores según convenga.

Existe un sin número de sensores que pueden ser diseñados en los diferentes campos de la ciencia y la técnica, tantos como el número de eventos observables existan. La fabricación de sensores automáticos de control, es vital en la construcción de todo tipo de tecnología.[14]. Nuestro equipo para diagnóstico de convergencia requiere de un sensor de movimiento longitudinal. En la figura 2.24, se representa su concepción conceptual, que se le asigna el nivel cero de diseño.

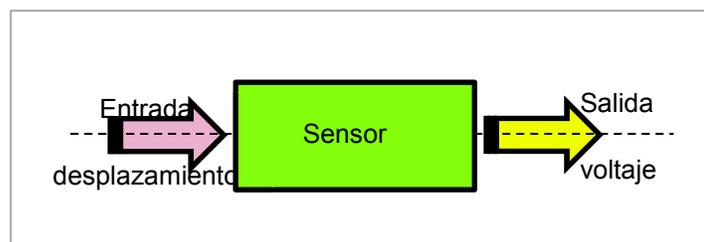


Figura 2.24. Sensor de desplazamiento.
Fuente: propia.

La figura 2.24, describe la función conceptual de nuestro sensor de desplazamiento. El sensor es “forzado” a registrar un movimiento longitudinal, entonces éste transforma la medida del desplazamiento en una amplitud de voltaje.

2.2.2.2. Diseño básico.

La figura 2.25 describe el diagrama de bloques del sensor de desplazamiento, se puede observar todos los elementos a ser considerados: voltaje de referencia V con el que se alimenta al sensor, conexión a tierra con un voltaje nulo $V=0$, variable dinámica de entrada que es el valor de desplazamiento ΔX , la variable de salida que es el voltaje ΔV correspondiente a dicho desplazamiento, llamada función de transferencia.[13]

El núcleo de nuestro sensor de desplazamiento constituye un potenciómetro lineal, de $30[K\Omega]$ de resistencia eléctrica total, y una longitud total de desplazamiento de $60[mm]$, o de $30[mm]$ en torno a su punto medio. El voltaje de operación recomendable debe ser menor o igual a $5[volt]$, con el objeto de no disipar mucha calor que destruye rápidamente al sensor.

El sensor o bloque conversor transforma el valor de la variable dinámica desplazamiento y arroja el valor de la variable dinámica voltaje. Por medio de la función $\Delta V = f_{(\Delta x)}$. La función que relaciona los valores de las variables de entrada y salida es la llamada función de transferencia o transmitancia, El conjunto de datos que arroja el sensor de

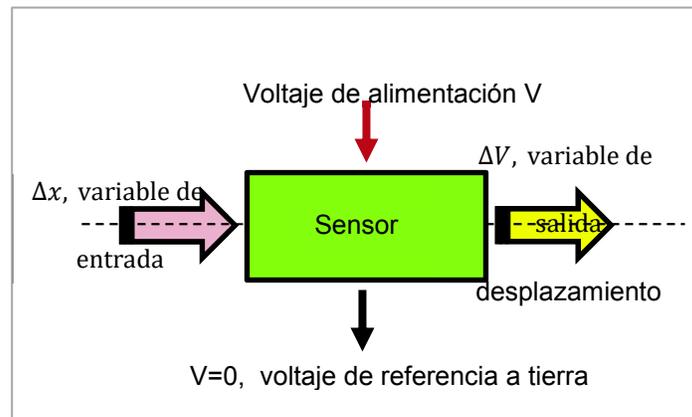


Figura 2.25. Elementos del sensor de desplazamiento.
Fuente: propia.

movimiento, no son los desplazamientos Δx en función del tiempo, sino las parejas de datos $(t, \Delta V_{(t)})$ en un suficiente número, acorde a las necesidades del fenómeno. El conjunto de datos obtenible a través del sensor se lo representa, en la figura 2.26. Su procesamiento es programado en el procesador de datos electrónico.[13]

2.2.2.3. Diseño de detalle, para sensor de movimiento longitudinal

En el proceso de medición es posible recolectar n parejas de datos según se ha programado la partición del tiempo total disponible por evento, que en nuestro caso, es tiempo promedio que dura el paso del vehículo por la plataforma superior del equipo, la cual experimentalmente es de 1.5 segundos.

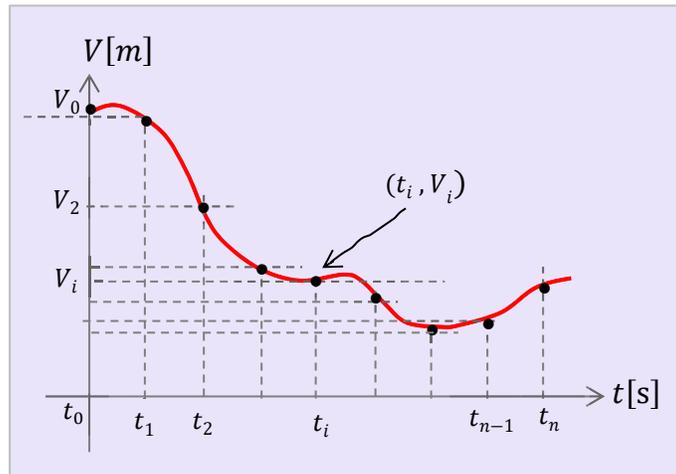


Figura 2.26. Datos que se pueden recolectar mediante el sensor de movimiento.
Fuente: Propia

Para tener los valores de desplazamiento y las correspondientes amplitudes de voltaje debe hacerse uso de la función de transferencia o transmitancia

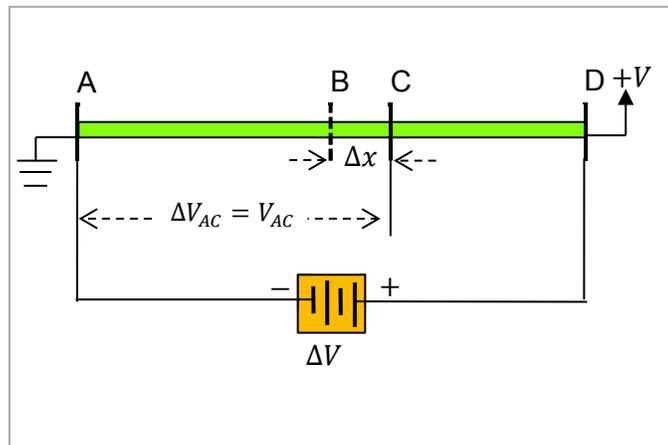


Figura 2.27. Diagrama eléctrico para sensor de desplazamiento.
Fuente: Propia

En la figura.2.27, se describen las ideas básicas que nos permiten medir un desplazamiento físico en función de la diferencia de potencial eléctrico. Esenciales para el desarrollo del sensor de movimiento.

Nos interesa medir la longitud lateral que se desplaza la sección superior y en particular la plataforma superior del equipo, longitud que se encuentra en el rango milimétrico y menor a éste. Esta medición no debe ser manual sino automática por razones como: alto número de datos, rapidez, seguridad, es decir, la medición ha de realizarse en términos eléctricos y electrónicos.

La figura 2.27 ilustra un potenciómetro lineal \overline{AD} de longitud total L resistencia total R . Sus bornes eléctricos extremos A, D están conectados a una fuente de poder cuya diferencia de potencial eléctrica es V [voltios], de valor constante en el transcurso del tiempo. El punto B se encuentra en el centro de la longitud \overline{AD} . El contacto eléctrico móvil C del potenciómetro, puede desplazarse físicamente entre los puntos A y D , de modo que entre los contactos eléctricos A y C se registra una diferencia de potencial eléctrica V_{AC} [voltios], la cual cambia en función de la variación de posición Δx del contacto C respecto al punto B .

Desarrollo

Ya que la pista resistiva \overline{AD} es homogénea y uniforme, podemos considerar la densidad lineal de resistencia eléctrica λ , parámetro que nos permitirá expresar la resistencia eléctrica en función de la longitud.

$$\lambda = \frac{\text{resistencia eléctrica total } R}{\text{longitud total } L} \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Donde:

λ : es la densidad lineal de resistencia del potenciómetro.

R : es la resistencia eléctrica R_{AC} asociada con la longitud de pista resistiva l_{AC} .

$$R_{AC} = \lambda l_{AC} \quad \text{Ec. (2.2)}$$

Donde:

R_{AC} = es la resistencia eléctrica que corresponde a la longitud de pista l_{AC}

Entonces la Ley de Ohm $V = i R$, puede escribirse como,

$$V = i \lambda l , \quad \text{Ec. (2.3)}$$

Donde:

l = la longitud de pista resistiva de densidad lineal de resistencia λ

i = el valor de corriente que circula por la pista de longitud l .

V = es la diferencia de potencial aplicado entre los extremos de la pista resistiva de longitud l .

$$L_{AC} = \left(\frac{L}{2} + \Delta x\right)$$

$$V_{AC} = i_{AC} \left(\frac{L}{2} + \Delta x\right) \lambda \quad \text{Ec. (2.4)}$$

$$L_{CD} = L - L_{AC}$$

$$L_{CD} = L - \left(\frac{L}{2} + \Delta x\right)$$

$$V_{CD} = i_{CD} \left(L - \left(\frac{L}{2} + \Delta x\right)\right) \lambda \quad \text{Ec. (2.5)}$$

Donde:

Δx = valor del desplazamiento del cursor C respecto al punto central B .

i_{CD} = valor de corriente que circula por el tramo de pista resistiva CD .

L = longitud total de la pista resistiva del potenciómetro.

V_{AC} = voltaje o diferencia de potencial obtenida entre el extremo A y cursor móvil C del potenciómetro.

En los segmentos resistivos \overline{AC} , \overline{CD} , acoplados en serie, el voltaje V se distribuye en forma directamente proporcional a la longitud de cada tramo.

$$V = V_{AC} + V_{CD} \quad \text{Ec. (2.6)}$$

Cuando por ambos segmentos circula la misma corriente eléctrica, así $i_{AC} = i_{CD}$

$V_{CD} = V - V_{AC}$, con estas consideraciones

$$V_{CD} = V - V_{AC} = i_{AC} \left(L - \left(\frac{L}{2} + \Delta x\right)\right) \lambda$$

$$V - V_{AC} = i_{AC} \left(L - \left(\frac{L}{2} + \Delta x\right)\right) \lambda \quad \text{Ec. (2.7)}$$

Dividiendo miembro a miembro las ecuaciones 2.7 y 2.5 se tiene:

$$\frac{V - V_{AC}}{V_{AC}} = \frac{i_{AC} \left(L - \left(\frac{L}{2} + \Delta x \right) \right) \lambda}{i_{AC} \left(\frac{L}{2} + \Delta x \right) \lambda}$$

Simplificando y despejando Δx

$$\Delta x = \frac{L}{2V} (2V_{AC} - V) \quad \text{Ec. (2.8)}$$

Donde:

Δx = valor del desplazamiento del cursor C respecto al punto central B .

L = longitud total de la pista resistiva del potenciómetro.

V = voltaje de alimentación aplicado entre los extremos de la pista resistiva del potenciómetro.

V_{AC} = voltaje o diferencia de potencial obtenida entre el extremo A y cursor móvil C del potenciómetro.

El desplazamiento Δx del cursor C respecto al punto B , resulta medido en función de los parámetros: V , V_{AC} , L , en otras palabras, la ecuación 2.8, expresa la distancia relativa del cursor C respecto al punto B , en términos del voltaje V_{AC} . En forma automática ésta ecuación arroja valores positivos si el contacto o cursor C se encuentra a la derecha del punto B , y toma valores negativos si el cursor se encuentra a la izquierda del punto B .

Para el caso particular de un potenciómetro totalmente lineal en toda su pista resistiva, alimentado con una diferencia de potencial de 5 voltios, cuya resistencia total es $R = 10 [K\Omega]$ y una longitud $L = 60 [mm]$, la ecuación 2.8 se transforma en la ecuación 2.9, donde Δx se expresa en milímetros.

$$\Delta x = 12 V_{AC} - 30 \quad \text{Ec. (2.9)}$$

Es la ecuación lineal de Δx en función del voltaje V_{AC} para el potenciómetro particular citado. La ecuación general 2.8 y la ecuación particular 2.9, se denominan funciones de transferencia o transmitancia del sensor de movimiento. Si el contacto del cursor C se

encuentra en el punto B , la ubicación relativa de C respecto a B está a una distancia cero, así $\Delta x = 0$, reemplazando en la ecuación 2.9, obtenemos,

$$0 = 12 V_{AC} - 30, \text{ consecuentemente } V_{AC} = 2.5[\text{voltios}].$$

Por otro lado, si el cursor C se encuentra en el punto A , entonces el voltaje V_{AC} es nulo, $V_{AC} = 0$, reemplazando en la ecuación 2.9, obtenemos,

$$\Delta x = 12 (0) - 30, \text{ consecuentemente } \Delta x = -30[\text{mm}].$$

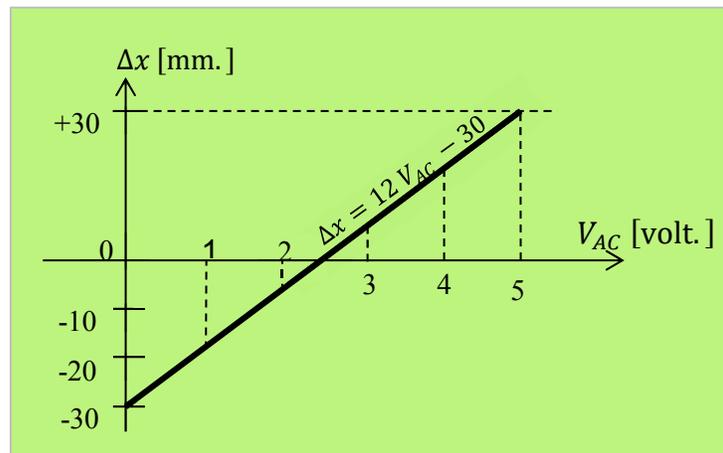


Figura 2.28. Desplazamiento del sensor y su voltaje de salida.
Fuente: Propia

Entonces los puntos P, Q de coordenadas $P(0, -30), Q(2.5, 0)$, donde las primeras coordenadas se expresan en voltios y las segundas coordenadas en milímetros, pertenecen a la recta o forma lineal que relaciona los desplazamientos Δx con el valor de voltaje V_{AC} , cuya gráfica se representa en la figura 2.28.

En la figura 2.28, se representa gráficamente la función de transferencia, entre el valor del desplazamiento del cursor C respecto al punto medio B , y el valor del voltaje V_{AC} . También podemos observar, que los desplazamientos en el potenciómetro Δx hacia la derecha del punto medio B resultan ser positivos, mientras que los desplazamientos del cursor C hacia la izquierda del punto B resultan ser negativos, estableciéndose en forma automática lo distinto de un desplazamiento del cursor hacia la derecha o hacia la izquierda del punto medio B . Estos detalles cuantitativos y cualitativos son indispensables para construir el sensor de desplazamiento. El sensor de movimiento responde de acuerdo a la función de transferencia o transmitancia.

2.3 Diseño electrónico del equipo.

El conjunto de amplitudes de voltaje que arroja el sensor de movimiento es muy numeroso, es decir, el flujo de amplitudes de voltaje generados por el sensor es prácticamente continuo y son de naturaleza analógica. La sola extracción desde el sensor de un conjunto finito de amplitudes de voltaje distanciadas en el tiempo en forma regular o irregular según convenga, proviene de una manipulación programada de tipo electrónico, este proceso constituye la obtención del conjunto de datos para ser procesados. El diseño electrónico involucra tres ramas de la tecnología electrónica: el hardware, el firmware, el software, indispensable hoy en cualquier tipo de tecnología [21].

Hardware.- comprende la fabricación tarjetas electrónicas, circuitos impresos o PCB, componentes electrónicos y accesorios. Sus funciones son entre otras: obedecer las órdenes del firmware, censar, monitorear y almacenar información, transmitir las señales eléctricas para las comunicaciones con otros dispositivos, etc.

Firmware.- lo forman las instrucciones o programas de muy bajo nivel que por lo general están en los microprocesadores, micro controladores o sistemas embebidos de arquitecturas de 8, 16 y 32 bits, a los que el usuario común no puede acceder ni alterar, además se encarga de obedecer las órdenes del software, tomar decisiones de prioridad de acuerdo a las jerarquías que se hayan programado para dar órdenes al hardware, enviar la información censada por el hardware al software de manera que éste la puede reconocer e interpretar del mismo modo, también se encarga de llevar y/o traducir las órdenes del software al hardware, etc.

Software.- comprende los programas residentes en dispositivos tales como computadoras, teléfonos inteligentes, tablets, etc. Es el que muestra la interfaz de usuario, lleva a cabo las tareas de procesamiento macro como por ejemplo analizar la información y tomar decisiones, controlar procesos, actualizar protocolos, etc. Dependiendo del producto, muchos dispositivos electrónicos pueden constar solamente de hardware o hardware y firmware únicamente. Es factible también encontrar diseños electrónicos donde el firmware es el encargado de la interfaz de usuario. Un [PLC](#), por ejemplo es un dispositivo electrónico que consta de hardware y firmware, muchos [PLC's](#) poseen una pantalla para interactuar con un usuario o tienen el puerto/conexión para ser conectados a una pantalla u otros periféricos [21]. El diseño electrónico se expone a través de los siguientes aspectos: análisis funcional, módulos conceptuales, cálculo y dimensionamiento, planos de detalle.

2.3.1. Análisis funcional

El componente eléctrico y electrónico incorporado al equipo es el resultado de una secuencia de etapas y procesos que dan como resultado la recolección de datos de medida de desplazamiento lateral en términos eléctricos y electrónicos. Las etapas de diseño electrónico del equipo han sido expuestas mediante el uso de diagramas de bloques, en el que cada bloque representa una función global específica y luego una descripción pormenorizada de la manera de lograr esta función.

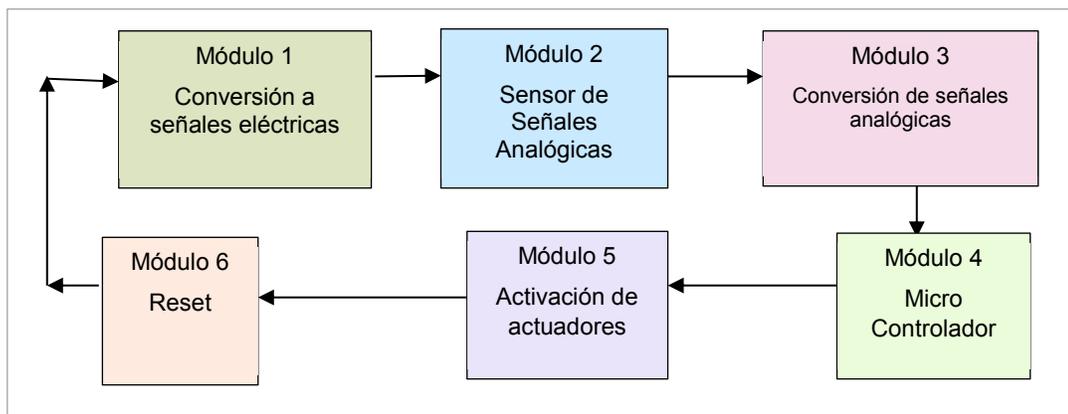


Figura 2.29. Módulos secuenciales que cumple el monitoreo electrónico.
Fuente: Propia

Cabe señalar que en el módulo 5 de la figura 2.29, también están comprendidas las pantallas digitales, pues estas también califican como elementos actuadores [15]. En cuanto al módulo 6 de esta misma figura, se considera que tiene la opción de apagarse y encenderse, como un interruptor normal. Cuando se oprime el pulsador de arranque luego de haber presionado el pulsador de reseteo, comienza de nuevo otro proceso de medición, que en nuestro equipo son independientes entre sí. Debido a ésta característica se dice que el sistema de control es de laso abierto, ya no toma en cuenta realimentación alguna, para la siguiente medición.

2.3.2. Análisis conceptual.

Se describe el funcionamiento de cada uno de los módulos conceptuales de la figura 2.29, se exponen sus ventajas y desventajas de aplicación. Estos siguen una secuencia lógica en la organización y procesamiento de la información, la cual está en concordancia con el funcionamiento integral del equipo.

2.3.2.1. Módulos conceptuales

Módulo 1.- Conversión a señales eléctricas

Descripción

El desplazamiento lateral de la plataforma superior del equipo, expresado en metros de desplazamiento lateral por cada mil metros de avance del vehículo, cuyos valores máximos aceptables son de hasta ± 6.99 [m] de desplazamiento lateral por cada 1000m de avance del vehículo, lo cual en términos angulares, representa menos de un grado de desviación de la línea central de la llanta respecto a la línea de avance del vehículo. El valor de medido de estas magnitud física es pequeño y por ello demandan la aplicación de técnicas especiales de medición. Se requiere de un conjunto numeroso de mediciones realizadas en pequeños intervalos de tiempo por ej. $\Delta t \approx \frac{1}{100}$ [s], en estas circunstancias las mediciones presenciales no son recomendables, en cambio las mediciones eléctricas se pueden operar en pequeños intervalos de tiempo a una gran velocidad. Situación que nos direcciona hacia la programación de un micro controlador, cuya característica reside en el procesamiento veloz de un conjunto de datos o mediciones.

Ventajas

Es de recalcar que los sistemas electrónicos pueden trabajar a grandes velocidades y se puede obtener un conjunto de elevado número de mediciones en muy pequeños intervalos de tiempo, de modo que, la velocidad con la que se procesa y viaja la información es vital en nuestro caso.

Desventajas

Ya que en electrónica es común trabajar con diferencias de potencial eléctrico bajas para alimentación de los circuitos, además de pequeños valores de corriente circulante, estos circuitos pueden verse interferidos por fenómenos eléctricos ajenos, por ejemplo rayos, funcionamiento cercano de aparatos eléctricos potentes, radiación de microondas, interferencia atmosférica, estática eléctrica del entorno, etc.

