



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

DISEÑO, AUTOMATIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE
SISTEMAS TRAMPAS PARA UNA ARENA DE BATALLA DE
ROBOTS

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES:

HAZIEL ALEJANDRO LUNA PÉREZ
PATRICIO DAVID GUERRA VINUEZA

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

DISEÑO, AUTOMATIZACION E IMPLEMENTACION DE
SISTEMAS TRAMPAS PARA UNA ARENA DE ROBOTS DE
BATALLA

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES:

HAZIEL ALEJANDRO LUNA PÉREZ

PATRICIO DAVID GUERRA VINUEZA

DIRECTOR: ING. JOHN GERMAN VERA LUZURIAGA

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Patricio David Guerra Vinueza, Haziel Alejandro Luna Pérez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Haziel Alejandro Luna Pérez y Patricio David Guerra Vinueza, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 3 de julio 2024



Haziel Alejandro Luna Pérez

060477040-4



Patricio David Guerra Vinueza

172300591-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico **DISEÑO, AUTOMATIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS TRAMPAS PARA UNA ARENA DE BATALLA DE ROBOTS**, realizado por los señores: **HAZIEL ALEJANDRO LUNA PÉREZ y PATRICIO DAVID GUERRA VINUEZA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Miguel Sócrates Aquino PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-07-03
Ing. John German Vera Luzuriaga DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-07-03
Ing. Santiago Alejandro López Ortiz ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-07-03

DEDICATORIA

Dedico este logro significativo a mis queridos padres, quienes han demostrado una inquebrantable fortaleza y perseverancia a lo largo de los años. Frente a las adversidades y desafíos, han sido una fuente constante de inspiración para mí, recordándome la importancia de seguir adelante sin importar las circunstancias. A mis hermanos, les expreso mi profundo agradecimiento por su ejemplo de resiliencia en la persecución de sus sueños y en la toma de decisiones; han sido un modelo a seguir. También quiero dedicarlo a todas las personas que formaron parte de esta etapa de mi vida y me acompañaron en este camino compañeros, amigos, tutores y docentes. Este logro es tanto suyo como mío.

Haziel Alejandro Luna Pérez

Dedico este logro a aquel niño que una vez se encontró perdido en la oscuridad, al adolescente que navegó por aguas turbulentas con valentía y determinación. A ese joven que, a menudo confundido, enfrentó la incertidumbre con coraje y perseverancia. Esta dedicatoria es para la persona que, a pesar de la soledad que a veces lo abrazaba, siempre intentaba irradiar esperanza y fortaleza. Este es un homenaje al 'yo' del pasado, a ese chico que sus amigos llaman Pato, que nunca se rindió frente a ninguna derrota y siempre buscó la forma de salir adelante. Va dedicado a ese muchacho, cuyo sacrificio y esfuerzo han allanado el camino hacia esta meta. Me dedico este logro a mí mismo, como un recordatorio de que nunca debo subestimar mi capacidad para superar desafíos y alcanzar sueños. Todo lo que alguna vez imaginamos se está cristalizando en realidad, y esta victoria es un tributo a nuestra resistencia y fe inquebrantable.

A ti, Pato del pasado, gracias por nunca haberte rendido, lo logramos.

Patricio David Guerra Vinuesa

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres y hermanos por su apoyo incondicional en la consecución de mis objetivos personales y académicos. Su cariño siempre me ha impulsado a perseguir mis metas, incluso en momentos difíciles. A mis tutores, Ing. Santiago López e Ing. John Vera les agradezco sinceramente su dedicación y paciencia. Sus palabras y correcciones precisas fueron fundamentales para llegar a esta instancia tan anhelada. A todos mis docentes, gracias por transmitirme los conocimientos necesarios para estar aquí hoy. Sin ustedes, los conceptos serían solo palabras vacías. Llevaré sus consejos grabados durante mi futuro profesional. Y a mis compañeros, quienes se han convertido en amigos, cómplices y hermanos, les agradezco por las horas compartidas, los trabajos en conjunto y las historias vividas.

Además, deseo expresar mi gratitud a todas las personas que colaboraron en el desarrollo de este trabajo de titulación. Agradezco a quienes me facilitaron con los medios para hacer posible este proyecto Ing. Jennyfer Erazo, Ing. Diego Ñacato, Facultad de Informática y Electrónica. Los comentarios constructivos, las sugerencias, y las conversaciones para analizar conceptos y propuestas son fundamentales para el contenido de este trabajo. Este proyecto de titulación no sería lo que es sin sus valiosas recomendaciones

Haziel Alejandro Luna Pérez

Quiero agradecer a mis padres, mis pilares inquebrantables, les debo más que palabras pueden expresar. Madre, gracias por tu amor incondicional, por cuidarme con ternura y por guiarme con tus sabios consejos en cada paso de mi camino. Padre, tu ejemplo de esfuerzo y dedicación ha sido mi inspiración constante. Gracias por enseñarme el valor del trabajo arduo y la importancia de colocar siempre a nuestros seres queridos por encima de todo.

A mi querida hermana, mi confidente y mi mayor admiradora, gracias por creer en mí cuando yo dudaba y por recordarme constantemente que soy capaz de alcanzar cualquier meta que me proponga. Tu amor incondicional ha sido mi mayor fortaleza.

Abuelos queridos, ustedes han sido mi refugio, mi segunda casa donde siempre encuentro consuelo y apoyo. A mis tíos y primos, por su constante apoyo y por estar siempre pendientes de mi bienestar, les agradezco de corazón.

A mis amigos, mis compañeros de vida, gracias por ser mi roca en los momentos difíciles, por compartir risas y lágrimas, y por estar a mi lado sin importar las circunstancias. Su amistad es un tesoro que atesoro profundamente.

A mis respetados profesores del colegio y la universidad, les agradezco por su dedicación y compromiso en brindarme el conocimiento necesario para alcanzar mis sueños. Sus enseñanzas han sido fundamentales en mi formación académica y personal. A mi tutor, Ing John Vera, a mi asesor, Ing Santiago López y a los docentes que nos facilitaron las instalaciones para culminar con éxito este proyecto, Ing. Jennyfer Erazo e Ing. Diego Ñacato.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento por ser parte de este viaje, por sus sacrificios, su amor incondicional y su apoyo constante. Sin ustedes, este logro no sería posible.

Con todo mi cariño y gratitud,

Patricio David Guerra Vinueza

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XII
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XV
RESUMEN.....	XVII
SUMMARY / ABSTRACT	XVIII
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.1	Antecedentes	2
1.2	Planteamiento del Problema	2
1.3	Justificación	3
1.3.1	<i>Justificación técnica</i>	3
1.3.2	<i>Justificación económica</i>	3
1.3.3	<i>Justificación social</i>	4
1.4	Objetivo General	4
1.5	Objetivos Específicos	4

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	6
2.1	Robótica	6
2.1.1	<i>Historia y evolución de los Robots de Batalla</i>	6
2.1.2	<i>Reglas y Normativas</i>	7
2.2	Sistemas de Trampas en Arenas de Batallas de Robots	15
2.2.1	<i>Killsaws</i>	16
2.2.2	<i>Pulverizador</i>	16
2.2.3	<i>Ramrods</i>	17
2.2.4	<i>Paddle</i>	18
2.3	Fundamentación teórica	18
2.3.1	<i>Automatización</i>	18
2.4	Sistemas de Control.....	21
2.4.1	<i>Requerimientos de un sistema de control</i>	21

2.4.2	Control de Procesos Continuos	22
2.4.3	IEC 61131-3	23
2.4.4	<i>Ladder</i>	24
2.4.5	<i>Pulsadores</i>	26
2.4.6	<i>Cilindros Neumáticos</i>	28
2.4.7	<i>Clasificación</i>	28
2.5	Controladores neumáticos	30
2.5.1	<i>Mandos del cilindro neumático</i>	30
2.5.2	<i>Simbología Neumática</i>	30
2.5.3	<i>Electroválvulas</i>	33
2.5.4	<i>Sistema Informático</i>	36
2.5.5	<i>Ventajas y desventajas del empleo de PLC</i>	39
2.5.6	<i>Definición del número de entradas</i>	40
2.5.7	<i>Actuadores</i>	41
2.5.8	<i>Electroválvulas</i>	42
2.5.9	<i>Control</i>	43

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	45
3.1	Diseño conceptual	46
3.1.1	<i>Análisis funcional</i>	51
3.1.2	<i>Estructura de funciones</i>	52
3.1.3	<i>Matriz morfológica</i>	53
3.1.4	<i>Conceptos de solución</i>	54
3.1.5	<i>Solución 1</i>	55
3.1.6	<i>Solución 2</i>	55
3.1.7	<i>Solución 3</i>	56
3.1.8	<i>Solución 4</i>	58
3.2	Evaluación técnico-económica bajo la norma VDI 2225	58
3.2.1	<i>Solución adecuada</i>	59
3.3	Diseño de detalle de la solución 3	61
3.3.1	<i>Percepción y definición del problema</i>	61
3.3.2	<i>Selección de materiales para la base y estructura metálica del sistema de trampas</i>	62

3.3.3	<i>Detalle de los movimientos y funciones que se esperan del sistema</i>	63
3.3.4	<i>Diseño del sistema de trampas</i>	64
3.3.5	<i>Diseño de la trampa de impacto vertical</i>	64
3.3.6	<i>Selección del cilindro de la trampa de impacto vertical</i>	92
3.3.7	<i>Diseño de la trampa para perforación</i>	101
3.3.8	<i>Diseño de trampa para corte</i>	107
3.3.9	<i>Diseño de la trampa para levantamiento y choque</i>	108
3.3.10	<i>Diseño del arma para impacto horizontal</i>	113
3.4	Automatización del Sistema	117
3.4.1	<i>Características del sistema a controlar</i>	117
3.4.2	<i>PLC Siemens S7-1500</i>	118
3.5	Selección de Actuadores	119
3.5.1	<i>Relé Camsco MY2</i>	119
3.5.2	<i>Relé Camsco MK3P-I</i>	120
3.5.3	<i>Porta Fusible Camsco RT18-32A</i>	121
3.5.4	<i>Mini Disyuntor Camsco C60K-63</i>	121
3.5.5	<i>Desarrollo del Software de Control</i>	122
3.5.6	<i>Diagramas de conexión</i>	122
3.5.7	<i>Desarrollo del Código</i>	125
3.5.8	<i>Programación de activación de las trampas</i>	127
3.5.9	<i>Diagramas de espacio Fase</i>	128

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSION	130
4.1	Costos	136
	CONCLUSIONES	138
	RECOMENDACIONES	141
	GLOSARIO	1
	BIBLIOGRAFÍA	2
	ANEXOS	5

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Programación Ladder	25
Tabla 2-2: Entradas, salidas y canales	40
Tabla 2-3: Direcciones de entradas y salidas	41
Tabla 3-1: Lista de exigencias para el Diseño, Automatización e Implementación de Sistemas Trampas Para Una Arena de Batalla De Robots.	46
Tabla 3-2: Evaluación técnica del sistema y sus soluciones	60
Tabla 3-3: Evaluación económica del sistema y sus soluciones	60
Tabla 3-4: Valores de evaluación técnica y económica de cada solución	60
Tabla 3-5: Valores geométricos del mango del pulverizador	75
Tabla 3-6: Parámetros de entrada del pulverizador.....	75
Tabla 3-7: Cálculo de fuerzas conocidas	75
Tabla 3-8: Distancias para el diseño de elementos de unión en la placa	84
Tabla 3-9: Especificaciones SAE para pernos de acero.....	86
Tabla 3-10: Factores utilizados para determinar un factor de seguridad para materiales dúctiles.	87
Tabla 3-11: Diámetros y área de roscas unificadas de tornillo UNC y UNF.....	88
Tabla 3-12: Propiedades torsionales de soldaduras de filete	89
Tabla 3-13: Propiedades flexionantes de las soldaduras de filete.....	89
Tabla 3-14: Propiedades mínimas del metal de aporte	91
Tabla 3-15: Cálculo de caudal total	96
Tabla 3-16: Condiciones ambientales de Riobamba.....	97
Tabla 3-17: Dimensionamiento Compresor.....	97
Tabla 3-18: Características de compresor.....	97
Tabla 3-19: Cálculo volumen tanque de almacenamiento	98
Tabla 4-1: Resultados de las pruebas realizadas	135
Tabla 4-2: Resumen de costos	136

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Ejemplo de KILLSAW.....	16
Ilustración 2-2: Ejemplo de Pulverizador.....	17
Ilustración 2-3: Ejemplo de Ramrods.....	18
Ilustración 2-4: Ejemplo de Paddle	18
Ilustración 2-5: Estructura de un sistema automatizado.....	19
Ilustración 2-6: Figura de control de lazo abierto	22
Ilustración 2-7: Logo IEC	23
Ilustración 2-8: Símbolos programación Ladder.....	26
Ilustración 2-9: Pulsador industrial	26
Ilustración 2-10: Pulsador, esquema interno	27
Ilustración 2-11: Pulsador de emergencia	27
Ilustración 2-12: Cilindro de simple efecto con retorno por muelle.....	28
Ilustración 2-13: Cilindro de doble efecto.....	29
Ilustración 2-14: Figura de simbología	30
Ilustración 2-15: Simbología de cilindros neumáticos	31
Ilustración 2-16: Simbología neumática.....	32
Ilustración 2-17: Funcionamiento de electroválvula	34
Ilustración 2-18: Partes de una válvula solenoide	35
Ilustración 2-19: Manguera Neumática.....	35
Ilustración 2-20: Entorno de trabajo de un PLC.....	40
Ilustración 2-21: Actuador (Cilindro neumático).....	42
Ilustración 2-22: Electroválvula 4V210-08.....	43
Ilustración 3-1: Proceso general de desarrollo y diseño según la norma VDI 2221.....	45
Ilustración 3-2: Caja negra del diseño de sistema de trampas.....	51
Ilustración 3-3: Estructuras de funciones global	52
Ilustración 3-4: Matriz morfológica de soluciones para el diseño de sistema de trampas	53
Ilustración 3-5: Evaluación técnica y económica de las soluciones al sistema de trampas.....	61
Ilustración 3-6: Límites de la arena de Battlebots.....	65
Ilustración 3-7: Esquema de la trampa de impacto vertical.	66
Ilustración 3-8: Posición inicial y final de la trampa de impacto vertical.	66
Ilustración 3-9: Posición previo a la activación de la trampa de impacto vertical.	67

Ilustración 3-10: Diagrama de cuerpo libre del pulverizador en su posición de apoyo con la arena.....	72
Ilustración 3-11: Desplazamiento del contacto entre martillo y sistema de elevación neumático	76
Ilustración 3-12: Diagrama de cuerpo libre del martillo en su posición a 45°	77
Ilustración 3-13: Posición de impacto del pulverizador.....	79
Ilustración 3-14: Posición de previo al impacto del pulverizador	79
Ilustración 3-15: Impacto de pulverizador con el suelo de la arena	80
Ilustración 3-16: Disposición de los pernos en la base de la trampa de impacto vertical	81
Ilustración 3-17: Vista lateral del momento del impacto	81
Ilustración 3-18: Valor de fuerza de impacto en Adams View	82
Ilustración 3-19: Valor de fuerza de impacto en SolidWorks Motion	82
Ilustración 3-20: Traslación de fuerza de impacto al centroide de los pernos	83
Ilustración 3-21: Consumo de aire cilindros neumáticos	96
Ilustración 3-22: Conjunto de piezas acopladas al vástago del cilindro para la trampa de impacto vertical o pulverizador.....	99
Ilustración 3-23: Pieza para levantar el martillo.....	99
Ilustración 3-24: Mecanismo para levantar el martillo de la trampa de impacto vertical antes y después de modificaciones.....	100
Ilustración 3-25: Piezas en ángulo para acoplar el mango del martillo en la trampa de impacto vertical.....	101
Ilustración 3-26: Viga en voladizo con carga en su extremo	103
Ilustración 3-27: Diseño CAD del ramrod de la trampa de perforación	105
Ilustración 3-28: Inconvenientes en la trampa de perforación	105
Ilustración 3-29: Trampa de perforación y su Ramrod	106
Ilustración 3-30: Partes de la trampa para corte	107
Ilustración 3-31: Vástago del cilindro como columna	109
Ilustración 3-32: Idea general de trampa para levantamiento y choque.....	111
Ilustración 3-33: Impacto lateral al pistón.....	112
Ilustración 3-34: Diseño final del paddle de la trampa de impacto horizontal.....	114
Ilustración 3-35: Vista superior de los componentes del paddle	115
Ilustración 3-36: Conjunto de piezas que unen el paddle al cilindro neumático.....	115
Ilustración 3-37: Ensamble completo del arma paddle	116
Ilustración 3-38: Posición inicial y final del arma paddle	117
Ilustración 3-39: Diagrama de procesos para la automatización.....	118
Ilustración 3-40: PLC Siemens S7-1500	119

Ilustración 3-41: Relé MY2.....	120
Ilustración 3-42: Relé MK3P-I.....	120
Ilustración 3-43: Porta Fusible	121
Ilustración 3-44 : Mini disyuntor C60K-63.....	122
Ilustración 3-45: Conexión botones principales	123
Ilustración 3-46: Representación relés, electroválvulas y motor.....	124
Ilustración 3-47: Conexión general principal (botones, indicadores, bobinas, alimentación, puentes).....	124
Ilustración 3-48: Programación principal.....	126
Ilustración 3-49: Programación activación y desactivación de las electroválvulas.....	127
Ilustración 3-50: Memorias de activación	128
Ilustración 3-51: Diagrama de espacio-fase secuencia 1	128
Ilustración 3-52: Diagrama de espacio-fase secuencia 2.....	129
Ilustración 3-53: Diagrama de espacio-fase secuencia 3.....	129
Ilustración 4-1: Corte de planchas de madera para ingreso de las trampas	130
Ilustración 4-2: Aspecto final del arma pulverizador	131
Ilustración 4-3: Zona de ataque del pulverizador	132
Ilustración 4-4: Arma de perforación, aspecto final	132
Ilustración 4-5: Arma de elevación y choque.....	133
Ilustración 4-6: Arma de sierra y su aspecto final.....	133
Ilustración 4-7: Arma paddle y su aspecto final.....	134

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3-1: Ecuación de evaluación técnica según norma VDI 2225.....	59
Ecuación 3-2: Ecuación de evaluación económica según norma VDI 2225.....	59
Ecuación 3-3: Energía Potencial	68
Ecuación 3-4: Energía Cinética.....	68
Ecuación 3-5: Longitud de arco	69
Ecuación 3-6: Sumatoria de fuerzas en el eje x del pulverizador en posición horizontal	73
Ecuación 3-7: Sumatoria de fuerzas en el eje y del pulverizador en posición horizontal	73
Ecuación 3-8: Sumatoria de momentos con respecto al pivote del pulverizador del pulverizador en posición horizontal	73
Ecuación 3-9: Sumatoria de fuerzas en el eje x del pulverizador inclinado	77
Ecuación 3-10: Sumatoria de fuerzas en el eje y del pulverizador inclinado	77
Ecuación 3-11: Sumatoria de momentos alrededor del pivote del pulverizador inclinado.....	77
Ecuación 3-12: Producto cruz para cálculo de momentos vectoriales	83
Ecuación 3-13: Cálculo de fuerza en cada fila de tornillos.....	84
Ecuación 3-14: Cálculo de la fuerza en cada tornillo de la fila	85
Ecuación 3-15: Fuerza de pretensión	85
Ecuación 3-16: Esfuerzo en juntas con pernos o tornillos	86
Ecuación 3-17: Cortante primario en soldadura.....	90
Ecuación 3-18: Cortante secundario en soldadura	90
Ecuación 3-19: Esfuerzo cortante resultante en soldadura	91
Ecuación 3-20: Ecuación de Tresca	91
Ecuación 3-21: Fuerza del cilindro	93
Ecuación 3-22: Volumen del cilindro en el avance	94
Ecuación 3-23: Consumo del cilindro.....	95
Ecuación 3-24: Cálculo de retroceso	95
Ecuación 3-25: Cálculo de consumo por minuto	96
Ecuación 3-26: Momento inicial del Robot de Batalla	102
Ecuación 3-27: Fuerza en función de la variación de la cantidad de movimiento.....	103
Ecuación 3-28: Cálculo de momento máximo en el ramrod.....	103
Ecuación 3-29: Esfuerzos normales en sección circular	104
Ecuación 3-30: Teoría de falla de Von Misses para esfuerzo plano	104
Ecuación 3-31: Momento de Inercia para sección circular	109
Ecuación 3-32: Cálculo de carga crítica de pandeo	110

Ecuación 3-33: Ecuación de cálculo de la fuerza debido al peso.....	110
Ecuación 3-34: Fuerza de rozamiento.....	113

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación denominado " DISEÑO, AUTOMATIZACION E IMPLEMENTACION DE SISTEMAS TRAMPAS PARA UNA ARENA DE ROBOTS DE BATALLA", se muestra la solución al problema planteado por el Club de Robótica ESPOCH, el cual consistía en la implementación de un sistema de trampas para su arena de Battalla de Robtos ubicada en el laboratorio de Robótica e Industria 4.0 de la FIE en la ESPOCH. Este trabajo de titulación tiene como objetivo principal implementar y automatizar cinco trampas con diferentes efectos asociados. Para lograrlo, se dio uso de la metodología de la norma VDI 2221, la cual permitió llegar a un diseño acorde a lo especificado en la lista de exigencias. Para la automatización se implementó un PLC con una programación en lenguaje Ladder que nos garantizó la fiabilidad al momento de activar el sistema de manera precisa y segura cumpliendo con todos los requerimientos solicitados por parte del Club de Robótica ESPOCH. Cada trampa fue diseñada con los conocimientos adquiridos en la carrera, donde el diseño mecánico y la automatización tomaron protagonismo. Esto permitió llegar a un sistema desmontable, donde cada una de sus trampas desempeña funciones específicas que añaden una mayor dificultad para los robots participantes en los eventos de Batalla de Robots organizadas por el Club de Robótica ESPOCH.

Palabras clave: <ACTUADORES LINEALES NEUMÁTICOS> <PROGRAMACIÓN LADDER> <SISTEMAS DE TRAMPAS> <AUTMOATIZACION EN PLC> < ROBOTS DE BATALLA >

SUMMARY / ABSTRACT

In this degree work called "DESIGN, AUTOMATION AND IMPLEMENTATION OF TRAPS SYSTEMS FOR A BATTLE ROBOTS ARENA", shows the solution to the problem posed by the ESPOCH Robotics Club, which consisted in the implementation of a traps system for its Robot Battle arena located in the Robotics and Industry 4.0 laboratory of the FIE at ESPOCH. This degree work has as main objective to implement and automate five traps with different associated effects. To achieve this, use was made of the methodology of the VDI 2221 standard, which allowed to reach a design according to what was specified in the list of requirements. For the automation, a PLC was implemented with programming in Ladder language, which guaranteed the reliability at the moment of activating the system in a precise and safe way, fulfilling all the requirements requested by the ESPOCH Robotics Club. Each trap was designed with the knowledge acquired in the career, where the mechanical design and automation took center stage. This allowed to reach a detachable system, where each of its traps performs specific functions that add a greater difficulty for the robots participating in the Robot Battle events organized by the ESPOCH Robotics Club.

Keywords: <PNEUMATIC LINEAR ACTUATORS> <LADDER PROGRAMMING> <TRAP SYSTEMS> <PLC AUTOMATIZATION> <ROBOTICS> < BATTLEBOTS >



Lic. Sandra Paulina Porras Pumalema Mgs.

C.I. 0603357062

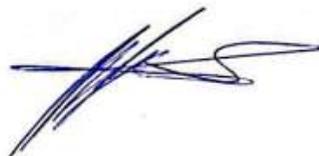
1124-DBRAI-UPT-2024

INTRODUCCIÓN

La robótica y la automatización han cobrado un protagonismo significativo en las últimas décadas, transformando diversos aspectos de la sociedad y la industria. En este contexto, las competencias de robots de combate se han destacado como un campo emocionante y desafiante que junta tecnología, ingeniería y estrategia. Estas competencias no solo ofrecen un terreno fértil para la innovación tecnológica, sino que también brindan una plataforma para que los participantes desarrollen habilidades técnicas y estratégicas de alto nivel.

Este trabajo de titulación se enmarca en la búsqueda constante de mejorar y enriquecer la experiencia en competencias de robots de combate. Específicamente, se centra en el "Diseño, Automatización e Implementación de Sistemas de Trampas" para una arena de Robots de Batalla ubicada en la Facultad de Informática y Electrónica de la ESPOCH. El propósito fundamental de esta iniciativa es introducir elementos de sorpresa y complejidad en las competencias, al agregar trampas en la pista de combate. Se realizó la construcción e implementación con motores y cilindros neumáticos para su automatización. A través de este proyecto, se pretende explorar el potencial de la tecnología y la robótica para inspirar el interés en campos STEM y abrir nuevas perspectivas educativas y de entretenimiento. En las páginas siguientes, se explorarán los objetivos, métodos y resultados de este proyecto, para comprender su impacto y potencial en competencias de robots de combate y más allá.

1124-DBRAI-UPT-2024



CAPÍTULO I

DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

El desarrollo y la competición de robots de combate ha ganado popularidad en los últimos años debido a su naturaleza emocionante y desafiante. Estas competiciones permiten a los participantes poner a prueba sus habilidades técnicas y estratégicas controlando robots diseñados para enfrentarse en un ring de combate. A medida que evolucionan las competiciones de robots de combate, surge la necesidad de introducir elementos adicionales que añadan complejidad a los combates.

Uno de los aspectos más destacados en el campo de los combates de robots es la incorporación de trampas a las arenas de combate. Las trampas son elementos diseñados para dificultar la tarea de los robots introduciendo obstáculos y retos adicionales en el entorno de la batalla. Estas trampas pueden ir desde barreras físicas y obstáculos móviles hasta trampas activadas electrónicamente, como trampas de pinchos o fosos.

Varios eventos y competiciones internacionales de combate de robots exploran la aplicación de trampas en los escenarios de combate. Uno de los ejemplos más destacados es "BattleBots" en Estados Unidos, que presenta una gran variedad de trampas en su programa de televisión y en las competiciones en directo. Estas trampas no sólo aumentan el nivel de desafío para los competidores, sino que también generan mayor interés y emoción entre los espectadores.

1.2 Planteamiento del Problema

Dentro de las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, específicamente en la Facultad de Informática y Electrónica, se encuentra el laboratorio de Robótica e Industria 4.0 y en su interior, una arena para Batalla de Robots. Durante varios años, se están llevado a cabo eventos destinados a Robots de Batalla impulsado por el Club de Robótica ESPOCH, siendo un gran atractivo para estudiantes y aficionados de la robótica en el país. Quienes hacen parte de este, presentan la idea de contar con trampas dentro de la arena, por lo tanto, la investigación propuesta, tiene como objetivo principal la implementación de dispositivos diseñados para introducir desafíos y obstáculos estratégicos en esta pista de combate. La metodología se basa en introducir

en la arena un conjunto de trampas que permitan añadir mayor dificultad y emoción a los eventos, añadiendo un entorno dinámico y desafiante para los robots de batalla participantes. Este enfoque fusiona los principios de ingeniería mecánica con las capacidades de programación en TIA Portal y PLC, generando así un sistema integral que busca elevar la complejidad y emoción de las competiciones.

1.3 Justificación

1.3.1 Justificación técnica

Este proyecto involucra la aplicación de conceptos avanzados de automatización y diseño mecánico, todos ellos pilares fundamentales en la formación de ingenieros mecánicos. La introducción de este sistema de trampas representa un avance significativo en el ámbito de la ingeniería mecánica al incorporar tecnologías y procesos revisados durante la carrera.

Proyectos de este tipo proporciona a los estudiantes de ingeniería mecánica una experiencia práctica valiosa al aplicar conocimientos teóricos en un entorno real. El diseño, construcción y prueba de los sistemas de trampas requiere el uso de habilidades técnicas avanzadas y el desarrollo de capacidades para solucionar problemas de manera efectiva en tiempo real. Además, promueve la innovación y la creatividad al impulsar a los participantes a diseñar y construir robots más eficientes y adaptados a superar obstáculos imprevistos. Al mismo tiempo, genera interés y divulgación de la tecnología, inspirando a futuros estudiantes a una participación más activa en campos STEM o *Science, Technology, Engineering and Mathematics*.

1.3.2 Justificación económica

La inversión inicial necesaria para el diseño, la automatización e implementación de los sistemas de trampas se distribuye entre los participantes, convirtiéndolo en un esfuerzo colectivo. Al analizar los costos, se busca optimizar los recursos disponibles, aprovechando al máximo la capacidad y conocimientos de los autores. Este enfoque de autogestión permite mantener los costos en un nivel razonable, asegurando la viabilidad económica del proyecto. Además, se destaca que este modelo de financiamiento entre compañeros crea un sentido de comunidad y compromiso, fortaleciendo la colaboración dentro del laboratorio.

El incluir este tipo de trampas innovadoras resulta interesante ya que puede atraer un público más amplio al momento del lanzamiento de eventos de robótica, esto aumenta los ingresos a través de la venta de entradas, derechos de transmisión y patrocinios. Este enfoque autónomo no solo alinea el proyecto con los recursos disponibles, sino que también promueve la sostenibilidad financiera a largo plazo del laboratorio de Robótica e Industria 4.0.

1.3.3 Justificación social

La implementación de sistemas de trampas para la arena de Robots de Batalla no solo enriquece la experiencia de los autores involucrados, sino que también fomenta una mayor participación estudiantil. Este proyecto ofrece una oportunidad única para que los estudiantes se involucren directamente en la aplicación de la ingeniería mecánica en el campo de la robótica. Al participar en el diseño, automatización e implementación de las trampas, los estudiantes no solo adquieren habilidades técnicas valiosas, sino que también experimentan el poder de la colaboración y la autogestión.

Además, la introducción de trampas innovadoras en las competencias de BattleBots no solo aumenta el atractivo de los eventos dentro de la universidad, sino que también sirve como una poderosa herramienta para atraer a estudiantes de colegios locales. Al presenciar de primera mano la aplicación práctica de la ingeniería mecánica y la automatización, los estudiantes de secundaria visualizan el emocionante potencial de estas disciplinas, lo cual fomenta el interés en las carreras de carácter técnico.

1.4 Objetivo General

Implementar y automatizar cinco trampas para una arena de Batalla de Robots ubicada en el laboratorio de Industria 4.0 y Robótica de la Facultad de Informática y Electrónica (ESPOCH).

1.5 Objetivos Específicos

- Definir trampas específicas en función de los requerimientos por parte del Club de Robótica ESPOCH con el propósito de elevar el nivel de desafío en las competencias de batalla de robots.

- Diseñar, construir y ensamblar trampas para la pista de combate de robots utilizando principios de ingeniería y diseño aplicando la norma VDI 2221 para garantizar un sistema fiable durante las competencias.
- Desarrollar un sistema automatizado mediante un controlador lógico programable (PLC) que permita controlar la activación y desactivación precisa de las trampas durante las competencias.
- Realizar pruebas y evaluaciones para asegurar la efectividad y seguridad de las trampas implementadas, evaluando la interacción de las trampas y diferentes tipos de objetos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

Dentro de este mundo de las Batallas de Robot, el principal referente es el programa de televisión llamado BattleBots. Se emitió originalmente de 1999 a 2002, con siete temporadas desde su regreso en 2015. La serie se ha emitido en varias cadenas y plataformas, como Comedy Central, ABC, Science Channel, Discovery, Amazon, Twitch y Netflix, así como en otros países con doblajes y presentadores únicos. (BattleBots Wiki, 2017).

A fecha del desarrollo de este proyecto, su programa más actual tiene el nombre de *BATTLEBOTS: DESTRUCT-A-THON LIVE VEGAS SHOW*. La información de este podemos encontrarla en su página web battlebots.com (Battlebots, n.d.)

En temas específicos de trampas y obstáculos, se buscó información relacionada a los mismos en páginas de internet de fandom, es decir, de personas aficionadas al tema, las cuales recopilan y publican datos importantes con respecto a temas relacionados a los Robots de Batalla. Por lo tanto, nuestras referencias teóricas con respecto al aspecto, funcionamiento y objetivos de trampas utilizadas en la historia de estas batallas fueron en su mayoría de este tipo de fuentes.

2.1 Robótica

La robótica es una ciencia y técnica que se ocupa del diseño, fabricación y utilización de robots. Un robot es una máquina programable que puede interactuar con objetos e imitar, en cierta medida, el comportamiento humano o animal. La robótica combina diversas disciplinas como la informática, la electrónica, la mecánica y la ingeniería, con el objetivo de construir dispositivos que funcionen de manera automática y realicen tareas difíciles o imposibles para los seres humanos.

2.1.1 Historia y evolución de los Robots de Batalla

La historia y evolución de los Robots de Batalla comenzó con las primeras manifestaciones de la robótica de combate, lo cual consolidó una trayectoria fascinante que abarca avances tecnológicos, competiciones emblemáticas y la continua evolución de los diseños y estrategias. Este análisis

contextualiza la investigación en el marco de una disciplina que ha experimentado una expansión significativa desde sus raíces.

En las décadas recientes, la concepción de Robots de Batalla evolucionó desde sus inicios en competiciones informales hasta eventos de alcance internacional que capturan la atención de entusiastas y audiencias globales. Las primeras competiciones, marcadas por la creatividad y la improvisación, dieron paso a eventos altamente estructurados que fomentan la innovación tecnológica y estratégica.

Las competiciones de Robots de Batalla sirvieron como terreno de prueba para diversas tecnologías, impulsando avances en materiales, diseño estructural, sistemas de propulsión y, crucialmente, en la integración de la inteligencia artificial para mejorar la toma de decisiones estratégicas durante los combates. La implementación de sistemas autónomos y la sofisticación en la programación de robots han sido hitos significativos en esta evolución.

La comunidad de Robots de Batalla creció exponencialmente, nutriéndose de la diversidad de participantes, desde aficionados apasionados hasta ingenieros especializados. Las competiciones fueron escenarios donde se entrelazan la ingeniería mecánica, la electrónica, la informática y la inteligencia artificial, generando un campo de investigación interdisciplinario en constante expansión. La evolución de las estrategias de combate también fue notable, desde tácticas simples hasta complejas estrategias de equipo y robots diseñados para enfrentar una variedad de oponentes. La historia de los Robots de Batalla reflejó una progresión constante hacia la mejora técnica y táctica, impulsada por la competitividad y la búsqueda de la excelencia en la ingeniería de combate robótico.

2.1.2 Reglas y Normativas

Las reglas y normativas que regían las competiciones de Batallas de Robots eran fundamentales para asegurar la seguridad de los participantes, el público y garantizar la equidad en los enfrentamientos. Estas directrices, meticulosamente elaboradas, definían los estándares técnicos, éticos y operativos que debían seguir los competidores para mantener la integridad de la competición.

Estas reglas y normativas, si bien podían variar ligeramente según la competición específica, formaban la columna vertebral que sostenía la organización y desarrollo de los eventos de Batallas

de Robots, asegurando un ambiente competitivo, emocionante y seguro para todos los involucrados. En nuestro caso, se tomó como referencia al último reglamento publicado por el Club de Robótica de la ESPOCH en su evento más actualizado llamado Riotronic 2023.

