



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO PARA PRUEBAS
BALÍSTICAS EN CHALECOS ANTIBALAS PARA ARMAS CALIBRE
9MM.”**

AUTORES: GUTIÉRREZ ROJAS, SANTIAGO MANUEL.

PERALVO CABEZAS, MARCOS ALEJANDRO.

DIRECTOR: ING. PABLO FIGUEROA MONTIEL.

SANGOLQUÍ

2019



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, " **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO PARA PRUEBAS BALÍSTICAS EN CHALECOS ANTIBALAS PARA ARMAS CALIBRE 9mm.**", fue realizado por los señores **SANTIAGO MANUEL GUTIÉRREZ ROJAS** y **MARCOS ALEJANDRO PERALVO CABEZAS**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 30 de noviembre del 2018.

Ing. Pablo Rodrigo Figueroa Montiel.
C.C.: 1705130639



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD:

Nosotros, **SANTIAGO MANUEL GUTIÉRREZ ROJAS** y **MARCOS ALEJANDRO PERALVO CABEZAS**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “ **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO PARA PRUEBAS BALÍSTICAS EN CHALECOS ANTIBALAS PARA ARMAS CALIBRE 9mm.**”, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 30 de noviembre del 2018.

Santiago Manuel Gutiérrez
C.C.: 1103864987

Marcos Alejandro Peralvo
C.C.: 1719854091



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

AUTORIZACIÓN:

Nosotros, **SANTIAGO MANUEL GUTIÉRREZ ROJAS** y **MARCOS ALEJANDRO PERALVO CABEZAS**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO PARA PRUEBAS BALÍSTICAS EN CHALECOS ANTIBALAS PARA ARMAS CALIBRE 9mm.**", en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 30 de noviembre 2018.

Santiago Manuel Gutiérrez
C.C.: 1103864987

Marcos Alejandro Peralvo
C.C.: 1719854091

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, Oswaldo y Sireyt que han sido la base fundamental de mis principios, mi forma de ser, las personas que me apoyaron desde un principio a estudiar tan linda carrera y tengo la dicha que sean las mismas personas que me han dado la vida, los que me han ayudado en los problemas que se han presentado a lo largo del proceso de estudio y han estado presentes en todo momento apoyándome.

Santiago Manuel Gutiérrez Rojas.

DEDICATORIA

A Dios primeramente como soporte y eje fundamental de mi vida, y a mi familia por su manifiesto de amor, y la fortaleza que han sido a lo largo del tiempo. El ejemplo de mis padres de no rendirse ante las diversas dificultades y cuya vida ha sido inspiración para superar los diferentes obstáculos hasta el momento. La motivación de mis abuelos en crecer a nivel académico y profesional. A mi novia por sus deseos de superación e impulsarme en apuntar cada vez más alto. Por tal motivo dedico este trabajo a todo el conjunto de personas que han impactado y han sido apoyo en las diferentes etapas de mi vida.

Marcos Alejandro Peralvo Cabezas.

AGRADECIMIENTO:

Agradezco a Dios por darme la vida y salud para poder culminar esta etapa de mi vida, ayudarme todos los días a forjar el camino que me ha llevado a este punto de mi vida.

Agradezco a mis padres Oswlado y Sireyt, por el esfuerzo que han dedicado hacía mí para que yo pueda llegar a obtener este logro, por la confianza hacía mí, brindarme los recursos para comenzar y terminar esta carrera.

Agradezco a mi hermana Carolina y familiares por estar presentes durante el transcurso de la carrera universitaria, permitirme vivir, compartir emociones y vivencias con ellos. Agradezco infinitamente la preocupación hacia mí durante estos años de estudio.

Agradezco a mis amigos con los que he compartido momentos inolvidables a lo largo de carrera y que siempre estarán guardados en mi corazón, enseñándome el significado del compañerismo, trabajo en equipo y juntos solucionar problemas profesionales.

Santiago Manuel Gutiérrez Rojas.

AGRADECIMIENTO:

Agradezco a Dios por el aliento de vida y amor que día tras día fueron motivo de superación y que en los momentos difíciles levantaron el ánimo para continuar.

Agradezco a mis padres Marcos y Karina por ser quienes guiaron mi vida y me convirtieron en el profesional, ser humano que soy.

Agradezco a mis hermanos Vanesa, Nathan, Estefanía por su cariño, respeto y apoyo que han sido a lo largo de los años de carrera.

Agradezco a mis abuelos maternos Oswaldo y Fabiola, abuelos paternos Marco y Luz María por ser apoyo y ejemplo durante mi vida.

Agradezco a mi novia María Fernanda por ser apoyo incondicional y por estar conmigo aún en los momentos de difíciles.

Finalmente agradezco a mis colegas, maestros y amigos que fueron parte de todos los años de carrera, por el aprendizaje y enseñanzas de vida que sin duda jamás olvidaré.

Marcos Alejandro Peralvo Cabezas.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA

CERTIFICADO DEL DIRECTOR.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
RESUMEN.....	xxvii
ABSTRACT.....	xxviii
CAPÍTULO I GENERALIDADES	1
1.1. 1.1. Presentación	1
1.2. Definición del problema.....	2
1.3. Justificación e importancia.....	5
1.4. Área de influencia.....	6
1.5. Objetivos.	7
1.5.1. Objetivo general.....	7
1.5.2. Objetivos específicos.....	7
1.6. Alcance del proyecto.....	7

1.6.1.	Componentes mecánicos.....	8
1.6.2.	Componentes electrónicos/eléctricos	8
1.6.3.	Componentes del sistema de control	9
1.6.4.	Software para implementación, análisis y simulación.....	9
CAPÍTULO II ESTADO DEL ARTE.....		11
2.1.	Tipos de materiales para protección balística.....	11
2.1.1.	Chaleco de cuerpo duro	11
2.1.2.	Chaleco de armadura suave.....	12
2.2.	Fibras textiles utilizadas para la protección balística	13
2.3.	Introducción a la Norma NIJ Standard-0101.06.....	14
2.3.1.	Clasificación	14
2.3.1.1.	Tipo IIA (9mm; 40 S&W).....	14
2.3.1.2.	Tipo II (9 mm; .357 Magnum)	15
2.3.1.3.	Tipo IIIA (.357 SIG; .44 Magnum)	15
2.3.1.4.	Tipo III, IV y de tipo especial.	16
2.3.2.	Terminología.....	16
2.3.2.1.	Ángulo de Incidencia.....	16
2.3.2.2.	Portador de blindaje.....	16
2.3.2.3.	Panel Blindado.....	17
2.3.2.4.	Backface Signature (BFS).....	17
2.3.2.5.	Límite balístico	17
2.3.2.6.	Panel Balístico	18
2.3.2.7.	Límite balístico de línea de base	18

	X
2.3.2.8. Body Armor	18
2.3.2.9. Perforación.....	18
2.3.2.10. Muestra blindada.....	18
2.3.2.11. Velocidad de Impacto.....	18
2.3.2.12. Material de Apoyo.....	19
2.3.2.13. Deformación	19
2.3.2.14. Disparo Válido.....	19
2.3.2.15. Proyectoil Encamisado (FMJ).....	20
2.3.2.16. Proyectoil Encamisado Punta Blanda (JSP).....	20
2.3.2.17. Penetración	20
2.3.2.18. Cara de Impacto del chaleco	20
2.3.2.19. Cara Interior del chaleco.....	21
2.3.3. Condiciones de prueba ambientales.....	21
2.3.4. Rango de preparación.....	21
2.3.5. Material de soporte.....	22
2.3.6. Preparación de la superficie del material de respaldo.....	22
2.3.7. Acondicionamiento del material de respaldo.....	23
2.3.8. Validación de la coherencia del material de respaldo	23
CAPÍTULO III DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	25
3.1. Metodología de diseño.....	25
3.1.1. Identificación de las necesidades del cliente.....	26
3.1.1.1. Recopilación de datos.....	26
3.1.1.2. Interpretar datos sin procesar en términos de las necesidades del cliente	27

3.1.1.3.	Establecer la importancia relativa de las necesidades.....	28
3.1.2.	Establecer especificaciones objetivo.....	29
3.1.2.1.	Elaborar lista de métricas.....	29
3.1.2.2.	Valores objetivo-ideales y marginalmente aceptables.....	31
3.1.3.	Generación de conceptos.....	32
3.1.3.1.	Diagrama funcional del módulo balístico.....	32
3.1.3.2.	Exploración sistemática.....	33
3.1.3.2.1.	Árbol de clasificación de conceptos.....	33
3.1.3.2.2.	Tabla de combinaciones.....	37
3.1.3.2.3.	Generación de conceptos base giratoria.....	40
3.1.3.2.4.	Generación de conceptos manipulador.....	47
3.1.4.	Selección de conceptos.....	55
3.1.4.1.	Selección de la base giratoria.....	56
3.1.4.2.	Selección manipulador.....	60
3.2.	Diseño de componentes mecánicos.....	65
3.2.1.	Base giratoria.....	65
3.2.1.1.	Mecanismo de giro.....	65
3.2.1.2.	Selección del rodamiento principal:.....	70
3.2.1.3.	Diseño de la mesa:.....	78
3.2.1.4.	Protección de la base giratoria contra los proyectiles.....	82
3.2.2.	Manipulador.....	85
3.2.2.1.	Mecanismo fuerza de retroceso.....	85
3.2.2.1.1.	Mordaza para sujeción del arma.....	94

3.2.2.2.	Posicionamiento eje X.....	95
3.2.2.3.	Posicionamiento eje Y.....	104
3.2.2.3.1.	Componentes del mecanismo de 4 barras.....	108
3.3	Componentes de las ventanas HMI.....	109
3.3.1.	Ventana Login.....	110
3.3.2.	Ingreso modo manual, automático, guardar información.....	110
3.3.3.	Ventana manual.....	112
3.3.3.1.	Manipulador modo manual.....	112
3.3.3.2.	Base Giratoria modo manual.....	114
3.3.3.3.	Botones de accionamiento.....	115
3.3.4.	Ventana automática.....	116
3.3.4.1.	Configuración de los puntos en ventana automático.....	119
3.3.5.	Guardar información luego de la prueba.....	120
3.4.	Componentes eléctricos y/o electrónicos.....	122
3.4.1.	Integración del sistema eléctrico con el mecánico.....	122
3.4.1.1.	Acoplamiento de actuadores con mecanismos de movimiento.....	124
3.4.1.2.	Conversión energía eléctrica a rotacional.....	124
3.4.2.	Sistema de control.....	126
3.4.3.	Programación del controlador.....	127
CAPÍTULO IV PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		140
4.1.	Implementación.....	140
4.1.1.1.	Codificación de Planos Mecánicos y Eléctricos.....	142
4.1.2.	Elaboración de piezas.....	149

4.1.2.1.	Máquinas utilizadas para la elaboración de partes mecánicas	155
4.2.	Protocolo de Seguridad.....	157
4.2.1.	Medidas de conducta del personal:.....	157
4.2.2.	Medidas en la manipulación de las armas de fuego:.....	158
4.2.3.	Protocolo de riesgo	159
4.2.3.1.	Ambiente	159
4.2.3.2.	Distancias de Seguridad	160
4.2.3.3.	Señalización	160
4.2.3.4.	Bloqueos de emergencia	160
4.2.3.5.	Sensores de prevención.....	160
4.3.	Desarrollo protocolo de pruebas.....	162
4.4.	Pruebas del prototipo	164
4.5.	Análisis de resultados	167
4.5.1.	Resultados de las pruebas prototipo	167
4.5.2.	Resultados de costos y producción	169
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		172
5.1.	Conclusiones.....	172
5.2.	Recomendaciones.....	173
Referencias		175

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Elementos mecánicos del Sistema</i>	8
Tabla 2. <i>Elementos electrónicos/eléctricos del Sistema</i>	8
Tabla 3. <i>Entradas y salidas del controlador</i>	9
Tabla 4. <i>Software a utilizar durante el diseño e implementación del proyecto.</i>	9
Tabla 5. <i>Resumen de pruebas de rendimiento.</i>	20
Tabla 6. <i>Plantilla de datos del cliente llenado con declaraciones de éste y necesidades del cliente.</i>	27
Tabla 7. <i>Matriz con la lista de métricas del proyecto.</i>	29
Tabla 8. <i>Matriz de necesidades – métricas</i>	30
Tabla 9. <i>Especificaciones objetivo del módulo balístico.</i>	31
Tabla 10. <i>Tabla de combinaciones de la energía del manipulador y base giratoria</i>	38
Tabla 11. <i>Tabla de combinaciones manipulador.</i>	39
Tabla 12. <i>Tabla de combinaciones base giratoria.</i>	39
Tabla 13. <i>Densidades, volúmenes y masas de las partes del soporte del material de apoyo.</i>	41
Tabla 14. <i>Matriz de selección del proyecto.</i>	56
Tabla 15. <i>Matriz de decisión de la base giratoria</i>	57
Tabla 16. <i>Comparación del movimiento de 30 y – 30 grados en la base giratoria.</i>	57
Tabla 17. <i>Evaluación del volumen del material de apoyo.</i>	57
Tabla 18. <i>Comparación de los conceptos sobre soportar peso del material del apoyo.</i>	58
Tabla 19. <i>Evaluación de la base giratoria resiste al impacto</i>	58
Tabla 20. <i>Evaluación de la velocidad del soporte de la base giratoria.</i>	58
Tabla 21. <i>Evaluación del sistema de referencia que se ubica en la base giratoria.</i>	58

Tabla 22. <i>Comparación de los conceptos para saber el que ocupa menor área.</i>	59
Tabla 23. <i>Evaluación de concepto que tiene menor costo.</i>	59
Tabla 24. <i>Resultados de prioridad para la selección del concepto de la base giratoria.</i>	59
Tabla 25. <i>Matriz de decisión del manipulador.</i>	60
Tabla 26. <i>Evaluación de sensibilidad</i>	61
Tabla 27. <i>Evaluación de Precisión</i>	61
Tabla 28. <i>Evaluación de Resistencia a la Fuerza de Retroceso</i>	61
Tabla 29. <i>Evaluación de Facilidad de uso</i>	61
Tabla 30. <i>Evaluación de sistema de seguridad</i>	62
Tabla 31. <i>Evaluación de HMI interactiva</i>	62
Tabla 32. <i>Evaluación de sistema de referencia para disparo</i>	62
Tabla 33. <i>Evaluación de fácil ensamblaje</i>	62
Tabla 34. <i>Evaluación de durabilidad</i>	63
Tabla 35. <i>Evaluación de Facilidad en manufactura</i>	63
Tabla 36. <i>Evaluación de Facilidad en Mantenimiento</i>	63
Tabla 37. <i>Evaluación de Portabilidad</i>	63
Tabla 38. <i>Evaluación de Robustez</i>	64
Tabla 39. <i>Matriz de selección de concepto</i>	64
Tabla 40. <i>Masa que se encuentra sometido el rodamiento.</i>	71
Tabla 41. <i>Esfuerzos de torsión máximo permisibles de resortes helicoidales.</i>	87
Tabla 42. <i>Tipos de extremos de resortes.</i>	89
Tabla 43. <i>Propiedades mecánicas de Alambre de piano A228</i>	89
Tabla 44. <i>Constantes de las condiciones de extremos α de resortes de compresión.</i>	90

Tabla 45. <i>Resistencias a la fatiga de vida infinita de Zimmerli.</i>	92
Tabla 46. <i>Código G para realizar la morzada en la electroerosionadora de hilo.</i>	95
Tabla 47. <i>Análisis de relación de dientes para movimiento eje X.</i>	96
Tabla 48. <i>Dimensiones típicas de los dientes en sinfines y coronas.</i>	99
Tabla 49. <i>Ángulos profundidades de dientes recomendados para engranajes de tornillo ...</i>	100
Tabla 50. <i>Motores Gama NEMA</i>	123
Tabla 51. <i>Codificación Planos Mecánicos Base Giratoria</i>	142
Tabla 52. <i>Codificación Planos Mecánicos Manipulador</i>	145
Tabla 53. <i>Codificación plano eléctrico</i>	149
Tabla 54. <i>Tabulación de piezas construidas</i>	150
Tabla 55. <i>Maquinaria utilizada durante el desarrollo del proyecto</i>	155
Tabla 56. <i>Error posicionamiento eje x manipulador</i>	164
Tabla 57. <i>Error posicionamiento eje y manipulador</i>	165
Tabla 58. <i>Error posicionamiento base giratoria</i>	165
Tabla 59. <i>Error disparo proyectil</i>	166
Tabla 60. <i>Características técnicas</i>	169

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Sujeción del chaleco	3
<i>Figura 2.</i> Dibujar puntos del chaleco antibalas	3
<i>Figura 3.</i> Localización general de impactos de bala (Frente y espalda)	4
<i>Figura 4.</i> Material de apoyo	4
<i>Figura 5.</i> Diagrama del proceso.....	5
<i>Figura 6.</i> Componentes del proceso.	10
<i>Figura 7.</i> Tipo de munición	13
<i>Figura 8.</i> Ángulo de incidencia	16
<i>Figura 9.</i> Ejemplo de medición del BFS	17
<i>Figura 10.</i> Configuración del rango de prueba	22
<i>Figura 11.</i> Ubicaciones generales de caída previa a la prueba	24
<i>Figura 12.</i> Proceso genérico del desarrollo del producto	25
<i>Figura 13.</i> Actividades que comprenden la fase de desarrollo del concepto.	26
<i>Figura 14.</i> Diagrama funcional del módulo balístico	32
<i>Figura 15.</i> Árbol de clasificación de conceptos - Aceptar energía.....	33
<i>Figura 16.</i> Convertir energía eléctrica en energía rotacional.	34
<i>Figura 17.</i> Mecanismo para girar manipulador.	34
<i>Figura 18.</i> Fijar Set Point.....	35
<i>Figura 19.</i> Soporte de material de apoyo.....	35
<i>Figura 20.</i> Disparar arma calibre 9mm.....	36
<i>Figura 21.</i> Mecanismo para girar base.	36
<i>Figura 22.</i> Sistema de seguridad.....	37

Figura 23. Densidad de la plastilina balística.....	40
Figura 24. Soporte del material de apoyo.....	41
Figura25. Catácteristica Motor DC 12 V	42
Figura 26. Generación de concepto 1 para base giratoria.	44
Figura 27. Mecanismo base giratoria concepto 1	44
Figura 28. Generación del Concepto 2 Base giratoria.....	45
Figura 29. Mecanismo base giratorio concepto 2.....	45
Figura 30. Concepto 3 Base giratoria	46
Figura 31. Bosquejo del concepto 3 de la base giratoria.....	46
Figura 32. Tabla de combinaciones manipulador.....	47
Figura 33. Combinación concepto 1.....	48
Figura 34. Bosquejo Concepto 1 Manipulador.....	49
Figura 35. Sujeción del arma concepto 2.	50
Figura 36. Rodamientos guías para posicionamiento eje X.....	51
Figura 37. Posicionamiento eje X e Y para Concepto 2 del manipulador	51
Figura 38. Posicionamiento del arma en el eje Y.....	52
Figura 39. Concepto 2 Manipulador.....	52
Figura 40. Sujeción del arma Concepto 3.	53
Figura 41. Fuerza de retroceso Concepto 3.....	53
Figura 42. Posicionamiento eje X	54
Figura 43. Concepto 3 Manipulador.....	54
Figura 44. Bosquejo Concepto 3 Manipulador.....	55
Figura 45. Mecanismo Biela-Manivela.	65

Figura 46. Relación de ángulo θ_3 en función de θ_2	66
Figura 47. Relación de r_1 en función del ángulo θ_2	67
Figura 48. Velocidad angular ω_3 en función del ángulo θ_2	68
Figura 49. Velocidad del piston r_1' en función del ángulo θ_2	68
Figura 50. Aceleración angular α_3 en función del ángulo θ_2	69
Figura 51. Aceleración r_1'' en función del ángulo θ_2	70
Figura 52. Mecanismo Biela – Manivela	70
Figura 53. Vista lateral soporte plastilina balística	71
Figura 54. Diagrama de la bala ingresando al chaleco	73
Figura 55. Cuadro Sinóptico: Tipos de rodamiento y sus características	74
Figura 56. Manzana para soporte plastilina balística.	75
Figura 57. Recomendaciones de vida de cojinetes para varias clases de maquinaria.	77
Figura 58. Factores de aplicación de carga.	77
Figura 59. Perfil seleccionado para las patas de la mesa.	79
Figura 60. Estructura de la mesa de la base giratoria.	80
Figura 61. Factor de seguridad calculado con elementos finitos.....	81
Figura 62. Desplazamiento máximo calculado con elementos finitos.	81
Figura 63. Esfuerzo de Von Misses calculado con elementos finitos.	82
Figura 64. Tensión Von Mises- Plancha de protección.....	83
Figura 65. Desplazamiento - Plancha de protección	84
Figura 66. Factor de seguridad - Plancha de protección	84
Figura 67. Protección de acero contra proyectiles calibre 9mm	85

Figura 68. a) Resorte helicoidal cargado axialmente; b) Diagrama de cuerpo libre	86
Figura 69. Resortes de catálogo Lee Spring	94
Figura 70. Mordaza para armas calibre 9mm	94
Figura 71 Plano de trabajo de la pistola 9mm.	95
Figura 72 Movimiento de la pistola en el eje X.	96
Figura 73. Coeficientes de fricción de tornillo sin fin.....	102
Figura 74. Tornillo sin fin corona posicionamiento eje X.....	104
Figura 75. Esquema cinemático del mecanismo de cuatro barras.	105
Figura 76. Mecanismo de 4 barras diseñado para el posicionamiento del eje Y.....	108
Figura 77. Eje electromecánico lineal	108
Figura 78. Eslabón r2 posicionamiento eje Y	109
Figura 79. Eslabón r3 posicionamiento eje Y.	109
Figura 80. Ventana Login.....	110
Figura 81. Ingreso modo manual o automático.....	111
Figura 82. Cuadro de dialogo para regresar a Login.....	111
Figura 83. Ventana Manual	112
Figura 84. Visualización de coordenadas X e Y del manipulador.	113
Figura 85. Cuadro de diálogo botón 30 deg	114
Figura 86. Cuadro de diálogo botón 30 deg	114
Figura 87. Cuadro de diálogo botón 0 deg	115
Figura 88. Cuadro de dialogo botón Set Home.	115
Figura 89. Cuadro de dialogo botón Shoot.....	116
Figura 90. Cuadro de dialogo botón Back.....	116

Figura 91. Ventana en modo automático.....	117
Figura 92. Cuadro de diálogo Punto 1 Ventana automático.....	118
Figura 93. Ventana configuración.	119
Figura 94 Ventana Save Data.	120
Figura 95 Ejemplo de Archivo Save Data generado automaticamente en Excel.	122
Figura 96. Acoples flexibles.....	124
Figura 97. Fuente AC/DC.....	125
Figura 98. Driver HY-DIV268N-5 ^a	126
Figura 99. Fines de carrera mecánicos	126
Figura 100 Sistema de lazo abierto, base giratoria y manipulador.....	127
Figura 101. Facilidades Santa Bárbara.....	141
Figura 102. Túnel Balístico	141
Figura 103. Sensor PIR con lente fresnel	161
Figura 104. Esquema eléctrico sensor PIR.....	161
Figura 105. Flujograma de proceso banco de prueba.....	162
Figura 106. Flujograma de proceso banco de prueba semi-automatizado	163
Figura 107. Pruebas de disparo munición 9mm	167
Figura 108. Pruebas de base giratoria.....	168
Figura 109. Pruebas en Túnel Balístico.....	168
Figura 110. Costo Base Giratoria	169
Figura 111. Costo General Ensamble	170
Figura 112. Costo Manipulador.....	171

RESUMEN

Actualmente las empresas nacionales como internacionales buscan incluir procesos semiautomáticos o automatizados en su totalidad dentro de sus líneas de producción o procesos. Las empresas tienen la necesidad de resolver problemas tales como: reducción de tiempos de ciclo, aumentar la producción, mejorar la parte de seguridad, reducción de mano de obra, disminuir el error humano, mejorar la calidad, etc. Santa Bárbara EP., busca atender las necesidades y requerimientos del ejército y de las Fuerzas Armadas de forma permanente, sin mencionar a empresas privadas de seguridad que realizan diferentes pruebas dentro de las instalaciones de la empresa. Actualmente se realiza el proceso de pruebas con la norma NIJ Standard-0101.06 de forma manual, la norma sirve para verificar la resistencia balística de los chalecos antibalas con distintos tipos de armas, en este proyecto nos centraremos en las pruebas que se realiza con las arma de fuego calibre 9mm, el proceso de disparo se lo realiza manualmente, esto quiere decir, que el tiro realizado depende de la precisión del factor humano, en norma NIJ Standard-0101.06 explica que el chaleco antibalas está colocado en una base o soporte a 5 metros de distancia del arma. El proyecto tiene como objetivo diseñar y fabricar un módulo balístico semiautomático que permita mejorar la precisión del disparo y seguridad del personal.

PALABRAS CLAVE:

- **CHALECO ANTIBALAS.**
- **AUTOMATIZACIÓN.**
- **NIJ**

ABSTRACT

Currently national and international companies seek to include semiautomated or 100% automated processes within their production lines or processes, companies seek to solve a problem or need in several factors such as: reduction of cycle times, increase production, improve the part of security, reduction of manpower, decrease human error, improve quality, etc. Santa Bárbara EP, seeks to meet the needs and requirements of the army and the Armed Forces on a permanent basis, is currently carrying out the testing process of standard NIJ Standard-0101.06 manually, the standard NIJ Standard- 0101.06 is used to verify the ballistic resistance of body armor with different types of guns, in this project we will focus on the tests carried out with the 9mm gun, the shooting process is done manually, this means that the shot performed depends on the accuracy of the human factor, in norm NIJ Standard-0101.06 explains that the body armor is placed on a revolving base 5 meters away from the gun, this process is also done manually so that you do not always get the position. Considering these premises, the project aims to design and manufacture a semiautomated ballistic module to improve the shooting accuracy and safety of the staff.

KEY WORDS:

- **BODY ARMOR**
- **AUTOMATIZATION**
- **NIJ**

CAPÍTULO I

1.2. Presentación

En este proyecto se presenta el diseño CAD CAM CAE e implementación de un módulo para pruebas balísticas en chalecos antibalas para armas calibre 9mm. Usando la norma NIJ Standard-0101.06 para los diferentes lineamientos para las pruebas balísticas.

Con el fin de cumplir los objetivos planteados del proyecto y dichos lineamientos de la norma, dividimos el proyecto en cinco secciones para su desarrollo los cuales son:

En el Primer Capítulo, se aborda conceptos generales del proyecto tales como: la definición del problema, la justificación e importancia que el proyecto tiene dentro de su área de influencia, los objetivos que deseamos alcanzar y su alcance.

En el Segundo Capítulo, se presenta el estado del arte el cual se desarrolla en base a las prácticas que se realizan dentro de las Fuerzas Armadas y específicamente dentro del laboratorio de balística de la empresa Santa Bárbara EP con referencia a las recomendaciones y parámetros de la norma NIJ Standard-0101.06.

En el Tercer Capítulo, se realiza el diseño e implementación del sistema mecánico y electrónico del módulo; la HMI, así como su programación y lógica de control para el funcionamiento del mismo. En el presente capítulo se aborda la importancia de la seguridad que rige el proyecto para salvaguardar las vidas del personal que lo opere.

En el Cuarto Capítulo, se aprueban y analizan los resultados. Adicional se evalúan los objetivos planteados y comprobamos el funcionamiento de cada uno de los componentes y su interacción óptima entre cada uno de ellos.

En el Quinto Capítulo, se concluye con la evaluación del rendimiento del módulo con el fin de cumplir la norma NIJ a cabalidad. Se recomienda posibles mejoras para un posterior proyecto o mejora de la capacidad del presente proyecto.

Se anexa todo lo correspondiente al proyecto tales como: el manual de usuario, los planos respectivos de conexión y mecánicos. Catálogos de los componentes que participan en el proyecto y extractos importantes de la norma NIJ.

1.3. Definición del problema

Las pruebas de balística para chalecos antibalas se vienen realizando de manera manual según la norma Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06 en Santa Bárbara EP sin ningún tipo de automatización.

Actualmente las pruebas de balística para chalecos antibalas se las realiza de forma estocástica, por lo que se tiene que confiar en el pulso del personal encargado de realizar el disparo. Santa Bárbara realiza las pruebas de balística en 3 tipos de chalecos diferentes, estos se clasifican en 3 tallas diferentes: Largest, medium y small (NIJ Justice, 2008). Inicialmente se debe determinar el nivel de resistencia balística (II, IIA, III, IIIA) requerido por el cliente para que se realice la prueba. El personal responsable empieza seleccionando uno de los chalecos antibalas para sujetarlo en la base donde está el material de apoyo, esto se lo realiza cumpliendo la norma NIJ, como se puede observar en la Figura 1.

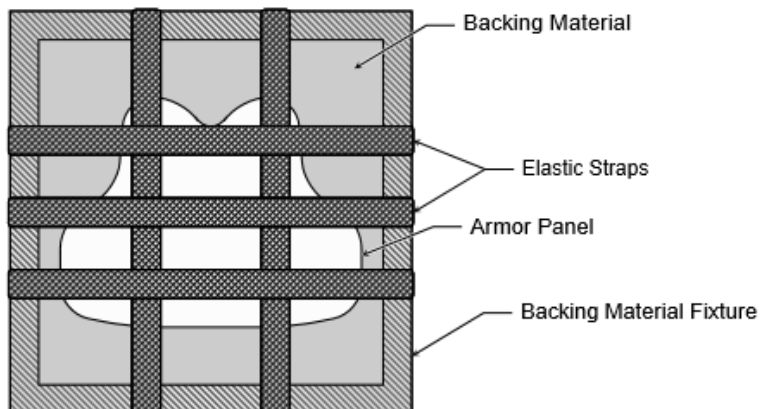


Figura 1. Sujeción del chaleco

Fuente: (NIJ Justice, 2008)

Una vez que el chaleco está sujeto en el material de apoyo se procede a establecer los puntos en donde se va a realizar el disparo (Figura 2).



Figura 2. Dibujar puntos del chaleco antibalas

Fuente: (Rabintex Prueba Balística)

En la prueba se realizan 6 disparos: 4 de ellos tienen que ser con un ángulo de incidencia de 0 grados y los otros 2 con un ángulo de incidencia de 30 grados como se observa en la Figura 3.

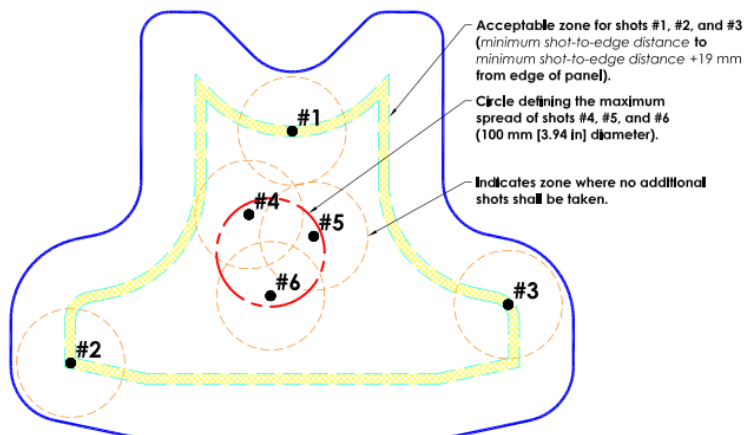


Figura 3. Localización general de impactos de bala (Frente y espalda)

Fuente: (NIJ Justice, 2008)

Una vez que todos los puntos están dibujados en el chaleco antibalas se procede a colocarlo sobre el material de apoyo (plastilina balística) que esta sobre una base o soporte, este tipo de material puede simular el tórax del cuerpo humano, para tener un mejor entendimiento cómo va el chaleco antibalas sobre el soporte podemos guiarnos en la Figura 4.

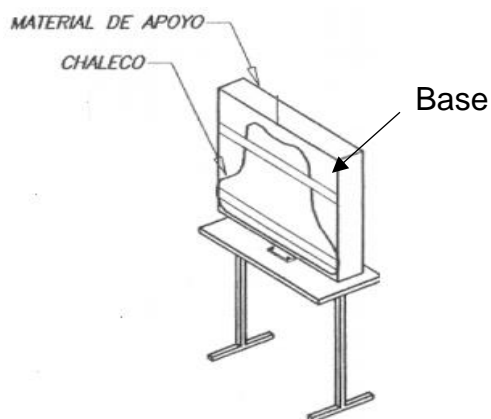


Figura 4. Material de apoyo

Fuente: RENAR, 2010

Cuando el chaleco está sujeto al material de apoyo y con los puntos de disparo marcados, la persona encargada de disparar prepara el arma de calibre 9mm, se posiciona a una distancia de 5 m y procede a realizar los disparos. En el proceso la precisión del disparo depende del pulso del personal que está ejecutando la prueba.

El diagrama del proceso es el siguiente (Figura 5), más adelante refinaremos el proceso con los cambios aplicados en el presente proyecto.



Figura 5. Diagrama del proceso

Actualmente en el país no se cuenta con ningún tipo de plataforma o manipulador robótico que permite realizar este tipo de disparos de forma automática donde se puedan observar datos y una ejecución más precisa de la norma NIJ.

1.4. Justificación e importancia.

En Santa Bárbara EP ubicado en Sangolquí, no existe un proceso automatizado para pruebas de balística, ya que según lo mencionado en la definición del problema es un proceso manual y estocástico, por consiguiente, una variabilidad muy alta en el proceso puesto que no se tiene un control sobre el mismo. Las pruebas de balística aparte de los chalecos antibalas también se realizan en materiales como vidrio balístico, acero blindado, cascos, pantallas de protección facial, material anti motín, plastilina balística,

etc. El personal encargado de llevar a cabo las pruebas en el laboratorio balístico utiliza la protección recomendada, pero aun con ello se es susceptible de sufrir daños como:

Penetración de esquirlas o limallas en el cuerpo

Riesgo del fallo humano, que siempre se encuentra presente en cualquier proceso o prueba que se realice.

Una vez que se realiza el disparo no se cuenta con un sistema de referencia en el material de apoyo donde se encuentra el chaleco, es difícil identificar un error por parte de la persona que está disparando y actualmente no se pueden tomar datos de los disparos.

El ángulo de incidencia del disparo en un chaleco antibalas es importante según la norma NIJ Standard-0101.06 debido a que no debe superar los 5 grados para que sea válido, al momento de hacer un disparo manual la persona debe contar con un pulso muy bueno y una experiencia en el manejo de armamento, es decir, que no lo puede realizar cualquier persona. Se propone el diseño y construcción de un módulo para pruebas balísticas como una solución viable para reducir la variabilidad en la ejecución de las pruebas. La norma NIJ Standard-0101.06 da parámetros de importancia en la realización de las pruebas.

1.5. Área de influencia.

El proyecto está enfocado para ser utilizado por el personal que realiza pruebas de balística en Santa Bárbara EP, ayudando con la investigación de impactos de bala en distintos chalecos antibalas y otros materiales.

El manipulador dispara armas de calibre 9mm sobre distintos materiales reduciendo el riesgo de heridas al momento que el proyectil impacta con el material de apoyo.

1.6. Objetivos.

1.6.1. Objetivo general

Diseñar y construir un módulo semiautomático de pruebas balísticas para chalecos antibalas con armas de calibre 9mm según la norma NIJ Standard-0101.06.

1.6.2. Objetivos específicos

- Diseñar y construir una base móvil para soportar el material de apoyo y que gire +30 y -30 grados
- Diseñar y construir un manipulador de 2 grados de libertad para armas de calibre 9mm.
- Programar la cinemática del movimiento del manipulador para que el proyectil llegue a las coordenadas X, Y deseados.
- Diseñar una HMI que facilite al usuario manipular de forma remota el módulo.
- Implementar e integrar todos los sistemas de manera que se forme un solo sistema Mecatrónico.
- Reducir la variabilidad del proceso y aumentar los parámetros seguridad para mitigar el riesgo de una posible afectación al personal del laboratorio.

1.7. Alcance del proyecto.

El alcance del proyecto hace referencia a componentes mecánicos, eléctricos, control y software que se observa a continuación:

1.7.1. Componentes mecánicos

Tabla 1.

Elementos mecánicos del Sistema

Nombre	Descripción
Base Giratoria	Base donde se encuentra el material de apoyo, gira +30 y -30 grados.
Manipulador	Es donde se aloja la pistola y se encarga de dar los posibles movimientos de este.
Rodamientos, pernos y elementos de sujeción	Ensamblaje del manipulador, base fija y cámara de simulación.
Material de Apoyo	Soporte para el chaleco antibalas

1.7.2. Componentes electrónicos/eléctricos

Tabla 2.

Elementos electrónicos/eléctricos del Sistema

Nombre	Descripción
Motores	Motores DC a pasos
Fusibles	Protección del sistema eléctrico
Drivers del motor	Para el control de sentido de giro del motor y separar la etapa de control de potencia.
Sensor de presencia	Para configurar el Home.
Switchs	Control del encendido del sistema
HMI en python	Para controlar y monitorear variables del sistema.
Puntero Laser	Para posicionar el origen de coordenadas.
Fuente DC	Alimentación del sistema
Cables	Para interconectar los componentes electrónicos
Sensores PIR	Brindar seguridad de presencia de humanos, antes de ejecutar el actuador de gatillo de la pistola

1.7.3. Componentes del sistema de control

El control se lo llevará a cabo por medio de un microcontrolador arduino Mega 2560, encargado de interpretar las órdenes de movimiento dadas por la pantalla de control realizada en Python.

Tabla 3.

Entradas y salidas del controlador

Entradas	Salidas
Sensor de presencia	Posicionamiento de los motores. Accionamiento del actuador de disparo.
Fines de carrera	Posicionar Home

1.7.4. Software para implementación, análisis y simulación

Para la programación del microcontrolador se utilizará el software arduino. Para el diseño y simulación de los componentes mecánicos se utilizará programas de Modelado 3D CAD/CAM/CAE. El software a realizar la HMI que controlará el módulo semiautomático será en Python.

Tabla 4.

Software a utilizar durante el diseño e implementación del proyecto.

Software	Descripción
Python	Realizar la HMI en la PC, para facilidad de manipulación de usuario.
Arduino	Es un lenguaje de programación, basada en programación C/C++, el cual es simple y directo
Inventor	Para análisis de CAD/CAM/CAE

En la Figura 6 se observa un bosquejo del módulo semiautomático con los subsistemas mecánicos, electrónicos, control y software implementado.

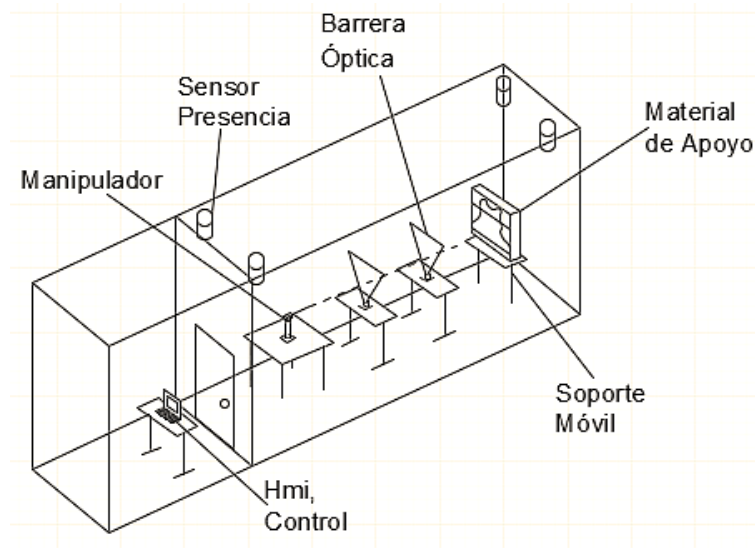


Figura 6. Componentes del proceso.

Los componentes descritos en la Figura 6 son los que intervienen principalmente en el proceso, cada uno será descrito a detalle en los próximos capítulos. Cabe recalcar que la barrera óptica no será tomada en cuenta en la implementación puesto que los parámetros de velocidad no son prioridad para las pruebas que se realizarán en el laboratorio de balística, la empresa de Santa Bárbara EP cuenta con un sistema de medición, barrera óptica, en caso de requerirlo.

CAPÍTULO II

ESTADO DEL ARTE

En este capítulo hay una introducción a la norma NIJ incluyendo procedimientos de las pruebas mencionadas en la norma, se establece la terminología utilizada en la misma y conceptos que se considera importantes para el desarrollo del proyecto. Además se detalla tipos de munición que se utiliza en pruebas balísticas y los distintos tipos de materiales utilizados en los chalecos antibalas.

2.1. Tipos de materiales para protección balística.

Los chalecos antibalas que sirven para cubrir el cuerpo se dividen en dos categorías, que son armadura de cuerpo duro y armadura de cuerpo suave, dependiendo del tipo de material usado.

El nivel de protección de la armadura de cuerpo duro es mayor que el de la armadura de cuerpo blando. Sin embargo, la armadura de cuerpo duro es más pesada de usar y proporciona menos flexibilidad en el movimiento del cuerpo que la armadura de cuerpo blando. El personal policial, civil y el personal militar pueden usar armadura dura cuando hay un alto nivel de amenaza. Mientras que, para el uso cotidiano, se prefiere la armadura suave, ya que generalmente es más flexible y proporciona una protección adecuada.

2.1.1. Chaleco de cuerpo duro

Este material está hecho de materiales rígidos como cerámica, plásticos reforzados, placas de metal y algunos compuestos de metal. El chaleco de cuerpo duro estándar se lo hace mediante capas múltiples incluyendo generalmente placas de cerámica y paneles de compuesto laminados. El chaleco puede incluir también una capa denominada anti

trauma, que reduce la lesión causada por la deformación dinámica de la armadura en el cuerpo del usuario (MEDVEDOVSKI, 2010).

El chaleco de cuerpo duro absorbe la energía del proyectil por un mecanismo de deformación plástica disipando la energía cinética del proyectil a través de la fractura del material duro en el chaleco. Se considera que la cerámica es un material importante para mejorar el chaleco. Sin embargo, la cantidad de protección de la cerámica sola es limitada, por lo tanto, se han desarrollado sistemas híbridos de blindaje cerámico, que consisten en cerámica monolítica o una forma compuesta de cuerpo cerámico metálico cubierta con nylon balístico y unida a una tela de textil de alto rendimiento.

2.1.2. Chaleco de armadura suave.

Este tipo de chaleco consiste en varias capas de materiales de alto rendimiento producido de las fibras balísticas. Las propiedades más importantes de estas fibras son la alta resistencia y la baja extensión (Dingenan and Verlinde, 1996). Las fibras se forman en tejido avanzado o estructuras similares que se puede coser para hacer chalecos y otra ropa suave. Este tipo de chalecos se escogen debido a su flexibilidad, ligereza y propiedades de confort.

Además del tipo de fibra y su rendimiento, el grado de protección balística depende de las propiedades del hilo, la construcción del tejido y el número de tipos de capas utilizadas en la estructura. En la Figura 6 se tiene los tipos de munición, la geometría de la bala, la velocidad y el ángulo de impacto estos afectan el nivel de protección de las armaduras blandas (Karahan, 2008, y Bogetti, 2003)



Figura 7. Tipo de munición
Fuente: (ENCYCLOPEDIA, 2014)

Por lo general, los tejidos de malla cuadrada densamente tejidos: los tejidos de sarga, tejidos de satén y derivados de estos (Faur-Csukat, 2006, Chu y Chen, 2010) son ampliamente utilizados para tejidos balísticos. Además, la estabilidad dimensional de las telas de tejido liso es la más alta entre las tres estructuras básicas.