Módulo 2.- Sensor de señales analógicas

Descripción

La manera más sencilla de entender un sensor es por su función, éstos convierten la magnitud de un observable físico, también denominada magnitud de una cantidad física,

en una señal eléctrica como amplitud de voltaje, en la tabla adjunta se mencionan algunos ejemplos de sensores que transforman la magnitud de un observable en potencial eléctrico expresado en voltios.

Tabla 2.2. Conversión de magnitud física a valores de voltaje por medio de sensor.

Observable físico	Magnitud del observable	Conversión por ej.	Nombre sensor
Temperatura	30°C	0.7 voltios	Termistor
Energía Radiante	7 lux	0.2 voltios	Foto resistencia
Longitud	2 mm	0.4 voltios	De desplazamiento

Fuente: Propia

Existe a veces una diferencia entre sensor y transductor, dándole a éste último la función de convertir una clase de energía en otra. Cuando los sensores y transductores cumplen conversiones indirectas algo complejas, la diferencia conceptual entre sensor y transductor es muy débil, y por tanto son generalmente identificables.

En este trabajo enfocamos nuestra atención al sensor de desplazamiento longitudinal, para ello, es indispensable relacionar el desplazamiento mecánico expresado en metros, con diferencias de potencial eléctrico que se expresa en voltios. El desarrollo formal se exployo en el cap. 2, sección 2.1.

Ventajas

Para lograr medir el desplazamiento longitudinal resulta conveniente el uso de una pista de resistencia eléctrica, con la propiedad de tener igual resistencia eléctrica por unidad de longitud, es decir una pista resistiva con densidad lineal de resistencia eléctrica de valor constante, a los elementos con estas propiedades se les denomina transductores o potenciómetros lineales. El desplazamiento por la pista resistiva es consolidado con el desplazamiento que se desea medir, así un desplazamiento longitudinal del objeto a medirse, está asociado a un desplazamiento en el que la resistencia eléctrica cambia en forma simultánea, entonces por la ley de Ohm puede obtenerse medidas de voltaje asociadas a las medidas de desplazamiento.

Desventajas

Las propiedades ideales de los elementos resistivos lineales, divergen de los elementos resistivos reales encontrados en el mercado nacional. La linealidad solo está presente en un intervalo longitudinal de aproximadamente el 60% del desplazamiento total del

elemento, este problema conlleva a la aplicación técnicas adecuadas para restringir el movimiento, solamente en el intervalo de linealidad real. Se deben hacer correcciones a las funciones ideales encontradas.

Módulo 3.- Conversión de señales analógicas a digitales

Descripción

Este proceso universal de comunicación entre dispositivos electrónicos o también llamado protocolo de comunicación fue descrito con algún detalle en la sección 2.2

Ventajas

- Las señales digitales son menos sensibles al ruido electromagnético frente a las señales analógicas
- Para transmitir señales digitales se requiere de poca potencia ya que los valores de voltaje máximo por pulso son de un voltio.
- Una señal digital es fácilmente re construible y no se pierde información ni calidad.
- Una señal digital más fácilmente almacenable que una señal analógica.
- Las señales digitales son más sencillas de medir y evaluar frente a las analógicas.

Desventajas

- Para transmitir la señal digital se requiere mayor ancho de banda que para transmitir señales analógicas.
- Para transmitir una señal digital, primero debe codificarse al sistema binario la señal analógica y posteriormente el receptor deberá decodificar de nuevo para obtener la señal analógica primitiva.[15]

Módulo 4.- Micro controlador

Descripción

El microprocesador del micro controlador solamente trabaja con señales eléctricas digitales normalizadas, no acepta señales de entrada de tipo analógico, éstas primero deben ser convertidas en señales digitales [15]. Es la unidad central de procesamiento UCP, cuya función es el procesamiento de datos, interpreta las instrucciones y el tren de datos que permite ejecutarlas. El microprocesador es un sistema abierto porque su configuración es variable de acuerdo a la aplicación que se le quiera dar.

Un micro controlador es un sistema electrónico muy elaborado, compuesto por varias unidades tales como: Interfaces de entrada, interfaces de salida para actuadores, microprocesador, memoria RAM, memoria ROM. Para su funcionamiento, requiere de

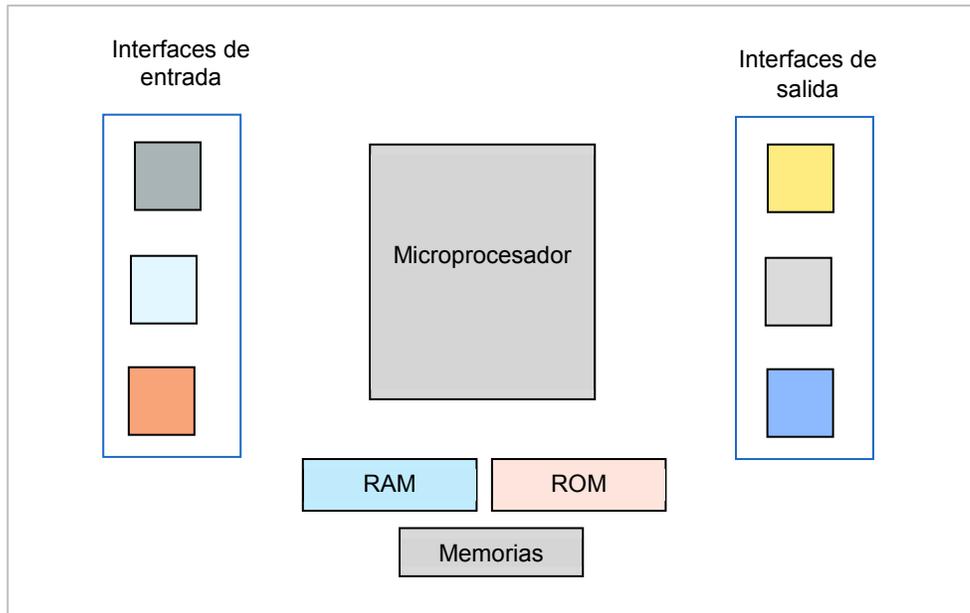


Figura 2.30. Esquema de las partes de un micro controlador.
Fuente: micro controladores [14]

dos elementos externos: una fuente de poder y un oscilador de cristal que actúa como un patrón de frecuencia electrónica. En la figura 2.30, se ilustra gráficamente las partes y unidades principales de un micro controlador, cada una de éstas tiene las respectivas conexiones con la unidad central del micro controlador que es su microprocesador, este complejo elemento electrónico, admite y responde con señales e información codificadas en el sistema binario.

Los micros controladores tienen tres conjuntos de pines, terminales o conectores, denominados: adress bus, data bus y control bus.

Adress bus.

Simbolizado por A/B que significa bus de direcciones. Este conjunto de pines se conecta codificadamente en lenguaje binario con: las interfaces de entrada y salida, con las memorias ROM y RAM. Selecciona el dispositivo con el cual quiere trabajar. Normalmente estos pines vienen especificados con los nombres: A_1, A_2, \dots, A_9 .

Data bus

Simbolizado por D/B y significa bus de datos. Este conjunto de pines se conecta codificadamente en lenguaje binario con: las interfaces de entrada y salida, con las memorias ROM y RAM. Con el objeto de mover los datos entre los dispositivos del hardware, enviar y recibir información para el trabajo del micro controlador propiamente dicho. Normalmente estos pines vienen especificados con los nombres: B_1, B, \dots, B_9 .

Control bus

Simbolizado por C/B y significa bus de control. Este conjunto de pines se conecta codificadamente en lenguaje binario con: las interfaces de entrada y salida, con las memorias ROM y RAM. Con el objeto de enviar y recibir información para el trabajo del micro controlador propiamente dicho. Gestiona los procesos de escritura, lectura y controla (administra) las operaciones de los diferentes dispositivos del sistema.

Ventajas

- Con una correcta programación permite con facilidad: controlar, programar, sincronizar con facilidad tareas eléctricas y electrónicas.
- No representa gran problema el grabar un chip, se requiere solamente un paquete de programación y una computadora.
- Existen disponibles varios software que nos ayudan a programar los micros controladores.
- Cada vez son más numerosas las aplicaciones tecnológicas a base de micros controladores.
- Microchip pone a la disposición gran variedad de micro controladores para distintos usos. Se debe definir: la cantidad de puertos que requiere, el número de entradas y salidas, si desea conversor analógico digital incluido, cantidad de memoria requerida, entre otros parámetros.

Desventajas

Se requiere de todo un conjunto de instrucciones para que un micro controlador realice una tarea en particular.

Los micros controladores aunque no son baratos tampoco son excesivamente costosos.

La poca experiencia en la programación de micros controladores se refleja en el echar a perder algunos micros controladores.

Módulo 5.- Activación de actuadores

Descripción

Recordemos que los sensores son dispositivos que detectan magnitudes de observables físicos o químicos como por ejemplo: magnitudes de temperatura, presión, fuerza, movimiento humedad, PH, y las transforman en señales eléctricas, mediante el uso de: resistencia, corriente, voltaje, capacitancia. Los sensores se conectan al conjunto de entrada del micro controlador. En cambio los actuadores están conectados al conjunto de salida del micro controlador y se activan al recibir la orden del micro controlador, mediante señal eléctrica, neumática o hidráulica, como ejemplos de actuadores: motores, bombas, válvulas, impresoras, cámaras fotográficas y de vigilancia, teclados, pantallas LCD, Display's, etc. [15]

Ventajas

La activación de actuadores por micro controlador, no requiere la presencia física de la persona, pueden ser activados a distancia remota, desde cualquier sitio incluso con el apoyo de una red de internet.

Aunque la potencia de salida de un micro controlador es muy escasa, para activar actuadores de gran potencia, se requiere la acción de interruptores simples o compuestos para alta potencia, los que pueden ser activados electrónicamente.

Desventajas

Un daño en la programación del micro controlador, puede desencadenar verdadero caos por el encendido de varios actuadores de funciones diferentes que no pueden estar actuando a la vez.

Por otro lado un daño en la programación puede dejar inactivo un actuador cuya función es vital en proceso de funcionamiento de una máquina de o de un proceso de producción

Módulo 6.- Apagado y encendido

Descripción

Una vez que se obtiene el valor numérico de la desviación de convergencia, el cual es mostrado por un tiempo prudencial en la pantalla, se procede a apagar el equipo para evitar el gasto innecesario de sus elementos electrónicos, hasta realizar una nueva medición momento en el cual el equipo debe ser activado. No se descarta la posibilidad de trabajo continuo del equipo, en talleres con elevado tren de trabajo.

Ventajas

- Borra información ya registrada por el técnico para darle una nueva
- Alarga la vida útil del microprocesador y micro controlador.
- Evita un gasto innecesario de energía eléctrica.

Desventajas

- El display o monitor no muestra lecturas en el tiempo que permanece apagado.
- Debemos prender y apagar manualmente.

2.3.3. Análisis y diseño de detalle

En ésta sección se expone el análisis de detalle y el diseño que se requiere en el sistema electrónico del equipo, corresponde a la etapa 3 mostrada en la figura 2. La señal de salida del sensor de movimiento ingresa al micro controlador, ésta es acondicionada en una de las interfaces internas del micro controlador para enviarla a su micro procesador, éste recibe y procesa la información según sea su programación, con los resultados del procesamiento de la información, toma las acciones para activar los actuadores externos, no sin antes acondicionar la señal de salida en una de las interfaces de salida del micro controlador. El accionamiento de los actuadores externos son también dictados por la programación del micro controlador, en otras palabras, La recepción de la información desde el sensor y posterior procesamiento de ésta, así como la acción con los actuadores externos, son el resultado directo del programa con el que debe trabajar el micro controlador.[15]

2.3.3.1. Acondicionador de voltaje de entrada

Como los voltajes con los que se trabaja en electrónica y por tanto en el presente trabajo son pequeños, del orden de cualquier perturbación o fluctuación de voltaje en la red, el no tomar en cuenta este factor, nos afectaría sensiblemente el proceso de medición, aun si trabajamos con el voltaje de 5 voltios del puerto USB de un ordenador. Este criterio direccionó a diseñar y construir un regulador de precisión [18], para que el voltaje de entrada sea suficientemente estable, ver figura 2.31. Se utilizó un voltaje de entrada de 5 voltios provenientes del puerto USB del ordenador, se procedió a realizar un divisor de tensión mediante la resistencia variable RV1 de $10[K\Omega]$ y mediante el dispositivo electrónico de precisión U2TL-431 denominado Zener, se pudo obtener una fuente estable con un voltaje de referencia de 1.1 y con ella se alimentó nuestro sensor resistivo de movimiento. Especificado como RV2. En el diagrama adjunto.

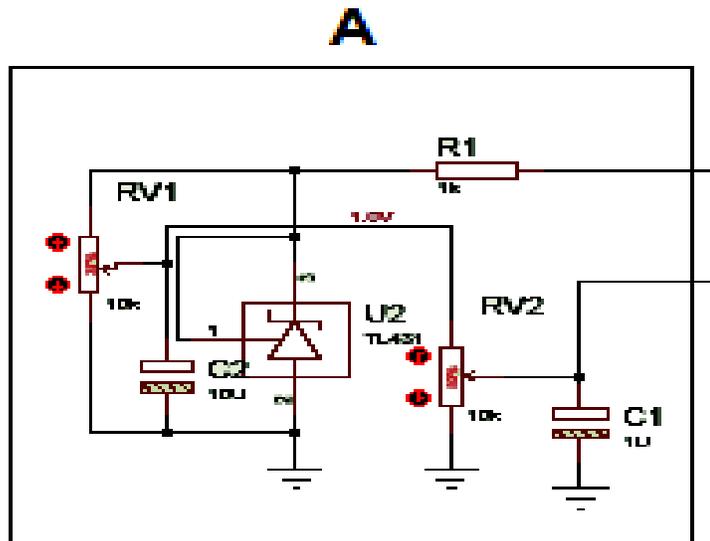


Figura 2.31. Diagrama para regulador de voltaje, de 1.1 voltios
Fuente: Propia

Los condensadores C1, C2, ayudan a mantener fijo el voltaje y adicionalmente filtran ruido de naturaleza eléctrica. La figura 2.32 muestra la construcción de la mini tarjeta electrónica correspondiente a este diagrama, en ella y en el centro de su parte delantera se observa el zener TL431, que nos permite obtener la regulación de voltaje para activar el sensor de desplazamiento lateral.

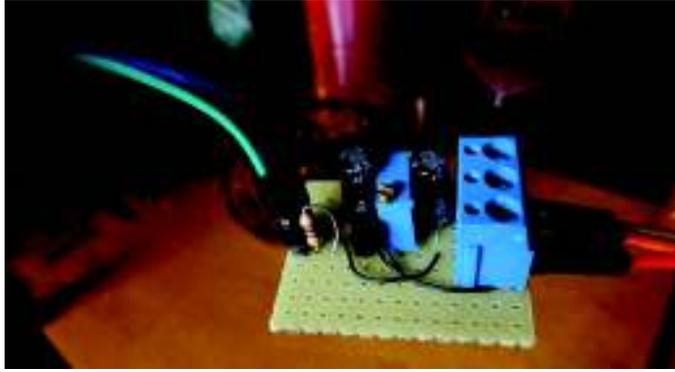


Figura 2.32. Regulador de voltaje de referencia de 1.1 voltios
Fuente: Propia

2.3.3.2. Conversión de señales analógicas a señales digitales.

A continuación se describe el proceso de conversión de una señal analógica a una señal digital, la comprensión de tal proceso es vital para el entendimiento y desarrollo de los procesos electrónicos. En la figura 2.33, se muestra una señal analógica expresada en voltios, que registra un sensor acoplado al movimiento de un objeto, cuando éste se ha movido desde $x = 0$, hasta $x = x_8$ milímetros.

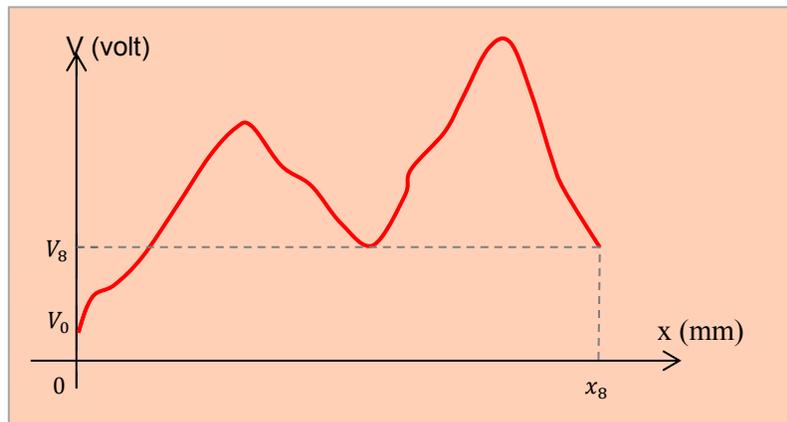


Figura 2.33. Gráfica del desplazamiento del sensor y su voltaje de salida.
Fuente: Propia

La señal analógica que sale del sensor es: continua, regular y en cuanto a su forma puede ser rectilínea o curvilínea. Lo continuo de la señal radica en que para cualquier valor de desplazamiento correspondiente a su dominio, existe un único valor de voltaje que le corresponde a tal desplazamiento. La curva de la figura 2.33, está formada por una infinidad de pares ordenados (x,v) . donde por ejemplo, las x representan desplazamientos

y las V representan los voltajes asociados a dichos desplazamientos. La curva mostrada se obtiene a partir un barrido continuo de desplazamiento y por ello el elevado número de parejas ordenadas o número de datos.[6]

El proceso de obtener la curva continua a partir de un conjunto discreto de datos se llama interpolación. Modernamente con la aplicación del office de Windows y en particular con el Excel, a partir de una tabla de datos de la variable dependiente en función de la variable independiente, se puede tener automáticamente la gráfica de la función que corresponde a los datos y su ecuación correspondiente. Para explicar el proceso de conversión de señal analógica a digital, se supone que ya se ha obtenido experimentalmente, el voltaje de salida del sensor como función del valor de su desplazamiento, en el intervalo de desplazamiento, por ejemplo $[0, x_8]$ mm, como se muestra en la figura 2.34. El proceso para convertir esta señal (función) analógica a señal digital, comienza realizando una partición regular del rango o dominio en el que se desea la transformación, en este caso por ejemplo, se realiza una partición del intervalo $[0, x_8]$ milímetros, en 8 partes iguales como se muestra en la figura 2.34.

Considere los puntos $x_0, x_1, x_2, \dots, x_8$, luego se forma intervalos regulares en dominio de la función: $\Delta x_1 = x_1 - x_0, \Delta x_2 = x_2 - x_1, \dots, \Delta x_8 = x_8 - x_7$. Nótese en la figura 2.34, que en cualquier intervalo, por ejemplo en $\Delta x_2 = x_2 - x_1$ se genera bajo la curva una “área” cuyo valor es A_2 . Los valores de estas “áreas” en cada uno de los intervalos generalmente son de distinto valor, aunque a veces pudieran coincidir.

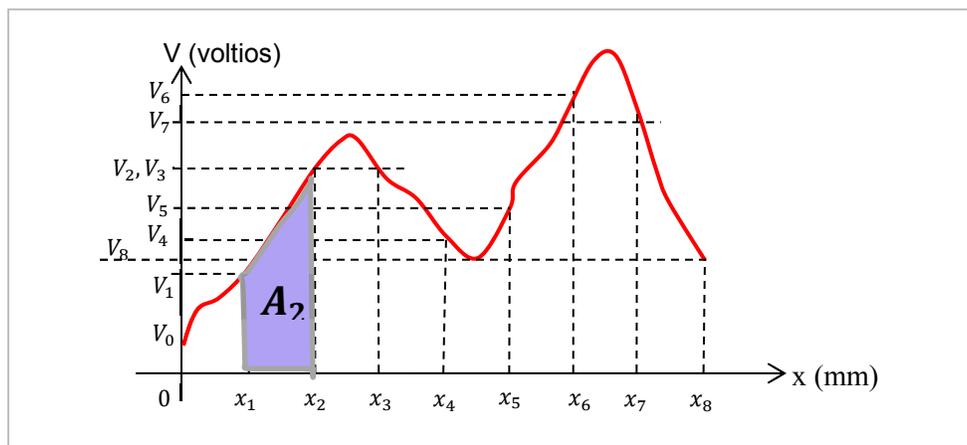


Figura 2.34. Partición regular del dominio de desplazamiento.
Fuente: Propia

Por propiedad matemática, existe un valor de voltaje promedio \bar{V}_2 comprendido entre los valores de voltaje V_1, V_2 , de modo que $A_2 = \bar{V}_2 \Delta x_2$ con lo que el “área” A_2 de la figura 2.34, queda representada o convertida en un rectángulo perfecto, cuya base es Δx_2 con una altura igual a \bar{V}_2 . Realizando lo mismo en cada uno de los intervalos de desplazamiento Δx_i con $i = 1, \dots, 8$, resulta que el “área” total bajo la curva queda representada totalmente por la suma de las áreas parciales: A_1, A_2, \dots, A_8 como se muestra en la figura 2.34. Por otro lado en la figura 2.35, puede notarse que, partes de las superficies de cada rectángulo de área A , sobresalen sobre la gráfica, sin embargo, estas porciones salientes compensan las porciones faltantes bajo la gráfica y completan con mucha aproximación el área total bajo la misma. Cuando la partición es suficientemente numerosa la diferencia entre el área bajo la curva y la suma de las áreas de la totalidad de rectángulos de la partición, tiende a cero. En esta idea radica el andamiaje para idear el proceso de integración definida en un intervalo específico del dominio de la función que se considere.[6]

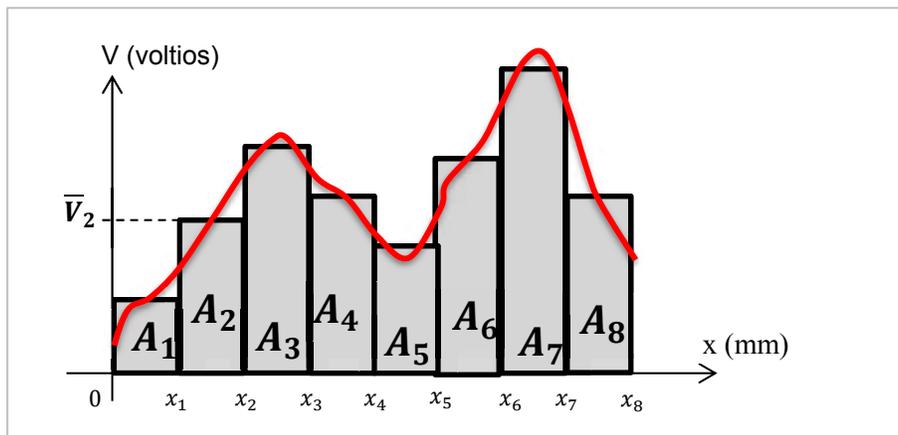


Figura 2.35. Histograma del voltaje de salida en función del desplazamiento.
Fuente: Propia

Una vez que la señal analógica ha sido convertida en este conjunto de bloques rectangulares, se dice que la señal ha sido convertida en señal digital. En la figura 2.35, los valores promedios de voltaje \bar{V}_i con $i = 1, \dots, 8$ pueden ser menores, iguales o mayores a la unidad, por esta razón se dice que estas señales digitales aún no están normalizadas, para normalizarse debe cumplirse o transformarse de acuerdo al siguiente proceso, ver figura 2.36.

