



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS
DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLATAFORMA
INTELIGENTE Y PORTÁTIL PARA UN SISTEMA DE VISIÓN
ESTEREO PARA APLICACIÓN DE VISIÓN POR
COMPUTADORA EN VEHÍCULOS”**

AUTOR: DELGADO LANDÁZURI, LUIS FERNANDO

DIRECTOR: DR. FLORES, MARCO
CODIRECTOR: ING. TAPIA, MELTON

SANGOLQUÍ

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CERTIFICADO

DR. MARCO FLORES

Director

ING. MELTON TAPIA

Codirector

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLATAFORMA INTELIGENTE Y PORTATIL PARA UN SISTEMA DE VISION STEREO PARA APLICACIÓN DE VISION POR COMPUTADORA EN VEHÍCULOS”**, realizado por Luis Fernando Delgado Landázuri, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la universidad.

Debido a la veracidad de la información expuesta en el estudio y su aplicación, se recomienda su publicación.

El mencionado trabajo consta de dos documentos empastados y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (PDF).

Autorizan a Luis Fernando Delgado Landázuri, que lo entregue al Ing. José Pérez, en su calidad de Director de la Carrera.

Sangolquí, 06 de febrero de 2015

Dr. Marco Flores

DIRECTOR

Ing. Melton Tapia

CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
INGENIERÍA MECÁNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Luis Fernando Delgado Landázuri

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLATAFORMA INTELIGENTE Y PORTÁTIL PARA UN SISTEMA DE VISIÓN STEREO PARA LA APLICACIÓN DE VISIÓN POR COMPUTADORA EN VEHÍCULOS”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 06 de febrero de 2015

Luis Fernando Delgado Landázuri

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE
INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, Luis Fernando Delgado Landázuri

Autorizo a la Universidad de Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLATAFORMA INTELIGENTE Y PORTÁTIL PARA UN SISTEMA DE VISION STEREO PARA LA APLICACIÓN DE VISIÓN POR COMPUTADORA EN VEHÍCULOS”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 06 de febrero de 2015

Luis Fernando Delgado Landázuri

DEDICATORIA

*A mis Padres, por haberme dado
su apoyo incondicional, para Hoy,
haber culminado esta Meta.
Quiero dedicarles este esfuerzo y
perseverancia, que no es
otra cosa que el reflejo de vuestro
ejemplo, porque ustedes son el espejo
de cuerpo entero donde miramos el
esfuerzo y la entrega para alcanzar
mis sueños.*

AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme dado la vida y la sabiduría, porque sin esto no hubiese sido posible iniciar ni culminar nuestra carrera.

A mis Padres, por su apoyo incondicional, en cada instante de mi vida, por su amor, por haber sido luz en momentos oscuros y con sus consejos me dieron el valor y el ánimo que necesitaba para avanzar y continuar con nuestros estudios.

A la Escuela Politécnica del Ejército por haberme abierto sus puertas y darme la oportunidad de formarme como personas y profesional útil a la sociedad y a la Patria.

A mi Director y Codirector de Tesis, Ingenieros Marco Flores y Melton Tapia, quienes con mística profesional, me guiaron y orientaron de la mejor forma, para que esta meta se alcance con el éxito anhelado.

A todos mis Familiares y Amigos, quienes creyeron en mí, para ver culminar este objetivo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|------------|
| RESUMEN | XIV |
| ABSTRACT | XV |
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| 1. ANTECEDENTES..... | 1 |
| 1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 3 |
| 1.2. OBJETIVOS | 4 |
| 1.2.1. OBJETIVO GENERAL | 4 |
| 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 5 |
| 1.3. ALCANCE | 5 |
| CAPITULO II..... | 7 |
| 2. REVISIÓN DE SISTEMAS ESTÉREO PARA APLICACIÓN EN VEHÍCULOS INTELIGENTES | 7 |
| 2.1. INTRODUCCIÓN..... | 7 |
| 2.2. Sistemas de visión inteligente instalados en vehículos | 8 |
| 2.2.1. Sistemas ADAS | 8 |
| 2.3. Detección de objetos | 11 |
| 2.4. Reconocimiento de peatones | 11 |
| 2.4.1. Sistemas basados en descriptores de formas | 12 |
| 2.4.2. Sistemas basados en descriptores | 12 |
| 2.5. Teoría de Descriptores HOG | 12 |
| 2.6. Teoría de clasificadores Support Vector Machines (SVM) | 14 |
| 2.7. Programa..... | 16 |
| CAPITULO III..... | 20 |
| 3. DISEÑO DE LA PLATAFORMA INTELIGENTE Y PORTATIL..... | 20 |
| 3.1. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DE LA PLATAFORMA..... | 20 |
| 3.1.1. Movilidad en los tres ejes..... | 20 |
| 3.1.2. Peso..... | 21 |
| 3.1.3. Vibraciones | 21 |
| 3.1.4. Ejes ópticos paralelos (horizontal) | 21 |
| 3.1.5. Portátil..... | 21 |

| | | |
|---------|---|----|
| 3.1.6. | Fácil automatización | 22 |
| 3.2. | Alternativas de diseño | 22 |
| 3.2.1. | Mecanismo basado en pasadores | 22 |
| 3.2.2. | Giroscopio..... | 23 |
| 3.2.3. | Mecanismo basado en rótulas | 23 |
| 3.3. | CRITERIOS DE SELECCIÓN | 24 |
| 3.4. | MATRIZ DE SELECCIÓN | 24 |
| 3.4.1. | Opciones..... | 25 |
| 3.4.2. | Criterios de selección..... | 25 |
| 3.4.3. | Comparar criterios en la matriz de pares | 25 |
| 3.4.4. | Comparando las opciones | 28 |
| 3.4.5. | Matriz final | 30 |
| 3.5. | Diseño del modelo..... | 31 |
| 3.5.1. | Fundamento conceptual | 31 |
| 3.5.2. | Diseño del modelo 3D..... | 32 |
| 3.5.3. | Funcionamiento del Mecanismo | 33 |
| 3.5.4. | Torque necesario para mover los tornillos | 35 |
| 3.5.5. | Procedimiento para determinar el torque..... | 35 |
| 3.5.6. | Selección del motor | 39 |
| 3.5.7. | Requisitos del motor | 39 |
| 3.5.8. | Alternativas de motores | 40 |
| 3.5.9. | Motor a pasos | 40 |
| 3.5.10. | Servo motor | 41 |
| 3.5.11. | Motor de DC | 41 |
| 3.5.12. | Selección del motor | 42 |
| 3.5.13. | Control del mecanismo..... | 42 |
| 3.5.14. | Diseño para electrónica del sistema..... | 44 |
| 3.6. | Cinemática del sistema | 44 |
| 3.6.1. | Cinemática del Sistema | 44 |
| 3.6.2. | Análisis del mecanismo | 48 |
| 3.6.3. | Análisis estructural..... | 51 |
| 3.6.4. | Resultados del análisis | 53 |

| | |
|---|------------|
| 3.6.5. Conclusiones del análisis..... | 57 |
| 3.6.6. Análisis Modal de Vibraciones | 58 |
| 3.6.7. Resultados del análisis | 68 |
| 3.6.8. Conclusiones del análisis..... | 71 |
| CAPITULO IV | 73 |
| 4. CONSTRUCCION, ENSAMBLE Y AJUSTES | 73 |
| 4.1. Construcción | 73 |
| 4.1.1. Planos constructivos | 73 |
| 4.1.2. Hojas de Proceso | 74 |
| 4.2. Pruebas de funcionamiento..... | 74 |
| 4.2.1. Carrera de la corredera y ángulo de rotación | 74 |
| 4.2.2. Acople de los motores | 78 |
| 4.2.3. Funcionamiento de los motores..... | 79 |
| 4.2.4. Prueba de vibraciones | 81 |
| 4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS | 82 |
| 4.4. Ajustes al diseño | 86 |
| 4.4.1. Carrera de la corredera y ángulo de rotación | 87 |
| 4.4.2. Acople de los motores | 88 |
| 4.5. Conclusiones del capítulo..... | 89 |
| CAPITULO V | 91 |
| 5. ANÁLISIS DE COSTOS | 91 |
| 5.1. Costos de diseño..... | 91 |
| 5.2. Costos de construcción | 91 |
| 5.2.1. Costos directos | 91 |
| 5.2.2. Costos indirectos | 95 |
| 5.3. Costos totales..... | 96 |
| CAPITULO VI | 97 |
| 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 97 |
| 6.1. Conclusiones..... | 97 |
| 6.2. Recomendaciones..... | 98 |
| BIBLIOGRAFÍA | 99 |
| ANEXOS I..... | 102 |

| | |
|--|------------|
| ANEXOS II..... | 103 |
| PLANOS CONSTRUCTIVOS..... | 103 |
| ANEXO III..... | 104 |
| HOJAS DE PROCESOS..... | 104 |
| ANEXO IV..... | 105 |
| DATA SHEET MOTORES..... | 105 |
| ANEXO V..... | 106 |
| SELECCIÓN VENTOSA Y CÁLCULOS ADICIONALES..... | 106 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Estudio de accidentes de tránsito en Ecuador..... | 2 |
| Tabla 2. Opciones de diseño..... | 25 |
| Tabla 3. Criterios de diseño..... | 25 |
| Tabla 4. Factores de ponderación..... | 25 |
| Tabla 5. Matriz factor de ponderación..... | 26 |
| Tabla 6. Matriz factor de operación..... | 28 |
| Tabla 7. Matriz final..... | 30 |
| Tabla 8. Mejor puntuación para el diseño del sistema..... | 31 |
| Tabla 9. Datos de instrumento usado para medir la fuerza..... | 36 |
| Tabla 10. Medidas de desplazamiento para diferentes ángulos de la placa frontal..... | 47 |
| Tabla 11. Asignación de materiales a cada pieza..... | 50 |
| Tabla 12. Propiedades de cada pieza de acuerdo al material asignado..... | 64 |
| Tabla 13. Propiedades de cada pieza de acuerdo al material asignado..... | 66 |
| Tabla 14. Detalles del mallado..... | 66 |
| Tabla 15. Detalles de mallado para análisis..... | 67 |
| Tabla 16. Resumen de resultados de modos de vibración..... | 71 |
| Tabla 17. Lista de Planos constructivos..... | 73 |
| Tabla 18. Lista de hojas de procesos..... | 74 |
| Tabla 19. Costos de Diseño..... | 91 |
| Tabla 20. Costos de Materiales mecánicos..... | 92 |

| | |
|---|----|
| Tabla 21. Costos de Materiales Eléctricos | 93 |
| Tabla 22. Costos de Maquinado | 94 |
| Tabla 23. Costos Indirectos | 95 |
| Tabla 24. Costo total del proyecto | 96 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Diagrama sobre el estudio de accidentes de tránsito en Ecuador .. | 2 |
| Figura 2: Diseños de soportes para sistemas de visión estereoscópica | 4 |
| Figura 3: Asistencia al aparcamiento | 8 |
| Figura 4: Asistente en visión nocturna | 9 |
| Figura 5: Mantenimiento de trayectoria en el carril | 9 |
| Figura 6: Detección del ángulo muerto | 10 |
| Figura 7: Sistema de protección de peatones..... | 11 |
| Figura 8: Desarrollo del método HOG..... | 13 |
| Figura 9: Ejemplo 1 de funcionamiento de plataforma..... | 17 |
| Figura 10: Ejemplo 2 de funcionamiento de plataforma | 18 |
| Figura 11. Niveles de riesgo dentro del rango de análisis | 20 |
| Figura 12. Esquema de un mecanismo de pasadores con tres grados de libertad | 22 |
| Figura 13. Giroscopio..... | 23 |
| Figura 14. Mecanismo basado en rótulas | 24 |
| Figura 15. Músculos oculares extrínsecos..... | 32 |
| Figura 16. Diseño del modelo 3D en Solidworks de la plataforma para el sistema de visión estéreo..... | 33 |
| Figura 17. Mecanismo mostrado en una vista superior | 34 |
| Figura 18. Barras que conectan las guías con la placa frontal | 34 |
| Figura 19. Rótulas..... | 35 |
| Figura 20. Forma de determinar la carga necesaria para vencer la inercia del mecanismo | 37 |
| Figura 21. Con la flecha roja se indica donde se sujetará el hilo para medir | |

| | |
|---|----|
| la fuerza en nuestro mecanismo | 37 |
| Figura 22. Imagen tomada durante la realización de la prueba | 37 |
| Figura 23. Determinación de la fuerza experimentalmente con el dinamómetro | 38 |
| Figura 24. Imagen tomada durante la realización de la prueba | 38 |
| Figura 25. Imagen de un motor a pasos de tamaño pequeño y fácil acople | 40 |
| Figura 26. Imagen de un servomotor con la caja reductora de velocidad | 41 |
| Figura 27. Motor de DC | 42 |
| Figura 28. Placa para control electrónico..... | 43 |
| Figura 29. Placa para manipulación manual..... | 43 |
| Figura 30. Electrónica del sistema | 44 |
| Figura 31. Estructura básica del mecanismo | 45 |
| Figura 32. Orientación de los ejes coordenados y asignación de números a las correderas | 46 |
| Figura 33. Ejemplo de medida entre el soporte y la corredera | 47 |
| Figura 34. Nivel ubicado en la parte posterior de la placa frontal | 48 |
| Figura 35. Estructura básica del mecanismo considerada para análisis estructural y análisis modal..... | 49 |
| Figura 36. Propiedades mecánicas del acero AISI 1020 | 50 |
| Figura 37. Propiedades mecánicas de la Resina de Poliéster | 51 |
| Figura 38. Puntos de sujeción y aplicación de carga | 52 |
| Figura 39. Detalles de la malla aplicada | 53 |
| Figura 40. Von Mises | 54 |
| Figura 41. Desplazamientos | 55 |
| Figura 42. Deformaciones unitarias | 56 |
| Figura 43. Factor de seguridad mínimo | 57 |
| Figura 44. Detalle de la sujeción del mecanismo..... | 59 |
| Figura 45. Aproximación del funcionamiento del sistema de amortiguación del vehículo..... | 60 |
| Figura 46. Sistema simplificado de un amortiguador de un vehículo | 61 |
| Figura 47. Diagrama de cuerpo libre del sistema..... | 62 |

| | |
|--|----|
| Figura 48. Modo 1 de vibración..... | 68 |
| Figura 49. Modo 2 de vibración..... | 69 |
| Figura 50. Modo 3 de vibración..... | 70 |
| Figura 51. Modo 4 de vibración..... | 70 |
| Figura 52. Modo 5 de vibración..... | 71 |
| Figura 53. Modelo 3D – Ensamble General..... | 76 |
| Figura 54. Carrera final del mecanismo de prueba..... | 76 |
| Figura 55. Condiciones de la corredera..... | 77 |
| Figura 56. Resultado de la prueba de funcionamiento de la relación desplazamiento de la corredera – ángulo de rotación de la placa frontal en la que se observa que para 30 mm de carrera se tiene un ángulo de rotación de la placa frontal..... | 78 |
| Figura 57. Acople de motor – eje roscado para transmisión de movimiento..... | 79 |
| Figura 58. Prueba de funcionamiento de motores..... | 80 |
| Figura 59. Posición de las correderas después de probar los motores..... | 80 |
| Figura 60. Modelo ubicado en el vehículo para prueba de vibraciones..... | 81 |
| Figura 61. Calidad de imagen y acople de cámaras..... | 82 |
| Figura 62. Primer diseño de acople del motor con eje roscado..... | 83 |
| Figura 63. Guía del mecanismo de longitud 30 mm..... | 83 |
| Figura 64. Mecanismo con cámaras no alineadas..... | 84 |
| Figura 65. Vista de afuera de las cámaras no alineadas..... | 84 |
| Figura 66. Resultado de imágenes capturadas con cámaras no alineadas..... | 85 |
| Figura 67. Mecanismo nivelado..... | 86 |
| Figura 68. Cámaras alineadas vista desde afuera..... | 86 |
| Figura 69. Resultado de imágenes capturadas con el mecanismo nivelado..... | 86 |
| Figura 70. Mecanismo ampliado la guía de 30 a 47 mm..... | 87 |
| Figura 71. Ángulo de rotación de la placa frontal con carrera de 47 mm..... | 88 |
| Figura 72. Izquierda: primer diseño acople; derecha: diseño final..... | 89 |

RESUMEN

En este proyecto se realizó el diseño y construcción de una plataforma portátil para un sistema de visión estéreo para aplicación en vehículos. Este proyecto nace de la necesidad de obtener un dispositivo que indique y prevenga situaciones peligrosas al momento de manejar un vehículo motorizado, haciendo que el conductor tenga una señal de advertencia cuando en su camino se cruce un peatón u otro objeto, para ello se utilizará información visual.

Debido a que las principales investigaciones indican que la visión estereoscópica es la más adecuada para este tipo de aplicaciones, se aplicará un sistema de ejes ópticos paralelos por lo que el principal requerimiento de la plataforma es que las dos cámaras permanezcan paralelas durante su operación. Otros requisitos de diseño son: no refleje las vibraciones del vehículo cuando esté en marcha ya que puede afectar directamente a la calidad de la imagen y el resultado obtenido por el sistema de visión estéreo no será satisfactorio; además es una plataforma fabricada con materiales resistentes para garantizar su durabilidad.

La plataforma incluye una placa electrónica para controlar su movimiento a través de motores a pasos y un control manual para ser utilizado en caso de no tener las facilidades como son una fuente de alimentación para los motores, los dos tipos de control son de fácil y rápido intercambio.

PALABRAS CLAVE: SOPORTE PARA SISTEMA DE VISIÓN ESTEREOSCÓPICA, DETECTOR DE PERSONAS, SOPORTE PORTÁTIL PARA CÁMARAS EN VEHÍCULO, ANÁLISIS MODAL DE VIBRACIONES, MECANISMO TRES GRADOS DE LIBERTAD.

ABSTRACT

This project was the design and construction of a portable platform for a stereo vision system for application in vehicles. This project is born from the necessity to obtain a device that indicates and prevents dangerous situations at the time of driving a motorized vehicle, helping that the driver has a warning signal when in his road, someone crosses or there is another object. This will be used for visual information.

The main investigations indicate that stereoscopic vision is the most suitable for this type of application, a system of parallel optical axes was applied and for that reason the main requirement of the platform is that the two cameras remain parallel during their operation. Other design requirements are: it does not reflect the vibrations of the vehicle when it is running, it can directly affect the quality of the image and the result obtained by the stereo vision system will not be satisfactory; in addition, it is a platform built with durable material to ensure its durability.

The platform includes an electronic plate to control its movement through motors to steps and a manual control to be used in case of not having the facilities as they are a power supply for the motors, both types of control are of fast and easy interchange.

KEYWORDS: SUPPORT FOR STEREOSCOPIC VISION SYSTEM, DETECTOR OF PEOPLE, PORTABLE SUPPORT FOR CAMERAS IN VEHICLE, MODAL ANALYSIS OF VIBRATIONS, MECHANISM THREE DEGREES OF FREEDOM.

CAPÍTULO I

1. ANTECEDENTES

En el Ecuador existe un parque automotor compuesto por aproximadamente 1`500.000 de vehículos, y es el cuarto país en el mundo y el segundo en Latinoamérica en tener accidentes de tránsito. En la ciudad de Quito se registra el 34.3% de los accidentes de tránsito a nivel nacional. (Agencia Nacional de Tránsito, 2011)

Un accidente de tránsito es aquel producido generalmente en la vía pública, en el que se encuentra implicado uno o más vehículos circulando por ella, pudiendo involucrar a peatones, vehículos en situación estacionaria u otros elementos.

La Agencia Nacional de Tránsito hizo un estudio sobre los accidentes y determinó que factor humano ocasiona el 93% de los accidentes de tránsito en el Ecuador. Los componentes del factor humano son: Negligencia de conductor 60% (distracción por celular, mal rebasamiento, invasión de carril, mal estacionamiento y pasar semáforo en rojo), exceso de velocidad 14%, embriaguez del conductor 8%, e imprudencia del peatón 7%. Un porcentaje menor se debe a factores externos como mal estado de la vía, 6%, casos fortuitos 2%. Factores climáticos 2% y daños mecánicos 1%. (Agencia Nacional de Tránsito, 2011)

En la siguiente tabla y diagrama de pastel se observa el estudio de los accidentes de tránsito en Ecuador.

Tabla 1: Estudio de accidentes de tránsito en Ecuador

| ITEM | CAUSA | PORCENTAJE |
|------|---------------------|------------|
| 1 | Factor humano | 60% |
| 2 | Exceso de velocidad | 14% |
| 3 | Embriaguez | 8% |
| 4 | Imprudencia peatón | 7% |
| 5 | Estado de la vía | 6% |
| 6 | Clima | 2% |
| 7 | Casos fortuitos | 2% |
| 8 | Daños mecánicos | 1% |

Fuente: Agencia Nacional de Tránsito, 2011

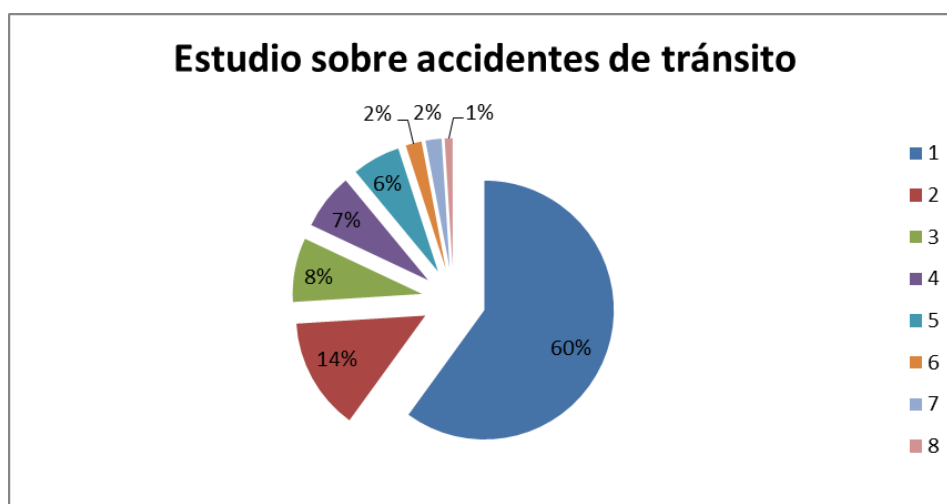


Figura 1: Diagrama sobre el estudio de accidentes de tránsito en Ecuador

Marcar un número de teléfono, responder a una llamada, manipular el navegador del celular, encender un cigarrillo y ajustar la radio o el reproductor de CD, son acciones que a simple vista parecen sencillas de realizar, mientras se maneja un vehículo. Quienes realizan estos movimientos cuando el vehículo está en marcha, desconocen que al ejecutarlos ponen en riesgo sus vidas, porque se vuelven más propensos a sufrir accidentes en las carreteras.

