

DISEÑO DE UN SIMULADOR DE VUELCO DE UN AUTOMÓVIL COMPACTO
PARA LA EMPRESA CINFOVIAL S.A.S

BRANDOM JOHANN SIERRA MORENO
DANIEL FELIPE TORRES GUALTERO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2.020

DISEÑO DE UN SIMULADOR DE VUELCO DE UN AUTOMÓVIL COMPACTO
PARA LA EMPRESA CINFOVIAL S.A.S

BRANDOM JOHANN SIERRA MORENO
DANIEL FELIPE TORRES GUALTERO

Proyecto integral de grado para optar el título de
INGENIERO MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2.020

Nota de aceptación:

Ing. Carlos Andrés Infante Niño

Ing. William Alfonso Suarez Ortiz

Bogotá D.C. febrero 2.020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente Institucional y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCIA-PEÑA

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados (E)

Dra. ALEXANDRA MEJIA GUZMAN

Secretaria General

Dra. ALEXANDRA MEJIA GUZMAN

Decano General Facultad de Ingenierías

Dr. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director del Programa de Ingeniería Mecánica.

Dr. CARLOS MAURICIO VELOZA VILLAMIL

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi madre Elsa María, la cual estuvo en todo momento de mi carrera profesional, guiándome con sus consejos y sus ganas de que fuese profesional; de igual manera dedico este proyecto a mis padrinos Claudia Marcela y Daniel Andrés, porque sin ellos este sueño no hubiese sido posible, infinitamente gracias.

Brandom Johann Sierra Moreno

Dedico este proyecto principalmente a Dios por acompañarme y guiarme durante todo este proceso. A mi abuela Alicia y a mi padre Alex, que siempre me apoyaron y aconsejaron de la mejor manera, y a todas las personas que confiaron en mí para llegar a ser un buen profesional.

Daniel Felipe Torres Gualtero

AGRADECIMIENTOS

Primero queremos agradecer a Dios por darnos la vida y las competencias para culminar con éxito nuestra carrera profesional como ingenieros mecánicos.

En segunda instancia, agradecer a nuestros padres por brindarnos el apoyo y las herramientas necesarias para sobresalir en la carrera profesional y cumplir con nuestras metas.

Por último, a cada una de las personas que hicieron posible la realización de este proyecto; profesores, compañeros, empresa y al igual que el comité de evaluación de proyectos de grado de Ingeniería Mecánica por sus consejos, asesoría y ayuda.

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	19
INTRODUCCIÓN	20
1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	22
1.1 SIMULADORES DE VUELCO DENTRO DEL CONTEXTO DE LA SEGURIDAD VIAL	22
1.2 LUGARES DONDE SE HAN DESARROLLADO E IMPLEMENTADO SIMULADORES DE VUELCO	22
1.2.1 Simulador de vuelco Kirvit.	23
1.2.2 Simulador de vuelco Policía Nacional.	24
1.2.3 Simulador de vuelco de Automóvil Club de Chile.	24
1.2.4 Simulador de vuelco de Academia del Transportista.	25
1.2.5 Simulador de vuelco de Xavier Pérez Fusté.	26
1.2.6 Simulador de vuelco de CUALTIS S.L.U y Eusebio Gómez Fernando.	26
1.3 NORMATIVAS EXISTENTES PARA LA REGULACIÓN DEL DISEÑO DE LA MÁQUINA	27
1.3.1 Normativa Colombiana	28
1.3.2 Normativa Latinoamericana	28
1.3.3 Normativa Europea	29
1.4 CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS.	29
1.4.1 Definición de automóvil compacto.	34
2. DISEÑO CONCEPTUAL Y SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DEL SIMULADOR DE VUELCO	35
2.1 DISEÑO CONCEPTUAL DEL SIMULADOR DE VUELCO	35
2.1.1 Subsistema estructural	35
2.1.2 Subsistema motriz.	36
2.1.3 Subsistema de control.	36
2.1.4 Subsistema de nivelación y anclaje.	36
2.1.5 Subsistema de transporte.	36
2.2 DISEÑO FUNCIONAL DEL SIMULADOR DE VUELCO	37
2.2.1 Esquema de funcionamiento del simulador.	37
2.2.2 Descripción de las etapas de funcionamiento del simulador de vuelco.	37
2.3 PARÁMETROS Y REQUERIMIENTOS FUNCIONALES	40
2.3.1 Función principal.	40
2.3.2 Velocidad de rotación del automóvil.	40
2.3.3 Capacidad del simulador para las pruebas.	41
2.3.4 Tipo de automóvil.	41
2.3.5 Planteamiento de la matriz PUGH.	43
2.3.6 Transporte.	45

2.3.7 Dimensiones máximas del simulador.	45
2.3.8 Sistema de protección y acceso.	46
2.3.9 Fuente de energía y sistema de respaldo.	46
2.3.10 Condiciones de la unidad móvil.	46
2.4 PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS PARA EL SIMULADOR DE VUELCO	47
2.4.1 Modelo de referencia.	47
2.2.2 Alternativa número 1.	49
2.2.3 Alternativa número 2.	49
2.2.4 Alternativa número 3.	50
2.5 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA	51
2.5.1 Conceptualización de la alternativa seleccionada	56
3. DISEÑO DETALLADO DEL SIMULADOR DE VUELCO	57
3.1 DEFINICIONES Y GENERALIDADES	57
3.1.1 Generalidades de carga.	57
3.1.2 Combinaciones de cargas según la NSR10.	57
3.1.3 Centro de gravedad del automóvil compacto.	58
3.1.4 Propiedades mecánicas de aceros estructurales.	60
3.2 DISEÑO DETALLADO DEL SUBSISTEMA ESTRUCTURAL	60
3.2.1 Diseño detallado del sistema estructural móvil.	60
3.2.1.3 Diseño de los travesaños de la estructura móvil (3 travesaños)	69
3.2.2 Diseño detallado de la estructura fija.	85
3.3 DISEÑO DETALLADO DEL SUBSISTEMA MOTRIZ	103
3.3.1 Cálculo de torque y potencia..	103
3.3.2 Selección del motor.	105
3.3.3 Cálculo del eje de transmisión.	106
3.3.4 Selección de unidades de rodamientos.	109
3.4 DISEÑO DETALLADO DEL SUBSISTEMA DE CONTROL.	111
3.4.1 Selección de la instrumentación básica para el simulador de vuelco.	111
3.4.2 Circuito básico de funcionamiento.	119
3.5 DISEÑO DETALLADO DEL SUBSISTEMA DE NIVELACIÓN Y ANCLAJE.	119
3.5.1 Apoyos de nivelación.	119
3.5.2 Sistema de anclaje.	122
3.6 DISEÑO DETALLADO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE.	123
3.6.1 Selección de las neumáticos y rines	123
3.6.2 Selección de elementos de señalización e iluminación.	124
3.6.3 Transporte del simulador.	128
3.7 SIMULACIÓN POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS A LOS ELEMENTOS MÁS CRÍTICOS.	128
3.7.1 Desplazamiento máximo	129
3.7.2 Esfuerzo Von Misses	130
3.7.3 Factor de seguridad.	130
3.7.4 Verificación del factor de seguridad de la estructura móvil.	130

4. MANUALES DE MONTAJE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	134
4.1 MANUAL DE MONTAJE	134
4.1.1 Instalación y/ ensamble del sistema estructural móvil.	134
4.1.2 Instalación y/ ensamble del sistema estructural fijo.	136
4.1.3 Ensamble del sistema de transporte al sistema estructural fijo.	137
4.1.4 Ensamble del sistema de estructural móvil al sistema estructural fijo.	139
4.1.5 Ensamble del sistema de barandillas de seguridad	140
4.2 MANUAL DE OPERACIÓN	141
4.2.1 Transporte.	141
4.2.2 Pre-operación del simulador.	141
4.2.3 Operación de la máquina (Etapas de funcionamiento).	141
4.2.4 Aseguramiento.	142
4.2.5 Accionamiento primario.	142
4.2.6 Rotación.	142
4.2.7 Salida.	143
4.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO	143
4.3.1 Mantenimiento preventivo.	143
5. ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO	147
5.1 COSTOS DE MATERIALES	147
5.2 COSTOS DE FABRICACIÓN	149
5.3 COSTOS DE INGENIERÍA Y DISEÑO	150
5.4 VIABILIDAD DEL PREYECTO.	151
6. CONCLUSIONES	155
7. RECOMENDACIONES	156
BIBLIOGRAFÍA	157
ANEXOS	159

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Método de ponderación PUGH	44
Tabla 2. Parámetros y requerimientos (resumen)	46
Tabla 3. Matriz de evaluación PUGH para el subsistema estructural del simulador	54
Tabla 4. Centro de gravedad	59
Tabla 5. Masas y pesos presentes en la estructura móvil (resultados)	61
Tabla 6. Selección del perfil estructural (Viga de los marcos móviles)	77
Tabla 7. Cálculo del peso estimado de la estructura móvil	85
Tabla 8. Masas y pesos presentes en la estructura móvil	86
Tabla 9. Selección del perfil estructural (Columna fija)	93
Tabla 10. Peso unitario y el peso total (Estructura fija)	98
Tabla 11. Sistema Estructural Móvil (Valor total).	147
Tabla 12. Sistema Estructural Fijo (Valor total)	147
Tabla 13. Sistema de potencia (Valor total)	148
Tabla 14. Sistema de Control (Valor Total)	148
Tabla 15. Sistema de Transporte (Valor total)	148
Tabla 16. Sistema de Nivelación y Anclaje (Valor total)	149
Tabla 17. Automóvil compacto (Valor total)	149
Tabla 18. Costos de fabricación (Mano de obra técnica)	149
Tabla 19. Criterios (1 Ingeniero)	151
Tabla 20. Costo profesional (2 Ingenieros)	151
Tabla 21. Costos de diseño	151
Tabla 22. Tabulación y resultados de la encuesta	152
Tabla 23. Flujo de caja. (Análisis VPN)	153

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfico 1. Requerimientos de acuerdo a la situación actual.	27
Gráfico 2. Diseño funcional del simulador de vuelco	37
Gráfico 3. Circuito de control para el sistema de control	119
Gráfico 4. Etapas de funcionamiento	142

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Simulador de vuelco	22
Figura 2. Diseño de Kirvit Colombia	23
Figura 3. Diseño de la Policía Nacional de Colombia	24
Figura 4. Diseño de Automóvil Club de Chile.	25
Figura 5. Simulador de AT España	25
Figura 6. Simulador de Xavier Pérez Fusté	26
Figura 7. Simulador de vuelco CUALTIS	27
Figura 8. Segmento tipo C	34
Figura 9. Diseño conceptual del simulador de vuelco	35
Figura 10. Sistema estructural y nivelación	37
Figura 11. Ubicación y aseguramiento	38
Figura 12. Funcionamiento	39
Figura 13. Salida de los ocupantes	39
Figura 14. Movimiento rotacional	40
Figura 15. Modelo de referencia.	48
Figura 16. Alternativa 1. (Sistema estructural 1).	49
Figura 17. Alternativa 2 (Sistema estructural 2)	50
Figura 18. Alternativa 3. (Sistema estructural 3)	51
Figura 19. Subsistema estructural (AT).	56
Figura 20. Definición de áreas con figuras geométricas	59
Figura 21. Estructural móvil	60
Figura 22. Diagrama de cuerpo libre	62
Figura 23. Diagrama de fuerza cortante y momento flector	63
Figura 24. Perfil cuadrado para la viga principal (estructura móvil)	64
Figura 25. Diagrama de cuerpo libre viga marco	66
Figura 26. Diagrama de fuerza cortante y momento flector	67
Figura 27. Diagrama de cuerpo libre travesaño	70
Figura 28. Diagrama de cuerpo libre (Marco estructural móvil)	73
Figura 29. Nodo (A)	74
Figura 30. Diagrama de cuerpo libre del marco móvil (DLC)	75
Figura 31. Puntos de anclaje a la estructura móvil	80
Figura 32. Localización de los cuatro (4) puntos	80
Figura 33. Diagrama de cuerpo libre placa(s) (anclaje al chasis)	81
Figura 34. Diagrama de fuerza cortante y momento flector	82
Figura 35. Estructura fija	85
Figura 36. Diagrama de cuerpo libre (marco / estructura fija)	87
Figura 37. Nodo A. (Marco fijo)	88
Figura 38. Reacciones y fuerzas internas (marco / estructura fija)	89
Figura 39. Diagrama de cuerpo libre viga marco	90
Figura 40. Diagrama de fuerza cortante y momento flector	91
Figura 41. Marco estructural de seguridad	96

Figura 42. Escaleras de acceso	96
Figura 43. Plataforma (Soporte motor)	97
Figura 44. Factores geométricos para el análisis de soldaduras	98
Figura 45. Cordón de soldadura “Cordón todo alrededor”	99
Figura 46. Fuerza admisible por pulgada de lado (Electrodo E70)	102
Figura 47. Tamaños mínimos de cordón para placas gruesas	102
Figura 48. Torque (máquina simuladora)	104
Figura 49. Motor Asíncrono BAUER	105
Figura 50. Diagrama de cuerpo libre eje de transmisión	107
Figura 51. diagrama de fuerza cortante y momento flector	108
Figura 52. Unidad de rodamiento SYJ 75 F	110
Figura 53. Soportes de pie para el eje de potencia	111
Figura 54. Mando fijo (Instrumentación y control)	112
Figura 55. Interruptor general	112
Figura 56. Pulsador de emergencia	113
Figura 57. Baliza de señalización	114
Figura 58. Mando fijo del sistema de control	114
Figura 59. Mando a distancia del sistema de control	115
Figura 60. Pulsador rasante.	116
Figura 61. Potenciómetro	116
Figura 62. Pulsador (emergencia)	117
Figura 63. Luz piloto	117
Figura 64. Interruptor (codillo)	118
Figura 65. Mando de distancia (sistema de control)	118
Figura 66. Ubicación de los apoyos fijos y de pie de apoyo con rueda	120
Figura 67. Apoyo fijo	120
Figura 68. Pie de apoyo (rueda)	121
Figura 69. Porta bola y bola para remolque	122
Figura 70. Ubicación del acoplador.	122
Figura 71. Acoplador tipo bola (6000 lb).	123
Figura 72. Referencias de una llanta	123
Figura 73. RIN convencional de 16”	124
Figura 74. Stop para remolque (x2)	125
Figura 75. Conexión macho (7 vías)	126
Figura 76. Correcta conexión cable siete vías	127
Figura 77. Conexión macho y hembra de siete vías	127
Figura 78. Grúa con plataforma plana para transporte.	128
Figura 79. Ubicación de las cargas y restricciones	129
Figura 80. Simulación del desplazamiento máximo	129
Figura 81. Simulación del esfuerzo de Von Mises	130
Figura 82. Esfuerzo mínimo presente en la estructura móvil del simulador	131
Figura 83. Esfuerzo máximo presente en la estructura móvil del simulador	132
Figura 84. Ensamblaje a detalle del simulador de vuelco	134
Figura 85. Instalación paso a paso del sistema estructural móvil	135
Figura 86. Estructura móvil (Ensamble final)	136

Figura 87. Instalación paso a paso del sistema estructural fijo	136
Figura 88. Estructura fija (Ensamble parcial)	137
Figura 89. Sistema estructural fijo con las llantas	138
Figura 90. Acoplamiento de las escaleras	138
Figura 91. Ensamble 3: Acoplamiento del soporte y el marco del remolque	139
Figura 92. Ensamble 4: Acoplamiento de los (2) sistemas estructurales	139
Figura 93. Vista general de las dos (2) estructuras ensambladas	140
Figura 94. Conjunto de barandillas (seguridad)	140
Figura 95. Tipo de escalafón (ACIEM)	150
Figura 96. Honorarios por escalafón (ACIEM)	150

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Combinaciones de carga NSR10	58
Ecuación 2. Carga Mayorada	58
Ecuación 3. Carga mayorada (Estructura móvil)	61
Ecuación 4. Carga Distribuida (viga móvil)	62
Ecuación 5. Modulo elástico (viga móvil)	64
Ecuación 6. Esfuerzo máximo (viga móvil)	65
Ecuación 7. Factor de seguridad (viga móvil)	65
Ecuación 8. Carga puntual (viga de los marcos)	65
Ecuación 9. Momento de empotramiento (viga móvil)	66
Ecuación 10. Esfuerzo admisible (viga móvil)	67
Ecuación 11. Modulo elástico (marcos móviles)	68
Ecuación 12. Criterio de selección de perfiles estructurales	68
Ecuación 13. Esfuerzo máximo (viga móvil de los marcos)	68
Ecuación 14. Carga puntual del marco (columnas móviles).	72
Ecuación 15. Carga puntual de las columnas	75
Ecuación 16. Resistencia de diseño	76
Ecuación 17. Factor Landa (λ) (columnas móviles)	76
Ecuación 18. Esfuerzo crítico (Columna móvil)	77
Ecuación 19. Resistencia de diseño (comprobación).	78
Ecuación 20. Esbeltez (columnas móviles).	78
Ecuación 21. Factor de seguridad (columna móvil)	79
Ecuación 22. Carga distribuida sobre la placa (4 placas)	81
Ecuación 23. Momento de empotramiento.	82
Ecuación 24. Altura mínima de la placa (Espesor (t) placas de anclaje)	84
Ecuación 25. Altura mínima de la placa (Espesor (t) placas de anclaje)	84
Ecuación 26. Factor Landa (λ) (columnas fijas).	93
Ecuación 27. Área groos	94
Ecuación 28. Chequeo por esbeltez (columnas fijas)	95
Ecuación 29. Factor geométrico para flexión	99
Ecuación 30. Fuerza admisible por flexión	100
Ecuación 31. Factor geométrico para torsión	100
Ecuación 32. Fuerza admisible por torsión	101
Ecuación 33. Torque (Sistema motriz)	104
Ecuación 34. Potencia (Sistema motriz)	105
Ecuación 35. Resistencia a la fatiga real	106
Ecuación 36. Diámetro mínimo del eje	108
Ecuación 37. Carga estática	109

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Normatividad vigente en Colombia	28
Cuadro 2. Normatividad vigente en Latinoamérica	28
Cuadro 3. Normatividad vigente en España	29
Cuadro 4. Clasificación de vehículos	29
Cuadro 5. Clasificación de los automóviles	32
Cuadro 6. Velocidades angulares de referencia	40
Cuadro 7. Características de los usuarios del simulador	41
Cuadro 8. Lugares de operación del simulador	41
Cuadro 9. Alternativas de automóvil	42
Cuadro 10. Ponderación (planteamiento PUGH)	43
Cuadro 11. Descripción de los criterios de evaluación	43
Cuadro 12. Características del Chevrolet Spark	45
Cuadro 13. De qué depende la estructura?	47
Cuadro 14. Jerarquía (ponderación PUGH)	51
Cuadro 15. Descripción de criterios para la selección de la estructura	52
Cuadro 16. Propiedades mecánicas (acero estructural)	60
Cuadro 17. Perfiles estructurales (Simulación vs Reales)	132
Cuadro 18. Paso a paso E. Móvil (ensamblaje)	135
Cuadro 19. Paso a paso E. Fija (ensamblaje)	137
Cuadro 20. Manual de operación (Transporte)	141
Cuadro 21. Manual de operación (Pre-operación)	141
Cuadro 22. Manual de operación (Aseguramiento)	142
Cuadro 23. Manual de operación (Accionamiento primario)	142
Cuadro 24. Manual de operación (Rotación "vuelco")	143
Cuadro 25. Manual de operación (Salida)	143
Cuadro 26. Mantenimiento preventivo (Simulador de vuelco)	144
Cuadro 27. Cuadro de fallas (Simulador de vuelco)	145

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Dimensiones máximas (resolución 4100 de 2004)	160
Anexo B. Catálogo de perfiles estructurales astm 500 (ntc 4526)	161
Anexo C. Momentos de empotramiento	164
Anexo D. Condiciones de extremo para columnas	165
Anexo E. Plancha de acero sack	166
Anexo F. Selección del rodamiento (soporte(s) de pie)	167
Anexo G. Selección y referencia del perfil	171
Anexo H. Selección y referencia de la llantas	172
Anexo I. Selección y referencia del motorreductor	173
Anexo J. Soldadura	174
Anexo K. Selección y referencia del electrodo e70 (west arco)	175
Anexo L. Modelo de encuesta aplicada	176
Anexo M. Planos constructivos	177

RESUMEN

Para la realización del presente proyecto, se realizó el diagnóstico de la situación actual de los simuladores de vuelco presentes en Colombia, Latino América y Europa respectivamente, además de las normativas legales existentes, con el fin de conocer los modelos de operación y características funcionales; luego se establecieron los parámetros básicos de diseño y requerimientos funcionales suministrados por la empresa Cinfovia S.A.S, incluyendo especificaciones técnicas, de diseño entre otras.

Con base en los requerimientos y parámetros de funcionamiento se planteó un diseño conceptual, basado en los diferentes subsistemas que componen la máquina simuladora de vuelco, dando paso a la evaluación de tres alternativas propuestas para el tipo de automóvil compacto del simulador, de las cuales se seleccionó el correspondiente de acuerdo con el criterio de ponderación (pugh). De igual manera para la estructura se realizó la evaluación de tres alternativas, con base en tres diferentes modelos de estructura diagnosticados en el primer capítulo del presente proyecto.

Se realizó el diseño detallado de la estructura móvil, mostrando a detalle los cálculos y selección de cada perfil estructural que esté se compone, de igual modo para la estructura fija. Además del diseño y selección de los otros subsistemas (motriz, control, transporte, etc.) que componen el simulador.

Además, se realizó el modelado y planos de fabricación de las estructuras y sus sistemas, mediante el uso de un software CAD, para posteriormente analizar de manera específica el elemento crítico de la máquina simuladora de vuelco (eje de transmisión de potencia), a través del método de elementos finitos.

Concluido el diseño; se realizaron los respectivos manuales de ensamblaje, operación y mantenimiento, seguido de la evaluación financiera del proyecto, la cual se desarrolló en torno a las variables TIO y VPN, con el fin de determinar si el proyecto es viable o no para que sea implementado en los servicios y portafolio brindados por la empresa.

Palabras clave: Automóvil, cinturón de seguridad, diseño, seguridad vial, simulador, volcamiento.

INTRODUCCIÓN

Dentro del contexto de la seguridad vial en Colombia, el 90% de las causas de los accidentes de tránsito están relacionadas con el factor humano, como por ejemplo el exceso de velocidad, falta de competencias a la hora de conducir un vehículo, y el no uso o uso incorrecto de sistemas de seguridad pasiva como el cinturón de seguridad, motivo por el cual la empresa Cinfovial S.A.S. “Centro de investigación y formación en seguridad vial”, busca desarrollar e implementar sistemas o herramientas didácticas como el simulador de vuelco de un automóvil con el fin de sensibilizar y capacitar a las personas sobre las condiciones de seguridad y los sistemas de seguridad pasiva dentro de un automóvil.

El origen del problema radica en que según el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses en la última versión del informe Forensis para el año 2018 se registraron 46.416 casos atendidos por accidentes de transporte; las lesiones fatales corresponden a un total de 6.879 personas fallecidas equivalentes al 14,82 % y las lesiones no fatales reportan un total de 39.537 personas lesionadas 85,18 %.

El objetivo general del proyecto es diseñar un simulador de vuelco de un automóvil compacto para la empresa CINFOVIAL, y para ello se deben llevar a cabo los siguientes objetivos específicos:

- Realizar un diagnóstico del estado actual de los simuladores de vuelco de automóviles.
- Realizar el diseño conceptual y selección de la alternativa del simulador de vuelco.
- Desarrollar el diseño detallado del simulador de vuelco de automóvil.
- Realizar los manuales de montaje, operación, mantenimiento, y el análisis financiero del proyecto.

El alcance del proyecto contempla únicamente el diseño de una máquina que genera la rotación de un automóvil sobre un sistema estructural, simulando una condición de volcamiento.

La metodología utilizada en el proyecto es de carácter, analítica y descriptiva, tomando como referencia distintas fuentes como textos, artículos y estudios, que guiaron y complementaron la información necesaria para su desarrollo.

La importancia del simulador de vuelco radica en aumentar el alcance poblacional que se pueda concientizar y sensibilizar, respecto a las condiciones

y sistemas de seguridad dentro de un automóvil, y ver reflejado sus efectos en los diferentes indicadores que evalúan la accidentalidad.

1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

1.1 SIMULADORES DE VUELCO DENTRO DEL CONTEXTO DE LA SEGURIDAD VIAL

El simulador de vuelco es una máquina que se compone de un sistema estructural, al cual se ancla un vehículo, con el objeto de girar sobre su propio eje longitudinal 360°, a unas revoluciones determinadas por el operador.

La finalidad de este tipo de máquinas es generar las condiciones y escenarios de un vuelco de un automóvil para que puedan ser experimentadas en primera persona y de esta manera sensibilizar y capacitar a las personas sobre las condiciones de seguridad y los sistemas de seguridad pasiva dentro de un automóvil, apreciando efectos como los beneficios del uso correcto del cinturón de seguridad.¹

Figura 1. Simulador de vuelco



Fuente: ACADEMIA DEL TRANSPORTISTA. Tecnología Innovadora. [En línea]. Consultado [29 de abril del 2019] Disponible en: <https://www.academiadeltransportista.com/nuestros-centros/>

1.2 LUGARES DONDE SE HAN DESARROLLADO E IMPLEMENTADO SIMULADORES DE VUELCO

En Colombia, a partir del 29 de diciembre de 2011, la enseñanza y capacitación en seguridad vial está regulada con la expedición de la Ley 1503, donde se reglamenta la implementación y desarrollo de planes estratégicos de seguridad

¹ FUNDTRAFIC. (2019). Fundtrafic. Obtenido de <<https://fundtrafic.org/actividad-simulador-de-vuelco>>

vial, todo en procura de aplicar y diseñar tecnología, formación de hábitos, comportamientos y conductas seguras para todos los actores viales. De igual manera a nivel global algunos países como Chile, Estados Unidos, España e Inglaterra han venido desarrollando este tipo de herramientas para la seguridad vial a lo largo de los últimos años.²

Por consiguiente, se han implementado diferentes soluciones prácticas, en formación y sensibilización para conductores y pasajeros, entre las que se encuentra el simulador de vuelco de un automóvil.

A continuación, encontramos modelos de simuladores de vuelco, que se han desarrollado a nivel nacional e internacional.

1.2.1 Simulador de vuelco Kirvit. Es una empresa colombiana que diseña y fabrica sistemas de simulación, como herramientas de trabajo para facilitar los procesos de desarrollo y/o evaluación de competencias, y los complementa con servicios especializados para el entrenamiento de pilotos y conductores.³

Figura 2. Diseño de Kirvit Colombia



Fuente: KIRVIT. Transporte simulador de vuelco. [En línea] Consultado [29 de mayo del 2019] Disponible en:<https://kirvit.com/transporte/simulador-de-vuelco/>

El simulador de vuelco evidencia una máquina con un bajo centro de gravedad, y una estructura construida en perfiles tubulares, la cual cuenta con un sistema de anclaje directamente soldado al chasis del automóvil y un juego de llantas para su desplazamiento a manera de remolque, utilizan un automóvil compacto para aligerar el peso de todo el conjunto.

² Ministerio de Transporte. Plan Nacional de Seguridad Vial. 2011. p. 58

³ KIRVIT. (2019). Kirvit. Obtenido de <<https://kirvit.com/transporte/simulador-de-vuelco>>

1.2.2 Simulador de vuelco Policía Nacional. Por otra parte, encontramos el simulador de vuelco, diseñado e implementado por la Policía Nacional de Colombia, para disponer de sus prestaciones en las diferentes áreas de la institución, al igual que en la ejecución de campañas preventivas dirigidas a la población civil en general.

Figura 3. Diseño de la Policía Nacional de Colombia



Fuente: elaboración propia

Sus características de diseño contemplan una plataforma tipo remolque, para su fácil manipulación en cualquier localización donde se requiera de sus servicios, se observa un vehículo tipo sedán anclado a una estructura móvil donde el giro es provocado por un motor eléctrico accionado por el operador.

1.2.3 Simulador de vuelco de Automóvil Club de Chile. Esta empresa diseñó un simulador de volcamiento, como una forma de contribuir a la seguridad vial de los trabajadores de las empresas de transporte, producto del incremento en el número de conductores lesionados, por no utilizar el cinturón de seguridad⁴.

⁴ AUTOMOVIL CLUB DE CHILE. (2019). Automóvil club de chile. <<https://www.automovilclub.cl/>>

Figura 4. Diseño de Automóvil Club de Chile.



Fuente: AUTOMOVIL CLUB DE CHILE.
Tecnología Innovadora. [En línea]. [Consultado 29
de mayo del 2019].
Disponible en: <https://www.automovilclub.cl/>

En cuanto a las características de diseño, se puede evidenciar que posee una estructura en conjunto, para que opere en un solo punto de referencia (Estructura anclada), su sistema de potencia es accionado por fuerza mecánica del operador a través de un volante que genera y regula el giro que realiza la camioneta pick up.

1.2.4 Simulador de vuelco de Academia del Transportista. De igual manera en Europa, específicamente en España a través de la Academia del Transportista (Red de centros de Formación Profesional de empleo especializado en Transporte, Logística y Seguridad vial laboral). Se desarrollo e implemento un simulador de vuelco, con el objetivo de utilizarlo en empresas de transporte, escuelas de conducción y centros especializados en la seguridad vial.

Figura 5. Simulador de AT España

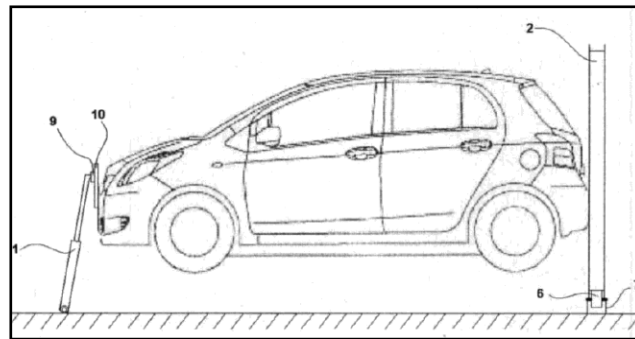


Fuente: ACADEMIA DEL
TRANSPORTISTA. Tecnología
Innovadora. [En línea]. [Consultado 29
de abril del 2019] Disponible en:
<https://www.academiadeltransportista.com/nuestros centros/>

Sus características funcionales y de diseño son similares a los simuladores desarrollados en Colombia, ya que cuenta con una estructura tipo remolque, haciendo uso de un motor reductor para controlar la entrega de potencia que produce el giro y además cuenta con un diseño más detallado, utilizando un automóvil tipo hatchback.

1.2.5 Simulador de vuelco de Xavier Pérez Fusté. En España se han desarrollado diferentes diseños de simuladores de vuelco, tal como se evidencia en la solicitud de patente presentada por Xavier Fuste a la Oficina Española de Patentes y Marcas que se titula “Estructura para volcar vehículos” donde muestra un modelo poco usual de estos simuladores.

Figura 6. Simulador de Xavier Pérez Fusté



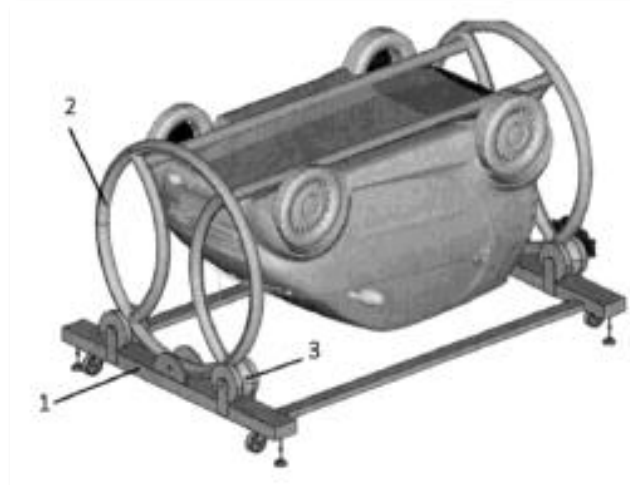
Fuente: XAVIER PÉREZ FUSTE. simulador. [En línea]. [Consultado 30 de junio del 2019]. Disponible en: <https://www.il3.ub.edu/blog/simulador-vuelco-prehospitalaria-victimas-accidente>

En sus características de diseño se evidencia un aro, un soporte con mecanismo elevador/descensor y un patín que unidos a un vehículo le dan la capacidad de poder girar respecto a su eje longitudinal y posicionar su parte frontal a mayor o menor altura respecto del suelo⁵.

1.2.6 Simulador de vuelco de CUALTIS S.L.U y Eusebio Gómez Fernando. Este es un modelo desarrollado en España, que se describe a detalle en la solicitud de patente presentada por CUALTIS S.L.U y Eusebio Gómez Fernando a la Oficina Española de Patentes y Marcas que se titula “Simulador de volteo para vehículo turismo desplazable y transportable” donde muestra otro modelo poco usual de estos simuladores.

⁵ XAVIER, Pérez. El simulador de vuelco mejora la formación en asistencia prehospitalaria a las víctimas de accidentes de tráfico. Trabajo de postgrado España.: Postgrado en Atención Prehospitalaria Urgente (APHU). 2019. 2 p

Figura 7. Simulador de vuelco CUALTIS



Fuente: FORMACIÓN CUALTIS. Simulador de vuelco cualtis [En línea]. [Consultado 30 de junio del 2019]. Disponible en: <https://www.facebook.com/CualtisFormacion/photos/a.1686146264930826/1998087410403375>

En sus características de diseño y funcionamiento encontramos una bancada soporte, una cuna que gira sobre su eje central y soporta el vehículo, los rodillos impulsados por motores de generan movimiento de las ruedas y las patas de nivelación y desplazamiento⁶.

1.3 NORMATIVAS EXISTENTES PARA LA REGULACIÓN DEL DISEÑO DE LA MÁQUINA

Con base en los tipos de simuladores existentes en Latino América y Europa, se tomaron características de diseño y funcionamiento, como referencia al diseño requerido por la empresa CINFOVIAL S.A.S., todo en convergencia con el ámbito normativo legal colombiano.

Gráfico 1. Requerimientos de acuerdo a la situación actual



Fuente: elaboración propia

⁶ CUALTIS FORMACIÓN. (2019). Cualtis formación. <<https://formacion.cualtis.com/unidades-moviles-de-formacion/>>

El marco referente al contexto legal en el desarrollo del presente proyecto y a falta de una normativa específica en el país, que regule el diseño de un simulador de vuelco, se tomaran como referencia las siguientes reglamentaciones establecidas en Colombia, Latino América y Europa; Para de esta manera asegurarse de que el simulador en conjunto, cumpla debidamente las reglamentaciones establecidas.

Además de apoyar al cumplimiento del objetivo principal del Plan Nacional de Seguridad Vial (2011-2021), el cual hace referencia a “Implementar acciones que permitan la disminución del número de víctimas fatales en un 26% por hechos de tránsito a nivel nacional para el año 2021, a través de un trabajo intersectorial e interinstitucional coordinado, con el fin de fomentar una movilidad que proteja la vida humana.”

1.3.1 Normativa Colombiana.

Cuadro 1. Normatividad vigente en Colombia

Parámetro	Reglamentación
Agencia nacional de seguridad vial	Ley 1702 de 2013.
Reglamentación del artículo 4, Ley 1503 de 2011	Decreto 2851 de 2013.
Código Nacional de Tránsito	Ley 769 de 2002
Código Nacional de Tránsito (actualizado)	Ley 1383 de 2011
Clasificación vehicular.	Resolución 5443 de 2009
Tipología colombiana para remolques	Resolución 4100 de 2004
Reflectividad	Resolución 1572 de 2019
Neumáticos	NTC 1275
Cinturones de seguridad⁷	NTC 1570

Fuente: elaboración propia

1.3.2 Normativa Latinoamericana.

Cuadro 2. Normatividad vigente en Latinoamérica

Parámetro	Reglamentación
Legalización de vehículos	Decreto 736 de 1988
Reglamento general de vehículos	Decreto 2822 de 1998
Clasificación vehicular en Ecuador	NTE INEM 2656 de 2012
Tipología ecuatoriana para carrocerías	NTE 1323

⁷ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Disposiciones uniformes respecto a cinturones de seguridad y sistemas de retención para ocupantes de vehículos automotores. Tercera actualización. Bogotá. ICONTEC, 2003

Cuadro 2. (Continuación)

Parámetro	Reglamentación
US NCAP	(New Car Assessment Program)
ANCAP	(Australian New Car Assessment Program)
LATIN NCAP	(Latin New Car Assessment Program)
IIHS	(Insurance Institute for Highway Safety)
EURO NCAP	(European New Car Assessment Program)

Fuente: elaboración propia

1.3.3 Normativa Europea.

Cuadro 3. Normatividad vigente en España



Parámetro	Reglamentación
Reforma de importancia a un vehículo	Real Decreto 736 de 1988
Expediente técnico de construcción	Real Decreto 1435 de 1992
Disposiciones mínimas de seguridad	Real Decreto 486 de 1997
Señalización luminosa y carteles	Real Decreto 485 de 1997

Fuente: elaboración propia






1.4 CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS.

En la resolución 5443 de 2009 del Ministerio de Transporte se establecieron los parámetros para caracterizar los tipos de vehículos.

Cuadro 4. Clasificación de vehículos

CLASE	IMAGEN	DENOMINACIÓN
Automóvil		Destinado al transporte de no más de cinco (5) pasajeros
Bus		Destinado al transporte de personas y sus equipajes, con capacidad de más de treinta (30) pasajeros

Cuadro 4. (Continuación)

CLASE	IMAGEN	DENOMINACIÓN
Buseta		<p>Destinado al transporte de personas y sus equipajes, con capacidad de veinte (20) a treinta (30) pasajeros</p>
Camión		<p>Por su tamaño y destinación se usa para transportar carga, con peso bruto vehicular del fabricante superior a cinco (5) toneladas</p>
Camioneta		<p>Destinado al transporte de pasajeros y/o carga con capacidad de no más de nueve (9) pasajeros y hasta cinco (5) toneladas de peso bruto vehicular del fabricante</p>
Campero		<p>Con tracción en todas sus ruedas, con capacidad hasta de nueve (9) pasajeros o tres cuartos (3/4) de tonelada</p>
Tractocamión (Camión Tractor)		<p>Destinado a arrastrar uno o varios semirremolques o remolques y equipado con acople para tal fin, con capacidad de más de cuarenta (40) toneladas</p>





Cuadro 4. (Continuación)

CLASE	IMAGEN	DENOMINACIÓN
Cuatrimoto		<p>Vehículo automotor de cuatro (4) ruedas con componentes mecánicos de motocicleta, para transporte de personas en terrenos lodosos o/y piedra</p>
Motocicleta		<p>Vehículo automotor de dos (2) ruedas en línea, con capacidad para el conductor y un acompañante</p>
Volqueta		<p>Destinado principalmente al transporte de materiales de construcción, provisto de una caja que se puede vaciar por giro transversal o vertical sobre uno o más ejes</p>




Fuente: elaboración propia, con base en. RESOLUCIÓN 5443 de 2009. MINISTERIO DE TRANSPORTE. [Consultado 1 junio 2019]. Disponible en: <https://mintransporte.gov.co/descargar.php?idFile=1880>

Es importante señalar que el diseño final del simulador varía de acuerdo con el tipo de vehículo y su carrocería; Las carrocerías de los automóviles se clasifican de acuerdo al uso y al número de volúmenes de la siguiente manera;

Cuadro 5. Clasificación de los automóviles

TIPO	IMAGEN	CARACTERÍSTICAS
Buggy		<p>Tipo de carrocería de automóvil de uno o dos volúmenes con cabina abierta</p>
Convertible		<p>Tipo de carrocería de automóvil sin techo o cuyo techo suave o rígido retráctil puede o quitarse o bien plegarse y guardarse en el maletero, con dos (2) o cuatro (4) puertas laterales</p>
Coupé		<p>Tipo de carrocería de dos (2) o tres (3) volúmenes con cabina cerrada con opción de un espacio de carga (maletero) integrado al cual se tiene acceso trasero, con dos (2) puertas laterales</p>
Hatchback		<p>Tipo de carrocería de automóvil de dos (2) volúmenes con una cabina cerrada para pasajeros con un espacio de carga (maletero) integrado al cual se tiene ingreso mediante la puerta trasera, con cuatro (4) puertas laterales</p>

Cuadro 5. (Continuación)

TIPO	IMAGEN	CARACTERÍSTICAS
Sedan		<p>Tipo de carrocería de automóvil de tres (3) volúmenes, con cabina cerrada y cuatro (4) puertas laterales</p>
Limosina		<p>Tipo de carrocería de automóvil lujoso de dos (2) o más volúmenes con una cabina cerrada para pasajeros, con espacio de carga (maletero) separado, de cuatro (4) o más puertas laterales</p>
Station Wagon		<p>Tipo de carrocería de automóvil de dos (2) volúmenes, con cabina cerrada, con espacio de carga integrada en el voladizo trasero alargado, con cuatro (4) puertas laterales</p>

Fuente: elaboración propia, con base en. RESOLUCIÓN 5443 de 2009. MINISTERIO DE TRANSPORTE. [Consultado 1 junio 2019]. Disponible en: <https://mintransporte.gov.co/descargar.php?idFile=1880>

1.4.1 Definición de automóvil compacto. Para el desarrollo del presente proyecto es necesario dar una descripción de lo que es, y las características que tiene un automóvil compacto, para esto se adoptara la definición de autos del segmento tipo c o compactos, según criterios del mercado. En general son vehículos de tipo automóvil, con carrocería hatchback, de uso familiar, que cuentan con 5 puertas, espacio para 5 pasajeros y su longitud total no excede los 4.3 metros. En esta categoría podemos encontrar algunos autos como el Seat León, Volkswagen Golf, Mercedes – Benz Clase A, entro otros.

Figura 8. Segmento tipo C



Fuente: TECNOLOGÍA INNOVADORA. Segmento C. [En línea]. [Consultado 29 de septiembre del 2019] Disponible en https://www.emol.com/noticias/Autos/2018/01/22/891916/Sepacomo_diferenciar-a-que-segmento-pertenece-su-auto.html

El presente diagnóstico nos deja como resultado las siguientes conclusiones:

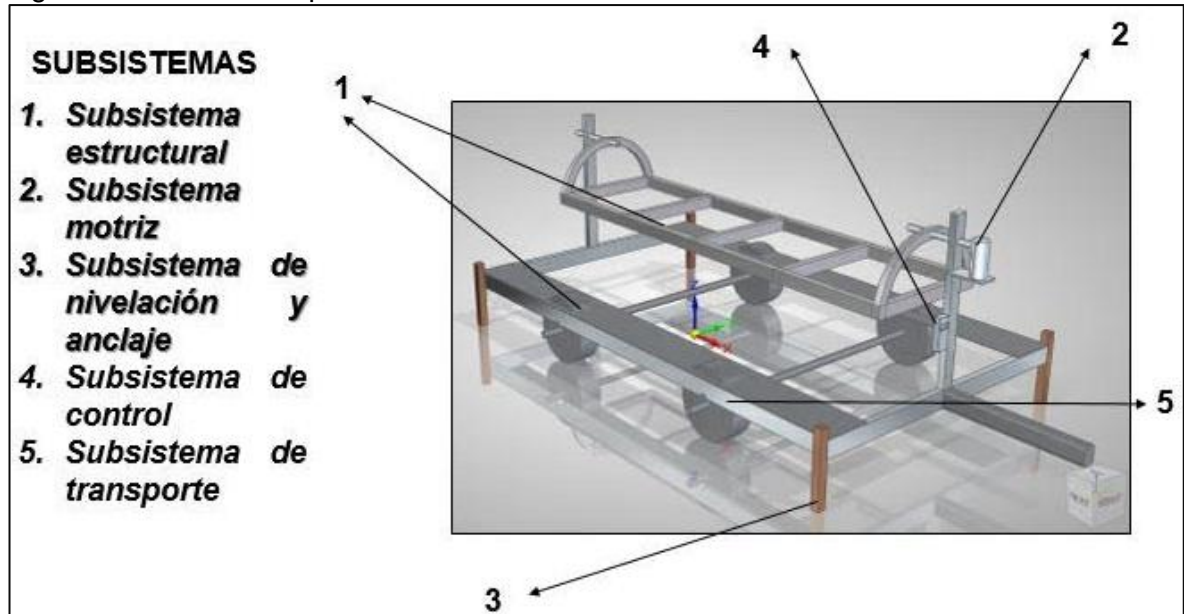
- El simulador de vuelco es una máquina que busca recrear algunos de los escenarios de un vuelco de un automóvil, por medio del movimiento rotacional de un vehículo respecto a su eje longitudinal.
- La finalidad del simulador de vuelco es sensibilizar y capacitar a sus usuarios sobre las condiciones de seguridad dentro del vehículo.
- Diferentes compañías a nivel nacional e internacional han desarrollado simuladores de vuelco, con diferentes características de diseño y funcionamiento, algunos de estos países son Chile, Estados Unidos, España e Inglaterra.
- En Colombia no existen leyes referentes al diseño de simuladores de vuelco, por tal motivo se adoptarán las normativas existentes para cada componente y esta manera obtener un conjunto válido ante la ley.