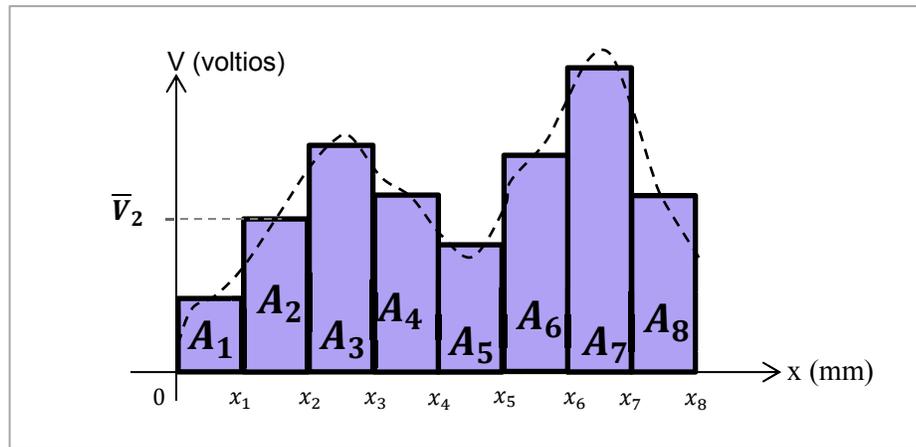


Figura 2.36. Histograma prevalece ante la señal analógica.
Fuente: Propia

Cambiando el *eje.x* de desplazamiento por un eje temporal *eje.t*, en este nuevo sistema voltaje-tiempo, cada uno de los 8 bloques de nuestro ejemplo, se asigna igual base pero ahora temporal $\Delta t_1 = t_1 - t_0, \Delta t_2 = t_2 - t_1, \dots, \Delta t_8 = t_8 - t_7$, así los intervalos de tiempo son de igual valor $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \dots = \Delta t_8$. Por otro lado, a cada uno de los 8 bloques de nuestro ejemplo se asigna una altura de voltaje igual a 1 voltio, y dado que la altura de cada bloque es diferente de la unidad se opta por un ingenioso arreglo, la altura de cada rectángulo de altura 1 voltio, mientras que su ancho se lo hace mayor cuanto mayor sea la altura del bloque en la figura 2.36, así todos los rectángulos son de altura 1 y el ancho de cada uno de ellos es proporcional a su verdadera altura, como se muestra en la figura 2.37.

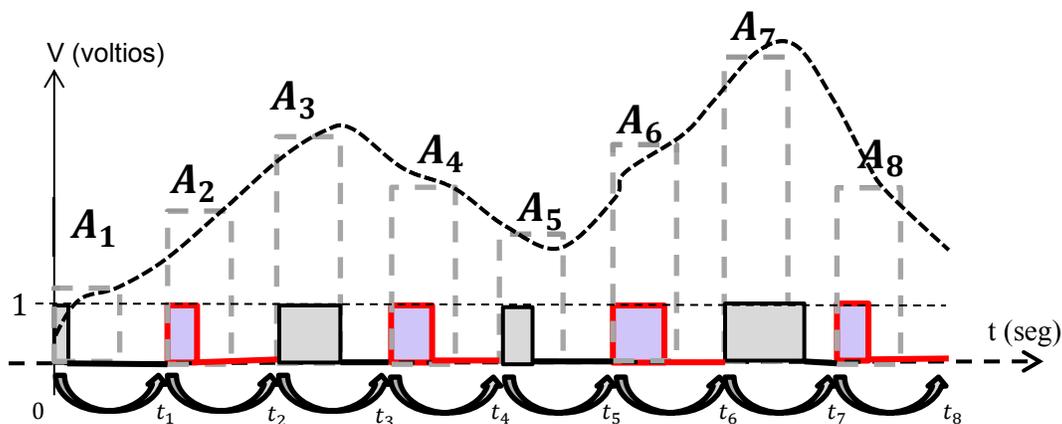


Figura 2.37. Conversión del valor de voltaje a ancho relativo por período.
Fuente: Propia

Las longitudes de cada uno de los 8 intervalos de tiempo son iguales [6]. Cada uno de los 8 bloques han sido representados por pulsos que duran iguales intervalos de tiempo, todos los pulsos tienen una misma amplitud, que comienza en $V = 0$ [volt] y termina en $V = 1$ [volt]. La altura de cada bloque es proporcional al ancho relativo de cada pulso respecto al ancho del ciclo. Es importante comprender como se almacena la información de voltaje (altura) de cada uno de los 8 bloques de la señal analógica, esta altura o amplitud de voltaje esta guardada y codificada en el intervalo de tiempo que demora cada uno de los ciclos. Suponiendo por ejemplo, que las alturas de cada uno de los ocho bloques en que hemos particionado la señal analógica son: $A_1 = 1$ [V], $A_2 = 3$ [V], $A_3 = 5$ [V], $A_4 = 4$ [V], $A_5 = 2$ [V], $A_6 = 5$ [V], $A_7 = 7$ [V], $A_8 = 4$ [V]. Las alturas o amplitudes de voltajes de cada uno de los ocho bloques son codificados en el sistema binario. Cuando la señal analógica ha pasado por estos procesos de reacondicionamiento, se dice que se ha obtenido la señal digital normalizada correspondiente. El proceso descrito para obtener las señales digitales se llama conversión análoga digital por ancho de pulso.[6]

Tabla 2.3. Conversión de valores de voltaje del sistema decimal a sistema binario.

Bloque o muestreo	Amplitud de voltaje (Sist. Decimal [V])	Amplitud de voltaje (Sist. Binario [V])
A_1	1	0 0 1
A_2	3	0 1 1
A_3	5	1 0 1
A_4	4	1 0 0
A_5	2	0 1 0
A_6	5	1 0 1
A_7	7	1 1 1
A_8	4	1 0 0

Fuente: Propia

En la tabla 2.1, muestra la amplitud de voltaje de cada uno de los rectángulos de la partición del dominio y sus valores equivalentes expresados en el sistema binario, éste es el lenguaje de comunicación de las máquinas electrónicas, denominado lenguaje de máquina, en esta presentación se realiza toda programación, en nuestro caso, con nuestras variables eléctricas conocidas o calculadas. [15]

2.3.3.3. Micro controlador

El micro controlador escogido para el desarrollo del presente trabajo particular, es el fabricado por la empresa ATMEL. El código de este elemento electrónico es ATMEGA 328P-PU, y su imagen es mostrada en la figura 2.38. En ella se puede observar que éste elemento es de 28 pines, 14 de ellos en cada lado. 10 de los pines son para entrada de datos, dando la posibilidad que datos puedan ser acomodados en un número de bits dado por $2^{10} = 1024$ [bit], consecuentemente a cada valor de voltaje es posible dividirlo en 1024 fracciones, lo se entiende como buena definición de lectura de la amplitud de voltaje. La función que relaciona las variables desplazamiento y la amplitud de voltaje respectiva, deben programarse en el micro controlador. En este trabajo se ha usado los lenguajes de programación: Visual Basic, Bascom. Algunos de sus comandos son similares a los del lenguaje C de programación.



Figura 2.38. Micro controlador ATMEGA 328P-PU
Fuente: www.atmel.com

El micro controlador actúa desde el inicio del procesamiento eléctrico de la señal, se encarga de extraer un tren de datos del conjunto de señales que salen del sensor, que constituye el conjunto de datos del proceso de medición. Se encarga de guardar estos datos y asumirlos como constantes o variables según sea la programación del micro controlador, el procesamiento de datos es realizado mediante las operaciones matemáticas, y juicios de valor, haciendo uso de las librerías de funciones ejecutables disponibles en los distintos lenguajes de programación de micro controladores, se encarga del cálculo del valor particular de la variable, usando para ello la función de transferencia, dependiendo del conjunto de valores obtenidos para las variables, el micro controlador toma acciones con su entorno compatible.



Figura 2.39. Tarjeta ARDUINO 1, con micro controlador
Fuente: www.arduino.com [20]

Una vez calculadas las variables dinámicas y comparadas con un valor particular previamente programado, el micro controlador se encarga de activar los actuadores externos por el tiempo requerido, un caso particular de actuador es la pantalla donde puede mostrar los resultados del proceso de medición.[23].

La tarjeta de la figura 2.39. Acondiciona tanto las señales que entran al micro controlador, como también aquellas que salen de el, las señales de salida entran a otra tarjeta que la misma firma ofrece en forma compacta, adquirible en cualquier tienda electrónica, entonces no sin antes una programación los resultados del diagnóstico pueden ser mostrados en un sistema electrónico de pantalla digital, ya sea display o monitor de un ordenador corriente.[20]

2.3.3.3.1. Diagrama de flujo del programa para el micro controlador.

El diseño del software que irá grabado en el micro controlador, tiene en cuenta: el criterio mecánico, el criterio de los fenómenos físicos involucrados, el planteo del modelo físico de la alineación de convergencia, el criterio de manejo de los lenguajes de programación para micro controladores, entre ellos: Bascom, Visual Basic. El programa o Paquete Bascom se usó para la programación del micro controlador, existiendo algunas alternativas como: Arduino, lenguaje C, Asembler, mientras que para la visualización de datos se usó el programa o lenguaje Visual Basic versión 6.0. Independientemente del lenguaje de programación utilizado, el diagrama de flujo es consistente con cualquier

lenguaje usado. El mismo que expone la secuencia ordenada de razonamientos lógicos para construir el respectivo programa para el micro controlador.

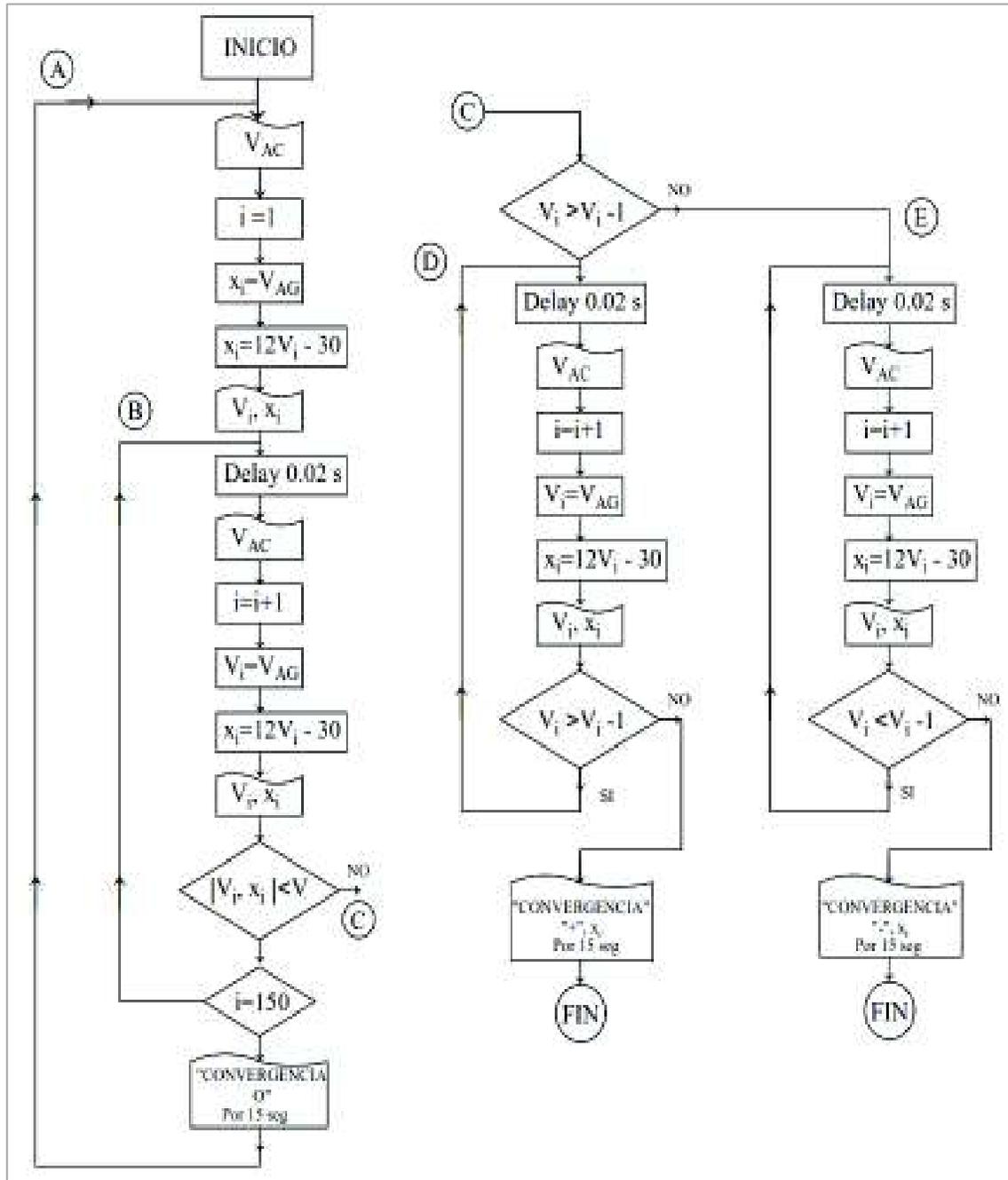


Figura 2.40. Diagrama de flujo para el micro controlador
Fuente: Propia

Cuando se diseña un producto por completo, éste no solo concierne a los diseñadores electrónicos, se involucran también: diseñadores industriales, diseñadores mecánicos, diseñadores gráficos, ingenieros de software y web, ingenieros eléctricos, físicos, químicos, etc. dependiendo de la naturaleza del proyecto y producto.[6]

2.3.4. Visualización de resultados

La salida de datos o resultados deben mostrarse en un tablero electrónico, en LCD, o en un monitor cualquiera. Para este trabajo se escogió en primera instancia una pantalla LCD que viene incorporada en la tarjeta electrónica denominada LCD keypad shield. Una tarjeta versátil que muestra en su pantalla LCD la información programada en el micro controlador. Esta tarjeta se muestra en la figura 2.41. [22]



Figura 2.41. Tarjeta LCD keypad shield.
Fuente: www.arduino.com

2.3.5. Planos de Detalle del sistema electrónico

En el circuito electrónico completo para el sensor de movimiento pueden distinguirse claramente las etapas A, B, C, donde la etapa A es la de acondicionamiento para voltaje de referencia o de entrada al micro controlador. La señal de nuestro sensor de movimiento RV2 entra al micro controlador por el conector lateral inferior [23]. En la etapa B, el micro controlador previamente programado opera con la señal de entrada indicada y arroja los resultados correspondientes.

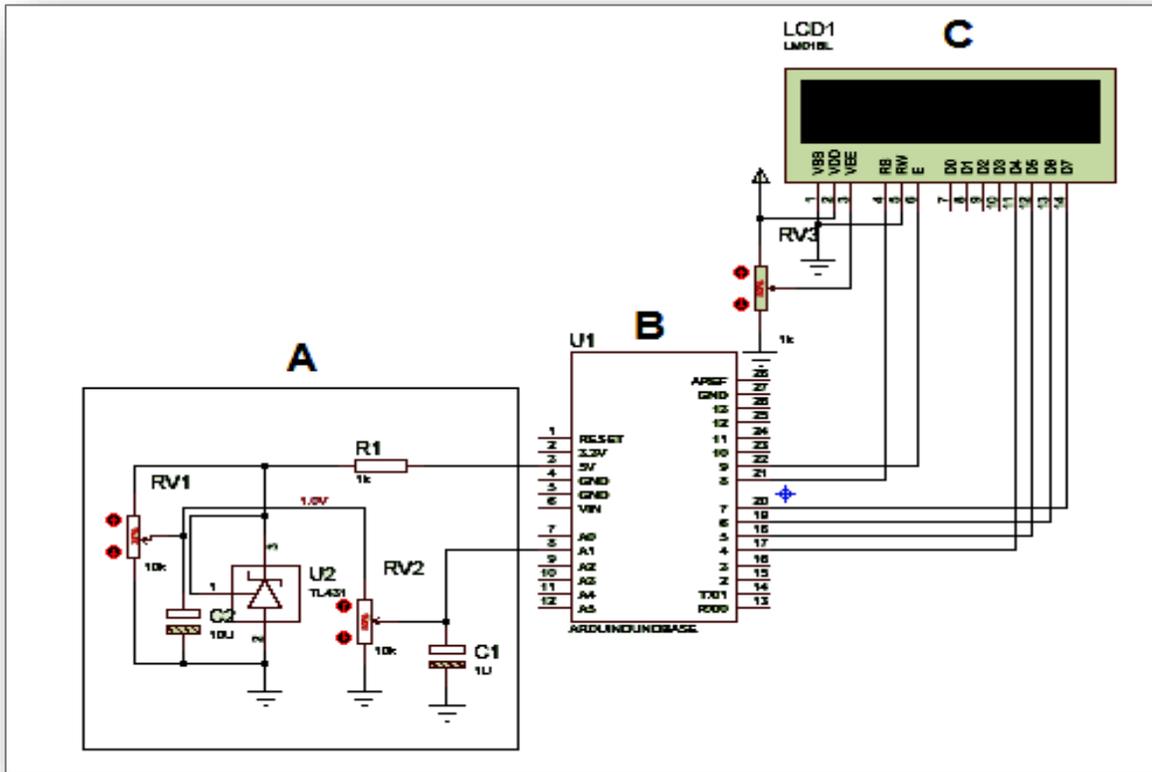


Figura 2.42. Diseño electrónico para sensor de movimiento
Fuente: Propia

En la etapa C los resultados son mostrados en la pantalla LCD. Con todas las características indicadas en la programación del micro.

3 CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

En este capítulo se describe el proceso de construcción de las diferentes secciones o etapas del equipo, en base a la descripción de la figura 3.1, donde constan sus etapas de primer orden: mecánica, eléctrica, electrónica. La ejecución del equipo, requiere de la fabricación y ensamblaje de sus etapas y de la correcta interacción entre las mismas.

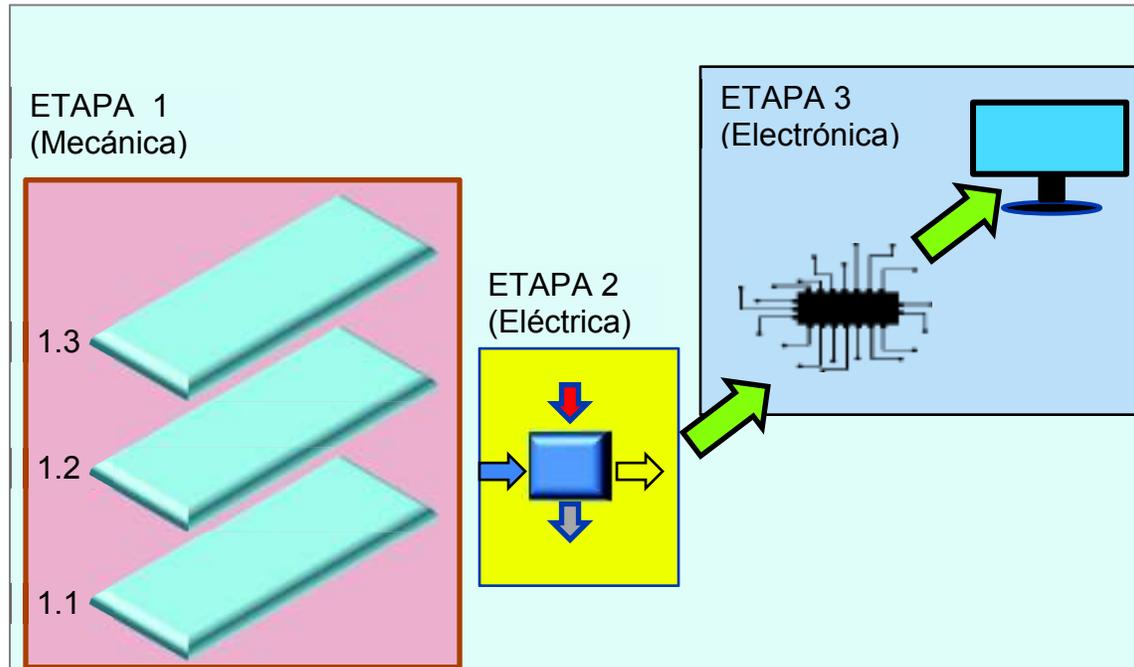


Figura 3.1. Construcción del equipo por etapas: Mecánica, Eléctrica, Electrónica
Fuente: Propia

3.1 Construcción Mecánica

La construcción mecánica del equipo, denominada etapa 1, comprende la construcción de tres secciones, clasificadas de acuerdo a su posición relativa: sección inferior 1.1, sección media 1.2 y sección superior 1.3. En la figura 3.1, se observan las secciones citadas. La construcción de elementos y piezas de cada una de las secciones mecánicas, requiere distintos tipos de acero. Se ha tomado en cuenta la Clasificación de Aceros según las Normas SAE, expuestas en el Anexo A

3.1.1. Construcción mecánica sección 1.1

La sección 1.1 de la etapa mecánica del equipo, también denominada sección inferior, como se puede ver en la figura 3.2, está compuesta de algunos elementos:

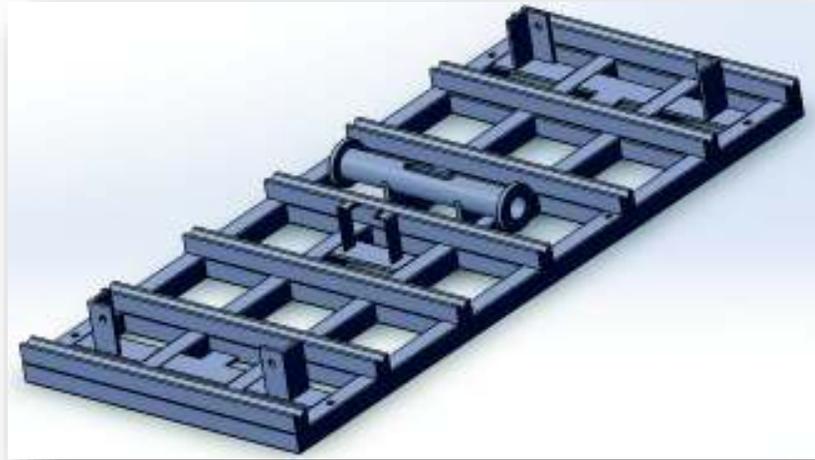


Figura 3.2. Sección mecánica inferior 1.1
Fuente: Propia

Estructura sostén o base inferior, rieles para rodamientos, mecanismo de vaivén, encerador mecánico, pilares de apoyo antifricción, porta sensor, soportes para anclaje. A continuación se expondrá la construcción de cada uno de los elementos que la constituyen

3.1.1.1. Estructura Base o de Soporte Inferior

Descripción

La base de soporte inferior es el elemento donde descansan un peso máximo de 1000 [Kg], que resulta de la cuarta parte del peso del vehículo más pesado para diagnosticar con el equipo, correspondiente a 3 [Ton]. Mas el 15% de excedente de peso de su eje delantero y adicionalmente 100 [Kg] de peso de elementos propios.