Roylance et al. (Roylance et al., 1973), nos dice según sus investigaciones, las telas fabricadas a partir de densidades de hilo más bajas tenían menos resistencia balística, ya que las balas no disipan energía para romper los distintos hilos tejidos, es decir, romper los hilos lateralmente fuera de camino. Este efecto es más severo cuando el tamaño de la bala es pequeño y la velocidad es alta.

Fibras textiles utilizadas para la protección balística

Las fibras utilizadas para la protección balística deben tener: baja densidad, alta resistencia y alta capacidad de absorción de energía. El rendimiento balístico de un material depende de su capacidad para absorber energía localmente y distribuirla a través de toda una estructura. Para las fibras textiles, la tenacidad y el alargamiento a la rotura, la velocidad sónica (la velocidad del sonido en el textil) de las fibras son parámetros importantes que determinan la protección que pueden proporcionar (Jacobs y Van Dingenen, 2001). Los diseños recientes de armadura corporal utilizan fibras tales como

aramida (Kevlar, Twaron y Technora), polietileno de alto rendimiento (HPPE-Spectra y Dyneema), poli (p-fenileno-2,6-benzobisoxazol) (PBO- Zylon) y nylon de alta resistencia.

2.2. Introducción a la Norma NIJ Standard-0101.06

El propósito de esta norma es establecer requisitos mínimos de desempeño y métodos para la resistencia de blindaje personal o armaduras destinadas a proteger contra disparos. El alcance de la norma se limita a la resistencia balística solamente, este estándar no aborda las posibles amenazas de cuchillo u otros instrumentos de punta aguda, que son diferentes tipos de amenazas. Los fabricantes y compradores de chalecos pueden usar esta norma para ayudar a determinar si los modelos de blindajes específicos cumplen con los estándares mínimos de desempeño y los métodos de prueba identificada en el documento.

2.2.1. Clasificación

La armadura corporal personal que esta norma cubre se clasifica en cinco tipos (IIA, II, IIIA, III, IV) por el tipo de rendimiento balístico. Además, se define una clase de prueba especial de armadura para ser validada contra amenazas que pueden estar cubiertas por las cinco clases estándar.

Si en caso un panel blindado ofrece dos o más niveles de la norma NIJ balística, la protección en diferentes lugares del panel balístico estará definida por la zona que cumpla la mínima protección balística.

2.2.1.1. Tipo IIA (9mm; 40 S&W)

La armadura tipo IIA que es nueva y sin utilizar se probará con balas 9mm de punta redonda con Full Metal Jacket (FMJ RN) con una masa especificada de 8.0 g (124 gr) y

una velocidad de 373 m/s \pm 9,1 m/s y con balas .40 S & W Full Metal Jacket (FMJ) con una masa especificada de 11.7 g (180 gr) y una velocidad de 352 m/s \pm 9.1 m/s.

La armadura de Tipo IIA que ha sido acondicionada se probará con balas FMJ RN de 9 mm con una masa especificada de 8,0 g (124 gr) y una velocidad de 355 m/s \pm 9,1 m/s y con balas .40 S & W FMJ con una masa especificada de 11,7 g (180 gr) y una velocidad de 325 m/s \pm 9.1 m/s.

2.2.1.2. Tipo II (9 mm; .357 Magnum)

La armadura o chaleco de Tipo II que es nueva y sin utilizar se probará con balas FMJ RN de 9 mm con una masa especificada de 8,0 g (124 gr) y una velocidad de 398 m/s \pm 9,1 m/s y con balas .357 Magnum Jacked Soft Point (JSP) con una masa especificada de 10.2 g (158 gr) y una velocidad de 436 m/s \pm 9.1 m/s.

La armadura de Tipo II que ha sido acondicionada se probará con balas FMJ RN de 9 mm con una masa especificada de 8,0 g (124 gr) y una velocidad de 379 m/s \pm 9,1 m/s y con balas .357 Magnum JSP con una masa especificada de 10.2 g (158 gr) y una velocidad de 408 m/s \pm 9.1 m/s.

2.2.1.3. Tipo IIIA (.357 SIG; .44 Magnum)

La armadura o chaleco de Tipo IIIA que es nueva y sin utilizar se probará con munición .357 SIG FMJ Flat Nose (Similar FMJ RN de 9 mm) con una masa especificada de 8,1 g (125 gr) y una velocidad de 448 m/s \pm 9,1 m/s y con munición .44 Magnum Semi Jacketed Hollow Point (SJHP) con una masa especificada de 15.6 g (240 gr) y una velocidad de 436 m/s \pm 9.1 m/s.

La armadura de Tipo IIIA que ha sido acondicionada se probará con munición .357 SIG FMJ FN con una masa especificada de 8,1 g (125 gr) y una velocidad de 430 m/s \pm

9,1 m/s y con munición .44 SJHP con una masa especificada de 15.6 g (240 gr) y una velocidad de $408 \text{ m/s} \pm 9.1 \text{ m/s}$.

2.2.1.4. *Tipo III, IV y de tipo especial.*

Estos tipos de rendimiento balístico utilizan una munición diferente a 9mm, por lo que esta fuera del alcance de este proyecto, se las menciona para no descartarla de la clasificación.

2.2.2. Terminología

2.2.2.1. *Ángulo de Incidencia*

Se denomina al existente entre la trayectoria del proyectil y la línea perpendicular al plano tangente a la superficie del chaleco en el punto de impacto.

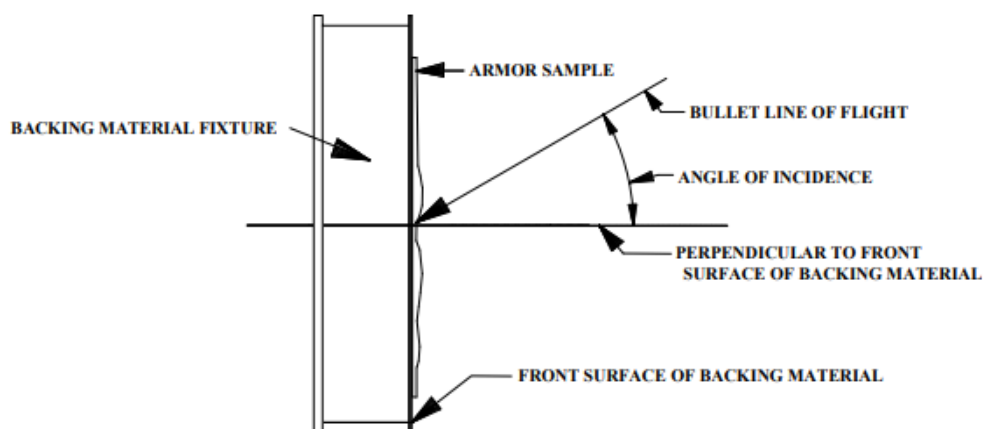


Figura 8. Ángulo de incidencia

Fuente: (NIJ Standard-0101.06, 2008)

2.2.2.2. *Portador de blindaje*

Un componente de la muestra blindada cuyo propósito principal es retener el panel balístico y proporcionar un medio de soportar y asegurar el blindaje en la ropa del usuario. Generalmente el soporte no es resistente a las balas.

2.2.2.3. *Panel Blindado*

Porción de una muestra blindada que consiste en una cubierta balística y su panel interno.

2.2.2.4. *Backface Signature (BFS)*

Es la mayor distancia de penetración en el material de respaldo causado por un impacto no perforante en la armadura o muestra blindada. El BFS es la distancia perpendicular entre dos planos, los cuales son paralelos a la superficie frontal del material de soporte.

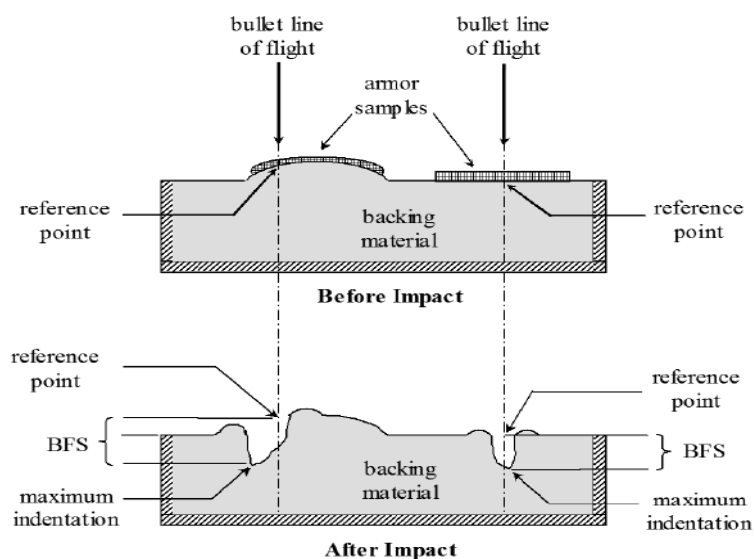


Figura 9. Ejemplo de medición del BFS

Fuente: (NIJ Standard-0101.06, 2008)

2.2.2.5. *Límite balístico*

Para un tipo de bala, es la velocidad en que la bala se espera que perfora el blindaje con el 50% del tiempo. El límite balístico es usualmente denotado como V50.

2.2.2.6. *Panel Balístico*

Componente de protección de la muestra blindada o del panel blindado, de materiales resistentes balísticos. El panel balístico es normalmente encerrado dentro de un portador de armadura.

2.2.2.7. *Límite balístico de línea de base*

Es el límite balístico derivado experimentalmente de un modelo de blindaje cuando sea nuevo.

2.2.2.8. *Body Armor*

Es un elemento de equipo de protección personal que proporciona contra amenazas balísticas específicas dentro de su área de cobertura. En esta norma, el término armadura o blindaje se refiere aquello que proporciona cobertura principalmente para el torso.

2.2.2.9. *Perforación*

Nomenclatura para penetración completa luego de un disparo.

2.2.2.10. *Muestra blindada*

Una prenda blindada, usualmente el panel blindado frontal, posterior y el portador de blindaje comprende una muestra blindada corporal.

2.2.2.11. *Velocidad de Impacto*

Las velocidades de impacto consignadas en la clasificación de la norma, corresponden a las velocidades mínimas exigidas por el ensayo para cada nivel de resistencia balística, y se especifica como velocidad máxima para cada nivel, aquella que supera a la indicada en 15 m/s (50 pies/seg.)

2.2.2.12. *Material de Apoyo*

El material de apoyo está constituido por un bloque de arcilla de modelar al aceite, de endurecimiento retardado, que está en contacto con la cara posterior del chaleco durante el ensayo.

2.2.2.13. *Deformación*

Este parámetro constituye el mayor desplazamiento temporario de la cara posterior del chaleco antibalas sometido a ensayo, provocado por el impacto de un disparo válido que no lo perfora, esto es siempre y cuando el chaleco está en contacto con el material de apoyo.

2.2.2.14. *Disparo Válido*

Se denomina así, a un proyectil que impacta en el chaleco, con un ángulo de incidencia que no varía en más de 5° hacia una u otra dirección, respecto del ángulo de incidencia exigido por la Norma (Tabla 5). Adicionalmente deberá mantener una distancia mínima al borde del panel balístico de 76 mm (3") y estar separado de la impronta de un impacto anterior, una distancia no inferior de 50 mm (2") y no diferir su velocidad en más de 15 m/s (50 pies/seg.) en exceso, respecto de la velocidad mínima exigida por la especificación, para el nivel de resistencia balística determinado (NIJ Justice, 2008).

Tabla 5.
Resumen de pruebas de rendimiento.

Armor Type	TEST VARIABLES				PERFORMANCE REQUIREMENTS				SHOT REQUIREMENTS				Total Shots Required
	Test Round	Test Bullet	Bullet Mass	Conditioned Armor Test Velocity*	New Armor Test Velocity*	Hits Per Panel at 0° Angle	Maximum BFS Depth	Hits Per Panel at 30° or 45° Angle [†]	Shots Per Panel	Panel Size	Panel Condition	Panels Required	
IIA	1	9 mm FMJ RN	8.0 g (124 gr)	355 m/s (1165 ft/s)	373 m/s (1225 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	Large	New	4	24
										Small	Conditioned	2	12
	2	.40 S&W FMJ	11.7 g (180 gr)	325 m/s (1065 ft/s)	352 m/s (1155 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	Large	New	4	24
										Small	Conditioned	2	12
II	1	9 mm FMJ RN	8.0 g (124 gr)	379 m/s (1245 ft/s)	398 m/s (1305 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	Large	New	4	24
										Small	Conditioned	2	12
	2	.357 Magnum JSP	10.2 g (158 gr)	408 m/s (1340 ft/s)	436 m/s (1430 ft/s)	4	44 mm (1.73 in)	2	6	Large	New	4	24
										Small	Conditioned	2	12

Fuente: (NIJ Justice, 2008)

2.2.2.15. *Proyectil Encamisado (FMJ)*

Se trata de una bala de núcleo de plomo o aleación de plomo recubierta por una camisa de aleación, con excepción o no de su base.

2.2.2.16. *Proyectil Encamisado Punta Blanda (JSP)*

Se trata de una bala con núcleo de plomo o aleación de plomo, recubierta por una camisa de aleación, exceptuada la punta.

2.2.2.17. *Penetración*

Se denomina de este modo, a la perforación completa del chaleco de ensayo por un proyectil válido, o por un fragmento de ese proyectil o del panel balístico, evidenciado por la presencia del proyectil o del fragmento en el material de apoyo, o por el orificio que atraviesa el material de apoyo.

2.2.2.18. *Cara de Impacto del Chaleco*

Está constituida por la superficie diseñada por el fabricante, para enfrentar los proyectiles.

2.2.2.19. Cara Interior del chaleco

Está constituida por la superficie diseñada por el fabricante para apoyarse contra el cuerpo del usuario.

2.2.3. Condiciones de prueba ambientales.

Las condiciones ambientales se registrarán antes y después de cada secuencia de disparo del panel de blindaje (6 o 12 disparos) y, a menos que se especifique lo contrario, serán las que se indican a continuación.

(a) Temperatura: $21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($70\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{F}$).

(b) Humedad relativa: $50\% \pm 20\%$.

2.2.4. Rango de preparación.

El equipo de prueba se organizará como se muestra en la Figura 10. Para las rondas de pruebas de armas de fuego, el panel de blindaje deberá montarse a $5.0\text{ m} \pm 1.0\text{ m}$ de la boca del cañón de prueba. Para minimizar la posibilidad de una onda excesiva al impacto, o por otras razones de configuración del rango, la distancia puede ajustarse para cada amenaza; sin embargo, la distancia no deberá ser inferior a 4 m (13.1 pies) para cualquier ronda de prueba.

El accesorio de material de respaldo debe ser sostenido rígidamente por un banco de pruebas adecuado, lo que permitirá que todo el conjunto de armadura y material de soporte se mueva vertical y horizontalmente de manera que se pueda enfocar toda la cara del material de respaldo.

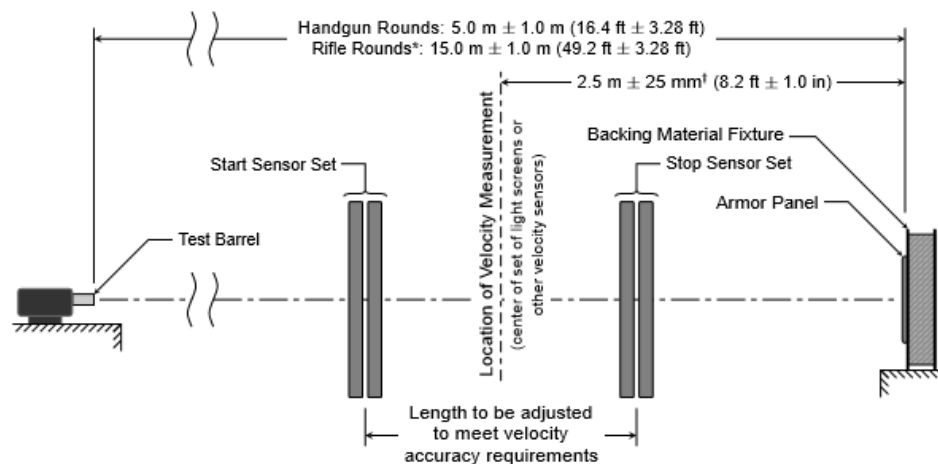


Figura 10. Configuración del rango de prueba
 Fuente: (NIJ Justice, 2008)

2.2.5. Material de soporte

En interés de la conformidad entre laboratorios, se utilizará la plastilina No. 11 basada en aceite de Roma como material de respaldo. El material de respaldo deberá reemplazarse anualmente o con mayor frecuencia si es necesario.

2.2.6. Preparación de la superficie del material de respaldo

La arcilla en cada accesorio de material de respaldo debe ser manipulada para producir un bloque libre de huecos, con una superficie frontal lisa para la medición precisa y consistente de profundidades de depresión. La superficie frontal del material de respaldo debe ser uniforme con el plano de superficie de referencia definido por los bordes del accesorio. Se deben usar dispositivos de impacto de suficiente longitud para asegurar que la superficie de referencia se establezca utilizando los bordes del bloque de arcilla como puntos de índice.

Para la armadura corporal no plana, el material de respaldo debe construirse para ajustarse a la forma de la armadura no plana.

2.2.7. Acondicionamiento del material de respaldo

El material de refuerzo de arcilla debe acondicionarse en su accesorio usando una cámara o recinto caliente. La temperatura de acondicionamiento real y el tiempo de recuperación entre usos se determinarán por los resultados de la prueba de caída de validación.

Se debe usar arcilla adicional, acondicionada a la misma temperatura inicial que el accesorio, para rellenar los huecos y restaurar la superficie frontal del material de respaldo según sea necesario.

2.2.8. Validación de la coherencia del material de respaldo

La validación de la prueba de caída del material de respaldo debe realizarse antes de cada secuencia de prueba P-BFS de seis disparos y antes de cada secuencia de prueba de BL de 12 disparos. El incumplimiento de los requisitos de profundidad de la prueba de caída dará como resultado la invalidación de todas las series de disparos desde la última prueba de caída con profundidades de abolladuras aceptables, y requerirá que se use una nueva fijación de material de respaldo validada y acondicionada. La validación se realizará utilizando el equipo y las técnicas que se especifican a continuación:

- | | |
|-----------------------------|---|
| (a) Gota de peso: | Esfera de acero. |
| (b) Tamaño de peso de gota: | 63.5 mm \pm 0.05 mm (2.5 in \pm 0.001 in)
de diámetro. |
| (c) Masa de caída de masa: | 1043 g \pm 5 g (2.29 lb \pm 0.01 lb). |
| (d) Altura de caída: | 2.0 m (6.56 pies). |

(e) Espaciado de gota: Mínimo de 76 mm (3.0 in) desde el borde del dispositivo hasta el borde de la plantilla y un mínimo de 152 mm (6.0 in) entre los centros de sangrado.

Cada gota de validación consistirá en una caída libre y dirigida de la esfera de acero sobre el material de respaldo acondicionado. Cinco gotas se completarán. Las posiciones de bajada antes y después de la prueba se ubicarán de acuerdo con la Figura 11 y el punto (e) anterior.

La media aritmética de las cinco abolladuras de profundidad de será de $19 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ ($0.748 \text{ in} \pm 0.08 \text{ in}$). Además, ninguna abolladura debe ser mayor de 22 mm (0,866 in) o menor de 16 mm (0,630 in).

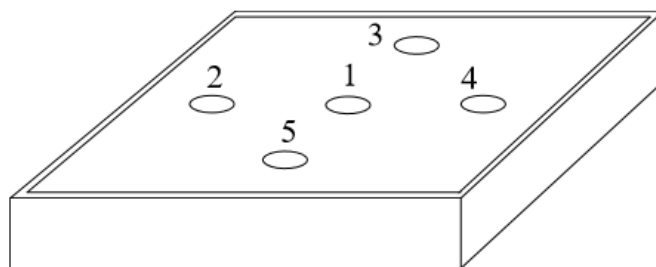


Figura 11. Ubicaciones generales de caída previa a la prueba
Fuente: (NIJ Standard-0101.06, 2008, p25)

CAPÍTULO III

El capítulo III se describe las etapas que se realiza para el diseño del proyecto, varios autores describen procesos distintos para el desarrollo de un producto o proyecto, para el presente se utilizará la metodología descrita en el libro de Karl T. Ulrich y Steven D. Eppinger llamado “Diseño y desarrollo de productos”.

En este capítulo se visualiza el proceso de diseño en sus diferentes etapas hacia el prototipo final, donde métodos estructurados serán aplicados para la implementación conforme a las necesidades del cliente.

3.1. Metodología de diseño.

El procedimiento genérico del “Diseño y desarrollo de productos” de Ulrich y Eppinger es el siguiente (Figura 12):

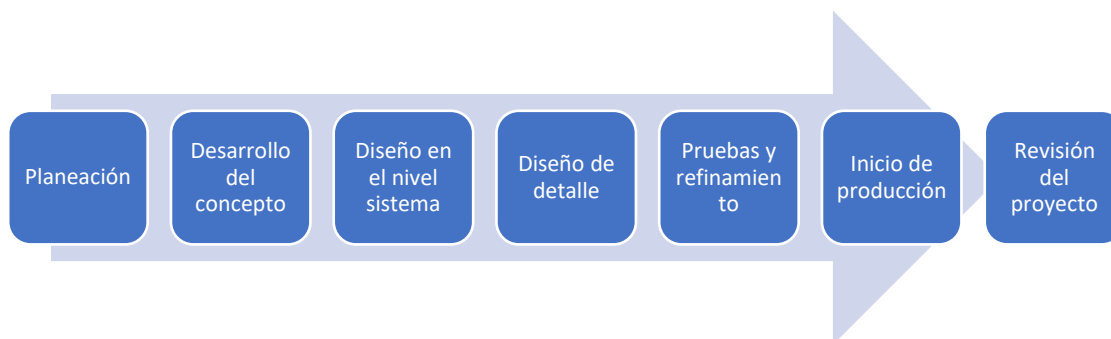


Figura 12. Proceso genérico del desarrollo del producto

Fuente: (Ulrich K., Eppinger S., 2013)

Las fases de desarrollo del concepto del producto son aplicables a este proyecto y se muestra en la Figura 13.



Figura 13. Actividades que comprenden la fase de desarrollo del concepto.

Fuente: (Ulrich K., Eppinger S., 2013)

3.1.1. Identificación de las necesidades del cliente

Las necesidades de este proyecto se basan en el personal de laboratorio o militar que realiza las pruebas de resistencia balística para chalecos con la norma NIJ Standard-0101.06. El objetivo de identificar la necesidad del cliente es:

- Cerciorar que el prototipo se adapte de la mejor manera a las necesidades del personal del laboratorio de balística, es decir, del cliente.
- Verificar las necesidades latentes u ocultas.
- Analizar que no falte o se pase por alto alguna de las necesidades críticas del cliente.
- Desarrollar un entendimiento integral del proceso y socializarlo con los que intervienen en la prueba.

3.1.1.1. Recopilación de datos

Al momento de recopilar datos se tuvo entrevistas con el personal que opera las armas 9 mm y se logra observar cómo se realiza esta prueba en el túnel de pruebas balísticas.

El personal de Santa Bárbara EP supo exponer las necesidades del proyecto como se observa en la columna 2 de la Tabla 6.

3.1.1.2. *Interpretar datos sin procesar en términos de las necesidades del cliente*

Las necesidades que nos da el cliente se expresan como enunciados escritos y son el resultado de interpretar las necesidades. Para obtener estos datos fue necesaria una reunión con personal de Santa Bárbara EP experimentado en las pruebas NIJ, en la columna 3 están las necesidades del cliente interpretadas utilizando el procedimiento de Ulrich; al categorizar las necesidades del personal se facilita la toma de decisiones en cuanto a las variables importantes y/o críticas para el diseño del proyecto.

Tabla 6.

Plantilla de datos del cliente llenado con declaraciones de éste y necesidades del cliente.

Nro	Enunciado del Cliente	Necesidad Interpretada	Prioridad
1	Es importante la precisión del manipulador	El manipulador tiene buena precisión	5
2	Se requiere que la base giratoria tenga 30 y -30 grados.	La base giratoria tiene que tener movilidad	5
3	Se necesita el material de apoyo para poner la plastilina roma N1, como especifica la norma NIJ	El material de apoyo debe cumplir con las medidas reglamentarias	4
4	Que la base giratoria resista el impacto de la bala 9 mm	La base giratoria es resistente al impacto	4
5	Me gustaría que el módulo tenga una interfaz gráfica fácil de manipular	La interfaz en Python cuenta con ventanas interactivas de fácil acceso.	4
6	Que la interfaz gráfica tenga seguridad para que cualquier usuario no pueda manipularla	La interfaz gráfica puede tener claves de acceso.	4
7	Que la pistola apunte a un sistema de coordenadas en la placa de material de apoyo.	El material de apoyo cuenta con un sistema de referencia.	4

8	Me gustaría que el diseño de la base que sostiene la pistola me permita cambiarla.	El manipulador permite cambiar de armas calibre 9 mm.	4
9	Que la distancia entre el cañón de la pistola y el chaleco antibalas cumpla con la distancia de la norma NIJ	La distancia entre el cañón de la pistola y el chaleco cumpla con la norma NIJ	4
10	Se requiere que la base giratoria soporte el peso de la plastilina roma, el chaleco y el recipiente que contiene la plastilina.	La base giratoria resiste el peso de todos los accesorios que están puestos en la parte superior.	2
11	Se requiere que la base que sostiene la pistola soporte el retroceso que se genera al momento del disparo.	El manipulador debe resistir la fuerza de retroceso de la pistola.	5
12	Debe existir un sistema de seguridad para que no se ejecute el disparo cuando hay una persona presente	El módulo está equipado con un sensor de seguridad.	5
13	La interfaz de usuario permite mover el manipulador en modo manual y automático	El módulo puede trabajar de forma manual y automática	3

3.1.1.3. *Establecer la importancia relativa de las necesidades.*

Para cada una de las necesidades interpretadas en la Tabla 8 establecemos una escala de 1 a 5 qué tan importante es esa función para el proyecto.

1. La función es indeseable. No consideraría un producto con esta función.
2. La función no es importante, pero no me importaría tenerla.
3. Sería bueno tener esa función, pero no es necesaria.
4. La función es altamente deseable, pero consideraría un producto sin ella.
5. La función es de importancia crítica. No consideraría un producto sin esta función.

3.1.2. Establecer especificaciones objetivo

3.1.2.1. *Elaborar lista de métricas*

Se establece las métricas del proyecto en base a las necesidades interpretadas en la

Tabla 7.

Tabla 7.

Matriz con la lista de métricas del proyecto.

Num métrica	Num necesidad	Métrica	Imp.	Unid
1	1	Sensibilidad del manipulador	4	cm
2	2	Base giratoria 30 y -30 grados	4	Grado
3	3	Volumen del material de apoyo como especifica la norma NIJ	4	mm ³
4	3, 10	Peso de la base giratoria para soportar el material de apoyo y plastilina	5	Kg
5	4	Resistencia de la base giratoria al impacto	4	MPa
6	5,6	HMI de fácil manipulación	4	Lista
7	7	Sistema de referencia para el disparo	4	X,Y
8	8	El manipulador es modular para armas 9mm	4	Sub
9	9	Distancia entre el chaleco y la pistola de 5m	5	m
10	11	Resistencia del manipulador a la fuerza de retroceso	5	MPa
11	12	Área completa cubierta por un sistema de seguridad.	4	m ²
12	13	Modo manual y automático	4	Sub

En la Tabla 7 se observa la lista de métricas del proyecto, la misma que sirve para construir la matriz de necesidades-métricas.

3.1.2.2. Valores objetivo-ideales y marginalmente aceptables.

En base a la norma NIJ y a la información recopilada de algunos subsistemas del módulo de pruebas, se establecen los valores marginalmente aceptables y el valor ideal de las métricas.

Tabla 9.
Especificaciones objetivo del módulo balístico.

Num métrica	Métrica	Imp.	Unid	Valor Marginal	Valor ideal
1	Sensibilidad del manipulador	4	cm	0,5	0,1
2	Base giratoria 30 y -30 grados	4	Grado	$\pm 4^\circ$	30° y -30°
3	Volumen del material de apoyo como especifica la norma NIJ	4	mm ³	610x610x140	610x610x140
4	Peso de la base giratoria para soportar el material de apoyo y plastilina	5	Kg	90-96	91,78758
5	Resistencia de la base giratoria al impacto	4	MPa	100	120
6	HMI de fácil manipulación	4	Lista	Lista	Lista
7	Sistema de referencia para el disparo	4	X,Y	610x610	610x610
8	El manipulador es modular para armas 9mm	4	Sub	Lista	Lista
9	Distancia entre el chaleco y la pistola de 5m	5	m	$\pm 0,5$	5
10	Resistencia del manipulador a la fuerza de retroceso	5	MPa	100	120

11	Área completa cubierta por un sistema de seguridad.	4	m ²	± 4	25
12	Modo manual y automático	4	Sub	Lista	Lista

El valor ideal que se describe en la Tabla 9 es al que se quiere llegar en este proyecto con las métricas establecidas, donde el valor marginal es lo que puede variar dentro de del rango establecido.

3.1.3. Generación de conceptos.

Para esta etapa es vital tomar en cuenta el conjunto de necesidades del cliente y las especificaciones objetivo planteadas.

3.1.3.1. Diagrama funcional del módulo balístico

Para realizar el diagrama funcional del módulo balístico se trabaja como si todo el proyecto es una caja negra, luego se define las entradas y salidas para poder realizar una descomposición de las funciones y subfunciones.

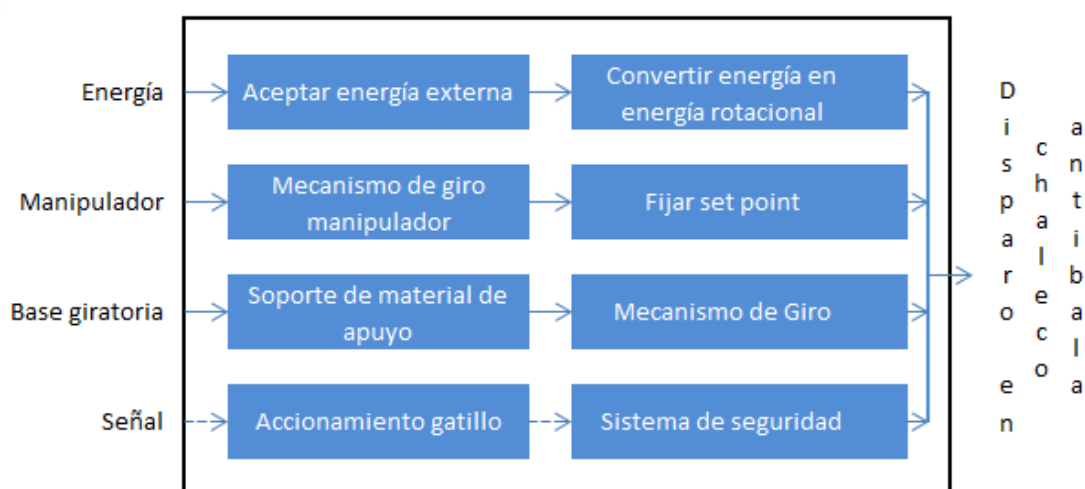


Figura 14. Diagrama funcional del módulo balístico

3.1.3.2. Exploración sistemática

3.1.3.2.1. Árbol de clasificación de conceptos.

El árbol de clasificación de conceptos ayuda en posicionar las posibles soluciones en varias clases que se pueden comparar y eliminar. De acuerdo con el diagrama funcional en la Figura 15 el árbol de generación de conceptos no ayudará a generar ideas para solucionar cada una de las subfunciones.

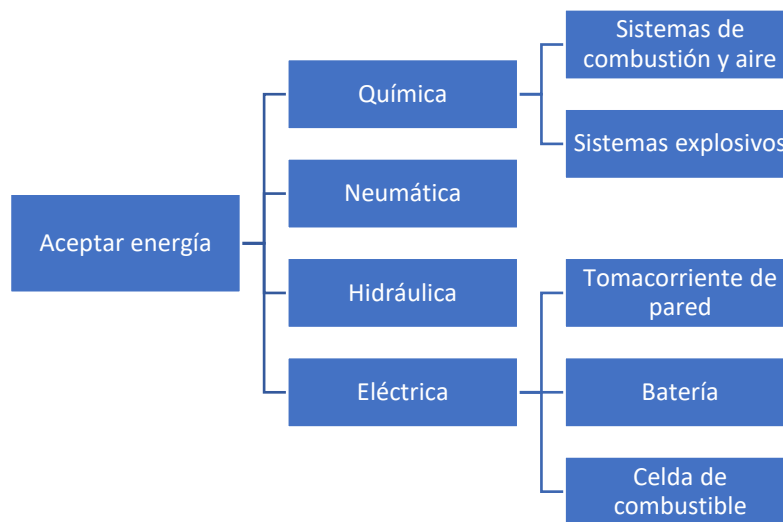


Figura 15. Árbol de clasificación de conceptos - Aceptar energía.

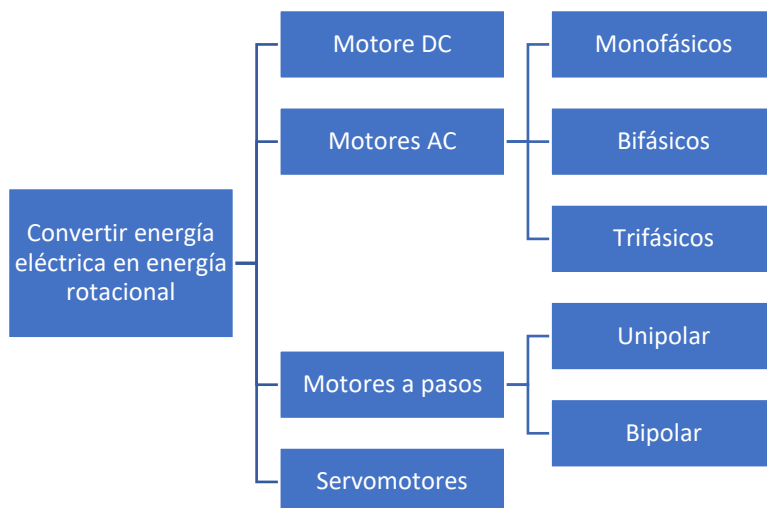


Figura 16. Convertir energía eléctrica en energía rotacional.

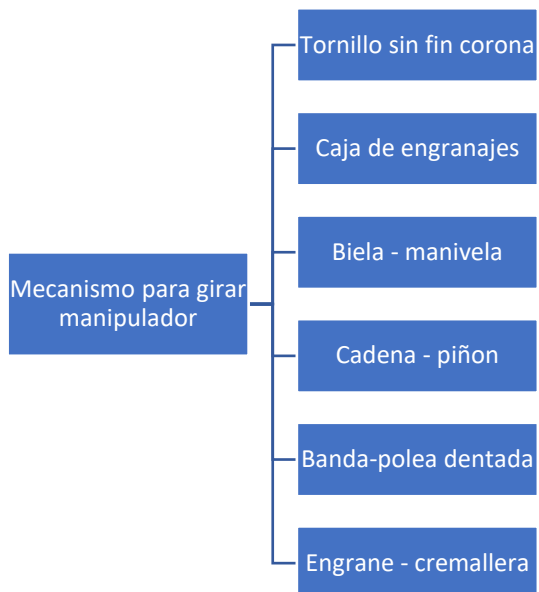


Figura 17. Mecanismo para girar manipulador.

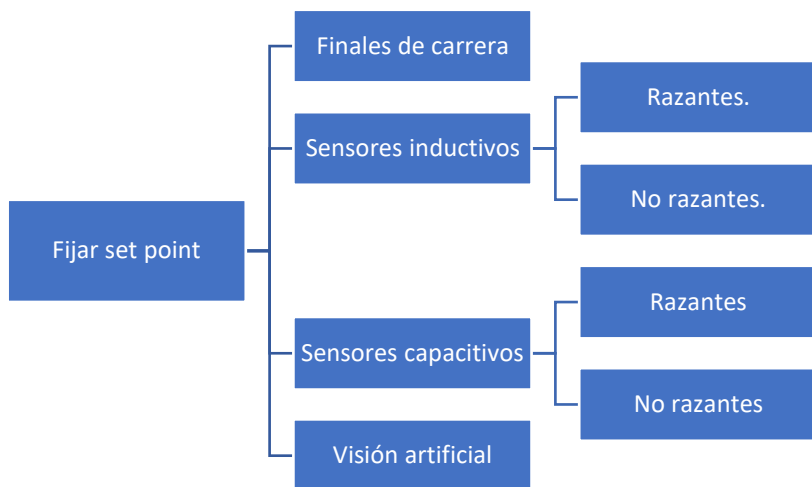


Figura 18. Fijar Set Point

Con las Figuras 15, 16, 17 y 18 se tiene una idea clara de los componentes y mecanismos que se puede utilizar para el diseño del manipulador.

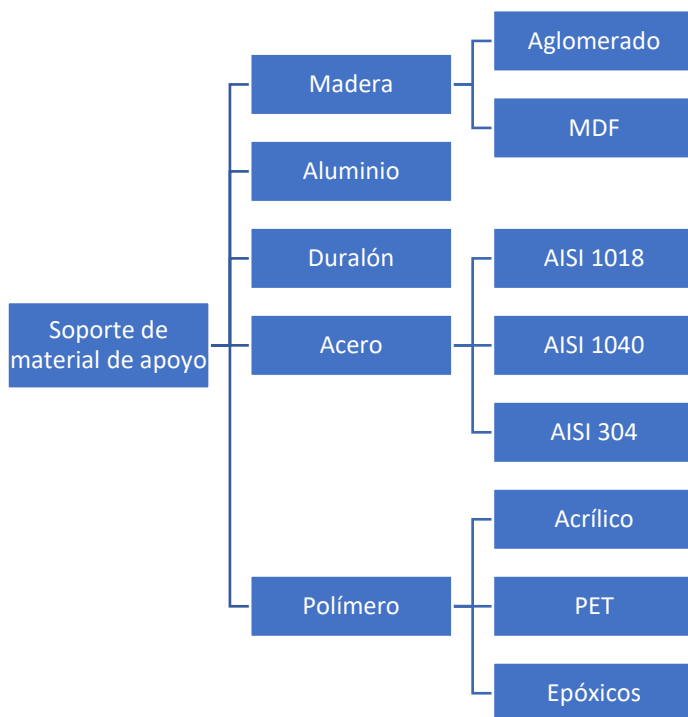


Figura 19. Soporte de material de apoyo

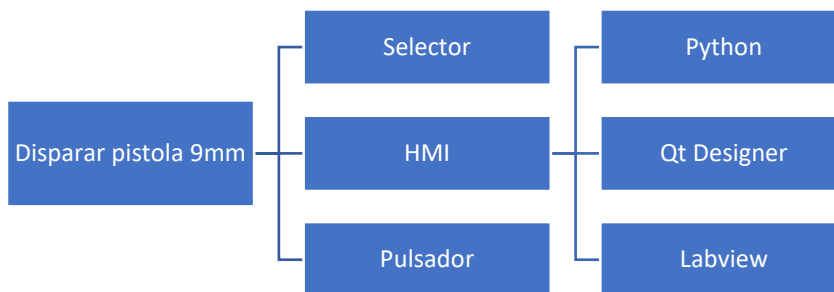


Figura 20. Disparar arma calibre 9mm

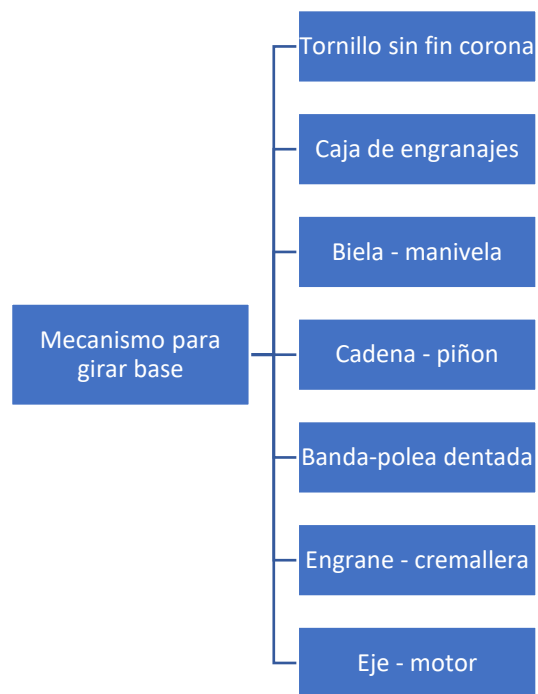


Figura 21. Mecanismo para girar base.

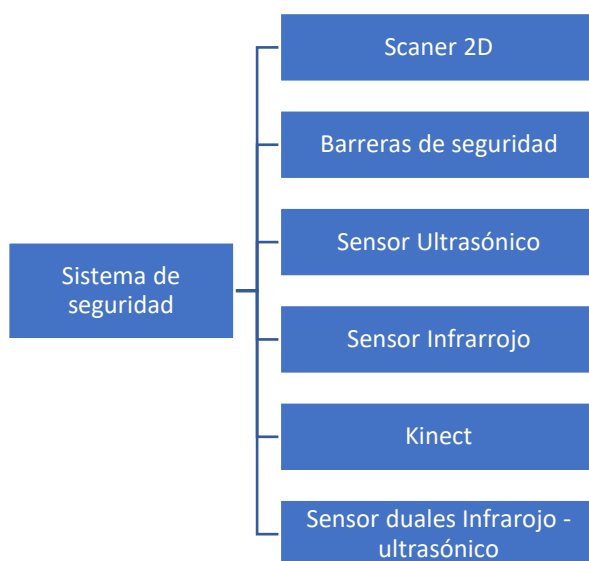


Figura 22. Sistema de seguridad.

En la Figuras 19, 20, 21 y 22 se tiene una idea clara de los componentes, sistemas y mecanismos que se utilizarán en el diseño de la base giratoria.

3.1.3.2.2. Tabla de combinaciones

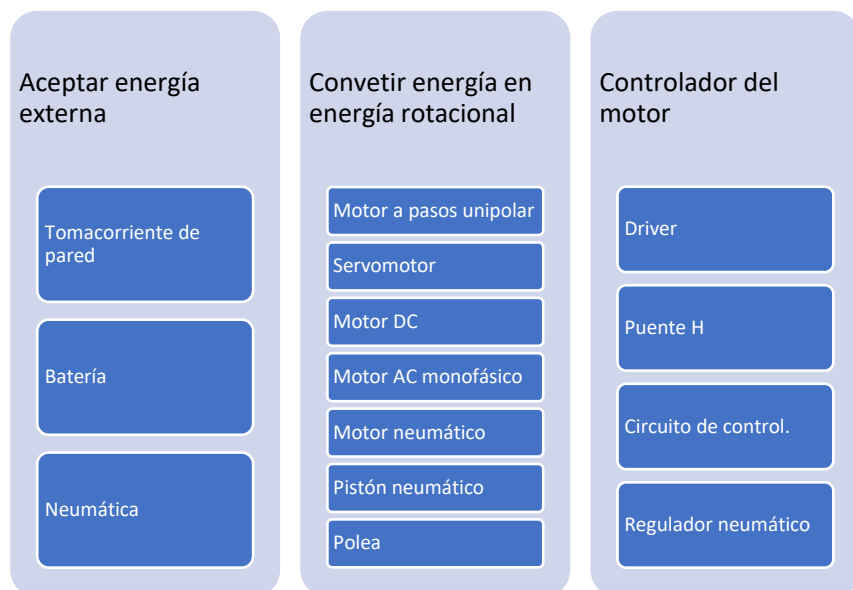
La tabla de combinación de conceptos contiene una forma de considerar de manera sistemática combinaciones de fragmentos de soluciones. Definir la tabla de combinaciones nos permitirá reducir los tiempos en diseño puesto que brinda lineamientos claves para los bosquejos y posibles respuestas para la necesidad latente y planteada por el cliente. De ser así se desglosó por subsistemas para hallar la solución correspondiente a cada uno de los componentes dentro del proceso de pruebas balísticas.