2. DISEÑO CONCEPTUAL Y SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DEL SIMULADOR DE VUELCO

2.1 DISEÑO CONCEPTUAL DEL SIMULADOR DE VUELCO

A continuación, se describen los subsistemas que componen un simulador de vuelco, con base en el diagnóstico realizado en el capítulo anterior.

Figura 9. Diseño conceptual del simulador de vuelco



Fuente: elaboración propia

2.1.1 Subsistema estructural.

2.1.1.1 Estructura fija. Es la estructura base del simulador, la cual sirve como soporte, protección y unión del resto de los componentes, es la que delimita las dimensiones de la máquina, esta debe ser diseñada y fabricada con acero estructural para poder soportar las cargas a las que se verá sometida; Como se evidencia en el diagnóstico de los simuladores de vuelco actuales, estas estructuras en su mayoría tienen forma de remolque, aunque hay otras de tipo armazón ancladas directamente a la superficie de operación.

2.1.1.2 Estructura móvil (Anclaje del vehículo). Es la estructura, plataforma o sistema a la cual va a ir anclado el automóvil, esta va soportada por la estructura fija, se verá sometida a movimientos angulares generados por el sistema de potencia para hacer girar el vehículo, debe ser diseñada y fabricada por acero estructural para soportar el peso del vehículo y sus ocupantes, además que su geometría debe garantizar un fácil anclaje al vehículo, en el mercado se encuentran varios diseños desde dos paralelos unidos simétricamente por dos ejes, hasta complejas armaduras que sostienen el automóvil.

2.1.2 Subsistema motriz. Este sistema hace referencia a la fuente y transmisión de potencia y torque, necesarios para hacer girar el automóvil y sus ocupantes, este sistema debe garantizar la variación la velocidad angular de rotación, y de igual forma la generación de giros en sentido horario y anti horario en cualquier rango angular; Los simuladores desarrollados hasta el momento cuentan en su mayoría con motores eléctricos con reductores y servomotores, y para la parte de transmisión algunos cuentan con sistemas de acople directo, sistemas de piñones y cadenas , y hay empresas donde utilizan mecanismos tipo manivela.

2.1.3 Subsistema de control. Es el sistema que está constituido por diferentes elementos electromecánicos, que influyen directamente sobre la operación del simulador, algunos prototipos del mercado cuentan con mandos fijos y/o a distancia, este sistema debe cumplir funciones básicas como activación y desactivación general del simulador, activación de la rotación del automóvil, paro de emergencia, regulación del sentido de giro y velocidad angular, dentro de sus componentes podemos encontrar elementos como pulsadores, interruptores, sensores, contactores, fusibles, estrobos entre otros, se debe caracterizar por su fácil operación.

2.1.4 Subsistema de nivelación y anclaje. Es un conjunto de mecanismos que sirven como reguladores y pilares de sustentación del simulador, debido a que los simuladores no operan siempre en la misma superficie o el terreno no es completamente plano, deben disponer de un sistema que garantice la estabilidad, distribución y compensación de la máquina, por lo general estos mecanismos van unidos a la estructura fija, en el mercado podemos encontrar diferentes versiones, como apoyos con mecanismos de activación manual, bases triangulares con tornillos de regulación, entre otros, todas con el objetivo de garantizar firmeza y seguridad en la operación del simulador.

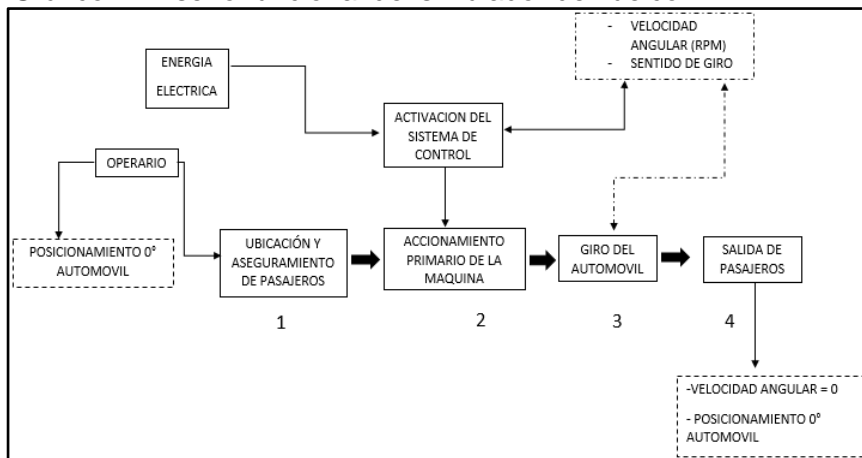
2.1.5 Subsistema de transporte. Es el sistema que permite la movilización del simulador, como se evidencia en la consulta de los simuladores actuales, algunos no cuentan con sistema de transporte ya que se instalan en un solo lugar, pero la mayoría utiliza en la estructura fija, elementos de un remolque como lo son llantas, rines ejes, amortiguadores y diferentes tipos de ganchos, para realizar la selección de estos elementos se deben tener en cuenta, la normatividad

establecida, las cargas a las que se verá sometido cada uno de los elementos y la facilidad para su montaje, operación y mantenimiento.

2.2 DISEÑO FUNCIONAL DEL SIMULADOR DE VUELCO

2.2.1 Esquema de funcionamiento del simulador. En el siguiente esquema se representa las cuatro etapas de funcionamiento del simulador de vuelco, con las variables principales que intervienen en el proceso.

Gráfico 2. Diseño funcional del simulador de vuelco



Fuente: elaboración propia

2.2.2 Descripción de las etapas de funcionamiento del simulador de vuelco. El esquema mostrado en la gráfico 2, indica que el proceso comienza con el cumplimiento de las funciones del operario, la primera función es posicionar el automóvil en 0° respecto a la horizontal de la estructura fija, esta estructura debe ser previamente nivelada y anclada al terreno donde se ubicara el simulador.

Figura 10. Sistema estructural y nivelación



Fuente: TECNOLOGÍA INNOVADORA. [En línea] Disponible en: <https://www.academiadeltransportista.com/nuestros-centros/>

2.2.1.1 Etapa 1: Ubicación y aseguramiento de pasajeros. En esta etapa se da la ascensión de los pasajeros al automóvil, el posicionamiento de los mismos se realizará de manera correspondiente a la distribución de los asientos del vehículo, una vez ubicados, el operario procede a asegurar correctamente a los usuarios con el cinturón de seguridad que hace parte de los sistemas de seguridad pasiva del vehículo.

Figura 11. Ubicación y aseguramiento



Fuente: TECNOLOGÍA INNOVADORA. Cinturón de seguridad [En línea]. [Consultado 29 de abril del 2019]. Disponible en: <https://www.academiadeltrainsportista.com/nuestros-centros/>

2.2.1.2 Etapa 2: Accionamiento primario de la máquina. Una vez se han ubicado los pasajeros dentro del automóvil, y se ha energizado el sistema de control, se establecen las variables iniciales para realizar las pruebas, las cuales son la velocidad angular de giro medida en revoluciones por minuto (rpm) y el sentido de giro de rotación del vehículo que puede ser horario o anti horario; seguido a esto se activa la fuente de potencia que genera el giro del automóvil.

2.2.1.3 Etapa 3: Giro del automóvil. En esta etapa se ve reflejada la función principal del simulador de vuelco la cual es hacer girar el automóvil, el vehículo gira con los valores de velocidad y sentido de giro iniciales, pero a medida que va rotando, por medio del sistema de control se pueden modificar estas variables, generando y combinando movimientos angulares con distinta velocidad y sentido de rotación, con el fin de recrear los escenarios posibles de un vuelco de un vehículo.

Figura 12. Funcionamiento



Fuente: SIMULADOR DE FUNDATRAFIK. Giro 360 [En línea] Disponible en: <https://jm.linkedin.com/company/fundtrafic-fundacion-de-apoyo-a-victimas-de-accidentes>

2.2.1.4 Etapa 4: Salida de pasajeros. Esta es la etapa final en donde una vez el usuario ha podido comprobar y sentir en primera persona, las distintas situaciones que se generan en un vehículo tras un volcamiento, el operario procede progresivamente a posicionar el vehículo en 0° respecto a la horizontal de la plataforma y a disminuir la velocidad de giro a 0 rpm, para permitir que los usuarios puedan liberarse del cinturón de seguridad y descender del simulador.

Figura 13. Salida de los ocupantes



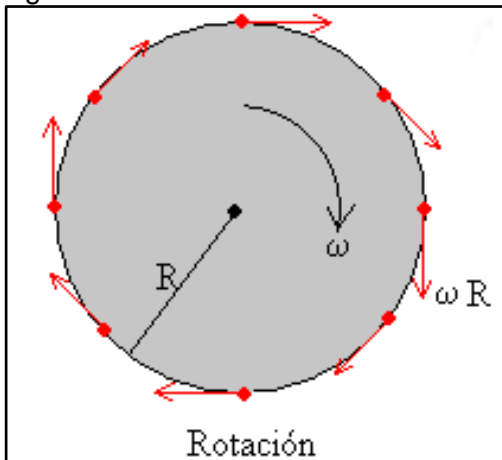
Fuente: SIMULADOR DE FUNDATRAFIK. Simulador de vuelco [En línea] Disponible en: <https://jm.linkedin.com/company/fundtrafic-fundacion-de-apoyo-a-victimas-de-accidentes>

2.3 PARÁMETROS Y REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

Para desarrollar el diseño del simulador de vuelco de un automóvil compacto, para la empresa CINFOVIAL S.A.S, se tendrá en consideración los siguientes requerimientos y parámetros de funcionamiento, establecidos con la empresa.

2.3.1 Función principal. La función principal del simulador de vuelco es generar el giro del automóvil de 0° a 360°, en sentido horario y en sentido antihorario.

Figura 14. Movimiento rotacional



Fuente: ROTACIÓN Movimiento rotacional. [En línea]. Disponible en: <https://fisicaautomotriz.wordpress.com>

2.3.2 Velocidad de rotación del automóvil. El objetivo principal de la máquina, es recrear el vuelco de un automóvil, y de esta manera, percibir la interacción entre el cinturón de seguridad y la persona, evitando que se generen alteraciones o perturbaciones en la salud del usuario, por tal motivo para establecer el valor de velocidad angular de rotación del auto, se tomarán como referencia algunas máquinas, como las atracciones mecánicas y simuladores de vuelco ya desarrollados, como se relaciona a continuación.

Cuadro 6. Velocidades angulares de referencia

Máquina	Velocidad angular (RAD/S)	Velocidad angular (RPM)
Carrusel	1	9,5
Rueda de la Fortuna	1,5	14
Batidora	2,5	23,8
Simulador de vuelco desarrollado por Jefferson Ayala	0,3 - 1.1	3 - 10

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a los valores relacionados anteriormente, se establece que la velocidad angular debe ser regulable, y debe operar entre un rango de **[1 – 10 rpm]**.

2.3.3 Capacidad del simulador para las pruebas. Para realizar demostraciones y pruebas en el simulador, la capacidad máxima dentro del automóvil será de 2 usuarios ubicados en las sillas delanteras.

A continuación, se relacionan las características de la población apta para subirse a la máquina y los lugares donde el simulador de vuelco va a estar prestando los servicios de sensibilización en seguridad vial.⁸

- Edad mínima: 10 años (como establece el código de tránsito en el artículo 82 para viajar en el asiento delantero de un vehículo).
- Edad máxima: 59 años (Después de esta edad una persona se considera un adulto mayor según el Ministerio de Salud de Colombia)⁹
- El peso máximo de cada usuario será de 100 kg

Cuadro 7. Características de los usuarios del simulador

Criterio	Valor
Edad (Min-Max)	10 – 59 años
Peso	100 kg (aprox)

Fuente: elaboración propia

Lugares de operación: Colegios, Empresas, Academias de aprendizaje.

Cuadro 8. Lugares de operación del simulador

Lugares de operación
Colegios
Empresas
Academias de aprendizaje

Fuente: elaboración propia

2.3.4 Tipo de automóvil. Para la selección del automóvil a utilizar en el desarrollo del presente proyecto, se plantearon 3 alternativas de automóviles compactos presentes en el mercado colombiano.

Este planteamiento y selección se llevará a cabo mediante la aplicación del método PUGH.

La Matriz de PUGH es una herramienta cuantitativa que permite comparar opciones entre sí, mediante un arreglo multidimensional (una matriz de

⁸ DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Censo general 2005 nivel nacional. DANE. 2008

⁹ Ibid., p.66


decisiones). Su aplicación más habitual es durante la fase de diseño de un producto, ya sea completamente nuevo o una actualización de uno existente. El primer paso es identificar los criterios que serán evaluados. Los criterios son básicamente las necesidades del cliente. Estos son ubicados generalmente como filas de la matriz. Luego se deben especificar los posibles conceptos de diseño que apunten al cumplimiento de los criterios definidos. Los mismos aparecerán en las columnas de la matriz.

Para aplicar la matriz se debe tomar un modelo de referencia el cual será evaluado y/o comparado con las alternativas propuestas con base en los criterios establecidos. A continuación, se muestran las características del automóvil de referencia y las 3 alternativas propuestas.

Automóvil de referencia: Peugeot 206 (utilizado por Academia del Transportista en uno de sus simuladores de vuelco):

- **Alternativa 1:** Chevrolet Spark.
- **Alternativa 2:** Hyundai i10.
- **Alternativa 3:** Kia Picanto.

Cuadro 9. Alternativas de automóvil

		REFERENCIA	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
		Peugeot 206 XRA 1.4 5P	Chevrolet Spark	Hyundai i10 1.1 GL FE	Kia Picanto EX AA
	CRITERIO				
DIMENSIONES EXTERNAS	Alto (m)	1.428	1.500	1.550	1.480
	Ancho (m)	1.652	1.495	1.595	1.595
	Largo (m)	3.835	3.495	3.565	3.535
	Peso (kg)	1045	820.0	1000	927.0
	Valor comercial (Pesos Colombianos)	Modelo 2008 \$ 8.700.000	Modelo 2008 \$ 8.300.000	Modelo 2008 \$ 8.700.000	Modelo 2008 \$ 9.300.000

Fuente: elaboración propia

2.3.5 Planteamiento de la matriz PUGH. La evaluación se realizará de la siguiente manera:

Se colocará uno (1) si la alternativa en cuestión es superior al modelo de referencia. (menos uno) -1 si es inferior, y (cero) 0 si es igual. La ponderación tendrá un orden jerárquico de la siguiente manera:

Cuadro 10. Ponderación (planteamiento PUGH)

Ponderación	Significado
1	Muy poco importante
2	Poco importante
3	Importancia media
4	Algo importante
5	Muy importante

Fuente: elaboración propia

Cuadro 11. Descripción de los criterios de evaluación

Criterio	Descripción
Dimensiones externas máximas del automóvil (m)	Este criterio hace referencia a la evaluación de las medidas de ancho, largo y alto del vehículo en cuestión, siempre en busca de las menores dimensiones posibles (automóvil compacto)
Peso (kg)	Este criterio obedece a la evaluación del peso del automóvil en cuestión, siempre en busca del menor peso posible
Valor comercial (Pesos Colombianos)	Como su nombre lo indica este criterio hace referencia a la evaluación del valor comercial del automóvil en cuestión tomando como referencia valores de la revista motor edición 2 de octubre de 2019, siempre en busca de la opción de menor precio

Fuente: elaboración propia

Tabla 1. Método de ponderación PUGH

				ALTERNATIVAS DE AUTOMÓVIL			
		Criterios	Ponderación	Automóvil de referencia	Chevrolet Spark	Hyundai i 10	Citroën C3
DIMENSIONES EXTERNAS	Alto (m)		4	Peugeot 206	-1	-1	-1
	Ancho (m)		4	Peugeot 206	1	1	1
	Largo (m)		5	Peugeot 206	1	1	1
	Peso en vacío (kg)		5	Peugeot 206	1	1	1
	Valor Comercial (Pesos Colombianos)		3	Peugeot 206	1	0	-1
				SUMA PONDERADA	13	10	7


Fuente: elaboración propia

Por medio de la suma ponderada de la matriz se evidencia que el automóvil más idóneo para el desarrollo del proyecto es el Chevrolet Spark.

Conceptualización del automóvil seleccionado

Se selecciona el CHEVROLET SPARK, ya que es el vehículo de menor precio y mayor disponibilidad en el mercado siendo el auto más vendido en el 2018 según un informe de la revista motor, tiene capacidad para 5 ocupantes, y sus dimensiones y peso son de las menores de esta clasificación.

Cuadro 12. Características del Chevrolet Spark

		Chevrolet Spark
		
CRITERIO		
DIMENSIONES EXTERNAS	Alto (m)	1.5
	Ancho (m)	1.495
	Largo (m)	3.495
	Peso (kg)	820
	Tipo de chasis	Auto portante
	Referencia llanta	155/65 R 13
	Valor comercial (Pesos Colombianos)	Modelo 2008 - \$ 8.300.000

Fuente: elaboración propia, con base en. MANUALDELUSUARIO, Chevrolet. Spark 2008. Primera edición, 2008. p. 24-26

Con el objetivo de disminuir el peso que soportara el sistema estructural, el automóvil contara únicamente con la carrocería y chasis, es decir que no contara con elementos como el motor y la caja de velocidades.

2.3.6 Transporte. El simulador deberá contar con un sistema estructural que permita su movilización, por lo que debe cumplir con la normatividad establecida en Colombia permitir su fácil transporte y almacenamiento.

2.3.7 Dimensiones máximas del simulador. Según se establece en el artículo séptimo de la resolución 4100 de 2004 que adopta los límites de pesos y dimensiones en los vehículos de transporte terrestre automotor de carga por carretera, para un remolque, el ancho máximo es de 2,60 m, la altura máxima es de 4,40 m, y la longitud máxima es de 10 m. (**Ver anexo A**)

Por lo anterior, se establece que estas son las dimensiones máximas a tener en cuenta en el diseño definitivo del simulador.

2.3.8 Sistema de protección y acceso. El simulador debe contar con un conjunto de barandillas que rodeen la base principal del sistema estructural, además el simulador tendrá un solo punto de acceso al automóvil.

2.3.9 Fuente de energía y sistema de respaldo. El simulador deberá ser alimentado por una fuente de energía eléctrica, y además deberá contar con un sistema eléctrico de respaldo.

2.3.10 Condiciones de la unidad móvil. El vehículo debe contar con los sistemas de seguridad pasiva originales (sillas, apoyacabezas y cinturones de seguridad). A continuación, se relaciona una tabla resumen con las especificaciones iniciales para el diseño del simulador de vuelco.

Tabla 2. Parámetros y requerimientos (resumen)

PARAMETROS Y REQUERIMIENTOS			
Concepto	C/I	R/D	Descripción
Función principal	C	R	Generar el giro del automóvil de 0° a 360°, en sentido horario y antihorario
Velocidad rotacional del automóvil	C	D	Velocidad angular regulable entre 1 - 10 rpm
Capacidad para las pruebas	C	D	2 usuarios dentro del automóvil
Tipo de automóvil	I	R	Chevrolet Spark Life
Transporte	C	D	El simulador debe tener un sistema estructural que permita su movilización
Dimensiones máximas del simulador	C	R	Dimensiones máximas según resolución 4100 de 2004
Sistema de protección y acceso	I	D	Debe contar con un conjunto de barandillas y un solo punto de acceso al automóvil
Fuente de energía	I	D	Alimentación eléctrica y sistema de respaldo
Unidad móvil	C	R	El vehículo debe contar con los sistemas de seguridad pasiva originales

Fuente: elaboración propia

C: Cliente **I:** Ingeniero; **R:** Requerido **D:** Deseado.

2.4 PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS PARA EL SIMULADOR DE VUELCO

Se procede a realizar el planteamiento, evaluación y selección de la alternativa para el subsistema estructural de la máquina simuladora de vuelco.

Con base en el diagnóstico realizado en el primer capítulo, se evidencia que este es el subsistema más determinante sobre el diseño definitivo del simulador, ya que de este depende la selección, diseño y configuración de los componentes de los demás subsistemas, como se relaciona a continuación. Del diseño final del subsistema estructural dependerá de lo mostrado en el cuadro 13:

Cuadro 13. De qué depende la estructura?

Ítem	Criterio
a	Las dimensiones finales del simulador en conjunto
b	El tipo de anclaje del vehículo a la estructura móvil
c	La selección de la fuente de potencia.
d	El diseño del sistema de transmisión de la potencia
e	El diseño y ubicación de los soportes del subsistema de nivelación y anclaje
f	El diseño de las barandillas de seguridad que rodean el simulador
g	El diseño de la estructura de acceso al automóvil del simulador

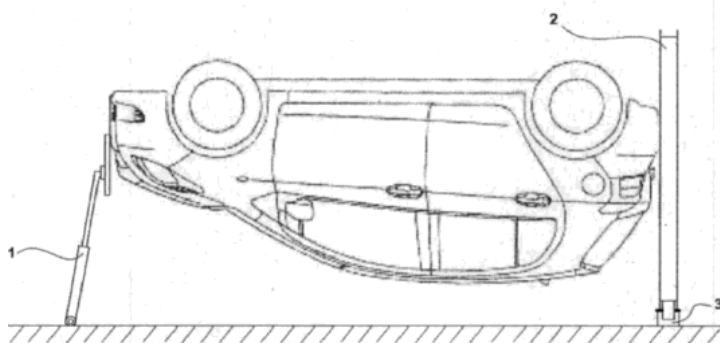
Fuente: elaboración propia

La evaluación y selección de la alternativa del subsistema estructural se llevará a cabo mediante la metodología PUGH, utilizada anteriormente en el numeral 2.3.4 para la selección del automóvil.

A continuación, se describe el modelo de referencia y las tres (3) alternativas de diseño propuestas para el subsistema estructural del simulador de vuelco.

2.4.1 Modelo de referencia. El planteamiento y descripción de este modelo de referencia se realiza con base en el modelo desarrollado por Xavier Pérez Fuste en España.

Figura 15. Modelo de referencia



Fuente: XAVIER PÉREZ FUSTE simulador. [En línea]. [Consultado 29 de junio del 2019] Disponible en: <https://patents.google.com/patent/ES2632235B1/es?q=Estructura+para&q=volcar&q=veh%C3%ADculos&oq=Estructura+para+volcar+veh%C3%ADculos/>

Este simulador se compone de un aro ensamblado en la parte posterior del vehículo, un patín que permite que este aro gire respecto al suelo y un soporte con mecanismo elevador/descensor en la parte anterior del vehículo que también permite el giro del vehículo respecto al suelo.

El soporte con mecanismo elevador/descensor situado en la parte anterior del vehículo está compuesto por un pistón hidráulico o un elevador/descensor mecánico contenido en un soporte metálico articulado que da estabilidad y permite transmitir al suelo todo el peso y esfuerzos del conjunto vehículo-estructura en su parte anterior. El pistón hidráulico o elevador/descensor mecánico tendrán la longitud adecuada para elevar o descender la parte delantera del vehículo a fin de conseguir la posición del vehículo deseada.

El pistón hidráulico o elevador/descensor mecánico se unen al vehículo mediante una unión articulada que permite el movimiento de giro de 360° del vehículo respecto a su eje longitudinal y permite el movimiento basculante de la parte anterior del coche respecto al suelo. La unión articulada va unida al montante anterior que es la parte de la estructura que se une directamente al vehículo mediante soldadura o atornillado.

Para configurar una base sólida, estable y resistente; tanto el patín como el soporte con mecanismo elevador/descensor deberán tener orificios en sus bases de apoyo para poder atornillarlos al suelo o para poder unirlos entre sí mediante montantes y así poder configurar una base sólida, estable y resistente sobre el suelo.

2.2.2 Alternativa número 1. El planteamiento y descripción de esta alternativa tiene en cuenta algunos aspectos desarrollados por Automóvil Club de Chile en su modelo de simulador de vuelco mostrado en la figura No 16.

Figura 16. Alternativa 1. (Sistema estructural 1)



Fuente: TECNOLOGÍA INNOVADORA. [En línea].
[Consultado 29 de junio del 2019].
Disponible en: <https://www.automovilclub.cl/>

El simulador contará con un sistema estructural compuesto por dos armazones principales tipo pirámide ubicados en los extremos del automóvil, además dispondrá de una jaula de perfil tubular rectangular que rodea el vehículo, que contará con dos marcos triangulares, ubicados verticalmente en la parte posterior y anterior del auto, y otro marco rectangular, ubicado en la parte inferior del vehículo; El sistema de anclaje al vehículo será mediante el uso de un eje que atraviesa completamente el automóvil exactamente por su eje longitudinal, apoyado en la parte posterior y acoplado al sistema de potencia en la parte frontal del vehículo, Sobre uno de los armazones se ubicará el mecanismo de generación del movimiento angular, Los dos armazones soportes llevarán en la parte inferior una base placa, que encajara con cuatro pernos fijados al terreno donde se ubicara el simulador, en caso de requerir una nivelación esta se dará por el uso de calzas de diferentes medias que garantizaran la posición adecuada para el funcionamiento del simulador.

2.2.3 Alternativa número 2. El planteamiento y descripción de esta alternativa tiene en cuenta algunos aspectos desarrollados por Academia del Transportista de España en su modelo de simulador de vuelco mostrado en la figura No 17.

Figura 17. Alternativa 2 (Sistema estructural 2)



Fuente: TECNOLOGÍA INNOVADORA. [En línea].
[Consultado 29 de abril del 2019].
Disponible en: <https://www.academiadeltransportista.com/nuestros-centros/>

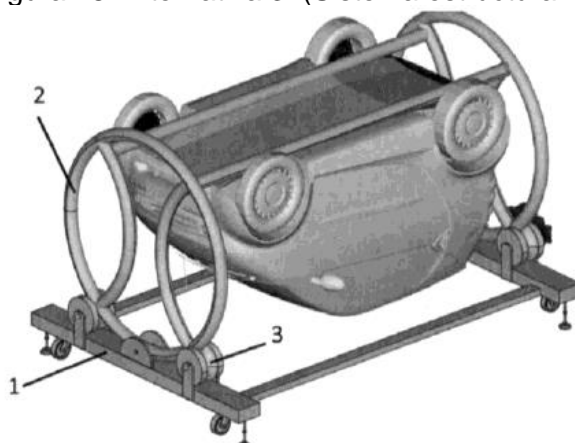
El simulador dispondrá de una estructura base de tipo remolque, compuesta principalmente por una configuración de perfiles estructurales, que también contará con elementos como rines, llantas, ejes, enganches, ruedas jockey, señalización e iluminación entre otros; De igual manera sobre esta estructura base irán fijados dos marcos triangulares donde ira montada una plataforma móvil, más larga que el vehículo pero no más ancha que este, a la cual ira enganchado el automóvil por la parte de abajo del chasis, El simulador tendrá un punto de acceso al automóvil por medio de una escalera removible.

La fuente de potencia ira ubicada solidariamente a uno de los marcos triangulares donde va montada la plataforma móvil, que tiene la capacidad necesaria para generar los movimientos requeridos en la simulación de un vuelco tales como la variación en la velocidad y sentido de giro, y la detención del auto en cualquier rango angular, la fuente de potencia cuenta con un acople a la plataforma móvil que permite el giro del vehículo.

El simulador cuenta con un mecanismo de nivelación y anclaje a la superficie de operación, compuesto por cuatro apoyos regulables manualmente en cada esquina del remolque, estos apoyos disponen de un sistema exterior de manivela que internamente tiene una cremallera y un trinquete, que se van ajustando manualmente hasta conseguir que el vehículo se encuentre horizontal.

2.2.4 Alternativa número 3. El planteamiento y descripción de esta alternativa tiene en cuenta algunos aspectos desarrollados por CUALTIS y el señor Eusebio Gómez en España en su modelo de simulador de vuelco mostrado en la figura No 18.

Figura 18. Alternativa 3. (Sistema estructural 3)



Fuente: FORMACIÓN CUALTIS. [En línea]
 Disponible en: <https://www.facebook.com/CualtisFormacion/photos/a.1686146264930826/1998087410403375/?type=1&theater>. [Consultado 29 de abril del 2019]

El simulador está compuesto por una bancada principal donde se instalan cuatro rodillos sobre los que se desliza una cuna, compuesta por dos aros y dos largueros que está unida solidariamente al vehículo, todos los elementos deben ser contruidos por acero estructural.

El accionamiento se realiza por fricción mediante la acción de dos motores reductores acodados con freno unidos solidariamente a dos de los rodillos. La bancada principal ira equipada con ruedas de desplazamiento y patas roscadas de nivelación de forma que sea posible su nivelación, anclaje y desplazamiento manual.

2.5 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

La evaluación se realizará de la siguiente manera: Se colocará **1** (uno) si la alternativa en cuestión es superior al modelo de referencia, **-1** (menos uno) si es inferior, y **0** (cero) si es igual. La ponderación tendrá un orden jerárquico de la siguiente manera:

Cuadro 14. Jerarquía (ponderación PUGH)

Ponderación	Significado
1	Muy poco importante
2	Poco importante
3	Importancia media
4	Algo importante
5	Muy importante

Fuente: elaboración propia

Descripción de los criterios de evaluación:

Cuadro 15. Descripción de criterios para la selección de la estructura

Criterios	Descripción
Anclaje del auto a la estructura	Este es uno de los parámetros más importantes en el diseño de simulador, ya que en el primer capítulo se evidencia que existen dos tipos de anclaje al vehículo
Estructura con anclaje al chasis:	Este consiste en un arreglo de perfiles estructurales, unidos a la plataforma móvil y a la parte inferior del chasis del automóvil, donde no se realizan modificaciones a la carrocería, simplemente se adapta el perfil estructural a la geometría del chasis del vehículo, la plataforma móvil y los perfiles de unión serán los encargados de soportar el peso del vehículo
Eje pasante:	Este consiste en un eje que traspasa completamente de manera axial el vehículo, el cual va soportado en sus extremos, se deben realizar modificaciones internas y externas a la carrocería del vehículo para instalar y asegurar el eje, este eje va a ser el único elemento que soportara todo el peso del automóvil
Capacidad de usuarios	Este criterio hace referencia a la capacidad del sistema estructural del simulador, para permitir el acceso de mínimo 2 usuarios al vehículo
Conjunto de barandillas de protección	En este criterio evalúa si el sistema estructural del modelo en cuestión, cuenta un conjunto de barandillas de protección, ubicadas en el simulador mismo
Dimensiones finales	En este criterio se evalúa las dimensiones finales del sistema estructural, donde es prioritario el de menor tamaño

Cuadro 15. (Continuación)

Criterios	Descripción
Fabricación	Es importante tener en cuenta que la simplicidad del sistema estructural, ya que contribuye a que se mas fácil el proceso de fabricación y montaje, de esta manera generar menor inversión en las materias primas empleadas y mano de obra contratada, lo cual es el objetivo de la empresa
Giro del automóvil	Se evalúa si el sistema estructural tiene la capacidad para que el vehículo pueda girar 360°, horario y antihorario sin ninguna restricción
Mantenimiento	La complejidad del sistema estructural, influye directamente sobre la programación y ejecución del mantenimiento preventivo y correctivo del simulador en general, lo que contribuirá a que se requiera mayor o menor conocimiento técnico, insumos y tiempo
Peso	Este es un criterio de gran importancia en el diseño del simulador, ya que, dependiendo las características finales del sistema estructural, se podrá determinar parámetros como, el tipo de vehículo para transportar todo el conjunto, los elementos necesarios para transportarlo, y las afectaciones reglamentarias ante las autoridades de tránsito que se requieran
Punto de acceso al automóvil	Se evalúa que el sistema estructural tenga un punto de acceso al automóvil, seguro y controlado por el operador
Sistema de nivelación del simulador	Se evalúa que el sistema estructural tenga mecanismos de nivelación que aseguren la correcta distribución de cargas del simulador en terrenos irregulares, y que además sean de fácil operación

Cuadro 15. (Continuación)

Criterios	Descripción
Sistema de anclaje del simulador	Se evalúa que el sistema estructural tenga mecanismos de anclaje a la superficie de operación, con el fin de brindar estabilidad en su funcionamiento.
Transporte y almacenamiento	Uno de los requerimientos funcionales es el transporte del conjunto, el objetivo de este criterio es determinar si el sistema estructural permite su movilización y almacenamiento, además que tenga o permita el uso de los componentes reglamentarios para ser transportado por las calles
Mantenimiento	La complejidad del sistema estructural, influye directamente sobre la programación y ejecución del mantenimiento preventivo y correctivo del simulador en general, lo que contribuirá a que se requiera mayor o menor conocimiento técnico, insumos y tiempo
Uso de un automóvil compacto	Se evalúa que el sistema estructural permita el uso de un vehículo tipo automóvil compacto

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Matriz de evaluación PUGH para el subsistema estructural del simulador

CRITERIOS	PONDERACIÓN	REFERENCIA	ALTERNATIVA 1 (Automóvil club)	ALTERNATIVA 2 (A. Transportista)	ALTERNATIVA 3 (Cualtis - Eusebio)
Anclaje del auto a la estructura	5	REF – (Xavier Perez Fuste)	1	1	1
Capacidad de usuarios	3	REF – (Xavier Perez Fuste)	0	0	0
Conjunto de barandillas de protección	4	REF – (Xavier Perez Fuste)	0	0	0
Dimensiones finales	5	REF – (Xavier Perez Fuste)	1	1	1

Tabla 3. (Continuación)

CRITERIOS	PONDERACIÓN	REFERENCIA	ALTERNATIVA 1 (Automóvil club)	ALTERNATIVA 2 (A. Transportista)	ALTERNATIVA 3 (Cualtis - Eusebio)
Fabricación	4	REF – (Xavier Perez Fuste)	1	1	1
Giro del automóvil	5	REF – (Xavier Perez Fuste)	0	0	0
Mantenimiento	5	REF – (Xavier Perez Fuste)	1	-1	0
Peso	4	REF – (Xavier Perez Fuste)	1	1	1
Punto de acceso al automóvil	4	REF – (Xavier Perez Fuste)	0	1	0
Sistema de nivelación del simulador	4	REF – (Xavier Perez Fuste)	-1	1	1
Sistema anclaje del simulador	4	REF – (Xavier Perez Fuste)	-1	-1	-1
Transporte y almacenamiento	5	REF – (Xavier Perez Fuste)	0	1	0
Uso de un automóvil compacto	5	REF – (Xavier Perez Fuste)	0	0	0
		SUMA PONDERADA	15	22	18

Fuente: elaboración propia

Una vez realizada la matriz de evaluación, se evidencia que la alternativa número dos, es la más indicada para llevar a cabo el diseño final del simulador de vuelco.

2.5.1 Conceptualización de la alternativa seleccionada

Según el resultado obtenido por el método de evaluación de criterios ponderados (**PUGH**), La alternativa que satisface los parámetros de diseño y requerimientos del cliente, es la numero dos, la cual cuenta con una estructura tipo remolque a la cual se ancla la estructura móvil que permite la fijación y la rotación del automóvil **360°** sobre su eje longitudinal. (Ver figura 19).

Figura 19. Subsistema estructural (AT)



Fuente: Tecnología Innovadora. [En línea]
<https://www.academiadeltransportista.com/nuestros-centros/> Consultado 29 de octubre del 2019

3. DISEÑO DETALLADO DEL SIMULADOR DE VUELCO

En el presente capítulo se desarrolla el diseño detallado y selección de componentes de la máquina simuladora de vuelco, con base a los sistemas descritos en el capítulo anterior.

3.1 DEFINICIONES Y GENERALIDADES

Para el cálculo de los diferentes componentes del simulador de vuelco, es importante tener en cuenta los siguientes generalidades y definiciones.

3.1.1 Generalidades de carga. Son fuerzas u otras sollicitaciones que actúan sobre el sistema estructural y provienen del peso de todos los elementos permanentes en la construcción, los ocupantes y sus pertenencias, efectos ambientales, asentamientos diferenciales y restricción de cambios dimensionales. Las cargas permanentes son cargas que varían muy poco en el tiempo y cuyas variaciones son pequeñas en magnitud. Todas las otras cargas son variables.¹⁰

Cargas muertas (**D**): La carga muerta cubre todas las cargas de elementos permanentes de construcción incluyendo su estructura, los muros, pisos, cubiertas, cielos rasos, escaleras, equipos fijos y todas aquellas cargas que no son causadas por la ocupación y uso de la edificación.

Cargas vivas (**L**): Las cargas vivas son aquellas cargas producidas por el uso y ocupación de la máquina, deben ser las máximas cargas que se espera ocurran en la operación de la estructura, debido al uso que ésta va a tener.

Carga mayorada: Es una carga que se obtiene como el producto de una carga nominal por un coeficiente de carga.

Coeficiente de carga: Es un coeficiente que tiene en cuenta las desviaciones inevitables de las cargas reales con respecto a las cargas nominales y las incertidumbres que se tienen en el análisis estructural.

3.1.2 Combinaciones de cargas según la **NSR10**. El diseño debe realizarse con base en la combinación de cargas que produzca el efecto más desfavorable en la edificación, en su cimentación, o en el elemento estructural bajo consideración y el efecto más desfavorable puede ocurrir cuando una o varias cargas no actúen.

¹⁰ SHIGLEY, Joseph E. MISCHAKE, Charles R. Diseño en ingeniería mecánica, MacGraw-hill, Quinta edición, 2001

El diseño de las estructuras, sus componentes y cimentaciones debe de hacerse de tal forma que sus resistencias de diseño iguallen o excedan los efectos producidos por las cargas mayoradas en la siguiente combinación:

Ecuación 1. Combinaciones de carga NSR10

$$C_M = 1.2D + 1.6 (L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e) + (L \text{ ó } 0.8W)$$

Fuente: Título B Definición de cargas. NSR10 [En línea] <https://www.idrd.gov.co › default › files › imágenes › 2titulo-b-nsr-100>. Consultado el 18 de octubre del 2019

Donde:

D = Carga muerta

L_r = Carga viva sobre la cubierta

G = Carga debida al granizo, sin tener cuenta la contribución del empozamiento

L_e = Carga del empozamiento de agua

L = Cargas vivas debidas al uso y ocupación de la estructura

W = Carga de viento

Para el diseño de la estructura del simulador de vuelco se tendrá en cuenta la siguiente combinación de carga específica (carga mayorada).

Ecuación 2. Carga Mayorada

$$C_M = 1.2 * D + 1.6 * L$$

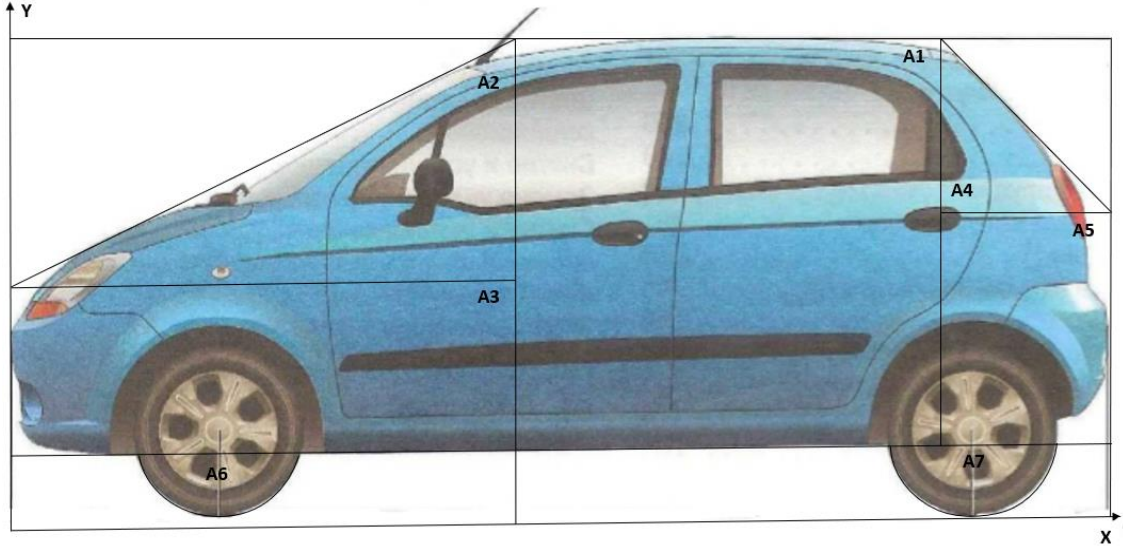
Fuente: Título B Definición de cargas. NSR10 [En línea] <https://www.idrd.gov.co › default › files › imágenes › 2titulo-b-nsr-100>. Consultado el 18 de octubre del 2019

3.1.3 Centro de gravedad del automóvil compacto. El centro de gravedad de un cuerpo es el punto donde se encuentra aplicada la resultante de la suma de todas las fuerzas gravitatorias que actúan sobre cada una de las partículas del mismo. Si el cuerpo es simétrico y homogéneo, la resultante de todas las fuerzas gravitatorias se localizará en el centro geométrico.

Se calcula el centro de gravedad con el fin de que el eje longitudinal de rotación pase por este punto, generando de esta forma un equilibrio en el sistema y evitando sobre-aceleraciones y sobrecargas, que puedan generar que el simulador de vuelco no mantenga una torsión constante durante la rotación, y se presente aceleración de coriolis.

Por lo anterior, se utilizó el método de áreas, para determinar el centro de gravedad del automóvil Chevrolet Spark como se muestra a continuación:

Figura 20. Definición de áreas con figuras geométricas



Fuente: elaboración propia, con base en. MANUAL DEL USUARIO, Chevrolet. Spark 2005. Primera edición, 2005. p. 38-40

Tabla 4. Centro de gravedad

SECCION	AREA (m2)	X (m)	Y(m)	A*X(m3)	A*Y(m3)
A1	1.673	2.254	0.893	3.770942	1.493989
A2	0.594	1.067	1.039	0.633798	0.617166
A3	0.863	0.801	0.522	0.691263	0.450486
A4	0.148	3.084	1.163	0.456432	0.172124
A5	0.385	3.173	0.615	1.221605	0.236775
A6	0.0895	0.649	0.163	0.0580855	0.0145885
A7	0.11008	3.000	0.126	0.33024	0.01387008
TOTAL	3.86258			7.1623655	2.99899858

Fuente: elaboración propia, con base en. MOTT, Robert. Centroides y momentos de inercia de área. En: Resistencia de materiales. Quinta edición. Pearson Educación, 2009. p. 317-328

Coordenadas del centro de gravedad:

$$\bar{X} = \frac{7.1623655 \text{ m}^3}{3.86258 \text{ m}^2} = 1.85429 \text{ m}$$

$$\bar{Y} = \frac{2.99899858 \text{ m}^3}{3.86258 \text{ m}^2} = 0.776423 \text{ m}$$

3.1.4 Propiedades mecánicas de aceros estructurales. En el cuadro se muestran los valores de esfuerzo de los dos (2) aceros estructurales que se tienen en consideración para la fase del diseño de la estructura de la máquina simuladora de vuelco.