Especificaciones

La base inferior es una estructura, compuesta, no móvil, la cual se recomienda baya fijada al piso. Es de alta consistencia mecánica, y diseñada para que soporte elevados esfuerzos verticales de manera uniforme. Esta base fue construida con tubo acero A-36 cuadrado de 30 [mm] de lado, de 2 [mm] de espesor. La longitud total efectiva de tubo utilizada en su construcción fue de 7663 [mm]. Su geometría es rectangular, con cuadrículas de igual área en toda su superficie, para una distribución uniforme del peso que soporta, Las dimensiones de este elemento de sostén son: 980 [mm] de longitud, 550 [mm] de ancho y 30 [mm] de espesor. La soldadura de sus 21 segmentos: 4 largueros, 2 transversales y 15 segmentos internos de 143.5 [mm], fue realizada con

soldadura MIG, cuyo electrodo, es alambre de 0.8 [mm] de diámetro, en presencia de gas inerte dióxido de carbono CO_2 .

La construcción mecánica de elementos y piezas del equipo, requiere la ejecución de Planos de Detalle, se ha considerado 9 planos de detalle y han sido agrupados en el Anexo B. Los diferentes planos de este grupo son referidos como: B-1, B-2, B-3, etc. El plano de detalle del elemento diseñado de la figura 3.3 se encuentra en el Anexo B-1 “Soporte inferior”.

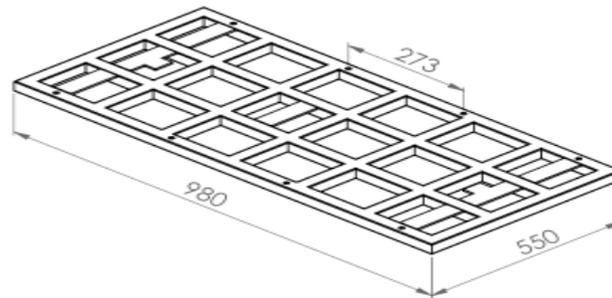


Figura 3.3. Diagrama para estructura de sostén, sección inferior
Fuente: Propia

El diagrama de la figura 3.3, muestra la forma rectangular de base y sus dimensiones, con divisiones regulares internas, que le dan espacios para poder anclar diferentes elementos propios del equipo. La construcción de esta estructura de sostén, se muestra en la figura 3.4. En ella se observan consolidados los distintos apoyos para elementos propios del sistema y el cuerpo central del mecanismo de vaivén.



Figura 3.4. Base inferior del equipo
Fuente: Propia

3.1.1.2. Barras para deslizamiento de rodamientos

Descripción

Las barras de deslizamiento, son siete parejas que sirven de guía longitudinal a las esferas de rodamiento y por otra parte soportan el peso de equipo que descansa sobre ellas más la cuarta parte del peso del vehículo que se desplaza sobre la plataforma superior. Esta base soporta un peso menor que el soportado por la base inferior.

Especificaciones

Las 14 barras de deslizamiento rectilíneo transversal, constituyen piezas vitales del equipo. Siete de ellas descansan sobre la base inferior fija a tierra, distribuidas en forma paralela y equidistantes perpendicularmente a la dirección de avance del vehículo, cada una de las 7 restantes se acoplan sobre las barras inferiores, separadas por las esferas de rodamiento, las cuales se espera soporten uniformemente los esfuerzos verticales.

El conjunto de 7 rieles inferiores soportan un peso máximo de: 57 [Kg] de equipo más 1000 [Kg] de peso exterior, mientras que el conjunto de 7 rieles superiores soportan un peso máximo: 88 [Kg] de equipo más 1000 [Kg] de peso exterior.

La diferencia de peso total que soportan las barras para riel superior respecto las barras para riel inferior no es tan significativa

$$\frac{1088-1057}{1088} * 100 = 2.84\%$$

El conjunto de barras para rieles tanto superiores como inferiores, fueron construidas con barras macizas de acero de AISI 1060 cuya sección transversal es cuadrada de 25 [mm] de lado. Las barras superiores fueron diseñadas de 500 [mm] de longitud, mientras que las barras inferiores fueron diseñadas de 550 [mm] de longitud, debido a que las superiores pueden moverse un máximo de 25 [mm] a cada lado de la posición central de equilibrio. En cada barra cuya forma es de prisma cuadrado, se ha practicado un canal recto en toda su longitud en forma de "V" en cuyo vértice tiene una medida angular de 90°. Este canal ha sido ejecutado mediante fresadora. Su función es alojar y abrazar a las esferas de rodamiento de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro, las cuales se deslizan a lo largo del canal. La soldadura fue realizada con soldadura MIG, cuyo electrodo, es alambre de 0.8 [mm] de diámetro, en presencia de gas inerte dióxido de carbono CO_2 . La fuerza

perpendicular a cada cara del canal es de 15.81 [Kg] kilogramos fuerza, con una distribución homogénea de la carga.

Las barras superiores y las barras inferiores separan las partes superior e inferior del equipo. La distancia entre las plataformas superior e inferior, es impuesta en función del diámetro de las esferas de rodamiento alojadas en ellas.

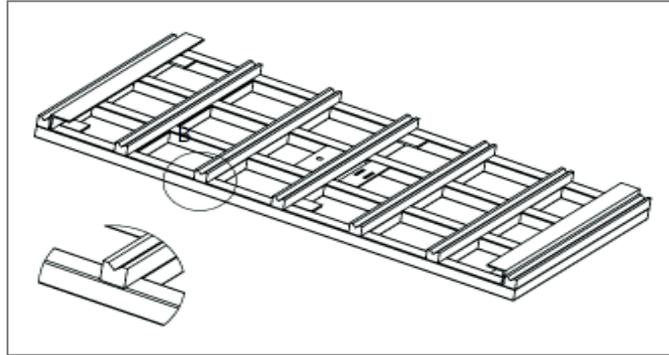


Figura 3.5. Diagrama para guías antifricción
Fuente: Propia

En la figura 3.5. Se muestra la disposición de las guías acanaladas en donde se alojan las esferas de rodamiento y conforman el elemento antifricción del equipo.

Para mayor detalle del elemento diseñado dirigirse al Anexo B-2 , donde se encuentra el plano “Disposición Barras de desplazamiento”.

La construcción de las guías para alojamiento de esferas de rodamiento se las realizó en barras de acero A-60 y se ilustra en la figura siguiente.



Figura 3.6. Barra de deslizamiento
Fuente: Propia

En la figura 3.6, se puede observar una de las 14 barras de deslizamiento, cada una de ellas con un canal maquinado en fresadora. Estos elementos funcionan en parejas y abrazan las esferas de rodamiento.

3.1.1.3. Mecanismo de vaivén

Descripción

El efecto de desalineación de convergencia es el desplazamiento lateral de la plataforma, en dirección perpendicular a la dirección de avance del vehículo. Luego de este desplazamiento a partir de su posición de equilibrio, el mecanismo de vaivén logra que la plataforma regrese a su posición central de equilibrio mediante fuerza elástica, propiciando un movimiento oscilatorio amortiguado en torno a este punto. Este elemento trabaja mediante fuerza elástica mientras la plataforma se desplaza lateralmente.

Especificaciones

Tiene forma cilíndrica alargada cuya longitud total es 300[mm], con un diámetro de 42[mm] y su pared lateral tiene un espesor de 3.5[mm]. En cada uno de sus extremos longitudinales posee 2 bridas, una de ellas soldadas a su cuerpo tubular y la otra brida hace de tapa que se sujeta a la primera mediante tres tornillos cuyo diámetro es 6.35[mm] equivalente a $\frac{1}{4}$ de pulgada.

En el interior del mecanismo se alojan 5 elementos distribuidos longitudinalmente: una masa central maciza, cilíndrica, cuyo material es bronce, de 70[mm] de longitud y 35[mm] de diámetro, 2 resortes de forma helicoidal de 110[mm] de longitud y 31[mm] de diámetro, 2 bocines de bronce, uno en cada extremo del cuerpo central. La masa central de bronce se mueve longitudinalmente en el interior del tubo, al que se le comunica el movimiento de la plataforma superior mediante un perno sujeto a la parte superior móvil del equipo, el cual se introduce en el agujero frezado, ubicado a la mitad de su longitud.

El movimiento del cilindro de bronce en el interior es rectilíneo, a lo largo de la línea central, paralela a esta línea se ha construido una ranura longitudinal de 80[mm] y cuyo ancho es de 13[mm]. Este movimiento es comunicado al sistema de resortes internos, los que a su vez cuando termina el movimiento de la sección superior regresan a esta sección a su posición central de equilibrio. La tensión del par de resortes internos se calibran mediante una compresión de su longitud, mediante el avance de un tornillo longitudinal de 7.94[mm] de diámetro, ubicados en el eje central, en cada uno de los extremos del cuerpo cilíndrico.

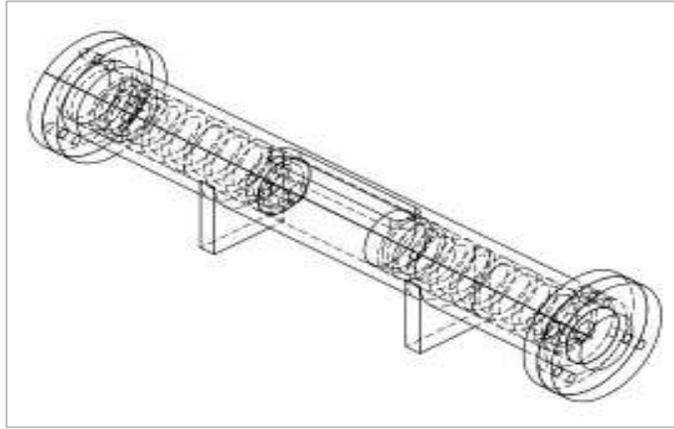


Figura 3.7. Diagrama para mecanismo de vaivén
Fuente: Propia

La figura 3.7, Muestra el diagrama para el mecanismo central de vaivén, anclado en la base inferior mediante dos pilares de apoyo, en su interior se ilustran dos resortes de acción simultánea, que permiten a la plataforma volver a su posición de equilibrio.

Para mayor detalle del elemento diseñado dirigirse al Anexo B-3, donde se encuentra el plano “Mecanismo central de Vaivén”.



Figura 3.8. Mecanismo central de vaivén construido
Fuente: Propia

En la figura 3.8, se puede observar el mecanismo de vaivén con los elementos constitutivos internos. Este elemento tiene la función de desplazar a la plataforma superior y a su vez hacerla regresar a su posición central de equilibrio. Está compuesto de un cuerpo exterior tubular, de un sistema de doble resorte que permiten el movimiento de vaivén de la parte superior del equipo, hasta retorna a su posición de equilibrio.

3.1.1.4. Encerador mecánico

Descripción

Para que la plataforma superior regrese de manera precisa a su posición central de equilibrio luego de la acción del mecanismo de vaivén, se ha previsto el mecanismo denominado encerador mecánico, el cual funciona presionando una esfera de rodamiento de acero de alta dureza cuyo diámetro es de 25.4[mm] de pulgada sobre la pared lateral de la plataforma superior, en la cual se ha propiciado una perforación cónica que da cabida parcial a la esfera.

Especificaciones

El cuerpo del encerador mecánico es de forma cilíndrica con una longitud total de 100[mm] y pared lateral cuyo espesor es 3[mm]. Ha sido confeccionado con acero de transmisión de A -36. En uno de los extremos del encerador mecánico se ha previsto dos bridas, la una soldada coaxialmente al eje central del cilindro y la otra que se sujeta a la primera, mediante 3 tornillos cuyo diámetro es 4.8[mm] equivalente a $\frac{3}{16}$ de pulgada, en el interior se disponen longitudinalmente cuatro elementos: 2 guías cilíndricas de bronce, un resorte de forma helicoidal de 62[mm] de longitud y de 18.5[mm] de diámetro, y una esfera de rodamiento de 19.05[mm] de diámetro. La esfera es presionada contra la pared de la parte superior del equipo por la acción del resorte, el cual ejerce una fuerza sobre esta.

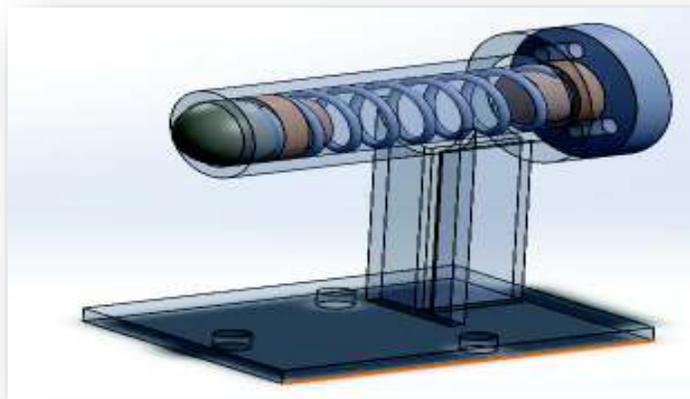


Figura 3.9. Diagrama para mecanismo encerador mecánico
Fuente: Propia

La magnitud de la fuerza con la que la esfera presiona la pared lateral de la sección superior, es regulada mediante compresión del resorte, lo cual se logra por el avance de un tornillo en forma coaxial al eje central del cilindro. Este mecanismo anclado en la sección inferior del equipo mediante 4 pernos, facilita su montaje y desmontaje. Su diagrama es ilustrado en figura 3.9. También sirve como un elemento adicional de seguridad, ya que impide desencajamiento brusco de la sección superior respecto a la sección inferior del equipo ya que su vástago cilíndrico horizontal traba la barra de seguridad. Este impedimento mecánico es una medida adicional de seguridad ante un repentino desacople de las secciones, mas por un accidente fortuito antes que por su normal desempeño. Los detalles métricos del elemento diseñado se muestra en el Anexo B-4, donde se encuentra el plano “Encerador mecánico”.



Figura 3.10. Construcción del encerador mecánico
Fuente: Propia

En la figura 3.10 se observa un elemento de precisión, que ayuda la acción del mecanismo de vaivén, su función es llevar a la plataforma hasta el centro de oscilación. La fuerza elástica del resorte comprimido actúa sobre la esfera de rodamiento para definir dicho centro.

3.1.1.5. Pilares de apoyo anti torques

Descripción

El paso del vehículo sobre la plataforma superior del equipo, se realiza a lo largo de la línea central longitudinal de la plataforma, sin embargo, puede darse ocasionalmente que

un vehículo avance sobre borde lateral longitudinal de la plataforma produciéndose un torque que se traduce en un efecto de giro de la misma respecto al eje que pasa por la columna de rodamientos más cercanos a la arista lateral presionada, para ello se ha previsto apoyos de seguridad, los cuales mecánicamente anulan cualquier torque suficientemente alto que pongan en peligro la estabilidad mecánica de la sección superior del equipo. Evitando el desacoplamiento de las secciones 1.1 y 1.3, sin disminuir la movilidad entre éstas.

Especificaciones

Se han construido 4 apoyos de seguridad de acero de A-36 de perfil en forma de L, de 40×6 [mm] los cuales han sido anclados sobre una base rectangular de acero, fijada a la base inferior del equipo. En este perfil se han practicado dos perforaciones, una de ellas para perno de acero M12 rosca fina, el cual es graduado para que el movimiento longitudinal de la sección superior del equipo respecto a la sección inferior no supere por seguridad la distancia de 0.5[mm], lo que constituye una medida de seguridad, pues las esferas de rodamiento se traban en los canales transversales quedando anulado el movimiento longitudinal de la sección superior del equipo. Este mini movimiento longitudinal puede ser propiciado por un torque producido al presionar con peso excesivo, cualquiera de los bordes transversales de la plataforma superior.

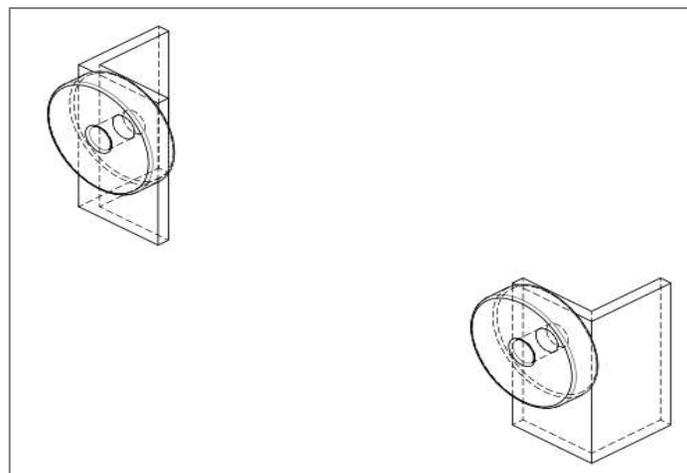


Figura 3.11. Diagrama para apoyos antifricción
Fuente: Propia

Para mayor detalle del elemento diseñado ver el Anexo B-5, donde se encuentra el plano “Apoyo de seguridad antifricción”.

La construcción de estos elementos, anclados en sus respectivas bases, muestran claramente el montaje de un rodamiento por pilar, se muestra en la figura 3.12.

La segunda perforación ranurada mediante fresadora para alojar con facilidad un perno de acero M12 rosca fina, en el que se fija un rodamiento de especificación 6201Z, cuyo diámetro interior es 12 [mm] y diámetro exterior 32 [mm]. El borde del rodamiento guarda una distancia vertical de seguridad de 1 [mm] entre las secciones superior e inferior del equipo que puede producirse ocasionalmente por torques longitudinales o laterales o por vibraciones de la corteza terrestre. Estos apoyos de seguridad evitan desplazamientos indeseados, tanto en la dirección de avance del vehículo como en la dirección vertical respecto al piso horizontal. El diagrama ideado para éste tipo de elemento se muestra en la figura 3.11.

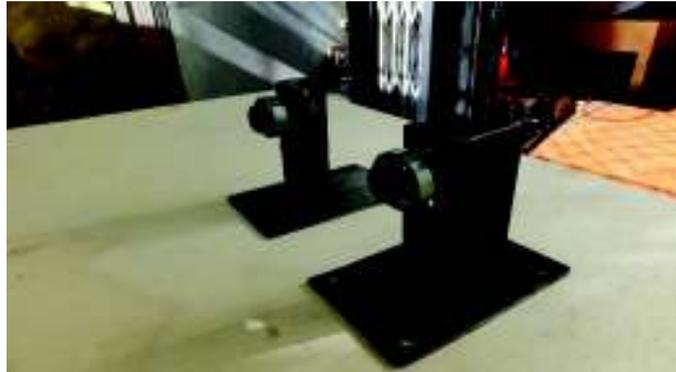


Figura 3.12. Apoyos antifricción contruidos
Fuente: Propia

En la figura 3.12, Se observa dos de los cuatro apoyos de seguridad, su función es la de evitar alguna vez desplazamientos longitudinales y también desplazamientos verticales ocasionados más bien por accidente fortuito, antes que por el funcionamiento normal del equipo.

3.1.1.6. Porta sensor de desplazamiento

Descripción

El sensor de desplazamiento tiene que estar fijo en una posición tal que pueda registrar el desplazamiento transversal de la plataforma superior de equipo, ya que la magnitud del desplazamiento lateral es directamente proporcional al grado de desalineación de convergencia.

Especificaciones

El porta sensor de movimiento transversal, es anclado en la estructura inferior, en un marco rectangular de acero A-36 de 100 [mm] de ancho y 70 [mm] de altura, fijado a una base horizontal constituida por una placa de acero A-36 cuyas dimensiones son $126 \times 30 \times 3$ [mm]. El sensor es alineado: horizontalmente y con la dirección de movimiento transversal de la plataforma, así detecta la totalidad de movimiento transversal el cual es comunicado, mediante conector de acero que ha sido fijado a la sección superior del equipo. El diagrama ideado es mostrado en la figura 3.13.