Un reciente estudio realizado por la compañía "Transport Research Laboratory del Reino Unido" demostró que circulando a 120 km/h, un

automotor recorre en tres segundos una distancia de más de 100 metros, lo equivalente a la longitud de una cancha de fútbol. Si el conductor se distrae y aparta la vista de la vía tan solo un segundo, el móvil circulará sin control una distancia de 34 metros, en la cual pueden surgir diversas circunstancias que provoquen un grave accidente.

Cuando sucede un caso así, la capacidad de reacción que tiene el conductor para efectuar una maniobra de seguridad es mínima, porque el elemento distractor disminuye el tiempo para reaccionar ante una eventualidad.

Por tal razón la realización del presente proyecto pretende analizar mediante Visión por Computadora, la identificación de personas que se crucen en la vía, para lo cual se emplea cámaras de alta resolución.

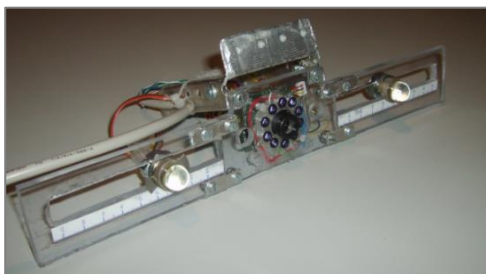
1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Este proyecto nace de la necesidad de obtener un dispositivo que indique y provenga de situaciones peligrosas al momento de manejar un vehículo motorizado, haciendo que el conductor tenga una señal de advertencia cuando en su camino se cruce un peatón, para ello se necesita información visual en tres dimensiones que la proporciona el sistema de visión estéreo.

El sistema de visión estéreo debe tener un diseño específico, ya que para su correcto funcionamiento este debe cumplir varios requerimientos como son: las vibraciones y el ángulo de inclinación deben ser regulado para que este sistema tenga siempre la misma apreciación y el mismo alcance, además es un sistema de visión estereoscópica con ejes ópticos paralelos, por lo que debe tener la capacidad de regularlo de tal manera que las dos cámaras estén alineadas horizontalmente, para ampliar más esta información se recomienda ver el anexo 1.

En Ecuador sistema de este tipo se acostumbran a construir rústicamente, sin pensar en las exigencias mecánicas que se requieren para que el Sistema tenga un funcionamiento óptimo, además se quiere minimizar recursos y darle una presentación adecuada.

En la figura 2 se muestra varios diseños que se han utilizado en este tipo de aplicaciones, el primero con un diseño muy rudimentario y poco profesional, y el segundo con un tamaño grande y su instalación es fija en el automóvil:



(a)



(b)

Figura 2: Diseños de soportes para sistemas de visión estereoscópica

(a) Diseño de un Sistema de Visión mono-cámara con cámara infrarroja.

Universidad Carlos III de Madrid

(b) Sistema avanzado de asistencia a la conducción en tiempo real para la detección de peatones

1.2. OBJETIVOS

1.2.1.OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un soporte mecánico y portátil para un Sistema de Visión Estéreo para aplicación en visión por computadora en vehículos inteligentes.

1.2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un soporte para un sistema de visión estéreo que pueda instalarse en cualquier vehículo.
- Construir el soporte para un sistema de visión estereoscópica no interfiera con el campo visual del conductor.
- Realizar un diseño óptimo que minimice las vibraciones del equipo y se pueda regular la inclinación de cámaras.
- Realizar los planos de construcción y de montaje del sistema de Visión estéreo.
- Estudiar teoría de descriptores HOG y clasificadores SVM para comprender el funcionamiento de un sistema de detección de personas.
- Pruebas de funcionamiento de la plataforma con aplicación desarrollada por Dalal y Triggs para verificar linealidad de ejes ópticos.

1.3. ALCANCE

El alcance de este proyecto consta del diseño y construcción de la parte mecánica, con los requerimientos descritos en la justificación utilizando materiales ligeros y tecnología actual disponible en el país.

A continuación se procederá a desarrollar una aplicación que nos permita obtener patrones, realizando un estudio detallado de las técnicas desarrolladas para analizar la detección de personas en la vía.

Finalmente se busca entregar el equipo en funcionamiento, instaladas dos cámaras con conexión USB a la computadora, y hacer pruebas de funcionamiento. Cabe indicar que la parte de la visión estereoscópica no se incluye en este proyecto, más sin embargo, en la parte de anexos se habla lo más básico, porque se ha considerado que es importante comprenderla ya

que es la fuente de varias justificaciones para el diseño de la plataforma, como por ejemplo el requerimiento de que las dos cámaras estén alineadas horizontalmente.

Con el presente proyecto se busca desarrollar una parte de un proyecto destinado a construir un sistema de seguridad activa, con el objetivo de reducir el índice de accidentes de tránsito en el Ecuador.

CAPITULO II

2. REVISIÓN DE SISTEMAS ESTÉREO PARA APLICACIÓN EN VEHÍCULOS INTELIGENTES

2.1. INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios, los desarrollos de la visión por computadora han estado inspirados en el estudio del sistema visual humano, el cual sugiere la existencia de diferentes tipos de tratamiento de la información visual dependiendo de metas u objetivos específicos, es decir, la información percibida es procesada en distintas formas con base en las características particulares de la tarea a realizar.

En las últimas décadas las investigaciones sobre la visión por computadora se han desarrollado rápidamente, en especial la aplicación para analizar los alrededores y reconocimiento de objetos en el entorno 3D, por tal razón en este capítulo se tratará todo lo referente a la visión estereoscópica, desde sus inicios, su desarrollo, hasta lo más complejo que son las técnicas utilizadas para lograr el reconocimiento de objetos.

Se ha considerado de vital importancia la visión por computadora 3D ya que en un futuro abrirá las puertas a posibilidades como navegación automática de robots y vehículos, vigilancia, reconocimiento automático de un comportamiento inesperado de las personas u objetos como los vehículos en el tráfico diario, aplicaciones en la medicina, entre otros, es así que en el anexo 1 se muestra un resumen de lo que es la visión estereoscópica, su geometría, y como esta funciona.

En este capítulo mencionaremos ejemplos de sistemas de visión estereoscópica con aplicación en vehículos, teorías de descriptores HOG y

teoría de clasificadores SVM considerados de suma importancia para comprender el programa que se mostrará al final de este capítulo.

2.2. Sistemas de visión inteligente instalados en vehículos

2.2.1. Sistemas ADAS

Los Sistemas Avanzados de Asistencia al Conductor, ADAS (Advanced Driver Assistance System), han surgido como sistemas de seguridad cuyo objetivo es reducir la cifra de accidentes de vehículos al máximo. (Cruz, 2013)

Estos sistemas tratan de desarrollar tecnologías inteligentes aplicadas al automóvil con el propósito tanto de aumentar la seguridad en las carreteras consiguiendo reducir el número de accidentes, como de facilitar la conducción para que ésta sea más confortable. (Cruz, 2013)

A continuación se describirá algunos de los sistemas de asistencia a la conducción existentes para entender mejor la utilidad que proporcionan:

- Asistencia al aparcamiento

Este tipo de asistencia facilita la maniobra de aparcamiento que en numerosas ocasiones terminan siendo una tarea complicada, ahorrando tiempo al conductor y permitiendo estacionar el vehículo en huecos más reducidos en los que para el conductor sería complicado si no dispusiese de ayuda. (Cruz, 2013)



Figura 3: Asistencia al aparcamiento

- Sistema de Visión Nocturna

Estos sistemas de visión nocturna muestran a través de una pantalla situada en la consola lo que sucede en el campo de movimiento del vehículo cuando las condiciones de iluminación son reducidas, disminuyendo el número de atropellos y accidentes. (Cruz, 2013)



Figura 4: Asistente en visión nocturna

- Asistencia de mantenimiento de trayectoria en el carril

Este sistema detecta que el vehículo traspasa una línea, ya sea continua o discontinua, que delimita el carril. Esto puede deberse a una desviación de la trayectoria sin haber activado los intermitentes para indicar el cambio de carril o a una posible salida de la vía. Al producirse alguna de las acciones comentadas, el vehículo puede responder emitiendo una señal acústica y/o haciendo vibrar el volante o el asiento del conductor. También existe la opción de que el sistema actúe levemente sobre la dirección en sentido opuesto de tal manera que el vehículo quede fijado sobre el carril. (Cruz, 2013)



Figura 5: Mantenimiento de trayectoria en el carril

- **Detección del ángulo muerto**

Se trata de un sistema de control de vehículos que permite evitar situaciones de peligro o colisiones con otros vehículos durante un cambio de carril por culpa de la falta de visibilidad en lo que es conocido como ángulo muerto. (Cruz, 2013)

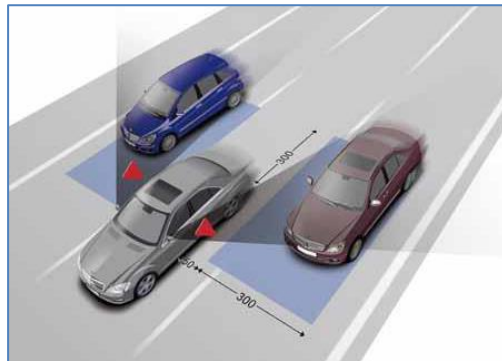


Figura 6: Detección del ángulo muerto

- **Sistemas de prevención de colisiones**

Es un proyecto de Toyota que consiste en un sensor de radar de ondas milimétricas que realiza constantes envíos de información sobre los obstáculos localizados delante del vehículo. Este sistema determina la probabilidad de colisión según cuales sean las condiciones de conducción, la distancia al vehículo delantero y las velocidades de cada vehículo. En el caso de que exista un riesgo de colisión, se alerta al conductor mediante señales ópticas y/o sonoras o, incluso, se inicia la acción de frenado de forma automática. (Cruz, 2013)

- **Sistema de protección de peatones**

Los sistemas existentes, han sido enfocados a proteger a las personas que se encuentran en el interior del vehículo. En la actualidad se trata de desarrollar sistemas que eviten los atropellos o que reduzcan su efecto en caso de que sea inevitable. (Cruz, 2013)

Las carrocerías, actualmente, son diseñadas para que en caso de colisión se deformen fácilmente, absorbiendo más cantidad de energía. Otra

solución para la protección de peatones es un sistema actuador que eleva, entre otras cosas, el capó del motor. Mediante sensores se detecta una colisión con un objeto y gracias a algoritmos inteligentes se diferencia el tipo de objeto, distinguiendo si se trata de un peatón o no.



Figura 7: Sistema de protección de peatones

2.3. Detección de objetos

El objetivo de la detección de objetos u obstáculos es: obtener información efectiva de los obstáculos presentes en la imagen y determinar la distancia a la que se encuentran, y con ello poder tomar decisiones.

La detección de objetos cuando se la quiere realizar en vías urbanas donde hay gran cantidad de objetos, de características muy variadas, los entornos son muy diversos y las condiciones de iluminación son cambiantes, por lo que, la intensidad de las imágenes varía en función de la luz.

2.4. Reconocimiento de peatones

Una vez llevada a cabo la detección de los obstáculos se procede a la clasificación de los mismos según el objetivo buscado. En el caso de este proyecto, el interés reside en la detección de los peatones en la escena. A la hora de reconocer los objetos se puede recurrir a los sistemas basados en detectores de formas en los que se selecciona un conjunto de rasgos para discriminar los objetos que no son de interés con respecto de los que sí lo

son, a pesar de que los fondos estén saturados o las condiciones de iluminación no sean óptimas.

2.4.1.Sistemas basados en descriptores de formas

El reconocimiento de formas consiste en el reconocimiento de patrones de los objetos, quedando éstos representados por una colección de descriptores. El punto esencial del reconocimiento de formas es la correcta clasificación. Mediante un mecanismo de extracción de características se extrae la información útil, eliminando la información redundante e irrelevante. Finalmente se lleva a cabo la etapa de toma de decisiones en la cual el sistema de reconocimiento asigna a cada objeto su categoría o clase.

2.4.2.Sistemas basados en descriptores

Un descriptor representa una región de la imagen que ha sido previamente extraída. Cada región correspondiente a un objeto se caracteriza por un vector descriptor. Posteriormente, estos descriptores son evaluados por un clasificador que determina la presencia o ausencia del objeto buscado, en este caso, el peatón. El clasificador antes de su uso ha debido ser entrenado a partir de un conjunto de ejemplos, representados por el descriptor a clasificar. Entre los descriptores existentes destacan para la detección de peatones los basados en el análisis del componente principal (PCA), en wavelets, en histogramas de gradientes orientados (HOG) o los descriptores SIFT (Scale Invariant Feature Transform).

2.5. Teoría de Descriptores HOG

Antes de iniciar con los descriptores HOG es necesario clasificar las regiones de interés en las mismas que debe descartarse aquellas que engloben obstáculos determinados como elevados, para proceder al análisis de aquellas ROIs clasificadas como no elevadas y que implican la posibilidad

de ser un obstáculo para el paso del vehículo. Para la clasificación de estos obstáculos como peatones o no peatones, siendo los primeros el objeto de interés de este proyecto, se emplea el método basado en el Histograma de Gradientes Orientados (HOG).

Los descriptores HOG para llevar a cabo la detección de peatones en la escena se caracteriza por su robustez frente a diferentes condiciones de iluminación, pequeños cambios en el contorno de la imagen y diferencias de fondos y de escalas. El método HOG presenta la diferencia de que los gradientes no se calculan uniformemente sobre un único mallado denso, sino que divide la imagen en una serie de bloques distribuidos a lo largo y ancho de la misma y con cierto solape entre ellos. De esta forma, el avance de bloques se realiza eliminando la columna de las celdas de la izquierda y añadiendo la columna de la derecha para el desplazamiento horizontal, mientras que para el vertical se elimina la fila de las celdas de arriba, añadiendo la fila de celdas de abajo. A su vez, cada bloque se divide en subregiones o celdas, calculándose en cada uno de ellos el histograma de los gradientes orientados, de tal forma que se logra mejorar el rendimiento.

En la Figura 8 se muestra una imagen donde se representan gráficamente los pasos seguidos por el método basado en los histogramas de gradientes orientados.

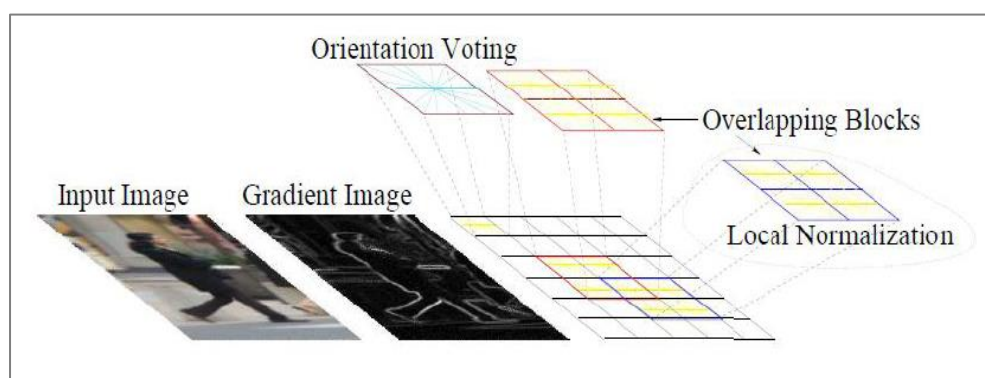


Figura 8: Desarrollo del método HOG

El primer paso para aplicar el HOG a una determinada imagen o ROI es calcular las derivadas espaciales de dicha imagen a lo largo de los ejes x e y (I_x y I_y).

A continuación, se hallan tanto la magnitud (Ec. 2.1) como la dirección de los valores del gradiente (Ec.2.2) en cada uno de los píxeles de la región:

$$|G| = \sqrt{I_x^2 + I_y^2} \quad (2.1)$$

$$\theta = \text{atan}(I_x/I_y) \quad (2.2)$$

El siguiente paso es dividir la imagen en celdas y calcular los histogramas de cada una de estas celdas. Cada píxel de la celda tiene un cierto peso en el histograma de orientación, basado en el valor calculado de la magnitud de su gradiente. Cada imagen se representa a través del histograma de cada una de las celdas. Estos histogramas quedan ordenados en un vector según su peso, dando lugar al vector de características de la imagen. Una imagen omnidireccional contiene los mismos píxeles en una fila aunque la imagen esté rotada, lo que significa que se va a obtener un vector de características invariante ante una rotación.

2.6. Teoría de clasificadores Support Vector Machines (SVM)

Las Máquinas de Soporte Vectorial o Máquinas de Vectores de Soporte (SVM) son un conjunto de algoritmos de aprendizaje supervisado empleados para la clasificación y la regresión desarrollados por Vladimir Vapnik. Dado un conjunto de ejemplos de entrenamiento (muestras) podemos etiquetar las clases y entrenar una SVM para construir un modelo que prediga la clase de una nueva muestra. (Máquinas de Vectores Soporte, 2013)

Tomando los datos de entrada como conjuntos de vectores en un espacio n-dimensional, una máquina de vectores soporte construirá un hiperplano de separación en ese espacio. Se considera que es mejor clasificador de datos aquel hiperplano que maximice la distancia con los puntos que estén más cerca de él. Siendo los vectores de soporte los puntos que tocan el límite del margen. En el contexto que se está tratando en este proyecto de detección de objetos, las clases de datos corresponderán al objeto (muestras positivas), mientras que el resto de la imagen será tachada como muestras negativas.

- **Selección de Características**

Para la implementación de un clasificador es necesario tener en cuenta una serie de características concretas. La selección de éstas, sin embargo, no es una tarea sencilla.

La adición de muchos parámetros irrelevantes hace más difícil la clasificación para todos los métodos. Además, a medida que vamos añadiendo más información se van incrementando las dimensiones del espacio, hecho que supone que la optimización sea cada vez más difícil.

- **Entrenamiento**

La finalidad de esta fase es construir un conjunto/grupo para que los objetos que se han clasificado como ciertos, sean conocidos/identificados. Los parámetros característicos que describen a los objetos deben ser discriminatorios para la clasificación.

- **Conjunto de entrenamiento**

El conjunto de entrenamiento debe contener una lista de objetos con tipos conocidos. Idealmente este conjunto de entrenamiento debería

contener muchos ejemplos, de este modo, se incluirían objetos comunes y no comunes.

Para crear el conjunto de entrenamiento se requiere una fuente de objetos clasificados de forma cierta.

2.7. Programa

El método aplicado en este ejemplo se basa en el usado por Dalal y Triggs, el mismo que recoge información en información de imágenes, tomando como positivas una o varias figuras humanas y otras imágenes en las que no aparecen personas y se tomarán como negativo.

Con la imagen en la pantalla, se procede a seleccionar áreas en la fotografía y posteriormente se verá los resultados.

Se selecciona un área de la imagen, y se puede ver en la esquina superior izquierda el resultado del análisis que nos realiza el programa. De esta forma el programa es capaz de reconocer peatones en forma estática, es decir primeramente se captura la imagen y después se procede a analizar.

A continuación se presentan ejemplos de lo mencionado anteriormente:

Ejemplo 1:



(a)



(b)



(c)

Figura 9: Ejemplo 1 de funcionamiento de plataforma
 (a) Captura de Imagen; (b) Área con persona; (c) Área sin persona

Ejemplo 2:



(a)



(b)



(c)

Figura 10: Ejemplo 2 de funcionamiento de plataforma
 (a) Captura de Imagen; (b) Área con persona; (c) Área n persona

En este capítulo se ha mostrado un resumen referente a descriptores HOG y clasificadores SVM con el objetivo de dar al lector un enfoque general y como una introducción para entender el funcionamiento de un sistema inteligente de detección de personas.

Además se mostró ejemplos de sistemas inteligentes usados en vehículos que funcionan como asistentes al conductor para evitar accidentes de tránsito, es decir sistemas de seguridad pasiva.

Finalmente se muestra varios ejemplos basados en el programa de Dalal y Triggs, con imágenes capturadas con nuestros sistemas y con el vehículo

en marcha, en los que se puede observar la detección de personas y no personas.

CAPITULO III

3. DISEÑO DE LA PLATAFORMA INTELIGENTE Y PORTATIL

3.1. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DE LA PLATAFORMA

A lo largo de este documento escrito se ha venido mencionando algunos de los requerimientos y criterios que esta plataforma debe tener como base para su posterior diseño, en los siguientes puntos, se describirán brevemente dichos criterios.

3.1.1. Movilidad en los tres ejes

Es una característica que debe cumplir el diseño, ya que el sistema de visión estereoscópica usa como elemento principal cámaras de alta resolución y estas deben ser enfocadas correctamente hacia el objeto o el rango de visión que se quiere que estas alcancen. Si no se lo hace correctamente se puede tener problemas al momento de analizar un espacio, y ubicar correctamente los rangos de peligro, los cuales se puede observar en la Figura 11. Que se muestra a continuación.