Cuadro 16. Propiedades mecánicas (acero estructural)

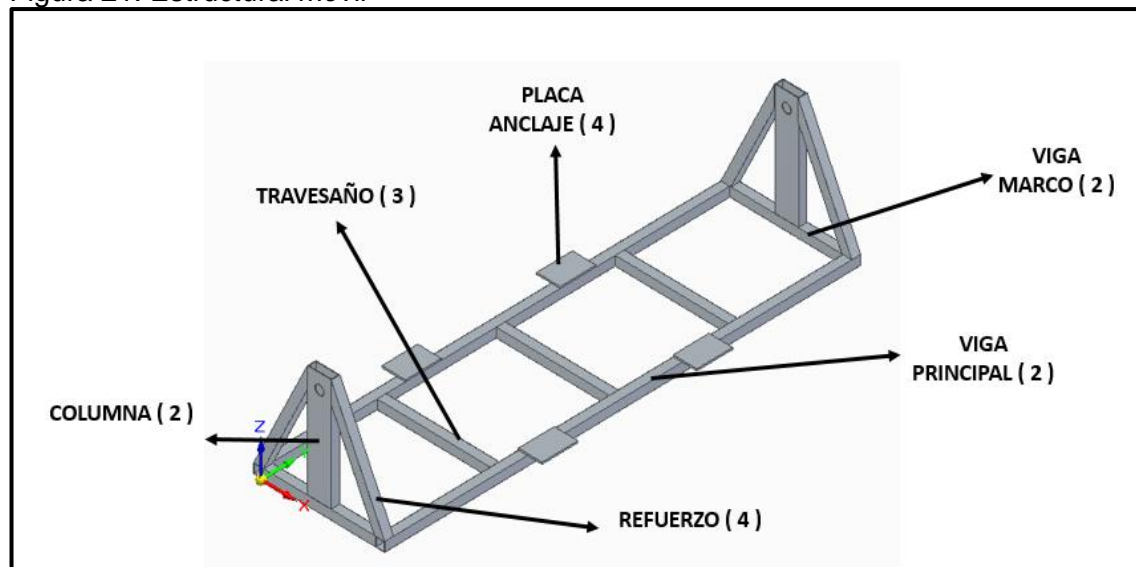
ACERO ESTRUCTURAL	ESFUERZO ULTIMO (MPa)	ESFUERZO DE FLUENCIA (MPa)	MODULO DE ELASTICIDAD (GPa)
A 500	405	350	200
A 36	400	250	200

Fuente: elaboración propia, con base en MOTT, Robert. En: Diseño de elementos de máquinas. 4 ed. México, 2006. [Consultado: 18 marzo 2019] p. 73

3.2 DISEÑO DETALLADO DEL SUBSISTEMA ESTRUCTURAL

3.2.1 Diseño detallado del sistema estructural móvil. Como ya se mencionó anteriormente, el subsistema estructural es el más importante del simulador, ya que de este depende el diseño, selección y configuración de los demás subsistemas de la máquina.

Figura 21. Estructural móvil



Fuente: elaboración propia

Para comenzar con el diseño de la estructura móvil se definen las cargas a las que esta se verá sometida, las cuales son el peso del automóvil¹¹ y el de los (2) dos usuarios que ingresan al simulador, caracterizados en el capítulo 2 del presente documento.

¹¹ SERWAY A. Raymond. Físicas para ciencias e ingeniería. Bogotá: Séptima edición, 2008. 39p

Tabla 5. Masas y pesos presentes en la estructura móvil (resultados)

Elemento	Masa (Kg)	Carga (N)	Tipo de carga
Automóvil compacto (Chevrolet Spark)	820	8041.41	D (Muerta)
Personas (2 Usuarios)	200	1961.32	L (Viva)

Fuente: elaboración propia

3.2.1.1 Diseño de las vigas principales. Para el diseño de estos elementos se tomaron las siguientes consideraciones:

- Las dos vigas principales tendrán las mismas características dimensionales, y estarán sometidas a la misma carga.
- Estos elementos se diseñaron como vigas doblemente empotradas.
- La carga estará distribuida a lo largo del elemento.
- Las vigas tendrán una longitud de 4,0 m.
- Se asumirá un perfil tubular cuadrado de acero estructural A500.
- Se asumirá inicialmente un factor de seguridad de 3.1
- Los momentos de empotramiento se calculan de acuerdo a la tabla mostrada en el Anexo C. (**Ver Anexo C**)

Se comienza por determinar la carga mayorada con la combinación de carga anteriormente mencionada (ecuación 2):

Ecuación 3. Carga mayorada (Estructura móvil)

$$C_M = 1.2 * D + 1.6 * L$$

Fuente: Título B Definición de cargas. NSR10 [En línea] <https://www.idrd.gov.co> › default › files › imágenes › 2título-b-nsr-100. Consultado el 18 de octubre del 2019.

$$C_M = 1.2 * (8041.41 N) + 1.6 * (1961.32 N)$$

$$C_M = 12787.80 N$$

$$Q = \frac{12787.80 N}{2 Vigas} = 6393.90 N$$

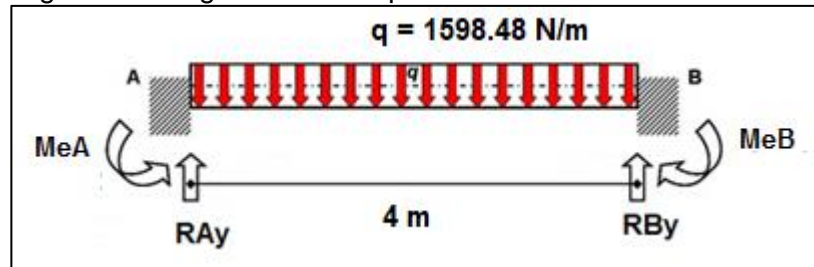
Ecuación 4. Carga Distribuida (viga móvil)

$$q = \frac{6393.90 \text{ N}}{4 \text{ m}} = 1598.48 \text{ N/m}$$

Fuente: elaboración propia, con base en MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. 4 ed. México, 2006. [Consultado: 9 octubre 2019] p. 118

Se plantea el diagrama de cuerpo libre de la viga principal.

Figura 22. Diagrama de cuerpo libre



Fuente: elaboración propia

Luego se procede al cálculo de las reacciones en el elemento.

$$\sum_{FY} = 0$$

$$R_{AY} - 6393.90 \text{ N} + R_{BY} = 0$$

$$\sum_{MA} = 0$$

$$-6393.90 \text{ N} * 2.0 \text{ m} + R_{BY} * 4.0 \text{ m} = 0$$

$$R_{BY} = \frac{6393.90 \text{ N} * 2.0 \text{ m}}{4.0 \text{ m}} = 3196.95 \text{ N}$$

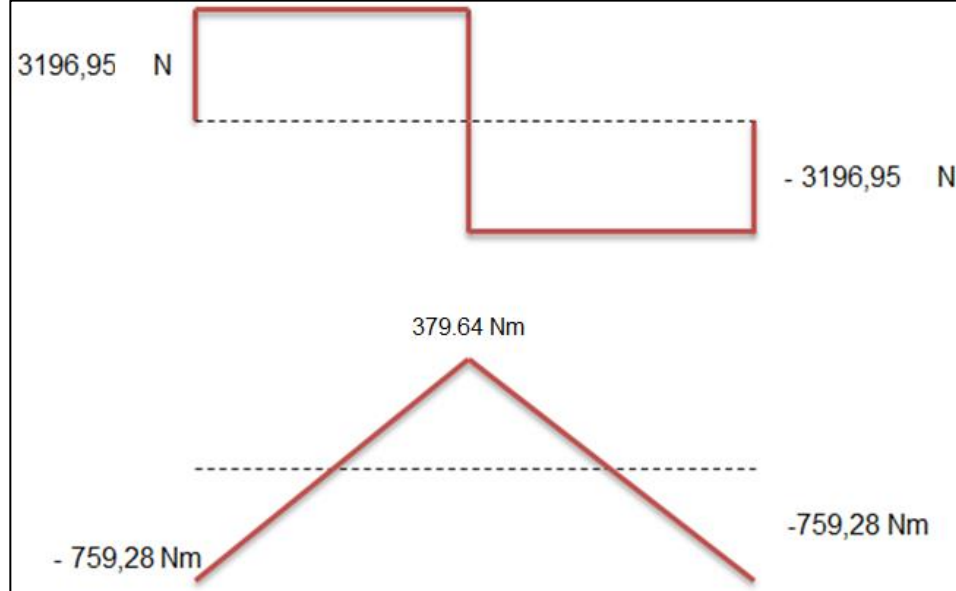
$$\sum_{FY} = 0$$

$$R_{AY} = 6393.90 \text{ N} - 3196.95 \text{ N}$$

$$R_{AY} = 3196.95 \text{ N}$$

Se realiza el diagrama de fuerza cortante y momento flector.

Figura 23. Diagrama de fuerza cortante y momento flector



Fuente. elaboración propia

Del diagrama anterior se obtiene que el valor máximo de fuerza cortante y momento flector son de 3196.95 N y 2131.31 Nm correspondientemente.

Los siguientes cálculos de la viga, se realizaron aplicando el procedimiento para el diseño de vigas prismáticas, establecido en la unidad 7.7 el libro Mecánica de Materiales de Beer y Johnston. Donde se realiza el cálculo del esfuerzo admisible mediante la relación del esfuerzo de fluencia del acero A500 ASTM y el factor de seguridad asumido de **3.1**.

Ecuación 4. Esfuerzo admisible (viga móvil)

$$\sigma_{Admisible} = \frac{\sigma_y}{F.S}$$

Fuente: MOTT, Robert. En: Diseño de elementos de máquinas. 4ed. México, 2006. [Consultado: 18 octubre 2019] p. 86

$$\sigma_{Admisible} = \frac{350\text{ Mpa}}{3.1}$$

$$\sigma_{Admisible} = 112.90\text{ Mpa}$$

Con este valor de esfuerzo admisible y el momento flector obtenido anteriormente se realiza el cálculo del mínimo valor admisible del módulo de la sección.

Ecuación 5. Modulo elástico (viga móvil)

$$S_{min} = \frac{M_{max}}{\sigma_{Admisible}}$$

Fuente: MOTT, Robert. En: Diseño de elementos de máquinas. 4 ed. México, 2006 p. 242. [Consultado: 18 octubre 2019]

$$S_{min} = \frac{2131.31 \text{ N.m}}{112.90 * 10^6 \text{ Pa}}$$

$$S_{min} = 1,89 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

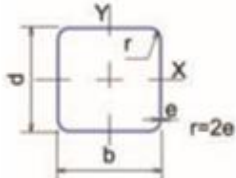
$$S_{min} = 1,89 * 10^{-5} \text{ m}^3 * \left(\frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}\right)^3$$

$$S_{min} = 18.9 \text{ cm}^3$$

Con este valor mínimo de modulo elástico $S_x = S_y$, se procede a seleccionar el perfil estructural tubular del catálogo de COLMENA (Consortio Metalúrgico Nacional – Ver anexo B), teniendo en cuenta que:

$$S_{seleccionado} \geq S_{minimo \text{ calculado}}$$

Figura 24. Perfil cuadrado para la viga principal (estructura móvil)



TAMAÑO PERFIL		ESPESOR DE PARED e mm	PESO NEGRO (kg/m)	ÁREA cm ²	FLEXIÓN			MÓDULO PLÁSTICO Z _x = Z _y cm ³	TORSIÓN	
TAMAÑO NOMINAL	MOMENTO INERCIA I _x = I _y cm ⁴				MÓDULO ELÁSTICO S _x = S _y cm ³	RADIO DE GIRO r _x = r _y cm	MOMENTO INERCIA J cm ⁴		MÓDULO ELÁSTICO B cm ³	
PULG.	MM									
3 X 3	75 X 75	3,00	6,60	8,41	71,62	19,10	2,92	22,49	115,14	28,81
		4,00	8,59	10,95	90,19	24,05	2,87	28,76	148,83	36,48
		6,00	12,27	15,63	120,16	32,04	2,77	39,58	209,99	49,43

Fuente: Catalogo de perfiles estructurales tubulares. [En línea] Disponible en: <http://tuboscolmena.com/colmena/> Consultado 28 de octubre del 2019

Del catálogo del fabricante COLMENA, se selecciona el perfil de 75 x 75 mm con un espesor de 3 mm y modulo elástico de 19.10 cm³

Mediante el cálculo del factor de seguridad, utilizando el módulo de elasticidad del perfil seleccionado se procede a comprobar que no superara el valor de esfuerzo admisible.

Ecuación 6. Esfuerzo máximo (viga móvil)

$$\sigma_{Max} = \frac{M_{max}}{S_{min}} \rightarrow \frac{2131.31 Nm}{1.91 * 10^{-5} m^3} = 111.59 MPa$$

Fuente: elaboración propia, con base en MOTT, Robert. En: Diseño de elementos de máquinas. 4 ed. México, 2006. [Consultado: 1 octubre 2019] p. 184

Ecuación 7. Factor de seguridad (viga móvil)

$$F.S = \frac{\sigma_y}{\sigma_{min}} \rightarrow \frac{350 MPa}{111.59 MPa} = 3.14 \rightarrow \text{Cumple}$$

Fuente: elaboración propia, con base en McCormac, Jack. C. Diseño de estructuras de acero. 5 ed. México, 2012. p. 118 [Consultado: 9 octubre 2019]

3.2.1.2 Diseño de las vigas de los marcos. Para el diseño de estos elementos se tomaron las siguientes consideraciones:

- Las dos vigas de los marcos, tendrán las mismas características dimensionales, y estarán sometidas a la misma carga mayorada de las vigas principales, de forma puntual.
- Estos elementos se diseñaron como vigas doblemente empotradas.
- Las vigas tendrán una longitud de 0.95 m.
- Se asumirá un perfil tubular cuadrado de acero estructural A500.
- Se asumirá inicialmente un factor de seguridad de 3.1.
- Los momentos de empotramiento se calculan de acuerdo a la tabla mostrada en el Anexo C.

$$C_M = 12787.80N$$

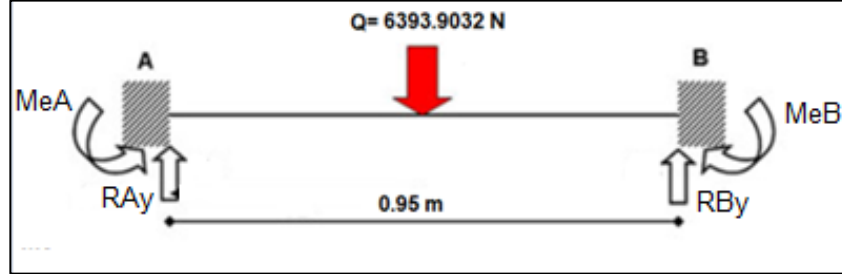
Ecuación 8. Carga puntual (viga de los marcos)

$$Q = \frac{12787.80 N}{2 \text{ Vigas de los marcos}} = 6393.90N$$

Fuente: elaboración propia, con base en MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. 4 ed. México, 2006. [Consultado: 9 octubre 2019] p. 135

Se plantea el diagrama de cuerpo libre de una de las vigas de los marcos.

Figura 25. Diagrama de cuerpo libre viga marco



Fuente: elaboración propia

Luego se procede al cálculo de las reacciones en el elemento.

$$\sum_{FY} = 0$$

$$R_{AY} - 6393.90 \text{ N} + R_{BY} = 0$$

$$\sum_{MA} = 0$$

$$-6393.9032 \text{ N} * 0.475 \text{ m} + R_{BY} * 0.95 \text{ m} = 0$$

$$R_{BY} = \frac{6393.9032 \text{ N} * 0.475 \text{ m}}{0.95 \text{ m}} = 3196.95 \text{ N}$$

$$\sum_{FY} = 0$$

$$R_{AY} = 6393.90 \text{ N} - 3196.95 \text{ N}$$

$$R_{AY} = 3196.95 \text{ N}$$

Se realiza el cálculo de los momentos de empotramiento según el Anexo C, el momento de empotramiento en A es igual al momento de empotramiento en B, debido a que es una viga simétrica, con una carga puntual en la mitad.

Ecuación 9. Momento de empotramiento (viga móvil)

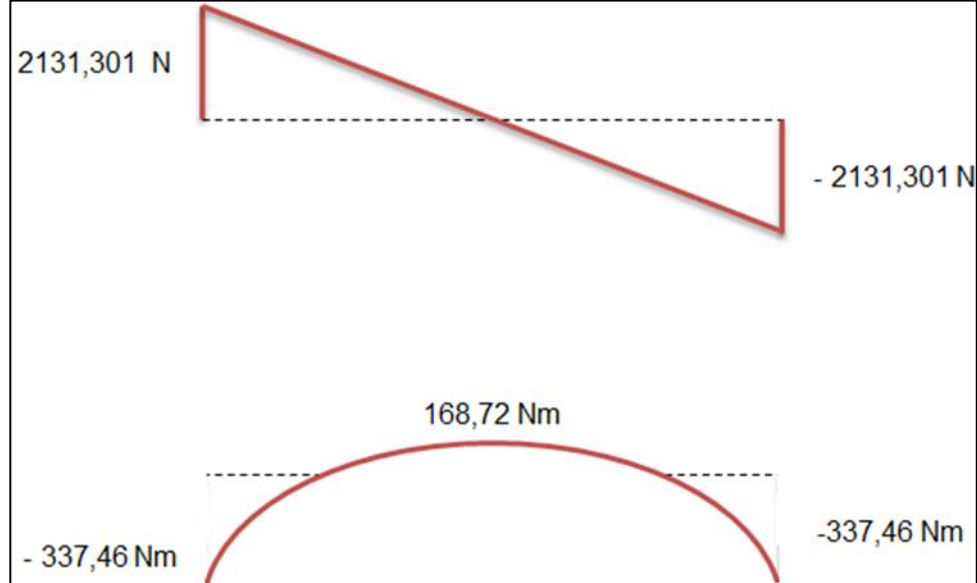
$$M_{eA} = M_{eB} = \frac{1}{8} * Q * L$$

Fuente: McCormac, Jack C. Diseño de estructuras de acero. 5 ed. México, 2012. p. 52. [Consultado: 9 octubre 2019]

$$M_{eA} = M_{eB} = \frac{1}{8} * 6393.9032 \text{ N} * 0.95 \text{ m} = 759.28 \text{ Nm}$$

Se realiza el diagrama de fuerza cortante y momento flector.

Figura 26. Diagrama de fuerza cortante y momento flector



Fuente: elaboración propia

Del diagrama anterior se obtiene que el valor máximo de fuerza cortante y momento flector son de 3196.95 N y 759.28 Nm correspondientemente.

Los siguientes cálculos de la viga, se realizaron aplicando el procedimiento para el diseño de vigas prismáticas, establecido en la unidad 7.7 el libro “Mecánica de Materiales de Beer y Johnston”.

Se realiza el cálculo del esfuerzo admisible mediante la relación del esfuerzo de fluencia del acero A500 y el factor de seguridad asumido de 3.1.

Ecuación 10. Esfuerzo admisible (viga móvil)

$$\sigma_{Admisible} = \frac{\sigma_y}{F.S}$$

Fuente: McCormac, Jack C. Diseño de estructuras de acero. 5 ed. México, 2012. p. 52.

[Consultado: 9 octubre 2019]

$$\sigma_{Admisible} = \frac{350 \text{ Mpa}}{3.1}$$

$$\sigma_{Admisible} = 112.90 \text{ Mpa}$$

Con este valor de esfuerzo admisible y el momento flector obtenido anteriormente se realiza el cálculo del mínimo valor admisible del módulo de la sección.

Ecuación 11. Modulo elástico (marcos móviles)

$$S_{min} = \frac{759.28 Nm}{112.90 * 10^6 Pa}$$

Fuente: elaboración propia, con base en. McCormac, Jack. C. Diseño de estructuras de acero. 5 ed. México, 2012. p. 118 [Consultado: 9 octubre 2019]

$$S_{min} = 6.73 * 10^{-6} m^3$$

$$S_{min} = 6.73 * 10^{-6} m^3 * \left(\frac{100 cm}{1 m}\right)^3$$

$$S_{min} = 6.73 cm^3$$

Con este valor mínimo de modulo elástico $S_x = S_y$, se procede a seleccionar el perfil estructural tubular del catálogo de COLMENA (Consortio Metalúrgico Nacional – Ver anexo B), teniendo en cuenta que:

Ecuación 12. Criterio de selección de perfiles estructurales

$$S_{seleccionado} \geq S_{minimo\ calculado}$$

Fuente: elaboración propia, con base en. McCormac, Jack. C. Diseño de estructuras de acero. 5 ed. México, 2012. p. 118 [Consultado: 9 octubre 2019]

Con el objetivo de mantener una uniformidad en el diseño y facilidad en el ensamblaje, se establece que el perfil definitivo a utilizar será el mismo de las vigas principales (75x75x3 mm), seleccionado en el numeral 3.2.1.1, ya que su módulo elástico, con un valor de 19.10 cm³ es superior al calculado para los travesaños que es de 6.73 cm³.

Mediante el cálculo del factor de seguridad, utilizando el módulo de elasticidad del perfil seleccionado se procede a comprobar que no superara el valor de esfuerzo admisible.

Ecuación 13. Esfuerzo máximo (viga móvil de los marcos)

$$\sigma_{Max} = \frac{M_{max}}{S_{min}} \rightarrow \frac{759.28 Nm}{1.91 * 10^{-5} m^3} = 39.75 MPa$$

Fuente: McCormac, Jack C. Diseño de estructuras de acero. 5 ed. México, 2012. p. 52. [Consultado: 9 octubre 2019]

$$F.S = \frac{\sigma_y}{\sigma_{min}} \rightarrow \frac{350 MPa}{39.75 MPa} = 8.8 \rightarrow \text{Cumple}$$

3.2.1.3 Diseño de los travesaños de la estructura móvil (3 travesaños)

Para el diseño de estos elementos se tomarán las siguientes consideraciones:

- Los tres travesaños, tendrán las mismas características dimensionales, y estarán sometidas a la misma carga mayorada de las vigas principales, de forma distribuida.
- Estos elementos se tomarán como vigas doblemente empotradas.
- Los travesaños tendrán una longitud de **0.95 m**.
- Se asumirá un perfil tubular cuadrado de acero estructural **A500**.
- Se asumirá inicialmente un factor de seguridad de **3.1**.
- Los momentos de empotramiento se calculan de acuerdo a la tabla mostrada en el Anexo C. (**Ver Anexo C**).

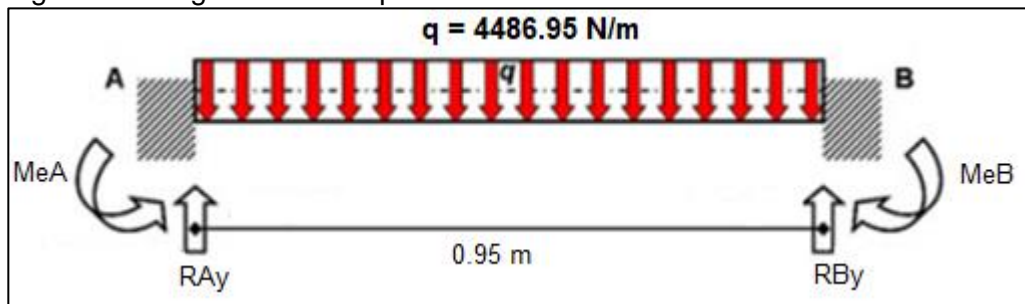
$$C_M = 12787.80 \text{ N}$$

$$Q = \frac{12787.80 \text{ N}}{3 \text{ travesaños}} = 4262.60 \text{ N}$$

$$q = \frac{4262.60 \text{ N}}{0.95 \text{ m}} = 4486.95 \text{ N/m}$$

Se plantea el diagrama de cuerpo libre de uno de los travesaños.

Figura 26. Diagrama de cuerpo libre travesaño



Fuente: Elaboración propia

Luego se procede al cálculo de las reacciones en el elemento

$$\sum_{FY} = 0$$

$$R_{AY} - 4262.60 \text{ N} + R_{BY} = 0$$

$$\sum_{MA} = 0$$

$$- 4262.60 \text{ N} * 0.475 \text{ m} + R_{BY} * 0.95 \text{ m} = 0$$

$$R_{BY} = \frac{4262.60 \text{ N} * 0.475 \text{ m}}{0.95 \text{ m}} = 2131.30 \text{ N}$$

$$\sum_{FY} = 0$$

$$R_{AY} = 4262.60 \text{ N} - 2131.30 \text{ N}$$

$$R_{AY} = 2131.30 \text{ N}$$

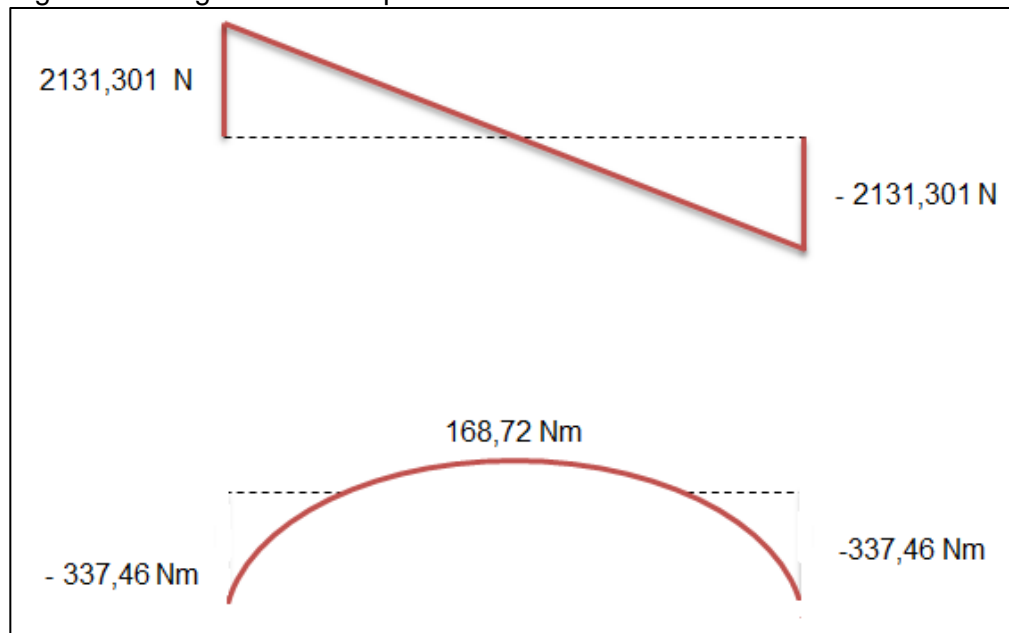
Se realiza el cálculo de los momentos de empotramiento según el Anexo C, el momento de empotramiento en A es igual al momento de empotramiento en B, debido a que es una viga simétrica, con una carga distribuida a lo largo del elemento.

$$Me_A = Me_B = \frac{1}{12} * q * L^2$$

$$Me_A = Me_B = \frac{1}{12} * 4486.95 \frac{\text{N}}{\text{m}} * (0.95 \text{ m})^2 = 337.46 \text{ Nm}$$

Se realiza el diagrama de fuerza cortante y momento flector.

Figura 27. Diagrama de cuerpo libre travesaño



Fuente: elaboración propia

Del diagrama anterior se obtiene que el valor máximo de fuerza cortante y momento flector son de 2131.30 N y 337.46 Nm correspondientemente.

Los siguientes cálculos de la viga, se realizarán aplicando el procedimiento para el diseño de vigas prismáticas, establecido en la unidad 7.7 el libro Mecánica de Materiales de Beer y Johnston.

Se realiza el cálculo del esfuerzo admisible mediante la relación del esfuerzo de fluencia del acero A500 y el factor de seguridad asumido de 3.1.

$$\sigma_{Admisible} = \frac{\sigma_y}{F.S}$$

$$\sigma_{Admisible} = \frac{350 \text{ Mpa}}{3.1}$$

$$\sigma_{Admisible} = 113 \text{ Mpa}$$

Con este valor de esfuerzo admisible y el momento flector obtenido anteriormente se realiza el cálculo del mínimo valor admisible del módulo de la sección.

$$S_{min} = \frac{337.46 \text{ N.m}}{112.90 * 10^6 \text{ Pa}}$$

$$S_{min} = 2.99 * 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$S_{min} = 2.99 * 10^{-6} \text{ m}^3 * \left(\frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}\right)^3$$

$$S_{min} = 2.99 \text{ cm}^3$$

Con este valor mínimo de modulo elástico $S_x = S_y$, se procede a seleccionar el perfil estructural tubular del catálogo de COLMENA (Consortio Metalúrgico Nacional – Ver anexo B), teniendo en cuenta que:

$$S_{seleccionado} \geq S_{minimo \text{ calculado}}$$

Con el objetivo de mantener una uniformidad en el diseño y facilidad en el ensamblaje, se establece que el perfil definitivo a utilizar será el mismo de las vigas principales (**75x75x3 mm**), seleccionado en el numeral 3.2.1.1, ya que su módulo elástico, con un valor de 19.10 cm³ es superior al calculado para los travesaños que es de 1.928 cm³.

Mediante el cálculo del factor de seguridad, utilizando el módulo de elasticidad del perfil seleccionado se procede a comprobar que no superara el valor de esfuerzo admisible.

$$\sigma_{Max} = \frac{M_{max}}{S_{min}} \rightarrow \frac{337.46 \text{ Nm}}{19.1 * 10^{-5} \text{ m}^3} = 17.67 \text{ MPa}$$

$$F.S = \frac{\sigma_y}{\sigma_{min}} \rightarrow \frac{350 \text{ MPa}}{17.67 \text{ MPa}} = 19.81 \rightarrow \text{Cumple}$$

3.2.1.4 Diseño de las columnas y refuerzos.

Las columnas, junto con los refuerzos y las vigas, conforman un marco estructural que permite la unión de la estructura móvil a los ejes que están soportados directamente de la estructura fija.

Este marco estructural tendrá una altura de 0.527 m y 1.1 m de ancho, con una carga puntual, que será la carga mayorada dividida entre dos debido a que existen dos marcos.

$$C_M = 12787.80 \text{ N}$$

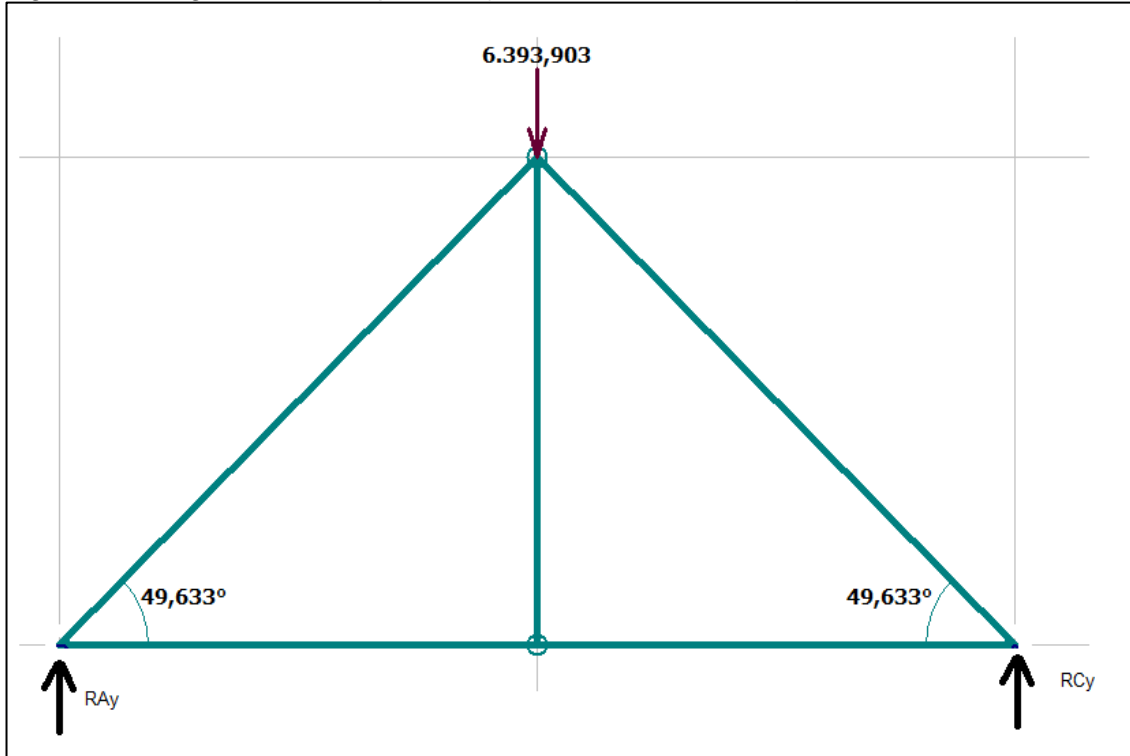
Ecuación 14. Carga puntual del marco (columnas móviles)

$$Q = \frac{12787.8064 \text{ N}}{2 \text{ marcos}} = 6393.90 \text{ N}$$

Fuente: elaboración propia, con base en. MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. 4 ed. México, 2006. [Consultado: 9 octubre 2019] p. 118

Se plantea el diagrama de cuerpo libre del marco estructural.

Figura 28. Diagrama de cuerpo libre (Marco estructural móvil)



Fuente. elaboración propia con base en el programa MD Solid 4.0

Se realiza el cálculo de las reacciones en el marco y un análisis por nodos en el nodo A para determinar las fuerzas internas de los elementos.

$$\sum_{FY} = 0$$

$$R_{Ay} - 6393.9032 \text{ N} + R_{Cy} = 0$$

$$\sum_{MA} = 0$$

$$-6393.90 \text{ N} * 0.55 \text{ m} + R_{Cy} * 1.1 \text{ m} = 0$$

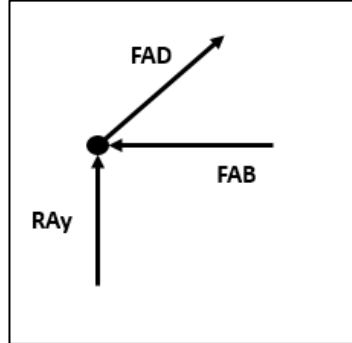
$$R_{Cy} = \frac{6393.90 \text{ N} * 0.55 \text{ m}}{1.1 \text{ m}} = 3196.95 \text{ N}$$

$$\sum_{FY} = 0$$

$$R_{Ay} = 6393.90 \text{ N} - 3196.95 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = 3196.95 \text{ N}$$

Figura 29. Nodo (A)



Fuente: elaboración propia

$$\sum_{FX} = 0$$

$$-F_{AB} + (F_{AD} * \cos 49.633) = 0$$

$$\sum_{FY} = 0$$

$$R_{AY} + (F_{AD} * \sen 49.633) = 0$$

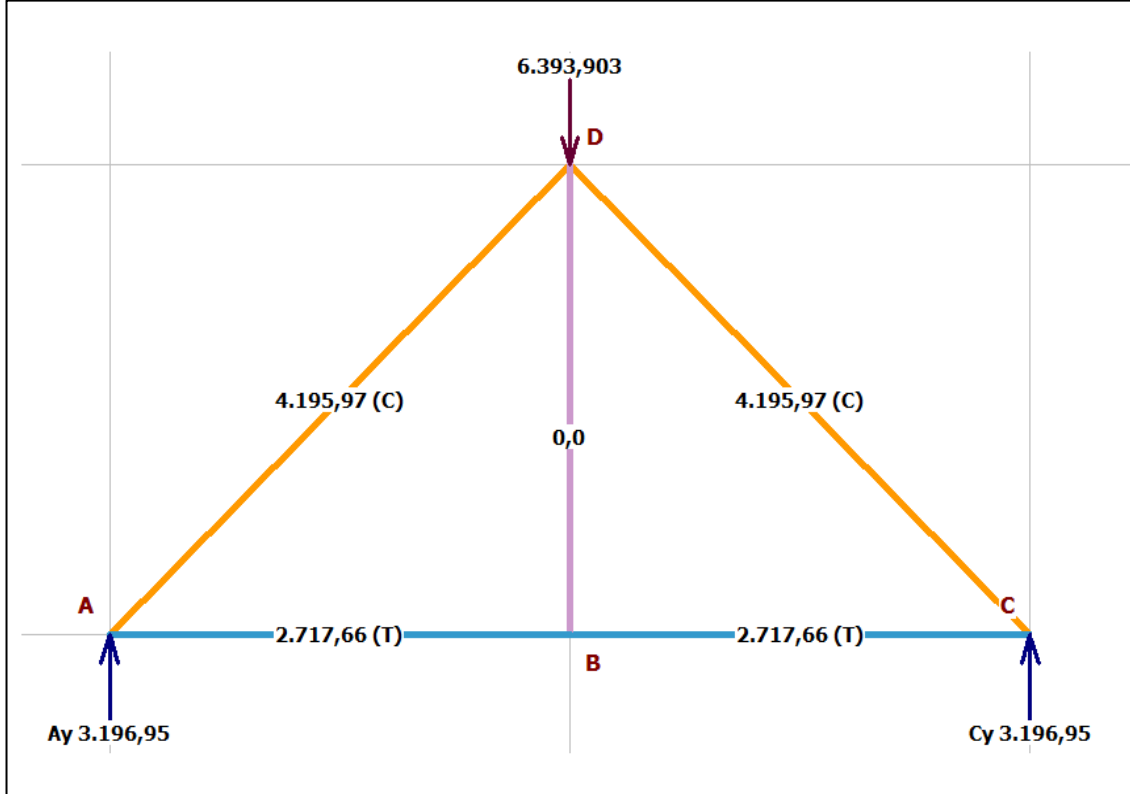
$$3196.9516 \text{ N} + (F_{AD} * \sen 49.633) = 0$$

$$F_{AD} = \frac{-3196.9516 \text{ N}}{\sen 49.633} = -4195.97 \text{ N} \rightarrow \text{Compresión}$$

$$F_{AB} = 4195.97 \text{ N} * \cos 49.633 = 2717.66 \text{ N} \rightarrow \text{Tensión}$$

El siguiente diagrama representa las reacciones y las fuerzas internas del marco estructural.

Figura 30. Diagrama de cuerpo libre del marco móvil (DLC)



Fuente: elaboración propia con base en el programa MD Solid 4.0

3.2.1.4.1 Diseño de las columnas

Para el diseño de estos elementos se tomaron las siguientes consideraciones:

- Las dos columnas, tendrán las mismas características dimensionales, y estarán sometidas a la misma carga mayorada, de forma puntual.
- Las columnas tendrán una longitud de 0.647 m.
- Se asumirá un perfil tubular rectangular de acero estructural A500.
- Las dimensiones del perfil asumido son de 200x70x6 mm.
- La carga estará ubicada en 0.527 m de la longitud total de la columna.

$$C_M = 12787.80 \text{ N}$$

Ecuación 15. Carga puntual de las columnas

$$Q = \frac{12787.80 \text{ N}}{2 \text{ columnas}} = 6393.90 \text{ N}$$

Fuente: elaboración propia, con base en. MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. 4 ed. México, 2006. p. 52. [Consultado: 9 octubre 2019]

El procedimiento para comprobar que el perfil seleccionado soportara la carga Q, será por resistencia de diseño.

Ecuación 16. Resistencia de diseño

$$Rd = \phi \cdot A_g \cdot \sigma_{cr}$$

Fuente: McCormac, Jack C. Diseño de estructuras de acero. 5 ed. México, 2012. p. 52. [Consultado: 9 octubre 2019]

Donde:

ϕ : Factor de resistencia

A_g : Area gross

σ_{cr} : Esfuerzo critico

Se debe comenzar por el cálculo del esfuerzo crítico (σ_{cr}), pero para esto debe determinar el factor λ que indica si es una columna corta-mediana o larga.

Ecuación 17. Factor Landa (λ) (columnas móviles)

$$\lambda = \frac{k \cdot l}{\pi \cdot r} * \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}}$$

Fuente: McCormac, Jack C. Diseño de estructuras de acero. 5 ed. México, 2012. p. 148. [Consultado: 9 octubre 2019]

Donde:

k : Factor de longitud efectiva

l : longitud de la columna

r : radio de giro minimo de la seccion transversal

σ_y : Esfuerzo de fluencia del material

E : Modulo de elasticidad del material

La longitud efectiva de la columna está dada por kl , que en este caso será de $2L$, ya que se asume como una columna con un extremo fijo y el otro libre (**Ver Anexo D**).

Además, se deben tener en cuenta las características del perfil seleccionado, las cuales se muestran en la imagen.

Tabla 6. Selección del perfil estructural (Viga de los marcos móviles)

PERFIL RECTANGULAR														
TAMAÑO PERFIL		ESPESOR DE PARED e mm	PESO NEGRO (kg/m)	ÁREA cm ²	FLEXIÓN EJE X - X			FLEXIÓN EJE Y - Y			MÓDULO PLÁSTICO Z _x cm ³	MÓDULO PLÁSTICO Z _y cm ³	TORSIÓN	
TAMAÑO NOMINAL	PULG.				MM	MOMENTO INERCIA I _x cm ⁴	MÓDULO SECCIÓN S _x cm ³	RADIO DE GIRO r _x cm	MOMENTO INERCIA I _y cm ⁴	MÓDULO ELÁST S _y cm ³			RADIO DE GIRO r _y cm	MOMENTO INERCIA J cm ⁴
8x2 3/4	200 X 70	4,00	16,13	20,55	969,18	96,92	6,87	185,51	53,00	3,00	124,52	59,08	521,89	96,03
		6,00	23,58	30,03	1.364,48	136,45	6,74	255,38	72,97	2,92	178,35	83,75	741,83	133,47

Fuente: Catálogo de perfiles estructurales tubulares. [En línea] Disponible en: <http://tuboscolmena.com/colmena/> Consultado 28 de octubre del 2019

Se realiza el cálculo del factor λ

$$\lambda = \frac{2 * 0.527 \text{ m}}{\pi * 0.0292 \text{ m}} * \sqrt{\frac{350 * 10^6 \text{ Pa}}{200 * 10^9 \text{ Pa}}}$$

$$\lambda = 0.480647$$

$$\lambda \leq 1.5 \rightarrow \text{Columna corta}$$

Una vez se determina que es una columna corta se realiza el cálculo del esfuerzo crítico.

Ecuación 18. Esfuerzo crítico (Columna móvil)

$$\sigma_{cr} = (0.658^{\lambda^2}) * \sigma_y$$

Fuente: McCormac, Jack C. Diseño de estructuras de acero. 5 ed. México, 2012. p. 148. [Consultado: 9 octubre 2019]

$$\sigma_{cr} = (0.658^{(0.480647)^2}) * 350 * 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{cr} = 317.741 \text{ MPa}$$

El área gross y el radio de giro mínimo del perfil vienen dados por el fabricante en el catálogo (**Ver Anexo B**)

$$Area\ gross = 30.03\ cm^2 * \frac{1m^2}{(100\ cm)^2} = 3.003 * 10^{-3}\ m^2$$

$$r_y = 2.92\ cm \rightarrow r_{\min}(\text{radio de giro mínimo})$$

Se realiza el cálculo de la resistencia de diseño

$$Rd = \phi * A_g * \sigma_{cr}$$

$$Rd = (0.85) * (3.003 * 10^{-3}m^2) * (317.741\ MPa)$$

$$Rd = 811049.7896\ N$$

Se evidencia el valor de la resistencia de diseño es mayor a la de la carga aplicada a la columna.