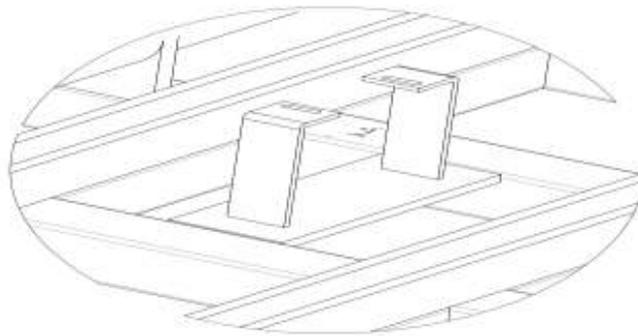


Figura 3.13. Diagrama para porta sensor de movimiento
Fuente: Propia

El plano de detalle del elemento diseñado se expone en el Anexo B-6, titulado “Porta sensor de desplazamiento”. La construcción de este elemento se realizó con una ligera modificación, la cual optimiza su funcionalidad como se muestra en la figura 3.14.



Figura 3.14. Porta sensor de movimiento
Fuente: Propia

Este elemento aloja el sensor de movimiento, su función es acoplar el sensor que rastrea el desplazamiento lateral de la plataforma superior. Debe ser robusto y estar bien alineado a la dirección de movimiento.

3.1.1.7. Soportes para anclaje

En la figura 3.15, se puede observar un total de 20 soportes requeridos para el anclaje de los elementos que constituyen la sección mecánica 1.1, que es la sección inferior del equipo, 16 de los soportes han sido construidos de ángulo de $30[\text{mm}] \times 3[\text{mm}]$ de acero A-36 con dos perforaciones para pernos de $8[\text{mm}] \times 19[\text{mm}]$ de acero A-36 requeridos para el anclaje de elementos como: mecanismo de vaivén, encerador mecánico, pilares de apoyo anti torque, porta sensor, porta terminales eléctricos, pernos de anclaje para piso de $10[\text{mm}] \times 40[\text{mm}]$ de acero A-36. Los soportes de anclaje para piso sirven también para fijar el equipo a una caja contenedora del mismo,



Figura 3.15. Soportes para anclaje de elementos, de la sección 1.1

Fuente: propia

Sin embargo se ha experimentado con la bondad que tiene empotrar el equipo sobre el piso de concreto, pues este no fleja distribuye en forma más uniforme las tensiones de carga, no se generan puntos de tensión peligrosos. Con el tiempo se asientan y ajustan las rieles, etc.

3.1.2. Construcción mecánica sección 1.2

En la figura 3.16, se ilustra la sección mecánica 1.2, como una superficie ideal que separa las secciones mecánicas 1.1 y 1.3, con la particularidad que permite un movimiento entre éstas secciones con un mínimo de fricción.

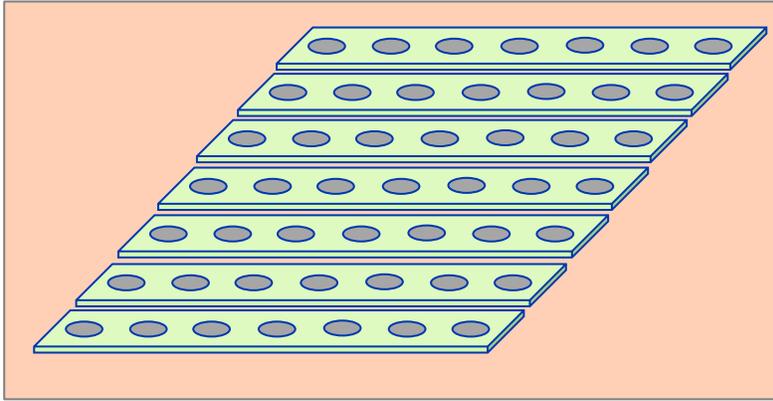


Figura 3.16. Porta esferas de rodamiento, de la sección 1.2
Fuente: propia

3.1.2.1. Rieles porta esferas de rodamiento

Descripción

El movimiento lateral relativo de la sección superior del equipo respecto a la sección inferior del mismo ha de hacerse con mínimo esfuerzo, para ello se ha previsto un deslizamiento antifricción mediante la fabricación de rieles longitudinales antifricción.

Especificaciones

Se han elaborado 7 rieles longitudinales, utilizando tubo recto de acero AISI 1018 de sección transversal rectangular de 25×12 [mm] y espesor de 1 [mm], en las que se ha practicado 7 perforaciones en cada una dando cabida a 7 esferas por riel, el diámetro de las esferas es de 19.05 [mm].



Figura 3.17. Diagrama para riel de deslizamiento antifricción
Fuente: Propia

El conjunto de 7 rieles da cabida a 49 rodamientos que se distribuyen uniformemente a lo largo y ancho de la sección superior del equipo cuya superficie es 980×500 [mm]. El conjunto de esferas soportan una fuerza vertical prevista con un valor máximo de 1000 [kg], cuando sobre la plataforma pasa un vehículo de 3 toneladas de peso bruto, entonces la fuerza vertical que soporta cada esfera de rodamiento es de 21.63[Kg], de lo cual resulta que cada esfera presiona verticalmente las paredes del canal donde ruedan con una fuerza de 21.3[Kg], este conjunto de rieles de deslizamiento antifricción deben permanecer lubricados. El diagrama ideado para éste mecanismo es ilustrado en la figura 3.17.

Para mayor detalle del elemento diseñado ver Anexo B-7, donde se encuentra el plano “Riel de desplazamiento antifricción”.



Figura 3.18. Conjunto de rieles antifricción
Fuente: Propia

La figura 3.18, muestra siete rieles antifricción de 500 mm de longitud y de 25mm de ancho, que al ser construidas, tomaron la forma final como se muestra en la siguiente figura. El conjunto de rieles permite el movimiento suave, de la plataforma superior respecto a la inferior. Las fuerzas se distribuyen de manera uniforme en la superficie que divide la sección superior e inferior del equipo.

3.1.3 Construcción mecánica sección 1.3

La sección 1.3 de la etapa mecánica del equipo, también denominada sección superior, como se puede ver en la figura 3.19, está compuesta de algunos elementos: Estructura

sostén o base inferior, rieles para rodamientos, mecanismo de vaivén, encerador mecánico, pilares de apoyo antifricción, porta sensor, soportes para anclaje,

3.1.3.1. Estructura sostén, base superior

Descripción

La base de soporte superior es una estructura rectangular donde descansan: 10.6 [Kg] de su peso y un peso máximo externo de 1000 [Kg], este último corresponde a la cuarta parte del peso del vehículo más pesado para diagnosticar con el equipo, correspondiente a 3 [Ton].

Especificaciones

La estructura superior, es móvil y se desliza perpendicularmente respecto a la dirección de avance del vehículo, con características de: solidez, soporte uniforme de esfuerzos verticales.

La diferencia de peso total que soporta respecto a la base inferior no es tan significativa

$$\frac{1095-1010}{1095} * 100 = 7.76\%$$

La base inferior fue construida con tubo acero A-36 cuadrado de 30 [mm] de lado, de 2 [mm] de espesor, su longitud total efectiva de tubo utilizada en su construcción fue de 7663 [mm]. Su geometría es rectangular, con cuadrículas de igual área en toda su superficie, para soportar una distribución uniforme del peso, de dimensiones 980 [mm] de longitud, 500 [mm] de ancho y 30 [mm] de espesor.

La soldadura de sus 24 segmentos: 4 largueros, 2 transversales y 18 segmentos internos de 143.5 [mm], fue realizada con soldadura MIG, cuyo electrodo, es alambre de 0.8 [mm] de diámetro, en presencia de gas inerte dióxido de carbono CO_2 .

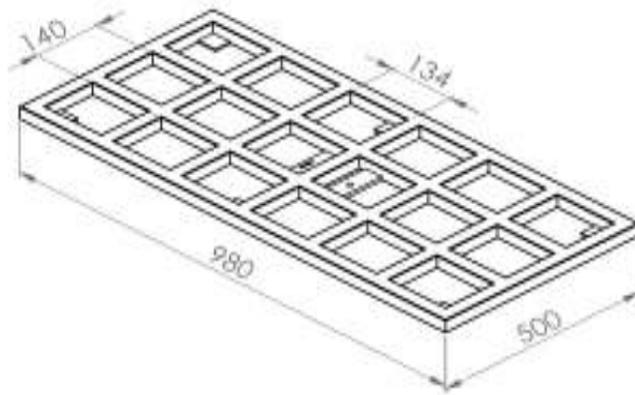


Figura 3.19. Diagrama para estructura de sostén, sección superior
Fuente: Propia

La figura 3.19. Ilustra el diagrama ideado para la base superior, en ella se observa una platina central, por la que se comunicará el movimiento de la sección superior al sensor de movimiento. Para mayor detalle del elemento diseñado, remitirse al Anexo B-8, donde se encuentra el plano “Soporte superior”.



Figura 3.20. Estructura, sección superior
Fuente: Propia

En la figura 3.20, se puede observar la construcción de la estructura base superior, en ella se pueden observar elementos para sujeción de la plataforma superior y la platina central por la que se comunicará su movimiento al sensor eléctrico aunque con algunos elementos adicionales que se consolidan a la misma.



Figura 3. 21. Estructura terminada, sección mecánica superior 1.3
Fuente: Propia

En la figura 3.21. Se observa la estructura de sostén de la sección mecánica 1.3 una vez terminada. En su parte central también se observa dos platinas, una de ellas acanalada y la otra perforada, ancladas a la estructura de sostén, con el fin de comunicar el movimiento de la sección 1.3 al mecanismo de vaivén y al sensor de movimiento. Estos dos elementos de fijación deben quedar lo más horizontal posibles, deben moverse horizontalmente respecto a la sección fija 1.1

3.1.3.2. Rieles superiores para rodamientos

Descripción

Las rieles superiores para desplazamiento transversal, son siete, que sirven de guía longitudinal a las esferas de rodamiento y por otra parte soportan el peso de equipo que descansa sobre ellas más la cuarta parte del peso del vehículo que se desplaza sobre la plataforma superior. Soporta un peso algo menor que el soportado por la base inferior.

Especificaciones

Las 7 barras superiores de deslizamiento rectilíneo transversal, constituyen piezas vitales del equipo. Siete de ellas descansan sobre la base inferior fija, distribuidas en forma paralela y equidistantes, perpendicularmente a la dirección de avance del vehículo, cada una de las 7 restantes se acoplan sobre las barras inferiores, separadas por las esferas de rodamiento. El conjunto de 7 rieles inferiores soportan un peso máximo de: 57 [Kg] de equipo, más 1000 [Kg] de peso exterior. La diferencia de peso total que soportan las barras para riel superior respecto las barras para riel inferior no es tan significativa

$$\frac{1088-1057}{1088} * 100 = 2.84\%$$

El conjunto de barras para rieles tanto superiores como inferiores, fueron construidas con barras macizas de acero de AISI 1045 cuya sección transversal es cuadrada de 25 [mm] de lado. Las barras superiores fueron diseñadas de 500 [mm] de longitud, mientras que las barras inferiores fueron diseñadas de 550 [mm] de longitud, debido a que las superiores pueden moverse un máximo de 25 [mm] a cada lado de la posición central de equilibrio.

En cada barra cuya forma es de prisma cuadrado, se ha practicado un canal recto a lo largo de toda su longitud en forma de "V", en cuyo vértice tiene una medida angular de 90°. Este canal ha sido ejecutado mediante fresadora. Su función es alojar y abrazar a las esferas de rodamiento de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro, las cuales se deslizan a lo largo del canal.

La soldadura fue realizada con soldadura MIG, cuyo electrodo, es alambre de 0.8 [mm] de diámetro, en presencia de gas inerte dióxido de carbono CO_2 . La fuerza perpendicular a cada cara del canal es de 15.81 [Kg] kilogramos fuerza, con una distribución homogénea de la carga.

El conjunto de 7 barras superiores y 7 barras inferiores separan las partes superior e inferior del equipo. La distancia entre las plataformas superior e inferior, es impuesta en función del diámetro de las esferas de rodamiento alojadas en ellas.

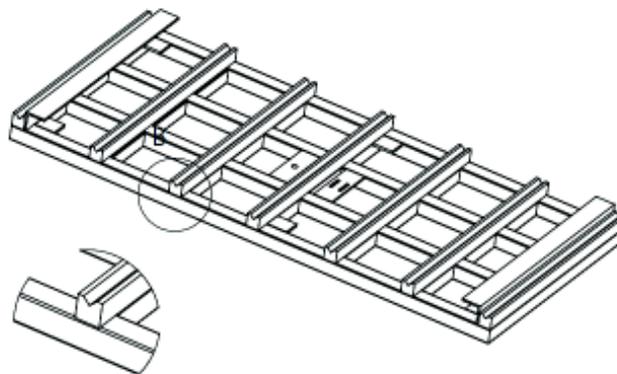


Figura 3.22. Diagrama para guías antifricción
Fuente: Propia

En la figura 3.22. Se muestra la disposición de las guías acanaladas en donde se alojan las esferas de rodamiento y conforman el elemento antifricción del equipo.

Para mayor detalle del elemento diseñado dirigirse al Anexo B-9, donde se encuentra el plano “Disposición Barras de desplazamiento”.

La construcción de las guías para alojamiento de esferas de rodamiento se las realizó en barras de acero A-60 y se ilustra en la figura 3.6.



Figura 3.23. Barras superiores de deslizamiento
Fuente: Propia

En la figura 3.23, se puede observar las 7 barras superiores de deslizamiento, ancladas en la estructura de sostén de la sección mecánica superior 1.3. Cada una de ellas con un canal maquinado en fresadora. Estos elementos funcionan en parejas con las barras de la sección 1.1 y abrazan las esferas de rodamiento.

3.1.3.3. Perfil de apoyo para pilares y encerador

Las barras laterales han sido constituidas por perfiles de 90° cuyas dimensiones son $50[\text{mm}] \times 6[\text{mm}] \times 500[\text{mm}]$ ubicados en los extremos laterales de la figura 3.24, presentan doble función, la cara horizontal sirve de tope y traba anti torque, torque repentino de alta magnitud que pudiera afectar el funcionamiento normal del equipo, por otro lado la cara vertical de cada barra sirve de superficie de apoyo para el encerador, en ella encuentra mecánicamente el punto de enceramiento fino.

Si eventualmente por accidente una fuerza muy superior a la prevista en el diseño presionara uno de los bordes laterales del equipo, se puede ocasionar un efecto de rotación del equipo, respecto a la línea de distribución más cercana de los rodamientos.



Figura 3. 24. Barras laterales de seguridad.
Fuente: Propia

Los pilares de apoyo anti torques actúan anulando el efecto de giro o torque y además permiten que el movimiento de la sección mecánica 1.3 vuelva a la normalidad.

En la figura 3.25, observamos la disposición final de los pilares anti torque respecto a las barras laterales de apoyo de la sección mecánica 1.3. Como se puede ver los rodamientos anclados en los pilares impiden el movimiento vertical de la sección superior del equipo y pero no impiden el desplazamiento transversal de esta sección o de la plataforma superior.



Figura 3.25. Elemento anti torque sobre la barra de seguridad.
Fuente: Propia

Las mismas barras laterales incorporadas en la sección mecánica 1.3 tienen la función de servir como pistas del elemento encerador mecánico. En ellas y con orientación horizontal recorre el encerador mecánico topando la superficie con su extremo esférico.

En la figura 3.26 se observa el desplazamiento horizontal de la sección mecánica 1.3, respecto a la sección fija 1.1. En la parte central se aprecia el rastro horizontal de la esfera de rodamiento sobre la platina angular de la sección superior.



Figura 3.26. Apoyo del encerador sobre la barra de seguridad.
Fuente: Propia

La sección superior 1.3 se estaciona sin error en la cavidad ocupada por la esfera del encerador, la cual presiona contra la pared vertical del perfil, debido a la acción de los elementos elásticos internos del encerador, los cuales pueden ser regulados.

3.1.3.4. Movimiento de la sección mecánica 1.3 respecto a la sección 1.1

En la platina rectangular central de la figura 3.27, se observa una perforación central, ésta es de 12 mm rosca fina. Para permitir el paso de un perno de las características citadas y de longitud conveniente, con el objeto de transmitir el movimiento mecánico de la sección móvil 1.3, a la sección fija 1.1. Este movimiento es directamente transmitido al mecanismo central de vaivén incorporado a la sección 1.1. El objeto de este acoplamiento consiste en registrar cualquier movimiento de la sección 1.3 respecto a la sección 1.1 por el mecanismo elástico de vaivén, para que la sección 1.1 pueda volver al su posición central de equilibrio.



Figura 3.27. Conexión de la sección 1.3 al mecanismo de vaivén
Fuente: Propia

En la figura 3.28 se observa la platina rectangular central derecha la misma que sirve para alojar el brazo pinza, que comunica al sensor de desplazamiento el movimiento de la sección 1.3 respecto de la sección 1.1, La precisión con que sea realizada esta tarea, incidirá notablemente sobre la eficiencia del equipo. La pinza que abraza al pin móvil del sensor debe hacerlo con el mejor ajuste que sea posible. Cualquier sobreesfuerzo sobre el sensor lo dañará permanentemente



Figura 3.28. Conexión de la sección móvil 1.3 al sensor de desplazamiento
Fuente: Propia

3.1.3.5. Placas de sujeción para plataforma superior

Las 6 placas destinadas a la sujeción de la plataforma superior respecto al elemento sostén de la sección mecánica 1.3, son de forma cuadrada de 35[mm] × 35[mm] × 8[mm] con perforación central NC 5/16 . En éstas se atornillan los pernos alen 5/16 de pulgada los cuales van perdidos en la plataforma superior. Solo entonces queda fijada la plataforma a la malla sostén de la sección mecánica 1.3.



Figura 3.29. Placas de sujeción para fijar plataforma superior
Fuente: Propia

En la figura 3.29, se puede observar una de las 6 placas de sujeción soldadas al elemento de sostén de la sección mecánica 1.3, cuya función es fijar la plataforma superior y completar esta sección mecánica.

3.1.3.6. Plataforma superior

En la figura 3.30, se muestra la plataforma superior de la sección mecánica móvil 1.3, Las dimensiones de la plataforma superior son: 1000[mm] × 600[mm] × 7[mm] de longitud, ancho y espesor respectivamente.



Figura 3.30. Plataforma superior del equipo.
Fuente: Propia

De acero corrugado de 7mm de espesor, grosor suficiente para los vehículos no doblen su borde ya que presenta una visera de 5cm respecto a la línea lateral del elemento sostén de la sección mecánica 1.3. Considerando las dimensiones anotadas y la densidad del acero $\rho = 7.87 \left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right]$, El peso de la plataforma es aproximadamente $33[\bar{K}_g]$

La figura 3.30, muestra la plataforma superior en los momentos en que el equipo era empotrado y nivelado adecuadamente respecto al piso y también respecto a los lados laterales del marco exterior, puesto que la plataforma debe moverse a unos 3mm de altura sobre el nivel de éstos. En esta figura pueden observarse además las 6 perforaciones para los pernos que la sujetan y la fijan con el elemento sostén de la sección mecánica 1.3. En éste contexto el mencionar el movimiento de la plataforma superior, es hablar del movimiento de toda la sección superior 1.3 respecto a la sección mecánica 1.1 fija a tierra.

3.1.4. Ensamblaje de las secciones mecánicas del equipo

Una vez construidas las secciones mecánicas: 1.1, 1.2, 1.3 que conforman la etapa mecánica del equipo, viene un proceso de revisión de cada una de ellas, en el que siempre se encuentran pequeños detalles imprevistos como: pequeñas obstrucciones, rebabas, asperezas, desajuste de algún tornillo, etc. Comienza entonces el verdadero proceso de ensamblaje. En la figura 3.31, se muestra el despiece mecánico del equipo y su ensamblaje organizado en forma vertical.

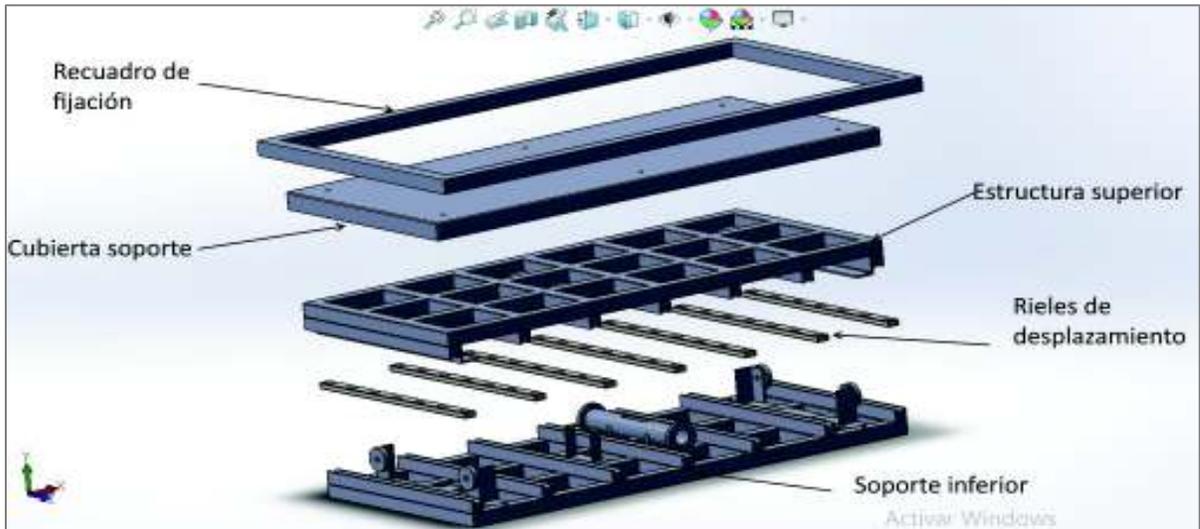


Figura 3.31. Ensamblaje del equipo en disposición vertical
Fuente: Propia

En la figura 3.31 se observan de abajo hacia arriba la sección mecánica 1.1 o sección inferior del equipo con su mecanismo central de vaivén y sus cuatro pilares que evitan fortuitos y muy ocasionales movimientos verticales. En la parte central se observa la sección mecánica 1.2 o sección intermedia conformada por el conjunto de rieles antifricción, con distribución superficial. EN la sección mecánica 1.3 o base superior del equipo se observan directamente, en ésta se fija la plataforma superior, El marco de la plataforma limita el movimiento transversal de la misma.