2.1.2.1 Definiciones y especificaciones a seguir.

Según el reglamento para BATALLA DE ROBOTS 12, 30, 60 Y 120 LIBRAS del evento RIOTRONIC 2023 realizado en las instalaciones de la ESPOCH, se define al robot de batalla como un robot construido con materiales resistentes que le permiten soportar las presiones mecánicas de un combate agresivo.(Club de Robótica ESPOCH, 2023)

A modo de resumen, el robot de batalla tuvo que cumplir las siguientes especificaciones según el reglamento previamente mencionado:

1. **Dimensiones:** No se consideró límite en el ancho, largo y altura del robot con sus armas desplegadas, siempre y cuando cumpla con el peso de la categoría.
2. **Peso:** Su peso debió estar dentro del límite especificado de 12,30,60 y 120 libras, incluyen todos sus componentes y accesorios usados en batalla con una tolerancia máxima del 3%, no se toma en cuenta el peso del control remoto. El haber sobrepasado estas tolerancias se lo consideraba un caso especial, donde los jueces tenían la última palabra.
3. **Alimentación:** Esta debió contar con una fuente de energía interna para alimentar los circuitos eléctricos de control y los motores, utilizando baterías de corriente continua.
4. **Requisitos de seguridad:**
 - Tuvo que poseer un interruptor de emergencia visible y de fácil acceso para detener el sistema.
 - Cualquier tanque o componente hidroneumático debió estar protegido para evitar daños.
 - Debió tener un sistema de frenado total del arma, con un seguro que lo inmovilice, solo removible en la zona de batalla.
5. **Mecanismos neumáticos:**
 - Debió utilizar únicamente aire comprimido.
 - Su presión máxima permitida era de 6 bares.

- No se consideraron restricciones en el volumen de aire comprimido.
- Todos los tanques y válvulas debían ser comerciales, sin modificaciones.

6. Mecanismos hidráulicos:

- Se recomendó el uso de aceite mineral para sistemas hidráulicos industriales.
- La presión máxima permitida fue de 10 bares.
- No existieron restricciones en el volumen de fluido.
- Todos los tanques y válvulas debían ser comerciales, sin modificaciones.

7. Control por radio frecuencia:

- En este caso debió poseer al menos dos frecuencias de control, en el caso de que haya sido controlado por radio frecuencia.

8. Prohibiciones:

- Quedó prohibida la participación de robots que funcionaban a combustión.

Estas especificaciones garantizaron la seguridad, el cumplimiento de las reglas y la equidad en las competencias de robots de batalla.

Los robots de batalla así mismo podían contar con armas propias, el reglamento decía lo siguiente:

Armas Giratorias o Robots Spinners:

- Durante la batalla, las armas giratorias podían tocar las paredes de protección, excepto si dañan intencionalmente la pista.
- Los robots con armas giratorias debían detener su arma en 60 segundos o mediante un sistema de frenado autónomo sin golpear ninguna zona.
- No se permitieron armas que superen la 250 mph en su zona de impacto, con cálculos realizados durante la homologación.

Armas y Materiales Prohibidos:

- Se prohibieron armas diseñadas para causar daño invisible, armas eléctricas, y equipo que genere interferencia de RF o campos electromagnéticos.
- También estuvieron prohibidas las armas que inmovilicen como redes, cintas, cuerdas, pulsos electromagnéticos, y cualquier material que dañe el escenario.

- El calor y el fuego estaban prohibidos, salvo algunas excepciones que los jueces evaluaran para su aprobación, como armas de fuego y líquidos inflamables.
- No se permitieron armas basadas en luz y humo que obstaculicen la visibilidad total de pilotos y jueces, ni proyectiles ni materiales peligrosos externos al prototipo.

Con respecto a homologación, se mencionaron las siguientes directrices:

1. Verificación de especificaciones de diseño:

- Se verificó que el robot cumpla con todas las especificaciones de diseño establecidas.
- Se otorgaron 5 minutos para corregir cualquier incumplimiento identificado durante la revisión inicial.
- Se eliminaba a cualquier robot que después de la corrección aún no cumplía los requisitos.

2. Autonomía y funcionamiento del control inalámbrico:

- Se verificó que el robot disponía con suficiente autonomía y que su control inalámbrico funcionaba correctamente, en caso de que esto aplicaba.
- Las baterías debían estar completamente cargadas al inicio de la competencia y podían ser reemplazadas antes de cada ronda.

3. Permanencia del robot en la mesa del jurado:

- Una vez homologado, el robot debía permanecer en la mesa del jurado hasta el inicio de la competencia.
- Solo se permitía que el robot salga de este espacio para participar en la competencia.
- Cualquier arreglo necesario se realizó en la mesa del jurado, así como la recarga de baterías para las finales.

4. Pruebas adicionales de homologación:

- En cualquier momento durante la competencia, si surgía alguna duda sobre la modificación de un robot, los jueces podían requerir que pase nuevamente por alguna o todas las pruebas de homologación.

Es crucial de igual forma conocer el cómo fueron las batallas. El desarrollo de la competencia de batalla de robots siguió estas pautas:

1. **Dinámica de la Batalla:**

- Dos robots se enfrentaban, ya sea controlados por radio o autónomos, con el objetivo de inhabilitar la movilidad o destruir parcial o totalmente al oponente.

2. **Motivos de Descalificación:**

- Incumplimiento de las especificaciones técnicas.
- No haberse presentado en el preámbulo de la competencia.
- No funcionalidad del robot.
- Presencia de adhesivos, figuras o escritos inapropiados.

3. **Manejo de Prototipos:**

- Los prototipos se mantenían resguardados en el área de jueces y se entregan a los dueños al finalizar cada fase de las llaves correspondientes.
- Solo se permitió el cambio de baterías en el área de jueces.

4. **Área de Combate:**

- El área de combate tenía un tamaño mínimo de 8 metros de largo por 8 metros de ancho y estuvo bordeada con una malla metálica de protección.

5. **Responsable del Equipo:**

- Un solo estudiante actuaba como responsable del equipo, ejerciendo el rol de capitán y era la única persona autorizada para dialogar con el jurado calificador.

6. **Sorteo y Definición de Llaves:**

- Se realizó un sorteo al finalizar la homologación para definir las llaves y la forma de clasificación.
- Los capitanes fueron informados sobre sus contrincantes en una reunión posterior.
- Se evitó que dos robots del mismo equipo se enfrenten en la primera ronda. Si esto ocurría, se podía solicitar un nuevo sorteo.

7. **Intervención de los Jueces:**

- Si un robot tenía una falla en su sistema de tracción, los jueces podían pedir que se acerque a su esquina. Si no podían llegar en 10 segundos, el equipo contrario ganaba el round.

- Si algún componente neumático o hidráulico se dañaba comprometiendo su integridad estructural, se detenía la competencia y se declaraba ganador al oponente del round. El componente averiado se retiraba para los siguientes rounds sin descalificar al robot.

La normativa en pista durante la competencia de batalla de robots se estableció de la siguiente manera:

1. Selección de Frecuencia de Control:

- Al inicio de cada round, los contrincantes indicaban al jurado su frecuencia de control. En caso de que hubo coincidencia, se realiza un sorteo para determinar quién elige la frecuencia.

2. Recarga de Aire Comprimido:

- Los robots con tecnología neumática podían recargar aire comprimido solo al inicio de cada round.

3. Integridad del Ring:

- Si un robot atentaba contra la integridad física del ring, el jurado podía descalificarlo. Durante el asalto, el equipo afectado podía solicitar un minuto para resolver el problema. Si no se resolvía, se declaraba ganador al oponente.

4. Presentación y Aptitud de los Robots:

- Todos los robots debían estar listos para competir en su turno. Se podía solicitar una prórroga de 5 minutos, tras la cual se realizaba un segundo llamado. Si el robot no se presentaba, perdía la batalla.

5. Ubicación en el Ring:

- Los robots se ubicaban en esquinas opuestas del ring, y solo los manejadores podían estar dentro del área de control asignada por el jurado.

6. Inicio y Restricción de Acceso al Ring:

- Una vez que los jueces indicaban el inicio del enfrentamiento, nadie podía ingresar al área de competencia, salvo indicación expresa de un juez. Incumplir esta norma resultaba en amonestación.

7. Duración de los Rounds:

- Cada round tenía una duración de 3 minutos para categorías de 12 y 30 libras, y de 4 minutos para categorías de 60 y 120 libras. El ganador se determinaba por acumulación de puntos. En caso de empate, se realizaba un round adicional.

8. Inmovilización del Robot Contrincante:

- Si un robot inmovilizaba al oponente por el tiempo establecido, se separaban y continuaba la batalla. El robot inmovilizador recibía puntos.

9. Intervención del Jurado:

- El jurado podía detener la contienda si lo consideraba necesario.

10. Desprendimiento de Piezas y Revisión del Robot:

- Si ocurría el desprendimiento de piezas, los jueces detenían la pelea para retirarlas. Durante el round, el capitán podía solicitar un minuto para revisar el robot con su equipo.

11. Finalización del Round por Desperfectos Graves:

- Si durante el minuto solicitado se identificaban desperfectos graves que impedían continuar, se declaraba finalizado el round y se daba como vencedor al oponente.

El sistema de calificación y puntuación durante la competencia de batalla de robots se rigió por las siguientes normativas:

1. Inmovilización por Ataque:

- Se consideraba cuando un robot inmoviliza a su oponente mediante un ataque durante 10 segundos.

2. Embestida:

- Ocurría cuando un robot chocaba con su oponente, provocando desestabilización o retroceso.

3. **Vuelco:**
 - Daba a lugar cuando un robot lograba voltear a su oponente. Si ocurría después de una embestida, no se sumaba el puntaje de esta última.
4. **Uso de Armas:**
 - Se otorgaba puntaje cuando un robot utilizaba intencionalmente su arma contra el oponente.
5. **Amonestaciones:**
 - Se daban cuando un equipo no se presentaba a su llamado o cuando miembros ingresaban al área de combate sin autorización.
6. **Descalificación:**
 - Se aplicaba en casos como el uso de dispositivos peligrosos, interferencia en la frecuencia de control, insultos, entre otros.
7. **Detención de la Batalla:**
 - El capitán podía solicitar la detención por un minuto si su robot sufre un accidente que impedía continuar.
8. **Retiro del Evento:**
 - El capitán podía solicitar el retiro de su robot si este no podía continuar en la competencia.
9. **Sospecha de Incumplimiento de Normativa:**
 - Se podía alegar al jurado cualquier sospecha de incumplimiento por parte del contrincante. Si se confirmaba, el jurado podía declarar nula la competencia o proclamar un ganador.
10. **Desempate:**
 - En caso de empate, se recurrió a una "muerte súbita" donde el primer robot en obtener puntaje gana.

Con respecto a los jueces, funciones y normativas relacionadas con el cuerpo de jueces en las batallas de robots, fueron las siguientes:

1. **Composición del Jurado:**
 - El jurado estuvo compuesto por un juez principal y dos jueces asistentes.
2. **Verificación de Reglas:**
 - Fue responsabilidad del jurado asegurarse de que se cumplían las reglas y normas establecidas por el comité organizador en la categoría de batallas de robots.
3. **Designación de Jueces:**
 - Los jueces para la competencia fueron designados por el comité organizador.
4. **Objeciones de los Participantes:**
 - Los participantes tuvieron el derecho de presentar objeciones al jurado antes de que finalice la competencia.
5. **Intervención del Juez General:**
 - En caso de controversia respecto a la decisión del jurado, se podía solicitar la intervención del Juez General del evento, quien evaluaría los argumentos y tomaría una decisión final. Esta decisión era definitiva y no podía ser apelada.
6. **Autoridad del Jurado:**
 - Ante cualquier duda en la aplicación de las normas, la última palabra la tenía el juez o los jueces encargados de la competencia.

Todos los aspectos previamente mencionados garantizaron una pelea justa, segura y entretenida para el espectador y los concursantes.

2.2 Sistemas de Trampas en Arenas de Batallas de Robots

Como ya se comentó previamente, las Batallas de Robots carecían de información completamente fiable o normada por un organismo internacional. Por lo tanto, gran parte de la información disponible sobre este tema se encontraba en foros de tipo fandom, donde los entusiastas recopilaban datos sobre las batallas y sus configuraciones. Entre estos foros destacaba el wiki fandom conocido como BattleBots Wiki, el cual proporcionaba una recopilación detallada de los diferentes tipos de trampas utilizadas a lo largo de los años en los sistemas de robot de batalla. El

enfoque se centraba en el conocido programa de televisión BattleBots, el cual trataba sobre combates entre robots controlados por control remoto. La empresa detrás del programa, BattleBots Inc., tenía su sede en Vallejo, California, y la mayoría de sus competiciones se llevaban a cabo en San Francisco. Este recurso ofrecía una visión exhaustiva de diversas trampas, permitiendo identificar y definir distintas categorías de estas herramientas utilizadas en las competiciones de robots.

2.2.1 *Killsaws*

También conocidos como Sierra Asesina, eran dispositivos en forma de sierras circulares rotativas que surgían del suelo de la arena en los eventos de BattleBots. Su función era atacar la parte inferior de los robots, que generalmente tenían una armadura más delgada en esa área. Estos dispositivos se introdujeron desde los primeros eventos en 1999 y continuaron siendo parte de los eventos de batalla. Básicamente, era una sierra que subía y bajaba del nivel del suelo atacando al robot. (BattleBox Wiki, n.d.)



Ilustración 2-1:Ejemplo de KillSaw

Fuente: BattleBots Wiki y su artículo sobre KillSaws, <https://battlebots.fandom.com/wiki/Killsaws>

2.2.2 *Pulverizador*

Según BattleBots Wiki, en su artículo sobre los *Pulverizers*, se comenta que eran martillos neumáticos grandes introducidos en la Temporada 1.0 de BattleBots de Comedy Central y seguían siendo parte del BattleBox en el reinicio del programa. Ubicados generalmente en las esquinas del BattleBox, los *Pulverizers* eran trampas que buscaban atacar desde arriba y golpear a los robots que se cruzaban en su camino. Originalmente controlados por Peter Lambertson, los pulverizadores fueron mejorados y reforzados debido a su tendencia a romperse tras un uso repetido en las primeras temporadas. Inicialmente utilizaban mazos convencionales, pero a partir

de la Temporada 2.0 y hasta el final del programa en Comedy Central, así como en los eventos de 2009, utilizaban cabezas de martillo cilíndricas.(BattleBox Wiki, n.d.)



Ilustración 2-2: Ejemplo de Pulverizador

Fuente: BattleBots Wiki y su artículo sobre Pulverizadores, <https://battlebots.fandom.com/wiki/Pulverizers>

2.2.3 *Ramrods*

Los Ramrods son trampas que han sufrido varias iteraciones desde su introducción en la Temporada 1.0 de BattleBots de Comedy Central. Inicialmente, eran conjuntos de seis picos ocultos en el suelo que se disparaban hacia arriba de manera similar a los Killsaws. Sin embargo, los picos causaban daño mínimo y a menudo interrumpían el ataque de un robot o su intento de escapar de un oponente. En la Temporada 3.0, los Ramrods recibieron mejoras, con nuevos motores que los hicieron cinco veces más poderosos. En la Temporada 4.0, el patrón que indicaba su presencia cambió a cuadrados rojos y amarillos que delineaban cada pico individualmente, pero el diseño general se mantuvo igual. Este diseño permaneció hasta la cancelación de BattleBots en Comedy Central después de la Temporada 5.0.(BattleBots Wiki, n.d.)

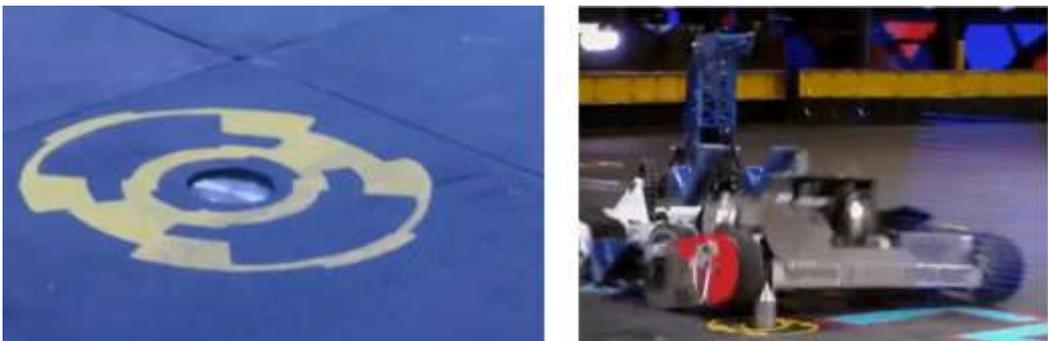


Ilustración 2-3: Ejemplo de Ramrods

Fuente: BattleBots Wiki y su artículo sobre Ramrods, <https://battlebots.fandom.com/wiki/Ramrods>

2.2.4 Paddle

Básicamente, eran largas tiras de pared con puntas que funcionaban con neumáticos. Estaban diseñados para empujar robots hacia los Pulverizadores en cada esquina y operaban de manera similar a los flippers en una mesa de pinball. A pesar de haber aparecido en varias temporadas de la era moderna de BattleBots, eran un peligro raramente visto ya que los robots solían poder empujar a los oponentes hacia otros peligros dentro del BattleBox sin su ayuda.



Ilustración 2-4: Ejemplo de Paddle

Fuente: BattleBots Wiki y su artículo sobre Paddles, <https://battlebots.fandom.com/wiki/Paddles>

2.3 Fundamentación teórica

2.3.1 Automatización

El objetivo de la automatización es transferir tareas que normalmente son realizadas por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos. Estos elementos pueden ser de naturaleza mecánica, electrónica, neumática, hidráulica, entre otros. La automatización se compone de dos secciones fundamentales que trabajan en conjunto para lograr este objetivo.

Sección de Mando: Se trata de los controladores lógicos programables o PLC (*Programmable Logic Controller*).

Sección Operativa: Es la sección en la cual actúa la maquina directamente, se compone por los elementos que en conjunto permite a la maquina realizar la actividad deseada.

Sistema Automático: Concepto de Lazo o Bucle



Ilustración 2-5: Estructura de un sistema automatizado

Autor: Aquiles Gray

El control de un proceso automatizado requiere un plan basado en el nivel de automatización deseado. Hay cuatro niveles de automatización:

Automatización fija: se usa para producciones masivas con equipos especializados y costosos. Ejemplo: fabricación de autos. Desventaja: depende de la demanda del producto.

Automatización programable: se usa para producciones bajas y variadas con equipos adaptables mediante software. Ejemplo: fabricación de tornillos personalizados.

Automatización flexible: se usa para producciones medias con características de los dos niveles anteriores. Consiste en estaciones de trabajo interconectadas y controladas por una computadora. Automatización total: es el nivel ideal donde la fabricación se hace sin intervención humana.

Ventajas:

- Aumento y adaptación de la producción.
- Mejora y constancia de la calidad del producto.
- Mejor gestión empresarial.
- Menor necesidad de mano de obra.
- Mayor flexibilidad de la herramienta.

Desventajas:

- Mayor desempleo social.
- Mayor consumo energético por producto.

- Mayor coste del producto por la inversión.
- Mayor nivel de conocimientos requerido a los operarios.

La Automatización es esencial en el mundo industrial actual, por la productividad, fiabilidad y rentabilidad que el mercado demanda a los productos competitivos. Antes la automatización se limitaba al proceso productivo es decir a la maquinaria, por ser el que más mano de obra requería, dando lugar a una automatización local. Pero ahora podemos referirnos a una automatización global que abarca todos los procesos y flujos de control de la empresa, que pueden ser automatizados con sistemas de comunicación y redes locales, además, una empresa puede conectarse por Internet con otras empresas formando así redes empresariales globales.

La Automatización involucra muchas áreas y tecnologías. Las más relevantes, con algunos de sus componentes, son:

Mecánica

- Herramientas
- Mecanismos
- Máquinas

Eléctrica

- Automatismos eléctricos
- Motores eléctricos de c.c. y c.a.
- Cableados
- Tecnología Electrónica
- Controladores analógicos
- Sensores
- Pre-accionadores y accionadores
- Drivers de accionamientos
- Comunicaciones
- Sistemas de comunicación inalámbrica

Neumática y electro-neumática

- Cilindros neumáticos
- Válvulas neumáticas y electro-neumáticas

Hidráulica y electro-hidráulica

- Cilindros hidráulicos
- Válvulas hidráulicas y electrohidráulicas

Aplicaciones de Control e Informática Industrial

- Controladores de procesos
- Control por computador
- Autómatas programables
- Visión artificial

Robótica

- Mecatrónica / Control de movimiento
- Control Numérico
- Sistemas CAD-CAM-CAE (Computer Aided Design & Manufacturing)
- Sistemas CIM (Computer Integrated Manufacturing System)

2.4 Sistemas de Control

Un sistema de control es un conjunto de elementos que pueden regular su comportamiento o el de otro sistema para lograr, mediante el ajuste de las variables de control, un control sobre las variables de salida, de forma que se minimicen los fallos y se consigan los objetivos deseados.

Los procesos de control son parte del proceso industrial actual. Estos sistemas se emplean para reemplazar a un trabajador pasivo que controla un sistema determinado (eléctrico, mecánico, etc.) por un autómata (PLC) que ofrece una probabilidad nula o casi nula de error, y un nivel de eficiencia muy alto. Tener un modelo antes de desarrollar el software y el hardware es tan importante para el ingeniero encargado de cualquier automatización industrial.

2.4.1 *Requerimientos de un sistema de control*

Un sistema de control ideal debe lograr su meta cumpliendo las siguientes condiciones:

- Asegurar la estabilidad y especialmente, ser resistente a las perturbaciones y los errores en los modelos.
- Ser lo más eficiente posible, según un criterio definido previamente. Usualmente este criterio implica que la acción de control sobre las variables de entrada sea factible, evitando comportamientos abruptos e irreales.
- Ser fácil de implementar y de operar, en tiempo real con el apoyo de un ordenador.

Los elementos esenciales que componen los sistemas de control y permiten su manejo son los siguientes:

- Sensores. Permiten medir los valores de las variables del sistema.
- Controlador. Usando los valores obtenidos por los sensores y la consigna establecida, calcula la acción que debe aplicarse para cambiar las variables de control según cierta estrategia.
- Actuador. Es el mecanismo que realiza la acción calculada por el controlador y que altera las variables de control.

2.4.2 Control de Procesos Continuos

Se trata del diseño de controladores analógicos y digitales para procesos de tiempo continuo, como los controladores PID y sus formas de ajuste.

Sistema de control de lazo abierto: Es el sistema en el que solo el proceso actúa sobre la señal de entrada y produce una señal de salida que no depende de la señal de entrada, pero se basa en ella. Esto implica que no hay retroalimentación al controlador para que modifique la acción de control. Es decir, la señal de salida no se usa como señal de entrada para el controlador.



Ilustración 2-6: Figura de control de lazo abierto

Fuente: Autor

2.4.3 IEC 61131-3

La norma IEC 61131-3 es la tercera parte del estándar internacional IEC 61131 para Controladores Lógicos Programables (PLC). Fue publicada por primera vez en diciembre de 1993 por la Comisión Electrotécnica Internacional. Esta norma trata los lenguajes de programación y define los estándares de dos lenguajes gráficos y dos lenguajes textuales para PLC:

- Diagrama de contactos (LD - *Ladder Diagram*), gráfico.
- Diagrama de bloques de funciones (FBD - *Function Block Diagram*), gráfico.
- Texto estructurado (ST - *Structured Text*), textual.
- Lista de instrucciones (IL - *Instruction List*), textual.
- Bloques de función secuenciales (SFC - *Sequential Function Chart*), con elementos para organizar programas de computación paralela y secuencial.

Los programas, funciones, y bloques de funciones dentro del estándar IEC 61131-3 son llamados Unidades de Organización del Programa (POU - *Program Organization Unit*). El IEC 61131-3 incluye instancias de funciones estándares definidas: ADD, ABS, SQRT, SIN, COS. El usuario puede crear sus propios bloques de funciones y usarlos múltiples veces.

Los tipos de datos son un elemento común del estándar, con el propósito de prevenir errores en el desarrollo de programas. Los distintos tipos de datos compatibles con el estándar son Booleanos (BOOL), Enteros (INTEGER), Reales (REAL), BYTE, WORD, DATE, TIME-OF-DAY y STRING. El estándar también permite a los usuarios definir sus propias variables.

En cuanto al lenguaje de programación Ladder, es uno de los lenguajes estandarizados con IEC 61131-3. En Ladder, la energía se desplaza de izquierda a derecha en lugar de arriba hacia abajo como en los esquemas eléctricos.



Ilustración 2-7: Logo IEC

Fuente: (International Electrotechnical comisión)

2.4.4 *Ladder*

La programación Ladder (LD) o de escalera es un método de programación de PLC (controladores lógicos programables) que utiliza símbolos gráficos que se asemejan a los circuitos eléctricos. Cada símbolo representa una instrucción lógica, una entrada, una salida o una conexión. La programación Ladder permite crear programas de control secuencial, condicional y aritmético de forma intuitiva y fácil de depurar. La programación ladder se basa en el principio de que cada línea o escalón del programa se ejecuta de izquierda a derecha y de arriba a abajo.

La programación Ladder tiene su origen en los antiguos sistemas de control basados en relés, que se usaban para controlar procesos industriales antes de la aparición de los PLC. Por esta razón, la programación Ladder es muy familiar para los técnicos e ingenieros que trabajan con sistemas de control eléctrico. La programación Ladder también tiene la ventaja de ser un lenguaje estándar, que se puede usar en diferentes marcas y modelos de PLC.

La programación Ladder se compone de una serie de líneas o escalones, que se pueden ver como ecuaciones lógicas que determinan el estado de las salidas en función de las entradas y las condiciones internas del PLC. Cada línea tiene un lado izquierdo, donde se colocan las entradas y las condiciones, y un lado derecho, donde se colocan las salidas y las acciones. Los símbolos más comunes que se usan en la programación Ladder son:

Contacto normalmente abierto (NO): Representa una entrada o una condición que debe ser verdadera para que la línea se active.

Contacto normalmente cerrado (NC): Representa una entrada o una condición que debe ser falsa para que la línea se active.

Bobina: Representa una salida o una acción que se activa cuando el valor es verdadero.

Temporizador: Representa una salida o una acción que se activa después de un tiempo determinado cuando el el valor es verdadero.

Contador: Representa una salida o una acción que se activa después de un número determinado de pulsos cuando el valor es verdadero.

Tabla 2-1: Programación Ladder

ABREVIATURA	NOMBRE	SIGNIFICADO
NO	Contacto normalmente abierto (NO)	La entrada o la condición debe ser verdadera para que la línea se active
NC	Contacto normalmente cerrado (NC)	La entrada o condición debe ser falsa para que la línea se active
BOBINA	Bobina	La salida o la acción que se activa cuando el valor es verdadero
TEMPORIZADOR	Temporizador	La salida o acción se activa después de un tiempo determinado o cuando el valor es verdadero (TON, TOF)
CONTADOR	Contador	La salida o la acción se activa después de un número determinado de pulsos cuando el valor es verdadero

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

La programación Ladder se puede realizar con diferentes herramientas, como software específico para cada PLC, software genérico que permite exportar el código a diferentes PLC, o incluso con simuladores online que permiten probar el funcionamiento de los programas sin necesidad de tener un PLC físico. Algunos ejemplos de estas herramientas son:

RSLogix: Es el software de programación de PLC de la marca Allen-Bradley, que permite crear, editar, depurar y simular programas Ladder para diferentes modelos de PLC.

CX-Programmer: Es el software de programación de PLC de la marca Omron, que permite crear, editar, depurar y simular programas Ladder para diferentes modelos de PLC.

Ladder Logic Simulator: Es un simulador online de programación Ladder, que permite crear y probar programas Ladder sin necesidad de tener un PLC físico.

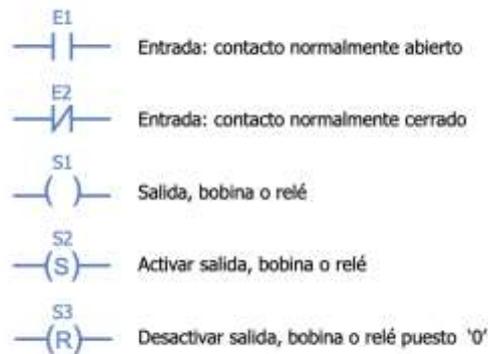


Ilustración 2-8: Símbolos programación Ladder

Fuente: Guerra P, Luna H, 2024

2.4.5 Pulsadores

Los Pulsadores son dispositivos que permiten el flujo o corte de la corriente mientras se presionan. Cuando se deja de presionar, regresan a su posición inicial, un ejemplo de su uso lo podemos ver en los timbres de las casas.



Ilustración 2-9: Pulsador industrial

Fuente: Camsco

Puede ser con el contacto normalmente cerrado en reposo (NC), o con el contacto normalmente abierto (NA).

Está formado por el botón pulsador; una lámina conductora que hace contacto con los dos terminales al presionar el botón y un resorte que devuelve a la lámina su posición original al soltar el botón pulsador.

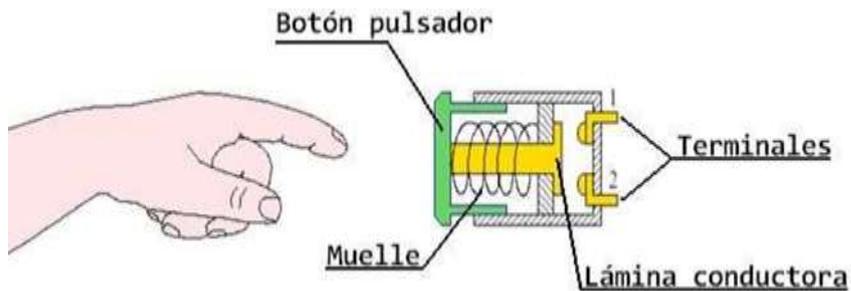


Ilustración 2-10: Pulsador, esquema interno

Fuente: Camsco

También existen pulsadores de parada de emergencia que se usan para evitar movimientos que podrían poner en riesgo a los trabajadores; al activarse su contacto se bloquea de forma permanente y se necesita girarlos para desactivarlos. Se usan en aplicaciones industriales como armarios de maniobras, consolas accionadas a dos manos y otros tipos de máquinas.



Ilustración 2-11: Pulsador de emergencia

Fuente: Camsco

En la Industria actual hay diferentes tipos de pulsadores:

- Basculante.
- Pulsador timbre.
- Con señalizador.
- Circular.
- Extraplano.

Los Pulsadores se utilizan comúnmente en múltiples áreas industriales en todo el mundo, desde el apagado y encendido de una máquina que hace alguna tarea específica hasta para el control de procesos industriales complejos.

2.4.6 Cilindros Neumáticos

El cilindro neumático es un elemento que puede transformar la energía del aire comprimido en trabajo mecánico en forma de empuje.

El cilindro neumático está formado por un pistón y un vástago unidos que se mueven dentro de un tubo circular sellado en cada extremo por cabezales, deslizándose sobre juntas adecuadamente colocadas para evitar pérdidas o fugas.

También se puede decir que un cilindro neumático es un instrumento industrial que usa el aire comprimido para convertir por medio de cilindros en un movimiento lineal de ida y vuelta, y por medio de motores neumáticos, en movimiento de giro.

2.4.7 Clasificación

Cilindros de simple efecto: tienen una sola conexión de aire comprimido. Solo pueden hacer trabajos en un sentido. Se necesita aire solo para un movimiento de traslación. El vástago vuelve por el efecto de un muelle incorporado o de una fuerza externa. El resorte incorporado se diseña de forma que haga volver el émbolo a su posición inicial a una velocidad suficientemente alta.

En los cilindros de simple efecto con muelle incorporado, la longitud de éste limita la carrera. Por eso, estos cilindros no superan una carrera de unos 100mm. Se usan principalmente para sujetar, expulsar, apretar, levantar, alimentar, etc.

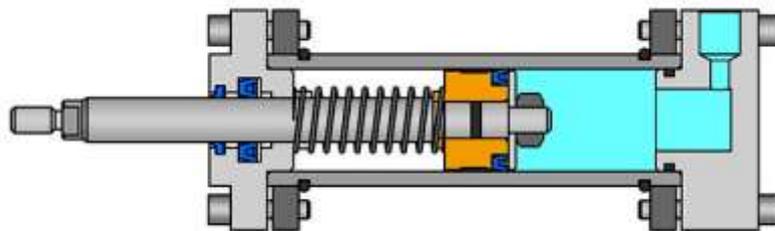


Ilustración 2-12: Cilindro de simple efecto con retorno por muelle

Fuente: Festo

La estanqueidad se consigue con un material flexible, que cubre el pistón metálico o de material plástico, durante el movimiento del émbolo, los labios de junta se deslizan sobre la pared interna del cilindro. Se los utiliza comúnmente como frenos de camiones y trenes, ya que su ventaja es el frenado instantáneo si falla la energía.

Cilindros de doble efecto: la fuerza ejercida por el aire comprimido hace al émbolo a hacer un movimiento de traslación en los dos sentidos. Se tiene una fuerza útil tanto en la ida como en el retorno.

Los cilindros de doble efecto se usan especialmente cuando el émbolo tiene que cumplir una función también al volver a su posición inicial. En general, la carrera de los cilindros no tiene límite, pero hay que considerar el arqueado y curvado que puede tener el vástago extendido. También en este caso, hacen de sellado los labios y émbolos de las membranas.

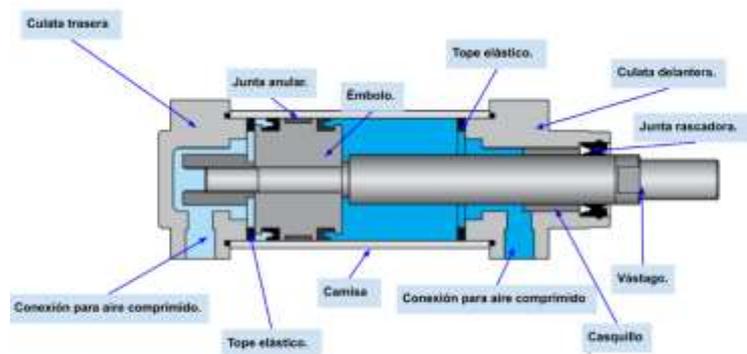


Ilustración 2-13: Cilindro de doble efecto

Fuente: Festo

La carrera de los cilindros de doble efecto puede ser muy larga, pero hay que considerar la posición de arqueado o curvado del vástago en su posición final. Esto limitará la carrera del cilindro. Cuando la velocidad de los cilindros es muy alta se usan dispositivos especiales para suavizar los finales de carrera. A los cilindros que tienen esta suavización se les llama cilindros con suavización interna.

2.5 Controladores neumáticos

2.5.1 Mandos del cilindro neumático

Los controladores neumáticos son dispositivos que regulan una variable de un proceso, como la presión, el caudal, la temperatura o el nivel, mediante la acción de una señal de aire comprimido. Los controladores neumáticos se basan en el principio de equilibrio de fuerzas entre un elemento sensor, que mide la variable del proceso, y un elemento de ajuste, que modifica la señal de aire comprimido. Los controladores neumáticos se usan en aplicaciones industriales donde se requiere una alta fiabilidad, seguridad y simplicidad.