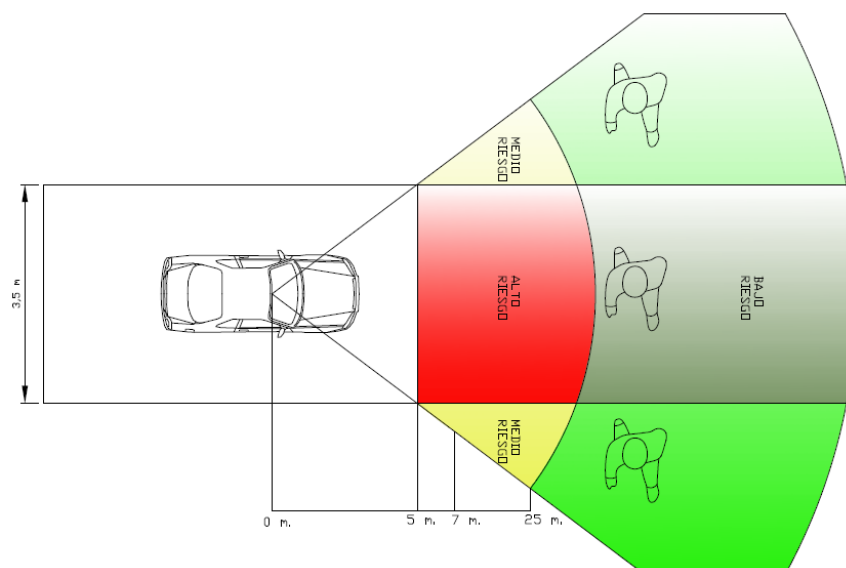


Figura 11. Niveles de riesgo dentro del rango de análisis

3.1.2.Peso

La aplicación que se está desarrollando está orientada hacia el transporte, y en un vehículo lo más viable para ubicar el dispositivo es el parabrisas, por tanto este debería ser capaz de soportar su propio peso. La plataforma debe ser diseñada lo más compacta y en materiales muy livianos y resistentes para que el peso sea lo menor posibles. Adicionalmente cabe indicar que este equipo será portátil, por tanto para su traslado debe ser pequeño y lo más alivianado posible.

3.1.3.Vibraciones

La calidad de la imagen depende en gran parte de la estabilidad que tenga la cámara al momento de capturar una imagen. Por el movimiento del vehículo y la irregularidad del camino esto tenderá a moverse en todo momento, por tanto es muy importante pensar en algo que le dé estabilidad a la plataforma para que así no entre a la misma frecuencia de vibración del vehículo y por tanto evitar la resonancia.

3.1.4.Ejes ópticos paralelos (horizontal)

Este criterio se lo revisó en el anterior capítulo, para mayor comprensión de este punto se recomienda revisar el punto 2.5.2 el que trata sobre el modelo geométrico del sistema de visión estereoscópica.

3.1.5.Portátil

El proyecto sobre el sistema de visión estereoscópica orientado a la detección de personas debe pasar por una fase de pruebas, por tanto, no estará fijo en un solo vehículo, por lo que se lo caracteriza como portátil, además, es necesario diseñar algo específico para esto por las razones que se enuncian en los puntos anteriores, y no adaptar otros dispositivos que no

son adecuados como se tiene la costumbre de hacerlo, ya que se trata de un trabajo profesional.

3.1.6.Fácil automatización

Otro objetivo de esta plataforma es de darle la calibración adecuada a las cámaras de una manera fácil de tal manera que se pueda obtener el ángulo requerido para su funcionamiento de forma exacta.

3.2. Alternativas de diseño

Después de una revisión de las posibles soluciones para nuestro problema, como posibilidades se ha seleccionado las siguientes:

3.2.1.Mecanismo basado en pasadores

El principio de funcionamiento de este mecanismo se basa en que cada uno de los ejes se apoya sobre diferentes pasadores y así se obtiene los tres grados de libertad requeridos para satisfacer uno de nuestras condiciones de diseño y la más importante.

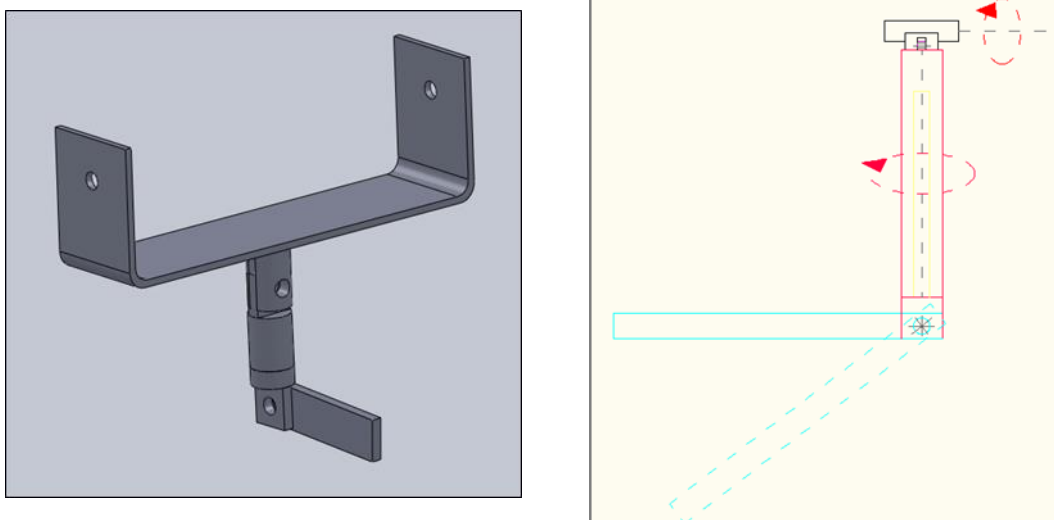


Figura 12. Esquema de un mecanismo de pasadores con tres grados de libertad

3.2.2. Giroscopio

Un giroscopio, se lo puede considerar como una posibilidad para nuestro diseño, ya que un giroscopio es un dispositivo mecánico que sirve para medir, mantener o cambiar la orientación en el espacio de algún aparato.

Está formado esencialmente por un cuerpo con simetría de rotación que gira alrededor del eje de dicha simetría.

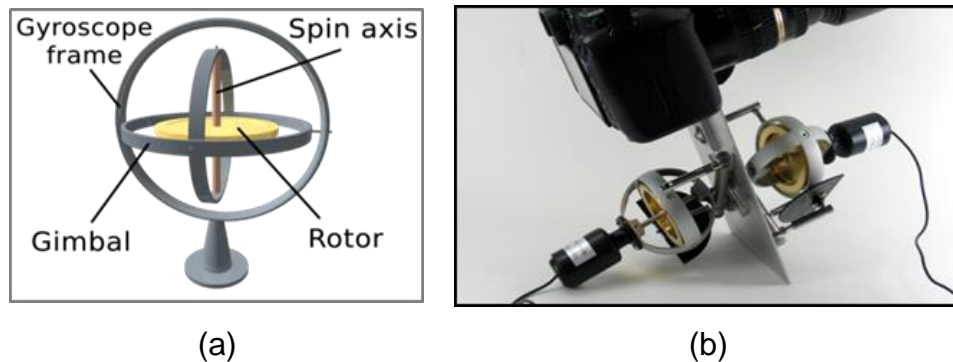


Figura 13. Giroscopio

(a) Elementos que forman un giroscopio

(b) Aplicación del giroscopio utilizada para estabilizar una cámara

Fuente: (Prutchi, 2012)

3.2.3. Mecanismo basado en rótulas

Este mecanismo usa como articulación una rótula, que por sí va a tener movimiento en cualquier dirección alrededor de los tres ejes. Este mecanismo puede tener como articulaciones varias rótulas incorporadas, dependiendo del uso para el cual este orientado.

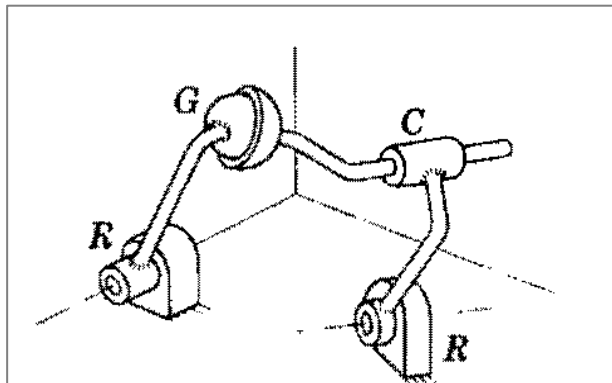


Figura 14. Mecanismo basado en rótulas
Fuente: Teoría de máquinas y mecanismos – Shigley 1 ed.

En la Figura 14 se muestra el mecanismo con una rótula lo que en el punto G le da tres grados de libertad. Como se mencionó anteriormente los puntos R y C pueden ser sustituidos por rótulas dependiendo de la necesidad.

3.3. CRITERIOS DE SELECCIÓN

Los criterios de selección están basados en las características que se ha descrito en el punto 3.1 tomando como más relevante los siguientes:

- Peso
- Estabilidad
- Capacidad de orientación
- Facilidad para automatizar
- Costo construcción
- Tamaño
- Precisión

3.4. MATRIZ DE SELECCIÓN

Se tiene como objetivo seleccionar el tipo de mecanismo que se utilizará para la plataforma, para lo cual se seguirá los siguientes pasos:

3.4.1.Opciones

Tabla 2. Opciones de diseño

| |
|-------------------------------|
| Mecanismo basado en pasadores |
| Giroscopio |
| Mecanismo basado en rótulas |

3.4.2.Criterios de selección

Tabla 3. Criterios de diseño

| |
|----------------------------|
| Peso |
| Tamaño |
| Capacidad de orientación |
| Facilidad para automatizar |
| Costo de fabricación |
| Estabilidad |
| Precisión |
| Fabricación sencilla |

3.4.3.Comparar criterios en la matriz de pares

En esta parte se juzga cada criterio contra todos los demás, para esto se crea una matriz de pares, es decir se hace una tabla en la que se nombran filas y columnas con cada uno de los criterios. A continuación se compara la importancia de cada uno de ellos contra los demás por medio de la siguiente escala:

Tabla 4. Factores de ponderación

| | |
|------|------------------|
| 10 | Importante |
| 5 | Menos importante |
| 1 | Igual |
| 1/5 | Regular |
| 1/10 | No importante |

Se suma las filas de cada criterio. Para cada criterio se obtiene un factor de ponderación (FP) dividiendo la suma entre el total.

Tabla 5. Matriz factor de ponderación

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | Suma | Factor de Ponderación (FP) |
|--------------|----------------------------|------|-----|-----|-----|-----|---|---|---|-------------|----------------------------|
| 1 | Capacidad de orientación | | 10 | 5 | 5 | 1 | 1 | 1 | 5 | 28 | 0,312 |
| 2 | Tamaño | 1/10 | | 1 | 1 | 5 | 1 | 1 | 5 | 14,1 | 0,157 |
| 3 | Peso | 1/5 | 1 | | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10,2 | 0,114 |
| 4 | Facilidad para automatizar | 1/5 | 1 | 1/5 | | 5 | 1 | 1 | 1 | 9,4 | 0,105 |
| 5 | Estabilidad | 1 | 1/5 | 1 | 1/5 | | 1 | 1 | 5 | 9,4 | 0,105 |
| 6 | Costo de fabricación | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 7 | 0,078 |
| 7 | Precisión | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 7 | 0,078 |
| 8 | Fabricación sencilla | 1/5 | 1/5 | 1 | 1 | 1/5 | 1 | 1 | | 4,6 | 0,051 |
| TOTAL | | | | | | | | | | 89,7 | |

3.4.4.Comparando las opciones

Tabla 6. Matriz factor de operación

| Capacidad de orientación | | | | | |
|--|----------|----------|----------|-------------|-------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | Suma | Peso de operación (PO) |
| 1 Mecanismo basado en rótulas | | 1 | 5 | 6 | 0,484 |
| 2 Giroscopio | 1 | | 5 | 6 | 0,484 |
| 3 Mecanismo basado en pasadores | 1/5 | 1/5 | | 0,4 | 0,032 |
| TOTAL | | | | 12,4 | |

| Tamaño | | | | | |
|--|----------|----------|----------|-------------|-------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | Suma | Peso de operación (PO) |
| 1 Mecanismo basado en rótulas | | 1 | 5 | 6 | 0,652 |
| 2 Giroscopio | 1 | | 1 | 2 | 0,217 |
| 3 Mecanismo basado en pasadores | 1/5 | 1 | | 1,2 | 0,130 |
| TOTAL | | | | 9,2 | |

| Peso | | | | | |
|--|----------|----------|----------|-------------|-------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | Suma | Peso de operación (PO) |
| 1 Mecanismo basado en rótulas | | 1 | 1 | 2 | 0,333 |
| 2 Giroscopio | 1 | | 1 | 2 | 0,333 |
| 3 Mecanismo basado en pasadores | 1 | 1 | | 2 | 0,333 |
| TOTAL | | | | 6 | |

Facilidad para automatizar

| | 1 | 2 | 3 | Suma | Peso de operación (PO) |
|---------------------------------|-----|---|---|-------------|------------------------|
| 1 Mecanismo basado en rótulas | | 5 | 5 | 10 | 0,806 |
| 2 Giroscopio | 1/5 | | 1 | 1,2 | 0,097 |
| 3 Mecanismo basado en pasadores | 1/5 | 1 | | 1,2 | 0,097 |
| TOTAL | | | | 12,4 | |

Estabilidad

| | 1 | 2 | 3 | Suma | Peso de operación (PO) |
|---------------------------------|-----|-----|---|-------------|------------------------|
| 1 Mecanismo basado en rótulas | | 1 | 5 | 6 | 0,484 |
| 2 Giroscopio | 1 | | 5 | 6 | 0,484 |
| 3 Mecanismo basado en pasadores | 1/5 | 1/5 | | 0,4 | 0,032 |
| TOTAL | | | | 12,4 | |

Costo de fabricación

| | 1 | 2 | 3 | Suma | Peso de operación (PO) |
|---------------------------------|-----|---|-----|-------------|------------------------|
| 1 Mecanismo basado en rótulas | | 5 | 1 | 6 | 0,484 |
| 2 Giroscopio | 1/5 | | 1/5 | 0,4 | 0,032 |
| 3 Mecanismo basado en pasadores | 1 | 5 | | 6 | 0,484 |
| TOTAL | | | | 12,4 | |

3.4.5. Matriz final

Tabla 7. Matriz final Mecanismos vs parámetros de diseño

| | | F.P. | P.O | Total | F.P. | P.O | Total | F.P. | P.O | Total | |
|----------|-------------------------------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| 1 | Mecanismo basado en rótulas | 0,31 | 0,48 | 0,15 | 0,16 | 0,65 | 0,10 | 0,11 | 0,33 | 0,04 | 0,29 |
| 2 | Giroscopio | 0,31 | 0,48 | 0,15 | 0,16 | 0,22 | 0,03 | 0,11 | 0,33 | 0,04 | 0,22 |
| 3 | Mecanismo basado en pasadores | 0,31 | 0,03 | 0,01 | 0,16 | 0,13 | 0,02 | 0,11 | 0,33 | 0,04 | 0,07 |

| | | F.P. | P.O | Total | F.P. | P.O | Total | F.P. | P.O | Total | |
|----------|-------------------------------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| 1 | Mecanismo basado en rótulas | 0,11 | 0,81 | 0,08 | 0,11 | 0,48 | 0,05 | 0,08 | 0,48 | 0,04 | 0,17 |
| 2 | Giroscopio | 0,11 | 0,10 | 0,01 | 0,11 | 0,48 | 0,05 | 0,08 | 0,03 | 0,00 | 0,06 |
| 3 | Mecanismo basado en pasadores | 0,11 | 0,10 | 0,01 | 0,11 | 0,03 | 0,00 | 0,08 | 0,48 | 0,04 | 0,05 |

Sumamos los totales de las tablas anteriores y se obtiene los siguientes resultados. En la siguiente tabla se puede observar cual es la mejor opción para nuestro diseño.

Tabla 8. Mejor puntuación para el diseño del sistema

| | | TOTAL |
|----------|-------------------------------|--------------|
| 1 | Mecanismo basado en rótulas | 0,465 |
| 2 | Giroscopio | 0,287 |
| 3 | Mecanismo basado en pasadores | 0,120 |

En la tabla 8 se observa que la mejor opción para nuestro diseño es el mecanismo basado en rótulas, por lo tanto nos basaremos en ese principio para continuar con el desarrollo de nuestro proyecto.

3.5. Diseño del modelo

3.5.1. Fundamento conceptual

Como gran parte de la tecnología ha surgido de un análisis minucioso de la naturaleza, nuestro caso no es la excepción, es así que nuestro modelo fundamentalmente ha sido inspirado en el movimiento del ojo humano, que cumple los requisitos de diseño que estamos buscando, en la figura 8 se puede observar una imagen en la que claramente se distingue como el ojo humano puede conseguir su movimiento.



Figura 15. Músculos oculares extrínsecos

Fuente: (Blogspot, 2013)

El ojo humano tiene seis tipos de músculos que conectan el globo ocular a la cavidad orbital, lo que proporciona al ojo movimientos rotatorios y soporte.

3.5.2. Diseño del modelo 3D

Para el diseño del modelo se ha utilizado el Software de diseño mecánico “Solidworks”, en el mismo que después de varios intentos, dedicar esfuerzo en su diseño, se ha logrado el siguiente modelo que se muestra en la figura 16.

Solidworks: Es un programa que permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD.

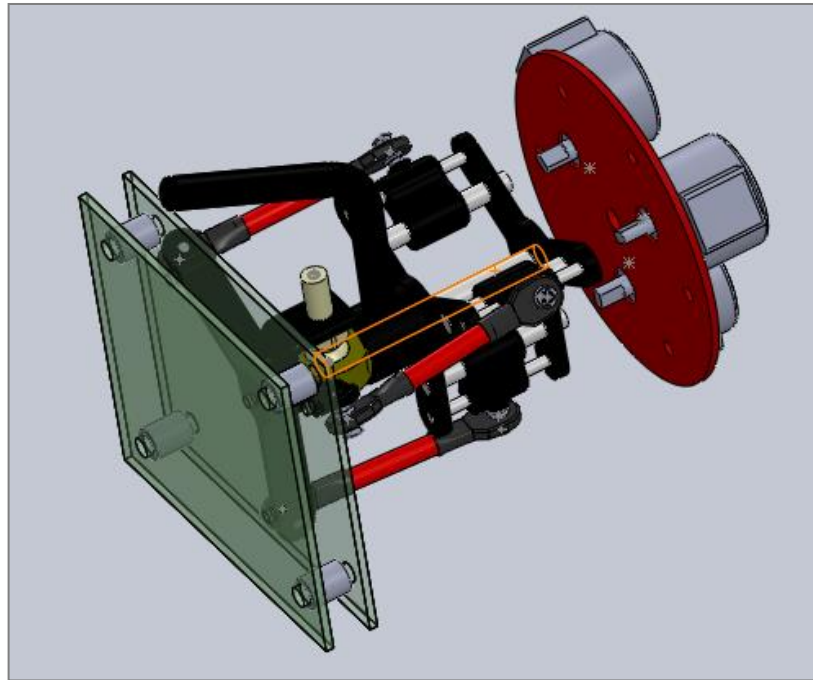


Figura 16. Diseño del modelo 3D en Solidworks de la plataforma para el sistema de visión estéreo.

Como se describió en los puntos anteriores, el modelo mostrado en la figura 9 es una inspiración en una parte importante de nuestro cuerpo como es el ojo, si bien se puede apreciar o intuir su funcionamiento en la imagen, a continuación se procede a describir el modo de funcionamiento de nuestro mecanismo llamado mecanismo basado en rótulas.

3.5.3. Funcionamiento del Mecanismo

La base del mecanismo, son tres tornillos con su respectiva guía para que estos tengan movimiento lineal, y estas guías mediante barras se conectan a la placa que sostiene las cámaras, para así controlar el movimiento, para su mejor comprensión se muestra en la Figura 17 la base del mecanismo.

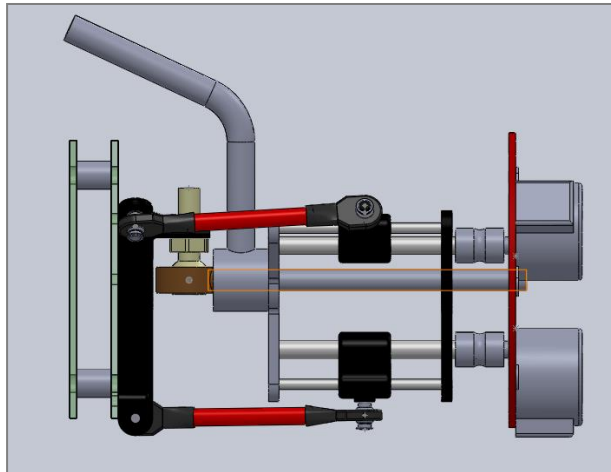


Figura 17. Mecanismo mostrado en una vista superior

En la Figura 17 se observa el mecanismo desde una vista superior, lo que nos da un panorama aceptable hacia los tornillos y guías que son en sí los que controlan el mecanismo, es decir regulación del ángulo de las cámaras sostenidas en la placa frontal.

Las barras que conectan la guía con la placa frontal (Figura 18), son barras que en sus extremos se unen al mecanismo con rótulas pequeñas, las mismas que nos ayudan a obtener los tres grados de libertad requeridos en nuestro diseño.

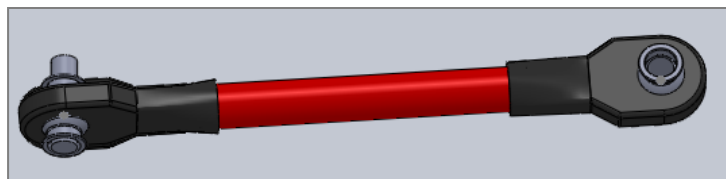


Figura 18. Barras que conectan las guías con la placa frontal

La placa frontal está apoyada sobre una rótula, que le permite a esta tener el movimiento en los tres ejes, como se muestra en la Figura 19.

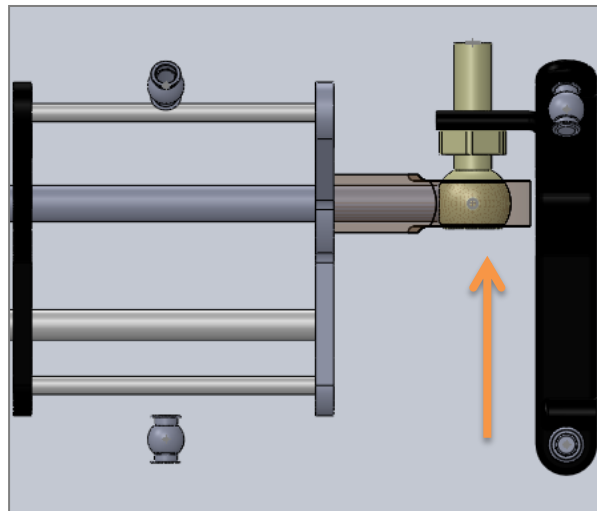


Figura 19.Rótulas

Se indica la rótula principal con flecha, considerada principal ya que sobre ella descansa la mayoría del mecanismo y le permite la rotación a la placa base con tres grados de libertad.