3.1.3.2.2.1. *Energía del manipulado y base giratoria.*

La tabla de combinaciones de la Tabla 10 permite realizar un análisis para aceptar la energía del manipulador y base giratoria para transformarla en energía rotacional.

Tabla 10.

Tabla de combinaciones de la energía del manipulador y base giratoria

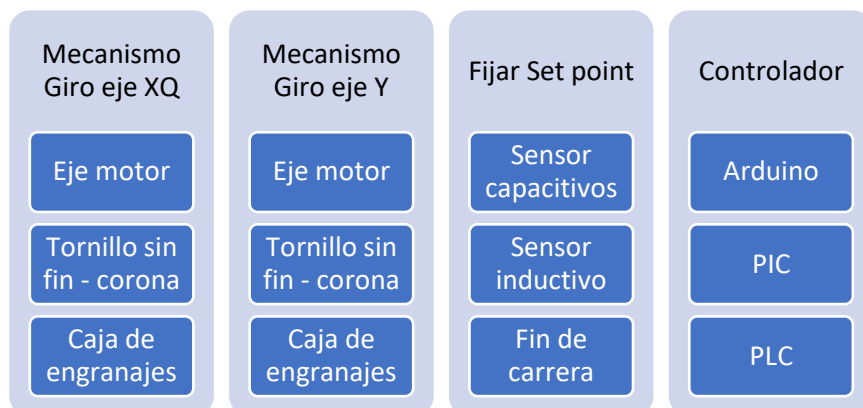


3.1.3.2.2.2. *Manipulador*

La tabla de combinación del manipulador (Tabla 11) permite ver los posibles mecanismos que pueden solucionar el posicionamiento del eje X y eje Y.

Tabla 11.

Tabla de combinaciones manipulador.



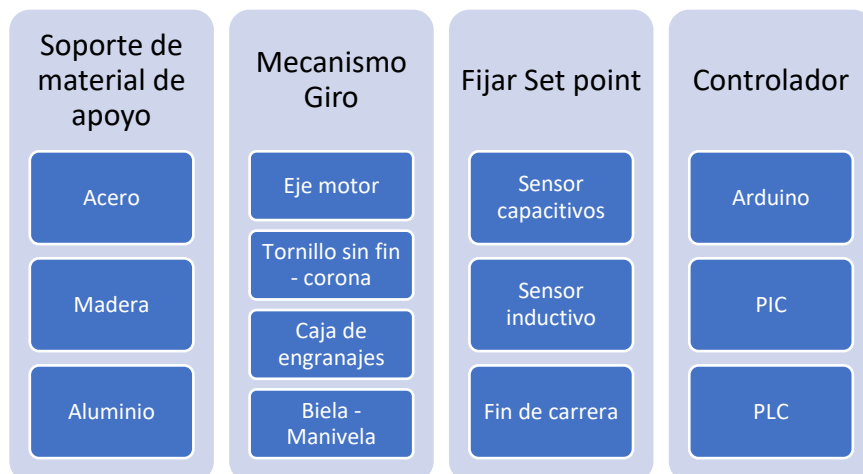
3.1.3.2.2.3. Base Giratoria

La base giratoria es la parte del módulo balístico que sirve de soporte para la armadura, plastilina balística, material de apoyo. Esta base gira 30 y -30 grados para cumplir con el procedimiento de la norma NIJ Standard-0101.06.

En la Tabla 12 se observa las posibles soluciones para realizar el mecanismo de la base giratoria.

Tabla 12.

Tabla de combinaciones base giratoria.



3.1.3.2.3. Generación de conceptos base giratoria.

La base giratoria es la parte del módulo balístico que integra el chaleco, soporte, plastilina balística y material de apoyo.

El soporte de material de apoyo al ser un diseño simple se utiliza el mismo diseño para los conceptos que se puedan generar.

La densidad de la plastilina balística según la Figura 23 es:

Material	Thermal conductivity [W/(m·K)]	Heat capacity [J/(kg·K)]	Density [kg/m ³]
Plastilina #1	0.6	1280	1570
Plywood	0.15	1410	540
Aluminum [16]	215	910	2700
Stainless steel (AISI 304) [17]	16	480	7920
Polystyrene insulation [18]	0.03	1340	20

Figura 23. Densidad de la plastilina balística

Fuente: (Bentz & Forster, 2011)

$$d_p = 1570 \text{ kg/m}^3$$

El volumen donde se encuentra la plastilina balística es:

$$V = 62 \times 62 \times 14,5 \text{ cm}^3$$

$$V = 0,055738 \text{ m}^3$$

La masa de la plastilina balística es:

$$m = V \cdot d_p = 87,5 \text{ kg}$$

Dentro del soporte del material de apoyo se encuentra la plastilina balística, por lo cual este debe soportar 87,5 kg.

En la Figura 24 se observa el diseño del soporte del material de apoyo, con la perfilería de acero A 36 y el recubrimiento de madera.

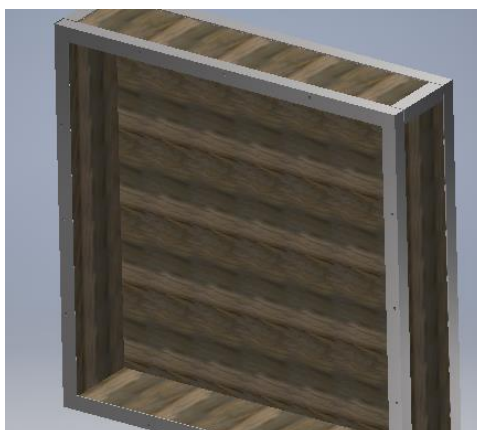


Figura 24. Soporte del material de apoyo

El perfil del soporte se diseña de acero y la parte interna de madera, las masas calculadas se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13.

Densidades, volúmenes y masas de las partes que integran el soporte del material de apoyo.

Cantidad	Parte	Densidad [Kg/m ³]	Volumen[mm ³]	Masa [kg]	Masa total [kg]
1	Tapa posterior	540	3767481	2,62	2,62
2	Tapa lateral	540	1126761	0,62	1,24
2	Tapa lateral 2	540	1068152	0,587	1,174
4	Angulo laterales	7850	98421,633	0,773	3,092
4	Angulo inferior	7850	96896,109	0,761	3,044
4	Angulo pequeño	7850	16644,175	0,131	0,524
				Total	11,694

La suma de las masas del soporte del material de apoyo y la plastilina balística nos da un total de:

$$m_s = (11,694 + 87,5)kg = 99,194 kg$$

El motor escogido para la base giratoria tiene que ser un motor de alto torque y fácil de controlar, los motores DC cumplen con las características antes mencionadas en la Figura 25, se encuentra las características del motor que se utilizara.

Performance	
Velocidad (m/s)	0,25
Fuerza (N)	400
Ciclo de trabajo (ciclos/hora)	20
Datos dimensionales y generales	
Grado de protección (IP)	44
Temp. de servicio (°C Mín/Máx)	-20 ÷ +50
Dimensiones (mm)	330x195x277 h
Peso (kg)	8

Figura 25. Catácteristica Motor DC 12 V

Fuente: <https://www.roydisa.es/tienda/es/automatismos-nice/6552-kit-puerta-corredera-nice-road-400-kit.html>

Y para controlar este motor es necesario un controlador o drive que permita realizar el cambio de giro con facilidad.

Para el diseño del mecanismo de la base giratoria se utiliza la tabla de combinaciones de la base giratoria (Tabla 12), los conceptos generados son los siguientes:

3.1.3.2.3.1. *Concepto 1 Base giratoria*

Para que la tarjeta de control no tenga problemas de interpretar las señales de los sensores y luego procesarlas y enviar las señales de control. Como los motores son de altas revoluciones (60 rpm) se necesitan varios mecanismos para obtener al final 0,5 a 1 rpm y obtener el tiempo que necesita el controlador para procesar las señales.

Para el mecanismo de giro debe cumplir que el ángulo que da el soporte de 0 a 30 grados para cumplir requerimiento de la norma NIJ tenga un tiempo de 5 a 7 segundos, por lo que las relaciones de velocidades al final deben ser:

$$\theta = 30^\circ$$

La velocidad del motor es:

$$V = 15 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

El radio del engranaje del piñón del motor es:

$$\phi = 75 \text{ mm}$$

La velocidad angular es:

$$\omega = \frac{V}{r}$$

$$\omega = \frac{15}{0,0375} \cdot \frac{1}{\text{min}} = 400 \frac{1}{\text{min}}$$

La frecuencia es:

$$\omega = 2\pi f$$

$$f = \frac{400}{2\pi} \text{ rpm} = 63,66 \text{ rpm}$$

En este concepto se utiliza el mecanismo de engranajes teniendo una relación de 2 y un tornillo sin fin corona con una relación de 30 para obtener las velocidades requeridas a la salida del soporte del material de apoyo.

Por lo que la frecuencia angular en el soporte del material de apoyo sería el siguiente:

$$f_1 = 63,66 \text{ rpm}$$

Con la relación de los engranajes sería:

$$f_2 = 31,83 \text{ rpm}$$

Con la relación del tornillo sin fin corona la frecuencia en el soporte es:

$$f_3 = 1,061 \text{ rpm}$$

Para fijar el Set point se utiliza fines de carrera, los cuales van al controlador Arduino.

En la Figura 26 se realiza la generación del concepto 1 de la base giratoria.

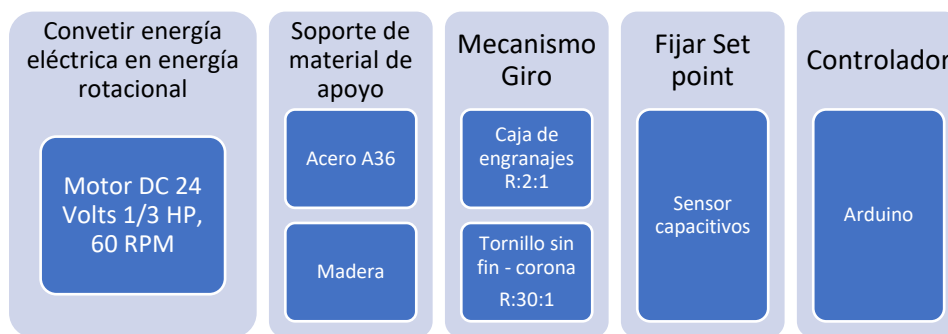


Figura 26. Generación de concepto 1 para base giratoria.

En la Figura 27 se tiene el bosquejo del concepto 1.



Figura 27. Mecanismo base giratoria concepto 1

3.1.3.2.3.2. Concepto 2 Base giratoria

Para el segundo concepto se utiliza un mecanismo biela-manivela, se tiene un motor a pasos que impulsa un tornillo para mover un carro de forma lineal que es la guía, el soporte de la plastilina balística va empotrado en la manivela, el motor a pasos permite controlar el movimiento y el ángulo de giro del soporte de la plastilina balística.

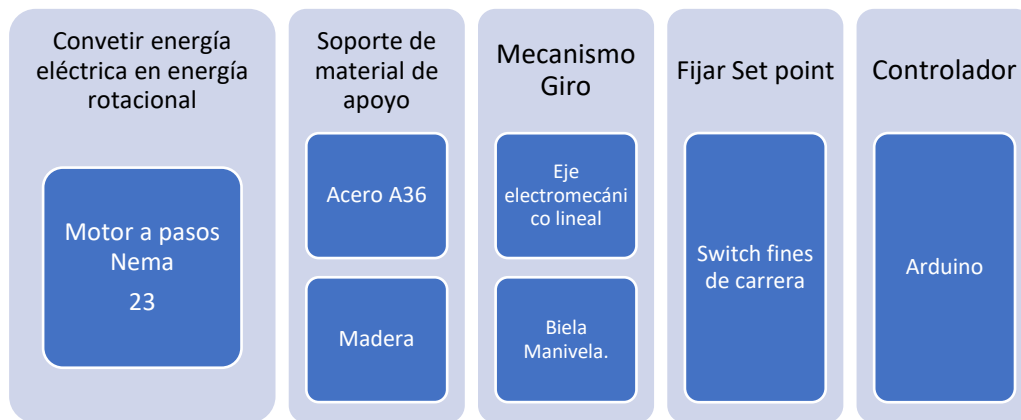


Figura 28. Generación del Concepto 2 Base giratoria

En la Figura 29 se ve la generación del concepto 2 de la base giratoria y el mecanismo para rotar 30 y -30 grados.

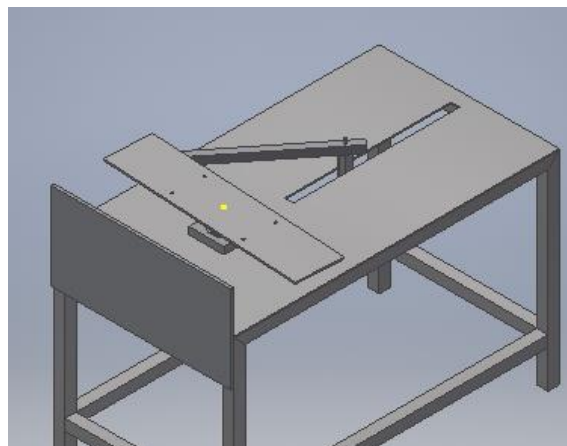


Figura 29. Mecanismo base giratorio concepto 2

3.1.3.2.3.3. Concepto 3 Base giratoria

Para este concepto se realiza un mecanismo con un pistón neumático de 12 mm de diámetro de émbolo, el soporte se encuentra girando sobre un rodamiento para realizar el giro y un pistón neumático accionado por una electroválvula que permite realizar el movimiento por dos posiciones.

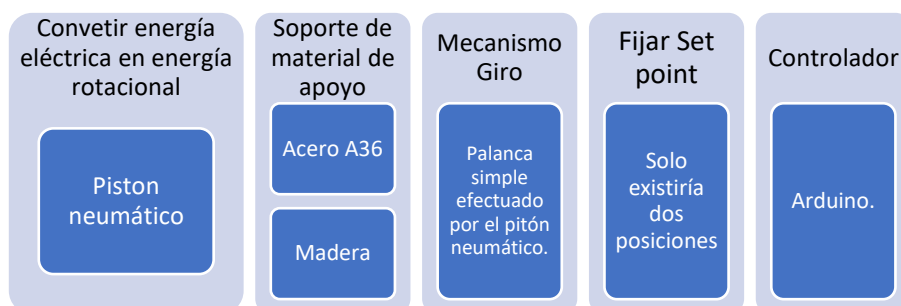


Figura 30. Concepto 3 Base giratoria

En la Figura 31 se observar el concepto 3 descrito para el diseño de la base giratoria

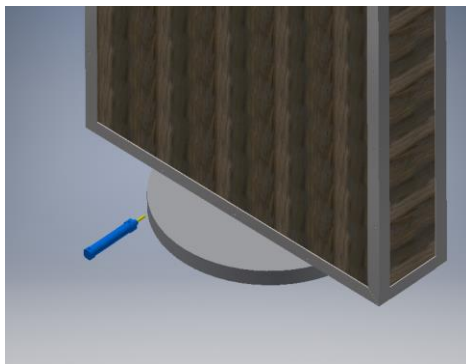


Figura 31. Bosquejo del concepto 3 de la base giratoria

3.1.3.2.4. *Generación de conceptos manipulador*

Para la generación de los conceptos del manipulador se toma en cuenta factores como sujeción del arma, posicionamiento del arma en el eje X, el posicionamiento de arma en el eje Y, el actuador que ejecuta el disparo, la fuerza de retroceso para disipar la energía del arma después del disparo y seleccionar el controlador de los motores.

El manipulador es parte del banco de pruebas con la cual podemos direccionar la trayectoria de la bala, la cual impactará sobre el chaleco, plastilina balística, etc. El parámetro fundamental del manipulador es precautelar la seguridad del personal de laboratorio y minimizar la variabilidad dentro del proceso de recopilación de datos de las pruebas balísticas. A continuación, se presenta la tabla de combinaciones base para abordar un concepto que se ajuste a las métricas planteadas anteriormente.

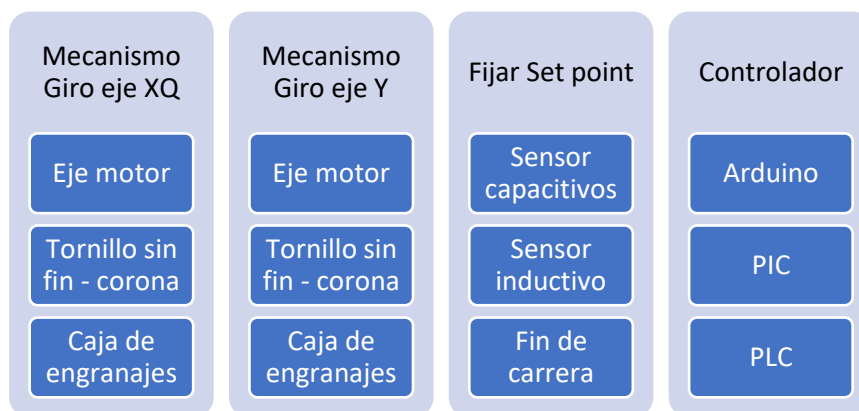


Figura 32. Tabla de combinaciones manipulador

Para elaborar los diferentes conceptos vamos a definir ciertas consideraciones tales como cálculos, variables que intervienen dentro del proceso que creemos que son de relevancia para cumplir a cabalidad la Norma NIJ Standard-0101.06.

3.1.3.2.4.1. *Concepto 1 Manipulador*

Considerando los parámetros previamente mencionados realizamos bosquejos que puedan adaptarse a las necesidades del proyecto. Para la generación de conceptos tomaremos en cuenta la tabla de combinaciones generada, enfocándonos en la parte con mayor criticidad que es el movimiento en el plano x, y.

Para el bosquejo uno, escogimos la combinación de motor a eje, es decir, por accionamiento directo tanto para el movimiento por el plano x como y. El diseño busca que a través del accionamiento directo los motores transmitan el torque necesario para mover la pistola con su mecanismo de fijación, esto con dos flechas que puedan fijarse al eje del motor. Este diseño busca disminuir el espacio y la complejidad en el ensamblaje.

En la figura 33 se realiza la generación del concepto 1 en base a la tabla de combinaciones generada para el manipulador.

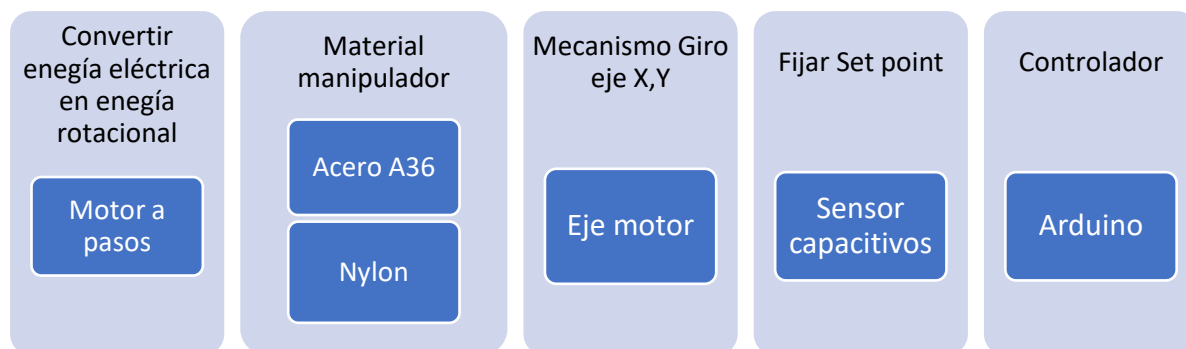


Figura 33. Combinación concepto 1

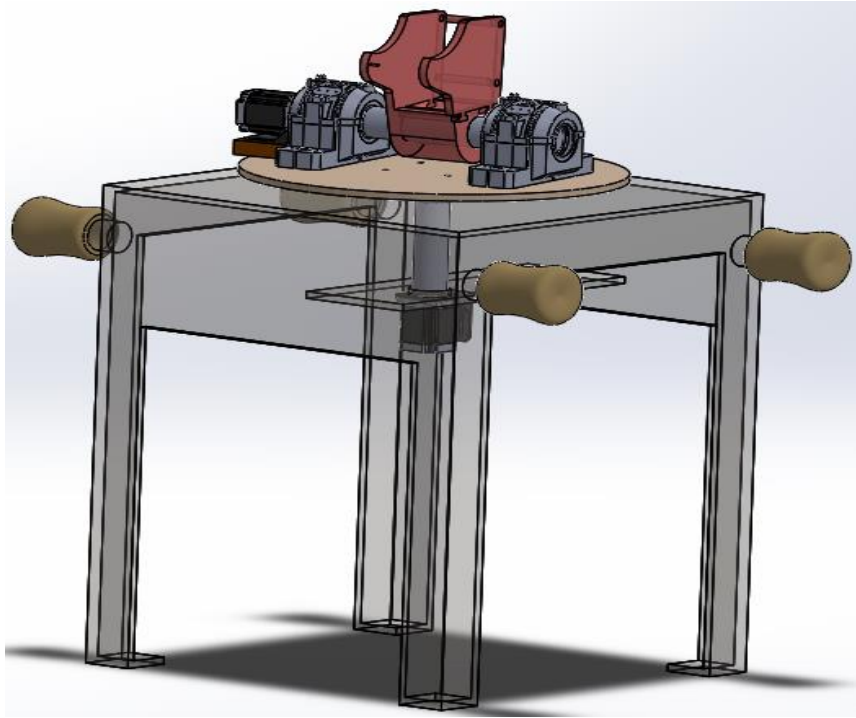


Figura 34. Bosquejo Concepto 1 Manipulador

3.1.3.2.4.2. *Concepto 2 Manipulador*

El concepto 2 del manipulador consta de varias partes:

Para la sujeción del arma en el concepto 2 se utiliza una puerta con bisagras, la cual permite colocar el arma en una matriz que encaja precisamente, luego se cierra la puerta para que el arma quede sujeta y apretada como se muestra en la Figura 35.

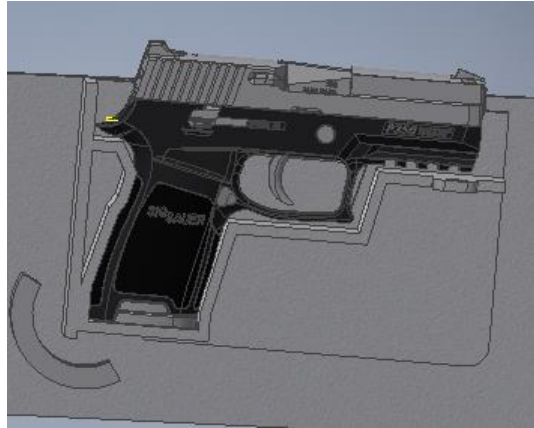


Figura 35. Sujeción del arma concepto 2.

En el diseño de la fuerza de retroceso no se utiliza ningún resorte para disipar dicha energía, esta fuerza será absorbida por un eje que se encuentra en la parte posterior y delantera del mecanismo.

Para el diseño del posicionamiento del eje X se utiliza un motor a pasos ubicado verticalmente y acoplado a un eje en la parte posterior, además tiene un eje en la parte delantera como se puede observar en la Figura 36, el eje que se encuentra en la parte posterior sirve como eje de rotación para el movimiento en el eje X, mientras que el eje que se encuentra en la parte delantera sirve como guía para el movimiento de los 8 grados que gira el arma, además tiene en su parte inferior y superior rodamientos un juego de rodamientos acoplados en una matriz, como se muestra en la Figura 37.

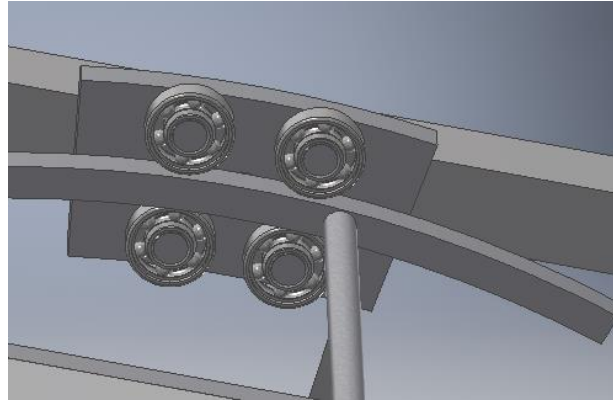


Figura 36. Rodamientos guías para posicionamiento eje X

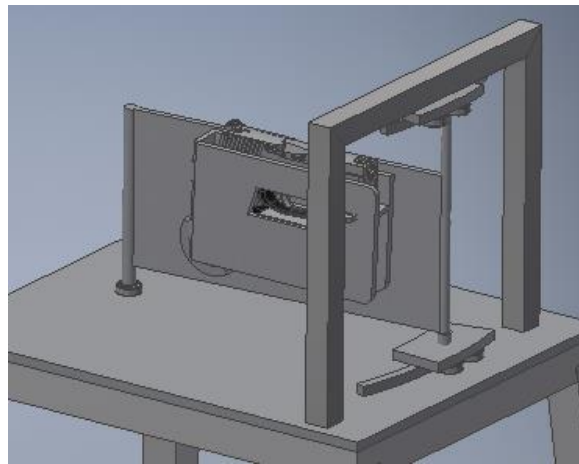


Figura 37. Posicionamiento eje X e Y para Concepto 2 del manipulador

El diseño del posicionamiento del eje Y tiene un motor a pasos el cual transmite el movimiento rotacional a la placa con la matriz que sostiene el arma como se muestra en la Figura 38.

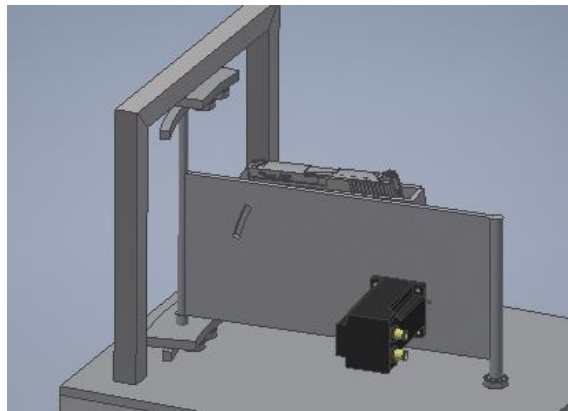


Figura 38. Posicionamiento del arma en el eje Y.

El concepto 2 descrito para los diferentes subsistemas se muestra en la Figura 39.

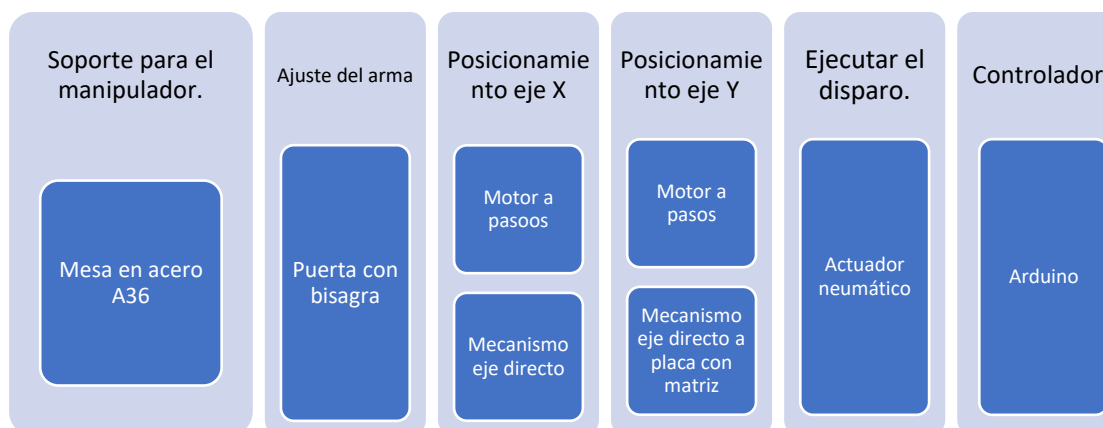


Figura 39. Concepto 2 Manipulador.

3.1.3.2.4.3. *Concepto 3 Manipulador*



Figura 40. Sujeción del arma Concepto 3.

La fuerza de retroceso consta de un sistema de resortes que permiten disipar la fuerza al momento de disparar el arma, en este concepto hay dos resortes en paralelo para realizar este trabajo, como se muestra en la Figura 41.

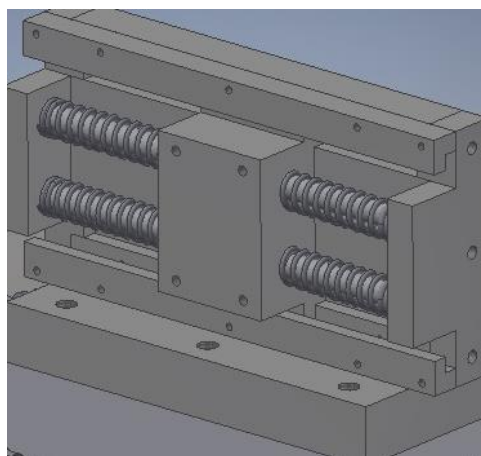


Figura 41. Fuerza de retroceso Concepto 3

Para el posicionamiento del eje X se establece un motor a pasos el cual hace girar un tornillo sin fin, el cual dará transmisión a una corona. Todo el mecanismo de posicionamiento del eje X se encuentra sobre una mesa o plataforma.

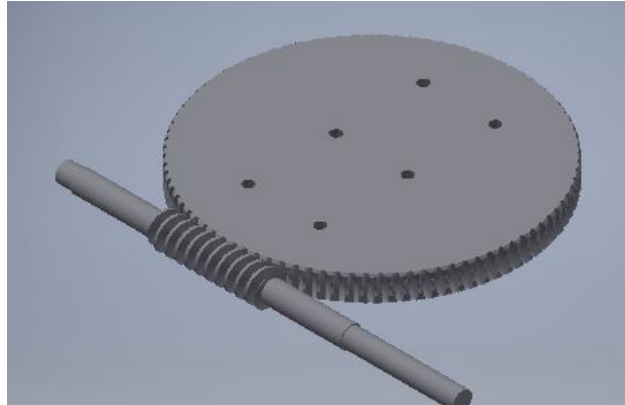


Figura 42. Posicionamiento eje X

Para el posicionamiento del eje Y se establece un motor a pasos el cual hace girar un eje electromecánico, esto quiere decir que la fuerza rotacional del motor dará movimiento a un eje lineal, el movimiento de este eje hace que un mecanismo biela manivela mueva una plataforma donde se encuentra el mecanismo de posicionamiento del eje X.

El concepto 3 descrito para los diferentes subsistemas se muestra en la Figura 43.

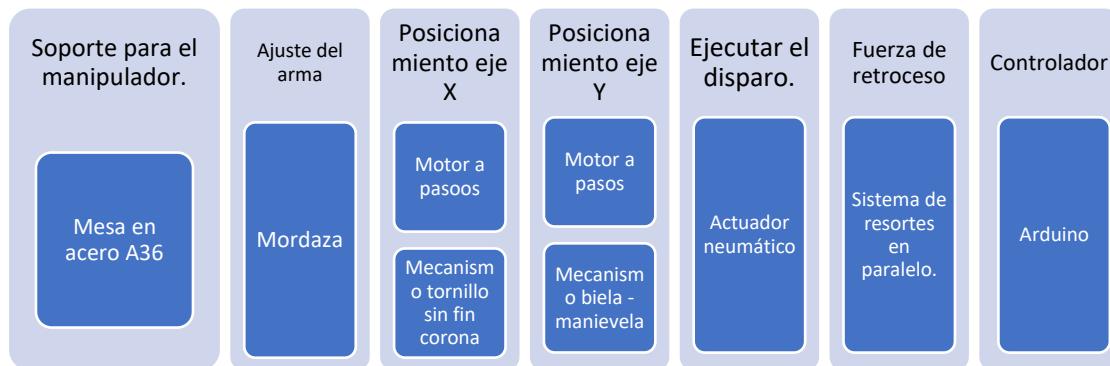


Figura 43. Concepto 3 Manipulador.

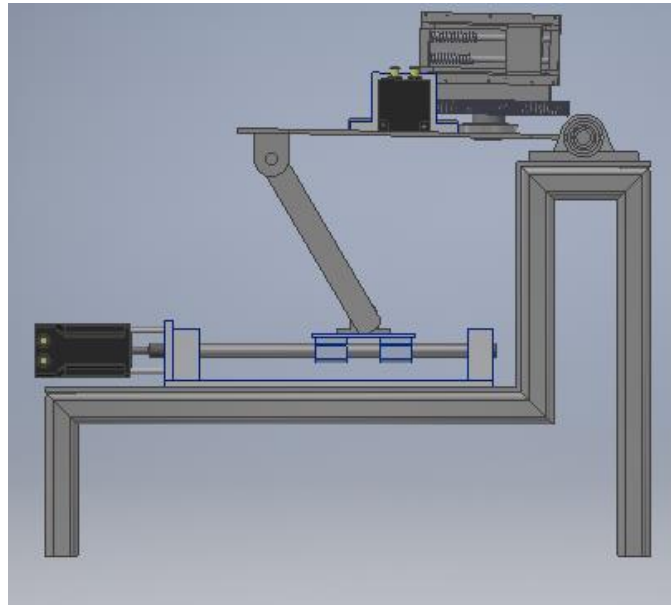


Figura 44. Bosquejo Concepto 3 Manipulador

3.1.4. Selección de conceptos.

Una vez definidos los diferentes conceptos se empieza elaborando una matriz de selección del producto donde las filas y columnas de la Tabla 14 son entradas y se compara cada una de las decisiones para analizar cuál de ellas es la más importante en el proyecto.

Tabla 14.
Matriz de selección del proyecto.

Num	Métrica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	$\Sigma+1$	Ponderación	Fracción
		Sensibilidad	Base gir 30 y -30	Volumen mat. Apoyo	Soporte materia de	Base gir res al impacto	HMI fácil	Sistema de referencia para el disparo	Modular	Distancia 5m	Fuerza de retroceso	Sistema de seguridad.	Modo manual y			
1	Sensibilidad		5	5	5	2,5	2,5	0	5	0	0	0	5	31	9,1%	0,09
2	Base gir 30 y -30	0		5	2,5	2,5	2,5	0	5	5	0	0	2,5	26	7,6%	0,08
3	Volumen mat. Apoyo	0	0		0	0	2,5	0	0	2,5	2,5	0	2,5	11	3,2%	0,03
4	Soporte material de apoyo	0	2,5	5		2,5	5	0	2,5	5	2,5	2,5	2,5	31	9,1%	0,09
5	Base gir res al impacto	2,5	2,5	5	2,5		5	2,5	2,5	5	0	2,5	2,5	33,5	9,8%	0,10
6	HMI fácil	2,5	2,5	2,5	0	2,5		2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	5	28,5	8,3%	0,08
7	Sistema de referencia para el disparo	5	5	5	5	0	2,5		2,5	5	2,5	2,5	5	41	12,0%	0,12
8	Modular	0	0	5	2,5	5	2,5	2,5		0	0	0	5	23,5	6,9%	0,07
9	Distancia 5m	5	0	2,5	0	2,5	2,5	0	5		0	5	5	28,5	8,3%	0,08
10	Fuerza de retroceso	5	5	2,5	2,5	0	2,5	2,5	5	5		2,5	5	38,5	11,3%	0,11
11	Sistema de seguridad.	5	5	5	2,5	2,5	2,5	2,5	5	0	2,5		5	38,5	11,3%	0,11
12	Modo manual y automático	0	2,5	2,5	2,5	2,5	0	0	0	0	0	0		11	3,2%	0,03
													Σ	342	100,0 %	1,00

3.1.4.1. Selección de la base giratoria.

Se desarrolla una tabla de ponderación de acuerdo con la importancia de los criterios a tomar en cuenta para la construcción de la base giratoria como se puede observar en la Tabla 15, esta matriz es diferente a la matriz de selección del producto mostrada en la Tabla 14 ya que nos sirve para seleccionar el concepto más adecuado para la base giratoria.

Tabla 15.*Matriz de decisión de la base giratoria*

win	Num Métrica	1	2	3	4	5	6	7	8	$\Sigma +1$	Ponderación	Fracción
		Base gir 30 y -30	Volumen mat.	Soporte material de	Base gir res al impacto	Menor a 1 rpm	Sistema de referencia para el	Espacio en área menor a 1	Costos Estimado			
1	Base gir 30 y -30		5	2,5	2,5	2,5	0	0	0	13,5	9,1%	0,09
2	Volumen mat. Apoyo	0		0	0	0	0	0	0	1	0,7%	0,01
3	Soporte material de apoyo	2,5	5		2,5	0	0	2,5	0	13,5	9,1%	0,09
4	Base gir res al impacto	2,5	5	2,5		2,5	2,5	5	5	26	17,6%	0,18
5	Menor a 1 rpm a la salida	2,5	5	5	2,5		5	0	2,5	23,5	15,9%	0,16
6	Sistema de referencia para el disparo	5	5	5	2,5	0		5	0	23,5	15,9%	0,16
7	Espacio en área menor a 1 m2	5	5	2,5	0	5	0		0	18,5	12,5%	0,13
8	Costo estimado	5	5	5	0	2,5	5	5		28,5	19,3%	0,19
Total										148	100,0%	1,00

Las siguientes tablas permiten comparar cada una de las métricas con cada uno de los conceptos generados en la base giratoria.

Tabla 16.*Comparación de los conceptos del movimiento de 30 y – 30 grados en la base giratoria.*

Base gir. 30 y -30	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma +1$	Fracc.
Concepto 1		2,5	0	3,5	0,19
Concepto 2	2,5		5	8,5	0,47
Concepto 3	5	0		6	0,33
Total				18	1,00

Tabla 17.*Evaluación del volumen del material de apoyo.*

Vol. Material apoyo	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma +1$	Fracc.
Concepto 1		2,5	2,5	6	0,33
Concepto 2	2,5		2,5	6	0,33
Concepto 3	2,5	2,5		6	0,33
Total				18	1,00

Tabla 18.

Comparación de los conceptos sobre soportar peso del material del apoyo.

Sop. Material de apoy	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma +1$	Fracc.
Concepto 1		5	2,5	8,5	0,47
Concepto 2	0		5	6	0,33
Concepto 3	2,5	0		3,5	0,19
Total				18	1,00

Tabla 19.

Evaluación de la base giratoria resiste al impacto

Bas gir res al impacto	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma +1$	Fracc.
Concepto 1		2,5	0	3,5	0,19
Concepto 2	2,5		5	8,5	0,47
Concepto 3	5	0		6	0,33
Total				18	1,00

Tabla 20.

Evaluación de la velocidad del soporte de la base giratoria.

Menor a 1 rpm	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma +1$	Fracc.
Concepto 1		2,5	5	8,5	0,47
Concepto 2	2,5		5	8,5	0,47
Concepto 3	0	0		1	0,06
Total				18	1,00

Tabla 21.

Evaluación del sistema de referencia que se ubica en la base giratoria.

Sist ref para el disparo	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma +1$	Fracc.
Concepto 1		2,5	5	8,5	0,47
Concepto 2	2,5		5	8,5	0,47
Concepto 3	0	0		1	0,06
Total				18	1,00

Tabla 22.

Comparación de los conceptos para saber el que ocupa menor área.

Espacio menor a 1 m2	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma +1$	Fracc.
Concepto 1		0	2,5	3,5	0,19
Concepto 2	5		0	6	0,33
Concepto 3	2,5	5		8,5	0,47
Total				18	1,00

Tabla 23.

Evaluación de concepto que tiene menor costo.

Costos	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma +1$	Fracc.
Concepto 1		0	0	1	0,06
Concepto 2	5		5	11	0,61
Concepto 3	5	0		6	0,33
Total				18	1,00

En los resultados de prioridad de la Tabla 24 se escoge el Concepto 2 de la base giratoria como diseño para trabajar a nivel detalle pues cuenta con 46,8%, esto quiere decir, que se empezará a diseñar y dimensionar cada uno de los componentes descritos en el Concepto 2 de la base giratoria.

Tabla 24.

Resultados de prioridad para la selección del concepto de la base giratoria.

Matriz final de la selección de conceptos	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ
	Base gir 45 y -45	Volumen mat. Apoyo	Soporte material de apoyo	Base gir res al impacto	Menor a 1 rpm	Sistema de referencia para el disparo	Espacio en área menor a 1 m2	Costos	
Concepto 1	0,018	0,002	0,043	0,034	0,075	0,075	0,024	0,011	0,282
Concepto 2	0,043	0,002	0,030	0,083	0,075	0,075	0,042	0,118	0,468
Concepto 3	0,030	0,002	0,018	0,059	0,009	0,009	0,059	0,064	0,250
Total									1,000

3.1.4.2. Selección manipulador.

Al igual que la base giratoria se desarrolla una tabla de ponderación de acuerdo con la importancia de los criterios a tomar en cuenta, la Tabla 25 sirve para seleccionar el concepto más adecuado para el manipulador en base a los conceptos generados, la elaboración de la matriz de selección es un proceso importante de filtrado en que podemos evaluar cada uno de los bosquejos y escoger el adecuado para continuar con el diseño a detalle.

Tabla 25.
Matriz de decisión del manipulador.