2.5.2 Simbología Neumática

Simbolo	Descripción	Simbolo	Descripción
	Válvula de control direccional Válvula de dos vías, cerrada posición normal		Válvula de control direccional Válvula de 5 vías, escape posición neutra
	Válvula de control direccional Válvula de dos vías, abierta posición normal		Válvula de control direccional Válvula de 3 vías, cerrada posición normal
	Válvula de control direccional Válvula de 3 vías, abierta posición normal		Control manual general
	Válvula de control direccional Válvula de 3 vías, cerrada posición neutra		Control manual Botón
	Válvula de control direccional Válvula de 4 vías,		Palanca control manual
	Válvula de control direccional Válvula de 4 vías, cerrada posición neutra		Pedal control manual
	Válvula de control direccional Válvula de 4 vías, escape posición neutra		Palpador control mecánico
			Muelle control mecánico
			Rodillo control mecánico
			Rodillo de control mecánico escamoteable
			Electroválvula con una bobina
			Electroválvula con dos bobinas actuando conjuntamente
			Control continuado por electroválvula y válvula de pilotaje
			Selector
			Indicador neumático
			Silenciador
			Control de presión Válvula accionam. neumático
			Componente mecánico bloqueo
			Válvula de control direccional Válvula de 5 vías,
			Válvula de control direccional Válvula de 5 vías, cerrada posición neutra

Ilustración 2-14: Figura de simbología

Fuente: Neumática e Hidráulica Antonio Creus

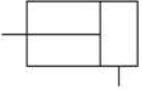
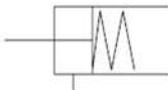
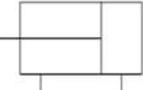
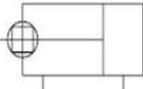
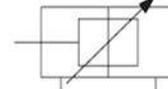
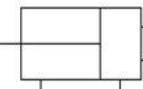
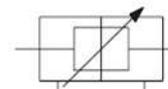
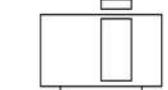
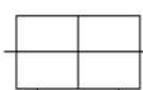
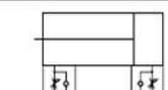
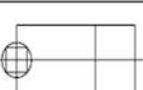
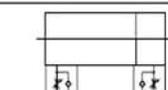
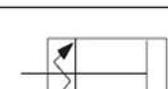
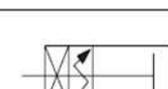
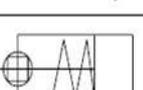
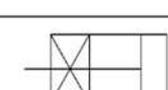
	Cilindro de efecto simple, vástago simple, carrera de retroceso por fuerza externa		Cilindro de efecto simple, vástago simple, carrera por resorte, carrera de retroceso por presión de aire
	Cilindro de doble efecto, vástago simple		Cilindro de efecto simple, vástago simple antigiro, carrera por resorte, carrera de retroceso por presión de aire
	Cilindro de doble efecto, vástago simple antigiro		Cilindro de doble efecto, con amortiguación ajustable en ambos extremos, vástago simple
	Cilindro de doble efecto, montaje muñón trasero, vástago simple		Cilindro de doble efecto, con amortiguación ajustable en ambos extremos, vástago doble
	Doble efecto cilindro hidroneumático, vástago simple		Cilindro sin vástago de arrastre magnético
	Cilindro de doble efecto, doble vástago		Cilindro de doble efecto, vástago simple, con regulador de caudal integrado
	Cilindro de doble efecto, con vástago antigiro en ambos extremos		Cilindro de doble efecto, vástago doble, con regulador de caudal integrado
	Doble efecto cilindro hidroneumático, con doble vástago		Cilindro con lectura de carrera, vástago simple
	Cilindro de efecto simple, vástago simple, carrera de retroceso por resorte		Cilindro con lectura de carrera, con freno, vástago simple
	Cilindro de efecto simple, vástago simple antigiro, carrera de retroceso por resorte		Cilindro de doble efecto, con bloqueo, vástago simple

Ilustración 2-15: Simbología de cilindros neumáticos

Fuente: Neumática e Hidráulica Antonio Creus

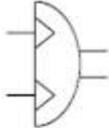
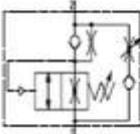
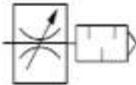
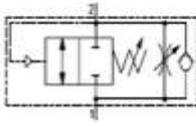
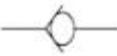
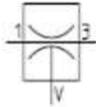
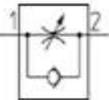
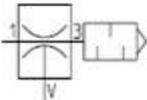
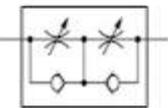
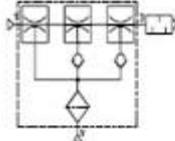
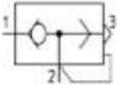
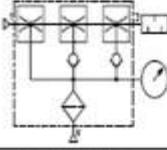
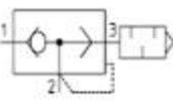
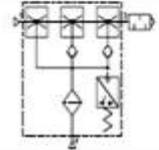
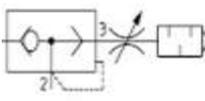
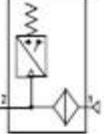
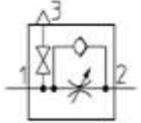
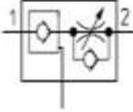
	Accionador de semigrado, doble efecto		Válvula de seguridad reguladora de caudal. Control de sistema de salida: Válvula de regulación de caudal con cilindro función de regulador de caudal, maniposa, función de alimentación de aire rápido
	Válvula de control de caudal ajustable con silencioso		Válvula de seguridad reguladora de caudal. Control de sistema de entrada: Válvula de regulación de caudal con cilindro función de regulación de caudal y de alimentación de aire rápida
	Válvula antirretorno		Eyector de vacío, válvula de soplado de vacío
	Válvula antirretorno, válvula de regulación de caudal en un sentido, regulable		Eyector de vacío, válvula de soplado de vacío con silenciador incorporado
	Válvula antirretorno, regulador de caudal doble con conexión instantánea		Eyector de vacío multietapas, válvulas de escape de vacío con filtro y silenciador incorporado
	Válvula antirretorno, válvula de escape rápido		Eyector de vacío multietapas, válvulas de escape de vacío con filtro, silenciador incorporado y manómetro para vacío
	Válvula antirretorno, válvula de escape rápido doble efecto con silenciador		Eyector de vacío multietapas, válvulas de escape de vacío con filtro, silenciador incorporado y vacuostato
	Válvula antirretorno, válvula de escape rápido doble efecto con regulador de escape de caudal y silenciador		Vacuostato
	Válvula antirretorno, regulador de caudal con válvula de soplado de presión residual		Filtro
	Válvula antirretorno, regulador de caudal con válvula antirretorno pilotada		

Ilustración 2-16: Simbología neumática

Fuente: Neumática e Hidráulica Antonio Creus

2.5.3 *Electroválvulas*

Una válvula electromagnética es un aparato creado para regular el movimiento de un fluido a lo largo de un canal, como podría ser una tubería.

Se podría describir una válvula electromagnética como la unión de dos componentes esenciales, un solenoide (bobina) y un cuerpo de válvula con 2 o 3 vías que tiene la función de permitir o impedir el flujo de un fluido mediante una señal eléctrica.

2.5.3.1 *Categorización de las válvulas*

Se categorizan en función del número de puertos (entradas o salidas de aire) y el número de posiciones de control que tienen. Por ejemplo, una válvula 3/2 cuenta con 3 puertos y ofrece dos posiciones distintas.

2.5.3.2 *Tipos de electroválvulas*

Hay diversos tipos de electroválvulas, en algunas, el solenoide interactúa directamente con la válvula, suministrando toda la energía requerida para su desplazamiento. Al activar el imán, el núcleo (inducido) es atraído hacia arriba superando la resistencia del resorte.

Es común que la válvula permanezca cerrada por la acción de un resorte y que el solenoide la abra superando la fuerza del resorte. Esto implica que el solenoide debe estar activado y consumiendo energía mientras la válvula necesite estar abierta.

También es factible fabricar electroválvulas biestables que utilizan un solenoide para abrir la válvula y otro para cerrarla, o bien un solo solenoide que abre con un impulso y cierra con el siguiente.

Existen electroválvulas que, en vez de abrir y cerrar, lo que hacen es alternar la entrada entre dos salidas. Este tipo de electroválvulas se utilizan frecuentemente en los sistemas de calefacción por zonas, lo que permite calentar varias zonas de manera independiente utilizando una sola bomba de circulación.

2.5.3.3 Principio de operación

En la Figura se puede observar la válvula cerrada. El fluido bajo presión entra por A. B es un diafragma flexible y tiene encima un resorte que le empuja hacia abajo con una fuerza débil. El diafragma tiene un pequeño orificio en el centro que permite el paso de un flujo reducido de fluido. Esto hace que el fluido llene la cavidad C y que la presión sea igual en ambos lados del diafragma. Mientras que la presión es igual en ambos lados, se puede notar que actúa en más superficie por el lado superior que por el inferior, por lo que presiona hacia abajo sellando la entrada.

Cuanto mayor sea la presión de entrada, mayor será la fuerza con la que se cierra la válvula.

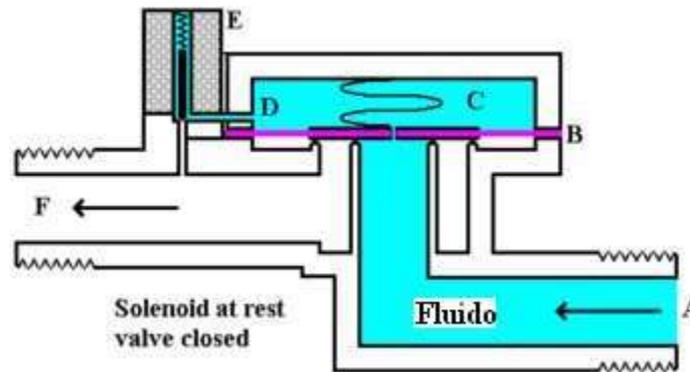


Ilustración 2-17: Funcionamiento de electroválvula

Fuente: <https://www.tkpres.com/>, 2023

Hasta este momento, el conducto está obstruido por el núcleo del solenoide, que es empujado hacia abajo por un resorte. Si se enciende el solenoide, el núcleo se eleva y permite que el agua fluya desde la cavidad hacia la salida, lo que reduce la presión y hace que el diafragma se eleve, permitiendo el flujo directo de fluido desde la entrada a la salida de la válvula. Esta es la situación que se muestra en la Figura.

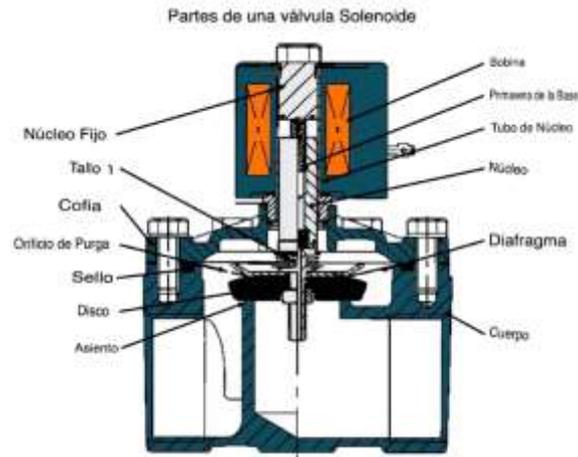


Ilustración 2-18: Partes de una válvula solenoide

Fuente: Seauto., 2023

Si se apaga nuevamente el solenoide, el conducto se obstruye de nuevo y el resorte ubicado sobre el diafragma requiere de muy poca fuerza para que este descienda, dado que la fuerza principal es ejercida por el fluido presente en la cavidad.

2.5.3.4 Mangueras Neumáticas

Las mangueras neumáticas de 6 mm son componentes clave en sistemas que usan aire comprimido. Hechas de poliuretano, estas mangueras tienen un diámetro exterior de 6 mm y un interior de 4 mm. Son resistentes a la abrasión y flexibles, incluso en bajas temperaturas. Pueden operar en un rango de presión de 0 a 1.0 MPa y en un rango de temperatura de -15°C a 60°C.



Ilustración 2-19: Manguera Neumática

Fuente: Armotec., 2023

2.5.4 Sistema Informático

2.5.4.1 Programable Logic Controller (PLC)

De acuerdo con la Norma IEC 611319: “Un Controlador Lógico Programable (PLC) es un dispositivo electrónico programable diseñado para su uso en un entorno industrial (adverso), que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones dirigidas al usuario, con el objetivo de implementar soluciones específicas como funciones lógicas, secuencias, temporizaciones, recuentos y operaciones aritméticas, con el propósito de controlar, a través de entradas y salidas, digitales y analógicas, varios tipos de máquinas o procesos.”

Además, un PLC puede ser visto como el cerebro de un proceso industrial, que tiene como objetivo controlar de manera autónoma las diversas etapas involucradas en la producción de un producto y resistir las duras condiciones a las que puede estar expuesto.

2.5.4.2 Características

Un Controlador Lógico Programable, también conocido como PLC, se compone de dos componentes fundamentales: la Unidad Central de Procesamiento (CPU) y la interfaz de Entradas y Salidas.

La CPU está formada por el procesador, la memoria y la fuente de alimentación. Esta combinación de elementos proporciona al controlador la capacidad necesaria para leer la información de las entradas que provienen de varios dispositivos de detección (botones, interruptores de fin de carrera, sensores inductivos, medidores de presión, etc.), ejecutar el programa almacenado en la memoria y enviar las órdenes a las salidas para los dispositivos de control (luces piloto, contactores, válvulas, solenoides, etc.).

El proceso de lectura de Entradas, ejecución del programa y control de las Salidas se lleva a cabo de manera cíclica y se conoce como SCAN o escaneo.

La fuente de alimentación es la encargada de proporcionar todas las tensiones necesarias para el correcto funcionamiento de la CPU y el resto de los componentes.

Para garantizar la uniformidad de los lenguajes de programación de los PLCs y proporcionar al usuario un único método de programación, independientemente de la marca comercial del PLC, se ha establecido la norma IEC 1131-3 que establece criterios en este aspecto. Así, la norma define los lenguajes de programación:

- Diagrama de Escalera (Ladder).
- Lista de Instrucciones.
- Estructurado (Similar a Pascal).
- Bloques de Función y Diagrama de Flujo Secuencial (SFC o Grafset).

Dependiendo del tipo de PLC seleccionado, se pueden tener uno o más de estos lenguajes. A medida que la aplicación se vuelve más compleja debido al tipo de señales a gestionar, es posible aumentar la capacidad de Entradas/Salidas. Además, permite el control de señales, tanto digitales como analógicas.

2.5.4.3 Campos de aplicación

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc., por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, etc.

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacios compactos.
- Procesos de producción que cambian con regularidad.
- Procesos en secuencia.
- Maquinaria con procesos variables.

- Instalaciones con procesos amplios y complicados.
- Verificación centralizada de la programación de las partes del proceso.
- Sustitución de la lógica de relés para el control de motores, máquinas, cilindros, neumáticos e hidráulicos, etc.
- Sustitución de temporizadores y contadores electromecánicos.
- Actuar como interfaz entre una PC y el proceso de producción.
- Realizar diagnósticos de errores y alarmas.
- Controlar y dirigir tareas repetitivas y peligrosas.
- Regulación de dispositivos remotos desde un punto de la fábrica. Ejemplos de aplicaciones generales:
 - Operación de máquinas
 - Maquinaria industrial de plástico
 - Maquinaria de embalaje
- Señalización y control:
 - Verificación de programas
 - Señalización del estado de los procesos

2.5.4.4 Funciones básicas de un PLC

Detección: Interpretación de la señal de los sensores distribuidos en el sistema de fabricación.

Mando: Creación y envío de acciones al sistema a través de actuadores y preactuadores.

Diálogo hombre-máquina: Mantenimiento de una interacción con los operadores de producción, acatando sus instrucciones e informando sobre el estado del proceso.

Programación: Introducción, elaboración y modificación del programa de aplicación del autómatas. El diálogo de programación debe permitir la modificación del programa incluso cuando el autómatas está controlando la máquina.

Redes de comunicación: Facilitan la comunicación con otras partes de control. Las redes industriales permiten la comunicación y el intercambio de datos entre autómatas en tiempo real.

Sistemas de supervisión: Los autómatas también pueden comunicarse con ordenadores equipados con programas de supervisión industrial.

Control de procesos continuos: Además de controlar sistemas de eventos discretos, los autómatas incorporan funciones que permiten el control de procesos continuos.

Entradas-Salidas distribuidas: Los módulos de entrada y salida pueden estar distribuidos por la instalación y se comunican con la unidad central del autómata a través de un cable de red.

Buses de campo: A través de un único cable de comunicación, se pueden conectar al bus sensores y actuadores, reemplazando al cableado tradicional. El autómata consulta periódicamente el estado de los sensores y actualiza el estado de los actuadores.

2.5.5 Ventajas y desventajas del empleo de PLC

2.5.5.1 Ventajas

- Se reduce el tiempo dedicado a la elaboración de proyectos ya que:
- No es necesario crear el diagrama de contactos.
- No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, dado que generalmente la capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es suficientemente amplia.
- La lista de materiales se reduce considerablemente, eliminando parte del problema que supone contar con diferentes proveedores y distintos plazos de entrega al elaborar el presupuesto correspondiente.
- Es posible realizar cambios sin necesidad de modificar el cableado ni añadir dispositivos.
- Ocupa un espacio mínimo.
- Reduce el costo de la mano de obra de la instalación.
- Mejora la economía del mantenimiento al aumentar la fiabilidad del sistema y eliminar contactos móviles; los propios autómatas pueden detectar e indicar fallos.
- Permite controlar varias máquinas con un solo autómata.
- Reduce el tiempo necesario para poner en marcha el proceso al disminuir el tiempo de cableado.
- Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el autómata sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.

2.5.5.2 Desventajas

- Existe la necesidad de un programador, lo que implica formar a uno de los técnicos en este sentido. Sin embargo, este desafío se ha resuelto en la actualidad ya que las universidades se encargan de esta formación.

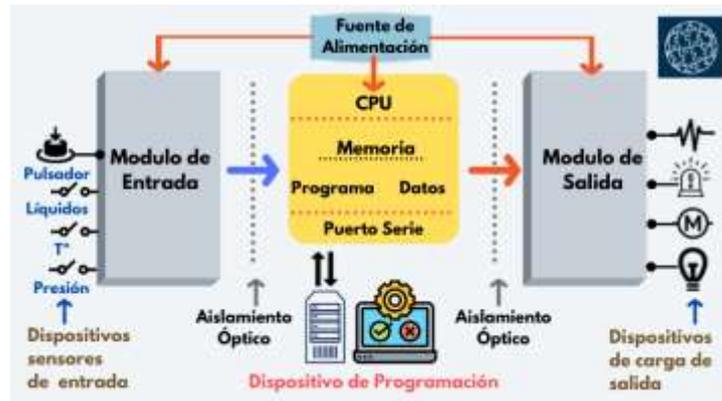


Ilustración 2-20: Entorno de trabajo de un PLC

Fuente: <https://www.sicma21.com/>, 2022

2.5.6 Definición del número de entradas

Antes de seleccionar el controlador debemos identificar y establecer el número de salidas y entradas que se requieren para nuestro proyecto

Tabla 2-2: Entradas, salidas y canales

DESCRIPCION DE ENTRADAS	TIPO DE CANAL
START del sistema	Entrada Digital
STOP del sistema	Entrada Digital
EMERGENCY STOP del sistema	Entrada Digital
Total, entradas:	3
DESCRIPCION DE SALIDAS	TIPO DE CANAL
Relé- Electroválvula 1 (Piston)	Salida relé
Relé- Electroválvula 2 (Killsaw)	Salida relé
Relé- Electroválvula 3 (Paddle)	Salida relé
Relé- Electroválvula 4 (Ramrod)	Salida relé
Relé- Electroválvula 5 (Pulverizador)	Salida relé

Indicador Verde	Salida relé
Indicador Rojo	Salida relé
Motor	Salida relé
Total, salidas:	8

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

Tabla 2-3: Direcciones de entradas y salidas

DIRECCIONES ENTRADAS	
START	I0.0
STOP	I0.1
EMERGENCY STOP	I0.2
DIRECCIONES DE SALIDAS	
Electroválvula 1	Q0.1
Electroválvula 2	Q0.2
Electroválvula 3	Q0.3
Electroválvula 4	Q0.4
Electroválvula 5	Q0.5
Indicador Verde	Q0.6
Indicador Rojo	Q0.7
Motor	Q0.0

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

Tomando en cuenta la cantidad de entradas y salidas necesarias para la automatización, basados en la Tabla 8, y el algoritmo de control que se desea emplear; se seleccionó finalmente un PLC de la marca SIEMENS. Gracias a su programación sencilla, ambiente agradable para el usuario, excelentes referencias de industrias automatizadas y consideraciones económicas, se utilizará el lenguaje de programación gráfico (Leader) específico del PLC.

2.5.7 Actuadores

Los actuadores desempeñan un papel crucial en el diseño y funcionamiento de sistemas mecatrónicos avanzados, siendo esenciales para la automatización y control preciso de movimientos en aplicaciones como la arena de Battlebots. En este contexto, se selecciona un

componente fundamental: el cilindro neumático circular de carrera de 153 mm, operando a una presión de 90 psi a 120 psi.

El cilindro neumático se erige como una elección estratégica, aprovechando las propiedades físicas del aire comprimido para generar fuerzas y movimientos lineales controlados. La carrera de 153mm proporciona un rango de desplazamiento significativo, permitiendo una versatilidad en la creación de obstáculos dinámicos en la arena. Los rangos de presión se seleccionan cuidadosamente para optimizar el rendimiento del cilindro, garantizando una fuerza suficiente para la ejecución de acciones precisas, pero también considerando aspectos de seguridad y eficiencia energética.

Desde una perspectiva teórica, el funcionamiento del cilindro neumático se basa en principios fundamentales de la termodinámica y la mecánica de fluidos. El aire comprimido, al ser introducido en el cilindro, genera una fuerza que impulsa el pistón, desencadenando el movimiento lineal. Este proceso implica la transformación de energía potencial almacenada en el aire comprimido en energía cinética, ilustrando la convergencia de conceptos termodinámicos con los principios de movimiento mecánico.



Ilustración 2-21: Actuador (Cilindro neumático)

Fuente: Airtac., 2024

2.5.8 *Electroválvulas*

La electroválvula 4V210-08 en primer lugar, su característica de 5/2 vías permite el control bidireccional del cilindro neumático, facilitando el ajuste preciso de la posición y velocidad de los actuadores. Este nivel de control detallado es esencial en un entorno donde la velocidad de respuesta y la precisión son críticas para el desempeño exitoso de los movimientos de las trampas. También responde a su capacidad para manejar caudales y presiones adecuadas para aplicaciones de este tipo, su diseño compacto y peso reducido lo hace idóneo para integrarse eficientemente en este tipo de sistemas, optimizando el espacio y la disposición de componentes en la arena de

BattleBots. La alimentación de 110 voltios proporciona una potencia eléctrica importante, lo que contribuye a una operación más eficiente y confiable de la electroválvula. Esta mayor potencia facilita una respuesta rápida y control preciso, mejorando la capacidad de los cilindros neumáticos.

En conclusión, la elección de la electroválvula solenoide 4V210-08 de 5/2 vías con alimentación de 110 voltios para esta aplicación en la arena de Battlebots se justifica por su capacidad de control bidireccional, adecuación a los requisitos de caudal, presión, diseño compacto y la potencia eléctrica proporcionada.



Ilustración 2-22: Electroválvula 4V210-08

Fuente: Airtac., 2024

2.5.9 Control

El control en la implementación de trampas en la arena de Battlebots constituye un componente esencial que guiará la ejecución precisa y coordinada de diversas acciones. Para esta tarea, se opta por la utilización de un PLC Siemens, específicamente el modelo S7-1500, reconocido por su fiabilidad y capacidades avanzadas en el ámbito de la automatización industrial.

El PLC Siemens, como elemento central del sistema de control, se posiciona como un controlador lógico programable robusto y versátil. Este dispositivo ejerce funciones cruciales, desde la toma de decisiones basadas en la lógica programada hasta la coordinación de las acciones de los actuadores, motores y electroválvulas. Su arquitectura modular y capacidades de E/S permiten una integración eficiente con los diferentes componentes del sistema, proporcionando así un control cohesivo y sincronizado.

En el marco teórico, se explora la programación del PLC Siemens como una interfaz clave entre el diseño conceptual y la implementación práctica. La programación se ejecuta a través de un enfoque integral, donde se desarrollan algoritmos que gestionan la activación secuencial de electroválvulas y los indicadores tanto verde, rojo y voltímetro. La programación de estas funciones se realiza mediante un lenguaje de programación estructurado (LSC), aprovechando las capacidades avanzadas del entorno de programación asociado al PLC Siemens.

En conclusión, el componente teórico del control abarca desde la selección del PLC Siemens hasta la programación detallada de sus funciones, estableciendo un marco conceptual sólido para la implementación efectiva de trampas automatizadas en la arena de Battlebots.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

El presente trabajo tuvo como objetivo el diseñar e implementar sistemas para los eventos de Batalla de Robots organizados por el Club de Robótica ESPOCH. Para lograrlo, se siguió la metodología recomendada por la norma VDI 2221 desarrollada por la Asociación Alemana de Ingenieros, vinculada al diseño mecánico. El proceso generalizado lo podemos observar en la siguiente ilustración.(BARRIGA GAMARRA, 2016).

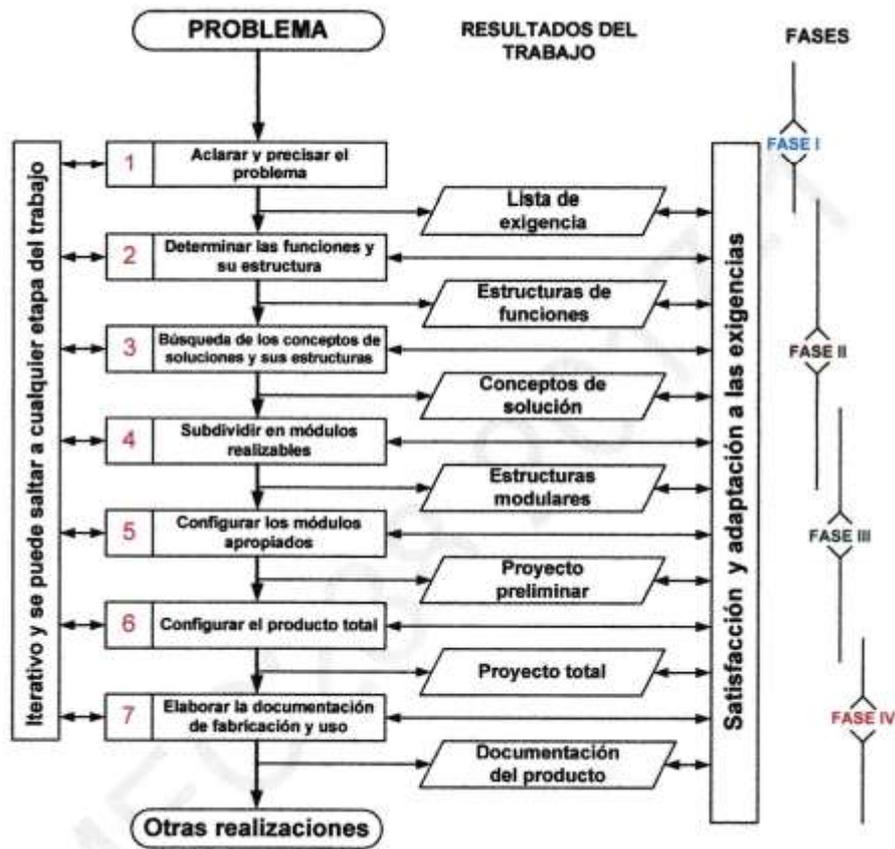


Ilustración 3-1: Proceso general de desarrollo y diseño según la norma VDI 2221

Fuente: Barriga, 2013

La evaluación técnico-económica se realizó bajo la norma VDI 2225 y sus ecuaciones.

3.1 Diseño conceptual

En esta primera fase, lo que se hizo fue recopilar las exigencias por parte del Club de Robótica ESPOCH para implementar en su laboratorio un sistema de trampas para sus eventos de Batallas de Robots. Es importante comprender que el sistema de trampas busca agregar elementos estratégicos y desafiantes a la arena de batalla de robots, entendiéndose como trampa, a un dispositivo cuyo funcionamiento tiene como objetivo el dificultar el movimiento o afectar el rendimiento de los robots participantes. En este caso, el requerimiento por parte del Club de Robótica, se resume en la siguiente lista de exigencias en función a la norma mencionada.

Tabla 3-1: Lista de exigencias para el Diseño, Automatización e Implementación de Sistemas Trampas Para Una Arena de Batalla De Robots.

LISTA DE EXIGENCIAS				Página: 1 de 1
				Edición: v.3
Proyecto	DISEÑO, AUTOMATIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS TRAMPAS PARA UNA ARENA DE BATALLA DE ROBOTS			Fecha: 05/16/2024
Cliente	Club de Robótica ESPOCH			Elaborado por: Luna H. y Guerra P.
N	Deseo o Exigencia	Cliente o Ingeniero	Descripción	Responsables
1	Exigencia	Cliente	<p>Función principal: Se requiere un sistema de trampas que aporte mayor desafío y emoción a las Batallas de Robots organizadas por el Club de Robótica ESPOCH.</p> <p>Este sistema debe incorporar mecanismos y dispositivos capaces de restringir el movimiento de los robots, afectar su rendimiento y dañar su estructura. Cada trampa debe ser capaz de provocar uno o más</p>	Luna H. y Guerra P.

			de los siguientes efectos: impacto vertical, impacto horizontal, perforación, corte volcamiento y choque.	
2	Exigencia	Cliente	Materia: El sistema debe soportar la interacción con los Robots de Batalla que ingresan a las competencias. Estos no tienen restricción alguna en su material de manufactura mientras cumplan con el peso de su categoría. Generalmente, son contruidos con aluminio, acero o filamentos de impresión 3D.	Luna H. y Guerra P.
3	Exigencia	Cliente	Geometría: El sistema de trampas debe acoplarse a las medidas de la arena principal de Batalla de Robots dentro de las instalaciones del Club de Robótica ESPOCH, cuyas dimensiones son de ocho metros de largo y ancho.	Luna H. y Guerra P.
4	Exigencia	Cliente	Uso: El Sistema de Trampas debe ser instalado en la arena para Batalla de Robots del Laboratorio de Robótica e Industria 4.0 de la Facultad de Informática y Electrónica de la ESPOCH.	Luna H. y Guerra P.
5	Exigencia	Cliente	Fabricación: Las trampas deben ser contruidas con materiales resistentes y duraderos donde se priorice el uso del acero. Es importante que la implementación del sistema de trampas en la arena no modifique notablemente la apariencia original de la arena. En situaciones donde no se necesite su activación, el diseño del sistema debe asegurar que la arena pueda permanecer prácticamente intacta, sin obstáculos.	Luna H. y Guerra P.
6	Deseo	Ingeniero	Mantenimiento: Las trampas deben ser desmontables, lo que significa que deben poder retirarse y desactivarse fácilmente.	Luna H. y Guerra P.

			<p>Esto agiliza el traslado de la arena a otro escenario y permite prescindir de las trampas en batallas específicas según sea necesario. Se recomienda emplear consistentemente los mismos materiales en la fabricación, ensamblaje y activación de los mecanismos y dispositivos de todas las trampas del sistema. Este enfoque tiene como objetivo facilitar posibles reemplazos de componentes en el futuro. Así mismo, se debe tener un fácil acceso a cada una de las trampas en caso de imprevistos como averías o daños.</p>	
7	Exigencia	Cliente	<p>Control y Automatización: El sistema de trampas debe operar con un sistema de control automático.</p>	Luna H. y Guerra P.
8	Exigencia	Cliente	<p>Seguridad: Se requiere un paro de emergencia que desactive todo el sistema de trampas.</p>	Luna H. y Guerra P.
9	Deseo	Cliente	<p>Costos: Deben ser asumidos por los autores.</p>	Luna H. y Guerra P.
10	Exigencia	Cliente	<p>Plazos: La entrega del Sistema de Trampas finalizado debe ser previo a la defensa del proyecto de titulación.</p>	Luna H. y Guerra P.
11	Exigencia	Cliente	<p>Función de la trampa para impacto vertical: Consiste en una trampa que cuenta con un dispositivo que golpea o impacta desde cierta altura con el Robot de Batalla sin previo aviso.</p>	Luna H. y Guerra P.
12	Exigencia	Cliente	<p>Cinemática de la trampa para impacto vertical: El dispositivo encargado del impacto debe moverse en dirección vertical descendente.</p>	Luna H. y Guerra P.

13	Exigencia	Cliente	Fuerza de la trampa para impacto vertical: El dispositivo debe ejercer una fuerza de impacto hacia abajo.	Luna H. y Guerra P.
14	Exigencia	Cliente	Función de la trampa para impacto horizontal: Consiste en una trampa que cuenta con un dispositivo que golpea lateralmente con el Robot de Batalla sin previo aviso.	Luna H. y Guerra P.
15	Exigencia	Cliente	Cinemática de la trampa para impacto horizontal: El movimiento del dispositivo encargado del impacto debe limitarse a un plano paralelo al suelo, es decir, debe moverse solo en direcciones horizontales sin variar su altura.	Autores
16	Exigencia	Ingeniero	Fuerza de la trampa de impacto horizontal: La dirección de la fuerza debe estar contenida en el plano del suelo de la arena.	Luna H. y Guerra P.
17	Exigencia	Cliente	Función de la trampa para perforación: Consiste en una trampa que cuenta con un dispositivo que busca penetrar o perforar la estructura del Robot de Batalla sin previo aviso.	Luna H. y Guerra P.
18	Deseo	Cliente	Cinemática de la trampa de perforación: El dispositivo encargado de la perforación debe moverse de manera rápida en dirección vertical ascendente.	Luna H. y Guerra P.
19	Exigencia	Ingeniero	Fuerza de la trampa para perforación: La dirección de la fuerza debe ser vertical y hacia arriba.	Luna H. y Guerra P.
20	Exigencia	Cliente	Función de la trampa para volcamiento: Consiste en una trampa que cuenta con un dispositivo que busca voltear, volcar, levantar, o inclinar al Robot de Batalla sin previo aviso.	Luna H. y Guerra P.