Ecuación 19. Resistencia de diseño (comprobación)

$$Rd \geq Q_D$$

Fuente: elaboración propia, con base en. McCormac, Jack. C. Diseño de estructuras de acero. 5 ed. México, 2012. [Consultado: 9 octubre 2019]

$$811049.7896\ N \geq 6393.9032\ N$$

De igual manera se realiza un chequeo por esbeltez

Ecuación 20. Esbeltez (columnas móviles)

$$\frac{KL}{r_{\min}} \leq 200$$

Fuente: McCormac, Jack C. Diseño de estructuras de acero. 5 ed. México, 2012. p. 148. [Consultado: 9 octubre 2019]

$$\frac{2 * 0.527\ m}{0.0292\ m} = 36.0958$$

$$36.0958 \leq 200 \rightarrow \text{cumple}$$

3.2.1.4.2 Diseño de los refuerzos. Según el análisis de los nodos en el marco de la sección 3.2.1.4 se considera lo siguiente:

- Los refuerzos AD y CD están sometidos a una fuerza de 4195.97 N a compresión.
- Se asume un perfil tubular cuadrado de dimensiones (75 x 75 mm) con un área de $8.41 * 10^{-4} m^2$ y 3 mm de espesor.

$$F_{AD} = F_{CD} \rightarrow 4195.97 \text{ N}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{4195.97 \text{ N}}{8.41 * 10^{-4} m^2} = 4.99 \text{ MPa}$$

Ecuación 21. Factor de seguridad (columna móvil)

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_y}{F.S} \rightarrow F.S = \frac{\sigma_y}{\sigma_{adm}}$$

Fuente: MOTT, Robert L. Diseño de Elementos de Máquinas. Pearson Educación: México, D.F., 4ta edición, 2006. ISBN 970-26-0812-0

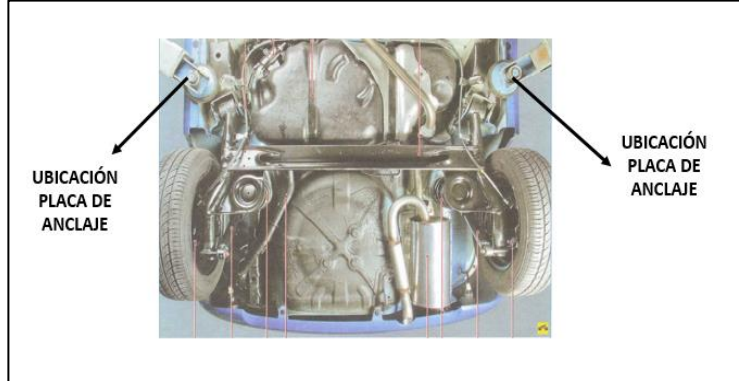
$$F.S = \frac{350 \text{ MPa}}{4.99 \text{ MPa}}$$

$$F.S = 70.14$$

3.2.1.5 Diseño de las placas de anclaje del automóvil a la estructura móvil. Para el diseño de estos elementos se tomarán las siguientes consideraciones:

- El anclaje se dará por medio de 4 placas unidas al chasis, específicamente en los estribos del vehículo y a la estructura móvil

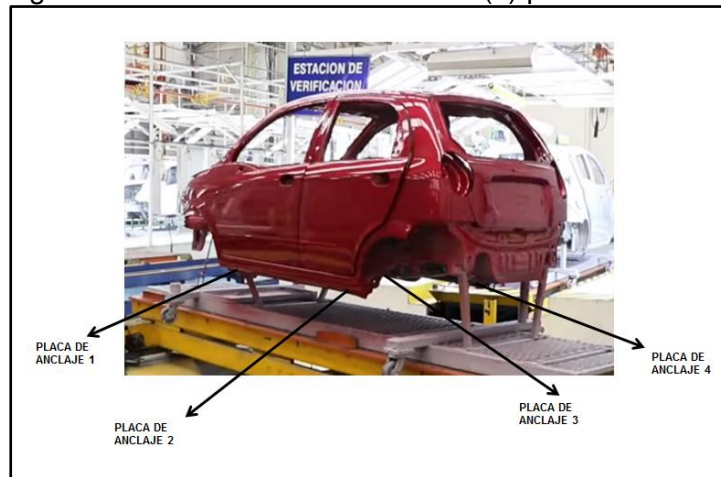
Figura 31. Puntos de anclaje a la estructura móvil



Fuente: elaboración propia, con base en. MANUAL DEL USUARIO, Chevrolet. Spark 2005. Primera edición, 2005. p. 38-40

- El anclaje del vehículo a la estructura móvil, se dará por medio de la unión soldada de 4 placas a los costados laterales del auto, específicamente en los estribos del chasis auto portante, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 32. Localización de los cuatro (4) puntos



Fuente: elaboración propia, con base en. MANUAL DEL USUARIO, Chevrolet. Spark 2005. Primera edición, 2005. p. 38-40

- Las placas, tendrán las mismas características dimensionales, y estarán sometidas a la misma carga mayorada de las vigas principales dividida entre 4, de forma distribuida.
- Estos elementos se tomarán como vigas doblemente empotradas.
- Cada placa tendrá una medida de 0.1975 x 0.3 m.
- Se asumirá inicialmente un factor de seguridad de 3.1.
- El material del perfil es el acero estructural A- 36 $S_y = 250$ MPa

- Los momentos de empotramiento se calculan de acuerdo a la tabla mostrada en el Anexo C. (**Ver Anexo C**)

$$C_M = 12787.80 \text{ N}$$

$$Q = \frac{12787.80 \text{ N}}{4 \text{ Placas}} = 3196.95 \text{ N}$$

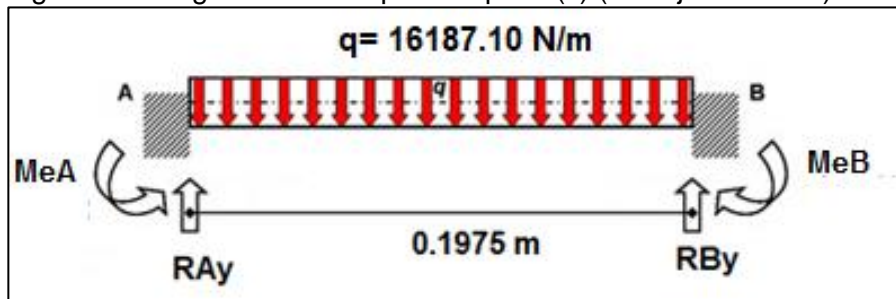
Ecuación 22. Carga distribuida sobre la placa (4 placas)

$$q = \frac{3196.95 \text{ N}}{0.1975 \text{ m}} = 16187.1 \text{ N/m}$$

Fuente: elaboración propia, con base en. MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. 4 ed. México, 2006. [Consultado: 9 octubre 2019] p. 118

Se plantea el diagrama de cuerpo libre de una de las placas

Figura 33. Diagrama de cuerpo libre placa(s) (anclaje al chasis)



Fuente: elaboración propia

Luego se procede al cálculo de las reacciones en el elemento

$$\sum_{FY} = 0$$

$$R_{AY} - 3196.95 \text{ N} + R_{BY} = 0$$

$$\sum_{MA} = 0$$

$$-3196.95 \text{ N} * 0.09875 \text{ m} + R_{BY} * 0.1975 \text{ m} = 0$$

$$R_{BY} = \frac{3196.95 \text{ N} * 0.09875 \text{ m}}{0.1975 \text{ m}} = 1598.48 \text{ N}$$

$$\sum_{FY} = 0$$

$$R_{Ay} = 3196.95 \text{ N} - 1598.48 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = 1598.48 \text{ N}$$

Se realiza el cálculo de los momentos de empotramiento según el Anexo C, el momento de empotramiento en A es igual al momento de empotramiento en B, debido a que es una viga simétrica, con una carga puntual en la mitad.

Ecuación 23. Momento de empotramiento.

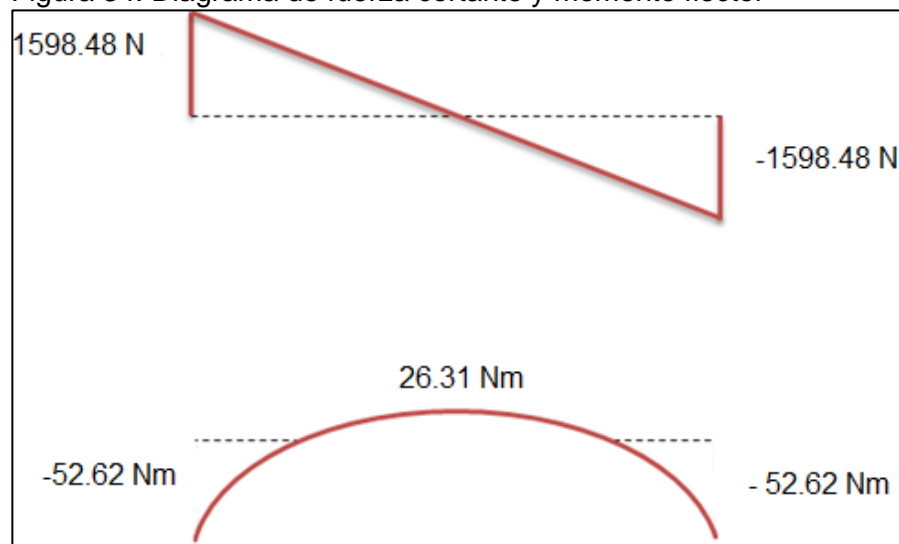
$$Me_A = Me_B = \frac{1}{12} * q * l^2$$

Fuente: McCormac, Jack C. Diseño de estructuras de acero. 5 ed. México, 2012. p. 302. [Consultado: 9 octubre 2019]

$$Me_A = Me_B = \frac{1}{12} * 16187.10 \frac{\text{N}}{\text{m}} * (0.1975\text{m})^2 = 52.62 \text{ Nm}$$

Se realiza el diagrama de fuerza cortante y momento flector. Del diagrama se obtiene que el valor máximo de fuerza cortante y momento flector son de 1598.48 N y 52.62 Nm correspondientemente.

Figura 34. Diagrama de fuerza cortante y momento flector



Fuente: elaboración propia

Los siguientes cálculos de la viga, se realizarán aplicando el procedimiento para el diseño de vigas prismáticas, establecido en la unidad 7.7 del libro Mecánica de Materiales de Beer y Johnston.

Se realiza el cálculo del esfuerzo admisible mediante la relación del esfuerzo de fluencia del acero A36 y el factor de seguridad asumido de 3.1.

$$\sigma_{Admisible} = \frac{\sigma_y}{F.S}$$

$$\sigma_{Admisible} = \frac{250 \text{ Mpa}}{3.1}$$

$$\sigma_{Admisible} = 80.65 \text{ Mpa}$$

Con este valor de esfuerzo admisible y el momento flector obtenido anteriormente se realiza el cálculo del mínimo valor admisible del módulo de la sección.

$$S_{min} = \frac{52.62 \text{ Nm}}{80.65 * 10^6 \text{ Pa}}$$

Con este valor mínimo de modulo elástico, se procede a seleccionar el espesor mínimo de la placa.

Cálculo del espesor mínimo de la placa

$$S = \frac{Mi}{C}$$

Dónde:

S= Modulo elástico de la sección transversal

Mi= momento de inercia

C= distancia desde el eje neutro hasta la fibra más lejana.

$$S = \frac{Mi}{C}$$

$$Mi = S * C$$

$$Mi = 6.52 * 10^{-7} \text{ m}^3 * 0.15 \text{ m}$$

$$Mi = 9.79 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$Mi = \frac{1}{12} b * h^3$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{Mi}{\frac{1}{12} * b}}$$

Ecuación 24. Altura mínima de la placa (Espesor (t) placas de anclaje)

$$h = \sqrt[3]{\frac{9.79 * 10^{-8} m^4}{\frac{1}{12} * 0.3 m}}$$

Fuente: Beer and Johnston. Mecánica de materiales. 9 ed. México, 2010. [Consultado: 18 marzo 2019] p. 375

$$h = 0.01576 m$$

$$h = 15.76 mm$$

Con este valor de espesor mínimo se selecciona una plancha de acero A36 del catálogo del fabricante SACK, de este catálogo se obtiene que el espesor de placa más cercano por encima del valor calculado es de 16 mm (**Ver Anexo D**).

Para comprobar que este espesor de 16 mm, cumple con la resistencia necesaria, se calcula nuevamente el módulo elástico, donde se observa que es mayor a la inicial.

Ecuación 25. Altura mínima de la placa (Espesor (t) placas de anclaje)

$$S_2 = \frac{\frac{1}{12} * 0.3m * (0.016m)^3}{0.15 m}$$

Fuente: Beer and Johnston. Mecánica de materiales. 9 ed. México, 2010. [Consultado: 18 marzo 2019]

$$S_2 = 6.83 * 10^{-7} m^3$$

$$S_2 \geq S_{min}$$

3.2.1.6 Peso total de la estructura móvil. A continuación, se muestra una tabla con todos los componentes de la estructura móvil, con su peso unitario y el peso total.

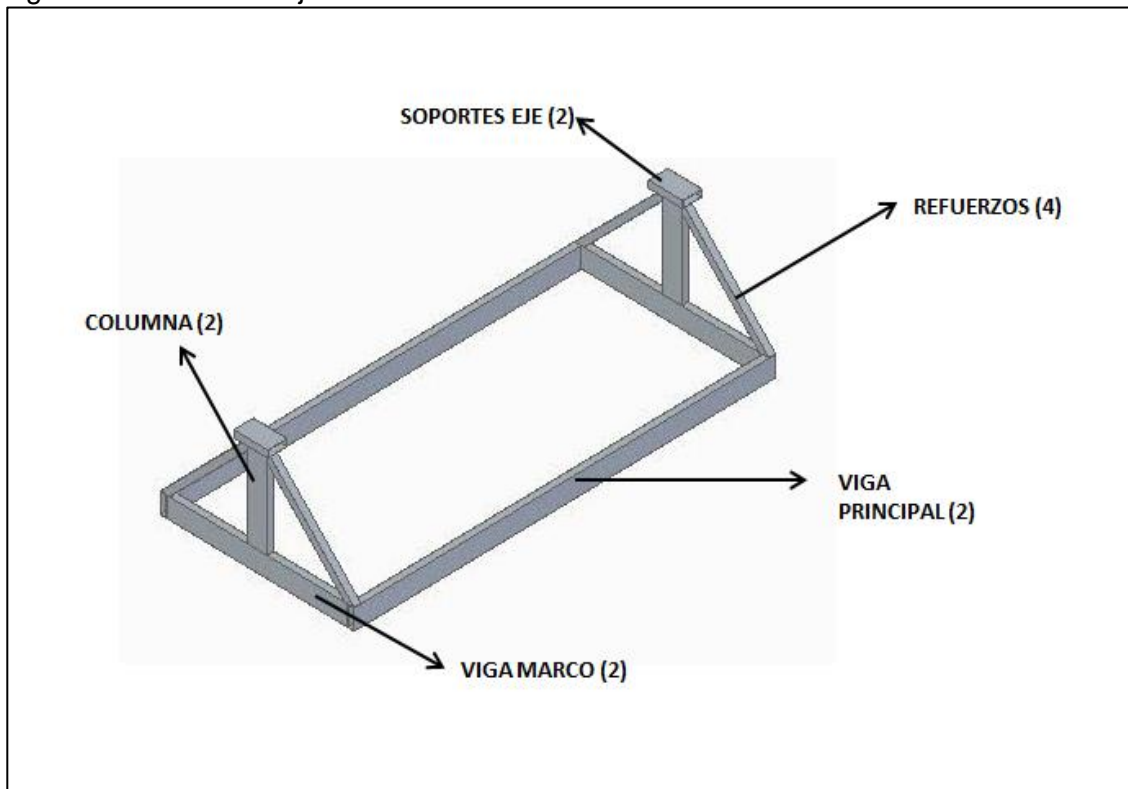
Tabla 7. Cálculo del peso estimado de la estructura móvil

Elemento	Cant	Perfil	Magnitud	Unidad de medida	Peso	Unidad de medida	Peso Unitario (Kg)	Peso Total (Kg)
Viga principal	2	75x75	4	m	6,6	Kg/m	26,4	52,8
Viga marco	2	75x75	0,95	m	6,6	Kg/m	6,27	12,54
Travesaño	3	75x75	0,95	m	6,6	Kg/m	6,27	18,81
Refuerzo	4	75x75	0,788	m	6,6	Kg/m	5,201	20,8032
Columna	2	200x70	0,647	m	23,58	Kg/m	15,256	30,513
Placa anclaje	4	0,1975x0,3	0,059	m ²	112	Kg/m ²	6,636	26,544
PESO TOTAL ESTRUCTURA MOVIL								162,010

Fuente: elaboración propia

3.2.2 Diseño detallado de la estructura fija. La estructura fija es el conjunto encargado del soporte de toda la unidad móvil, y del acoplamiento de los demás subsistemas; en la imagen, se señalan los elementos que componen esta estructura, los cuales se diseñaran con perfiles estructurales de fácil acceso en el mercado colombiano:

Figura 35. Estructura fija



Fuente: elaboración propia

Para comenzar con el diseño de la estructura fija se deben definir las cargas a las cuales se verá sometida.

La estructura fija debe soportar el peso del automóvil, el de los 2 usuarios, y el de la estructura móvil.

Tabla 8. Masas y pesos presentes en la estructura móvil

Elemento	Masa (Kg)	Carga (N)	Tipo de carga
Automóvil compacto (Chevrolet Spark)	820	8041.41	D (Muerta)
Personas (2 Usuarios)	200	1961.32	L (Viva)
Estructura móvil	162.010	1588.77	D (Muerta)

Fuente: elaboración propia

Para el diseño de los componentes de la estructura fija, se aplicará la misma metodología utilizada en el diseño de la estructura móvil.

3.2.2.1 Análisis del marco (estructura fija)

Se comienza por determinar la carga mayorada con la combinación de carga antes mencionada:

$$C_M = 1.2 * D + 1.6 * L$$

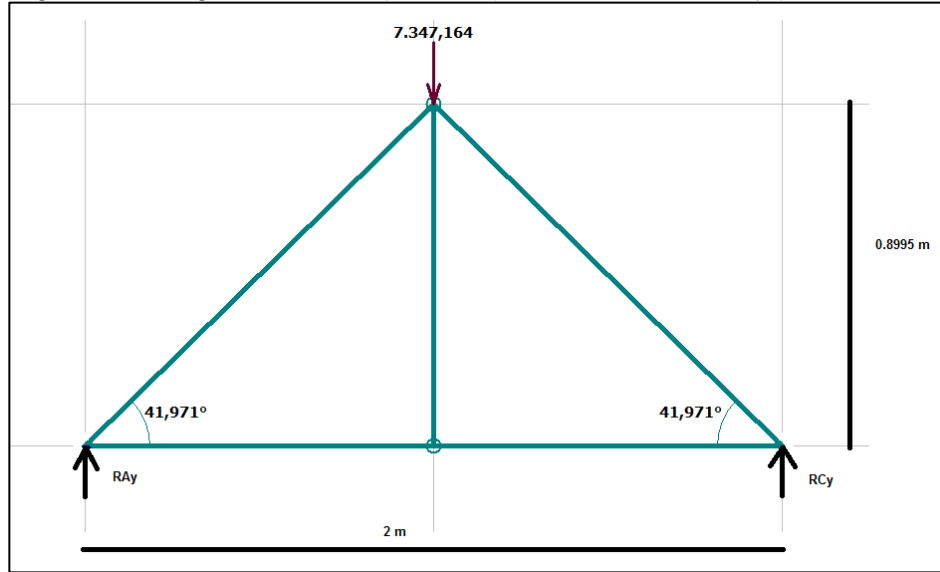
$$C_M = 1.2 * (8041.41 N + 1588.77 N) + 1.6 * (1961.32 N)$$

$$C_M = 14694.33 N$$

$$Q = \frac{14694.33 N}{2 \text{ marcos}} = 7347.16 N$$

Se continúa con el planteamiento de un diagrama de cuerpo libre de un marco de la estructura fija.

Figura 36. Diagrama de cuerpo libre (marco / estructura fija)



Fuente: elaboración propia con base en el programa MD Solid 4.0

Se realiza el cálculo de las reacciones en el marco y un análisis por nodos en el nodo A para determinar las fuerzas internas de los elementos.

$$\sum_{i} F_{Y} = 0$$

$$R_{AY} - 7347.16 \text{ N} + R_{CY} = 0$$

$$\sum_{MA} = 0$$

$$-7347.16 \text{ N} * 1 \text{ m} + R_{CY} * 2 \text{ m} = 0$$

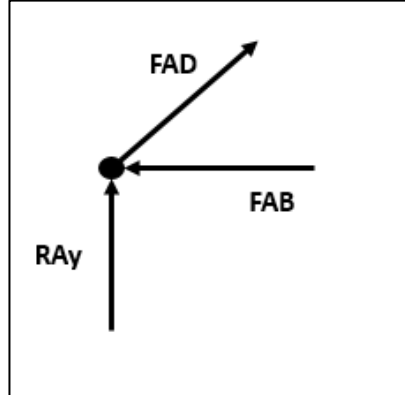
$$R_{CY} = \frac{7347.164 \text{ N} * 1 \text{ m}}{2 \text{ m}} = 3673.58 \text{ N}$$

$$\sum_{i} F_{Y} = 0$$

$$R_{AY} = 7347.16 \text{ N} - 3673.58 \text{ N}$$

$$R_{AY} = 3673.58 \text{ N}$$

Figura 37. Nudo A. (Marco fijo)



Fuente: elaboración propia

$$\sum_{iFX} = 0$$

$$-F_{AB} + (F_{AD} * \cos(41.971^\circ)) = 0$$

$$\sum_{iFY} = 0$$

$$R_{AY} + (F_{AD} * \text{sen}(41.971^\circ)) = 0$$

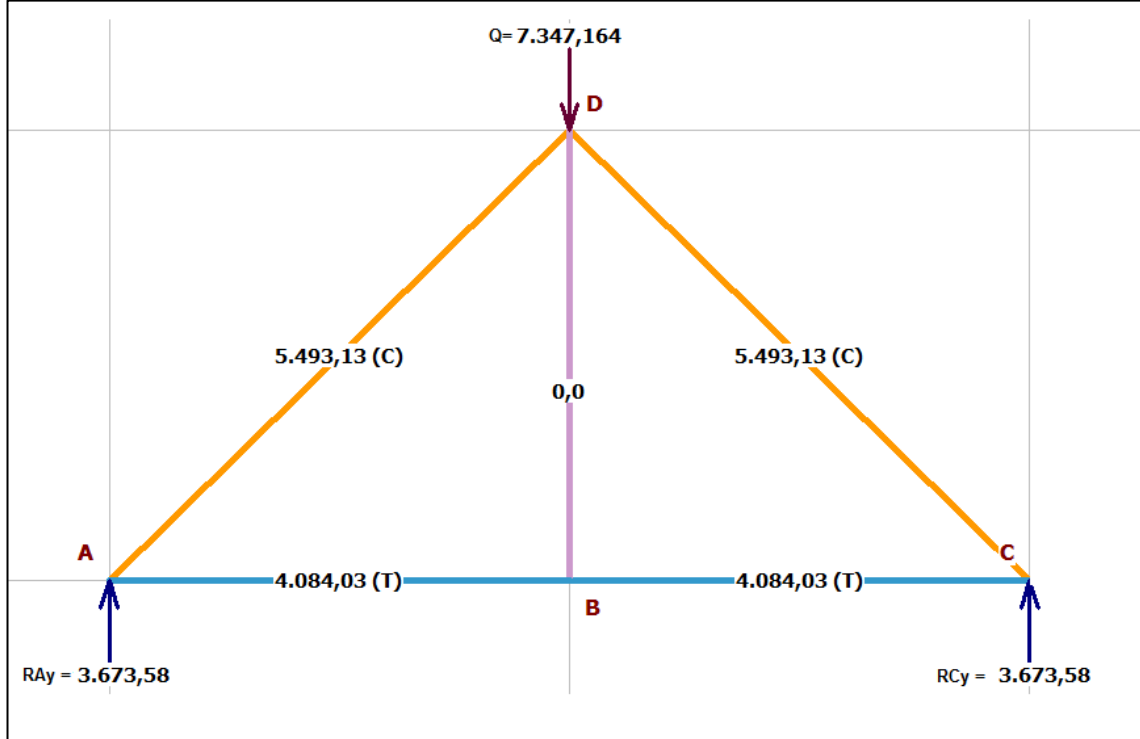
$$3673.582 \text{ N} + (F_{AD} * \text{sen}(41.971^\circ)) = 0$$

$$F_{AD} = \frac{-3673.582 \text{ NN}}{\text{sen}(41.971^\circ)} = -5493.13 \text{ N} \rightarrow \text{compresión}$$

$$F_{AB} = 5493.13 \text{ N} * \cos(41.971^\circ) = 4084.03 \text{ N} \rightarrow \text{tensión}$$

El siguiente diagrama representa las reacciones y las fuerzas internas del marco estructural.

Figura 38. Reacciones y fuerzas internas (marco / estructura fija)



Fuente: elaboración propia con base en el programa MD Solid 4.0

3.2.2.2 Diseño de las vigas de los marcos. Para el diseño de estos elementos se tomarán las siguientes consideraciones:

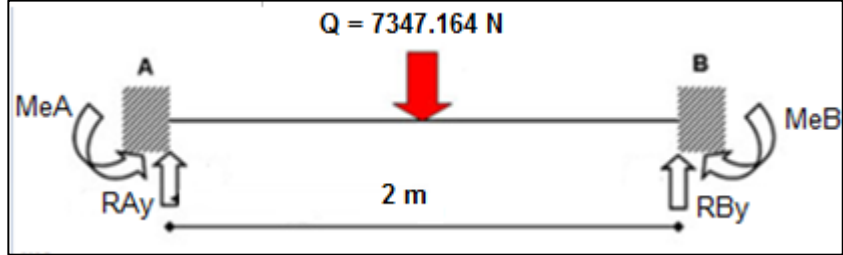
- Las dos vigas de los marcos, tendrán las mismas características dimensionales, y estarán sometidas a la misma carga mayorada, de forma puntual.
- Estos elementos se tomarán como vigas doblemente empotradas.
- Las vigas tendrán una longitud de 2 m cada una.
- Se asumirá un perfil tubular rectangular de acero estructural A500 de 200x70x4 mm de espesor y 53.00 cm³ de modulo elástico (Ver nexa B).
- Se asumirá inicialmente un factor de seguridad de 3.1.
- Los momentos de empotramiento se calculan de acuerdo con la tabla mostrada en el Anexo C. (Ver anexo C).

$$C_M = 14694.33 \text{ N}$$

$$Q = \frac{14694.33 \text{ N}}{2 \text{ marcos}} = 7347.16 \text{ N}$$

Se plantea el diagrama de cuerpo libre de una de las vigas.

Figura 39. Diagrama de cuerpo libre viga marco



Fuente: elaboración propia

Luego se procede al cálculo de las reacciones en el elemento

$$\sum_{FY} = 0$$

$$R_{AY} - 7347.16 \text{ N} + R_{CY} = 0$$

$$\sum_{MA} = 0$$

$$-7347.16 \text{ N} * 1 \text{ m} + R_{CY} * 2 \text{ m} = 0$$

$$R_{CY} = \frac{7347.16 \text{ N} * 1 \text{ m}}{2 \text{ m}} = 3673.58 \text{ N}$$

$$\sum_{FY} = 0$$

$$R_{AY} = 7347.16 \text{ N} - 3673.58 \text{ N}$$

$$R_{AY} = 3673.58 \text{ N}$$

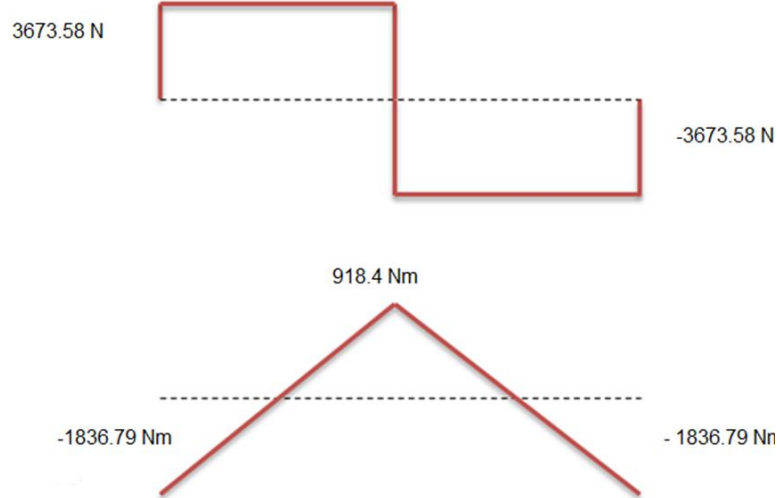
Se realiza el cálculo de los momentos de empotramiento según el Anexo C, el momento de empotramiento en A es igual al momento de empotramiento en B, debido a que es una viga simétrica, con una carga puntual en la mitad.

$$M_{eA} = M_{eB} = \frac{1}{8} * Q * L$$

$$M_{eA} = M_{eB} = \frac{1}{8} * 7347.16 \text{ N} * 2 \text{ m} = 1836.79 \text{ Nm}$$

Se realiza el diagrama de fuerza cortante y momento flector.

Figura 40. diagrama de fuerza cortante y momento flector



Fuente: elaboración propia

Del diagrama anterior se obtiene que el valor máximo de fuerza cortante y momento flector son de 3673.58 N y 1836.79 Nm correspondientemente.

Los siguientes cálculos de la viga, se realizarán aplicando el procedimiento para el diseño de vigas prismáticas, establecido en la unidad 7.7 el libro Mecánica de Materiales de Beer y Johnston.

Se realiza el cálculo del esfuerzo admisible mediante la relación del esfuerzo de fluencia del acero A500 y el factor de seguridad asumido de 2.

$$\sigma_{Admisible} = \frac{\sigma_y}{F.S}$$

$$\sigma_{Admisible} = \frac{350 \text{ MPa}}{3.1}$$

$$\sigma_{Admisible} = 112.9 \text{ Mpa}$$

Con este valor de esfuerzo admisible y el momento flector obtenido anteriormente se realiza el cálculo del mínimo valor admisible del módulo de la sección.

$$S_{min} = \frac{M_{max}}{\sigma_{Admisible}}$$

$$S_{min} = \frac{1836.79 \text{ N.m}}{112.9 * 10^6 \text{ Pa}}$$

$$S_{min} = 1.63 * 10^{-5} m^3$$

$$S_{min} = 1.63 * 10^{-5} m^3 * \left(\frac{100 cm}{1 m}\right)^3$$

$$S_{min} = 16.27 cm^3$$

Con este valor mínimo de modulo elástico de 16.27 cm³, se puede evidenciar que el perfil asumido de 200x70 mm, cumple con los requerimientos de resistencia necesaria ya que:

$$S_{seleccionado} \geq S_{minimo\ calculado}$$

$$53.00 cm^3 \geq 16.27 cm^3$$

3.2.2.3 Diseño de las columnas. Para el diseño de estos elementos se tomarán las siguientes consideraciones:

- Las dos columnas, tendrán las mismas características dimensionales, y estarán sometidas a la misma carga mayorada, de forma puntual.
- Las columnas tendrán una longitud de 0.8995 m.
- Se asumirá un perfil tubular rectangular de acero estructural A500.
- Las dimensiones del perfil asumido son de 200x70 mm y 4 mm de espesor.

$$C_M = 14694.33 N$$

$$Q = \frac{14694.33 N}{2\ marcos} = 7347.16 N$$

El procedimiento para comprobar que el perfil seleccionado soportara la carga Q, será por resistencia de diseño.

$$Rd = \Phi \cdot A_g \cdot \sigma_{cr}$$

Donde:

Φ : Factor de resistencia

A_g : Area gross

σ_{cr} : Esfuerzo critico

Se debe comenzar por el cálculo del esfuerzo crítico (σ_{cr}), pero para esto debe determinar el factor λ que indica si es una columna corta-mediana o larga.

Ecuación 26. Factor Landa (λ) (columnas fijas).

$$\lambda = \frac{k \cdot l}{\pi \cdot r} * \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}}$$

Fuente: McCormac, Jack C. Diseño de estructuras de acero. 5 ed. México, 2012. p. 148. [Consultado: 9 octubre 2019]

Donde:

k : Factor de longitud efectiva

l : longitud de la columna

r : radio de giro minimo de la seccion transversal

σ_y : Esfuerzo de fluencia del material

E : Modulo de elasticidad del material

La longitud efectiva de la columna está dada por kl , que en este caso será de $2L$, ya que se asume como una columna con un extremo fijo y el otro libre (Ver anexo D).

Además, se deben tener en cuenta las características del perfil seleccionado, las cuales se muestran en la tabla 20.

Tabla 9. Selección del perfil estructural (Columna fija)

PERFIL RECTANGULAR														
TAMAÑO PERFIL		ESPESOR DE PARED e mm	PESO NEGRO (kg/m)	ÁREA cm ²	FLEXIÓN EJE X - X			FLEXIÓN EJE Y - Y			MÓDULO PLÁSTICO Zx cm ³	MÓDULO PLÁSTICO Zy cm ³	TORSIÓN	
TAMAÑO NOMINAL	PULG.				MM	MOMENTO INERCIA Ix cm ⁴	MÓDULO SECCIÓN Sx cm ³	RADIO DE GIRO rx cm	MOMENTO INERCIA Iy cm ⁴	MÓDULO ELÁST Sy cm ³			RADIO DE GIRO ry cm	MOMENTO INERCIA J cm ⁴
8x2 3/4	200 X 70	4,00 6,00	16,13 23,58	20,55 30,03	969,18 1.364,48	96,92 136,45	6,87 6,74	185,51 255,38	53,00 72,97	3,00 2,92	124,52 178,35	59,08 83,75	521,89 741,83	96,03 133,47

Fuente: Catalogo de perfiles estructurales tubulares. [En línea] Disponible en: <http://tuboscolmena.com/colmena/> Consultado 28 de octubre del 2019

Se realiza el cálculo del factor (λ)

$$\lambda = \frac{2 * 0.8995 \text{ m}}{\pi * 0.030 \text{ m}} * \sqrt{\frac{350 * 10^6 \text{ Pa}}{200 * 10^9 \text{ Pa}}}$$

$$\lambda = 0.7985$$

$$\lambda \leq 1.5 \rightarrow \text{Columna corta}$$

Una vez se determina que es una columna corta se realiza el cálculo del esfuerzo crítico.

$$\sigma_{cr} = (0.658^{\lambda^2}) * \sigma_y$$

$$\sigma_{cr} = (0.658^{(0.7985)^2}) * 350 * 10^6 Pa$$

$$\sigma_{cr} = 268.019 MPa$$

El área gross y el radio de giro mínimo del perfil vienen dados por el fabricante en el catálogo (Ver anexo B)

Ecuación 27. Área gross

$$Area\ gross = 20.55\ cm^2 * \frac{1m^2}{(100\ cm)^2} = 2.055 * 10^{-3}\ m^2$$

Fuente: elaboración propia, con base en. McCormac, Jack. C. Diseño de estructuras de acero. 5 ed. México, 2012. [Consultado: 9 octubre 2019]

$$r_y = 3.0\ cm \rightarrow r_{\min(\text{radio de giro mínimo})}$$

Se realiza el cálculo de la resistencia de diseño

$$Rd = \phi * A_g * \sigma_{cr}$$

$$Rd = (0.85) * (2.055 * 10^{-3} m^2) * (268.019 MPa)$$

$$Rd = 468162.1883\ N$$

Se evidencia el valor de la resistencia de diseño es mayor a la de la carga aplicada a la columna.

$$Rd \geq Q_D$$

$$468162.1883\ N \geq 7347.164\ N$$

De igual manera se realiza un chequeo por esbeltez

Chequeo por esbeltez:

Ecuación 28. Chequeo por esbeltez (columnas fijas)

$$\frac{KL}{r_{min}} \leq 200$$

Fuente: McCormac, Jack C. Diseño de estructuras de acero. 5 ed. México, 2012. p. 148. [Consultado: 9 octubre 2019]

$$\frac{2 * 0.8995 \text{ m}}{0.030 \text{ m}} = 59.97$$

$$59.97 \leq 200 \rightarrow \text{cumple}$$

3.2.2.4 Diseño de los refuerzos. Según el análisis de los nodos en el marco de la sección 3.2.2.1 se considera lo siguiente:

- Los refuerzos AD y CD están sometidos a una fuerza de 5493.13 N a compresión.
- Se asume un perfil tubular cuadrado de dimensiones (70x70 mm) con un área de $7.81 * 10^{-4} \text{ m}^2$ y 3 mm de espesor.

$$F_{AD} = F_{CD} \rightarrow 5493.13 \text{ N}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{5493.13 \text{ N}}{7.81 * 10^{-4} \text{ m}^2} = 70.33 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_y}{F.S} \rightarrow F.S = \frac{\sigma_y}{\sigma_{adm}}$$

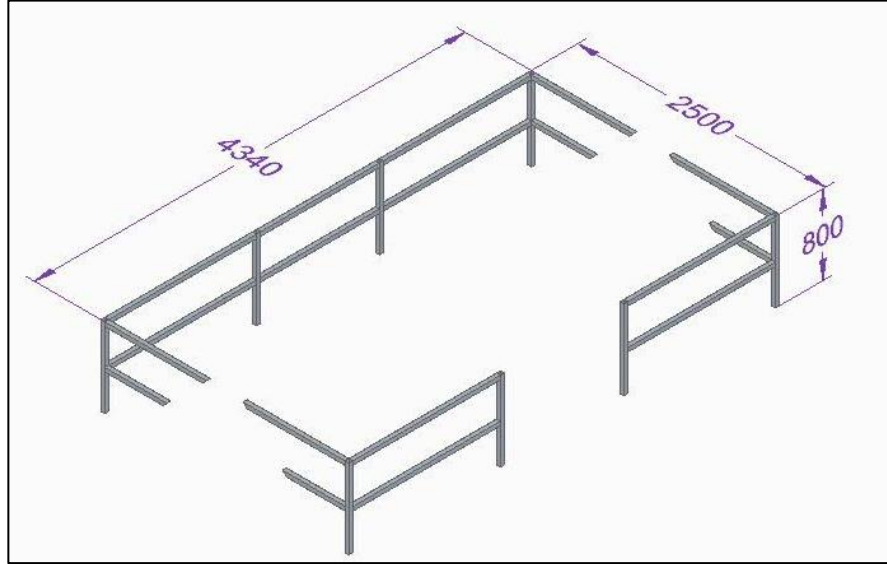
$$F.S = \frac{350 \text{ MPa}}{7.033 \text{ MPa}}$$

$$F.S = 49.76$$

3.2.2.5 Conjuntos estructurales complementarios. Estos elementos son parte de los requerimientos de diseño, mencionados en el capítulo número 2 del presente proyecto.

3.2.2.5.1 Conjunto de barandillas. El cual es un sistema de seguridad, para las personas que interactúen con la máquina simuladora.

Figura 41. Marco estructural de seguridad



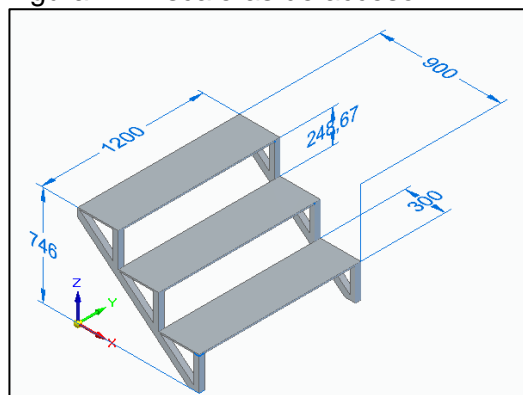
Fuente: elaboración propia

Este conjunto de barandillas tiene las siguientes características:

- Longitud: 4.340 m
- Altura: 0.8m
- Ancho: 2.5 m
- Está construida por perfiles estructurales de 40x40mm y 2.5mm de espesor.
- El peso aproximado de este conjunto es de 88 Kg.

3.2.2.5.2 Escaleras

Figura 42. Escaleras de acceso



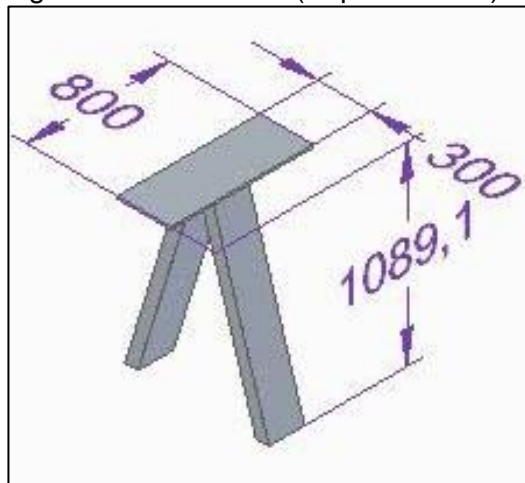
Fuente: elaboración propia

El simulador contara con una escalera removible, para el acceso al automóvil, que cumple con la **NTC 4145** que regula el diseño de escaleras en Colombia, este elemento tiene las siguientes características:

- Longitud: 1.2 m
- Altura: 0.746 m
- Ancho: 0.9 m
- Huella: 0.3 m
- Contrahuella: 0.24867 m
- Está construida por perfiles estructurales de 40x40mm y 2.5mm de espesor, y una placa diamantada de 3 mm de espesor.

3.2.2.5.3 Plataforma soporte motor

Figura 43. Plataforma (Soporte motor)



Fuente: elaboración propia

Este conjunto es el encargado del anclaje del motor, cuenta con las siguientes características:

- Está construida por 2 perfiles estructurales de 200x70 mm y 4mm de espesor, y una placa de acero de 800x30mm y 14 mm de espesor.
- La altura total es de 1.0891m, considerando que la posición del eje de salida del motor coincida con la del eje de acople a la estructura móvil.
- El peso aproximado de este conjunto es de 63.0112 Kg

3.2.2.5.4 Peso de la estructura fija y elemento estructurales complementarios. A continuación, se muestra una tabla con todos los componentes de la estructura, con su peso unitario y el peso total.

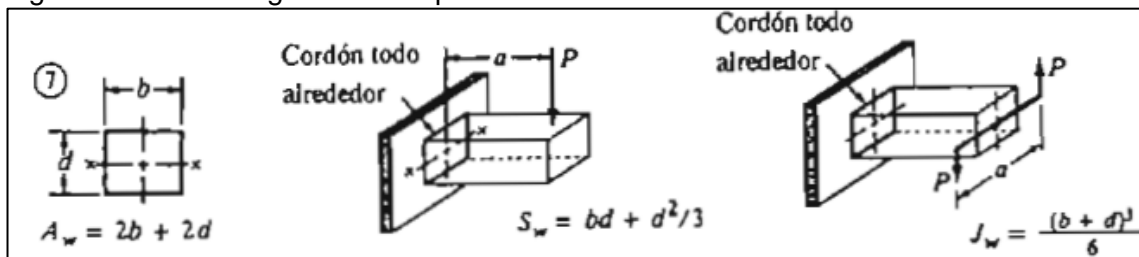
Tabla 10. Peso unitario y el peso total (Estructura fija)

Elemento	Cant	Perfil	Medida	Unidad de medida	Peso	Unidad de medida	Peso Unitario (Kg)	Peso Total (Kg)
Viga marco	2	200x70	2	m	16,13	Kg/m	32,26	64,52
Columna	2	200x70	0,8995	m	16,13	Kg/m	14,509	29,018
Refuerzo	4	70x70	1,268	m	6,13	Kg/m	7,773	31,091
Viga principal	2	200x70	4,34	m	16,13	Kg/m	70,004	140,008
Soporte eje	2	200x70	0,35	m	16,13	Kg/m	5,646	11,291
Gancho	1	200x70	5,386	m	16,13	Kg/m	86,876	86,876
Conjunto Barandillas	1	40x40	31,36	m	2,82	Kg/m	-	88,435
Soporte motor	1	-	-	-	-	-	-	63,011
Plataforma usuarios	2	Placa diamantada 3mm	2,2568	m ²	25,5	Kg/m ²	57,5484	115,097
Perfiles plataforma usuarios	1	40x40	19,92	m	2,82	Kg/m	-	56,174
PESO ESTRUCTURA FIJA Y ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS								685,522

Fuente: elaboración propia

3.2.2.6 Selección de la soldadura a utilizar en la estructura. La estructura requiere la aplicación de soldadura en elementos anteriormente calculados como lo son vigas, columnas y travesaños que componen el sistema fijo y móvil del simulador de vuelco, a efectos de calcular la correcta soldadura para el diseño propuesto, se debe establecer la soldadura más crítica a través de la flexión y la torsión presente en elemento de la figura 41. (Ver anexo J)

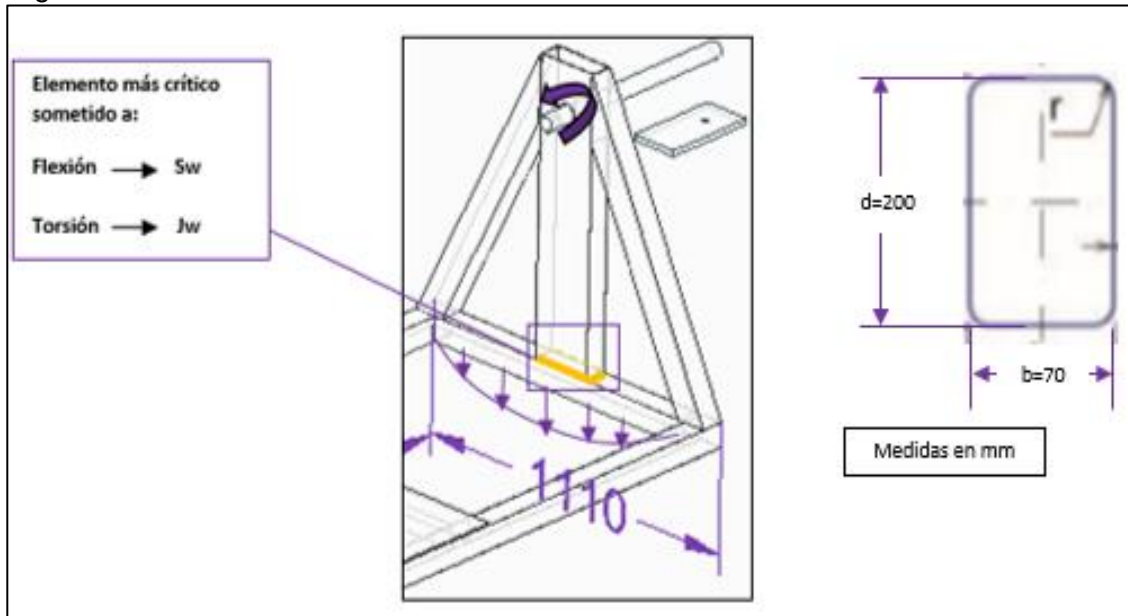
Figura 44. Factores geométricos para el análisis de soldaduras



Fuente: MOTT, Robert L. Diseño de Elementos de Máquinas. Pearson Educación: México, D.F., 4ta edición, 2006. ISBN 970-26-0812-0

Con los factores geométricos definidos y las dimensiones del perfil crítico establecidas, se realizan los respectivos cálculos para posteriormente seleccionar el electrodo y el tamaño de la soldadura según el espesor de la viga.