En la Figura 19 se puede observar las rótulas que forman el mecanismo, y por ello su nombre de mecanismo basado en rótulas, siendo en total siete el número que lo componen.

3.5.4.Torque necesario para mover los tornillos

Para determinar el torque requerido para mover el mecanismo, se lo ha hecho de forma experimental, a continuación se detalla el proceso y los resultados obtenidos:

3.5.5.Procedimiento para determinar el torque

Se ha usado un dinamómetro, con escala en Newtones, el mismo que tiene una apreciación de 0,5 Newton, y su mayor medida es de 10 Newtones, cuyos datos los podemos ver en la tabla 8 mostrada a continuación:

Tabla 9. Datos de instrumento usado para medir la fuerza

| Instrumento | Dinamómetro |
|--------------------|-------------|
| Tipo | Tubular |
| Modelo | FMO-00103 |
| Apreciación | 0,5 [N] |
| Rango | 0-10 [N] |

- Lo primero que se hizo para inicial con el proceso, es conseguir masas de diferentes medidas.
- Se amarró un hilo en el extremo del tornillo con el mecanismo armado, y en él se colgó una masa, siendo aumentada esta de manera progresiva hasta que sea capaz de mover el tornillo, como se ejemplifica en la Figura 20.

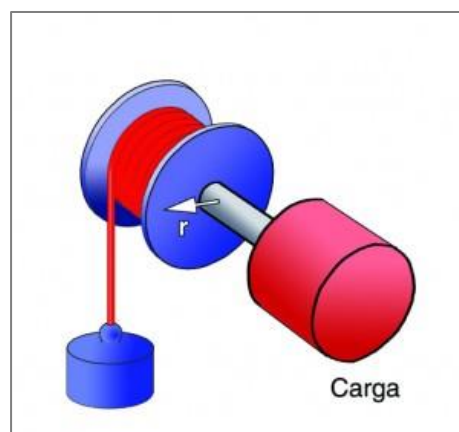


Figura 20. Forma de determinar la carga necesaria para vencer la inercia del mecanismo

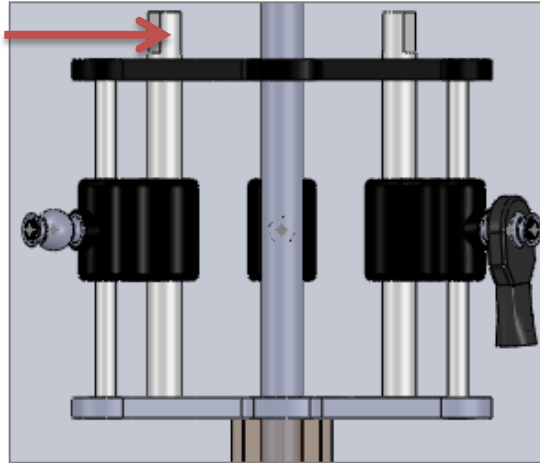


Figura 21. Con la flecha roja se indica donde se sujetará el hilo para medir la fuerza en nuestro mecanismo

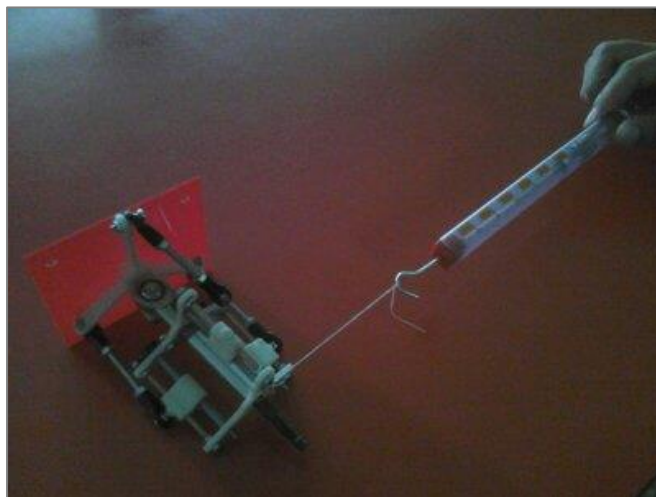


Figura 22. Imagen tomada durante la realización de la prueba

- Después de obtener la masa necesaria para mover el mecanismo, procedemos a medir la masa con el dinamómetro, de la siguiente manera:



Figura 23. Determinación de la fuerza experimentalmente con el dinamómetro

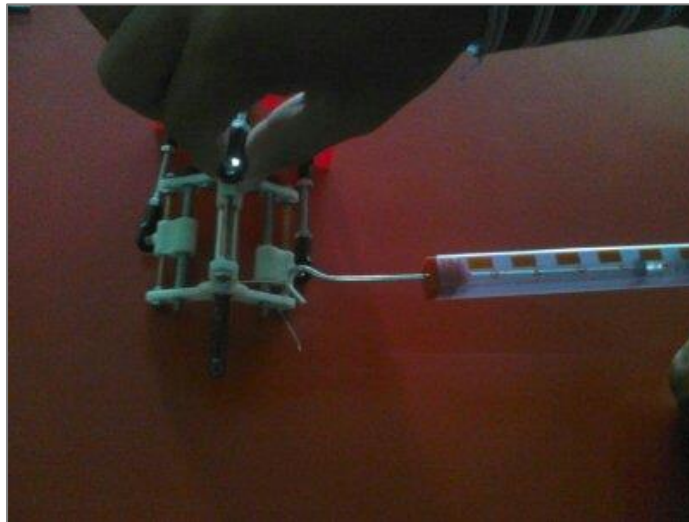


Figura 24. Imagen tomada durante la realización de la prueba

- Una vez obtenida la fuerza necesaria, se procede al cálculo del torque, teniendo como datos la fuerza [F] y el radio [r] del tornillo que vamos a mover, para lo cual aplicamos la siguiente fórmula:

$$T = F \cdot r \quad (3.1)$$

Se ha determinado que la fuerza es 4.0 [N].

El radio del tornillo es de 2.5 mm.

$$T = (4 \text{ N})(2,5 \text{ mm}) \quad (3.2)$$

$$T = 10 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (3.3)$$

3.5.6. Selección del motor

3.5.7. Requisitos del motor

- Se ha considerado que para nuestro mecanismo es necesario tres motores, es decir uno por cada tornillo. De al torque calculado en el punto 3.5.4.1 se determinó que lo mínimo que se necesita para hacer girar un tornillo es 10 N.mm, y a partir de aquí comenzaremos nuestra selección.

- Otro punto importante es que el motor sea fácil de manipular, además su tamaño debe ser pequeño, y no le debe aumentar mucho peso al mecanismo.

- La alimentación eléctrica no debe ser mayor de 9V para así poder usar la fuente que se dispone en la mayoría de vehículos.

- El avance del motor debe ser lento, y capaz de controlarlo en cualquier momento.
- El acople con el mecanismo debe ser lo más sencillo posible.
-

3.5.8. Alternativas de motores

3.5.9. Motor a pasos

Tomando en cuenta que los motores a pasos son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos, lo hemos tomado como alternativa N°1, ya que la característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos por cada pulso que se le aplique.



Figura 25. Imagen de un motor a pasos de tamaño pequeño y fácil acople

En la Figura 25 se muestra un motor a pasos pequeño, de fácil acople y con el torque suficiente para poner a funcionar nuestro mecanismo.

En motores a pasos se puede conseguir modelos más pequeños y con mayor torque que el servo motor y los motores de DC.

3.5.10. Servo motor

Es un motor con características similares a un motor de DC y tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición y se puede controlar su velocidad.

Estos motores tienen un rango de operación originalmente pero pueden ser modificados y se los usa como motores de DC.



Figura 26. Imagen de un servomotor con la caja reductora de velocidad

En la Figura 26 se observa un servo motor con un tren de engranes cuya función es reducir la velocidad de salida. La mayoría de este tipo de motores, la traen incorporada, por lo que su apariencia es más robusta, y por su forma geométrica externa es más difícil acoplarlo a nuestro mecanismo.

3.5.11. Motor de DC

Los motores DC también conocidos como motores de corriente continua, se los encuentra en el mercado de diferentes formas y potencias, su forma de accionamiento es muy sencilla ya que solo es necesario aplicar la tensión de alimentación entre sus bornes.

La diferencia con los motores descritos en los puntos anteriores, es que los motores DC no pueden ser posicionados en una posición específica,

estos pueden variar únicamente en la dirección de giro y lo hacen a una velocidad constante.



Figura 27. Motor de DC

La Figura 27 nos muestra un motor DC, que es de tamaño pequeño, pero por las características descritas anteriormente lo hacen no funcional para nuestro mecanismo.

3.5.12. Selección del motor

Después de hacer un breve análisis de cada alternativa posible, se decide que la mejor de estas es el motor a pasos, cuyas características, tamaño y demás datos relevantes se muestran en el anexo 4 (Data Sheet Motor a pasos).

3.5.13. Control del mecanismo

Para el control del mecanismo se ha diseñado dos tipos de control: electrónico y manual.

- Control electrónico:

El control electrónico se lo realiza a través de motores a pasos que son controlados por una placa electrónica cuyo diseño se indica en el anexo 2. A continuación se muestra una foto de la placa electrónica la cual es de fácil manipulación y consta de tres actuadores de tres posiciones cada uno, los

mismos que permiten hacer girar cada motor en sentido horario, anti horario y la posición central es de stop.

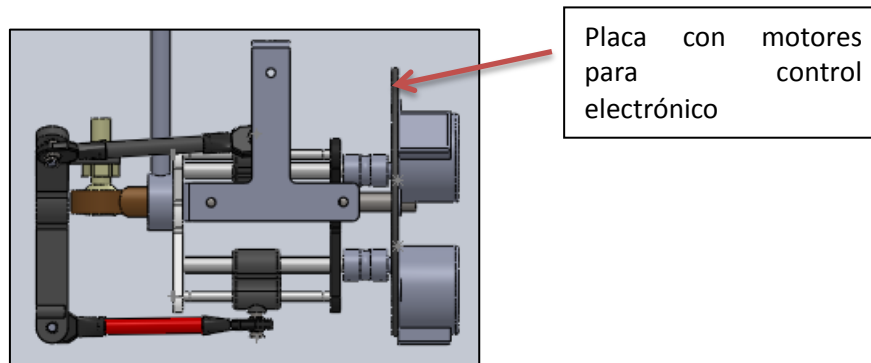


Figura 28. Placa para control electrónico

- Control Manual

La manipulación manual ha sido diseñada pensando en que no siempre se tiene las facilidades como la alimentación de 12V. el control manual es una placa que consta de 3 acoples que mueven el eje roscado del mecanismo y esta placa se la puede intercambiar rápidamente con la de control electrónico. En la figura que se muestra a continuación se observa la placa de manipulación manual.

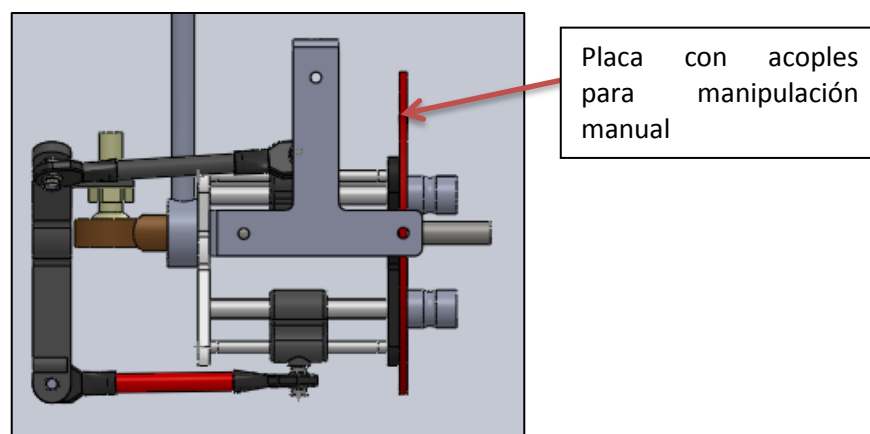


Figura 29. Placa para manipulación manual

3.5.14. Diseño para electrónica del sistema

El sistema de visión estéreo es un sistema cuya electrónica es amplia, pensando en esto se ha realizado diseños en lugares estratégicos para ubicar dicha electrónica.

En las siguientes imágenes se indica los espacios para lo anteriormente dicho:

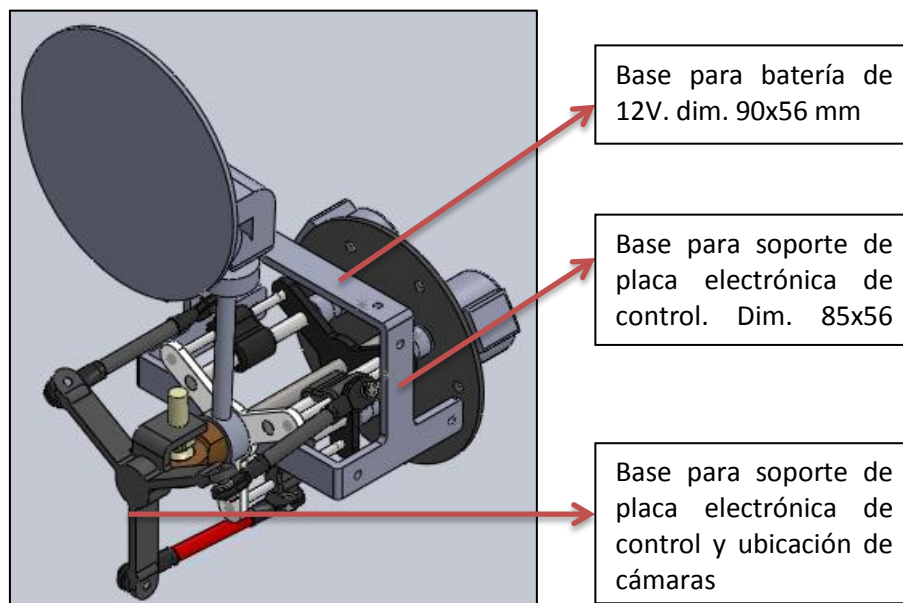


Figura 30. Electrónica del sistema

3.6. Cinemática del sistema

3.6.1. Cinemática del Sistema

Para el análisis de la cinemática del sistema, es decir, el análisis de movimiento del sistema en el espacio, se lo ha realizado de manera experimental en el programa Solidworks, para lo cual ha sido necesario

primeramente dibujar cada una de sus piezas en medida real, para proceder a ver su comportamiento en el espacio.

Para el procedimiento ver en la sección 4.2.1 en el que se detalla el procedimiento que se siguió para realizar la prueba de funcionamiento, y este es el mismo que seguiremos en esta sección.

En la Figura 31 se muestra la estructura básica del mecanismo, en la que se puede apreciar sus componentes principales como un arreglo vectorial básico en tres dimensiones, pero se complica cuando se incluye sus apoyos o uniones ya que estos no son puntos fijos, son rótulas, lo que quiere decir que en cada apoyo o unión tendrá tres grados de libertad y al momento de su funcionamiento cada uno de sus eslabones tiene rotación y traslación.

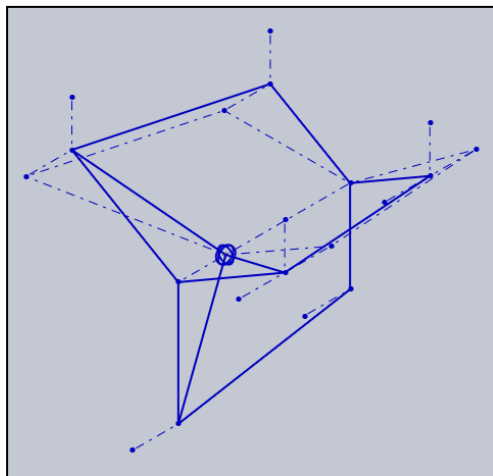


Figura 31. Estructura básica del mecanismo

Como referencia se tiene los datos mostrados en la tabla 9, que se han obtenido de la simulación y comprobación en la realidad del mecanismo, estos datos se los ha tomado para que el usuario pueda tener una referencia del funcionamiento del mecanismo, ya que se ha incorporado un nivel

horizontal en la parte posterior de la placa, para ver que el momento que el mecanismo esté en operación, esté completamente horizontal ya que es un sistema de visión estereoscópico de ejes ópticos paralelos, que es lo que realmente nos importa, que se lo pueda regular hasta que el nivel esté en posición horizontal.

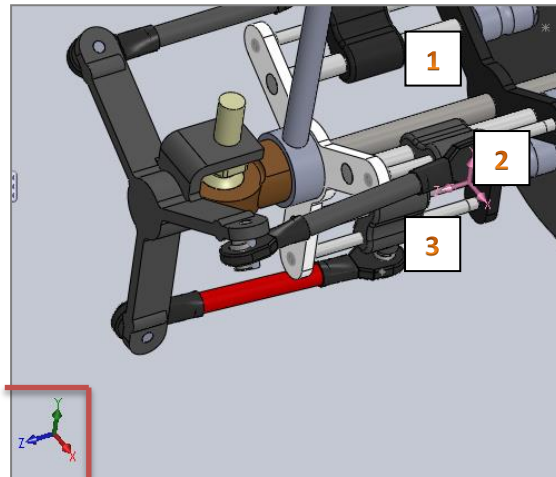


Figura 32. Orientación de los ejes coordinados y asignación de números a las correderas

En la Figura 32 se indica en el margen inferior izquierdo sistema de ejes coordinado, y en recuadros blancos los números de las correderas; esta imagen nos ayudará a comprender de mejor manera la tabla que se mostrará a continuación.

Tabla 10. Medidas de desplazamiento para diferentes ángulos de la placa frontal

| ROTACION EJE [°] | DESPLAZAMIENTO CORREDERA [mm] | | |
|------------------|-------------------------------|------|------|
| X [+] | 1,0 | 2,0 | 3,0 |
| 5 | 19,0 | 13,0 | 16,5 |
| 10 | 22,0 | 9,5 | 16,5 |
| 15 | 25,0 | 6,0 | 16,5 |
| 20 | 28,0 | 2,5 | 16,5 |
| 25 | 32,0 | 0,0 | 16,5 |

Nota: las medidas que se muestran en la tabla, es la medida desde el soporte posterior hasta la cara posterior de la corredera en la posición alcanzada en cada medida de ángulo (ver Fig. 32)

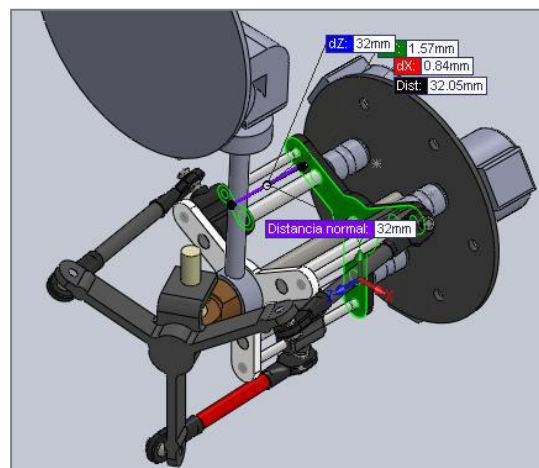


Figura 33. Ejemplo de medida entre el soporte y la corredera

En la Figura 33 se muestra un ejemplo de medida de cómo se elaboró la tabla 9, es la medida de la corredera 1 para un ángulo de rotación de la placa frontal de 20°.



Figura 34. Nivel ubicado en la parte posterior de la placa frontal

El nivel mostrado en la Figura 34 sirve de guía para que las dos cámaras estén alineadas horizontalmente y el resultado en la percepción de profundidad de las imágenes sea más preciso.

3.6.2. Análisis del mecanismo

A continuación se realizará un análisis estructural y un análisis modal de vibraciones para ver el comportamiento del mecanismo, para lo cual no se han eliminado algunas de las partes que lo conforman, y se ha dejado solo sus componentes más importantes o los que se estima que pueden sufrir una falla durante su funcionamiento. En la Figura 35 se observa el mecanismo con las partes que se ha considerado para su análisis.

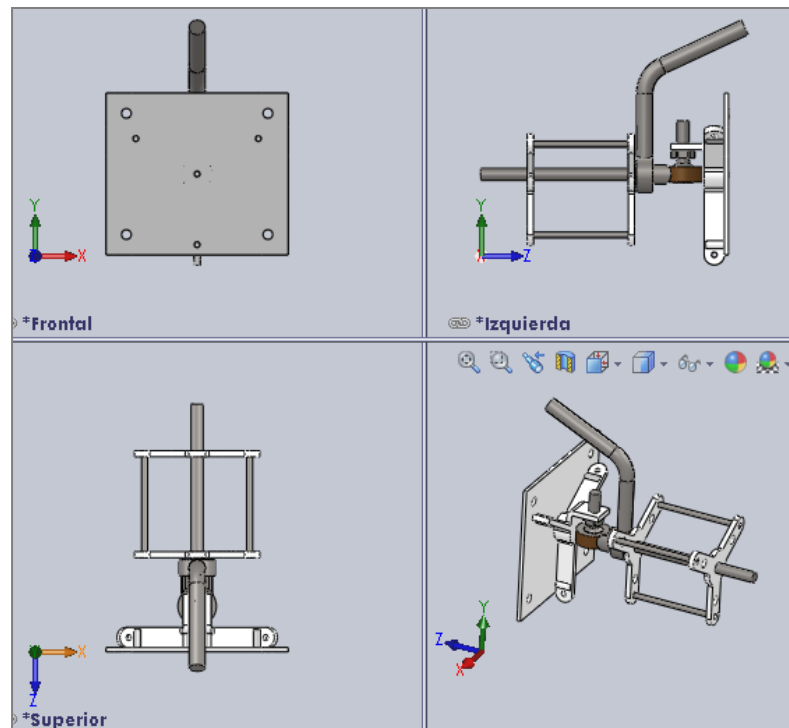


Figura 35. Estructura básica del mecanismo considerada para análisis estructural y análisis modal

En la Figura 35 se muestra en vistas y el modelo 3D que será considerado para realizar los análisis como se lo mencionó anteriormente. Después de este primer paso se le asigna materiales a cada componente del mecanismo con el objetivo de que cada una de sus partes tenga las características mecánicas, y así comparar con el valor de referencia asignado que son el esfuerzo al que se somete el mecanismo, y la frecuencia natural de vibración del vehículo respectivamente para cada uno de los análisis.