21	Exigencia	Cliente	Cinemática de la trampa para volcamiento: El dispositivo de esta trampa debe moverse de manera rápida en dirección vertical ascendente.	Autores
22	Deseo	Cliente	Montaje de la trampa para volcamiento: Se debe procurar montar su estructura debajo del nivel de la arena del suelo. Esto debido a que, si no requiere su uso, esta pueda permanecer escondida en los combates donde no se solicite el uso de trampas.	Luna H. y Guerra P
23	Exigencia	Cliente	Función de la trampa para choque: Consiste en una trampa que cuenta con un dispositivo que emerge del suelo de la arena y choca con el Robot de Batalla sin previo aviso.	Luna H. y Guerra P.
24	Deseo	Cliente	Geometría de la trampa de choque: En su máxima extensión, el dispositivo con el que choca el Robot de Batalla debe tener una altura mayor a los diez centímetros medida desde el nivel del suelo de la arena.	Luna H. y Guerra P
25	Deseo	Ingeniero	Montaje de la trampa de choque: Se debe procurar montar su estructura debajo del nivel de la arena del suelo. El efecto de esta trampa puede estar incluido en otra de las trampas y de esa manera reducir costos. Es decir, otra de las trampas puede incluir en su geometría y estructura la posibilidad de generar el efecto de choque.	Luna H. y Guerra P
26	Exigencia	Cliente	Función de la trampa para corte: Consiste en una trampa que cuenta con un dispositivo que emerge del suelo de la arena y corta la estructura del robot.	Luna H. y Guerra P.
27	Exigencia	Cliente	Cinemática de la trampa de corte: El dispositivo encargado del corte debe tener un movimiento rotatorio.	Luna H. y Guerra P

28	Deseo	Ingeniero	Montaje de la trampa de corte: La trampa debe contar con un mecanismo que le permita elevar el dispositivo de corte desde un nivel menor al de la arena y finalizar su movimiento en un nivel mayor al de la arena para tener contacto con el robot y producir el efecto deseado. Esto permite que no interfiera con el recorrido del robot en caso de que no se encuentre activada.	Luna H. y Guerra P
29	Deseo	Ingeniero	Comunicación con la trampa para corte: Una señal debe ser la encargada de activar el mecanismo para elevar la trampa y otra señal debe activar el dispositivo encargado de realizar el corte.	Luna H. y Guerra P

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

3.1.1 Análisis funcional

Con el fin de determinar el análisis de las funciones, es pertinente representar a los sistemas mediante el diagrama de caja negra y así visualizar las transformaciones que ocurren en torno a las tres magnitudes básicas de entrada y salida de cada proceso. Estas magnitudes son información o señales, materia y energía. En nuestro caso, está representado de la siguiente manera:



Ilustración 3-2: Caja negra del diseño de sistema de trampas

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

a. Entradas

- Las señales de entrada corresponden a la voz de mando de los jueces de dar inicio al combate y al encendido del sistema.
- El ingreso de materia corresponde a los robots participantes.

- En energía tenemos a la fuente principal encargada de energizar las trampas y sus actuadores.

b. Salidas

- Las señales de salida corresponden a la voz de mando de los jueces que indica el fin de la pelea y al apagado del sistema.
- La salida de materia corresponde a los robots participantes, los cuales ya han disputado la competencia.
- La salida de energía corresponde a las pérdidas por calor, el ruido generado y las vibraciones.

3.1.2 Estructura de funciones

El sistema de trampas se dividió en funciones que faciliten el diseño de este. Para esto, se realizó el siguiente diagrama de estructura de funciones donde podemos observar que ingresan las señales de encendido junto con la energía encargada de accionar las trampas, para obtener como resultado un robot con daño principalmente, esto debido al efecto de su recorrido alrededor de las trampas. El diagrama de función general que se desarrolló es el siguiente:

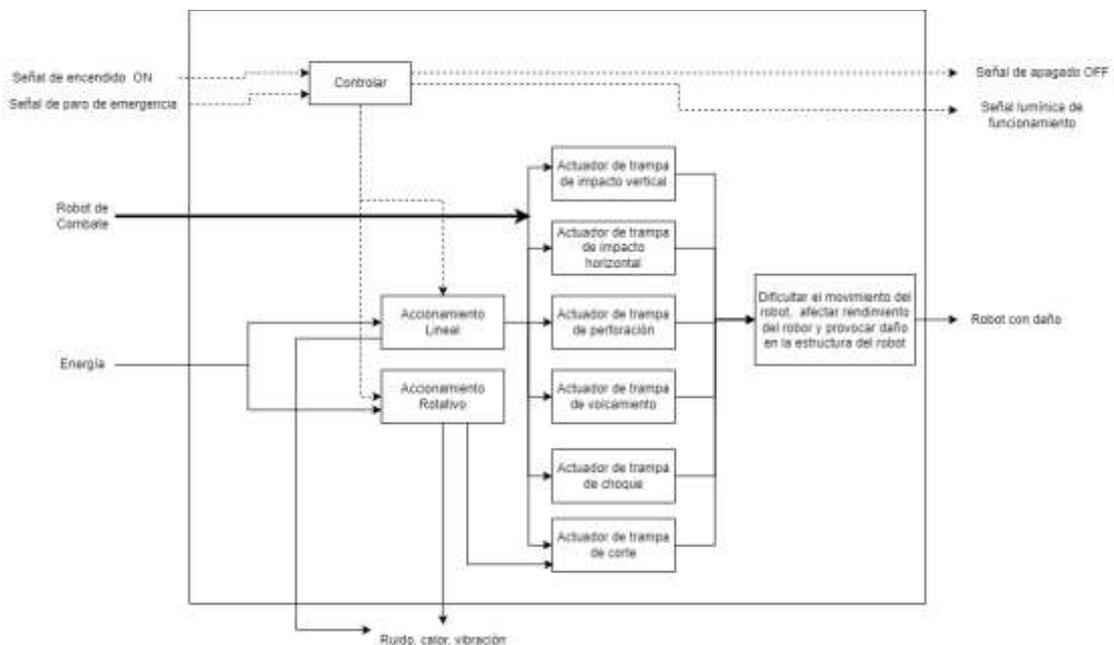
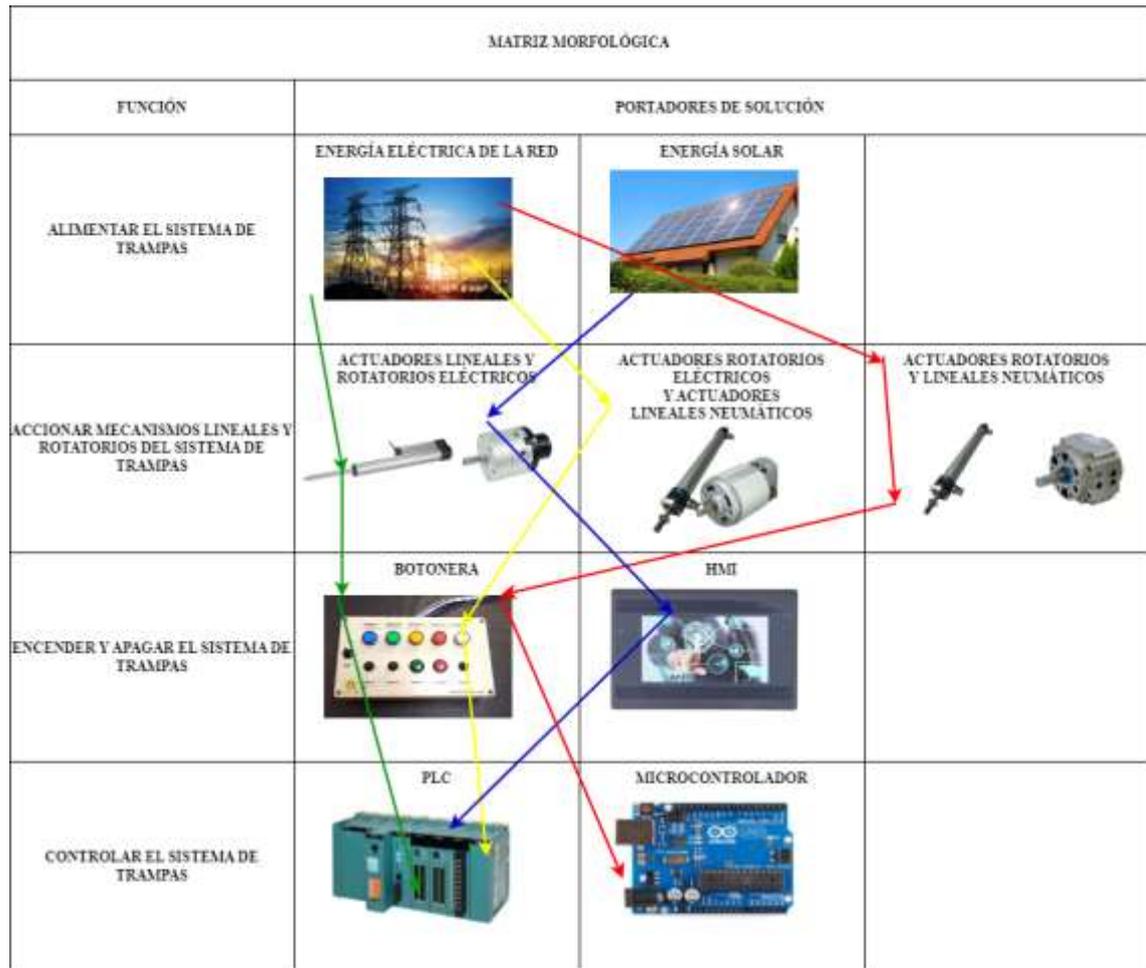


Ilustración 3-3: Estructuras de funciones global

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

3.1.3 Matriz morfológica

La elaboración de la matriz morfológica es básicamente incluir en una tabla las funciones a cumplir y las alternativas disponibles para poder hacerlo de manera exitosa. Para llegar a la mejor solución, se generan rutas y luego se explican ventajas y desventajas de las mismas. La matriz se muestra en la siguiente ilustración.



- Solución 1 ●
- Solución 2 ●
- Solución 3 ●
- Solución 4 ●

Ilustración 3-4: Matriz morfológica de soluciones para el diseño de sistema de trampas

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Para la primera función que corresponde a alimentar el sistema de trampas, teníamos dos alternativas, la red nacional de energía eléctrica o utilizar los paneles solares del laboratorio donde se ubica la arena de batalla. En el caso de los actuadores, se contemplaron las alternativas neumáticas debido a la presencia de un compresor en el laboratorio, eléctricas o una combinación de ambas de ser necesario. Para las alternativas de encendido y manejo se contemplaron una botonera o una interfaz HMI. El control del sistema se manejó entre hacerlo mediante PLC, el cual se nos iba a facilitar de parte del laboratorio o un microcontrolador, el cual debíamos adquirir. Cada solución planteada corresponde a un color, las cuales serán explicadas a continuación.

3.1.4 Conceptos de solución

3.1.5 Solución 1

Corresponde al color verde, con esta solución lo que se propuso es un sistema completamente eléctrico con botonera y PLC.

Ventajas:

1. **Control preciso:** Un sistema eléctrico con un PLC, brinda un control muy preciso sobre las trampas, lo que ayuda para una ejecución efectiva y estratégica durante la batalla.
2. **Mantenimiento reducido:** Los actuadores eléctricos suelen requerir menos mantenimiento que los neumáticos, ya que no necesitan compresores, tuberías de aire ni lubricación de aire
3. **Costo del PLC:** Dado que el PLC es proporcionado por el laboratorio, se elimina un costo significativo del presupuesto.

Desventajas:

1. **Costo de los actuadores:** Los actuadores eléctricos son más costosos que los actuadores neumáticos.
2. **Limitaciones de los actuadores:** Los actuadores eléctricos pueden tener limitaciones en términos de fuerza y velocidad en comparación con los actuadores neumáticos, dependiendo de los requerimientos específicos del sistema de trampas.

3. **Dependencia de la red eléctrica:** El sistema es totalmente dependiente de la red eléctrica. Cualquier fallo en el suministro eléctrico puede afectar la operación del sistema.

3.1.6 Solución 2

Corresponde al color azul, con esta solución lo que se propuso es un sistema con energías renovables como lo es la solar, actuadores eléctricos y un sistema de control con PLC y HMI.

Ventajas:

1. **Energía renovable:** El uso de energía solar proporciona una fuente de energía renovable y sostenible para el sistema, lo que reduce la dependencia de las fuentes de energía convencionales y puede ser beneficioso para el medio ambiente.
2. **Paneles y PLC a disposición:** Dentro de las instalaciones del Club e Robótica ESPOCH, se encuentra un conjunto de paneles solares que se podría utilizar para alimentar el sistema, así mismo, el PLC es proporcionado por el personal del Club.
3. **Autonomía energética:** Al utilizar energía solar, el sistema puede operar de forma autónoma sin depender de una fuente de alimentación externa, lo que aumenta su capacidad de funcionamiento en entornos remotos o durante períodos prolongados sin acceso a electricidad.
4. **Control preciso y programable:** El uso de un controlador PLC permite un control preciso y programable de los actuadores eléctricos, lo que permite una ejecución precisa de las trampas y sus elementos durante la batalla.
5. **Interfaz de usuario intuitiva:** Un HMI proporciona una interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar para controlar y monitorear el sistema de trampas, lo que facilita la configuración y el ajuste de las tácticas durante la batalla.

Desventajas:

1. **Dependencia de la luz solar:** El sistema está limitado por la disponibilidad de luz solar para cargar la batería, lo que podría ser un desafío en entornos con poca luz solar o durante condiciones climáticas adversas.
2. **Costo inicial y complejidad:** Los componentes de energía solar y electrónicos, como los paneles solares y sus baterías, pueden tener un costo de mantenimiento y reparación alto y requerir conocimientos técnicos para diseñar, implementar y mantener el sistema. Así mismo, el costo del un HMI es un factor importante a considerar.
3. **Rendimiento variable y mantenimiento:** El rendimiento del sistema puede variar dependiendo de las condiciones de luz solar y la eficiencia de los componentes solares, lo que podría afectar la fiabilidad y consistencia del sistema durante la batalla. Además, el mantenimiento de sus componentes puede resultar complejo y costoso.
4. **Complejidad de la integración:** La integración de múltiples componentes, como los paneles solares, PLC, actuadores eléctricos y panel táctil, puede aumentar la complejidad del diseño y la implementación del sistema, lo que requiere una planificación cuidadosa y pruebas exhaustivas para garantizar un funcionamiento adecuado.

3.1.7 Solución 3

Corresponde al color amarillo, es un sistema conectado a la red eléctrica con actuadores neumáticos y eléctricos que accionan las trampas y una botonera con PLC.

Ventajas:

1. **Robustez y fiabilidad:** Los actuadores neumáticos son conocidos por su robustez y fiabilidad en entornos difíciles, lo que los hace adecuados para su uso en una arena de Battlebots donde pueden estar expuestos a golpes y vibraciones. Si a dichos actuadores adicionamos la posibilidad de incluir también actuadores eléctricos con el fin de facilitar operaciones específicas de alguna de las trampas, nos aseguramos que tenga un correcto funcionamiento.

2. **Fuerza y precisión:** Los actuadores neumáticos pueden proporcionar una potencia y velocidad significativas para activar rápidamente las trampas en la arena, lo que mejora la capacidad de respuesta y efectividad del sistema durante la batalla. Combinar la fuerza de los actuadores neumáticos con la precisión de los eléctricos, permite una amplia gama de movimientos y aplicaciones.
3. **Facilidad de control:** Los sistemas controlados por PLC ofrecen una alta precisión y flexibilidad en el control de los actuadores neumáticos, permitiendo programar secuencias de activación complejas para las trampas de manera sencilla.
4. **Compresor y PLC a disposición:** Dentro de las instalaciones del laboratorio del Club de Robótica ESPOCH, se cuenta con un compresor disponible, el cual podemos utilizar para accionar los actuadores neumáticos. Así mismo, se nos puede facilitar el uso de un PLC.

Desventajas:

1. **Dependencia de la fuente de energía:** Aunque el sistema está diseñado para ser eléctrico, los actuadores neumáticos aún requieren una fuente de aire comprimido para funcionar, lo que agrega complejidad y dependencia de otra fuente de energía.
2. **Costo y complejidad inicial:** El compresor debe ser reparado, ya que al momento de probarlo presentaba fallas.
3. **Riesgo de fugas de aire:** Los sistemas neumáticos están sujetos al riesgo de fugas de aire, lo que podría afectar el rendimiento y la eficacia del sistema durante la batalla si no se detectan y se reparan rápidamente.
4. **Necesidad de mantenimiento:** Los actuadores neumáticos requieren un mantenimiento regular para garantizar su funcionamiento óptimo, lo que puede implicar la inspección de las conexiones de aire, la lubricación de los componentes y la sustitución de los sellos o juntas deteriorados.

3.1.8 Solución 4

Se la indicó en el diagrama con color rojo, es una solución alimentada por la red pública con actuadores neumáticos que se activa y desactiva con una botonera y es controlado mediante un microcontrolador.

Ventajas:

1. **Simplicidad en el control:** Un sistema basado en un microcontrolador es generalmente más simple y más fácil de implementar que uno que usa un PLC.
2. **Costos bajos:** Utilizar un microcontrolador es una solución económica cuando se trata de escoger alternativas para un sistema de control. Así mismo, el uso de actuadores neumáticos es más económico.
3. **Flexibilidad y Programabilidad:** Los microcontroladores son muy flexibles y pueden ser programados para realizar tareas específicas según las necesidades del sistema.

Desventajas:

1. **Mantenimiento y costos:** Tal y como se comentó, el actuador neumático requiere mayor mantenimiento que el eléctrico. Además, hay que tomar en cuenta el costo asociado al compresor y su funcionamiento,
2. **Robustez del Microcontrolador:** Los microcontroladores pueden ser menos robustos en entornos industriales severos en comparación con los PLCs.

3.2 Evaluación técnico-económica bajo la norma VDI 2225

El siguiente paso consiste en seleccionar la solución más factible bajo la metodología establecida por la norma VDI 2225. Esta norma fue desarrollada por la Asociación de Ingenieros Alemanes, establece un conjunto estructurado y uniforme de directrices para orientar la toma de decisiones en el diseño y la optimización de sistemas técnicos. Su metodología proporciona un marco sistemático que facilita una evaluación exhaustiva e imparcial de las distintas alternativas disponibles.

En este contexto, es esencial destacar que la norma VDI 2225 se centra en aspectos críticos como el análisis de funciones, los criterios para cada paso en el proceso de diseño y sobre todo, el uso de métodos cuantitativos para comparar y clasificar las distintas propuestas de solución. La incorporación de la metodología VDI 2225 en la evaluación cuantitativa garantiza un enfoque organizado y sistemático que aporta en gran medida a la selección de la opción más adecuada para nuestro sistema de trampas.

3.2.1 *Solución adecuada*

Para escoger la solución más óptima, recurrimos a los pasos propuestos de la norma (GUIDO FERNANDO RAMOS FLORES, 2022), la cual establece lo siguiente en función de parámetros técnicos y económicos, donde las fórmulas son las siguientes:

Para la evaluación técnica, es la siguiente ecuación:

Ecuación 3-1: Ecuación de evaluación técnica según norma VDI 2225

$$x_i = \frac{g_1 p_1 + g_2 p_2 + \dots + g_n p_n}{(g_1 + g_2 + g_n) p_{max}}$$

En este caso, tenemos que:

x_i = valor técnico

g_n = peso ponderado en criterios de evaluación (1-9)

p_n = puntaje (1-4)

Para la evaluación económica, es la siguiente ecuación:

Ecuación 3-2: Ecuación de evaluación económica según norma VDI 2225

$$y_i = \frac{g_1 p_1 + g_2 p_2 + \dots + g_n p_n}{(g_1 + g_2 + g_n) p_{max}}$$

Donde:

y_i = valor económico

g_n = peso ponderado en criterios de evaluación (1-9)

p_n = puntaje (1-4)

Los respectivos valores obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 3-2: Evaluación técnica del sistema y sus soluciones

Evaluación de proyectos valor técnico (Xi)										
Proyecto: DISEÑO, AUTOMATIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS TRAMPAS PARA UNA ARENA DE BATALLA DE ROBOTS										
p: puntaje de 1 - 4 segun escala de valores VDI 2225, donde 0 = no suficiente, 1 = casi aceptable, 2 = suficiente, 3 = bien y 4 = muy bien. g: es el peso ponderado en función de la importancia de los criterios de evaluación, su puntaje va de 1-9										
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos										
Variantes de concepto		g	Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución 4	
Número	Criterio de evaluación		p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p
1	Desempeño de trampas	9	4	36	3	27	4	36	2	18
2	Seguridad	9	4	36	2	18	3	27	2	18
3	Control y Automatización	8	3	24	3	24	3	24	2	16
4	Instalación	7	4	28	1	7	3	21	2	14
5	Mantenimiento	7	4	28	1	7	3	21	3	21
6	Tecnología	7	3	21	3	21	3	21	2	14
7	Fuerza y velocidad	9	2	18	2	18	4	36	3	27
8	Desmontabilidad	8	3	24	2	16	3	24	3	24
Puntaje total, sumatorias		64		215		138		210		152
Valor técnico (xi)				0.83984375		0.71875		0.8203125		0.791666667

Fuente: Norma VDI 2225

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

Tabla 3-3: Evaluación económica del sistema y sus soluciones

Evaluación de proyectos valor económico (Yi)										
Proyecto: DISEÑO, AUTOMATIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS TRAMPAS PARA UNA ARENA DE BATALLA DE ROBOTS										
p: puntaje de 1 - 4 segun escala de valores VDI 2225, donde 0 = no suficiente, 1 = casi aceptable, 2 = suficiente, 3 = bien y 4 = muy bien. g: es el peso ponderado en función de la importancia de los criterios de evaluación, su puntaje va de 1-9										
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos										
Variantes de concepto		g	Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución 4	
Número	Criterio de evaluación		p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p
1	Costo de fabricación	9	2	18	2	18	3	27	3	27
2	Costo de instalación	9	3	27	3	27	3	27	2	18
3	Costo de mantenimiento	8	3	24	3	24	3	24	2	16
4	Costo de automatización	9	4	36	4	36	4	36	4	36
Puntaje total, sumatorias		35		105		105		114		97
Valor técnico (xi)				0.75		0.75		0.814285714		0.692857143

Fuente: Norma VDI 2225

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

Los valores podemos verlos resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 3-4: Valores de evaluación técnica y económica de cada solución

Valor	Técnico Xi	Económico Yi
Solución 1	0.83984375	0.75
Solución 2	0.71875	0.75
Solución 3	0.8203125	0.814285714
Solución 4	0.791666667	0.692857143

Fuente: Norma VDI 2225

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

El siguiente paso corresponde a tomar como par ordenado a los valores máximos de cada evaluación y generar una línea de tendencia con el origen, la solución que más se acerque a la

línea de tendencia será considerada la más balanceada y por lo tanto la más óptima según la norma VDI 2225. (GUIDO FERNANDO RAMOS FLORES, 2022).

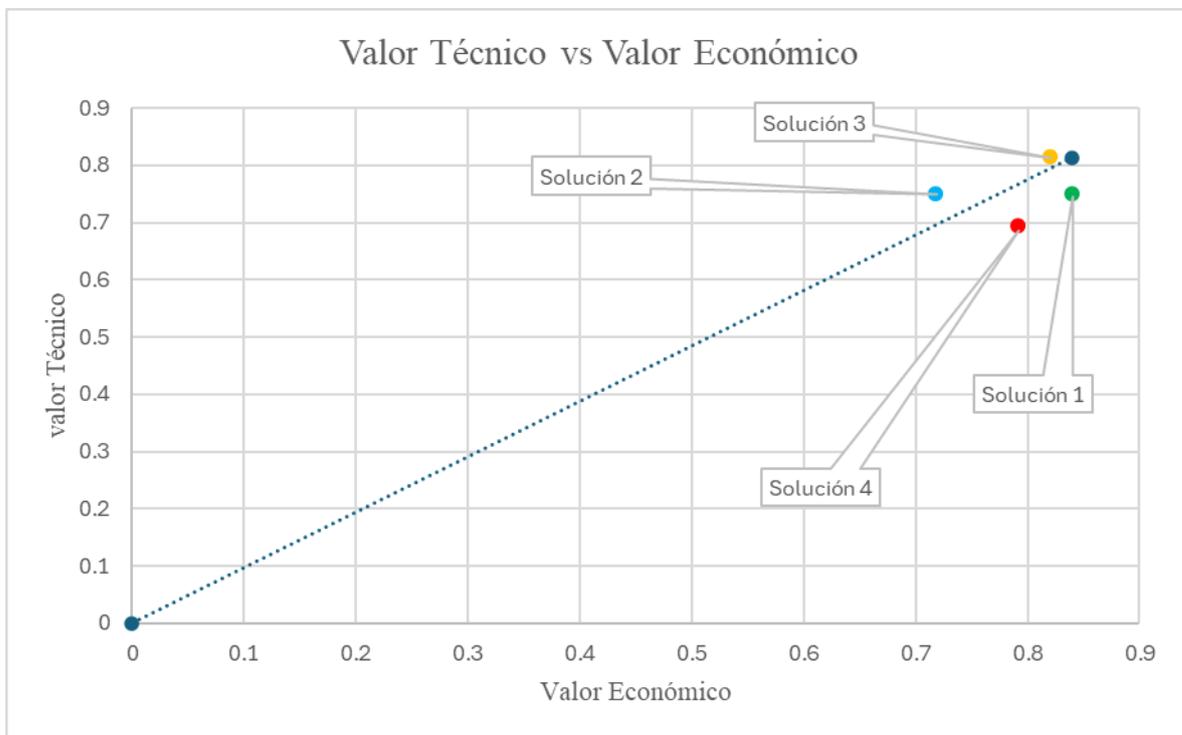


Ilustración 3-5: Evaluación técnica y económica de las soluciones al sistema de trampas

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Podemos observar que la solución más óptima es la alternativa número tres, la cual brinda el perfecto balance entre los aspectos técnicos y económicos.

3.3 Diseño de detalle de la solución 3.

3.3.1 *Percepción y definición del problema*

En el diseño de detalle se buscó cumplir con el objetivo de diseñar trampas para la arena del club de robótica de la ESPOCH. A modo de síntesis de la lista de exigencias, el sistema de trampas debía cumplir con lo siguiente:

1. El sistema debía ser desmontable, es decir, la arena debía trabajar con o sin las trampas en funcionamiento

2. Las trampas debían limitar el movimiento de los robots, afectar su rendimiento y provocar daño en su estructura.
3. Cada trampa debe ser capaz de provocar uno o más de los siguientes efectos: impacto vertical, impacto horizontal, perforación, corte volcamiento y choque. Además, se recomendaba fusionar en una misma trampa el choque junto con otro de los efectos.
4. Las trampas y sus materiales debían ser lo suficientemente resistentes para no verse afectadas durante el combate.
5. Las trampas debían dimensionarse en función del espacio disponible en la arena de combate.
6. Se debía procurar usar en todas las trampas los mismos materiales en la fabricación, ensamblaje y activación de los mecanismos y dispositivos de todas las trampas del sistema. Esto con el fin de hacer frente de manera sencilla a posibles reemplazos de componentes en el futuro.
7. Se debe tener un fácil acceso a cada una de las trampas en caso de imprevistos como averías o daños.

Con lo mencionado previamente, se procedió con el diseño de detalle de las trampas.

3.3.2 Selección de materiales para la base y estructura metálica del sistema de trampas.

En este apartado, buscamos explicar cómo se llegó a seleccionar los materiales para la base y las estructuras metálicas del sistema de trampas. Tal y como se mostraba en la lista de exigencias, se necesitaba en lo posible, mantener consistencia en todo lo utilizado en el sistema.

- **Plancha de 3 mm para las bases:** Se anticipó que, en algún momento, habría la necesidad de perforar el suelo original de la arena para ensamblar las trampas y asegurar su funcionamiento adecuado. Esto definitivamente iba a causar un cambio permanente en la apariencia de la arena. Además, sabemos que se debía garantizar que el sistema fuera desmontable y que, en caso de no necesitar las trampas, la arena conservara un aspecto muy similar al original. Para resolver estos problemas, se planteó que una vez definidos los lugares donde se ubicarían las trampas, se retirarían las planchas originales y se almacenarían en el laboratorio. Se optaría por reemplazarlas con otras planchas del mismo material y grosor. Estas se instalarían en el suelo de la arena y se les realizarían los cortes y modificaciones necesarios para permitir el ensamblaje y posterior funcionamiento de las trampas. Entonces, en caso de que no se requirieran las trampas, se podrían retirar

dichas planchas y volver a ubicar las originales. Debido a los posibles cortes en cada plancha, se generaría material sobrante que se podría utilizar como base para la construcción de las trampas. Por dichas razones, las bases de nuestras trampas, están hechas con este tipo de plancha de acero. Siguiendo esa misma línea, en caso de que el diseño de alguna de las trampas requiera cuerpo metálico, también se utilizaría este material.

- **Tubo rectangular de 60*40*2 milímetros para las estructuras metálicas:** La selección de este perfil se basó en la coherencia visual y estructural con la configuración preexistente de la arena. Dado que la estructura metálica original está fabricada con este tipo de tubo, utilizarlo para las trampas garantiza una consistencia estética entre el sistema y el entorno. Además, utilizar este mismo perfil, permitiría de ser necesario, utilizar la misma estructura de la arena para ubicar alguna de las trampas si así se considera pertinente. Así, se logra no alterar su aspecto original y garantizar una apariencia final homogénea que respeta la estética original de la arena.

3.3.3 *Detalle de los movimientos y funciones que se esperan del sistema.*

En este apartado, se tomaron en cuenta los requerimientos por parte del Club de Robótica. Aquí se incluyen las acciones que ellos buscan que se lleven a cabo por parte del sistema de trampas para limitar el movimiento de los robots y servir de obstáculos en las Batallas de Robots.

A modo de resumen, se estableció el siguiente funcionamiento general del sistema de trampas.

1. Se diseñarán cinco trampas diferentes, una para impacto vertical, una para impacto horizontal, una para perforación, una para corte y una trampa para volcamiento y choque, es decir, cinco trampas en total.
2. La trampa para impacto vertical, sería similar al pulverizador de Battlebots, pero este caería por gravedad
3. La trampa de perforación emergería desde el suelo, desde un nivel menor al de la arena, como lo hacen los Ramrods.
4. La trampa para impacto horizontal debía tener un funcionamiento similar al paddle, golpeando lateralmente al robot.
5. La trampa para corte debía ser una sierra que sale desde un nivel menor al del suelo de la arena y gira a gran velocidad, similar al Kill saw.

6. La trampa para volcamiento y choque debía ser lo suficientemente ancha para volcar al robot y lo suficientemente alta para servir como especie de pared u obstáculo y así simular un choque con el robot cuando desde un nivel menor al suelo.

3.3.4 *Diseño del sistema de trampas*

El proceso de diseño comenzó con el dimensionamiento del sistema. La propuesta para el diseño fue la siguiente:

1. Comenzar con el diseño de la trampa donde existirá mayor carga, es decir, aquella que soportará mayores esfuerzos en su funcionamiento.
2. Definir sus movimientos esperados, fuerzas asociadas y elementos necesarios.
3. Realizar los cálculos pertinentes.
4. Seleccionar el actuador o cilindro neumático en función de los requerimientos de la trampa y de la disponibilidad del mercado local de la ciudad de Riobamba.
5. Dimensionar sus elementos de unión.

Para mantener consistencia en el sistema de trampas, se propuso diseñar el resto del sistema de trampas utilizando el mismo modelo de actuador.

3.3.5 *Diseño de la trampa de impacto vertical.*

Como sabemos, nuestra mayor referencia eran los programas de Battlebots, por ello, definitivamente el primer acercamiento hacia una trampa de impacto vertical resultaba ser el pulverizador o pulverizer. Debido a ello, comenzamos nuestra idea de diseño como un martillo que caía e impactaba al robot por efecto de la gravedad.

Cada trampa iba a tener sus cargas asociadas, pero debido a los efectos de caída libre, resultaba lógico centrar nuestra atención en la trampa que iba a realizar dicha función de impacto vertical. En primer lugar, se definió que este sería ubicado entre los límites de la arena de batalla, la cual cuenta con una pared metálica con una elevación de 26 cm de color naranja, el cual está presente en todo su perímetro.



Ilustración 3-6: Límites de la arena de Battlebots

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

Posteriormente, se procedió a comprender la percepción y definición del problema, el cual se centraba en una trampa que generaba daño en la estructura del robot por medio de un impacto vertical. Este sistema se idealizó como una masa que giraba en torno a un eje fijo, la cual caía e impactaba al robot. Por facilidad, se lo concibió como un martillo pivotado en su extremo, al cual lo llamamos pulverizador.

Para comenzar su dimensionamiento, desarrollamos un modelo que permitiera describir su movimiento basado en las siguientes restricciones y consideraciones.

- El pulverizador se elevaba y caía desde un ángulo de 45° con la horizontal.
- El pulverizador debía subir y luego descender para realizar el impacto.
- El mecanismo, debía ser de un grado de libertad, es decir, solo rotar alrededor de un eje fijo sin desplazamientos de traslación vertical u horizontal.

En base a lo comentado, se propuso al siguiente diagrama con el que se dio inicio al diseño.

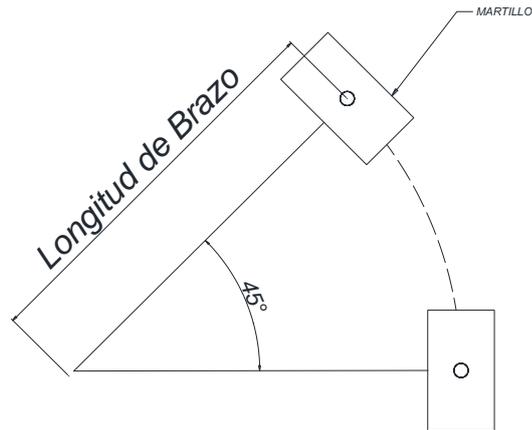


Ilustración 3-7: Esquema de la trampa de impacto vertical.

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

Una vez establecidos los movimientos esperados, procedimos a describir el cómo iban a producirse.

- El pulverizador debía ser levantado por acción de un actuador neumático lineal, es decir, un cilindro neumático.
- El pulverizador debía descender por efectos de la gravedad e impactar al robot.
- La posición inicial siempre será el pulverizador suspendido a sus 45 grados, siempre listo para caer. La posición final sería el pulverizador golpeando.

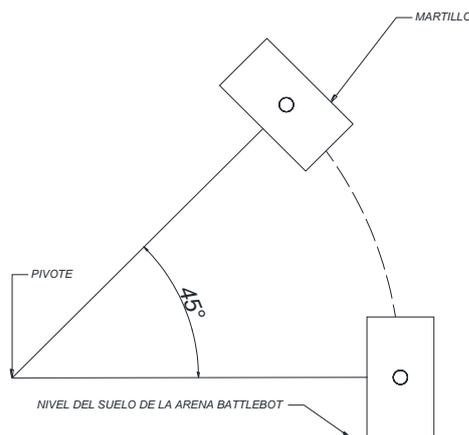


Ilustración 3-8: Posición inicial y final de la trampa de impacto vertical.

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

Es importante notar que, a diferencia de escenarios como los brazos de retroexcavadoras donde el actuador se encarga tanto de levantar como retraer la pala del mecanismo, en nuestro caso buscamos que el actuador tan solo ayude a levantar el mismo.

El permitir el descenso por efectos de la gravedad y no por acción del actuador, nos brindaba la posibilidad de aislar el actuador al momento de producirse el impacto con el robot y así, protegerlo de posibles daños. Esto lo podíamos lograr con un actuador que regrese a su posición de retroceso antes de que el pulverizador haya caído.

Por lo tanto, debíamos seleccionar un actuador que cumpliera los siguientes parámetros:

- Brindar una fuerza en avance capaz de levantar el pulverizador y mantenerlo suspendido.
- Regresar a su posición inicial antes de que el martillo haya completado su caída.

Entonces, debíamos cuantificar dichos valores de fuerza y tiempo para nuestra trampa de impacto vertical.

Comenzamos determinar el tiempo que tardaría en caer el pulverizador utilizando métodos de energía para modelar su movimiento. Para ello, se partió con una masa m , la cual estaba a cierta distancia de un pivote alrededor del cual rotaba. Era fácil notar que, en nuestra posición previa a la caída, teníamos la masa a cierta altura con respecto a la horizontal debido a un ángulo positivo θ .