N u m	Num	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Σ+1	Ponderación	Fracción	
	Métrica	Sensibilidad	Precisión	Resistencia a Fuerza de Retroceso	Facilidad de uso	Sistema de Seguridad	HMI Interactiva	Sistema de referencia para el disparo	De fácil ensamble	Durabilidad	Facilidad en manufactura	Facilidad de Mantenimiento	Portabilidad	Robustez				
1	Sensibilidad		0	2.5	5	0	5	5	5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	36	8.9%	0.09	
2	Precisión	5		5	2.5	0	5	2.5	2.5	2.5	2.5	5	5	5	43.5	10.8%	0.11	
3	Resistencia a Fuerza de Retroceso	2.5	0		5	0	2.5	5	5	5	5	5	5	5	46	11.4%	0.11	
4	Facilidad de uso	0	2.5	0		0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	23.5	5.8%	0.06	
5	Sistema de Seguridad	5	5	5	5		5	5	5	5	5	5	5	5	61	15.1%	0.15	
6	HMI Interactiva	0	0	2.5	2.5	0		2.5	2.5	0	0	0	2.5	5	18.5	4.6%	0.05	
7	Sistema de referencia para el disparo	0	2.5	0	2.5	0	2.5		0	2.5	0	0	2.5	5	18.5	4.6%	0.05	
8	De fácil ensamble	0	2.5	0	2.5	0	2.5	5		2.5	0	2.5	5	5	28.5	7.1%	0.07	
9	Durabilidad	2.5	2.5	0	2.5	0	5	2.5	2.5		0	0	2.5	5	26	6.5%	0.06	
10	Facilidad en manufactura	2.5	2.5	0	2.5	0	5	5	5	5		2.5	5	5	41	10.2%	0.10	
11	Facilidad de Mantenimiento	2.5	0	0	2.5	0	5	5	2.5	5	2.5		5	5	36	8.9%	0.09	
12	Portabilidad	2.5	0	0	2.5	0	2.5	2.5	0	2.5	0	0		2.5	16	4.0%	0.04	
13	Robustez	2.5	0	0	2.5	0	0	0	0	0	0	0	2.5		8.5	2.1%	0.02	
															Σ	403	100.0%	1.00

Tabla 26.*Evaluación de sensibilidad*

Sensibilidad	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\sum +1$	Fracc.
Concepto 1		2.5	0	3.5	0.19
Concepto 2	2.5		0	3.5	0.19
Concepto 3	5	5		11	0.61
			Total	18	1.00

Tabla 27.*Evaluación de Precisión*

Precisión	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\sum +1$	Fracc.
Concepto 1		2.5	2.5	6	0.33
Concepto 2	2.5		2.5	6	0.33
Concepto 3	2.5	2.5		6	0.33
			Total	18	1.00

Tabla 28.*Evaluación de Resistencia a la Fuerza de Retroceso*

Resistencia a Fuerza de Retroceso	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\sum +1$	Fracc.
Concepto 1		2.5	2.5	6	0.33
Concepto 2	2.5		5	8.5	0.47
Concepto 3	2.5	0		3.5	0.19
			Total	18	1.00

Tabla 29.*Evaluación de Facilidad de uso*

Facilidad de uso	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\sum +1$	Fracc.
Concepto 1		2.5	2.5	6	0.33
Concepto 2	2.5		0	3.5	0.19
Concepto 3	2.5	5		8.5	0.47
			Total	18	1.00

Tabla 30.
Evaluación de sistema de seguridad

Sistema de Seguridad	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\sum +1$	Fracc.
Concepto 1		2.5	2.5	6	0.33
Concepto 2	2.5		5	8.5	0.47
Concepto 3	2.5	0		3.5	0.19
			Total	18	1.00

Tabla 31.
Evaluación de HMI interactiva

HMI Interactiva	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\sum +1$	Fracc.
Concepto 1		2.5	2.5	6	0.33
Concepto 2	2.5		2.5	6	0.33
Concepto 3	2.5	2.5		6	0.33
			Total	18	1.00

Tabla 32.
Evaluación de sistema de referencia para disparo

Sistema de referencia para el disparo	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\sum +1$	Fracc.
Concepto 1		2.5	0	3.5	0.19
Concepto 2	2.5		0	3.5	0.19
Concepto 3	5	5		11	0.61
			Total	18	1.00

Tabla 33.
Evaluación de fácil ensamblaje

De fácil ensamblaje	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\sum +1$	Fracc.
Concepto 1		0	0	1	0.06
Concepto 2	5		0	6	0.33
Concepto 3	5	5		11	0.61
			Total	18	1.00

Tabla 34.*Evaluación de durabilidad*

Durabilidad	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\sum +1$	Fracc.
Concepto 1		0	0	1	0.06
Concepto 2	5		0	6	0.33
Concepto 3	5	5		11	0.61
Total				18	1.00

Tabla 35.*Evaluación de Facilidad en manufactura*

Facilidad en manufactura	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\sum +1$	Fracc.
Concepto 1		0	0	1	0.06
Concepto 2	5		2.5	8.5	0.47
Concepto 3	5	2.5		8.5	0.47
Total				18	1.00

Tabla 36.*Evaluación de Facilidad en Mantenimiento*

Facilidad de Mantenimiento	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\sum +1$	Fracc.
Concepto 1		2.5	2.5	6	0.33
Concepto 2	2.5		2.5	6	0.33
Concepto 3	2.5	2.5		6	0.33
Total				18	1.00

Tabla 37.*Evaluación de Portabilidad*

Portabilidad	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\sum +1$	Fracc.
Concepto 1		5	5	11	0.61
Concepto 2	0		2.5	3.5	0.19
Concepto 3	0	2.5		3.5	0.19
Total				18	1.00

Tabla 38.*Evaluación de Robustez*

Robustez	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	$\Sigma +1$	Frac.
Concepto 1		0	0	1	0.06
Concepto 2	5		2.5	8.5	0.47
Concepto 3	5	2.5		8.5	0.47
			Total	18	1.00

Tabla 39.*Matriz de selección de concepto*

Matriz final de la selección de conceptos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Σ
	Sensibilidad	Precisión	Resistencia a Fuerza de Retroceso	Facilidad de uso	Sistema de Seguridad	HMI Interactiva	Sistema de referencia para el disparo	De fácil ensamble	Durabilidad	Facilidad en manufactura	Facilidad de Mantenimiento	Portabilidad	Robustez	
Concepto 1	0.194	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.194	0.056	0.056	0.056	0.333	0.611	0.056	0.248
Concepto 2	0.194	0.333	0.472	0.194	0.472	0.333	0.194	0.333	0.333	0.472	0.333	0.194	0.472	0.333
Concepto 3	0.611	0.333	0.194	0.472	0.194	0.333	0.611	0.611	0.611	0.472	0.333	0.194	0.472	0.419
													Total	1.000

En los resultados de prioridad de la selección del concepto del manipulador descritos en la Tabla 39 se escoge el Concepto 3 del manipulador como diseño para trabajar a nivel detalle pues tiene un 41,90%.

3.2. Diseño de componentes mecánicos

3.2.1. Base giratoria

El diseño que se escogió es el concepto 2 de la base giratoria, por lo que se empezará a diseñar a nivel detalle cada una de sus sistemas y subsistemas.

3.2.1.1. Mecanismo de giro

Para posicionar en 30 y -30 grados el soporte de la plastilina se realiza un mecanismo biela-manivela (Figura 45).

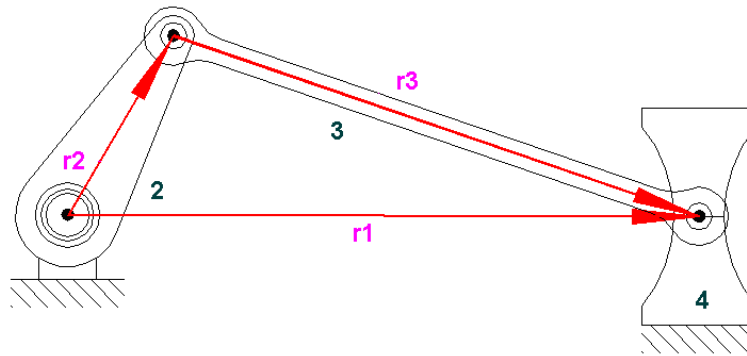


Figura 45. Mecanismo Biela-Manivela.

Fuente: Folleto de Mecanismos Ing Fernando Olmedo, 2015

Para el análisis del movimiento partimos de la siguiente consideración:

$$r1 = r2 + r3$$

Recurrimos a la notación en álgebra compleja donde define que el eje x es el eje real y el eje y es imaginario se tiene.

Para el análisis se usó las siguientes dimensiones en los eslabones 2 y 3.

$$r2 = 200 \text{ mm}$$

$$r3 = 600 \text{ mm}$$

$$r_1 e^{i\theta_1} = r_2 e^{i\theta_2} + r_3 e^{i\theta_3} \quad \text{Ec. 1}$$

El ángulo del vector $\theta_1 = 0$ debido a que siempre formará 0 grados con la horizontal.

$$r_1 (\cos 0 + i \operatorname{sen} 0) = r_2 (\cos \theta_2 + i \operatorname{sen} \theta_2) + r_3 (\cos \theta_3 + i \operatorname{sen} \theta_3) \quad \text{Ec. 2}$$

Separando la parte real de la imaginaria de la Ecuación 2 tenemos lo siguiente.

$$r_1 = r_2 \cos \theta_2 + r_3 \cos \theta_3 \quad \text{parte real}$$

$$0 = r_2 \operatorname{sen} \theta_2 + r_3 \operatorname{sen} \theta_3 \quad \text{parte imaginaria}$$

Donde:

$$\theta_3(\theta_2) = \operatorname{asin}\left(\frac{-r_2}{r_3} \operatorname{sen} \theta_2\right) \quad \text{Ec. 3}$$

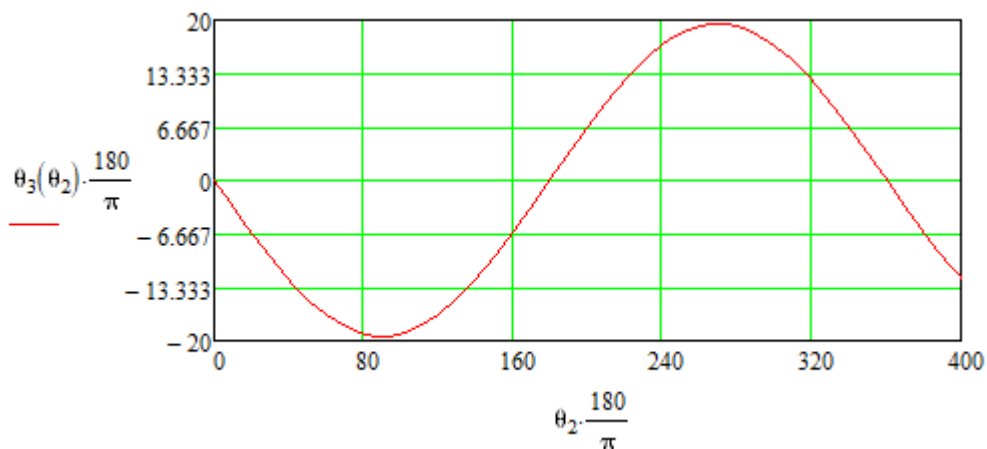


Figura 46. Relación de ángulo θ_3 en función de θ_2

θ_2 es la variable a controlar dentro del proceso de giro de la base giratoria, que varía de -30 a 30 grados sin embargo, lo puede hacer de 0 a 360 grados.

$$r_1(\theta_2) = r_2 \cos \theta_2 + \sqrt{r_3^2 - r_2^2 \operatorname{sen}^2 \theta_2} \quad \text{Ec. 4}$$

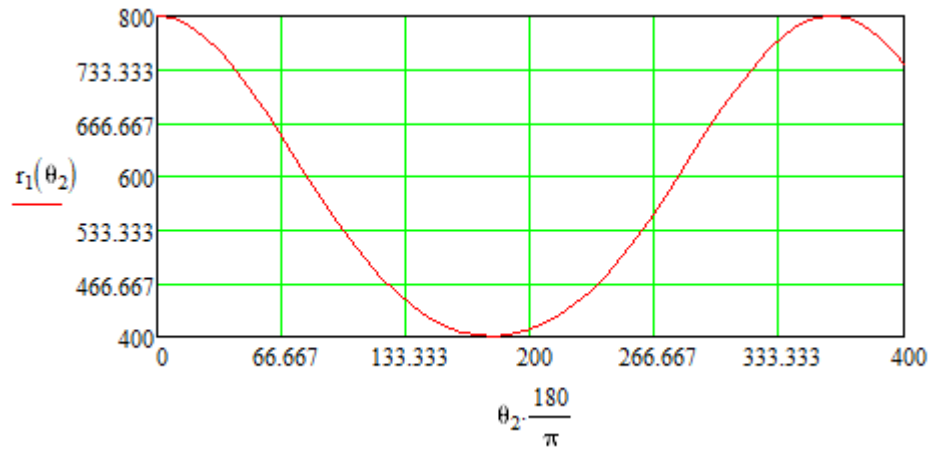


Figura 47. Relación de r_1 en función del ángulo θ_2

Para realizar el análisis de velocidad derivamos la ecuación vectorial (Ecuación 1) dándonos la siguiente ecuación:

$$r_1' e^{i0} = r_2' e^{i\theta_2} + r_2 i \omega_2 e^{i\theta_2} + r_3' e^{i\theta_3} + r_3 i \omega_3 e^{i\theta_3} \quad \text{Ec. 5}$$

Tomamos en cuenta que r_2 y r_3 son constantes.

$$r_1' (\cos 0 + i \sen 0) = r_2 i \omega_2 (\cos \theta_2 + i \sen \theta_2) + r_3 i \omega_3 (\cos \theta_3 + i \sen \theta_3) \quad \text{Ec. 6}$$

Despejando la parte real de la parte imaginaria de la ecuación 6 obtenemos:

$$r_1' = -r_2 \omega_2 \sen \theta_2 - r_3 \omega_3 \sen \theta_3$$

$$0 = r_2 \omega_2 \cos \theta_2 + r_3 \omega_3 \cos \theta_3$$

De esto se obtiene un sistema lineal de dos ecuaciones con dos incógnitas, las incógnitas son la velocidad angular ω_3 y la velocidad del pistón $r_1' = v(\theta_2)$

$$\omega_3(\theta_2) = -\frac{r_2}{r_3} \cdot \omega_2 \cdot \frac{\cos(\theta_2)}{\cos(\theta_3(\theta_2))} \quad \text{Ec. 7}$$

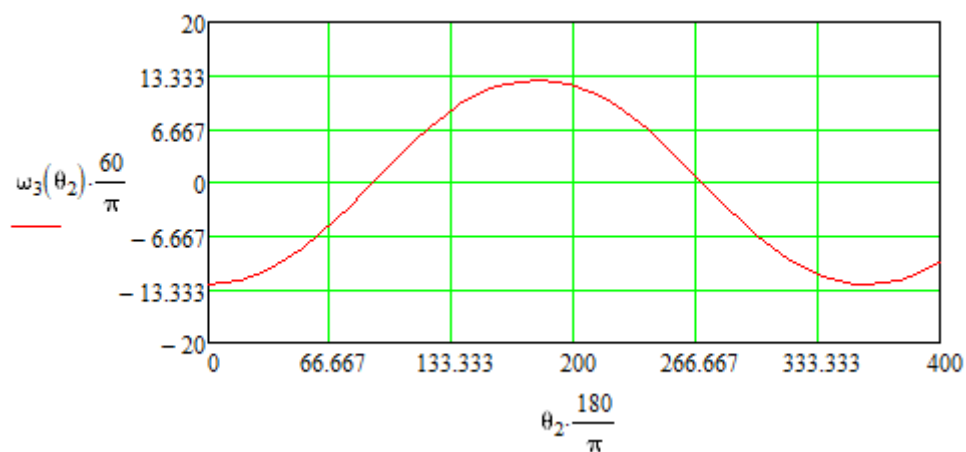


Figura 48. Velocidad angular ω_3 en función del ángulo θ_2

$$v(\theta_2) = r_2 \cdot \omega_2 \cdot \frac{\sin(\theta_3(\theta_2) - \theta_2)}{\cos(\theta_3(\theta_2))}$$

Ec. 8

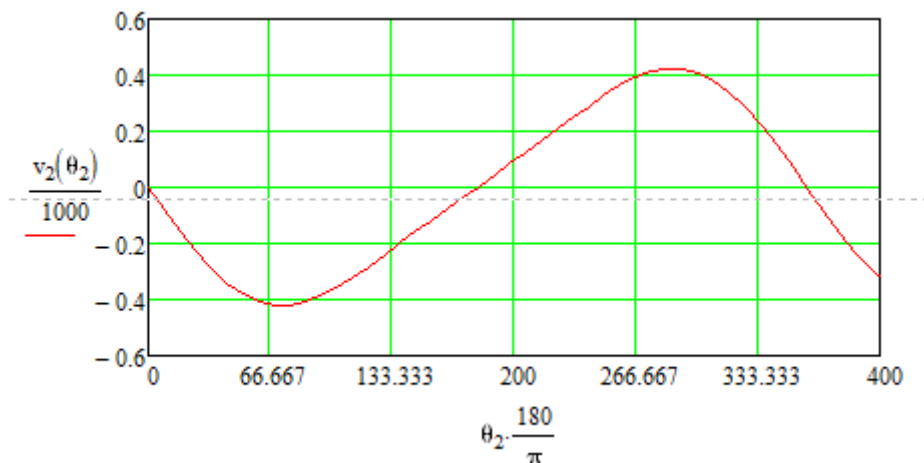


Figura 49. Velocidad del pistón r_1' en función del ángulo θ_2

Para realizar el análisis de aceleración derivamos la ecuación de la velocidad:

$$r_1' e^{i0} = r_2 i \omega_2 e^{i\theta_2} + r_3 i \omega_3 e^{i\theta_3}$$

Ec. 9

Obteniendo la Ecuación 10 que es de la aceleración.

$$r_1'' e^{i0} = r_2 i (\alpha_2 e^{i\theta_2} + \omega_2^2 e^{i\theta_2}) + r_3 i (\alpha_3 e^{i\theta_3} + (\omega_3)^2 e^{i\theta_3})$$

Ec. 10

De la Ecuación 10 obtenemos:

$$\begin{aligned} r_1'' (\cos 0 + i \sin 0) &= r_2 i (\alpha_2 + (\omega_2)^2 i) (\cos \theta_2 + i \sin \theta_2) + r_3 i (\alpha_3 \\ &+ (\omega_3)^2 i) (\alpha_3 e^{i\theta_3} + (\omega_3)^2 e^{i\theta_3}) (\cos \theta_3 + i \sin \theta_3) \end{aligned}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones lineales resultantes la aceleración angular es:

$$\alpha_{3(\theta_2)} = \frac{r_2 \omega_2^2 \sin \theta_2 + r_3 (\omega_{3(\theta_2)})^2 \sin \theta_{3(\theta_2)}}{r_3 \cos(\theta_{3(\theta_2)})} \quad \text{Ec. 11}$$

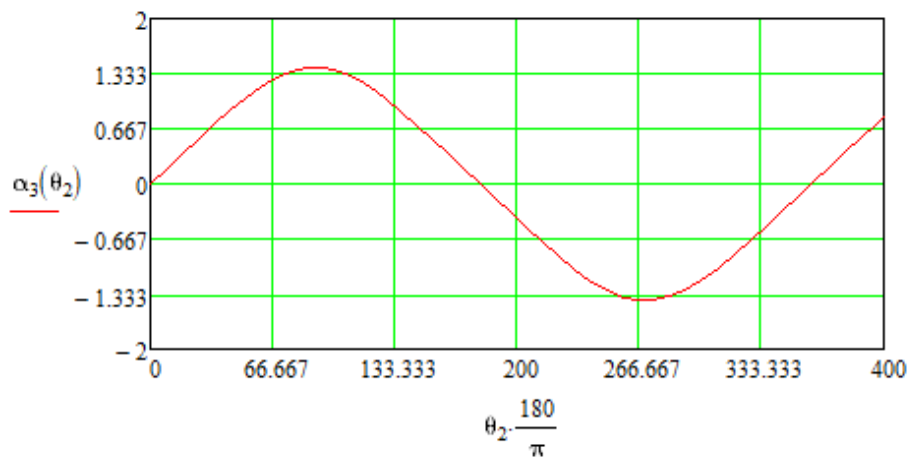


Figura 50. Aceleración angular α_3 en función del ángulo θ_2

$$r_1''_{(\theta_2)} = -r_2 i \omega_2^2 \cos \theta_2 - r_3 \alpha_{3(\theta_2)} \sin(\theta_{3(\theta_2)}) - r_3 \omega_{3(\theta_2)}^2 \cos \theta_{3(\theta_2)} \quad \text{Ec. 12}$$

El diseño realizado de la base giratoria utilizando el mecanismo biela-manivela se puede observar en la Figura 52.

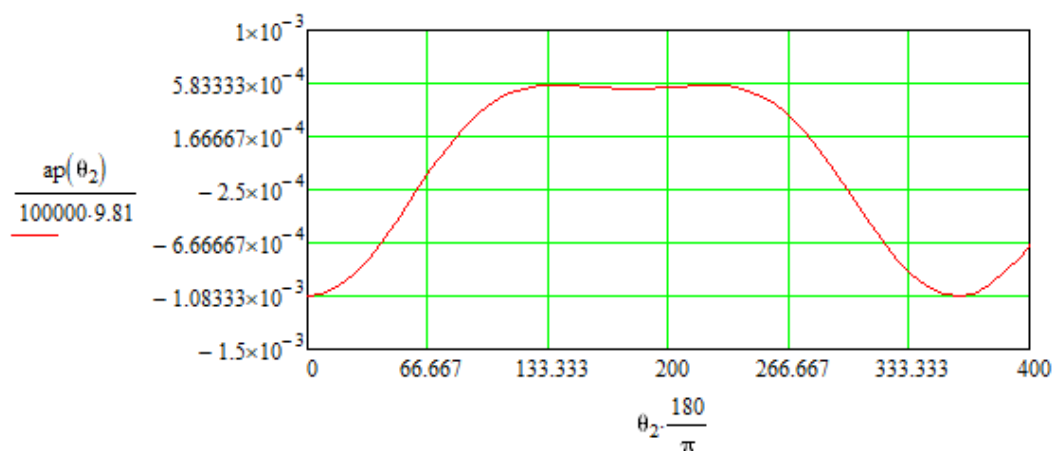


Figura 51. Aceleración r_1'' en función del ángulo θ_2

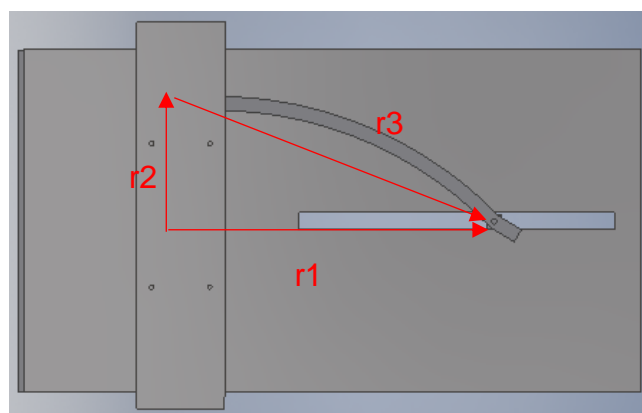


Figura 52. Mecanismo Biela – Manivela

3.2.1.2. Selección del rodamiento principal:

Para la selección del rodamiento que soporta el material de apoyo y la fuerza que ejerce el proyectil al impactar al chaleco antibalas calculamos la carga radial y axial.

Para calcular la fuerza axial realizamos el cálculo de la masa que resistirá el rodamiento, los componentes que se encuentran ejercen dicha fuerza sobre el rodamiento se detallan en la Tabla 40.

Tabla 40.

Masa que se encuentra sometido el rodamiento.

Elemento base giratoria	Masa [Kg]
Plastilina balística	85,7
Chaleco	4
Soporte de plastilina	11,7
Manzana	2,22
Elementos mecánicos	8
Total	111,62

La fuerza axial es:

$$F_a = mg \quad \text{Ec. 13}$$

$$F_a = 111,62 * 9,81 \text{ N}$$

$$F_a = 1095 \text{ N}$$

El impacto del proyectil con el chaleco antibalas generará una carga radial para el rodamiento, en la Figura 53 se puede visualizar la vista lateral del soporte de la plastilina balística.

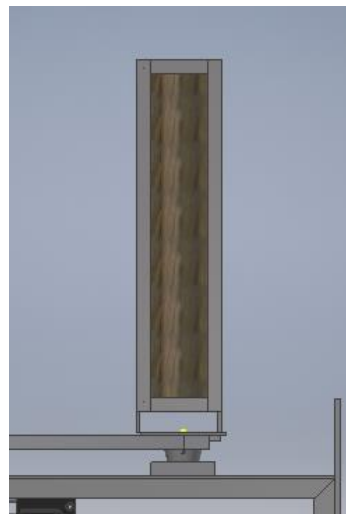


Figura 53. Vista lateral soporte plastilina balística

Para calcular la fuerza supondremos que la fuerza que opone el chaleco antibalas a la munición es constante, por lo cual aplicaremos el teorema de la energía cinética (Ecuación 14).

$$E_C = \frac{1}{2} m_1 (V_f^2 - V_i^2) \quad \text{Ec. 14}$$

En el apéndice 2.3.3.1 podemos tomar como dato la velocidad y la masa de la munición, donde:

$$m_{\text{munición}} = 8 \text{ gr}$$

$$V_{\text{proyectil inicial}} = 350 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{proyectil final}} = 0 \text{ m/s}$$

$$E_C = \frac{1}{2} (0,008)(0 - 350^2) \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$E_C = -490 \text{ J}$$

En la Figura 53 se puede visualizar un bosquejo del ingreso del proyectil en el chaleco. Para encontrar la fuerza se utilizó la fórmula de trabajo realizado sabiendo que el espesor de un chaleco antibala esta entre 4 a 5 mm según <http://segured.com/13712-2/> y que la deformación que realiza el impacto de la bala sobre el chaleco antibalas según la NIJ (NIJ Justice, 2008) varía entre 1 mm y no debe exceder 40 mm.

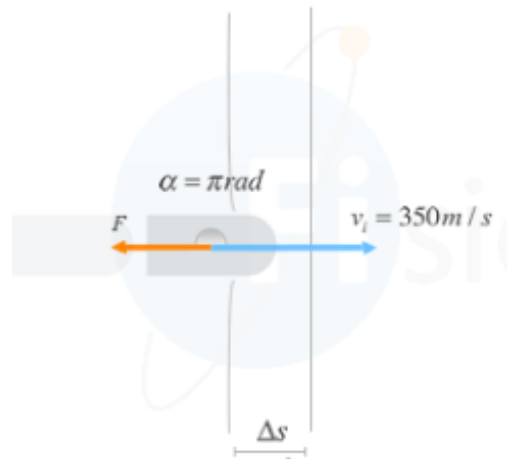


Figura 54. Diagrama de la bala ingresando al chaleco

Fuente: <https://www.fiscalab.com/ejercicio/768#contenidos>

Aplicando la ecuación de trabajo Ecuación 15 se obtiene la fuerza radial del rodamiento.

$$W = F_r \Delta s \quad \text{Ec. 15}$$

Para calcular Δs sumamos el espesor del chaleco antibalas y la protuberancia que se genera en la plastilina balística luego del impacto, se tomaran las medidas menores para obtener un Δs mayor.

Por lo tanto.

$$\Delta s = 5 + 10 = 15 \text{ mm}$$

La fuerza radial del rodamiento es:

$$F_r = \frac{W}{\Delta s}$$

$$F_r = -\frac{490}{0,015} \text{ N}$$

$$F_r = -32,6 \text{ kN}$$

Se buscó en el catálogo del fabricante FAG, cual es el rodamiento más apropiado para este tipo de cargas.








Aptitud		Características:			
		Carga radial	Carga axial en ambas direcciones	Compensación longitudinal en el rodamiento	Compensación longitudinal con ajuste deslizante
● muy buena	◐ limitada				
◑ buena	○ no adecuada / no aplicable				
◒ normal / aceptable					
Tipo de rodamiento					
Rodamientos rígidos de bolas		◑	◑	○	◑
Rodamientos de bolas de contacto angular		◑	◑ ↑	○	◑ a
Rodamientos de bolas de contacto angular, de doble hilera		◑	◑	○	◑
Rodamientos para husillos	  	◑	◑ ↑	○	◑ a
Rodamientos con cuatro caminos de rodadura		◑	◑	○	○

Figura 55. Cuadro Sinóptico: Tipos de rodamiento y sus características

Fuente: Catálogo de rodamiento FAG

Según la Figura 55 seleccionamos un rodamiento que nos permita resistir una fuerza axial como radial a muy bajas revoluciones, empezamos nuestro análisis con un rodamiento rígido de bolas ya que el sistema solo se movilizará 30 y -30 grados.

El eje de la manzana que hará girar la plastilina balística como se muestra en la Figura 56 tiene un diámetro de 50 mm, por lo que el rodamiento de bolas debe tener esa dimensión de diámetro interno.

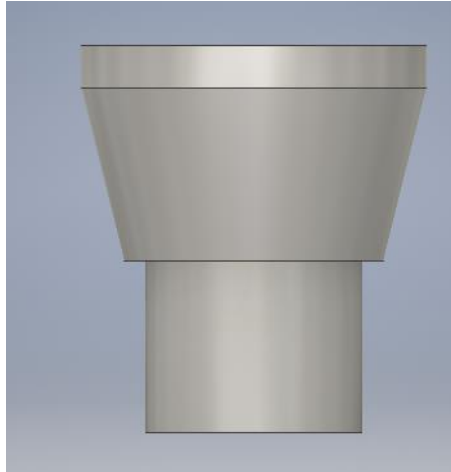


Figura 56. Manzana para soporte plastilina balística.

La carga estática equivalente para el rodamiento es el siguiente:

$$\frac{F_a}{F_r} \leq 0.8$$

$$P_0 = F_r = 32.6 \text{ KN} \quad \text{Ec. 16}$$

La carga dinámica equivalente para los rodamientos rígidos de bolas según el catálogo FAG página 148 es:

$$P = XF_r + YF_a \text{ [kN]} \quad \text{Ec. 17}$$

Los valores de X e Y dependen de la razón:

$$\frac{f_0 F_a}{C_0} \quad \text{Ec. 18}$$

Donde f_0 para la serie de rodamientos 62 y número característicos de agujero 10 es:

$$f_0 = 14,3$$

El rodamiento 6210 escogido tiene un constante estática de:

$$C_0 = 24 \text{ kN}$$

Se reemplaza:

$$\frac{f_0 F_a}{C_0} = \frac{14,3(1,09kN)}{(24kN)} = 0,6$$

El valor de e para $\frac{f_0 F_a}{C_0} = 0,6$ es:

$$e = 0,24$$

Donde:

$$\frac{F_a}{F_r} \leq e$$

Ec. 19

$$0,03 \leq 0,24$$

Los valores de X e Y son:

$$x = 1 \qquad y = 0$$

Usando la ecuación 16 la carga dinámica es:

$$P = 32,6 [kN]$$

Procedemos a calcular la vida del rodamiento en horas.

Para la vida del rodamiento nos guiamos en la Figura 57, en la cual se escoge una máquina para servicio de 8h, que no siempre se usan completamente.

Tipo de aplicación	Vida, kh
Instrumentos y aparatos de uso poco frecuente	Hasta 0.5
Motores de aeronaves	0.5-2
Máquinas de operación corta o intermitente, donde la interrupción del servicio resulta de poca importancia	4-8
Máquinas de servicio intermitente donde una operación confiable es de gran importancia	8-14
Máquinas para servicio de 8 h, que no siempre se usan completamente	14-20
Máquinas para servicio de 8 h, que se utilizan plenamente	20-30
Máquinas para servicio continuo las 24 h	50-60
Máquinas para un servicio continuo de 24 h, donde la confiabilidad es de suma importancia	100-200

Figura 57. Recomendaciones de vida de cojinetes para varias clases de maquinaria.
Fuente: (Mott, 2006)

La vida de diseño adimensional es:

$$x_D = \frac{L}{L_o} \quad \text{Ec. 20}$$

$$x_D = \frac{60 (F)(1)rpm}{10^6}$$

Donde F es las horas de vida del rodamiento, el factor de aplicación de carga es:

Tipo de aplicación	Factor de carga
Engranajes de precisión	1.0-1.1
Engranajes comerciales	1.1-1.3
Aplicaciones con sellos deficientes en los cojinetes	1.2
Maquinaria sin impactos	1.0-1.2
Maquinaria con impactos ligeros	1.2-1.5
Maquinaria con impactos moderados	1.5-3.0

Figura 58. Factores de aplicación de carga.
Fuente: (Budynas & Nisbet, 2008)

$$a_f = 1,2$$

Donde la capacidad de carga dinámica calculada utilizando los parámetros de Weibull (Ecuación 21) para una confiabilidad del 99% es:

$$C_{10} = a_f P \left(\frac{X_D}{x_0 + 4,439(1 - 0,99)^{1/b}} \right)^{1/a} \quad \text{Ec. 21}$$

La carga dinámica de un rodamiento 6210 según FAG es:

Capacidad de carga		Velocidad límite	Velocidad de referencia	Denominación abreviada
dyn. C	stat. C ₀			
kN		min ⁻¹		Rodamiento FAG
36,5	24	18000	9500	6210

$$C_0 = 36,5kN$$

$$36,5kN = 1,2(28,04) \left(\frac{\frac{60 (F)(1)rpm}{10^6}}{0,02 + 4,439(1 - 0,99)^{1/1,483}} \right)^{1/3} kN$$

Las horas de vida del rodamiento a 1 rpm es:

$$F = 1165 h$$

3.2.1.3. *Diseño de la mesa:*

La mesa debe resistir el peso del soporte, plastilina, el mecanismo biela-manivela, y de más componentes de la base giratoria. Dicha mesa o soporte estará hecha de acero ASTM A-36, debido al de costo de este material y a la facilidad de encontrarlo en el mercado. Las patas tendrán una altura de 700 mm, esta medida se consideró por diferentes propósitos:

- Ergonomía.
- Facilidad a la hora de limpieza o mantenimiento.

La disposición geométrica presenta se detalla en la Figura 60.

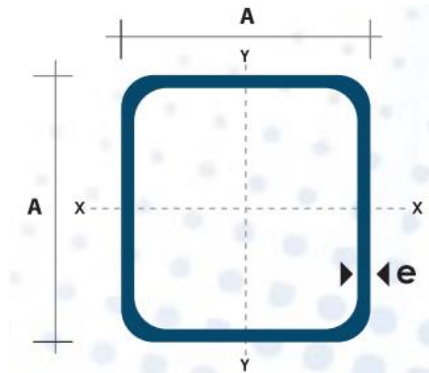


Figura 59. Perfil seleccionado para las patas de la mesa.

Fuente: Catálogo DIPAC, Anexo 2

Como se muestra en el Anexo 2 del catálogo de DIPAC, están las dimensiones y el espesor del perfil de acero A36 que se utilizarán en la mesa de la base giratoria.

$$A = 40 \text{ mm}$$

$$e = 2 \text{ mm}$$

$$P = 2,42 \text{ kg/m}$$

El diseño de la mesa con el perfil seleccionado es el siguiente:

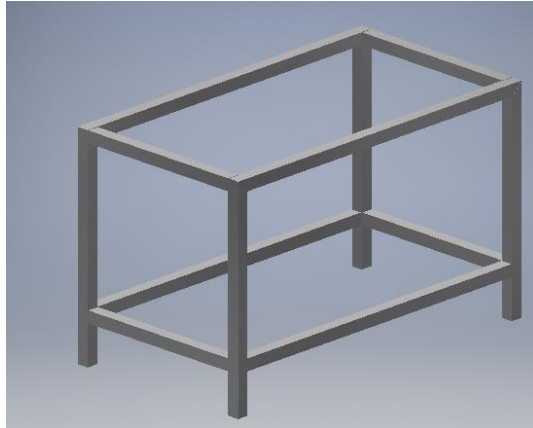


Figura 60. Estructura de la mesa de la base giratoria.

El área de la plancha de acero que va sobre la mesa es:

$$A = 1120 \times 620 \text{ mm}^2$$

En el Anexo 3 tenemos las planchas de acero laminado en frío (A-36), para seleccionar el espesor se realiza un análisis con elementos finitos, empezamos el análisis con un espesor de 5 mm.

En el agujero donde va el rodamiento aplicamos las cargas obtenidas en la Ecuación 13 y Ecuación 15:

$$F_r = 32666,6 \text{ N}$$

$$F_a = 1095 \text{ N}$$

En donde tenemos un factor de seguridad mínimo de:

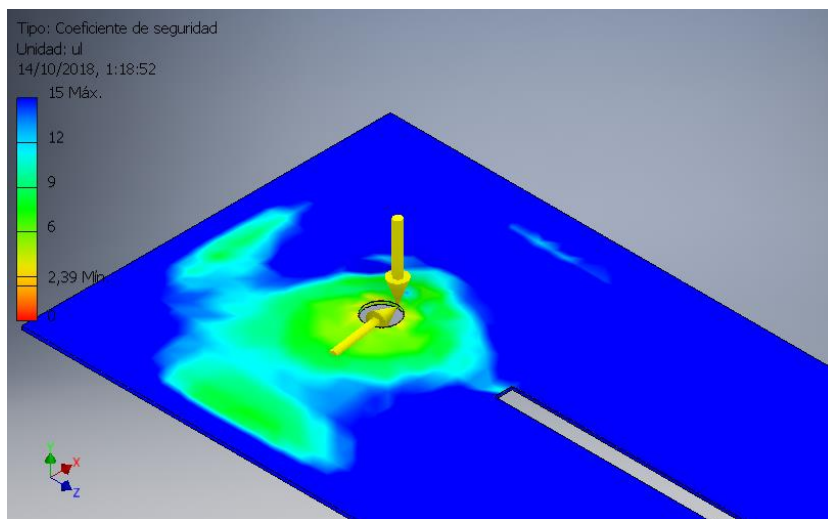


Figura 61. Factor de seguridad calculado con elementos finitos

$$f_s = 2,39$$

El desplazamiento máximo es:

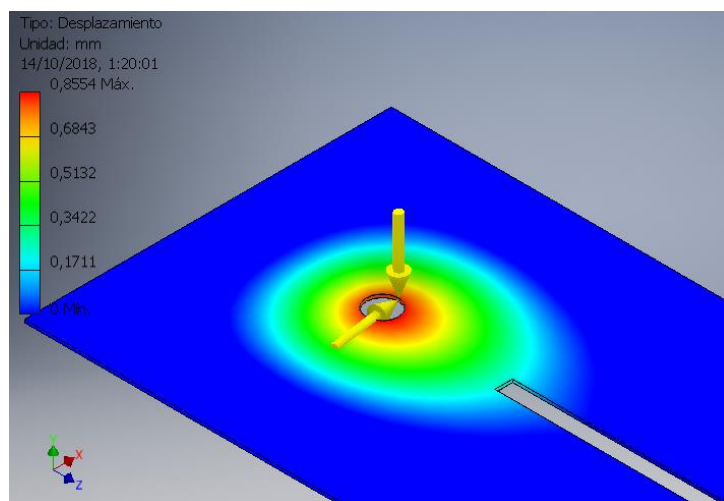


Figura 62. Desplazamiento máximo calculado con elementos finitos.

$$d_{max} = 0,8 \text{ mm}$$

El esfuerzo máximo de Von Misses es:

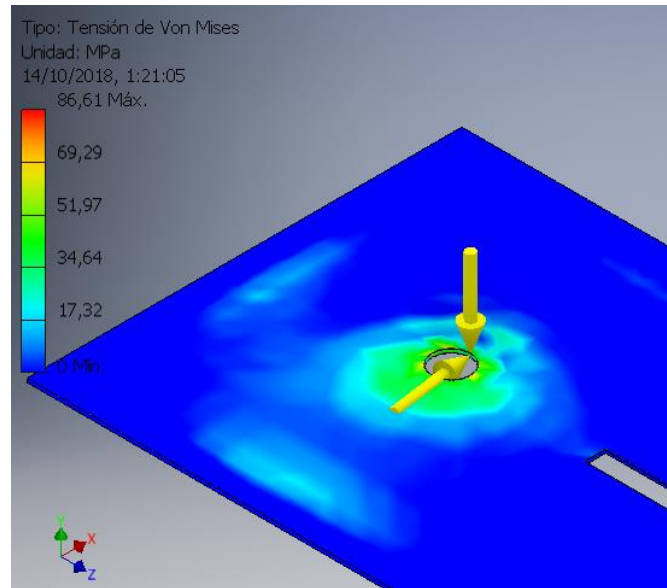


Figura 63. Esfuerzo de Von Misses calculado con elementos finitos.

$$\sigma_{max} = 86,81 \text{ MPa}$$

Este diseño de la mesa satisface el factor de seguridad, desplazamiento y esfuerzo de Von Misses deseado, por lo que el espesor de la plancha de la mesa es:

$$e = 5 \text{ mm}$$

3.2.1.4. *Protección de la base giratoria contra los proyectiles.*

Para cubrir los componentes mecánicos y electrónicos de la base giratoria se instala una plancha de acero en dirección a la del proyectil. El principal funcionamiento de esta plancha es bloquear cualquier proyectil que pueda dañar los componentes internos de la base giratoria (mecanismos, cables, sensores, etc).

Para la verificar que el espesor de la plancha sea el adecuado para proteger la base giratoria de los proyectiles de calibre 9mm. Se realizó las siguientes consideraciones:

$$F_{\text{impacto}} = m_{\text{proyectil}} * a_{\text{proyectol}} \quad \text{Ec. 22}$$

$$m_{\text{proyectil}} = 8 \text{ g}$$

$$a_{\text{proyectol}} = \frac{V_0^2}{2 * d} = 12250 \text{ m/s}^2$$

$$F_{\text{impacto}} = 98 \text{ N}$$

Se realizó un estudio de elementos finitos para verificación del espesor.

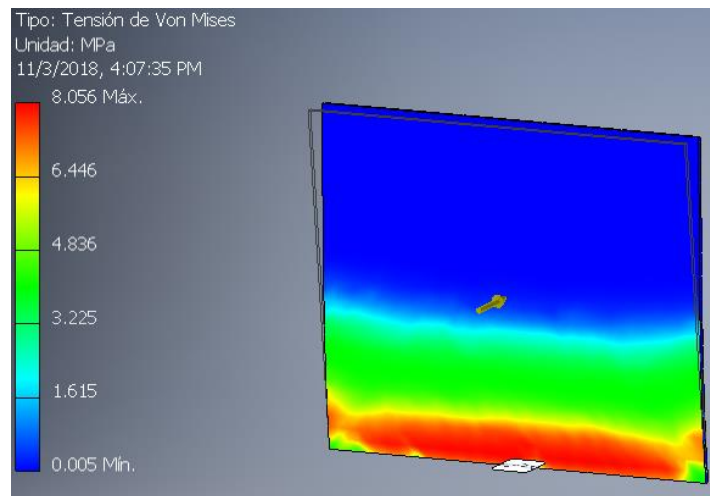


Figura 64. Tensión Von Mises- Plancha de protección

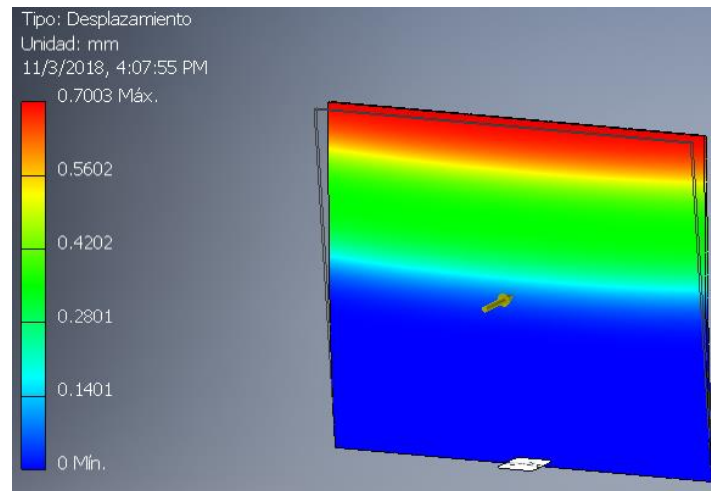


Figura 65. Desplazamiento - Plancha de protección

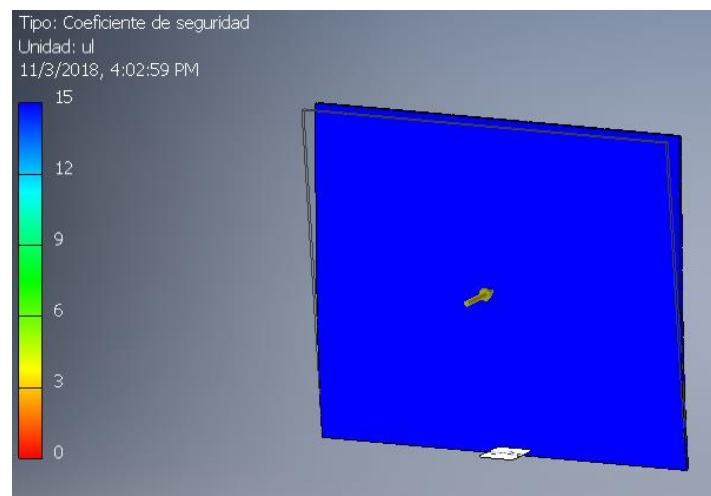


Figura 66. Factor de seguridad - Plancha de protección

El espesor de la plancha de protección puede con el cual se realizó el estudio es de 5mm, y según los parámetros de Von Mises, desplazamiento y de factor seguridad cumple con la función determinada:

$$e = 5 \text{ mm}$$

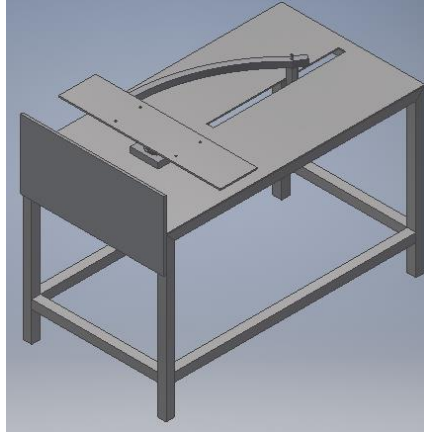


Figura 67. Protección de acero contra proyectiles calibre 9mm

3.2.2. Manipulador

3.2.2.1. Mecanismo fuerza de retroceso

Para la absorción de la energía generada por el disparo, se diseñó un componente por medio de resortes los cuales actuarán tan pronto se ejecute el disparo.

