



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

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

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPOS DE
ENSAYOS MECÁNICOS PARA EL PROCESO DE CONTROL
DE CALIDAD DE CUADROS – HORQUILLAS DE BICICLETAS,
SEGÚN LA NORMA INEN ISO 4210**

AUTORES:

**VÍCTOR HUGO ANDALUZ VALENCIA
SANTIAGO VICENTE JURADO VITERI**

**DIRECTOR: ING. BORYS CULQUI
CODIRECTOR: ING. LUIS ECHEVERRIA**

Sangolquí

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

INGENIERÍA MECÁNICA

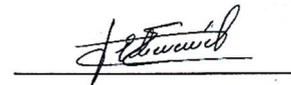
CERTIFICADO DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPOS DE ENSAYOS MECÁNICOS PARA EL PROCESO DE CONTROL DE CALIDAD DE CUADROS – HORQUILLAS DE BICICLETAS, SEGÚN LA NORMA INEN ISO 4210” fue realizado en su totalidad por Víctor Hugo Andaluz Valencia y Santiago Vicente Jurado Viteri, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.



Ing. Borys Culqui

DIRECTOR



Ing. Luis Echeverría

CODIRECTOR

Sangolquí, 17 de agosto de 2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

INGENIERÍA MECANICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros: Victor Hugo Andaluz Valencia y Santiago Vicente Jurado Viteri

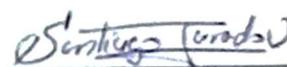
DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado titulado: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPOS DE ENSAYOS MECÁNICOS PARA EL PROCESO DE CONTROL CALIDAD DE CUADROS – HORQUILLAS DE BICICLETAS, SEGÚN LA NORMA INEN ISO 4210”, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales a terceros, conforme los autores constan al final de cada párrafo correspondiente.

En virtud a esta declaración, nos responsabilizamos del contenido científico del proyecto de grado en mención.



Víctor Hugo Andaluz Valencia



Santiago Vicente Jurado Viteri

Sangolquí, 17 de agosto de 2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros: Víctor Hugo Andaluz Valencia y Santiago Vicente Jurado Viteri.

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPOS DE ENSAYOS MECÁNICOS PARA EL PROCESO DE CONTROL CALIDAD DE CUADROS – HORQUILLAS DE BICICLETAS, SEGÚN LA NORMA INEN ISO 4210”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.



Víctor Hugo Andaluz Valencia



Santiago Vicente Jurado Viteri

Sangolquí, 17 de agosto de 2015

DEDICATORIA

El anhelo modela en barro lo que la vida esculpe en mármol (J. R. Lowell), no todo en la vida es fácil de realizar pero mi motor interior es mi imaginación y mis sueños, a pesar de las dificultades intento aplicar la fuerza con que el día rompe la noche para no perder un instante, acercarme y conquistar mis metas.

Primero dedico esta tesis a mi padre Víctor Hugo quien me ha enseñado a soñar sin límites y creer que lo imposible es posible, también a mi madre Laura Angélica quien me transmite fuerza en mis momentos de debilidad y a mi hermano Pedro Damián de quien he tenido un gran apoyo incondicional.

Por ultimo quiero dedicar esta tesis también a mis grandes amigos Juan Francisco, Carlos, Freddy, Alejandro, Iván, Nelson y Jaime con quienes he compartido muchas anécdotas.

Víctor Hugo Andaluz Valencia

DEDICATORIA

Dedico esta tesis de grado en primer lugar a mis padres, Vicente Jurado y Wilma Viteri quienes me han brindado el apoyo necesario de manera incondicional en los buenos y en los malos momentos de mi formación académica, gracias a sus enseñanzas en valores ayudaron a hacer de mí un profesional honesto y responsable.

A mi abuelita María Jerez, por enseñarme a no renunciar nunca y a no dejarme vencer por los problemas cotidianos de la vida.

Santiago Vicente Jurado Viteri

AGRADECIMIENTO

A mi gran y querida universidad de donde me quedan muchas anécdotas y grandes amigos, también agradezco al Ing. Guillermo Cabrera, un gran maestro quien me enseñó que en la ingeniería no existen límites y que la propia fuerza interior es lo que permite alcanzar lo inverosímil.

Por último un agradecimiento especial al Ing. Alberto Naranjo, a quién respeto mucho y considero un gran amigo, me aportó apoyo incondicional en varios segmentos del desarrollo de esta tesis.

Víctor Hugo Andaluz Valencia

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis tutores el Ing. Borys Culqui y el Ing. Luis Echeverría quienes con sus conocimientos aportaron de gran manera a la culminación del proyecto.

A la universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE por la formación recibida y por las facilidades otorgadas a lo largo de todo el proyecto de grado.

Un agradecimiento especial al Ing. Alberto Naranjo, y al ayudante del Laboratorio de Máquinas y Herramientas Nelson Cárdenas, por la facilidad y la ayuda brindada ante cualquier problema o dificultad que se presentó en el desarrollo de la tesis.

Santiago Vicente Jurado Viteri

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	i
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
INDICE DE TABLAS	xi
INDICE DE FIGURAS	xiv
INDICE DE ANEXOS	xviii
RESUMEN	xix
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Definición del problema.....	4
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos	4
1.5. Alcance	5
1.6. Justificación	5
CAPÍTULO 2: MARCO TEORICO	7
2.1. Descripción de la bicicleta.....	7
2.2. Cargas en el conjunto cuadro – horquilla	9
2.3. Control de calidad en producción de bicicletas	11
2.3.1. Control de los procesos de manufactura	11
2.4. Equipos de ensayo	13
2.5. Ensayos según INEN – ISO 4210.....	14
2.6. Diseño del equipo	17

2.7. Automatización industrial mecánica.....	25
CAPÍTULO 3: DISEÑO DE LOS EQUIPOS DE ENSAYO.....	32
3.1.1. Parámetros de diseño	32
3.1.2. Sistemas y esquema inicial	33
3.1.3. Cálculo de la masa de impacto	36
3.1.4. Cálculo de carga por impacto	37
3.1.5. Fuerzas y reacciones generales.....	40
3.1.6. Diseño de sistemas de ensayo masa descendente	48
3.1.8. Resumen de factores de seguridad Equipo 1	77
3.2. Diseño del equipo 2: ensayo de fatiga.....	77
3.2.1. Parámetros de diseño	77
3.2.2. Sistemas y esquema inicial de diseño.....	78
3.2.4. Sistema 1: Soporte – Horquilla.....	79
3.2.5. Sistema 2: Acople – cilindro.....	81
3.2.6. Sistema 3: Conjunto columna – placa.....	85
3.2.7. Resumen de factores de seguridad.....	88
3.2.8 Selección del cilindro neumático.....	89
3.3. Sistema de automatización de los equipos 1 y 2.....	90
3.3.1. Sistema de adquisición de datos y control de Equipo 1.....	90
3.3.2. Sistema de adquisición de datos y control de Equipo 2.....	95
CAPÍTULO 4: CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS.....	98
4.1. Construcción y pruebas del equipo 1 (EQ1).....	98
4.1.1. Requerimientos preconstructivos.....	99
4.1.2. Construcción de los sistemas	104
4.1.3. Montaje general	117

4.1.4. Inspección visual de juntas soldadas	117
4.1.5. Pruebas dimensionales del equipo	118
4.1.6. Pruebas funcionales del equipo	119
4.1.7. Procedimiento de ensayo	124
4.1.8. Validación de resultados.....	124
4.2. Construcción y pruebas del equipo 2 (EQ2).....	132
4.2.1. Requerimientos preconstructivos.....	132
4.2.2. Construcción de los sistemas	135
4.2.3. Montaje general	138
4.2.4. Inspección visual de juntas soldadas	139
4.2.5. Pruebas dimensionales del equipo	139
4.2.6. Pruebas funcionales del equipo	140
4.2.7. Procedimiento de ensayo	140
4.2.8. Validación de resultados.....	141
CAPITULO 5: ANÁLISIS DE COSTOS.....	146
5.1. Introducción costos.....	146
5.2. Análisis de costos directos.....	146
5.3. Análisis de costos indirectos.....	152
5.4. Costo total de los equipos	154
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	155
6.1 Conclusiones.....	155
6.2 Recomendaciones	156
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	157
ANEXOS	161

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tallas de la bicicleta de montaña (MTB).	8
Tabla 2. Geometría de cuadro-horquilla rígido.	9
Tabla 3. Parámetros de ensayo masa descendente.....	32
Tabla 4. Factores de seguridad	33
Tabla 5. Descripción de sistemas del equipo 1.....	36
Tabla 6. Datos experimentales registrados	38
Tabla 7. Factores de seguridad del resorte – trinquete.	54
Tabla 8. Factores de seguridad en el eje trinquete.....	57
Tabla 9. Factores de seguridad del soporte del eje trinquete.....	59
Tabla 10. Componentes variador de poleas.....	61
Tabla 11. Factores de seguridad de soporte poleas fijas.....	63
Tabla 12. Factores de seguridad soporte de poleas.....	65
Tabla 13. Factores de seguridad placa base.....	76
Tabla 14. Resumen de factores de seguridad del equipo 1	77
Tabla 15. Parámetros de ensayo de fatiga.	78
Tabla 16. Descripción de los sistemas del equipo 2.....	79
Tabla 17. Factores de seguridad de junta empernada de soporte-horquilla.....	81
Tabla 18. Factores de seguridad de la oreja soporte-cilindro	84
Tabla 19. Factores de seguridad placa base.....	88
Tabla 20. Resumen de factores de seguridad del equipo 2.....	88
Tabla 21. Parámetros de adquisición de datos equipo 1	90
Tabla 22. Parámetros típicos PLC - Arduino.....	91
Tabla 23. Matriz de valor PLC - Arduino	91
Tabla 24. Matriz de decisión PLC – Arduino.....	92
Tabla 25. Parámetros típicos sensor óptico y ultrasónico.....	93
Tabla 26. Matriz de valor sensor óptico y ultrasónico.....	93
Tabla 27. Matriz de decisión sensor óptico y ultrasónico.	94
Tabla 28. Sensores equipo 1	94
Tabla 29. Parámetros de adquisición de datos y control equipo 2.....	96
Tabla 30. Sensor equipo 2	96
Tabla 31: Materiales del sistema 1.	99
Tabla 32. Materiales del sistema 2	99

Tabla 33. Materiales del sistema 3	100
Tabla 34. Materiales del sistema 4.	100
Tabla 35. Materiales del sistema 5	100
Tabla 36. Materiales del sistema 6	101
Tabla 37. Materiales del sistema 7	101
Tabla 38. Materiales del sistema 8	101
Tabla 39. Materiales del sistema 9	101
Tabla 40. Piezas adquiridas EQ1	102
Tabla 41. Sistema bicapa de recubrimiento.....	103
Tabla 42. Tiempos promedios de secados de la capa 1 y 2	115
Tabla 43. Identificación de líneas de conexión del sensor ultrasónico.....	116
Tabla 44. Verificación dimensional del equipo 1	118
Tabla 45. Verificación del peso de la masa m1	119
Tabla 46. Verificación del peso de la masa rodante	119
Tabla 47. Funcionalidad del sistema 1	120
Tabla 48. Funcionalidad del sistema 2	121
Tabla 49. Funcionalidad del sistema 7	121
Tabla 50. Funcionalidad del sistema 8	122
Tabla 51. Funcionalidad de la automatización EQ1	123
Tabla 52. Inspección previa TCB-INDI-001	125
Tabla 53. Inspección previa TCB-INDI-002	125
Tabla 54. Inspección previa TCB-INDI-003	125
Tabla 55. Inspección previa TCB-INDI-001-H.....	126
Tabla 56. Inspección previa TCB-INDI-002-H.....	126
Tabla 57. Inspección previa TCB-INDI-003-H.....	126
Tabla 58. Inspección previa TCB-BKR-001	127
Tabla 59. Inspección previa TCB-BKR-001-H.....	127
Tabla 60. Inspección previa TCB-AND-001.....	127
Tabla 61. Inspección previa TCB-AND-001-H.....	128
Tabla 62. Inspección previa TCB-AND-002-H.....	128
Tabla 63. Datos previos de ensayo masa descendente.	129
Tabla 64. Valores de parámetros de ensayo masa descendente.....	130
Tabla 65. Inspección física de ensayo masa descendente.....	130
Tabla 66. Análisis de conformidad de muestras en ensayo masa descendente.	131

Tabla 67. Lista de materiales sistema 1 EQ2.....	132
Tabla 68. Lista de materiales sistema 2 EQ2.....	132
Tabla 69. Lista de materiales sistema 3 Eq2.....	133
Tabla 70. Lista de materiales del sistema 4 EQ2.....	133
Tabla 71. Piezas adquiridas EQ2.....	133
Tabla 72. Descripción del sistema bicapa EQ2.	134
Tabla 73. Verificación dimensional de EQ2.....	139
Tabla 74. Verificación de funcionamiento del equipo 2.....	140
Tabla 75. Inspección previa fatiga TCB-INDI-001-H.....	141
Tabla 76. Inspección previa fatiga TCB-INDI-001-H.....	141
Tabla 77. Inspección previa fatiga –TCB-INDI-002-H.....	142
Tabla 78. Inspección previa fatiga TCB-BKR-001-H.....	142
Tabla 79. Inspección previa fatiga TCB-AND-001-H	142
Tabla 80. Datos previos de ensayo de fatiga	143
Tabla 81. Inspección física del ensayo de fatiga.	144
Tabla 82. Análisis de conformidad de muestras en el ensayo de fatiga	145
Tabla 83. Costos materiales directos Equipo 1.....	146
Tabla 84. Costos materiales directos Equipo 2.....	147
Tabla 85. Costos elementos normalizados Equipo 1	148
Tabla 86. Costos elementos normalizados Equipo 2.....	149
Tabla 87. Costos de maquinado Equipo 1.	150
Tabla 88. Costos de maquinado Equipo 2.	150
Tabla 89. Costo directo total Equipo 1.	151
Tabla 90. Costo directo total Equipo 2.	151
Tabla 91. Costos de materiales indirectos Equipo 1.....	152
Tabla 92. Costos de materiales indirectos Equipo 2.....	152
Tabla 93. Costo total indirecto Equipo 1.	153
Tabla 94. Costo total indirecto Equipo 2.	154
Tabla 95. Costo total del equipo 1.	154
Tabla 96. Costo total del Equipo 2.	154

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bicicleta urbana	7
Figura 2. Geometría del conjunto cuadro-horquilla.....	8
Figura 3. Cargas y reacciones en estado estático.....	9
Figura 4. DCL de cargas en análisis dinámico en el cuadro.....	10
Figura 5. Carga de impacto en el cuadro-horquilla.....	10
Figura 6. Proceso general de fabricación de un cuadro / horquilla.....	11
Figura 7. Ensayo de impacto (masa descendente).....	16
Figura 8. Disposición típica de ensayo para una horquilla.....	17
Figura 9. Tipos de esfuerzos	18
Figura 10. Viga en voladizo con carga en el extremo.....	19
Figura 11. Placa cargada en tensión a través de un agujero.....	21
Figura 12. Eje redondo en flexión con un agujero transversal.....	21
Figura 13. Sensibilidad a la muesca en el caso de aceros y aluminio forjado.....	22
Figura 14. Mecanismo rueda trinquete - gatillo.....	24
Figura 15. Ejemplo de producción y utilización de la neumática.....	26
Figura 16. Automatización de un proceso.....	27
Figura 17. Sistema automático en el control.....	28
Figura 18. Acondicionamiento de la señal.....	28
Figura 19. Arduino Mega.....	29
Figura 20. Funcionamiento Sensor Ultrasónico.....	30
Figura 21. Sensor Ultrasónico HC – SR04	30
Figura 22. Celda de Carga tipo S	31
Figura 23. Organización de diseño de equipos	32
Figura 24. Clasificación de sistemas del equipo 1.....	34
Figura 25. Esquema general del Equipo 1.....	35
Figura 26. Determinación experimental deformación estática en horquilla.....	37
Figura 27. Esquema general del estado de carga 1 masa descendente.....	41
Figura 28. DCL S1 - estado de carga1 – vista eje.....	42
Figura 29. DCL general en el sistema 1 en el estado de carga1 masa descendente... 42	42
Figura 30. Esquema general en el estado de carga 2 masa descendente.....	43

Figura 31. DCL en S1 – estado de carga 2 – vista eje – masa descendente.....	44
Figura 32. DCL en S1 – estado de carga 2 – masa descendente.....	44
Figura 33. DCL en S2 – estado de carga 2 – masa descendente.....	45
Figura 34. DCL en S3 – estado de carga 2 – masa descendente.....	45
Figura 35. DCL en S4 – estado de carga 2 – masa descendente.....	46
Figura 36. Esquema general masa descendente del estado de carga 3.....	47
Figura 37. Proceso del mecanismo del Sistema 1 - Masa descendente	48
Figura 38. Esquema general Sistema 1	49
Figura 39. Esquema mecanismo de trinquete.	50
Figura 40. DCL en el diente del trinquete.....	50
Figura 41. DCL de uñeta.....	52
Figura 42. Fuerza de compresión en la uñeta.....	52
Figura 43. DCL de uñeta sosteniendo la masa.	53
Figura 44. Esquema de resorte de compresión.....	53
Figura 45. DCL, cortante y momento – Eje trinquete.....	55
Figura 46. DCL de soporte de eje trinquete.	57
Figura 47. Descomposición en los ejes v, u.	58
Figura 48. Proceso del mecanismo variador	60
Figura 49. Esquema general de variador de poleas.....	60
Figura 50. DCL de soporte polea fija del mecanismo variador	61
Figura 51. Proceso conjunto poleas	63
Figura 52. DCL de soporte de poleas.....	64
Figura 53. Proceso conjunto columna – placa base	65
Figura 54. DCL de la columna – Sistema 4	66
Figura 55. Diagrama de cortante y momento de la columna	68
Figura 56. Diagrama general de Columna – Placa.....	70
Figura 57. Dimensionamiento de placa base.....	71
Figura 58. DCL de placa base	72
Figura 59. Placa a flexocompresión	73
Figura 60. Carga distribuida en G.	73

Figura 61. Diagrama de cuerpo libre en zona G.	74
Figura 62. Diagrama para momento flector	75
Figura 63. Dimensiones de masa rodante	77
Figura 64. Clasificación de sistemas del equipo 2	78
Figura 65. Esquema general del equipo 2	79
Figura 66. DCL Soporte – Horquilla.....	79
Figura 67. Dimensiones junta empernada.....	80
Figura 68. Esquema del acople sensor horquilla.....	82
Figura 69. DCL de placa base con columna.	85
Figura 70. Dimensionamiento placa base – fatiga	86
Figura 71. Sistema de adquisición y presentación de datos.....	90
Figura 72. Diagrama de conexión Equipo 1.....	95
Figura 73. Sistema de adquisición - presentación de datos y control.	95
Figura 74. Amplificador operacional TL084	97
Figura 75. Acondicionamiento de señal Equipo 2	97
Figura 76. Diagrama de fabricación de una pieza.....	104
Figura 77. Diagrama de proceso del eje trinquete.....	105
Figura 78. Diagrama de procesos de rueda trinquete.....	106
Figura 79. Diagrama de procesos de uñeta	107
Figura 80. Diagrama de proceso del pilas de la uñeta.	108
Figura 81. Diagrama de proceso de la corredera A.....	109
Figura 82. Diagrama de procesos de la corredera B.	110
Figura 83. Diagrama de procesos del soporte del variador.....	111
Figura 84. Diagrama de procesos de la masa de impacto m1	112
Figura 85. Diagrama de procesos de la masa rodante.....	113
Figura 86. Preparación superficial SSPC- SP3 de la guía móvil (S8)	114
Figura 87. Aplicación de la capa 1 en la columna	115
Figura 88. Equipo 1 terminado la capa 2.	115
Figura 89. Pesaje de la masa m1	118
Figura 90. Pesaje de la masa rodante.	119

Figura 91. Sistema 1 enclavado	120
Figura 92. Variador con desplazamiento de polea	121
Figura 93. Sistema 7 sin desplazamiento del apoyo	122
Figura 94. Extensión máxima de la guía móvil del sistema 8.....	122
Figura 95. Luces indicadoras EQ1	123
Figura 96. Muestras de BKR, INDIMA y ANDALUZ de izquierda a derecha.....	124
Figura 97. Antes del impacto, muestra TCB-BKR-001	129
Figura 98. Muestra TCB-BKR-001 impactada	129
Figura 99. Análisis de deformación permanente en TCB-BKR-001	131
Figura 100. Diagrama de proceso de alojamiento horquilla superior	135
Figura 101. Diagrama de proceso de alojamiento horquilla inferior	136
Figura 102. Diagrama de procesos de soporte actuador.	137
Figura 103. Ensamblaje del equipo 2.....	138
Figura 104. Verificación del funcionamiento del equipo.....	140
Figura 105. Antes de los 50000 ciclos (muestra TCB-BKR-001-H).	143
Figura 106. Después de 50000 ciclos, muestra TCB-BKR-001-H deformada.....	143
Figura 107. Falla de adherencia en el recubrimiento, fatiga	144

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Masa M1	162
ANEXO 2: Masa Rodante	164
ANEXO 3: Flujograma de ensayo de impacto y fatiga.....	166
ANEXO 4: Programación del equipo 1	169
ANEXO 5: Diagrama neumático Equipo 2.	173
ANEXO 6: Programación del Equipo 2	175
ANEXO 7: Diagrama de conexión equipo 2	178
ANEXO 8: Autorización de publicación de datos experimentales de empresas	180
ANEXO 9: WPS	183
ANEXO 10: Calibración de sensores EQ1 y EQ2.....	185
ANEXO 11: Inspección visual	191
ANEXO 12: Procedimiento de ensayo de los equipos 1 y 2.....	193
ANEXO 13: Informes técnicos de los ensayos.....	200
ANEXO 15: Planos.....	227

RESUMEN

El presente proyecto desarrolla el diseño y construcción de equipos para realizar ensayos de control de calidad en el cuadro – horquilla de bicicleta, basado en la norma INEN ISO 4210, la misma que contempla dos tipos de ensayo: uno de impacto y uno de fatiga.

En el ensayo uno llamado de masa descendente Se deja caer una masa de 22.5 kg verticalmente desde una altura de 180mm elevado mediante un mecanismo de trinquete y regulado por un conjunto variador de poleas, de forma que golpee el rodillo en un punto en línea con los centros de las ruedas y contra la dirección de inclinación de la horquilla.

En el ensayo dos denominado ensayo de fatiga, Una fuerza dinámica inversa proporcionada mediante un cilindro neumático se aplica sobre una celda de carga en el plano de la rueda y perpendicular al tubo del soporte. En cuanto a la magnitud de la fuerza se tiene $\pm 400\text{N}$ para el acero y $\pm 600\text{N}$ para el aluminio por 50000 ciclos a máximo 25 Hz.

Para el control de calidad luego de haber realizado el ensayo uno no debe existir evidencia visible de fractura y la deformación permanente medida entre los ejes de las ruedas no debe exceder los 40mm. Para el ensayo dos no debe haber fractura o grietas visibles en ninguna parte de la horquilla.

Para la comprobación del funcionamiento de la máquina, se levantó un procedimiento de operación y se realizaron 5 ensayos en bicicletas de producción nacional.

Palabras clave:

ENSAYOS

IMPACTO

FATIGA

CUADRO – HORQUILLA

CONTROL DE CALIDAD

ABSTRACT

This Project develops the design and construction of equipment that will perform quality control assays in the frame bicycle fork based in INEN ISO 4210 norm which contemplates two types of assays: impact and fatigue.

In the first assay called descending mass. A mass of 22.5 Kg is dropped vertically from a height of 180mm which is elevated using a ratchet mechanism and regulated by a set drive pulley thus the roller hit a point on line in the centers of the wheels and against the direction of the fork inclination.

In the second assay called fatigue assay, an inverse dynamic force given through a dynamic cylinder is applied on a load cell in the plane of the wheel and perpendicular to the support tube. In respect of the magnitude of force it is $\pm 440\text{N}$ to steel and 600N to the aluminum for 50000 cycles with a maximum 25 Hz.

For the quality control after the assay one is performed, there should not be visible evidence of fracture and permanent deformation which measure between wheel axles not exceeds 40mm. With reference to the assay two, there should not be evidence of visible fractures and cracks nowhere in the fork. In order to test the operation of the machine, a operation procedure was carried out and 5 assays were performed in national production bicycles.

Keywords:

ASSAYS

IMPACT

FATIGUE

FRAME – FORK

QUALITY CONTROL

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

1.1.1. Generalidades

La bicicleta se ha convertido en un modo de transporte para solucionar los problemas de movilidad de la ciudad, el gobierno actual ha incrementado su atención con el fin de incentivar su uso en los últimos años. Actualmente en el ámbito nacional e internacional existe una amplia investigación empírica (publicada en diferentes revistas indexadas) relacionada con las distintas generalidades de la economía de la bicicleta, donde son destacados artículos que abordan sus implicaciones e impactos en el valor del tiempo y desplazamiento, disminución del uso del combustible fósil y calidad ambiental, efectos sobre la congestión, estado de salud e incremento del uso de la bicicleta eléctrica.

En la actualidad, la bicicleta es más sofisticada, cómoda y fácil de montar que una bicicleta de hace 20 años. Por ejemplo, la mayoría incluyen palancas para cambios de velocidad –algunas hasta 30– que mejoran la relación entre el esfuerzo de pedaleo y la velocidad de avance; otras cuentan con dispositivos de liberación rápida de los ejes de las ruedas, lo que hace más fácil realizar los cambios de ruedas debido a una pinchadura, meter la bicicleta en el auto o transportarla en el techo del mismo.

1.1.2. Visión Gubernamental

La importación de bicicletas han aumentado en los últimos años, excepto en 2009 cuando se impuso restricciones para ese sector. Basado en esa proyección y en el boom del uso de este vehículo, el Gobierno apuesta a la creación de fábricas de bicicletas. Para Marco Carrión, Vicepresidente de la Cámara de la Pequeña y Mediana Empresa de Pichincha, la iniciativa va de la mano con la política de sustitución de importaciones que maneja el Gobierno.

El industrial señala que la desagregación tecnológica es fundamental porque permite conocer qué piezas pueden ser utilizadas para el ensamblaje y cuáles se podrá

fabricar en el país. No obstante, advierte que es utópico elaborar una bicicleta 100% ecuatoriana. Según él, la industria local puede aportar el 75% de las partes (Hoy, 2013).

Actualmente, desde enero del 2014, Metaltronic y el Estado ecuatoriano ya producen bicicletas con el 57% de las partes fabricadas en el país, mientras que Ecobike – Indima tiene el 46% de componente nacional (Universo, Metaltronic , 2013).

Para competir con los precios internacionales, el Gobierno plantea la creación de asociatividades empresariales, con lo que también apunta a evitar competencia entre los fabricantes nacionales, mediante acuerdos para que cada asociación se dedique a elaborar un producto específico.

La creación de asociatividades es bien vista por el empresario y considera que si cada una se dedica a un producto específico, habrá mayores beneficios. Aunque se piensa que es complicado competir con marcas extranjeras, cree que la industria debe enfocarse en satisfacer el nicho del transporte, sobre todo en ciudades como Quito y Guayaquil, las de mayor congestión.

1.1.3. Empresas fabricantes y mercado

Los principales fabricantes de bicicletas y accesorios a nivel mundial son los siguientes: Spiuk (España), MSC Bikes (Taiwán), Trek (EEUU), Orbea (España), Scott USA, Decathlon (España), Thule (Suecia), KTM (Australia), Merida (Taiwán), entre otros. Giant Manufacturing, es uno de los mayores fabricantes de bicicletas del mundo.

La historia de Giant es típica de la industria de bicicletas mundial de 61.000 millones de dólares, que disfruta de un crecimiento inaudito porque andar sobre dos ruedas se volvió un importante deporte recreativo y es la opción de muchos ciudadanos occidentales (Reuters, El Universo, 2008).

China es el líder mundial en la cantidad de bicicletas producidas por año, con cerca de 73 millones de unidades de un total de 100 millones anuales, según el Earth Policy Institute, una red de información ambiental con sede en Estados Unidos (Reuters, El Universo, 2008).

El resto proviene mayormente de Taiwán, Canadá, Rusia, Ucrania y la Unión Europea. Taiwán fabrica cerca de 6 millones de bicicletas por año y las vende a un precio mayorista promedio de 222 dólares por unidad, de acuerdo a una asociación manufacturera local (Reuters, El Universo, 2008).

Las ventas de bicicletas han crecido en los últimos cinco años en un 14,6 por ciento entre naciones de la Unión Europea, que compra el 70 por ciento de las bicicletas del mundo, según Bike Europe. En Estados Unidos, las ventas han aumentado casi un 9 por ciento en el mismo período (Reuters, EL Universo , 2008).

1.1.4. Materiales

En los que tiene que ver con los materiales con los que se fabrican los cuadros podemos mencionar algunos como son: acero, aluminio, fibra de carbono, titanio y otros materiales. Con el actual auge de las bicicletas urbanas, también hay quien se ha apuntado a los cuadros de bambú o incluso a las de cartón, baratas, ecológicas y ciertamente curiosas. En el país las empresas que fabrican bicicletas como Metaltronic y Ecobike – Indima producen sus cuadros y horquillas de acero al carbono, las cuales no cuentan con un certificado de calidad del OAE (Organismo de Acreditación Ecuatoriana).

1.1.5. Empresas de control de calidad

Dada la gran variedad de tipos y modelos de bicicletas que ofrece el mercado, el Laboratorio Profeco en México realiza estudios de calidad de bicicletas con el fin de dar a conocer a los consumidores las características de estos productos y, por supuesto, su calidad. El estudio incluyó 51 muestras correspondientes a 11 marcas fabricadas en ese país, donde destacan los ensayos de resistencia, de impacto y de fatiga realizados en los cuadros de acuerdo a las normas establecidas por el mencionado país (Profeco, 2002).

EFBe es un laboratorio alemán independiente líder que pone a prueba cuadros de bicicletas y componentes para la seguridad y la fiabilidad. SCOTT fabricante de bicicletas presenta sus cuadros a EFBe para una prueba final de control de garantía de

calidad y para asegurar que todos cumplen las exigencias más rigurosas. Los resultados de los test y el sello de aprobación de la EFBe validan que cuando un cliente compra una bicicleta SCOTT, está comprando la una bicicleta totalmente confiable y duradera (Sports, 2013).

1.2 Definición del problema

De la investigación de campo realizada en el INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) y la OAE, se determinó que en la actualidad no existe ninguna empresa ni laboratorio en el Ecuador que emita un certificado de conformidad para el control de calidad en el conjunto cuadro – horquilla fabricados en el país, el cual tiene tendencia a subir su producción, ya que a más de construir también hay que asegurar la calidad y la seguridad de los mismos, por medio del estudio y análisis de las propiedades mecánicas y esfuerzos a la cual está sometida la bicicleta.

En Ecuador ingresan y fabrican cientos de bicicletas que no tiene un diseño óptimo ni un control de calidad, causando total inseguridad de estos productos ya que no se cumple con los requerimientos de la NTE INEN – ISO 4210 (Velocípedos. Requisitos de Seguridad para Bicicletas).

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar y construir un equipo o equipos que permita determinar la calidad de cuadros y horquillas de bicicletas de fabricación nacional para su validación de acuerdo a la norma INEN-ISO 4210.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Establecer parámetros de diseño para impacto y fatiga.
- Plantear alternativas de diseño que se ajusten a los parámetros previamente determinados, analizarlas y realizar aquellas que cumplan con los parámetros requeridos en la norma INEN – ISO 4210.

- Realizar los cálculos en base a los materiales existentes en el mercado nacional para cada elemento del equipo.
- Ejecutar pruebas de funcionamiento y puesta a punto de los equipos.
- Elaborar un procedimiento de ensayo y análisis para el control de calidad según la INEN – ISO 4210 para validación de los cuadros y horquillas.

1.5. Alcance

Desarrollar el diseño y construcción de un equipo o equipos para realizar ensayos mecánicos de impacto y fatiga en cuadros - horquillas de modelos seleccionados de producción nacional, en donde los parámetros preliminares por normativa (varios ensayos en diferentes posiciones del cuadro y horquilla), para fatiga se aplica una fuerza dinámica de 440 N a 50000 ciclos en 25 Hz en material ferroso y 600 N en no ferroso, además para el ensayos de impacto una carga 22.5 kg, con una tolerancia de exactitud de (+5%), asegurando la correcta adquisición de datos. Para la construcción se prevé utilizar materiales adquiridos en el mercado local.

Desarrollar un procedimiento para el ensayo del control de la calidad, aplicado a la producción de bicicletas, el mismo que debe ajustarse al conjunto de equipos y a la norma INEN-ISO4210.

1.6. Justificación

Por los motivos mencionados en el problema, es vital desarrollar un equipo eficiente y eficaz para poder cumplir las especificaciones de ensayos mecánicos y obtener un proceso de control de la calidad de acuerdo a las normas que rigen en el país, consiguiendo de esta forma productos de calidad.

Aportando a la iniciativa del gobierno de generar nuestra propia industria y el Plan Nacional Del Buen Vivir que en uno de sus objetivos busca impulsar la transformación industrial y tecnológica por esto se hace vital ingeniar y desarrollar este proyecto, aportando así al desarrollo del país.

El proyecto de producción de bicicletas nacionales, propiciado por el Mipro (Ministerio de Industrias del Ecuador), tiene como objetivo sustituir 110.000 unidades

importadas en el 2014, que evitará la salida de divisas por sobre los 2 millones de dólares (Universo, Metaltronic, 2013).

La producción programada por Metaltronic para el 2014 es de 100.000 bicicletas, mientras que el segundo prototipo es de Ecobike. André Jaramillo representante de esta empresa, dijo que su producción será de 10.000 unidades para este año (Universo, Metaltronic, 2013).

En lo concerniente a las importaciones Ramiro González, Ministro de la Producción, durante la presentación de dos prototipos de bicicletas con componente nacional, en noviembre del 2013, manifestó que Ecuador importa 389.000 bicicletas anuales, que equivalen a un monto superior a los 18 millones de dólares (Universo, Metaltronic, 2013).

Las importaciones de bicicletas y sus partes se han incrementado en un 37% desde el 2011, según cifras del Banco Central del Ecuador (BCE). Estas bicicletas son provenientes principalmente de países como Alemania, China, Vietnam, Taiwán y Corea del Sur.

En el caso de Ecobike vende 15 mil bicicletas importadas al año, Jaramillo asegura que cumple con los estándares. Pero afirma que existe en el mercado bicicletas de gama económica (de menos de 150 dólares) que no aplica las normas nacionales e internacionales (Universo, Metaltronic, 2013).

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Descripción de la bicicleta

2.1.1. Tipos de bicicletas

Los principales tipos de bicicletas de acuerdo a su geometría son; de paseo y urbanas, montañeras (MTB), de carretera, de competencia, BMX, Down hill.

Bicicletas de paseo y montaña

Las bicicletas de paseo están contempladas en la norma INEN ISO 4210 y comúnmente son de cuadro rígido ya que transitan por avenidas de la ciudad y por tal no soporta cargas excesivas, para este tipo de cargas son ideales las bicicletas de montaña o MTB.



Figura 1. Bicicleta urbana

Fuente: (Corporation, Trek , 2014)

Tabla 1

Tallas de la bicicleta de montaña (MTB).

BICICLETA DE MONTAÑA		
TALLA	LONGITUD DEL TUBO DEL SILLÍN	
	in	mm
XS	13 - 14,5	330,2 - 368,3
S	15 - 16,5	381 - 419,1
M	17 - 18,5	431,8 - 469,9
L	19 - 20,5	482,6 - 520,7
XL	21 - 22,5	533,4 - 571,5
XXL	23 - 24,5	584,2 - 622,3

2.1.2. Geometría de cuadro – horquilla

La geometría es de mucha importancia ya que al contar con las medidas del cuadro podemos clasificarlo por tallas, además con pequeñas variaciones como medidas de tubos o ángulos se puede conseguir más eficiencia, velocidad, potencia e incluso más comodidad.

Descripción geométrica de cuadro-horquilla:

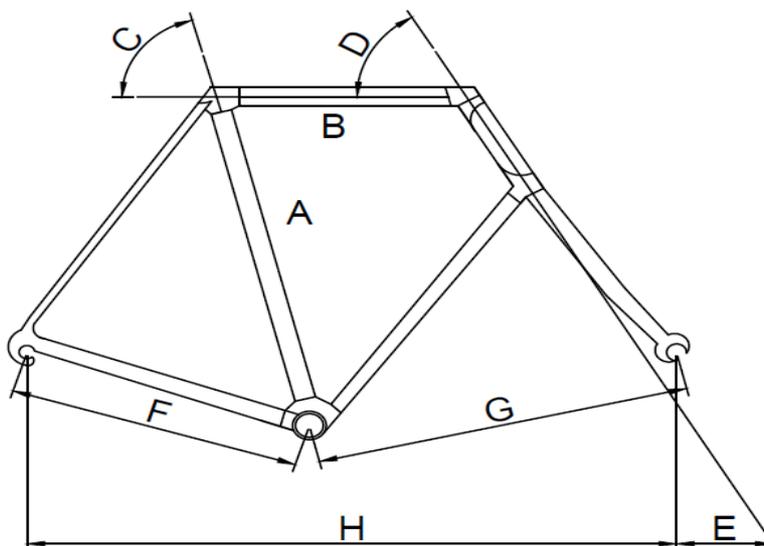


Figura 2. Geometría del conjunto cuadro-horquilla.