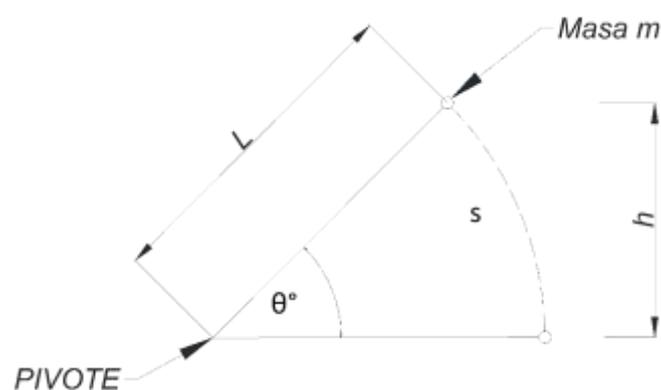


Ilustración 3-9: Posición previo a la activación de la trampa de impacto vertical.

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

Ahora, debíamos modelar dicha situación con ecuaciones que nos permitieran llegar a un tiempo objetivo, por lo que podíamos recurrir a la conservación de la energía mecánica de la masa suspendida. En esta primera posición, tendría una energía potencial con respecto a la horizontal que podríamos calcular mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 3-3: Energía Potencial

$$Energía\ Potencial = m * g * h$$

Por conservación, esta energía potencial se transformaría en energía cinética mientras va acelerándose en la caída, esta energía podríamos calcularla de la siguiente manera:

Ecuación 3-4: Energía Cinética

$$Energía\ Cinética = \frac{1}{2} m * v^2$$

En ambas ecuaciones, m haría referencia a la masa, teníamos también g para la gravedad, h para la altura con respecto a un sistema de referencia y v para la velocidad en cada instante de tiempo. En este caso, nuestra variable era el ángulo theta, por lo que fue ideal escribir dichas ecuaciones en función de dicho ángulo. Por trigonometría, tenemos lo siguiente:

$$\text{sen}(\theta) = \frac{h}{L}$$

$$h = L(\text{sen}(\theta))$$

La energía potencial, en función del ángulo, era:

$$Energía\ Potencial = m * g * L * \text{sen}(\theta)$$

La energía cinética la cuantificamos en función de la longitud del arco generado por el sistema al rotar. Sabíamos que la longitud de arco se podía escribir en términos del radio y el ángulo, donde teníamos que:

Ecuación 3-5: Longitud de arco

Ecu 3-1

$$s = L * \theta$$

Podemos diferenciar en ambos lados de la ecuación, para llegar a la siguiente expresión en función del tiempo:

$$\frac{ds}{dt} = \frac{d(L * \theta)}{dt}$$

La diferencial del lado izquierdo es la velocidad tangencial y L es constante:

$$v = L * \frac{d(\theta)}{dt}$$

Se reescribe la ecuación de energía cinética con la anterior expresión de velocidad:

$$\text{Energía Cinética} = \frac{1}{2} m * \left(L * \frac{d(\theta)}{dt} \right)^2$$

Ahora bien, sabíamos que la suma de las energías potencial y cinética en cada instante del movimiento es constante, por lo que podíamos escribirlo junto con las demás expresiones.

$$\text{Energía Potencial} + \text{Energía Cinética} = \text{Constante}$$

$$m * g * L \text{ sen}(\theta) + \frac{1}{2} m * \left(L * \frac{d(\theta)}{dt} \right)^2 = \text{Constante}$$

Se derivó a cada lado de la ecuación, donde llegamos a que:

$$m * g * L * \text{cos}(\theta) * \frac{d(\theta)}{dt} + \frac{1}{2} m * L^2 * 2 * \frac{d(\theta)}{dt} * \frac{d^2(\theta)}{dt^2} = 0$$

Dividimos toda la ecuación para la masa, para el cuadrado del radio L y para la primera derivada del ángulo con respecto al tiempo.

$$\frac{m}{m} * g * \frac{L}{L^2} * \cos(\theta) * \frac{\frac{d(\theta)}{dt}}{\frac{d(\theta)}{dt}} + \frac{1}{2} \frac{m}{m} * \frac{L^2}{L^2} * 2 * \frac{\frac{d(\theta)}{dt}}{\frac{d(\theta)}{dt}} * \frac{d^2(\theta)}{dt^2} = 0$$

Finalmente, se llegó a la siguiente ecuación diferencial en función del ángulo y del radio L.

$$\frac{d^2(\theta)}{dt^2} + \frac{g}{L} \cos(\theta) = 0$$

Con esta ecuación, buscamos un valor de longitud L que nos permitiese obtener un tiempo de caída.

Resolviendo la expresión para el tiempo de caída, tenemos que:

$$t = \pm \sqrt{\frac{L}{2 * g}} * \int_0^\theta \frac{du}{\sqrt{\sin(\beta) - \sin(u)}} \mp \sqrt{\frac{L}{2 * g}} * \int_0^\beta \frac{du}{\sin(\beta) - \sin(u)}$$

Se puede notar que esta ecuación depende de una variable muy importante que es la longitud desde el pivote hacia el centro de masa del martillo. Por lo tanto, esta variable debía ser definida, para lo cual se tenía que establecer las dimensiones del pulverizador. Con el fin de abaratar costos, se decidió utilizar como pulverizador, un modelo de martillo disponibles en el mercado local. Esto nos permitía ir iterando entre diferentes modelos, dimensiones y masas de cada uno.

En función a las restricciones geométricas de la arena y a los modelos de martillo del mercado, que oscilan entre 33 y 36 pulgadas, se consideró pertinente tomar como valor una longitud de 0,8 metros entre el pivote y el centro de masa.

Entonces, como nuestro sistema se mueve hacia abajo, el ángulo va disminuyendo, por lo que el signo de la primera parte de la ecuación es negativo y el signo de la segunda parte es positivo.

$$t = - \sqrt{\frac{L}{2 * g}} * \int_0^\theta \frac{du}{\sqrt{\sin(\beta) - \sin(u)}} + \sqrt{\frac{L}{2 * g}} * \int_0^\beta \frac{du}{\sin(\beta) - \sin(u)}$$

En este caso queremos el tiempo en caer, que lo llamamos simplemente t_1 , lo interesante es que, en este proceso de caer, cuando se cumple el tiempo t_1 , el valor de θ viene a ser igual a cero, por lo que esta primera parte de la integral se anulaba.

$$t_1 = -\sqrt{\frac{L}{2 * g}} * \int_0^0 \frac{du}{\sqrt{\sin(\beta) - \sin(u)}} + \sqrt{\frac{L}{2 * g}} * \int_0^\beta \frac{du}{\sin(\beta) - \sin(u)}$$

$$t_1 = \sqrt{\frac{L}{2 * g}} * \int_0^\beta \frac{du}{\sin(\beta) - \sin(u)}$$

Este sería el escenario, como ya se comentó, donde no se consideraba el valor del rozamiento con el aire.

Siendo β el ángulo inicial del péndulo y tomando en cuenta que el cálculo se realiza en radianes, llegamos a la siguiente expresión:

$$t_1 = \sqrt{\frac{L}{2 * g}} * \int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{du}{\sin\left(\frac{\pi}{4}\right) - \sin(u)}$$

$$t_1 = \sqrt{\frac{0.8}{2 * \frac{9.8m}{s^2}}} * \int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{du}{\sin\left(\frac{\pi}{4}\right) - \sin(u)}$$

Lo resolvimos utilizando métodos numéricos y llegamos al valor de 2.00722, el cual lo reemplazamos:

$$t_1 = \sqrt{\frac{0.8 m}{2 * \frac{9.8m}{s^2}}} * 2.00722$$

Despejamos para L , donde tenemos que:

$$t_1 = \sqrt{\frac{0.8}{2 * \frac{9.8m}{s^2}}} * \int_0^{\frac{\pi}{4}} \frac{du}{\sin\left(\frac{\pi}{4}\right) - \sin(u)}$$

$$t = 0.4053 \text{ segundos}$$

Para la selección, debíamos escoger un cilindro neumático cuyo regreso desde su extensión a su posición inicial fuera menor a los 0.4 segundos. Con esto se completa uno de los parámetros de selección del cilindro, ahora, necesitamos cuantificar la fuerza necesaria para levantar el pulverizador y mantenerlo suspendido.

Con ello claro, se procedió a estructurar el diagrama de fuerzas que intervendrían en el martillo que hacía de pulverizador, teniendo en cuenta que el cilindro neumático sería el encargado de elevarlo completamente hasta una posición de 45° y mantenerlo suspendido antes de la señal que active el retroceso del cilindro y se produzca el impacto.

Ahora, ya podíamos realizar el diagrama de cuerpo libre del mecanismo de la trampa en un momento justo después de perder el contacto con el suelo al ser levantado por el cilindro neumático. Este era el caso más importante, ya que, al estar apoyado, el efecto del peso era compensado por la fuerza de reacción del suelo de la arena, por lo que calcular la fuerza necesaria en ausencia de apoyo resultaba lo más conveniente.

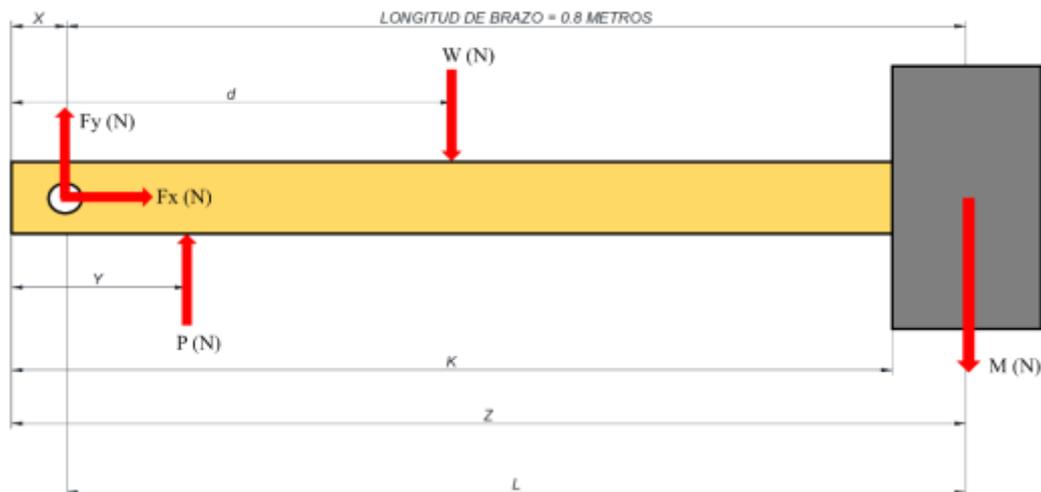


Ilustración 3-10: Diagrama de cuerpo libre del pulverizador en su posición de apoyo con la arena.

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Dentro de este diagrama, teníamos las siguientes distancias y fuerzas.

- La distancia x corresponde a la distancia desde la parte inferior del mango real hasta el pivote
- La distancia y es aquella en donde se ubicará el cilindro con respecto al mango real.
- La distancia d corresponde a la mitad de la longitud del mango del martillo seleccionado como pulverizador, se idealiza que en esta distancia está concentrado el peso del mismo.
- La distancia z es aquella que va desde el inicio del mango hasta el centro de gravedad de la cabeza martillo.
- La distancia L va desde el pivote hacia el centro de gravedad de la cabeza del martillo.
- La distancia k es la longitud del mango del martillo.
- La fuerza W era el peso del mango del martillo seleccionado como pulverizador.
- La fuerza M era el peso de la cabeza del martillo seleccionado como pulverizador.
- La fuerza P era la fuerza que proporcionaría el cilindro seleccionado como actuador.
- Las fuerzas F_y y F_x eran las reacciones que se presentaban en el pivote.

Comenzamos con realizar la sumatoria de fuerzas y momentos con respecto al pivote:

Ecuación 3-6: Sumatoria de fuerzas en el eje x del pulverizador en posición horizontal

$$\sum F(x) = 0$$

Ecuación 3-7: Sumatoria de fuerzas en el eje y del pulverizador en posición horizontal

$$\sum F(y) = 0$$

Ecuación 3-8: Sumatoria de momentos con respecto al pivote del pulverizador del pulverizador en posición horizontal

$$\sum M(\text{pivote}) = 0; \text{antihorario positivo.}$$

Teníamos lo siguiente:

$$Fx = 0$$

$$Fy + P - W - M = 0$$

$$P(y - x) - W(d - x) - M(z - x) = 0$$

Resolvimos las ecuaciones para la sumatoria de fuerzas en y:

$$P = W + M - Fy$$

Para la sumatoria de momentos se llegó a lo siguiente:

$$P(y - x) = W(d - x) + M(z - x)$$

$$y - x = \frac{W(d - x) + M(z - x)}{P}$$

En este punto, se decidió prestar especial atención en la distancia y-x, esto debido a que era crucial para el posterior ensamble del sistema, entonces, un valor sin decimales y fácilmente medible iba a facilitar la futura implementación de la trampa. Es por ello que la ecuación se despejó en términos de y-x. Luego se fijó esta distancia y sumado a que se podían conocer fácilmente los valores de M y W, se logró ir resolviendo para la fuerza P y con ella llegaríamos a valores de presión mínimo necesarios.

Después de varias iteraciones, el martillo que se seleccionó para actuar en el pulverizador fue un martillo de la marca Trupper de 6lb con un mango de encino con longitud de 33 pulgadas, el mango era una elipse con diámetro mayor de 40 milímetros y un diámetro menor de 30 milímetros. Además, cuenta con un absorbedor de impactos, el cual disipa los efectos de impacto, cuyas indeseables consecuencias se observaron posteriormente.

Con este martillo seleccionado, las dimensiones previamente mencionadas adquieren los siguientes valores.

Tabla 3-5 Valores geométricos del mango del pulverizador

VALORES GEOMÉTRICOS.		
Descripción	Valor a usar	Unidades
Longitud de Brazo L	0.8	m
Longitud al centro del martillo z	0.873125	m
Distancia al Pivote x	0.073125	m
Longitud del mango k	0.8382	m
Mitad de longitud de mango d	0.4191	m

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

Llegamos de igual forma a los siguientes parámetros de entrada:

Tabla 3-6: Parámetros de entrada del pulverizador

PARÁMETROS DE ENTRADA			
	Valor	Valor a usar	Unidades
Masa de la cabeza (lb)	6	2.727272727	kg
Masa del mango (lb)	1.27	0.577272727	kg
Gravedad (m/s ²)	9.81	9.81	m/s ²
Diámetro mayor del mango (mm)	40	0.04	m
Diámetro menor del mango (mm)	30	0.03	m

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

Todos los datos nos permitieron reemplazar en las ecuaciones, donde calculamos lo siguiente:

Tabla 3-7: Cálculo de fuerzas conocidas

CÁLCULO DE FUERZAS CONOCIDAS		
Descripción	Valor a usar	Unidades
M (peso de la cabeza)	26.7545455	N
W(peso del mango)	5.66304545	N

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

Después de analizar factores como facilidad de mecanizado y geometría del mango seleccionado, se llegó a que la distancia y-x será de 150 mm, lo cual nos permitió calcular la fuerza P.

$$150 \text{ mm} = \frac{W(d - x) + M(z - x)}{P}$$

$$0.150 = \frac{(5.663) * (0.4191 - 0.073125) + (26.7545) * (0.873125 - 0.073125)}{P}$$

$$P = 155.75 \text{ Newtons}$$

Esta es la fuerza que debía ser proporcionada por el cilindro para subir el martillo.

Ahora, se procedió a analizar qué fuerza íbamos a necesitar para cuando el pulverizador esté en su posición a 45°. Es importante aclarar en este punto que, si estuviese pivotado el pulverizador al cilindro, el punto de contacto se mantendría siempre en la misma posición con respecto al pivote, como lo indica el punto verde en la siguiente ilustración. Sin embargo, en este caso, al no contemplarse la idea de unir el cilindro al mango del pulverizador, este se punto de contacto va variando con respecto al pulverizador y se desplazaría a medida que rota el martillo.

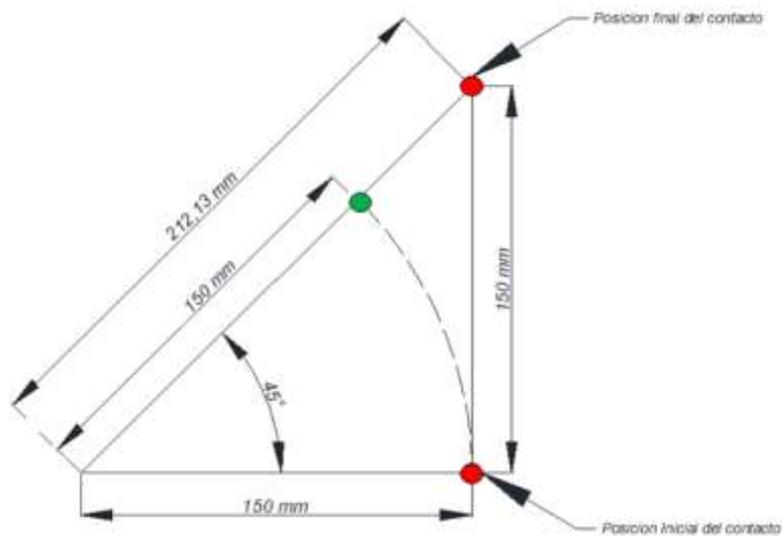


Ilustración 3-11: Desplazamiento del contacto entre martillo y sistema de elevación neumático

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

Debido al movimiento mostrado, esta distancia será de 212.13 mm y será el valor que usaremos de distancia entre pivote y fuerza de cilindro para cuando se encuentre levantado.

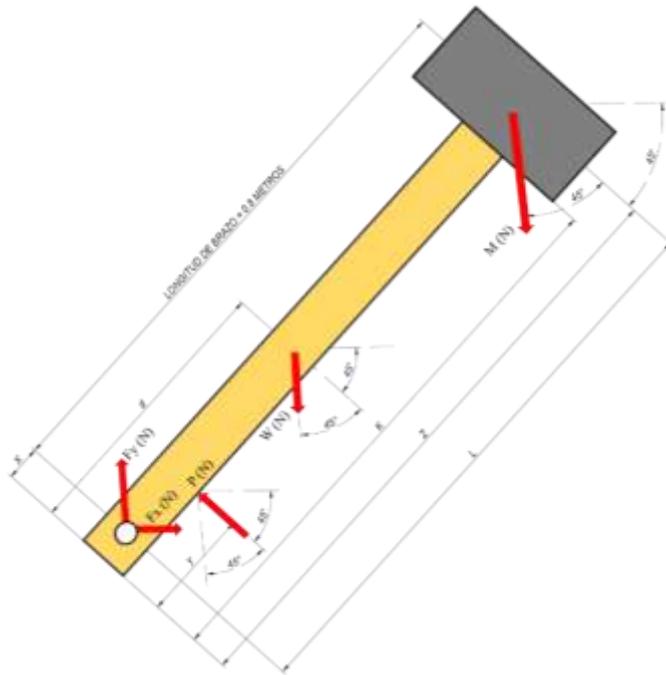


Ilustración 3-12: Diagrama de cuerpo libre del martillo en su posición a 45°

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

En este caso el análisis era similar, los pesos seguían la dirección hacia abajo, pero la fuerza de contacto cilindro-mango sería normal a la superficie del mango, además se incluían el ángulo de rotación, lo cual se resume en las siguientes ecuaciones:

Ecuación 3-9: Sumatoria de fuerzas en el eje x del pulverizador inclinado

$$\sum F(x) = 0$$

Ecuación 3-10: Sumatoria de fuerzas en el eje y del pulverizador inclinado

$$\sum F(y) = 0$$

Ecuación 3-11: Sumatoria de momentos alrededor del pivote del pulverizador inclinado

$$\sum M(\text{pivote}) = 0; \text{antihorario positivo.}$$

Teníamos lo siguiente:

$$F1x = P(45^\circ)$$

$$F1y + P * \sin (45^\circ) - W - M = 0$$

Resolvimos las ecuaciones de momento:

$$P * (212.3 \text{ m}) - W * \cos(45^\circ) * (d - x) - M * \cos(45^\circ) * (z - x) = 0$$

$$P * (212.3 \text{ m}) = W * \cos(45^\circ) * (d - x) + M * \cos(45^\circ) * (z - x)$$

$$P * (212.3 \text{ m}) = W * \cos(45^\circ) * (d - x) + M * \cos(45^\circ) * (z - x)$$

$$P = \frac{W * \cos(45^\circ) * (d - x) + M * \cos(45^\circ) * (z - x)}{212.3}$$

$$P = 77 \text{ Newtons}$$

Por lo tanto, la fuerza mínima que se requiere por parte del cilindro para esta trampa es de 156 Newtons.

Con este valor claro, ya podíamos continuar con definir los elementos que la trampa iba a tener y su configuración.

Nuestro siguiente desafío era definir los elementos adicionales que tendría la trampa aparte del actuador y el pulverizador. Para ello, debíamos definir las siguientes cuestiones sobre el pulverizador en sus dos posiciones.

En la posición de impacto, lo cual corresponde al momento donde el martillo ha caído y el cilindro se encuentra retraído, el actuador estará en un nivel menor al del suelo de la arena, de nuevo, con el fin de protegerlo.

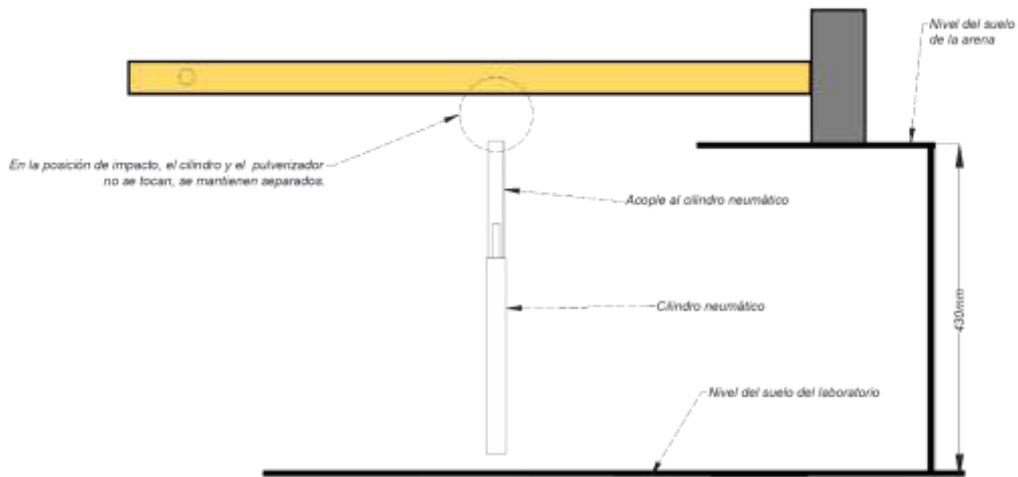


Ilustración 3-13: Posición de impacto del pulverizador.

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Al momento de elevar el martillo, el cilindro comienza la carrera, toma contacto con el martillo y recorre la distancia vertical equivalente a la carrera del cilindro. Esta viene a ser la posición inicial, por lo tanto, el cilindro se encontraría en su máxima extensión de manera permanente hasta que el sistema sea activado.

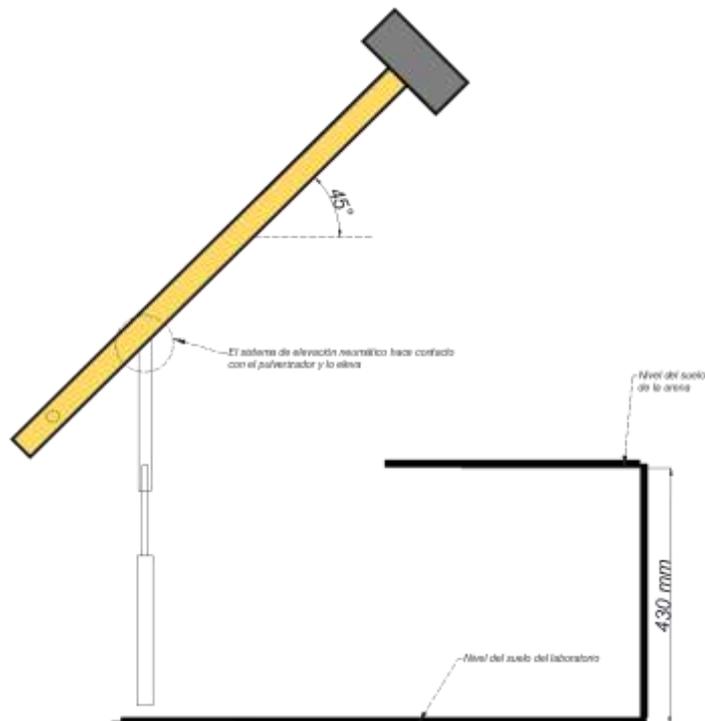


Ilustración 3-14: Posición de previo al impacto del pulverizador

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Con lo previamente dicho, se puede comenzar a diseñar sus elementos. Tal y como se pide en la lista de exigencias, se requiere que, en su mayoría, los elementos sean de metal y para ello haremos uso de placas de acero de 3 mm y tubos de 60x40x2 mm.

Una vez aclarado lo anterior, continuamos con la trampa en cuestión, la cual tendrá a dicha placa de 3 mm como base en dimensiones de 35 mm por 35 mm y dos tubos soldados a esta base que servirán para soportar el martillo. Por lo pronto, se mantiene al actuador en su posición vertical con un bosquejo de posibles acoples que se incluirán en su vástago de ser necesario. La trampa será ensamblada atrás de los límites de la arena. Lo cual se observa en la siguiente ilustración.

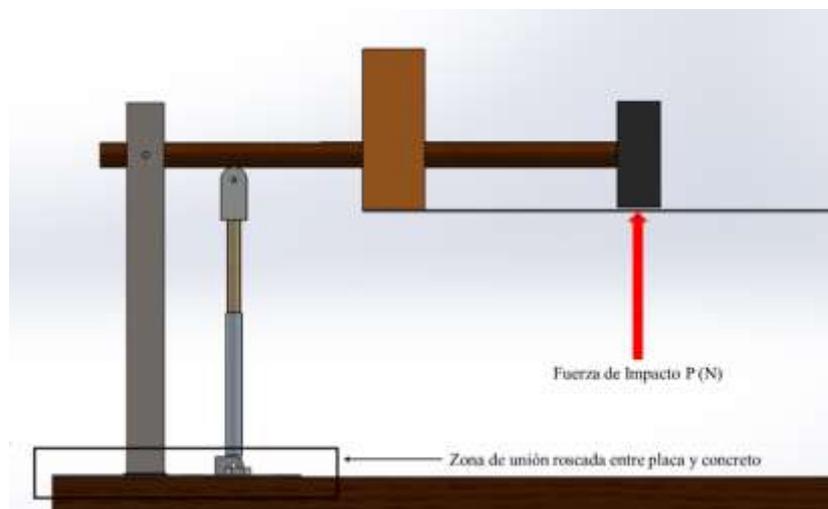


Ilustración 3-15: Impacto de pulverizador con el suelo de la arena

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

El diseño de los pernos se realizó en función de las fuerzas asociadas al momento de que el martillo impacta el suelo de la arena.

En este caso, la unión roscada experimentaría debido a dicho impacto, efectos de tracción primaria y secundaria. El diseño comenzó realizando un esquema de la conexión sugerida con la siguiente disposición en la placa. Las distancias al borde se tomaron en función del criterio de estructuras metálicas proporcionado por la AISC, donde se debe garantizar al menos una distancia igual al diámetro del perno seleccionado.

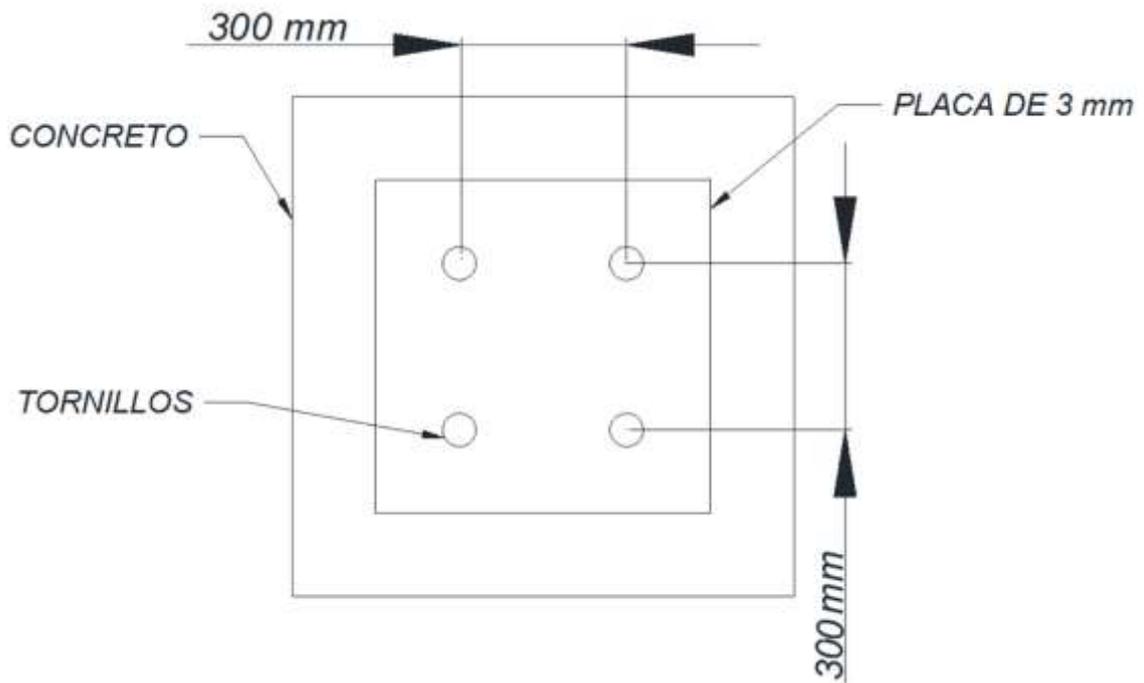


Ilustración 3-16: Disposición de los pernos en la base de la trampa de impacto vertical

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

La fuerza se debe trasladarla al centroide de la distribución de pernos, de igual manera había que definir un punto de rotación de la placa. A continuación, un diagrama en el momento de impacto del arma con la arena, situación donde se produciría la máxima fuerza.

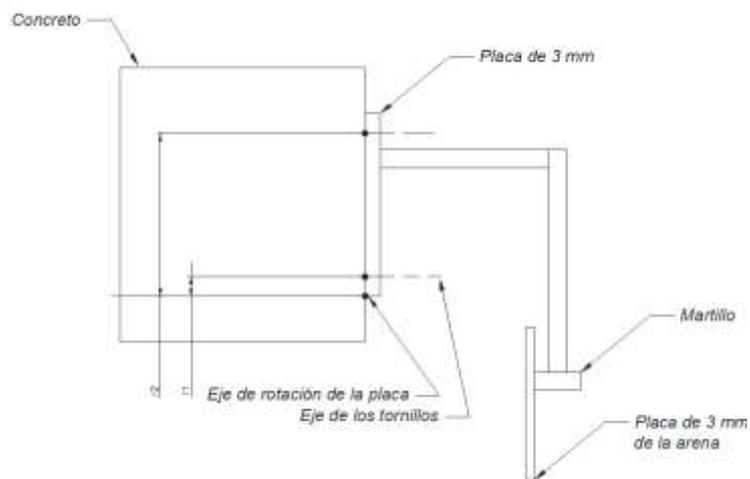


Ilustración 3-17: Vista lateral del momento del impacto

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Con el fin de cuantificar la fuerza del impacto, se utilizaron dos softwares, SolidWorks y su módulo de *SolidWorks Motion* y *Adams View*. En ambos softwares se ingresó un ensamble el cuál se dejó caer por acción de gravedad con propiedades de material para los componentes de la cabeza del martillo, mango y alturas para el sistema del pulverizador. Así mismo, se pudo observar que existe efectos de restitución al momento de impactar, por lo que el amortiguador presente en el martillo seleccionado permite reducir estos efectos no deseados. Se dejó correr las simulaciones en ambos y se obtuvo que la fuerza de impacto tenía un valor aproximado a los 192 Newtons en ambas herramientas.

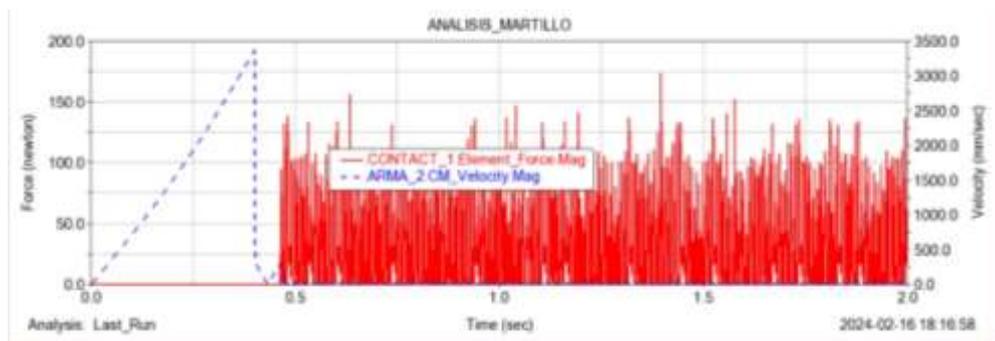


Ilustración 3-18: Valor de fuerza de impacto en Adams View

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

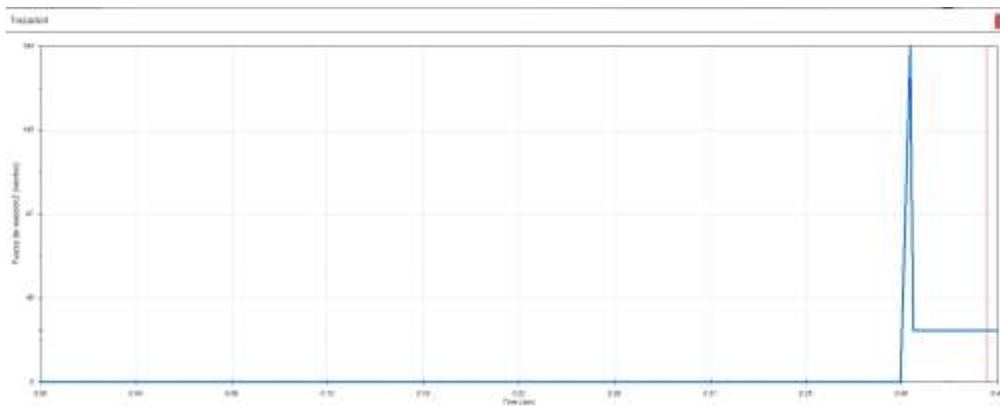


Ilustración 3-19: Valor de fuerza de impacto en SolidWorks Motion

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Con esta fuerza, se procedió a realizar el diseño de los pernos. La fuerza de impacto estaba a una distancia desde el centro de los pernos, la cual podemos representarla como un vector.

$$\vec{r} = (-725 i - 430 j) \text{ mm}$$

La fuerza, se redondeó a 200 Newton, con el fin de brindar una mayor seguridad en el cálculo, al ser un vector en el eje vertical, tiene la siguiente representación.

$$\vec{P} = (200 j)N$$

Por ecuación, el momento que se produce es el siguiente:

Ecuación 3-12: Producto cruz para cálculo de momentos vectoriales

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{P}$$

Se necesita la magnitud, la cual después de realizar el producto cruz, corresponde a:

$$M = 145000 N * mm$$

Básicamente, este es el valor de momento que se genera al trasladar la fuerza de impacto al centroide de los elementos de unión. Este valor será la flexión que se genera en la placa de acero, cabe recalcar que, en ausencia de los pernos, este momento generaría que la placa se doble.