La fuerza de retroceso afecta el desempeño y la precisión por tal motivo realizamos los cálculos correspondientes para el diseño de un resorte que se adapte a las variaciones de la fuerza del arma.

El resorte helicoidal fue lo que escogimos para disipar la fuerza de retroceso pues es ideal para fuerzas de compresión, para el diseño del resorte helicoidal se extrajo el método de cálculo de resortes mecánicos del libro de Shigley.

En la Figura 68 se observa un resorte helicoidal de compresión manufacturado de alambre redondo, sometido a una fuerza axial F .

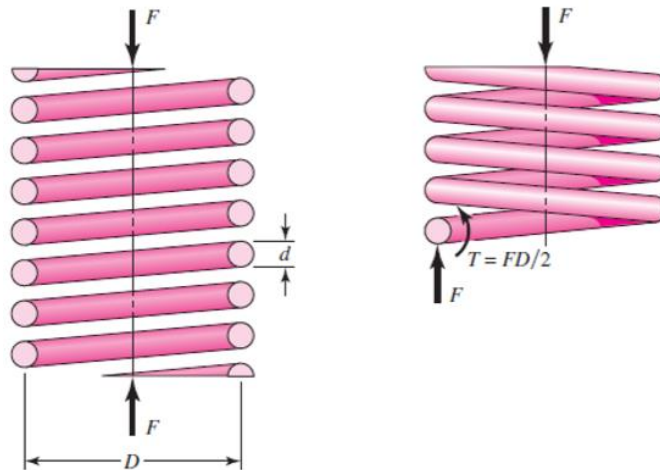


Figura 68. a) Resorte helicoidal cargado axialmente; b) Diagrama de cuerpo libre
Fuente: (Budynas & Nisbet, 2008)

Parámetros de diseño:

- La fuerza de retroceso de un arma 9mm es 150 N (LOPEZ & ENRIQUEZ, 2018).
- El alambre de piano A228 es el más empleado de todos los materiales para fabricar resortes según Shigley, debido a que puede soportar mayores esfuerzos ante cargas repetitivas.
- Seguridad: Lo recomendable es utilizar un factor de diseño para longitud sólida $(n_s)_d \geq 1.2$
- Linealidad robusta: $\varepsilon = 0,15$
- Utilizamos la Tabla 41 para obtener la fórmula de esfuerzo máximo permisible donde: $S_{sy} = 0,45S_{ut}$
- Los extremos están a escuadra y tienen un total de 14 vueltas.
- El resorte está enrollado en una varilla de 8 mm para evitar el alabeo.
- La longitud inicial del resorte es 90 mm

Como variable de decisión está el diámetro del alambre $d = 0,08 \text{ pulg} = 2 \text{ mm}$, alambre de piano calibre num 30, Anexo 4.

Tabla 41.

Esfuerzos de torsión máximo permisibles de resortes helicoidales de compresión.

Material	Porcentaje máximo de la resistencia a la tensión	
	Antes de la remoción de la deformación (incluye K_W o K_B)	Después de la remoción de la deformación (incluye K_s)
Alambre de piano y acero al carbono estirado en frío	45	60-70
Acero al carbono templado y revenido y acero de baja aleación	50	65-75
Aceros inoxidables austeníticos	35	55-65
Aleaciones no ferrosas	35	55-65

Fuente: (Budynas & Nisbet, 2008)

Para calcular la resistencia a la tensión contra el diámetro del alambre utilizamos la ecuación:

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m} \quad \text{Ec. 23}$$

En el Anexo 5 encontramos los parámetros A y m para el alambre de piano.

El esfuerzo máximo permisible es:

$$S_{sy} = 0,45 \frac{2211 \text{ MPa } \text{mm}^m}{2 \text{ mm}^{0.145m}} = 899,81 \text{ MPa}$$

Donde:

$D = \text{Diámetro medio de la espira.}$

$d = \text{diámetro del alambre.}$

El resorte estará enrollado en una varilla de 8 mm

Por lo tanto, el diámetro medio de la espira es:

$$D = D_{in} + d \quad \text{Ec. 24}$$

$$D = 10 \text{ mm}$$

La fórmula del índice de resorte es:

$$C = D/d \quad \text{Ec. 25}$$

El índice de resorte es:

$$C = \frac{10}{2} = 5$$

Según Shigley el índice de resorte recomendado para el diseño de los resortes helicoidales debe estar entre $4 \leq C \leq 12$.

Para el efecto de curvatura aplicamos el factor de Bergsträsser:

$$K_B = \frac{4C + 2}{4C - 3} = 1,29 \quad \text{Ec. 26}$$

El esfuerzo máximo del alambre es:

$$\tau_s = \frac{K_b 8FD}{\pi d^3} = \frac{1,38 * 8 * 150 * 10}{\pi(2)^3} \text{ MPa} = 615,92 \text{ MPa} \quad \text{Ec. 27}$$

El factor de seguridad al cierre es:

$$n_s = \frac{S_{sy}}{\tau_s} \quad \text{Ec. 28}$$

$$n_s = \frac{899,81 \text{ MPa}}{615,92 \text{ MPa}}$$

$$n_s = 1,46$$

De la Tabla 42 se obtienen el número de vueltas:

$$N_a = 14 - 2 = 12 \text{ vueltas}$$

Tabla 42.*Tipos de extremos de resortes.*

Término	Tipo de extremos de resortes			
	Plano	Plano y esmerilado	A escuadra y cerrado	A escuadra y esmerilado
Espiras de extremo, N_e	0	1	2	2
Espiras totales, N_t	N_a	$N_a + 1$	$N_a + 2$	$N_a + 2$
Longitud libre, l_0	$pN_a + d$	$p(N_a + 1)$	$pN_a + 3d$	$pN_a + 2d$
Longitud sólida, l_s	$d(N_t + 1)$	dN_t	$d(N_t + 1)$	dN_t
Paso, p	$(l_0 - d)/N_a$	$l_0/(N_a + 1)$	$(l_0 - 3d)/N_a$	$(l_0 - 2d)/N_a$

Fuente: (Budynas & Nisbet, 2008)

De la Tabla 43 se tiene $G = 81 \text{ GPa}$ y $E = 196,5 \text{ GPa}$ **Tabla 43.***Propiedades mecánicas de Alambre de piano A228*

Material	Límite elástico, porcentaje de S_{UT}		Diámetro d , pulg	E		G	
	tensión	torsión		Mpsi	GPa	Mpsi	GPa
Alambre de piano A228	65-75	45-60	<0.032	29.5	203.4	12.0	82.7
			0.033-0.063	29.0	200	11.85	81.7
			0.064-0.125	28.5	196.5	11.75	81.0
			>0.125	28.0	193	11.6	80.0

Fuente: (Budynas & Nisbet, 2008)

La escala de resorte de resorte es:

$$k = \frac{d^4 G}{8D^3 N_a} \quad \text{Ec. 29}$$

$$k = \frac{2^4 81 \cdot 10^3 \text{ N}}{8(10^3)12 \text{ mm}} = 13,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

La fuerza máxima que resiste el resorte es:

$$F_{max} = \frac{\pi d^3 S_{sy}}{8 K_b D} \quad \text{Ec. 30}$$

$$F_{max} = 182,6 \text{ N}$$

La deformación máxima es:

$$y_{max} = \frac{F}{k} = \frac{182,6}{13,5} \text{ mm} = 13,5 \text{ mm} \quad \text{Ec. 31}$$

De la Tabla 42 la fórmula de longitud de cierre es:

$$L_s = d(N_t + 1) = (14 + 1)2\text{mm} = 30 \text{ mm} \quad \text{Ec. 32}$$

$$L_s = d(N_t + 1) = (14 + 1)2\text{mm} = 30 \text{ mm}$$

De la Tabla 43 la fórmula de la longitud inicial es:

$$L_o = y_{max} + L_s = 45,5 \text{ mm} \quad \text{Ec. 33}$$

Para evitar el pandeo en aceros según Shigley la estabilidad debe cumplir la siguiente relación:

$$L_o < 2,63 \frac{D}{\alpha} \quad \text{Ec. 34}$$

De la Tabla 44 seleccionamos el $\alpha = 0,5$

Tabla 44.

Constantes de las condiciones de extremos α de resortes de compresión.

Condición de extremo	Constante α
Resorte apoyado entre superficies planas paralelas (extremos fijos)	0.5
Un extremo apoyado por una superficie plana perpendicular al eje del resorte (fijo); el otro extremo con pivote (articulado)	0.707
Ambos extremos con pivote (articulados)	1
Un extremo sujeto; el otro libre	2

Fuente: (Budynas & Nisbet, 2008)

$$45,5 \text{ mm} < 52,6 \text{ mm}$$

Una longitud libre de 45,5 mm es menor que 52,6 mm, por lo que el pandeo es improbable. Como tiene una varilla en el interior descartamos el pandeo en el resorte.

La fórmula de paso de las espiras del cuerpo es:

$$p = \frac{L_o - 3d}{N_a} = \frac{45 \text{ mm} - 3(2) \text{ mm}}{12} = 3,58 \quad \text{Ec. 35}$$

Wolford y Smith demuestran que la frecuencia natural de un resorte helicoidal está dada por la Ecuación 34:

$$f = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{kg}{W}} \quad \text{Ec. 36}$$

Donde:

$k = \text{constante del resorte.}$

$W = \text{peso de la parte activa del resorte.}$

$g = \text{gravedad}$

El peso de la parte activa del resorte es:

$$W = AL\gamma = \frac{\pi d^2}{4} (\pi DN_a) \gamma = \frac{\pi^2 d^2 DN_a \gamma}{4} \quad \text{Ec. 37}$$

$$W = \frac{\pi^2 (0,02)^2 (0,1) (12) 76500 \text{ N}}{4} = 90,60 \text{ N}$$

La frecuencia del resorte dada por la Ecuación 34 es:

$$f = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{13,5 * 9810}{90,60}} \text{ Hz}$$

$$f = 9,55 \text{ Hz}$$

La frecuencia de operación o excitación es menor a 14 Hz, por lo que el resorte no necesita volver a diseñarse.

Los resortes por lo general están sometidos a carga por fatiga, para mejorar la fatiga de resortes cargados en forma dinámica suele usarse el martillado.

Tabla 45.
Resistencias a la fatiga de vida infinita de Zimmerli.

	Sin Martillar	Martillado
S_{sa}	35 kpsi (240 MPa)	57,5 kpsi (398 MPa)
S_{sm}	55 kpsi (379 MPa)	77,5 kpsi (534 MPa)

Fuente: (Budynas & Nisbet, 2008)

La fuerza máxima y mínima del resorte es:

$$F_{max} = 182,6 N$$

$$F_{min} = 0 N$$

Donde la amplitud del esfuerzo cortante es:

$$\tau_a = \frac{K_b 8F_a D}{\pi d^3} \quad \text{Ec. 38}$$

$$\tau_a = 374,89 MPa$$

El esfuerzo cortante medio es:

$$\tau_m = \frac{K_b 8F_m D}{\pi d^3} \quad \text{Ec. 39}$$

$$\tau_m = 374,89 MPa$$

La fuerza axial y media del resorte está dada por las Ecuaciones 37 y 38:

$$F_a = \frac{F_{max} - F_{min}}{2} \quad \text{Ec. 40}$$

$$F_m = \frac{F_{max} + F_{min}}{2} \quad \text{Ec. 41}$$

En este caso a fuerza mínima es cero por lo tanto $F_m = F_a$

La pendiente de la recta de carga es:

$$r = \frac{\tau_a}{\tau_m} = 1 \quad \text{Ec. 42}$$

Como diseñadores debemos construir ciertos lugares geométricos de falla en el diagrama de fatiga por torsión, por lo que se utiliza el módulo de ruptura por torsión donde:

$$S_{su} = 0,67 S_{ut} \quad \text{Ec. 43}$$

$$S_{su} = 0,67(899,81)MPa = 602,87 MPa$$

La ordenada de la intersección de Gerber del cortante es:

$$S_{se} = \frac{S_{sa}}{1 - \left(\frac{S_{sm}}{S_{su}}\right)^2} \quad \text{Ec. 44}$$

$$S_{se} = \frac{398}{1 - \left(\frac{534}{602,87}\right)^2} MPa = 1847 MPa$$

La componente de la amplitud de la resistencia S_{sa} del criterio de Goodman es:

$$S_{sa} = \frac{rS_{se}S_{su}}{rS_{su} + S_{se}} \quad \text{Ec. 45}$$

$$S_{sa} = 454.51 MPa$$

El factor de seguridad a la fatiga está dado por:

$$n_f = \frac{S_{sa}}{\tau_a} = \frac{454.51 MPa}{374,89 MPa} = 1,21 \quad \text{Ec. 46}$$

El resorte comercial que cumple con las características del diseño está en la Figura 69 es el LCM200G 04:

NUMERO DE PARTE	DIAMETRO EXTERIOR		DIAMETRO DEL AGUJERO		DIAMETRO DEL ALAMBRE		DIAMETRO DE POSTE		CARGA @ APROX ALTURA SOLIDA		LONGITUD SIN CARGA		CONSTANTE		ALTURA SOLIDA		GRUPO DE FRECCO Alambre Inoxidable de Plano 302	
	MM	PULG.	MM	PULG.	MM	PULG.	MM	PULG.	N	LBS.	MM	PULG.	N/MM	LBS/PULG.	MM	PULG.	M	S
LCM140G 15											75.00	2.953	1.87	10.67	27.790	1.094	L	M
LCM200G 01'											18.00	0.709	46.58	265.98	11.000	0.433	J	K
LCM200G 02'											26.50	1.043	29.70	169.59	15.000	0.591	J	K
LCM200G 03'	12.00	.472	12.50	.492	2.00	.079	7.50	.295	344.19	77.376	38.50	1.516	19.21	109.69	21.000	0.827	K	L
LCM200G 04'											55.00	2.165	13.05	74.52	29.000	1.142	M	N

Figura 69. Resortes de catálogo Lee Spring.

Fuente: <http://www.leespring.com/downloads/mx/2015/Catalago%202014%20Completo.pdf>

3.2.2.1.1. Mordaza para sujeción del arma

Para la sujeción del arma se realiza una mordaza como se visualiza en la Figura 70, la cual en su centro cuenta con silicona con la forma del arma para realizar la prueba.

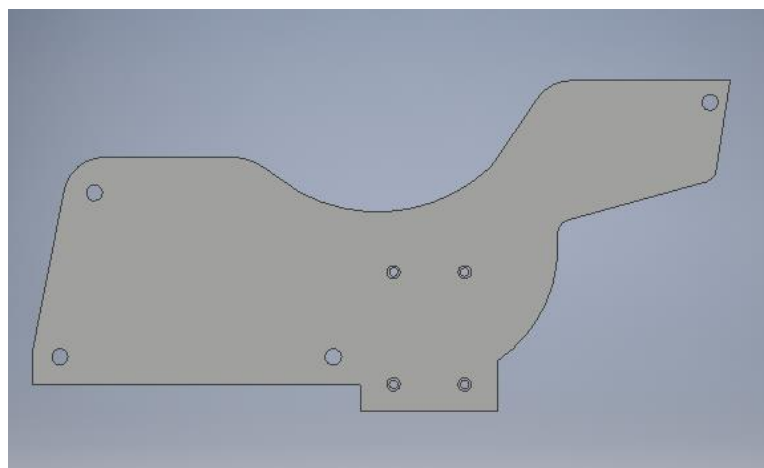


Figura 70. Mordaza para armas calibre 9mm

Estas piezas son de precisión pues se necesita 4 de similar forma, por lo que se es necesario de hacerlas en una electroerosionadora de hilo, para esto se programa en lenguaje de código G, cuyas medidas se realizan con una matriz

Tabla 46.

Código G para realizar la morzada en la electroerosionadora de hilo.

G00 G21 G90	N100 G01 X135.271
G54 G92 X0. Y0.	N105 G01 Y-115.25
S1412	N110 G01 X255.271
H001=0.163	N115 G01 Y-103.113
	N120 G01 X243.654 Y-44.199
N98 G40 G01 X0. Y0.	N125 G03 X228.815 Y-32. R15.125
N45 G01 X0. Y-0.	N130 G01 X182.333 Y-32.
N60 G01 Y-4.	N135 G03 X170.969 Y-35.516 R20.125
N65 G01 X5.021 Y-36.327	N140 G01 X157.081 Y-45.018
N70 G03 X8.783 Y-41.258 R5.125	N145 G02 X88.609 Y-36.333 R59.875
N75 G01 X59.442 Y-55.233	N150 G02 X86.329 Y-33.696 R14.875
N80 G02 X63.021 Y-59.932 R4.875	
N85 G01 Y-65.125	N155 G01 X70.712 Y-10.642
N90 G03 X85.021 Y-106.616 R50.125	N160 G03 X58.189 Y-4 R15.125
	N165 G01 X0. Y-4.
N95 G01 Y-125.25	N185 M3

3.2.2.2. Posicionamiento eje X

Para que el arma 9mm se posicione en el eje X es necesario diseñar un mecanismo que permita un control de movimiento, en la Figura 71 está las dimensiones de la zona de trabajo del manipulador.

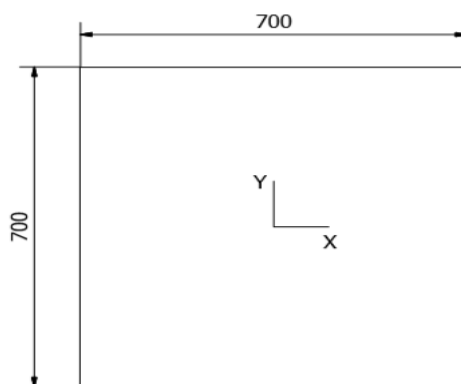


Figura 71 Plano de trabajo de la pistola 9mm.

El arma tiene un movimiento en el eje X de 700 mm, el ángulo que tiene que girar la pistola para cubrir esta distancia es de 8 grados (Figura 72).

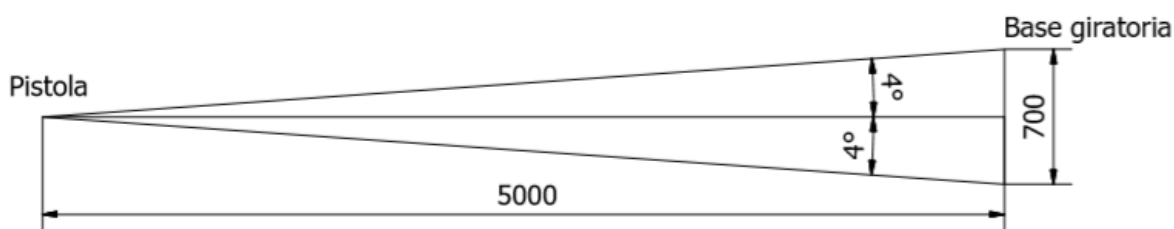


Figura 72 Movimiento de la pistola en el eje X.

El control de movimiento de 8 grados tiene un rango de error pequeño, pues se toma en cuenta que el mecanismo para disipar la energía del arma por el retroceso tiene que estar sobre el mecanismo de giro del manipulador que permitirá el desplazamiento sobre el eje X. En la Tabla 47 se hace un análisis de la relación de transmisión que permitirá realizar el control de movimiento de 8 grados, tomando en cuenta las características del motor a pasos como el número de dientes de la relación de transmisión.

Tabla 47.

Análisis de relación de dientes para movimiento eje X.

Mecanismo	Relación	Num de diente	Grados que gira la corona por diente [°]	Paso del motor Nema 23 [°]	Giro del motor para controlar 8° [°]	Num pasos del motor [pasos]	Num de dientes utilizados [dientes]	Permite controlar el movimiento
Motor directo	1:1	1	360,00	1,8	8	4	0,0	No
Engranajes rect	1:10	10	36,00	1,8	80	44	0,2	No
Engranajes rect	1:20	20	18,00	1,8	160	89	0,4	No
Engranajes rect	1:30	30	12,00	1,8	240	133	0,7	No
Tornillo sin fin	1:40	40	9,00	1,8	320	178	0,9	No
Tornillo sin fin	1:50	50	7,20	1,8	400	222	1,1	No
Tornillo sin fin	1:60	60	6,00	1,8	480	267	1,3	No
Tornillo sin fin	1:70	70	5,14	1,8	560	311	1,6	No
Tornillo sin fin	1:80	80	4,50	1,8	640	356	1,8	Si
Tornillo sin fin	1:90	90	4,00	1,8	720	400	2,0	Si
Tornillo sin fin	1:100	100	3,60	2,8	800	444	2,2	Si

Para empezar el diseño del mecanismo de movimiento de la Tabla 47 se escoge una relación 1:90 con un mecanismo tornillo sin fin corona, al ser una relación bastante grande se utilizará un tornillo sin fin con un diente y una corona con 90 dientes, para evitar que el tamaño de la corona sea demasiado grande se buscará un módulo de engranaje pequeño.

El número de dientes del tornillo sin fin que van a engranar en la corona es:

$$N_W = 1$$

Para que la relación cumpla de 90 a 1 tenemos el número de dientes en la corona es:

$$\frac{N_G}{N_W} = 90$$

$$N_G = 90$$

Se escoge un módulo de fresa comercial para empezar con el diseño, donde:

$$m = 2$$

Calculamos el paso circular de la corona:

$$p = \pi m = 6,28 \text{ mm} \quad \text{Ec. 47}$$

El diámetro de la corona es:

$$p = \frac{\pi D_G}{N_G} \quad \text{Ec. 48}$$

$$D_G = 6,28 \text{ mm} \frac{90}{\pi}$$

$$D_G = 180 \text{ mm}$$

El paso diametral de la corona se define:

$$P_D = \frac{N_G}{D_G} \quad \text{Ec. 49}$$

$$P_D = 0,5$$

El paso axial del sin fin debe ser igual al paso circular de la corona, por lo tanto:

$$P_X = 6,28 \text{ mm}$$

El avance del sin fin es:

$$L = N_W P_X \quad \text{Ec. 50}$$

$$L = 1(6,28) \text{ mm} = 6,28 \text{ mm}$$

El diámetro del sin fin debe estar en el intervalo que se muestra en la Ecuación 50:

$$1,6 < \frac{C^{0,875}}{D_W} < 3,0 \quad \text{Ec. 51}$$

Donde:

$C = \text{Distancia entre centros}$

$D_W = \text{Diámetro del sin fin}$

Resolvemos el siguiente sistema de ecuaciones:

$$1,6 < \frac{\left(\frac{D_W + 180}{2}\right)^{0,875}}{D_W} < 3,0$$

Teniendo el siguiente rango que cumple:

$$18,63 \text{ mm} < D_W < 37,88 \text{ mm}$$

Se escoge un valor para D_W que esté dentro del rango:

$$D_W = 20 \text{ mm}$$

Dimensiones típicas de los dientes en sinfines corona:

Tabla 48.

Dimensiones típicas de los dientes en sinfines y coronas.

Dimensión	Fórmula	Cálculo [mm]
Addendum	$a = 1/P_D$	2
Profundidad total	$h_t = 0,6866P_x$	4,31
Profundidad de trabajo	$h_k = 2a$	1
Dedendum	$b = h_t - a$	2,31
Diámetro de raíz del sinfín	$D_{rW} = D_W - 2b$	15,3
Diámetro exterior del sinfín	$D_{oW} = D_W + 2a$	24
Diámetro de la raíz de la corona	$D_{rG} = D_G - 2b$	175,3
Diámetro de la garganta de la corona	$D_t = D_G + 2a$	184

Fuente: (Mott,2015)

La fórmula para encontrar el ancho recomendado de cara de la corona se muestra en la Ecuación 52:

$$F_G = (D_{oW}^2 - D_W^2)^{1/2} \quad \text{Ec. 52}$$

$$F_G = (24^2 - 20^2 \text{ mm}^2)^{1/2}$$

El ancho de cara que utilizaremos para el diseño es:

$$F_G = 13,26 \text{ mm}$$

Ahora encontramos la longitud de la cara del sinfín, aplicando la siguiente fórmula:

$$F_W = 2 \left(\left(\frac{D_t}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_G}{2} - a \right)^2 \right)^{1/2} \quad \text{Ec. 53}$$

Donde:

$$F_W = 53,66 \text{ mm}$$

La fórmula del ángulo de hélice o ángulo de avance se muestra en la Ecuación 53:

$$\tan \lambda = \frac{L}{\pi D_W} \quad \text{Ec. 54}$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left(\frac{6,28}{\pi 20} \right)$$

$$\lambda = 5,71^\circ$$

En la Tabla 49 podemos observar el valor de ángulo de presión dado por la normativa AGMA, estos valores de ángulos de presión son de engranes de sinfín comerciales.

Tabla 49.

Ángulos profundidades de dientes recomendados para engranajes de tornillo sin fin.

Ángulo de avance λ , grados	Ángulo de presión ϕ_n , grados	Cabeza a	Raíz b_G
0-15	$14\frac{1}{2}$	$0.3683p_x$	$0.3683p_x$
15-30	20	$0.3683p_x$	$0.3683p_x$
30-35	25	$0.2865p_x$	$0.3314p_x$
35-40	25	$0.2546p_x$	$0.2947p_x$
40-45	30	$0.2228p_x$	$0.2578p_x$

Fuente: (Budynas & Nisbet, 2008)

La mayoría de sin fin comercial se fabrican con ángulo de presión de $14\frac{1}{2}^\circ$, 20° , 25° o 30° . Se utilizará un ángulo de presión de 20 grados. $\phi_n = 20^\circ$

La fórmula del ángulo de presión normal es:

$$\tan \phi_n = \tan \phi_t \cos \lambda \quad \text{Ec. 55}$$

Donde:

$$\phi_t = \text{Ángulo de presión transversal}$$

$\phi_n = \text{Ángulo de presión normal}$

$\lambda = \text{Ángulo de avance}$

El ángulo de presión transversal es:

$$\phi_t = \tan^{-1}(\tan\phi_n / \cos \lambda) \quad \text{Ec. 56}$$

$$\phi_t = 20^\circ$$

La velocidad de línea de paso para el sinfín es:

$$V_{tW} = \pi D_W n_W \quad \text{Ec. 57}$$

$$V_{tW} = 3770 \text{ mm/min}$$

La velocidad de línea de paso para la corona es:

$$V_{tG} = \pi D_G n_G \quad \text{Ec. 58}$$

$$V_{tG} = 377 \text{ mm/min}$$

La velocidad de deslizamiento en la corona:

$$V_S = \frac{V_{tG}}{\sin \lambda} \quad \text{Ec. 59}$$

$$V_S = 3790 \text{ mm/min}$$

$$V_S = 12,4 \text{ ft/min}$$

En la Figura 73 hacemos uso de la curva A porque es para materiales que se espera una mayor fricción, según Shigley:

$$f = 0,082$$

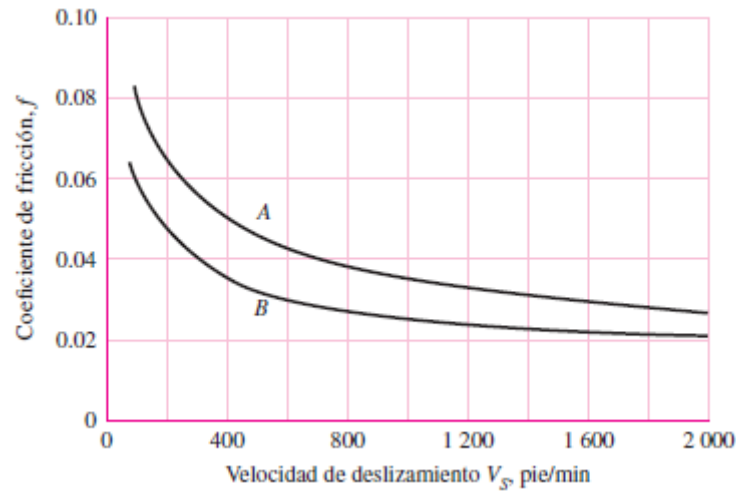


Figura 73. Coeficientes de fricción de tornillo sin fin.
Fuente: (Budynas & Nisbet, 2008)

Para calcular el torque en el tornillo sin fin tenemos los siguientes datos:

Potencia del motor a pasos: 10 Watt

Revoluciones del motor: 60 rpm

La fórmula que relaciona la potencia con el torque es:

$$P = Tn \quad \text{Ec. 60}$$

Donde:

T tiene las unidades de [Nm].

n tiene las unidades de [rad/s]

Calculamos el torque en el tornillo sin fin utilizando la Ecuación 59:

$$T = \frac{P}{n} \text{ [Nm]}$$

$$T = \frac{10 (60)}{60 (2\pi)} \text{ [Nm]}$$

$$T = 1,591 \text{ [Nm]}$$

La fuerza tangencia en el tornillo sin fin es:

$$T_i = \frac{F_{12}^t D_2}{2} \quad \text{Ec. 61}$$

$$F_{12}^t = \frac{2 T_i}{D_2} N$$

$$F_{12}^t = 159 Nm$$

La fuerza tangencial que ejerce el tornillo sinfín sobre la corona es:

$$W_{tG} = F_{12}^t = 159 Nm$$

El módulo de la fuerza es:

$$W = \frac{W_{tG}}{\cos \phi_n \sin \lambda + f \cdot \cos \lambda} \quad \text{Ec. 62}$$

$$W = 908,1 N$$

La fuerza radial que ejerce el tornillo sinfín sobre la corona es:

$$W_{rG} = W \sin \phi_n \quad \text{Ec. 63}$$

$$W_{rG} = 310 N$$

La fuerza axial es:

$$W_{aG} = W(\cos \phi_n \cos \lambda - f \cos \lambda) \quad \text{Ec. 64}$$

$$W_{aG} = 775 N$$

La eficiencia del engranaje es:

$$n = \frac{\cos \phi_n - f \cdot \tan \lambda}{\cos \phi_n + f / \tan \lambda} \quad \text{Ec. 65}$$

$$n = 53 \%$$

La potencia de la salida es:

$$n = \frac{P_o}{P_i} \quad \text{Ec. 66}$$

$$P_o = 75,9 \text{ Watts}$$

En la Figura 74 se observa el CAD en 3D del tornillo sin fin corona con los parámetros calculados en el diseño.

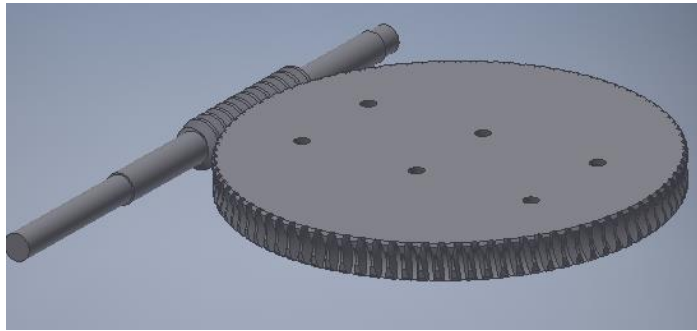


Figura 74. Tornillo sin fin corona posicionamiento eje X.

3.2.2.3. Posicionamiento eje Y

Para desarrollar el posicionamiento del eje Y se empieza con el diseño de un mecanismo de 4 barras

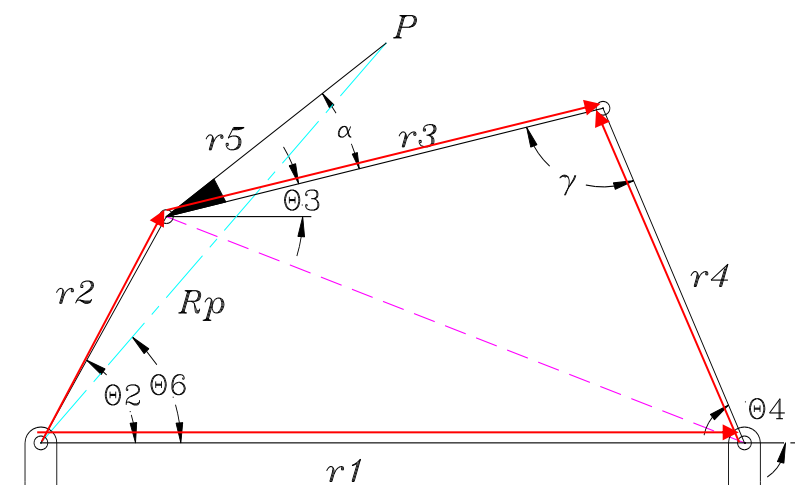


Figura 75. Esquema cinemático del mecanismo de cuatro barras.
Fuente: (Folleto Mecanismos Ing. Fernando Olmedo, 2015)

La ecuación del cierre del circuito de un mecanismo de cuatro barras es:

$$r_2 + r_3 = r_1 + r_4 \quad \text{Ec. 67}$$

Transformando a la forma compleja la Ecuación 67:

$$r_2 e^{i\theta_2} + r_3 e^{i\theta_3} = r_1 e^{i\theta_1} + r_4 e^{i\theta_4} \quad \text{Ec. 68}$$

$$\begin{aligned} r_1 (\cos 0 + i \operatorname{sen} 0) + r_4 (\cos \theta_4 + i \operatorname{sen} \theta_4) \\ = r_2 (\cos 90 + i \operatorname{sen} 90) + r_3 (\cos \theta_3 + i \operatorname{sen} \theta_3) \end{aligned}$$

Donde:

$$r_1 + r_4 \cos \theta_4 = r_3 \cos \theta_3 \quad \text{Ec. 69}$$

$$r_4 \sin \theta_4 = r_2 + r_3 \sin \theta_3 \quad \text{Ec. 70}$$

Elevamos al cuadrado las ecuaciones 69 y 70 para sumarlas:

$$(r_1 + r_4 \cos \theta_4)^2 = (r_3 \cos \theta_3)^2$$

$$r_1^2 + 2r_1 r_4 \cos \theta_4 + r_4^2 \cos^2 \theta_4 = r_3^2 \cos^2 \theta_3$$

$$(r_4 \sin \theta_4)^2 = (r_2 + r_3 \sin \theta_3)^2$$

$$r_4^2 \sin^2 \theta_4 = r_2^2 + 2r_2 r_3 \sin \theta_3 + r_3^2 \sin^2 \theta_3$$

En la Ecuación 71 tenemos r_1 en función de θ_3 .

$$r_1 = r_3 \cos \theta_3 - r_4 \cos\left(180 - \sin^{-1} \frac{r_2 + r_3 \sin \theta_3}{r_4}\right) \quad \text{Ec. 71}$$

Para obtener θ_3 en función de r_1 a las Ecuaciones 69 y 70, elevamos al cuadrado y sumamos:

$$r_4 \cos \theta_4 = r_3 \cos \theta_3 - r_1$$

$$r_4 \sin \theta_4 = r_2 + r_3 \sin \theta_3$$

$$r_4^2 \cos^2 \theta_4 = r_3^2 \cos^2 \theta_3 - 2r_1 r_3 \cos \theta_3 + r_1^2$$

$$r_4^2 \sin^2 \theta_4 = r_2^2 + 2r_2 r_3 \sin \theta_3 + r_3^2 \sin^2 \theta_3$$

$$r_4^4 = r_3^2 + r_2^2 + r_1^2 + 2r_3(r_2 \sin \theta_3 - r_1 \cos \theta_3) \quad \text{Ec. 72}$$

Para resolver la Ecuación 72 utilizamos las siguientes equivalencias conocidas:

$$\sin \theta_4 = \frac{2 \tan \frac{\theta_4}{2}}{1 + \tan^2 \frac{\theta_4}{2}} \quad \text{Ec. 73}$$

$$\cos \theta_4 = \frac{1 - \tan^2 \frac{\theta_4}{2}}{1 + \tan^2 \frac{\theta_4}{2}} \quad \text{Ec. 74}$$

Para simplificar el desarrollo usamos:

$$\tan \frac{\theta_4}{2} = x \quad \text{Ec. 75}$$

Reemplazando la Ecuación 75 en las Ecuaciones 73 y 74 obtenemos:

$$\sin \theta_4 = \frac{2x}{1 + x^2} \quad \text{Ec. 76}$$

$$\cos \theta_4 = \frac{1 - x^2}{1 + x^2} \quad \text{Ec. 77}$$

Reemplazando las Ecuaciones 76 y 77 en la Ecuación 72 se obtiene:

$$r_4^4 = r_3^2 + r_2^2 + r_1^2 + 2r_3 \left(r_2 \frac{2x}{1+x^2} - r_1 \frac{1-x^2}{1+x^2} \right)$$

$$(r_4^4 - r_3^2 - r_2^2 - r_1^2)(1+x^2) = 2r_3r_2(2x) - 2r_3r_1(1-x^2) \quad \text{Ec. 78}$$

Para simplificar la Ecuación 78 cambiamos por constantes los siguientes valores:

$$k_1 = r_4^4 - r_3^2 - r_2^2 - r_1^2$$

$$k_2 = 2r_3r_2$$

$$k_3 = 2r_3r_1$$

$$(k_1 - k_3)x^2 - 2k_2x + (k_1 + k_3) = 0 \quad \text{Ec. 79}$$

La Ecuación 79 es una ecuación de segundo orden por lo que la solución es:

$$A(r_1) = k_1 - k_3$$

$$B(r_1) = -2k_2$$

$$C(r_1) = k_1 + k_3$$

En la Ecuación 80 tenemos θ_3 en función de r_1 .

$$\theta_3(r_1) = 2 \tan^{-1} \left(\frac{2k_2 - \sqrt{4k_2^2 - 4(k_1 - k_3)(k_1 + k_3)}}{2(k_1 - k_3)} \right) \quad \text{Ec. 80}$$

Los valores de los eslabones r_2 , r_3 , r_4 son:

$$r_2 = 209,1 \text{ mm}$$

$$r_3 = 360,9 \text{ mm}$$

$$r_4 = 230 \text{ mm}$$

3.2.2.3.1. Componentes del mecanismo de 4 barras.

En la Figura 76 se observa el mecanismo de 4 barras diseñado para el posicionamiento del eje Y.

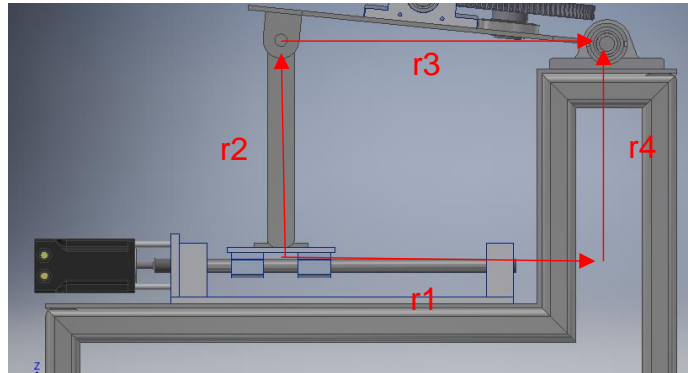


Figura 76. Mecanismo de 4 barras diseñado para el posicionamiento del eje Y

El desplazamiento lineal de r1 se lo realiza con un eje electromecánico lineal como se muestra en la Figura 77, tiene un perfil en C (color gris) que permite el desplazamiento de un carro de 6 ruedas (color negro).



Figura 77. Eje electromecánico lineal
Fuente: (Catálogo Impresoras 3D, 2017)

Para el eslabón r2 se utiliza dos platinas de $\frac{3}{4} \times 2\text{mm}$ en paralelo como se muestra en la Figura 78, consta de dos agujeros para articularse con los eslabones r1 y r3.

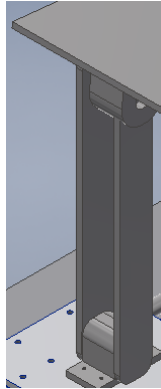


Figura 78. Eslabón r2 posicionamiento eje Y

El eslabón r3 es la mesa donde está ubicado el mecanismo tornillo sin fin corona y se encuentra el sistema de retroceso, como se muestra en la Figura 79.

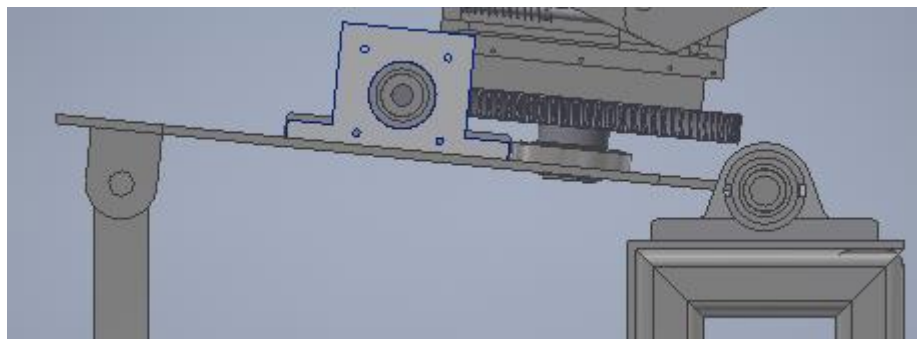


Figura 79. Eslabón r3 posicionamiento eje Y.

El eslabón r4 es perpendicular al eslabón r1 hasta el eje donde va la chumacera, como se muestra en la Figura 79.

3.3. Componentes de las ventanas HMI.

El sistema de control cuenta con una HMI realizad en Python, esta HMI tiene varias ventanas las cuales se encuentran vinculadas.

3.3.1. Ventana Login.

Esta ventana cuenta con un usuario y una contraseña, la persona a cargo de realizar la prueba balística debe colocar el usuario y la contraseña correcta (Figura 79), para ingresar debe presionar el botón **Login** y así poder acceder al control del manipulador y la base giratoria.