Figura 45. Cordón de soldadura “Cordón todo alrededor”



Fuente: elaboración propia con base en el programa Solid Edge versión 2019

Factor geométrico para flexión:

Ecuación 29. Factor geométrico para flexión

$$S_w = b \cdot d + \frac{d^2}{3}$$

Fuente: MOTT, Robert. En: Diseño de elementos de máquinas. 4ed. México, 2006. p. 788 [Consultado: 18 de octubre 2019]

$$S_w = 0.07m \cdot 0.2m + \frac{(0.2m)^2}{3}$$

$$S_w = 0.027333 m^2$$

A través de la siguiente ecuación, se establece la fuerza admisible por flexión

Ecuación 30. Fuerza admisible por flexión

$$F_f = \frac{M}{S_w}$$

Fuente: MOTT, Robert. En: Diseño de elementos de máquinas. 4ed. México, 2006. p. 789 [Consultado: 18 de octubre 2019]

donde:

M = Momento máximo sobre el punto a soldar

S_w = Factor geométrico para flexión

F_f = Fuerza admisible por flexión

$$F_f = \frac{759.276 \text{ Nm}}{0.027333 \text{ m}^2}$$

$$F_f = 27778.4 \text{ N/m}$$

Pasando la magnitud a lb/in

$$F_f = 27778.4 \text{ N/m} * \frac{1 \text{ lb}}{4.4482 \text{ N}} * \frac{1 \text{ m}}{39.37 \text{ in}}$$

$$F_f = 158.62 \text{ lb/in}$$

A través de la siguiente ecuación, se establece la fuerza debido al momento de torsión.

$$T = Q_d * L_{\text{brazo de torque}}$$

$$T = 6393.9032 \text{ N} \times 0.78 \text{ m}$$

$$T = 4987.24 \text{ Nm}$$

Factor geométrico para torsión:

Ecuación 31. Factor geométrico para torsión

$$J_w = \frac{(b + d)^3}{6}$$

Fuente: MOTT, Robert. En: Diseño de elementos de máquinas. 4ed. México, 2006. p. 788 [Consultado: 18 octubre 2019]

$$J_w = \frac{(0.07 \text{ m} + 0.2 \text{ m})^3}{6}$$

$$J_w = 0.003281 \text{ m}^3$$

A través de la siguiente ecuación, se establece la fuerza admisible por torsión

Ecuación 32. Fuerza admisible por torsión

$$F_t = \frac{T * c}{J_w}$$

Fuente: MOTT, Robert. En: Diseño de elementos de máquinas. 4ed. México, 2006. p. 789 [Consultado: 18 de octubre 2019]

$$F_t = \frac{4987.24 \text{ Nm} \cdot (0.1 \text{ m})}{0.003281 \text{ m}^3}$$

$$F_t = 152003.657 \text{ N/m}$$

Pasando la magnitud a lb/in

$$F_t = 152003.657 \text{ N/m} * \frac{1 \text{ lb}}{4.4482 \text{ N}} * \frac{1 \text{ m}}{39.37 \text{ in}}$$

$$F_t = 867.969 \text{ lb/in}$$

De acuerdo con la estática, la resultante de las componentes de la fuerza sería

$$F_R = \sqrt{F_f^2 + F_t^2}$$

$$F_R = \sqrt{158.62 \text{ lb/in}^2 + 867.969 \text{ lb/in}^2}$$

$$F_R = 882.344 \text{ lb/in}$$

3.2.2.6.1 Selección del electrodo y espesor de la soldadura

La figura 46 contiene datos sobre el esfuerzo cortante admisible y la fuerza admisible por pulgada, para algunas combinaciones de metal base y electrodo de soldadura (**E70**). (Ver Anexo K)

Figura 46. Fuerza admisible por pulgada de lado (**Electrodo E70**)

Grado ASTM del metal base	Electrodo	Esfuerzo cortante admisible	Fuerza admisible por pulgada de lado
Estructuras de edificios: A36, A441	E60	13 600 psi	9600 lb/pulg
A36, A441	E70	15 800 psi	11 200 lb/pulg
Estructuras de puentes A36	E60	12 400 psi	8800 lb/pulg
A441, A242	E70	14 700 psi	10 400 lb/pulg

Fuente: MOTT, Robert L. Diseño de Elementos de Máquinas. Pearson Educación: México, D.F., 4ta edición, 2006. ISBN 970-26-0812-0

El espesor de la soldadura se determina con el espesor de la viga.

Figura 47. Tamaños mínimos de cordón para placas gruesas

Espesor de la placa (pulg)	Tamaño máximo del lado, para soldaduras de chaflán (pulg)
$\leq 1/2$	3/16
$> 1/2 - 3/4$	1/4
$> 3/4 - 1\frac{1}{2}$	5/16
$> 1\frac{1}{2} - 2\frac{1}{4}$	3/8
$> 2\frac{1}{4} - 6$	1/2
> 6	5/8

Fuente: MOTT, Robert L. Diseño de Elementos de Máquinas. Pearson Educación: México, D.F., 4ta edición, 2006. ISBN 970-26-0812-0

Ya que el espesor de los elementos estructurales no supera la media pulgada, se selecciona una soldadura con un espesor máximo de:

$$t_{E.estructurales} \leq 1/2 \text{ in}$$

$$\text{Tamaño de la soldadura} \leq 3/16 \text{ in}$$

3.2.2.6.2 Comprobación por factor de seguridad

Según las características del electrodo seleccionado, se realiza el cálculo del factor de seguridad de la soldadura para la estructura metálica del simulador de vuelco.

$$F_s = \frac{F_{admisible}}{F_{calculado}}$$

donde:

F_{adm} = Fuerza admisible por longitud

F_{cal} = Fuerza admisible por longitud

F_s = Factor de seguridad

$$F_s = \frac{11200 \text{ lb/in}}{882.344 \text{ lb/in}}$$

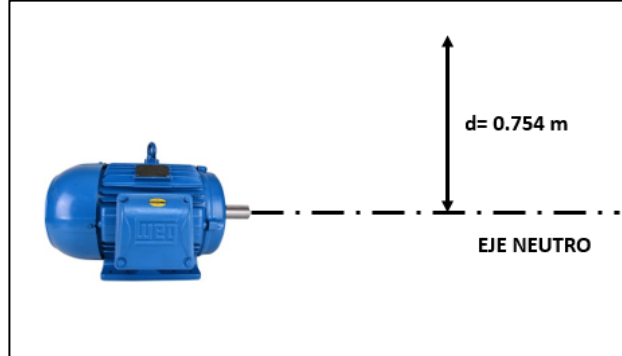
$$F_s = 12.69$$

3.3 DISEÑO DETALLADO DEL SUBSISTEMA MOTRIZ

A continuación, se realizan los cálculos y selección de los elementos que componen este subsistema, encargado de la generación del movimiento rotacional del conjunto móvil.

3.3.1 Cálculo de torque y potencia. El torque o par motor se calcula multiplicando la distancia a la fibra más lejana del sistema estructural móvil, medida desde el eje neutro del conjunto el cual coincide con el eje del motor y el centro de gravedad del vehículo, por la fuerza total generada de todo el conjunto.

Figura 48. Torque (máquina simuladora)



Fuente: elaboración propia, con base en MOTT, Robert L. Diseño de Elementos de Máquinas. Pearson Educación: México, D.F., 4ta edición, 2006. ISBN 970-26-0812-0

- Distancia máxima $d = 0.754 \text{ m}$
- Fuerza generada =

Masa automóvil:	820 kg
Masa usuarios:	200 kg
Masa estructura móvil:	162.010 kg
Masa Total	1182.01 kg

$$F = \text{masa} * \text{gravedad}$$

$$F = 1182.01 \text{ kg} * 9.8066 \text{ m/s}^2$$

$$F = 11591.5 \text{ N}$$

3.3.1.1 Cálculo del torque

Ecuación 33. Torque (**Sistema motriz**)

$$\text{Torque} = \text{Fuerza} * \text{Distancia}$$

Fuente: MOTT, Robert L. Diseño de Elementos de Máquinas. Pearson Educación: México, D.F., 4ta edición, 2006. ISBN 970-26-0812-0

$$\text{Torque} = 11591.5 \text{ N} * 0.754 \text{ m}$$

$$\text{Torque} = 8739.991 \text{ Nm}$$

3.3.1.2 Cálculo de la potencia

Ecuación 34. Potencia (Sistema motriz)

$$Potencia = Torque (Nm) * Velocidad angular \left(\frac{rad}{s} \right)$$

Fuente: MOTT, Robert L. Diseño de Elementos de Máquinas. Pearson Educación: México, D.F., 4ta edición, 2006. ISBN 970-26-0812-0

$$Potencia = 8739.991 \text{ Nm} * 10 \frac{rev}{min} * \left(\frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) = 99152.5 \text{ W}$$

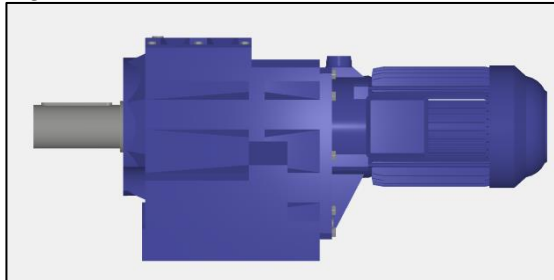
$$Potencia = 99152.5 \text{ W} * \frac{1 \text{ HP}}{745.7 \text{ W}} = 12.2736 \text{ HP}$$

3.3.2 Selección del motor. Se requiere un motor con reductor que cumpla los siguientes requerimientos

- Potencia $\geq 12.2736 \text{ HP}$
- Torque $\geq 8739.991 \text{ Nm}$
- Velocidad angular de salida $\geq 10 \frac{rev}{min}$

Con estos valores se entra al catálogo del fabricante Bauer (Ver anexo I), donde se selecciona un motorreductor de ejes coaxiales.

Figura 49. Motor Asíncrono BAUER



Fuente: BAUER [En línea] Disponible en: <https://www.bauergears.com/>

Especificaciones del motorreductor:

- Marca: Bauer
- Referencia: BG100/DSE16MA4
- Asíncrono
- Trifásico
- 220 V;60Hz
- AC (**Corriente alterna**)

- Potencia: 11 kW
- Torque: 9100 Nm
- Velocidad angular de salida: 11.5 rpm (revoluciones por minuto).

3.3.3 Cálculo del eje de transmisión. Se procede a realizar el diseño del eje de transmisión por medio del método ANSI B106.1 M – 1985 por resistencia a la fatiga.

Consideraciones:

- Se asume un acero AISI 1040 laminado en frío, $S_y = 490$ MPa (71 Ksi); $S_u = 590$ MPa (85 Ksi).
- La longitud total del eje es de 0.35 m
- La fuerza que soportara el eje será la carga del conjunto móvil dividida entre dos ya que existen dos ejes.

Se calcula la resistencia a la fatiga real estimada S'_n , por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación 35. Resistencia a la fatiga real

$$S'_n = S_n * C_m * C_{st} * C_r * C_s$$

Fuente: MOTT, Robert. En: Diseño de elementos de máquinas. 4ed. México, 2006. p. 298 [Consultado: 18 octubre 2019]

Donde:

S_n : Resistencia a la fatiga

C_m : Factor de material

C_{st} : Factor de tipo de esfuerzo

C_r : Factor de confiabilidad

C_s : factor de tamaño

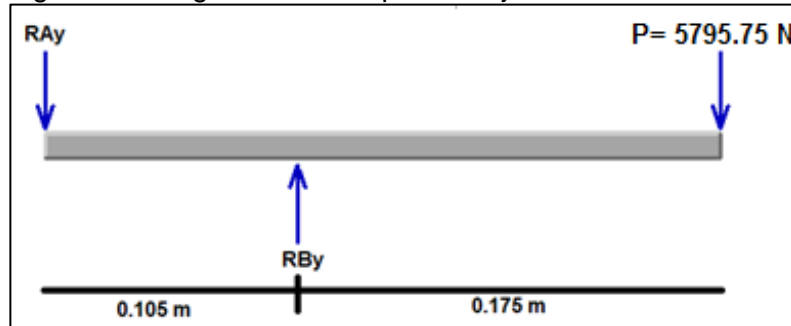
$$S'_n = 224.1 \text{ MPa} * (1.0) * (1.0) * (0.81) * (0.8)$$

$$S'_n = 145.2168 \text{ MPa}$$

Luego se deben especificar las fuerzas transmitidas al eje.

$$P = \frac{F}{2} = \frac{11591.5 \text{ N}}{2} = 5795.75 \text{ N}$$

Figura 50. Diagrama de cuerpo libre eje de transmisión



Fuente: elaboración propia

$$\sum_{FY} = 0$$

$$-R_{AY} + R_{BY} - 5795.75 \text{ N} = 0$$

$$\sum_{MA} = 0$$

$$R_{BY} * 0.105 \text{ m} - 5795.75 \text{ N} * 0.28 \text{ m} = 0$$

$$R_{BY} = \frac{5795.75 \text{ N} * 0.28 \text{ m}}{0.105 \text{ m}} = 15455.333 \text{ N}$$

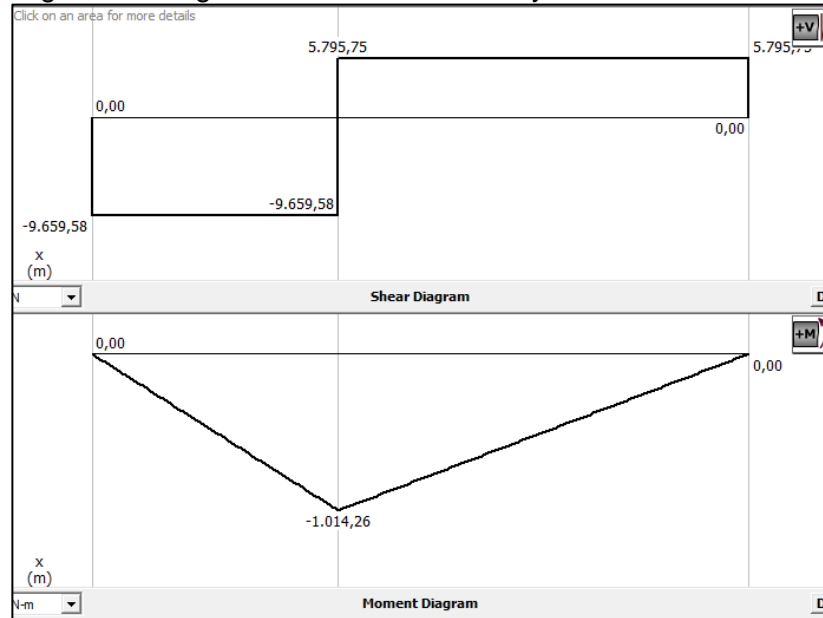
$$\sum_{FY} = 0$$

$$R_{AY} = 15455.333 \text{ N} - 5795.75 \text{ N}$$

$$R_{AY} = 9659.583 \text{ N}$$

Utilizando el software Mdsolid se realizan el diagrama de fuerza cortante y momento flector del eje de transmisión.

Figura 51. diagrama de fuerza cortante y momento flector



Fuente: elaboración propia

Del anterior diagrama se obtiene el momento máximo que es de 1014.26 Nm

Luego se procede a realizar el cálculo del diámetro mínimo del eje por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación 36. Diámetro mínimo del eje

$$D = \left[\frac{32 * N}{\pi} \sqrt{\left[\frac{Kt * M}{S'n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{T}{Sy} \right]^2} \right]^{1/3}$$

Fuente. elaboración propia, con base en. MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. 4 ed. México, 2006. p. 300 [Consultado: 9 octubre 2019].

Dónde:

N= Factor de seguridad

Kt= factor de concentración de esfuerzos

M= momento máximo

S'n = resistencia a la fatiga real estimada

T= torque

Sy= límite de fluencia del material

$$D = \left[\frac{32 * (2)}{\pi} \sqrt{\left[\frac{(1.5) * (1014.26 \text{ Nm})}{(145.2168 * 10^6 \text{ Pa})} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{(8739.991 \text{ Nm})}{(490 * 10^6 \text{ Pa})} \right]^2} \right]^{1/3}$$

$$D = 0.0724464778 \text{ m} = 72.4464778 \text{ mm}$$

Con base en las medidas de diámetros para unidades de rodamientos SKF, se determina que el diámetro nominal del eje debe ser de 75 mm, fabricado desde un tocho de 80 mm de acero AISI1040.

3.3.4 Selección de unidades de rodamientos.

Según el catálogo de productos SKF (Ver anexo), ya que los rodamientos estarán sometidos únicamente a cargas radiales y velocidad de operación no superara las 10 rpm, la selección se realiza utilizando la capacidad de carga estática.

Ecuación 37. Carga estática

$$C_o = S_o * P_o$$

Fuente. elaboración propia, con base en. MOTT, Robert. Diseño de elementos de máquinas. 4 ed. México, 2006. p. 579 [Consultado: 9 octubre 2019].

Donde:

C_o = Capacidad de carga estática (kN)

S_o = Factor de seguridad estática (Ver anexo)

P_o = Carga estática equivalente del rodamiento (kN)

Cálculo de la capacidad

$$C_o = 1.5 * 15455.333 \text{ N}$$

$$C_o = 23.182 \text{ kN}$$

Según el cálculo anterior se selecciona una unidad de rodamiento SKF de referencia **SYJ 75 TF** que tiene un soporte de referencia SYJ 515 y un rodamiento rígido de bolas de referencia **YAR 215 2F**.

Figura 52. Unidad de rodamiento SYJ 75 F

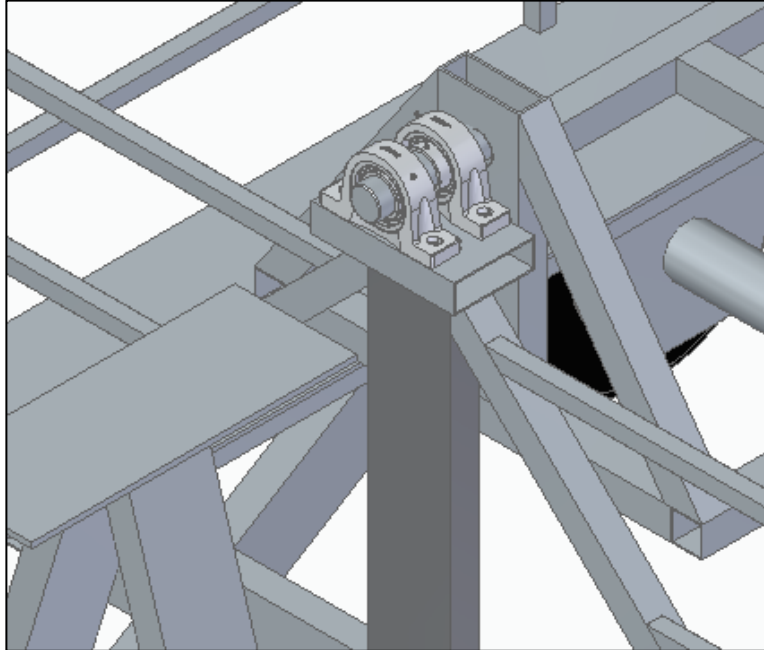


Fuente: Rodamientos SKF SJY 75F. [En línea] <https://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/bearing-units/ball-bearing-units/y-bearing-plummer-block-units/Y-units/index.html?designation=SYJ%2075%20> TF Consultado 22 de octubre del 2019

- Capacidad de carga dinámica básica: 66.3 kN
- Capacidad de carga estática básica: 49 kN
- Velocidad límite: 2600 rev/min

Con una unidad de rodamiento en cada extremo se garantiza el funcionamiento del simulador, pero para asegurar que los rodamientos del motor, no sean sometidos a fuerzas para las cuales no están diseñados, se agrega otra unidad de rodamiento en cada lado, fijada en el mismo soporte de eje de la estructura fija como se muestra en la siguiente imagen, y de esta manera reproducir un movimiento rotacional adecuado, que no afecte ningún elemento

Figura 53. Soportes de pie para el eje de potencia



Fuente: elaboración propia

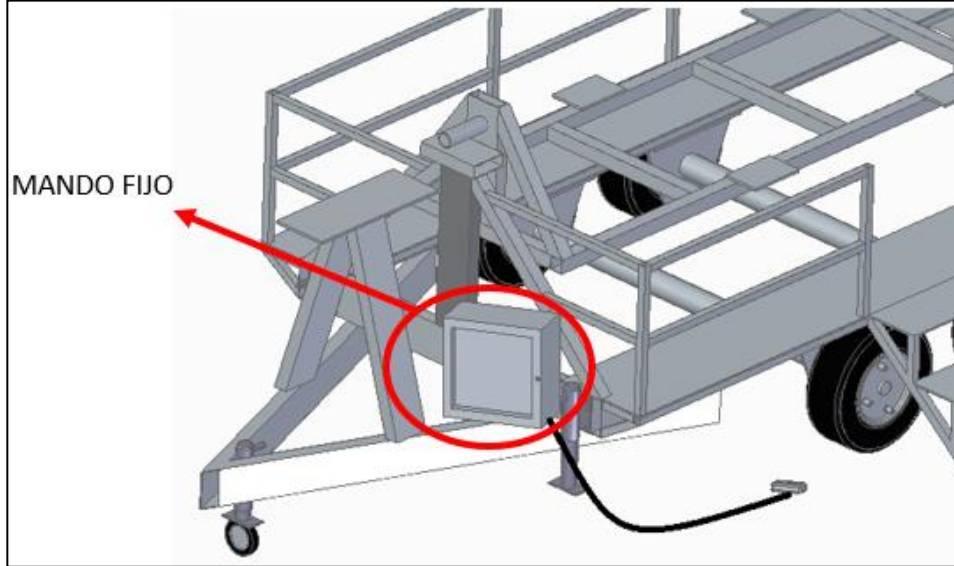
3.4 DISEÑO DETALLADO DEL SUBSISTEMA DE CONTROL.

Como su nombre lo indica el sistema de control del simulador de vuelco, es el encargado de controlar las variables de operación de la máquina, las cuales son el sentido de giro, y la velocidad de rotación del automóvil, para esto se contará con un mando fijo y un mando a distancia, con los diferentes elementos para garantizar un funcionamiento seguro, tanto para los operadores como para los usuarios.

3.4.1 Selección de la instrumentación básica para el simulador de vuelco.

3.4.1.1 Mando fijo. El simulador de vuelco contara con un mando fijo, ubicado en la estructura principal y que se compone de la siguiente instrumentación:

Figura 54. Mando fijo (Instrumentación y control)



Fuente: elaboración propia

- Interruptor general. Es el encargado de permitir el flujo de energía eléctrica hacia todos los demás componentes eléctricos del simulador.

Figura 55. Interruptor general



Fuente: MERCADO LIBRE interruptores. [En línea] Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-581926405-mas-025-a-interruptor-general-paro-de-emergencia-on-off-_JM
29 de octubre del 2019

- Pulsador para parada de emergencia con rearme por giro. Será el elemento encargado de detener completamente la operación del simulador en caso cualquier emergencia técnica, operacional o externa que impidan el buen desarrollo de la actividad.

Figura 56. Pulsador de emergencia



Fuente: CATALOGO DE MANDO Y SEÑALIZACIÓN. [En línea] <https://library.e.abb.com/public/26352578ada4d1d4c125793c003453da/Elementos.pdf> 29 de octubre del 2019

- Baliza de señalización **KSB** con luz de destellos. Este elemento se activará cuando el motor reductor esté funcionando.

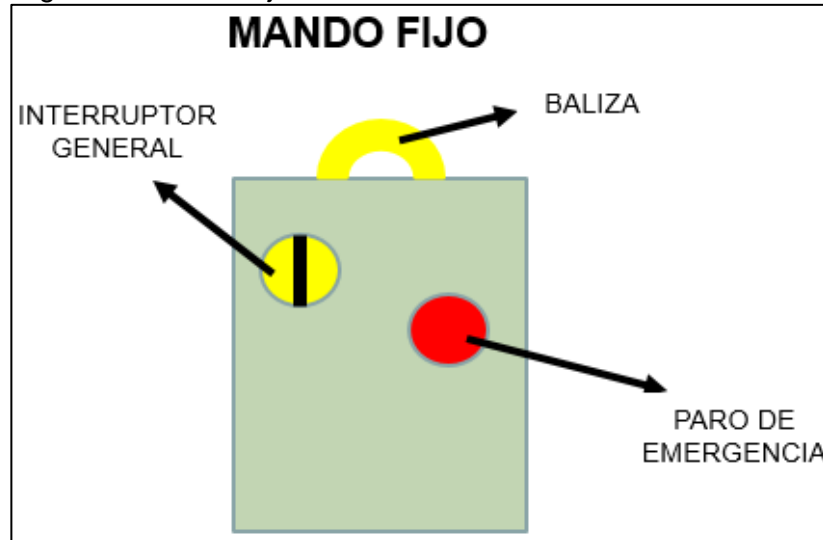
Figura 57. Baliza de señalización



Fuente: CATALOGO DE MANDO Y SEÑALIZACIÓN. [En línea] <https://library.e.abb.com/public/26352578ada4d1d4c125793c003453da/Elementos%20mando.pdf> de octubre del 2019

➤ Diagrama de distribución de la instrumentación del mando fijo

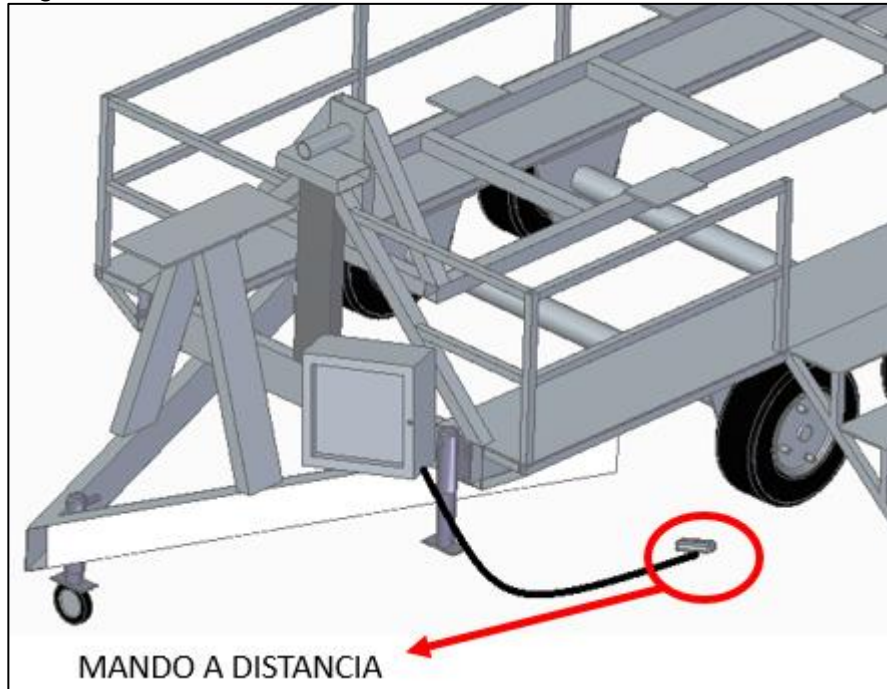
Figura 58. Mando fijo del sistema de control



Fuente: elaboración propia

3.4.1.2 Mando a distancia. El mando a distancia será una caja pequeña, que estará conectado al mando fijo, pero será portado y manipulado por el operador, desde el inicio hasta el final de la puesta en marcha del simulador.

Figura 59. Mando a distancia del sistema de control



Fuente: elaboración propia

El mando a distancia se compone de la siguiente instrumentación:

- Pulsador rasante. Este elemento será el encargado del accionamiento del moto reductor, resaltando que se debe mantener pulsado para que opere.

Figura 60. Pulsador rasante.



Fuente: CATALOGO DE MANDO Y SEÑALIZACIÓN. [En línea] <https://library.e.abb.com/public/26352578ada4d1d4c125793c003453da/Elementos%20mando.pdf> 29 de octubre del 2019

➤ Potenciómetro

Por medio de este elemento se activará el variador de frecuencia, que cumple la función de regular la velocidad de giro del automóvil.

Figura 61. Potenciómetro



Fuente: CATALOGO DE MANDO Y SEÑALIZACIÓN. [En línea] <https://library.e.abb.com/public/26352578ada4d1d4c125793c003453da/Elementos%20mando.pdf> 29 de octubre del 2019

- Pulsador para parada de emergencia con rearme por giro. Este elemento cumplirá la misma función del paro de emergencia del mando fijo.

Figura 62. Pulsador (emergencia)



Fuente: CATALOGO DE MANDO Y SEÑALIZACIÓN. [En línea] <https://library.e.abb.com/public/26352578ada4d1d4c125793c003453da/Elementos%20mando.pdf>
29 de octubre del 2019

- Luz piloto. Este elemento se activará en el mando a distancia, en señal de que el simulador está totalmente energizado.

Figura 63. Luz piloto



Fuente: CATALOGO DE MANDO Y SEÑALIZACIÓN. [En línea] <https://library.e.abb.com/public/26352578ada4d1d4c125793c003453da/Elementos%20mando.pdf>
29 de octubre del 2019

- Interruptor de codillo. Este elemento cumple una función muy importante la cual es controlar el sentido de giro del automóvil.

Figura 64. Interruptor (codillo)

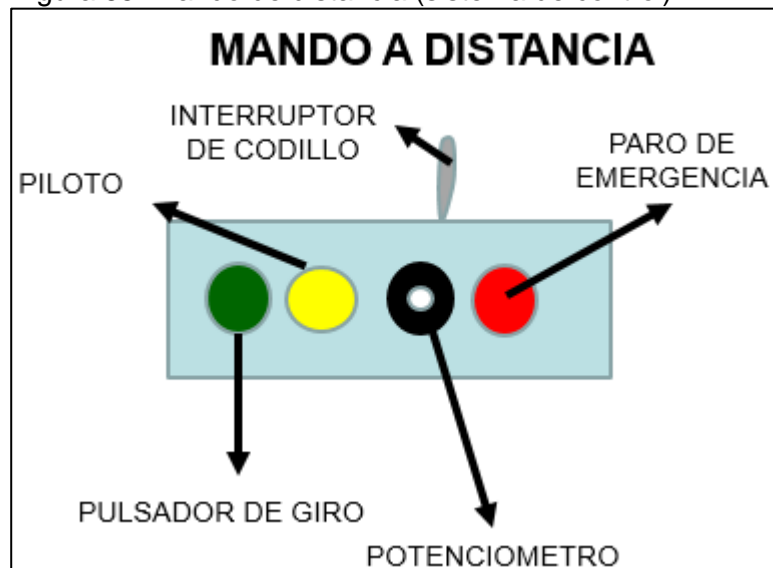


Fuente: CATALOGO DE MANDO Y SEÑALIZACIÓN. [En línea] <https://library.e.abn.com/public/26352578ada4d1d4c125793c003453da/Elementos%20mando.pdf> 29 de octubre del 2019

- Diagrama de distribución de la instrumentación del mando distancia

A continuación se presenta un esquema del sistema de control a distancia, con sus respectivos elementos y ubicaciones.

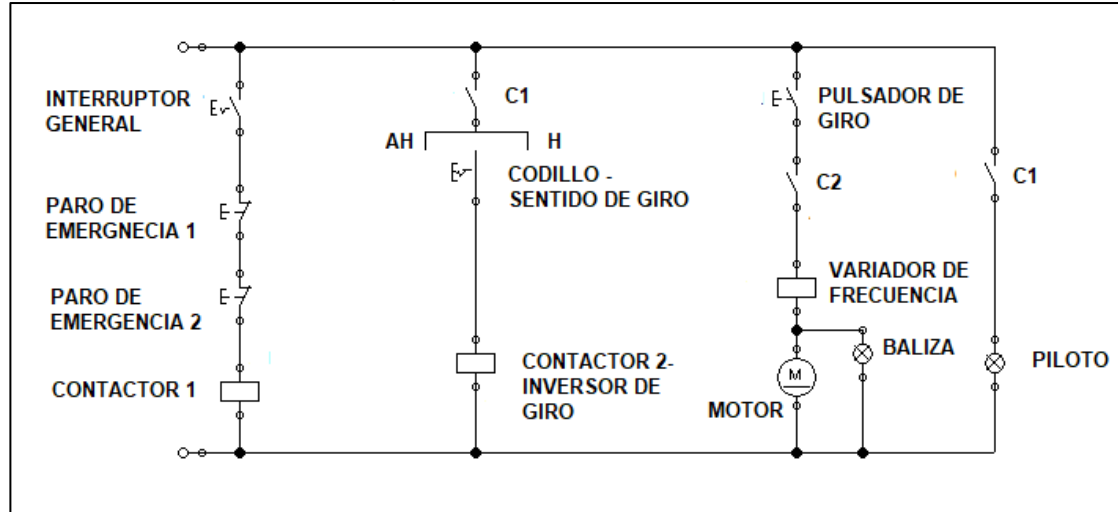
Figura 65. Mando de distancia (sistema de control)



Fuente: elaboración propia.

3.4.2 Circuito básico de funcionamiento. El siguiente gráfico representa el circuito básico de funcionamiento del simulador de vuelco

Gráfico 3. Circuito de control para el sistema de control



Fuente: elaboración propia

A continuación, se hace una breve descripción del funcionamiento del diagrama eléctrico:

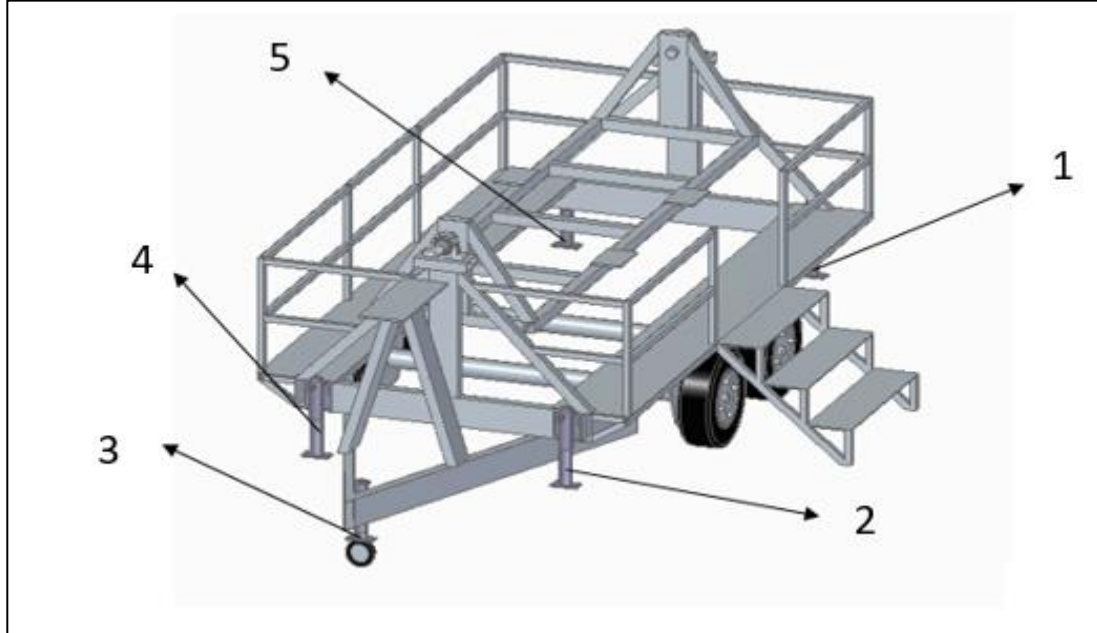
Se acciona el interruptor general, activando un contactor **C1** y por tanto se prende un piloto, seguido a esto mediante el interruptor de codillo se selecciona el sentido de giro, activando un contactor inversor de giro **C2**, luego mediante el pulsador de giro y con un valor de velocidad angular establecido y controlado por el variador de frecuencia, se activa el motor y la baliza.

3.5 DISEÑO DETALLADO DEL SUBSISTEMA DE NIVELACIÓN Y ANCLAJE.

A continuación, se realiza la selección de los elementos que componen este subsistema, encargados de regular la altura y además de funcionar como pilares de sustentación del simulador

3.5.1 Apoyos de nivelación. El simulador contará con 4 pies de apoyo fijos y 1 pie de apoyo con rueda, ubicados de manera que se distribuya equitativamente todas las cargas del simulador, como se muestra en la figura 66.

Figura 66. Ubicación de los apoyos fijos y de pie de apoyo con rueda



Fuente: elaboración propia con base en el programa Solid Edge versión 2019

Teniendo en cuenta que el peso del simulador es alrededor de **1700 kg**, se seleccionan los 4 pies de apoyo fijo con las siguientes características:

Figura 67. Apoyo fijo



Fuente: TU FERRETERIA – Gato nivelador [En línea]. [Consultado el 4 de noviembre del 2019]. Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-456146827-gato-nivelador-para-emolque-_JM/

Características

- Capacidad de levante: 900 kg (**2000 lb**)

- Longitud de recorrido: 254 mm (10 in)
- Longitud de retraída: 280 mm (11 in)
- Longitud extendida: 533 mm (21 in)
- Tipo de manivela: Costado del viento
- Placa soporte piso: 185 x 100 mm
- Tipo montaje: Unión soldada o por tornillo
- Altura de montaje: **162 mm**

Se seleccionan el pie de apoyo con rueda del fabricante RECHYER GUZMAN con las siguientes características:

Figura 68. Pie de apoyo (rueda)



Fuente: TU FERRETERIA – Gato de pie de apoyo [En línea]. Consultado el 4 de noviembre del 2019 Disponible en: <http://www.recyherguzman.com/herramientas-recambios-ver.php?idfamilia=36&recam=0>

- Referencia: 60812
- Dimensiones: 480x740 mm
- Carga máxima: 500 kg

La capacidad total de carga de los 5 apoyos es de **4100 kg**, suficiente para soportar el peso total del simulador.

3.5.2 Sistema de anclaje. Para el sistema de anclaje entre la estructura tipo remolque y el posible vehículo de transporte, se seleccionó un sistema de acople tipo bola, el cual tiene 3 componentes principales los cuales son:

Porta bola: Este elemento se acopla directamente al vehículo de transporte, este permite la fijación de la bola para remolque, tiene una capacidad de 2950 kg (**6500 lb**).

Bola: Se acopla en la porta bola que va fijado al vehículo de transporte.

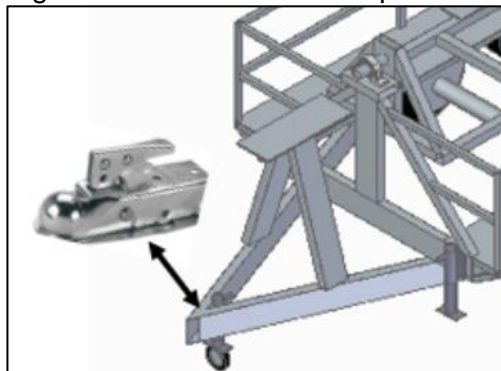
Figura 69. Porta bola y bola para remolque



Fuente: HUSKY 2" COUPLER [En línea]. Consultado el 4 de noviembre del 2019. Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-470160410-portabola-olengueta-bola-2-pulg-y-pin-con-llave-negro-ama-_JM.

Acoplador: Este elemento se ancla directamente a la estructura fija del simulador de vuelco, este permite la unión entre el remolque y el vehículo transportador, tiene capacidad para 2700 kg (**6000 lb**).

Figura 70. Ubicación del acoplador.



Fuente: elaboración propia

Figura 71. Acoplador tipo bola (6000 lb).



Fuente: HUSKY 2" COUPLER [En línea]. Consultado el 4 de noviembre del 2019. Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-513479610-husky-87076-2-bolas-3-anchos-6000-lbs-acoplador-recto-con-ca-_JM.)

3.6 DISEÑO DETALLADO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

A continuación, se realiza la selección de los elementos que permiten la movilización del simulador en conjunto.

3.6.1 Selección de las neumáticos y rines.

La referencia de un neumático indica los siguientes parámetros:

Figura 72. Referencias de una llanta



Fuente: NEUMARKET [En línea]. Consultado 19 de octubre de 2019. Disponible en: <https://www.neumarket.com/blog/como-leer-tus-llantas/>

Ancho de neumático
Perfil neumático
Construcción
Diámetro rin (pulgadas).
Índice de carga.
Índice de velocidad

Con base en lo anterior se selecciona un neumático del catálogo de neumáticos **DUNLOP** de referencia:

215/60 R16 95 H

Características del neumático:

- Ancho de neumático: 215 mm
- Perfil neumático: Relación de 60%
- Diámetro rin (pulgadas): 16 in
- Índice de carga (Ver anexo): 95 – 690 kg por neumático, Total 2760 kg
- Índice de velocidad (Ver anexo): H – Velocidad máxima 210 Km/h.

Se selecciona un rin convencional de 16 pulgadas de diámetro y 4 agujeros.

Figura 73. RIN convencional de 16”



Fuente: AMAZON COLOMBIA. Rin convencional. [En línea]. Consultado el 30 de octubre del 2019. Disponible en: <https://www.amazon.com/HondaCivicSteel14x55Wheel/dp/B016X4N03K>

3.6.2 Selección de elementos de señalización e iluminación.

La iluminación es parte esencial del simulador de vuelco, ya que este debe tener consigo una serie de luces tales como el stop, luces indicadoras, etc. Según lo menciona el código nacional de tránsito.

3.6.2.1 Luces indicativas de giro, pare y direccionales (tráiler). De acuerdo con el artículo 2 del Código nacional de tránsito **Ley 769 del 2002** y con base en la norma 1015 del ministerio de transporte, un tráiler debe tener al menos la siguiente señalización:

“Poseer luces que permitan a los vehículos que le preceden ver con facilidad el curso o la acción que el vehículo que arrastra el remolque va a tomar (luz de cocuyo, luz freno y direccionales)”

Las luces del vehículo y las luces del remolque van a funcionar simultáneamente ya que el simulador de vuelco solo se pondrá en movimiento cuando el vehículo de tracción lo hale.

Ya que la norma no es estricta con la utilización de algún sistema de luces en especial, se utilizó un sistema de luces integrado (**todo en 1**). Esto quiere decir que el mismo sistema de luces función para las 3 funciones que son de iluminación al frenar, colocar la direccional y la luz indicativa de dimensionamiento (cocuyo).

El sistema de luz, el cual viene 12 V, esto facilitando la instalación con el sistema de iluminación del vehículo, que viene al mismo voltaje.

Figura 74. Stop para remolque (x2)



Fuente: MERCADO LIBRE. 2 x 36 Led 12v Stop trasero cola inversa lámpara remolque. [En línea]. Consultado el 4 de noviembre del 2019 Disponible en https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-459175274-2-x-36-led-12v-stop-trasero-cola-inversa-lampara-remolque-_JM/

Ya que el sistema está integrado al sistema de iluminación del vehículo, este no requiere un sistema de control de luces independiente.

3.6.2.2 Conexión eléctrica (Entrada de energía eléctrica al simulador de vuelco). Para la conexión de energía eléctrica; el vehículo utilizado para transportar el simulador de vuelco, hará uso de una conexión de un cable siete vías, esto aprovecha una sola conexión para integrar todas las funciones requeridas como lo son: stop, cocuyo y direccional.

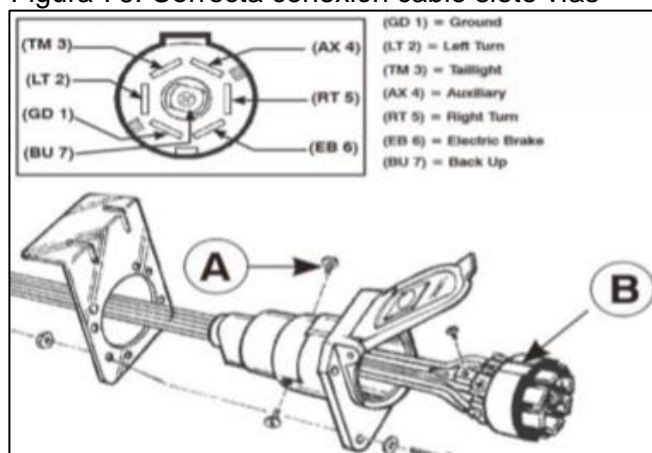
Figura 75. Conexión macho (7 vías)



Fuente: AMERLUJOS. CATALOGO. Cable 7 vías. [En línea]. Consultado el 4 de noviembre del 2019 Disponible en <https://amerlujos.com/grote/1293-cable-conector-7-vias-15.html>

La conexión del cable que debe tener tanto el vehículo que remolca como el simulador debe realizarse tal como se muestra en la figura 70.