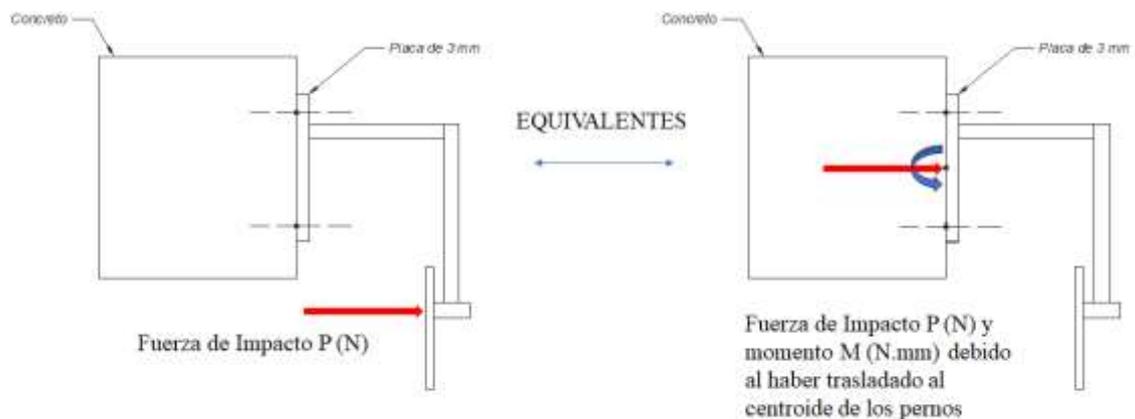


Ilustración 3-20: Traslación de fuerza de impacto al centroide de los pernos

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Se busca un total de cuatro tornillos en la placa para asegurarla al concreto, estos elementos serían encargados de fijar el sistema y de sobre todo resistir el escenario más crítico, la carga de impacto. La tracción primaria, indica que todos los pernos sentirán la carga de 200 Newtons, la tracción secundaria es más compleja de determinar, por lo que se debe calcular la fuerza de cada fila y luego la de cada perno. Las distancias que se usaron fueron son las siguientes:

Tabla 3-8: Distancias para el diseño de elementos de unión en la placa

Descripción	Valor	Unidades
Longitud de placa	350	mm
Distancia entre pernos	300	mm
R1	2.5	mm
R2	32.5	mm
Sumatoria de los cuadrados	1062.5	mm ²

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

La ecuación que permite calcular la fuerza en cada fila es la siguiente:

Ecuación 3-13: Cálculo de fuerza en cada fila de tornillos

$$F_{fi} = M * \frac{r_i}{\Sigma r^2}$$

Se realizó al cálculo en cada fila.

$$F_{f1} = M * \frac{r1}{\Sigma r^2} = 145000 \cdot \frac{2.5}{1062.05} = 341.17 \text{ N}$$

$$F_{f2} = M * \frac{r2}{\Sigma r^2} = 145000 \cdot \frac{32.5}{1062.05} = 4435.3 \text{ N}$$

Era claro ver que la fila dos es aquella con los pernos más cargados, ya que aparte de tener tracción primaria, tendrían la mayor tracción secundaria.

La carga total de tracción secundaria en los pernos de la fila uno se calculó de la siguiente manera:

Ecuación 3-14: Cálculo de la fuerza en cada tornillo de la fila

$$F \text{ de cada perno de fila } i = \frac{F_{fi}}{2}$$

$$F \text{ perno} = \frac{F_{f2}}{2} = \frac{4435.3}{2} = 2217.64 \text{ N}$$

La carga total de tracción vendría a ser:

$$P = 2217.64 \text{ N} + 200 \text{ N} = 2417.64 \text{ N}$$

Al no haber corte, se continuó con el diseño a tracción.

La fuerza de pretensión, se puede calcular con la siguiente ecuación:

Ecuación 3-15: Fuerza de pretensión

$$f_i = 0.9 * Sp * At$$

Por motivos de disponibilidad del mercado local, se seleccionaron pernos SAE de Grado 2, el cual tiene las siguientes propiedades según el libro de Budynas. (Richard G. Budynas & J. Keith Nisbet, 2018).

Tabla 3-9: Especificaciones SAE para pernos de acero

Grado SAE núm.	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
1	$\frac{1}{4} - 1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono	
2	$\frac{1}{4} - \frac{3}{4}$ $\frac{7}{8} - 1\frac{1}{2}$	55 33	74 60	57 36	Acero de bajo o medio carbono	
4	$\frac{1}{4} - 1\frac{1}{2}$	65	115	100	Acero de medio carbono, estirado en frío	
5	$\frac{1}{4} - 1$ $1\frac{1}{8} - 1\frac{1}{2}$	85 74	120 105	92 81	Acero de medio carbono, T y R	
5.2	$\frac{1}{4}$ a 1	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
7	$\frac{1}{4} - 1\frac{1}{2}$	105	133	115	Acero de aleación de medio carbono, T y R	
8	$\frac{1}{4} - 1\frac{1}{2}$	120	150	130	Acero de aleación de medio carbono T y R	
8.2	$\frac{1}{4} - 1$	120	150	130	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley

Realizado por: Budynass y Nisbet

Entonces, se tiene que para el Grado 2, una resistencia de prueba de 227 MPa aproximadamente y una resistencia a la fluencia alrededor de 248 MPa.

$$f_i = 0.9 \cdot 227 \cdot A_t = 204.3 A_t$$

Se procede a calcular el esfuerzo:

Ecuación 3-16: Esfuerzo en juntas con pernos o tornillos

$$\sigma = \frac{F_i}{A_t} + n \cdot c \cdot \frac{P}{A_t}$$

Debido a ser materiales duros, podemos usar para la constante elástica de la junta un valor de 0.3 para reemplazar en la ecuación. En el caso del factor de seguridad, usaremos la metodología

propuesta por el libro de Norton, la cual se resume en la siguiente tabla traducida del texto original en inglés.

Tabla 3-10: Factores utilizados para determinar un factor de seguridad para materiales dúctiles.

Factores Utilizados para Determinar el Factor de Seguridad en Materiales Dúctiles		
Información	Calidad de la Información	Factor
		F1
Datos sobre las propiedades de los materiales disponibles a partir de ensayos	Se ha ensayado los materiales a utilizar	1.3
	Se dispone de datos bastante representativos de ensayos de los materiales a utilizar.	2
	Se dispone de datos representativos de ensayos de los materiales a utilizar.	3
	Se dispone de datos poco representativos de ensayos de los materiales a utilizar.	5+
		F2
Condiciones ambientales donde va a trabajar el diseño	Idénticas a las condiciones donde se realizaron los ensayos o pruebas del material.	1.3
	Condiciones ambientales regulares.	2
	Condiciones ambientales ligeramente desafiantes.	3
	Condiciones ambientales desafiantes.	5+
		F3
Modelos analíticos de determinación de cargas y esfuerzos presentes	Modelos puestos a prueba en experimentos	1.3
	Los modelos representan el sistema de manera precisa.	2
	Los modelos representan el sistema de manera aproximada.	3
	Los modelos representan el sistema de manera poco aproximada.	5+

Fuente: Machine Design, an integrated approach

Realizado por: Robert Mott

A continuación, procedemos a seleccionar de cada criterio un valor y nuestro factor de seguridad será el mayor de estos.

En el primer caso, se va a utilizar materiales conocidos como el acero, por lo tanto, al ser comerciales, tenemos datos bastante representativos, nuestro valor es de 2 para F1.

Las condiciones ambientales serán regulares y constantes, pero diferentes a las de un laboratorio de pruebas, por lo que el valor de F2 corresponde a 2.

En los modelos analíticos, se tiene un valor de 2 para F3.

Gracias a esta estrategia, se obtiene un factor de seguridad de 2 para nuestros diseños y demás casos donde se necesita del mismo.

Continuando con los pernos, se tiene que:

$$\sigma = \frac{204.3 \cdot At}{At} + 2 \cdot 0.3 \cdot \frac{2417.64}{At}$$

$$\sigma = 204.3 + \frac{1450.58}{At}$$

Esto se procede a igualar con el valor de Sy del grado seleccionado, por lo tanto se tiene:

$$\sigma = 204.3 + \frac{1450.58}{At} = Sy$$

Despejando se obtiene At o área de tracción requerida mínima.

$$\sigma = 204.3 + \frac{1450.58}{At} = Sy = 248$$

Una vez resuelta la ecuación, como resultado obtenemos un área mínima a tensión de 33.19 milímetros cuadrados o 0.05144 pulgadas cuadradas. Ahora, se procede a seleccionar el diámetro en pulgadas en función de la siguiente tabla.

Tabla 3-11: Diámetros y área de roscas unificadas de tornillo UNC y UNF

Designación de tamaño	Diámetro mayor nominal	Serie gruesa-UNC			Serie fina-UNF		
		Roscas por pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión A_t , pulg ²	Área del diámetro menor A_n , pulg ²	Roscas por pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión A_t , pulg ²	Área del diámetro menor A_n , pulg ²
0	0.0600				80	0.001 80	0.001 51
1	0.0730	64	0.002 63	0.002 18	72	0.002 78	0.002 37
2	0.0860	56	0.003 70	0.003 10	64	0.003 94	0.003 39
3	0.0990	48	0.004 87	0.004 06	56	0.005 23	0.004 51
4	0.1120	40	0.006 04	0.004 96	48	0.006 61	0.005 66
5	0.1250	40	0.007 96	0.006 72	44	0.008 80	0.007 16
6	0.1380	32	0.009 09	0.007 45	40	0.010 15	0.008 74
8	0.1640	32	0.014 0	0.011 96	36	0.014 74	0.012 85
10	0.1900	24	0.017 5	0.014 50	32	0.020 0	0.017 5
12	0.2160	24	0.024 2	0.020 6	28	0.025 8	0.022 6
$\frac{1}{16}$	0.2500	20	0.031 8	0.026 9	28	0.036 4	0.032 6
$\frac{5}{16}$	0.3125	18	0.052 4	0.045 4	24	0.058 0	0.052 4
$\frac{3}{8}$	0.3750	16	0.077 5	0.067 8	24	0.087 8	0.080 9
$\frac{7}{16}$	0.4375	14	0.106 3	0.093 3	20	0.118 7	0.109 0
$\frac{1}{2}$	0.5000	13	0.141 9	0.125 7	20	0.159 9	0.148 6
$\frac{9}{16}$	0.5625	12	0.182	0.162	18	0.203	0.189
$\frac{5}{8}$	0.6250	11	0.226	0.202	18	0.256	0.240
$\frac{3}{4}$	0.7500	10	0.334	0.302	16	0.373	0.351
$\frac{7}{8}$	0.8750	9	0.462	0.419	14	0.509	0.480
1	1.0000	8	0.606	0.551	12	0.663	0.625
$1\frac{1}{4}$	1.2500	7	0.969	0.890	12	1.073	1.024
$1\frac{1}{2}$	1.5000	6	1.405	1.294	12	1.581	1.521

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley

Realizado por: Budynass y Nisbet

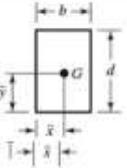
Gracias a la tabla anterior, se selecciona un perno de 5/16 de diámetro por 1-1/2 de longitud Grado 2 para ser utilizado como elemento de fijación no permanente en todas las trampas del sistema. Estos están disponibles en el mercado local. La misma disposición y número de pernos se utiliza en las demás trampas, a menos que se indique lo contrario.

El diseño de la soldadura fue acorde a la misma fuerza previamente obtenida, la cual genera efectos de flexión y por consiguiente esfuerzos cortantes primarios y secundarios en la junta.

Tal y como sucedió en el del diseño de los pernos, acá se encuentra presente efectos de la fuerza de 200 Newtons como esfuerzos cortantes y debido a trasladar su efecto al centroide del tubo, se presentaron efectos de flexión.

En este caso, con el fin de garantizar seguridad en la soldadura, se modeló la situación como si fuese un único tubo el que soporte toda la carga.

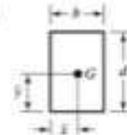
Tabla 3-12: Propiedades torsionales de soldaduras de filete

Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento polar unitario del área
5. 	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{(b + d)^3}{6}$

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley

Realizado por: Budynass y Nisbet

Tabla 3-13: Propiedades flexionantes de las soldaduras de filete

Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento unitario del área
6. 	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley

Realizado por: Budynass y Nisbet

En nuestro caso, al tener un tubo de 40 x 60, los valores son los siguientes.

$$A = 1.414 * h * (40 + 60) \text{ mm}$$

$$A = 141,4 * h$$

$$\bar{x} = \frac{40}{2} = 20 \text{ mm}$$

$$\bar{y} = \frac{60}{2} = 30 \text{ mm}$$

$$I_u = \frac{(60)^2}{6} * (3 * 40 + 60) = 108000 \text{ mm}^4$$

Para el efecto de la fuerza cortante de 200 Newtons, obtenemos el corte primario.

$$V = 200 \text{ N}$$

Ecuación 3-17: Cortante primario en soldadura

$$\tau' = \frac{V}{A}$$

$$\tau' = \frac{200}{141,4 * h} = \frac{1,414}{h}$$

Para el efecto de la flexión, tomamos en cuenta que los tubos estarán ubicados a dos tercios de la placa base, resultando en un momento ligeramente menor a los 160 000 N.mm

Ecuación 3-18: Cortante secundario en soldadura

$$\tau'' = \frac{M * c}{0,707 * h * I_u}$$

$$\tau'' = \frac{160\,000 * 30 \text{ mm}}{0,707 * h * 108000} = \frac{62,86}{h}$$

Ahora, se procede con Pitágoras para obtener el valor resultante:

Ecuación 3-19: Esfuerzo cortante resultante en soldadura

$$\tau = \sqrt{(\tau')^2 + (\tau'')^2}$$

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{1,414}{h}\right)^2 + \left(\frac{62,86}{h}\right)^2} = \frac{62,88}{h}$$

Para obtener el valor de h, que corresponde a la garganta, se debe seleccionar un electrodo, en nuestro caso, del tipo E60XX, con las siguientes propiedades de resistencia.

Tabla 3-14: Propiedades mínimas del metal de aporte

Número de electrodo AWS*	Resistencia a la tensión, kpsi (MPa)	Resistencia a la fluencia, kpsi (MPa)	Elongación porcentual
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley

Realizado por: Budynass y Nisbet

Ecuación 3-20: Ecuación de Tresca

$$\tau = \frac{S_{sy}}{n}$$

Se toma el valor de un coeficiente de seguridad de 2, además, según la teoría de Tresca, el valor de S_{sy} es la mitad del S_y , por lo tanto:

$$\tau = \frac{0,5 * 345}{n}$$

$$\tau = \frac{0,5 * 345}{2} = 86,25$$

$$\frac{62.88}{h} = 86,25$$

$$h = 0.739 \text{ mm}$$

Ese sería el valor mínimo para la garganta, por lo tanto, ahora se debe calcular el tamaño del filete en sus catetos. La garganta es aproximadamente el setenta por ciento del tamaño, por lo tanto: El tamaño calculado, por lo tanto, sería el siguiente:

$$\text{tamaño de soldadura} = 0.739/0.70$$

$$\text{tamaño de soldadura} = 1.05 \text{ mm}$$

Es importante aclarar que, según la norma de soldadura AWS D1.1, el tamaño de la soldadura no debe exceder el valor de la parte más delgada a unir. Por lo que no se debe exceder los 2 mm del tubo rectangular. Este mismo valor de garganta y criterio máximo del tamaño se utiliza en las demás trampas.

3.3.6 Selección del cilindro de la trampa de impacto vertical

Las características que debían cumplirse en el cilindro para cumplir con la función de servir como actuador en el pulverizador, eran los siguientes:

- Debía ser capaz de proporcionar una fuerza superior a la mínima requerida para levantar el martillo de la trampa de impacto vertical o pulverizador.
- Tenía que alcanzar una velocidad que le permita realizar su retracción en un tiempo menor a los 0.4 segundos.
- Este tenía que estar disponible en el mercado local.

Además, debe soportar presiones superiores al nivel que buscamos, que es de seis bares, lo cual brindaba el compresor y este debía ser de doble efecto, para accionar tanto la subida del martillo como su caída.

Una vez se tuvieron en cuenta dichos parámetros, se seleccionó un cilindro de doble efecto con una carrera de 153 mm, capaz de soportar un máximo de 1.5 MPa como presión de prueba o 276 Psi. Su vástago tenía un diámetro de 9.5 mm y su émbolo de 20 mm de diámetro. Además, su

velocidad era regulable desde los 50 hasta los 800 mm/s, un valor que resultaba muy conveniente en nuestro caso, considerando que la velocidad de regreso nos limitaba la selección del cilindro. Para comprobar que este cilindro fuera pertinente para nuestro caso, se debía verificar que proporcionara la fuerza necesaria bajo las condiciones de trabajo propuestas. En este caso, habría un total de cinco cilindros del mismo modelo, uno en cada trampa, y se accionarían de forma independiente, es decir, uno después del otro.

La fuerza del cilindro era una función del diámetro del cilindro, de la presión del aire y del roce del émbolo, que dependía de la velocidad del émbolo y que se tomaría en el momento de arranque. La fuerza que el aire ejerce sobre el pistón es:

Ecuación 3-21: Fuerza del cilindro

$$F = P_{aire} * Area\ pistón$$

Para realizar nuestros cálculos debíamos trabajar la presión en bar y el diámetro en mm y la superficie en mm^2 .

$$F = \frac{P_{aire} * Area\ pistón}{10}$$

Los cilindros de doble efecto, como no cuentan con resortes o mecanismos para volver a su posición inicial, su fuerza en el avance no disminuiría, pero en el retroceso era afectado debido a la reducción del área del embolo por el vástago.

El rozamiento del pistón en su movimiento equivale a un valor comprendido entre el 3% Y 10% de la fuerza calculada.

3.3.6.1 Cálculo de consumo de aire

El consumo de un cilindro estaría en función de la relación de compresión, área del pistón y de la carrera.

$$Consumo\ de\ aire = Relacion\ de\ compresion * area\ piston * carrera * ciclos/minuto$$

Cálculo del consumo de aire:

Diámetro = 20mm

Longitud de carrera = 153mm → 0,153 m

Presión de trabajo mínima = 6 bar

Calculo del área interior del cilindro neumático:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi(0,022\text{m})^2}{4} = 0,0003145 \text{ m}^2$$

Luego se calcula el valor del volumen del cilindro en el avance

Ecuación 3-22: Volumen del cilindro en el avance

$$V = A * L$$

$$V = 0,00031415 \times 0,153 = 0,0000480663 \text{ m}^3 \rightarrow (\text{Consumo a 1 bar de presión})$$

Se obtiene el consumo a la presión de nuestro sistema es decir a 6 bar.

$$C_{\text{Consumo a presión de trabajo}} = 0,0000480699 \times 6 = 0,00028839 \text{ m}^3$$

$$C_{\text{Consumo a presión de trabajo}} = 0,28839 \text{ litros}$$

Cada cilindro se accionaría 4 veces por minuto debido a:

$$T_{\text{activación x cilindro}} = 3 \text{ segundos}$$

$$T_{\text{Total de activación de 1 secuencia}} = 15 \text{ segundos}$$

$$T_{\text{Total de activación de 3 secuencias}} = 15 \times 3 = 45 \text{ segundos}$$

$$N_{\text{Secuencias/minuto}} = \frac{60}{15} = 4$$

Es decir, cómo se accionarían 4 secuencias y en cada una se activaría una vez cada cilindro neumático. Por lo tanto, por cada minuto cada cilindro se accionaría 4 veces.

Ecuación 3-23: Consumo del cilindro

$$C_{Consumo/min} = C_{Consumo \text{ a presión de trabajo}} * Frecuencia$$

$$C_{Consumo/min} = 0,28838 \times 4 = 1,15359 \text{ lt/min}$$

Cálculo de retroceso

Ecuación 3-24: Cálculo de retroceso

$$A_{Total} = A - A_{vastago}$$

$$A_{Total} = \frac{\pi(D_E^2 - d_v^2)}{4} = \pi \frac{(0,02^2 - 0,00196^2)}{4}$$

$$A_{Total} (\text{sin vastago}) = 0,0002417769 \text{ m}^2$$

$$V_{Retroceso} = 0,0002417769 \times 0,153 = 3,6991 \times 10^{-5} \text{ m}^3 (\text{Consumo a 1 bar de presión})$$

Se procedió a calcular el consumo a 6 bar de presión

$$C_{Consumo \text{ a presión de trabajo}} = 36991 \times 10^{-5} \times 6 = 2,21951 \times 10^{-4} \text{ m}^3 (\text{Retroceso})$$

$$C_{Consumo \text{ a presión de trabajo}} = 0,211951 \text{ Litros}$$

Entonces, el consumo por las 4 veces que se accionara el cilindro por minuto era:

Ecuación 3-25: Cálculo de consumo por minuto

$$C_{Consumo/min} = C_{Consumo \text{ a presión de trabajo}} * Frecuencia$$

$$C_{Consumo/min} = 0,221951 \times 4 = 0,8878 \text{ lt/min}$$

$$C_{Total/min} = 0,8878 + 1,1535 = 2,0413 \text{ lt/min}$$

$$C_{Total/min} = 2,0413/60$$

$$C_{Total/seg} = 0,03402175$$

Como referencia, según el fabricante Festo el consumo de aire por minuto teniendo en cuenta un vástago de 8mm, el cual es el más cercano al seleccionado, era el siguiente:

Cilindros elegidos y su consumo de aire							Imprimir	Copiar	Borrar tabla
Modo de Op.	Tamaño [mm]	Carrera/Largo [mm]	Presión [bar]	Número de ciclos [1/min]	Consumo de aire por Ciclo [l]	Consumo de aire por Minuto [l]			
de doble efecto	20	153	6.0	4	0.6191	2.4764			

Ilustración 3-21: Consumo de aire cilindros neumáticos

Fuente: Festo

Realizamos los cálculos respectivos para el dimensionamiento de nuestro sistema

Tabla 3-15: Calculo de caudal total

Consumidor	Cantidad	Caudal (Lt/s)	Consumo/ Cant	Factor de uso	Caudal Total	Presión de Trabajo
Cilindros Neumáticos	5	0,034021667	0,170108333	95%	0,161602917	6 bar

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

Tabla 3-16 Condiciones ambientales de Riobamba

CONDICIONES AMBIENTALES	
Temperatura máxima (Celsius)	30
Temperatura mínima (Celsius)	15
Temperatura promedio (Celsius)	22,5
Presión ambiental (Bar)	1
Humedad Máxima	80,00%
Humedad mínima	60,00%
Humedad relativa promedio	70,00%

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

Tabla 3-17 Dimensionamiento Compresor

DIMENSIONAMIENTO DEL COMPRESOR		
Caudal total		0,161602917
Sobre diseño en demanda (10%-20%)	10%	0,016160292
Consideración de fugaz (10%)	15%	0,024240438
Demanda Total (lt/s)		0,202003646
Demanda total (lt/min)		12,12021875
Demanda Total (m^3 /min)		0,012120219
Demanda Total (cfm)		0,427843722

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

Tabla 3-18 Características de compresor

Características de compresor		
Caudal compresor (CFM)	4,9	
Caudal compresor (lt/min)	138,679245	
Caudal requerido (lt/min)	12,1202188	CUMPLE

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

Tabla 3-19 Cálculo volumen tanque de almacenamiento

Cálculo del Volumen del tanque pulmón		
CAGI		
Tiempo de descarga	10	
Demanda de caudal (CFM)	0,42784372	
Presión en atm (psi)	14,7	
Presión - arranque del compresor(psi)	90	
Presión de pare del compresor (psi)	120	
volumen del tanque (Litros)	75,6	
volumen del tanque (Galones)	20	
CAGI V (CFM)	2,09643424	
V (lt)	59,3647283	CUMPLE

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

$$F = \frac{p_{aire}(bar) \times Area_{piston}}{10}$$

$$F = \frac{6bar \times 314,1592}{10} = 188,4955N$$

$$F_{Retroceso} = P \times \frac{\pi \times (D^2 - d^2)}{40}$$

$$F_{Retroceso} = 6 \times \frac{\pi \times (0,02^2 - 0,0096^2)}{40} = 145,06618N$$

Tal como podemos observar, la fuerza de avance era superior a la mínima requerida, aparte el cilindro soportaba las presiones de trabajo, por lo que su selección era correcta. Procedemos a continuar el dimensionamiento de las demás trampas utilizando el mismo cilindro.

3.3.6.2 Implementación de la trampa de impacto vertical.

Durante este proceso, se resumen algunos de los cambios que se realizaron en el diseño. Lo tenemos representado en software CAD, para luego continuar con las respectivas pruebas a la marcha e implementando soluciones para el funcionamiento óptimo del mecanismo.

Para la construcción, el primer paso era un conjunto de piezas que se acoplen al vástago y eleven el cilindro. La ilustración siguiente muestra estas piezas enumeradas, la primera es un tubo metálico roscado al vástago mediante una tuerca soldada a este, la segunda es una pieza metálica por donde pasa un eje y la tercera corresponde a la pieza que será encargada de levantar al martillo.

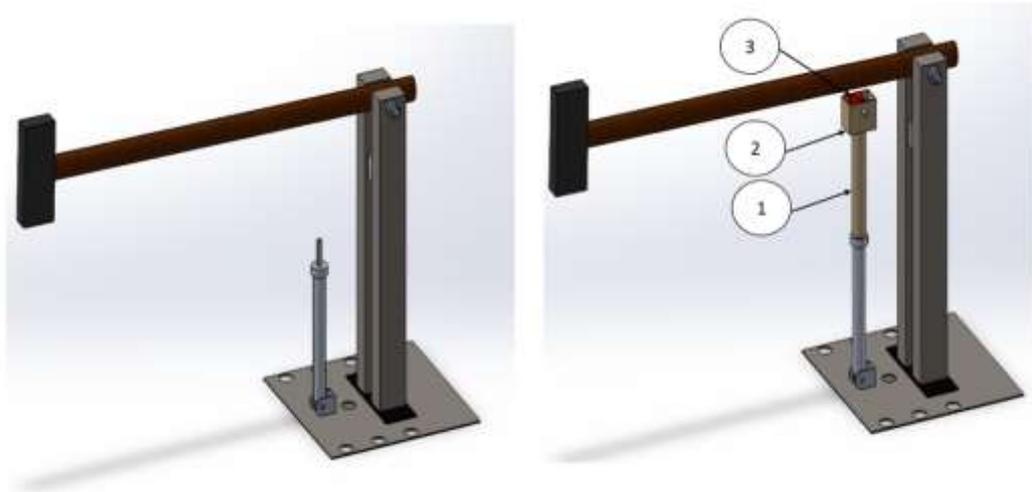


Ilustración 3-22: Conjunto de piezas acopladas al vástago del cilindro para la trampa de impacto vertical o pulverizador.

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

El primer problema en este caso fue el levantar el martillo de manera concéntrica, por lo que se diseñó una pieza en impresión con poliuretano termoplástico TPU. Su geometría era acorde a la forma del mango del martillo seleccionado. Esta pieza nos garantiza que el mango se acople de buena manera y esta pieza rueda y avance por la longitud del martillo al ser levantado.



Ilustración 3-23: Pieza para levantar el martillo

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

El siguiente inconveniente era el cilindro neumático y su desplazamiento. Este debido a que se encontraba pivotado a un acople en la placa base, tiende a rotar al momento de subir y encontrarse con el martillo. Debido a esto, se diseñó un conjunto de piezas que garantizaban una carrera vertical en el cilindro sin que este rote alrededor de su eje en la parte inferior. Este conjunto de piezas logró lo siguiente:

- Fijar verticalmente el martillo.
- Brindar soporte lateral en todo momento al vástago.
- Dar guía de movimiento vertical a todo el sistema.

A continuación, una ilustración que muestra el ensamble antes y después de añadir el conjunto de piezas.

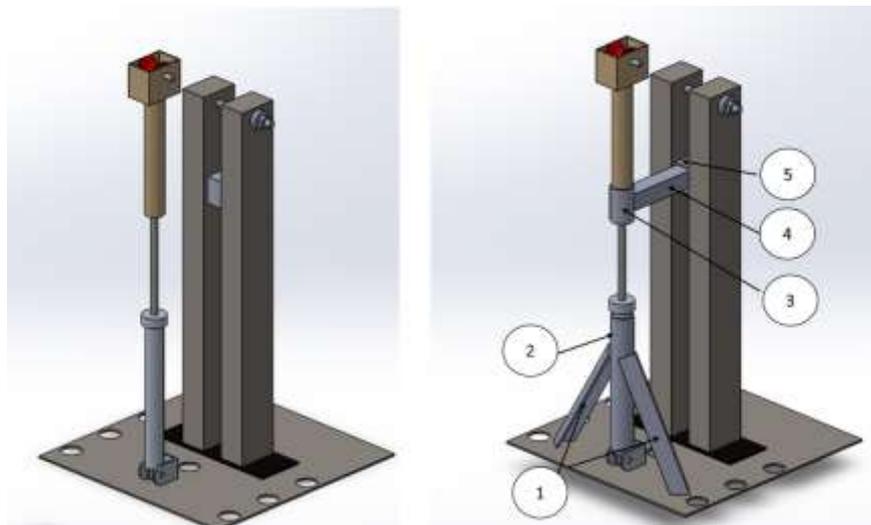


Ilustración 3-24: Mecanismo para levantar el martillo de la trampa de impacto vertical antes y después de modificaciones

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

A la izquierda el mecanismo que sirvió para las primeras pruebas, ahí nos dimos cuenta de que se tenía que de alguna manera garantizar que el cilindro siempre esté vertical. Para ello, el conjunto de piezas 1 y 2, restringen el cilindro y ayudan a que esté fijo en su parte baja, mientras que las piezas 3,4 y 5, brindan esa verticalidad en la parte superior, además de servir como guía para el vástago y este no sufra desplazamientos o rotaciones indeseadas.

Posteriormente, se decidió añadir dos medidas más de seguridad, con relación a la rotación del vástago con su propio eje y con el levantamiento del martillo. El primero de ellos fue abordado

con una pieza que restrinja al eje conectado a la pieza de impresión a una carrera vertical por un camino firme. Se tomó parte de un tubo rectangular al cual se le hizo una perforación en la mitad, la forma final del mismo estuvo restringida por la estructura de la arena, esto debido a que se lo acopló a la misma.

Con el fin de atacar el inconveniente del levantamiento del martillo y que este siempre esté en la posición correcta, se soldaron dos piezas en ángulo, las cuales permiten que el martillo se ubique de manera efectiva.

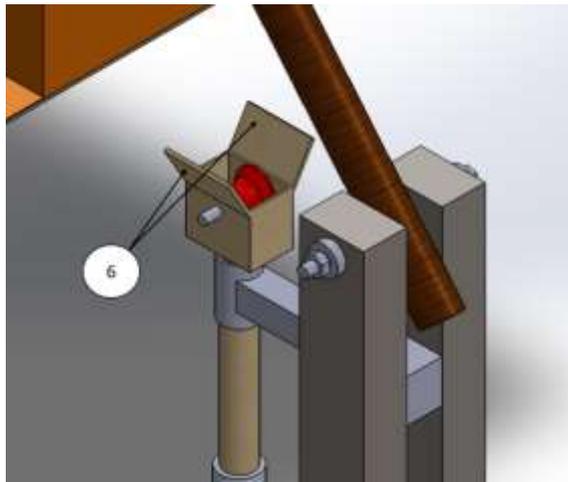


Ilustración 3-25: Piezas en ángulo para acoplar el mango del martillo en la trampa de impacto vertical.

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

El motivo, es que dichas especies de alas busquen el martillo mientras se extiende el cilindro y lo lleven al centro de la pieza que hace contacto al levantarlo.

3.3.7 *Diseño de la trampa para perforación.*

La percepción y definición del problema en este apartado tuvo como base el funcionamiento del ramrod de Battlebots. Se planteó ubicarlo en la pista, es decir, dentro de la zona de batalla. Para cumplir con las exigencias, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- El ramrod emerge desde un nivel menor al del suelo y perfora al Robot de Batalla.
- Utiliza el mismo actuador previamente seleccionado
- La trampa debe permanecer escondida hasta su activación, por lo tanto, se debía tomar en cuenta la carrera máxima del cilindro seleccionado previamente y la

distancia entre el nivel del suelo del laboratorio y el de la arena. Dicho criterio nos daría la longitud máxima que podría tener nuestro ramrod.

A la parte de la trampa encargada de realizar la función de perforación, cuyo aspecto se plantea ser similar a una aguja, la llamaremos ramrod. Para ello, se partió con su diseño desde el punto de vista del diseño mecánico, es decir, estudiando su factor de seguridad.

Con seguridad se podía afirmar que conocíamos los materiales que vamos a utilizar, las cargas y se iba a tener un ambiente controlado, por ello se propuso un valor de factor de seguridad de dos. El escenario que se contempló era el siguiente:

- El Robot de Batalla llegaba con una velocidad inicial y debido a una fuerza de impacto con el ramrod, su momento se reducía a cero en un tiempo de 0.1 segundos. Tomamos el caso más crítico en donde el robot tiene una masa de 120 lb.

Entonces, su momento inicial:

Ecuación 3-26: Momento inicial del Robot de Batalla

$$p_o = \text{masa} \times \text{velocidad inicial}$$

$$p_o = 120 \text{ lb} * 10 \frac{\text{metros}}{\text{segundo}}$$

Su momento final, es cero.

La masa de 120 libras se transformaba sencillamente en 54.43 kilogramos, el cual podíamos redondear a 55 kg.

Según ecuaciones de mecánica newtoniana, la fuerza necesaria para generar este efecto se calculaba en base a la variación de cantidad de movimiento en el tiempo en el que ocurre esto.

Ecuación 3-27: Fuerza en función de la variación de la cantidad de movimiento

$$F = \frac{\Delta p}{t}$$

$$F = \frac{55 \text{ kilogramos} * 10 \frac{\text{metros}}{\text{s}}}{0.1 \text{ segundos.}}$$

$$F = 5500 \text{ Newtons.}$$

Esta es la fuerza con la que se realizó el análisis, ya que, por tercera ley de Newton, será la misma fuerza que el ramrod sentirá en el impacto.

El ramrod sentiría una carga lateral, por lo que es pertinente su diseño como viga en voladizo. El empotramiento se debía garantizar de manera constructiva.

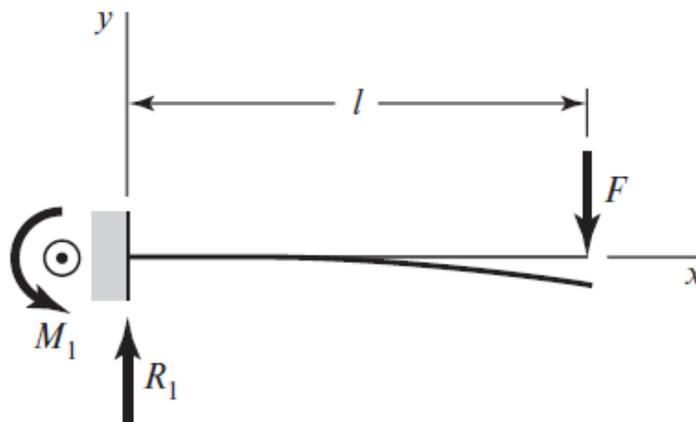


Ilustración 3-26: Viga en voladizo con carga en su extremo

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, por Budynas y Nisbett

La distancia, por consideración de diseño debido al espacio disponible, era de 12 cm. En el empotramiento, se generaría un momento máximo.