Tabla 2

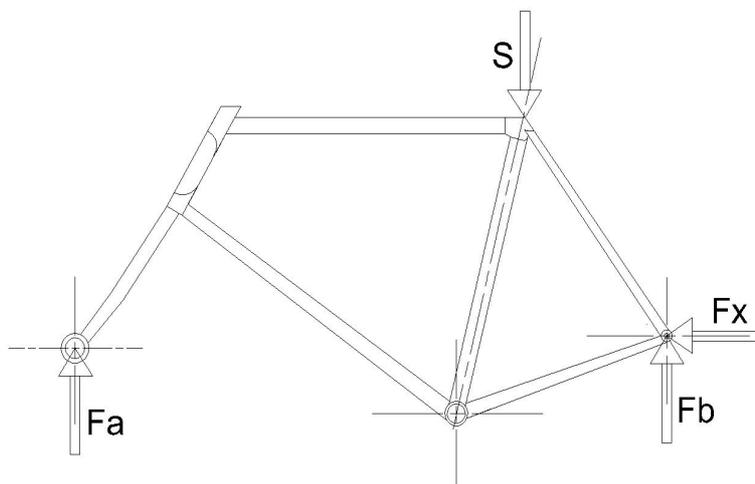
Geometría de cuadro - horquilla rígido.

Ítem	Descripción
A	Longitud del tubo del sillín.
B	Longitud del tubo horizontal.
C	Ángulo del sillín.
D	Ángulo de la dirección.
E	Avance total o efectivo.
F	Distancia entre ejes traseros.
G	Distancia entre ejes delanteros.
H	Distancia entre ejes.
I	Altura del pedaler.

2.2. Cargas en el conjunto cuadro – horquilla

a. Cargas estáticas

Considerando un análisis estático las principales cargas que se tienen son el peso del ciclista y las reacciones normales transmitidas de los neumáticos.

**Figura 3.** Cargas y reacciones en estado estático.

Donde:

S = peso del ciclista.

F_a y F_b = reacción transmitida en el eje y .

F_x = reacción en el eje x .

b. Cargas dinámicas

Cargas producidas en un análisis con pedaleo en el cuadro:

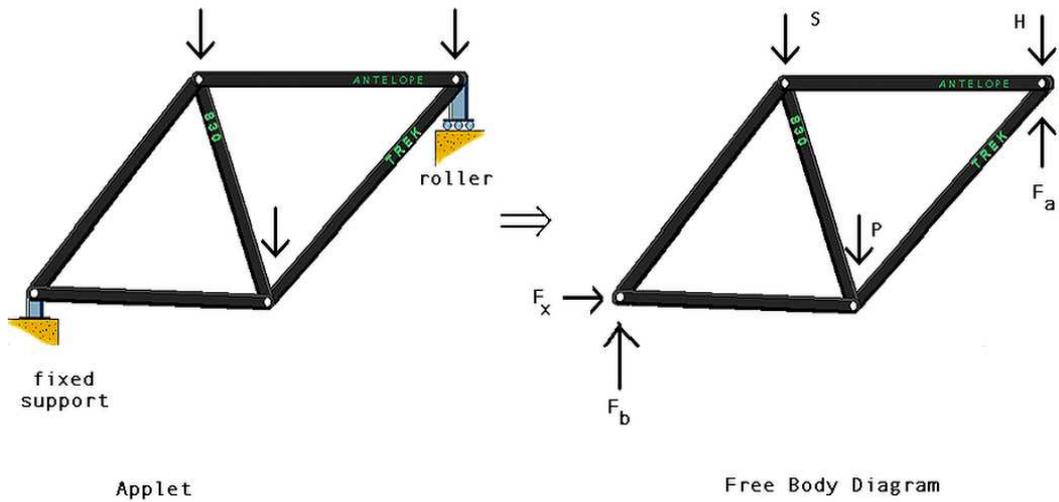


Figura 4. DCL de cargas en análisis dinámico en el cuadro.

Fuente: (Institute, 1999)

Donde:

P = fuerza de pedaleo

H = fuerza ejercida en el manubrio.

c. Cargas de impacto en el conjunto cuadro-horquilla

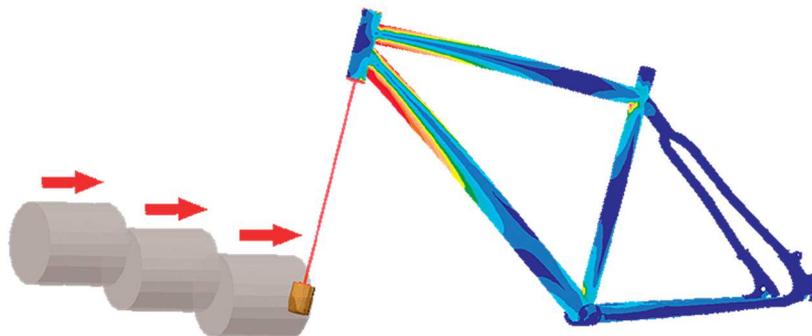


Figura 5. Carga de impacto en el cuadro-horquilla.

Fuente: (Singletrack).

2.2.3. Proceso de fabricación de cuadros y horquillas

El proceso de fabricación de un cuadro / horquilla está en detalle en la figura 11.

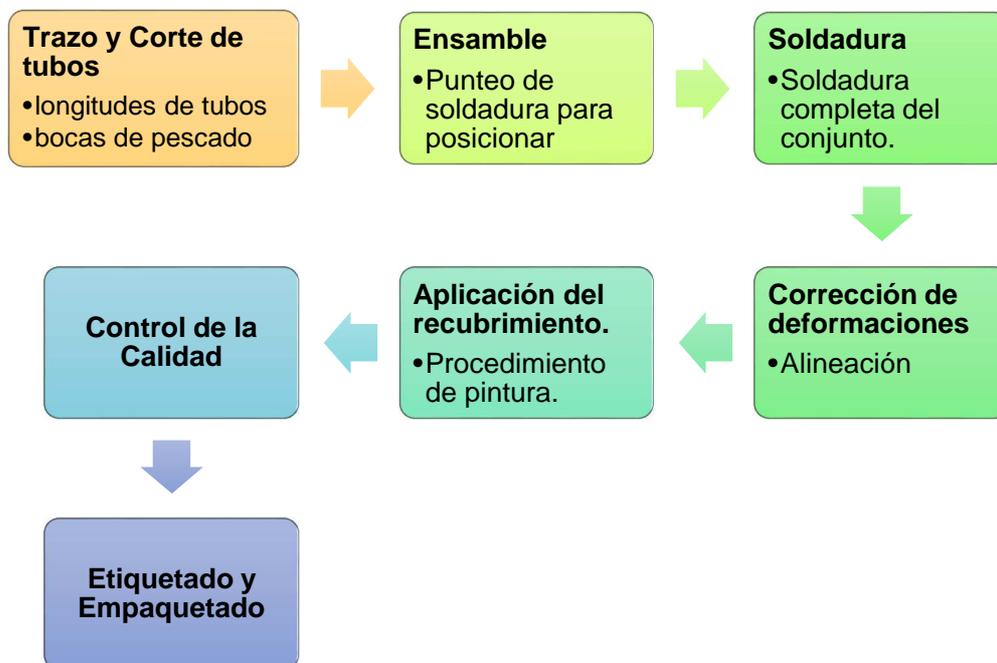


Figura 6. Proceso general de fabricación de un cuadro / horquilla.

2.3. Control de calidad en producción de bicicletas

2.3.1. Control de los procesos de manufactura.

Generalidades del Control de la calidad

El control de la calidad (QC, quality control) es muy importante en la producción de un bien, pues va más allá que una simple inspección. En principio la calidad trae gastos y posteriormente muchos beneficios, tales como un producto con calidad y a la vez ventaja competitiva, esto también significa un aumento en la rentabilidad pues se ahorra dinero ya que no se gasta en corregir errores.

El control de la calidad (QC) se relaciona con la detección de la calidad deficiente en los productos manufacturados y con tomar las acciones correctivas para eliminarlas. Antiguamente el QC se limitaba a verificar dimensiones y cumplir especificaciones de

diseño, actualmente abarca un ámbito más amplio, incluyendo un diseño más robusto y control estadístico de procesos. (*Groover, Control de la Calidad, 2007*).

Calidad es sinónimo de perfección, eliminación de desperdicios, velocidad de fabricación y entrega, satisfacer clientes, cumplir normas, etc.

Aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de la calidad es un esfuerzo total realizado por un fabricante para asegurar que sus productos se adapten a un conjunto detallado de especificaciones y normas. Se puede definir como el conjunto de acciones necesarias para asegurar que se satisfacen los requerimientos de la calidad (*Schmid, 2008*).

2.3.2. Control de calidad en la producción de cuadros-horquillas

Cualquier tipo de control de calidad que se aplique a la producción de cuadros/horquillas, es necesario que cumpla normas, para garantizar la seguridad y mantener la calidad, y así tener una rentabilidad en las empresas que fabrican estos productos.

Muchas de las empresas fabricantes de bicicletas, cuentan con la validación de empresas que realizan el control de la calidad tales como el Laboratorio Profeco en México y EFBe en Alemania, ellos se encargan del aseguramiento de la calidad bajo normativas, realizando ensayos de resistencia, de impacto y de fatiga pero mantienen mucha discreción de sus equipos ya que es dominio exclusivo de estas empresas.

Dentro de un proceso general el control de la calidad también se aplica a la producción en sí, ya que de esta manera se puede llegar a cumplir sin problemas los requerimientos que se dictaminan en normas y se verifican con los ensayos.

En la producción de cuadros-horquillas de bicicletas se tiene muchos pasos de fabricación por lo cual sería muy beneficioso aplicar un sistema de control estadístico a todo el proceso.

Muestreo

Para el muestreo se puede acudir al RTE INEN 046:2010 (Requisitos de seguridad para bicicletas), donde describe que para el muestreo se efectuó según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 2859-1 vigente.

2.4. Equipos de ensayo

Los ensayos permiten identificar las características mecánicas de los materiales ensayados como: esfuerzo último, límite elástico, alargamiento, dureza, resistencia al impacto, resistencia a la fatiga, etc., y se pueden clasificar siguiendo especificaciones normadas para cada uno.

En la industria gracias a estos ensayos podemos comprobar que el material de un determinado producto corresponde con el requerido por el cliente y así garantizar su calidad.

Muchos ensayos que se basan en las normas ASTM, o ISO estipulan que una máquina de ensayo debe cumplir unos requisitos de rendimiento específicos y tener un certificado de calibración válido, que demuestre la conformidad de la misma con las normas.

2.4.1. Características de un laboratorio de ensayos

Considerando requisitos técnicos según el estándar internacional ISO/IEC 17025 (General requirements for the competence of testing and calibration laboratories), muchos factores determinan la exactitud y fiabilidad de los ensayos y / o calibraciones realizados por un laboratorio. Estos factores incluyen las contribuciones de:

- Factores humanos.
- Las instalaciones y condiciones ambientales.
- Los métodos de ensayo, calibración y validación del método.
- Equipos.
- Trazabilidad de las mediciones.
- Muestreo.
- El manejo de productos de ensayo y de calibración.

2.4.1.1. Características de equipos de ensayo

Las principales características en un equipo son (ISO17025):

- El equipo y su software utilizado para los ensayos, calibración y muestreo deben permitir lograr la exactitud requerida y deben cumplir con las especificaciones pertinentes para los ensayos y / o calibraciones en cuestión.
- Antes de ponerse en servicio, el equipo se debe calibrar o verificar para establecer que cumple con las especificaciones del ensayo así como sus requisitos y el cumplimiento de las especificaciones y estándares pertinentes.
- El equipo debe ser operado por personal autorizado. Debe tener instrucciones actualizadas sobre el uso y mantenimiento de equipo que deberán estar disponibles para su uso por el personal del laboratorio.
- Cada elemento del equipo y su software utilizado para los ensayos y calibración y significativo para el resultado deberá, cuando sea posible, ser identificado de forma única.
- Se deben mantener registros de cada elemento del equipo y su software significativa a las pruebas y / o calibraciones realizadas.
- Cuando se necesiten comprobaciones intermedias para mantener la confianza en el estado de calibración del equipo, estos controles se llevarán a cabo de acuerdo con un procedimiento definido.

2.5. Ensayos según INEN – ISO 4210

Los ensayos requeridos por la NTE INEN-ISO 4210 en cuanto a cuadros y horquillas son ensayos de impacto y fatiga, pero en diferentes configuraciones.

El alcance de la norma NTE INEN – ISO 4210:2009, contempla los requisitos mínimos de seguridad y funcionamiento para el diseño, ensamble, ensayo de bicicletas y sub-ensambles, y establece directrices para la instrucción sobre el uso y cuidado de las bicicletas, además establece la aplicabilidad de la norma a bicicletas para uso en vías públicas y en las cuales el sillín se puede ajustar a una altura de 635 mm o más, por tal no se aplica a tipos especializadas, tándem, de juguete y de competencias. (*INEN-ISO4210 N. , Velocípedos requisitos de seguridad para bicicletas, 2009*).

2.5.1. Requerimientos, necesidades y limitaciones de los ensayos

Los equipos deben prestar seguridad, confiabilidad y precisión en cuanto a datos obtenidos y cargas de los diferentes ensayos, además debe ser capaz de soportar las cargas - reacciones producidas por los ensayos y la frecuencia de uso a la cual va estar sometida.

En cuanto a los requerimientos de los ensayos se describe a continuación:

Ensayo 1: Una vez ensayado con el método descrito en 4.6.1 de la INEN-ISO 4210, en la horquilla no debe existir evidencia visible de fractura y la deformación permanente medida entre los ejes de las ruedas no debe exceder los 40mm (*ISO4210, Ensayo de impacto(masa descendente), 2009*).

Ensayo 2: Las ranuras deben ser tales que cuando el eje haga contacto con la superficie superior de las ranuras, la rueda delantera permanezca centrada dentro de la horquilla. En cuanto a la resistencia a la fatiga de la horquilla, ensayo descrito en el literal 4.6.3 de la INEN-ISO4210, no debe haber fractura o grietas visibles en ninguna parte de la horquilla (*ISO4210, Resistencia de la horquilla a la fatiga, 2009*).

La exactitud de las cargas de ensayos deben estar dentro de $\begin{matrix} +5\% \\ 0 \end{matrix}$ de sus valores nominales, determinados con medios de calibración trazables hasta una norma nacional o internacional. En cuanto a la masa rodante no debe exceder 1Kg (*ISO4210, Exactitud de las cargas de ensayo, 2009*).

2.5.2. Descripción de ensayos

2.5.2.1. Ensayo de Impacto

El ensayo de impacto considerado por la NTE INEN-ISO 4210 se aplica en el ensamble marco - horquilla:

Ensayo de masa descendente

Se deja caer una masa de 22.5 kg verticalmente desde una altura de 180 mm, de forma que golpee el rodillo en un punto en línea con los centros de las ruedas y contra la dirección de inclinación de la horquilla (*INEN, Ensayo de masa descendente, 2009*).

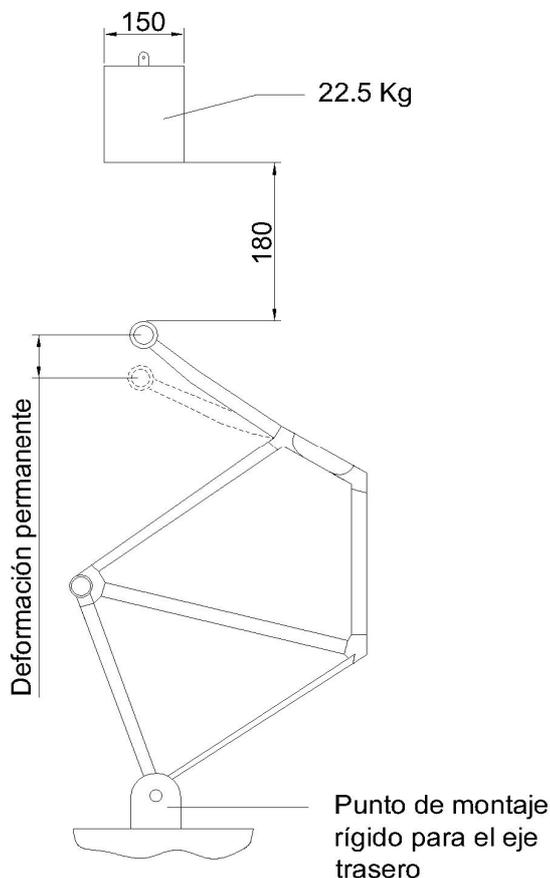


Figura 7. Ensayo de impacto (masa descendente).

Fuente: (4210, Ensayo de impacto, 2009)

2.5.2.2. Ensayo de Fatiga

El ensayo de fatiga considerado por la NTE INEN-ISO 4210 se aplica en la horquilla:

Una fuerza dinámica, inversa se aplica sobre un dispositivo de carga en el plano de la rueda y perpendicular al tubo del soporte y se hace girar sobre un eje colocado en la ranuras especiales ubicadas en las paletas. En cuanto a magnitudes, ciclos y velocidad del ensayo para material ferroso tenemos $\pm 440\text{N}$ por 50000 ciclos a máximo

25Hz y para material no ferroso $\pm 600\text{N}$ por 50000 ciclos a máximo 25Hz (INEN, *Ensayo de fatiga en la horquilla*, 2009).

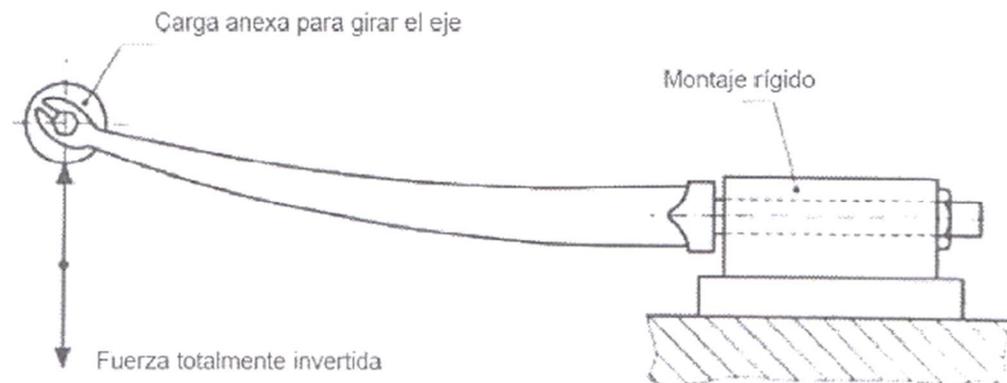


Figura 8. Disposición típica de ensayo para una horquilla.

Fuente: (4210, Ensayo de fatiga, 2009).

2.6. Diseño del equipo

2.6.1. Esfuerzo

El esfuerzo es una función de las fuerzas internas en un cuerpo que se produce por la aplicación de las cargas exteriores (Fitzgerald, 1990).

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

(Ec. 1)

Donde:

σ = esfuerzo unitario en N/m^2

P= carga aplicada en N

A= área sobre la cual actúa la carga, en m^2

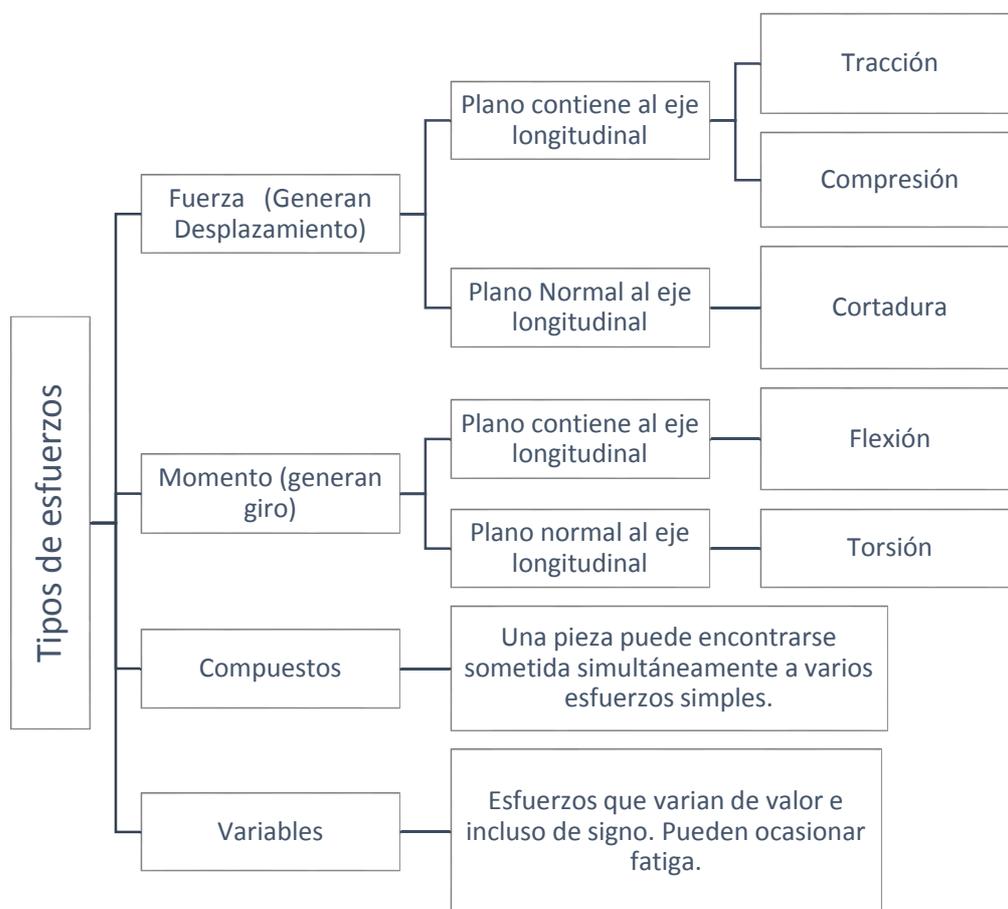


Figura 9. Tipos de esfuerzos

2.6.2. Viga

La viga es un elemento estructural lineal donde su uso principal es trabajar en flexión, lo que produce esfuerzos de tracción y compresión, sumándose también la cortadura en los apoyos de ser el caso.

Viga en voladizo

Viga en la que uno de sus extremos se encuentra empotrado mientras que el otro se encuentra libre y puede o no estar sometido a una carga en cualquier punto de su longitud.

Cortante, momento y deflexión de vigas en voladizo

Para vigas en voladizo con carga simple en el extremo el cortante, momento y deflexión ya viene tabulado y se muestra a continuación:

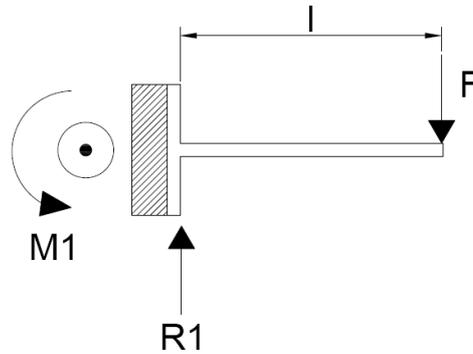


Figura 10. Viga en voladizo con carga en el extremo

$$R1 = V = F$$

$$M1 = F * l$$

$$y_{max} = -\frac{F * l^3}{3EI} \quad (\text{Ec.2})$$

2.6.3. Fatiga

Cuando se trabaja con piezas sometidas a fuerzas repetitivas, variables y/o cíclicas, se produce esfuerzos fluctuantes y repetitivos los cuales pueden ser incluso menores o iguales al esfuerzo de fluencia y producirse fallas.

2.6.3.1. Límite de resistencia a la fatiga

La resistencia a la fatiga de un material es su capacidad de resistir cargas de fatiga. En el caso de los aceros el límite de resistencia se estima como:

$$S'e = \begin{cases} 0.5 S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1400 \text{ MPa} \end{cases}$$

2.6.3.2. Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga

Los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga en máquina rotativa en el laboratorio para un elemento mecánico cualquiera son el material, la manufactura, el entorno, el tamaño, etc. Marín identificó unos factores para corregir dicha resistencia, por lo tanto la ecuación de Marín se escribe:

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_e$$

Donde:

k_a : factor de modificación de la condición superficial

k_b : factor de modificación de tamaño

k_c : factor de modificación de carga

k_d : factor de modificación de la temperatura

k_e : factor de confiabilidad

k_f : Factor de efectos varios

S'_e : Límite de resistencia a la fatiga en viga rotativa

2.6.3.3. Concentración del esfuerzo y sensibilidad a la muesca

En el diseño nos podemos encontrar con elementos mecánicos que poseen irregularidades o discontinuidades tales como muescas, agujeros, ranuras, etc., por lo que debemos corregir los esfuerzos en estos puntos.

El factor de concentración de esfuerzo k_t se definió para estas correcciones con la siguiente ecuación:

$$\sigma_{max} = k_t * \sigma_0$$

En donde k_t se obtiene de gráficas por ejemplo:

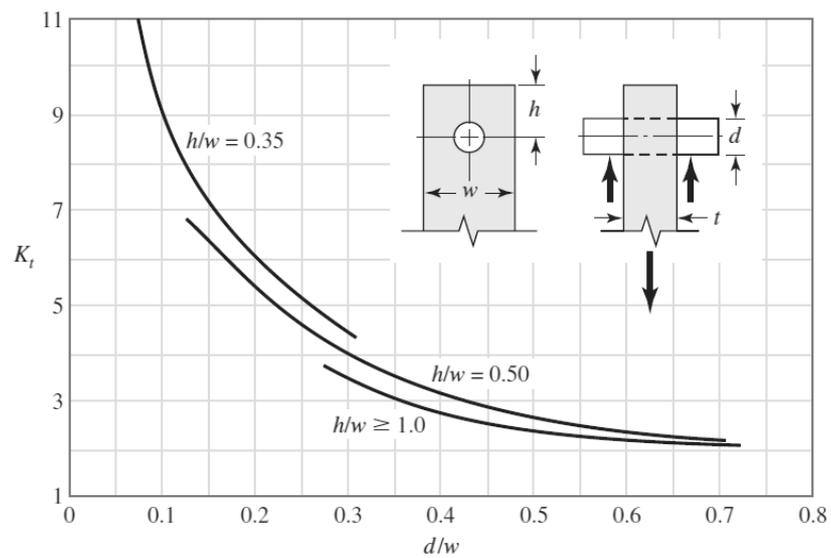


Figura 11. Placa cargada en tensión a través de un agujero.

Fuente: (Budyanas, Apéndice A - Figura A-15-12, 2008)

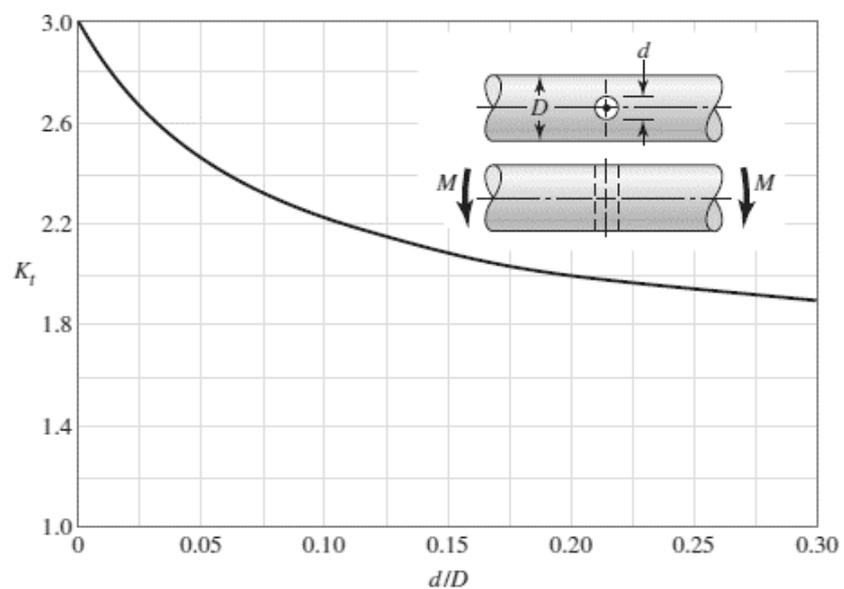


Figura 12. Eje redondo en flexión con un agujero transversal

Fuente: (Budyanas, Apéndice A : Figura A-15-11, 2008)

El factor de concentración de esfuerzo por fatiga k_f es un factor de esfuerzo reducido de k_t debido a la disminución de la sensibilidad a la muesca. La sensibilidad a la muesca está definida teóricamente por:

$$k_f = 1 + q(kt - 1)$$

De forma gráfica la sensibilidad a la muesca q para aceros y aleaciones de aluminio se obtiene de las curvas siguientes:

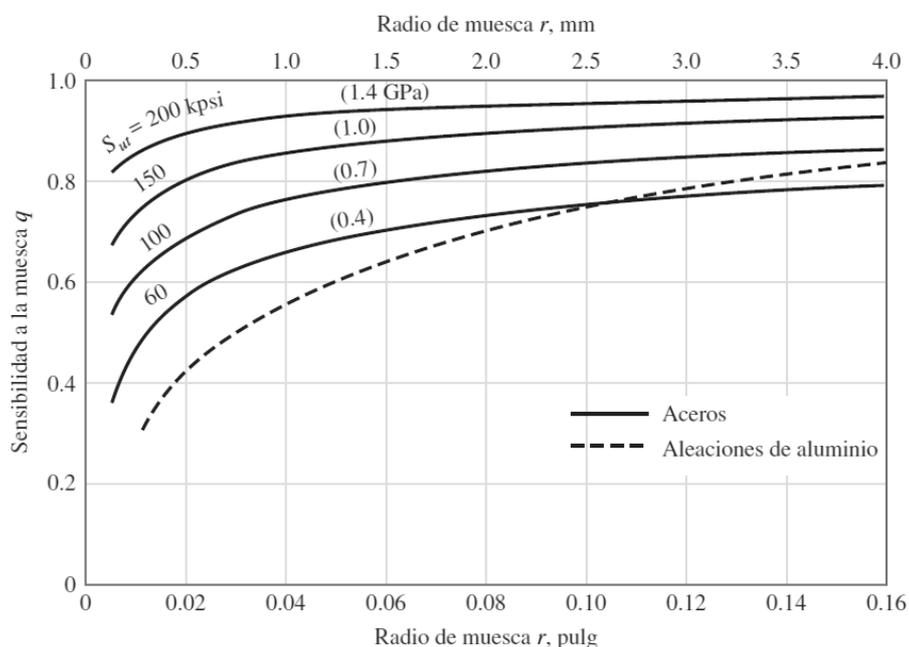


Figura 13. Sensibilidad a la muesca en el caso de aceros y aluminio forjado.

Fuente: (Budynas, 2008).

2.6.4. Deformaciones por impacto lineal

Las cargas por impacto se producen por la colisión instantánea de dos objetos y ocasionan modificaciones en la magnitud de fuerza y deformaciones con respecto a las producidas por cargas estáticas, afectando así la forma y límite de rotura de los materiales.

Suponiendo que no se pierde energía durante el impacto, se parte de la conservación de la energía, es decir la energía potencial gravitatoria convertida en energía de deformación unitaria elástica, para tal análisis se considera un bloque que cae una distancia h y golpea un resorte comprimido a una distancia $\delta_{m\acute{a}x}$ antes de alcanzar el reposo momentáneamente (Hamrock, 1999).

$$W(h + \delta_{m\acute{a}x}) = \left(\frac{1}{2}\right) (k\delta_{m\acute{a}x})\delta_{m\acute{a}x} \quad (\text{EC. 4})$$

Donde:

k = constante de resorte, N/m

W = peso del bloque, N

$$\delta_{m\acute{a}x}^2 - \frac{2W}{k} \delta_{m\acute{a}x} - 2 \left(\frac{W}{k} \right) h = 0 \quad (\text{EC.5})$$

Resolviendo $\delta_{m\acute{a}x}$ se obtiene la raíz máxima como:

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{W}{k} + \sqrt{\left(\frac{W}{k} \right)^2 + 2 \left(\frac{W}{k} \right) h} = 0 \quad (\text{EC.6})$$

Si el peso se aplica estáticamente, la deformación es:

$$\delta_{st} = \frac{W}{k} \quad (\text{EC.7})$$

Sustituyendo tenemos:

$$\delta_{m\acute{a}x} = \delta_{st} + \sqrt{\delta_{st}^2 + 2\delta_{st}h} \quad (\text{EC.8})$$

$$\delta_{m\acute{a}x} = \delta_{st} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_{st}}} \right) \quad (\text{EC.9})$$

El factor de impacto es $\left(1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_{st}}} \right)$.

Por lo tanto considerando del desplazamiento máximo se tiene:

$$P_{m\acute{a}x} = k\delta_{m\acute{a}x} \quad (\text{EC.10})$$

2.6.5. Diseño de trinquete

Los trinquetes se utilizan para que una rueda dentada pueda girar hacia un lado pero le impide girar en el otro sentido por efecto de la carga. Constan de una rueda dentada y de un gatillo también llamado uñeta como se indica en la figura 20.

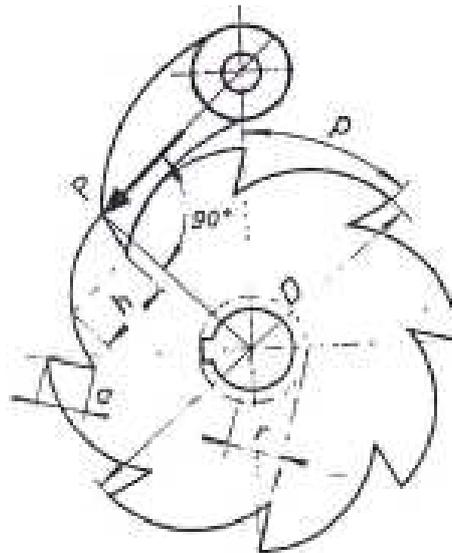


Figura 14. Mecanismo rueda trinquete - gatillo.

Fuente: (Pareto, 1980)

Estas ruedas se construyen con ocho dientes, como mínimo, y su paso circular se calcula:

$$P = \frac{\pi * D}{z}$$

Donde:

D = diámetro máximo

z = número de dientes

La longitud del diente b es igual generalmente al paso y la altura a del diente es igual a la mitad del paso como máximo. El flanco de retención es recto y tangencial a un círculo de radio $r = 0.15D$.

Los dientes de la rueda deben resistir la fuerza F que viene dada por:

$$F = \frac{2M}{D}$$

Donde M es el momento de giro de la rueda. Esta fuerza produce un esfuerzo en el diente cuyo valor es:

$$\sigma = \frac{6Fa}{bh^2}$$

Siendo h el grueso del diente en el plano paralelo en la dirección de la fuerza tal como se indica en la figura 20. En cuanto al gatillo o uñeta se calcula para que resista compresión y pandeo.

2.7. Automatización industrial mecánica

Dentro de un proceso de producción y control es necesario tener mecanismos de trabajo, para solventar esto se puede acudir a sistemas de movimiento y control, estos dependiendo de varios factores pueden ser neumáticos, hidráulicos, eléctricos y mecánicos.

La neumática es muy usual como complemento de automatización eléctrica o electrónica para procesos que no requieren excesivamente grandes fuerzas, esta combinación es muy utilizada en las industrias.

2.7.1. Neumática Industrial

La neumática que utiliza el aire comprimido tiene algunas ventajas como:

- El aire es abundante.
- Se transforma y almacena fácilmente.
- Es limpio.
- No combustiona con la temperatura.
- Puede alcanzar velocidades altas de trabajo.

El proceso para la producción de aire comprimido y su utilización se describe en la figura 21, a continuación:

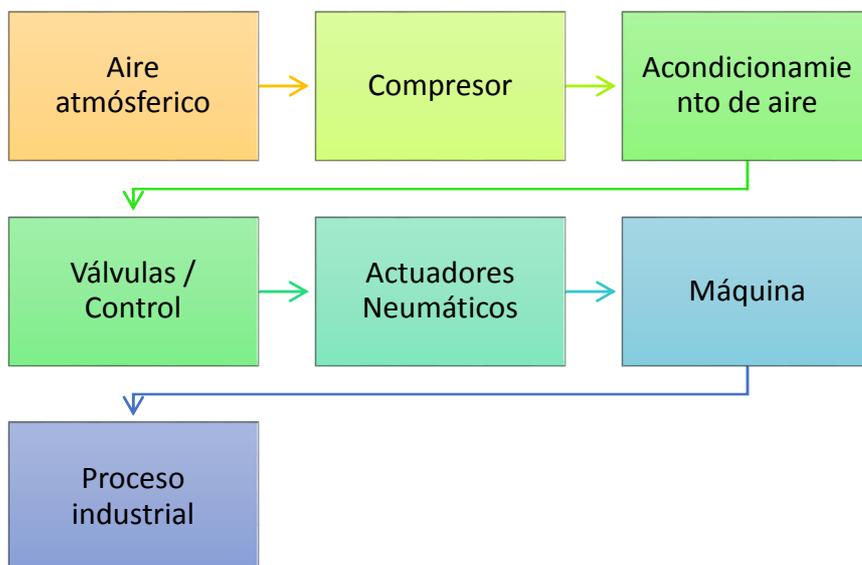


Figura 15. Ejemplo de producción y utilización de la neumática.