Figura 76. Correcta conexión cable siete vías



Fuente. ALIEXPRESS. CONECTORES PARA CABLEVÍAS. Cable siete vías. [En línea]. consultado el 4 de noviembre del 2019. Disponible en: (<https://es.aliexpress.com/item/American-7Way-RV-Blade-Connector-12V-Car-Socket7-PIN->

El vehículo que remolca el simulador de vuelco debe contar con una conexión hembra de siete vías (hembra).

Figura 77. Conexión macho y hembra de siete vías



Fuente. MERLINSTREET. CATÁLOGO CONECTORES. Cable 7 vías. [En línea]. Consultado 3 de octubre del 2019. Disponible en: (http://ar.melinterest.com/?r=site/search&seller_id=180716589&seller_nickname=CYLGEM02). [Modificado por el autor. 25 de octubre del 2018]

3.6.3 Transporte del simulador. Con el fin de evitar posibles fallas o roturas en el conjunto estructural del simulador de vuelco, como consecuencia del estado irregular de las vías por donde se transportaría la máquina, y además en busca de prevenir accidentes de choque entre el simulador y el vehículo que lo remolque, debido a la inercia que puede ganar el conjunto en su movilización, se determina que el simulador de vuelco debe ser transportado por una grúa con plataforma (Cama baja) , con una capacidad de carga mínima de 2 TON y un área mínima de 15 m².

La capacidad de carga de la grúa, se basa en el peso del simulador en conjunto, como se describe a continuación:

Peso de la estructura móvil: 162.010 Kg

Peso de la estructura fija: 685.52241Kg

Peso del automóvil: 820 kg

Peso total del simulador de vuelco: 1667,53241 Kg \approx 1700 kg

Figura 78. Grúa con plataforma plana para transporte.



Fuente. HIDROAMERICA GRUAS. [En línea] Disponible en <http://hidroamerica.com.co/categoriaaproducto/6/GRUASnickname=CYLGEM02>. Modificado por el autor. 25 de octubre del 2018. [Consultado 4 de noviembre del 2019]

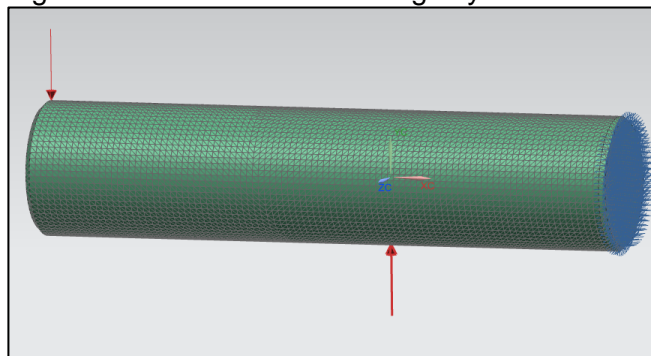
3.7 SIMULACIÓN POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS A LOS ELEMENTOS MÁS CRÍTICOS.

Por medio del uso del software **NX12** se realiza el análisis por el método de elementos finitos al eje de transmisión, donde la carga aplicada será el peso del conjunto móvil (*Estructura móvil, usuarios y automóvil*), ubicado en uno de sus extremos, teniendo en cuenta la reacción generada por el apoyo.

Es importante recordar que el eje está fabricado de un acero AISI 1040, cuyo límite de fluencia es de 415 MPa y resistencia última de 620 MPa

En la siguiente figura se muestran las cargas y restricciones a las cuales se encuentra sometida el eje.

Figura 79. Ubicación de las cargas y restricciones

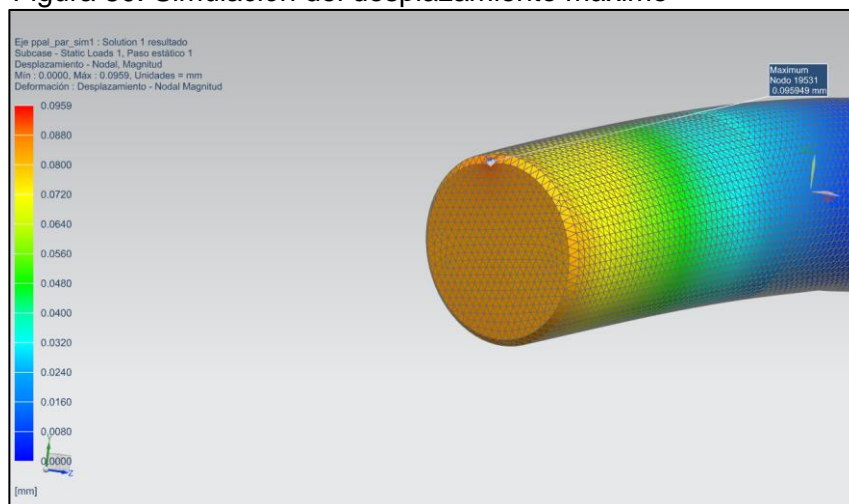


Fuente. elaboración propia con base en NX12

Una vez establecidas las restricciones y las cargas se realiza la simulación obteniendo los siguientes resultados.

3.7.1 Desplazamiento máximo.

Figura 80. Simulación del desplazamiento máximo

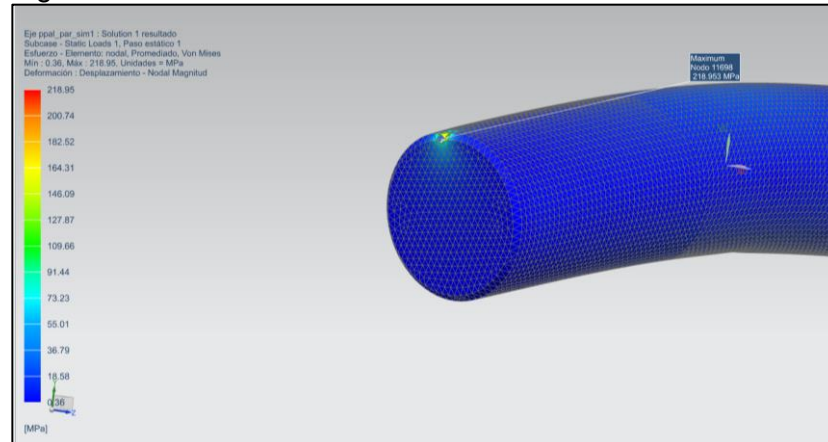


Fuente. elaboración propia con base en NX12

El desplazamiento máximo sobre el eje corresponde a un valor de 0.0959 mm en el plano YX

3.7.2 Esfuerzo Von Misses.

Figura 81. Simulación del esfuerzo de Von Mises



Fuente. elaboración propia con base en NX12

El esfuerzo de Von Mises sobre el eje corresponde a un valor de 218.953 MPa.

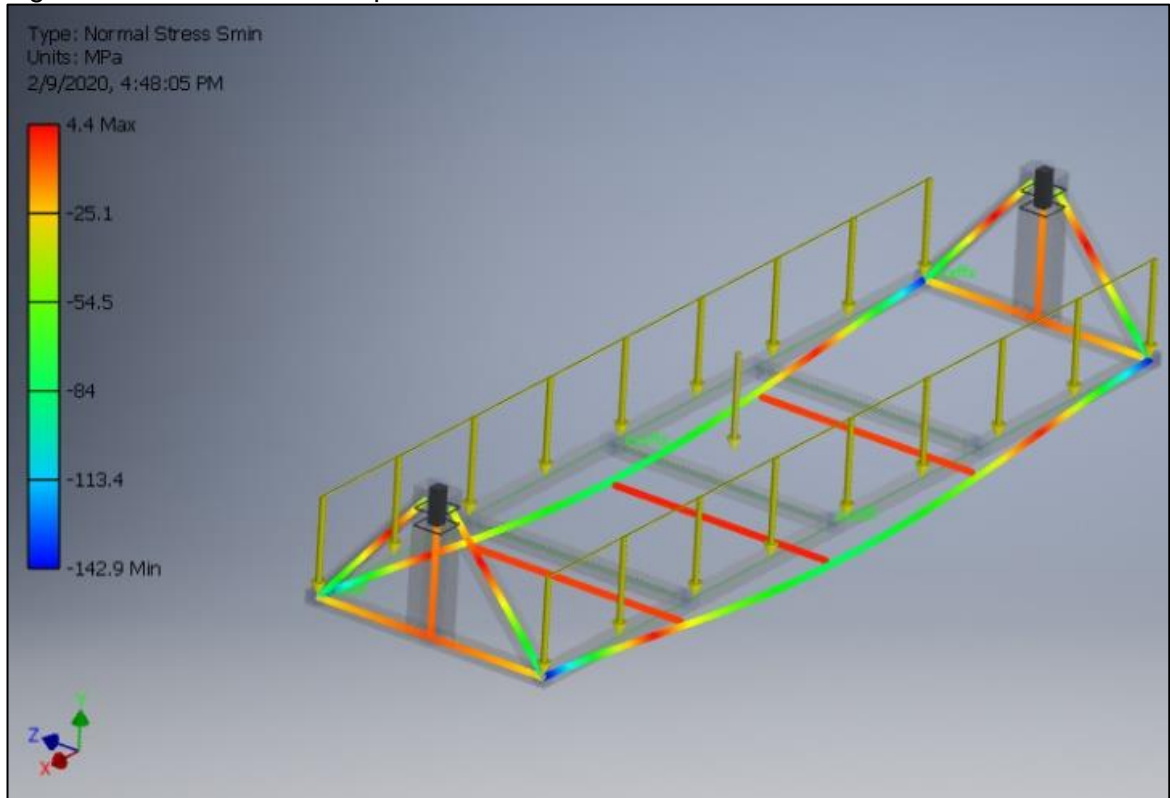
3.7.3 Factor de seguridad. Ahora se realiza la comprobación del factor de seguridad con el valor obtenido de esfuerzo de Von mises y el valor del límite de fluencia del material del eje.

$$F.S = \frac{\sigma_{fluencia}}{\sigma_{permisible}} = \frac{415 MPa}{218.953 MPa} = 1.8953$$

El factor de seguridad del eje corresponde a 1.8953, lo cual garantiza seguridad en el funcionamiento del sistema de transmisión de la máquina simuladora.

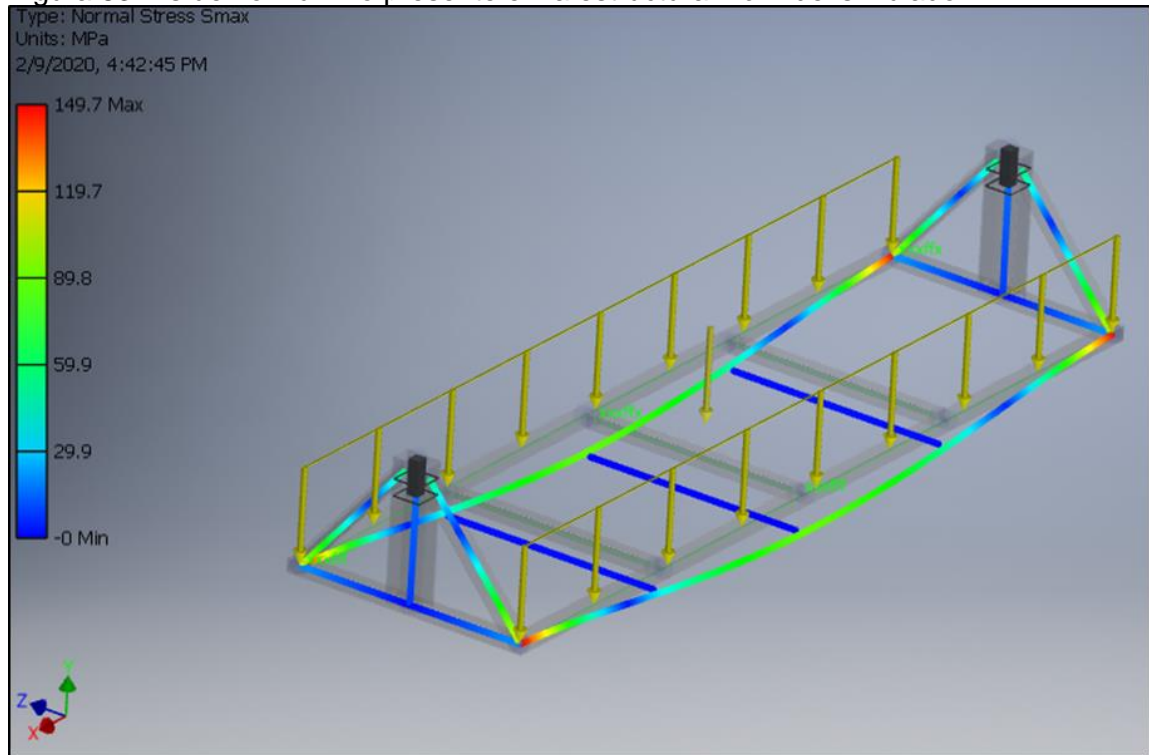
3.7.4 Verificación del factor de seguridad de la estructura móvil. Se realizó la simulación por elementos finitos mediante el uso del software **Autodesk Inventor Professional 2019** a la estructura móvil del simulador de vuelco, con el fin de verificar el cumplimiento de las sollicitaciones a las cuales será sometida y su factor de seguridad.

Figura 82. Esfuerzo mínimo presente en la estructura móvil del simulador



Fuente. elaboración propia con base en Inventor Professional 2019

Figura 83. Esfuerzo máximo presente en la estructura móvil del simulador



Fuente. elaboración propia con base en Inventor Professional 2019

En la simulación se tomaron las siguiente consideraciones:

Material de la estructura: **AISI A500 GRADO C** _____

Perfiles de la estructura:

Cuadro 17. Perfiles estructurales (Simulación vs Reales)

Elemento	Perfiles Simulados	Perfiles Seleccionados
Columnas (x2)	ISO 180 x 100 x 6	ISO 200 x 70 x 6
Vigas (x2)	ISO 70 x 70 x 3	ISO 75 x 75 x 3
Travesaños (x5)	ISO 70 x 70 x 3	ISO 75 x 75 x 3
Refuerzos (x4)	ISO 70 x 70 x 3	ISO 75 x 75 x 3

Fuente. elaboración propia con base en Inventor Professional 2019

Ahora se realiza la comprobación del factor de seguridad con el valor obtenido de esfuerzo máximo y el valor del límite de fluencia del material de la estructura móvil.

$$F.S = \frac{\sigma_{fluencia}}{\sigma_{permissible}} = \frac{350 \text{ MPa}}{149.700 \text{ MPa}} = 2.35$$

Con base en este valor de factor de seguridad, se garantiza que los cálculos desarrollados anteriormente para la selección de los perfiles estructurales que componen la estructura móvil, resistirán las cargas a la que estará sometida a lo largo de su vida útil.

De igual manera es importante recordar que en los cálculos analíticos desarrollados anteriormente para el sistema estructural y motriz, se tienen en cuenta el peso del automóvil con todos sus elementos, sin descontar el valor del peso de elementos con los que no contara y el cual es bastante representativo, además se utilizan combinaciones de carga establecidas en la norma NSR-10, que ayudan a aumentar el grado de resistencia real de la estructura, y cuenta con un factor de seguridad adecuado para la labor que llevara a cabo el simulador de vuelco.

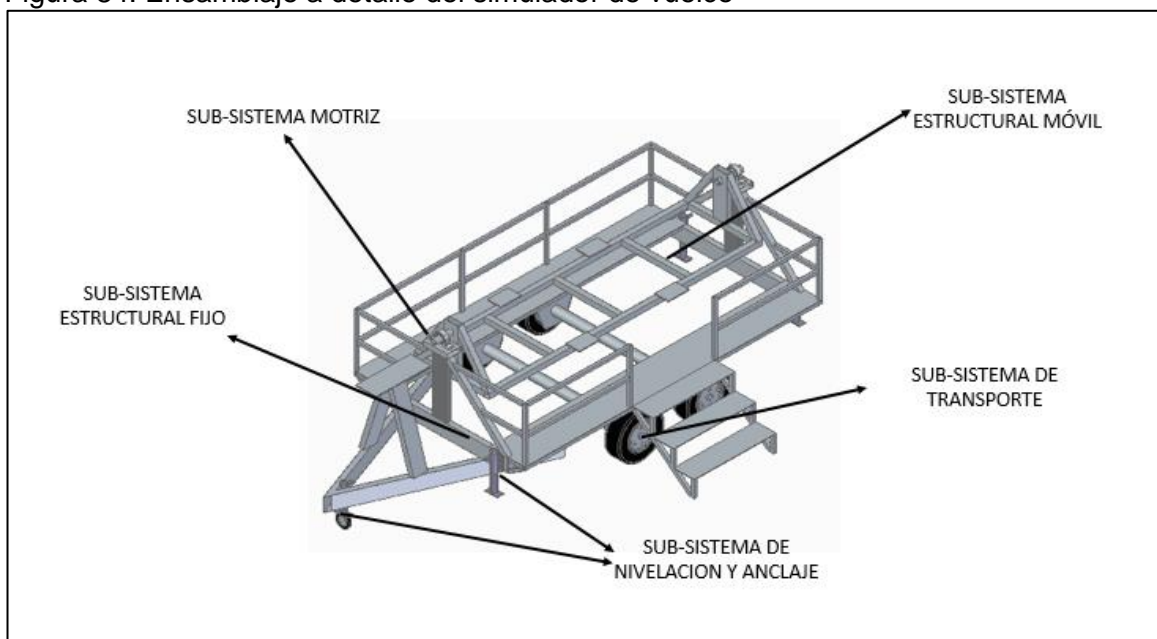
4. MANUALES DE MONTAJE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

En este capítulo se muestran los manuales específicos para el simulador de vuelco, tales como lo son:

- ✓ Montaje.
- ✓ Operación.
- ✓ Mantenimiento.

En la siguiente imagen se puede observar a detalle los subsistemas principales que componen el simulador de vuelco, con el objetivo de facilitar la lectura y entendimiento de los manuales que se presentan a continuación.

Figura 84. Ensamblaje a detalle del simulador de vuelco



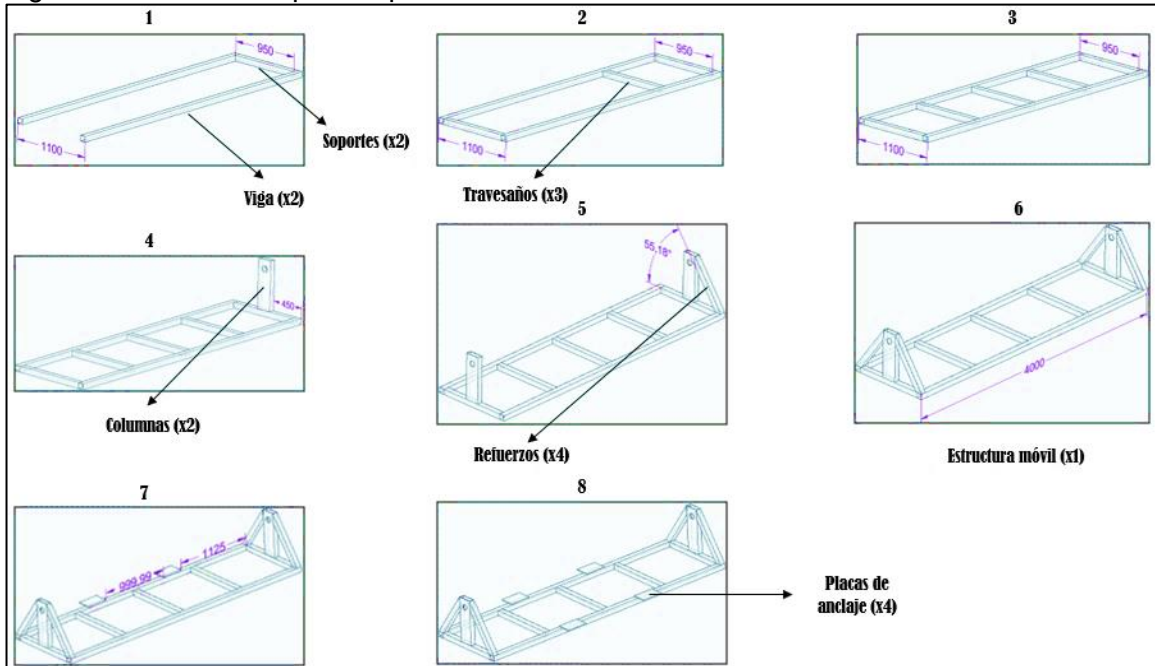
Fuente: elaboración propia

4.1 MANUAL DE MONTAJE

El manual de montaje de la máquina simuladora, muestra el paso a paso para la instalación de las estructuras móvil y fija respectivamente, seguido del orden lógico para el montaje de los diferentes subsistemas.

4.1.1 Instalación y/ ensamble del sistema estructural móvil. En la figura 96, se muestra el paso a paso para la instalación de los perfiles, travesaños, vigas, placas, columnas que conforman el sistema estructural móvil.

Figura 85. Instalación paso a paso del sistema estructural móvil



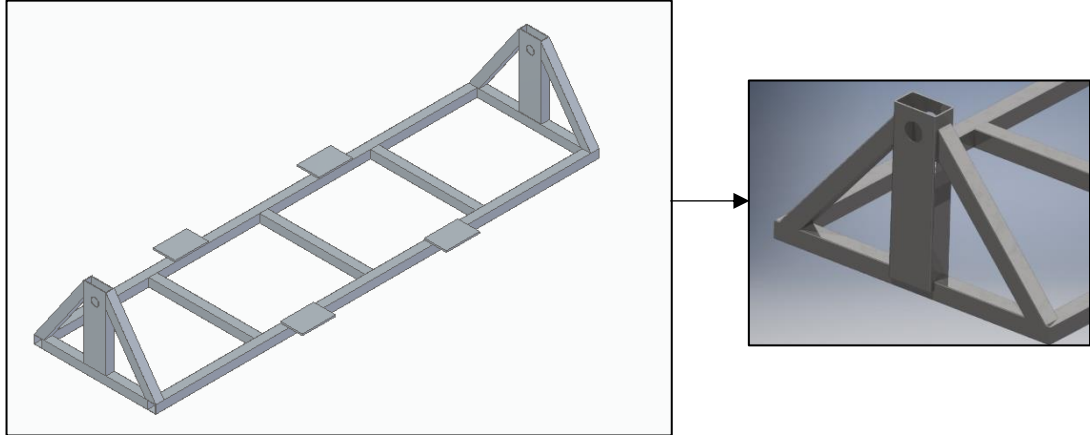
Fuente: elaboración propia

Cuadro 18. Paso a paso E. Móvil (ensamblaje)

No	Etapas
1	Soldar las dos (2) vigas estructurales a uno (1) de los soportes del marco (Ver planos).
2	Ensamblar los tres (3) travesaños al marco estructural según medidas (Ver planos).
3	Verificar que la estructura tenga la forma de la figura (3)
4	Soldar las dos (2) columnas estructurales a los soportes del marco perpendicularmente (ver planos).
5	Soldar los cuatro (4) refuerzos estructurales
6	Verificar que la estructura tenga la forma de la figura (6)
7	Soldar las cuatro (4) placas de anclaje a las vigas estructurales según medidas (Ver planos).
8	Verificar que la estructura tenga la forma de la figura (8)

Fuente: elaboración propia

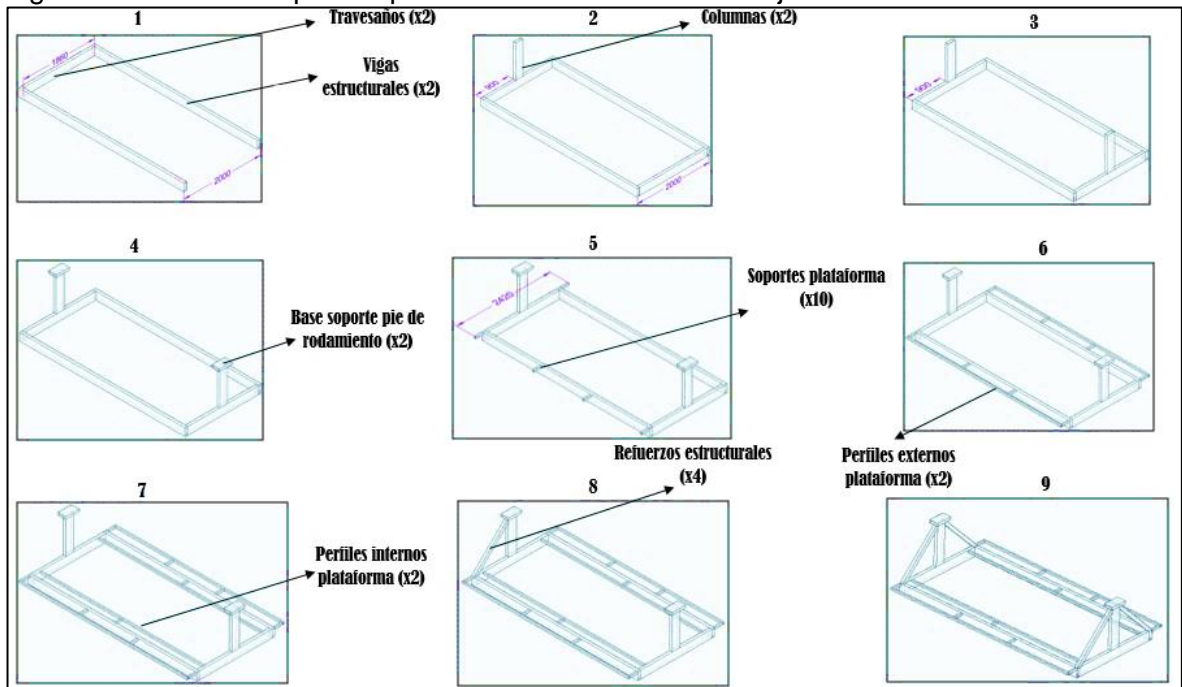
Figura 86. Estructura móvil (Ensamble final)



Fuente: elaboración propia

4.1.2 Instalación y/ ensamble del sistema estructural fijo. En la figura 97, se muestra el paso a paso para la instalación de los perfiles, travesaños, vigas, columnas y soportes que conforman el sistema estructural fija.

Figura 87. Instalación paso a paso del sistema estructural fijo



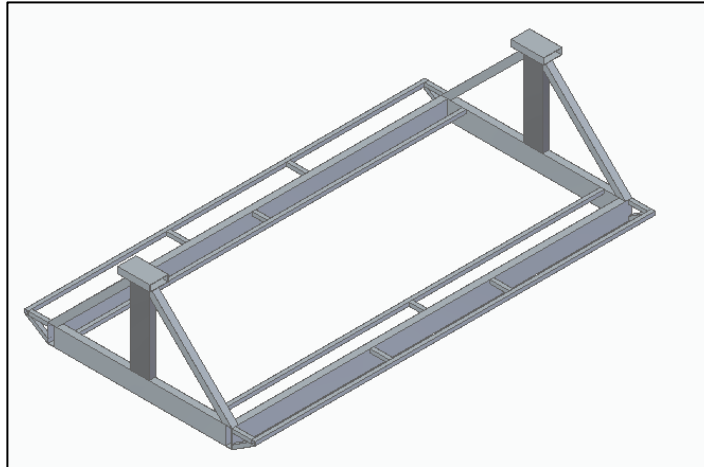
Fuente: elaboración propia

Cuadro 19. Paso a paso E. Fija (ensamblaje)

No	Etapas
1	Soldar las dos (2) vigas estructurales a uno (1) de los travesaños del marco (Ver planos).
2	Soldar las dos (2) columnas estructurales a los travesaños del marco perpendicularmente (ver planos).
3	Verificar que la estructura tenga la forma de la figura (3)
4	Soldar los dos (2) soportes pie de rodamiento en la base superior de las columnas (ver planos).
5	Ensamblar los (10) soportes plataforma según medidas (Ver planos).
6	Soldar los dos (2) perfiles externos plataforma
7	Ensamblar y soldar los dos (2) perfiles internos plataforma (Ver planos).
8	Soldar los cuatro (4) refuerzos estructurales según dimensiones (Ver planos).
9	Verificar que la estructura tenga la forma de la figura (9)

Fuente: elaboración propia

Figura 88. Estructura fija (Ensamble parcial)

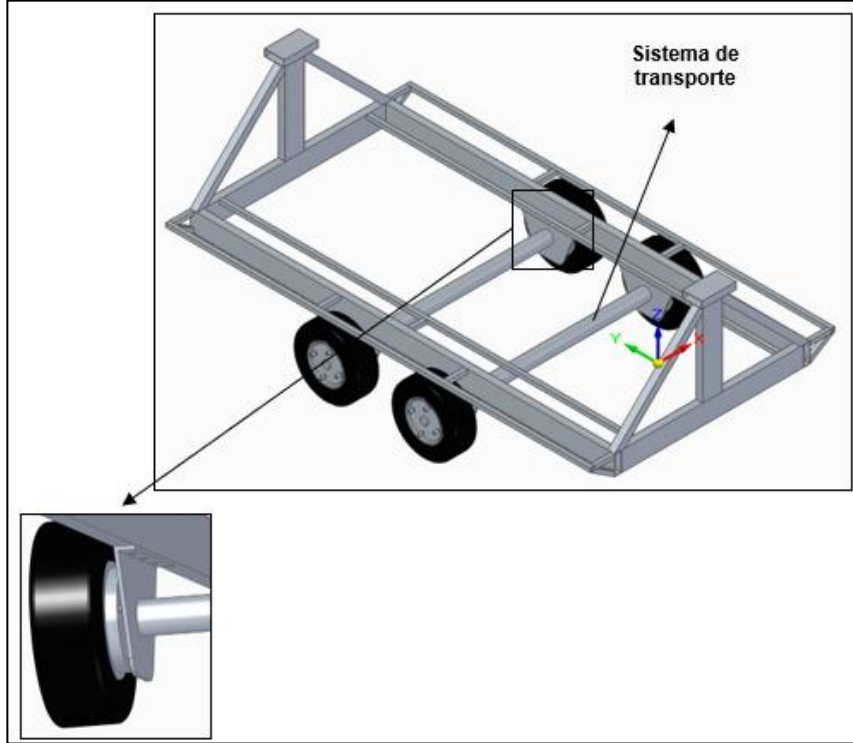


Fuente: elaboración propia

A continuación, se muestran los sistemas ensamblados uno a uno, en el orden lógico que se debe montar el sistema para su ensamble final, una vez se tienen las dos estructuras anteriormente descritas en el paso a paso.

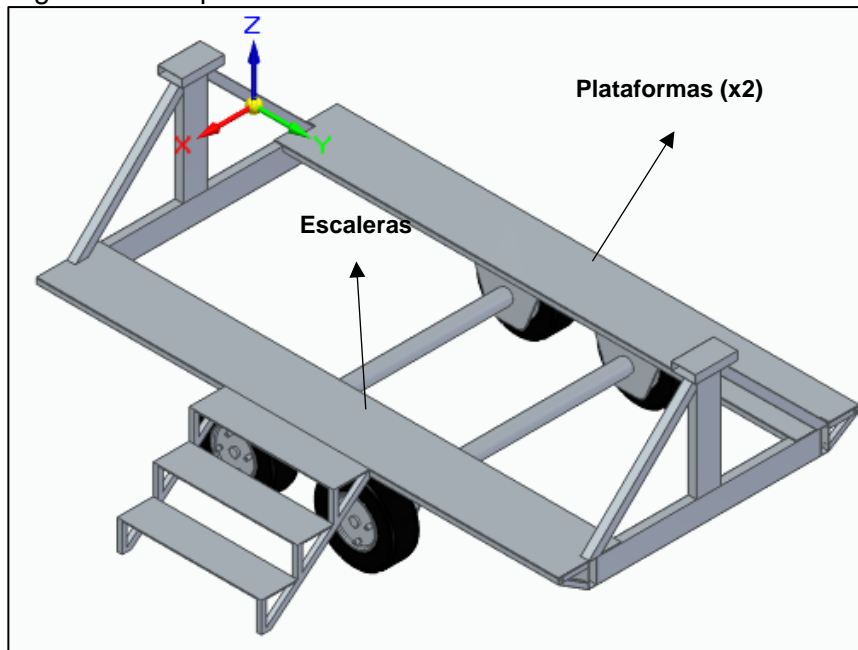
4.1.3 Ensamble del sistema de transporte al sistema estructural fijo. En las figuras se muestra el ensamblaje del subsistema de transporte (llantas), al sistema estructural fijo.

Figura 89. Sistema estructural fijo con las llantas



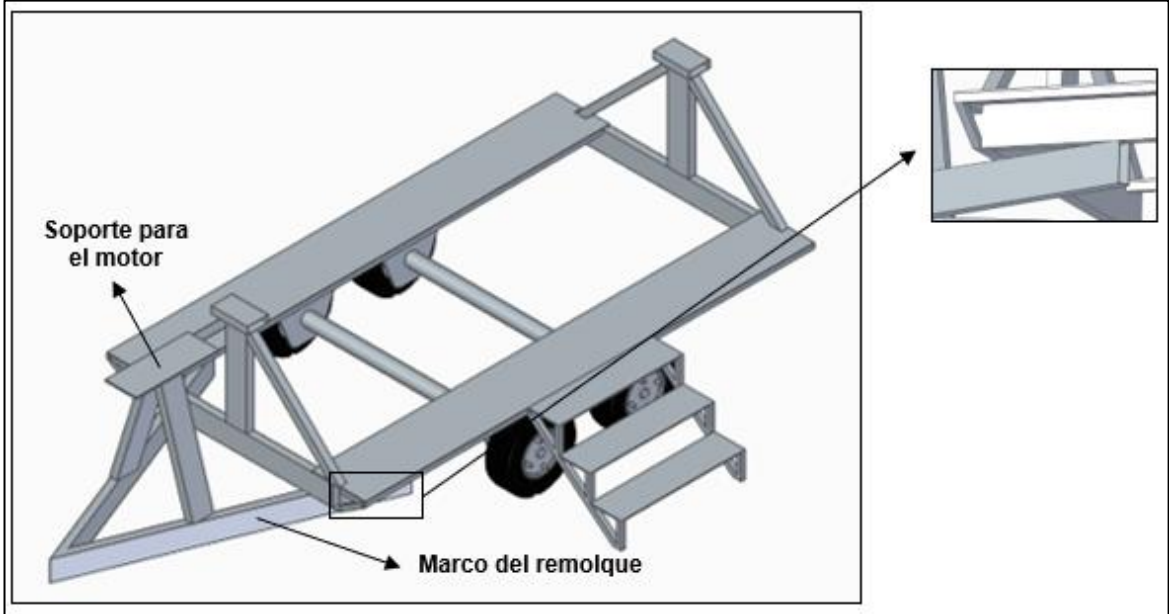
Fuente: elaboración propia

Figura 90. Acoplamiento de las escaleras



Fuente: elaboración propia

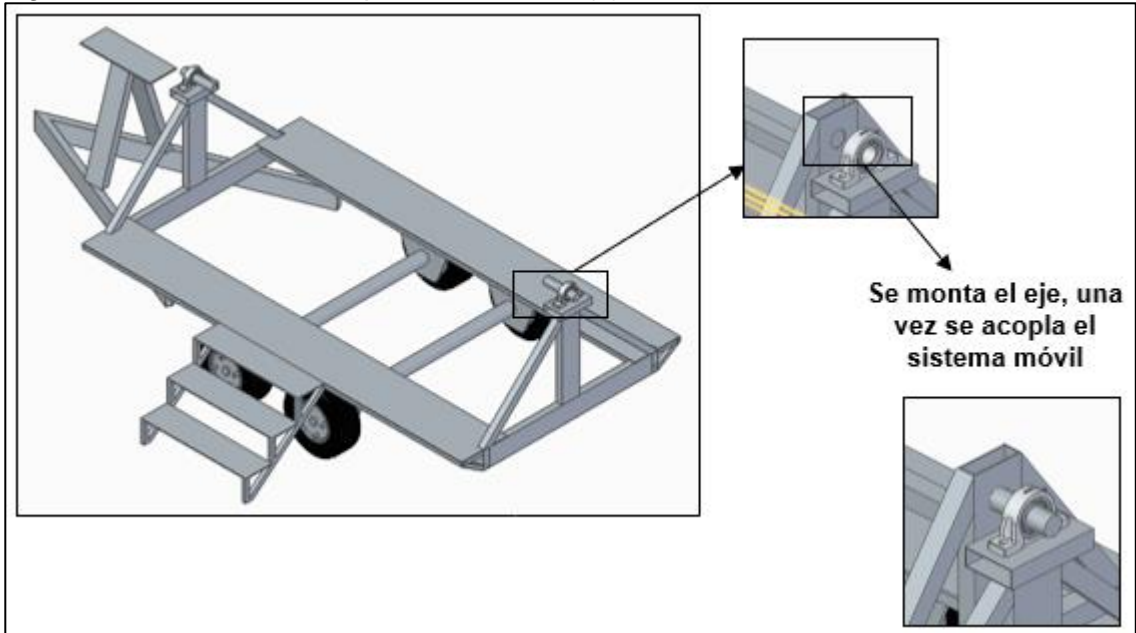
Figura 91. Ensamble 3: Acoplamiento del soporte y el marco del remolque



Fuente: elaboración propia

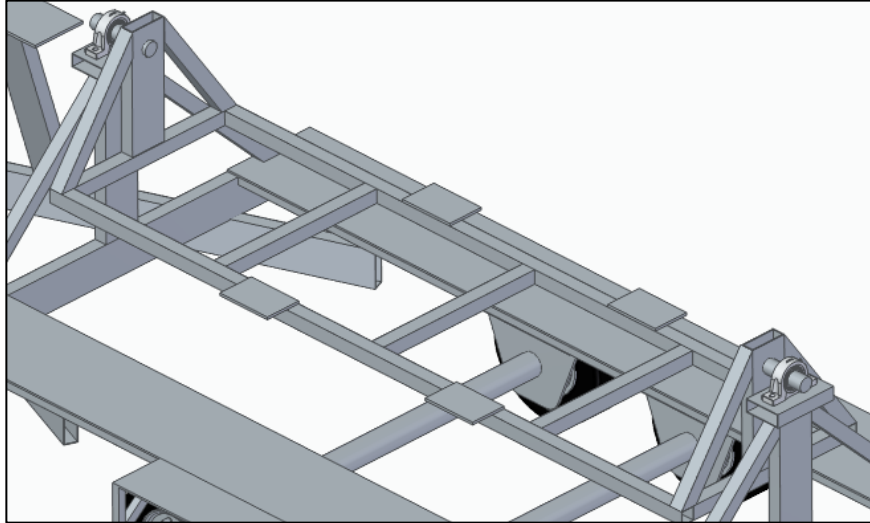
4.1.4 Ensamble del sistema de estructural móvil al sistema estructural fijo

Figura 92. Ensamble 4: Acoplamiento de los (2) sistemas estructurales



Fuente: elaboración propia

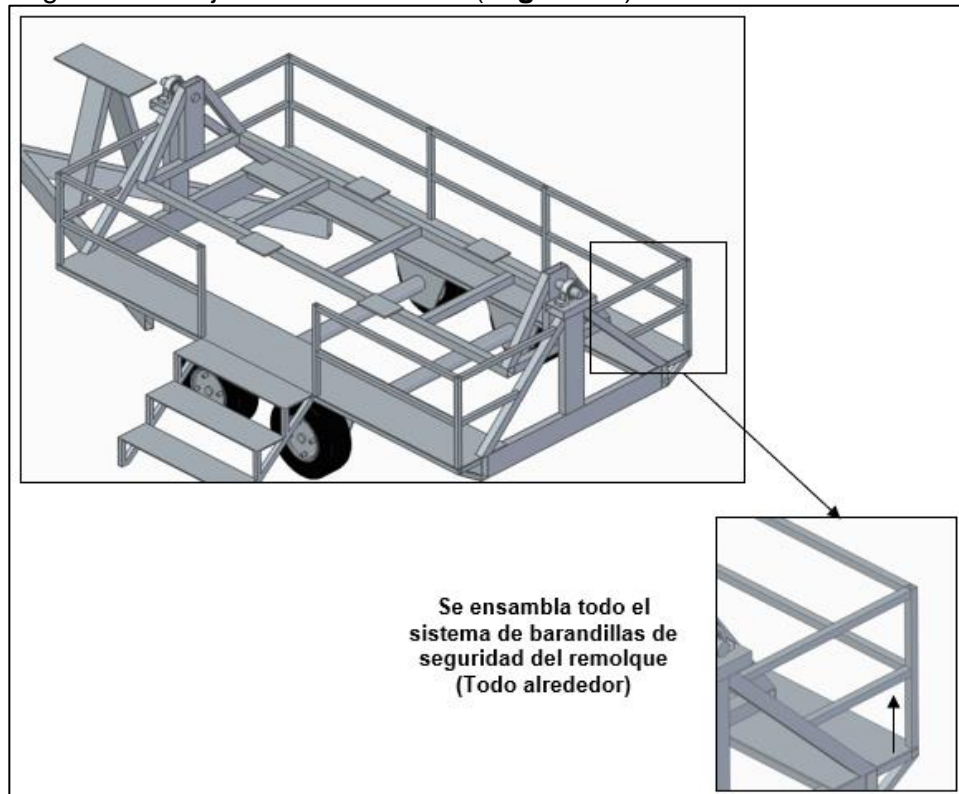
Figura 93. Vista general de las dos (2) estructuras ensambladas



Fuente: elaboración propia

4.1.5 Ensamble del sistema de barandillas de seguridad

Figura 94. Conjunto de barandillas (**seguridad**)



Fuente: elaboración propia

4.2 MANUAL DE OPERACIÓN

El simulador de vuelco es una máquina que genera la rotación de una estructura móvil, a la cual va anclada una carrocería de un automóvil compacto, soportada sobre una estructura tipo remolque. Por sus características de funcionamiento y transporte, a continuación, se relacionan las operaciones a tener en cuenta.

4.2.1 Transporte. Las operaciones a tener en cuenta en el transporte del simulador de vuelco son las siguientes:

Cuadro 20. Manual de operación (Transporte)

Descripción
Por medio del mecanismo de halado de la grúa, posicionar el simulador dentro de la plataforma de la misma.
Asegurar el simulador a la plataforma de la grúa.
Una vez localizados en lugar de operación, realizar la liberación de los seguros a la cama baja, y por medio del mecanismo de halado ubicar el simulador en el punto específico de operación.

Fuente: elaboración propia con base en la información suministrada por la empresa cinfoval s.a.s

4.2.2 Pre-operación del simulador. Una vez se realiza la labor de transporte hasta el lugar objetivo, se deben llevar a cabo las siguientes operaciones antes de poner en funcionamiento el simulador.

Cuadro 21. Manual de operación (Pre-operación)

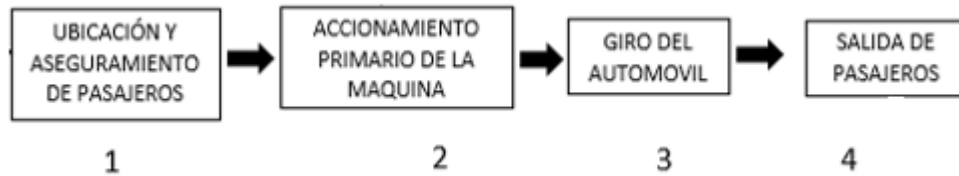
Descripción
Realizar un cercamiento por todo el perímetro del lugar de operación. (Nota: El lugar de operación debe tener una superficie plana de por lo menos 20 m²).
Verificar que el simulador se encuentre totalmente alineado, de lo contrario por medio de los 5 apoyos realizar la correcta alineación de este.
Posicionar unos tacos en la base de cada llanta del simulador.
Energizar el simulador y comprobar el correcto funcionamiento de todas las operaciones.
Posicionar el automóvil del simulador, totalmente paralelo al sistema estructural.

Fuente: elaboración propia con base en la información suministrada por la empresa cinfoval s.a.s

4.2.3 Operación de la máquina (Etapas de funcionamiento).

La operación de la maquina se basa en las siguientes etapas.

Gráfico 4. Etapas de funcionamiento



Fuente: elaboración propia

4.2.4 Aseguramiento.

Cuadro 22. Manual de operación (Aseguramiento)

Descripción
Realizar el ascenso y seguida ubicación de los dos usuarios a las sillas delanteras del automóvil.
Abrochar los cinturones de seguridad de tal manera que los sistemas de retención y apriete, ajusten de manera adecuada.
(Nota: Verificar que los cinturones de seguridad no presenten anomalías)
Cerrar las puertas del auto compacto.

Fuente: elaboración propia con base en la información suministrada por la empresa cinfoval s.a.s

4.2.5 Accionamiento primario. Este es una de las etapas más críticas, ya que es la puesta en marcha de la maquina con los usuarios dentro del automóvil, por lo que se debe iniciar con los valores más bajos de operación.