Ecuación 3-28: Cálculo de momento máximo en el ramrod

$$M = F * d$$

$$M = 5500 \text{ Newtons} * 100 \text{ mm} = 550000 \text{ N} * \text{mm}$$

El esfuerzo, para una sección circular, viene a ser:

Ecuación 3-29: Esfuerzos normales en sección circular

$$\sigma = 32 * \frac{M}{\pi * d^3}$$

$$\sigma = 32 * \frac{550000}{\pi * d^3}$$

Ahora bien, al ser un acero A36, por bibliografía, su esfuerzo de fluencia es de 250 MPa.

Al ser un caso de esfuerzo normal debido a flexión, calculamos con la siguiente ecuación junto con el factor de seguridad previo utilizando la teoría de falla de Von Misses para esfuerzo plano.

Ecuación 3-30: Teoría de falla de Von Misses para esfuerzo plano

$$\sigma' = (\sigma_x^2 + \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{\frac{1}{2}}$$

Al aplicar el factor de seguridad y las propiedades del material, tenemos que:

$$n = 2 = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{250 \text{ MPa}}{32 * \frac{M}{\pi * d^3}}$$

$$d = 35.5 \text{ mm}$$

Este valor de diámetro fue el escogido en la zona más baja del ramrod para garantizar que esta no sufra falla por carga lateral.

El diseño final se realizó en SolidWorks, tenía el siguiente aspecto:

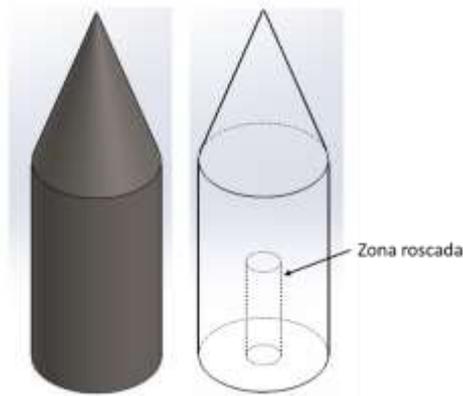


Ilustración 3-27: Diseño CAD del ramrod de la trampa de perforación

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

3.3.7.1 Implementación de la trampa de perforación

El primer paso fue realizar una impresión 3D para validar el prototipo, las distancias que cubriría y su funcionamiento.

Una vez validado, se realizó el mecanizado en acero A36 junto con un roscado en la parte inferior del ramrod y así pueda adaptarse de la mejor manera al cilindro neumático. Ahora bien, el elemento así tal cual, presentaba problemas, el primero era que, al momento de realizar un impacto, la mayor cantidad de esfuerzo se iba hacia la zona donde nace el vástago, lo cual inevitablemente podría causar un fallo grave en el sistema. Así mismo, debido a los constantes golpes, podría perderse la verticalidad del sistema, por lo que había que solucionar ambos problemas.

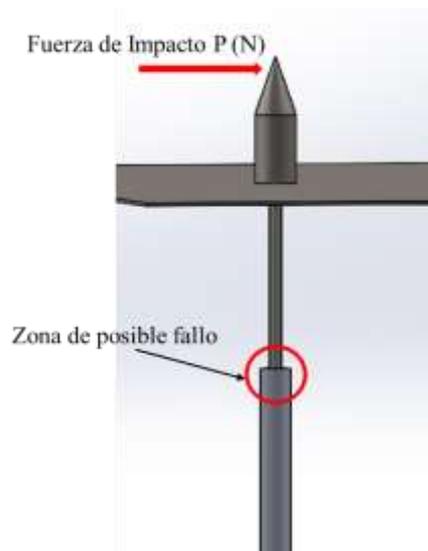


Ilustración 3-28: Inconvenientes en la trampa de perforación

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

La solución que se encontró fue la siguiente, se incluyó una guía, la cual consiste en un tubo ligeramente mayor en diámetro al del ramrod soldado a la plancha del suelo de la arena. Esto permite que el ramrod esté siempre dentro de un camino o de una carcasa que asegure que se mueva verticalmente. Así mismo, sirve como apoyo para soportar cualquier impacto lateral y absorber el mismo, de esta manera el punto donde nace el vástago es menos propenso a fallar. Al ser el ramrod de 35 mm de diámetro, el tubo óptimo fue un tubo de una pulgada y media con 1.5 mm de espesor, lo cual nos daba un diámetro interno de 35.1 mm, perfecto para que fuera una guía para el desplazamiento vertical del ramrod.

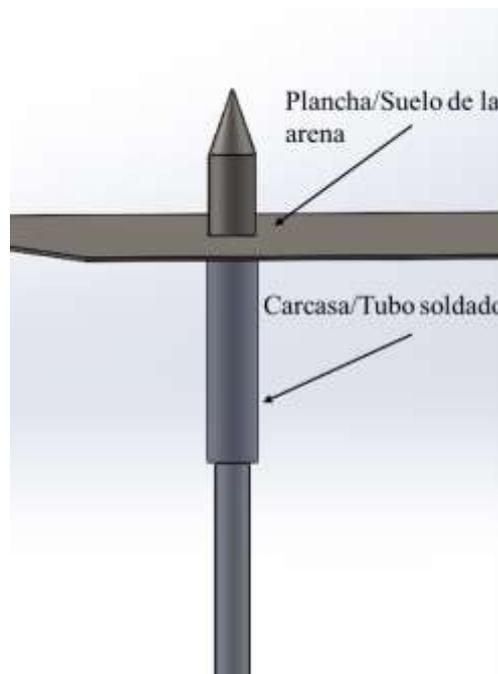


Ilustración 3-29: Trampa de perforación y su Ramrod

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Con dichos componentes, el ramrod tendría siempre un desplazamiento vertical y una zona que absorba los efectos del golpe, sin que se viera comprometida su integridad y funcionamiento en todo su sistema. Esta trampa comparte la misma distribución de pernos y las mismas características de soldadura previamente calculadas en la trampa de impacto vertical.

3.3.8 *Diseño de trampa para corte*

En este caso, se planteó como meta llegar a un mecanismo que permita levantar un disco a altas revoluciones, similar a la trampa KillSaw. El principal problema radicaba en la concepción del problema, donde básicamente se resumía a una sierra que salía del suelo y trataba de cortar al robot. Dentro de nuestra solución, planteamos la posibilidad de usar también actuadores eléctricos de ser necesario, entonces se decidió utilizar un motor eléctrico para mover el elemento encargado del corte y un actuador neumático para elevarlo al nivel de la arena.

Con dicha estrategia y después de varias iteraciones y modelos, llegamos a una solución sencilla pero funcional y eficiente. Esta consistió en comprar una amoladora de la marca Skil, la cual obviamente ya cuenta con un motor eléctrico en su interior, lo cual cumple con la solución de nuestro diseño conceptual. Así mismo, tiene en sus laterales agujeros roscados, los cuales nos permitieron acoplarle un mecanismo construido con los tubos rectangulares activado por el cilindro neumático seleccionado.

El mecanismo utilizado, se lo fabricó con los tubos rectangulares y las placas de acero seleccionadas previamente. Nótese que, en este caso, a diferencia del pulverizador, el cilindro se encuentra pivotado a la base del mecanismo y a la barra donde se ubica la amoladora. La amoladora se ensambla gracias a los agujeros roscados de sus laterales con la barra, ambas zonas se encuentran numeradas a continuación.

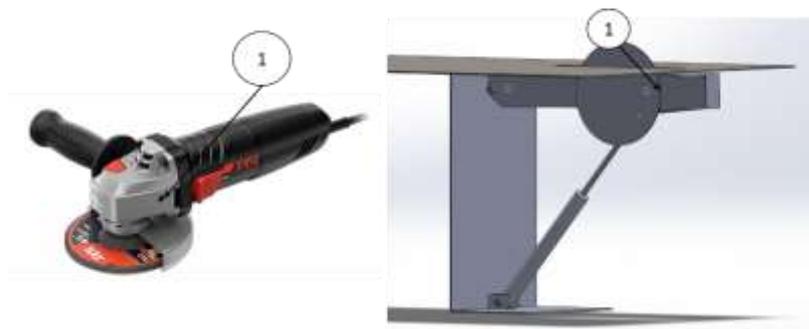


Ilustración 3-30: Partes de la trampa para corte

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

3.3.8.1 *Implementación de la trampa para corte*

Una vez ensamblado el mecanismo, junto con las conexiones y la programación realizada, pudimos activar la misma junto con su actuador para que encienda su disco de corte al momento

de ser elevada. Es decir, una señal que se encargue de activar el motor eléctrico y otra señal que eleve la trampa.

3.3.9 Diseño de la trampa para levantamiento y choque

La siguiente idea consistía en una trampa que pudiese cumplir con los efectos de choque y de levantamiento. Si bien se podía comparar su funcionamiento en cierto punto con un ramrod o un paddle, ninguno de estos generaba o tenía como fin elevar y desestabilizar el arma. Por ello, para este caso, se decidió generar la idea desde nuestro ingenio. Esto comenzaba con la concepción de una trampa que en su estructura cuente con un elemento lo suficientemente alto como para poder servir de obstáculo de choque y lo suficientemente grande en su área transversal para poder desestabilizar al Robot de Batalla cuando fuera elevado. Su forma podía tomar la geometría de un cilindro, por lo que dicho elemento tomará el nombre de pistón.

El diseño entonces contemplaba cargas laterales y cargas céntricas, por lo que estaba sujeto a pandeo y a flexión tanto el elemento de la trampa como el vástago del cilindro. El diseño de su altura estaba restringido por la carrera del cilindro, las especificaciones y las configuraciones geométricas de la arena.

El diseño entonces contempla cargas laterales y cargas céntricas, por lo que está sujeto a pandeo y a flexión tanto el arma como el vástago del cilindro.

El diseño de su altura está restringido por la carrera del cilindro y las configuraciones geométricas de la arena.

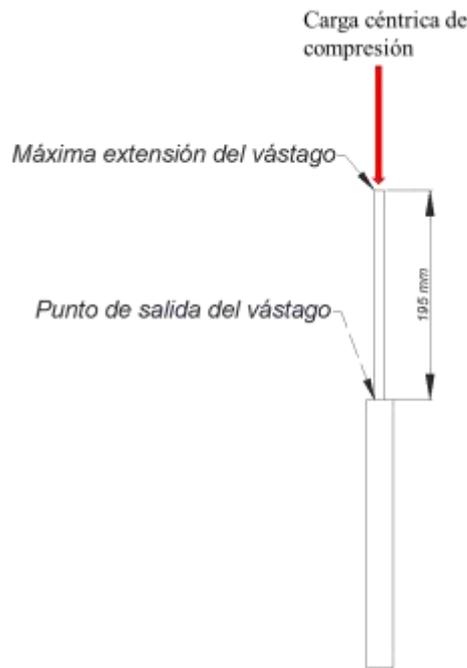


Ilustración 3-31: Vástago del cilindro como columna

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

El vástago, cuyo material era acero inoxidable, se podía modelar como una columna que tenía apoyos articulados en sus extremos cuando estaba en su máxima extensión. Para calcular la carga céntrica máxima que podíamos tener, realizamos los cálculos con las siguientes variables.

- Módulo de Young, para acero inoxidable es de 190 GPa
- La Inercia del área transversal para un diámetro de 9.5 milímetros

Ecuación 3-31: Momento de Inercia para sección circular

$$I = \pi * \frac{d^4}{64}$$

$$I = \pi * \frac{(9.5 \text{ mm})^4}{64} = 399.82 \text{ mm}^4$$

- La longitud efectiva para el caso de dos apoyos articulados era tal cual el valor de longitud de la columna, siendo en total, de 195 mm para el vástago completamente extendido.

Se calculó a calcular la carga crítica:

Ecuación 3-32: Cálculo de carga crítica de pandeo

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * E * I}{Le^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * 190 \text{ GPa} * 399.82 \text{ mm}^4}{(195)^2}$$

$$P_{cr} = 19717.35 \text{ Newtons}$$

Esta era la carga necesaria para causar pandeo en el cilindro y se nunca se debe exceder.

El valor máximo de carga céntrica que se tuvo era el equivalente a las 120 libras de un robot de pelea sumado al peso del arma elevador, el cual podíamos cuantificar como variable tomando en cuenta que también sería manufacturado en acero.

Ecuación 3-33: Ecuación de cálculo de la fuerza debido al peso

$$Peso = masa * aceleración$$

$$densidad = \frac{masa}{volumen}$$

$$Peso = densidad * volumen * gravedad$$

Si tomamos como material el acero inoxidable para el arma, teníamos que:

$$P_{cr} = 19717.35 \text{ Newtons} \leq 120 \text{ lb} + \text{Peso arma}$$

$$120 \text{ lb} = 533.787 \text{ Newtons}$$

El pistón se concibió como un cilindro, lo suficientemente alto como para chocar con el robot y causar daño, y lo suficientemente ancho en área para elevarlo en caso de que se encuentre debajo del mismo. Ambos efectos se muestran a continuación: en el lado izquierdo, el choque, y en el lado derecho, el efecto de levantar el robot. Esto era significativo, ya que al llegar con velocidad, el arma se elevaba repentinamente y podía llegar a volcar al robot.

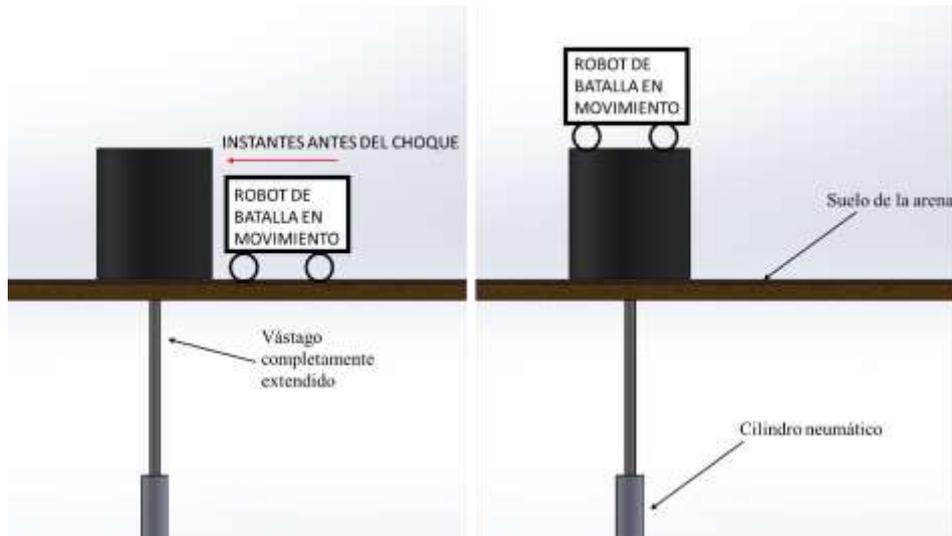


Ilustración 3-32: Idea general de trampa para levantamiento y choque

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Para su dimensionamiento, se comenzó tomando la densidad del acero como 7700 kg/m^3 y el volumen de un cilindro hueco, ya que era más económico encontrarlo de esa manera en el mercado, por lo que llegamos lo siguiente:

$$\text{Peso arma} = 7700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{\pi}{4} * h * (D^2 - d^2) \text{m}^2 * \frac{9.81 \text{m}}{\text{s}^2}$$

En este caso, h era la altura que tendría el cilindro. La carga crítica debía ser siempre menor, por lo tanto:

$$P_{cr} < \text{Peso arma} + \text{Peso robot}$$

$$19717.35 \text{ Newtons} < 7700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{\pi}{4} * h * (D^2 - d^2) \text{m}^2 * \frac{9.81 \text{m}}{\text{s}^2} + 533.787 \text{ Newtons}$$

Podemos seleccionar un cilindro de 11 cm de diámetro y 3mm de espesor y 130 mm de altura, el cual se obtuvo en el mercado local y evaluar si el uso de este estaba dentro del valor permisible.

$$7700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{\pi}{4} * \frac{130}{1000} * \left(\left(\frac{110}{1000} \right)^2 - \left(\frac{110 - 6}{1000} \right)^2 \right) \text{m}^2 * \frac{9.81 \text{m}}{\text{s}^2} + 533.787 \text{ Newtons}$$

$$9.9072 \text{ Newtons} + 533.787 \text{ Newtons} = 543.7 \text{ Newtons}$$

Como podemos ver, el cilindro no causaría pandeo alguno y funcionaría perfectamente para cada uno de sus casos críticos.

Podemos analizar, que el pandeo no era un problema en el vástago para este y las cargas presentes. Ahora bien, se analizó un posible fallo debido a flexión en el momento de impacto del robot de manera lateral con el cilindro o pistón, este fallo podría producirse en la zona baja del vástago.

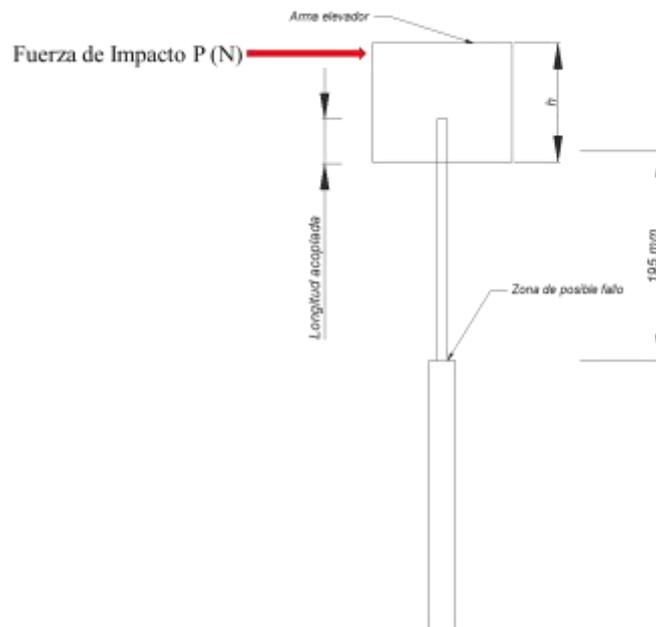


Ilustración 3-33: Impacto lateral al pistón.

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Con el fin de evitar esta situación, se utilizó un sistema similar al del ramrod, donde implementaremos en la plancha una carcasa que siempre mantenga el arma vertical y garantice que cuando choque, estos efectos sean absorbidos por dicha carcasa.

3.3.9.1 Implementación de la trampa de levantamiento y choque

Las correcciones que se realizaron fueron similares al ramrod, con la carcasa se fijó verticalmente la carrera del cilindro y sirvió también como una pared que absorbe los impactos. Esta trampa comparte el mismo diseño de pernos y soldadura que la trampa de impacto vertical.

3.3.10 *Diseño del arma para impacto horizontal*

En este caso, nos inspiramos en la apariencia de la trampa paddle de Battlebots, la cual debía ser adaptada para la disponibilidad de movimiento que brindaba el cilindro. La carrera de 150 mm debía permitir un desplazamiento angular de 45° con el fin de restringir el problema; este recorrido sería producido por la salida del cilindro a la presión mínima, el cual impactaría al Robot de Batalla produciendo daño. Su ubicación sería acoplado a los límites de la pista, en esa especie de pared naranja previamente mostrada en la trampa de impacto vertical y en el centro de la pista, con el fin de que, al impactar al robot, este fuera llevado hacia las demás trampas. Al elemento encargado de infringir el daño, lo llamamos paddle.

Con respecto a las fuerzas involucradas en el sistema, el cilindro debía ser capaz de generar esta rotación en el cuerpo del paddle, siendo la única fuerza para superar el rozamiento con el suelo. Esta fuerza de rozamiento se medía en función del coeficiente de rozamiento estático y de la fuerza normal del paddle con el suelo.

Ecuación 3-34: Fuerza de rozamiento

$$F = u * N$$

Ecu 3-2

La fuerza normal N está relacionada directamente con el peso del paddle, el coeficiente de fricción de acero con acero tiene un valor de 0,15 por lo tanto, llegamos a que:

$$\text{Fuerza de rozamiento} = 0.15 * \text{Peso del Pádel kg} * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

La fuerza disponible se calculó previamente con el avance y el retroceso del cilindro, por lo que la fuerza de rozamiento debía siempre ser menor a la fuerza del retroceso del cilindro con el fin de que exista movimiento:

$$F \text{ de rozamiento} < \text{Fuerza cilindro}$$

$$0.15 * \text{Masa del Pádel kg} * 9.81 < \text{Fuerza menor del cilindro}$$

$$\text{Peso del Pádel kg} < \frac{144 N}{9.81 * 0.15} < 97.86 kg$$

Debemos lograr que el paddle tenga un peso menor al planteado, además, debe cumplir las restricciones geométricas de la arena.

Iterando en geometrías, se llegó a un modelo con dientes en su frente, soportada con llantas o ruedas locas con el fin de garantizar estabilidad. El paddle fue construido con plancha de 3mm de acero del mercado local con un peso aproximado de 11 kg, menor al máximo posible. Su largo es de 870 cm y su alto de 20 cm.

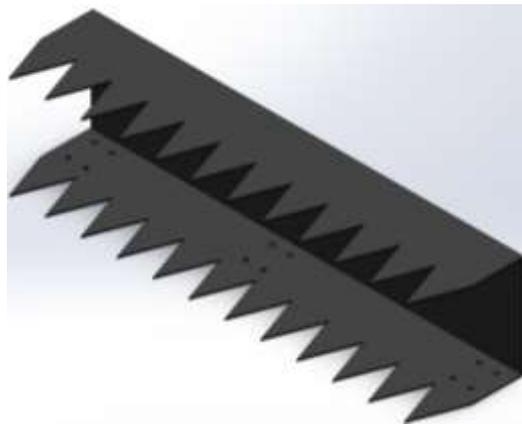


Ilustración 3-34: Diseño final del paddle de la trampa de impacto horizontal

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

El mecanismo de movimiento era básicamente el cilindro en extensión, el cual empuja el paddle y genera el impacto con el robot.

3.3.10.1 Implementación de la trampa de impacto horizontal paddle

Para la misma, se concibió el mecanismo con las siguientes piezas:

- Cilindro neumático
- Una pieza de impresión 3D acoplada al vástago
- Una pieza que sirva de guía, que acompañe el movimiento del vástago y empuje el pádel.
- Bisagra acoplada al arma, que sirva como eje de giro.
- Llantas o ruedas locas en la base del pádel.

Estas piezas se las pudo dibujó y se las puede observar en la siguiente vista superior del ensamble del arma y sus componentes.

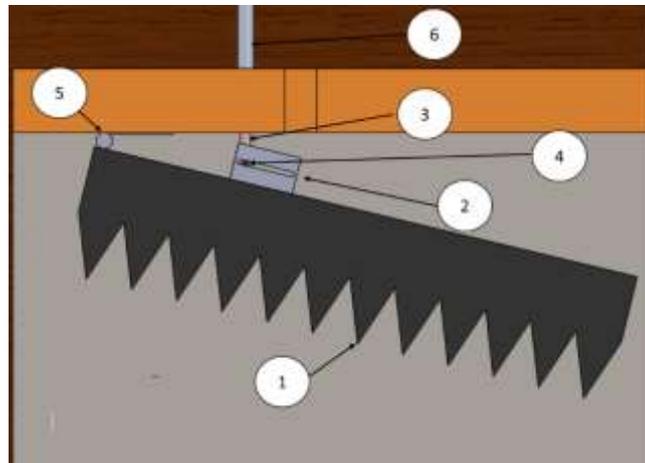


Ilustración 3-35: Vista superior de los componentes del paddle

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Las piezas enumeradas son las siguientes:

- El número uno es el pádel
- Las piezas dos, tres y cuatro corresponden al conjunto de piezas que unen el vástago y el paddle.
- Este conjunto de 3 piezas permite unir y transmitir el movimiento lineal del cilindro al paddle. La siguiente ilustración muestra la posición inicial y final al activarse el cilindro y el detalle de las piezas presentes.

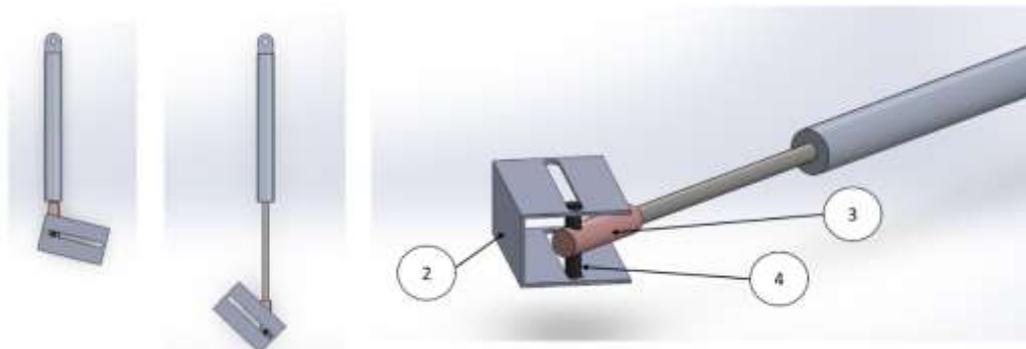


Ilustración 3-36: Conjunto de piezas que unen el paddle al cilindro neumático

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

- La segunda pieza es construida con un tubo 60x40x2 y una perforación en la mitad de este que sirve como guía.
- La tercera pieza es un acople que tiene un orificio en su parte superior, este permite al eje, que es la pieza número 4, recorrer la guía y transmitir el movimiento.
- La quinta corresponde a la bisagra
- La sexta es el cilindro neumático.

El cilindro se ubicó a una distancia de 55 centímetros desde su eje al suelo del laboratorio, se realizó una perforación en las barandas o límites de la arena y de esta manera se permite su movimiento.

En la siguiente ilustración se puede observar el arma ensamblada en su totalidad, el pádel se lo ubicó en la mitad de la pista y la bisagra en su extremo. Se utilizaron un total de seis ruedas locas en el pádel con el fin de otorgarle estabilidad y movilidad, identificado con el número siete. En su parte posterior, se soldó la pieza que sirve como guía y que ayuda a transmitir el movimiento del cilindro. Su posición final se lleva a cabo con el cilindro en su máxima carrera. La idea general podemos verla en el siguiente ensamble.

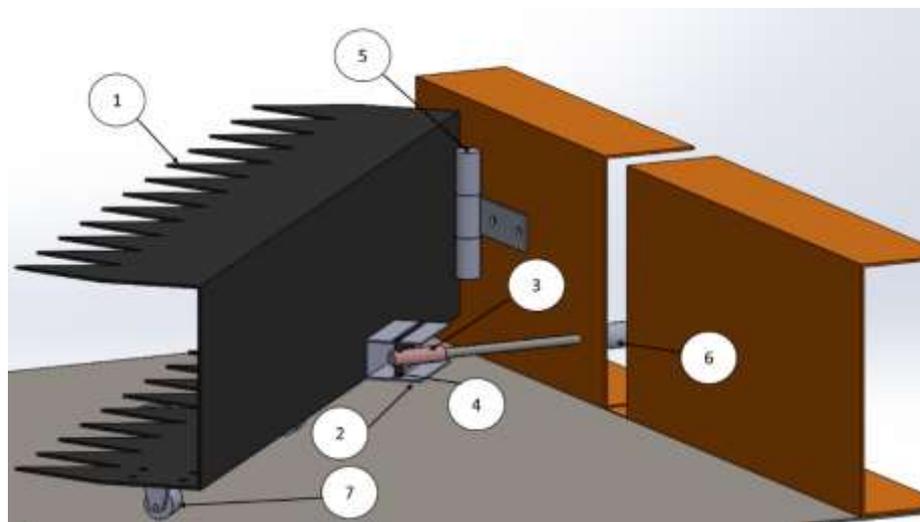


Ilustración 3-37: Ensamble completo del arma paddle

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Podemos observar las ruedas en la parte inferior, la ubicación de las piezas y la zona a perforar en los límites de la arena. El corte vertical de la imagen es simplemente para mostrar la ubicación del cilindro, identificado con el número seis en la ilustración previa.

Es importante aclarar que su posición inicial ya tenía un ángulo debido a que el cilindro debía conectarse al paddle en su posición de inicio, es decir, con el vástago extendido 42 milímetros.

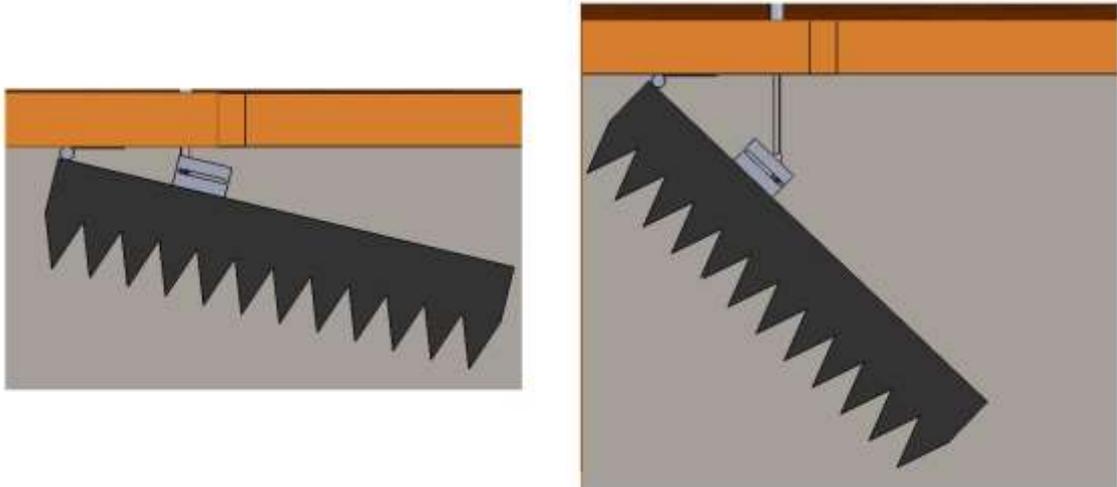


Ilustración 3-38: Posición inicial y final del arma paddle

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

3.4 Automatización del Sistema

3.4.1 Características del sistema a controlar

Este sistema, activa y desactiva con un botón de inicio y otro de STOP respectivamente, tiene un mecanismo de paro de emergencia para garantizar la seguridad operacional en todo momento. El sistema ha sido desarrollado utilizando la programación Ladder, un lenguaje de programación gráfico que es ampliamente reconocido y utilizado en la industria de la automatización para la programación de Controladores Lógicos Programables (PLC).

El sistema en cuestión consta de cinco cilindros neumáticos que se activan en tres secuencias distintas, proporcionando así el accionamiento inesperado de los obstáculos para los robots en la arena de combate. Cada trampa ha sido diseñada para operar de manera autónoma, con solo una trampa utilizando simultáneamente un cilindro y un motor. Este diseño permite un control preciso y eficiente de cada trampa, maximizando la efectividad del sistema. Además, la programación Ladder facilita la modificación y expansión del sistema, permitiendo su adaptación a nuevas configuraciones de la arena o a cambios en las reglas de la competencia.

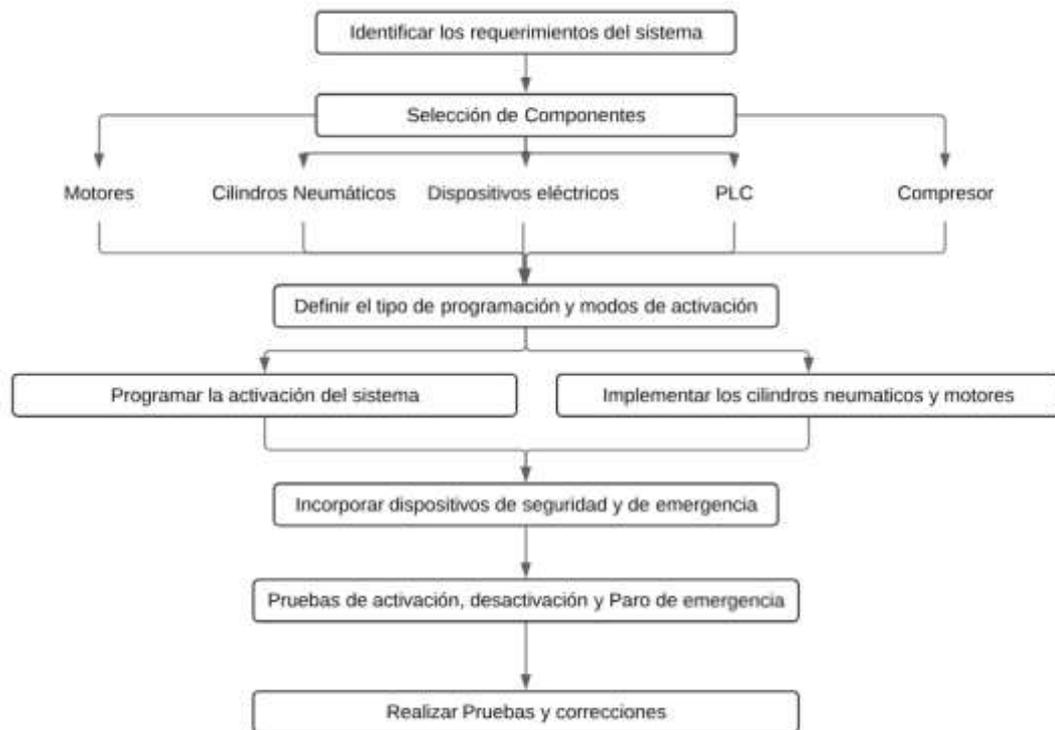


Ilustración 3-39: Diagrama de procesos para la automatización

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

3.4.2 PLC Siemens S7-1500

La elección del PLC Siemens S7-1500 se basa en su posición destacada en el ámbito de la automatización industrial y sus características avanzadas que se alinean con los requisitos específicos del proyecto BattleBots. En primer lugar, el PLC S7-1500 ofrece un rendimiento excepcional en términos de velocidad de procesamiento y capacidad de cálculo. Esta capacidad es esencial para el control preciso y rápido de los actuadores, motores y otros dispositivos en la arena de BattleBots, donde la agilidad y la respuesta inmediata son críticas.

Además, la arquitectura modular del S7-1500 permite una escalabilidad eficiente, lo que facilita la expansión del sistema en el futuro sin comprometer su estabilidad. Esta característica es

esencial en un proyecto con visión a futuro, donde la capacidad de adaptación y la incorporación de nuevas funcionalidades son consideraciones clave.

La capacidad de integración con software de programación avanzado, como TIA Portal, proporciona una interfaz eficiente para la programación y el monitoreo del sistema, lo que facilita el desarrollo y la depuración del código.



Ilustración 3-40: PLC Siemens S7-1500

Fuente: Siemens., 2019

3.5 Selección de Actuadores

3.5.1 Relé Camsco MY2

El relé Camsco MY2 se utilizó para realizar la conversión de señal de 24V proveniente del PLC (Controlador Lógico Programable) a 110V que es el voltaje a lo que trabajan las electroválvulas seleccionadas anteriormente, se optó por este relé por su capacidad de operar eficientemente en sistemas de control industrial. Tiene un diseño compacto y confiable lo que lo convierte en una opción ideal para la conversión de señales de baja tensión a una más alta como la que se requiere en esta aplicación. Este relé tiene una capacidad de conmutación confiable y duradera. La arena de BattleBots, al ser un entorno de combate, demanda componentes que puedan soportar ciclos de operación intensivos. El relé Camsco MY2 cumple con estos requisitos, asegurando una transición segura y estable entre las señales.