2.7.1.1. Actuadores Neumáticos

Los actuadores neumáticos convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico generando un movimiento lineal mediante cilindros, etc. (*Creus, Actuadores Neumáticos, 2007*).

Cilindros

Es un cilindro cerrado con un pistón que se desplaza en su interior, transmitiendo movimiento por medio del vástago.

Tipos

- a) Cilindro neumático de simple efecto
- b) Cilindro neumático de doble efecto

Fuerza del cilindro

La fuerza del cilindro es una función del diámetro del cilindro, de la presión del aire y del roce del émbolo, que depende de la velocidad del émbolo y que se toma en el momento de arranque (*Creus, Cálculo de cilindros neumáticos, 2007*).

Para cilindros de doble efecto la fuerza de avance es la misma que en la de simple efecto pero para el retroceso la fuerza disminuye ya que se reduce el área por la presencia del vástago. El rozamiento del pistón conjuntamente con las pérdidas por las mangueras y válvulas equivale del 5% al 25% de la fuerza calculada.

$$F_{avance} = P_{aire} * \left(\pi * \frac{D^2}{40} \right) - F_{rozamiento}$$

$$F_{retroceso} = P_{aire} * \left(\pi * \frac{D^2 - d^2}{40} \right) - F_{rozamiento}$$

Donde:

F = fuerza [N]

D = diámetro émbolo [mm]

P aire = presión del aire [bar]

d = diámetro vástago [mm]

2.7.2. Procesos de automatización

La automatización es la aplicación de sistemas automáticos en la realización de un proceso.

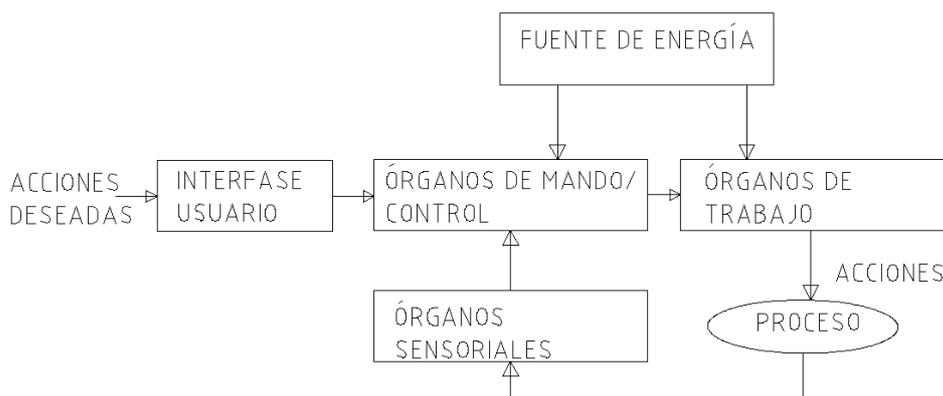


Figura 16. Automatización de un proceso

Sistema automático en el control

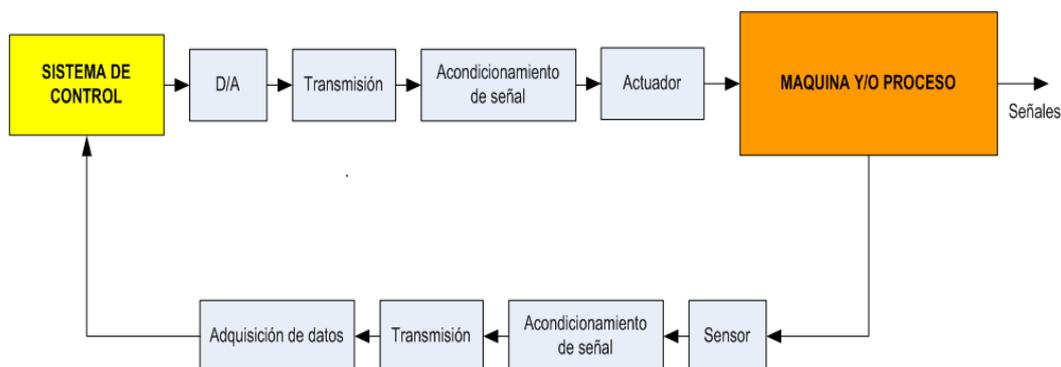


Figura 17. Sistema automático en el control

2.7.2.1. Etapas en la automatización

- Especificación
- Diseño
- Implantación
- Pruebas
- Explotación

2.7.2.2. Acondicionamiento de señal

La etapa de acondicionamiento permite transformar la señal de entrada de cualquier naturaleza en una señal de calidad, eléctrica de corriente o voltaje, el equipo acondicionador realiza las siguientes funciones: amplificación, atenuación, linealización, aislamiento y filtrado.

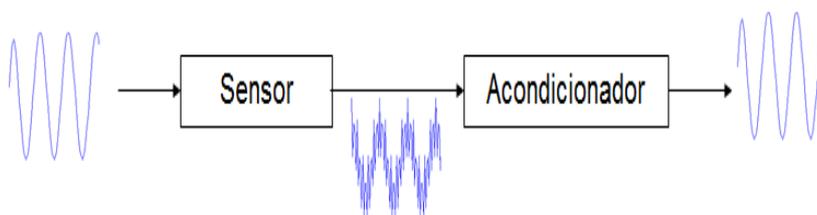


Figura 18. Acondicionamiento de la señal

2.7.2.3. Arduino

Es una plataforma de uso libre que se basa en una placa con un micro controlador y un entorno diseñado para su uso en el campo del control electrónico de procesos.

La plataforma Arduino tiene un lenguaje de programación propio basado en un lenguaje de programación de alto nivel Processing que es similar al lenguaje C++.

En el mercado existen algunos tipos de placas que varían entre sí por su capacidad de respuesta, su memoria, sus entradas y salidas, entre otras características. Para mencionar algunos tenemos por ejemplo el Arduino Uno, Arduino Leonardo, Arduino Micro, Arduino Mega, entre otros.

Arduino Mega

El Arduino Mega es una placa electrónica basada en el ATmega1280. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida, de los cuales 14 se pueden utilizar como salidas PWM, 16 entradas analógicas, 4 UARTs (hardware puertos serie), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un header ICSP, y un botón de reinicio. Posee lo necesario para apoyar el microcontrolador; simplemente conectarlo a un ordenador con un cable USB.



Figura 19. Arduino Mega

Fuente: (Arduino, 2015)

2.7.2.4. Sensor Ultrasónico

Los sensores ultrasónicos detectan la proximidad de los objetos desde pocos centímetros hasta algunos metros y la mayor ventaja es que trabajan libres de roces mecánicos. El sensor emite un sonido y mide el tiempo que la señal tarda en regresar el eco producido y lo convierte en señal eléctrica. Estos sensores trabajan en el aire, y detectan objetos de diferentes formas, colores, superficies y materiales.

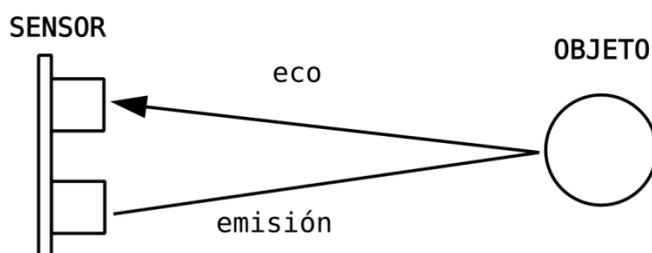


Figura 20. Funcionamiento Sensor Ultrasónico

Sensor Ultrasónico HC – SR04

El sensor de distancia ultrasónico HC-SR04 es un módulo potente pero económico además es compatible con Arduino y otras plataformas de micro controladores. Éste es uno de los módulos ultrasónicos más económicos en el mercado, y a su vez uno de los mejores por su rendimiento estable, la resolución es tan baja como de 3mm, tiene una alta precisión, funciona con 5V (DC), rango de 2cm a 300cm, etc.



Figura 21. Sensor Ultrasónico HC – SR04

Fuente: (Electronics, 2015)

2.7.2.5 Celda de Carga

Una celda de carga es un transductor que se utiliza para convertir una medida de fuerza en una señal eléctrica. Esta conversión es indirecta mediante un dispositivo mecánico, la fuerza que se desea medir deforma una galga extensiométrica, dicha galga convierte el desplazamiento o deformación en señal eléctrica.

La señal eléctrica de salida es típicamente del orden de unos pocos milivoltios y debe ser amplificada mediante un amplificador de instrumentación antes de que pueda ser utilizada.

Los tipos de celdas según los tipos de medición son: resistiva, piezoeléctrica, capacitancia, analógica, digital.

Celda de Carga tipo S

La celda de carga tipo S es un instrumento que trabaja generalmente a tensión y compresión, posee un revestimiento resistente a la humedad y cables apantallados, que permiten su uso en ambientes hostiles manteniendo sus especificaciones de funcionamiento. Adicionalmente los cables compensan las variaciones de resistencia debido al cambio de temperatura y / o extensión de cable.

Esta celda es ideal para medición de fuerza a nivel industrial, ya que su niquelado ofrece una excepcional resistencia a la corrosión.



Figura 22. Celda de Carga tipo S

Fuente: (Ingematic, 2015)

CAPÍTULO 3:

DISEÑO DE LOS EQUIPOS DE ENSAYO

En la figura 23 se tiene la organización para el diseño en el presente capítulo:

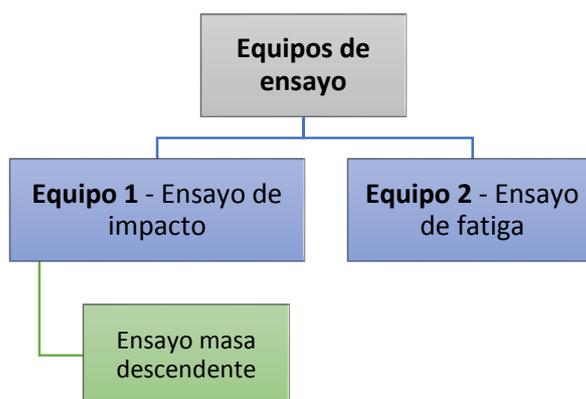


Figura 23. Organización de diseño de equipos

3.1. DISEÑO DEL EQUIPO 1 – ENSAYO DE IMPACTO

3.1.1. Parámetros de diseño

Ensayo masa descendente

Corresponde a masa descendente puntualizado en el capítulo 2, literal 2.5.2.1. Ensayo de impacto.

Tabla 3

Parámetros de ensayo masa descendente

Parámetro de ensayo	Valor	Unidad
Masa	22,5	Kg
Altura	180	mm
Masa Rodante	≤ 1	Kg

Consideraciones funcionales

Debido a la presencia de varios fabricantes de bicicletas se tiene un rango en la longitud entre ejes (L_e), el cual para motivos de diseño se tomará una longitud de variación (L_b) máxima de 200 mm y una (L_e) mínima de 950 mm.

Factores de seguridad

Tabla 4

Factores de seguridad

Factor	Descripción
2-2.5	Para materiales promedio que trabajen en condiciones de ambiente ordinarias y sujetas a carga y esfuerzos que puedan calcularse.
4 o mayor	Elementos de máquinas. Materiales dúctiles con incertidumbre en relación a alguna combinación de propiedades, cargas, o análisis de tensión del material, en particular bajo condiciones de choque o carga por impacto.

3.1.2. Sistemas y esquema inicial

Para facilitar el diseño se ordena por sistemas como se presenta a continuación en la figura 24:

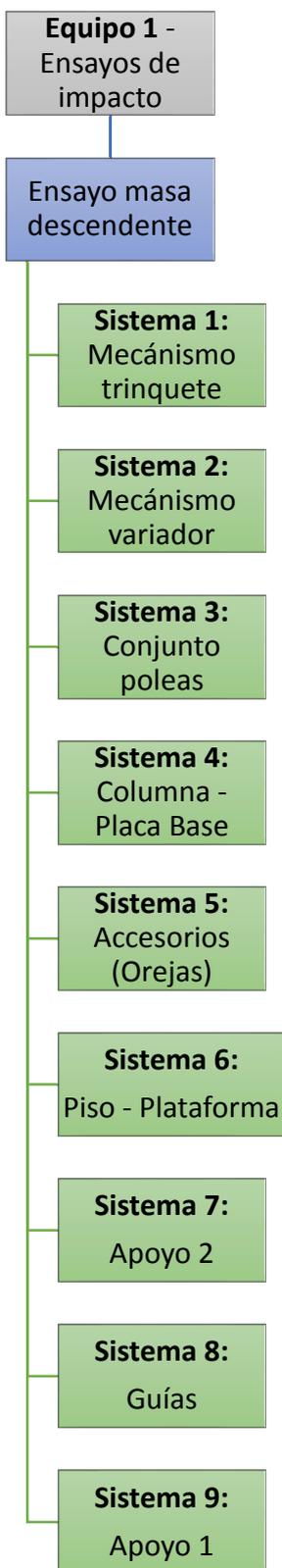


Figura 24. Clasificación de sistemas del equipo 1.

Tabla 5

Descripción de sistemas del equipo 1.

Sistema	Descripción	Elementos
S1	Mecanismo Trinquete	Rueda trinquete, eje, soporte, chumacera
S2	Mecanismo Variador	Poleas, ejes, soportes
S3	Conjunto Poleas	Poleas, ejes, cable, soportes
S4	Conjunto Columna-Placa base	Columna, Placa base
S5	Accesorios	Masa y oreja, oreja inferior piso
S6	Conjunto Piso-Plataforma	Piso, plataforma.

3.1.3. Cálculo de la masa de impacto

3.1.3.1. Ensayo masa descendente

Para asegurar la exactitud de la carga para el ensayo se acudió al Laboratorio de Mecánica de Suelos de la ESPE, además de que se solicitó certificados de conformidad de la calibración. La INEN ISO 4210 dictamina que se debe asegurar una tolerancia de $\begin{matrix} +5 \\ 0 \end{matrix}$ en la masa, es decir se puede tener un exceso de 0,1125Kg.

La tolerancia admisible para la exactitud de la masa es de [22,5 - 22,6125] Kg. El material seleccionado es el acero comercial AISI 1018, con un diámetro de 150 mm.

El cálculo de la masa cilíndrica se encuentra en el Anexo 1 literal a, y se tiene los siguientes resultados:

Masa de cilindro = 22.14 Kg

Diámetro = 150mm

Altura = 163 mm

Masa Oreja = 0.43 Kg

Masa de impacto $m_1 = 22.57$ Kg

La masa diseñada se encuentra en los límites permisibles:

$$\therefore [22.5 \leq 22.57 \leq 22.6125] \text{ Kg}$$

Se considera una masa de 22,57 Kg con una aproximación a 22.6 Kg, y se tiene el siguiente peso:

$$W \approx 222 N$$

3.1.4. Cálculo de carga por impacto

3.1.4.1 Impacto en ensayo masa descendente

Debido a la complejidad de la forma estructural de la bicicleta se partirá de la determinación experimental de la constante de elasticidad k para solucionar la carga de impacto por caída de la masa m_1 .

Parte experimental

Se ha considerado aplicar una carga estática para obtener la deformación y analizarla con la Ley de Hooke para determinar la constante de elasticidad.



Figura 26. Determinación experimental deformación estática en horquilla.

Instrumentos y Equipos:

- Reloj comparador [apreciación: 0.002mm]
- Masa de ensayo (disco) = 16 Kg
- Soporte de reloj comparador
- Entenalla
- Nivel

Procedimiento:

- Colocar y nivelar la horquilla en la entenalla
- Colocar en posición el soporte de reloj comparador
- Fijar el reloj comparador debajo del perno de la horquilla.
- Encerar el reloj comparador
- Colocar la masa de ensayo
- Registrar los datos

Tabla 6

Datos experimentales registrados

Muestra	Deformación estática [mm]
1	12.5
2	13
3	13.15
4	12
5	12.5
6	13
7	13.2
8	12.10
9	12.10
10	12.01
11	12.5
12	12.8
13	13
14	12.5
15	12
Promedio	12.56

Cálculo de la fuerza de impacto

Con la deformación promedio obtenida se procede a determinar la constante de elasticidad, se parte de la idealización de un resorte que soporta una carga.

$$\delta = \frac{W}{K}$$

Donde:

δ = deformación

W = peso de la masa experimental

K = constante de elasticidad

$$W = 16Kg * 9.81 \frac{m}{s^2} = 156.96 N$$

$$K = \frac{W}{\delta} = \frac{156.96 N}{0.01256 m} = 12496.8153 \frac{N}{m}$$

Determinación de la deformación estática para 22.6 Kg [m1]

$$\delta_{ST} = \frac{W_1}{K} = \frac{222N}{12496.8153 \left(\frac{N}{m}\right)} = 0.017764 m$$

Debido a la tentativa de producción de bicicletas MTB por parte de los productores nacionales y de acuerdo a las modificaciones presentes del reglamentos de bicicletas RT046 donde se junta los modelos MTB además de las paseo, se acoge la altura de masa de caída de 360 mm de la norma EN 14764, pero cabe recalcar que cubre los requisitos de la norma INEN ISO – 4210.

Determinación de la fuerza de impacto:

$$F_{i1} = W_1 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2 * h}{\delta_{ST}}} \right)$$

$$F_{i1} = 222 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2 * 0.360}{0.017}} \right) = 1652.63 N$$

$$F_{i1} = 1653 N$$

3.1.5. Fuerzas y reacciones generales

3.1.5.1. Fuerzas y reacciones en el Ensayo masa descendente

Dentro del funcionamiento del equipo en este ensayo se tiene 3 estados de carga:

- a) Cuando la masa m_1 está suspendida antes del impacto y sostenida por el trinquete.
- b) Cuando la masa m_1 cae en vacío generando una carga dinámica de impacto máximo.
- c) Cuando la masa m_1 impacta en el cuadro – horquilla.

A continuación se detalla cada instante pero se irá particularizando para cada parte diseñada.

Estado de carga 1:

Antes del impacto y considerando que no existe fricción en las poleas y que toda la carga pasa directamente al eje trinquete, se tiene un diagrama general:

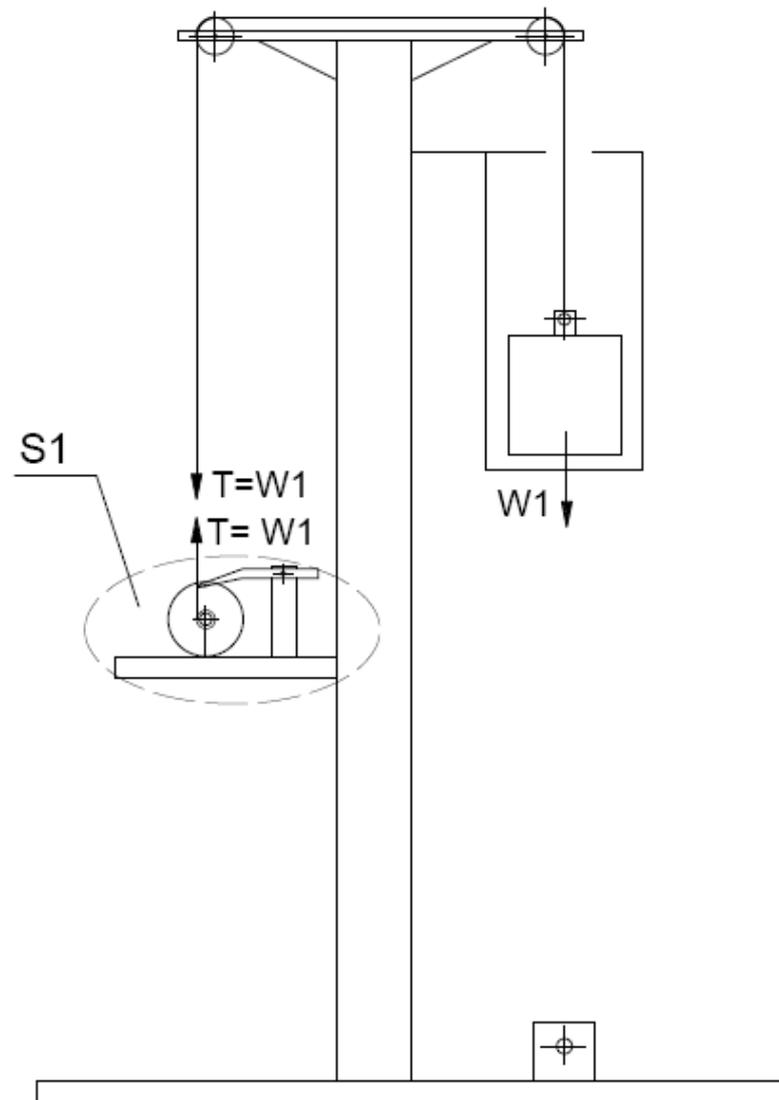


Figura 27. Esquema general del estado de carga 1 masa descendente.

La carga $W1$ produce la tensión T , esta afecta directamente al eje y a la rueda trinquete y las reacciones a los distintos componentes que intervienen, por tal se particulariza para el sistema $S1$ para un mejor análisis.

Análisis en S1

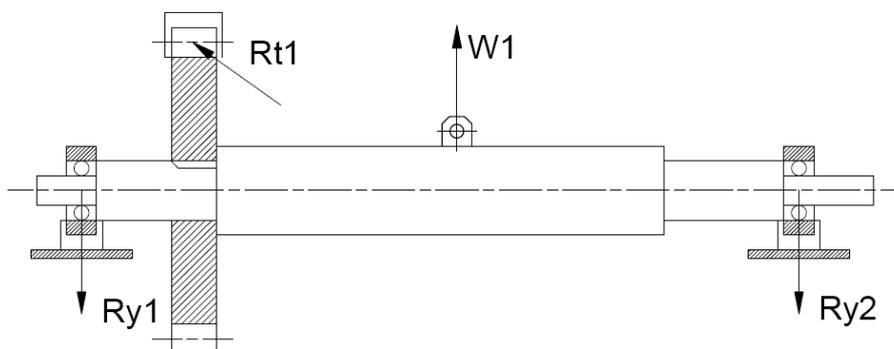


Figura 28. DCL S1 - estado de carga1 – vista eje.

La tensión T es igual al peso W_1 que actúa en el eje y la cual causa las reacciones R_{y1} y R_{y2} , además de una reacción tangencial R_{t1} que está en otro plano diferente y es $R_{t1} = \frac{2 \cdot T}{D}$.

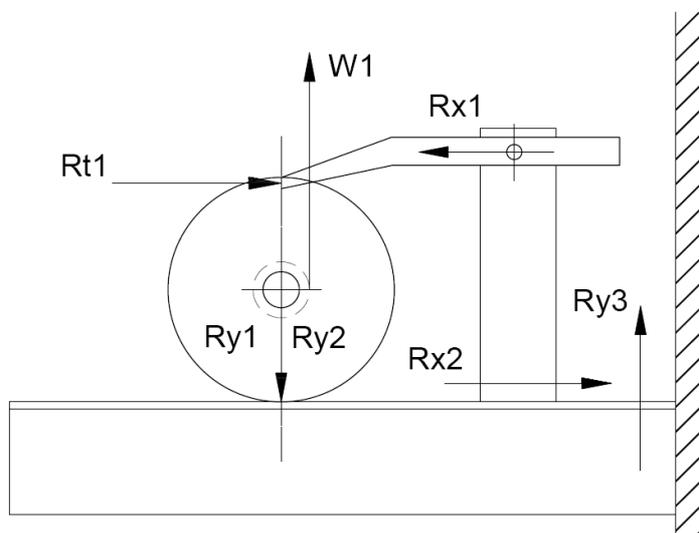


Figura 29. DCL general en el sistema 1 en el estado de carga1 masa descendente.

La R_{t1} causa una reacción R_{x1} en el pasador de la uñeta, esta causa una cortante R_{x2} en el soporte de la uñeta. También se tiene una reacción cortante R_{y3} en el soporte en voladizo del conjunto trinquete y tiene una magnitud igual a W_1 .

Estado de carga 2:

Se tiene la carga máxima de impacto F_{i1} y se considera que no existe fricción en las poleas además que toda la carga pasa directamente al eje trinquete, se tiene un diagrama general:

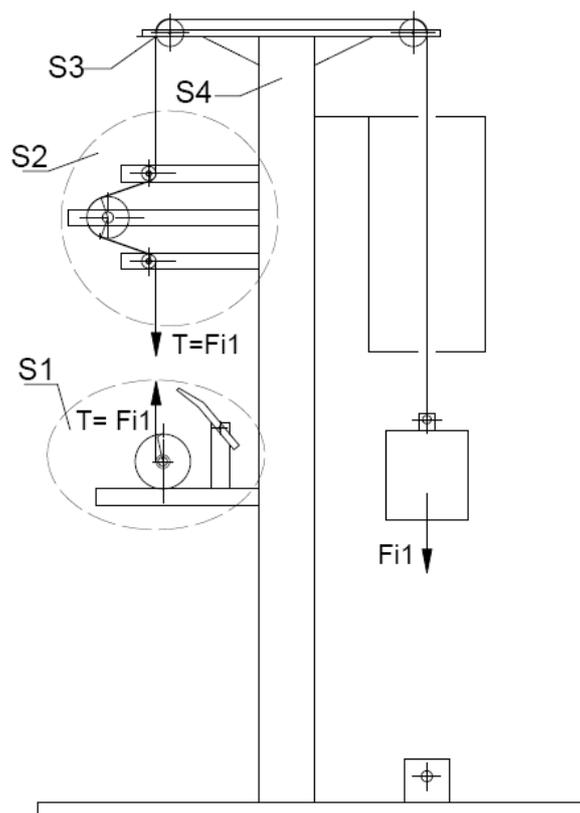


Figura 30. Esquema general en el estado de carga 2 masa descendente.

La rueda trinquete y la uñeta no intervienen en las reacciones ya que esta desactivado en este estado de carga. La carga F_{i1} produce la tensión T , esta afecta directamente en el eje del trinquete y las reacciones a los distintos componentes que intervienen, por tal se particulariza para los sistemas S1, S2, S3 y S4 para un mejor análisis.

Análisis en S1

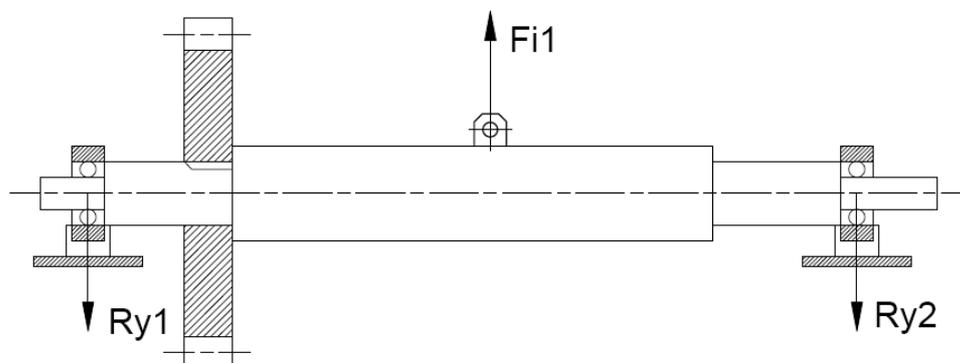


Figura 31. DCL en S1 – estado de carga 2 – vista eje – masa descendente

La carga de impacto F_{i1} afecta directamente al eje y causa reacciones R_{y1} y R_{y2} en las sujeciones del eje.

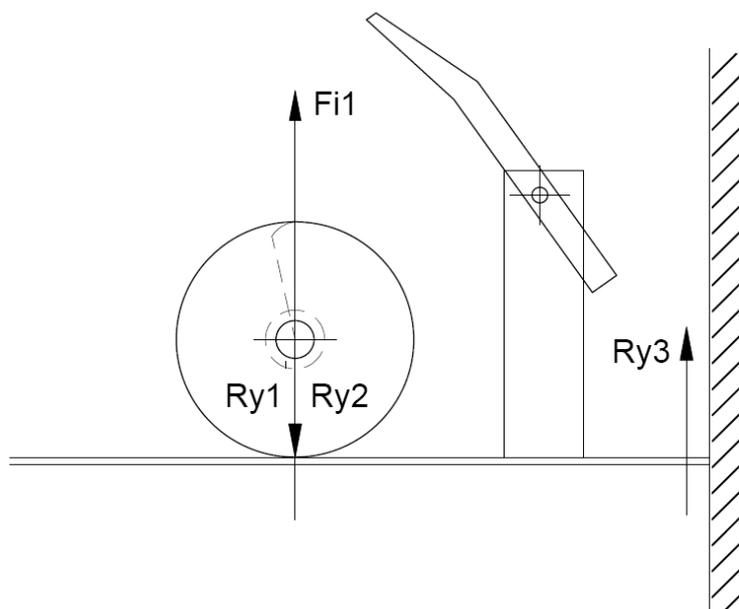


Figura 32. DCL en S1 – estado de carga 2 – masa descendente.

La carga F_{i1} no afecta a la rueda trinquete ni a la uñeta pero causa una reacción de cortante en el soporte del sistema.

Análisis en S2

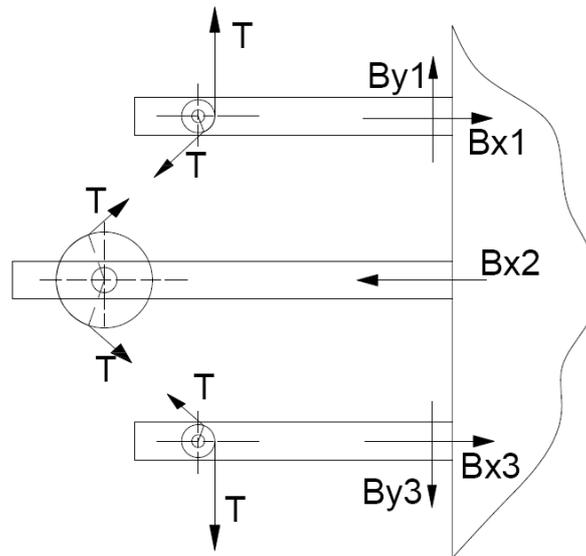


Figura 33. DCL en S2 – estado de carga 2 – masa descendente.

En el sistema variador se tiene tensiones del cable que transmite reacciones a las poleas y causan las respectivas reacciones.

Análisis en S3

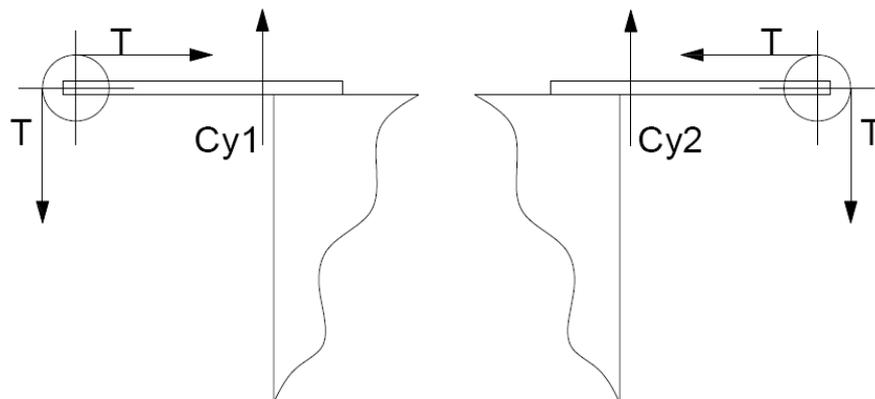


Figura 34. DCL en S3 – estado de carga 2 – masa descendente

Al igual que el instante uno se genera reacciones en y por causa de las tensiones en las poleas.

Análisis en S4

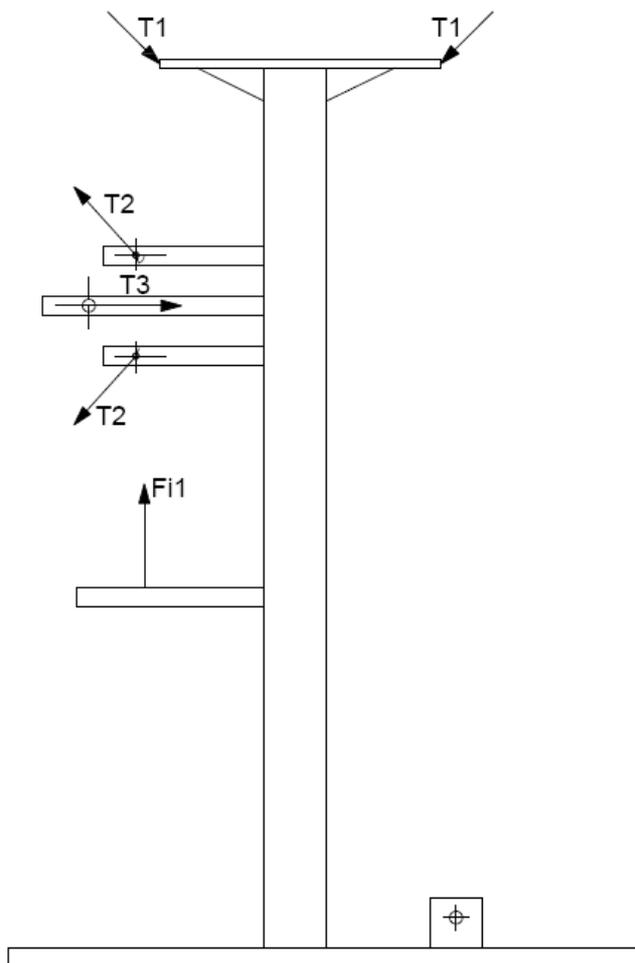


Figura 35. DCL en S4 – estado de carga 2 – masa descendente

En la columna actúan las reacciones producidas por la fuerza F_{i1} en los diferentes componentes de los sistemas como se aprecia en la figura 40, en el soporte del trinquete se tiene una reacción igual a la fuerza de impacto, en el sistema variador se tiene varias resultantes (T_2 , T_3) de las tensiones en las poleas y las resultantes T_1 en los soportes de las poleas superiores.

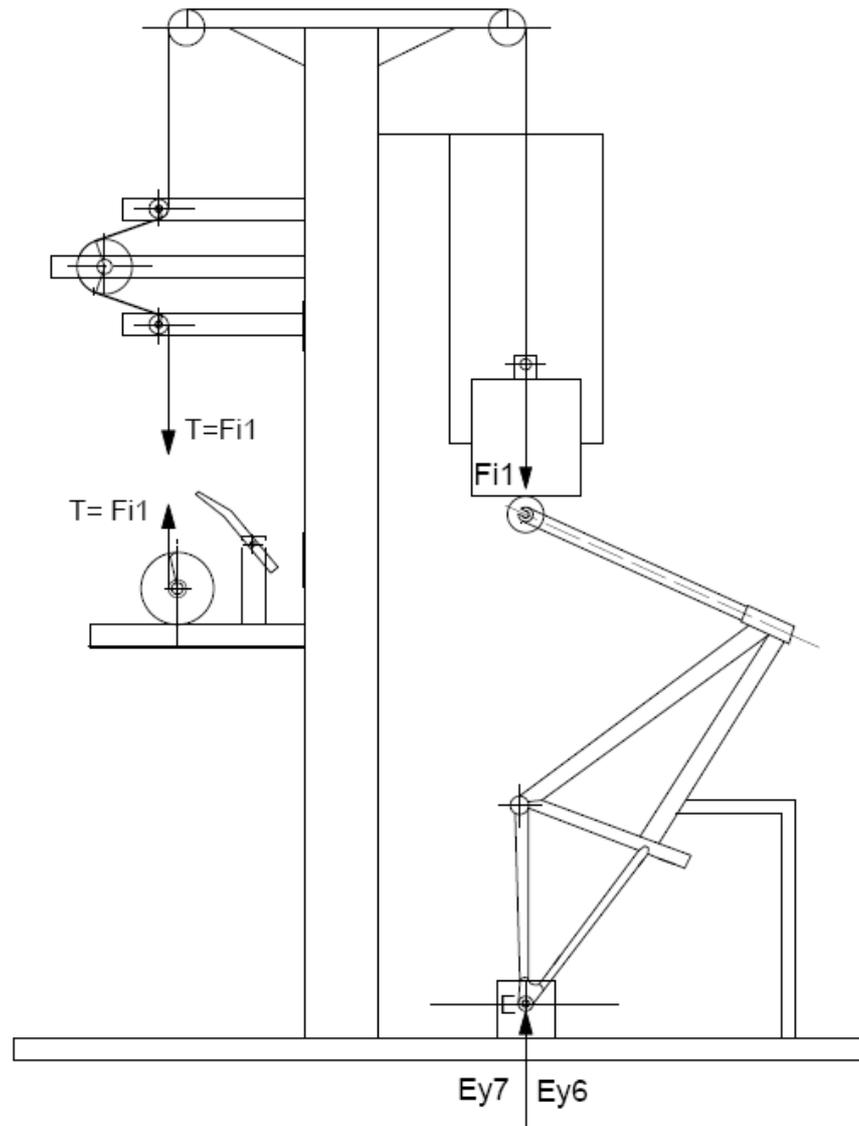
Estado de carga 3:

Figura 36. Esquema general masa descendente del estado de carga 3.

La carga $Fi1$ actúa sobre el conjunto cuadro horquilla produciendo reacciones $Ey6$, $Ey7$ en las orejas del piso.