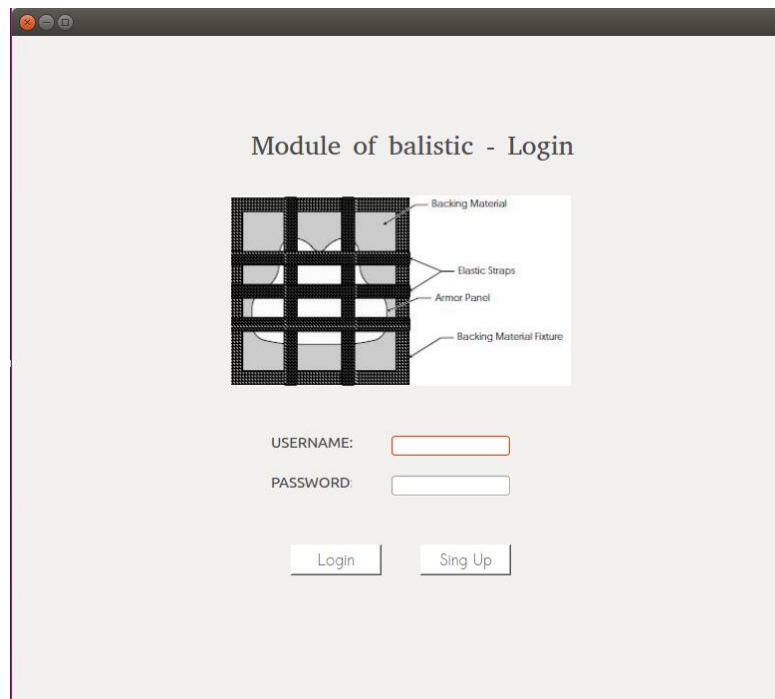


Figura 80. Ventana Login

El botón Sing Up ayudará a eliminar algún usuario o contraseña incorrecta.

3.3.2. Ingreso modo manual, automático, guardar información.

Luego de pasar la ventana Login se puede seleccionar el tipo de funcionamiento que se desea para el manipulador y la base giratoria, es decir, modo automático y modo manual.

Tiene el botón Save Info, este botón direcciona a una ventana que tiene una matriz para guardar la información tomado en las pruebas.

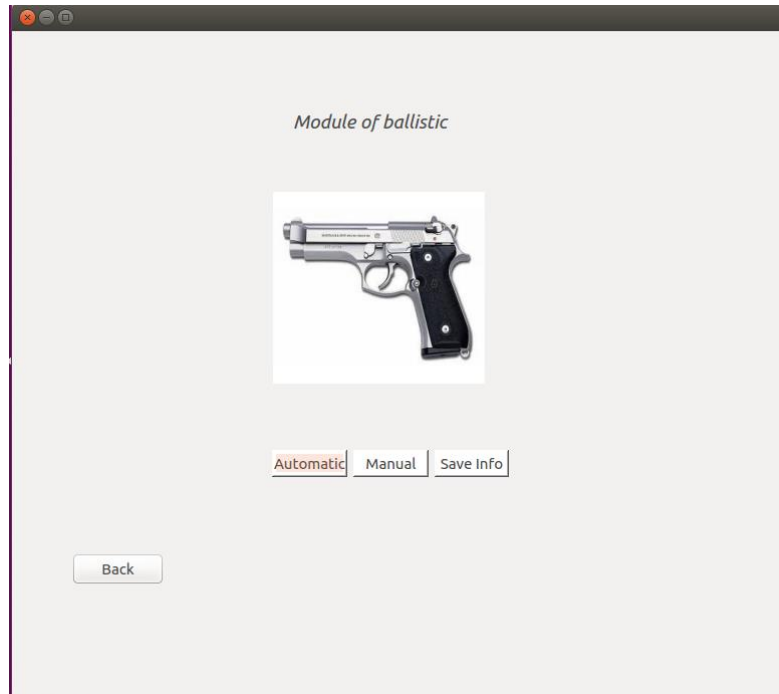


Figura 81. Ingreso modo manual o automático.

Además se cuenta con el botón **Back**, el cual permite regresar a la pestaña de Login, siempre que se presione este botón aparece un cuadro de diálogo preguntando si se quiere regresar a Login para asegurar que el botón no se presionó accidentalmente.

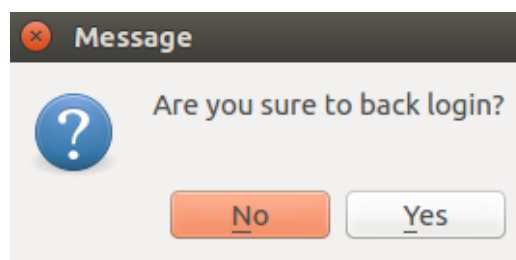


Figura 82. Cuadro de dialogo para regresar a Login.

3.3.3. Ventana manual.

La ventana manual se muestra en la Figura 83 donde se divide en tres partes:

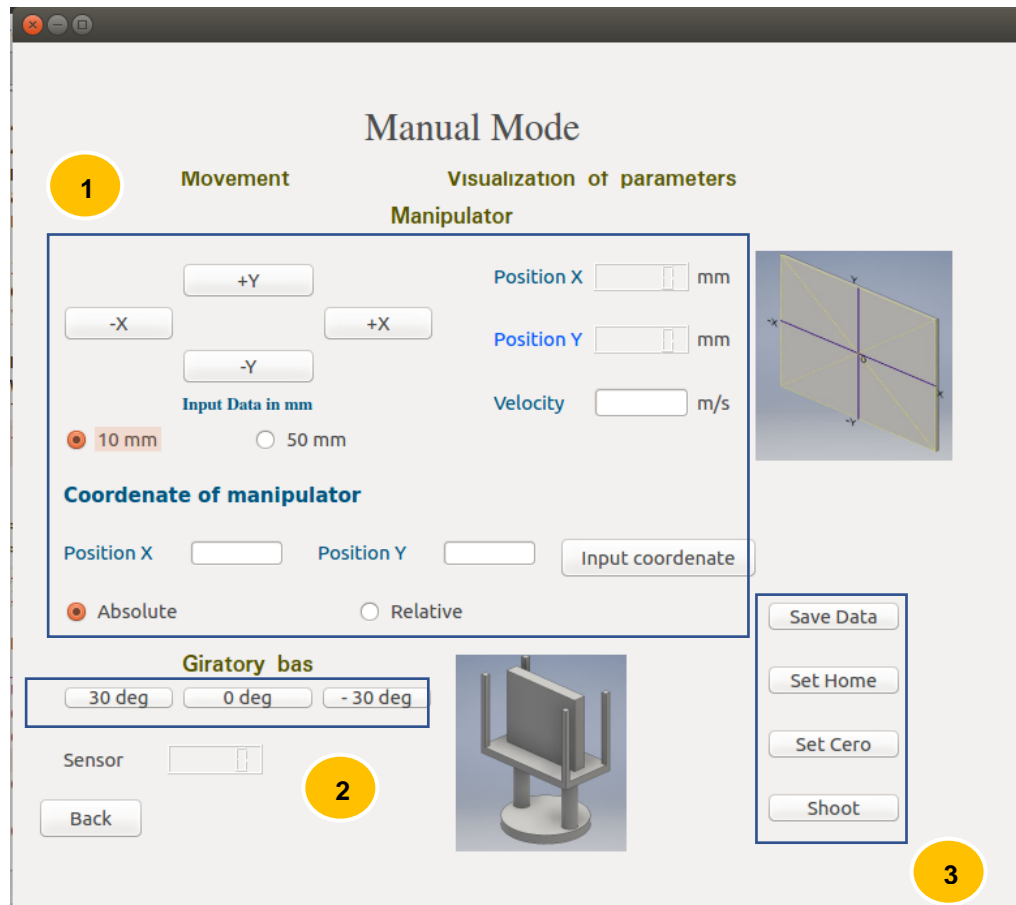


Figura 83. Ventana Manual

3.3.3.1. Manipulador modo manual

La circunferencia con el número 1 en la Figura 83 muestra el segmento que sirve para manejar en modo manual el manipulador:

Los botones **+Y** e **-Y** sirven para mover el mecanismo de 4 barras del posicionamiento en Y, se lo puede hacer en dos avances 10mm y 50mm, el movimiento del avance de 10

y 50 mm está reflejado en la base giratoria donde está el plano cartesiano de referencia movimiento arriba abajo.

Los botones **+X** y **-X** sirven para mover el mecanismo de posicionamiento en X, se lo puede hacer en dos avances 10mm y 50mm, el movimiento del avance de 10 y 50 mm está reflejado en la base giratoria donde está el plano cartesiano de referencia movimiento izquierda derecha.

En la parte Coordinate of Manipulator se ingresa valores numéricos en Position X y Position Y: si el check de **Absolute** está seleccionado los valores de la posición X e Y ingresados mueven el manipulador en coordenadas absolutas, si el check de **Relative** está seleccionado los valores de la posición X e Y ingresados mueven el manipulador en coordenadas relativas. Para poder enviar al Arduino los valores de las posiciones X e Y tanto en coordenadas absolutas o relativas se tiene que presionar **Input Coordinate**.

El manipulador cuenta con una pantalla de visualización para la Posición X y Posición Y, en la que se muestra las posiciones en coordenadas absolutas, además se puede ingresar los datos de la velocidad de la bala medida en un cronógrafo (Figura 84).



The image shows a digital display interface with three rows of input fields. The first row is labeled 'Position X' in blue text, followed by a white input box with a vertical slider on the right, and the unit 'mm' in black text. The second row is labeled 'Position Y' in blue text, followed by a white input box with a vertical slider on the right, and the unit 'mm' in black text. The third row is labeled 'Velocity' in blue text, followed by a white input box, and the unit 'm/s' in black text.

Figura 84. Visualización de coordenadas X e Y del manipulador.

3.3.3.2. Base Giratoria modo manual.

La circunferencia con el número 2 en la Figura 83 muestra el segmento que sirve para manipular en modo manual la base giratoria.

Esta parte de la HMI cuenta con tres botones, es decir, que la base giratoria cuenta con tres posiciones:

El botón de 30 deg permite mover el soporte de la plastilina balística que está en la base giratoria en 30 grados positivos. Una vez que se presiona el botón de 30 deg aparece un cuadro de diálogo (Figura 85).

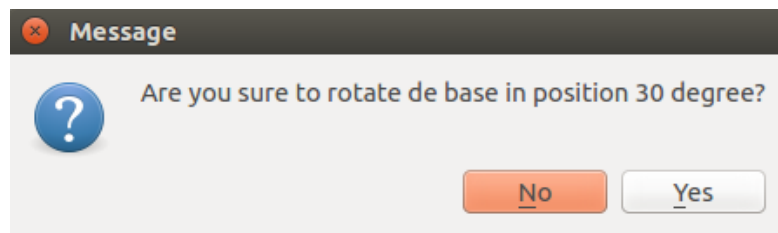


Figura 85. Cuadro de diálogo botón 30 deg

El botón de - 30 deg permite mover el soporte de la plastilina balística que está en la base giratoria en 30 grados negativos. Una vez que se presiona el botón de - 30 deg aparece un cuadro de diálogo (Figura 86).

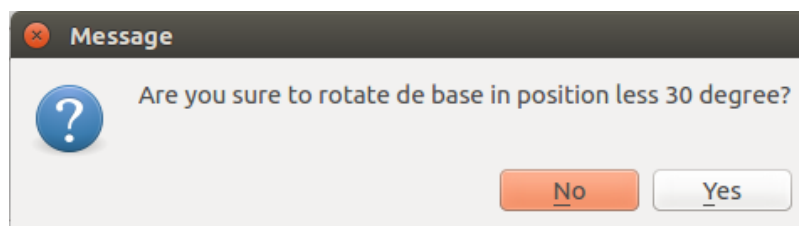


Figura 86. Cuadro de diálogo botón 30 deg

El botón de 0 deg permite mover el soporte de la plastilina balística que está en la base giratoria en 0 grados positivos, que será la posición normal. Una vez que se presiona el botón de 0 deg aparece un cuadro de diálogo (Figura 87).

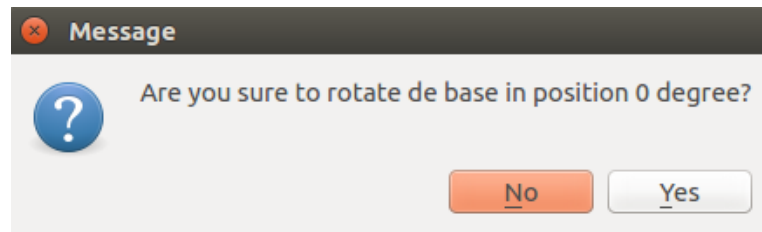


Figura 87. Cuadro de diálogo botón 0 deg

3.3.3.3. *Botones de accionamiento.*

La circunferencia con el número 3 en la Figura 83 muestra el segmento que tiene algunos botones para las distintas acciones, como por ejemplo:

Save Data: Almacena los datos de posición en X, posición en Y y Velocidad.

Set Home: Este botón establece el manipulador en el punto cero de máquina, es decir, 0 en la posición X y 0 en la posición Y, una vez presionado el botón aparece una ventana con un cuadro de dialogo de confirmación (Figura 88).

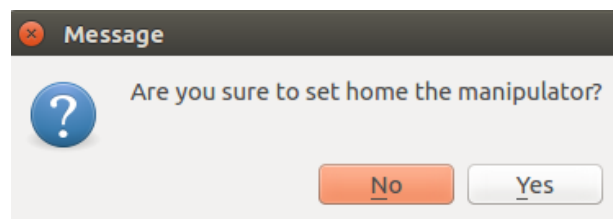


Figura 88. Cuadro de dialogo botón Set Home.

Shoot: El botón de disparo en la ventana manual sirve para ejecutar el disparo, una vez que se presiona el botón aparece una ventana con un cuadro de dialogo de confirmación (Figura 89).

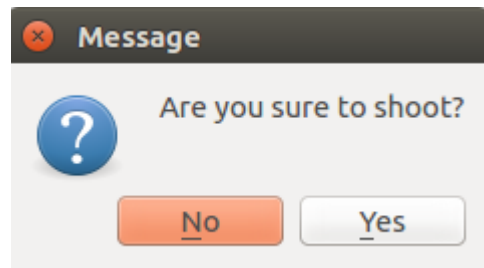


Figura 89. Cuadro de dialogo botón Shoot.

Back: El botón back permite salir de la ventana de modo manual hacía el ingreso modo manual o automático, por lo que aparece un mensaje en un cuadro de dialogo al momento de presionarlo (Figura 90).

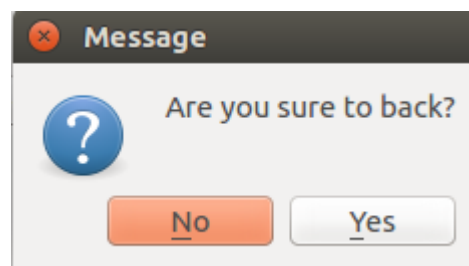


Figura 90. Cuadro de dialogo botón Back.

3.3.4. Ventana automática.

La ventana de modo automático se muestra en la Figura 91, la finalidad de esta ventana es guardar 6 puntos (Son 6 disparos para las pruebas de chalecos antibalas) de Posición X y Posición Y del manipulador, además guarda la posición que debe tener la base giratoria con respecto a los puntos del manipulador.

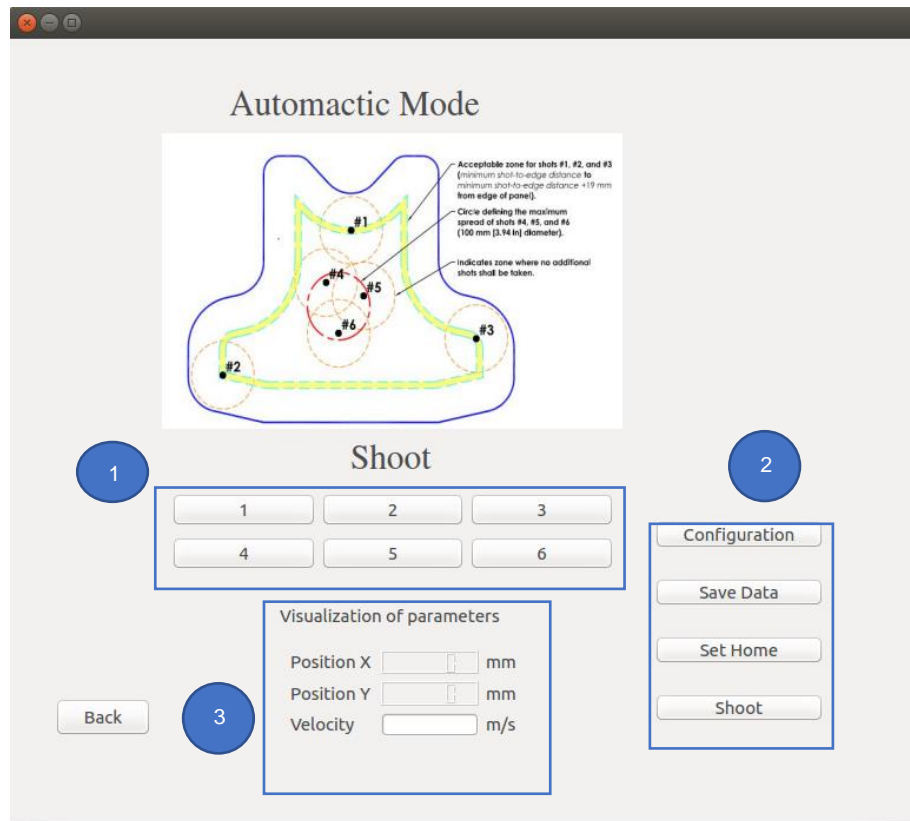


Figura 91. Ventana en modo automático.

La circunferencia con el número 1 en la Figura 91 muestra 6 botones con un número del 1 al 6, cada número guarda un punto en el manipulador y una posición en la base giratoria, en la parte central está un chaleco con la disposición de los puntos y los ángulos de incidencia según la Norma NIJ (NIJ Justice, 2008). Al momento de posicionarse en cualquiera de los puntos aparece un cuadro de diálogo (Figura 92).

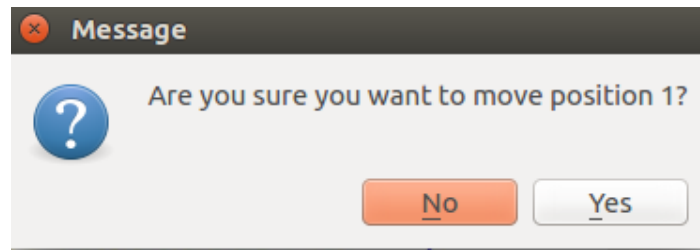


Figura 92. Cuadro de diálogo Punto 1 Ventana automático.

La circunferencia con el número 2 muestra en la Figura 91 muestra las coordenadas X e Y del manipulador.

La circunferencia con el número 3 muestra en la Figura 91 tiene algunos botones que complementan la ventana automática:

Save Data: Guarda la posición X e Y del manipulador en un archivo Excel.

Set Home: Este botón establece el manipulador en el punto cero de máquina, es decir, 0 en la posición X y 0 en la posición Y, una vez presionado el botón aparece una ventana con un cuadro de dialogo de confirmación.

Shoot: El botón de disparo en la ventana manual sirve para ejecutar el disparo, una vez que se presiona el botón aparece una ventana con un cuadro de dialogo de confirmación.

Configuration: Este botón permite ingresar a la configuración de los puntos del 1 al 6 en el manipulador y la base giratoria, en la sección 3.3.4.1 *Configuración de los puntos en ventana automático* se describe la configuración.

3.3.4.1. Configuración de los puntos en ventana automático.

La ventana de configuración es similar a la ventana manual, la principal función de esta ventana es mover tanto el manipulador como la base giratoria para grabar la posición en X e Y del manipulador y la posición de la base giratoria en los puntos del 1 al 6.

Una vez que se posiciona el manipulador en la Posición X y la Posición Y se debe posicionar la base giratoria en la posición 0, 30 o -30 grados, cuando el usuario tenga ambas posiciones correctamente ubicadas procede a guardar en cualquiera de las 6 posiciones que cuenta la HMI, las posiciones guardadas deben configurarse previamente y seleccionamos en el panel de la ventana como se puede observar en la circunferencia 1 de la Figura 93.

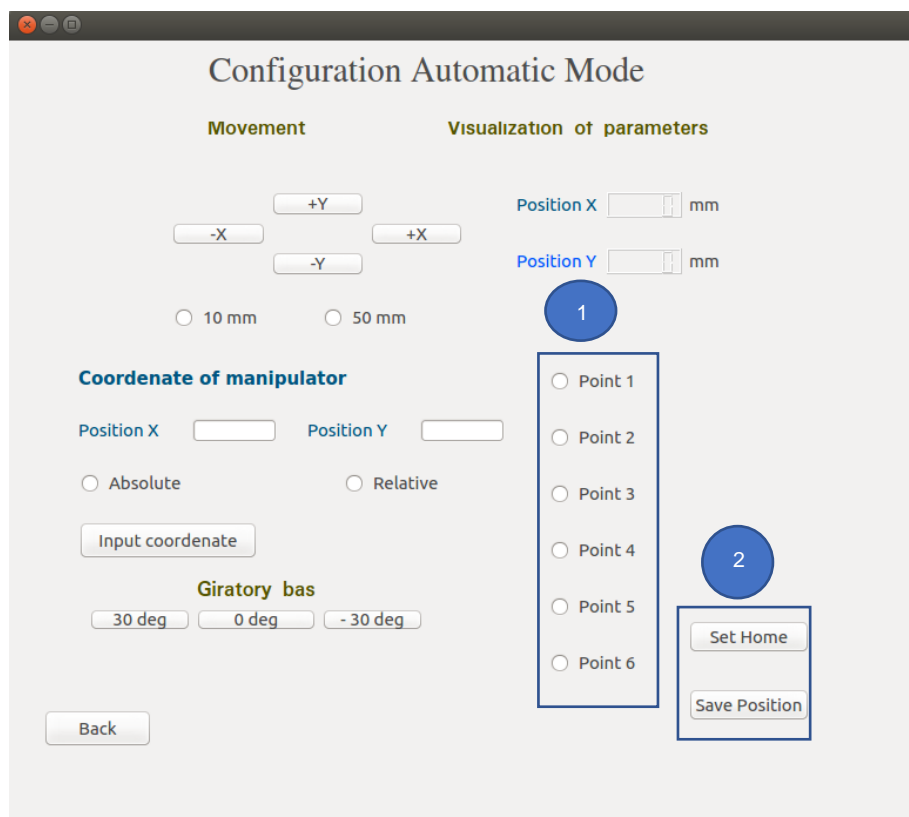


Figura 93. Ventana configuración.

En la circunferencia 2 de la Figura 93 la HMI cuenta con dos botones cuyas funciones son:

Set Home: Este botón establece el manipulador en el punto cero de máquina, es decir, 0 en la posición X y 0 en la posición Y, una vez presionado el botón aparece una ventana con un cuadro de dialogo de confirmación.

Save Position: EL botón sirve para guardar la posición de cualquier punto del 1 al 6. (Para que la posición se guarde debe estar seleccionado un punto de la circunferencia 1 Figura 91)

3.3.5. Guardar información luego de la prueba.

Luego de la prueba balística se requiere guardar la información de la prueba balística, en la Figura 91 ingresamos a Save Info donde aparece la siguiente ventana de la Figura 94.

Ballistic Module

TITULO DEL DOCUMENTO:

NUM TOTALES DE CAPAS:

DATOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA BALISTICA

	ANGULO DE INCIDEN []	TRAUMA [mm]	RESULTADO [TEXT]	BSERVACIONES [TEX]
1				
2				
3				
4				
5				
6				

INFORMACION DEL CHALECO

	REGISTRO [TEXT]	RESULTADOS [TEXT]
NOMBRE DEL FABRICANTE:		
NIVEL DE PROTECCION BALISTICA:		
FECHA DE FABRICACION:		
FECHA DE EXPEDICION:		
MODELO:		
NUM LOTE O SERIE:		
INSTRUCCIONES DE CUIDADO:		
INDICACIONES DE LA TALLA:		
LADO DE IMPACTO:		

Save

Clear all

Back

Figura 94 Ventana Save Data.

En la parte superior en **TÍTULO DEL DOCUMENTO** se ingresa el nombre con el que se guarda el documento Excel, puede ser el nombre del cliente. En **NUM TOTAL DE CAPAS** se debe ingresar el número total de capas que tiene el chaleco antibalas al que se le realizó la prueba.

Hay dos matrices en la ventana Save Data (Figura 94): En la primera matriz se ingresan datos de la prueba balística, la matriz cuenta con 6 filas y 5 columnas.

La columna 1 y la fila 1 son de visualización: En la columna 1 están los puntos que representan los 6 disparos realizados en la prueba balística en un chaleco. En la columna 2 en **ÁNGULO DE INCIDENCIA [°]** se ingresa el ángulo de incidencia de ese disparo con respecto al chaleco, en la columna 3 en **TRAUMA [mm]** va la distancia del trauma que deja el proyectil en la plastilina balística, en la columna 4 en **RESULTADO [TEXT]** se coloca si cumple el nivel de resistencia balística aplicado en la prueba, en la columna 5 en **OBSERVACIONES [TEXT]** se coloca alguna novedad de la prueba en ese disparo.

En la segunda matriz se ingresan datos de la etiqueta del chaleco, la matriz cuenta con 10 filas y 3 columnas.

El botón **Save** sirve para guardar la información ingresada en la Ventana Save Data, se genera un archivo en Excel guardado en la siguiente ubicación de la máquina Virtual /Desktop/ArchivosExcel\$. Un ejemplo de un archivo generado al momento de guardar la información se puede observar en la Figura 95.

	A	B	C	D	E	F	G
1	PRUEBA BALISTICA		JUAN IBARRA		FECHA PRUEBA:		28-Oct-18
2	NUMERO DE CAPAS DEL CHALECO:			35			
3	No DE IMPACTO	ANGULO DE TRAUMA [mm]		RESULTADO	OBSERVACIONES		
4	1	0	19.72	CUMPLE NIVEL IIIA			
5	2	0	22.06	CUMPLE NIVEL IIIA			
6	3	0	27.75	NO SE CONSIDERA	EL TIRO NO FUE EQUIDISTANTE		
7	4	0	12.62	CUMPLE NIVEL IIIA			
8	5	30	15.24	CUMPLE NIVEL IIIA			
9	6	30	16.31	CUMPLE NIVEL IIIA			
10							
11	DESCRIPCION:		REGISTRO	RESULTADO			
12	NOMBRE DEL FABRICANTE		BLINDEX EXTREM CIA LTDA	CUMPLE			
13	NIVEL DE PROTECCION		NIJ IIIA	CUMPLE			
14	FECHA DE FABRICACION		SI INDICA	CUMPLE			
15	FECHA DE EXPEDICION		SI INDICA	CUMPLE			
16	MODELO:		BASICO	CUMPLE			
17	NUMERO DE LOTE O SERIE		LOTE XXX	CUMPLE			
18	INSTRUCCIONES DE CUIDADO		SI INDICA	CUMPLE			
19	INDICACIONES DE LATA		SI INDICA	CUMPLE			
20	LADO DE IMPACTO:		SI INDICA	CUMPLE			

Figura 95 Ejemplo de Archivo Save Data generado automaticamente en Excel.

3.4. Componentes eléctricos y/o electrónicos.

Para la implementación de los componentes eléctrico/electrónicos se divide en cuatro secciones: integración del sistema mecánico con el eléctrico, sistema de control, programación y la conexión de todos los componentes al controlador.

3.4.1. Integración del sistema eléctrico con el mecánico

Para ejecutar el movimiento deseado se selecciona el tipo de motor que se utilizará con el fin de obtener el resultado objetivo. Según la matriz de selección el actuador con el cual se trabaja para este proyecto son los motores a pasos, por su ventaja que brinda en controlar su movimiento.

Los motores que se selecciona son de la gama NEMA (National Electrical Manufacturers Association) que son altamente utilizados para el control de máquinas cuyo movimiento requiere de precisión tales como CNC's, impresoras 3D, etc.

Tabla 50.
Motores Gama NEMA

Serie	Torque	Corriente Nominal
<p>Motor a pasos NEMA 17 STP-MTR-17048</p> 	0.59 N-m	2.0 A
<p>Motor a pasos NEMA 23 STP-MTR-23055</p> 	1.29 N-m	2.8 A
<p>Motor a pasos NEMA 23 STP-MTR-23079</p> 	2.08 N-m	2.8 A
<p>Motor a pasos NEMA 34 STP-MTR-34066</p> 	3.06 N-m	2.8 A

Por los requerimientos de torque que presenta el sistema mecánico, el motor seleccionado es el NEMA 23 STP-MTR-23079.

Una vez seleccionado el motor con el cual se trabaja es requerido acoplar los motores a los mecanismos de movimiento diseñados. Se toma en cuenta que el manipulador

consta de dos grados de libertad y la base giratoria uno, es decir, que se necesita tres actuadores la aplicación deseada.

3.4.1.1. *Acoplamiento de actuadores con mecanismos de movimiento*

Para cada uno de los mecanismos antes descritos se eligió un acoplamiento flexible como se muestra en la figura 96 para el motor a pasos seleccionado.



Figura 96. Acoples flexibles
Fuente: Inven Technology Experts

Los acoples flexibles de aluminio presentan las siguientes características:

- Diámetro de entrada 5 mm y de salida a 8mm.
- Alineación óptima con el eje de acople.
- Absorción de posibles desalineaciones y carga sobre los ejes.
- Fijación a ejes por prisioneros.
- Soportan hasta una velocidad máxima de 6000 a 8000 revoluciones por minuto.

3.4.1.2. *Conversión energía eléctrica a rotacional*

Para transformar la energía eléctrica a rotacional, se realiza las siguientes etapas:

- Conversión energía AC / DC con una fuente de voltaje, para el proyecto se utilizará una por cada motor. Por las condiciones de la aplicación cabe notar

que el grado de protección que se desea para la fuente es IP 20. Para la aplicación en el proyecto se utilizará tres fuentes de 12V a 5A.



Figura 97. Fuente AC/DC
Fuente: (Dilusa, s.f.)

- Para simplificar el manejo de los motores a paso se implementa un driver HY-DIV268N-5^a, permite el control por pulsos que serán enviado por señales digitales del arduino. Algunas de las ventajas que ofrece:
 - Compatibilidad con motor de 12V a 48V DC.
 - Corriente de excitación máxima 5^a.
 - Utiliza el control de subdivisión de bucle de corriente.
 - El rizado del par de torque del motor es bajo.
 - Protección contra sobrevoltaje, bajo voltaje, sobrecorriente y cortocircuitos.
 - Temperatura de funcionamiento: -10 a 45 grados centígrados.



Figura 98. Driver HY-DIV268N-5^a
Fuente: (Electronilab, s.f.)

3.4.2. Sistema de control

Se considera un sistema de lazo abierto puesto que el proceso actúa sobre la señal de entrada y da como resultado una señal de salida de manera independiente a la de entrada. No hay retroalimentación hacia el controlador, con excepción de los límites que se fija en la operación esto a través del montaje de fines carrera mecánicos como se observa en la Figura 99.



Figura 99. Fines de carrera mecánicos
Fuente: (Createc Shop 3D, s.f.)

El sistema en lazo abierto provee un concepto sencillo a la hora de programar puesto que la señal de salida no se compara con la entrada, y la precisión depende de la previa calibración del sistema. Por tal motivo se requirió durante la programación se tuvo por objetivo el correcto ingreso de las ecuaciones cinemáticas de cada uno de los mecanismos y esto por consiguiente un funcionamiento óptimo y preciso del sistema, cabe notar que al tratarse de un sistema no retroalimentado la calibración se realizó de forma sistemática en pruebas de errores, en secciones posteriores se verificará lo mencionado.

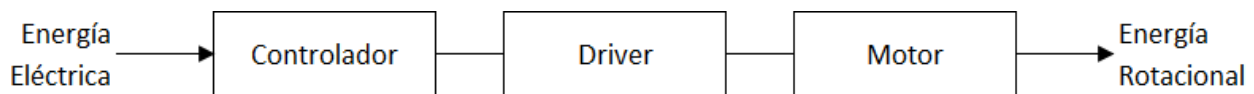


Figura 100 Sistema de lazo abierto, base giratoria y manipulador

3.4.3. Programación del controlador

La programación del controlador se realizó con el software arduino, se utilizó la comunicación serial entre Python y arduino para poder obtener un control de movimiento desde la HMI (Interfaz Humano Máquina) hacia el controlador, y así, establecer una comunicación entre hardware y software, a continuación, detallamos las líneas de código en Arduino.

```

#include <Stepper.h>
#include <math.h>

float pi=3.14159265;
float r2=214;
float r3=370.83;
float r4=230;
float r1=199;

myStepperX10.step(-stepsPerRevolutionX10);
Serial.println( contPosXAbsol);
if(contPosXAbsol>=50400){
  contXPlus=1000;
  contPosXAbsol=pasParLlegP;
}
contXPlus++;
}

```

```

float teta3;
float teta3prima;
float teta31;
float r11;

long contPasBasGir=157200;
long pasParLlegL=157200;
long pasParLlegM=72000;
int contPlus=1;
long pasParLlegP=50400;
long pasParLlegO=42700;
long pasParSetHomX=25200;
long pasParSetHomY=15700;

int posxrelati;
int posyrelati;
int posxabsol;
int posyabsol;

long contPosXRelati=0;
long contPosYRelati=0;
long contPosXAbsol=25200;
long contPosYAbsol=32900;

long PosicionX1=pasParSetHomX;
long PosicionY1=pasParSetHomY;
long PosicionB1=0;

long PosicionX2=pasParSetHomX;
long PosicionY2=pasParSetHomY;
long PosicionB2=0;

long PosicionX3=pasParSetHomX;
long PosicionY3=pasParSetHomY;
long PosicionB3=0;

long PosicionX4=pasParSetHomX;
long PosicionY4=pasParSetHomY;
long PosicionB4=0;

long PosicionX5=pasParSetHomX;
long PosicionY5=pasParSetHomY;
long PosicionB5=0;

long PosicionX6=pasParSetHomX;
long PosicionY6=pasParSetHomY;
long PosicionB6=0;

char mssg = 0;
String mssg2 = 0;
String mssg3 = 0;

const int senMovi=A0;

valorXactual=posXGeneral(contPosXAbsol);

delay(100);

}
}

if(contPosXAbsol>=pasoMotorEnX){

long restaPasos = contPosXAbsol-
pasoMotorEnX;
float divPasos =(restaPasos/ 100);
int residuo = restaPasos%100;
if(residuo>51){
divPasos=divPasos+1;
}
Serial.println("divPasos");
Serial.println(divPasos);
int contXLess=1;
while(contXLess<=divPasos){
contPosXAbsol=contPosXAbsol-
stepsPerRevolutionX10;

myStepperX10.step(stepsPerRevolutionX10);
Serial.println( contPosXAbsol);
if(digitalRead(finCarreBasEjeX0)==LOW){
contXLess=1000;
contPosXAbsol=0;    }
contXLess++;
}

valorXactual=posXGeneral(contPosXAbsol);
delay(100);
}
}

}

else if(mssg == 'o')
{
delay(50);
mssg2 = Serial.readString();
delay(50);
mssg3 = Serial.readString();

int valorXCoordAbsol = mssg2.toInt();
int valorYCoordAbsol = mssg3.toInt();

if(digitalRead(finCarreBasEjeY0)==HIGH){
if(digitalRead(finCarreBasEjeY0)==HIGH){

```



```

const int finCarreBasGirN=26;
const int finCarreBasGirL=27;

const int finCarreBasEjeY0=6;
const int finCarreBasEjeY1=7;
const int finCarreBasEjeX0=12;
const int finCarreBasEjeX1=13;

const int stepsPerRevolutionY0 = 50;
const int stepsPerRevolutionY1 = 50;
const int stepsPerRevolutionY10 = 50;

const int stepsPerRevolutionX0 = 100;
const int stepsPerRevolutionX1 = 100;
const int stepsPerRevolutionX10 = 100;

const int stepsPerRevolutionB1 = 100;

Stepper myStepperY0(stepsPerRevolutionY0,
2,3,4,5);
Stepper myStepperY1(stepsPerRevolutionY1,
2,3,4,5);
Stepper myStepperY10(stepsPerRevolutionY10,
2,3,4,5);

Stepper
myStepperX0(stepsPerRevolutionX0,8,9,10,11);
Stepper
myStepperX1(stepsPerRevolutionX1,8,9,10,11);
Stepper
myStepperX10(stepsPerRevolutionX10,8,9,10,11)
;

Stepper
myStepperB1(stepsPerRevolutionB1,22,23,24,25)
;

void setup()
{

myStepperY0.setSpeed(700);
myStepperY1.setSpeed(700);
myStepperY10.setSpeed(900);
myStepperX0.setSpeed(600);
myStepperX1.setSpeed(600);
myStepperX10.setSpeed(600);
myStepperB1.setSpeed(700);

Serial.begin(9600);
pinMode(senMovi,INPUT);
pinMode(finCarreBasGirN,INPUT);
pinMode(finCarreBasGirL,INPUT);

pinMode(finCarreBasEjeY0,INPUT);

int
valorYactual=posYGeneral(contPosYAbsol);

if( valorYCoordAbsol>-750 &&
valorYCoordAbsol< 615) {
long pasoMotorEnY = posicionDePasosY( 0,
valorYCoordAbsol);
if(contPosYAbsol>=pasoMotorEnY){

long restaPasos = contPosYAbsol-
pasoMotorEnY;
float divPasos =(restaPasos/ 50);
int residuo = restaPasos%50;
if(residuo>24){
divPasos=divPasos+1;
}
int contYLess=1;
while(contYLess<=divPasos){
contPosYAbsol=contPosYAbsol-
stepsPerRevolutionY0;

myStepperY0.step(-stepsPerRevolutionY0);
if(digitalRead(finCarreBasEjeY0)==LOW){
contYLess=1000;
contPosYAbsol=0;
}
contYLess++;
}

valorYactual=posYGeneral(contPosYAbsol);
delay(100);

}

if(contPosYAbsol<pasoMotorEnY){
if(digitalRead(finCarreBasEjeY1)==LOW){
contPosYAbsol=pasParLlegO;
}
}
if(digitalRead(finCarreBasEjeY1)==HIGH){

long restaPasos = pasoMotorEnY-
contPosYAbsol;
float divPasos =(restaPasos/ 50);
int residuo = restaPasos%50;
if(residuo>24){
divPasos=divPasos+1;
}
int contYPlus=1;
while(contYPlus<=divPasos){

contPosYAbsol=contPosYAbsol+stepsPerRevoluti
onY0;

myStepperY0.step(stepsPerRevolutionY0);

```

```

    pinMode(finCarreBasEjeX0,INPUT);
    pinMode(finCarreBasEjeY1,INPUT);
    pinMode(finCarreBasEjeX1,INPUT);
}

void loop()
{
  if (digitalRead(senMovi)== HIGH){
    if((mssg == 'a')||(mssg == 'b')||(mssg ==
    'c')||(mssg == 'd')||(mssg == 'g')||(mssg ==
    'h')||(mssg == 'i')||(mssg == 'j')||(mssg ==
    'm')||(mssg == 'n')||(mssg == 'l')||(mssg ==
    'o')||(mssg == 'p')||(mssg == 'q')){
      Serial.println("Sensor encendido");
    }
  }
}

// Serial.available Cantidad de datos que al
// arduino tiene en el buffer de entrada
if (digitalRead(senMovi)== LOW){

  if (Serial.available() > 0)
  {
    mssg = Serial.read(); //leemos el serial

    if(mssg == 'a')
    {
      Serial.println("YPlus1");
    }

    if(digitalRead(finCarreBasEjeY1)==LOW){
      contPosYAbsol=pasParLlegO;
    }
    if(digitalRead(finCarreBasEjeY1)==HIGH){

      int
      valorYactual=posYGeneral(contPosYAbsol);
      long pasoMotorEnY =
      posicionDePasosY(valorYactual,10);

      long restaPasos = pasoMotorEnY-
      contPosYAbsol;
      float divPasos =(restaPasos/ 50);
      int residuo = restaPasos%50;
      if(residuo>24){
        divPasos=divPasos+1;
      }
      int contYPlus=1;
      while(contYPlus<=divPasos){

        contPosYAbsol=contPosYAbsol+stepsPerRevoluti
        onY0;

        if(digitalRead(finCarreBasEjeY1)==LOW){
          contYPlus=300;
          contPosYAbsol=pasParLlegO;
        }
        contYPlus++;
      }

      valorYactual=posYGeneral(contPosYAbsol);
      delay(100);
      Serial.println(valorYactual);
    }
  }
}

if(contPosXAbsol>=0 &&
contPosXAbsol<=50400){
  int
  valorXactual=posXGeneral(contPosXAbsol);

  if( valorXCoordAbsol>-410 &&
  valorXCoordAbsol< 410) {
    long pasoMotorEnX = posicionDePasosX( 0,
    valorXCoordAbsol);

    if(contPosXAbsol<pasoMotorEnX){
      if(contPosXAbsol<=pasParLlegP){

        long restaPasos = pasoMotorEnX-
        contPosXAbsol;

        float divPasos =(restaPasos/ 100);
        int residuo = restaPasos%100;
        if(residuo>51){
          divPasos=divPasos+1;
        }

        int contXPlus=1;
        while(contXPlus<=divPasos){

          contPosXAbsol=contPosXAbsol+stepsPerRevoluti
          onX10;

          myStepperX10.step(-
          stepsPerRevolutionX10);
          Serial.println( contPosXAbsol);
          if(contPosXAbsol>=50400){
            contXPlus=1000;
            contPosXAbsol=pasParLlegP;
          }
        }
        contXPlus++;
      }
    }
  }
}

```

```

    myStepperY0.step(stepsPerRevolutionY0);
    if(digitalRead(finCarreBasEjeY1)==LOW){
        contYPlus=300;
        contPosYAbsol=pasParLlegO;
    }
    contYPlus++;
}

    valorYactual=posYGeneral(contPosYAbsol);
    delay(300);
    Serial.println(valorYactual);
}

}
else if(mssg == 'c')
{
    if(digitalRead(finCarreBasEjeY1)==LOW){
        contPosYAbsol=pasParLlegO;
    }

        if(digitalRead(finCarreBasEjeY1)==HIGH){

            int
            valorYactual=posYGeneral(contPosYAbsol);
            long pasoMotorEnY =
            posicionDePasosY(valorYactual,50);

            long restaPasos = pasoMotorEnY-
            contPosYAbsol;
            float divPasos =(restaPasos/ 50);
            int residuo = restaPasos%50;
            if(residuo>24){
                divPasos=divPasos+1;
            }

            int contYPlus=1;
            while(contYPlus<=divPasos){

                contPosYAbsol=contPosYAbsol+stepsPerRevoluti
                onY0;

                myStepperY0.step(stepsPerRevolutionY0);
                if(digitalRead(finCarreBasEjeY1)==LOW){
                    contYPlus=300;
                    contPosYAbsol=pasParLlegO;
                }
                contYPlus++;
            }

            valorYactual=posYGeneral(contPosYAbsol);
            Serial.println(valorYactual);
            delay(300);

            valorXactual=posXGeneral(contPosXAbsol);
            Serial.println("Posiciona en X
            coordenandas");
            delay(100);
            Serial.println(valorXactual);
        }
    }

    if(contPosXAbsol>=pasoMotorEnX){

        long restaPasos = contPosXAbsol-
        pasoMotorEnX;
        Serial.println("restaPasos");
        Serial.println(restaPasos);
        float divPasos =(restaPasos/ 100);
        int residuo = restaPasos%100;
        if(residuo>51){
            divPasos=divPasos+1;
        }

        int contXLess=1;
        while(contXLess<=divPasos){
            contPosXAbsol=contPosXAbsol-
            stepsPerRevolutionX10;

            myStepperX10.step(stepsPerRevolutionX10);
            if(digitalRead(finCarreBasEjeX0)==LOW){
                contXLess=1000;
                contPosXAbsol=0;
            }
            contXLess++;
        }
        valorXactual=posXGeneral(contPosXAbsol);

    else if(mssg == 'w'){
        long PosX3 = posXGeneral(PosicionX3);
        ejeXPos(PosX3);
        long PosY3 = posYGeneral(PosicionY3);
        ejeYPos(PosY3);
        long PosB3 = posBGeneral(PosicionB3);

    }

    else if(mssg == 'x'){
        PosicionX4 = contPosXAbsol;
        PosicionY4= contPosYAbsol;
        PosicionB4= contPasBasGir;
    }
}