Figura 3.32. Ensamblaje mecánico del equipo, sin la plataforma superior
Fuente; Propia



Figura 3.33. Ensamblaje mecánico del equipo, con la plataforma superior
Fuente; Propia

Para mayor detalle del ensamblaje mecánico del alineador de convergencia, dirigirse al Anexo B-10, donde se encuentra el plano “Ensamblaje del alineador de convergencia”. En la figura 3.32, se muestra la disposición real del ensamblaje mecánico, en esta figura se puede observar próximo al borde inferior y sirviendo de base, la sección mecánica 1.2 fija a tierra. Entre los elementos de sostén se observa la superficie antifricción compuesta por rieles antifricción, usando las esferas de rodamiento, en la parte superior se observa la sección mecánica 1.3, móvil respecto a la sección 1.1. En las secciones mecánicas: inferior 1.1, y superior 1.3, se han instalado los respectivos componentes mecánicos asociados. El equipo ensamblado incluyendo su plataforma superior se puede observar en la figura 3.33. En la plataforma se puede observar tornillos roscados en forma de T requeridos para levantar y colocar la plataforma superior con facilidad.

3.2. Construcción de etapas: eléctrica y electrónica

En la figura 3.34, se representa de manera esquemática la construcción de la etapa eléctrica y electrónica del equipo, en ella se distinguen dos etapas, la etapa eléctrica 2 y la etapa electrónica 3. Cada una de estas etapas está compuesta por los respectivos módulos, los cuales se describen a continuación y posteriormente involucramos el detalle de la construcción de cada uno de ellos si es necesario, ya que el hardware de algunos de ellos vienen prefabricados y facilitan la construcción de complejos elementos electrónicos.

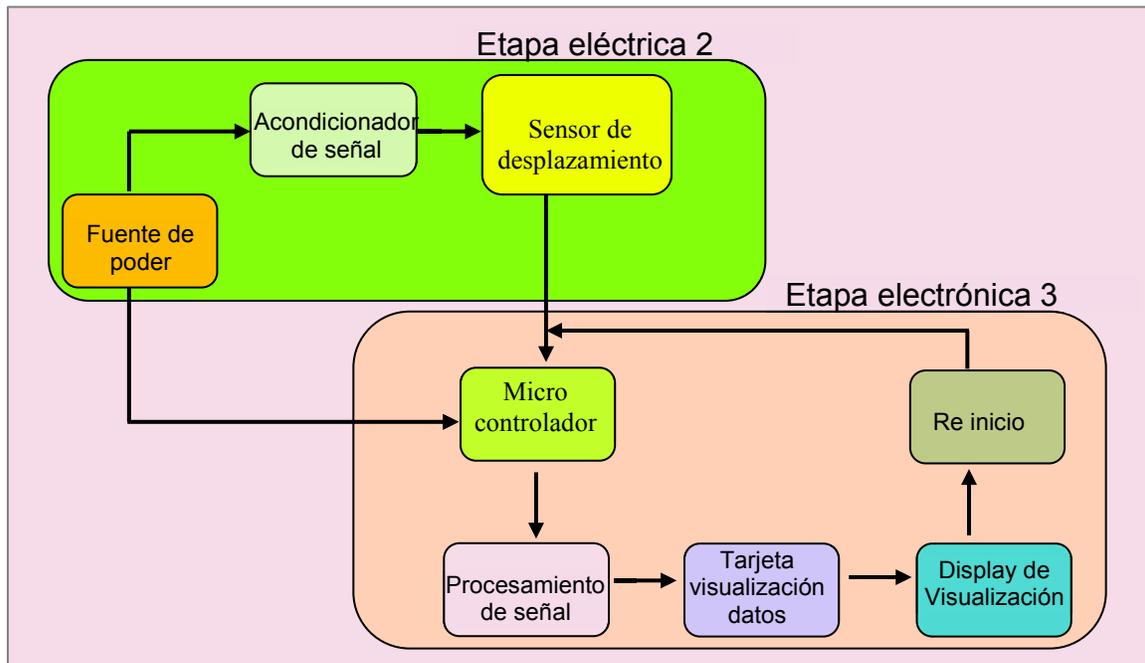


Figura 3.34. Esquema modular para construcción de etapas eléctrica y electrónica.
Fuente: Propia

En nuestro mercado ya se puede conseguir varios módulos electrónicos como los de la firma ARDUINO a precios convenientes y por ello la construcción del elemento electrónico se reduce a la correcta programación para adaptarlos a las necesidades específicas de uso.

3.2.1. Descripción de módulos eléctricos y electrónicos

Es necesario describir y entender lo que se hace o se espera que haga cada módulo para proceder a su construcción, ya sea en forma física o con la incorporación del programa respectivo.

3.2.1.1 Fuente de poder

La etapa eléctrica 2, comienza con el suministro de energía eléctrica a los diferentes componentes eléctricos y electrónicos del equipo, desde una fuente de poder la cual debe ser confiable en términos eléctricos: de suministro continuo, sin pérdidas de voltaje, resistente a las fluctuaciones de voltaje, de ser posible libre de éstas.

3.2.1.2. Acondicionamiento de voltaje para el sensor de movimiento

Si la fuente de poder que suministra energía eléctrica no se considera adecuada para el sensor, se debe optar por un acondicionamiento de voltaje. Se debe tener en cuenta que el sensor no debe recalentarse, deben generarse corrientes bajas en el proceso de medición, este voltaje no debe ser interferido por fluctuaciones de la red eléctrica, debe trabajar temperatura ambiente o menor sin llegar al punto de congelación. Estas precauciones son necesarias, puesto que la resistencia eléctrica del sensor es sensible a la temperatura.

3.2.1.3. Entrada y salida de señal eléctrica del sensor de desplazamiento

La activación del sensor por medio de un voltaje fijo es esencial para su desempeño. El voltaje estable se lo obtuvo al construir una tarjeta acondicionadora de voltaje de 1.1 voltios, con este elemento construido, y alimentando el sensor con este voltaje fijo, la respuesta que genera el sensor es una función continua respecto al tiempo, fácilmente reproducible y confiable.

3.2.1.4. El micro controlador

El micro controlador, activado por la señal eléctrica que proviene de la fuente externa escogida, usualmente de 5[voltios] que es el voltaje de referencia para trabajar. Según sea el programa construido para su funcionamiento, éste se encarga de recoger el conjunto de datos solicitados de entre los muchos datos que puede entregar el sensor, con este conjunto de datos, realiza el procesamiento de los mismos. También se encarga de interactuar con todos los elementos electrónicos del sistema, todo en el lenguaje de máquina, en el sistema binario, El micro controlador se encarga de administrar todo el proceso electrónico propiamente dicho, desde recoger los datos, calcular variables, realizar operaciones con datos y variables que se indiquen, mostrar resultados con diferentes efectos visuales y sonoros, etc. Todo esto por la programación de la que es objeto.

3.2.1.5. Tarjeta de visualización de datos

Según sea el programa implementado para la visualización de datos, en su panel LCD incorporado se muestran etiquetas, valores de variables, unidades, rótulos de advertencia, etc.

3.2.1.6. Re inicio

Luego que los resultados del diagnóstico de convergencia son mostrados en pantalla, el sistema debe ser reiniciado para trabajar con un nuevo conjunto de datos, esto corresponde a una nueva medición de convergencia ya sea con el mismo vehículo o con otro.

3.2.2 Construcción de etapa eléctrica

En este bloque construiremos una tarjeta acondicionadora de voltaje para el sensor y el mismo sensor de movimiento, con la ayuda de un potenciómetro lineal. En esta etapa no se requiere de la intervención del micro controlador.

3.2.2.1. Fuente externa de poder

Una fuente regulada de voltaje, de precisión es escasa y costosa. Para que trabaje el sistema eléctrico y electrónico se requieren de 5 voltios.



Figura 3.35. Fuente externa de poder, puerto USB 2.0
Fuente: Propia

Se optó por usar como fuente externa el puerto USB de un computador o Tablet, los cuales tienen una alimentación del voltaje requerido, con la particularidad que esta fuente es bastante regulada y estable y se dispone en cualquier ordenador. En la figura 3.35, se

muestra la conexión a un puerto USB de un ordenador, que sirve como fuente de poder para el sistema electrónico de nuestro equipo.

3.2.2.2. Tarjeta acondicionadora de voltaje para el sensor de movimiento

Al comienzo de este proyecto, se pensó alimentar al sensor de desplazamiento con un voltaje fuente de 5 voltios, sin embargo algunos ensayos experimentales, mostraron que las fluctuaciones de voltaje en la red, estaban en el orden de los voltajes a utilizarse en el trabajo, por tal motivo, se construyó una fuente de bajo voltaje de entrada, de precisión, y suficientemente estable, que no afecte el estado térmico del sensor ni el de otros elementos electrónicos acoplados.

3.2.2.2.1 Análisis de detalle

El diagrama electrónico para convertir un voltaje de 5 voltios, del USB del computador (semi-estable) a un voltaje estable y de bajo valor se lo muestra en la figura.3.36.

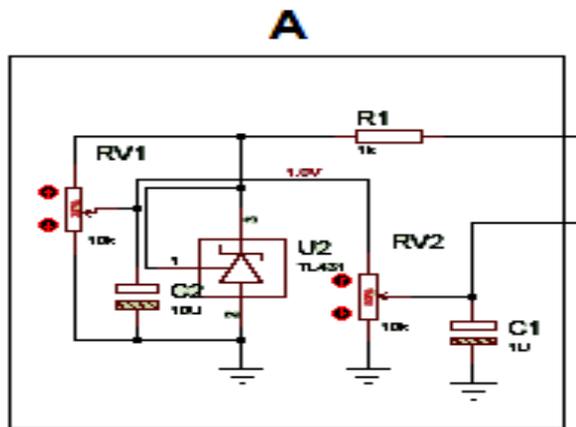


Figura 3.36. Diagrama electrónico para voltaje de referencia
Fuente: Propia

Por el conector lateral superior ingresa al potenciómetro RV1 una tensión eléctrica de 5 voltios, el conector móvil del potenciómetro permite formar lo que se llama un divisor de tensión. La conexión del zener mostrado como U2 de especificación TL431 permite disponer con precisión 1.1 voltios. Este voltaje alimenta al sensor de movimiento RV2 el cual es un potenciómetro lineal de $10K\Omega$, saliendo por su conector móvil lateral la señal de voltaje registrado en el movimiento mecánico de la plataforma superior del equipo, esta información luego de ser acondicionada digitalmente ingresa al micro controlador, el

cual según el software programado (programa para el micro controlador), arroja los resultados de alineación de convergencia, los cuales son mostrados en pantalla.

3.2.2.2. Construcción de la tarjeta acondicionadora de voltaje.

La construcción de realizada en base del diagrama de la figura 3.36, se lo puede observar en la figura 3.37. El zener de precisión aparece en al centro de la primera línea, en el centro y de color azul aparece el potenciómetro que permite realizar el divisor de tensión, a los lados de este, se presentan los dos condensadores C1 y C2 los cuales estabilizan aún más la tensión eléctrica.

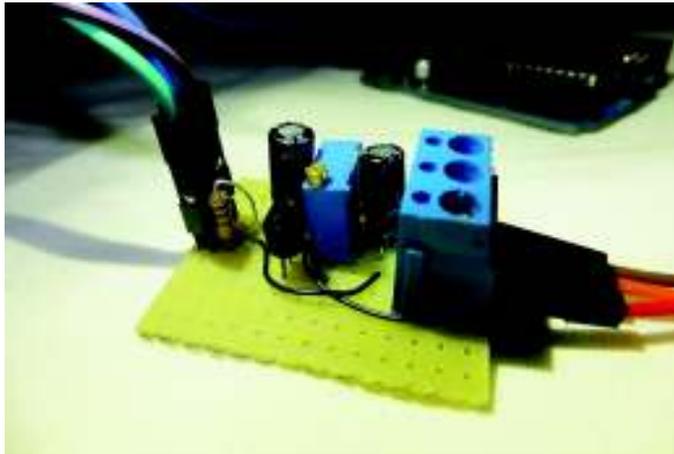


Figura 3.37. Acondicionador de voltaje para sensor de movimiento
Fuente: Propia

3.2.2.2.3. Trabajo de laboratorio en el potenciómetro ALPHA - B10K

A parte del riguroso análisis teórico para establecer la función de transferencia del sensor de movimiento expuesto en el capítulo de diseño eléctrico sección 2.2,

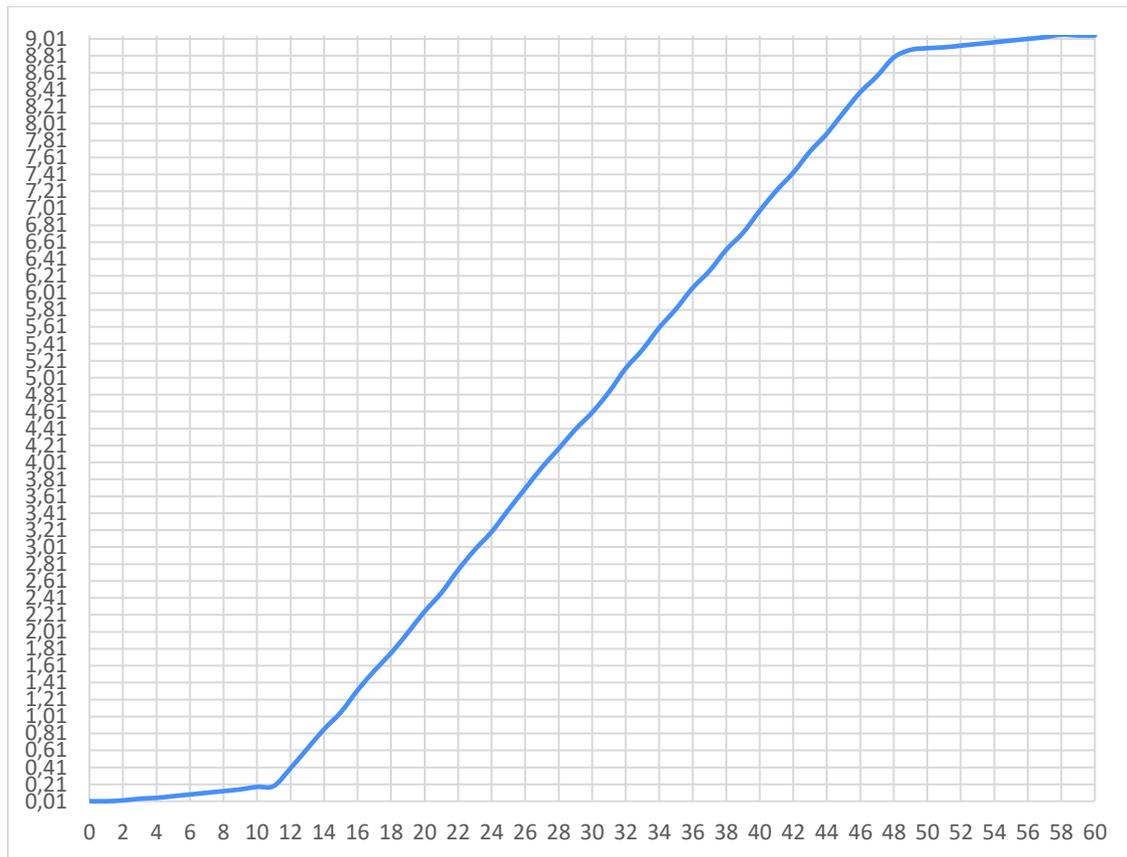


Figura 3.38. Respuesta resistiva del potenciómetro versus desplazamiento
Fuente: Propia

se realizó un trabajo experimental sobre el potenciómetro marca ALPHA - B10K con el objeto de contar con información veraz sobre su respuesta, ya que el potenciómetro citado es parte principal del sensor, investigamos su linealidad. Esta información fue relevante a la hora de programar la función de transferencia para el micro controlador. Se realizaron series de 60 mediciones de desplazamiento del cursor móvil del potenciómetro expresadas en milímetros y de sus respectivas resistencias. Si el potenciómetro fuese idealmente lineal el resultado sería una línea recta de pendiente constante distinta de cero en todo el dominio de desplazamientos, sin embargo los resultados obtenidos para el potenciómetro particular usado fueron los de la figura 3.38.

La gráfica de la figura 3.38 es la respuesta experimental del potenciómetro lineal ALPHA - B10K :la obtención de ésta gráfica fue realizada por desplazamiento del cursor desde la posición cero hasta el máximo desplazamiento posible, es decir desde 0[mm] hasta 60[mm], lo cual consta en el eje de las abscisas, en el eje de las ordenadas se apuntó la resistencia obtenida, expresada en kilo-ohmios. El rango de linealidad real se encuentra

aproximadamente hasta los 18[mm] de desplazamiento desde su punto medio que corresponde a una longitud de pista resistiva de $\Delta x = 36$ [mm].

Tabla 3.1.. Respuesta de voltaje en función del desplazamiento

VALORES MEDIDOS			VALORES CALCULADOS	
DESP(mm)	Volt (v)		DESP(mm)	Volt (v)
18	1,0518		18	1,0505
17	1,023		17	1,0223
16	0,9918		16	0,9941
15	0,97		15	0,9659
14	0,9447		14	0,9377
13	0,9068		13	0,9095
12	0,8789		12	0,8813
11	0,854		11	0,8531
10	0,8303		10	0,8249
9	0,8005		9	0,7967
8	0,7668		8	0,7685
7	0,7434		7	0,7403
6	0,7166		6	0,7121
5	0,6884		5	0,6839
4	0,6598		4	0,6557
3	0,6234		3	0,6275
2	0,5965		2	0,5993
1	0,5684		1	0,5711
0	0,5397		0	0,5429
-1	0,514		-1	0,5147
-2	0,4839		-2	0,4865
-3	0,4506		-3	0,4583
-4	0,4262		-4	0,4301
-5	0,3954		-5	0,4019
-6	0,3676		-6	0,3737
-7	0,3394		-7	0,3455
-8	0,3149		-8	0,3173
-9	0,2896		-9	0,2891
-10	0,2607		-10	0,2609
-11	0,2312		-11	0,2327
-12	0,2045		-12	0,2045
-13	0,1794		-13	0,1763
-14	0,1556		-14	0,1481
-15	0,1232		-15	0,1199
-16	0,0953		-16	0,0917
-17	0,0637		-17	0,0635
-18	0,0369		-18	0,0353

Fuente: propia

Estos resultados experimentales sugieren que la función de transferencia en el sensor de movimiento es lineal en un rango de 19 milímetros a uno y otro lado de la posición media del cursor móvil del potenciómetro. En la figura 3.39 se muestra la gráfica correspondiente a la tabla 3.1.

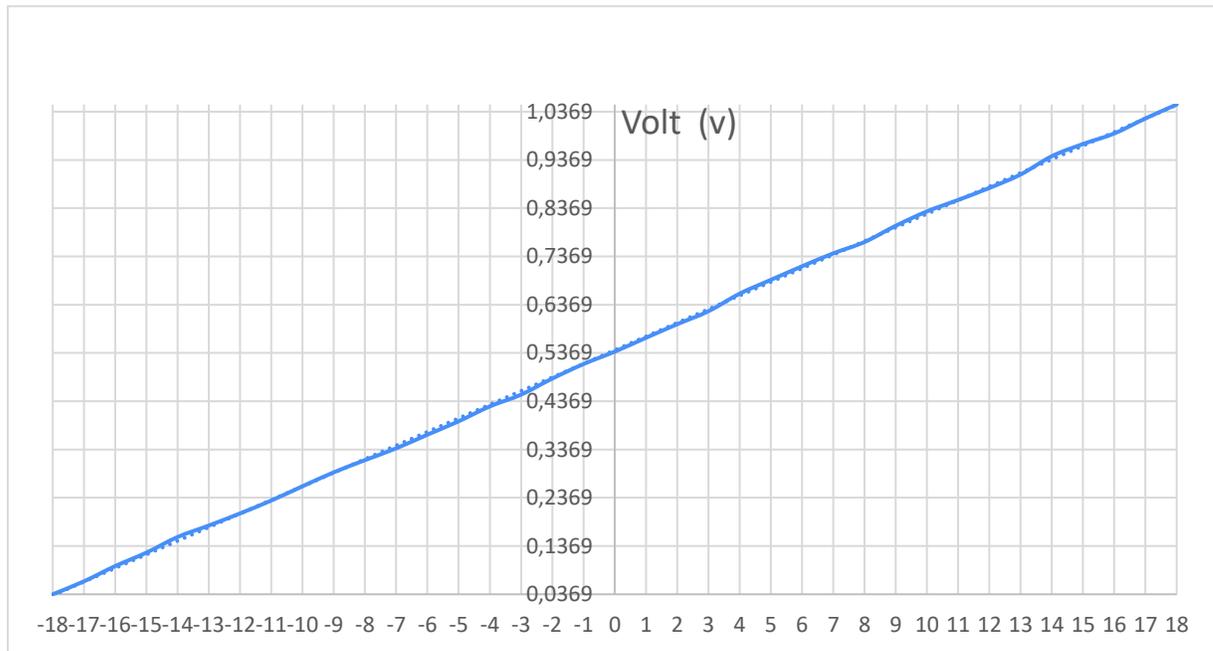


Figura 3.39. Sensor, respuesta experimental de voltaje versus desplazamiento
Fuente: Propia

Basándose en los primeros resultados experimentales sobre el potenciómetro ya descrito, se realizó un segundo trabajo de laboratorio sobre el potenciómetro ALPHA - B10K. En la tabla 3.1, se muestran los resultados del trabajo experimental. En este caso se realizaron 40 mediciones de desplazamiento y las correspondientes salidas de voltaje del potenciómetro y fueron comparados con los valores que arroja la ecuación de línea recta que corresponde a la interpolación de datos de esta tabla. En ella se puede apreciar la respuesta lineal del sensor de desplazamiento hasta 18mm a cada lado de la posición central del cursor móvil. Los valores obtenidos en el trabajo de laboratorio y los valores obtenidos por ecuación que resulta de interpolar son compatibles. La ecuación de transferencia que resulta de la figura 3.39, para este caso particular de potenciómetro es

Ec. (3.1)

$$\Delta V = 0.0282 \Delta x - 0.5429$$

Donde:

ΔV es el voltaje medido entre tierra y el cursor móvil del sensor

Δx : es el desplazamiento del cursor móvil respecto al punto medio de la pista resistiva del sensor.