3.1.6. Diseño de sistemas de ensayo masa descendente

3.1.6.1. Sistema 1: Mecanismo trinquete

La funcionalidad requerida del mecanismo se describe a continuación en los procesos:

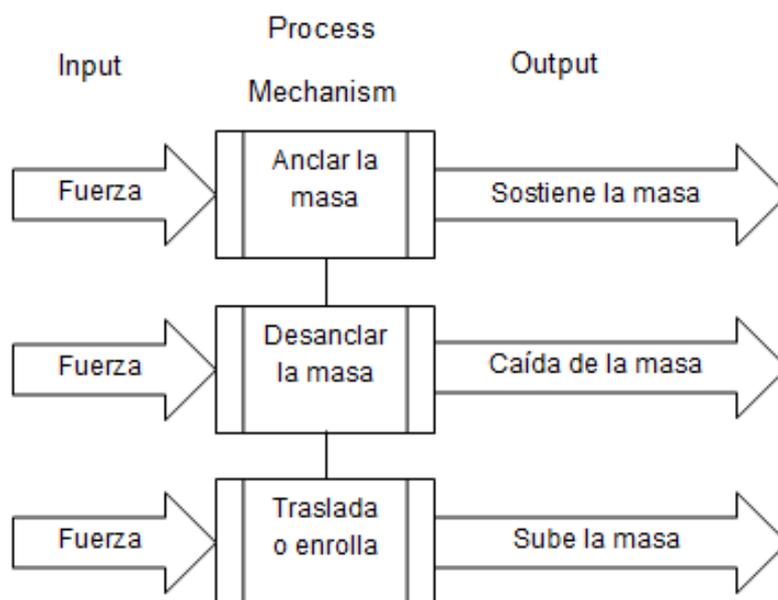


Figura 37. Proceso del mecanismo del Sistema 1 - Masa descendente

En el literal 3.1.5.1 fuerza y reacciones en el ensayo masa descendente, se especifica los diferentes estados de carga en el sistema 1, a continuación se diseña específicamente cada elemento para su respectivo estado de carga en el que trabaja.

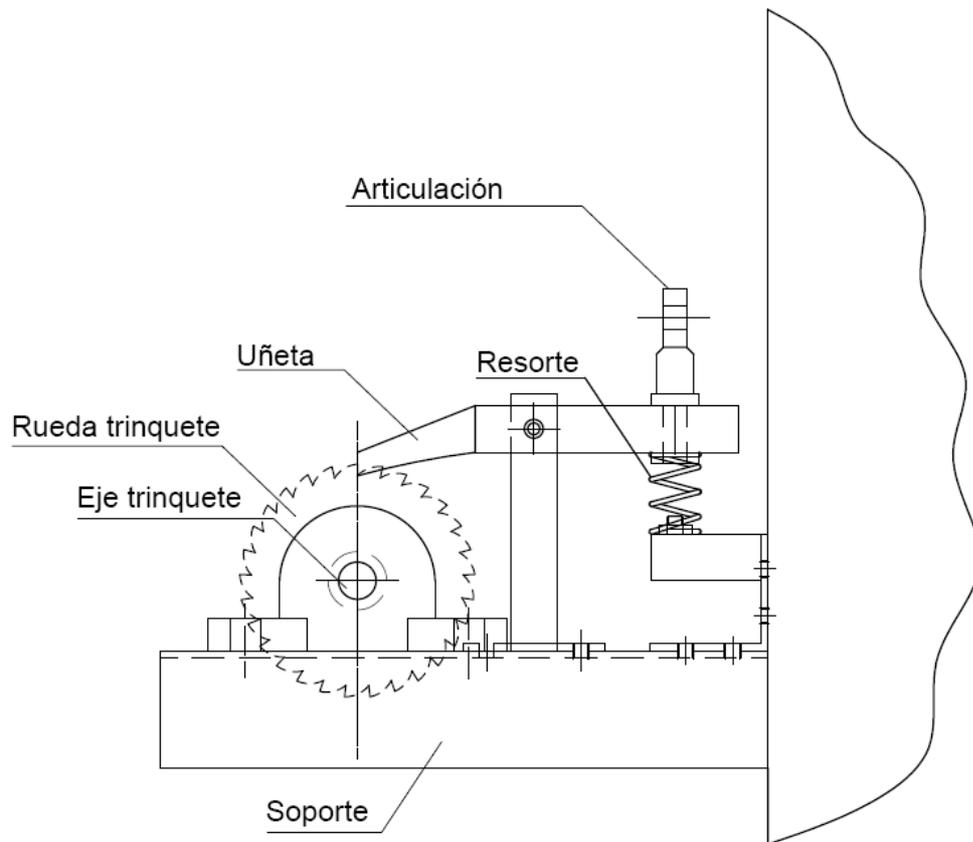


Figura 38. Esquema general Sistema 1

a) Diseño de la rueda trinquete

Determinación del diámetro de la rueda trinquete:

Para el presente diseño se toma el estado de carga 1 (literal 3.1.5.1) y considerando las figuras 32, 33 y 34 donde la fuerza que actúa en el trinquete es la tangencial F_t .

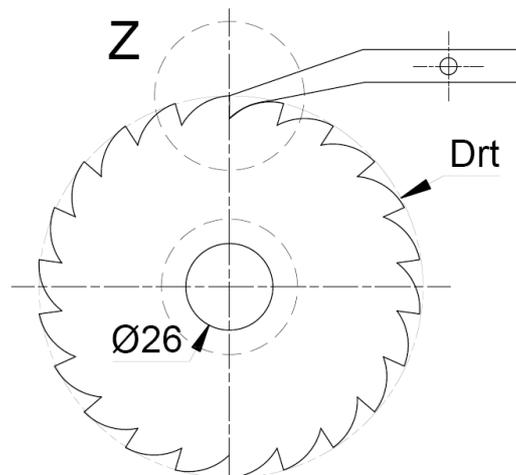
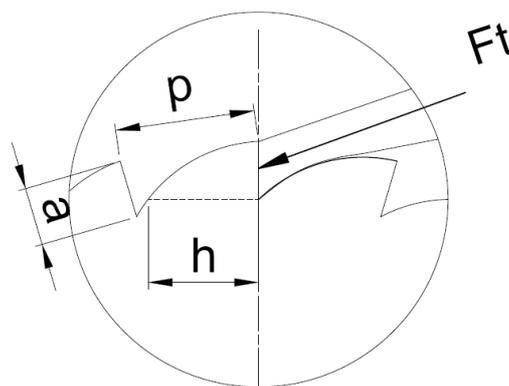


Figura 39. Esquema mecanismo de trinquete.



Detalle Z

Figura 40. DCL en el diente del trinquete

Para el cálculo y una mayor presión en los dientes, el radio del eje de la rueda trinquete se considera $r = 13.5$ mm, y un número de dientes $z = 28$ dientes.

$$D_{rt} = \frac{r}{0.15} = \frac{13.5}{0.15} = 90$$

Paso circular:

$$p = \frac{\pi D}{z} = \pi * \frac{90}{28} = 10$$

Ancho del diente:

$$b = p = 10$$

Altura del diente:

$$a = \frac{p}{2} = 5$$

Fuerza tangencial:

El torque en el eje es su mayor radio por la fuerza ($r_e * F$).

$$F_t = \frac{2(r_e * F)}{D} = \frac{2(17 * 222)}{90} = 83.867 \text{ N}$$

Longitud paralela a la fuerza: (parámetro geométrico)

$$h = 6.618$$

Esfuerzo de flexión en el diente:

$$\sigma = \frac{6 * F_t * a}{b * h^2} = \frac{6 * 83.867 * 5}{10 * 6.618^2} = 5.745 \text{ MPa}$$

La teoría especifica que el esfuerzo σ debe ser pequeño en previsión de los inevitables choques que se produce al accionar la uñeta, por tal la tensión recomendada $\sigma \leq 300 \frac{Kg}{cm^2} = 29.42 \text{ MPa}$, además se produce un esfuerzo cortante a lo largo de h y una compresión en la superficie de contacto entre el diente y la uñeta que debe ser resistidos por el diente, si bien por lo general no se calculan.

No se reduce más las medidas por parámetros constructivos, el material es AISI 1018.

b) Diseño de la ñeta

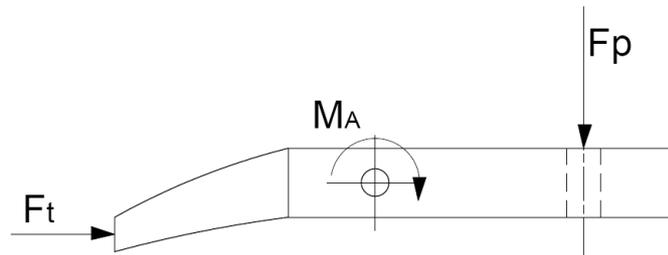


Figura 41. DCL de ñeta

Cálculo de la ñeta a compresión:

En el estado de carga 1 como se describe en el literal 3.1.5.1 la ñeta soporta compresión producida por la fuerza tangencial que se tiene en el diente del trinquete.

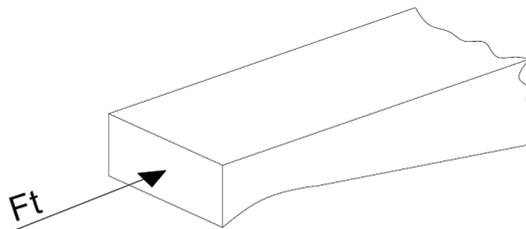


Figura 42. Fuerza de compresión en la ñeta.

Área de contacto con el diente:

$$A = 0,01m * 0,005m = 5 * 10^{-5}m^2$$

$$A\sigma = \frac{Ft}{A} = \frac{83.867}{5 * 10^{-5}} = 1.677 MPa$$

$$Sy (AISI 1018) > \sigma$$

Una vez verificada su resistencia, por motivos constructivos se adopta estas dimensiones como finales.

c) Cálculo del resorte

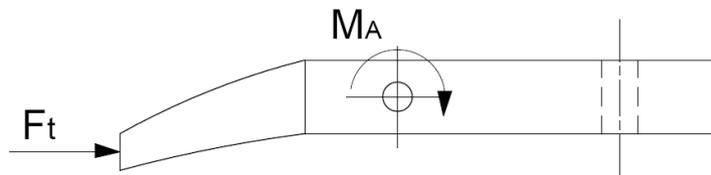


Figura 43. DCL de uñeta sosteniendo la masa.

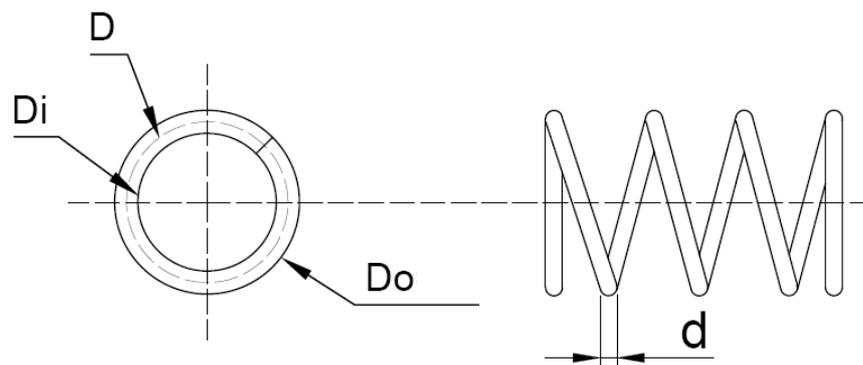


Figura 44. Esquema de resorte de compresión

Cálculo del índice del resorte:

$$C = \frac{D}{d} = \frac{17.5}{2.5} = 7$$

$$Kb = \frac{4C + 2}{4C - 3} = \frac{4 * 7 + 2}{4 * 7 - 3} = 1.2$$

Cálculo de la fuerza alternante y la fuerza media:

$$Fa = \frac{84 - 10}{2} = 37 \text{ N}$$

$$Fm = \frac{84 + 10}{2} = 47 \text{ N}$$

Componente alternante y media del esfuerzo cortante:

$$\tau_a = Kb \frac{8FaD}{\pi d^3} = 1.135 \frac{8 * 41.5 * 20}{\pi * 2^3} = 126.631 \text{ MPa}$$

$$\tau_m = Kb \frac{8FmD}{\pi d^3} = 1.135 \frac{8 * 42.5 * 20}{\pi * 2^3} = 160.856 \text{ MPa}$$

Se determina que $A = 2211 \text{ MPa} \cdot \text{mm}^m$ y $m = 0.145$, entonces la resistencia última a la tensión es:

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m} = \frac{2211}{2.5^{0.145}} = 1936 \text{ MPa}$$

Cálculo de la resistencia última al esfuerzo cortante:

$$S_{su} = 0.67 * S_{ut} = 0.67 * 1936 = 1297 \text{ MPa}$$

La pendiente de la carga es: $r = \tau_a / \tau_m = 0.787$, entonces se tiene:

$$S_{se} = \frac{S_{sa}}{1 - \left(\frac{S_{sm}}{S_{su}}\right)^2} = \frac{241}{1 - \left(\frac{379}{1297}\right)^2} = 263.497 \text{ MPa}$$

Cálculo de la componente de la resistencia a fatiga para vida infinita:

$$S_{sa} = \frac{r^2 * S_{su}^2}{2 * S_{se}} \left[-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2S_{se}}{rS_{su}}\right)^2} \right]$$

$$S_{sa} = \frac{0.787^2 * 1297^2}{2 * 263.497} \left[-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2 * 263.497}{0.787 * 1297}\right)^2} \right] = 247.959 \text{ MPa}$$

$$FS = \frac{S_{sa}}{\tau_a} = \frac{247.959}{126.631} = 1.96$$

Comparación de factores de seguridad:

Tabla 7

Factores de seguridad del resorte – trinquete.

FS Nominal	FS Real	% Error
2	1.96	2

Se toma el factor de seguridad de 2 debido a que solo le afecta la carga estática de la masa m_1 .

d) Diseño del eje trinquete

Consideraciones del diseño:

- Material: Acero de transmisión AISI 1018.
- Tensión del cable en el estado de carga 2. $T = 1653 \text{ N}$ (literal 3.1.5.1 figura 36).

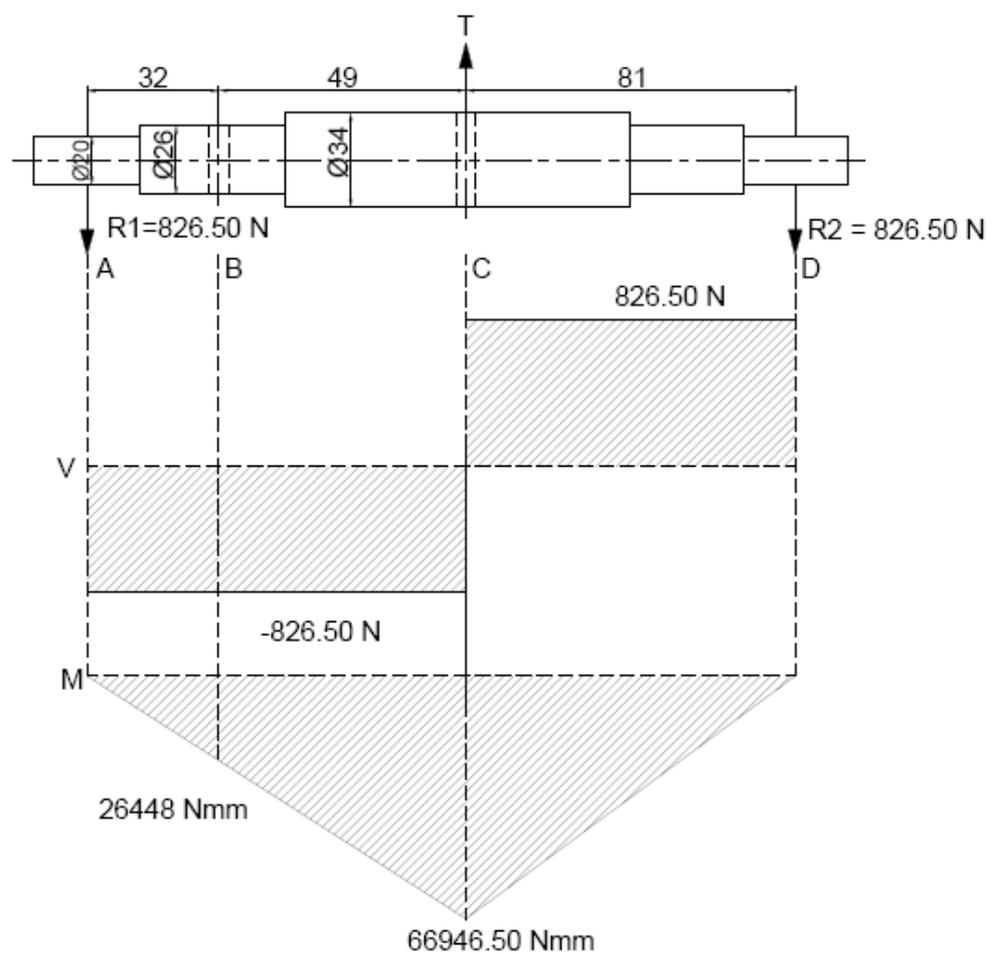


Figura 45. DCL, cortante y momento – Eje trinquete.

Análisis en el Punto B (crítico)

Cálculo del factor teórico de concentración de esfuerzos k_t . Ver figura 12 literal 2.6.4.3:

$$\frac{d}{D} = \frac{6}{26} = 0.23 \quad k_t = 2$$

Factores que modifican la resistencia a la fatiga:

$$K_a = 4.51 * 400^{-0.265} = 0.922 \text{ (Maquinado)}$$

$$K_b = \frac{26^{-0.107}}{7.62} = 0.877 \text{ (} 2.79 \leq D \leq 51\text{mm)}$$

Cálculo de la resistencia a la fatiga:

$$S'_e = 0.5 * S_{ut} = 0.5 * 400 = 200 \text{ MPa}$$

$$S_e = S'_e * K_a * K_b = 200 * 0.922 * 0.877 = 161.72 \text{ MPa}$$

Momento máximo:

$$M_b = 26448 \text{ Nmm}$$

Cálculo del esfuerzo de flexión:

$$\sigma_b = \frac{M_b}{\left(\frac{\pi D^3}{32}\right) - \left(\frac{dD^2}{6}\right)} = \frac{26448}{\left(\frac{\pi * 26^3}{32}\right) - \left(\frac{6 * 26^2}{6}\right)} = 25.20 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b \text{ max} = 25.20 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b \text{ min} = 0 \text{ MPa}$$

Cálculo del esfuerzo medio y equivalente:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_b \text{ max} + \sigma_{\text{min}}}{2} = \frac{25.20 + 0}{2} = 12.60 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m^* = k_t * \sigma_m = 2 * 12.60 = 25.2 \text{ MPa}$$

Cálculo del esfuerzo dinámico y equivalente:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_b \text{ max} - \sigma_{\text{min}}}{2} = \frac{25.2 - 0}{2} = 12.60 \text{ MPa}$$

$$K_f = 1.8$$

$$\sigma_a^* = K_t * \sigma_a = 1.8 * 12.60 = 22.68 \text{ MPa}$$

Cálculo del factor de seguridad (Soderberg):

$$n = \frac{S_y}{\sigma m^* + \frac{S_y}{S_e} * \sigma a^*} = \frac{235}{25.2 + \frac{235}{161.72} * 22.68} = 4.04$$

Comparación del factor de seguridad:

Tabla 8

Factores de seguridad en el eje trinquete.

FS Nominal	FS Real	% Error
4	4.04	1

e) Diseño del soporte de eje trinquete

Se toma al estado de carga 2 para el diseño del soporte, además se considera un ángulo de lados iguales de 60*4.

Determinación de la deflexión máxima del soporte:

Se tiene dos soportes que alojan al eje y la carga de impacto causa dos reacciones de valor $R_y = 826,5 \text{ N}$, como se aprecia en la figura 53.

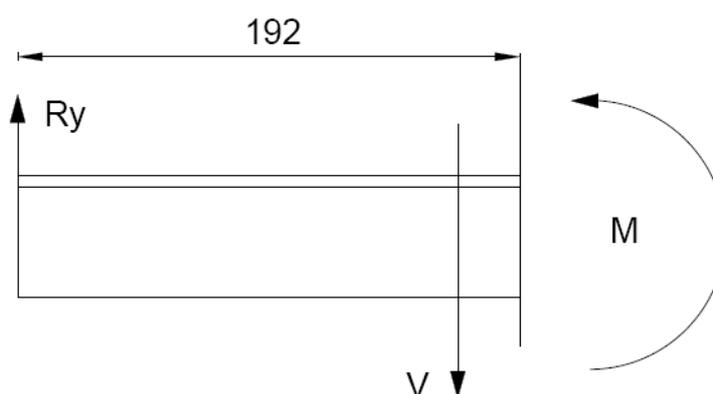


Figura 46. DCL de soporte de eje trinquete.

Fuente: Propia

$$I = 15.96 * 10^{-8} m^4$$

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{Ry * L^3}{3 * E * I} = \frac{826.5 N * 0.192^3 m^3}{3 * 200 * 10^9 N/m^2 * 15.96 * 10^{-8} m^4} = 6.1 * 10^{-5} m$$

$$\delta_{m\acute{a}x} = 0.061 mm$$

La deformaci3n es muy peque1a, pero se ha considerado poner nervios para rigidizar m1s el elemento.

An1lisis de resistencia por flexi3n

La reacci3n de 826,5 N se descompone a 45° tanto en el eje v como en el u como se describe la figura:

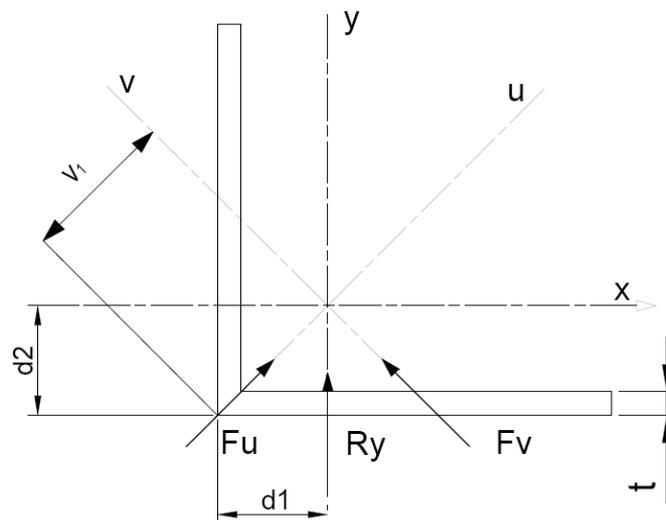


Figura 47. Descomposici3n en los ejes v, u.

Fuente: Propia

Los valores de las inercias y distancias se toman de NTE INEN 1623.

Las fuerzas Fv y Fu ocasionan momentos en el empotramiento:

Por Pitágoras tenemos; $Fv = 826,5 N * \cos(45) = 585 = Fu$

$$Mv = Fv * v1 = 585 N * 0,192 m = 112,3 Nm = Mu$$

Cálculo de esfuerzos:

Esfuerzos de flexión:

$$\sigma_v = \frac{Mv_1}{I_v} = \frac{112,3 Nm * 0,0234 m}{5,88 * 10^{-8} m^4} = 44,69 MPa$$

$$\sigma_u = \frac{Mw}{I_u} = \frac{112,3 Nm * 0,0417 m}{26,04 * 10^{-8} m^4} = 17,98 MPa$$

$$\sigma_t = 44,69 + 17,98 = 62,67 MPa$$

Factor de seguridad:

El material de los perfiles ángulos es el acero A36, $Sy=250 MPa$

$$n = \frac{250}{62,67} = 3,98$$

Comparación de factores de seguridad:

Tabla 9

Factores de seguridad del soporte del eje trinquete.

FS Nominal	FS Real	% Error
4	3.98	0.5

3.1.6.2. Sistema 2: Mecanismo Variador

La funcionalidad requerida del mecanismo se describe a continuación en los procesos:

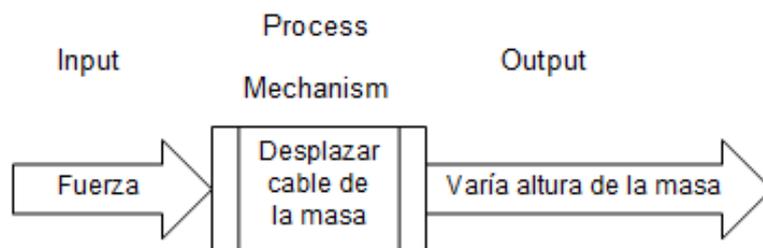


Figura 48. Proceso del mecanismo variador

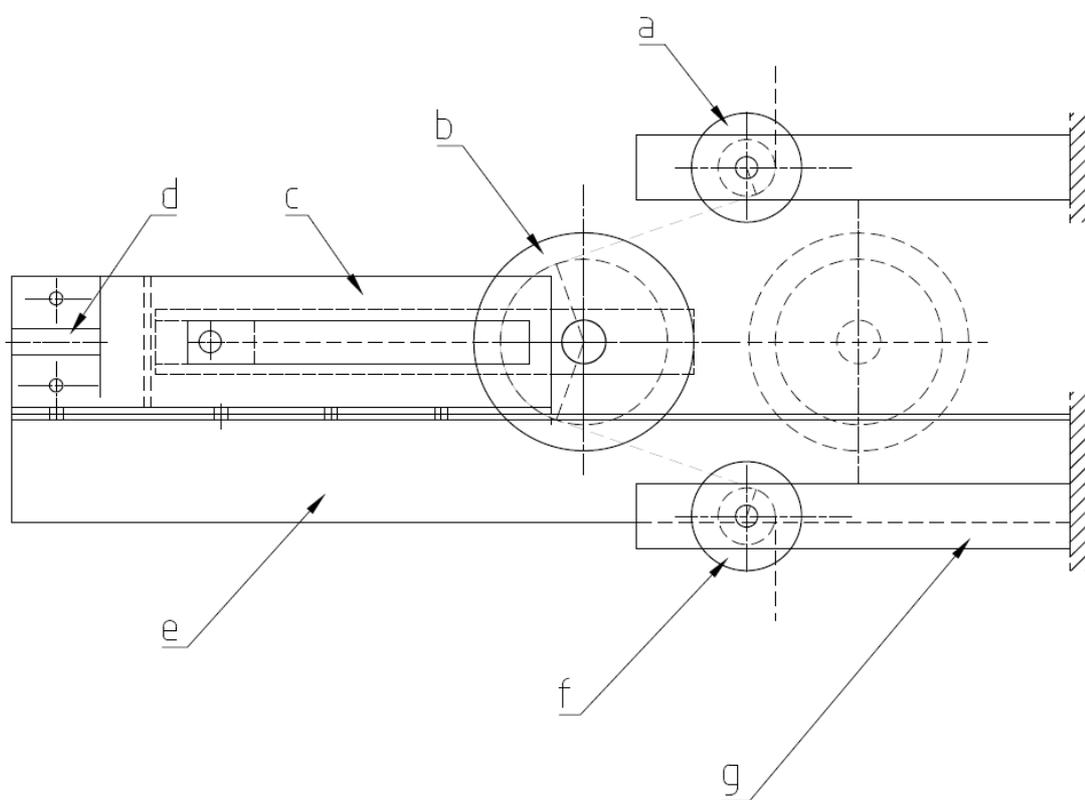


Figura 49. Esquema general de variador de poleas.

Tabla 10

Componentes variador de poleas.

Ítem	Descripción
a	Polea fija de 2 pulg.
b	Polea móvil de 4 pulg.
c	Guía de polea móvil
d	Guía perno variador
e	Soporte
f	Polea fija 2 pulg.
g	Soporte polea fija

Se parte de la figura 38 del sistema 2 en el estado de carga 2, literal 3.1.5.1.

a) Análisis de resistencia en el soporte polea fija

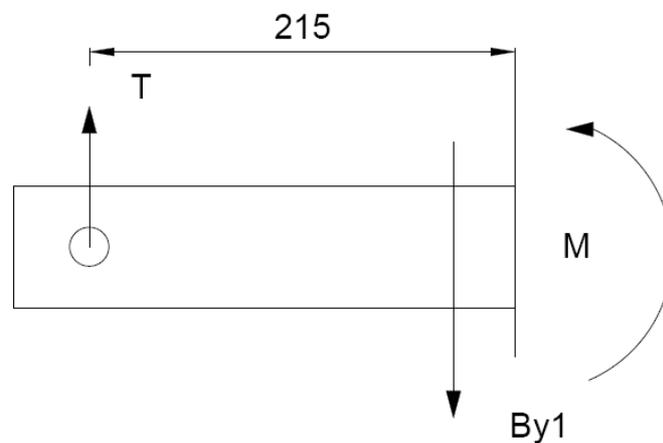


Figura 50. DCL de soporte polea fija del mecanismo variador

Cálculo del momento flector:

$$M = T * d = 1653 \text{ N} * 215 \text{ mm} = 355395 \text{ Nmm}$$

Consideraciones del diseño:

- Acero A36, $S_y = 250 \text{ MPa}$, $E = 200000 \text{ MPa}$.
- Inercia del tubo rectangular eje $x-x'$, $I = 14.13 \text{ cm}^4$.
- Tubo estructural cuadrado de $50 \times 50 \times 2 \text{ mm}$.

Esfuerzo de flexión.

$$\sigma_b = \frac{M * c}{I} = \frac{(355395 \text{ Nmm}) * (23 \text{ mm})}{141300 \text{ mm}^4} = 57.85 \text{ MPa}$$

Esfuerzo cortante.

Cálculo del primer momento del área A' respecto al eje neutro:

$$Q = y' * A'$$

$$Q = \left(23 \text{ mm} + \frac{2 \text{ mm}}{2}\right) * (50 \text{ mm}) * (2 \text{ mm}) = 2400 \text{ mm}^3$$

Cálculo del esfuerzo cortante en el soporte:

$$\tau = \frac{V * Q}{I * b}$$

$$\tau = \frac{1653 \text{ N} * 2400 \text{ mm}^3}{141300 \text{ mm}^4 * 4 \text{ mm}} = 7.02 \text{ MPa}$$

Cálculo del esfuerzo equivalente (Von Misses):

$$\sigma_{eq} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_{eq} = \frac{57.85 + 0}{2} + \sqrt{\left(\frac{57.85 - 0}{2}\right)^2 + 7.02^2} = 62.36 \text{ MPa}$$

Cálculo del factor de seguridad:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{eq}} = \frac{250 \text{ MPa}}{58.69 \text{ MPa}} = 4.26$$

Comparación de factores de seguridad:

Tabla 11

Factores de seguridad de soporte poleas fijas

FS Nominal	FS Real	% Error
4	4.26	6.5

b) Deflexión en el soporte polea fija:

Para analizar la deflexión máxima formada por la fuerza de impacto se tomará la ecuación 2 de viga en voladizo con carga en el extremo del literal 2.6.2:

$$Y = -\frac{T * l^3}{3EI} = -\frac{-1653 \text{ N} * 215^3 \text{ mm}}{3 * 200000 \text{ MPa} * 141300 \text{ mm}^4} = 0.194 \text{ mm}$$

3.1.6.3. Sistema 3: Conjunto Poleas

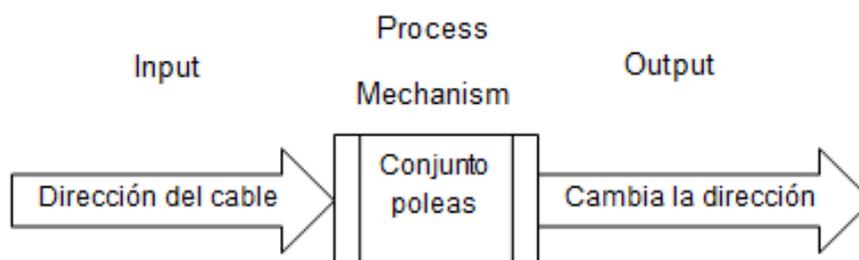


Figura 51. Proceso conjunto poleas

Se parte del estado de carga 2 expuesto en la figura 39 para el sistema 3.

a) Resistencia y deflexión del soporte

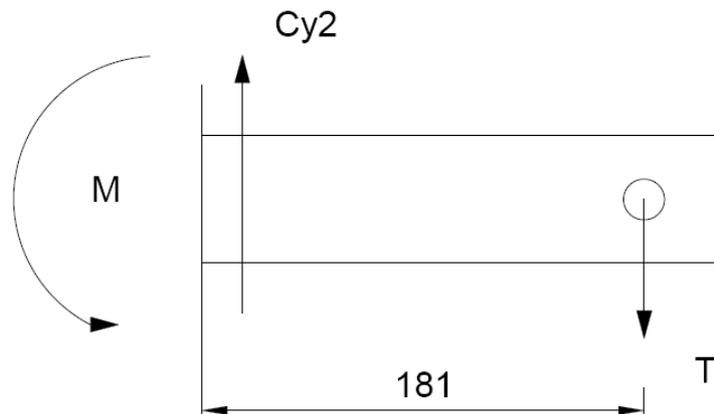


Figura 52. DCL de soporte de poleas

Cálculo del momento flector:

$$M = T * d = 1653N * 181mm = 299193 \text{ Nmm}$$

Consideraciones del diseño:

- Acero A36, $S_y = 250 \text{ MPa}$, $E = 200000 \text{ MPa}$.
- Inercia del tubo rectangular eje x-x', $I = 11.4194 \text{ cm}^4$.
- Tubo estructural cuadrado de 50x50x1.5 mm.

Esfuerzo de flexión

$$\sigma_b = \frac{M * c}{I} = \frac{(299193 \text{ Nmm}) * (23.5 \text{ mm})}{114194 \text{ mm}^4} = 61.57 \text{ MPa}$$

Esfuerzo cortante.

Cálculo del primer momento del área A' respecto al eje neutro:

$$Q = y' * A'$$

$$Q = \left(23.5 \text{ mm} + \frac{1.5\text{mm}}{2}\right) * (50\text{mm}) * (1.5\text{mm}) = 1818.75 \text{ mm}^3$$

Cálculo del esfuerzo cortante en el soporte:

$$\tau = \frac{V * Q}{I * b} = \frac{1653 \text{ N} * 1818.75 \text{ mm}^3}{114194 \text{ mm}^4 * 3 \text{ mm}} = 8.78 \text{ MPa}$$

Cálculo del esfuerzo equivalente (Von Misses):

$$\sigma_{eq} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_{eq} = \frac{61.57 + 0}{2} + \sqrt{\left(\frac{61.57 - 0}{2}\right)^2 + 8.78^2} = 62.47 \text{ MPa}$$

Cálculo del factor de seguridad:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{eq}} = \frac{250 \text{ MPa}}{62.79 \text{ MPa}} = 3.98$$

Comparación de factores de seguridad:

Tabla 12

Factores de seguridad soporte de poleas.

FS Nominal	FS Real	% Error
4	3.98	0.5

Análisis de deflexión:

Para analizar la deflexión máxima formada por la fuerza de impacto se tomará la ecuación 2 de viga en voladizo con carga en el extremo del literal 2.6.2:

$$Y = -\frac{T * l^3}{3EI} = -\frac{-1653 \text{ N} * 181^3 \text{ mm}}{3 * 200000 \text{ MPa} * 114194 \text{ mm}^4} = 0.143 \text{ mm}$$

3.1.6.4. Sistema 4: Conjunto columna - placa base

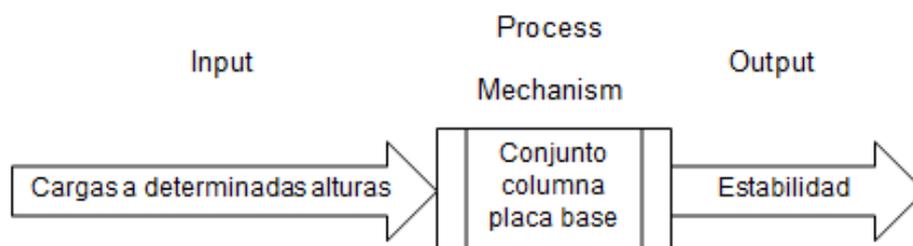


Figura 53. Proceso conjunto columna – placa base

Se parte del estado de carga 2 expuesto en la figura 40 y se procede al traslado de fuerzas y momentos a la columna.

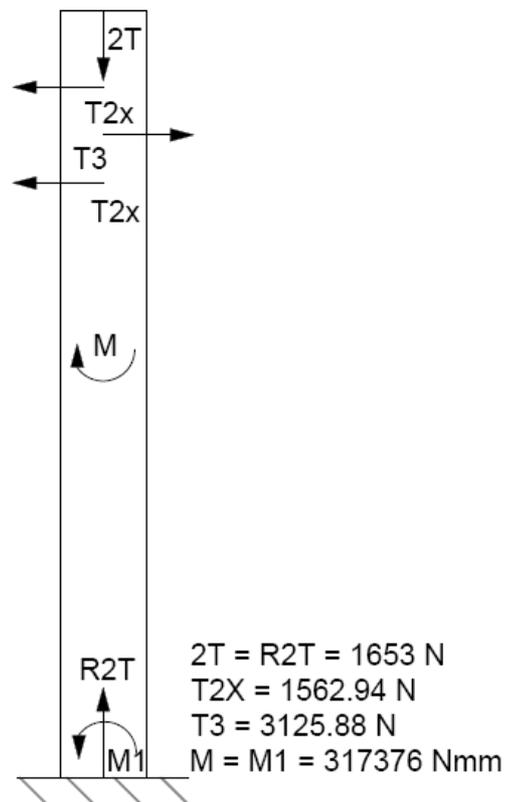


Figura 54. DCL de la columna – Sistema 4

a) Cálculo de la columna:

• **Cálculo de esbeltez y pandeo**

Para este análisis se tomará en cuenta solamente la carga $2T$ en la columna dejando para un análisis posterior el resto de cargas. Se utilizarán dos correas G de $200 \times 50 \times 3$ mm con lo cual se tendrá una columna con las siguientes dimensiones:

Consideraciones para el diseño:

- Acero A36 ($S_y = 250 \text{ MPa}$)
- Módulo de elasticidad ($E = 200000 \text{ MPa}$)
- Longitud de la columna ($L = 1810 \text{ mm}$)
- Factor de seguridad = 4 (impacto)

Para el valor de K (longitud efectiva) rijase a la figura 94 – Anexo 3, K=2.