En la tabla 11 se muestra un listado de los componentes del mecanismo con el material asignado y sus propiedades mecánicas.

Tabla 11. Asignación de materiales a cada pieza

| ITEM | PIEZA | MATERIAL |
|------|-----------------------|---------------------|
| 1 | Placa frontal | Resina de poliéster |
| 2 | Soporte placa frontal | Resina de poliéster |
| 3 | Soporte guía | Resina de poliéster |
| 3 | Terminal acel. 1 | AISI 1020 |
| 4 | Terminal acel. 2 | AISI 1020 |
| 5 | Brazo soporte | AISI 1020 |
| 6 | Eje central | AISI 1020 |
| 7 | Eje guía | AISI 1020 |

Nota: Para las propiedades mecánicas de los materiales de la tabla ver Figuras 35 y 36

| Propiedad | Valor | Unidades |
|-----------------------------------|----------|-------------------|
| Módulo elástico | 200000 | N/mm ² |
| Coefficiente de Poisson | 0.29 | N/D |
| Módulo cortante | 77000 | N/mm ² |
| Densidad | 7900 | kg/m ³ |
| Límite de tracción | 420.51 | N/mm ² |
| Límite de compresión en X | | N/mm ² |
| Límite elástico | 351.57 | N/mm ² |
| Coefficiente de expansión térmica | 1.5e-005 | /K |
| Conductividad térmica | 47 | W/(m·K) |

Figura 36. Propiedades mecánicas del acero AISI 1020

El AISI 1020 es un acero clasificado en el grupo de los aceros bajo carbono. Su composición química le permite entregar un mejor desempeño en sus propiedades mecánicas, soldabilidad y maquinabilidad que otros aceros del mismo grupo. Tiene un rango de maquinabilidad de alrededor del 76%. Se ha usado este material ya que su principal aplicación es en piezas que no estén sometidas a fuertes esfuerzos mecánicos.

| Propiedad | Valor | Unidades |
|--|-------|-------------------|
| Módulo de elasticidad en X | 19000 | N/mm ² |
| Coefficiente de Poisson en XY | | N/D |
| Módulo cortante en XY | | N/mm ² |
| Densidad de masa | 1160 | kg/m ³ |
| Límite de tracción en X | 190 | N/mm ² |
| Límite de compresión en X | 230 | N/mm ² |
| Límite elástico | | N/mm ² |
| Coefficiente de expansión térmica en X | | /K |
| Conductividad térmica en X | 0.17 | W/(m·K) |

Figura 37. Propiedades mecánicas de la Resina de Poliéster

La resina de poliéster es un material que liviano, con buena resistencia al desgaste cuando este se somete a rozamiento, por tanto es un material que garantiza su durabilidad.

A continuación se procederá con los análisis mencionados anteriormente.

3.6.3. Análisis estructural

Para el análisis estructural en el programa se debe seguir el procedimiento siguiente:

- En Solid Works simulations, creamos un nuevo estudio.
- Se selecciona un tipo de análisis estático.
- Se define cargas y puntos de sujeción, el cual se ha realizado de la siguiente manera.

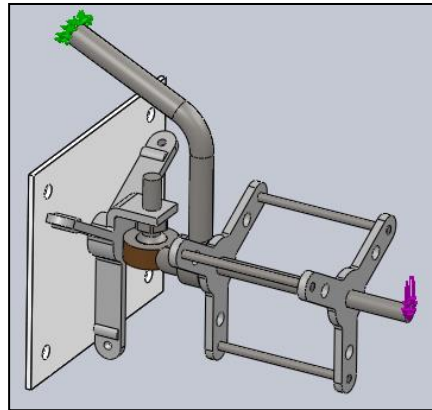


Figura 38. Puntos de sujeción y aplicación de carga

En la Figura 38 se observa con flechas verdes lo que es la zona donde el mecanismo se sujetará en el parabrisas y con flechas color lila el punto donde se ha considerado la zona en la que se concentrará la mayor cantidad peso del mecanismo, ya que es el punto donde se ubican los motores.

- El siguiente paso es definir el valor de la carga, para lo cual se ha utilizado el criterio siguiente: al peso del mecanismo se le ha incrementado un 15% para la simulación realizarla con valores críticos, quedando así un peso de 1 kg, lo cual multiplicado por la gravedad nos da un valor de 10 Newton que es el valor que se usará para el análisis.

- Como paso final, tenemos que definir el mallado. Solid Works nos da una sola opción de mallado, lo que se debe definir es el tamaño de cada elemento de la malla y se lo ha realizado de la siguiente manera:

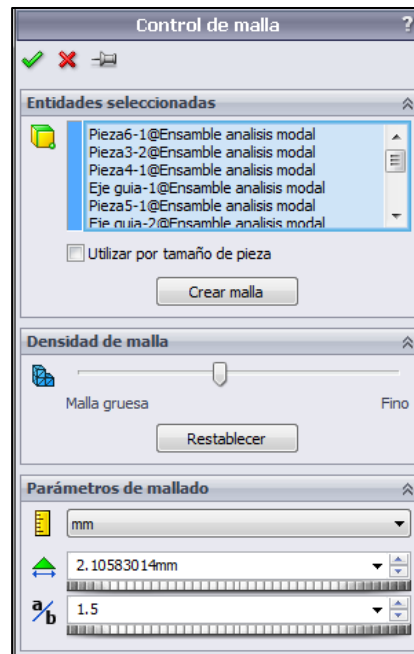


Figura 39. Detalles de la malla aplicada

En la Figura 39 se puede observar los detalles de la malla aplicada. En esta figura se observa que el tipo de elemento finito aplicado es triangular y se usa una relación entre lados del triángulo de 1.5. La densidad de la malla se la realizó a un 50%.

- Después de aplicar los pasos mencionados anteriormente, a continuación se muestra los resultados:

3.6.4. Resultados del análisis

| Tipo | Mín. | Máx. |
|---------------------------|--|---|
| VON: Tensión de von Mises | 1.87902e-008 N/mm ² (MPa) Nodo: 24092 | 56.4589 N/mm ² (MPa) Nodo: 18308 |

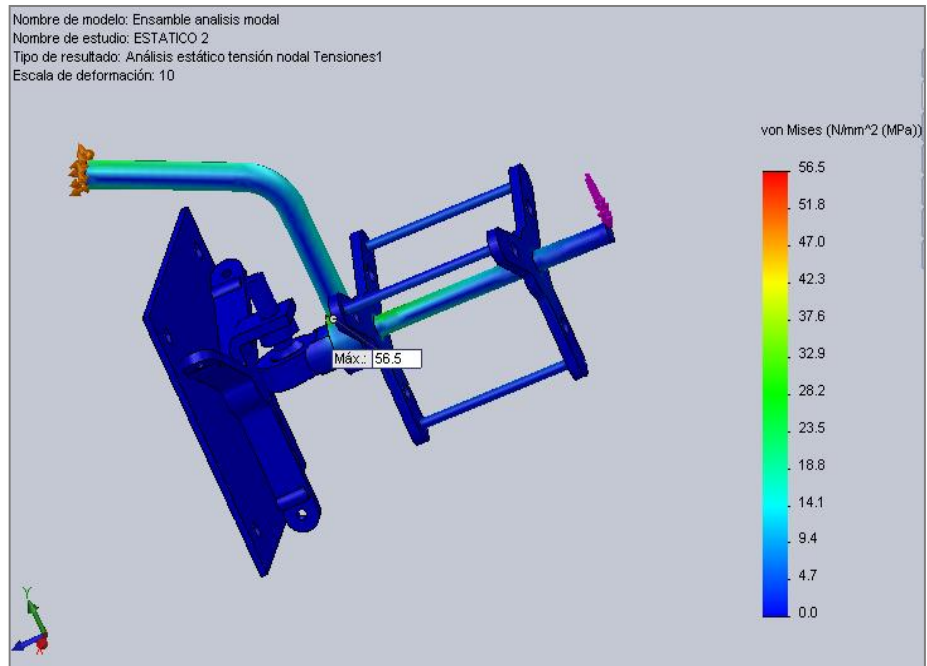


Figura 40.Von Mises

| Tipo | Mín. | Máx. |
|----------------------|-------------|-------------|
| URES: Desplazamiento | 0 mm | 0.390029 mm |
| resultante | Nodo: 16701 | Nodo: 15925 |

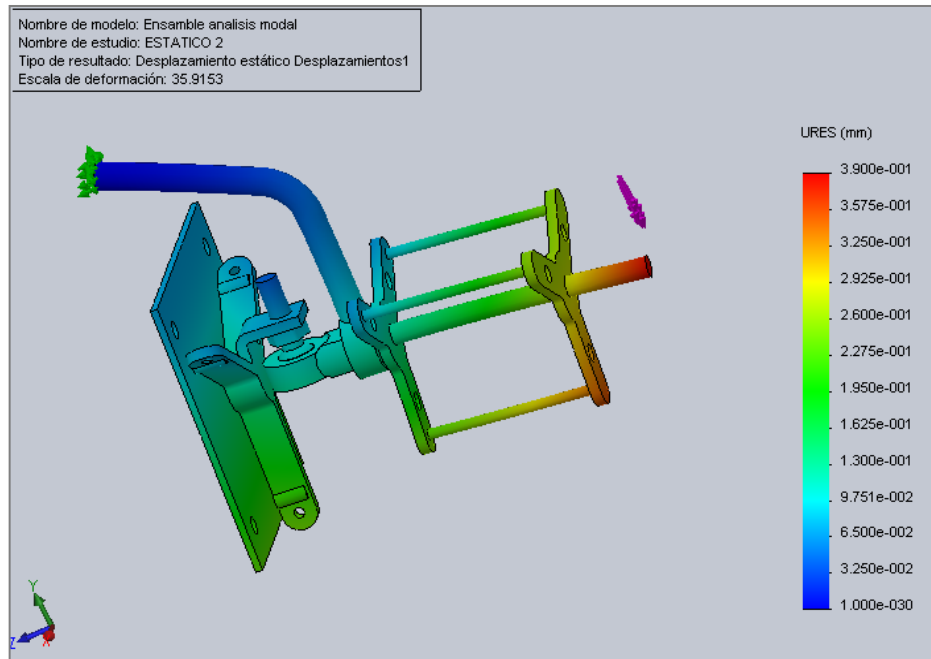


Figura 41.Desplazamientos

| Tipo | Mín. | Máx. |
|--|--------------------------------|-------------------------------|
| ESTRN: Deformación unitaria equivalente | 3.29942e-012 Elemento: 2449 | 0.000162228 Elemento: 9519 |

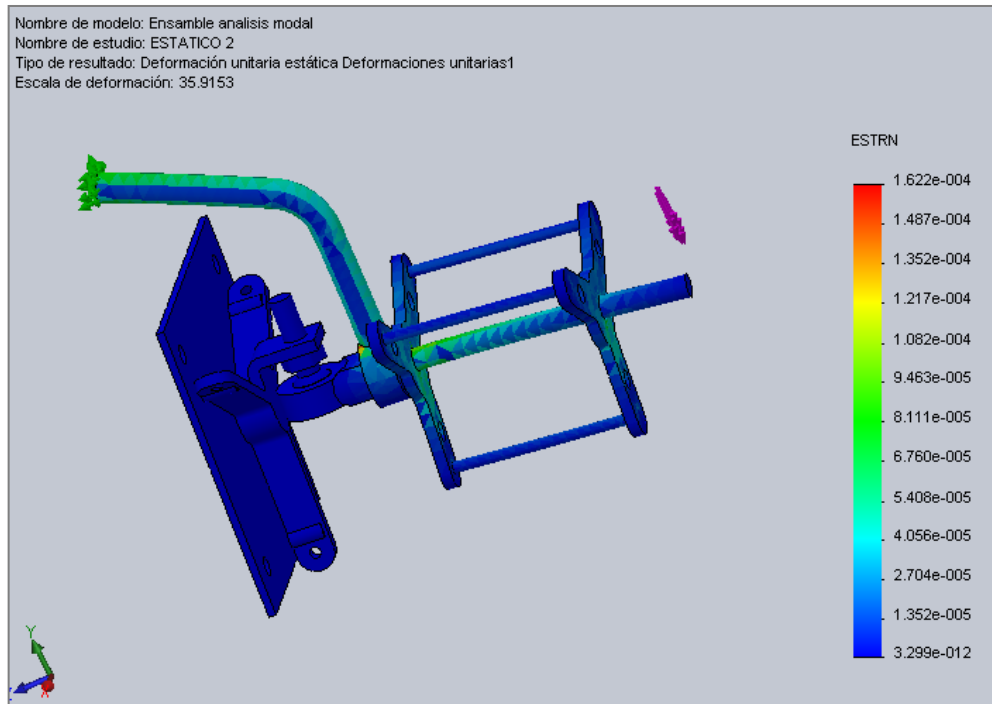


Figura 42. Deformaciones unitarias

| Tipo | Mín. | Máy. |
|------------|-------------|--------------|
| Automático | 6.22703 | 2.39486e+009 |
| | Nodo: 18308 | Nodo: 24092 |

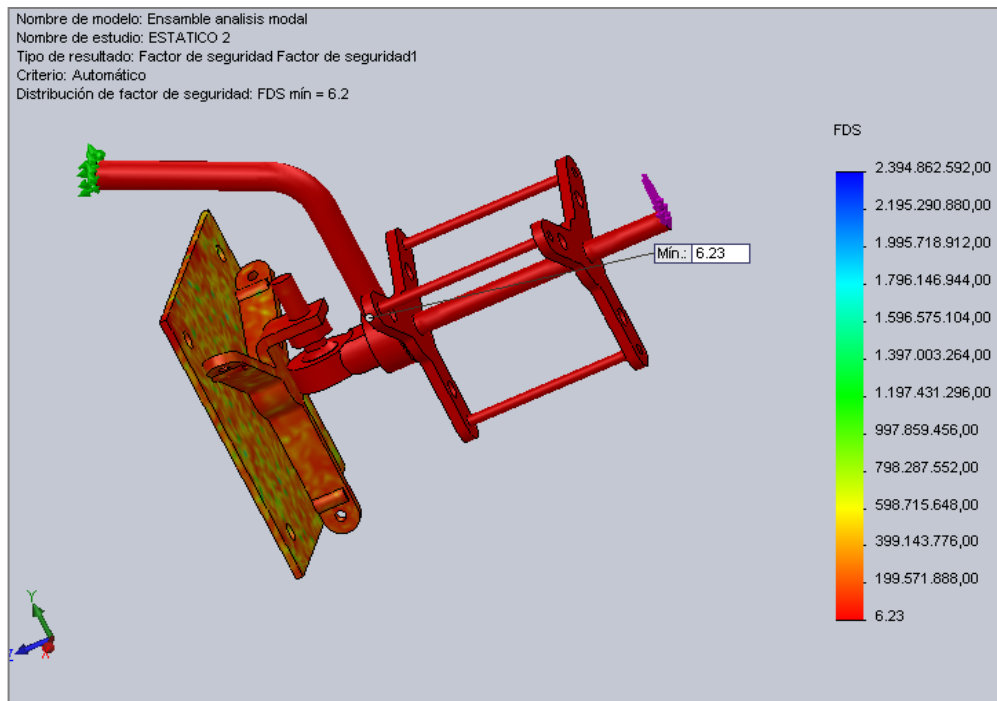


Figura 43. Factor de seguridad mínimo

3.6.5. Conclusiones del análisis

Mediante la simulación se verificó el comportamiento del mecanismo aplicando una carga en la zona más crítica, esta carga se la aplicó a todo el mecanismo para analizarlo todo en conjunto que es cómo funcionará en la realidad. En la parte de resultados se ha obtenido 4 resultados, y en cada uno de ellos se presenta: tensiones, desplazamientos, deformaciones y factor de seguridad, cada uno de estos con sus respectivos puntos máximos y mínimos, los mismo que han sido comparados con la respectiva propiedad del material obteniendo como conclusión que el mecanismo no falla en ninguno de sus elementos, considerando que la fuerza aplicada en la zona de los motores es elevada.

Adicional se puede verificar en la gama de colores de cada resultado del análisis que todos los elementos se encuentran dentro del límite de seguridad.

En el resultado que se muestra las deformaciones, se puede observar que el eje central y el brazo para soporte en el parabrisas, son los que sufren una mayor deformación, sin embargo se encuentran dentro de la zona de seguridad.

3.6.6. Análisis Modal de Vibraciones

El estudio de las vibraciones en una estructura se denomina dinámica estructural, dichas vibraciones son el resultado de fuerzas y cargas aplicadas y que su variación va en función del tiempo. Cualquier estructura que soporta y es sometida a cargas móviles debe ser diseñada de manera que los efectos de vibraciones en esta sean aceptables y lo mínimo posibles.

En esta parte se realiza un análisis modal de vibraciones, es decir, ver todos los modos de vibración posibles, vibraciones provenientes de la vibración del vehículo cuando está en marcha que surgen por vibraciones del motor y las irregularidades del camino.

Para el estudio del comportamiento se debe conocer los términos que se citan a continuación:

- **Frecuencia Natural**

Un objeto al recibir ondas de choque y se lo deja que vibre de manera libre, la frecuencia con la que está oscilando sin influencia de fuerzas externas se la conoce como frecuencia natural.

Si la frecuencia del resonador coincide con la frecuencia de la fuente emisora se conoce como resonancia. La tendencia de un sistema físico para oscilar con una amplitud mayor en algunas frecuencias se define como resonancia.

El objetivo del análisis es comprobar que el valor de la frecuencia natural de vibración del mecanismo durante su funcionamiento no se acerca a la frecuencia natural de vibración del vehículo.

El procedimiento que se sigue para realizar el análisis modal es el siguiente:

- Crear un nuevo estudio y seleccionamos estudio de frecuencias.
- Definimos los parámetros previos al análisis.
- La sujeción está en la misma área que el análisis anterior, en la Figura 44 se muestra detalles de la sujeción del mecanismo para el análisis modal.

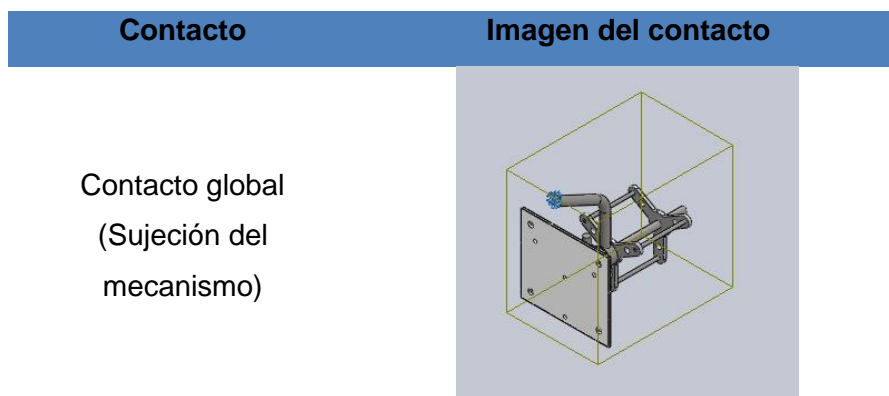


Figura 44. Detalle de la sujeción del mecanismo

A continuación se debe definir un valor estimado de la frecuencia natural de vibración. La suspensión del automóvil se la puede analizar de la siguiente manera:

La suspensión en el automóvil se la puede considerar como un medio que consume mucha energía, es decir, la oscilación desaparece rápidamente, tal como sucedería si el peso se sumerge en un líquido viscoso como representa la Figura 45. Cuando se aplica una energía pulsatoria con frecuencia variable, se observa que a determinada frecuencia se incrementa la oscilación.

En esas condiciones, si el sistema consume menos energía que la que recibe, la oscilación crece indefinidamente en amplitud y, dependiendo del sistema, puede llegar a destruirse.

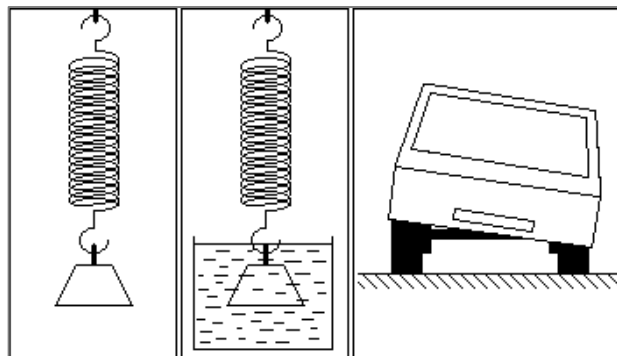


Figura 45. Aproximación del funcionamiento del sistema de amortiguación del vehículo

Fuente: (Merino, 2012)

El sistema que acaba de ser descrito se aplica en la suspensión de los automóviles. El peso es el del propio vehículo y en cada rueda existe un muelle y un amortiguador, siendo el amortiguador el encargado de consumir energía por el rozamiento de un émbolo en el interior de un fluido.

Aunque un amortiguador mejora el comportamiento, los vehículos modernos ya no se comportan en las curvas como se ha dibujado en la figura. La razón es que se añade una regulación de la inclinación que mejora

el comportamiento natural del sistema, a la vez que se mantiene su capacidad para absorber las ondulaciones de la carretera.

La función general de una suspensión es filtrar las variaciones rápidas causadas por la superficie de la carretera; es decir, que funciona como un filtro. El sistema simplificado es un resorte-amortiguador como se muestra en la Figura 46.

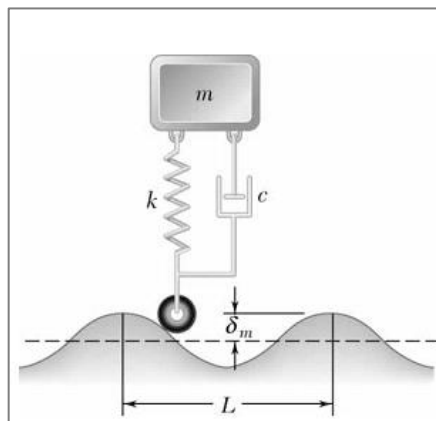


Figura 46. Sistema simplificado de un amortiguador de un vehículo

Fuente: Beer, Ferdinand; Mecánica Vectorial Para Ingenieros. Dinámica. Editorial McGraw-Hill, 2008.