La ecuación 3.1 constituye la función de transferencia para el sensor de desplazamiento construido y debe tenerse en cuenta a la hora de programar el micro controlador. Con este procedimiento: experimental, formal, y con los trabajos expuestos sobre el potenciómetro, simulando manualmente el desplazamiento. El sensor así construido funcionó adecuadamente y fue incorporado al equipo de diagnóstico.



Figura 3.40. Sensor de desplazamiento una vez construido
Fuente: Propia

En la figura 3.40 se muestra el sensor de desplazamiento una vez que ha sido sacada la función de transferencia, lo que garantiza el ser usado en el fenómeno de convergencia. A la derecha se observa la tarjeta acondicionadora de voltaje para el sensor. Vale recordar que el sensor ha sido alimentado con una tensión eléctrica de 1.1 voltios, estable y prácticamente libre de interferencias eléctricas.

3.2.3. Construcción etapa electrónica

Está basada, en las plataformas de comunicación con el micro controlador y su entorno, entre ellas Microchip, Atmega, Arduino, etc. La plataforma de Arduino está entre las más sencillas en cuanto a programación y facilidad de manejo. En el Anexo C, se expone información acerca de como funcionan estas plataformas, de su estructura, de sus propiedades y aplicaciones.

3.2.3.1 Micro controlador

Luego de la obtención de la señal eléctrica registrada por el sensor de movimiento, siguen algunas etapas: acondicionamiento digital, ingreso al micro controlador, acondicionamiento posterior para poder mostrar la información, el hardware de todas estas etapas, hoy son ofrecidas en forma simplificada y compacta, por gigantes firmas empresariales como: MICROCHIP, ATMEL, ARDUINO, mostradas en la figura 3.41, entre otras. Estas tarjetas modulares vienen como CD's en blanco, para que el usuario programe sus aplicaciones a voluntad, según sean sus necesidades específicas.

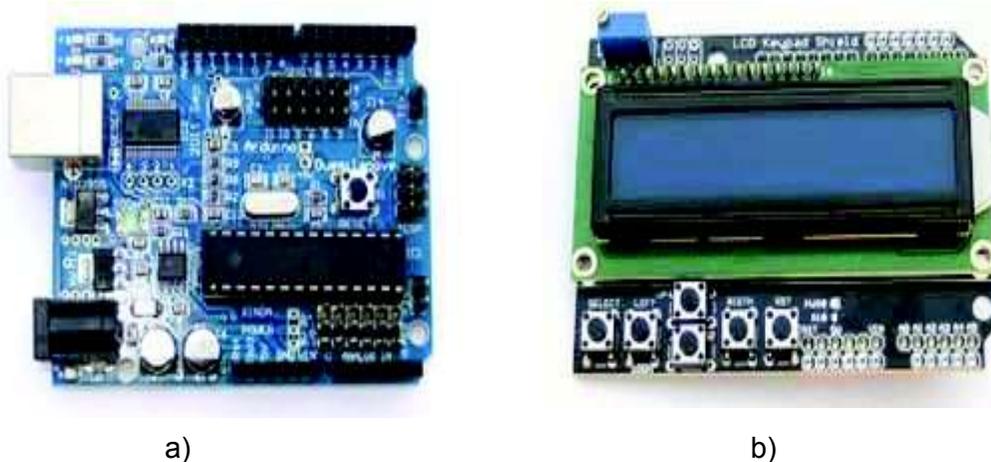


Figura 3.41. Tarjetas electrónicas ARDUINO keypad shield.
Fuente: Google, Tarjeta ARDUINO keypad shield

Para el acondicionamiento digital de la señal del sensor, así como para la conexión con el micro controlador se ha utilizado la tarjeta electrónica ARDUINO 1 de código 328P-PU con micro controlador ATMEGA de 28 pines, ya mostrados en la sección 2.5.3.

3.2.3.2 Programa para el micro controlador

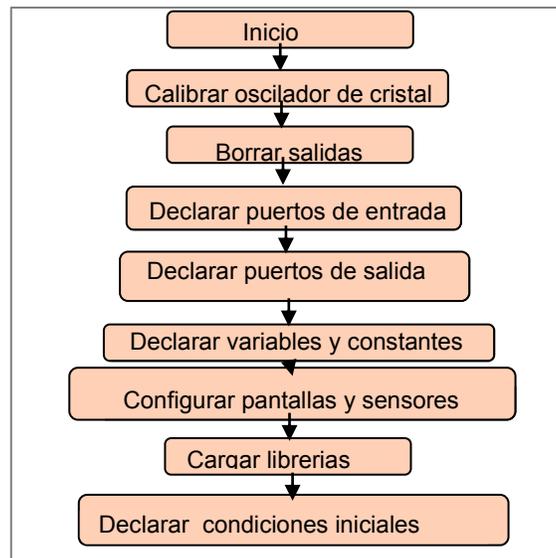


Figura 3.42. Encabezado de programa para micro controlador
Fuente: Micro controladores PIC [4]

En la figura 3.42 se muestra en forma gráfica el encabezado del programa central para el micro controlador. Calibrar el cristal, es fijar la frecuencia de funcionamiento del mismo, el cristal sirve como patrón de frecuencia electrónica y por otra parte sirve para marcar el tiempo, los intervalos de tiempo vienen representados por lo que se demora en pasar un número de pulsos que se escoge a conveniencia.

```
BASCOM-AVR.IDE [2.0.7.8] - [C:\TESS ALINEADORA\BASCOM\ING CLAUDIO CORDOVA\bas]
File Edit View Program Tools Options Window Help
BASCOM\ING CLAUDIO CORDOVA\bas
Sub Label
'PROYECTO ALINEADORA ING. CLAUDIO CORDOVA
$regfile = "m328pdet.dat"
$crystal = 16000000
$hwstack = 40
$swstack = 16
$framesize = 32
$baud = 9600

Config Adc = Single , Prescaler = Auto , Reference = Internal_1_1
Start Adc

Dim Potg As Byte
Dim B As Byte
Dim S As Byte
Dim S0 As Byte
Dim Pot As Single
Dim Idx As Word , N1 As Word , N2 As Word

Dim A(200) As Word
Dim Potstr As String = 10
Const K = 1.1 / 1023

Ev Alias PINC 0
PORTC.0 = 1
S0 = 200
Cls
Cursor Off
```

```

Locate 1 , 1
Lcd " ALINEADORA "

Do
  S = Inkey()
  If S = 0 Or S = ">" Then
    For B = 1 To 50
      Waitms 10
      A(B) = Getadc(i)
    Next B
    Min(a(1) , M2 , Idx)
    'Print "Min number " : M1 : " index " : Idx
    Max(a(1) , M1 , Idx)
    'Print "Max number " : M2 : " index " : Idx
    If M1 > 522 Then
      Pot = M1 * K
      Pot = Pot * 35.411
      Pot = Pot - 19.224
      Pot = Round(pot)
      Potg = Pot
      'Pot = Pot - 30
      Potstr = Fusing(pot , "#.##")
      Print Potstr : " aa"
      Locate 2 , 1
      Lcd Potg : " aa"
      Locate 1 , 1
      Lcd " CONVERGENCIA +"
      'Print "M1 " : M1 : " M2 " : M2
    End If

    If M1 <= 506 Then
      Pot = M2 * K
      Pot = Pot * 35.411
      Pot = Pot - 19.224
      Pot = Round(pot)
      Potg = Pot
      Potstr = Fusing(pot , "#.##")

      Print Potg : " aa"
      Locate 2 , 1
      Lcd Potstr : " aa"
      Locate 1 , 1
      Lcd " CONVERGENCIA -"
      'Print "M1 " : M1 : " M2 " : M2
    End If

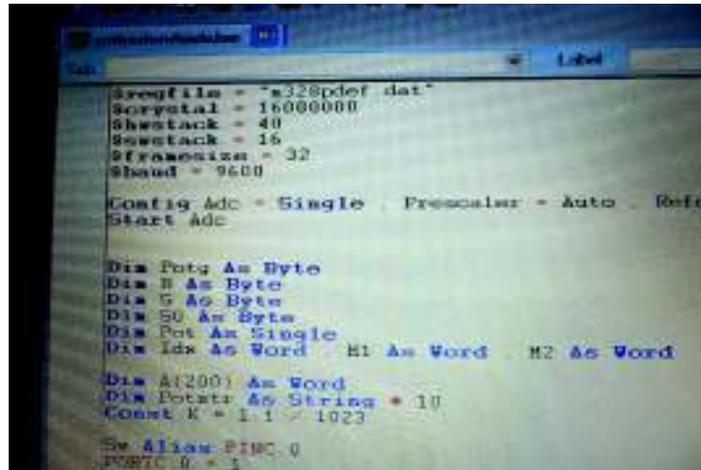
    If M1 < 522 And M1 > 506 Then
      Print "CONVERGENCIA 0"
      Locate 1 , 1
      Lcd " CONVERGENCIA 0 "
      Locate 2 , 1
      Lcd " "
    End If

    If M1 > 522 And M2 < 506 Then
      Print "ERROR EJE"
      Locate 1 , 1
      Lcd "ERROR DE EJE "
      Locate 2 , 1
      Lcd " "
    End If
  End If
Loop
End

```

Figura 3.43. Captura de pantalla del programa para el micro controlador
Fuente: Propia

En la figura 3.44 se observa el encabezado del programa al momento de la programación del micro controlador donde se puede leer la declaración la frecuencia de oscilación, los 32 bit del sistema, la declaración de puertos, entre otros.



```
progfile = "328pdef.dat"
Crystal = 16000000
Sramstack = 40
Stack = 16
Sramsize = 32
Sram = 9600

Config Adc = Single Prescaler = Auto Refer
Start Adc

Din PortA As Byte
Din B As Byte
Din C As Byte
Din D As Byte
Din PortA As Single
Din Idx As Word H1 As Word H2 As Word

Din A(200) As Word
Din PortA As String = 10
Const K = 1.1 / 1023

Ev Alias PINC 0
PORTC 0 = 1
```

Figura 3.44. Software, programa para micro controlador Atmega avr 8 -32bit
Fuente: Personal

Las tarjetas usadas Arduino 1, pueden acoplarse entre sí, Cada una de éstas generalmente realiza una función específica, por ejemplo: procesamiento de datos, visualización de datos, impresión de datos, etc. Para cada una de las funciones requeridas, hay que realizar el respectivo programa.

3.2.3.3. Visualización de datos en pantalla PLC

Para la etapa de visualización de resultados, luego de ser programado el protocolo de visualización mediante el lenguaje Visual Basic 6.0 se ha utilizado la tarjeta ARDUINO keypad shield de módulos desmontables como se muestra en la figura 3.41. En la tarjeta 3.41 a, se ancla el micro controlador para procesamiento de datos, mientras que, en la tarjeta 3.41.b, se exhiben los resultados en la pantalla digital o en un monitor mediante su conexión de enlace USB 2.0. Ambas tarjetas se conectan entre sí, en sus respectivos sockets. La visualización de datos en la pantalla PLC o en un monitor de ordenador no es automática hay que realizar la programación respectiva. Las tarjetas electrónicas ARDUINO keypad shield y un gran conjunto de su clase, están disponibles en tiendas electrónicas del mercado local.

3.2.3.4. Software, Programa para visualización de datos en pantalla

La programación realizada en VISUAL BASIC 6.0 para visualización de resultados es la siguiente:

```
Private Sub Form_Load()
abrirPuerto
End Sub
Public Sub abrirPuerto()
On Error GoTo mierror
If Not MSComm1.PortOpen Then
MSComm1.CommPort = 2
MSComm1.Settings = "9600,n,8,1"
MSComm1.InputLen = 0
MSComm1.PortOpen = True

Else
MsgBox ("Puerto COM 6 está abierto"), , "Puerto de Comunicaciones Serial"
End If
Exit Sub
mierror:
MsgBox "Número de Puerto NO VALIDO", vbInformation
numeroPuerto = CInt(InputBox("Escriba el número de Puerto de Comunicación", "Puerto
de Comunicación", "2"))
abrirPuerto
End Sub

Private Sub Frame1_DragDrop(Source As Control, X As Single, Y As Single)

End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
Dim st, res As String
If MSComm1.InBufferCount <> 0 Then
st = MSComm1.Input
l = Len(st)
res = ""
For l = 1 To l

If (Asc(Mid(st, l, 1)) >= 48 And Asc(Mid(st, l, 1)) <= 57) Or (Mid(st, l, 1) = "-") Or (Mid(st, l,
1) = ".") Then
res = res + Mid(st, l, 1)
End If
Next l

If Val(res) > 0 Then
res = "+" + res
End If
CmdDisplay.Caption = res
End If
```

End Sub

Private Sub Touch_Click()

End

End Sub

En la figura 3.45, se observa el encabezado del programa de visualización al momento de la programación del micro controlador donde se puede leer la declaración de apertura de puertos de comunicación, entre otros.

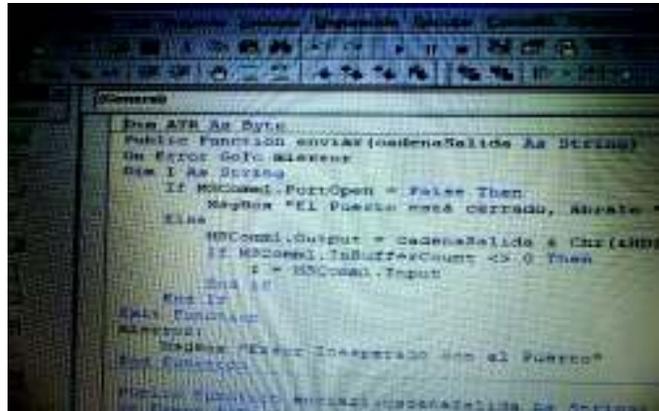


Figura 3.45. Software, Programa de comunicación para visualización de datos
Fuente: Personal

3.2.4. Ensamblaje total del sistema electrónico.

Luego de programar en el micro controlador con las relaciones funcionales entre los parámetros desplazamiento y voltaje, el conjunto de monitoreo eléctrico quedo constituido como se muestra en la figura.3.46, donde se observa la interconexión de elementos que constituyen la etapa eléctrica y electrónica del equipo, descritos a continuación.

1. El cable USB 2.0 de alimentación externa, que suministra un voltaje de 5 voltios para el funcionamiento de las tarjetas ARDUINO keypad shield y para la activación de la tarjeta acondicionadora de voltaje 4. Los 5 voltios también son suministrados como voltaje de referencia para el funcionamiento del micro controlador anclado en el elemento 7.
2. Conjunto electrónico que resulta del acoplamiento de las tarjetas: procesadora de datos 7, y visualizadora de datos 8.
3. Conductores por los que se proporciona el voltaje de activación (5 V) a la tarjeta acondicionadora 4 y llevan el voltaje señal desde la tarjeta acondicionadora, hasta la tarjeta procesadora de datos 7, ensamblada en el conjunto 2.

4. Tarjeta acondicionadora de voltaje, que proporciona 1.1 voltios al sensor de desplazamiento 6.

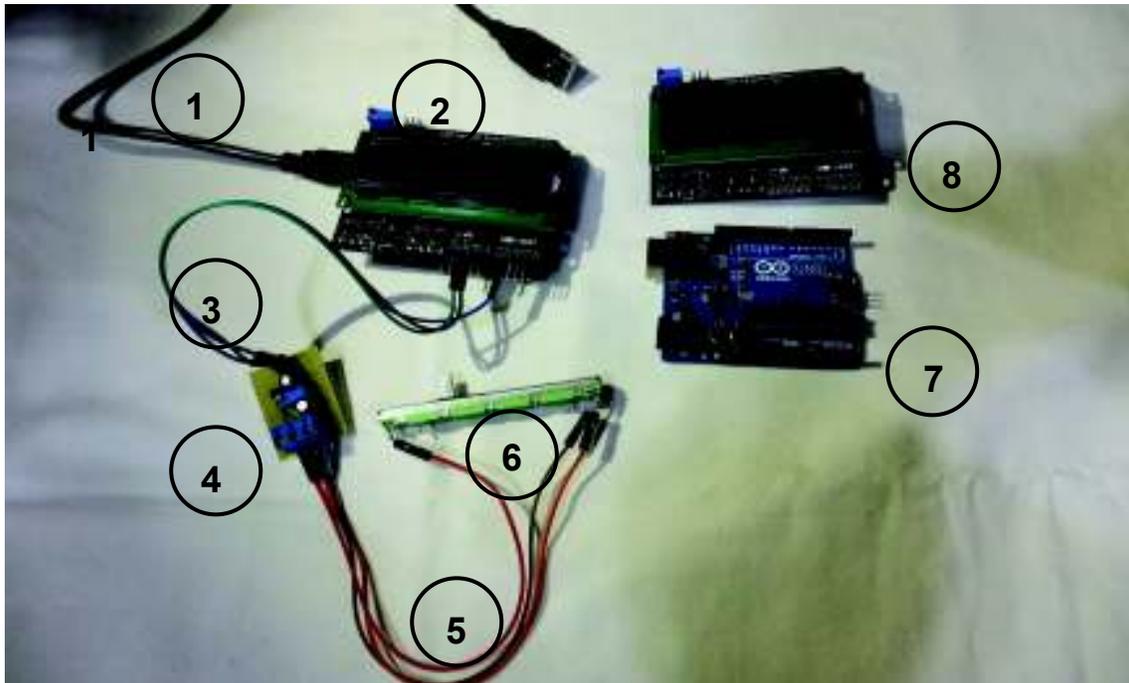


Figura 3.46. Ensamblaje del sistema de monitoreo electrónico con sensor de desplazamiento
Fuente: Propia

5. Conductores conectados al sensor de movimiento, dos de ellos proporcionan 1.1 voltios a los extremos fijos del potenciómetro y el restante conectado al cursor móvil del potenciómetro.

6. Potenciómetro lineal de $10[K\Omega]$ usado para el sensor de desplazamiento.

7. Tarjeta ARDUINO keypad shield procesadora de datos.

8. Tarjeta ARDUINO keypad shield visualizadora de datos.

La doble tarjeta interconectada se muestra separadamente en el lado lateral de la imagen precedente. La tarjeta que contiene el display dispone de una interconexión para monitor, por medio del cable USB mostrado, no sin antes programar la forma en la que se requiere mostrar los resultados. Una vez acoplada con la parte mecánica del equipo, el sistema electrónico de la figura 3.46 constituye el sistema nervioso y cerebro de nuestro equipo, el informa en cualquier momento los resultados del diagnóstico de convergencia

3.2.5. Construcción de caja de control eléctrico y electrónico

Una central de mandos de naturaleza eléctrica y electrónica debe estar físicamente disponible en lo que se llama tablero de control. En este caso, como el número de elementos es reducido el tablero o panel de mandos ha sido alojado en una caja llamada caja de control. En la figura 3.47 se muestra la estructura exterior de la caja de control.



Figura 3.47. Lado exterior de la caja de control
Fuente: Propia

Se puede observar que se ha perforado una ventana para visualización de datos electrónicos. En la parte inferior se observan dos perforaciones circulares para la colocación de pulsadores electrónicos, en derivación de los pulsadores propios de la tarjeta.



Figura 3.48. Vista interior de la caja de control con pilares de apoyo
Fuente: Propia

En la figura 3.48 se puede observar la parte interna de la caja donde se han previsto cuatro pilares de anclaje para alojar una placa de sostén para elementos electrónicos. En la figura 3.49 se puede apreciar el anclaje de una placa de acrílico.

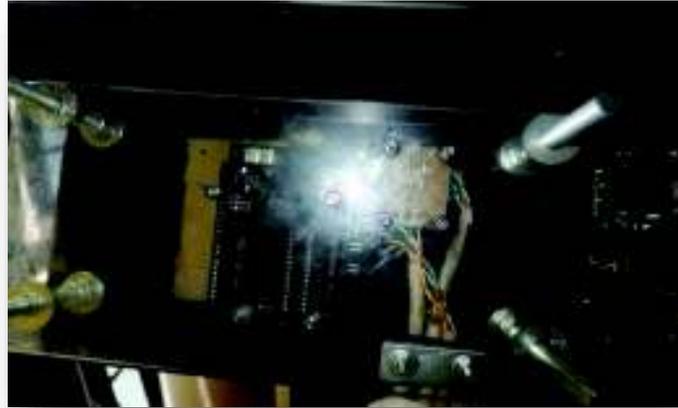


Figura 3.49. Anclaje de placa de acrílico entre los pilares de apoyo
Fuente: Propia

El acrílico es material no conductor de la electricidad, en estado líquido puede dársele cualquier color y relieve. En el presente trabajo se ha preferido incoloro y por ello sirve para la visualización de componentes.

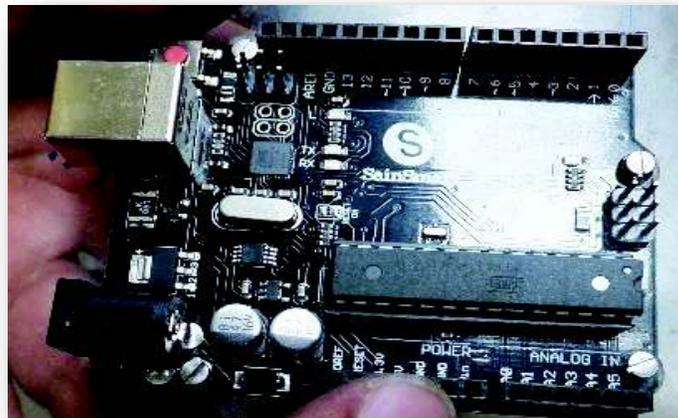


Figura 3.50. Tarjeta de procesamiento de datos, Arduino, Keypad shield.
Fuente: Google, Tarjeta Arduino, Keypad shield.