Momento de inercia de la sección transversal:

$$I = 3.2128 * 10^{-6} m^4$$

Radio de giro:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{3.2128 * 10^{-6} m^4}{(0.1m * 0.2m) - (0.094m * 0.194m)}} = 0.043 m$$

Relación de esbeltez:

$$Relación\ de\ esbeltez = \frac{K * L}{r} = \frac{2 * 1.81}{0.043} = 84.467$$

Razón de transición de delgadez o constante de columna:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * (200 * 10^9 Pa)}{250 * 10^6 Pa}} = 125.664$$

$$\frac{K * L}{r} < C_c \rightarrow es\ columna\ corta$$

Fórmula de Johnson para determinar la carga crítica en columnas cortas:

$$P_{cr} = A * S_y \left[1 - \frac{S_y * \left(\frac{KL}{r}\right)^2}{4\pi^2 E} \right]$$

$$P_{cr} = (1.764 * 10^{-3}) * (235 * 10^6) \left[1 - \frac{(235 * 10^6) * (84.467)^2}{4 * \pi^2 * (200 * 10^9)} \right] = 341400 N$$

Carga permisible en la columna:

$$P_a = \frac{P_{cr}}{n} = \frac{341400}{4} = 85350 N$$

Análisis de resultados:

La columna que sostiene los elementos en el ensayo de impacto no va a fallar, debido a que se obtuvo una carga permisible de 85350 N que es mucho mayor a $2T = 3306 N$ de carga axial que soporta la columna en dicho ensayo.

- **Resistencia y deflexión**

Para el análisis de resistencia en la columna la estudiaremos como una viga en voladizo, debido a las cargas producidas por el variador de poleas y por el momento producido por la fuerza de impacto en el soporte del eje.

Consideraciones del diseño:

- Dos correas G de 200x50x3mm.
- Módulo de sección $S = 64.26 \text{ cm}^3$, Módulo de inercia $I_{x-x'} = 321.28 \text{ cm}^4$.
- Tensión del cable en el estado de carga 2 ($T_{2x} = 1562.94 \text{ N}$; $T_3 = 3125.88 \text{ N}$; $M = 400026 \text{ Nmm}$).

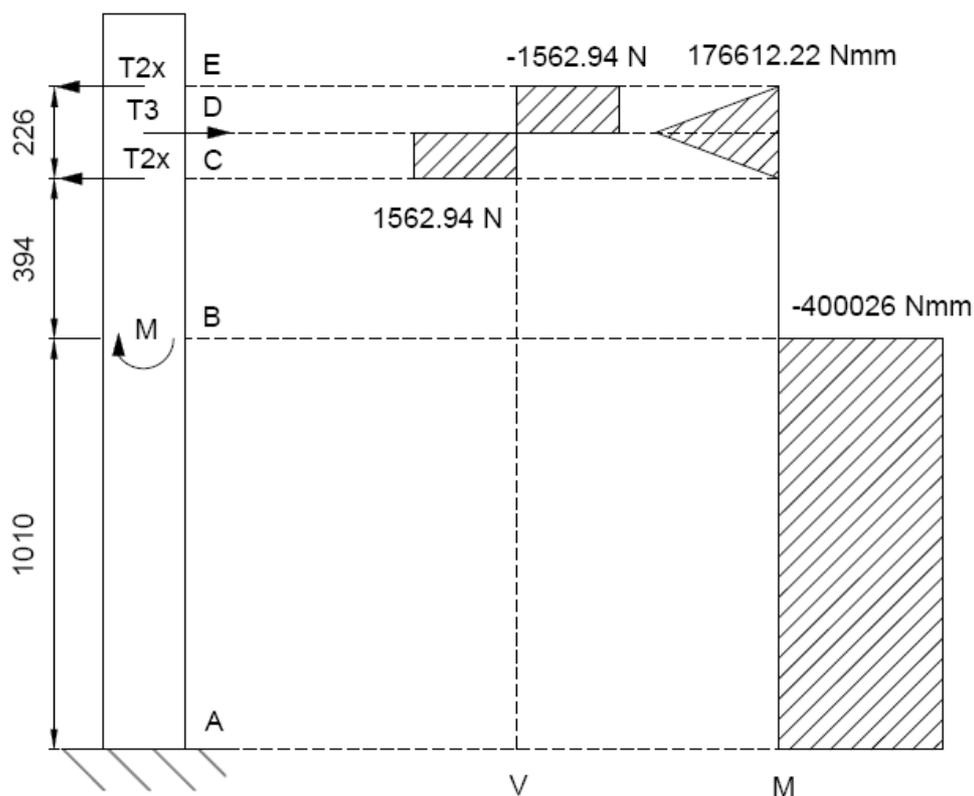


Figura 55. Diagrama de cortante y momento de la columna

Esfuerzo de flexión

Cálculo del esfuerzo admisible del material a la flexión:

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{n} = \frac{250 \text{ MPa}}{4} = 62.5 \text{ MPa}$$

Cálculo del módulo de sección requerido para la columna:

$$S_{req} = \frac{M_{max}}{\sigma_{adm}} = \frac{400026 \text{ Nmm}}{62.5 \text{ MPa}} = 6400.416 \text{ mm}^3$$

Comparación del módulo de sección real de la columna con el requerido:

$$6.4 \text{ cm}^3 < 64.26 \text{ cm}^3 \quad \text{La columna no falla a la flexión.}$$

Esfuerzo cortante

Cálculo del esfuerzo cortante admisible en el material:

$$S_{sy} = 0.5 * S_y = 0.5 * 250 \text{ MPa} = 125 \text{ MPa}$$

$$\tau_{adm} = \frac{S_{sy}}{n} = \frac{125 \text{ MPa}}{4} = 31.25 \text{ MPa}$$

Cálculo del primer momento del área A' respecto al eje neutro:

$$Q = y' * A'$$

$$Q = \left(47 \text{ mm} + \frac{3 \text{ mm}}{2}\right) * (200 \text{ mm} * 3 \text{ mm}) = 29100 \text{ mm}^3$$

Cálculo del esfuerzo cortante en la columna:

$$\tau = \frac{V * Q}{I * b}$$

$$\tau = \frac{1562.94 \text{ N} * 29100 \text{ mm}^3}{3212800 \text{ mm}^4 * 6 \text{ mm}} = 2.36 \text{ MPa}$$

Comparación del esfuerzo cortante admisible con el calculado:

$$2.36 \text{ MPa} < 31.25 \text{ MPa} \quad \text{La viga no falla al cortante.}$$

Análisis de deflexión.

Para analizar la deflexión máxima formada por el momento producido por la fuerza de impacto se tomará la ecuación de viga en voladizo con carga de momento:

$$Y = \frac{Mb * l^2}{2EI} = \frac{400026 \text{ Nmm} * 1010^2 \text{ mm}}{2 * 200000 \text{ MPa} * 3212800 \text{ mm}^4} = 0.317 \text{ mm}$$

b) Cálculo de la placa base

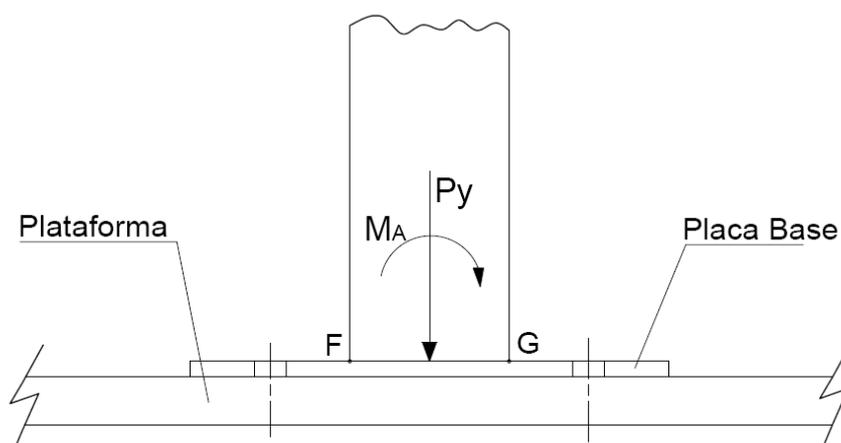


Figura 56. Diagrama general de Columna – Placa.

La carga P_y es resultado de la reacción $2T$ más el peso propio de la columna y se tiene $T = 1653 \text{ N} = 168.5 \text{ Kg}$ por tal $P_y = 2(168.5) + 17 = 354 \text{ Kgf}$. A continuación se dimensiona la placa base para su previo análisis y determinación del espesor de la placa.

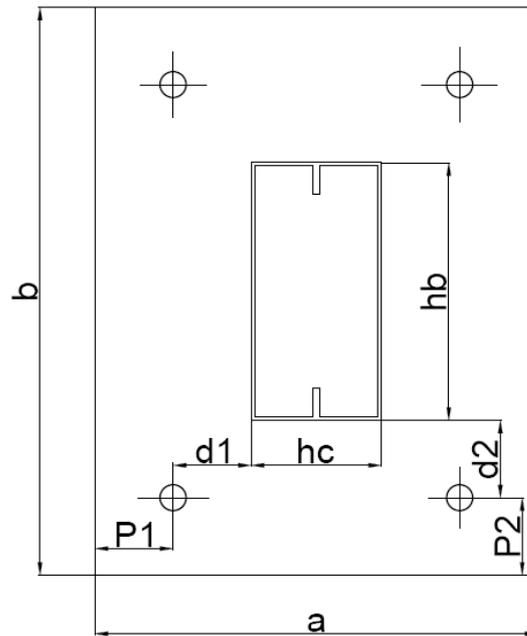


Figura 57. Dimensionamiento de placa base

Se considera:

$$d_1 = d_2 = 60 \text{ mm}$$

$$P_1 = P_2 = 60 \text{ mm}$$

$$h_c = 100 \text{ mm}$$

$$h_b = 200 \text{ mm}$$

$$a = P_1 + d_1 + h_c + d_1 + P_1 = 340 \text{ mm}$$

$$b = (P_2 + d_2)2 + h_b = 440$$

Haciendo analogía a una viga se tiene las siguientes reacciones por efecto de MA y Py:

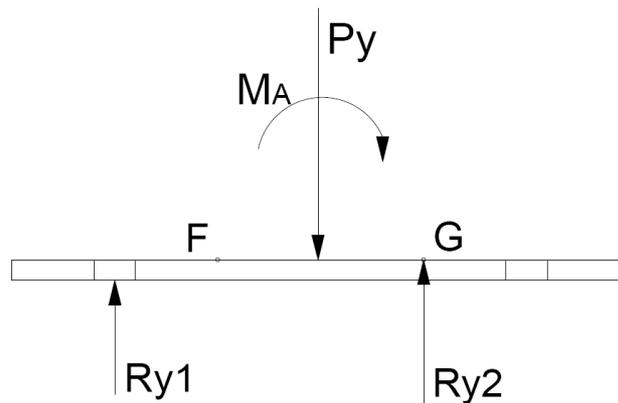


Figura 58. DCL de placa base

$$\sum Fy = 0 (+\uparrow)$$

$$-Py + Ry1 + Ry2 = 0$$

$$\sum^{+\rightarrow} M_G = 0$$

$$Ry1 * 0.160 - Py * 0.050 + M_A = 0$$

Donde:

$$M_A = 49,20 \text{ Kg} * m \quad Py = 354 \text{ Kg} \quad Ry1 = 196.88 \text{ Kg} \quad Ry2 = 550.88 \text{ Kg}$$

Análisis de flexocompresión:

En el instante que actúa el momento M_A y la carga P_y , la columna tiende a dar un giro pivotando en G, donde se produce el mayor esfuerzo ya que se tiene flexocompresión como se aprecia a continuación.

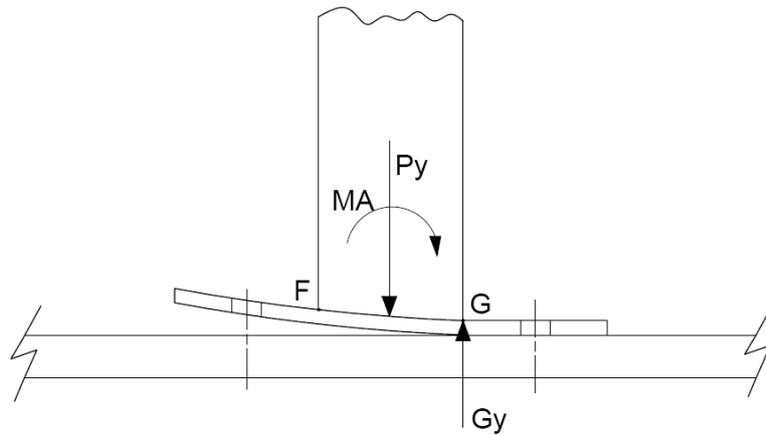


Figura 59. Placa a flexocompresión

En G se tiene una carga distribuida que es producida por la plataforma, la placa base y el perfil de la columna y es igual a:

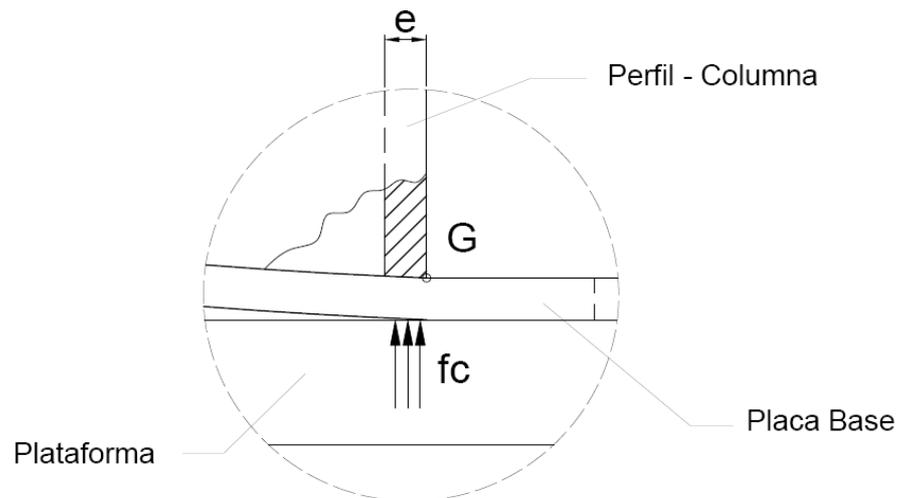


Figura 60. Carga distribuida en G.

$$Gy = Ag * fc = hb * e * fc$$

$$fc = 0.25 * Sy(ASM A36) = 62.5 \text{ MPa} = 637,32 \text{ kg/cm}^2$$

$$Gy = hb * e * fc = 20,0 * 0,3 * 637,32 = 2203.92 \text{ kg}$$

Donde:

F_c = esfuerzo producido por la plataforma

A_g = es el área dada por el ancho y espesor de la correa G de la columna.

Para determinar el espesor y la resistencia de la placa se analiza con momento flector y aplastamiento:

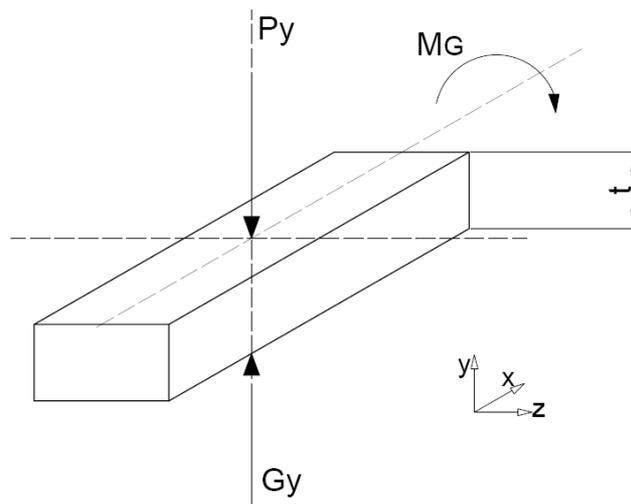


Figura 61. Diagrama de cuerpo libre en zona G.

En aplastamiento se analiza con la resultante de todas las fuerzas que actúan en y:

$$\sum y (\uparrow +) = 0$$

$$R_y = -P_y + G_y + R_{y2} = -354 + 550.88 + 2203.92 = 2400.8 \text{ kg}$$

$$\sigma_a = \frac{R_y}{A_g} = \frac{R_y}{hb * e} = 4001333,3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 39,253 \text{ MPa}$$

En momento flector se considera el momento en G:

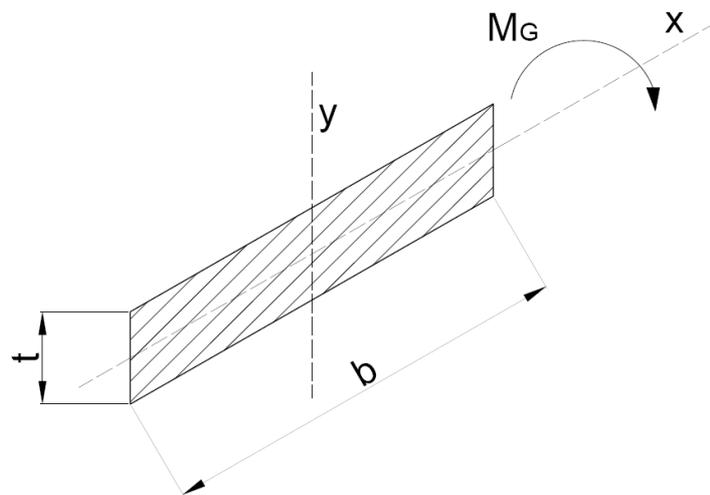


Figura 62. Diagrama para momento flector

A continuación determina el espesor óptimo para un factor de seguridad igual a 4.

$$M_G = 49,20 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_f = \sigma_{perm} = \frac{250}{4} = 62.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_f = \frac{M_G \cdot C}{I_x} = \frac{M_G \cdot \frac{t}{2}}{\frac{1}{12} \cdot b \cdot t^3} = \frac{M_G \cdot 6}{b \cdot t^2}$$

$$t = \sqrt{\frac{M_G \cdot 6}{b \cdot \sigma_f}}$$

$$t = \sqrt{\frac{49,20 \cdot 9,81 \cdot 6}{0,44 \cdot 62,5 \cdot 10^6}} = 0,01026 \text{ m} = 10,26 \text{ mm}$$

Se toma un espesor comercial:

$$t \approx 12 \text{ mm}$$

Recalculo del esfuerzo con un espesor de placa comercial:

$$\sigma_f = \frac{M_G * C}{I_x} = \frac{M_G * 6}{b * t^2} = \frac{49,20 * 9,81 * 6}{0,44 * (12 * 10^{-3})^2} = 45.7 \text{ MPa}$$

Una vez obtenido el espesor se analiza por combinación de esfuerzos y se tiene un esfuerzo equivalente:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_f^2 + \sigma_a^2}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{45.7^2 + 39.253^2} = 60.24 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{eq}} = \frac{250}{60.24} = 4.15$$

Comparación del factor de seguridad:

Tabla 13

Factores de seguridad placa base

FS Nominal	FS Real	% Error
4	4.15	3.75

3.1.6.5. Sistema 5: Accesorios

a. Cálculo de masa rodante

El cálculo de la masa rodante se encuentra en el Anexo 2 y se tiene los siguientes resultados:

Radio de la masa = 200 mm

Diámetro máximo = 55 mm

Diámetro mínimo = 40 mm

Peso máximo = 1 Kg

Peso de masa rodante = 0.212 Kg

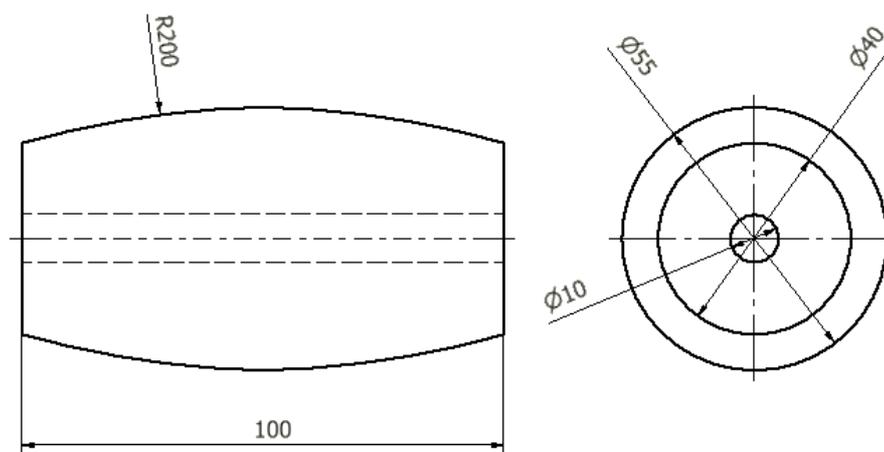


Figura 63. Dimensiones de masa rodante

3.1.8. Resumen de factores de seguridad Equipo 1

Tabla 14

Resumen de factores de seguridad del equipo 1

Elemento	Sistema	Factor nominal	Factor real	% Error
Resorte	S1	2	1.96	2
Eje trinquete	S1	4	4.04	1
Soporte de eje trinquete	S1	4	3.98	0.5
Soporte Polea Fija	S2	4	4.26	6.5
Soporte Poleas	S3	4	3.98	0.5
Placa base	S4	4	4.15	3.75

3.2. Diseño del equipo 2: ensayo de fatiga

3.2.1. Parámetros de diseño

Corresponde al ensayo de fatiga detallado en el capítulo 2, literal 2.5.2.2.

Tabla 15

Parámetros de ensayo de fatiga.

Parámetro de ensayo	Valor	Unidad
Fuerza dinámica (Acero)	440	N
Fuerza dinámica (No ferroso)	600	N
Ciclos	50000	N/A
Frecuencia máxima	25	Hz

3.2.2. Sistemas y esquema inicial de diseño

Para facilitar el diseño se ordena por sistemas que presenta a continuación en el gráfico:



Figura 64. Clasificación de sistemas del equipo 2

Tomando en consideración los parámetros del ensayo se plantea un bosquejo inicial que se presenta a continuación:

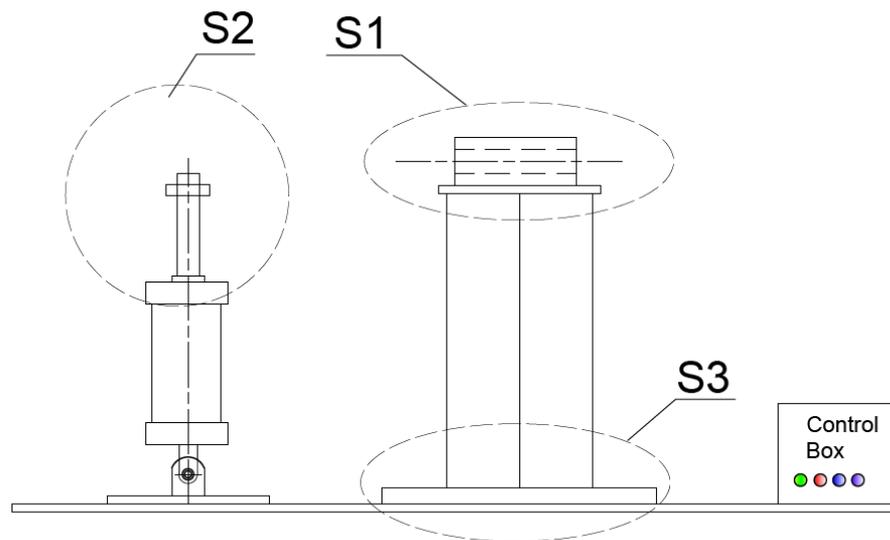


Figura 65. Esquema general del equipo 2

Tabla 16

Descripción de los sistemas del equipo 2.

Sistema	Descripción	Elementos
S1	Soporte – horquilla	Alojamiento, placa
S2	Acople – cilindro	Acople, soporte
S3	Conjunto columna – placa base	Columna, placa base

3.2.4. Sistema 1: Soporte – Horquilla

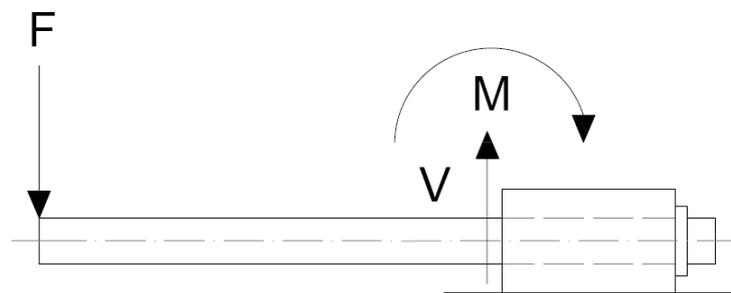


Figura 66. DCL Soporte – Horquilla

3.2.4.1. Diseño alojamiento empernado

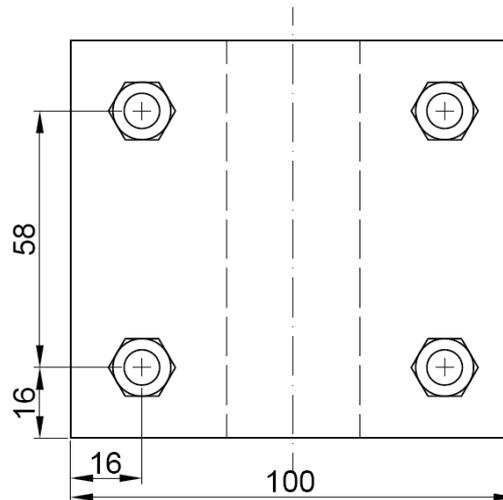


Figura 67. Dimensiones junta empernada

Consideraciones generales de diseño:

- Perno M8x1-40mm, $A_t = 39.2\text{mm}^2$.
- Clase de propiedad 4.6, $S_u = 400\text{ MPa}$, $S_y = 240\text{ MPa}$.
- Número de pernos = 4

Esfuerzo de tracción:

$$F_t = \frac{F}{N} = \frac{630\text{ N}}{4} = 157.5\text{ N}$$

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A_t} = \frac{157.5\text{ N}}{39.2\text{ mm}^2} = 4.018\text{ MPa}$$

Esfuerzo de flexión:

$$M = F * d = 630\text{ N} * 490\text{ mm} = 308700\text{ Nmm}$$

$$F_b = \frac{M * d_{1-2}}{d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + d_4^2} = \frac{308700 * 74}{74^2 + 74^2 + 16^2 + 16^2} = 1992.655\text{ N}$$

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t} = \frac{1992.655\text{ N}}{39.2\text{ mm}^2} = 50.833\text{ MPa}$$

Combinación de esfuerzos:

$$\sigma = \sigma_t + \sigma_b = 4.018 + 50.833 = 54.851 \text{ MPa}$$

Esfuerzos medio y alternante equivalentes:

$$\sigma_m^* = k_t * \sigma_m = 1 * \frac{54.851}{2} = 27.425 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a^* = k_f * \sigma_a = 2.2 * \frac{54.851}{2} = 60.336 \text{ MPa}$$

Resistencia a la fatiga:

$$S_e' = 400 * 0.5 = 200 \text{ MPa}$$

$$K_a = 0.92 \text{ (Maquinado en frío)}$$

$$k_c = 0.85 \text{ (carga axial)}$$

$$k_e = 0.897 \text{ (90\% confiabilidad)}$$

$$S_e = 200 * 0.92 * 0.85 * 0.897 = 140.29 \text{ MPa}$$

Teoría de falla a fatiga – Goodman

$$n_{fs} = \frac{S_u}{\sigma_m^* + \frac{S_u}{S_e} * \sigma_a^*} = \frac{400}{27.425 + \frac{400}{140.29} * 60.336} = 2$$

Comparación de factores de seguridad:

Tabla 17

Factores de seguridad de junta empernada de soporte-horquilla.

FS Nominal	FS Real	% Error
2	2	0

3.2.5. Sistema 2: Acople – cilindro

3.2.5.1. Diseño del acople sensor horquilla

Tomando en consideración los parámetros de diseño del literal 3.2.1 en el estado de carga 1, se realizará al análisis de resistencia correspondiente.

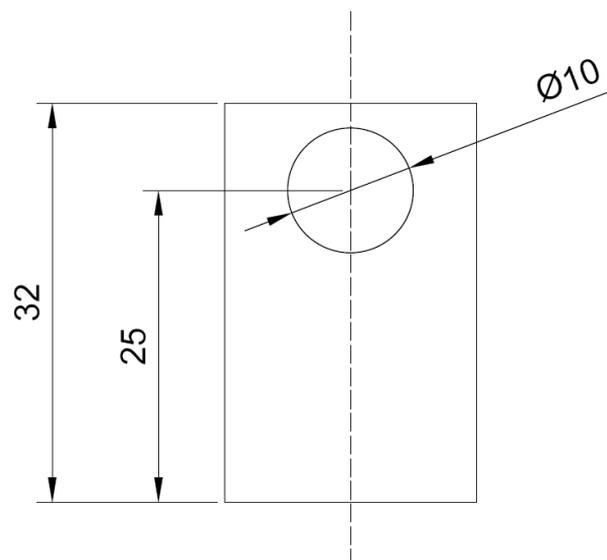


Figura 68. Esquema del acople sensor horquilla

A continuación se desarrolla en análisis por fatiga en el acople que está sometido a cortante.

$$F_{\text{máx}} = 630 \text{ N}$$

$$F_{\text{min}} = 0 \text{ N}$$

$$S_{\text{ut}} = 400 \text{ MPa}$$

$$S_y = 235 \text{ MPa}$$

Área de cortante:

$$a = 7 \text{ mm} \quad t = 5 \text{ mm}$$

$$A = (a * t) = (7 * 5) = 35 \text{ mm}^2$$

Determinación de las fuerzas fluctuantes:

$$F_m = \frac{f_{\text{máx}} + f_{\text{min}}}{2} = \frac{630 + 0}{2} = 315 \text{ N}$$

$$F_a = \frac{f_{\text{máx}} - f_{\text{min}}}{2} = \frac{630 - 0}{2} = 315 \text{ N}$$

Donde:

F_m = componente del intervalo medio de la fuerza

F_a = componente de la amplitud de la fuerza

Ecuación de Marín:

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_e$$

$$k_a = 0.92 \text{ (maquinado)}$$

$$k_c = 0.85 \text{ (carga axial)}$$

$$k_e = 0.75 \text{ (confiabilidad 99.9\%)}$$

$$S'_e = 0.5 * 400 \text{ MPa} = 200 \text{ MPa}$$

Reemplazo de valores:

$$S_e = 0.92 * 0.75 * 0.85 * 1 * 1 * 1 * 200 = 117.3 \text{ MPa}$$

Determinación de esfuerzos:

Para determinación de los factores de concentración de esfuerzo se toma el literal

2.6.4. Para el valor del K_t ríjase a la figura 11:

$$\frac{d}{w} = \frac{13}{40} = 0.32$$

$$\frac{h}{w} = \frac{18}{40} = 0.45$$

$$k_t = 4.6$$

Para la sensibilidad de la muesca q ríjase a la figura 13:

$$k_{fs} = 1 + q(kt - 1)$$

$$q = 0.8$$

$$k_{fs} = 1 + 0.8(4.5 - 1)$$

$$k_f = 3.8$$

Cálculo del esfuerzo cortante:

$$\tau'_m = \frac{k_t * Fm}{A} = \frac{4.6 * 315}{35} = 41.4 \text{ MPa}$$

$$\tau'_a = \frac{k_{fs} * Fa}{A} = \frac{3.88 * 315}{35} = 34.92 \text{ MPa}$$

Criterio de falla por Soderberg:

$$n_{fs} = \frac{1}{\frac{\tau'_a}{S_e} + \frac{\tau'_m}{S_y}} = \frac{1}{\left(\frac{34.92}{117.3}\right) + \left(\frac{41.4}{235}\right)} = 2.11$$

Comparación de factores de seguridad:

Tabla 18

Factores de seguridad de la acople-cilindro

FS Nominal	FS Real	% Error
2	2.11	5.5

3.2.6. Sistema 3: Conjunto columna – placa

3.2.6.1. Diseño de la placa base

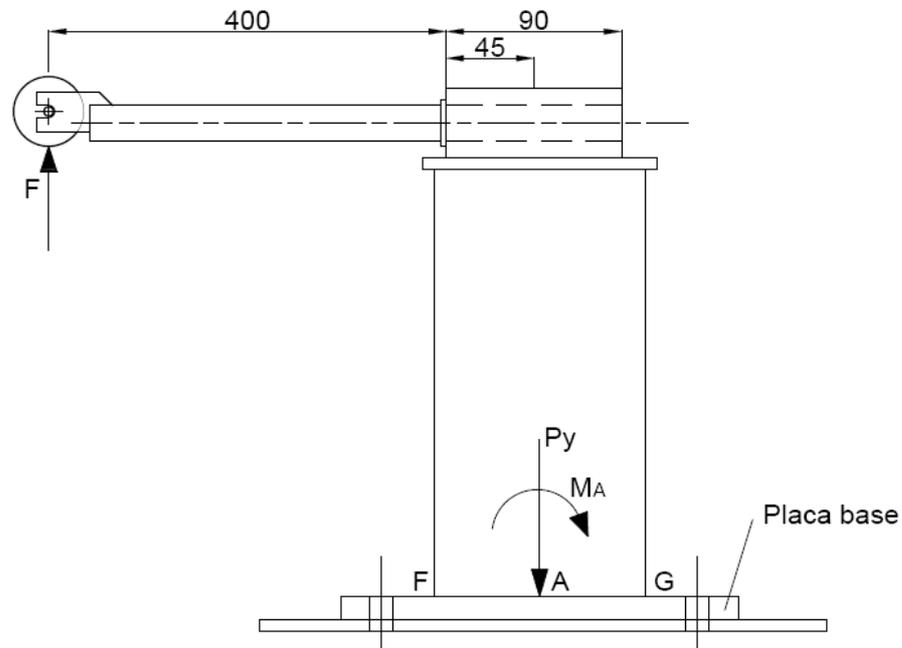


Figura 69. DCL de placa base con columna.

Las condiciones de esta placa base tiene mucha similitud con el diseño de la placa base de la columna de impacto, por tal se mantendrá la misma forma de cálculo.

La carga P_y es resultado de la reacción de F más el peso propio de la columna y se tiene $P_y = 600N + 100.21N = 700.21N = 71.377\text{ Kg}$. A continuación se dimensiona la placa base para su previo análisis y determinación del espesor de la placa.

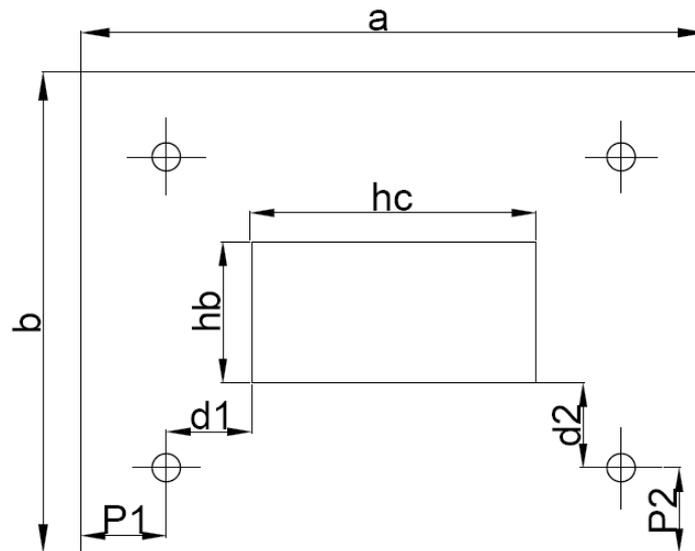


Figura 70. Dimensionamiento placa base – fatiga

Se considera:

$$d_1 = d_2 = 35 \text{ mm}$$

$$P_1 = P_2 = 25 \text{ mm}$$

$$h_c = 200 \text{ mm}$$

$$h_b = 100 \text{ mm}$$

$$a = P_1 + d_1 + h_c + d_1 + P_1 = 320 \text{ mm}$$

$$b = (P_2 + d_2)2 + h_b = 220$$

Haciendo una analogía a una viga se tiene las siguientes reacciones por efecto de M_A y P_y , (ver figura 65)

$$\sum F_y = 0 \quad (+\uparrow)$$

$$-P_y - R_{y1} + R_{y2} = 0$$

$$\sum M_G = 0$$

$$R_{y1} * 0.260 - P_y * 0.1 + M_A = 0$$

Donde:

$$M_A = 0.445 \text{ m} * 61.162 \text{ kg} = 27.217 \text{ kg} * \text{m}$$

$$P_y = 71.377 \text{ kgf}$$

$$R_{y1} = 77.228 \text{ kg}$$

$$R_{y2} = 148.6 \text{ kg}$$

Análisis de flexocompresión:

Para el análisis tome en consideración a la figura 66, en el instante que actúa el momento M_A y la carga P_y , la columna tiende a dar un giro pivotando en G, donde se produce el mayor esfuerzo.