```

```

    }
  }
  else if(mssg == 'b')
  {

    if(digitalRead(finCarreBasEjeY0)==LOW){
      contPosYAbsol=0;
    }

    if(digitalRead(finCarreBasEjeY0)==HIGH){
      int
      valorYactual=posYGeneral(contPosYAbsol);
      long pasoMotorEnY =
      posicionDePasosY(valorYactual,-10);

      long restaPasos = contPosYAbsol-
      pasoMotorEnY;
      float divPasos =(restaPasos/ 50);
      int residuo = restaPasos%50;
      if(residuo>24){
        divPasos=divPasos+1;
      }
      int contYLess=1;
      while(contYLess<=divPasos){
        contPosYAbsol=contPosYAbsol-
        stepsPerRevolutionY0;

        myStepperY0.step(-stepsPerRevolutionY0);

        if(digitalRead(finCarreBasEjeY0)==LOW){
          contYLess=300;
          contPosYAbsol=0;
        }
        contYLess++;
      }

      valorYactual=posYGeneral(contPosYAbsol);
      Serial.println(valorYactual);
      delay(300);
    }
  }
  else if(mssg == 'd')
  {

    if(digitalRead(finCarreBasEjeY0)==LOW){
      contPosYAbsol=0;
    }

    if(digitalRead(finCarreBasEjeY0)==HIGH){
      int
      valorYactual=posYGeneral(contPosYAbsol);
      else if(mssg == 'y'){
        long PosX4 = posXGeneral(PosicionX4);
        Serial.println("Posiciona en X
        coordenandas");
        delay(100);
        Serial.println(valorXactual);
      }
    }
  }
  else if(mssg == 'q')
  {

    if(digitalRead(finCarreBasEjeY1)==HIGH){
      while(digitalRead(finCarreBasEjeY1)==HIGH){
        contPosYAbsol=contPosYAbsol+stepsPerRevoluti
        onY10;

        myStepperY10.step(stepsPerRevolutionY10);
        Serial.println(contPosYAbsol);
      }
    }

    contPosYAbsol=pasParLlegO;
    contPlus=1;
    if(digitalRead(finCarreBasEjeY0)==HIGH){
      while(contPlus<=196){
        contPosYAbsol=contPosYAbsol-
        stepsPerRevolutionY10;
        myStepperY10.step(-
        stepsPerRevolutionY10);
        Serial.println( contPosYAbsol);
        if(digitalRead(finCarreBasEjeY0)==LOW){
          contPlus=100;
          contPosYAbsol=0;
        }
        contPlus++;
      }
    }

    if(digitalRead(finCarreBasEjeX0)==HIGH){
      Serial.println("Motor X va a cero");
    }

    while(digitalRead(finCarreBasEjeX0)==HIGH){
      contPosXAbsol=contPosXAbsol-
      stepsPerRevolutionX0;

      myStepperX10.step(+stepsPerRevolutionX10);

```

```

    long pasoMotorEnY =
posicionDePasosY(valorYactual,-50);

    long restaPasos = contPosYAbsol-
pasoMotorEnY;
    float divPasos =(restaPasos/ 50);
    int residuo = restaPasos%50;
    if(residuo>24){
    divPasos=divPasos+1;
    }
    int contYLess=1;
    while(contYLess<=divPasos){
    contPosYAbsol=contPosYAbsol-
stepsPerRevolutionY0;

    myStepperY0.step(-stepsPerRevolutionY0);
    if(digitalRead(finCarreBasEjeY0)==LOW){
    contYLess=300;
    contPosYAbsol=0;
    }
    contYLess++;
    }
    valorYactual=posYGeneral(contPosYAbsol);
    Serial.println(valorYactual);
    delay(300);
    }

    if(mssg == 'g')
    {
    if(digitalRead(finCarreBasEjeX0)==LOW){
    contPosXAbsol=0;
    }
    if(contPosXAbsol>0){
    int
valorXactual=posXGeneral(contPosXAbsol);
    Serial.println("valor X antes de sumar 10");
    Serial.println(valorXactual);
    long pasoMotorEnX =
posicionDePasosX(valorXactual,10);
    long restaPasos = contPosXAbsol-
pasoMotorEnX;
    float divPasos =(restaPasos/ 100);
    int residuo = restaPasos%100;
    if(residuo>50){
    divPasos=divPasos+1;
    }
    Serial.println("divPasos");
    Serial.println(divPasos);
    int contXPlus=1;
    while(contXPlus<=divPasos){
    contPosXAbsol=contPosXAbsol-
stepsPerRevolutionX0;
    }
    }
    }
    contPosXAbsol=0;
    while(contPosXAbsol<=pasParSetHomX){
    contPosXAbsol=contPosXAbsol+stepsPerRevoluti
onX0;
    myStepperX10.step(-stepsPerRevolutionX10);
    Serial.println(contPosXAbsol);
    }
    Serial.println(contPosXAbsol);
    if(digitalRead(finCarreBasGirN)==HIGH){
    Serial.println("Hago");
    while(digitalRead(finCarreBasGirN)==HIGH){
    contPasBasGir=contPasBasGir-
stepsPerRevolutionB1;
    Serial.println(contPasBasGir);
    myStepperB1.step(-stepsPerRevolutionB1);
    }
    }
    contPasBasGir=0;
    Serial.println(contPasBasGir);
    }

    else if(mssg == 'r'){
    PosicionX1 = contPosXAbsol;
    PosicionY1= contPosYAbsol;
    PosicionB1= contPasBasGir;
    }

    else if(mssg == 's'){
    long PosX1 = posXGeneral(PosicionX1);
    ejeXPos(PosX1);
    long PosY1 = posYGeneral(PosicionY1);
    ejeYPos(PosY1);
    long PosB1 = posBGeneral(PosicionB1);
    }

    else if(mssg == 't'){
    PosicionX2 = contPosXAbsol;
    PosicionY2= contPosYAbsol;
    PosicionB2= contPasBasGir;
    }

    else if(mssg == 'u'){
    long PosX2 = posXGeneral(PosicionX2);
    ejeXPos(PosX2);

```

```

    myStepperX0.step(stepsPerRevolutionX0);
    Serial.println( contPosXAbsol);
    if(digitalRead(finCarreBasEjeX0)==LOW){
        contXPlus=1000;
        contPosYAbsol=0;
    }
    contXPlus++;
}
valorXactual=posXGeneral(contPosXAbsol);
delay(100);
}
else if(mssg == 'i')
{
    if(digitalRead(finCarreBasEjeX0)==LOW){
        contPosXAbsol=0;
    }
    // contPosXAbsol=25200;
    if(contPosXAbsol>0){
        int
valorXactual=posXGeneral(contPosXAbsol);
        Serial.println("valor X antes de sumar 50");
        Serial.println(valorXactual);
        long pasoMotorEnX =
posicionDePasosX(valorXactual,50);
        long restaPasos = contPosXAbsol-
pasoMotorEnX;
        float divPasos =(restaPasos/ 100);
        int residuo = restaPasos%100;
        if(residuo>50){
            divPasos=divPasos+1;
        }
        Serial.println("divPasos");
        Serial.println(divPasos);
        int contXPlus=1;
        while(contXPlus<=divPasos){
            contPosXAbsol=contPosXAbsol-
stepsPerRevolutionX10;
myStepperX10.step(stepsPerRevolutionX10);
            Serial.println( contPosXAbsol);
            if(digitalRead(finCarreBasEjeX0)==LOW){
                contXPlus=1000;
                contPosYAbsol=0;
            }
            contXPlus++;
        }
        valorXactual=posXGeneral(contPosXAbsol);
        Serial.println("Posiciona en X coordenandas");

        delay(100);
        Serial.println(valorXactual);
    }
}
else if(mssg == 'h')

    long PosY2 = posYGeneral(PosicionY2);
    ejeYPos(PosY2);
    long PosB2 = posBGeneral(PosicionB2);
}

else if(mssg == 'v'){
    PosicionX3 = contPosXAbsol;
    PosicionY3= contPosYAbsol;
    PosicionB3= contPasBasGir;
}

    ejeXPos(PosX4);
    long PosY4 = posYGeneral(PosicionY4);
    ejeYPos(PosY4);
    long PosB4 = posBGeneral(PosicionB4);
}

else if(mssg == 'z'){
    PosicionX5 = contPosXAbsol;
    PosicionY5= contPosYAbsol;
    PosicionB5= contPasBasGir;
}

else if(mssg == 'k'){
    long PosX5 = posXGeneral(PosicionX5);
    ejeXPos(PosX5);
    long PosY5 = posYGeneral(PosicionY5);
    ejeYPos(PosY5);
    long PosB5 = posBGeneral(PosicionB5);
}

else if(mssg == 'e'){
    PosicionX6 = contPosXAbsol;
    PosicionY6= contPosYAbsol;
    PosicionB6= contPasBasGir;
}

else if(mssg == 'f'){
    long PosX6 = posXGeneral(PosicionX6);
    ejeXPos(PosX6);
    long PosY6 = posYGeneral(PosicionY6);
    ejeYPos(PosY6);
    long PosB6 = posBGeneral(PosicionB6);
} } } }

long ejeYPos(long valorYCoordAbsol){

```

```

{
  Serial.println("XLess1");
  if(contPosXAbsol<50400 &&
contPosXAbsol>=0){
    int
valorXactual=posXGeneral(contPosXAbsol);
    Serial.println("valor X antes de restar 10");
    Serial.println(valorXactual);
    long pasoMotorEnX =
posicionDePasosX(valorXactual,-10);
    long restaPasos = pasoMotorEnX-
contPosXAbsol;
    float divPasos =(restaPasos/ 100);
    int residuo = restaPasos%100;
    if(residuo>50){
      divPasos=divPasos+1;
    }
    Serial.println("divPasos");
    Serial.println(divPasos);
    int contXPlus=1;
    while(contXPlus<=divPasos){
contPosXAbsol=contPosXAbsol+stepsPerRevoluti
onX0;
      myStepperX0.step(-stepsPerRevolutionX0);
      Serial.println( contPosXAbsol);
      contXPlus++;
      if(contPosXAbsol>=50400){
        contXPlus=1000;
      }
    }
    valorXactual=posXGeneral(contPosXAbsol);
    delay(100);
  }
  else if(mssg == 'j')
  {
    if(contPosXAbsol<50400 &&
contPosXAbsol>=0){
      int
valorXactual=posXGeneral(contPosXAbsol);
      Serial.println("valor X antes de restar 50");
      Serial.println(valorXactual);
      long pasoMotorEnX =
posicionDePasosX(valorXactual,-50);

      long restaPasos = pasoMotorEnX-
contPosXAbsol;
      float divPasos =(restaPasos/ 100);
      int residuo = restaPasos%100;
      if(residuo>50){
        divPasos=divPasos+1;
      }
      Serial.println("divPasos");
    }

    if(digitalRead(finCarreBasEjeY0)==HIGH){
      if(digitalRead(finCarreBasEjeY0)==HIGH){
        int
valorYactual=posYGeneral(contPosYAbsol);

        if( valorYCoordAbsol>-750 &&
valorYCoordAbsol< 615) {
          long pasoMotorEnY = posicionDePasosY( 0,
valorYCoordAbsol);

          if(contPosYAbsol>=pasoMotorEnY){

            long restaPasos = contPosYAbsol-
pasoMotorEnY;
            int residuo = restaPasos%50;
            if(residuo>24){
              divPasos=divPasos+1;
            }
            //Serial.println("divPasos");
            //Serial.println(divPasos);
            int contYLess=1;
            while(contYLess<=divPasos){
              contPosYAbsol=contPosYAbsol-
stepsPerRevolutionY0;

              myStepperY0.step(-stepsPerRevolutionY0);
              if(digitalRead(finCarreBasEjeY0)==LOW){
                contYLess=1000;
                contPosYAbsol=0;
              }
              contYLess++;
            }

            valorYactual=posYGeneral(contPosYAbsol);
            delay(100);
            Serial.println(valorYactual);
          }

          if(contPosYAbsol<pasoMotorEnY){
            if(digitalRead(finCarreBasEjeY1)==LOW){
              contPosYAbsol=pasParLlegO;
            }

            if(digitalRead(finCarreBasEjeY1)==HIGH){

              long restaPasos = pasoMotorEnY-
contPosYAbsol;
              Serial.println("restaPasos");
              Serial.println(restaPasos);
              float divPasos =(restaPasos/ 50);
              int residuo = restaPasos%50;
              if(residuo>24){
                divPasos=divPasos+1;
              }
            }
          }
        }
      }
    }
  }
}

```

```

myStepperB1.step(-stepsPerRevolutionB1);
if(digitalRead(finCarreBasGirN)==LOW){
  contPasBasGir=0;
}
}
}
else if(mssg == 'n')
{
  if(digitalRead(finCarreBasGirN)==HIGH){
    Serial.println("Hago");
    while(digitalRead(finCarreBasGirN)==HIGH){
      contPasBasGir=contPasBasGir-
stepsPerRevolutionB1;
      Serial.println(contPasBasGir);
      myStepperB1.step(-stepsPerRevolutionB1);
    }
  }
  contPasBasGir=0;
  Serial.println(contPasBasGir);
}
else if(mssg == 'p')
{
  delay(50);
  mssg2 = Serial.readString();
  delay(50);
  mssg3 = Serial.readString();

  int valorXCoordAbsol = mssg2.toInt();
  int valorYCoordAbsol = mssg3.toInt();
  if(digitalRead(finCarreBasEjeY0)==HIGH){
    if(digitalRead(finCarreBasEjeY0)==HIGH){
      int
valorYactual=posYGeneral(contPosYAbsol);
      if( valorYCoordAbsol>-750 &&
valorYCoordAbsol< 615) {
        long pasoMotorEnY = posicionDePasosY(
valorYactual, mssg3.toInt());
        if(contPosYAbsol>=pasoMotorEnY){
          long restaPasos = contPosYAbsol-
pasoMotorEnY;
          float divPasos =(restaPasos/ 50);
          int residuo = restaPasos%50;
          if(residuo>24){
            divPasos=divPasos+1;
          }
          int contYLess=1;
          while(contYLess<=divPasos){
            contPosYAbsol=contPosYAbsol-
stepsPerRevolutionY0;
            myStepperY0.step(-stepsPerRevolutionY0);
            if(digitalRead(finCarreBasEjeY0)==LOW){
              contYLess=1000;
              Serial.println("divPasos");
              Serial.println(divPasos);
              int contXPlus=1;
              while(contXPlus<=divPasos){

contPosXAbsol=contPosXAbsol+stepsPerRevoluti
onX10;

                myStepperX10.step(-
stepsPerRevolutionX10);
                Serial.println( contPosXAbsol);
                if(contPosXAbsol>=50400){
                  contXPlus=1000;
                  contPosXAbsol=pasParLlegP;
                }
                contXPlus++;
              }

                valorXactual=posXGeneral(contPosXAbsol);
                Serial.println("Posiciona en X
coordenandas");
                delay(100);
                Serial.println(valorXactual);
              }
            }
            if(contPosXAbsol>=pasoMotorEnX){

                long restaPasos = contPosXAbsol-
pasoMotorEnX;
                float divPasos =(restaPasos/ 100);
                int residuo = restaPasos%100;
                if(residuo>51){
                  divPasos=divPasos+1;
                }
                int contXLess=1;
                while(contXLess<=divPasos){
                  contPosXAbsol=contPosXAbsol-
stepsPerRevolutionX10;

myStepperX10.step(stepsPerRevolutionX10);
                  Serial.println( contPosXAbsol);
                  if(digitalRead(finCarreBasEjeX0)==LOW){
                    contXLess=1000;
                    contPosXAbsol=0;
                  }
                  contXLess++;
                }

                valorXactual=posXGeneral(contPosXAbsol);
                delay(100);
              }
            }
          }
        }
      }
    }
  }
}

```

```

        contPosYAbsol=0;
    }
    contYLess++;
}

valorYactual=posYGeneral(contPosYAbsol);
delay(100);
}

    if(contPosYAbsol<pasoMotorEnY){
    if(digitalRead(finCarreBasEjeY1)==LOW){
        contPosYAbsol=pasParLlegO;
    }
}

if(digitalRead(finCarreBasEjeY1)==HIGH){

    long restaPasos = pasoMotorEnY-
contPosYAbsol;
    float divPasos =(restaPasos/ 50);
    int residuo = restaPasos%50;
    if(residuo>24){
        divPasos=divPasos+1;
    }
    int contYPlus=1;
    while(contYPlus<=divPasos){

contPosYAbsol=contPosYAbsol+stepsPerRevoluti
onY0;
        myStepperY0.step(stepsPerRevolutionY0);
        if(digitalRead(finCarreBasEjeY1)==LOW){
            contYPlus=300;
            contPosYAbsol=pasParLlegO;
        }
        contYPlus++;
    }

    valorYactual=posYGeneral(contPosYAbsol);
    delay(100);
    Serial.println(valorYactual);
}
}
}
}

    if(contPosXAbsol>=0 &&
contPosXAbsol<=50400){
    int
valorXactual=posXGeneral(contPosXAbsol);
    if( valorXCoordAbsol>-410 &&
valorXCoordAbsol< 410) {
        long pasoMotorEnX = posicionDePasosX(
valorXactual, valorXCoordAbsol);
        Serial.println("pasos que se va a mover
pasoMotorEnX");
    }
}
}
}
}

long posBGeneral(long contPasBasGir1){
    if(contPasBasGir1==0){

        if(digitalRead(finCarreBasGirN)==HIGH){
            while(digitalRead(finCarreBasGirN)==HIGH){
                contPasBasGir=contPasBasGir-
stepsPerRevolutionB1;
                myStepperB1.step(-stepsPerRevolutionB1);
            }
        }
        contPasBasGir=0;
        Serial.println(contPasBasGir);
    }

    if(contPasBasGir1==pasParLlegM){

        if(contPasBasGir==0){
            Serial.println("Ingreso M");
            while(contPasBasGir<pasParLlegM){

contPasBasGir=contPasBasGir+stepsPerRevoluti
onB1;
                Serial.println(contPasBasGir);
                myStepperB1.step(stepsPerRevolutionB1);

                if(digitalRead(finCarreBasGirN)==LOW){
                    contPasBasGir=0;
                }
            }
        }

        if(contPasBasGir==pasParLlegL){
            Serial.println("Ingreso M");
            while(contPasBasGir>=pasParLlegM){
                contPasBasGir=contPasBasGir-
stepsPerRevolutionB1;
                Serial.println(contPasBasGir);
                myStepperB1.step(-stepsPerRevolutionB1);
                if(digitalRead(finCarreBasGirN)==LOW){
                    contPasBasGir=0;
                }
            }
        }
    }
}
}
}
}

```

```

Serial.println(pasoMotorEnX);

if(contPosXAbsol<pasoMotorEnX){
  if(contPosXAbsol<=pasParLlegP){
    long restaPasos = pasoMotorEnX-
contPosXAbsol;
    Serial.println("restaPasos");
    Serial.println(restaPasos);
    float divPasos =(restaPasos/ 100);
    int residuo = restaPasos%100;
    if(residuo>51){
      divPasos=divPasos+1;
    }
    int contXPlus=1;
    while(contXPlus<=divPasos){
contPosXAbsol=contPosXAbsol+stepsPerRevoluti
onX10;

if(contPasBasGir1==pasParLlegL){
  if(contPasBasGir < pasParLlegL){
    while(contPasBasGir<=pasParLlegL){
contPasBasGir=contPasBasGir+stepsPerRevoluti
onB1;
      myStepperB1.step(stepsPerRevolutionB1);
    }
    contPasBasGir = pasParLlegL;
  }

  contPasBasGir=pasParLlegL;
}
}
}

```

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el presente capítulo se detallará la construcción, protocolo de seguridad, desarrollo protocolo de pruebas, pruebas del prototipo y análisis de resultados de las métricas del proyecto.

4.1. Implementación

En primera instancia se verificó el espacio físico donde se implementará el prototipo, ya que al realizar pruebas con material balístico debemos considerar ciertas condiciones como:

- Un lugar aislado o donde no exista alta concentración de peatones o trabajadores.
- Debe existir facilidad para cumplir con las distancias de seguridad razonables y para ejecución de la norma en las pruebas de tiro.

Por tales consideraciones usaremos las instalaciones que Santa Bárbara EP dispone para las pruebas de munición y chalecos. Como observamos en la Figura 102 es donde implementaremos el proyecto, lugar al cual lo denominaremos “túnel balístico”.



Figura 101. Facilidades Santa Bárbara
Fuente: (Santa Bárbara EP)


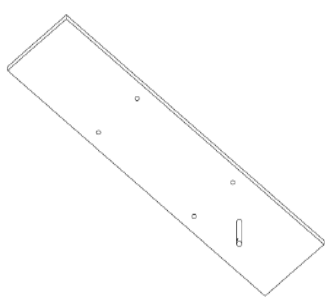
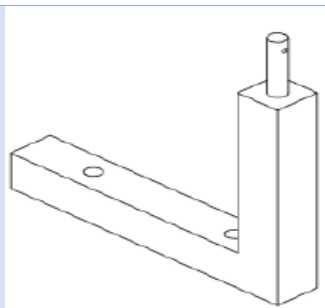


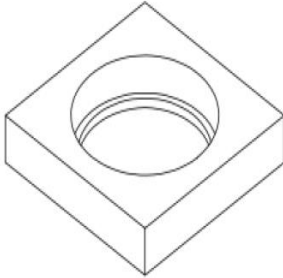
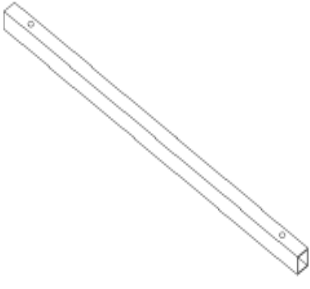
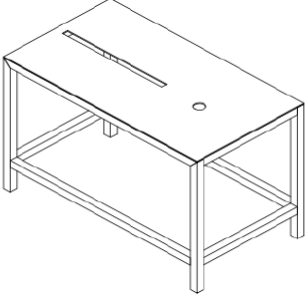
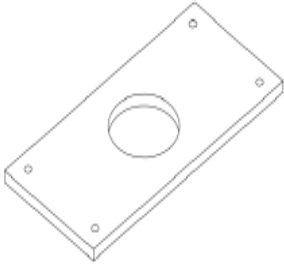
Figura 102. Túnel Balístico
Fuente: (Santa Bárbara EP)

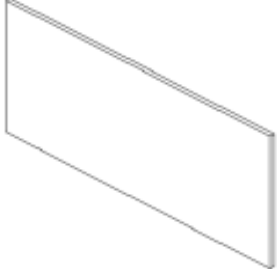
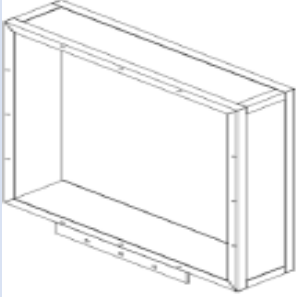
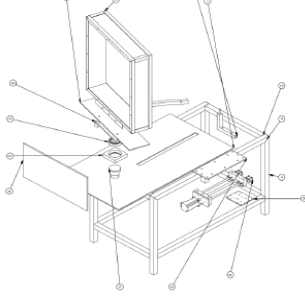
4.1.1.1. Codificación de Planos Mecánicos y Eléctricos

En los anexos del presente proyecto se presentará los planos mecánicos y eléctricos y para ello se codifica para facilidad de lectura y reproducibilidad en proyectos futuros o posibles mejoras, tal como se presenta en la tabla 52.

Tabla 51.
Codificación Planos Mecánicos Base Giratoria

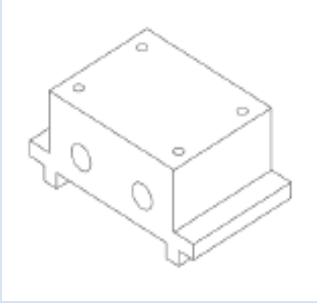
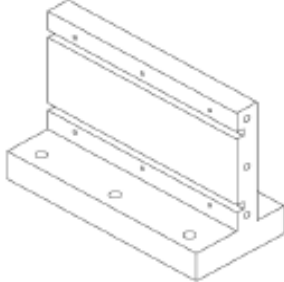
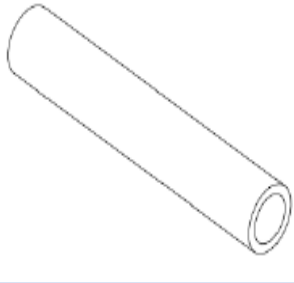
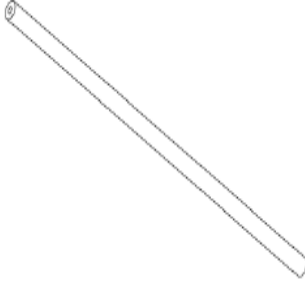
Nombre	Código	Esquema
Pieza rodamiento	BG-01	
Biela base giratoria	BG-02	
Guía lineal pieza	BG-03	

Ingreso rodamiento	BG-04	
Manivela	BG-05	
Mesa	BG-06	
Pieza base giratoria	BG-07	

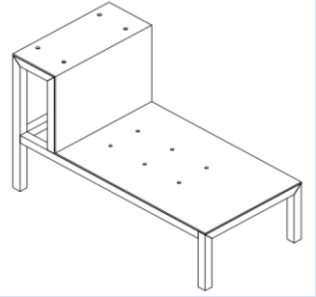
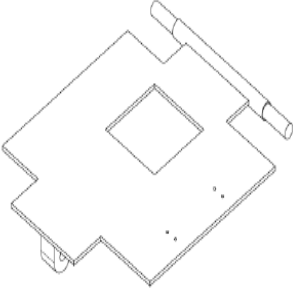
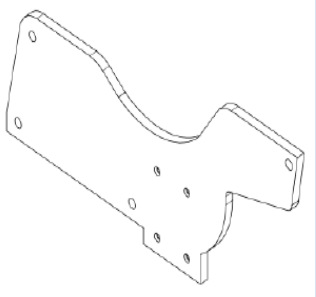
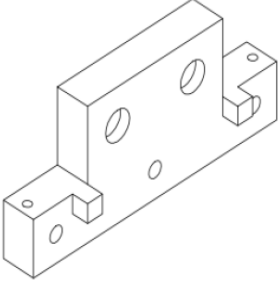
Soporte balas	BG-08	
Soporte material de apoyo	BG-09	
Explotado base giratoria	BG-10	

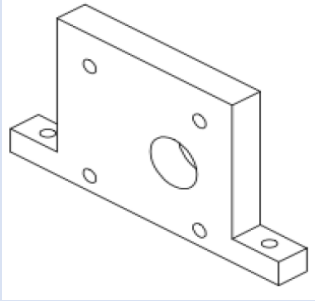
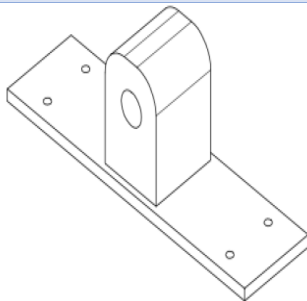
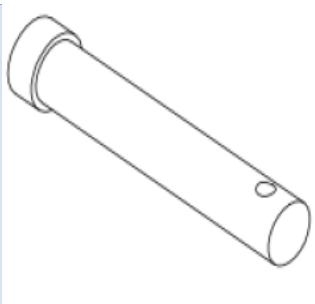
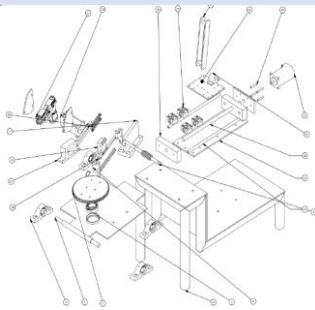
La codificación de los planos mecánicos del manipulador se presenta en la tabla 53.

Tabla 52.
Codificación Planos Mecánicos Manipulador

Nombre	Código	Esquema
Base para Ramson	MA-01	
Base retroceso	MA-02	
Bocin Motor	MA-03	
Eje motor lineal	MA-04	

Engrane helicoidal manipulador	MA-05	
Guía para pieza	MA-06	
Ingreso rodamiento manipulador	MA-07	
Manivela manipulador	MA-08	

Mesa manipulador	MA-09	
Mesa	MA-10	
Ramson M4	MA-11	
Soporte base	MA-12	

Soporte motor	MA-13	
Sujeción eje	MA-14	
Bocín manivela	MA-15	
Explotado manipulador	MA-16	

Los planos eléctricos codificados se presentan en la tabla 54.

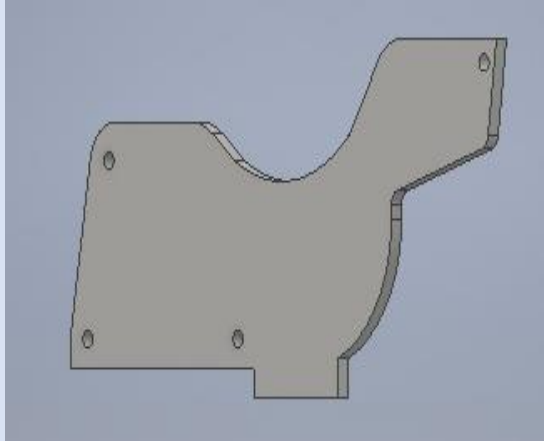

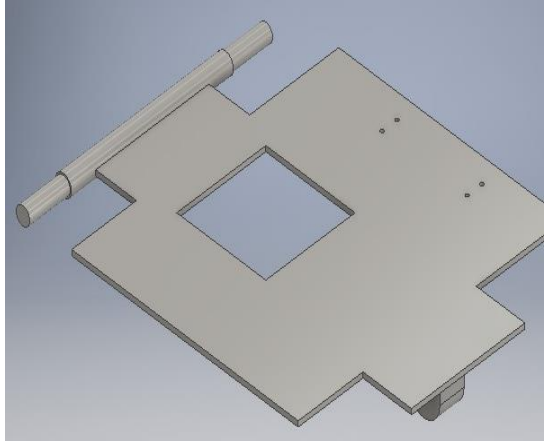

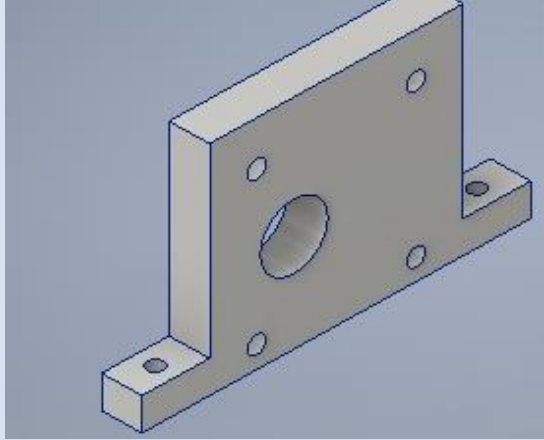

Tabla 53.
Codificación plano eléctrico

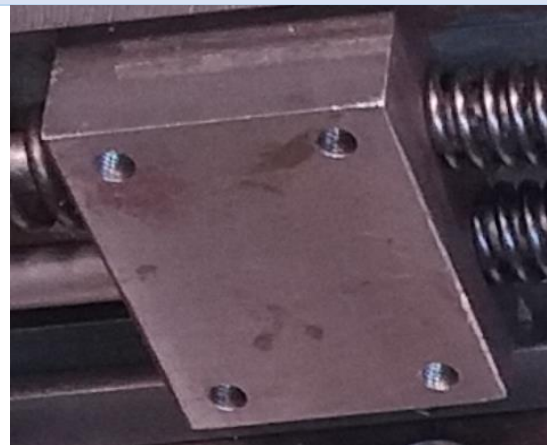
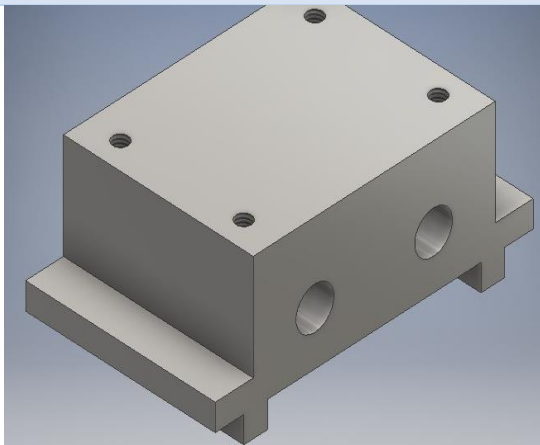
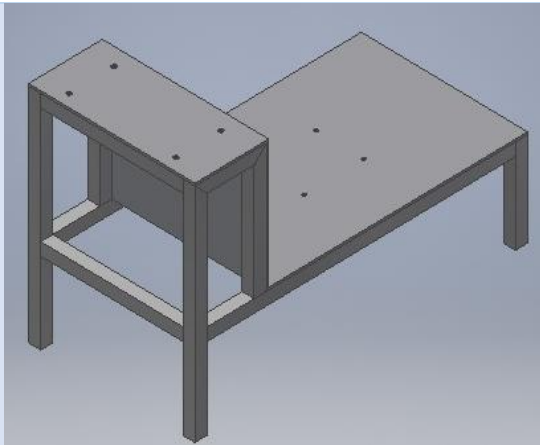
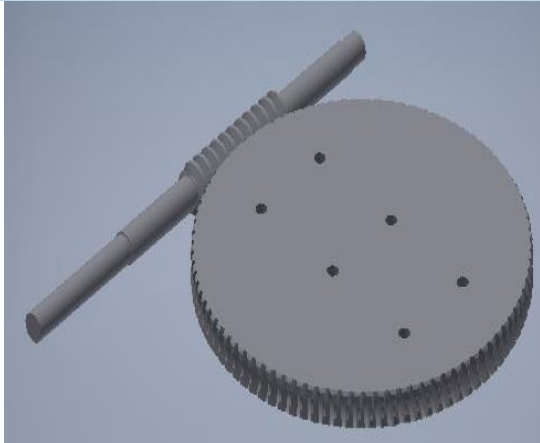
Nombre	Código	Configuración Driver relación de pasos
Diagrama eléctrico Step motor eje x	PE-00	1/8
Diagrama eléctrico Step motor eje y	PE-01	1/2
Diagrama eléctrico Step motor base giratoria	PE-02	1/1
Plano Eléctrico	PE-03	N/A

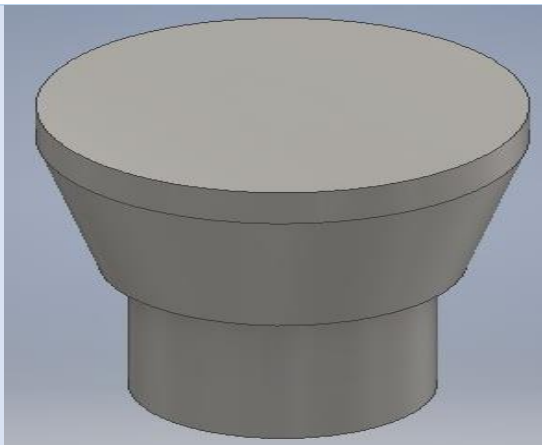
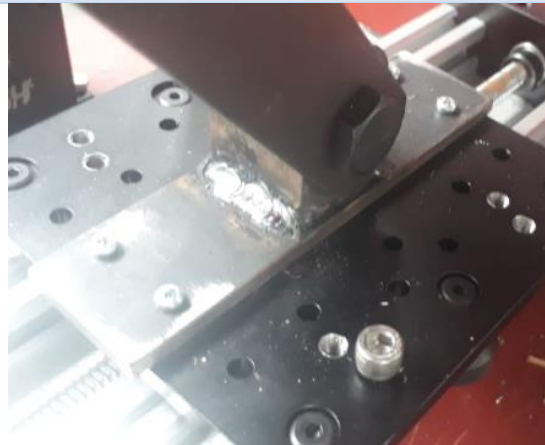
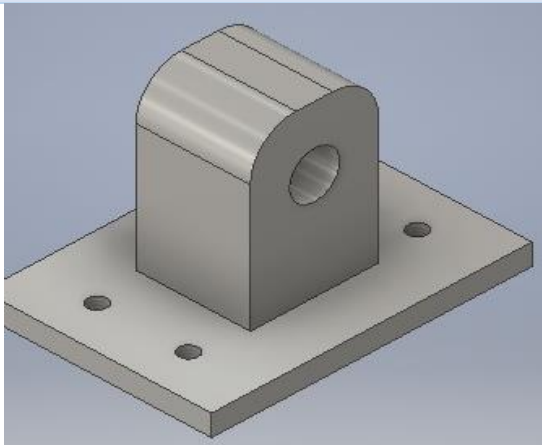
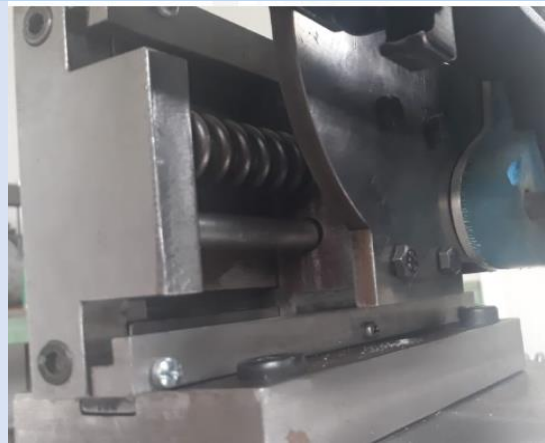
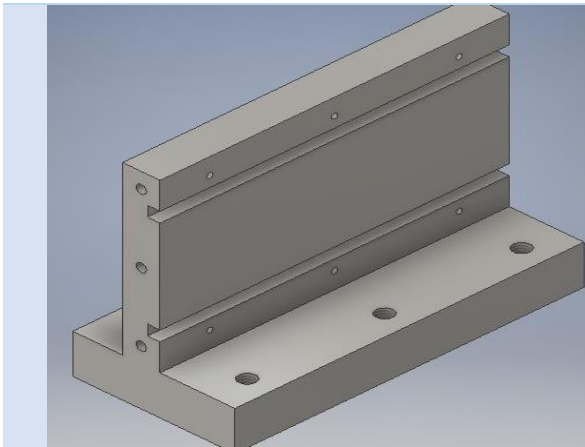
4.1.2. Elaboración de piezas

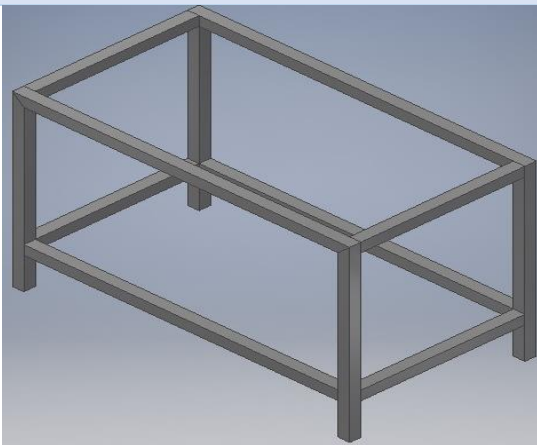
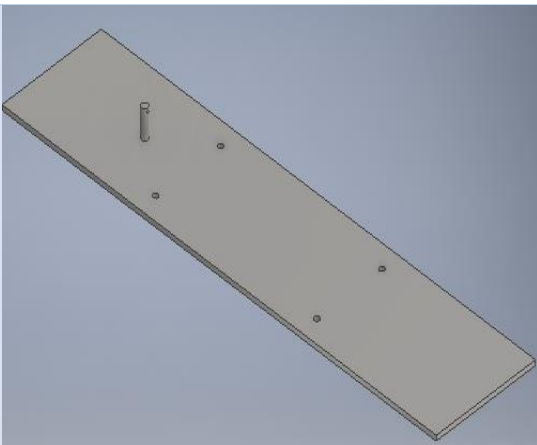
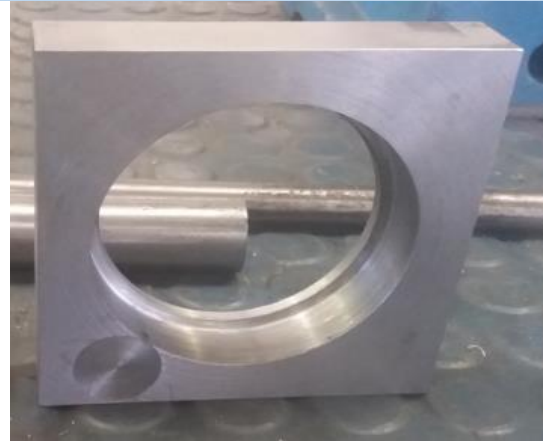
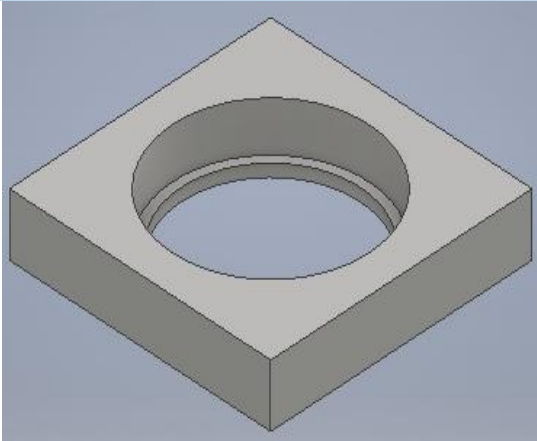
En la presente sección se realizó un comparativo del diseño CAD con las piezas construidas, elaboradas para el posterior ensamble, y con ello demostrar la coherencia con la que se desarrolló el proyecto, tanto en los sistemas mecánicos como eléctricos.