Un diagrama de cuerpo libre del sistema simplificado se muestra en la Figura 47, del mismo que se obtienen las siguientes ecuaciones 3.4, 3.5, 3.6:

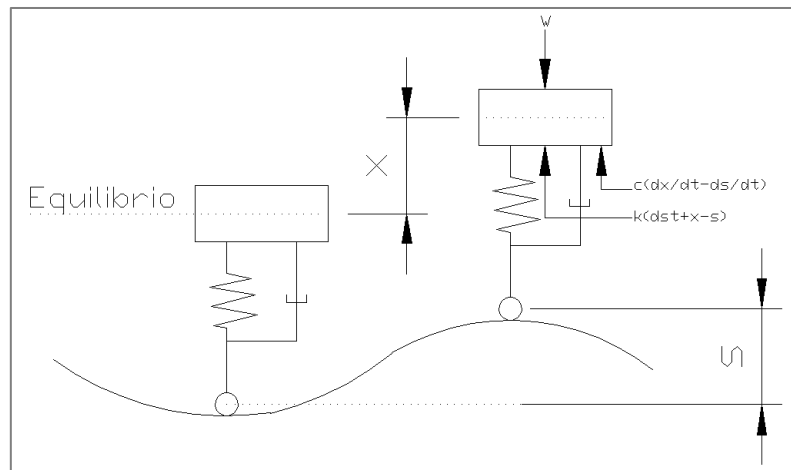


Figura 47. Diagrama de cuerpo libre del sistema

Del diagrama de cuerpo libre se obtiene:

$$\Sigma F = m \cdot a: W - k(\delta_{st} + x - \delta) - c\left(\frac{dx}{dt} - \frac{d\delta}{dt}\right) = m \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (3.4)$$

Donde W es el peso del automóvil, m la masa del automóvil, k la constante del resorte, c la constante del amortiguador, δ es la distancia vertical recorrida medida desde la línea media de la carretera, δ_{st} es la deformación estática del resorte y x la distancia recorrida medida desde la posición de equilibrio del sistema.

Recordando que el peso es igual a la deformación estática del resorte por la constante del resorte se tiene que:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = k\delta + c \frac{d\delta}{dt} \quad (3.5)$$

La frecuencia natural, es la frecuencia a la que un sistema mecánico seguirá vibrando, después que se quita la señal de excitación. Se representa por omega n:

$$W_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3.6)$$

El valor que nos interesa para nuestro análisis modal es el de la frecuencia natural, cuya fórmula se muestra en la ecuación 3.6.

Tomando un valor referencial de 600 000 N/m sacado de catálogos de amortiguadores, y la masa del vehículo considerando un promedio de 1500 kg se procede a encontrar la frecuencia natural de vibración.

$$\frac{w_n}{\sqrt{\frac{600000 \text{ N/m}}{1500 \text{ kg}}}} \quad (3.7)$$

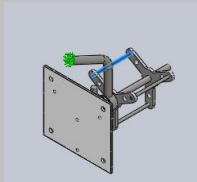
$$W_n = 20 \text{ Hz} \quad (3.8)$$

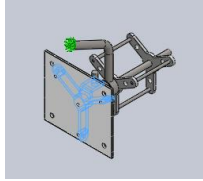
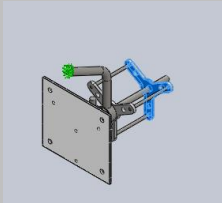
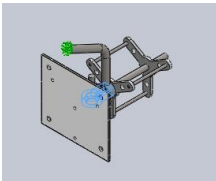
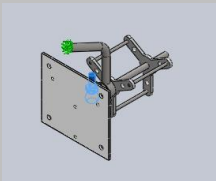
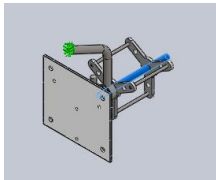
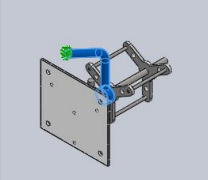
Con el valor que se ha obtenido de 20 Hz de un amortiguador del vehículo se lo multiplica por 4 que son los amortiguadores que este tiene, obteniendo así un valor de 80 Hz, aparentemente ya se tiene el valor para realizar la simulación, pero aún no se ha considerado vibraciones por funcionamiento de la máquina, irregularidad extrema del camino, etcétera.

Para las vibraciones de la máquina por su funcionamiento se ha realizado el siguiente análisis: considerando un motor de 4 cilindros que es lo más común, con revoluciones de trabajo de 4000 rpm y volumen de cilindros de 2000 cc, además la carrera de cada cilindro será de 80 mm y será un motor de 4 tiempo por lo que como primera conclusión se dice que cada 4 carreras se producirá una explosión en el motor, lo que será una causa de vibración. Para obtener este valor de frecuencia del motor, diremos que en cada minuto el cigüeñal da 4000 vueltas, lo que es equivalente a que se han realizado 4000 carreras dentro de cada cilindro en un minuto, o realizando la transformación a segundos, se producen 65 carreras por segundo aproximadamente, como cada 4 carreras se produce una explosión, se puede decir que el motor vibra con una frecuencia de 16 veces por segundo, vibraciones que no serán tan notorias pero si importantes para nuestro diseño, por lo cual se ha decidido al valor obtenido de la frecuencia natural incrementarle un 10%. El valor que se usará para la simulación es de 22 Hz.

- Cada pieza del ensamble, tiene las siguientes propiedades:

Tabla 12. Propiedades de cada pieza de acuerdo al material asignado

| Nombre de documento y referencia | Tratado como | Propiedades volumétricas |
|---|--------------|--|
| Guía  | Sólido | Masa:0.00295962 kg Volumen:3.74635e-007 m ³ Densidad:7900 kg/m ³ Peso:0.0290042 N |
| Soporte placa frontal | Sólido | Masa:0.00703364 kg Volumen:6.06348e-006 m ³ |

| | | |
|---|---------------|--|
|  | | Densidad:1160 kg/m³ Peso:0.0689296 N |
| Soporte guías | Sólido | Masa:0.00326298 kg Volumen:2.81292e-006 m³ Densidad:1160 kg/m³ Peso:0.0319773 N |
|  | | |
| Terminal acel. 1 | Sólido | Masa:0.022079 kg Volumen:2.79481e-006 m³ Densidad:7900 kg/m³ Peso:0.216374 N |
|  | | |
| Terminal acel. 2 | Sólido | Masa:0.0146943 kg Volumen:1.86004e-006 m³ Densidad:7900 kg/m³ Peso:0.144004 N |
|  | | |
| Eje roscado | Sólido | Masa:0.0205498 kg Volumen:2.60124e-006 m³ Densidad:7900 kg/m³ Peso:0.201388 N |
|  | | |
| Brazo | Sólido | Masa:0.0420312 kg Volumen:5.3204e-006 m³ Densidad:7900 kg/m³ Peso:0.411905 N |
|  | | |

- Como siguiente paso se procede a la asignación de cargas que en este caso se le asignará un efecto de flujo, quedando el estudio completamente definido como se lo indica en la tabla 13 que se muestra a continuación.

Tabla 13. Propiedades de cada pieza de acuerdo al material asignado

| | |
|---|-------------------------|
| Nombre de estudio | ANALISIS MODAL |
| Tipo de análisis | Frecuencias |
| Tipo de malla | Malla sólida |
| Número de frecuencias | 20 |
| Opción térmica | Incluir cargas térmicas |
| Temperatura a tensión cero | 298 Kelvin |
| Incluir los efectos de la presión de fluidos desde Solidworks Flow Simulations | Desactivar |

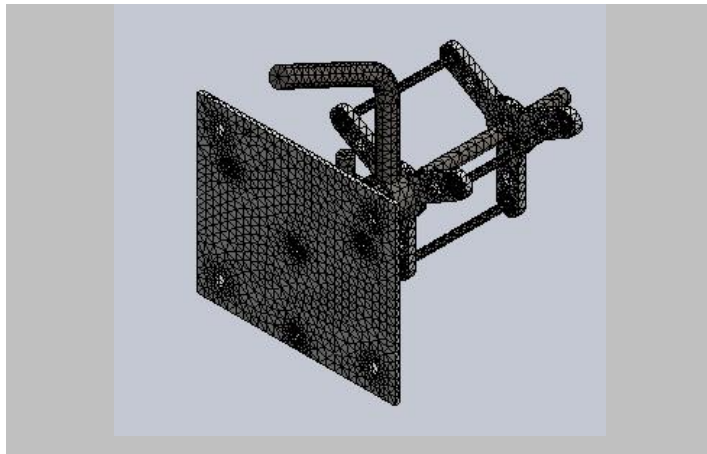
- Como paso final se define la malla que se aplicará al mecanismo para proceder a realizar el análisis por elementos finitos, los detalles de la malla se los puede ver en la tabla 14.

Tabla 14. Detalles del mallado

| | |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Tipo de malla | Malla sólida |
| Mallador utilizado: | Malla basada en curvatura |
| Puntos jacobianos | 4 Puntos |
| Tamaño máximo de elemento | 0 mm |
| Tamaño mínimo del elemento | 0 mm |
| Calidad de malla | Elementos cuadráticos de alto orden |

Tabla 15. Detalles de mallado para análisis

| | |
|---------------------------|-------|
| Número total de nodos | 94151 |
| Número total de elementos | 57704 |



3.6.7.Resultados del análisis

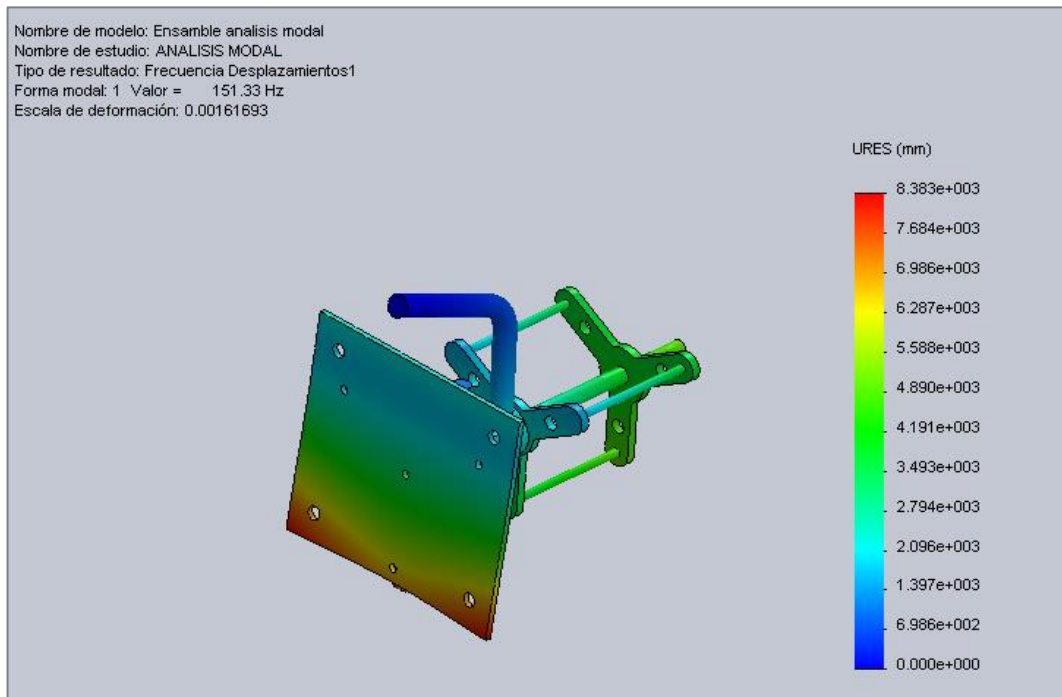


Figura 48.Modo 1 de vibración

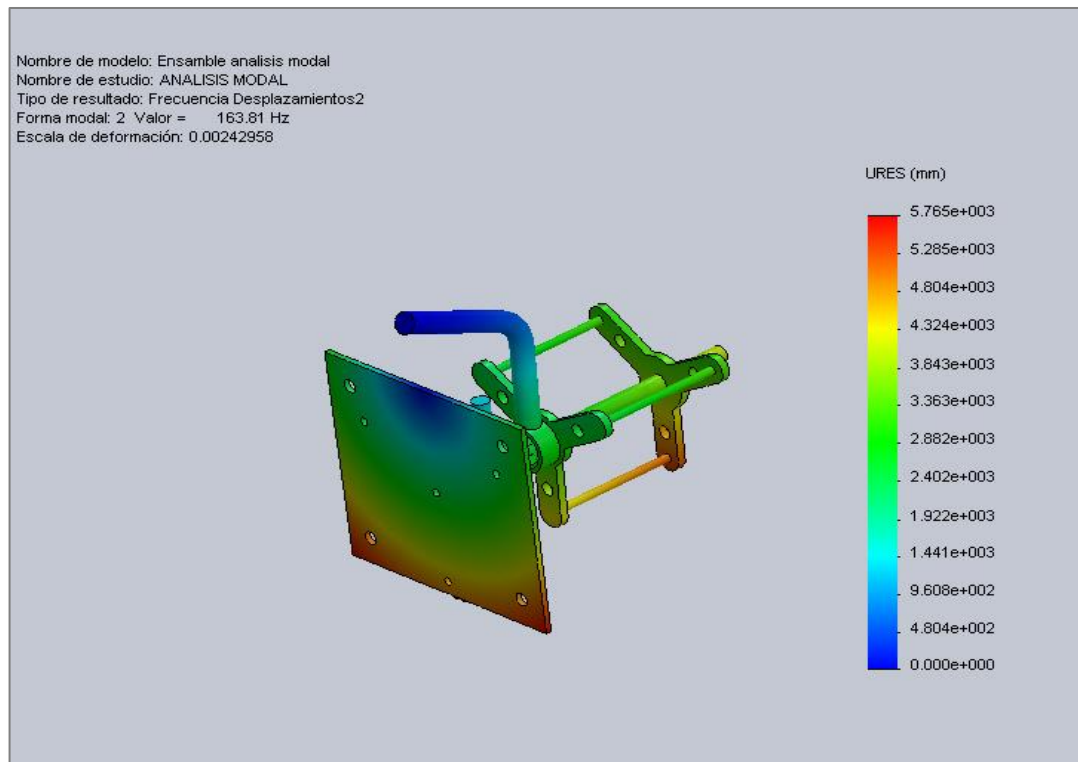


Figura 49. Modo 2 de vibración

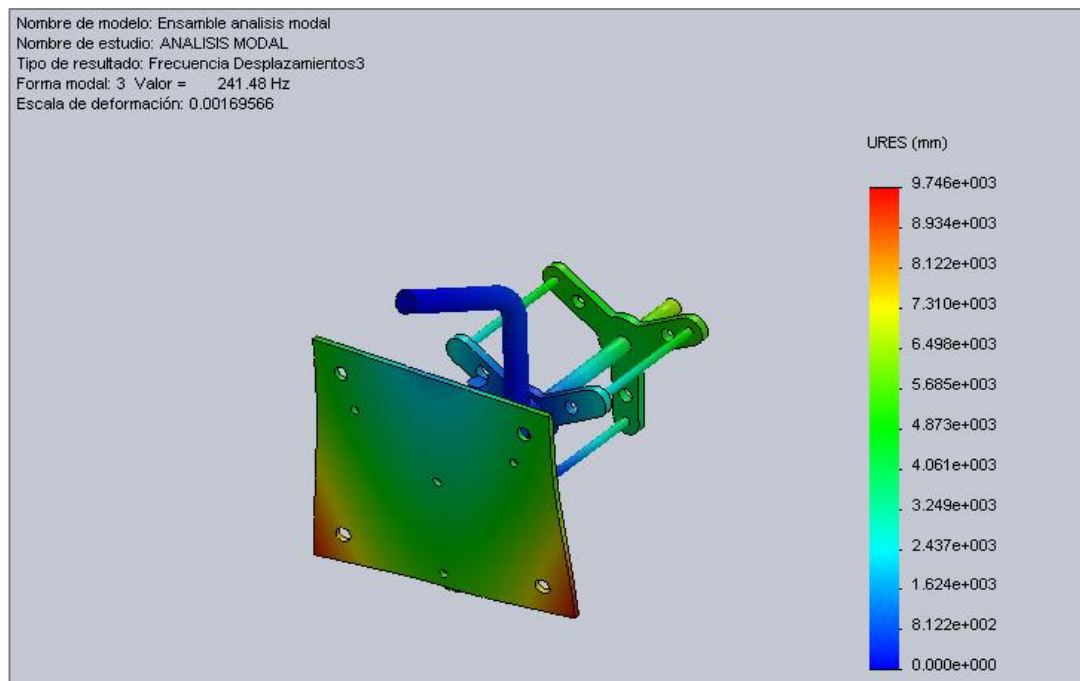
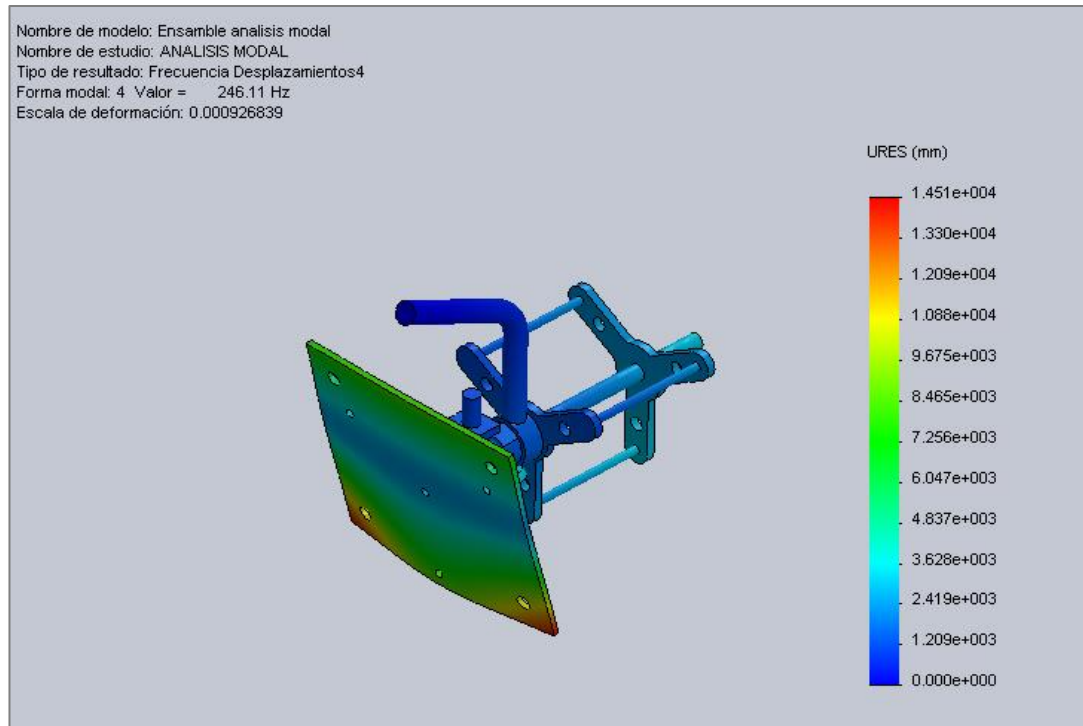


Figura 50. Modo 3 de vibración**Figura 51. Modo 4 de vibración**

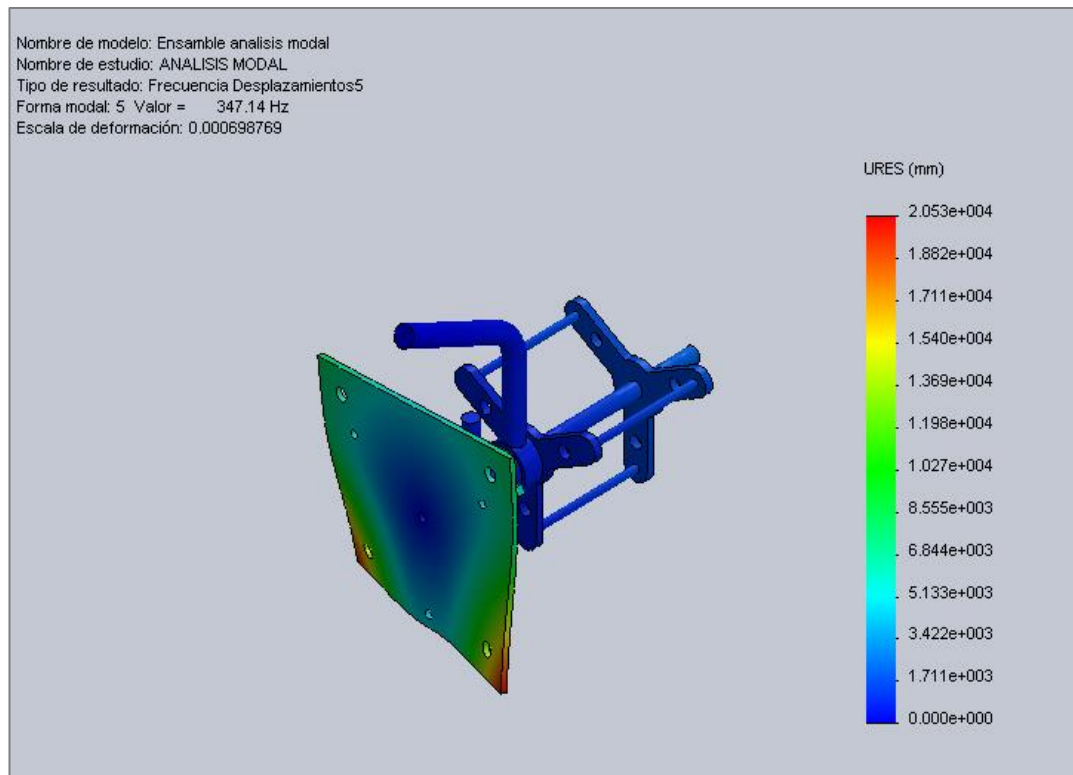


Figura 52. Modo 5 de vibración

Tabla 16. Resumen de resultados de modos de vibración

| Número de frecuencias | Rad/seg | Hertz | Segundos |
|-----------------------|---------|--------|-----------|
| 1 | 950.84 | 151.33 | 0.006608 |
| 2 | 1029.3 | 163.81 | 0.0061045 |
| 3 | 1517.3 | 241.48 | 0.0041411 |
| 4 | 1546.4 | 246.11 | 0.0040632 |
| 5 | 2181.1 | 347.14 | 0.0028807 |

3.6.8. Conclusiones del análisis

En el análisis modal se ha realizado un estudio para ver todos los modos de vibración posibles y sus frecuencias en cada uno como se muestra en la tabla 16. Adicional se puede observar los desplazamientos que se producen en cada modo de vibración siendo el mayor resultado en la parte inferior delantera de la placa frontal, el valor de estos desplazamientos y deformaciones es mínimo, y fue verificado y comprobado en la realidad, y el resultado no afectó a la calidad de la imagen. Dichos desplazamientos y deformaciones al ser muy bajos son difíciles de detectar en la realidad, pero lo más importante es que no afectó a la calidad de la imagen.