En G se tiene una carga distribuida que es producida por la plataforma, la placa base y el perfil de la columna y es igual a: (ver figura 67).

$$G_y = A_g * f_c = h b * e * f_c = 10 + 0.3 + 637.31 = 1911.96 \text{ kg}$$

$$f_c = 0.25 * S_y(\text{ASTM A36}) = 62.5 \text{ MPa} = 637.32 \text{ kg/cm}^2$$

Consideración de aplastamiento:

Para el análisis de aplastamiento ríjase a la figura 68.

$$\sum F_y(+\uparrow) = 0$$

$$R_y = -P_y + G_y + R_{y2} = 1989.148 \text{ kg}$$

$$\sigma_a = \frac{R_y}{h b * e} = \frac{1989.148 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2}{0.100 * 0.003} = 65 \text{ MPa}$$

En momento flector se considera el momento en G:

Para el análisis del momento flector ríjase a la figura 69.

$$M_G = 33 \text{ Kg} * m$$

$$\sigma_f = \sigma_{perm} = \frac{250}{2} = 125 \text{ MPa}$$

$$\sigma_f = \frac{M_G * C}{I_x} = \frac{M_G * \frac{t}{2}}{\frac{1}{12} * b * t^3} = \frac{M_G * 6}{b * t^2}$$

$$t = \sqrt{\frac{M_G * 6}{b * \sigma_f}}$$

$$t = \sqrt{\frac{33.33 * 6}{0,34 * 125 * 10^6}} = 6.794 * 10^{-3} m = 6.79 \text{ mm}$$

$$t \approx 8 \text{ mm}$$

Recalculo del esfuerzo con un espesor de placa comercial:

$$\sigma_f = \frac{M_G * C}{I_x} = \frac{M_G * 6}{b * t^2} = \frac{33.33 * 6}{0,34 * (8 * 10^{-3})^2} = 90.156 \text{ MPa}$$

Una vez obtenido el espesor se analiza por combinación de esfuerzos y se tiene un esfuerzo equivalente:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_f^2 + \sigma_a^2}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{90.156^2 + 65^2} = 111.145 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{eq}} = \frac{250}{111.145} = 2,2$$

Tabla 19

Factores de seguridad placa base

FS Nominal	FS Real	% Error
2	2,2	10

3.2.7. Resumen de factores de seguridad

Tabla 20

Resumen de factores de seguridad del equipo 2.

Elemento	Sistema	Factor nominal	Factor real	% Error
Alojamiento empernado	S1	2	2	0
Oreja soporte-cilindro	S2	2	2.11	5.5
Placa base	S3	2	2.2	10

3.2.8 Selección del cilindro neumático

La fuerza máxima que se requiere para el ensayo de fatiga es de 462N, con este parámetro se procede a determinar el diámetro del pistón y la presión de trabajo con las ecuaciones planteadas en el literal 2.7.1.1.

Para $D = 80\text{mm}$ y $P = 1\text{bar}$

Cálculo de la fuerza de avance del cilindro:

$$F_{teórica} = 1\text{bar} * \left(\pi * \frac{80^2}{4} \right) = 502.655 \text{ N}$$

$$F_{rozamiento} = 0.09 * 502.655 = 45.239 \text{ N}$$

$$F_{avance} = F_{teórica} - F_{rozamiento} = 502.655 - 45.239 = 457.416 \text{ N}$$

Cálculo de la fuerza de retroceso:

$$F_{teórica} = 1\text{bar} * \left(\pi * \frac{80^2 - 25^2}{4} \right) = 453.567 \text{ N}$$

$$F_{rozamiento} = 0.02 * 453.567 = 9.071 \text{ N}$$

$$F_{retroceso} = F_{teórica} - F_{rozamiento} = 453.567 - 9.071 = 444.496 \text{ N}$$

Cálculo del volumen de aire comprimido en cada ciclo:

$$\begin{aligned} V = V_{avance} + V_{retroceso} &= \frac{\pi * (2 * D^2 - d^2)}{4} * e = \frac{\pi * (2 * 0.08^2 - 0.025^2)}{4} * 0.5 \\ &= 0.0048 \frac{\text{m}^3}{\text{ciclo}} \end{aligned}$$

Cálculo del caudal en cada ciclo:

$$Q = f * V = \frac{4\text{ciclos}}{\text{s}} * \frac{0.0048\text{m}^3}{\text{ciclo}} = 0.019 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

3.3. Sistema de automatización de los equipos 1 y 2

3.3.1. Sistema de adquisición de datos y control de Equipo 1

Para el presente equipo se requiere la medición de distancias, para lo cual se diseña la siguiente adquisición - presentación de datos.

3.3.1.1. Adquisición y presentación de datos

Dentro de este sistema se tiene medición y registro de datos necesarios según el procedimiento y necesidad del ensayo masa descendente (Ver Anexo 3).

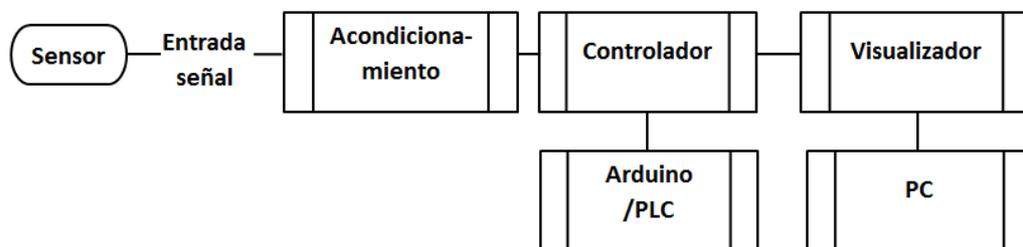


Figura 71. Sistema de adquisición y presentación de datos

a) Identificación de parámetros

Tomando en consideración los procedimientos de los ensayos detallados en Anexos 5 literal a) se describe a continuación los parámetros:

Tabla 21

Parámetros de adquisición de datos equipo 1

Descripción	Tipo	Dimensión [mm]
Altura de la masa m1	Medición	360

b) Selección del controlador:

En la actualidad existen diversos controladores para procesos industriales, entre los cuales podemos destacar el tradicional controlador lógico programable (PLC) y el novedoso Arduino, por lo que se hará una selección de estos dos equipos.

Para proceder a la selección mencionada se tomará como elementos de evaluación los parámetros característicos típicos de un PLC y un controlador Arduino como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 22

Parámetros típicos PLC - Arduino

Parámetros	PLC	Arduino
Costo	\$ 175	\$ 25
Entradas	8	14
Salidas	6	14
Memoria	4kB- 2KB	2KB- 1KB
Alimentación	85-264 v	6-12 v
Peso	190g	25g

Partiendo de la tabla de parámetros típicos se puede determinar la matriz de valor o distribución de pesos ponderados:

Tabla 23

Matriz de valor PLC - Arduino

N	Decisión	1	2	3	4	5	6	7	Sum	%	WF
1	Costo	0	0,5	0,5	1	1	1	1,25	5,25	0,23	0,24
2	Entradas	0,5	0	0,5	1	1	1	1,25	5,25	0,23	0,23
3	Salidas	0,5	0,5	0	1	1	1	1,25	5,25	0,23	0,23
4	Memoria	0	0	0	0	0,5	0,5	1,25	2,25	0,1	0,1
5	Alimentación	0	0	0	0,5	0	0,5	1,25	2,25	0,1	0,1
6	Peso	0	0	0	0,5	0,5	0	1,25	2,25	0,1	0,1
SU									22,5	1	1
M											

Con los pesos ponderados y con los valores del factor de solvencia RF obtenidos de la tabla de parámetros típicos, tenemos la matriz de decisión siguiente:

Tabla 24

Matriz de decisión PLC – Arduino

N	Decisión	Wf	PLC		Arduino	
			RF	Valor	RF	Valor
1	Costo	0,24	1,42	0,34	10	2,4
2	Entradas	0,23	5,71	1,31	10	2,3
3	Salidas	0,23	4,22	0,97	10	2,3
4	Memoria	0,1	10	1	5	0,5
5	Alimentación	0,1	10	1	5	0,5
6	Peso	0,1	1,31	0,13	10	1
	SUM	1		4,75		9
	Prioridad			2		1

De acuerdo con el resultado la prioridad número 1 es utilizar un controlador Arduino Mega mencionado en el literal 2.7.2.

c) Selección del sensor

La necesidad es medir distancia para lo cual se toma como parámetros el rango, el costo, la velocidad de respuesta, la exactitud, la precisión y la resolución. Los sensores más comunes son interruptores de posición, capacitivos, inductivos, fotoeléctricos, infrarrojos, ópticos y ultrasónicos.

Debido a la necesidad que los sensores no toquen o interrumpan a los objetos, se escogerá entre un sensor de distancia óptico o ultrasónico. Para efectuar esta selección se aplicará el método de la matriz de decisión, basado en las características de los sensores óptico TCRT 5000 y ultrasónico HC-SR04 típicos de uso en proyectos con Arduino detallados en la tabla siguiente:

Tabla 25

Parámetros típicos sensor óptico y ultrasónico

	Sensor óptico TCRT 5000	Sensor Ultrasónico HC- SR04
Costo	\$ 4	\$ 7
Velocidad	7ms	5ms
Rango	2-25mm	30-3000mm
Precisión	1mm	2mm
Exactitud	2%	2%
Resolución	0,2mm	0,5mm

Partiendo de la tabla de parámetros típicos se puede determinar la matriz de valor o distribución de pesos ponderados:

Tabla 26

Matriz de valor sensor óptico y ultrasónico

N	Decisión	1	2	3	4	5	6	7	Sum	%	WF
1	Rango	0	0,5	1	1	1	1	1	5,5	0,26	0,26
2	Velocidad	0,5	0	1	1	1	1	1	5,5	0,26	0,26
3	Costo	0	0	0	0,5	0,5	0,5	1	2,5	0,12	0,12
4	Precisión	0	0	0,5	0	0,5	0,5	1	2,5	0,12	0,12
5	Exactitud	0	0	0,5	0,5	0	0,5	1	2,5	0,12	0,12
6	Resolución	0	0	0,5	0,5	0,5	0	1	2,5	0,12	0,12
SUM									21	1	1

Con los pesos ponderados y con los valores del factor de solvencia RF obtenidos de la tabla de parámetros típicos, tenemos la matriz de decisión siguiente:

Tabla 27

Matriz de decisión sensor óptico y ultrasónico.

N	Decisión	WF	Óptico TCRT 5000		Ultrasónico HC-SR04	
			RF	Valor	RF	Valor
1	Rango	0,26	0,08	0,02	10	2,6
2	Velocidad	0,26	7,13	1,85	10	2,6
3	Costo	0,12	5,71	0,68	10	1,2
4	Precisión	0,12	10	1,2	5	0,6
5	Exactitud	0,12	10	1,2	10	1,2
6	Resolución	0,12	10	1,2	4	0,48
	SUM	1		6,15		8,68
	Prioridad			2		1

De acuerdo con el resultado la prioridad número 1 será utilizar sensores de distancia ultrasónicos HC – SR04 mencionado en el literal 2.7.2.4

Tabla 28

Sensores equipo 1

Ítem	Rango [mm]	Tipo de sensor	Tipo de señal
1	30 – 3000	Ultrasónico HC-SR04	Digital

d) Programación

En el presente literal se detalla la programación realizada en el Arduino Mega para el equipo 1. Anexo 4.

e) Diagrama de conexión general del sistema

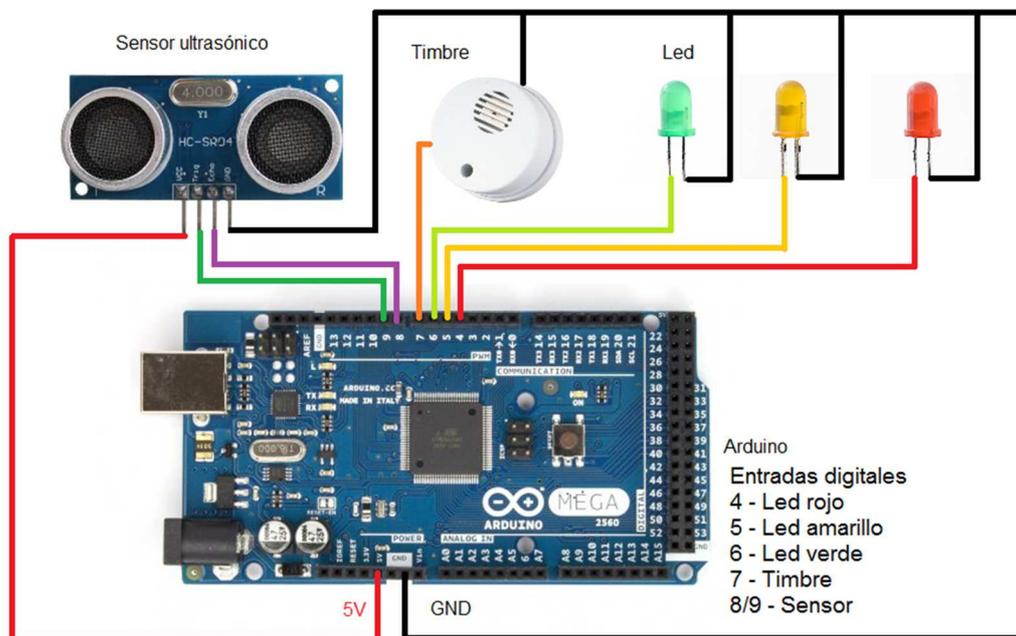


Figura 72. Diagrama de conexión Equipo 1

3.3.2. Sistema de adquisición de datos y control de Equipo 2

Para el presente equipo se requiere la medición de la fuerza, y el control de un actuador electro neumático para lo cual se diseña la adquisición - presentación de datos.

3.3.2.1. Adquisición y presentación de datos

En este apartado se presentará los parámetros necesarios, los sensores, la programación y los diagramas de conexión utilizados en el ensayo de fatiga.

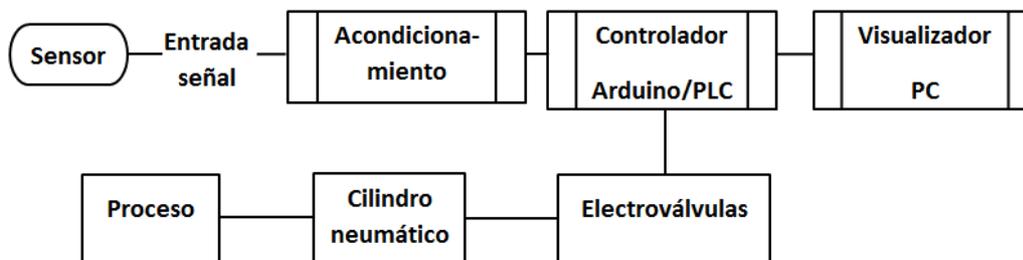


Figura 73. Sistema de adquisición - presentación de datos y control.

a) Identificación de parámetros

Para identificar los parámetros que intervienen en este ensayo se tomará en consideración el flujograma de ensayo de fatiga descrito en el Anexo 3 literal b.

Tabla 29

Parámetros de adquisición de datos y control equipo 2

Descripción	Tipo	Dimensión	Rango
Fuerza dinámica inversa	Medición	600 N	0 - 1000 N

b) Sensores y actuadores

De acuerdo con la necesidad planteada en la identificación de parámetros se utilizará una celda de carga tipo S mencionado en el literal 2.7.2., que mida tanto tensión como a compresión la fuerza requerida en el ensayo.

Tabla 30

Sensor equipo 2

Ítem	Rango	Tipo de sensor	Tipo de señal
1	0 - 1000 N	Celda de carga tipo S	Analógica

c) Controlador

Tomando en consideración el apartado 3.3.1.1 en su literal c en la selección realizada de acuerdo con el resultado la prioridad número 1 será utilizar un controlador Arduino Mega mencionado en el literal 2.7.2.3.

d) Acondicionamiento de señal

Para acondicionar la señal de entrada al Arduino Mega se necesita amplificarla por este motivo utilizamos algunos amplificadores operacionales TL084 el cual se muestra en la figura:



Figura 74. Amplificador operacional TL084

Fuente: (Electrónica, 2015)

El diagrama de acondicionamiento de señal utilizado en el Equipo 2 se muestra en la figura siguiente:

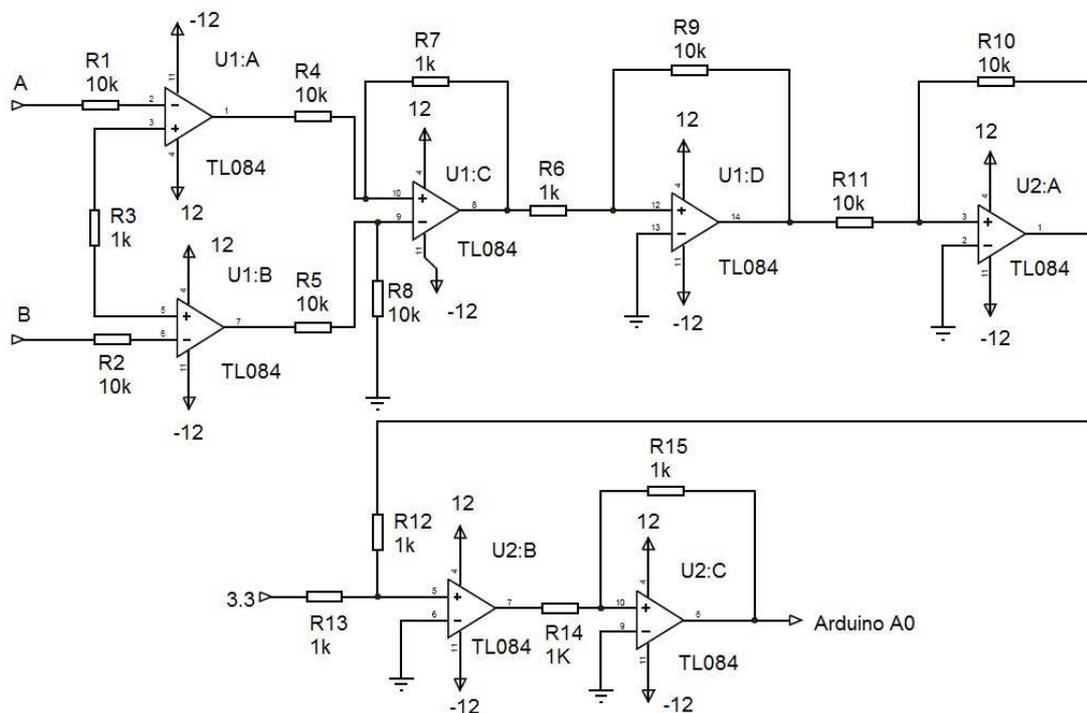


Figura 75. Acondicionamiento de señal Equipo 2

e) Diagrama neumático

En el siguiente apartado se detalla el esquema y la conexión neumática del actuador con las electroválvulas 5/2 y 3/2. Anexo 5.

f) Programación

En el presente literal se muestra la programación realizada en el Arduino Mega para el equipo 2. Anexo 6.

g) Diagrama de conexión general del sistema

En este literal se explica la conexión general del Equipo 2. Anexo 7.

CAPÍTULO 4:

CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS

Generalidades:

Tres empresas ecuatorianas: INDIMA, BKR y la iniciativa empresarial de uno de los creadores de la presente tesis Víctor ANDALUZ, que ha venido desarrollando cuadros y horquillas de bicicletas años antes de la presente tesis, han aportado cuadros y horquillas de producción nacional para ser ensayadas en los equipos construidos y comparar los resultados experimentales con los requerimientos de la INEN ISO 4210, además es importante mencionar que dichas empresas emitieron la autorización para publicar los datos experimentales obtenidos en la presente tesis, las autorizaciones se adjunta en el anexo 8.

Al equipo 1 se le denominara como el modelo EQ1 y al equipo 2 como el modelo EQ2.

La construcción de los equipos se realizó en un taller debidamente equipado, además la manufactura de los elementos que conforman los equipos se debe regir de acuerdo a los respectivos planos.

Todas las materias primas y elementos especificados en el capítulo de diseño se encuentran en el mercado local.

4.1. Construcción y pruebas del equipo 1 (EQ1)

El equipo 1 abarca el ensayo masa descendente, los elementos a construir se especifican en el conjunto de planos, partiendo de la vista principal del equipo TCB-EQ1-VP, donde se ha dividido por sistemas.

Para la construcción del equipo se requiere procesos básicos de corte, maquinados, soldadura y doblado. A continuación de describe los requerimientos iniciales previo a la construcción del equipo.

4.1.1. Requerimientos preconstructivos

4.1.1.1. Listado de materiales

A continuación se presenta un listado de los materiales para piezas mecanizadas por sistemas.

Tabla 31

Materiales del sistema 1.

No.	Código	Cantidad	Denominación	Material	Presentación
1	TCB-SC-S1-A1	1	Eje trinquete	AISI 1018	Eje
2	TCB-SC-S1-A2	1	Rueda trinquete	AISI 1018	Eje
3	TCB-SC-S1-A3	1	Uñeta	AISI 1018	Barra Cuadrada
4	TCB-SC-S1-A4	1	Pilar Uñeta	AISI 1018	Barra Cuadrada
5	TCB-SC-S1-A5	2	Soporte de eje	ASTM A36	Ángulo L
6	TCB-SC-S1-A6	1	Soporte de Uñeta	ASTM A36	Ángulo L
7	TCB-SC-S1-A7	1	Placa base de Uñeta	ASTM A36	Placa

Tabla 32

Materiales del sistema 2

No.	Código	Cantidad	Denominación	Material	Presentación
1	TCB-SC-S2-B1	1	Soporte de perno variador	ASTM A36	Placa
2	TCB-SC-S2-B2	1	Corredera A	ASTM A36	Placa
3	TCB-SC-S2-B3	1	Corredera B	ASTM A36	Placa
4	TCB-SC-S2-B4	1	Soporte de polea fija	ASTM A36	Tubo cuadrado
5	TCB-SC-S2-B5	1	Soporte de polea móvil	ASTM A36	Ángulo L
6	TCB-SC-S2-B6	1	Soporte de variador	ASTM A36	Ángulo L
7	TCB-SC-S2-B7	2	Rigidizador L	ASTM A36	Ángulo L

Tabla 33

Materiales del sistema 3

No.	Código	Cantidad	Denominación	Material	Presentación
1	TCB-SC-S3-C1	1	Soporte de poleas	ASTM A36	Perfil estructural L
2	TCB-SC-S3-C2	1	Pletina encarrilador	ASTM A36	Pletina
3	TCB-SC-S3-C3	1	Tubo encarrilador	ASTM A36	Tubo circular

Tabla 34

Materiales del sistema 4.

No.	Código	Cantidad	Denominación	Material	Presentación
1	TCB-SC-S4-C	1	Columna	ASTM A36	Correa G
2	TCB-SC-S4-L1	1	Ángulo 1	ASTM A36	Ángulo L
3	TCB-SC-S4-L2	1	Ángulo 2	ASTM A36	Ángulo L
4	TCB-SC-S4-L3	1	Ángulo 3	ASTM A36	Ángulo L
5	TCB-SC-S4-L4	1	Ángulo 4	ASTM A36	Ángulo L
6	TCB-SC-S4-L5	1	Ángulo 5	ASTM A36	Ángulo L
7	TCB-SC-S4-L6	1	Ángulo 6	ASTM A36	Ángulo L
8	TCB-SC-S4-L7	1	Ángulo 7	ASTM A36	Ángulo L
9	TCB-SC-S4-L8	1	Ángulo 8	ASTM A36	Ángulo L
10	TCB-SC-S4-P	1	Placa sup	ASTM A36	Placa
11	TCB-SC-S4-NF	4	Nervio sup	ASTM A36	Placa
12	TCB-SC-S4-NI	4	Nervio inf	ASTM A36	Placa
13	TCB-SC-S4-PB	1	Placa base	ASTM A36	Placa
14	TCB-SC-S4-N	1	Aislante	Neopreno	Lámina
15	TCB-SC-S4-L9	1	Ángulo 9	ASTM A36	Ángulo L
16	TCB-SC-S4-L10	1	Ángulo 10	ASTM A36	Ángulo L

Tabla 35

Materiales del sistema 5

No.	Código	Cantidad	Denominación	Material	Presentación
1	TCB-SC-S5-E1	1	Masa M1	AISI 1018	Eje
2	TCB-SC-S5-E2	1	Masa rodante	Nylon	Eje

Tabla 36

Materiales del sistema 6

No.	Código	Cantidad	Denominación	Material	Presentación
1	TCB-SC-S6-E	1	Estructura del piso	Varios	Varios
2	TCB-SC-S6-E-P	1	Piso - plancha	ASTM A36	Plancha
3	TCB-SC-S4-A	1	Aislante	Neopreno	Lámina
4	TCB-SC-S4-Y	1	Yunque E2	ASTM A36	Placa

Tabla 37

Materiales del sistema 7

No.	Código	Cantidad	Denominación	Material	Presentación
1	TCB-SC-S7-001	1	Tubo guía fija	ASTM A36	Tubo cuadrado
2	TCB-SC-S7-002	1	Tubo móvil	ASTM A36	Tubo cuadrado
3	TCB-SC-S7-003	1	Tubo columna	ASTM A36	Tubo cuadrado
4	TCB-SC-S7-004	1	Placa	ASTM A36	Placa
5	TCB-SC-S7-005	1	Placa aislante	Neopreno	Lámina

Tabla 38

Materiales del sistema 8

No.	Código	Cantidad	Denominación	Material	Presentación
1	TCB-SC-S8-E1	4	Conexión GF	ASTM A36	Ángulo L
2	TCB-SC-S8-E2	2	Soporte GF	ASTM A36	Ángulo L
3	TCB-SC-S8-E3	4	Pletina GF	ASTM A36	Pletina
4	TCB-SC-S8-E4	4	Guía GF	ASTM A36	Ángulo L
5	TCB-SC-S8-E5	4	Pletina GM	ASTM A36	Ángulo L
6	TCB-SC-S8-E6	4	Guía GM	ASTM A36	Ángulo L
7	TCB-SC-S8-E7	1	Conjunto alienador	Varios	Varios

Tabla 39

Materiales del sistema 9

No.	Código	Cantidad	Denominación	Material	Presentación
1	TCB-SC-S9-001	1	Bloque soporte	ASTM A36	Plancha
2	TCB-SC-S9-001	1	Placa B	ASTM A36	Placa
3	TCB-SC-S9-001	1	Aislante	Neopreno	Lámina
4	TCB-SC-S9-001	1	Eje soporte	ASTM A36	Eje

A continuación se presenta un listado de piezas adquiridas:

Tabla 40

Piezas adquiridas EQ1

No	Código	Cantidad	Denominación	Material	Observación
1	TCB-SC-S1	15	Perno M6x40	ASTM A 325	ISO 4762
2	TCB-SC-S1	4	Perno M10x30	ASTM A 325	ISO 4762
3	TCB-SC-S1	2	Chumacera	Varios	UCP204
4	TCB-SC-S1	1	Resorte de compresión	ASTM	Ninguna
5	TCB-SC-S1	1	Cabeza de articulación	-	-
6	TCB-SC-S2	12	Perno M8x70	ASTM A 325	ISO 4762
7	TCB-SC-S2	2	Perno M6x50	ASTM A 325	ISO 4762
8	TCB-SC-S2	1	Polea Ø4''	Varios	Con rodamiento
9	TCB-SC-S3	2	Polea Ø2''	Varios	Con rodamiento
10	TCB-SC-S3	1	Perno M12x70	ASTM A 325	ISO 4762
11	TCB-SC-S3	2	Polea Ø2''	Varios	Con rodamiento
12	TCB-SC-S4	4	Perno M20x50	ASTM A 325	ISO 4017
13	TCB-SC-S6	4	Perno M8x80	ASTM A 325	ISO 4017
14	TCB-SC-S6	12	Perno M8x75	ASTM A 325	ISO 4017
15	TCB-SC-S7	4	Tornillo mariposa M8x30	ASTM A 325	DIN 316
16	TCB-SC-S7	2	Perno M8x80	ASTM A325	ISO 4762

El material de aporte utilizado bajo especificaciones AWS es ER70S6 (rollo de 15Kg), para proceso GMAW.

4.1.1.2. WPS – Procedimiento de soldadura

Puesto que el equipo tiene en gran medida juntas soldadas es de mucha importancia desarrollar un procedimiento de soldadura estándar bajo la AWS D1.1, remítase al anexo 9 para ver el WPS.

4.1.1.3. Procedimiento de pintura

Es de mucha importancia diseñar un buen sistema de recubrimiento para evitar la corrosión y posible deterioro prematuro del equipo, para lo cual se establece un procedimiento básico bajo normas NACE:

a) Preparación superficial:

Limpieza: SSPC SP3 (Power tool cleaning)

Rugosidad recomendada: 2-3 mills

b) Sistema de recubrimiento:

Bicapa: Zinc/Poliurethano

c) Descripción del sistema bicapa.

Tabla 41

Sistema bicapa de recubrimiento.

Cap a	Nombre genérico	Unidad (Galón)	Cant. Req.	Espesor recomen dado (mills)	Color
1	Silicate Zinc Epoxy	1	1	2.5 – 3.5	Grey
2	Acrylic Polyurethane	1	1	2 – 2,4	Beige / blue

d) Condiciones ambientales

Es aconsejable verificar antes de la aplicación de la pintura que la humedad no supere el 85% además que la temperatura se encuentre en un rango de 10°C a 45°C, ya que el aplicar el recubrimiento bajo condiciones no aptas, puede ocasionar fallas de adherencia y presencia de agua en la aplicación, produciéndose focos de corrosión.

4.1.2. Construcción de los sistemas

Una vez determinas los parámetros pre constructivos se procede a fabricar cada sistema rigiéndose a cada grupo de planos correspondiente, a continuación se analiza los elementos más importantes de cada sistema. Para la construcción del equipo se recomienda seguir el siguiente flujograma:

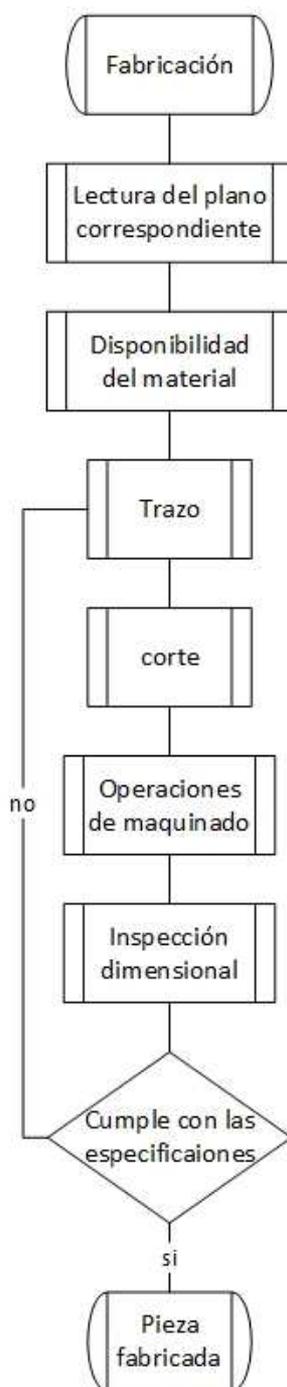


Figura 76. Diagrama de fabricación de una pieza

4.1.2.1. Sistema 1:

En el sistema 1 se requiere buena calidad de los principales elementos fabricados como es el caso de eje, rueda trinquete y ñeta ya estos controlan la función principal del equipo es decir de subir y dejar caer la masa de impacto sobre el cuadro a ensayarse, a continuación se especifica un breve diagrama de fabricación.

a) Eje

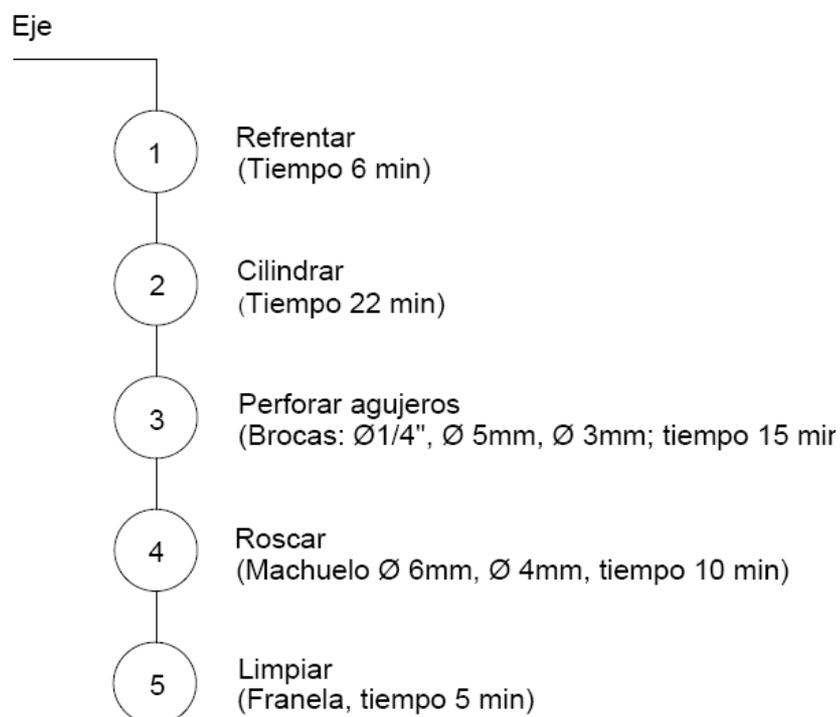
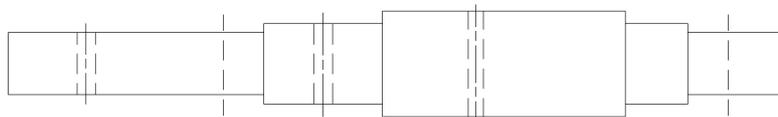
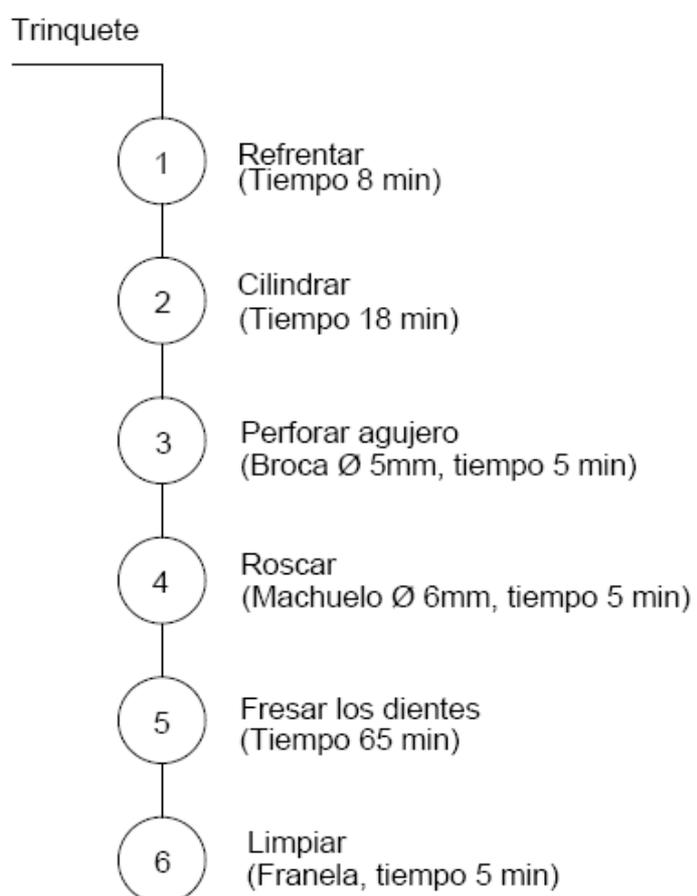
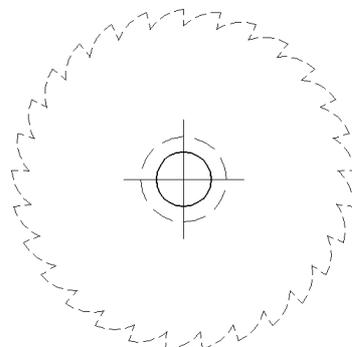


Figura 77. Diagrama de proceso del eje trinquete

b) Trinquete**Figura 78.** Diagrama de procesos de rueda trinquete

c) Uñeta

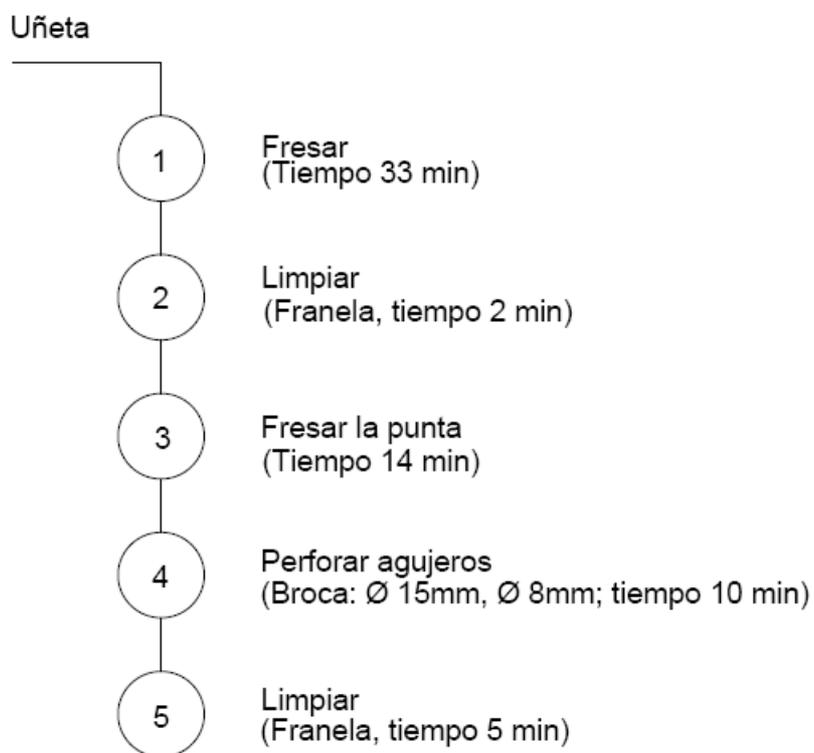
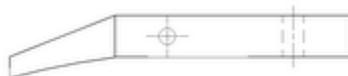


Figura 79. Diagrama de procesos de uñeta

d) Pilar de la uñeta**Figura 80.** Diagrama de proceso del pilas de la uñeta.