Cuadro 23. Manual de operación (Accionamiento primario)

Descripción
Establecer los valores de operación iniciales (velocidad angular y sentido de giro) desde el mando de control a distancia.
(Nota: se recomienda comenzar con una velocidad angular: 1 rpm; Sentido de giro opcional)
Una vez establecidas las variables primarias de operación, se da inicio al movimiento rotacional del automóvil, mediante la pulsación del botón de rotación ubicado en el mando a distancia. (Nota: Se debe mantener pulsado para que el automóvil rote).

Fuente: elaboración propia con base en la información suministrada por la empresa cinfoval s.a.s

4.2.6 Rotación. Observación: El tiempo máximo por demostración o prueba será de 10 minutos.

Cuadro 24. Manual de operación (Rotación "vuelco")

Descripción
Se regula gradualmente la velocidad de rotación del auto a partir del potenciómetro ubicado en el mando a distancia. (Nota: Se debe regular de manera progresiva)
Se varía el sentido de giro del automóvil desde el interruptor de codillo ubicado en el mando a distancia.
Se realizan distintas combinaciones de velocidad y sentido de giro.

Fuente: elaboración propia con base en la información suministrada por la empresa cinfoval s.a.s

(Nota: Se cambia el sentido de rotación, una vez se hayan completado 3 vueltas (3 x 360) completas del automóvil, en este intervalo se podrá variar la velocidad de rotación máximo 3 veces).

4.2.7 Salida.

Cuadro 25. Manual de operación (Salida)

Descripción
Una vez se haya completado el ciclo completo de simulación, el operario debe de garantizar que el automóvil se encuentre en una posición de 0 grados respecto a la estructura fija.
Se verifica que el simulador este en una posición de descenso segura, y se acciona el pulsador de emergencia del mando a distancia.
Se abren las puertas del automóvil compacto, se procede a desabrochar los cinturones de seguridad de los dos (2) usuarios, y se permite su descenso del simulador.

Fuente: elaboración propia con base en la información suministrada por la empresa cinfoval s.a.s

4.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO

Este manual cuenta con las actividades de mantenimiento preventivo que se deben aplicar periódicamente a cada elemento, de cada subsistema del simulador, todo con el objetivo de garantizar un óptimo funcionamiento, y durabilidad de sus componentes; También cuenta con una tabla de las posibles fallas que se pueden presentar, la actividad a realizar y los recursos necesarios para ejecutarla.

4.3.1 Mantenimiento preventivo. En la tabla se presenta la inspección que se debe realizar, con base al tipo de subsistema que componen el simulador de vuelco, además de la falla y la periodicidad en la que se debe realizar la respectiva inspección.

Cuadro 26. Mantenimiento preventivo (Simulador de vuelco)

SUBSISTEMA	ELEMENTO	INSPECCION	FALLA	PERIODICIDAD		
ESTRUCTURAL	Perfiles	1. Verificar que no haya presencia de corrosión.	Deformación o desajuste del perfil, Rotura total o parcial del perfil.	Semestral		
		2. Revisar el estado de las uniones soldadas.				
		3. Verificar que no se presente deformación o desalienación.				
		4. Verificar que no se presente fisuras o golpes.				
MOTRIZ	Motor - reductor	1. Verificar el estado del lubricante.	Fugas de lubricante, Desgaste del tren de engranajes, Recalentamiento y/sobrecarga, Bloqueo.	Trimestral		
		2. Verificar el nivel del lubricante.				
		3. Verificar la presencia de fugas de lubricante				
		4. Verificar estado de rodamientos.		Anuual		
		5. Medir el aislamiento.		Semestral		
		6. Medir el consumo.				
		7. Medir la temperatura en operación.				
		8. Verificar el anclaje y alineación del motor.		Trimestral		
		9. Realizar análisis de vibraciones.		Anuual		
	Eje	1. Verificar la alineación y balanceo del eje	Desalineación y desbalanceo del eje, Rotura por fatiga del eje, Desacoplamiento y /o desajuste, Bloqueo	Trimestral		
		2. Verificar que este correctamente acoplado al motor, unidad de rodamiento y estructura.		Mensual		
	Unidad de rodamiento	1. Verificar la alineación y anclaje de la unidad.	Desalineación y desbalanceo del eje, Rotura por fatiga del eje, Desacoplamiento y /o desajuste, Bloqueo	Trimestral		
2. Verificar el estado del rodamiento.						
3. Verificar el estado del lubricante						
CONTROL	Instrumentación	1. Verificar estado general de cada elemento.	Bloqueo, Desconexión, Cortocircuito, Sobrecarga.	Semestral		
		1. Verificar el estado de las conexiones.				
		2. Verificar lazo de control.				
	Elementos electrónicos (Contactores, Variador de frecuencia)	1. Verificar estado general.		Bloqueo, Desconexión, Cortocircuito, Sobrecarga.	Semestral	
		2. Verificar estado de las conexiones.				
		3. Verificar accionamiento.				
		4. Verificar consumo.				
		5. Verificar aislamiento.				
	NIVELACIÓN Y ANCLAJE	Apoyos		1. Verificar que no haya presencia de corrosión.	Rotura total o parcial del elemento, Desacoplamiento de la estructura fija	Trimestral
				2. Verificar que no se presenten fisuras ni golpes.		
Rueda jockey		3. Verificar que no se presente deformaciones.	Rotura total o parcial del elemento, Desacoplamiento de la estructura fija	Semestral		
		4. Verificar estado de uniones soldadas.				
		5. Verificar el estado y funcionamiento del mecanismo de manivela.				
Rines		2. Verificar el estado del labrado.	Rotura total o parcial del elemento, Desacoplamiento de la estructura fija	Semestral		
		1. Verificar que haya presencia de corrosión.		Semestral		
		2. Verificar el estado y apriete de los pernos.		Trimestral		
Ejes		3. Verificar alineación y balanceo.	Rotura total o parcial del elemento, Desacoplamiento de la estructura fija	Semestral		
		1. Verificar la alineación y balanceo del eje				

Cuadro 26. (Continuación)

SUBSISTEMA	ELEMENTO	INSPECCION	FALLA	PERIODICIDAD
NIVELACIÓN Y ANCLAJE	Gancho	2. Verificar que este correctamente acoplado a la llanta	Falla de conexiones en la señalización e iluminación.	Semestral
		1. Revisar estado general.		
		2. Verificar que no haya presencia de corrosión.		
	Señalización e iluminación	3. Verificar estado de las uniones soldadas.		Semestral
		1. Revisar estado general.		
		2. Revisar estado de las conexiones.		
3. Verificar funcionamiento.				

Fuente: elaboración propia

Cuadro 27. Cuadro de fallas (Simulador de vuelco)

FALLA	ACTIVIDAD	RECURSOS
DEFORMACIÓN O DESAJUSTE DEL PERFIL ESTRUCTURAL	Evaluar el nivel de deformación o desajuste, si es leve realizar ajuste del elemento, de lo contrario realizar el cambio del perfil y eliminar la causa de la falla.	Técnico, elementos de protección personal, Herramientas básicas, Equipo soldadura
ROTURA TOTAL O PARCIAL DEL PERFIL ESTRUCTURAL	Evaluar el nivel de la fisura, si es leve realizar ajuste del elemento, de lo contrario realizar el cambio del perfil y eliminar la causa de la falla.	Técnico, elementos de protección personal, Herramientas básicas, Equipo soldadura
FUGAS DE LUBRICANTE DEL MOTORREDUCTOR	Determinar el punto(s) de escape de lubricante, y realizar taponamiento del mismo(s).	Técnico, elementos de protección personal, Herramientas básicas, Equipo soldadura
DESGASTE DEL TREN DE ENGRANAJES EN EL MOTOR-REDUCTOR	Evaluar el nivel de desgaste, si es leve realizar desmontaje y rectificar los elementos, de lo contrario realizar el cambio de los elementos, montarlos y verificar el funcionamiento.	Técnico, elementos de protección personal, Herramientas básicas
RECALENTAMIENTO Y/O SOBRECARGA DEL MOTOR-REDUCTOR	Des energizar el sistema, verificar estado de los elementos, ajustar y alinear los componentes, medir consumo, poner en marcha y verificar funcionamiento.	Técnico, elementos de protección personal, Herramientas básicas
BLOQUEO MOTOR-REDUCTOR	-Realizar inspección y determinar posibles causas de bloqueo como elementos ajenos al simulador que impidan la rotación del motor. -Verificar el estado de conexiones y comunicación con el sistema de control, poner en marcha y verificar funcionamiento.	Técnico, elementos de protección personal, Herramientas básicas, Equipo soldadura
DESALINEACIÓN Y DESBALANCEO EJE TRANSMISIÓN	Verificar el estado del eje, en caso de presentar desalineación y/o balanceo pronunciado, realizar el desmontaje y proceder al cambio del componente, volver a montar, poner en marcha y verificar el ajuste y funcionamiento.	Técnico, elementos de protección personal, Herramientas básicas, Equipo soldadura
ROTURA POR FATIGA DEL EJE DE TRANSMISIÓN	Realizar el desmontaje y proceder al cambio del componente, eliminar la causa raíz de la falla por fatiga, verificar ajuste, poner en marcha y verificar funcionamiento	Técnico, elementos de protección personal, Herramientas básicas
DESCONEXIÓN SISTEMA CONTROL U OTROS	Verificar el estado de las conexiones, verificar continuidad, determinar y corregir los puntos de desconexión o rotura del cableado	Técnico, elementos de protección personal, Herramientas básicas
CORTOCIRCUITO SISTEMA CONTROL U OTROS	Des energizar el simulador, verificar estado de conexiones y corregir el corto, luego cerciorarse de que no se haya afectado ningún elemento y habilitar la maquina	Técnico, elementos de protección personal, Herramientas básicas
DESAJUSTE Y/O DESACOPLAMIENTO DE LOS NEUMÁTICOS RINES Y EJES	Verificar el estado de cada uno de los componentes, realizar el cambio de los elementos afectados por roturas sobrecargas o desalineación y desbalanceo.	Técnico, elementos de protección personal, Herramientas básicas

Fuente: elaboración propia

Herramientas básicas: Juego de destornilladores, juego de llaves de boca fija en milímetros, llave expansiva, juego de llaves brístol en milímetros, alicate, multímetro, martillo, hombre solo.

Elementos de protección personal (**EPP**): Calzado de seguridad, chaleco reflectivo, guantes, gafas de seguridad.

5. ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROYECTO

En este capítulo se realiza el análisis financiero del presente proyecto, en el cual se muestran los costos de materiales, fabricación, diseño y el flujo de caja proyectado a un periodo de 5 años para determinar si el proyecto es viable o no. La máquina será parte de las actividades de capacitación y sensibilización que desarrolla la empresa, entre las cuales se centrará en dos áreas específicas; 1 (una) concientización: Se harán demostraciones a empresas aseguradoras y fidelizadas y 2 (dos) servicio de alquiler: Se alquilará la máquina a empresas externas que quieran utilizar la máquina como mecanismo de sensibilización para su personal.

5.1 COSTOS DE MATERIALES

Los costos de los materiales se presentan de acuerdo a cada sistema que compone el simulador de vuelco, de la siguiente manera:

Tabla 11. Sistema Estructural Móvil (Valor total).

Sistema Estructural Móvil			
Elemento	Cantidad	Valor	Total
Viga de 75 mm x 75 mm x 6m	3	\$ 85,400.00	\$ 256,200.00
Perfil de 200 mm x 70 mm x 6m	1	\$ 201,900.00	\$ 201,900.00
Lamina metálica 1 m x 1 m x 14 mm	1	\$ 186,500.00	\$ 186,500.00
			\$ 644,600.00

Fuente: elaboración propia

Tabla 12. Sistema Estructural Fijo (Valor total)

Sistema Estructural Fijo			
Elemento	Cantidad	Valor	Total
Viga de 200 mm x 70 mm x 6 m	7	\$ 201,900.00	\$ 1,413,300.00
Perfil de 100 x 70 mm x 6 m	1	\$ 90,200.00	\$ 90,200.00
Lamina hot rolled de 4 m x 8 m x 10 mm	1	\$ 520,000.00	\$ 520,000.00
Perfil de 40 mm x 40 mm x 6 m	14	\$ 53,700.00	\$ 751,800.00
			\$ 2,775,300.00

Fuente: elaboración propia

Tabla 13. Sistema de potencia (Valor total)

Sistema de potencia			
Elemento	Cantidad	Valor	Total
Soporte de pie para rodamiento SYJ 75F	2	\$ 120,000.00	\$ 240,000.00
Eje macizo (tocho) Diámetro 80 mm x 1m de largo	1	\$ 250,000.00	\$ 250,000.00
Sistema de potencia (Motorreductor asíncrono de 10 Hp)	1	\$ 3,990,000.00	\$ 3,990,000.00
Bridas de acoplamiento D1 (90 mm) a D2 (75 mm)	2	\$ 149,900.00	\$ 299,800.00
			\$ 4,779,800.00

Fuente: elaboración propia

Tabla 14. Sistema de Control (Valor Total)

Sistema de Control			
Elemento	Cantidad	Valor	Total
Contactores	2	\$ 105,000.00	\$ 210,000.00
Sistemas de control	2	\$ 50,000.00	\$ 100,000.00
Interruptores	2	\$ 50,000.00	\$ 100,000.00
Señales lumínicas	2	\$ 44,900.00	\$ 89,800.00
Cables (extensiones x 6 metros)	1	\$ 135,100.00	\$ 135,100.00
			\$ 634,900.00

Fuente: elaboración propia

Tabla 15. Sistema de Transporte (Valor total)

Sistema de Transporte			
Elemento	Cantidad	Valor	Total
Llantas RIN 16	4	\$ 400,000.00	\$ 1,600,000.00
Acoples	2	\$ 180,000.00	\$ 360,000.00
Ejes	2	\$ 400,000.00	\$ 800,000.00
Stop para remolque	2	\$ 213,990.00	\$ 427,980.00
Cable 7 (siete vías)	1	\$ 197,900.00	\$ 197,900.00
			\$ 3,385,880.00

Fuente: elaboración propia

Tabla 16. Sistema de Nivelación y Anclaje (Valor total)

Sistema de Nivelación y Anclaje			
Elemento	Cantidad	Valor	Total
Gato nivelador para anclaje	3	\$ 149,900.00	\$ 449,700.00
Acoplador 6000 Lb Husky	1	\$ 146,990.00	\$ 146,990.00
Acople tipo bola	1	\$ 106,990.00	\$ 106,990.00
			\$ 703,680.00

Fuente: elaboración propia

Tabla 17. Automóvil compacto (Valor total)

Automóvil compacto			
Chevrolet Spark (Modelo 2008)	1	\$ 8,300,000.00	\$ 8,300,000.00
			\$ 8,300,000.00

Fuente: elaboración propia

La sumatoria de los costos de materiales es de **\$21,224,160.00**

5.2 COSTOS DE FABRICACIÓN

Los costos de fabricación se presentan en la tabla 30, en donde se presenta el precio de mano de obra por parte del soldador, el cual incluye insumos y materiales y el técnico mecánico requerido para la fabricación y ensamble del simulador.

Tabla 18. Costos de fabricación (Mano de obra técnica)

Costos de fabricación (Mano de obra técnica)		
Técnico especializado	Valor/hora	Total
Ornamentador (Con soldadura E70)	\$ 150,000.00	\$ 7,200,000.00
Técnico-mecánico	\$ 45,000.00	\$ 2,160,000.00
Total		\$ 9,360,000.00

Fuente: elaboración propia

5.3 COSTOS DE INGENIERÍA Y DISEÑO

Los costos de ingeniería se obtuvieron del manual de referencia y tarifas en ingeniería de ACIEM, respectivamente de la página 10 Tipo de Escalafón (o rango de ingeniero) y de la página 14 Honorarios por escalafón.

Figura 95. Tipo de escalafón (ACIEM)

Fuente. Fuente. Elaboración propia basado en el manual de referencia de tarifas del ACIEM disponible en: https://www.aciem.org/Afiliados/Publicaciones/MANUAL_TARIFAS_2015.pdf

Figura 96. Honorarios por escalafón (ACIEM)

Multiplicador recomendado sobre los honorarios para el escalafón								
Nivel de responsabilidad	Escalafón							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A	1,5	-	-	-	-	-	-	-
B	1,4	1,4	-	-	-	-	-	-
C	1,3	1,3	1,3	-	-	-	-	-
D	1,2	1,2	1,2	1,2	-	-	-	-
E	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	-	-	-
F	1	1	1	1	1	1	-	-
G	1	1	1	1	1	1	1	-
H	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente. Fuente. Elaboración propia basado en el manual de referencia de tarifas del ACIEM disponible en: https://www.aciem.org/Afiliados/Publicaciones/MANUAL_TARIFAS_2015.pdf

De acuerdo a la información, se generan los siguientes costos por servicio de ingeniería

Tabla 19. Criterios (1 Ingeniero)

Ingeniero (x2)	
Escalafón	< 8
Salario base	3 SMMLV
Responsabilidad	D
Factor multiplicativo de responsabilidad	1,2
Valor SMMLV En Colombia	\$ 828,116.00

Fuente: elaboración propia

Tabla 20. Costo profesional (2 Ingenieros)

	Valor/hora	Total
Ingeniero Mecánico	\$ 124,217.40	\$ 2,981,217.60

Fuente: elaboración propia

Los costos de diseño, se dividieron en 2 (**dos**) grupos, como se muestra en la tabla 23, costos de ingeniería y fungibles

Tabla 21. Costos de diseño

	Costos	Precio (COP)
Ingeniería	Talento humano	\$ 5,962,435.20
	Software	\$ 1,300,000.00
	Equipos	\$ 2,000,000.00
Fungibles	Papel	\$ 89,000.00
	Libros	\$ 180,000.00
	Tinta	\$ 120,000.00
	Otros gastos	\$ 800,000.00
	<u>Tota</u>	\$ 10,451,435.20

Fuente: elaboración propia

El resultado global del costo del simulador de vuelco de un automóvil compacto es de **\$41.035.595**

5.4 VIABILIDAD DEL PROYECTO.

Para determinar la viabilidad del proyecto, se realizaron encuestas a los clientes potenciales de la empresa, tal como lo son las **ARL**. El propósito de la encuesta es realizar un estudio de mercados para determinar el costo promedio por hora

a la cual se puede alquilar la máquina. A continuación, se muestra el formato de la encuesta realizada, (**Ver Anexo L**).

La recolección de datos se realizó a 15 empresas potenciales entre las cuales se destacan (Allianz, Mapfre, Seguros Bolívar, Equidad Seguros, etc.), donde los resultados se muestran a continuación.

Tabla 22. Tabulación y resultados de la encuesta

No de Pregunta				
1	2	3	4	5
Sí	6.55	\$ 180,000.00	\$ 1,500,000.00	4
Sí	1.375	\$ 200,000.00	\$ 1,500,000.00	1
Sí	6.55	\$ 130,000.00	\$ 1,500,000.00	5
Sí	3.75	\$ 250,000.00	\$ 2,500,000.00	3
Sí	6.55	\$ 300,000.00	\$ 4,000,000.00	4
Sí	6.55	\$ 420,000.00	\$ 3,000,000.00	4
Sí	1.375	\$ 600,000.00	\$ 4,000,000.00	2
Sí	6.55	\$ 250,000.00	\$ 2,500,000.00	6
Sí	6.55	\$ 180,000.00	\$ 1,500,000.00	5
Sí	3.75	\$ 250,000.00	\$ 3,000,000.00	3
Sí	3.75	\$ 130,000.00	\$ 1,500,000.00	2
Sí	1.375	\$ 420,000.00	\$ 3,000,000.00	2
Sí	3.75	\$ 250,000.00	\$ 2,500,000.00	2
Sí	3.75	\$ 420,000.00	\$ 3,500,000.00	3
Sí	3.75	\$ 600,000.00	\$ 4,000,000.00	3
	4.395	\$ 305,333.33	\$ 2,633,333.33	3.3

Fuente: elaboración propia

En la tabla se muestran los resultados de las **15 encuestas**, en donde cada columna es una pregunta de la misma. En conclusión, los resultados arrojan que la máquina se alquilaría por **4,4 horas** a la semana, teniendo un coste por hora de **\$ 305.333.33**.

El horizonte del proyecto es de cinco (5) años, según la información suministrada por la empresa Cinfovial S.A.S., este es el tiempo máximo para la recuperación de la inversión, incluyendo ganancias. La viabilidad del proyecto se conoce a partir del indicador del VPN (**Valor Presente Neto**), para esto, se realiza primero el flujo de caja presentado en la tabla 23.

Tabla 23. Flujo de caja. (Análisis VPN)

PERIODO DE TIEMPO SEMESTRAL	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS											
Alquiler del simulador		\$ 26,302,024.00	\$ 26,302,024.00	\$ 27,204,183.42	\$ 27,204,183.42	\$ 28,137,286.91	\$ 28,137,286.91	\$ 29,102,395.86	\$ 29,102,395.86	\$ 30,100,608.03	\$ 30,100,608.03
Capacitaciones		\$ 11,000,000.00	\$ 11,000,000.00	\$ 11,377,300.00	\$ 11,377,300.00	\$ 11,767,541.39	\$ 11,767,541.39	\$ 12,171,168.06	\$ 12,171,168.06	\$ 12,588,639.12	\$ 12,588,639.12
PESV		\$ 25,000,000.00	\$ 25,000,000.00	\$ 25,857,500.00	\$ 25,857,500.00	\$ 26,744,412.25	\$ 26,744,412.25	\$ 27,661,745.59	\$ 27,661,745.59	\$ 28,610,543.46	\$ 28,610,543.46
Investigación de accidentes		\$ 3,000,000.00	\$ 3,000,000.00	\$ 3,102,900.00	\$ 3,102,900.00	\$ 3,209,329.47	\$ 3,209,329.47	\$ 3,319,409.47	\$ 3,319,409.47	\$ 3,433,265.22	\$ 3,433,265.22
Diagnósticos técnicos		\$ 4,500,000.00	\$ 4,500,000.00	\$ 4,654,350.00	\$ 4,654,350.00	\$ 4,813,994.21	\$ 4,813,994.21	\$ 4,979,114.21	\$ 4,979,114.21	\$ 5,149,897.82	\$ 5,149,897.82
Auditoría PESV		\$ 15,000,000.00	\$ 15,000,000.00	\$ 15,514,500.00	\$ 15,514,500.00	\$ 16,046,647.35	\$ 16,046,647.35	\$ 16,597,047.35	\$ 16,597,047.35	\$ 17,166,326.08	\$ 17,166,326.08
Total de ingresos		\$ 84,802,024.00	\$ 84,802,024.00	\$ 87,710,733.42	\$ 87,710,733.42	\$ 90,719,211.58	\$ 90,719,211.58	\$ 93,830,880.54	\$ 93,830,880.54	\$ 97,049,279.74	\$ 97,049,279.74
EGRESOS											
Inversión inicial (Simulador)	\$ (41,035,595.20)										
Diferidos		\$ 800,000.00	\$ 800,000.00	\$ 827,440.00	\$ 827,440.00	\$ 855,821.19	\$ 855,821.19	\$ 885,175.86	\$ 885,175.86	\$ 915,537.39	\$ 915,537.39
Pago a proveedores		\$ 1,800,000.00	\$ 1,800,000.00	\$ 1,861,740.00	\$ 1,861,740.00	\$ 1,925,597.68	\$ 1,925,597.68	\$ 1,991,645.68	\$ 1,991,645.68	\$ 2,059,959.13	\$ 2,059,959.13
Otras obligaciones		\$ 500,000.00	\$ 500,000.00	\$ 517,150.00	\$ 517,150.00	\$ 534,888.25	\$ 534,888.25	\$ 553,234.91	\$ 553,234.91	\$ 572,210.87	\$ 572,210.87
Impuestos		\$ 7,400,000.00	\$ 7,400,000.00	\$ 7,653,820.00	\$ 7,653,820.00	\$ 7,916,346.03	\$ 7,916,346.03	\$ 8,187,876.69	\$ 8,187,876.69	\$ 8,468,720.87	\$ 8,468,720.87
Nomina		\$ 30,000,000.00	\$ 30,000,000.00	\$ 31,029,000.00	\$ 31,029,000.00	\$ 32,093,294.70	\$ 32,093,294.70	\$ 33,194,094.71	\$ 33,194,094.71	\$ 34,332,652.16	\$ 34,332,652.16
Contratación a terceros		\$ 12,000,000.00	\$ 12,000,000.00	\$ 12,411,600.00	\$ 12,411,600.00	\$ 12,837,317.88	\$ 12,837,317.88	\$ 13,277,637.88	\$ 13,277,637.88	\$ 13,733,060.86	\$ 13,733,060.86
Viaticos		\$ 2,500,000.00	\$ 2,500,000.00	\$ 2,585,750.00	\$ 2,585,750.00	\$ 2,674,441.23	\$ 2,674,441.23	\$ 2,766,174.56	\$ 2,766,174.56	\$ 2,861,054.35	\$ 2,861,054.35
Prestaciones sociales		\$ 1,060,000.00	\$ 1,060,000.00	\$ 1,096,358.00	\$ 1,096,358.00	\$ 1,133,963.08	\$ 1,133,963.08	\$ 1,172,858.01	\$ 1,172,858.01	\$ 1,213,087.04	\$ 1,213,087.04
Servicios publicos		\$ 1,750,000.00	\$ 1,750,000.00	\$ 1,810,025.00	\$ 1,810,025.00	\$ 1,872,108.86	\$ 1,872,108.86	\$ 1,936,322.19	\$ 1,936,322.19	\$ 2,002,738.04	\$ 2,002,738.04
Patrocinio TC2000		\$ 1,900,000.00	\$ 1,900,000.00	\$ 1,965,170.00	\$ 1,965,170.00	\$ 2,032,575.33	\$ 2,032,575.33	\$ 2,102,292.66	\$ 2,102,292.66	\$ 2,174,401.30	\$ 2,174,401.30
Total egresos		\$ 59,710,000.00	\$ 59,710,000.00	\$ 61,758,053.00	\$ 61,758,053.00	\$ 63,876,354.22	\$ 63,876,354.22	\$ 66,067,313.17	\$ 66,067,313.17	\$ 68,333,422.01	\$ 68,333,422.01
Flujo de caja neto (Ingresos - Egresos)		\$ 25,092,024.00	\$ 25,092,024.00	\$ 25,952,680.42	\$ 25,952,680.42	\$ 26,842,857.36	\$ 26,842,857.36	\$ 27,763,567.37	\$ 27,763,567.37	\$ 28,715,857.73	\$ 28,715,857.73
$VPN = \frac{F}{(1 + TIO)^n}$		\$ 21,819,151.30	\$ 18,973,175.05	\$ 17,064,308.65	\$ 14,838,529.26	\$ 13,345,644.19	\$ 11,604,907.99	\$ 10,437,353.33	\$ 9,075,959.42	\$ 8,162,838.98	\$ 7,098,120.85
$\sum_{n=0}^n VPN = \frac{F}{(1 + TIO)^n}$		\$ 132,419,989.04									
$TIR = -Inversión\ inicial + \sum_{n=0}^n VPN$		\$ 91,384,393.84									

VPN > 0, LO CUÁL INDICA QUE EL PROYECTO ES FINANCIERAMENTE VIABLE

Fuente: elaboración propia con base en la catetra recibida en la empresa cinfoval s.a.s

De acuerdo al anterior flujo de caja, puede aplicarse la fórmula del VPN que es la siguiente:

$$VPN = \frac{F}{(1 + TIO)^n}$$

Donde:

TIO: Tasa de oportunidad interna (15%)

F: Valor futuro

VPN: Valor presente neto

n = Periodo

El periodo es semestral, ya que el horizonte es de 5 años, hablaremos de 10 periodos como se muestra en el flujo de caja. La TIO es del 15% de acuerdo a la información suministrada por la empresa.

Para saber que el proyecto es viable, la VPN o valor presente neto debe ser positivo, de lo contrario el proyecto no es financieramente viable.

Al reemplazar los valores del flujo de caja, y restando la inversión inicial de **\$41.035.595** que es el costo de la máquina, arroja una VPN de **\$91.384.393,84**, lo cual significa que el proyecto es **financieramente viable** para que la empresa Cinfovial S.A.S lo implemente y lo ponga al servicio de su portafolio.

6. CONCLUSIONES

- En Colombia no existen leyes referentes al diseño de simuladores de vuelco, por tal motivo se adoptaron las normativas existentes para distintos componentes, y esta manera obtener un conjunto valido ante la ley.
- La máquina cumple con los parámetros y requerimientos establecidos por la empresa CINFOVIAL S.A.S., para generar la simulación de un vuelco de un automóvil.
- Luego de realizar los cálculos de diseño para el sistema estructural del simulador, se determina que los esfuerzos a los que van a estar sometidos los perfiles, cuentan con un factor de seguridad apropiado, garantizando resistencia y estabilidad de la máquina.
- Las dimensiones del simulador de vuelco están dentro de las medidas máximas para un remolque establecidas en la resolución 4100 de 2004, por lo tanto, no es necesario realizar una matrícula ante el organismo de tránsito pertinente.
- Se garantiza que el sistema motriz del simulador de vuelco generara un movimiento rotacional con una torsión constante, a una velocidad angular regulable entre 1 y 10 rpm.
- Se realizó una evaluación financiera teniendo en cuenta los diferentes costos de diseño, materiales, elementos mecánicos y recursos humanos necesarios para la fabricación del simulador, obteniendo un valor total de \$41.035.595.

7. RECOMENDACIONES

- Ubicar el simulador en una superficie plana, y de esta manera garantizar una mayor estabilidad, distribución y compensación de cargas, en el momento de operar de la máquina.
- Realizar un cercamiento con señalización, en lugar de operación del simulador, con el fin de alertar y prevenir a las distintas personas que puedan interferir en su correcto funcionamiento.
- Almacenar el simulador en un lugar donde no esté expuesto a condiciones ambientales, que puedan deteriorar alguno de sus componentes.
- En el caso de utilizar un vehículo para remolcar el simulador, se recomienda implementar un sistema que disminuya el impacto generado en la estructura de la máquina, debido a las irregularidades de las vías por donde se movilizaría la máquina.
- Cumplir con los periodos de tiempo establecidos para las actividades de mantenimiento, con el fin de evitar o mitigar las consecuencias de los posibles fallos de los componentes.

BIBLIOGRAFÍA

ANAND, D. K.; CUNNIF, P. F; GARZA CÁRDENAS, Armandotra. Mecánica para ingenieros: Estática. México: Editorial Continental, 1976.

ARIZA, Liany Katerin, et al. Factores de riesgo asociados a lesiones causadas por el tránsito y propuesta de intervenciones para el contexto colombiano. Colombia: Ecoe Ediciones, 2015.

Arseg. Compendio de normas legales sobre salud ocupacional. Santafé de Bogotá: Lugar de publicación no identificado], 2018.

BACA CORREDOR, Carlos Alberto, et al. Proyectos: Formulación y criterios de evaluación. Bogotá: Alfaomega, 2009.

CROUSE, William H. Equipo eléctrico y electrónico del automóvil. México: Alfaomega, 1992.

GALAMBOS, T. V., Lin, F. J., Johnston, B. G., Diseño de Estructuras de Acero con LRFD. Editorial Pearson Educación.1999.

INSTITUTO NACIONAL DE MEDICINA LEGAL Y CIENCIAS FORENSES. Forensis 2018.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC1486.6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153 p.

LAIBLE, Jeffrey P. Análisis estructural. México: Mc Graw Hill, 1988.

LIST, Hans, et al. Motores de combustión interna. Barcelona: Labor, 2011.

MANGONON, Pat L.; De Ita de, la Torre and ESCALONA, y. Garc. Ciencia de materiales: selección y diseño. México: Pearson Education, 2001.

MC CORMAC, Jack. Diseño de Estructuras en acero. Quinta edición. Editorial Alfaomega. 2012.

MINISTERIO DE EDUCACION Y CIENCIA DE ESPAÑA. Cuaderno didáctico sobre educación vial y salud.2004.

MINISTERIO DE TRANSPORTE. Plan Nacional de Seguridad vial Colombia (2011- 2021). Segunda edición. 2015.

MORROW, L. C. Maintenance engineering handbook. New York: Mc Graw Hill, 1957.

MORROW, L. C. Manual de mantenimiento industrial: organización, ingeniería mecánica, eléctrica, química, civil, procesos y sistemas. México: C.E.C.S.A, 1973.
MOTT, Robert. Centroides y momentos de inercia de área. Resistencia de Resistencia de materiales. Quinta edición. Pearson Educación, 2009.

_____Diseño de elementos de máquinas. 4 ed. México, 2006.

NEFTCI, Salih N.; LÓPEZ HERRERA, Francisco and MONT ARAIZA, Jaime Gómez. Ingeniería financiera. México: McGraw Hill Interamericana, 2008.

NORTON, Robert L.; CAGIGAS CASTELLO-TÁRREGA, Carlota de las Mercedes and SÁNCHEZ GARCÍA, Gabriel. Diseño de máquinas. México: Prentice - Hall, 1999.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Salve vidas: Paquete de medidas técnicas de seguridad vial. 2017.

POPOV, Egor P. Introducción a la mecánica de sólidos. México: Limusa, 1976.

RODRIGUEZ, Miguel A.; AUGUSTIN, Christoph M. and SHADDEN, Shawn C. FEniCS mechanics: A package for continuum mechanics simulations. 2019.

SEIFERT, Walter. Generador y motor: fundamentos físicos y formas mecánicas. Barcelona: Marcombo, 1988.

SHIGLEY, Joseph E. Diseño en ingeniería mecánica. 8 ed. México, 2008

SMITH, William F. and HASHEMI, Javad. Foundations of materials science and engineering. Boston: Mc Graw Hill, 2006.

SPENCER, Henry Cecil, et al. Dibujo técnico básico. México: Alfaomega, 2003.

TAYLOR, George A. Ingeniería económica: toma de decisiones económicas. México: Limusa, 1978.

VALENCIA, Gabriel. Diseño básico de estructuras de acero de acuerdo con NSR-10. Primera edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2010

VERSTEEG, H. K. and MALALASEKERA, W. An introduction to finite method: the finite method. Harlow, Essex, England: Pearson, 2007.

ANEXOS

ANEXO A.

DIMENSIONES MÁXIMAS (RESOLUCIÓN 4100 DE 2004)

Resolución No. 004100 de 2004 28 DIC 2004 Hoja No. 6

Por la cual se adoptan los límites de pesos y dimensiones en los vehículos de transporte terrestre automotor de carga por carretera, para su operación normal en la red vial a nivel nacional.

Designación	Dimensiones		
	Ancho máximo, m	Altura máxima, m	Longitud máxima, m
2B3	2,60	4,40	18,50
3B1	2,60	4,40	18,50
3B2	2,60	4,40	18,50
3B3	2,60	4,40	18,50
4B1	2,60	4,40	18,50
4B2	2,60	4,40	18,50
4B3	2,60	4,40	18,50
Remolque (R) y remolque balanceado (B)	2,60	4,40	10,00
Semirremolque (S)	2,60	4,40	13,00

Fuente: Resolución 4100 de 2004 [En línea] Disponible en: <https://www.mintransporte.gov.co/descargar.php?idFile=241>

ANEXO B.

CATÁLOGO DE PERFILES ESTRUCTURALES ASTM 500 (NTC 4526)

**PERFIL ESTRUCTURAL
TUBULAR**
Negro y Galvanizado
ASTM A500 (NTC 4526)

CONSORCIO METALURGICO NACIONAL SAS



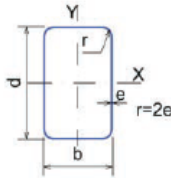
ACERO EN EVOLUCIÓN

**PÓRTICOS - CERCHAS - COLUMNAS
VIGAS - VIGUETAS - CORREAS**

www.tuboscolmena.com

Fuente: Catálogo de perfiles estructurales tubulares. [En línea] Disponible en:
<http://tuboscolmena.com/colmena/>

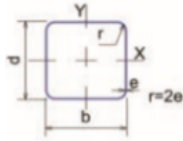
(CONTINUACIÓN ANEXO B PERFIL TUBULAR RECTANGULAR).



PERFIL RECTANGULAR															
TAMAÑO PERFIL		ESPESOR DE PARED e mm	PESO NEGRO (kg/m)	ÁREA cm ²	FLEXIÓN EJE X - X			FLEXIÓN EJE Y - Y			MÓDULO PLÁSTICO Zx cm ³	MÓDULO PLÁSTICO Zy cm ³	TORSIÓN		UNIDAD DE EMPAQUE
TAMAÑO NOMINAL	PULG.				MOMENTO INERCIA Ix cm ⁴	MÓDULO SECCIÓN Sx cm ³	RADIO DE GIRO rx cm	MOMENTO INERCIA Iy cm ⁴	MÓDULO ELÁST Sy cm ³	RADIO DE GIRO ry cm			MOMENTO INERCIA J cm ⁴	MÓDULO ELÁSTICO B cm ²	
2X1/2	50 x 13	1,50	1,37	1,72	4,54	1,81	1,62	0,50	0,77	0,54	2,46	0,90	1,61	1,45	30
		1,50	1,77	2,25	7,72	2,97	1,85	2,78	2,06	1,11	3,70	2,34	6,71	3,56	
		2,00	2,31	2,94	9,76	3,76	1,82	3,49	2,58	1,09	4,74	2,99	8,63	4,49	
2X1 1/16	50 X 30	2,50	2,82	3,59	11,55	4,44	1,79	4,09	3,03	1,07	5,69	3,58	10,41	5,31	25
		1,50	2,24	2,85	13,84	4,61	2,20	6,81	3,60	1,54	5,59	4,07	14,59	5,99	
		2,00	2,93	3,73	17,69	5,90	2,18	8,66	4,57	1,52	7,22	5,26	18,95	7,66	
2 3/8X1 1/2	60 X 40	2,50	3,60	4,59	21,18	7,06	2,15	10,32	5,45	1,50	8,75	6,35	23,07	9,18	20
		3,00	4,25	5,41	24,33	8,11	2,12	11,79	6,23	1,48	10,16	7,37	26,96	10,56	
		1,50	2,57	3,27	24,92	6,54	2,76	8,54	4,48	1,61	8,07	5,00	20,50	7,74	
3X1 1/2	76 X 38	2,00	3,37	4,29	32,06	8,42	2,73	10,90	5,72	1,59	10,48	6,47	26,65	9,93	16
		2,50	4,15	5,29	38,64	10,14	2,70	13,05	6,85	1,57	12,75	7,85	32,48	11,94	
		3,00	4,90	6,24	44,67	11,73	2,68	14,98	7,86	1,55	14,89	9,14	38,00	13,79	
3 3/16 X11/2	80 X 40	1,50	2,71	3,45	28,99	7,25	2,90	9,94	4,97	1,70	8,93	5,53	23,81	8,58	16
		2,00	3,56	4,54	37,36	9,34	2,87	12,72	6,36	1,67	11,61	7,17	30,99	11,02	
		2,50	4,39	5,59	45,11	11,28	2,84	15,26	7,63	1,65	14,15	8,72	37,81	13,28	
3 1/2X2	90 X 50	3,00	5,19	6,61	52,25	13,06	2,81	17,56	8,78	1,63	16,54	10,16	44,30	15,36	16
		1,50	3,18	4,05	44,88	9,96	3,33	18,15	7,26	2,12	12,09	8,07	41,02	12,32	
		2,00	4,19	5,34	58,15	12,90	3,30	23,41	9,36	2,09	15,78	10,52	53,63	15,93	
4X1/4	100 X 40	2,50	5,17	6,59	70,59	15,66	3,27	28,28	11,31	2,07	19,31	12,84	65,75	19,32	16
		3,00	6,13	7,81	82,24	18,24	3,25	32,80	13,12	2,05	22,67	15,05	77,38	22,49	
		1,50	3,18	4,05	50,49	10,10	3,53	12,16	6,08	1,73	12,68	6,69	31,94	10,80	
4X2	100 X 50	2,00	4,19	5,34	65,38	13,08	3,50	15,61	7,81	1,71	16,54	8,69	41,59	13,91	16
		2,50	5,17	6,59	79,32	15,86	3,47	18,78	9,39	1,69	20,23	10,59	50,77	16,80	
		3,00	6,13	7,81	92,34	18,47	3,44	21,67	10,84	1,67	23,75	12,38	59,49	19,48	
4X2	100 X 50	2,00	4,50	5,74	74,98	15,00	3,62	25,67	10,27	2,12	18,50	11,46	61,72	17,75	16
		2,50	5,56	7,09	91,20	18,24	3,59	31,06	12,42	2,09	22,67	14,01	75,68	21,54	
		3,00	6,60	8,41	106,46	21,29	3,56	36,06	14,42	2,07	26,66	16,44	89,09	25,09	
4 3/4X2 3/8	120 X 60	4,00	8,59	10,95	134,14	26,83	3,50	44,95	17,98	2,03	34,10	20,93	114,32	31,55	16
		2,00	5,45	6,94	136,64	22,44	4,44	45,76	15,28	2,57	27,60	16,92	109,88	26,42	
		2,50	6,74	8,59	167,03	27,43	4,41	55,68	18,59	2,55	33,94	20,77	135,18	32,22	
6X2	150 X 50	3,00	8,01	10,20	195,96	32,18	4,38	65,03	21,71	2,52	40,05	24,46	159,64	37,73	16
		3,00	8,96	11,41	298,55	39,81	5,12	52,65	21,06	2,15	51,43	23,49	150,80	38,36	
		4,00	11,73	14,95	381,39	50,85	5,05	66,16	26,47	2,10	66,47	30,13	193,62	48,51	
6X4	150 X 100	4,00	14,87	18,95	594,60	79,28	5,60	318,57	63,71	4,10	95,67	72,50	664,06	105,15	9
		6,00	21,69	27,63	834,69	111,29	5,50	444,19	88,84	4,01	136,68	103,30	957,04	147,81	
		4,00	16,13	20,55	969,18	96,92	6,87	185,51	53,00	3,00	124,52	59,08	521,89	96,03	
8X2 3/4	200 X 70	6,00	23,58	30,03	1.364,48	136,45	6,74	255,38	72,97	2,92	178,35	83,75	741,83	133,47	9
		4,00	18,01	22,95	1.199,71	119,97	7,23	410,78	82,16	4,23	148,04	91,70	988,08	142,01	
		6,00	26,40	33,63	1.703,31	170,33	7,12	576,91	115,38	4,14	213,27	131,50	1.426,66	200,83	
10X4	250 X 100	5,00	26,18	33,36	2.553,76	204,03	8,75	609,85	121,97	4,28	258,51	258,51	1.625,94	217,49	1
		5,00	30,11	38,36	3.304,11	264,33	9,28	1.507,95	201,06	6,27	319,76	225,48	3.292,28	337,32	
		7,00	41,43	52,78	5.455,64	363,71	10,17	954,21	190,84	4,25	472,62	215,04	2.764,22	348,77	
11 4/5X4	300 X 100	5,00	30,11	38,36	4.065,22	271,01	10,29	722,77	144,55	4,34	348,15	159,59	2.049,91	262,65	1
		7,00	41,43	52,78	5.455,64	363,71	10,17	954,21	190,84	4,25	472,62	215,04	2.764,22	348,77	
		9,00	52,42	66,78	10.222,35	584,13	12,37	2.732,02	364,27	6,40	733,37	405,79	7.069,57	643,79	
14X6	350 X 150	7,00	52,42	66,78	10.222,35	584,13	12,37	2.732,02	364,27	6,40	733,37	405,79	7.069,57	643,79	1
16X8	400 X 200	9,00	80,60	102,67	21.303,00	1.065,15	14,40	7.274,28	727,43	8,42	1.319,09	816,15	17.621,93	1.259,57	1

Fuente: Catalogo de perfiles estructurales tubulares. [En línea] Disponible en: <http://tuboscolmena.com/colmena/>

(CONTINUACIÓN ANEXO B PERFIL TUBULAR CUADRADO).