Finalmente se ha realizado la simulación con valores críticos, es decir que se le ha aplicado la vibración de un amortiguador directamente al mecanismo, cosa que no sucede en la realidad, ya que estas vibraciones son absorbidas por el peso del vehículo, pero este mecanismo ha sido diseñado con condiciones críticas y extremas para así garantizar su buen funcionamiento y durabilidad.

CAPITULO IV

4. CONSTRUCCION, ENSAMBLE Y AJUSTES

4.1. Construcción

4.1.1. Planos constructivos

Los planos correspondientes a esta sección contienen detalle de cada elemento que forma parte de la plataforma portátil. Estos planos se muestran en el anexo 2. A continuación se lista todos los planos generados que nos ayudarán a entender detalles constructivos del equipo.

Tabla 17. Lista de Planos constructivos

| ITEM | CODIGO | DESCRIPCIÓN |
|------|--------------------|-----------------------|
| 1 | ESPE-001-PL-DM-001 | ACOPLE MOTORES |
| 2 | ESPE-001-PL-DM-002 | BRAZO PARABRISAS |
| 3 | ESPE-001-PL-DM-003 | CORREDERA |
| 4 | ESPE-001-PL-DM-004 | EJE CENTRAL |
| 5 | ESPE-001-PL-DM-005 | EJE MOTOR |
| 6 | ESPE-001-PL-DM-006 | GUIA |
| 7 | ESPE-001-PL-DM-007 | SOPORTE GUIAS |
| 8 | ESPE-001-PL-DM-008 | SOPORTE MOTORES |
| 9 | ESPE-001-PL-DM-009 | SOPORTE PLACA FRONTAL |
| 10 | ESPE-001-PL-DM-010 | PLACA FRONTAL |
| 11 | ESPE-001-PL-DM-011 | TERMINAL ACELERADOR 1 |
| 12 | ESPE-001-PL-DM-012 | TERMINAL ACELERADOR 2 |
| 13 | ESPE-001-PL-DM-013 | BRAZO UNION |
| 14 | ESPE-001-PL-DM-014 | CONJUNTO ARMADO |
| 15 | ESPE-001-PL-DM-015 | 3D GENERAL |

4.1.2.Hojas de Proceso

Las hojas de procesos son específicamente para indicar el proceso de construcción de los elementos que han sido fabricados, es decir se les ha realizado un proceso desde la materia prima hasta obtener el producto final. Las hojas de procesos se muestran en el anexo 3. A continuación se lista todas las hojas de procesos.

Tabla 18. Lista de hojas de procesos

| | | |
|---|--------------------|------------------|
| 1 | ESPE-001-PL-HP-001 | BRAZO PARABRISAS |
| 2 | ESPE-001-PL-HP-002 | EJE CENTRAL |
| 3 | ESPE-001-PL-HP-003 | EJE MOTOR |
| 4 | ESPE-001-PL-HP-004 | GUIA |
| 5 | ESPE-001-PL-HP-006 | BRAZO UNION |

4.2. Pruebas de funcionamiento

En esta sección se mencionará los diferentes tipos de pruebas que se le ha realizado al mecanismo como una simulación de la realidad para así poder observar su comportamiento y realizar las modificaciones necesarias para así corregir sus fallas y tener un funcionamiento óptimo.

Las pruebas de funcionamiento realizadas son:

- Carrera de la corredera y ángulo de rotación
- Acople de los motores
- Funcionamiento de los motores
- Prueba de vibraciones

4.2.1.Carrera de la corredera y ángulo de rotación

Para esta prueba se ha realizado una simulación en Solid Works para determinar la relación en distancia línea y el ángulo de rotación de la placa frontal alrededor de un eje específico, esto se lo realiza con el objetivo de observar si la carrera que se tiene en el mecanismo es suficiente para satisfacer lo requerido, es decir si el ángulo de rotación máximo de la placa frontal es de 20° .

Para realizar esta prueba se ha utilizado el programa Solid Works, en el mismo que se ha realizado una simulación para ver si el prototipo cumple con las especificaciones de rotación de las cámaras.

A continuación se describe brevemente el procedimiento y los resultados obtenidos.

Después de tener el modelo 3D como un ensamble en Solid Works se procede hacer la verificación de la relación carrera de la corredera con el ángulo de rotación de la placa.

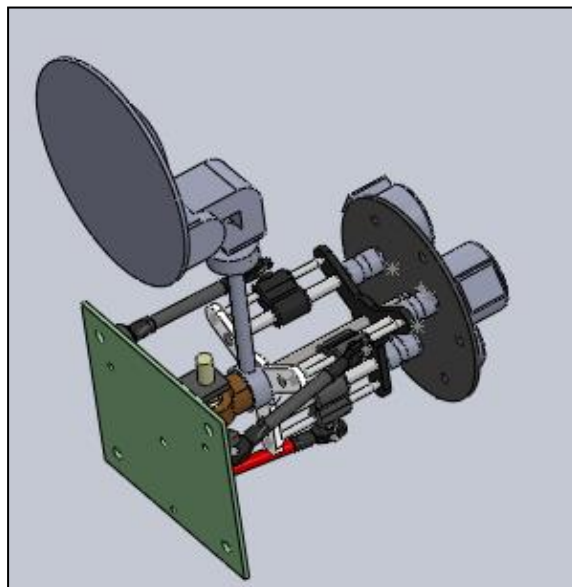


Figura 53. Modelo 3D – Ensamble General

Después de tener el ensamble se procede a crear un nuevo estudio de movimiento en el programa, en el que le daremos las condiciones extremas para así comprobar el ángulo de rotación de la placa frontal.

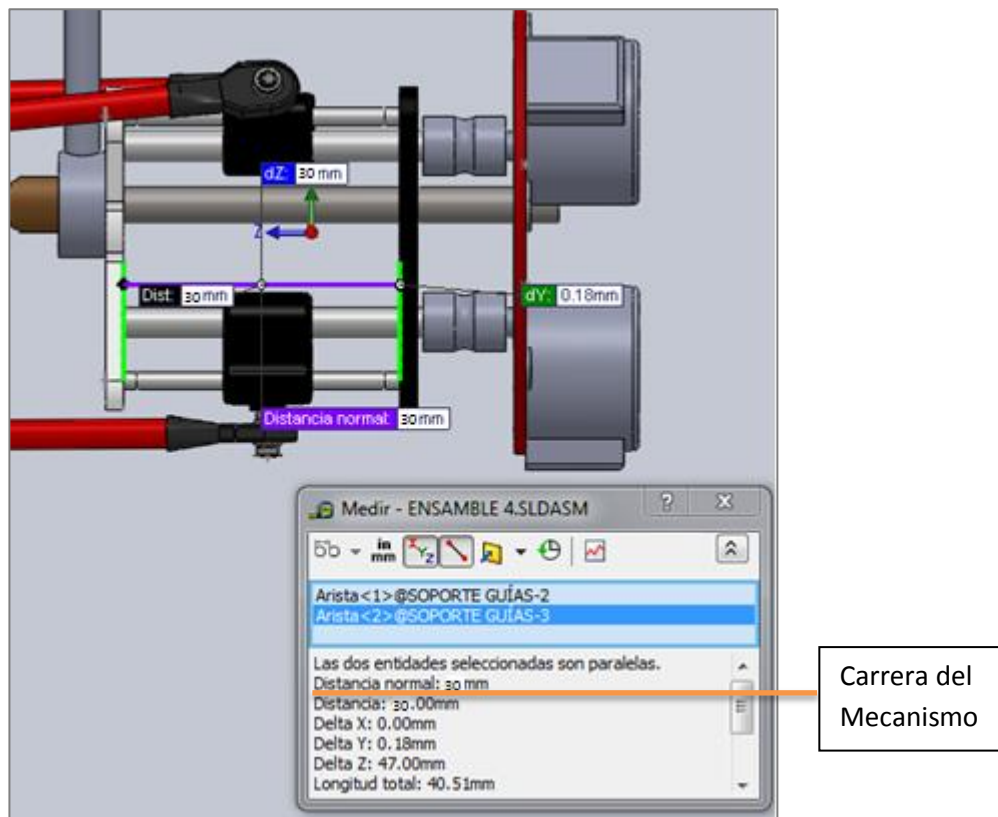


Figura 54. Carrera final del mecanismo de prueba

En la Figura 54 se puede ver la distancia entre soportes, lo que viene a ser la carrera del mecanismo, inicialmente la carrera fue de 30 mm, por lo que en la simulación para la verificación del ángulo trabajaremos con 30 mm.

Se ubicará un motor lineal en cada corredera y se le dará restricción para que la placa frontal se mantenga paralela al plano panta. En la figura 46 se

indica las condiciones que se le dará a cada corredera a través del motor lineal.

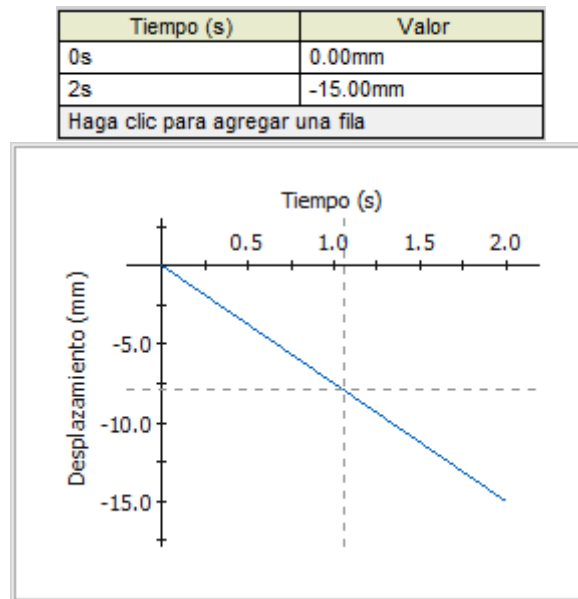


Figura 55. Condiciones de la corredera

En la Figura 55 se observa las condiciones que se le dará a la corredera, a la misma que se le ha dado la condición de que se desplace 30 mm que son las condiciones con las que se han diseñado primeramente el mecanismo.

En la figura siguiente se observa el desplazamiento de la corredera y la rotación de la placa después de la simulación.

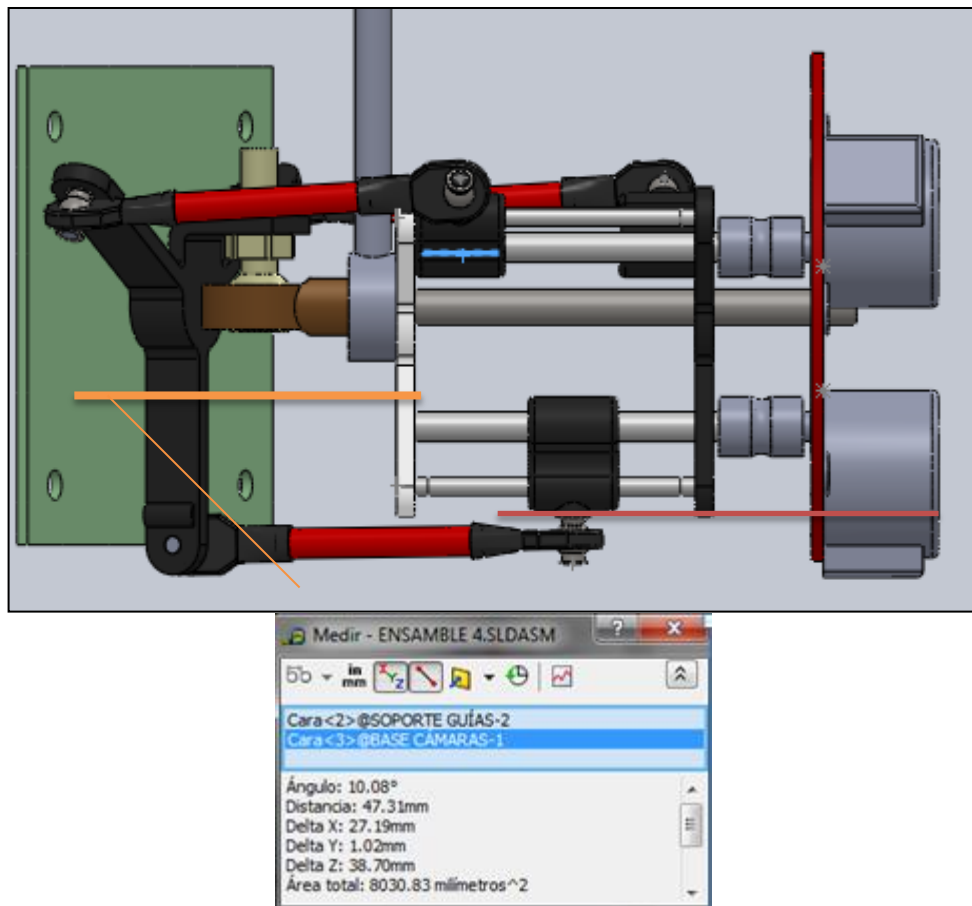


Figura 56. Resultado de la prueba de funcionamiento de la relación desplazamiento de la corredera – ángulo de rotación de la placa frontal en la que se observa que para 30 mm de carrera se tiene un ángulo de rotación de la placa frontal

El resultado de la prueba mostrado en la Figura 56 no cumple con el requerimiento mencionado en el punto 4.2.1 que nos dice que el ángulo de rotación de la placa frontal debe ser mínimo 20° , por lo que se deberá realizar una primera corrección al modelo.

4.2.2. Acople de los motores

El diseño de los acoples tiene su importancia ya que de su diseño depende la eficiencia en la transmisión de movimiento.

El acople que se propuso inicialmente se muestra en la Figura 46 el mismo que se lo ha diseñado con un criterio de que es necesario que el eje roscado y el eje del motor tengan una holgura para un desplazamiento axial y no haya dificultad referentes a alineamientos al momento de girar.

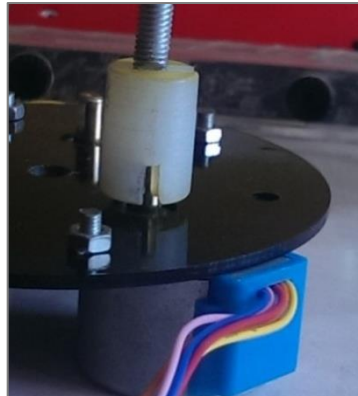


Figura 57. Acople de motor – eje roscado para transmisión de movimiento

Al momento de verificar su funcionamiento el resultado no fue el mejor, por lo que se decidió que en esta parte del diseño se debe realizar una segunda modificación con un criterio totalmente cambiado.

4.2.3. Funcionamiento de los motores

En la parte de selección del motor para movimiento de las guías se realizó un procedimiento experimental para esto, en esta sección se verificará si el procedimiento y la decisión ha sido realizada de manera correcta.

En la selección de los motores en teoría el torque del motor es mayor al torque necesario para mover el mecanismo, para comprobarlo y poner en marcha los motores se ha diseñado una placa electrónica que nos permite

controlar su movimiento. En la Figura 58 se muestra motores en el mecanismo con la placa electrónica para proceder a verificar su funcionamiento.



Figura 58. Prueba de funcionamiento de motores.

Después de la prueba realizada y comprobar que la potencia existente es suficiente para el requerimiento del mecanismo, se ha verificado que los motores seleccionados son los correctos. En la figura siguiente se muestra la posición de las correderas después de comprobar el funcionamiento de los motores.

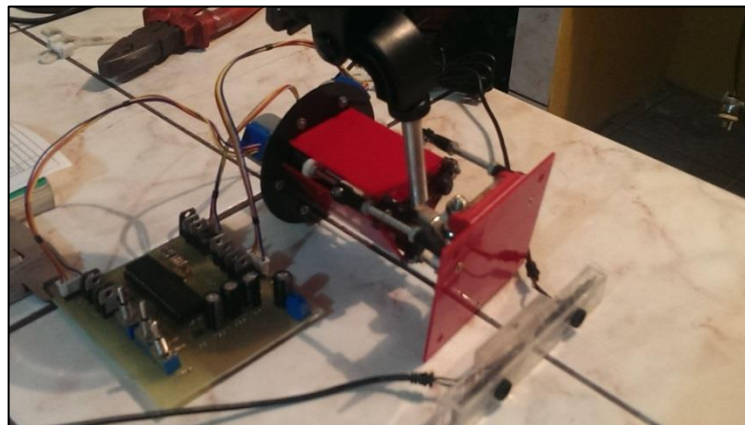


Figura 59. Posición de las correderas después de probar los motores

4.2.4. Prueba de vibraciones

El problema más importante que se debe intentar reducir con el diseño del mecanismo es las vibraciones, y aquí se mostrará un informe del comportamiento frente a este problema que debe ser evitado. Para ello el modelo creado se lo ha sometido a condiciones reales de funcionamiento, es decir se lo ha colocado en el vehículo para ver su comportamiento mientras este está en marcha por un camino irregular de segundo orden que vendrían a ser condiciones extremas de funcionamiento.

En la Figura 60 se muestra el modelo ubicado en el parabrisas del vehículo para ver su comportamiento.

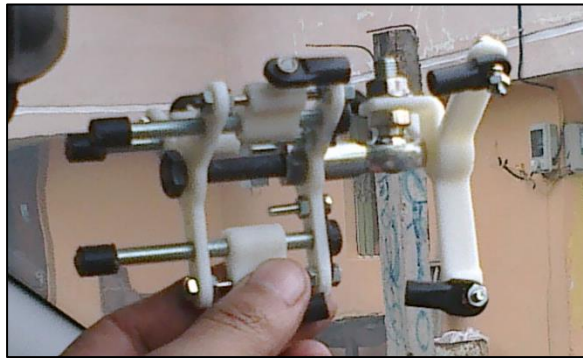


Figura 60. Modelo ubicado en el vehículo para prueba de vibraciones

Algo que se verifica como complemento a las vibraciones del mecanismo y quizá lo más importante, es la imagen capturada por las cámaras es decir que estas no sufran ninguna modificación en calidad por el movimiento del vehículo, en la Figura 61 se muestran las cámaras sujetas al mecanismo y una imagen capturada cuando el vehículo está en marcha.



Figura 61. Calidad de imagen y acople de cámaras

Adicional a esta prueba se tiene en el capítulo anterior en la parte de diseño un análisis modal realizado en Solid Works con lo que se verifica teórica y experimentalmente que el diseño de la plataforma se adapta muy bien al momento de poner en marcha el vehículo y lo más importante, que es que la imagen capturada por la cámara no se distorsiona ni baja su calidad.

4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de haber realizado las pruebas de funcionamiento, y observar los resultados, se debe realizar algunas modificaciones al diseño, entre las principales están: acople del motor con el eje roscado y la carrera del mecanismo.

Para ello se tendrá en cuenta los requerimientos planteados para así lograr un correcto funcionamiento del mecanismo.

En los acoples del motor que se muestran en la Figura 62 se puede observar que el criterio utilizado para su diseño no fue el adecuado ya que el supuesto espacio para evitar problemas de alineación dio problemas al momento de la prueba, ya que al girar el motor se pierde mucha potencia en este acople, esto debido a que los ejes tratan de salir de su posición y existe mucha holgura en las ranuras, por lo que en el siguiente diseño se propondrá algo totalmente opuesto, es decir el agujero del acople se lo diseñará a medida exacta del eje del motor y del eje roscado, para así evitar los problemas presentados en el caso anterior.



Figura 62. Primer diseño de acople del motor con eje roscado

Por otra parte el problema presentado con la carrera del mecanismo, sin duda la única opción existente es ampliarla hasta lograr el ángulo requerido de 20° , para lo cual será necesario fabricar unas nuevas guías. En el eje roscado se ha dejado en el primer diseño un rango, por lo que no será necesaria una modificación de fabricación, sino más bien al momento del ensamble. En siguiente figura se muestra una foto de la guía que será modificada en su longitud total y la longitud de las partes roscadas.



Figura 63. Guía del mecanismo de longitud 30 mm

Adicionalmente se ha observado y se ha verificado durante las pruebas de funcionamiento lo mencionado anteriormente y quizá el principal problema que puede presentar el sistema de visión estéreo, el cual se lo puede observar en las siguientes figuras:



Figura 64. Mecanismo con cámaras no alineadas



Figura 65. Vista de afuera de las cámaras no alineadas



Figura 66. Resultado de imágenes capturadas con cámaras no alineadas

En las figuras Figura 64, Figura 65, Figura 65, Figura 66; se puede observar cómo afecta a la calidad de imagen la no linealidad de cámaras, lo que quitaría eficiencia al sistema de visión estéreo al momento de analizar resultados.