En la parte central de la figura anterior 3.49 se aprecian la secuencia de pines que corresponden a la tarjeta ARDUINO , la cual contiene al micro controlador. En la figura

3.50 se aprecia de cerca la tarjeta que contiene al micro controlador, que constituye el sistema electrónico de adquisición y procesamiento central de datos. En la figura 3.51, se muestra la fijación de la tarjeta central de procesamiento de datos. El anclaje se realiza con apoyos de silicona, con el fin de no comprometer la integridad de sus circuitos electrónicos.



Figura 3.51. Anclaje de la tarjeta Arduino, Keypad shield.
Fuente: Propia

A esta tarjeta se superpone y conecta la tarjeta Arduino Keypad shield para visualización de datos con pantalla LCD incorporada, usando para ello los acoples para pines, incorporados en los bloques rectangulares huecos de la parte superior e inferior de la ilustración.

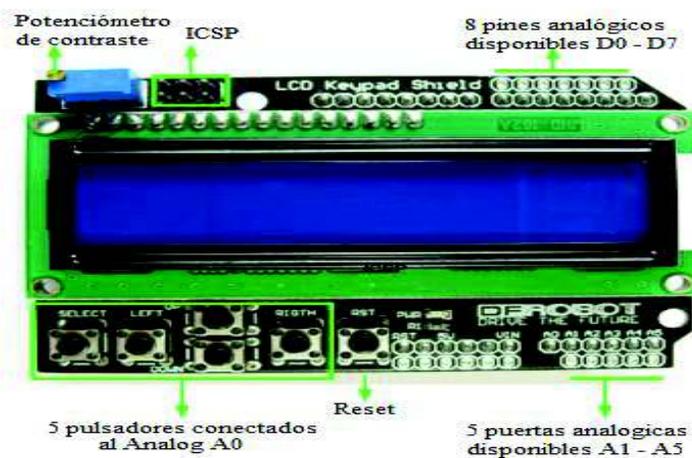


Figura 3.52. Tarjeta de visualización de datos, Arduino, Keypad shield.
Fuente: www.promotec.net/lcd-keypad-shield

En la figura 3.53, se observa el alojamiento de la caja de control en una caja eléctrica, empotrada en el sitio de trabajo, en ella se puede apreciar el display de la tarjeta Arduino para visualización de datos.



Figura 3.53. Vista frontal de la caja control
Fuente: Propia

En la parte inferior de la figura 3.53, se observa la fijación de dos pulsadores electrónicos tipo industrial para las funciones: arranque y reseteo del sistema electrónico. Las conexiones para estos pulsadores son derivaciones de los respectivos mini pulsadores incorporados en la tarjeta electrónica. La caja de control, con todas las instalaciones eléctricas necesarias para el equipo es sinónimo de integración electromecánica del mismo.

3.2.6. Protocolo de pruebas experimentales.

Una serie de pruebas se han requerido en el proceso del desarrollo del equipo, en sus distintas etapas de construcción:

Construcción etapa mecánica 1 con la con secciones 1.1, 1.2, 1.3

Construcción etapa eléctrica 2

Construcción etapa electrónica 3

3.2.6.1 Pruebas de construcción etapa mecánica 1

Aun siendo el diseño lo más perfecto posible, siempre existirán discrepancias con el elemento ya construido, pues muchos factores intervienen y desvían el resultado real del diseño inicial. En las distintas secciones construidas existieron discrepancias en los resultados respecto a su diseño original.

3.2.6.1.1. Pruebas de construcción etapa mecánica 1 sección 1.1



Figura 3.54. Prueba de construcción, sección mecánica 1.1
Fuente: Propia

Luego de ser soldadas las 21 piezas para conformar el elemento de sostén de la sección mecánica 1.1 se notó un arqueamiento visible de la sección inferior mostrada en la figura 3.54. Este defecto se produjo a pesar de tomar en cuenta las mejores precauciones en el proceso de soldadura. Los defectos encontrados fueron corregidos mediante una prensa hidráulica de capacidad máxima de 30 toneladas fuerza y que se ilustra en la figura 3.55



Figura 3.55. Prensa hidráulica, enderezamiento de deformaciones de soldadura
Fuente: Propia

En esta sección, ocurrió otro problema. El sistema de vaivén topaba indebidamente la sección mecánica 1.3, porque sus apoyos de anclaje rebasaban en un milímetro el nivel de altura de la sección mecánica 1.3. El defecto mecánico se corrigió removiendo el mecanismo y volviendo a soldar con cuidado hasta dejarlo unos 5mm bajo la sección 1.3. Un tercer problema encontrado a la hora de realizar el ensamblaje de elementos, en el interior del tubo central del mecanismo central de vaivén, los bocines internos se apretaban no corrían fácilmente, El remedio para este fenómeno fue volver a rectificar el diámetro de los bocines hasta que pasen sin trabarse, la prueba se realizó por simple gravedad.

3.2.6.1.2. Pruebas de construcción etapa mecánica 1 sección 1.2

Las rieles que alojan las esferas de rodamiento de la sección mecánica 1.2, llevan agujeros coaxiales de 18mm y 20mm. La perforación requiere del uso de fresadora.



Figura 3.56. Siete rieles para anclaje de esferas de rodamiento.
Fuente: Propia

Cuando se revisó el trabajo de perforación, los agujeros no eran coaxiales, consecuentemente los rodamientos de una misma riel, no siguen la misma línea recta, lo cual puede afectar el trabajo de los rodamientos lineales. Ventajosamente el sobredimensionamiento de las perforaciones respecto al diámetro de las esferas no comprometió el funcionamiento de esta sección antifricción y no fue necesario una reparación.

3.2.6.1.3. Pruebas de construcción etapa mecánica 1 sección 1.3



Figura 3.57. Prueba de construcción, sección mecánica 1.3
Fuente: Propia

Similarmente a los problemas ocurridos en la sección mecánica 1.1, en ésta sección también hubo torceduras provocados por la soldadura, figura 3.57, los defectos de construcción fueron minimizados usando la prensa hidráulica mostrada en la figura 3.55.

3.2.6.2 Pruebas de construcción etapa eléctrica 2

Ya que el potenciómetro lineal es parte esencial de nuestro sensor de movimiento, sus características de linealidad resistiva fueron tratadas experimentalmente. Se realizaron pruebas experimentales de resistencia en función del desplazamiento y de voltaje en función de desplazamiento, encontrándose que la linealidad se cumplía en un intervalo de su longitud total de aproximadamente 60%.

3.2.6.3 Pruebas de construcción etapa electrónica 3

Una vez contruidos y ensamblados: tarjeta de acondicionamiento, el sensor de movimiento, programación del micro controlador, programación para visualización de datos y no sin antes haber cometido y superado algunos errores de programación, el sistema electrónico fue sometido a prueba. El cursor móvil del potenciómetro fue desplazado 8[mm] hacia la derecha respecto a punto central de la pista total del potenciómetro como se muestra en la figura 3.58 y luego de un momento el micro controlador arrojó un valor de desplazamiento de +8[mm] en la pantalla LCD. Estos fueron momentos de júbilo, pues el sensor de movimiento y el procesamiento de datos en el micro controlador arrojaron los resultados correctos, pues, los sistemas eléctrico y electrónico estaban funcionando correctamente.

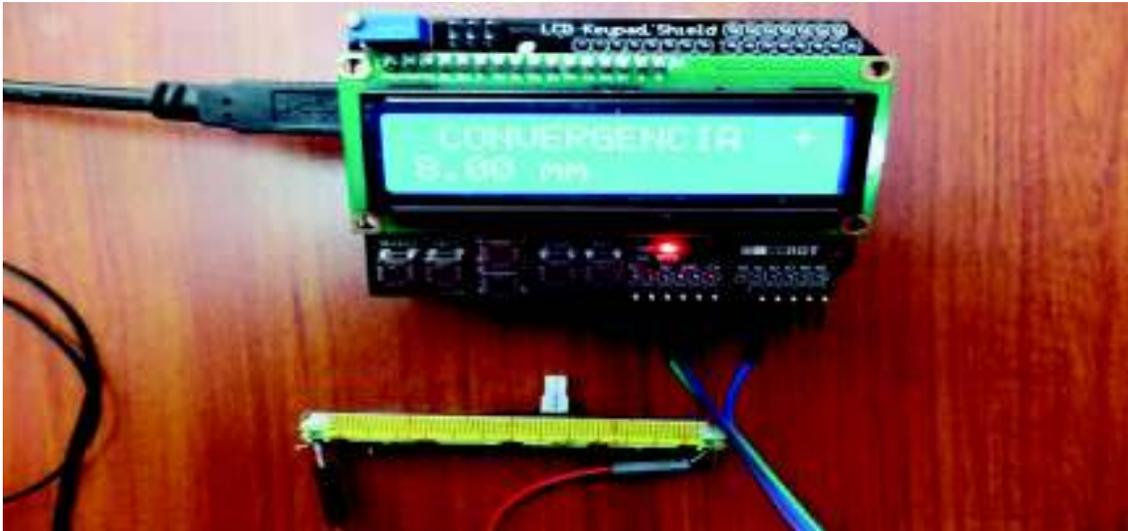


Figura 3.58. Funcionamiento correcto del sistema eléctrico y electrónico.
Fuente: Propia

3.2.6.4 Pruebas de ensamblaje y movilidad del equipo

Anclar el equipo, ya sea contenido dentro de una caja metálica o sin esta, es tarea que requiere vigilancia minuciosa, los errores cometidos en la misma repercutirán en un funcionamiento anómalo del equipo.

La obra civil de anclaje consiste en la excavación de una fosa bajo el nivel del piso Horizontal, de aproximadamente: 120cm de largo X 75cm de ancho X 16cm de profundidad, como se puede apreciar en la figura 3.59. El equipo queda fijado respecto al



Figura 3.59. Anclaje de la estructura del equipo, en fosa de 120cm X 75cm X 16cm
Fuente: Propia

piso mediante 8 pernos para anclaje, M10 de 50 mm de longitud



Figura 3.60. Anclaje de la estructura del equipo, con 8 pernos M10X 50mm de longitud
Fuente: Propia

Los cuales se fijan con tuerca y contratuerca a los 4 soportes de anclaje como se puede observar en la figura 3.60. A partir del ala horizontal hacia abajo los pernos de anclaje quedan inmersos en una cama de concreto. El equipo es fácilmente removible en caso que se desee cambiar su ubicación de trabajo. Seguidamente se incorpora a la estructura del equipo, el marco externo, que servirá como: elemento de sostén para el concreto y por otro lado, sirve de referencia para la nivelación del piso respecto a la plataforma superior del equipo, ver figura 3.61.



Figura 3.61. Anclaje del marco exterior a la estructura del equipo, con 8 pernos M10X 50mm de longitud

El marco externo es nivelado respecto al piso, la estructura del equipo se nivela respecto al marco, luego la estructura del equipo queda nivelada respecto al piso.

Seguidamente se acopla la plataforma superior a la estructura del equipo, para ajustar desplazamientos entre y sobre el marco, como se puede observar en la figura 3.62.



Figura 3.62. Pruebas finales de ajuste, movilidad, de la sección superior del equipo
Fuente: Propia

Una vez colocados el marco externo y la plataforma superior, se ajustó el movimiento de ésta a 3mm de altura respecto al nivel de altura del marco lateral, así como, la amplitud máxima de su movimiento transversal en 20[mm] respecto a su centro de oscilación.

Luego de realizar el mejor ajuste de nivelación del equipo se procede a rellenar la cama de concreto, con mezcla homogénea y cuidando no sobrepasarse de los niveles de altura pre establecida como se muestra en la figura 3.63.



Figura 3.63. Relleno de concreto del fondo y paredes laterales de la fosa
Fuente: Propia

Luego de ser rellenada la cama de concreto y las aberturas laterales por etapas, se procede a pulir los bordes exteriores.



Figura 3.64. Relleno de concreto del: fondo y paredes laterales de la fosa
Fuente: Propia

En la figura 3.64, se observa la culminación del relleno procediéndose a esperar un plazo mínimo de 3 días para proceder a ensamblar los componentes internos del equipo. Se debe esperar un tiempo más largo de secado, para proceder con acabados como pintado y señalización.

3.2.6.5 Pruebas de funcionamiento del equipo en vacío

Una vez ensamblado el equipo con todas sus secciones: mecánica, eléctrica, electrónica incluyendo su caja de control fijada en el sitio de trabajo, se procedió a realizar la prueba de funcionamiento del equipo en vacío.



Figura 3.65. Conector USB de la tarjeta debe conectarse a USB2.0 del computador.
Fuente: Propia

La figura 3.65 muestra la conexión del cable USB de la tarjeta, con una extensión hasta el computador de trabajo. Cuando se conectó el cable de alimentación desde el puerto USB 2.0 del computador, de 15m de longitud hasta el puerto de la tarjeta Arduino, Keypad shield como se puede ver en la figura 3.66, entonces la tarjeta se activó



Figura 3.66. Conector USB de la tarjeta a USB2.0 del computador, activación
Fuente: Propia

Seguidamente se da inicio al desplazamiento de la plataforma hacia la derecha e izquierda de la posición de equilibrio, Como se muestra en las figuras 3.67 y .figura 3.68, utilizando para ello trabas de madera.



Figuras 3.67. Desplazamiento de la plataforma hacia la derecha, es convergencia negativa.
Fuente: Propia

El movimiento de la plataforma es compatible con la lectura electrónica, figura 3.68.



Figuras 3.68. Desplazamiento de la plataforma hacia la izquierda, es convergencia positiva.
Fuente: Propia

El movimiento de la plataforma superior, es totalmente compatible con el registro electrónico de su desplazamiento, figura 3.68.

3.2.6.6 Pruebas de funcionamiento del equipo con carga

Para la prueba de funcionamiento del equipo con carga, ver figura 3.69, se hizo avanzar por la plataforma superior del equipo, un vehículo marca Hyundai, de 2.5 toneladas de peso.



Figura 3.70. Diagnóstico de convergencia, para vehículo sin defecto de alineación de convergencia
Fuente: Propia

La plataforma superior del equipo no registró movimiento lateral alguno, esto es signo de correcta alineación de convergencia. En la figura 3.70, se muestra el diagnóstico de convergencia correspondiente.



Una segunda prueba de funcionamiento del equipo con carga, ver figura 3.71, se hizo con un vehículo, marca NISSAN, de 2.14 toneladas de peso bruto. Su prueba de diagnóstico en la Revisión Técnica vehicular es de +17.6 m/Km. La prueba de diagnóstico en nuestro equipo, marco.



Figura 3.71. Diagnóstico de entrada, para vehículo con defecto de convergencia
Fuente: Propia

Luego de la reparación de la falla de convergencia nuestro equipo dio una lectura de 1m/Km como lo indica la figura 3.72.



Figura 3.72. Diagnóstico de salida para el vehículo, luego de corregido el defecto de convergencia
Fuente: Propia

Luego de ser revisado de nuevo por la Revisión Técnica vehicular dio una lectura de 2m/Km. Cabe anotar que los valores máximos permisibles para este defecto son de +6.99 m/Km para una convergencia positiva, y de - 6.99 m/Km para una convergencia negativa, entonces el diagnostico de convergencia se tipifica como válido y se aprueba la Revisión Vehicular. Los detalles de esta prueba que son de dominio público en la Red, se encuentran en el Anexo D. Las pruebas realizadas hasta el momento, demuestran que el equipo presenta suficiente resistencia mecánica vertical y transversal, al paso de vehículos livianos y semipesados de hasta 2.5 toneladas de peso bruto. Se espera realizar las pruebas de campo con vehículos cuyo peso bordee las 3 toneladas según lo previsto A pesar del peso del equipo y del gran peso del vehículo, la sección superior del equipo se desliza transversalmente con facilidad sobre la parte inferior del equipo. El desplazamiento lateral de la plataforma superior cumple satisfactoriamente dentro rango de desplazamiento máximo previsto Las correcciones de defectos de alineación de convergencia, han sido aceptadas cuantitativamente por el Centro de Revisión Técnica Vehicular mediante la aprobación del vehículo correspondiente.

3.6. Análisis económico.

Para este análisis, se ha considerado dos bloques de costos: costos directos, costos indirectos. En los costos directos se consideran los precios de los materiales de cada

conjunto de piezas y el precio de trabajos específicos que se deben realizar sobre ellas, tales como: materia prima, cortes, dobleces, maquinado, perforaciones, soldaduras. En un segundo bloque de costos directos se considera la adquisición de insumos como: brocas, discos de corte y desbaste, antioxidante, pinturas, diluyente tiñer. Un tercer bloque de costos se consideran los costos indirectos como: Agua, energía eléctrica, arriendo, pago operario. En la tabla 3.1, se muestra en resumen el costo total por equipo el cual asciende a USD 2480.74 (dos mil cuatrocientos ochenta con setenta y cuatro centavos), valor que se obtiene al sumar los costos directos e indirectos en la producción del equipo, El detalle del análisis de costos se muestra en el Anexo E.

Tabla 3.2. Resultado análisis económico

Costo por equipo		
Costos directos		
Subtotal (1)	USD	1521.21
Subtotal (2)	USD	439.53
Costos indirectos		
Subtotal (3)	USD	520.00
Costo total máquina		2480.74

Fuente: Propia

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones.

- Con los recursos encontrados en nuestro medio, es posible fabricar equipo y maquinaria de grado tecnológico básico, para resolver distintas necesidades que presenta la sociedad.
- En la construcción de éste equipo, concluimos que existe una secuencia específica de pasos, que optimiza el ensamblaje de las partes logrando un mínimo de afectación a la funcionalidad y calidad del producto final.
- Se debe sondear el precio de materiales requeridos, en distintos proveedores, ya que en nuestro medio el precio del mismo producto puede fluctuar en porcentajes considerables, lo que afecta sensiblemente al costo, precio y valor del equipo.
- A pesar que para la construcción del equipo, las materias primas adquiridas no se fabrican en nuestro país, su costo y precio final resultan competitivos respecto a productos similares extranjeros.

4.2. Recomendaciones.

- Luego de haber adquirido una experiencia primaria de diseño y construcción de un equipo o maquinaria, se recomienda poner a punto un protocolo de construcción con el objeto de elevar la calidad y minimizar errores y defectos en producto final.
- En todos los niveles de formación, debe potenciarse el desarrollo de habilidades para diseñar y encontrar soluciones a problemas de ciencia e ingeniería en concordancia a sus respectivas competencias.
- En nuestro medio es recomendable que la construcción de elementos de precisión sea supervisada por parte del autor, pues la falta de elementos de juicio del personal técnico, hace menoscabar importantes detalles de construcción que muchas veces se encuentran implícitos y afectan la calidad del producto.

- Las técnicas de rastreo de movimiento usadas en el presente trabajo, pueden aplicarse a la detección de pequeños movimientos de grandes masas, ya sean lineales y/ o angulares.
- Cadenas de producción nacional de equipos automáticos: automotrices, agrícolas, para la educación, entre otros, son recomendables para elevar estándares técnicos, producción y de vida.
- Es recomendable que un nuevo trabajo respecto a este tema, considere optimizar el peso, funcionalidad y costos, pues siempre se puede mejorar las bondades de un proyecto de diseño y construcción.

Referencias bibliográficas

- [1] D. Hermógenes L. Martínez (2000). Manual del Automóvil. Edit Cultural s.a. España
- [2] M. Arias. Guitian Paz (2006). Manual de automóviles. 56ava Edición. Editorial Dossat. España.
- [3]. J. Rueda Santander (2003). Mecánica y Electrónica Automotriz. Editorial Diseli. Colombia.
- [4]. William F. Milliken and Douglas L. Milliken. (1995). Race Car Vehicle Dynamics. 5ta Edición, Editorial SAE International. USA.
- [5]. J. M. Alonso Pérez (2003). Mecánica del Automóvil. 10ma Edición. Editorial Thomsom Paraninfo. España.
- [6] W. Bolton (2007). Mecatrónica .3ra. Edición. Editorial Alfaomega. Mexico.
- [7]. John R. Barnes (2004). Robust Electronic Design Reference. Book V1. Kluwer Academic Publishers.
- [8]. Riba, C. (2008). Selección de Materiales en el Diseño de Máquinas. Ediciones UPC. España.
- [9] Livesley, R.K. (1998). Elementos finitos. 1ra edición. Editorial Limusa. México.
- [10]. Richard C Dorf. (1989). Sistemas Modernos de Control. Editorial Addison Wesley. U.S.A.
- [11] Alfredo Roca C. (2014). Control Automático de Procesos Industriales. Editorial Díaz de Santos. España.
- [12]. Saturnino Soria Tello (2013). Sistemas Automáticos Industriales. Alfaomega Editores. México.
- [13]. Grantham y Vincent. (1998). Sistemas de Control Moderno. Editorial Limusa. México.
- [14]. José María Angulo y Otros (2007). Micro controladores PIC. 4ta. Edición. Editorial Mc Graw Hill. España.
- [15]. I. Scott Mackenzie y Otros (2007). Micro controlador 8051. 4ta. Edición. Editorial Pearson Prentice Hall. Mexico.
- [16]. Budynas, Richard G. (1997). Diseño en Ingeniería Mecánica. 9na edición. Editorial Mc. Graw Hill. México.

[17] A.E.Ward and J.A.S.Angus (1996). Electronic Product Design. Chapman & Hall. USA.

Referencias Bibliográficas de la Red

[18]. [Diseño electrónico - Wikipedia, la enciclopedia libre](#)

[19]. <http://www.electronicosmx.net/index.php/notas/asi-funciona/prueba-de-componentes/536-tl431-zener-de-precision-funcionamiento-y-prueba>

[20]. Google, Tarjeta ARDUINO keypad shield

[21]. www.arduino.com

[22]. Google, peso marca modelo

[23]. www.prometec.net/lcd-keypad-shield Tarjetas Arduino

ANEXOS