4.1.2.2. Sistema 2:

A continuación se describe las principales partes maquinadas:

a) Corredera A

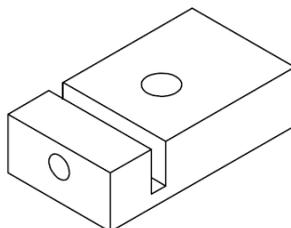
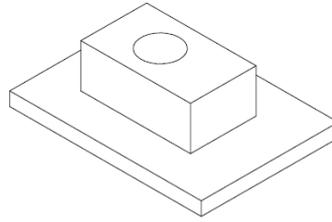
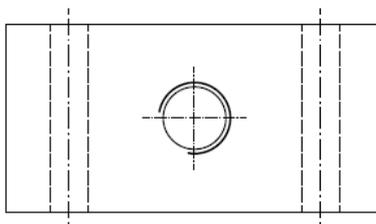
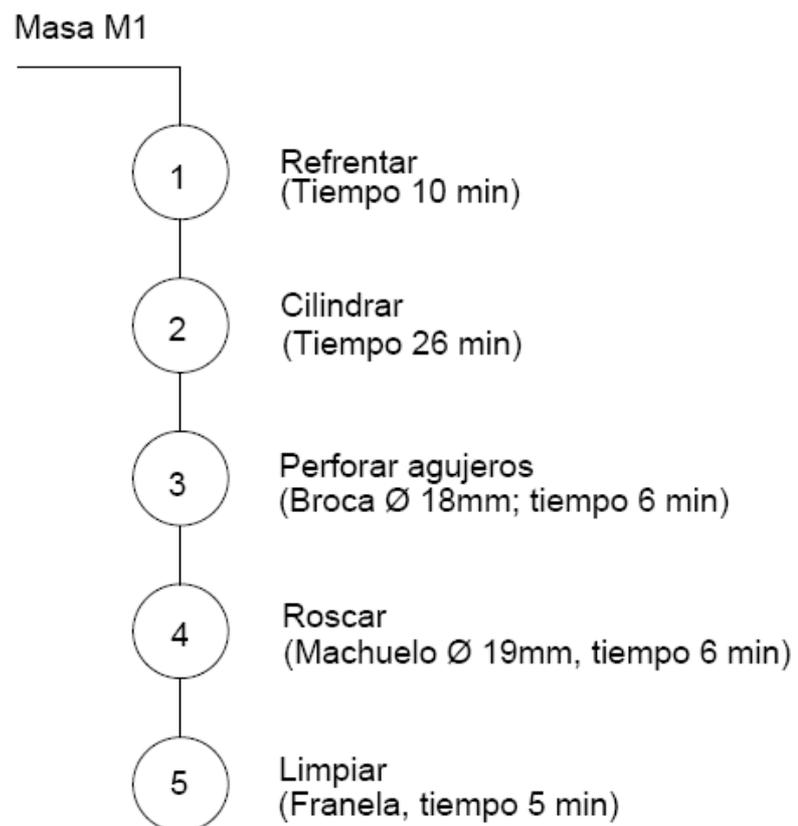
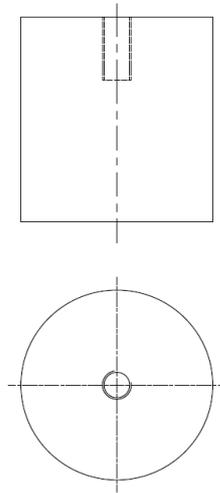
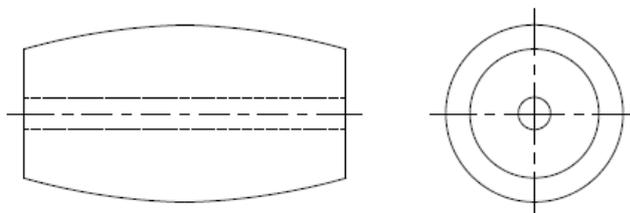
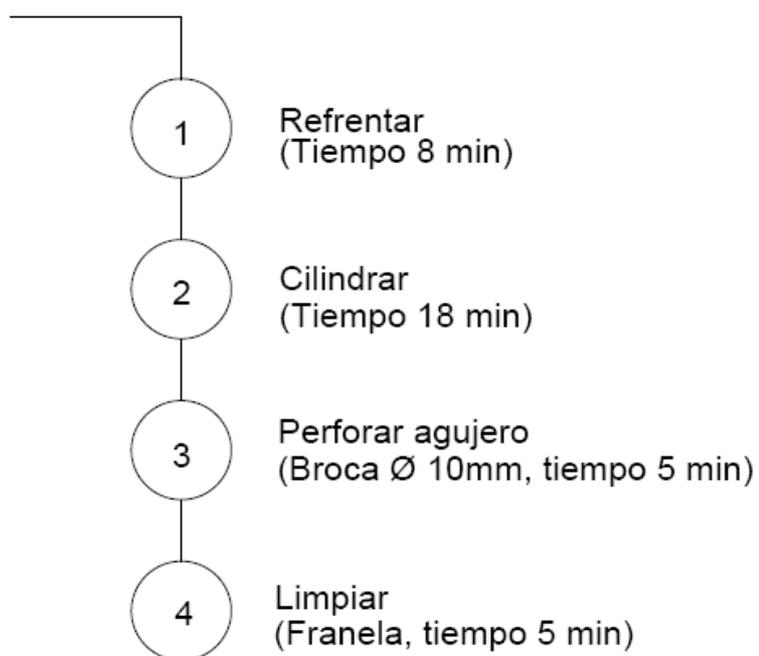


Figura 81. Diagrama de proceso de la corredera A

b) Corredera B**Corredera B****Figura 82.** Diagrama de procesos de la corredera B.

c) Soporte del perno variador**Soporte del variador****Figura 83.** Diagrama de procesos del soporte del variador

4.1.2.5. Sistema 5:**a) Masa m1****Figura 84.** Diagrama de procesos de la masa de impacto m1

b) Masa rodante**Masa rodante****Figura 85.** Diagrama de procesos de la masa rodante.

4.1.2.10. Recubrimiento

Preparación superficial

Partiendo del procedimiento de pintura establecido en el literal 4.1.1.3 se tiene:

- **Especificación de la preparación de superficie:** SSPC-SP3
- **Limpieza previa:** SSPS SP1, se utilizó detergente biodegradable
- **Método de preparación:** Abrasivo #150, medio mecánico (grata).
- **Temperatura Ambiente:** 21°C.

En la siguiente figura se tiene la guía móvil lista para aplicarse el recubrimiento.



Figura 86. Preparación superficial SSPC- SP3 de la guía móvil (S8)

Aplicación del recubrimiento

Una vez que esté preparada la superficie inmediatamente se procede a aplicar el recubrimiento y se tiene el siguiente procedimiento básico:

Capa 1:

- En un recipiente mezcle 50% de diluyente y 50% fondo a base de zinc.
- Regule la presión e instale la pistola con la pintura.
- Aplique el recubrimiento de forma uniforme

Capa 2:

- Espere alrededor de 4 horas (de acuerdo a la especificación del fondo)
- Mezcle 50% de diluyente y 50% de poliuretano.
- Aplique sobre el fondo

Al instante de aplicar las capas se obtuvo una temperatura ambiental: 21°C y humedad: 60% y se obtuvo buena apariencia y adherencia de la pintura en el equipo. Tomar en consideración los tiempos de secado:

Tabla 42

Tiempos promedios de secados de la capa 1 y 2

Acción	Temp. amb. 21°C
Al tacto	15 min
Manipulación	60 min
Curado final	7 días

Capa 1:



Figura 87. Aplicación de la capa 1 en la columna

Capa 2:



Figura 88. Equipo 1 terminado la capa 2.

4.1.2.11. Sistema de automatización:

Primero realizamos la conexión física de los componentes inherentes del proceso de automatización ya descritos en el capítulo 3 literal 3.3.1.1

Partiendo del diagrama de conexiones del capítulo de diseño, acoja el siguiente procedimiento para la conexión física:

- a. Identificación física de las terminales sensor ultrasónico.

Tabla 43

Identificación de líneas de conexión del sensor ultrasónico.

Denominación	Descripción	Línea de conexión
VCC	Voltaje de ingreso	1
Trig	Output	2
Echo	Input	3
GND	Negativo ó tierra	4

- b. Conectar el sensor ultrasónico al arduino*

- Conectar la línea 1 a VCC en el arduino
- Conectar la línea 2 al pin de arduino
- Conectar la línea 3 al pin de arduino
- Conectar la línea 4 a Gnd en el arduino.

* verificar el pin activado para cada sensor en la programación.

- c. Conectar el arduino con la PC

Luego de conectar físicamente realice el siguiente proceso para obtener los datos:

- i. Abra el programa de arduino.
- ii. Copilar y subir el programa al arduino
- iii. Abra el Excel elaborado para el equipo
- iv. Active y verifique en la ventana el puerto activado.
- v. Clic en conectar y toma datos.
- vi. Clic en desconectar

En este equipo se ha dispuesto utilizar un sensor ultrasónico para medir la altura de caída de la masa en el ensayo, para lo cual se debe tener certeza de la apreciación de los mismos, por tal se acudió laboratorio de metrología de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. En el Anexo 10 literal a, se describe la verificación metrológica del sensor utilizado.

4.1.3. Montaje general

Una vez construido cada sistema se puede seguir con el montaje general, el sistema cuatro tiene a la columna principal como bastidor del equipo, revise el plano principal TCB-EQ1-VP.

Procedimiento:

- Ensamble la columna principal (Sistema 4) en la plataforma (Sistema 6) y asegure con los pernos y tuercas.
- Ensamble el sistema uno a la columna principal.
- Ensamble el sistema dos a la columna principal.
- Coloque el sistema tres en la columna.
- Monte el sistema ocho en la columna.
- Monte el apoyo 2 en la plataforma.
- Monte el apoyo 1 en la plataforma.
- Coloque el cable en el eje trinquete (sistema uno).
- Pase el cable por las poleas y asegure la masa m1 con los seguros del cable.
- Monte el sistema de automatización.

Luego del montaje de la parte mecánica se procede a instalar el conjunto de automatización ya descrito, asegúrese que no se doblen los cables de los sensores.

4.1.4. Inspección visual de juntas soldadas

Para la inspección visual de juntas soldadas se ha considerado las uniones más importantes y funcionales del equipo, en Anexo 11 encontramos el reporte de inspección visual de soldadura.

4.1.5. Pruebas dimensionales del equipo

A continuación se verifica las dimensiones funcionales del equipo: pruebas dimensionales del conjunto armado.

Tabla 44

Verificación dimensional del equipo 1

Nombre	Medida Nominal (mm)	Medida real (mm)	Tolerancia (mm)	Resultado
Ø de eje trinquete en acople con la rueda	26	25.98	-1.3 a 0	Cumple
Distancia entre soporte de polea fija y polea móvil (S2)	53	53.5	±1.3	Cumple
Altura de masa m1	162	161	± 0.8	No cumple
Diámetro de masa m1	150	150.5	± 0.8	Cumple

En el caso de la altura de la masa m1 se presente un error de fabricación con un milímetro menos lo cual representa una disminución del peso diseñado, motivo por el cual se ha completado el peso con arandelas, a continuación se presenta la verificación de los pesos:



Figura 89. Pesaje de la masa m1

La verificación del peso se realizó en el laboratorio de suelos de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE y se obtuvo un peso total de 22.57 Kg, quedando dentro de la tolerancia de +5% de exceso.

Tabla 45

Verificación del peso de la masa m1

Denominación	Peso nominal [Kg]	Peso real [Kg]	Peso máximo permitido [Kg]	Resultado
Masa m1	22.5	22.57	22.62	Cumple

Adicionalmente se verifico el peso de la masa rodante, la cual tiene como un peso 0.119 Kg.



Figura 90. Pesaje de la masa rodante.

Tabla 46

Verificación del peso de la masa rodante

Denominación	Peso real [Kg]	Peso máximo permitido [Kg]	Resultado
Masa rodante	0.119	1	Cumple

4.1.6. Pruebas funcionales del equipo

Una vez ensamblado y verificado dimensionalmente, se procede a verificar la funcionalidad de los principales sistemas del equipo.

Funcionalidad del sistema 1:

Este sistema se verifica que enclave y desenclave el trinquete con la carga que ejerce la masa m_1 , a continuación se presenta los instantes del funcionamiento del sistema:

Tabla 47

Funcionalidad del sistema 1

Acción	Reacción	Resultado	
		Correcto	Incorrecto
Palanca hacia arriba	Desenclava el trinquete y suelta la masa	X	
Suelta la palanca	Enclava el trinquete y sostiene la masa	X	
Gira la manivela	Sube la masa de impacto	X	

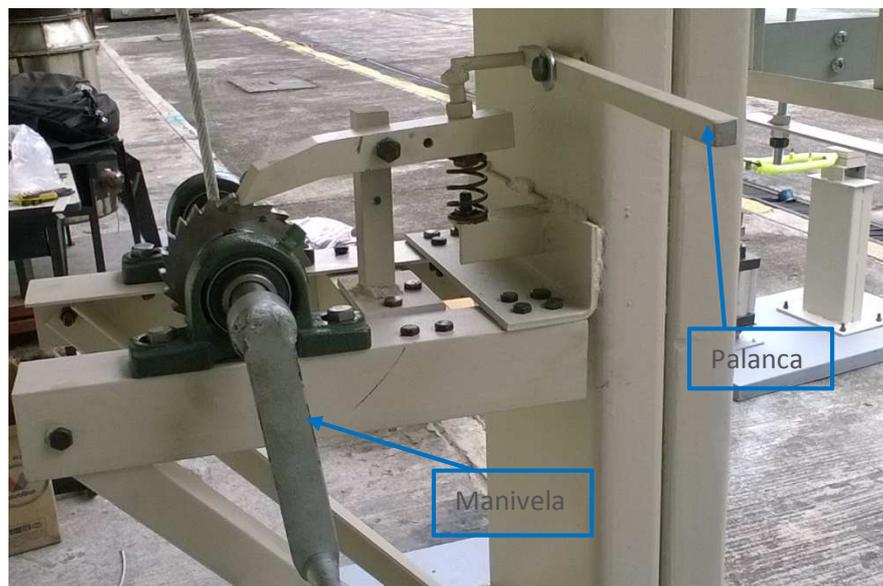


Figura 91. Sistema 1 enclavado

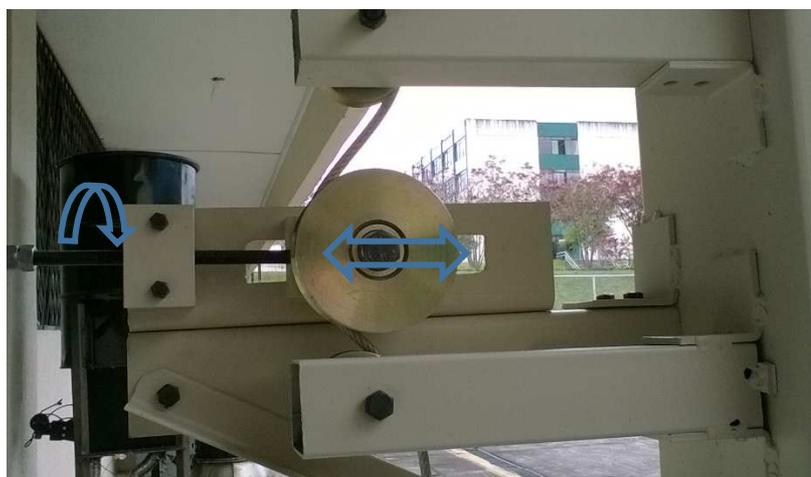
Funcionalidad del sistema 2:

Armado totalmente el equipo se procede a variar toda la longitud del variador el cual permite subir en paso muy fino a la masa, calibrando así la altura con mayor precisión.

Tabla 48

Funcionalidad del sistema 2

Acción	Reacción	Resultado	
		Correcto	Incorrecto
Gira el perno guía	Desplaza la polea y sube la masa en paso fino	x	
No gire el perno	Se mantiene fija la polea y la masa	x	

**Figura 92.** Variador con desplazamiento de polea.**Funcionalidad del sistema 7:**

Dado que existen diferentes geometrías y dimensiones de las bicicletas se tiene este sistema que nos permite variar ampliamente uno de los apoyos del cuadro en el ensayo masa descendente.

Tabla 49

Funcionalidad del sistema 7

Acción	Reacción	Resultado	
		Correcto	Incorrecto
Aflojo los pernos laterales	Se desplaza el apoyo	x	
Ajuste los pernos	Fija el apoyo	x	

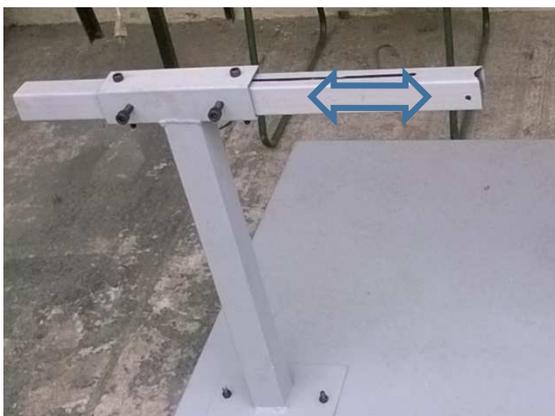


Figura 93. Sistema 7 sin desplazamiento del apoyo

Funcionalidad del sistema 8:

Este sistema tiene la función de recorrer la guía móvil ya se puede presentar bicicletas de diferentes tamaños.

Tabla 50

Funcionalidad del sistema 8

Acción	Reacción	Resultado	
		Correcto	Incorrecto
Aflojo las tuercas mariposa	Se desliza con facilidad la guía móvil	x	
Ajuste las tuercas mariposa	Fija la guía móvil	x	



Figura 94. Extensión máxima de la guía móvil del sistema 8.

Pruebas de funcionalidad de la automatización:

Para poder conocer la altura a la que debe realizarse el ensayo se ha dispuesto un sistema de luces indicadoras y de un timbre que debe escucharse hasta que se haya soltado la masa de impacto.

Tabla 51

Funcionalidad de la automatización EQ1

Acción	Reacción	Resultado	
		Correcto	Incorrecto
Bajar la masa hasta la distancia máxima de caída.	Enciende luz roja	x	
Elevar la masa con el trinquete	Se apaga la luz roja y se enciende luz amarilla	x	
Elevar la masa hasta llegar a la altura de caída.	Se apaga la luz amarilla y se enciende luz verde y el timbre.	x	
Soltar la masa con la palanca.	Se apaga la luz verde y el timbre y se enciende la luz roja.	x	



Figura 95. Luces indicadoras EQ1

El equipo presenta buena funcionalidad en la aplicación de la fuerza de impacto y funcionalidad de todos sus sistemas.

4.1.7. Procedimiento de ensayo

El procedimiento de ensayo e indicaciones se encuentra detallado en el Anexo 12 literal a.

4.1.8. Validación de resultados

En este apartado se presentara los datos de ensayos realizados y se analizaran los mismos bajo los parámetros de la norma INEN ISO 4210. Se ha realizado ensayos a muestras de cuadros de bicicletas de las empresas ecuatorianas: INDIMA-ECOBIKE, BKR y ANDALUZ.



Figura 96. Muestras de BKR, INDIMA y ANDALUZ de izquierda a derecha.

Para facilitar la identificación de los ensayos se ha codificado a cada empresa:

- INDIMA: TCB-INDI-00
- BKR: TCB-BKR-00
- ANDALUZ: TCB-AND-00

4.1.7.1. Ensayos

Para realizar los ensayos es indispensable conocer el procedimiento a seguir, de esta manera se asegura el correcto uso de la máquina y se garantiza el cumplimiento de los objetivos planteados en el ensayo.

Antes de iniciar los ensayos se realizó una inspección previa de las muestras entregadas por las empresas antes descritas.

Inspección previa

INDIMA:

Cuadro: TCB-INDI-001

Tabla 52

Inspección previa TCB-INDI-001

Descripción	Si	No	Observación
Fisuras		x	
Golpes o deformaciones		x	
Raspón o sin Recubrimiento	x		No presenta recubrimiento
Defectos visibles de soldadura		x	

Cuadro: TCB-INDI-002

Tabla 53

Inspección previa TCB-INDI-002

Descripción	Si	No	Observación
Fisuras		x	
Golpes o deformaciones		x	
Raspón o sin Recubrimiento	x		no presenta recubrimiento
Defectos visibles de soldadura		x	

Cuadro: TCB-INDI-003

Tabla 54

Inspección previa TCB-INDI-003

Descripción	S i	No	Observación
Fisuras		x	
Golpes o deformaciones		x	
Raspón o sin Recubrimiento	x		no presentan recubrimiento
Defectos visibles de soldadura		x	

Horquilla: TCB-INDI-001-H**Tabla 55**

Inspección previa TCB-INDI-001-H

Descripción	S	No	Observación
Fisuras		x	
Golpes o deformaciones		x	
Raspón o sin Recubrimiento		x	
Defectos visbles de soldadura		x	

Horquilla: TCB-INDI-002-H**Tabla 56**

Inspección previa TCB-INDI-002-H

Descripción	Si	No	Observación
Fisuras		x	
Golpes o deformaciones		x	
Raspón o sin Recubrimiento		x	
Defectos visbles de soldadura		x	

Horquilla: TCB-INDI-003-H**Tabla 57**

Inspección previa TCB-INDI-003-H

Descripción	Si	No	Observación
Fisuras		x	
Golpes o deformaciones		x	
Raspón o sin Recubrimiento		x	
Defectos visibles de soldadura		x	

BKR:**Cuadro: TCB-BKR-001****Tabla 58**

Inspección previa TCB-BKR-001

Descripción	Si	No	Observación
Fisuras		X	
Golpes o deformaciones		X	
Raspón o sin Recubrimiento		X	
Defectos visibles de soldadura		X	

Horquilla: TCB-BKR-001-H**Tabla 59**

Inspección previa TCB-BKR-001-H

Descripción	S i	No	Observación
Fisuras		X	
Golpes o deformaciones		X	
Raspón o sin Recubrimiento		X	
Defectos visibles de soldadura		X	

ANDALUZ:**Cuadro: TCB-AND-001****Tabla 60**

Inspección previa TCB-AND-001

Descripción	Si	No	Observación
Fisuras		X	
Golpes o deformaciones		X	
Raspón o sin Recubrimiento		X	
Defectos visibles de soldadura		X	

Horquilla: TCB-AND-001-H**Tabla 61**

Inspección previa TCB-AND-001-H

Descripción	Si	No	Observación
Fisuras		X	
Golpes o deformaciones		X	
Raspón o sin Recubrimiento	x		No presenta recubrimiento
Defectos visibles de soldadura		X	

Horquilla: TCB-AND-002-H**Tabla 62**

Inspección previa TCB-AND-002-H

Descripción	S i	No	Observación
Fisuras		X	
Golpes o deformaciones		X	
Raspón o sin Recubrimiento		X	
Defectos visibles de soldadura		X	

Datos de ensayo

- **Ensayo masa descendente**

De acuerdo a las especificaciones de la norma INEN ISO 4210 especificado en el capítulo 2 numeral 2.5.2.1 literal a, debe realizarse un ensayo de impacto por muestra. A continuación se presenta los instantes antes y después de uno de los ensayos.

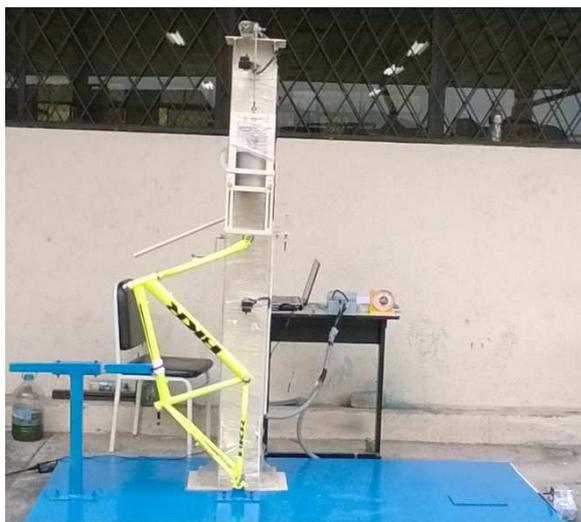


Figura 97. Antes del impacto, muestra TCB-BKR-001



Figura 98. Muestra TCB-BKR-001 impactada

Tabla 63

Datos previos de ensayo masa descendente.

Descripción	Valor
Carga aplicada	1653 N
Tiempo aproximado por ensayo	10 min
Temperatura ambiente	21°C
Altura de impacto	180

Tabla 64

Valores de parámetros de ensayo masa descendente

Muestra	Distancia entre ejes inicial [mm]	Distancia entre ejes final [mm]	Variación angular (horquilla) [deg]	Variación angular (cuadro) [deg]	Observación
TCB-INDI-001	1078	1078	0	0	
TCB-INDI-002	1078	1078	0	0	
TCB-INDI-003	1078	1075	0	0	
TCB-BKR-001	1060	1054	1	0	La horquilla presenta deformación permanente
TCB-AND-001	1080	1080	0	0	

Tabla 65

Inspección física de ensayo masa descendente.

Muestra	Fractura	Deformación permanente (horquilla)	Deformación permanente (cuadro)	Falla de Recubrimiento	Observación
TCB-INDI-001	No	No	No	No	-
TCB-INDI-002	No	No	No	No	-
TCB-INDI-003	No	No	No	No	-
TCB-BKR-001	No	Si	No	No	Presenta deformación en el sentido de la carga de impacto
TCB-AND-001	No	No	No	No	-

4.1.7.2. Análisis de resultados

A continuación se evaluará los resultados de los ensayos y se determinará la conformidad en base a la Norma INEN ISO 4210 detallada en el capítulo de teoría.

- **Ensayo masa descendente**

Por norma este ensayo restringe como parámetro de control a la distancia entre ejes, deformación y fracturas visibles, a continuación se presenta una tabla con los resultados y análisis de los mismos.

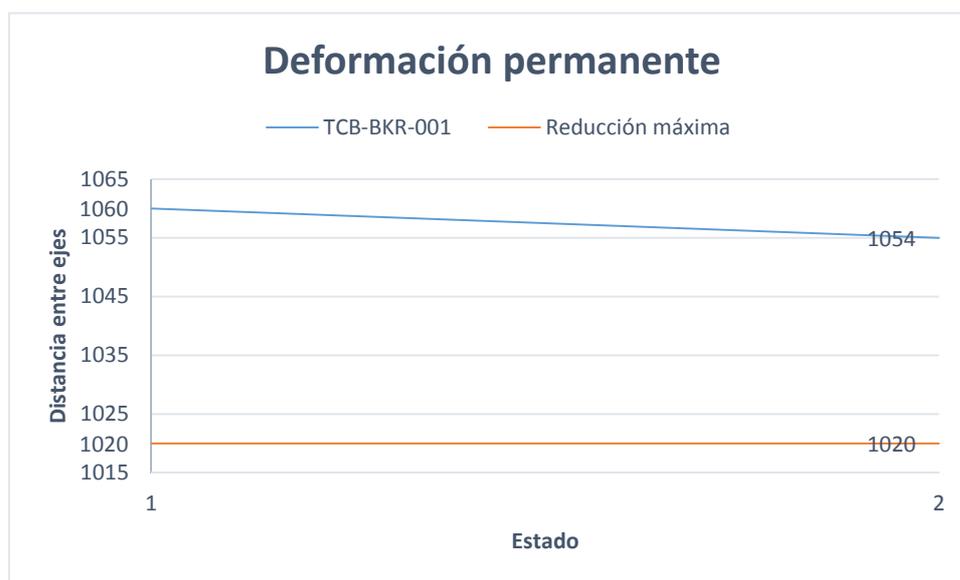
Tabla 66

Análisis de conformidad de muestras en ensayo masa descendente.

Muestra	Reducción permanente de LE [mm]	Reducción máxima LE [mm]	Evidencia visible de fractura	Resultado	
				Aprueba	Rechazo
TCB-INDI-001	0	40	No	X	
TCB-INDI-002	0	40	No	X	
TCB-INDI-003	0	40	No	X	
TCB-BKR-001	6	40	No	X	
TCB-AND-001	0	40	No	X	

Las muestras de Indima y Andaluz no tienen deformación permanente con la fuerza de impacto aplicada en este ensayo, por tal están en conformidad con la norma INEN ISO 4210.

La muestra TCB-BKR-001 presenta una pequeña deformación permanente de 6 mm pero aprueba ya que no supera los 40 mm establecidos como límite. Se ha identificado que la reducción de la longitud entre ejes se dio en la horquilla, a continuación se presenta una gráfica para detallar mejor la deformación permanente y sus límites.

**Figura 99.** Análisis de deformación permanente en TCB-BKR-001

4.1.7.2. Conclusiones de los ensayos

- Todas las muestras ensayadas están conformes bajo la Norma INEN ISO 4210.
- La muestra TCB-BKR-001 presenta una pequeña deformación de 6 mm en la horquilla pero no supera el límite máximo de 40 mm, de tal forma aprueba con buena calidad el ensayo masa descendente bajo la norma INEN ISO 4210.
- La mayor cantidad de la energía de impacto en este ensayo recibe la horquilla.

Para cada muestra se ha realizado un informe técnico y se ha entregado a cada empresa, diríjase al Anexo 13 literal i para mayor detalle.

4.2. Construcción y pruebas del equipo 2 (EQ2)

4.2.1. Requerimientos preconstructivos

4.2.1.1. Listado de materiales

A continuación se presenta un listado de los materiales para piezas mecanizadas por sistemas.

Tabla 67

Lista de materiales sistema 1 EQ2

No	Código	Cantidad	Denominación	Material	Presentación
1	EQ2-SC-S1	2	Alojamiento	AISI 1018	Bloque

Tabla 68

Lista de materiales sistema 2 EQ2

No.	Código	Cantidad	Denominación	Material	Presentación
1	EQ2-SC-S2	1	Placa soporte	ASTM A36	Placa
2	EQ2-SC-S2	1	Pivote	ASTM A36	Barra

Tabla 69

Lista de materiales sistema 3 EQ2

No.	Código	Cantidad	Denominación	Material	Presentación
1	EQ2-SC-S3	1	Placa base	ASTM A36	Placa
2	EQ2-SC-S3	1	Columna	ASTM A36	Correa G200x50
3	EQ2-SC-S3	1	Placa superior C	ASTM A36	Placa
4	EQ2-SC-S3	1	Placa B	ASTM A36	Placa
5	EQ2-SC-S3	1	Placa A	ASTM A36	Placa
6	EQ2-SC-S3	1	Placa Alojamiento	ASTM A36	Placa

Tabla 70

Lista de materiales del sistema 4 EQ2

No.	Código	Cantidad	Denominación	Material	Presentación
1	EQ2-SC-S4-E	2	Angulo 2	ASTM A36	Angulo L50x4
2	EQ2-SC-S4-E	1	Ángulo 1	ASTM A36	Ángulo L50x4
3	EQ2-SC-S4-E	1	Tubo 1	ASTM A36	Tubo cuadrado 50x2
4	EQ2-SC-S4-E	1	Tubo 2	ASTM A36	Tubo cuadrado 50x2
5	EQ2-SC-S4-E	1	Tubo 3	ASTM A36	Tubo cuadrado 50x2
6	EQ2-SC-S4-E	1	Tubo 4	ASTM A36	Tubo cuadrado 50x2
7	EQ2-SC-S4-E	1	Tubo 5	ASTM A36	Tubo cuadrado 50x2
8	EQ2-SC-S4-P	1	Piso plancha	ASTM A36	Lámina e=3

A continuación se presenta un listado de piezas adquiridas:

Tabla 71

Piezas adquiridas EQ2

No.	Código	Cantidad	Denominación	Material	Observación
1	EQ2-PC	4	Allen M8x65	ASTM A325	ISO 4762
2	EQ2-PC	4	Perno M12x40	ASTM A325	ISO 4762
3	EQ2-PC	4	Perno M12x40	ASTM A325	ISO 4762

El material de aporte utilizado bajo especificaciones AWS es ER70S6 (rollo de 15Kg), para proceso GMAW.

4.2.1.2. WPS

Puesto que el equipo tiene en gran medida juntas soldadas es de mucha importancia desarrollar un procedimiento de soldadura estándar bajo la AWS D1.1, remítase al anexo 9 para ver el WPS.

4.2.1.3. Procedimiento de pintura

Es de importancia preparar un buen sistema de recubrimiento para evitar la corrosión y posible deterioro prematuro del equipo y se presenta a continuación:

a) Preparación superficial:

Limpieza: SSPC SP3 (Power tool cleaning)

b) Sistema de recubrimiento:

Bicapa: Zinc/Poliurethano

c) Descripción del sistema bicapa.

Tabla 72

Descripción del sistema bicapa EQ2.

Capa	Nombre genérico	Unidad (Galón)	Cant. Req.	Espesor recomendado (mills)	Color
1	Silicate Zinc Epoxy	½	1	2.5 – 3.5	Grey
2	Acrylic Polyurethane	½	1	2 – 2,4	Beige / blue

d) Condiciones ambientales

Es aconsejable verificar antes de la aplicación de la pintura que la humedad no supere el 85% además que la temperatura se encuentre en un rango de 10°C a 45°C, ya que el aplicar el recubrimiento bajo condiciones no aptas, puede ocasionar fallas de adherencia y presencia de agua en la aplicación, produciéndose focos de corrosión.

4.2.2. Construcción de los sistemas

A continuación se describe los diagramas de procesos de fabricación de los sistemas más importantes.

4.2.2.1. Sistema 1:

Este sistema es de vital importancia ya alberga a la horquilla a continuación se describe los procesos.