A continuación se presenta imágenes con las cámaras alineadas:



Figura 67. Mecanismo nivelado



Figura 68. Cámaras alineadas vista desde afuera



Figura 69. Resultado de imágenes capturadas con el mecanismo nivelado

4.4. Ajustes al diseño

4.4.1. Carrera de la corredera y ángulo de rotación

Básicamente el cambio que se le hizo a esta parte del mecanismo es ampliar la guía de 30 mm a 47 mm quedando el resultado de la siguiente manera:

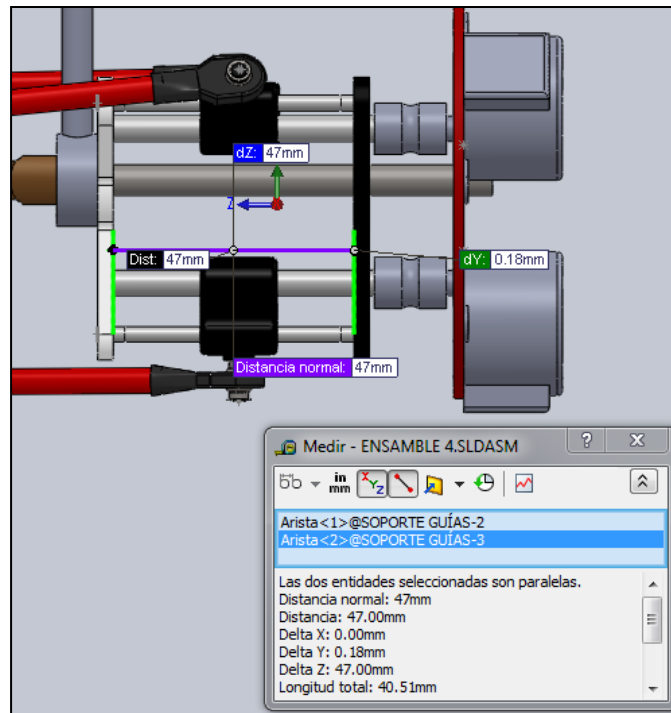


Figura 70. Mecanismo ampliado la guía de 30 a 47 mm

En la Figura 71 se muestra el ángulo de rotación máxima con la nueva carrera de 47 mm.

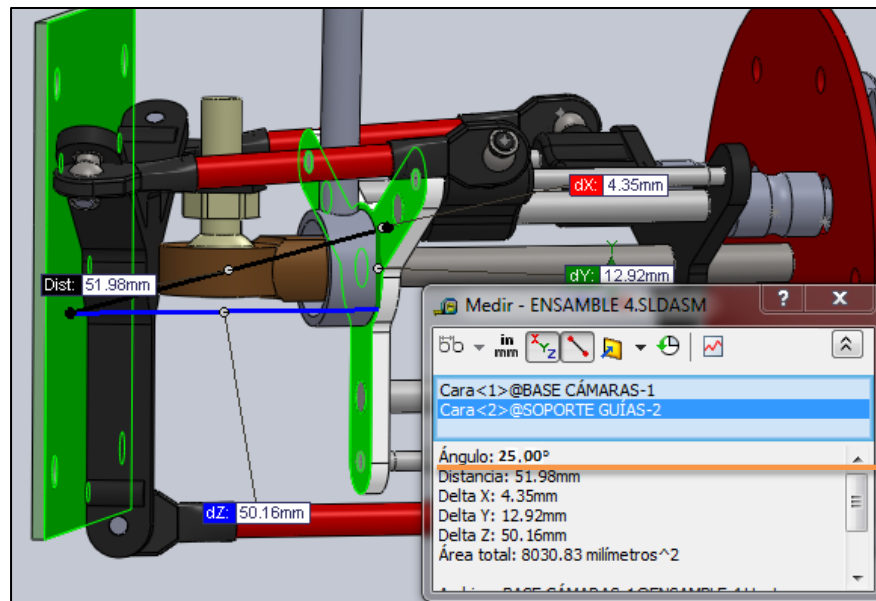


Figura 71. Angulo de rotación de la placa frontal con carrera de 47 mm

Con este cambio se puede observar en las imágenes que cumple con los requisitos de diseños. El diseño se ha dejado para que la placa frontal sea capaz de girar un ángulo de 25° ya que el requerimiento mínimo es de 20° y no se especifica un máximo:

4.4.2.Acople de los motores

Como se mencionó anteriormente, en el diseño del acople se debe utilizar un criterio diferente para su diseño, quedando como diseño final el mostrado en la Figura 72 con el mismo que se ha obtenido resultados satisfactorios y por tanto se puede dar a la prueba por superada.

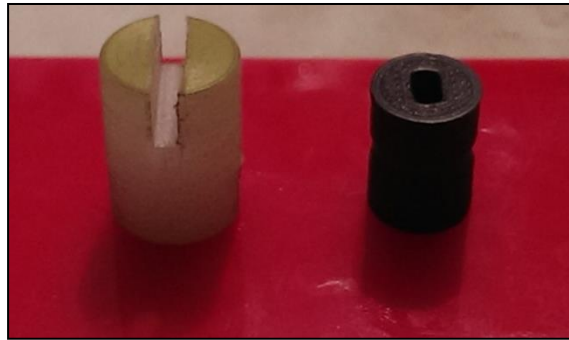


Figura 72. Izquierda: primer diseño acople; derecha: diseño final

Cabe indicar que el segundo modelo del acople al ser una pieza pequeña y de alta precisión este ha sido fabricado en una máquina de prototipado 3D mientras que el acople de la izquierda se lo ha fabricado con máquinas y herramientas.

4.5. Conclusiones del capítulo

- Mediante las pruebas de funcionamiento se verificó las fallas del mecanismo para poderlas corregir y con esto lograr un funcionamiento óptimo de la plataforma.
- Uno de los requerimientos de diseño y quizá el más importante es que no se pierda la calidad de la imagen por vibraciones, ruido, etcétera, y en las pruebas se pudo verificar que el diseño cumple con este requerimiento.
- En este capítulo de manera experimental, y en la mayoría de las pruebas, de manera real, se comprobó que el diseño del mecanismo es correcto.

- Después de realizar los cambios respectivos se verificó que el funcionamiento del mecanismo cumple con los requerimientos de diseño que son: estabilidad de la imagen al poner en marcha el vehículo, capacidad de orientación, fácil automatización, liviano, resistente, portátil.

CAPITULO V

5. ANÁLISIS DE COSTOS

En este capítulo se analiza todos los costos que se han generado durante el desarrollo del proyecto, para ello a continuación se realiza un detalle clasificado de ellos.

5.1. Costos de diseño

En la tabla 19 se detalla todos los costos generados durante el diseño:

Tabla 19. Costos de Diseño

| DISEÑO | | | | |
|------------|-------|-----------------------------------|----------|-------------------------|
| ITEM | CANT. | DESCRIPCION | PVP/UNIT | COSTO TOTAL (USD) |
| 1 | 10 | ASESORÍAS PROFESIONALES EN DISEÑO | 15 | 150 |
| 2 | 1 | SOFTWARE DE DISEÑO SOLID WORKS | 6 | 6 |
| 3 | 1 | SOFTWARE DE DISEÑO AUTOCAD | 6 | 6 |
| SUBTOTAL 1 | | | | 162 |

5.2. Costos de construcción

Los costos de construcción se clasifican en costos directos y costos indirectos.

5.2.1. Costos directos

Son aquellos que pueden identificarse directamente con un objeto de costos, sin necesidad de ningún tipo de reparto. Los costos directos se derivan de la existencia de aquello cuyo costo se trata de determinar, sea un producto, un servicio, una actividad, como por ejemplo, los materiales

directos y la mano de obra directa destinados a la fabricación de un producto. Dentro de los costos directos se tiene los que se detalla en la tabla 18 a continuación.

Tabla 20. Costos de Materiales mecánicos

| MATERIALES MECÁNICOS | | | | | | COSTO |
|----------------------|-------|---------------------|-------------|--------|----------|--------------|
| ITEM | CANT. | DESCRIPCION | TAMAÑO | UNIDAD | PVP/UNIT | TOTAL (USD) |
| 1 | 5 | ARANDELAS | 6 ID & 8 OD | MM | 0,25 | 1,25 |
| 2 | 1 | BROCA GERM HSS M3 | 3 | MM | 1,00 | 1,00 |
| 3 | 1 | BROCA HSS | 5 | MM | 1,00 | 1 |
| 4 | 1 | JUEGO MACHUELOS | 1/4 | PULG | 7,15 | 7,15 |
| 5 | 1 | LIMA PLANA BAST. | 6 | PULG | 4,50 | 4,50 |
| 6 | 1 | NIVEL HORIZONTAL | - | - | 2,75 | 2,75 |
| 7 | 1 | PALANCA TERRAJA | - | - | 5,00 | 5,00 |
| 8 | 1 | PERNO | 1/4 x 2 | PULG | 0,10 | 0,10 |
| 9 | 3 | PERNO ACERO | 1/4 x 1 1/2 | PULG | 0,10 | 0,30 |
| 10 | 1 | PERNO DE ACERO UNF | 1/4 x 5 | PULG | 1,20 | 1,2 |
| 11 | 1 | PERNO NF | 1/4 x 1 1/2 | PULG | 0,35 | 0,35 |
| 12 | 1 | RODELA COBRE | 6 | MM | 0,30 | 0,3 |
| 13 | 4 | TERRAJAS UNC MM | 3 | MM | 7,00 | 28,00 |
| 14 | 8 | TORNILLO C/R | 3 x 15 | MM | 0,05 | 0,40 |
| 15 | 3 | TORNILLO C/R | 4 x 15 | MM | 0,05 | 0,15 |
| 16 | 3 | TORNILLO C/R | 5 X 60 | MM | 1,00 | 3 |
| 17 | 5 | TORNILLOS MM C/R M4 | 4 | MM | 0,15 | 0,75 |
| 18 | 4 | TORNILLOS MM C/R M5 | 60 | MM | 0,12 | 0,48 |
| 19 | 2 | TORNILLOS MM C/R M5 | 5 x 10 | MM | 0,10 | 0,2 |
| 20 | 2 | TORNILLOS MM C/R M6 | 6 x 10 | MM | 0,15 | 0,3 |
| 21 | 1 | TUERCA ACERO UNF | 5 | MM | 0,10 | 0,1 |
| 22 | 5 | TUERCA DE ACERO UNF | 1/4 | PULG | 0,05 | 0,25 |
| 23 | 12 | TUERCA MM UNC 3 | 3 | MM | 0,05 | 0,6 |
| SUBTOTAL 2 | | | | | | 59,13 |

Tabla 21. Costos de Materiales Eléctricos

MATERIALES ELECTRICOS

| ITEM | CANT. | DESCRIPCION | PVP/UNIT | COSTO TOTAL (USD) |
|------------|-------|--------------------------|----------|-------------------------|
| 1 | 1 | CON HEAD MALE | 0,40 | 0,40 |
| 2 | 19 | RESISTENCIA 1 KOHM 1/4 W | 0,05 | 0,95 |
| 3 | 4 | CE 4700 VF/35 V | 0,98 | 3,92 |
| 4 | 2 | CC 22 PF/50 V | 0,10 | 0,20 |
| 5 | 1 | PIC 16F887 | 6,21 | 6,21 |
| 6 | 1 | ZOC 40 P | 0,20 | 0,20 |
| 7 | 1 | LM 7805 | 0,40 | 0,40 |
| 8 | 12 | TIP 127 - PNP | 0,54 | 6,48 |
| 9 | 1 | 1N 4007 | 0,10 | 0,10 |
| 10 | 1 | BORN 2P-AZ | 0,25 | 0,25 |
| 11 | 3 | SW3P SPOS AZ | 0,30 | 0,90 |
| 12 | 1 | CRY 4 MHZ | 0,50 | 0,50 |
| 13 | 1 | CABLE FLEX. | 0,60 | 0,60 |
| 14 | 2 | CÁMARAS | 19,00 | 38,00 |
| 15 | 3 | MOTORES | 7,00 | 21,00 |
| SUBTOTAL 3 | | | | 80,11 |

Tabla 22. Costos de Maquinado

| MAQUINADO | | | | | | |
|-----------|-------|-----------------------------|---------------------|--------------------------|---------|-------------------------|
| ITEM | CANT. | NOMBRE | MAQUINA | TIEMPO TOTAL [MIN] | PVP/MIN | COSTO TOTAL (USD) |
| 1 | 3 | ACOPLE MOTORES | PROTOTIPADORA 3D | 10 | 0,75 | 22,50 |
| 2 | 1 | BASE CAMARA | CORTADORA LASER | 2 | 0,50 | 1,00 |
| 3 | 3 | CORREDERA | PROTOTIPADORA 3D | 15 | 0,75 | 33,75 |
| 4 | 2 | SOPORTE GUIAS | PROTOTIPADORA 3D | 15 | 0,75 | 22,50 |
| 5 | 1 | SOPORTE MOTORES | CORTADORA LASER | 2 | 0,50 | 1,00 |
| 6 | 1 | SOPORTE PLACA FRONTAL | CORTADORA LASER | 12 | 0,75 | 9,00 |

SUBTOTAL 4

89,75

5.2.2. Costos indirectos

Es aquel coste que afecta al proceso productivo en general de uno o más productos, por lo que no se puede asignar directamente a un solo producto sin usar algún criterio de asignación.

Es decir, no lo podemos asignar únicamente, a una unidad de referencia concreta. Sino a criterios más generales, que dependen en cierta manera del tipo de producción. Como el gasto de electricidad, agua, climatización, etc. de un proceso de producción. Están en contraste con el coste directo.

Tabla 23. Costos Indirectos

| COSTOS INDIRECTOS | | | |
|-------------------|-------------------------------------|-----|-------------------------|
| ITEM | DESCRIPCION | PVP | COSTO TOTAL (USD) |
| 1 | COMPLEMENTOS DE OFICINA Y PAPELERIA | 15 | 15 |
| 2 | MOVILIZACION | 50 | 50 |
| 3 | ALIMENTACION | 30 | 30 |
| 4 | VARIOS | 25 | 25 |
| SUBTOTAL 5 | | | 120 |

5.3. Costos totales

Para los costos totales se suma costos directos, costos indirectos y costos de diseño.

Tabla 24. Costo total del proyecto

| COSTOS TOTALES | |
|--------------------------------|---------------|
| DESCRIPCIÓN | PVP |
| SUBTOTAL 1 | 162 |
| SUBTOTAL 2 | 59,13 |
| SUBTOTAL 3 | 80,11 |
| SUBTOTAL 4 | 89,75 |
| SUBTOTAL 5 | 120 |
| COSTO TOTAL DE PROYECTO | 510,99 |

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- En el desarrollo del proyecto se aplicó conocimientos adquiridos durante la formación profesional, tales como elementos finitos, vibraciones, falla de elementos, CAD-CAM, máquinas y herramientas, conocimientos que aportaron en gran manera para lograr el objetivo satisfactoriamente.

- Para concluir el diseño se realizó simulaciones en el programa Solid Works, dichas simulaciones tuvieron el objetivo de realizar un análisis estructural y un análisis modal del mecanismo, es decir un estudio de los modos de vibración y de estos obtener la frecuencia natural de vibración. Estos análisis se los realizaron a para verificación y así garantizar el correcto funcionamiento y la durabilidad del mecanismo.

- El mecanismo desarrollado en este proyecto cumple con las siguientes especificaciones: i) Capaz de orientarse en todos los sentidos; ii) se lo puede automatizar; iii) es estable durante su funcionamiento; iv) el avance de las correderas que es el que nos da el ángulo de rotación es muy fino; su fabricación es sencilla ya que para muchos de sus componentes se ha utilizado la tecnología como lo es el prototipado 3D, corte por láser.

- La plataforma puede ser manipulada de manera manual o electrónica y cada una de estas placas de control puede ser intercambiada fácil y rápidamente.

- Los materiales utilizados en la construcción del mecanismo son materiales que garantizan la durabilidad y resistencia de la plataforma, ya que al ser portátil este será manipulado constantemente.

6.2. Recomendaciones

- Durante el funcionamiento del mecanismo se deberá verificar que el nivel esté completamente horizontal, el motivo de esto es que al momento de correr el programa la estimación de profundidad o distancia a la que se encuentra los objetos en el sistema de visión estéreo sea lo más precisa posible.

- Al pegar la ventosa en el parabrisas se deberá comprobar antes de cerrar el seguro para que quedé sujeto el mecanismo al parabrisas del vehículo que no quedé espacios con aire, ya que durante su funcionamiento o cuando el vehículo esté en marcha, este puede caer.

- En caso de querer fabricar alguna pieza del mecanismo que sea de procedencia de un prototipado 3D, tener en cuenta el acabado de la máquina ya que esta varía dependiendo la marca. Estos errores que aparentemente son pequeños pueden causar problemas al momento del ensamble o peor aún al momento del funcionamiento.

- En el ensamble se debe verificar que los soportes de las guías y las guías estén paralelos, ya que si no lo están, la corredera tendrá problemas y no se desplazará por toda su carrera.

- En el ensamble al momento de sacar o meter la rótula pequeña en el eje incorporado en la corredera, se lo debe realizar con mucho cuidado, ya que este puede fracturarse.

- El nivel ubicado en la parte posterior de la placa frontal sirve como referencia únicamente para poner en marcha el sistema de visión estéreo, se debe tener en cuenta que en la carretera dependiendo de la inclinación este cambiará. Estos detalles deben programarse y se deben tener en cuenta en el algoritmo del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

AG, C. Z. (18 de febrero de 2012). *Zeiss*. Obtenido de Cómo funcionan las gafas 3D:

http://www.zeiss.es/vision-care/es_es/better-vision/optica-de-precision-de-zeiss/la-seducccion--de-zeiss/Como-funcionan-los-anteojos-3D.html

Agencia Nacional de Tránsito. (2011). Obtenido de

http://www.noticiasquito.gob.ec/Noticias/news_user_list/

Blogspot. (febrero de 2013). *Receptores sensoriales*. Obtenido de Estructuras externas del ojo humano:

<http://receptoressensoriales15.blogspot.com/2013/02/estructuras-externas-del-ojo-humano.html>

Castro, J. L. (14 de junio de 2013). *Máquinas de Vectores Soporte*. Obtenido de Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones:

http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quinas_de_vectores_de_soporte#cite_ref-1

Colunga, M. G. (noviembre de 2004). *Instituto Tecnológico de Mérida*. Obtenido de Visión Artificial: Percepción de Profundidad: http://aurea-dt.com/mchc/MCHC_Tesis05.pdf

- Cruz, N. M. (MARZO de 2013). *UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID*.
Obtenido de DESARROLLO DE UN SISTEMA AVANZADO DE ASISTENCIA A LA CONDUCCIÓN EN TIEMPO REAL PARA LA DETECCIÓN DE PEATONES EN ENTORNOS URBANOS COMPLEJOS:
http://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/17162/PFC_Natalia_Moran_Cruz.pdf?sequence=1
- Gorcke, D. (06 de julio de 2013). *Slideshare*. Obtenido de Vision por computadora y Robotica 3d: <http://www.slideshare.net/goercke12/vision-porcomputadora-y-robotica-3d>
- José Miguel Guerrero Hernández, G. P. (2011). *Centro de Estudios Superiores Felipe II*. Obtenido de Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial:
<http://www.cesfelipesecondo.com/revista/articulos2011/Guerrero,%20J.M.pdf>
- Martinez, M. M. (2009/2010). *Maestría Tec Monterrey*. Obtenido de Técnicas de visión estereoscópica para determinar la estructura tridimensional de la escena:
http://eprints.ucm.es/11350/1/T%C3%A9cnicas_de_visi%C3%B3n_estereosc%C3%B3pica_para_determinar_la_estructura_tridimensional_de_la_escena.pdf
- Merino, J. (2012). *Automatismos*. Obtenido de Automática:
<http://www.oocities.org/es/jeesusmeeerino/automatica/transfer0.html>
- Prutchi, D. (15 de marzo de 2012). *Xatakafoto*. Obtenido de Estabilizador giroscópico casero: <http://www.xatakafoto.com/accesorios/estabilizador-giroscopico-casero>
- Punset, E. (01 de agosto de 2012). *Redes*. Obtenido de rtve.es:
<http://www.rtve.es/television/20110608/ver-mundo-estereo/438194.shtml>

Rosique, P. C. (10 de mayo de 2004). *Estimación de la disparidad en visión estereoscópica. Tratamiento del color*. Obtenido de Departamento de Ciencia de la computación en inteligencia artificial:
<http://www.dccia.ua.es/~company/PRINC.pdf>

SYSTEMS, A. (2013). *Audio Procines*. Obtenido de Explicación de la Visión estereoscópica:
<http://www.adpsystems.net/Pdf/Visi%C3%B3n%20estereosc%C3%B3pica.pdf>

ANEXOS I
VISIÓN ESTEREOSCÓPICA

ANEXOS II

PLANOS CONSTRUCTIVOS

| ITEM | CODIGO | DESCRIPCIÓN |
|------|--------------------|-----------------------|
| 1 | ESPE-001-PL-DM-001 | ACOPLE MOTORES |
| 2 | ESPE-001-PL-DM-002 | BRAZO PARABRISAS |
| 3 | ESPE-001-PL-DM-003 | CORREDERA |
| 4 | ESPE-001-PL-DM-004 | EJE CENTRAL |
| 5 | ESPE-001-PL-DM-005 | EJE MOTOR |
| 6 | ESPE-001-PL-DM-006 | GUIA |
| 7 | ESPE-001-PL-DM-007 | SOPORTE GUIAS |
| 8 | ESPE-001-PL-DM-008 | SOPORTE MOTORES |
| 9 | ESPE-001-PL-DM-009 | SOPORTE PLACA FRONTAL |
| 10 | ESPE-001-PL-DM-010 | TERMINAL ACELERADOR 1 |
| 11 | ESPE-001-PL-DM-011 | BRAZO UNION |
| 12 | ESPE-001-PL-DM-012 | ROTULA PEQUEÑA |
| 13 | ESPE-001-PL-DM-013 | BASTIDOR |
| 14 | ESPE-001-PL-DM-014 | 3D GENERAL |
| 15 | ESPE-001-PL-DM-015 | CONJUNTO ARMADO |
| 16 | | PLANO ELÉCTRICO |

ANEXO III
HOJAS DE PROCESOS

| | | |
|----------|--------------------|-------------------|
| 1 | ESPE-001-PL-HP-001 | BASTIDOR |
| 2 | ESPE-001-PL-HP-002 | BRAZO PARABRISAS |
| 3 | ESPE-001-PL-HP-003 | GUIA |
| 4 | ESPE-001-PL-HP-004 | EJE ROSCADO MOTOR |
| 5 | ESPE-001-PL-HP-006 | CORREDERA |

ANEXO IV
DATA SHEET MOTORES

ANEXO V
SELECCIÓN VENTOSA Y CÁLCULOS ADICIONALES

ANEXO VI
CÁLCULO DE TIEMPOS DE CORTE PARA HOJAS DE
PROCESOS

ANEXO VII
FOTO FINAL DEL MECANISMO