PERFIL CUADRADO											
TAMAÑO PERFIL		ESPESOR DE PARED e mm	PESO NEGRO (kg/m)	ÁREA cm ²	FLEXIÓN			MÓDULO PLÁSTICO Z _x =Z _y cm ³	TORSIÓN		UNIDAD DE EMPAQUE
TAMAÑO NOMINAL					MOMENTO INERCIA I _x = I _y cm ⁴	MÓDULO ELÁSTICO S _x = S _y cm ³	RADIO DE GIRO r _x = r _y cm		MOMENTO INERCIA J cm ⁴	MÓDULO ELÁSTICO B cm ²	
PULG.	MM										
1 X 1	25 X 25	1,50	1,06	1,35	1,22	0,97	0,95	1,17	2,03	1,48	36
		2,00	1,36	1,73	1,48	1,19	0,93	1,47	2,58	1,82	
		2,50	1,64	2,09	1,69	1,35	0,90	1,71	3,07	2,11	
1 4/7 X 1 4/7	40 X 40	1,50	1,77	2,25	5,49	2,75	1,56	3,22	8,77	4,13	25
		2,00	2,31	2,94	6,94	3,47	1,54	4,13	11,36	5,25	
		2,50	2,82	3,59	8,22	4,11	1,51	4,97	13,79	6,25	
2 X 2	50 X 50	1,50	2,24	2,85	11,07	4,43	1,97	5,15	17,45	6,66	25
		2,00	2,93	3,73	14,15	5,66	1,95	6,66	22,73	8,53	
		2,50	3,60	4,59	16,94	6,78	1,92	8,07	27,75	10,26	
		3,00	4,25	5,41	19,47	7,79	1,90	9,39	32,53	11,84	
2 1/3 X 2 1/3	60 X 60	1,50	2,71	3,45	19,52	6,51	2,38	7,53	30,53	9,78	25
		2,00	3,56	4,54	25,14	8,38	2,35	9,79	39,91	12,61	
		2,50	4,39	5,59	30,34	10,11	2,33	11,93	48,92	15,26	
		3,00	5,19	6,61	35,13	11,71	2,31	13,95	57,57	17,73	
2 3/4 X 2 3/4	70 X 70	1,50	3,18	4,05	31,46	8,99	2,79	10,36	48,89	13,50	16
		2,00	4,19	5,34	40,73	11,64	2,76	13,52	64,10	17,50	
		2,50	5,17	6,59	49,41	14,12	2,74	16,54	78,79	21,27	
		3,00	6,13	7,81	57,53	16,44	2,71	19,42	92,98	24,82	
3 X 3	75 X 75	3,00	6,60	8,41	71,62	19,10	2,92	22,49	115,14	28,81	16
		4,00	8,59	10,95	90,19	24,05	2,87	28,76	148,83	36,48	
		6,00	12,27	15,63	120,16	32,04	2,77	39,58	209,99	49,43	
3 1/2 X 3 1/2	90 X 90	2,00	5,45	6,94	88,86	19,75	3,58	22,78	138,32	29,66	9
		2,50	6,74	8,59	108,55	24,12	3,56	28,00	170,65	36,27	
		3,00	8,01	10,20	127,28	28,29	3,53	33,04	202,14	42,59	
4 X 4	100 X 100	2,00	6,07	7,74	123,01	24,60	3,99	28,30	190,75	36,94	9
		2,50	7,53	9,59	150,63	30,13	3,96	34,86	235,64	45,27	
		3,00	8,96	11,41	177,05	35,41	3,94	41,21	279,48	53,27	
		4,00	11,73	14,95	226,35	45,27	3,89	53,30	364,04	68,31	
		6,00	16,98	21,63	311,47	62,29	3,79	75,10	521,39	94,85	
5 1/3 X 5 1/3	135 X 135	4,00	16,13	20,55	581,70	86,18	5,32	100,25	917,81	113,90	9
		6,00	23,58	30,03	819,72	121,44	5,22	143,72	1.330,14	183,57	
6 X 6	150 X 150	4,00	18,01	22,95	807,82	107,71	5,93	124,87	1.267,82	161,93	9
		6,00	26,40	33,63	1.145,91	152,79	5,84	179,88	1.843,64	230,58	
7 7/8 X 7 7/8	200 X 200	5,00	30,11	38,36	2.410,09	241,01	7,93	278,87	3.771,59	362,24	1
		7,00	41,43	52,78	3.236,47	323,65	7,83	378,83	5.158,78	487,67	
10 X 10	250 X 250	8,00	59,50	75,79	7.315,65	585,25	9,82	682,67	11.596,64	881,14	1
		10,00	73,34	93,42	8.841,86	707,35	9,73	832,79	14.229,85	1.067,66	
		10,00	89,04	113,42	15.713,90	1.047,59	11,77	1.223,86	24.972,90	1.577,87	
12 X 12	300 X 300	12,00	105,61	134,53	18.334,49	1.222,30	11,67	1.439,07	29.509,20	1.845,00	1

Fuente: Catalogo de perfiles estructurales tubulares. [En línea] Disponible en: <http://tuboscolmena.com/colmena/>

ANEXO C.

MOMENTOS DE EMPOTRAMIENTO

MOMENTOS DE EMPOTRAMIENTO PARA PIEZAS DE $I = CTE.$	EMPOTRAMIENTO EN UN APOYO		EMPOTRAMIENTO EN AMBOS APOYOS	
				
CARGAS	M	M'	M	M'
	$\frac{Qab}{2l^2} (l+b)$	$\frac{Qab}{2l^2} (l+a)$	$\frac{Qab}{l^2} b$	$\frac{Qab}{l^2} a$
	$\frac{3}{16} Ql$	$\frac{3}{16} Ql$	$\frac{1}{8} Ql$	$\frac{1}{8} Ql$
	$\frac{3}{2} Qa (1 - \frac{a}{l})$	$\frac{3}{2} Qa (1 - \frac{a}{l})$	$Qa (1 - \frac{a}{l})$	$Qa (1 - \frac{a}{l})$
	$\frac{1}{3} Ql$	$\frac{1}{3} Ql$	$\frac{2}{9} Ql$	$\frac{2}{9} Ql$
	$\frac{15}{32} Ql$	$\frac{15}{32} Ql$	$\frac{5}{16} Ql$	$\frac{5}{16} Ql$
	$\frac{1}{8} ql^2$	$\frac{1}{8} ql^2$	$\frac{1}{12} ql^2$	$\frac{1}{12} ql^2$
	$\frac{qa^2}{8} (2 - \frac{a}{l})^2$	$\frac{qa^2}{8} (2 - \frac{a}{l^2})$	$\frac{qa^2}{12} (6 - 8 \frac{a}{l} + 3 \frac{a^2}{l^2})$	$\frac{qa^2}{12} (4 \frac{a}{l} - 3 \frac{a^2}{l^2})$
	$\frac{9}{128} ql^2$	$\frac{7}{128} ql^2$	$\frac{11}{192} ql^2$	$\frac{5}{192} ql^2$
	$\frac{qa^2}{4} (3 - 2 \frac{a}{l})$	$\frac{qa^2}{4} (3 - 2 \frac{a}{l})$	$\frac{qa^2}{6} (3 - 2 \frac{a}{l})$	$\frac{qa^2}{6} (3 - 2 \frac{a}{l})$
	$\frac{qabc}{2l^2} (l+b - \frac{1}{4} \frac{c^2}{a})$	$\frac{qabc}{2l^2} (l+a - \frac{1}{4} \frac{c^2}{b})$	$\frac{qc}{l^2} [ab^2 + \frac{c^2}{12} (l-3b)]$	$\frac{qc}{l^2} [a^2b + \frac{c^2}{12} (l-3a)]$
	$\frac{qla}{16} (3 - \frac{a^2}{l^2})$	$\frac{qla}{16} (3 - \frac{a^2}{l^2})$	$\frac{qla}{24} (3 - \frac{a^2}{l^2})$	$\frac{qla}{24} (3 - \frac{a^2}{l^2})$
	$\frac{qa^2}{120} (40 - 45 \frac{a}{l} + 12 \frac{a^2}{l^2})$	$\frac{qa^2}{60} (10 - 6 \frac{a}{l^2})$	$\frac{qa^2}{30} (10 - 15 \frac{a}{l} + 6 \frac{a^2}{l^2})$	$\frac{qa^2}{20} (5 \frac{a}{l} - 4 \frac{a^2}{l^2})$
	$\frac{7}{120} ql^2$	$\frac{1}{15} ql^2$	$\frac{1}{30} ql^2$	$\frac{1}{20} ql^2$
	$\frac{5}{64} ql^2$	$\frac{5}{64} ql^2$	$\frac{5}{96} ql^2$	$\frac{5}{96} ql^2$
	$\frac{qa^2}{120} (20 - 15 \frac{a}{l} + 3 \frac{a^2}{l^2})$	$\frac{qa^2}{120} (10 - 3 \frac{a^2}{l^2})$	$\frac{qa^2}{60} (10 - 10 \frac{a}{l} + 3 \frac{a^2}{l^2})$	$\frac{qa^2}{60} (5 \frac{a}{l} - 3 \frac{a^2}{l^2})$
	$\frac{1}{10} ql^2$	$\frac{1}{10} ql^2$	$\frac{1}{15} ql^2$	$\frac{1}{15} ql^2$

Fuente: MOTT, Robert L. Diseño de Elementos de Máquinas. Pearson Educación: México, D.F., 4ta edición, 2006. ISBN 970-26-0812-0

ANEXO D.

CONDICIONES DE EXTREMO PARA COLUMNAS

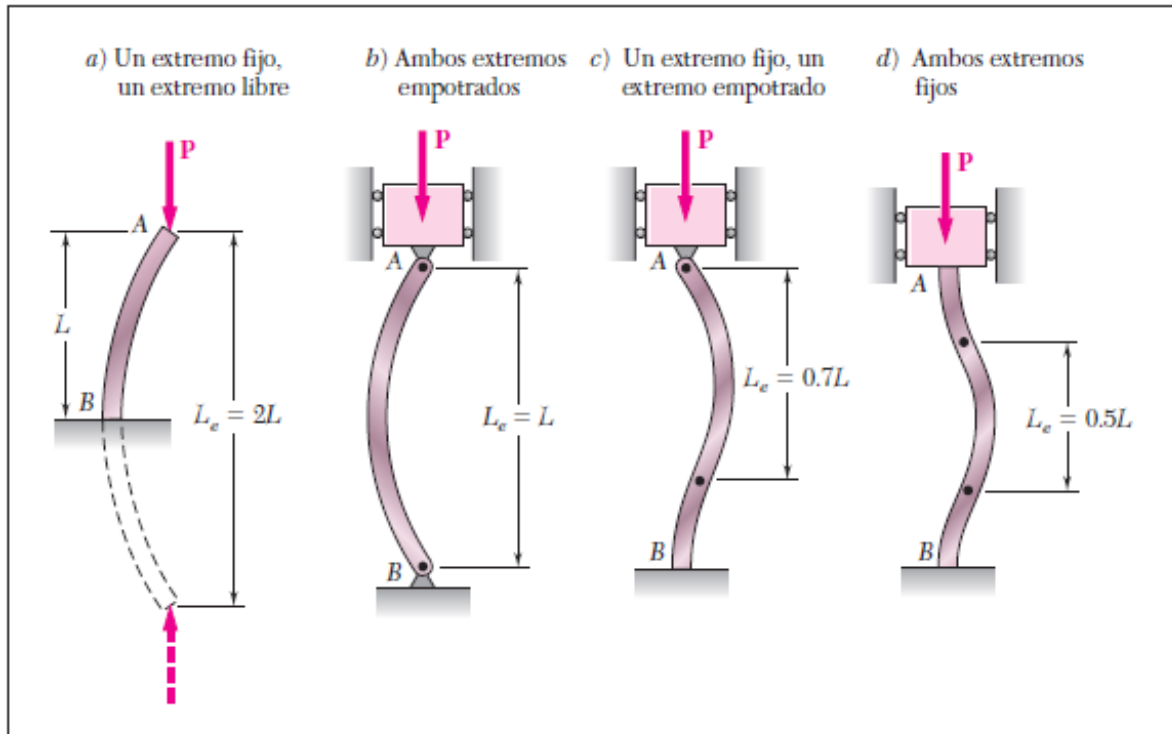


Figura 10.18 Longitudes efectivas de columnas para varias condiciones de extremo.

Fuente: MOTT, Robert L. Diseño de Elementos de Máquinas. Pearson Educación: México, D.F., 4ta edición, 2006. ISBN 970-26-0812-0

ANEXO E.
 PLANCHA DE ACERO SACK




MEDIDAS ESPECIALES A PEDIDO

CONSULTE POR SU PROYECTO

APLICACIONES

- Construcción de plataformas
- Equipamiento de transporte
- Circulación
- Estantes y calderas
- Obras civiles
- Estructuras en general

Planchas Lisas	
Espesor mm	Peso Técnico kg/m ²
6,0	48,0
8,0	64,0
10,0	80,0
12,0	96,0
14,0	112,0
16,0	128,0
18,0	144,0
20,0	160,0
22,0	176,0
25,0	200,0
28,0	224,0
30,0	240,0
32,0	256,0
35,0	280,0
38,0	304,0
40,0	320,0
45,0	360,0
50,0	400,0
63,0	504,0
75,0	600,0
100,0	800,0

ASTM A-36, A-572 gr 50.
 Anchos: 1.000; 2.000; 2.440; 3.000 mm.
 Largos: 6 y 12 m y largos especiales.



Planchas Diamantadas	
Espesor mm	Peso Técnico kg/m ²
2,0	17,0
2,5	21,2
3,0	25,5
4,0	34,0
5,0	43,9
6,0	51,0
8,0	68,0

Ancho: 1000 mm.
 Se entrega en plancha de largos de 3 y 6 m y largos especiales.

Rollos y Planchas de Acero Negro

Fuente: CATALOGO SACK [En línea] Disponible en:
https://www.sack.cl/files/Catalogo_Sack_2015.pdf

ANEXO F.

SELECCIÓN DEL RODAMIENTO (SOPORTE(S) DE PIE)

Selección del tamaño del rodamiento utilizando la capacidad de carga estática

Selección del tamaño del rodamiento utilizando la capacidad de carga estática

El tamaño del rodamiento se deberá seleccionar según las capacidades de carga estática C_0 en lugar de la vida útil del rodamiento cuando se produzca alguna de las siguientes condiciones:

- El rodamiento está fijo y está sometido a cargas continuas o intermitentes (de choque).
- El rodamiento efectúa lentos movimientos de oscilación o alineación bajo carga.
- El rodamiento gira bajo carga a velocidades muy bajas ($n < 10$ r. p. m.) y solo se requiere que tenga una vida útil corta. En otras palabras, en este caso, la ecuación de vida para una determinada carga equivalente P ocasionaría una capacidad de carga dinámica básica C requerida tan baja que el rodamiento seleccionado, según la fórmula de la vida útil, estaría seriamente sometido a una sobrecarga durante el servicio.
- El rodamiento gira y tiene que soportar elevadas cargas de choque, además de las cargas de funcionamiento normales.

En todos estos casos, la capacidad de carga admisible para el rodamiento es la carga máxima que el rodamiento puede soportar sin que se produzca una deformación permanente de los elementos rodantes ni de los caminos de rodadura. Habitualmente, la deformación permanente se ocasiona debido a lo siguiente:

- cargas elevadas que actúan sobre el rodamiento mientras se encuentra fijo o realiza movimientos lentos de oscilación;
- cargas de choque elevadas que actúan sobre el rodamiento mientras está girando.

Conforme a las condiciones de funcionamiento y carga, pueden producirse daños tales como superficies aplanadas en los elementos rodantes o indentaciones en los caminos de rodadura. Estas indentaciones pueden distribuirse irregularmente por el camino de rodadura o, incluso, de manera uniforme en posiciones que corresponden a la separación de los elementos rodantes.

Las deformaciones permanentes, generalmente, incrementan los niveles de vibración o ruido, y aumentan la fricción. También es posible que aumente el juego interno o que se produzcan cambios en el ajuste.

Estos cambios perjudicarán en mayor o menor medida el rendimiento del rodamiento según las exigencias de cada aplicación particular. Por lo tanto, es necesario garantizar que no se produzcan deformaciones permanentes o que estas sean muy pequeñas y, para conseguirlo, se deberá seleccionar un rodamiento que tenga una capacidad de carga estática lo suficientemente elevada para satisfacer uno de los siguientes requisitos:

- alta confiabilidad;
- funcionamiento silencioso, como en motores eléctricos;
- funcionamiento sin vibraciones, como en máquinas herramienta;
- momento de fricción constante del rodamiento, como en dispositivos de medición y equipos de prueba;
- baja fricción de arranque bajo carga, como en grúas.

B

(CONTINUACIÓN ANEXO F CAPACIDAD DE CARGA).

Selección del tamaño del rodamiento

Carga estática equivalente del rodamiento

Las cargas estáticas que tienen componentes radiales y axiales se deben convertir a una carga estática equivalente del rodamiento. Esta se define como la carga hipotética (radial para un rodamiento radial y axial para un rodamiento axial) que, de ser aplicada, causaría en el rodamiento la misma carga máxima en los elementos rodantes que las cargas reales a las que está sometido el rodamiento. Se obtiene con la siguiente ecuación general:

$$P_0 = X_0 F_r + Y_0 F_a$$

donde

P_0 = carga estática equivalente del rodamiento [kN]

F_r = carga radial real del rodamiento (ver a continuación) [kN]

F_a = carga axial real del rodamiento (ver a continuación) [kN]

X_0 = factor de carga radial del rodamiento

Y_0 = factor de carga axial del rodamiento

La información y los datos requeridos para calcular la carga estática equivalente del rodamiento se ofrecen en el capítulo del producto correspondiente.

Al calcular P_0 , se deberá utilizar la carga máxima admisible así como sus componentes radiales y axiales (→ fig. 3) en la ecuación anterior. Si una carga estática actúa sobre el rodamiento en diferentes sentidos, la magnitud de estos componentes cambia. En estos casos, se deberán utilizar los componentes de la carga con el valor máximo de carga estática equivalente del rodamiento P_0 .

Capacidad de carga estática básica requerida

Cuando el tamaño del rodamiento requerido se determina en base a la capacidad de carga estática, se emplea un factor de seguridad s_0 , que representa la relación entre la capacidad de carga estática básica C_0 y la carga estática equivalente del rodamiento P_0 para calcular la capacidad de carga estática básica requerida.

La capacidad de carga estática básica requerida C_0 puede determinarse a partir de lo siguiente:

$$C_0 = s_0 P_0$$

donde

C_0 = capacidad de carga estática básica [kN]

P_0 = carga estática equivalente del rodamiento [kN]

s_0 = factor de seguridad estática

Los valores orientativos para el factor de seguridad estática s_0 basados en la experiencia se enumeran en la **tabla 11**. A temperaturas elevadas, la capacidad de carga estática se reduce. Para obtener más información, comuníquese con el Departamento de Ingeniería de Aplicaciones de SKF.

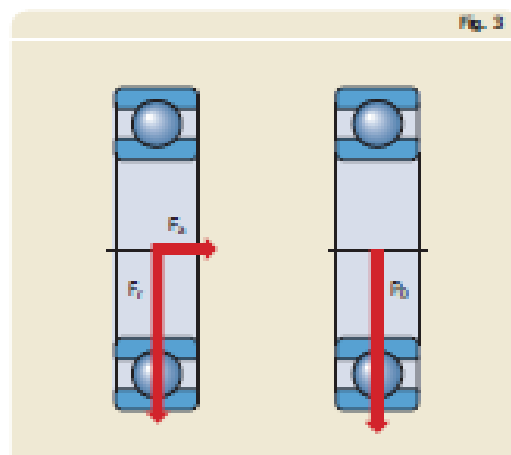


Fig. 3

(CONTINUACIÓN ANEXO F CAPACIDAD DE CARGA ESTÁTICA)

Selección del tamaño del rodamiento utilizando la capacidad de carga estática

Comprobación de la capacidad de carga estática

Para los rodamientos cargados dinámicamente, cuando se conoce la carga estática equivalente del rodamiento P_0 , se recomienda comprobar que la capacidad de carga estática sea la adecuada usando lo siguiente:

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0}$$

Si el valor s_0 obtenido es menor que el valor orientativo recomendado (→ **tabla 11**), se deberá seleccionar un rodamiento con una mayor capacidad de carga estática básica.

B

Tabla 11

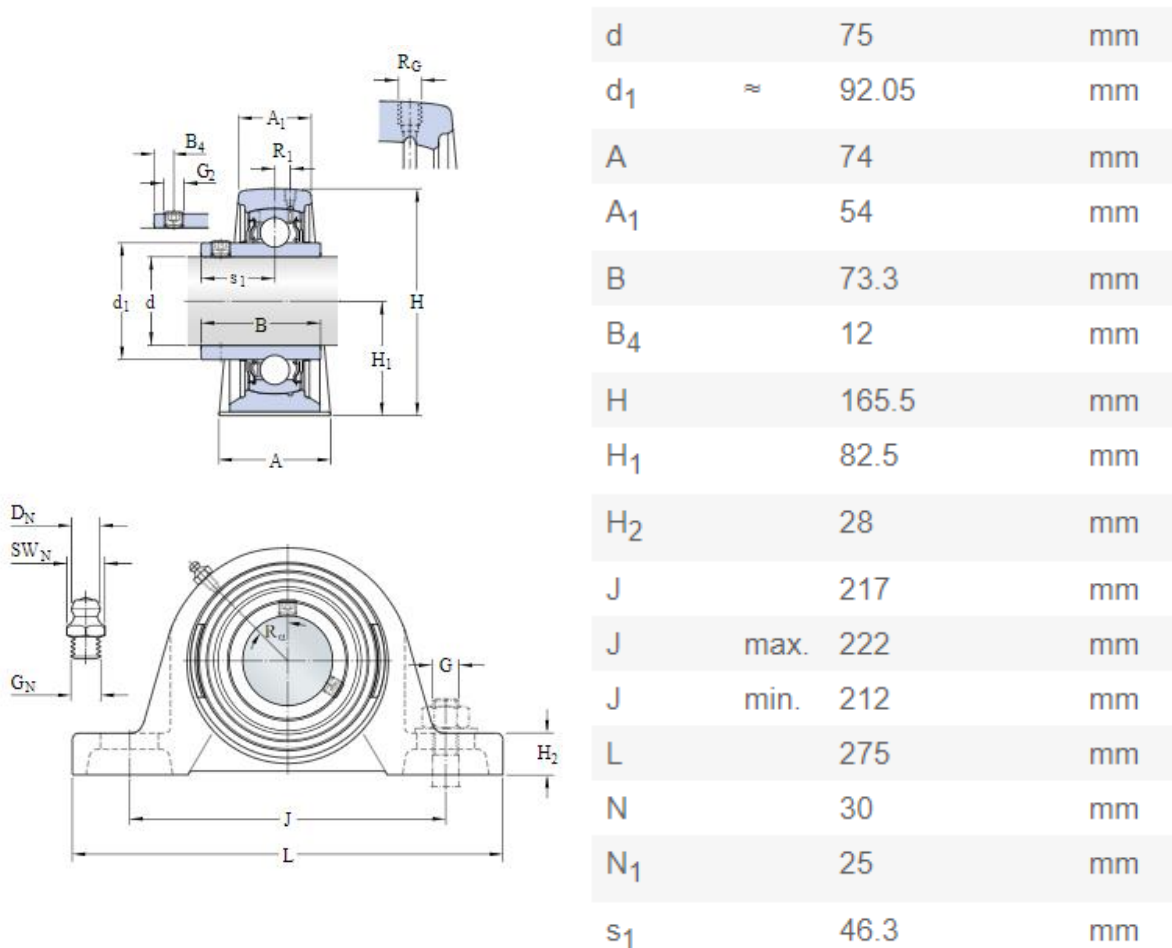
Valores orientativos para el factor de seguridad estática s_0

Tipo de funcionamiento	Rodamientos giratorios (requiere de mantenimiento [p. 4], funcionamiento silencioso o funcionamiento sin vibraciones) sin importancia					Rodamientos fijos		
	normal		sup.					
	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos
Suave, sin vibración	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
Normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
Cargas de choque promedio ²⁾	≥ 1,5	≥ 2,5	≥ 1,5	≥ 3	≥ 2	≥ 4	≥ 1	≥ 2

Para los rodamientos axiales de rodillos a rótula, se recomienda utilizar s_0 ≥ 4.

²⁾ Cuando no se conoce la magnitud de la carga de choque, deben utilizarse valores de s_0 por lo menos iguales a los arriba mencionados. Si se conoce la magnitud de las cargas de choque s_0 se pueden aplicar valores de s_0 menores.

(CONTINUACIÓN ANEXO F DIMENSIONES SYJ 75F).



Fuente: Rodamientos SKF SJY 75F. [En línea]
<https://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/bearing-units/ball-bearing-units/y-bearing-plummer-block-units/Y-units/index.html?designation=SYJ%2075%20TF>

ANEXO G.

SELECCIÓN Y REFERENCIA DEL PERFIL

NEUMARKET S.A. NEUMÁTICOS ESTÁN SUJETOS A CAMBIOS SIN PREVIO AVISO. Tread design, technical information and tire construction subject to change without notice and may vary by size.

Tamaño	Índice de carga / Símbolo Velocidad	TL o TL	MFS	Diámetro Total (mm)	Ancho Sección (mm)	Tamaño de Aro		Profundidad (mm)
Size	Load Index & Speed Symbol	XL o RF	MFS	Overall Diam. (mm)	Section Width (mm)	Rim Width		Depth (mm)
						Recomendado (pulgadas)	Permitido (pulgadas)	
						Measuring (inch)	Approved (inch)	
155/70R12	73T	TL		523	157	4.5	4.0 - 5.0	7.5
165/65R13	77T	TL		544	170	5.0	4.5 - 6.0	7.5
165/70R13	79T	TL		562	170	5.0	4.0 - 5.5	7.6
175/70R13	82T	TL		576	177	5.0	4.5 - 6.0	8.1
185/70R13	86T	TL		590	189	5.5	4.5 - 6.0	8.2
165/80R13	83S	TL		594	165	4.5	4.0 - 5.5	7.5
165/60R14	75T	TL		554	170	5.0	4.5 - 6.0	7.6
185/60R14	82H	TL		578	189	5.5	5.0 - 6.5	8.2
195/60R14	86H	TL		590	201	6.0	5.5 - 7.0	8.3
165/65R14	79T	TL		570	170	5.0	4.5 - 6.0	7.5
175/65R14	82H	TL		584	177	5.0	5.0 - 6.0	8.1
185/65R14	86H	TL		596	189	5.5	5.0 - 6.5	8.2
195/65R14	89T	TL		610	201	6.0	5.5 - 7.0	8.3
185/70R14	88T	TL		616	189	5.5	4.5 - 6.0	8.2
195/70R14	91T	TL		630	201	6.0	5.0 - 6.5	8.3
185/80R14	91S	TL		652	184	5.0	4.5 - 6.0	8.2
195/55R15	85H	TL	○	595	201	6.0	5.5 - 7.0	8.3
175/60R15	81S	TL		591	177	5.0	5.0 - 6.0	8.1
185/60R15	84H	TL		603	189	5.5	5.0 - 6.5	8.2
195/60R15	88H	TL		615	201	6.0	5.5 - 7.0	8.3
175/65R15	84H	TL		609	177	5.0	5.0 - 6.0	8.1
185/65R15	88H	TL		621	189	5.5	5.0 - 6.5	8.2
195/65R15	91H	TL		635	201	6.0	5.5 - 7.0	8.3
205/65R15	94H	TL		647	209	6.0	5.5 - 7.5	8.4
215/65R15	96H	TL		661	221	6.5	6.0 - 7.5	8.5
205/70R15	96H	TL		669	209	6.0	5.0 - 7.0	8.4
215/70R15	98H	TL		683	221	6.5	5.5 - 7.0	8.5
185/55R16	83H	TL	○	610	194	6.0	5.0 - 6.5	8.2
205/55R16	91H	TL	○	632	214	6.5	5.5 - 7.5	8.4

Fuente: NEUMARKET [En línea] Disponible en: <https://www.neumarket.com/blog/como-leer-tus-llantas/>

ANEXO H.

SELECCIÓN Y REFERENCIA DE LA LLANTAS

Índice de Carga	Carga en Kg por llanta	Índice de Carga	Carga en Kg por llanta	Índice de Carga	Carga en Kg por llanta	Índice de Carga	Carga en Kg por llanta	Índice de Carga	Carga en Kg por llanta
65	290	78	425	91	615	104	900	117	1285
66	300	79	437	92	630	105	925	118	1320
67	307	80	450	93	650	106	950	119	1360
68	315	81	462	94	670	107	975	120	1400
69	325	82	475	95	690	108	1000	121	1450
70	335	83	487	96	710	109	1030	122	1500
71	345	84	500	97	730	110	1060	123	1550
72	355	85	515	98	750	111	1090	124	1600
73	365	86	530	99	775	112	1120	125	1650
74	375	87	545	100	800	113	1150	126	1700
75	387	88	560	101	825	114	1180	127	1750

	VELOCIDAD MÁXIMA	TIPO/TIPO DE VEHÍCULO
L	 120 Km/h	 Fuera de Carretera y Camiones Ligeros
M	 130 Km/h	 Llanta de Repuesto Temporal
N	 140 Km/h	 Llanta de Repuesto Temporal
Q	 160 Km/h	 Invierno 4x4
R	 170 Km/h	 Camioneta de trabajo pesado/Camión Ligero
S	 180 Km/h	 Sedán Familiar y Vans
T	 190 Km/h	 Sedán Familiar y Vans
H	 210 Km/h	 Sedanes Deportivos y Cupés
V	 240 Km/h	 Carros Deportivos
Z	 240+ Km/h	 Carros Deportivos
W	 270 Km/h	 Carros Deportivos Exóticos
Y	 300 Km/h	 Carros Deportivos Exóticos
(Y)	 300+ Km/h	 Carros Deportivos Exóticos

Fuente: NEUMARKET [En línea] Disponible en: <https://www.neumarket.com/blog/como-leer-tus-llantas/>

ANEXO I.

SELECCIÓN Y REFERENCIA DEL MOTORREDUCTOR

Calculation data

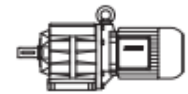
Basic dynamic load rating	C	66.3	kN
Basic static load rating	C ₀	49	kN
Fatigue load limit	P _u	2.04	kN
Limiting speed		2600	r/min

with shaft tolerance h6

BG-series helical-gearred motors

Selection helical-gearred motors DSE -IE1

P = 11 kW



50 Hz			i	Type	m kg	F _{RN} N	F _{RV} N	60 Hz		
n ₂ 1/min	M ₂ Nm	f _s						n ₂ 1/min	M ₂ Nm	f _s
30	3500	1.2	48.80	BG80-../DSE16MA4	*	23800	-	36.5	2850	1.45
26	4000	1.05	57.24	"	*	25400	-	31	3350	1.25
23	4550	0.92	63.56	"	*	26000	-	28	3750	1.1
22	4750	0.88	66.40	BG80Z-../DSE16MA4	307	26000	-	27	3850	1.1
20	5200	0.81	73.73	"	*	26000	-	24	4350	0.97
38.5	2700	3.1	38.21	BG90-../DSE16MA4	354	65000	-	46.5	2250	3.7
35	3000	2.8	41.85	"	*	65000	-	42.5	2450	3.4
30	3500	2.4	48.82	"	*	65000	-	36.5	2850	2.9
27.5	3800	2.2	53.46	"	*	65000	-	33	3150	2.7
26	4000	1.7	57.04	BG90Z-../DSE16MA4	413	65000	-	31	3350	2.0
23.5	4450	1.7	62.47	"	*	65000	-	28.5	3650	2.1
19.5	5300	1.6	76.61	"	*	65000	-	23	4550	1.85
17.5	6000	1.4	83.91	"	*	65000	-	21	5000	1.7
15.5	6700	1.25	96.53	"	*	65000	-	18.5	5600	1.5
14	7500	1.1	105.7	"	*	65000	-	17	6100	1.4
11.5	9100	0.92	127.1	"	*	65000	-	14	7500	1.1
10.5	10000	0.84	139.2	"	*	65000	-	13	8000	1.05
21	5000	3.2	70.69	BG100-../DSE16MA4	524	90000	-	25	4200	3.8
18.5	5600	3.0	80.85	"	*	90000	-	22	4750	3.5
16.5	6300	2.7	90.02	"	*	90000	-	20	5200	3.2
14	7500	2.2	107.5	"	*	90000	-	16.5	6300	2.7
12.5	8400	2.0	119.7	"	*	90000	-	15	7000	2.4
10.5	10000	1.7	139.1	"	*	90000	-	13	8000	2.1
9.5	11000	1.55	154.8	"	*	90000	-	11.5	9100	1.85
8.2	12800	1.3	178.6	"	*	90000	-	9.9	10600	1.6
7.4	14100	1.2	198.8	"	*	90000	-	8.9	11800	1.4
6.3	16600	1.0	232.6	"	*	90000	-	7.6	13800	1.2
5.7	18400	0.91	259.0	"	*	90000	-	6.8	15400	1.1
5.5	19100	0.97	269.8	BG100Z-../DSE16MA4	616	90000	-	6.6	15900	1.15
4.9	21400	0.86	300.4	"	*	90000	-	5.9	17800	1.05

Fuente: DIRECT INDUSTRY [En línea] Disponible en:
<https://pdf.directindustry.es/pdf/bauer-gear-motor/descripcion-producto/119285-849045.html>


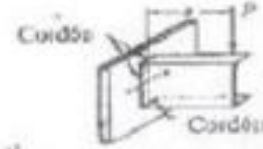
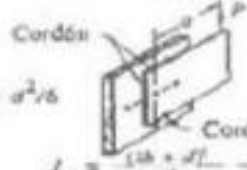
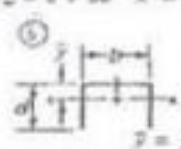
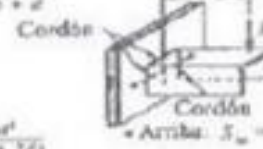

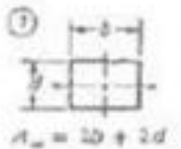


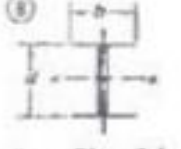
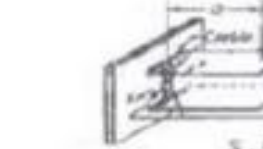

ANEXO J.
SOLDADURA

Método para considerar la soldadura como una línea

Aquí se examinarán cuatro formas de aplicar la carga: 1) tensión o compresión directa, 2) corte vertical directo, 3) flexión y 4) torsión. El método permite que el diseñador realice los cálculos en una forma muy parecida a la que se empleó para diseñar los elementos portantes mismos. En general, se analiza la soldadura por separado, para cada tipo de carga, y se determina la fuerza por pulgada de lado de soldadura, debido a cada carga. Entonces, se combinan las cargas vectorialmente para calcular la fuerza máxima.

A continuación, se resumen las relaciones empleadas:

<i>Tipo de carga</i>	<i>Fórmula para fuerza/pulgada de soldadura</i>	
Tensión o compresión directa	$f = P/A_w$	
Cortante vertical directo	$f = V/A_w$	
Flexión	$f = M/S_w$	
Torsión	$f = Tc/J_w$	

 <p>①</p> $A_w = d + 2b$ $\bar{x} = \frac{a^2}{2b + d}$	 <p>Cordón</p> $S_w = bd + a^2/6$	 <p>Cordón</p> $J_w = \frac{12b + d^3}{12} - \frac{a^2b + d^2}{(2b + d)}$
 <p>②</p> $A_w = b + 2d$ $\bar{x} = \frac{a^2}{b + 2d}$	 <p>Cordón</p> <p>Arriba: $S_w = \frac{2bd + d^2}{3}$</p> <p>Abajo: $S_w = \frac{d(2b + d)}{3(1 + d)}$</p>	 <p>Cordón</p> $J_w = \frac{(b + 2d)^2}{12} - \frac{a^2b + d^2}{(b + 2d)}$
 <p>③</p> $A_w = 2b + 2d$	 <p>Cordón todo alrededor</p> $S_w = bd + a^2/3$	 <p>Cordón todo alrededor</p> $J_w = \frac{12b + d^3}{6}$
 <p>④</p> $A_w = 2b + 2d$	 <p>Cordón</p> $S_w = bd + a^2/3$	 <p>Cordón</p> $J_w = \frac{d^3 + 12bd + d^3}{6}$

Fuente: MOTT, Robert L. Diseño de Elementos de Máquinas. Pearson Educación: México, D.F., 4ta edición, 2006. ISBN 970-26-0812-0

ANEXO K.

SELECCIÓN Y REFERENCIA DEL ELECTRODO E70 (WEST ARCO)



GUÍA DE ELECTRODOS PARA SOLDAR WEST ARCO

WEST ARCO, cuenta con un metal de aporte para cada necesidad; en caso de no encontrar el indicado, consulte con nuestro departamento técnico ó en www.westarco.com

ac : Corriente Alterna
dcep: Corriente directa electrodo al positivo
dceen: Corriente directa electrodo al negativo

Especificación	Clasificación AWS	Nombre WEST ARCO	Diámetro mm (in)	Longitud (mm)	Aparato recomendado (A)	Posición para soldar	Tipo de Corriente	Características y Aplicaciones	Composición Química Típica	Propiedades Mecánicas Típicas				
										Resistencia a la Tracción ksi (MPa)	Límite de Fluencia ksi (MPa)	Resistencia al Impacto Charpy en "V" J en °C		
ELECTRODOS REVESTIDOS PARA SOLDAR ACEROS AL CARBONO (AWS A5.1)	E6010	XL 610	2.4 (3/32)	350	50-60	TODAS	dcep	Es un electrodo de alta penetración y rápida solidificación. Para soldar aceros de bajo carbono, lamina ordinaria y galvanizada, calderas, estructuras, tuberías de presión y acero fundido.		62 a 72 (427 - 496)	52 a 62 (358 - 427)	22 al 33	-29	27 a 100
			3.2 (1/8)	350	70-115									
			4.0 (5/32)	350	90-140									
			4.8 (3/16)	450	120-210									
	E6010	ZIP 10T	2.4 (3/32)	300	90-80	TODAS	dcep	Es un electrodo de muy buena penetración, con poco de hierro, buena calidad radiográfica especialmente diseñado para oleoductos, gasoductos, construcciones navales, estructuras de acero y recipientes a presión principalmente.		62 a 72 (427 - 496)	52 a 62 (358 - 427)	22 al 33	-29	27 a 100
			3.2 (1/8)	350	70-120									
			4.0 (5/32)	350	90-135									
			4.8 (3/16)	450	120-150									
	E6011	ACP 611SS	2.4 (3/32)	300	90-80	TODAS	ac ó dcep	Se emplea para soldar todo tipo de aceros de bajo carbono en tuberías, estructuras, construcciones navales, recipientes a presión, etc., especialmente en países de penetración. Adecuado para soldar lamina galvanizada		63 a 74 (434 - 510)	52 a 60 (358 - 413)	27 al 35	-29	27 a 100
			3.2 (1/8)	350	70-115									
			4.0 (5/32)	350	90-140									
			4.8 (3/16)	450	120-210									
E6013	SUPER SW 613	2.4 (3/32)	300	60-100	TODAS	ac, dcep ó dceen	Electrodo de tipo europeo de fácil manipulación, desarrollado para toda clase de soldaduras que requieren poca penetración. Se emplea para construcciones de acero en general, carpinterías metálicas con lamina delgada, fabricación de puertas, ventanas, rejas, ductos, ensamblaje de carrocerías y ornamentación en general.		60 a 74 (413 - 510)	48 a 62 (331 - 427)	22 al 28	30	40 a 110	
		3.2 (1/8)	350	90-130										
		4.0 (5/32)	350	120-160										
		4.8 (3/16)	450	120-160										
E6013	SW 613	2.4 (3/32)	300	50-90	TODAS	ac, dcep ó dceen	Carrocerías, muebles metálicos, ductos de aire acondicionado, rejas, ventanas y ornamentación en general.		60 a 74 (413 - 510)	48 a 65 (331 - 448)	22 al 29	20	30 a 110	
		3.2 (1/8)	350	90-150										
		4.0 (5/32)	350	110-160										
		4.8 (3/16)	450	175-275										
E7014	ZIP 14	2.4 (3/32)	350	70-110	TODAS	ac, dcep ó dceen	Electrodo de penetración media y alta tasa de deposición. Construcción de maquinaria, marcos de máquinas, implementos agrícolas, trabajos de ornamentación, tubería, recipientes de presión y sus accesorios. Equipos de ferrocarril, construcciones navales y soldadura de aceros estructurales.		70 a 80 (483 - 552)	58 a 68 (400 - 468)	22 al 28	20	50 a 100	
		3.2 (1/8)	350	110-150										
		4.0 (5/32)	350	120-200										
		4.8 (3/16)	450	175-275										
E7024	ZIP 24	3.2 (1/8)	350	140-180	PLANA Y horizontal en PUNTO	ac, dcep ó dceen	Electrodo para soldar en posición plana y horizontal con altísima tasa de deposición. Puentes y equipos pesados, equipo de construcción, implementos agrícolas, tanques de almacenamiento de petróleo y sus derivados, maquinaria de minería, carros de ferrocarril y construcción naval y en general para aceros de bajo contenido de carbono.		70 a 80 (483 - 552)	60 a 70 (414 - 483)	22 al 25	20	45 a 100	
		4.0 (5/32)	350	180-250										
		4.8 (3/16)	450	225-300										
		2.4 (3/32)	300	70-100										
E7018-1	WIZ 18	3.2 (1/8)	350	108-145	TODAS	ac ó dcep	Se utiliza para soldaduras de acero al carbono de hasta 70,000 psi de resistencia a la tracción, en aplicaciones en estructuras, tuberías y tanques a presión especialmente cuando se requiere alta resistencia al impacto a bajas temperaturas.		C: 0.05 - 0.10% S: 0.35 - 0.50% Mn: 1.20 - 1.50% P: 0.025%	70 a 80 (483 - 552)	58 a 70 (400 - 483)	22 al 36	-46	80
		4.0 (5/32)	350	135-200										
		4.8 (3/16)	350	170-270										
		2.4 (3/32)	300	70-100										
E7018	WIZ 18 S	3.2 (1/8)	350	100-140	TODAS	ac ó dcep	Se utiliza para soldaduras de acero al carbono de hasta 70,000 psi de resistencia a la tracción, en aplicaciones en estructuras, tuberías y tanques a presión, calderas, vagones de ferrocarril, etc.		C: 0.05 - 0.10% S: 0.40 - 0.60% Mn: 1.00 - 1.40% P: 0.025%	72 a 84 (496 - 579)	62 a 72 (427 - 496)	24 al 36	-29	70
		4.0 (5/32)	350	135-200										
		4.8 (3/16)	350	170-270										
		6.4 (1/4)	450	240-400										

E7014	ZIP 14	2.4 (3/32)	350	70-110	TODAS	ac, dcep ó dceen
		3.2 (1/8)	350	110-150		
		4.0 (5/32)	350	120-200		
		4.8 (3/16)	450	175-275		
E7024	ZIP 24	3.2 (1/8)	350	140-180	PLANA Y horizontal en PUNTO	ac, dcep ó dceen
		4.0 (5/32)	350	180-250		

Electrodo de penetración media y alta tasa de deposición. Construcción de maquinaria, marcos de máquinas, implementos agrícolas, trabajos de ornamentación, tubería, recipientes de presión y sus accesorios. Equipos de ferrocarril, construcciones navales y soldadura de aceros estructurales.

Electrodo para soldar en posición plana y horizontal con altísima tasa de deposición. Puentes

Fuente: WEST ARCO [En línea] Disponible en: <https://www.westarco.com/westarco/sp/products/filler-metals/covered-stick-electrodes-smaw/index.cfm>

ANEXO L.

MODELO DE ENCUESTA APLICADA



ENCUESTA SIMULADOR DE VUELCO DE UN AUTOMOVIL COMPACTO

Nombre:	Edad:
Cedula:	Empresa:

1- ¿Su empresa estaría dispuesta a alquilar la máquina simuladora de vuelco, como mecanismo de capacitación para el personal de la misma?

- I. SI
- II. NO

2- ¿Cuál es el tiempo que usted cree necesario para que la actividad se realice adecuadamente en las instalaciones de su empresa?

- I. Rango de 1 hora a 2,5 horas
- II. Rango de 2,5 horas a 5 horas
- III. Rango de 5,1 horas a 8 horas

3- ¿Cuánto dinero estaría dispuesto a pagar por hora por el alquiler del simulador de vuelco de automóvil compacto?

4- ¿Cuánto dinero pagaría su empresa, si está decidiera alquilar la máquina simuladora de vuelco por una jornada de 8 horas?

- I. Entre \$ 1'000.000 y \$ 2'000.000
- II. Entre \$ 2'000.000 y \$ 3'000.000
- III. Entre \$ 3'000.000 o más

Si su respuesta es \$ 3'000.000 o más, que valor sería? _____

5- Cuantas veces a la semana, su empresa estaría dispuesta a realizar las actividades de sensibilización en seguridad vial (elementos de seguridad pasiva del vehículo)

- I. Entre 1 a 2 veces
- II. Entre 2 a 4 veces
- III. Entre 4 a 6 veces
- IV. 7 o más veces

FIRMA DEL ENCUESTADO

FIRMA DEL ENCUESTADOR

Fuente: elaboración propia con base en la información suministrada por la empresa cinfovial s.a.s.

ANEXO M.
PLANOS CONSTRUCTIVOS