Alojamiento de horquilla

Superior:

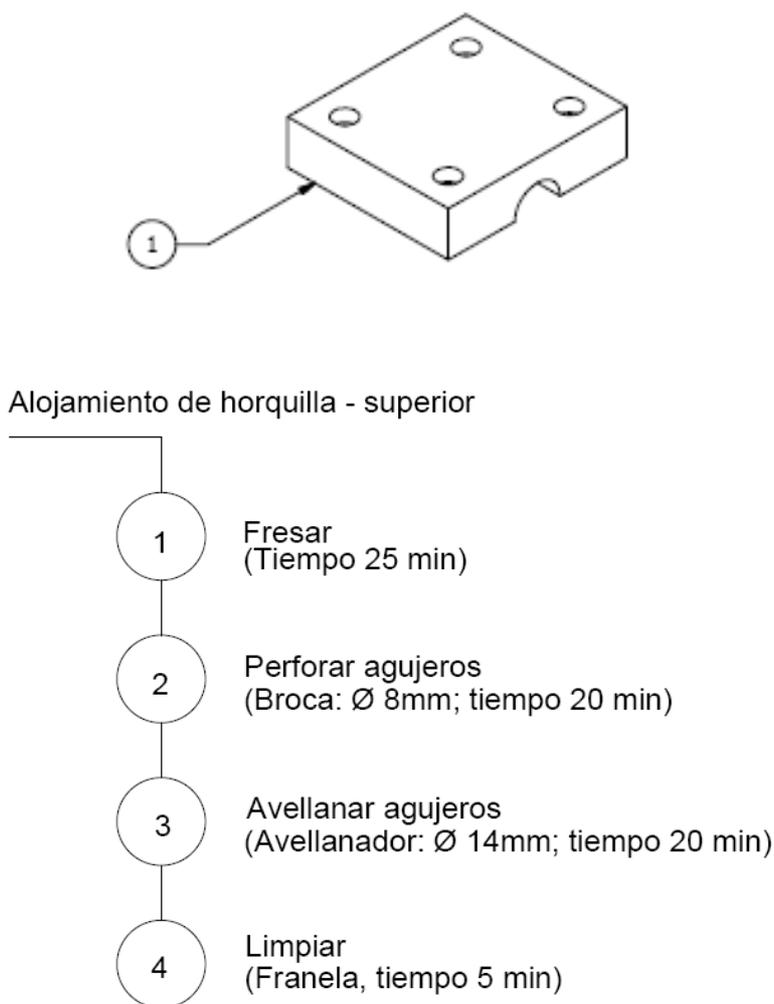
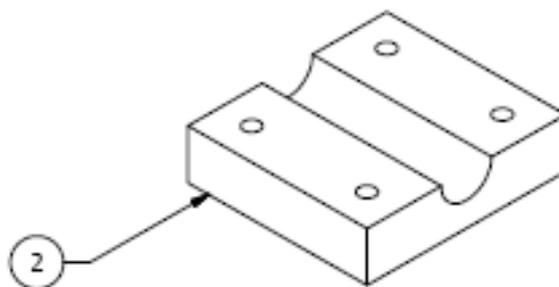


Figura 100. Diagrama de proceso de alojamiento horquilla superior

Inferior:



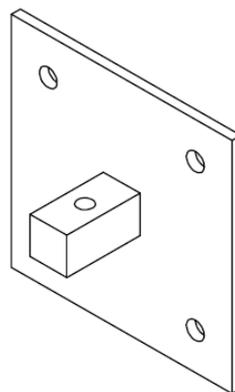
Alojamiento de horquilla - inferior



Figura 101. Diagrama de proceso de alojamiento horquilla inferior

4.2.2.2. Sistema 2:

Soporte de actuador



Soporte actuador

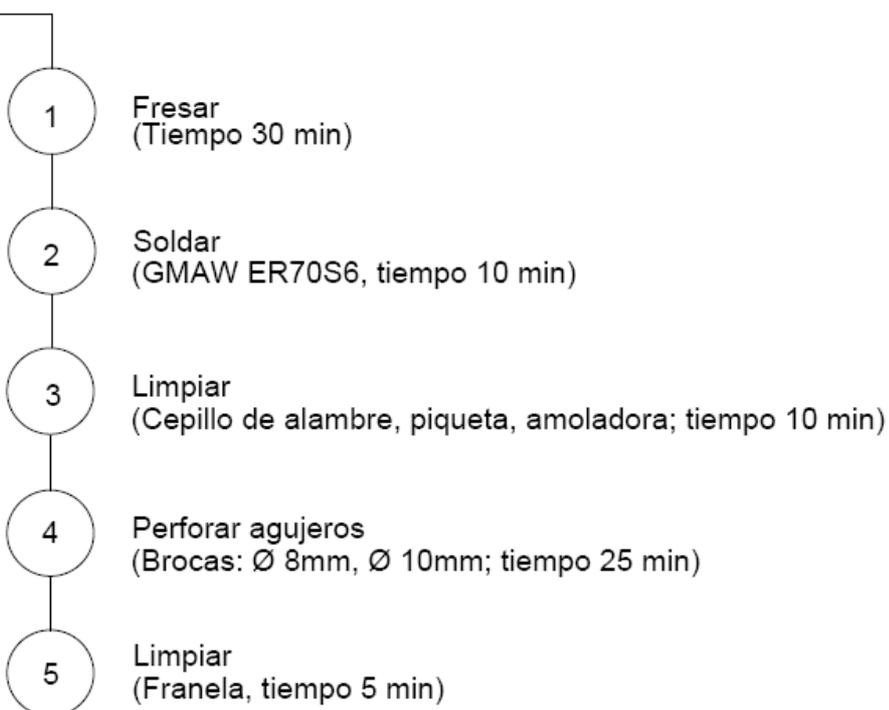


Figura 102. Diagrama de procesos de soporte actuador.

4.2.3. Montaje general

Una vez construido cada sistema se puede seguir con el montaje general, el sistema 3 tiene a la columna principal como bastidor del equipo.

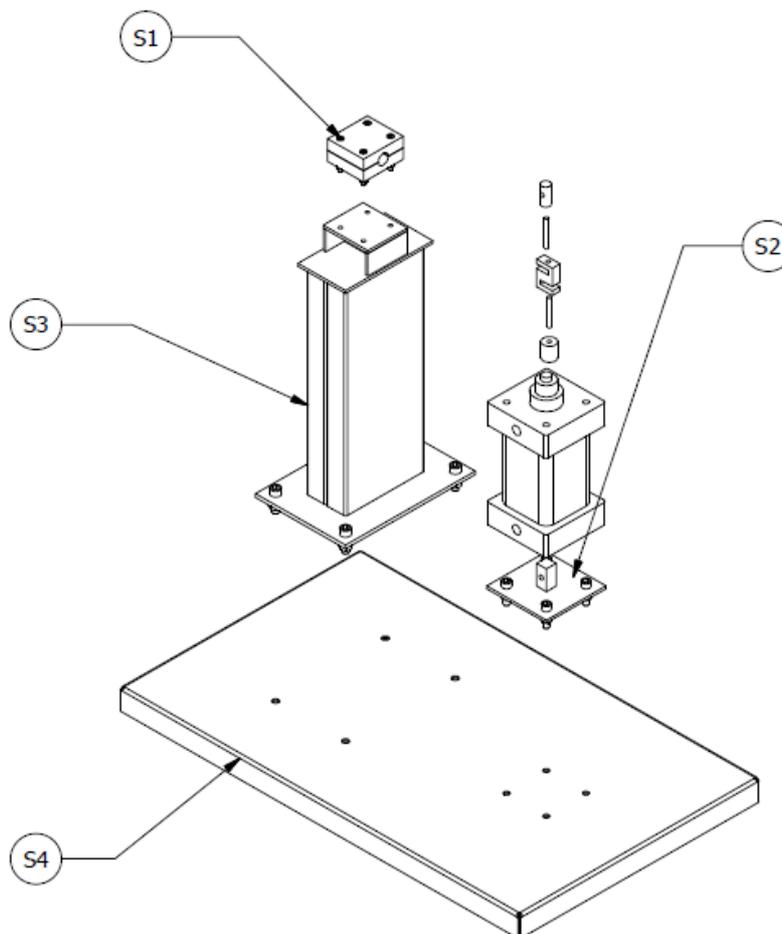


Figura 103. Ensamblaje del equipo 2.

Procedimiento:

- Ensamble el sistema 3 con la especificación del plano EQ2-SC-S3.
- Una vez ensamblado el sistema 3 monte el sistema uno y asegure con los pernos y tuercas correspondientes (ver plano EQ2-SC-S1).
- Ensamble el sistema 4 bajo la especificación de los planos EQ2-SC-S4.
- Monte la columna del sistema 3 sobre la plataforma del sistema 4.
- Monte la placa y soporte de actuador del sistema 2 sobre la plataforma del sistema 4.
- Una vez ensamblado todos el sistema monte el cilindro neumático y asegure el sensor de fuerza.

- Monte el sistema de automatización:
 - ✓ Asegure las electroválvulas a la columna.
 - ✓ Asegure el filtro secado regulador a la columna.
 - ✓ Monte la caja de control a la plataforma.
 - ✓ Conecte las electroválvulas al circuito de la caja de control.
 - ✓ Conecte el usb con la pc.
 - ✓ asegúrese que no se estropeen los cables de los sensores.

4.2.4. Inspección visual de juntas soldadas

Para la inspección visual de juntas soldadas se ha considerado las uniones más importantes y funcionales del equipo, en Anexo 11 encontramos el reporte de inspección visual de soldadura.

4.2.5. Pruebas dimensionales del equipo

A continuación se verifica las dimensiones funcionales del equipo, pruebas dimensionales del conjunto armado. Plano: EQ2-PC.

Tabla 73

Verificación dimensional de EQ2.

Nombre	Medida Nominal (mm)	Medida real (mm)	Tolerancia (mm)	Resultado
Altura de la columna al piso	567	568	±1.3	Cumple
Distancia alojamiento placa de soporte de actuador	335	336	±1.3	Cumple
Largo del equipo	1006	1007	±1.3	Cumple
Ancho del equipo	606	605	±1.3	Cumple

4.2.6. Pruebas funcionales del equipo

Se colocó la horquilla en el alojamiento:



Figura 104. Verificación del funcionamiento del equipo.

Una vez colocada la horquilla de prueba se procedió a iniciar ciclos de fuerza y una verificación del funcionamiento.

Tabla 74.

Verificación de funcionamiento del equipo 2.

Acción	Reacción	Resultado	
		Correcto	Incorrecto
Inicio ciclos	Registro de ciclos de fuerza	x	

4.2.7. Procedimiento de ensayo

El procedimiento de ensayo e indicaciones se encuentra detallado en el Anexo 13.

4.2.8. Validación de resultados

En este literal se presentara los datos de ensayos realizados y se analizaran los mismos bajo los parámetros de la norma INEN ISO 4210. Se ha realizado ensayos a muestras de horquillas de las empresas ecuatorianas: INDIMA-ECOBIKE, BKR y ANDALUZ.

4.2.8.1. Ensayos

Antes de iniciar los ensayos se realizó una inspección previa de las muestras entregadas por las empresas antes descriptas. Remítase al procedimiento de la guía de ensayos descripta en el literal 4.2.8.

a) Inspección previa

INDIMA:

Horquilla: TCB-INDI-001-H

Tabla 75

Inspección previa fatiga TCB-INDI-001-H

Descripción	Si	No	Observación
Fisuras		X	
Golpes o deformaciones		X	
Raspón o sin Recubrimiento		X	
Defectos visibles de soldadura		X	

Horquilla: TCB-INDI-002-H

Tabla 76

Inspección previa fatiga TCB-INDI-001-H

Descripción	S	No	Observación
Fisuras	i	X	
Golpes o deformaciones		X	
Raspón o sin Recubrimiento		X	
Defectos visibles de soldadura		X	

Horquilla: TCB-INDI-002-H**Tabla 77**

Inspección previa fatiga –TCB-INDI-002-H

Descripción	Si	No	Observación
Fisuras		X	
Golpes o deformaciones		X	
Raspón o sin Recubrimiento		X	
Defectos visibles de soldadura		X	

BKR:**Horquilla: TCB-BKR-001-H****Tabla 78**

Inspección previa fatiga TCB-BKR-001-H

Descripción	Si	No	Observación
Fisuras		x	
Golpes o deformaciones		x	
Raspón o sin Recubrimiento		x	
Defectos visibles de soldadura		x	

ANDALUZ:**Horquilla: TCB-AND-001-H****Tabla 79**

Inspección previa fatiga TCB-AND-001-H

Descripción	Si	No	Observación
Fisuras		X	
Golpes o deformaciones		X	
Raspón o sin Recubrimiento	x		No presenta recubrimiento
Defectos visibles de soldadura		x	

b) Datos de ensayo

De acuerdo a las especificaciones de la norma INEN ISO 4210 especificado en el capítulo 2, debe realizarse un ensayo de fatiga por muestra. A continuación se presenta los instantes antes y después de uno de los ensayos.



Figura 105. Antes de los 50000 ciclos (muestra TCB-BKR-001-H).



Figura 106. Después de 50000 ciclos, muestra TCB-BKR-001-H deformada.

Tabla 80

Datos previos de ensayo de fatiga

Descripción	Valor
Fuerza media aplicada	440 N
Tiempo aproximado por ensayo	3.47 h
Temp. Amb.	21°C
Ciclos	50000
Frecuencia	4Hz

Tabla 81

Inspección física del ensayo de fatiga.

Muestra	Fractura	Deformación permanente (horquilla)	Falla de Recubrimiento	Observación
TCB-INDI-001-H	No	Si	No	-
TCB-INDI-002-H	No	Si	No	-
TCB-INDI-003-H	No	Si	No	-
TCB-BKR-001-H	No	Si	Si	-
TCB-AND-001-H	No	Si	No	-

La muestra TCB-BKR-001-H presenta fallas de adherencia en el recubrimiento a continuación se aprecia la falla:



Figura 107. Falla de adherencia en el recubrimiento, fatiga

4.2.8.2 Análisis de resultados

A continuación se evaluará los resultados de los ensayos y se determinará la conformidad en base a la Norma INEN ISO 4210 detallada en el capítulo de teoría.

La norma nos dictamina que para este ensayo se inspeccionen fisuras y visibles y que soporte sin fracturarse los 50000 ciclos, a continuación se presenta una tabla con los resultados y análisis de los mismos.

Tabla 82

Análisis de conformidad de muestras en el ensayo de fatiga

Muestra	Fisura	Cumplió 50000 ciclos	Deforma ción permane nte	Falla de recubrimient o	Resultado	
					Aprueba	Rechazo
TCB-INDI-001-H	No	Si	Si	No	X	
TCB-INDI-002-H	No	Si	Si	No	X	
TCB-INDI-003-H	No	Si	Si	No	X	
TCB-BKR-001-H	No	Si	Si	Si		X
TCB-AND-001-H	No	Si	Si	No	X	

4.2.8.3. Conclusiones de los ensayos de fatiga

- Todas las muestras ensayadas están conformes bajo la Norma INEN ISO 4210, cumpliendo 50000 ciclos a 4Hz con carga promedio de 440 N sin presentar fisuras.
- La muestra TCB-BKR-001 presento falla de adherencia en el recubrimiento.
- Todas las muestras presentan deformación permanente pero es menor a 40 mm.

Para cada muestra se ha realizado un informe técnico y se ha entregado a cada empresa, diríjase al Anexo 13, literal ii para mayor detalle.

CAPITULO 5: ANÁLISIS DE COSTOS

5.1. Introducción costos

En este capítulo se presenta un análisis económico para determinar el monto total de los recursos necesarios para la realización de los dos equipos impacto y fatiga. El costo por equipo se tiene sumando los totales de los costos directos e indirectos respectivamente.

El Costo Total Directo se determina considerando la sumatoria de los costos de materiales directos, elementos normalizados, costos de maquinado y costos de montaje. El Costo Total Indirecto se determina considerando la sumatoria de los costos de materiales indirectos, gastos de ingeniería y gastos Imprevistos

5.2. Análisis de costos directos

5.2.1. Costos de materiales directos

A continuación se describe los materiales en los cuales se utilizó algún proceso mecánico para obtener un elemento parte de los equipos.

Tabla 83

Costos materiales directos Equipo 1.

MATERIAL	CANTIDAD	PESO [Kg]	VALOR UNITARIO USD [USD/Kg]	VALOR TOTAL USD
Plancha 2440x1220x3	1	70,1	1,06	75
Perfil estructural G 200x50xx15x3 (largo=6m)	1	263,04	0,228	59,97312
Tubo cuadrado estructural 50x2 (largo= 6m)	4	70,32	2,27	159,6264
Placa A36 e=8mm	1	5	3	15
Placa A36 e=6mm	1	3	3	9
Perfil estructural L 20*3mm	1	5,23	4,16	21,7568
Perfil estructural L 50*4mm	1	22,28	2,2	49,016
Pletina estructural 20*3mm	1	2,83	3,53	9,9899
Subtotal				399,36

Tabla 84

Costos materiales directos Equipo 2.

MATERIAL	CANTIDAD	PESO [Kg]	VALOR UNITARIO USD [USD/Kg]	VALOR TOTAL USD
Perfil estructural G 200x50xx15x3 (largo=1m)	1	43,84	0,228	10,00
Plancha A36 2440x1220x3	1	70,1	1,06	74,306
Tubo cuadrado estructural 50x2 (disponible 6m)	1	17,58	2,27	39,91
bloque A36 100*90*25mm	2	1,5	3	4,5
Placa A36 e=8mm	1	4,6	3	13,8
Placa A36 e=6mm	1	6	3	18
Perfil estructural L 50*4mm	1	22,28	2,2	49,016
SUBTOTAL				209,52

5.2.2. Costos de elementos normalizados

Los siguientes elementos son complementos para el armado de los diferentes sistemas de los equipos y son obtenidos directamente del mercado, no se aplica ningún proceso mecánico para su obtención.

Tabla 85

Costos elementos normalizados Equipo 1

Material	Cantidad	Valor Unitario USD	Valor Total USD
Cajas sensores ultrasónicos	2	2,15	4,3
Organizador de cable negro 9mm 3/8" x 10MT	1	5,36	5,36
Perno M6 x 40mm	20	0,25	5
Perno M8 x 40mm	30	0,35	10,5
Perno M10 x 40mm	10	0,4	4
Perno M12 x 40mm	6	0,6	3,6
Tuercas DIN UNC 6	20	0,1	2
Tuercas DIN UNC 8	30	0,12	3,6
Tuercas DIN UNC 10	10	0,14	1,4
Tuercas DIN UNC 12	6	0,16	0,96
Rodela plana SAE	10	0,1	1
Espaguetti Termocomp 3,5 -1,7 mm 16 AWG	1	1,16	1,16
Allen redondo 12,9 UNC	8	0,3	2,4
Polea 100mm	1	8	8
Polea 60mm	4	5	20
Articulación M10	1	40	40
Cable de acero 1/4"	1	2	2
Chumaceras eje 20mm	2	20	40
Amarras plásticas	1	1,5	1,5
Arduino Mega	1	60	60
Caja electrónica	1	6	6
Canaletas	2	3	6
Sensores ultrasónicos	2	8	16
Protector cable 1/2"	1	8	8
Subtotal			252,78

Tabla 86

Costos elementos normalizados Equipo 2

Material	Cantidad	Valor Unitario USD	Valor Total USD
Caja electrónica	1	6	6
Manguera de poliuretano 12mm	2	5,5	11
Regulador de presión 0 - 10 bar	1	15	15
Celda de carga tipo S Sensortronics 60001 200lbs	1	230	230
Conector recto 12mm x 1/2"	1	2,54	2,54
Pisco conector recto 12mm x 3/8"	1	2,3	2,3
Bushing bronce niquelado 1/2"M x 3/8"H NPT	1	1,9	1,9
Cilindro 2E 2A diam 80 x 100 carr	1	174	174
Amplificador TL084	5	8	40
Electroválvula 5/2, 1/4 12VDC	1	50	50
Electroválvula 3/2, 1/4 24 VDC	1	70	70
Organizador de cable negro 9mm 3/8" x 10MT	1	5,36	5,36
Perno M8 x 40mm	4	0,35	1,4
Pernos M12 x 40mm	4	0,6	2,4
Tuerca DIN UNC 8	4	0,12	0,48
Tuercas DIN UNC 12	12	0,16	1,92
Allen redondo 12,9 UNC	4	0,3	1,2
Espaguetti Termocomp 3,5 -1,7 mm 16 AWG	1	1,16	1,16
Amarras plásticas	1	1,5	1,5
Arduino Mega	1	60	60
Canaleta	1	3	3
Subtotal			681,16

5.2.3. Costos de maquinado

A continuación se presenta los costos requeridos para la mano de obra que se requirió en la utilización de máquinas y herramientas en la construcción de los equipos de impacto y fatiga.

Tabla 87

Costos de maquinado Equipo 1.

Máquina	Costo por máquina incluido mano de obra (USD/h)	Tiempo total (h)	Costo total por máquina (USD)
Torno	10	3,5	35
Fresa	16	7	112
Soldadora	7	7	49
Taladro	5	3,6	18
Cizalla	5	0,6	3
Dobladora	5	0,6	3
Subtotal			220

Tabla 88

Costos de maquinado Equipo 2.

Máquina	Costo por máquina incluido mano de obra (USD/h)	Tiempo total (h)	Costo total por máquina (USD)
Torno	7	2	14
Fresa	15	3	45
Soldadora	7	3	21
Taladro	5	2,4	12
Cizalla	5	0,4	2
Dobladora	5	0,4	2
Subtotal			96

5.2.4. Costos de montaje

Surgen a partir del montaje de los diferentes sistemas que componen cada uno de los equipos, a continuación se detalla para cada equipo.

Tabla 89

Costos de montaje equipo 1

Máquina	Costo (USD/h)	Tiempo total (h)	Costo total (USD)
Obrero A	2.22	16	35.52
Obrero B	2.22	16	35.52
Subtotal			71.04

Tabla 90

Costos de montaje equipo 2

Máquina	Costo (USD/h)	Tiempo total (h)	Costo total (USD)
Obrero A	2.22	6	13.32
Obrero B	2.22	6	13.32
Subtotal			26.64

5.2.5. Costo directo total

A continuación se presenta el valor de costo directo total.

Tabla 91

Costo directo total Equipo 1.

Componente del costo	Valor USD
Materiales directos	399.36
Elementos normalizados	252.78
Costo de maquinado	220
Costo de montaje	71.04
Subtotal	943.18

Tabla 92

Costo directo total Equipo 2.

Componente del costo	Valor USD
Materiales directos	209.52
Elementos normalizados	681.16
Costo de maquinado	96
Costo de montaje	26.64
Subtotal	1013.32

5.3. Análisis de costos indirectos

5.3.1. Costo de materiales indirectos

Los costos de materiales indirectos para los equipos 1 y 2 se muestran en las tablas siguientes:

Tabla 93

Costos de materiales indirectos Equipo 1

Material	Cantidad	Valor unitario USD	Valor total USD
ER70S6 1,2mm	0.7	60	42
Lija de agua	2	0,6	1,2
Pintura beige	1	5	5
Pintura Azul	1	5	5
Diluyente	2	5	10
Guaype	3	0,2	0.6
Varios			5
Subtotal			68.2

Tabla 94

Costos de materiales indirectos Equipo 2

Material	Cantidad	Valor unitario USD	Valor total USD
ER70S6 1,2mm	0.3	60	18
Lija de agua	1	0,6	0.6
Pintura beige	1	5	5
Pintura Azul	1	5	5
Diluyente	1	5	5
Guaype	2	0,2	0.4
Varios			5
Subtotal			39

5.3.2. Gastos de ingeniería

Involucra al gasto por conocimientos ingenieriles aplicados.

Tabla 95.

Gasto de ingeniería de equipo 1

Horas	USD/h	Valor total USD
70	10	700
Subtotal		700

Tabla 96.

Gasto de ingeniería del equipo 2

Horas	USD/h	Valor total USD
50	10	500
	Subtotal	700

5.3.3. Gastos imprevistos

Se presentó gastos imprevistos en movilización de materiales, personas y de los equipos 1 y 2.

Tabla 97.

Gastos imprevistos del equipo 1

Imprevisto	Subtotal	Valor total USD
Movilización materiales	15	15
Movilización personas	10	10
Movilización equipo 1	15	15
	Subtotal	40

Tabla 98.

Gastos imprevistos del equipo 2

Imprevisto	Subtotal	Valor total USD
Movilización materiales	10	10
Movilización personas	10	10
Movilización equipo 2	15	15
	Subtotal	35

5.3.4. Costo total indirecto

En la tabla siguiente se indica la cantidad total del costo indirecto de los equipos 1 y 2.

Tabla 99

Costo total indirecto Equipo 1.

Componente de costo	Valor USD
Materiales indirectos	68.2
Gasto de ingeniería	700
Gastos imprevistos	40
Subtotal	808.2

Tabla 100

Costo total indirecto Equipo 2.

Componente de costo	Valor USD
Materiales indirectos	39
Gasto de ingeniería	500
Gastos imprevistos	35
Subtotal	574

5.4. Costo total de los equipos

El costo total de los equipos resulta de la suma de los costos directos con los indirectos, esto se indica en las siguientes tablas:

Tabla 101

Costo total del equipo 1.

Componente de costo	Valor USD
Costo directo	943.18
Costo indirecto	808.2
Subtotal	1750.38

Tabla 102

Costo total del Equipo 2.

Componente de costo	Valor USD
Costo directo	1013.32
Costo indirecto	574
Subtotal	1587.32

El costo total obtenido para el equipo 1 de impacto ascendió a 1750,38 USD, mientras que para el equipo 2 de fatiga su valor es de 1587.32 USD, por lo que resulta relativamente accesible para cualquier empresa productora de bicicletas nacionales.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Se ha diseñado y construido dos equipos que permiten analizar la calidad de los cuadros y horquillas por impacto y fatiga los cuales están determinados por la norma INEN ISO 4210.
- Las bicicletas de producción nacional (INDIMA, BKR y ANDALUZ) tienen excelente calidad y una buena expectativa para el futuro crecimiento industrial de las mismas en el país.
- Las bicicletas de producción nacional analizadas en la presente tesis aprueban los requerimientos de seguridad y calidad de la INEN ISO 4210, lo que las hace competitivas con marcas de bicicletas internacionales.
- Se alcanzó el objetivo general y específicos propuestos en el proyecto.
- El tiempo programado para la culminación del proyecto fue de 8 meses y al realizarlo en 12 meses no se alcanzó de manera satisfactoria el objetivo planteado.
- En el ensayo de impacto la masa pesa 22.57 Kg lo que representa un exceso del 0.31% y que está dentro del 5% permitido por la norma.
- La masa rodante accesorio del ensayo de impacto pesa 0.119 Kg que es mucho menor a 1Kg, parámetro que se ha cumplido como establece la norma.
- Debido a que el sensor ultrasónico tiene un error absoluto de ± 2 mm y como debemos asegurar la tolerancia en las cargas de +5%, se fabricó un patrón de alturas con la distancia de 180mm para verificar la altura de manera manual.
- El ensayo de fatiga se realizó con una frecuencia de 4Hz que es menor a los 25Hz como máximo que dictamina la norma.
- Los ensayos de fatiga se cumplieron en su totalidad, todos y cada uno se cumplieron a los 50000 ciclos que establece la norma.
- En el ensayo de fatiga la fuerza de avance del pistón fue de 457 N mientras que la fuerza de retroceso fue de 444N que está dentro de la tolerancia de 440 N – 462 N que permite la norma de +5% en las cargas.

- Todas las bicicletas de producción nacional (INDIMA – ECOBIKE, BKR, ANDALUZ) ensayadas en la presente tesis aprobaron los parámetros mínimos restrictos por la norma INEN ISO 4210, por lo cual se asegura que estos cuadros y horquillas están aptas para el uso seguro de los usuarios.
- Los cuadros INDIMA-ECOBIKE y ANDALUZ presentan los mejores resultados en el ensayo de impacto, con un desplazamiento nulo de la distancia entre ejes.
- Los equipos han sido fabricados con materia prima obtenida en el país.
- Dado que son los primeros equipos de ensayos mecánicos de bicicleta, diseñados y fabricados en el país, queda como precedente para posibles mejoras e implementaciones de laboratorios de ensayos de bicicletas para la sociedad ecuatoriana.

6.2 Recomendaciones

- Se debe asegurar que no se doblen o aíslen los cables de los sensores, ya que podría provocar datos erróneos en las mediciones.
- Es de mucha importancia que la soldadura sea realizada por un soldador calificado por AWS.
- Se debe seguir los procedimientos de los ensayos estrictamente si se quiere evitar errores en los resultados o daños en los equipos.
- Se recomienda realizar el ensayo de impacto en un lugar cerrado ya que el ruido y el viento le restan precisión al sensor ultrasónico.
- Al momento de realizar los ensayos especialmente el ensayo de impacto se debe usar protecciones industriales como: botas de seguridad, gafas, y mandil debido a que puede existir caída de objetos o desprendimiento de material de los cuadros – horquillas ensayados.
- Al ser máquinas inéditas y de diseño único se recomienda profundizar en el tema de impacto y fatiga, para posibles mejoras en los equipos.
- Se debe mejorar la sujeción de la horquilla en el equipo 2, ya que debido a que es empernada toma un tiempo considerable para colocar y para retirar la horquilla.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 4210, N. I.-I. (2009). Ensayo de fatiga. En N. I.-I. 4210, *Velocípedos. Requisitos de seguridad para bicicletas* (pág. 35). Quito.
- 4210, N. I.-I. (2009). Ensayo de impacto. En N. I.-I. 4210, *Velocípedos. Requisitos de seguridad para bicicletas* (pág. 34). Quito.
- Budyanas, R. (2008). Apendice A - Figura A-15-12. En R. Budyanas, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (pág. 1009). México: McGraw-Hill.
- Budyanas, R. (2008). Apendice A : Figura A-15-11. En R. Budyanas, *Diseño de ingeniería mecánica de Shigley* (pág. 1009). México: McGraw Hill.
- Budynas, R. (2008). Concentración del esfuerzo y sensibilidad a la muesca. En R. Budynas, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (pág. 287). México: McGraw Hill.
- Company, T. B. (2014). *Transition*. Obtenido de http://www.transitionbikes.com/2013/Bikes_TR450_1.cfm
- COOP., O. S. (2014). *ORBEA*. Obtenido de <http://www.orbea.com/ar-es/bicicletas/ordu-mltd/>
- COOP., O. S. (2014). *Orbea*. Obtenido de <http://www.orbea.com/ar-es/bicicletas/ordu-mltd/>
- COOP., O. S. (2014). *ORBEA S. COOP.* Obtenido de <http://www.orbea.com/ar-es/bicicletas/ordu-mltd/>
- Corporation, T. B. (1995 - 2014). *TREK*. Obtenido de http://www.trekbikes.com/es/es/bikes/town/recreation/shift_comfort/shift_2_wsd/
- Corporation, T. B. (2014). *Trek*. Obtenido de http://www.trekbikes.com/es/es/bikes/mountain/cross_country/superfly_fs/superfly_fs_9_9_sl_xx1/
- Corporation, T. B. (2014). *Trek*. Obtenido de http://www.trekbikes.com/es/es/bikes/town/recreation/shift_comfort/shift_2_wsd/
- Corporation, T. B. (s.f.). *Trek Bicycle Corporation*. Obtenido de http://www.trekbikes.com/es/es/bikes/town/recreation/shift_comfort/shift_2_wsd/
- Creus, A. (2007). Actuadores Neumáticos. En A. C. Solé, *Neumática e Hidráulica* (pág. 15). Mexico: Alfaomega.
- Creus, A. (2007). Cálculo de cilindros neumáticos. En A. Creus, *Neumática e hidráulica* (pág. 28). México: Alfaomega.

- Erdman, A. (1998). En A. Erdman, *Diseño de mecanismos análisis y síntesis* (pág. 384). México: Pearson.
- Erdman, A. (1998). Introducción Levas. En A. Erdman, *Diseño de mecanismos análisis y síntesis* (pág. 353). México: Pearson.
- Erdman, A. (1998). Tipos de levas y seguidores. En A. Erdman, *Diseño de mecanismos análisis y síntesis* (pág. 354). México: Pearson.
- Erdman, A. (1998). Tipos de levas y seguidores. En A. Erdman, *Diseño de mecanismos análisis y síntesis* (pág. 358). México: Pearson.
- Evans, J. R. (2008). Integración de perspectivas sobre la calidad. En J. R. Evans, *Administración y control de la calidad* (pág. 16). México : Cengage Learning .
- Fitbikeco. (2014). *FIT BIKECO*. Obtenido de <http://fitbikeco.com/bikes-2014/dugan-signature/#>
- Fitzgerald, R. (1990). Esfuerzo y Deformación . En R. Fitzgerald, *Mecánica de Materiales* (pág. 5). México: Alfaomega.
- Groover, M. P. (2007). Control de la Calidad. En M. P. Groover, *Fundamentos de manufactura moderna* (pág. 972). México: McGraw-Hill.
- Groover, M. P. (2007). Fundamentos de Soldadura. En M. P. Groover, *Fundamentos de Manufactura Moderna* (pág. 689). México D.F.: Mc Graw Hill.
- (1992). Mecanismos Especiales. En Guillet, *Cinemática de las máquinas* (pág. 296). México: Cecsa.
- Hamrock, B. (1999). Esfuerzos y deformaciones por impacto lineal . En B. Hamrock, *Elementos de máquinas* (pág. 290). México: Mcgraw Hill.
- Hibbeler. (s.f.). Endurecimiento por deformación . En Hibbeler, *Mecánica de Materiales* (pág. 95). México: Pearson .
- Hibbeler, R. (2006). El diagrama de esfuerzo deformación unitaria . En R. Hibbeler, *Mecánica de Materiales* (pág. 88). México: Pearson Educación .
- Hoy, E. (2013). *El Hoy*. Obtenido de <http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/la-bici-made-in-ecuador-es-un-objetivo-publico-privado-588730.html>
- INEN. (2009). Ensayo de caída del ensamble marco-horquilla. En INEN, *NTE INEN-ISO 4210:2009 Velocípedos. Requisitos de seguridad para bicicletas* (pág. 33). Quito.
- INEN. (2009). Ensayo de fatiga en la horquilla. En INEN, *NTE INEN-ISO 4210:2009 Velocípedos. Requisitos de seguridad para bicicletas* (pág. 33). Quito.
- INEN. (2009). Ensayo de masa descendente. En INEN, *NTE INEN-ISO 4210:2009 Velocípedos. Requisitos de seguridad para bicicletas* (pág. 33). Quito.

- INEN-ISO4210. (2009). Ensayo de impacto (caída del ensamble marca-horquilla). En N. INEN-ISO4210, *Velocípedos. Requisitos de seguridad para bicicletas* (pág. 7). Quito.
- INEN-ISO4210, N. (2009). Ensayo de impacto. En N. INEN-ISO4210, *Velocípedos. Requisitos de seguridad para bicicletas* (pág. 35). Quito.
- INEN-ISO4210, N. (2009). Velocípedos requisitos de seguridad para bicicletas. En INEN, *NTE INEN-ISO 4210* (pág. 1). Quito.
- Institute, R. P. (1999). *Rensselaer Polytechnic Institute*. Obtenido de <http://www.ibiblio.org/links/devmodules/bicycle/html/picture.html>
- ISO17025. (s.f.). Equipment. En I. IEC, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories* (págs. 15 - 16).
- ISO4210, I. (2009). Ensayo de impacto(masa descendente). En N. INEN-ISO4210, *Velocípedos. Requisitos de seguridad para bicicletas* (pág. 7). Quito.
- ISO4210, I. (2009). Exactitud de las cargas de ensayo. En N. INEN-ISO4210, *Velocípedos. Requisitos de seguridad para bicicletas* (pág. 34). Quito.
- ISO4210, I. (2009). Resistencia de la horquilla a la fatiga. En N. INEN-ISO4210, *Velocípedos. Requisitos de seguridad para bicicletas* (pág. 7). Quito .
- KOBE STEEL, L. (2012). *Kobelco*. Obtenido de El ABC de la soldadura por arco: http://www.kobelco-welding.jp/espanol/education-center/abc/ABC_1999-04.html
- Krick. (1996). Problemas de Ingeniería. En Krick, *Introducción a la Ingeniería y al Diseño en la Ingeniería* (pág. 11). Mexico, D.F.: Limusa S.A.
- Mott, R. (2006). Fatiga . En R. Mott, *Diseño de elemento de máquinas* (pág. 172). México : Pearson.
- Mott, R. (2006). Resistencia a la Fatiga. En R. Mott, *Diseño de elementos de máquinas* (pág. 173). México: Pearson .
- ORBEA. (2014). *ORBEA S. COOP*. Obtenido de <http://www.orbea.com/ar-es/bicicletas/ordu-mltd/>
- Pareto, L. (1980). Trinquetes. En L. Pareto, *Formulario de Mecánica* (págs. 881 - 882). Barcelona: Gersa.
- Profeco. (Noviembre de 2002). *Profeco*. Obtenido de http://www.profeco.gob.mx/revista/pdf/est_02/bicicletas.pdf
- Reuters. (18 de Mayo de 2008). *El Universo*. Obtenido de <http://www.eluniverso.com/2008/05/18/0001/9/0C25AC276EED4BC4B823CF17AF83C7C0.html>

- Reuters. (18 de Mayo de 2008). *El Universo*. Obtenido de <http://www.eluniverso.com/2008/05/18/0001/9/0C25AC276EED4BC4B823CF17AF83C7C0.html>
- Reuters. (18 de Mayo de 2008). *El Universo*. Obtenido de <http://www.eluniverso.com/2008/05/18/0001/9/0C25AC276EED4BC4B823CF17AF83C7C0.html>
- Reuters. (18 de Mayo de 2008). *EL Universo* . Obtenido de <http://www.eluniverso.com/2008/05/18/0001/9/0C25AC276EED4BC4B823CF17AF83C7C0.html>
- Schmid, S. K.-S. (2008). Aseguramiento de la calidad . En S. K.-S. Schmid, *Manufactura, Ingeniería y Tecnología* (pág. 1112). México: Pearson Educación.
- Singletrack. (s.f.). *Singletrack*. Obtenido de <http://singletrackworld.com/forum/topic/loads-2>
- Sports, S. (2013). *Scott*. Obtenido de <http://carbonexperts.scott-sports.com/es/index.html>
- STEVENS. (2012). *STEVENS BIKE*. Obtenido de http://www.stevensbikes.de/2012/index.php?cou=DK&lang=en_US&url=en%2Fforma-recall.html
- Transition. (s.f.). *Transition Bicycle Company* . Obtenido de http://www.transitionbikes.com/2013/Bikes_TR450_1.cfm
- Universo, E. (2 de Diciembre de 2013). *Metaltronic*. Obtenido de <http://www.metaltronic.com.ec/index.php/noticias/15-habra-reglamento-de-calidad-para-las-bicicletas-nacionales>
- Universo, E. (2 de Diciembre de 2013). *Metaltronic*. Obtenido de <http://www.metaltronic.com.ec/index.php/noticias/15-habra-reglamento-de-calidad-para-las-bicicletas-nacionales>
- Universo, E. (27 de Noviembre de 2013). *Metaltronic*. Obtenido de <http://www.metaltronic.com.ec/index.php/noticias/16-en-el-2014-se-venderan-las-primeras-110-000-bicicletas-con-componente-nacional-quito>
- Universo, E. (27 de Noviembre de 2013). *Metaltronic*. Obtenido de <http://www.metaltronic.com.ec/index.php/noticias/16-en-el-2014-se-venderan-las-primeras-110-000-bicicletas-con-componente-nacional-quito>
- Universo, E. (2 de diciembre de 2013). *Metaltronic* . Obtenido de Metaltronic: <http://www.metaltronic.com.ec/index.php/noticias/15-habra-reglamento-de-calidad-para-las-bicicletas-nacionales>