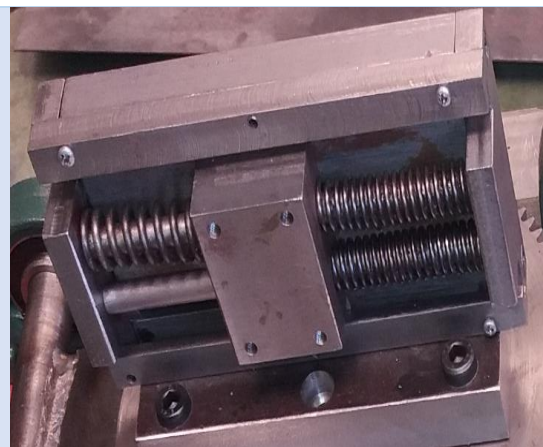
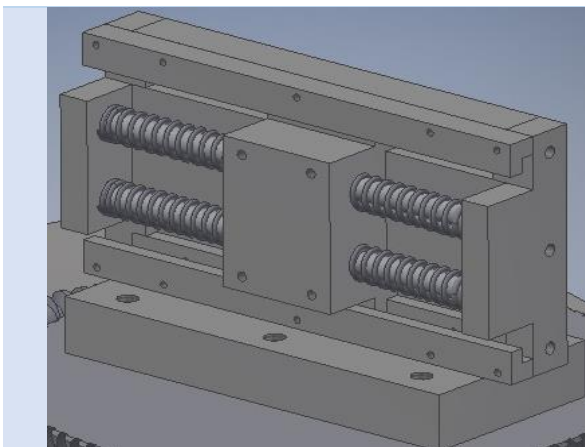
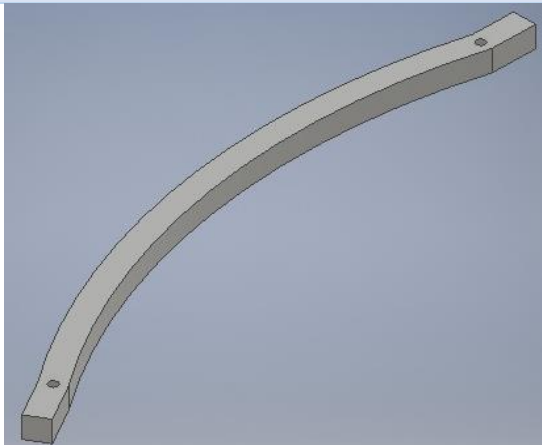
Tabla 54.
Tabulación de piezas construidas

Diseño CAD	Pieza real
	
	
	









4.1.2.1. Máquinas utilizadas para la elaboración de partes mecánicas

Se describe las máquinas utilizadas durante el proyecto en las instalaciones de Santa Bárbara EP, en la tabla 55 tabulamos los datos importantes de cada uno de ellas. Esto constituye dentro del patrocinio de la empresa, puesto que la mayoría de las piezas elaboradas fueron dentro de los predios del taller de máquinas, de la misma manera el personal prestó la asesoría y tiempo en la ejecución de cada una de ellas.

Tabla 55.
Maquinaria utilizada durante el desarrollo del proyecto

Máquina	Descripción
	<p>Características técnicas Taladro de banco</p> <p>Potencia de motor: 550 W Capacidad de mandril: 5/8 Recorrido del husillo: 85 mm Cono del husillo: mt 2 Numero de velocidades: 16 Rango de velocidad: 210-3700 RPM Volteo: 360 mm Tamaño mesa trabajo: 290 x 290 mm</p>
	<p>Características técnicas Sierra sin fin</p> <p>Potencia de motor: 550 W Velocidad de la hoja: 20-30-50 m/min Capacidad máx. de corte circular: 115 mm Diámetro máx. de corte rectangular: 100x115 mm Peso: 62 Kg Corte vertical: con mesa auxiliar Corte horizontal: Por gravedad</p>



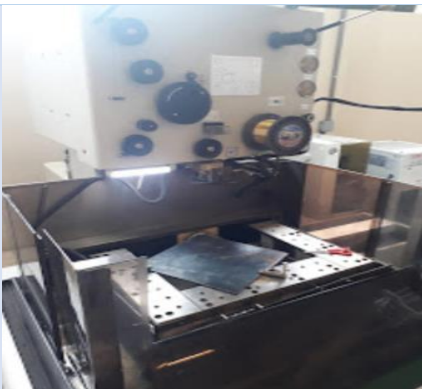
Características técnicas Fresadora

Diámetro de la caña: 85,70 mm
 Curso de la caña: 127 mm
 Velocidad cabezal: 50-3.750 rpm (50 Hz)
 Grados derecha a izquierda: 90°
 Grados inclinación de delante hacia atrás: 45°
 Motor eje principal: 3 Hp
 Peso máximo sobre la mesa: 200 Kg



Características técnicas Torno

Distancia entre puntos: 1150 mm
 Diámetro sobre bancada: 450mm,
 Diámetro sobre escote: 650mm
 Diámetro sobre carro: 410mm,
 Diámetro del husillo (caña): 42mm
 Velocidades: 35-2300 rpm



Características técnicas Electroerosionadora

Mesa de trabajo mm 550 x 350
 Distancia máxima entre cabezal/mesa mm 520
 Máximo peso del electrodo kg 30
 Peso admisible en la mesa kg 200
 Potencia máxima requerida KVA 3,5
 Rugosidad Ra (Cl_a) en micras 0,4
 Superficie en planta (ancho x largo) mm 1580 x 1455
 Altura máxima mm 2150



Características técnicas Rectificadora

Dimensiones plato magnético: 500 x 150 mm
 Longitud máxima rectificable: 500 mm
 Ancho máximo rectificable: 150 mm
 Altura útil sobre plato: 200 mm
 Avance lento vertical: 0,25 mm/vuelta
 Avance rápido vertical: 4 mm/vuelta
 Movimiento longitudinal mesa: 0-15 m/min
 Movimiento transversal: manual
 Potencia del motor muela: 1 HP



Características técnicas Soldadura

Entrada Tensión / Fases / Frecuencia: 115/1/60, 230/1/60,
 110/1/50, 220/1/50
 Salida nominal Corriente / Voltaje / Ciclo de Trabajo /
 Frecuencia: 140A/25V/20% - 60Hz, 225A/25V/20% - 60Hz,
 140A/25V/14% - 50Hz, 225A/29V/14% - 50Hz
 Peso: 41.5 Kg

Fuente: (Santa Bárbara EP)

4.2. Protocolo de Seguridad

Al tratarse de un proceso que involucra armas de fuego e interacción con seres humanos con fines de pruebas de laboratorio, se recomienda adoptar cualquier medida, aunque parezca exagerada, cuyo objetivo sea precautelar la vida del personal y en consecuencia evitar algún accidente por consecuencia del mal porte, uso y/o conservación de armas de fuego dentro de la zona del banco de pruebas.

4.2.1. Medidas de conducta del personal:

- Asumir como medida de suma importancia que todas las armas que intervengan en el proceso están siempre cargadas, por lo tanto, se le debe dar un uso correcto,

cuidadoso en el trato de las mismas, minimizando la variable de manipulación indebida.

- Jamás a apuntar a ningún miembro del personal con las armas de fuego, a pesar de que el arma estese posiblemente descargada, por lo tanto, queda aclarado y convenido que las armas de laboratorio no son para jugar ni apuntar a compañeros o cualquier objeto que no sea parte del proceso de la prueba balística.
- Los disparos se lo realizan única y exclusivamente al blanco de tiro que el laboratorista fije con fines de pruebas.
- No efectuar prácticas o manipulación innecesaria de las armas, aunque se encuentren descargadas.
- Si durante la prueba se percibe alguna diferencia en el sonido del disparo o se experimenta algún retroceso, recomendamos verificar el arma antes de continuar, esto para precautelar la integridad de las instalaciones y las vidas del personal.
- Durante la preparación del chaleco para las pruebas, mantener el arma con el cierre abierto, sin cargador y el cañón apuntando hacia algún lugar donde no se encuentre seres vivos.

4.2.2. Medidas en la manipulación de las armas de fuego:

- Cuando se cargue el arma mantener el cañón apuntando hacia el fondo de la línea de tiro.
- Durante el movimiento o desplazamiento, mantener el dedo afuera del gatillo.

- La seguridad como parte del proceso es vital, por lo tanto, si los miembros del laboratorio o clientes observan que hay algo en contra de los reglamentos debe decir “Alto al fuego”.

4.2.3. Protocolo de riesgo

Según lo mencionado previamente al respecto de la seguridad y su importancia como parámetro primario dentro del desarrollo del proyecto y en la ejecución de la misma, debemos indicar algunos factores que consideramos importantes de implementar.

- Ambiente
- Distancias de Seguridad
- Señalización
- Bloqueos de emergencia
- Sensores de prevención

4.2.3.1. Ambiente

Este factor los consideramos porque al ser una práctica con armas de fuego el entorno donde se lo debe desarrollar es un espacio aislado, donde no haya un normal tránsito de personas. Al hablar del entorno y considerar que el espacio físico pertenece a las instalaciones de Santa Bárbara sugerimos que el ambiente debe estar lejos de botaderos o zonas donde existan compuesto que sean inflamable, esto para prevención y como protocolo de seguridad para el personal y las instalaciones físicas de la fábrica.

4.2.3.2. *Distancias de Seguridad*

Al ser un proyecto de potenciación el presente proyecto contempla un manual de desarrollo de práctica donde pondremos a consideración del personal las distancias sugeridas de seguridad, esto con el fin de evitar posibles afectaciones por el alcance del proyectil o esquirlas remanentes del impacto de la misma.

4.2.3.3. *Señalización*

A pesar de que no estese en el alcance del presente proyecto, como parte de la gestión de riesgos que exige un proyecto de esta naturaleza, potenciaremos la señalización ya existente en el laboratorio, y designar de mejor manera las áreas de uso con el fin de limitar, restringir el acceso de usuarios o clientes externos.

4.2.3.4. *Bloqueos de emergencia*

Consideramos bloqueos de emergencia, en caso de imprevistos tales como, negligencia y/o impericia del personal. La HMI de la práctica contará con botones de emergencia para el bloqueo del actuador de disparo, por propósito de redundancia en seguridad contaremos con varios botones físicos que cumplan el mismo propósito.

4.2.3.5. *Sensores de prevención*

Parte del proyecto de potenciación consideramos algunos sensores de presencia, especialmente durante el desarrollo de las pruebas, con el fin de evitar la presencia humana en la zona del túnel balístico. Los sensores que se seleccionaron son los passive infrared sensor (PIR), es un dispositivo para detección de movimiento, se basa en la medición de radiación infrarroja pasiva. El sensor cuenta con un lente óptico fresnel, el funcionamiento de este lente es dividir el espacio en zonas, y enfoca cada radiación infrarroja recibida a una ventana del sensor PIR.



Figura 103. Sensor PIR con lente fresnel
Fuente: (Adafruit learning system, s.f.)

El esquema eléctrico es el siguiente:

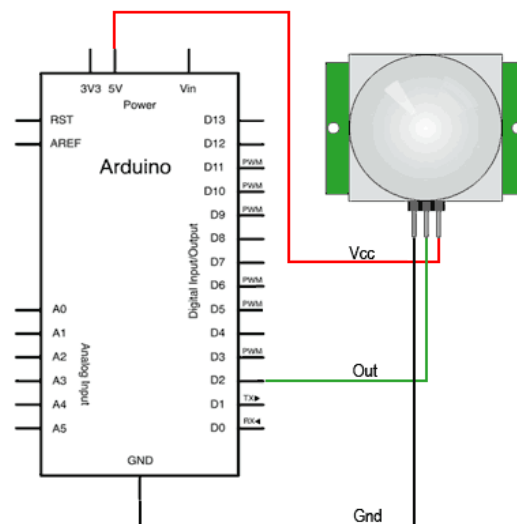


Figura 104. Esquema eléctrico sensor PIR
Fuente: (Adafruit learning system, s.f.)

Características básicas:

- Salida digital
- Rango de 6 metros de detección
- Voltaje de entrada 5-12V.
- Forma rectangular

4.3. Desarrollo protocolo de pruebas

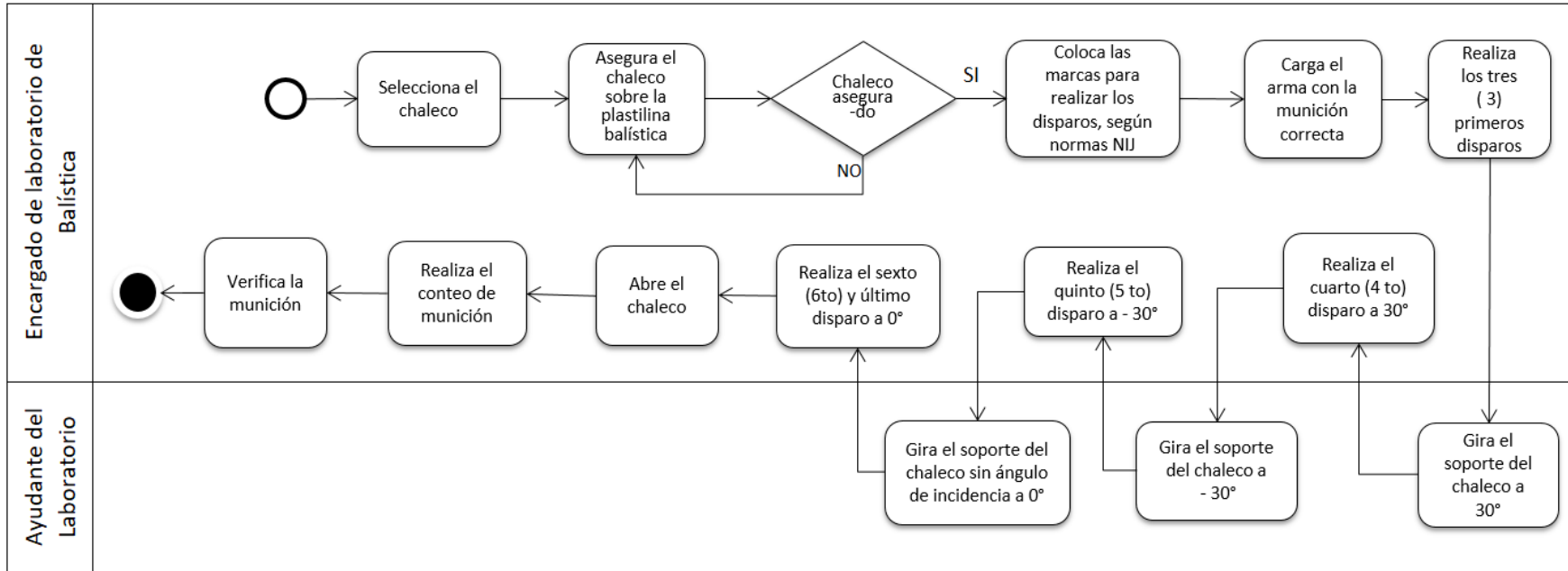


Figura 105. Flujograma de proceso banco de prueba

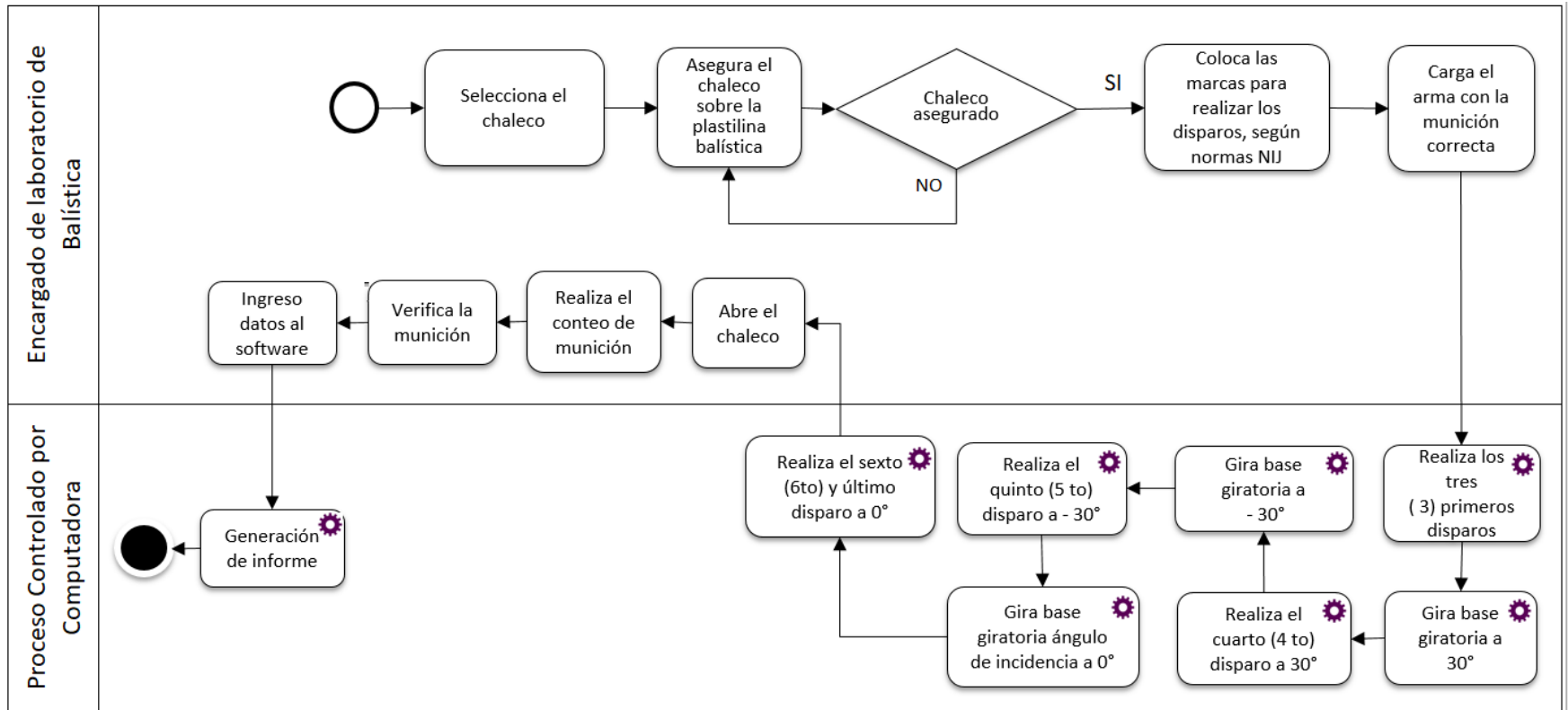


Figura 106. Flujograma de proceso banco de prueba semi-automatizado

4.4. Pruebas del prototipo

Para la presente sección se presentará las pruebas realizadas con el arma de fuego con munición calibre 9mm, por el fin correspondiente tabulamos el error porcentual en cuatro variables importantes:

- Posicionamiento eje x del manipulador, como se muestra en la tabla 56.
- Posicionamiento eje y del manipulador, como se muestra en la tabla 57.
- Posicionamiento base giratoria, como se muestra en la tabla 58.
- Posicionamiento del proyectil al disparar, como se muestra en la tabla 59.

Tabla 56.

Error posicionamiento eje x manipulador

Prueba No.	Posición Deseada [mm]	Posición Real [mm]	Porcentaje error [%]
1	-350	-356	1.71
2	-300	-301	0.33
3	-250	-248	0.80
4	-200	-195	2.50
5	-100	-98	2.00
6	0	0	0.00
7	100	103	3.00
8	200	205	2.50
9	250	253	1.20
10	300	302	0.67

Tabla 57.
Error posicionamiento eje y manipulador

Prueba	Posición Deseada [Posición Real	Porcentaje error
No.	mm]	[mm]	[%]
1	-400	-407	1.75
2	-350	-355	1.43
3	-300	-307	2.33
4	-200	-204	2.00
5	-100	-100	0.00
6	0	0	0.00
7	100	103	3.00
8	200	205	2.50
9	300	310	3.33
10	400	415	3.75

Tabla 58.
Error posicionamiento base giratoria

Prueba	Posición Deseada [Posición Real	Porcentaje error
No.	grados]	[grados]	[%]
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	30	30	0

5	30	30	0
6	-30	-30	0
7	-30	-30	0
8	0	0	0
9	30	30	0
10	-30	-30	0

Tabla 59.
Error disparo proyectil

Prueba No.	Posición	Posición	Posición	Posición	Porcentaje error [%]
	manipulador eje x [mm]	manipulador eje y [mm]	proyectil eje x [mm]	proyectil eje y [mm]	
1	-350	-350	-320	-363	4.86
2	-300	-300	-280	-312	2.67
3	-250	-250	-250	-225	10.00
4	-200	-200	-190	-195	7.50
5	-100	-100	-90	-100	10.00
6	0	0	0	0	0
7	100	100	131	70	1.00
8	200	200	172	2115	6.50
9	250	250	280	230	4.00
10	300	300	285	330	5.00

4.5. Análisis de resultados

4.5.1. Resultados de las pruebas prototipo

En el cálculo del error en las pruebas que se realizó se registra que es menor igual al 10% lo que supone una buena reducción en la variabilidad del proceso. Como se visualiza en la figura 107 las pruebas se ejecutaron con un arma de fuego M4 con el fin de probar el agarre de la mordaza, así mismo se observó un óptimo funcionamiento del sistema de retroceso.



Figura 107. Pruebas de disparo munición 9mm



Figura 108. Pruebas de base giratoria

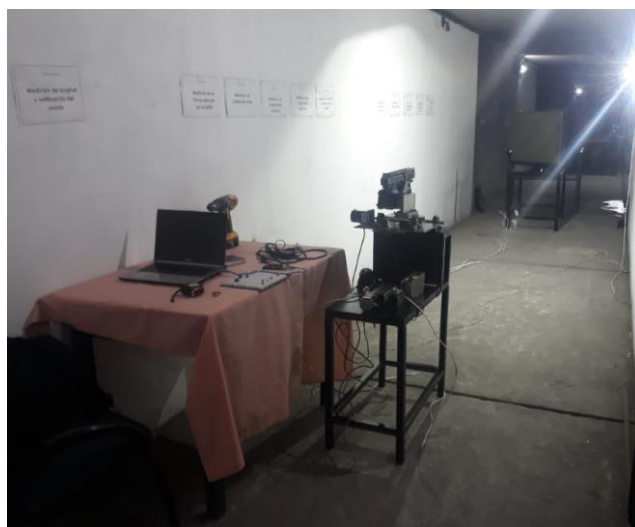


Figura 109. Pruebas en Túnel Balístico

Las características técnicas del módulo para pruebas de resistencia balística de chalecos antibalas quedan como se observa en la tabla 60.

Tabla 60.
Características técnicas

Potencia	110 w
Área de trabajo	Eje Y: +600 -580 Eje X: +400 -400
Tensión Nominal	120 V AC
Corriente Nominal	9 A
Protección	IP 20
Manipulador	2 Grados de libertad
Base giratoria	1 Grado de libertad

4.5.2. Resultados de costos y producción

El valor del proyecto se desglosará en 3 partes: la base giratoria, el manipulador y ensamble general. Para la mano de obra se toma en cuenta los baremos que maneja la empresa Santa Bárbara en sus cotizaciones.

DESCRIPCIÓN :	COSTOS GENERALES BASE GIRATORIA
	COSTOS
BIELA BASE GIRATORIA	\$30.00
GUIA LINEAL PIEZA	\$20.00
INGRESO RODAMIENTO	\$70.00
MANIVELA	\$15.00
MESA	\$400.00
PIEZA BASE GIRATORIA	\$60.00
PIEZA RODAMIENTO	\$150.00
SOPORTE MUNICIÓN	\$60.00
SOPORTE MATERIAL DE APOYO	\$150.00
EJE ELECTROMECAÁNICO	\$400.00
ENSAMBLAJE GENERAL	\$400.00
COSTO DE PRODUCCIÓN TOTAL	\$1,755.00

Figura 110. Costo Base Giratoria

DESCRIPCIÓN :		GASTOS DE ENSAMBLE		
MATERIA PRIMA	Unidad	Cantidad	V. Unit.	V. Total
CABLE APANTALLADO 3 HILOS	m.	40	0.5	20.0
ARDUINO MEGA 2560	Un.	1	20	20.0
DRIVER 5A PARA NEMA 23	Un.	3	35	105.0
FUENTE 3A 12V	Un.	1	40	40.0
FUENTE 5A 12V	Un.	1	24	24.0
CABLE DE TIMBRE	m.	10	0.5	5.0
CABLE AWG 18	m.	25	0.65	16.3
SENSOR DE MOVIMIENTO	Un.	1	20	20.0
RELE 12V PARA ARDUINO	Un.	1	15	15.0
REGLETA-CONEXIONES ELECTRICAS	m.	0.5	25	12.5
CABLE DE ARDUINO SERIAL	m.	7	10	70.0
MOTORES NEMA 23	UN	3	20	60.0
FINES DE CARRERA	UN	6	5	30.0
CABLE ARDUINO	UN	1	4	4.0
TOTAL				441.8
MANO OBRA DIRECTA	Cantidad	Tiempo (h)	Costo/h	Total
DISEÑO SOFTWARE	1	240.00	2.5000	600.00
PROGRAMACIÓN SOFTWARE MANIPULADOR	1	80.00	2.5000	200.00
PROGRAMACIÓN SOFTWARE BASE GIRATORI	1	80.00	2.5000	200.00
IMPLEMENTACIÓN ELECTRONICA	1	80.00	2.5000	200.00
TOTAL		480.00		1200.00
MATERIALES INDIRECTOS	Unidad	Cantidad Unit.	Precio Unit.	Total
TORNILLOS	Un.	20.000	0.20	4.00
ESTAÑO	m.	5.00	0.30	1.50
TOTAL				5.50
COSTO DE PRODUCCIÓN TOTAL				\$1,647.25

Figura 111. Costo General Ensamble

Según las cotizaciones que se realizó en Santa Bárbara EP el valor total del proyecto es de \$5911.03, al ser un proyecto de uso y conveniencia se aprovechó el material que recicla la fábrica para reciclar, reusar y procesarlo para las diferentes piezas requeridas en el proyecto. Para el maquinado de las partes la empresa nos permitió el uso del taller de máquinas y el asesoramiento del personal para el manejo de cada uno de ellas. La maquinaria que se utilizó es la descrita en la sección 4.1.1.1.

DESCRIPCIÓN :	COSTOS GENERALES MANIPULADOR
	COSTOS
BASE PARA RAMPSON	\$49.70
BASE RETROCESO	\$153.63
BASE STEP MOTOR 2	\$40.90
BASE STEP MOTOR	\$39.01
BOCIN MOTOR	\$29.04
EJE MOTOR	\$42.33
ENGRANAJE HELICOIDAL	\$467.19
MANIVELA	\$35.13
MESA MANIPULADOR	\$438.47
MESA	\$237.34
PLACA GUIA	\$51.35
RAMSON 2	\$205.04
SOPORTE BASE	\$52.78
SOPORTE MOTOR	\$39.03
SUJECIÓN EJE	\$23.98
EJE ELECROMECÁNICO LINEAL	\$130.00
ENSAMBLAJE GENERAL	\$473.88
COSTO DE PRODUCCIÓN TOTAL	\$2,508.78

Figura 112. Costo Manipulador

Los gastos de material y mano de obra fue responsabilidad compartida por parte de la empresa Santa Bárbara EP en una proporción de 70% y los autores intelectuales del proyecto en el 30% puesto que las piezas mecánicas han sido maquinadas en las instalaciones de la fábrica.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se diseñó y construyó el módulo de pruebas en chalecos antibalas el cual consta de: un manipulador que permite el posicionamiento de armas calibre 9 mm y una base giratoria la cual soporta la plastilina Roma y resiste los impactos de los fusiles de munición 9 mm. Satisface las necesidades operativas y de seguridad que requiere el laboratorio de balística.
- La integración de la parte mecánica con la electrónica fue un éxito a partir del diseño correcto de cada uno de sus componentes por la metodología utilizada en el proyecto, diseño y desarrollo de productos de Karl Ulrich, Eppinger.
- El manipulador de dos grados de libertad requirió de precisión de 0.01 grados de rotación para los actuadores, para un movimiento mínimo de 1.5mm a lo largo del eje x e y.
- Se programó el sistema de control del manipulador acorde al mecanismo de giro, para el eje x según la relación de transmisión de la corona y tornillo sin fin, para el eje y conforme a la cinemática del mecanismo de cuatro barras, así mismo para la base giratoria el mecanismo de tres barras.

- La importancia de cuantificar los errores supone un mejor control en el proceso y conociendo que en el proyecto prima la importancia en la precisión se traduce en un buen control en los actuadores y mecanismos de movimiento.
- Se logra la construcción de la base giratoria que coloca la plastilina balística en 3 posiciones: 0 grados, 30 grados y -30 grados. El error de posicionamiento mediante el mecanismo biela manivela permite tener una diferencia de error de 0 grados.
- Se desarrolla una Interfaz Humano Máquina (HMI) implementada en python que se interconecta con varias pantallas por un software dinámico y de fácil operación para el usuario. Cumple con la función de operar el módulo balístico mediante su comunicación con el controlador arduino, cumpliendo los requerimientos de seguridad al no ejecutar ninguna acción al momento que el sensor de presencia se encuentre activo.

5.2. Recomendaciones

- Implementar un sistema de visión artificial para el reconocimiento de los objetivos de disparo y potencializar así el control del módulo de pruebas.
- Implementar un sistema de movilización para la base giratoria que permita simular los objetivos en movimiento y estudiar sus efectos en los chalecos antibalas.

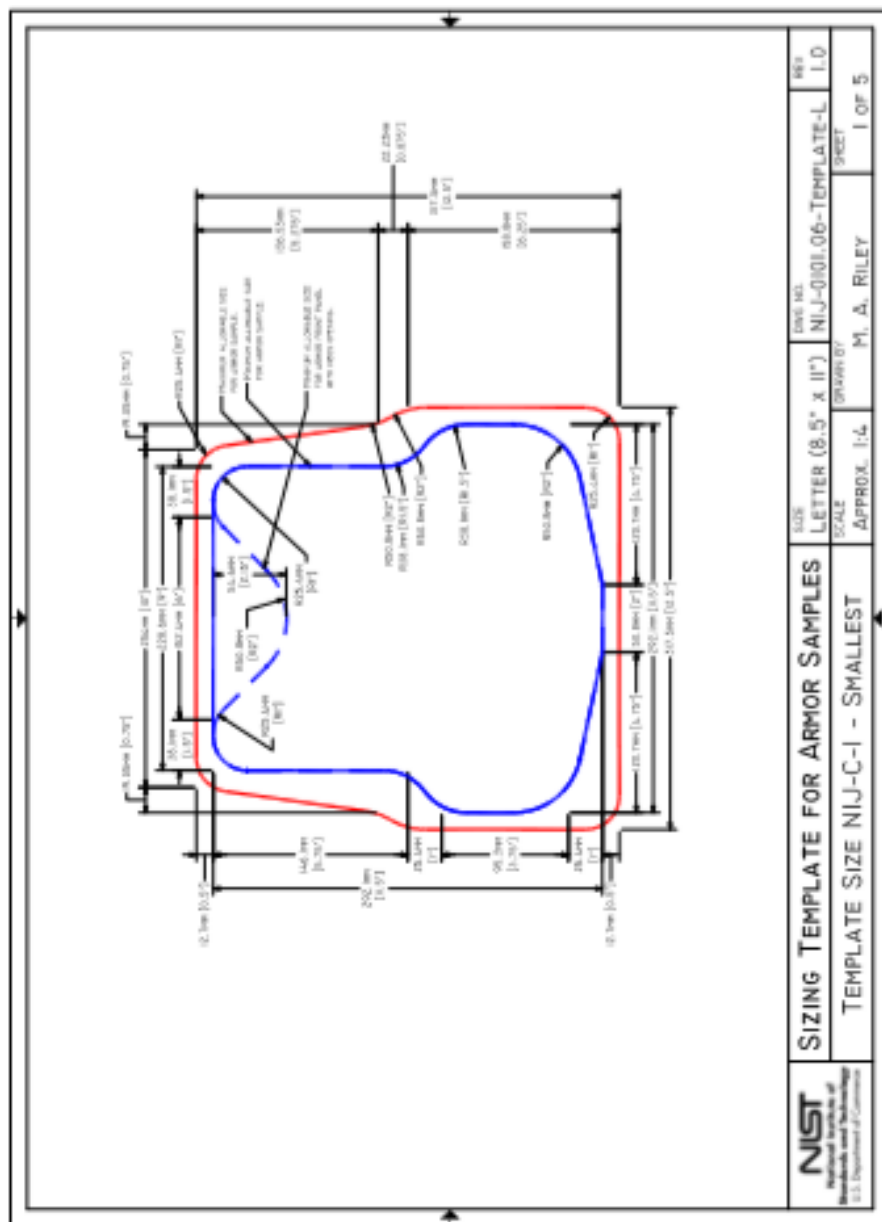
- Implementar un sistema de movilización para el manipulador y así ampliar las aplicaciones al moverse en su entorno características similares a la de un robot móvil.
- Verificar la viabilidad de la realización de pruebas con armas de fuego de calibre superior a la del proyecto.

5.3. Referencias

- Adafruit learning system.* (n.d.). Retrieved from <https://cdn-learn.adafruit.com/downloads/pdf/pir-passive-infrared-proximity-motion-sensor.pdf>
- Bentz, D., & Forster, A. (2011). *Thermal Properties and Thermal Modeling of Ballistic Clay Box.* National Institute of Standards and Technology.
- Budynas , R., & Nisbet, J. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley.* México: MC GRAW HILL.
- CHEESEMAN, B. A. (2003). Ballistic impact into fabric and compliant composite laminates. In *Composite Structure* (pp. 161-173).
- Createc Shop 3D.* (n.d.). Retrieved from <https://createc3d.com/shop/es/comprar-electronica-impresora-3d/52-final-de-carrera-mecanico-pcb-precio.html>
- Dilusa. (n.d.). *rsriluminacionled.* Retrieved from <https://rsriluminacionled.es/producto/tiras-led/fuente-alimentacion-tiras-led-aluminio-12v-24v-ip20/>
- DINGENAN, J. V. (1996). Nonwovens and fabrics in ballistic protection. *Technical Textiles International*, 10-13.
- Electronilab. (n.d.). *Electronilab.* Retrieved from <https://electronilab.co/tienda/driver-micromotro-motor-paso-paso-tb6600-0-2-5a-12-48vdc/>

- ENCYCLOPEDIA, N. W. (2014). *ENCYCLOPEDIA, N. W. 2014. Bullet* . Retrieved from <http://www.newworldencyclopedia.org/p/index.php?title=Bullet&oldid=967807>.
- JACOBS, M. &. (2001). Ballistic protection mechanisms in personal armour. . *Journal of Materials Science*.
- KARAHAN, M. (2008). Comparison of ballistic performance and energy absorption capabilities of woven and unidirectional aramid fabrics. *Textile Research Journal*, 718-730.
- LOPEZ, R., & ENRIQUEZ, G. (2018). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN KIT DE CONVERSIÓN NEUMÁTICO PARA UN SIMULADOR BALÍSTICO EN UNA PISTOLA PIETRO BERETTA 92-FS DE CALIBRE 9 mm*. Quito: ESPE.
- MEDVEDOVSKI, E. (2010). Ballistic performance of armour ceramics: Influence of design and structure. *Part 1. Ceramics International*, 36.
- Mott, R. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas*. México: Pearson Education. Retrieved from Engranajes Cilíndricos .
- NIJ Justice, U. D. (2008). *Ballistic Resistance of Body Armor*. Washington, DC 20531. Santa Bárbara EP. (n.d.). Sangolguí, Pichincha, Ecuador.

Anexo 1.



Anexo 1 Dimensiones de los chalecos
 Fuente: (NIJ Justice, 2008)

Anexo 2.



TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO



Especificaciones Generales

Código: ASTM A500

Recubrimiento: Negro o Galvanizado

Largo Estándar: 4.20 m

Otro Largo: Precio Cotizado

Dimensiones: Desde 20.00 mm a 100.00 mm

Espesor: Desde 1.20 mm a 5.00 mm

TUBERÍA



Dimensiones			Área		Ejes X-Y		
A mm	Espesor mm (t)	Peso Kg/m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm ⁴	I cm ⁴
20	1,2	0,72	0,80	0,03	0,03	0,77	
20	1,5	0,90	1,05	0,08	0,08	0,74	
20	2,0	1,15	1,34	0,09	0,09	0,72	
25	1,2	0,80	1,14	1,00	0,07	0,97	
25	1,5	1,12	1,36	1,21	0,07	0,95	
25	2,0	1,47	1,74	1,46	1,18	0,92	
30	1,2	1,00	1,36	1,01	1,28	1,15	
30	1,5	1,25	1,65	1,10	1,46	1,15	
30	2,0	1,76	2,14	1,71	1,81	1,13	
40	1,2	1,47	1,60	4,36	3,19	1,05	
40	1,5	1,80	2,25	5,48	3,74	1,05	
40	2,0	2,41	3,24	6,00	3,46	1,04	
40	3,0	3,24	4,44	10,00	5,10	1,02	
50	1,4	1,20	2,05	11,00	4,40	1,07	
50	2,0	1,20	3,74	14,10	5,05	1,04	
50	3,0	4,46	5,01	21,00	4,46	1,01	
60	2,0	3,05	3,74	21,00	7,00	2,20	
60	3,0	5,40	5,01	35,00	11,00	2,24	
75	2,0	4,50	5,74	50,47	13,46	2,07	
75	3,0	6,75	8,41	71,54	10,00	2,02	
75	4,0	8,50	10,00	80,00	16,00	2,07	
100	3,0	6,17	7,74	122,00	24,00	3,00	
100	4,0	8,17	11,41	155,00	35,00	3,04	
100	4,0	12,75	14,90	224,00	45,22	3,00	
100	5,0	16,40	18,30	275,00	54,10	3,04	

www.dipacmanta.com

Anexo 2 Tubo cuadrado
Fuente: (Catálogo Dipac)

Anexo 3

Plancha laminada en caliente

Recubrimiento:
Negro
Norma de Fabricación:
NTE INEN 115, ASTM A 8
Norma de Calidad:
ASTM A 570 Gr 36 / ASTM A 36 / ASTM A 283 Gr C /
ASTM A 588 Gr A / ASTM A 131 Gr A / ASTM A 516
Gr 70
Observaciones:
Dimensiones y largos especiales, previa consulta

Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.
mm	mm	mm	kg.
1220	2440	1,50	35,05
1220	2440	2,00	46,74
1220	2440	3,00	70,10
1220	2440	4,00	93,47
1220	2440	5,00	116,84
1220	2440	6,00	140,21
1220	2440	8,00	186,94
1220	2440	9,00	210,31
1220	2440	10,00	233,68
1220	2440	12,00	280,41

Aplicaciones

- Conformación de estructuras en general con elementos de alma llena (flejes).
- Fabricación de tanques.
- Estructuras de puentes.
- Estructuras de barcos.
- Camisas de pilotes.
- Encofrados.
- Placas.
- Contención de tierra.
- Plataformas.
- Calderos.
- Tubería de grandes diámetros.

Plancha laminada en frío

Recubrimiento:
Negro
Norma de Fabricación:
NTE INEN 115
Norma de Calidad:
ASTM A 36 / JIS G 3141 SPCC - SD /
SAE 1010
Observaciones:
Dimensiones y largos especiales, previa consulta

Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.	Calidad
mm	mm	mm	kg.	
1000	2000	0,70	10,99	Embutición
1000	2000	0,90	14,13	
1000	2000	1,10	17,27	
1000	2000	1,40	21,98	
1220	2440	0,40	9,35	Comercial
1220	2440	0,45	10,52	
1220	2440	0,50	11,68	
1220	2440	0,60	14,02	
1220	2440	0,70	16,36	
1220	2440	0,75	17,52	
1220	2440	0,90	21,03	
1220	2440	1,10	25,70	
1220	2440	1,40	32,72	
1220	2440	2,00	46,74	

Aplicaciones

- Muebles metálicos en general.
- Puertas metálicas.
- Carpintería metálica.
- Tanque para almacenamiento de aceites.
- Tanques de exportación de frutas.
- Baldes para camionetas.
- Partes y piezas metálicas (abrazaderas, de línea blanca, etc).
- Rótulos.
- Señalización de tránsito.
- Cajas fúnebres.
- Autopartes.

Anexo 4

Fración de pulgadas
$\frac{1}{64}, \frac{1}{32}, \frac{1}{16}, \frac{3}{32}, \frac{1}{8}, \frac{5}{32}, \frac{3}{16}, \frac{1}{4}, \frac{5}{16}, \frac{3}{8}, \frac{7}{16}, \frac{1}{2}, \frac{9}{16}, \frac{5}{8}, \frac{11}{16}, \frac{3}{4}, \frac{7}{8}, 1, 1\frac{1}{4}, 1\frac{1}{2}, 1\frac{3}{4}, 2, 2\frac{1}{4}, 2\frac{1}{2}, 2\frac{3}{4}, 3, 3\frac{1}{4}, 3\frac{1}{2}, 3\frac{3}{4}, 4, 4\frac{1}{4}, 4\frac{1}{2}, 4\frac{3}{4}, 5, 5\frac{1}{4}, 5\frac{1}{2}, 5\frac{3}{4}, 6, 6\frac{1}{2}, 7, 7\frac{1}{2}, 8, 8\frac{1}{2}, 9, 9\frac{1}{2}, 10, 10\frac{1}{2}, 11, 11\frac{1}{2}, 12, 12\frac{1}{2}, 13, 13\frac{1}{2}, 14, 14\frac{1}{2}, 15, 15\frac{1}{2}, 16, 16\frac{1}{2}, 17, 17\frac{1}{2}, 18, 18\frac{1}{2}, 19, 19\frac{1}{2}, 20$
Décimas de pulgadas
0.010, 0.012, 0.016, 0.020, 0.025, 0.032, 0.040, 0.05, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12, 0.16, 0.20, 0.24, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.80, 1.00, 1.20, 1.40, 1.60, 1.80, 2.0, 2.4, 2.6, 2.8, 3.0, 3.2, 3.4, 3.6, 3.8, 4.0, 4.2, 4.4, 4.6, 4.8, 5.0, 5.2, 5.4, 5.6, 5.8, 6.0, 7.0, 7.5, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5, 11.0, 11.5, 12.0, 12.5, 13.0, 13.5, 14.0, 14.5, 15.0, 15.5, 16.0, 16.5, 17.0, 17.5, 18.0, 18.5, 19.0, 19.5, 20
Milímetros
0.05, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12, 0.16, 0.20, 0.25, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.70, 0.80, 0.90, 1.0, 1.1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.5, 2.8, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 8.0, 9.0, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 35, 40, 45, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 250, 300
Números de Renard*
1a. elección, R5: 1, 1.6, 2.5, 4, 6.3, 10
2a. elección, R10: 1.25, 2, 3.15, 5, 8
3a. elección, R20: 1.12, 1.4, 1.8, 2.24, 2.8, 3.55, 4.5, 5.6, 7.1, 9
4a. elección, R40: 1.06, 1.18, 1.32, 1.5, 1.7, 1.9, 2.12, 2.36, 2.65, 3, 3.35, 3.75, 4.25, 4.75, 5.3, 6, 6.7, 7.5, 8.5, 9.5

Anexo 4 Tamaños preferidos y números de Renar

Fuente: (Budynas & Nisbet, 2008)

Anexo 5.

Material	ASTM núm.	Exponente m	Diámetro, pulg	A_s kpsi · pulg ^m	Diámetro, mm	A_s MPa · mm ^m	Costo relativo del alambre
Alambre de piano*	A228	0.145	0.004-0.256	201	0.10-6.5	2 211	2.6
Alambre T y R en aceite†	A229	0.187	0.020-0.500	147	0.5-12.7	1 855	1.3
Alambre estirado duro‡	A227	0.190	0.028-0.500	140	0.7-12.7	1 783	1.0
Alambre al cromo vanadio§	A232	0.168	0.032-0.437	169	0.8-11.1	2 005	3.1
Alambre al cromo silicio¶	A401	0.108	0.063-0.375	202	1.6-9.5	1 974	4.0
Alambre inoxidable 302#	A313	0.146	0.013-0.10	169	0.3-2.5	1 867	7.6-11
		0.263	0.100-0.20	128	2.5-5	2 065	
		0.478	0.200-0.40	90	5-10	2 911	
Alambre de bronce fosforado**	B159	0	0.004-0.022	145	0.1-0.6	1 000	8.0
		0.028	0.022-0.075	121	0.6-2	913	
		0.064	0.075-0.30	110	2-7.5	932	

Anexo 5 Constantes A y m para estimar la resistencia de tensión mínima de alambres
Fuente: (Budynas & Nisbet, 2008)