Además, la facilidad de instalación y la compatibilidad con el sistema eléctrico general del proyecto juegan un papel crucial en la elección de este relé y por último Su capacidad para integrarse sin complicaciones en el sistema eléctrico.



Ilustración 3-41: Relé MY2

Fuente: Camsco, 2020

3.5.2 *Relé Camsco MK3P-I*

El rele CAMSCO MK3P-I es un dispositivo de conmutación electromagnética de alta resistencia diseñado para propósitos de potencia generales. Este relevador encapsulado tiene 8 pines y puede manejar hasta 10A. Sus dimensiones externas son L34.7 x W34.7 x H52 (mm). El MK3P-I tiene una forma de contacto 3A3B, lo que significa que cuando se energiza, acciona 3 terminales que pasan de su posición normalmente cerrada (NC) a normalmente abierta (NA). Puede trabajar con voltajes de bobina de DC 6, 12, 24, 48, 60, 110V o AC 6, 12, 24, 36, 48, 110, 127, 220, 380V. Su resistencia de aislamiento es de $\geq 500\text{m}\Omega$ y su resistencia de contacto es de $\leq 50\text{m}\Omega$. La fuerza dieléctrica es de 1500V AC 50/60Hz. Su vida útil mecánica es de 10,000,000 ciclos y eléctrica de 100,000 ciclos.



Ilustración 3-42: Relé MK3P-I

Fuente: Camsco, 2020

3.5.3 *Porta Fusible Camsco RT18-32A*

La elección del fusible base RT18-32A se basa en su idoneidad para la protección del sistema eléctrico. Su capacidad de 32 amperios, combinada con su diseño confiable, lo hace adecuado para salvaguardar el sistema contra sobrecargas y cortocircuitos. La facilidad de instalación y su compatibilidad con el entorno eléctrico del proyecto BattleBots respaldan su elección, asegurando una protección efectiva y eficiente en condiciones de combate.



Ilustración 3-43: Porta Fusible

Fuente: Camsco, 2020

3.5.4 *Mini Disyuntor Camsco C60K-63*

Un mini disyuntor, también conocido como MCB (disyuntor en miniatura), es un pequeño dispositivo electromecánico que se utiliza principalmente para proteger circuitos contra fallas por sobre corriente y garantizar la seguridad eléctrica en residencias, oficinas y sitios industriales.

La principal función de un mini disyuntor es aportar seguridad y protección a personas y a los equipos eléctricos cuando la potencia excede lo establecido. Detecta una anomalía en el sistema eléctrico, ya sea una temperatura anormalmente alta, un desequilibrio de la corriente o un cortocircuito. Si se produce alguna de estas situaciones, se dispara. Esto abre el circuito, cortando así el flujo de electricidad.



Ilustración 3-44 : Mini disyuntor C60K-63

Fuente: Camsco, 2022

3.5.5 *Desarrollo del Software de Control*

Para el desarrollo del software de control, como se mencionó anteriormente, se optó por utilizar el lenguaje de programación Ladder. Este lenguaje es bastante comprensible y nos permitió realizar una programación a través de 15 memorias para la activación y desactivación secuencial de cada electroválvula, lo que controla el movimiento del cilindro neumático. Como es habitual en las programaciones, comenzamos con la programación de los botones e indicadores de inicio, paro y paro de emergencia.

3.5.6 *Diagramas de conexión*

En el sistema, se utiliza un Controlador Lógico Programable (PLC) Siemens s7-1500, que se alimenta con una tensión de entrada de 110v de corriente alterna (AC). Este PLC tiene la capacidad de transformar la corriente alterna en corriente continua (DC) de 24v, que se utiliza para alimentar los componentes del sistema, incluyendo los indicadores y los relés.

En cuanto a las conexiones de los botones de control, se han establecido de la siguiente manera:

El botón START está conectado a la entrada I1.0 del PLC. Cuando se presiona este botón, se envía una señal a esta entrada, lo que inicia el funcionamiento del sistema.

El botón STOP está conectado a la entrada I1.1. Al presionar este botón, se envía una señal a esta entrada, lo que detiene el funcionamiento normal del sistema.

Finalmente, el botón EMERGENCY STOP está conectado a la entrada I1.2. Este botón se utiliza para detener inmediatamente todas las operaciones del sistema en caso de una situación de emergencia.

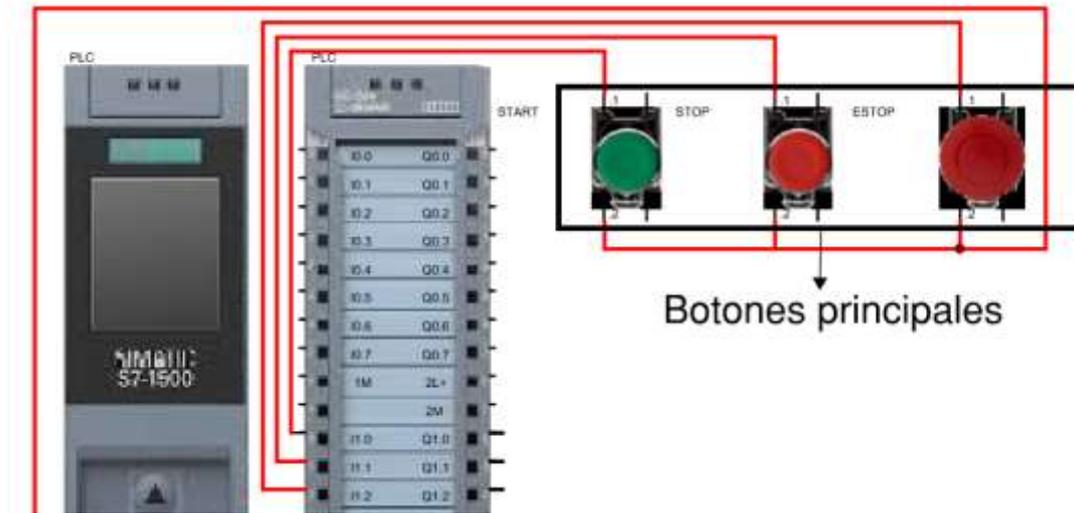


Ilustración 3-45: Conexión botones principales

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Las electroválvulas en este sistema operan a 110V. Dado que el Controlador Lógico Programable (PLC) proporciona una señal de 24V, fue necesario implementar relés para transformar esta señal de 24V a 110V. Esta transformación es esencial para el funcionamiento del motor de la KILLSAW y de las cinco electroválvulas.

Las electroválvulas están conectadas a las salidas Q1.1, Q1.2, Q1.3, Q1.4 y Q1.5 del PLC. Estas conexiones permiten al PLC controlar la activación y desactivación de las electroválvulas, lo que a su vez controla el funcionamiento de las trampas del sistema de Battlebots.

El motor de la KILLSAW está conectado a la salida Q1.0 del PLC. Esta conexión permite al PLC controlar el funcionamiento del motor, que es fundamental para el funcionamiento de la KILLSAW.

Finalmente, los indicadores del sistema están conectados a las salidas Q1.6 y Q1.7 del PLC. Estos indicadores proporcionan una retroalimentación visual del estado del sistema, lo que puede ser útil para el diagnóstico de problemas y la monitorización del funcionamiento del sistema (En el diagrama de conexiones se representó a los relés con una bobina y un contacto NA Y NO).

Electrovalvulas y relés

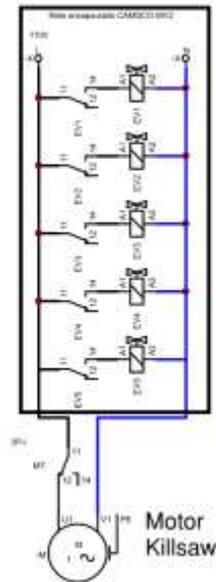


Ilustración 3-46: Representación relés, electroválvulas y motor

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

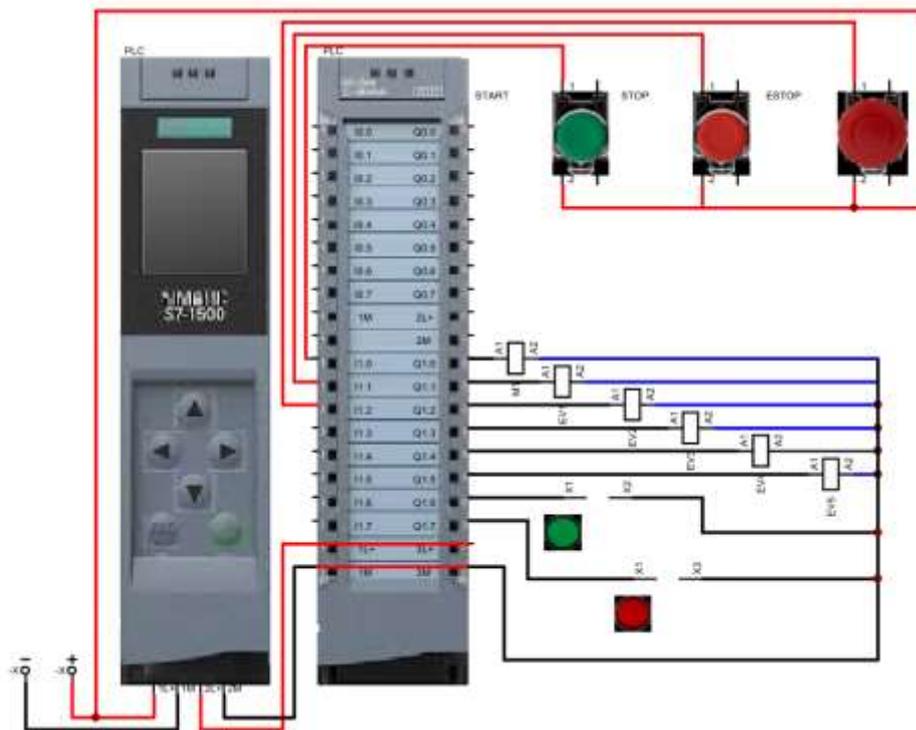


Ilustración 3-47: Conexión general principal (botones, indicadores, bobinas, alimentación, puentes)

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

3.5.7 Desarrollo del Código

En la fase inicial de desarrollo de la programación, se implementaron tres botones de control: START, STOP y EMERGENCY STOP. Estos botones son fundamentales para el control operativo del sistema.

El botón START se utiliza para iniciar el sistema, mientras que el botón STOP se utiliza para detener el funcionamiento normal del sistema. El botón EMERGENCY STOP se utiliza para detener inmediatamente todas las operaciones del sistema en caso de una situación de emergencia.

Además, se incorporaron dos indicadores de estado: un indicador verde y un indicador rojo. El indicador verde se ilumina cuando el sistema está en funcionamiento, proporcionando una confirmación visual de que el sistema está activo. Por otro lado, el indicador rojo se ilumina cuando se acciona el botón EMERGENCY STOP, señalando que el sistema ha entrado en un estado de parada de emergencia.

Para garantizar la seguridad y la correcta secuencia de operaciones, se implementaron enclavamientos en los botones e indicadores donde fuera necesario. Los enclavamientos son dispositivos de seguridad que impiden la activación de ciertas funciones a menos que se cumplan determinadas condiciones. Por ejemplo, el botón START puede estar enclavado para que no pueda activarse a menos que el sistema esté en un estado seguro para iniciar las operaciones.

En resumen, la programación inicial del sistema implicó la implementación de botones de control, indicadores de estado y enclavamientos para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente del sistema.

Para el desarrollo inicial de la programación se utilizaron 3 botones los cuales son START STOP EMERGENCY STOP también se incorporaron indicadores verde el cual se ilumina en el momento que el sistema este en funcionamiento y el indicador rojo se iluminara al momento que se accione el emergency stop, se incorporaron enclavamientos en los botones e indicadores donde sea necesario dependiendo el caso

El desarrollo del código para este sistema se basa en la implementación de tres secuencias de activación y desactivación de las electroválvulas. Las electroválvulas son dispositivos que

controlan el flujo de fluido, y en este caso, se utilizan para controlar la activación de las trampas en un sistema de Battlebots.

Las tres secuencias son las siguientes:

Secuencia 1: 1,2,3,4,5

Secuencia 2: 3,1,4,5,2

Secuencia 3: 4,1,3,2,5

Cada número en la secuencia representa una electroválvula específica. Cuando se activa una electroválvula, se inicia un temporizador que controla la activación de la siguiente electroválvula en la secuencia. Cuando este temporizador se activa, la electroválvula anterior se desactiva.

Este proceso de activación y desactivación se repite 15 veces para cada secuencia, lo que resulta en un total de 45 ciclos de activación y desactivación. Una vez que se han completado los 45 ciclos, el sistema vuelve a empezar desde la primera secuencia y continúa de manera indefinida hasta que se presiona un botón de paro.

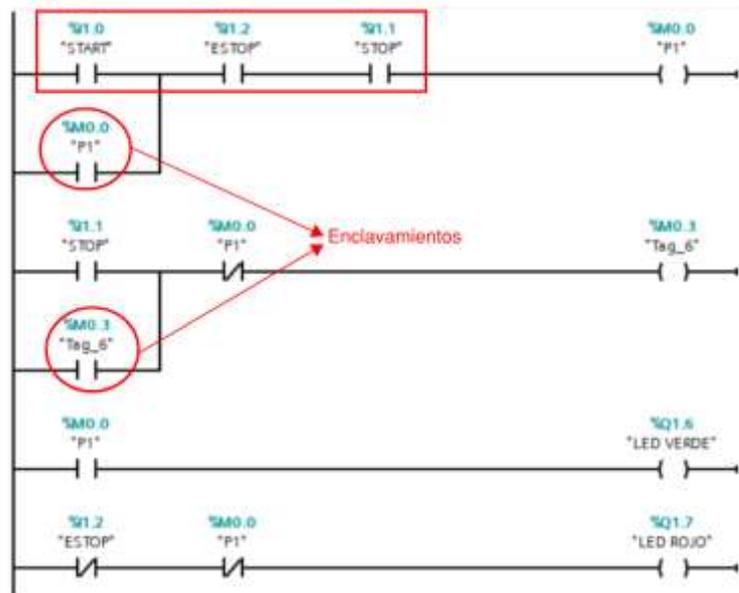


Ilustración 3-48: Programación principal

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

3.5.8 Programación de activación de las trampas

Para la activación secuencial de las trampas de manera aleatoria se ha utilizado temporizadores (TON) la cual consiste en 3 secuencias de activación con un orden de activación de las electroválvulas para el accionamiento al azar, para la activación se usaron memorias en paralelo de cada arma.

Para la programación del sistema de trampas para Battlebots, se ha implementado un mecanismo de activación secuencial de las trampas utilizando temporizadores a la conexión (TON). Este mecanismo permite que las trampas se activen de manera aleatoria, añadiendo un elemento de imprevisibilidad al combate.

El proceso consta de tres secuencias de activación, cada una de las cuales controla el orden de activación de las electroválvulas las cuales permiten que las trampas se disparen en secuencias impredecibles. Para gestionar la activación de las trampas, se utilizan memorias en paralelo para cada arma. Estas memorias almacenan el estado de cada arma (activada o desactivada) y se actualizan cada vez que se activa una secuencia de activación. Al utilizar memorias en paralelo, el sistema puede rastrear y controlar el estado de múltiples trampas simultáneamente, lo que permite una mayor complejidad y variabilidad en las secuencias de ataque del Battlebots.

En resumen, este sistema de activación secuencial y aleatoria de trampas, basado en temporizadores los cuales se activarán y desactivaran cada 3 segundos también se implementaron memorias en paralelo este conjunto de componentes permite un combate de battlebots dinámico y tácticamente complejo.

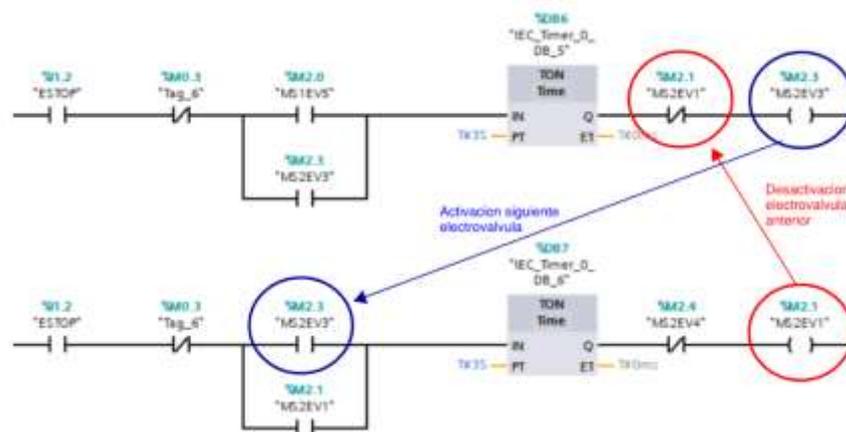


Ilustración 3-49: Programación activación y desactivación de las electroválvulas

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

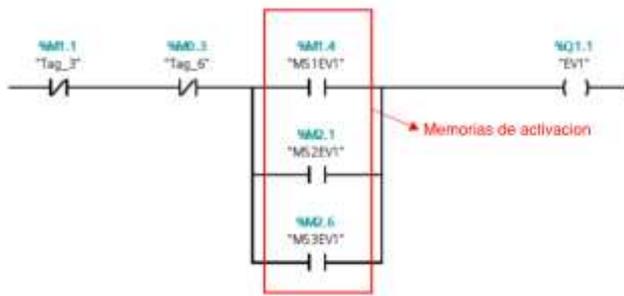


Ilustración 3-50: Memorias de activación

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

3.5.9 Diagramas de espacio Fase

Los Diagramas de Espacio Fase en programación son una representación gráfica que ilustra el ciclo de funcionamiento de un actuador en función de las fases. Cuando existen varios actuadores que ordenar para un mando, estos se representan de la misma manera y se dibujan uno bajo el otro. Este tipo de diagrama tiene tantas bandas horizontales como actuadores intervengan en el ciclo. Estos diagramas son esenciales para entender y visualizar la secuencia y el estado de los elementos en un sistema de programación en este caso consta de las siguientes secuencias con sus respectivos gráficos.

Secuencia 1: 1,2,3,4,5

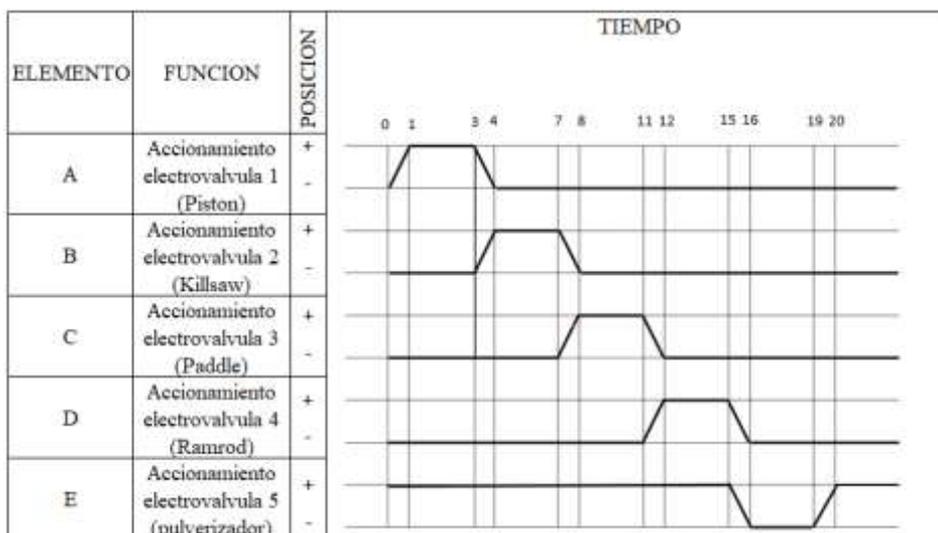


Ilustración 3-51: Diagrama de espacio-fase secuencia 1

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Secuencia 2: 3,1,4,5,2

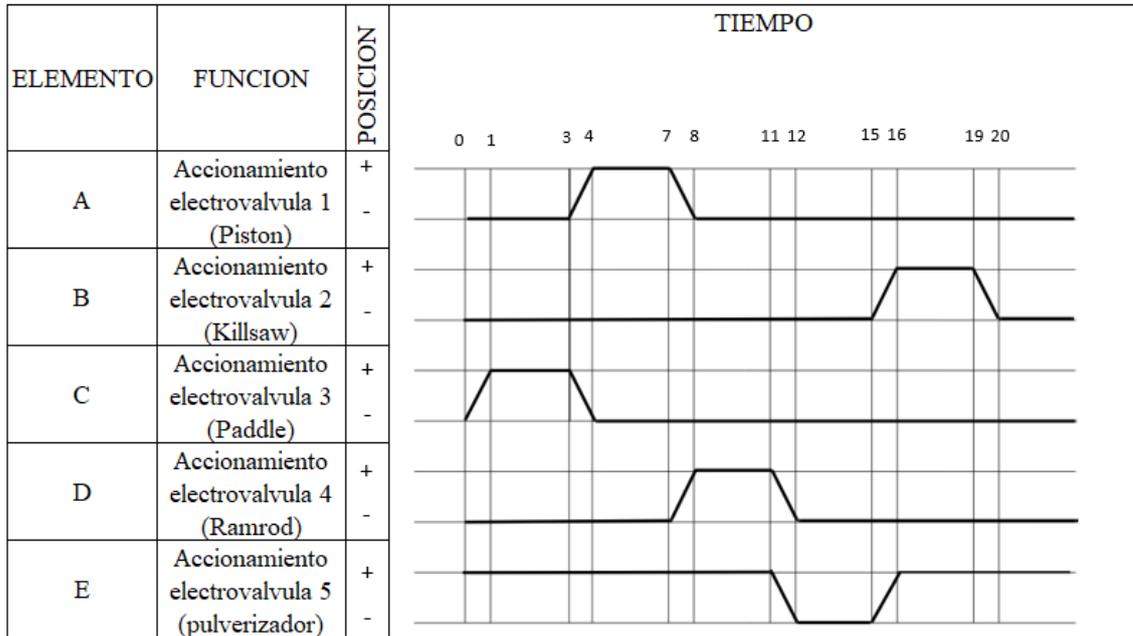


Ilustración 3-52 Diagrama de espacio-fase secuencia 2

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Secuencia 3: 4,1,3,2,5

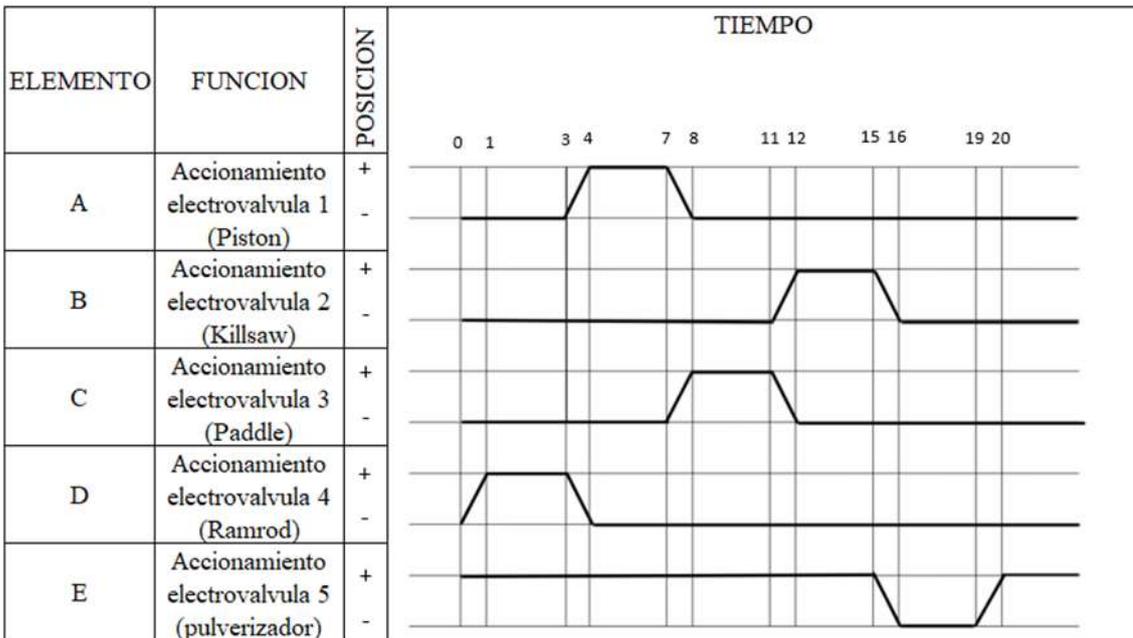


Ilustración 3-53 Diagrama de espacio-fase secuencia 3

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSION

Las trampas fueron ubicadas en función de sus características. Como se comentó, la trampa de impacto vertical se la construyó en los límites de la arena y la de impacto horizontal se acopló al perfil que marca el contorno de la arena. Las trampas de perforación, corte y volcamiento y choque se las montó debajo del suelo de la arena, perforando planchas nuevas del mismo material que las originales, como se muestra a continuación.



Ilustración 4-1: Corte de planchas de madera para ingreso de las trampas

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Cada trampa cuenta con sus respectivas electroválvulas, mangueras y racores. En el análisis del funcionamiento del sistema, se destaca que las trampas exhiben un comportamiento en línea con las expectativas establecidas. Las activaciones se llevan a cabo de manera precisa, reflejando una sincronización efectiva entre las instrucciones del PLC y la ejecución de las trampas. Es crucial subrayar que la capacidad del PLC para controlar las trampas es eficaz, demostrando un desempeño acorde con los parámetros predefinidos.

En cuanto al rendimiento de las trampas neumáticas, se observa una respuesta ágil y oportuna por parte de dichos dispositivos. La velocidad de reacción de las trampas es consistente con las

expectativas de diseño, señalando un funcionamiento óptimo. No se evidencian contratiempos relacionados con la presión del aire, lo que respalda la robustez y la estabilidad del sistema neumático implementado.

Una vez ensambladas, cada trampa se evaluó de manera independiente, donde se realizaron ciertos ajustes, como los siguientes:

La trampa de impacto vertical mostraba en su pulverizador un ligero desplazamiento lateral en su parte media, por lo que se decidió acoplarle en su estructura una corredera unida a la estructura metálica de la trampa. Esta pieza se la soldó a la estructura base de la arena y después de pruebas se validó su funcionamiento.

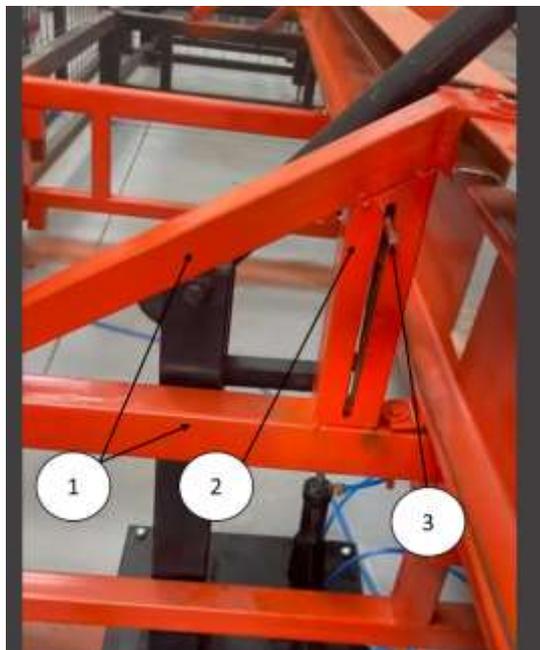


Ilustración 4-2: Aspecto final del arma pulverizador

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Podemos observar que la pieza en cuestión para garantizar la carrera vertical tiene la etiqueta con el número 2, el eje con el número 3 y la estructura metálica de la arena con el número 1. Se ve que la pieza está pintada con el mismo color que la estructura original.

Al igual que con las demás, la zona de ataque tiene pintura de color amarillo, lo cual sirve de referencia para los robots de batalla.



Ilustración 4-3: Zona de ataque del pulverizador

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Se puede observar también el corte que se realizó en la arena con el fin de que pueda desplazarse e ingresar el martillo a su zona de ataque.

El arma para perforación tiene el siguiente aspecto final, no fueron necesarios otros ajustes a los previamente mostrados en su diseño e implementación, simplemente se pintó la plancha donde está ubicada.



Ilustración 4-4: Arma de perforación, aspecto final

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

La plancha contiene el tubo que sirve de carrera para garantizar que el arma no pierda alineación vertical en su desplazamiento.

El arma para elevación y choque tiene un diseño similar al anterior, podemos observar que también tiene las señal de peligro y de su zona de ataque. Así mismo, no fueron necesarias mas modificaciones a las previamente señaladas en su diseño e implementación,



Ilustración 4-5: Arma de elevación y choque

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

En el caso de la sierra, esta cumple su función a cabalidad, se eleva y activa al mismo tiempo. También tiene señalada su zona de ataque.



Ilustración 4-6: Arma de sierra y su aspecto final

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

En la imagen se puede visualizar el diseño de la zona de ataque y el funcionamiento de la misma, la sierra se levanta y se activa al momento de recibir la señal.

El paddle es construido tal y como se comenta en su implementación. Todas sus piezas pueden visualizarse a continuación.



Ilustración 4-7: Arma paddle y su aspecto final

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Se puede ver que se incluyeron ciertas ilustraciones en su diseño final, también se puede ver su conexión, bisagra y las demás piezas que se explicaron anteriormente.

Ahora, una vez realizadas las correcciones que se pudieron observar del sistema, llegó el momento de evaluar el sistema en conjunto mediante pruebas y evaluar si se cumplen con los objetivos planteados.

Se utilizaron distintos objetos de prueba para evaluar el sistema de trampas. Estos fueron sometidos a cada una de las trampas del sistema, permitiendo observar su desempeño en diversas situaciones. A partir de estas observaciones, se evaluó el sistema utilizando una serie de parámetros cualitativos, los cuales proporcionaron métricas para medir el cumplimiento y la efectividad de cada trampa.

Tabla 4-1: Resultados de las pruebas realizadas

Pruebas y Resultados									
Proyecto: DISEÑO, AUTOMATIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS TRAMPAS PARA UNA ARENA DE BATALLA DE ROBOTS									
puntaje de 1 - 4 segun nivel de cumplimiento, 1 = insatisfactorio, 2 = casi aceptable, 3 = suficiente, 4 = bien y 5 = muy bien.									
Trampa	Función	Daño	Resistencia	Velocidad de activación	Desmontabilidad	Apariencia	Costo	% Cumplimiento	
Impacto Vertical		5	5	4	4	4	5	4	89%
Impacto Horizontal		5	3	3	4	3	5	4	77%
Perforación		5	4	4	4	5	5	4	89%
Corte		5	5	3	4	4	5	4	86%
Volcamiento y Choque		5	4	4	4	5	3	5	86%

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

Discusión:

Con relación a la interpretación de los resultados, se observa que todas las trampas cumplían la función propuesta en base a las exigencias del cliente y se mostraron resistentes mientras interactuaban con el objeto sin mostrar desgaste en su estructura.

Sin embargo, no todas infringían el daño esperado a cabalidad. Esto podía tener su razón en que todas tenían un mismo actuador, lo cual afectó el desempeño final, ya que restringía el efecto de cada trampa a la capacidad máxima del cilindro en velocidad y fuerza. Por lo mismo, en trampas donde se hubiese procurado una mayor fuerza como la trampa para impacto horizontal, sería interesante en un futuro acoplarle un actuador con mayor potencia, más robusto y capaz de brindar mayor fuerza y así generar mayor daño. Todas mostraban la característica de ser desmontables, pero el paddle por el tema de su configuración resulta un poco más demoroso para poder ser desactivado o retirado. Al hablar de apariencia, sin duda la trampa de volcamiento y choque mostraba un diseño muy simple, lo cual brinda un espacio de mejora futura para el sistema, quizás con la incorporación de una trampa más grande. Al hablar de costos, todas tuvieron una inversión similar.

El funcionamiento del sistema, respaldado por la coordinación eficiente entre el PLC y las trampas neumáticas, demuestra estar en consonancia con las expectativas preestablecidas. La ejecución precisa de las activaciones de las trampas en función a la programación esperada brinda resultados aceptables. Sin embargo, en lo que respecta a mejoras futuras, basándonos en los resultados obtenidos, pese a que la activación y desactivación de las trampas se realiza sin problema, se sugiere considerar la integración de sensores adicionales para optimizar la detección y respuesta ante situaciones variables.

Se identificó la necesidad de un nuevo sistema de compresión y almacenamiento de aire para futuras expansiones, esto es un hallazgo importante que puede guiar la planificación y el desarrollo futuros de las competencias de Robots de Batalla.

4.1 Costos

A continuación, se muestran los costos asociados del proyecto.

Tabla 4-2: Resumen de costos

Trampa para Impacto Vertical			
ITEM	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Cilindro Neumático	1	\$50.00	\$50.00
Estructura Metálica	1	\$55.00	\$55.00
Rueda de TPU	1	\$15.00	\$15.00
Electroválvula 110 V	1	\$30.00	\$30.00
Racor Regulador 6X1/8	1	\$7.50	\$7.50
Racor 6X1/8	1	\$2.50	\$2.50
Racor 6X1/4	2	\$2.50	\$5.00
Pulverizador	1	\$45.00	\$45.00
			\$210.00

Trampa para Impacto Horizontal			
ITEM	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Cilindro Neumático	1	\$50.00	\$50.00
Electroválvula 110 V	1	\$30.00	\$30.00
Racor Regulador 6X1/8	1	\$7.50	\$7.50
Racor 6X1/8	1	\$2.50	\$2.50
Racor 6X1/4	2	\$2.50	\$5.00
Estructura Metálica	1	\$35.00	\$35.00
Paddle	1	\$50.00	\$50.00
Garruchas	1	\$12.00	\$12.00
			\$192.00

Trampa de Perforación			
ITEM	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Cilindro Neumático	1	\$50.00	\$50.00
Electroválvula 110 V	1	\$30.00	\$30.00
Racor Regulador 6X1/8	1	\$7.50	\$7.50
Racor 6X1/8	1	\$2.50	\$2.50
Racor 6X1/4	2	\$2.50	\$5.00
Estructura Metálica	1	\$35.00	\$35.00
Ramrod	1	\$20.00	\$20.00
			\$150.00

Trampa para Corte			
ITEM	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Cilindro Neumatico	1	\$50.00	\$50.00
Sistema de Corte	1	\$50.00	\$50.00
Estructura Metálica	1	\$60.00	\$60.00
Disco de Corte	1	\$5.00	\$5.00
Electroválvula 110 V	1	\$30.00	\$30.00
Racor Regulador 6X1/8	1	\$7.50	\$7.50
Racor 6X1/8	1	\$2.50	\$2.50
Racor 6X1/4	2	\$2.50	\$5.00
			\$210.00

Trampa para Volcamiento y Choque			
ITEM	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Cilindro Neumático	1	\$50.00	\$50.00
Electroválvula 110 V	1	\$30.00	\$30.00
Racor Regulador 6X1/8	1	\$7.50	\$7.50
Racor 6X1/8	1	\$2.50	\$2.50
Racor 6X1/4	2	\$2.50	\$5.00
Estructura Metálica	1	\$35.00	\$35.00
Pistón	1	\$35.00	\$35.00
			\$165.00

Generales			
Arreglo del Compresor	1	\$100.00	\$100.00
Manguera de 6mm (metro)	45	\$1.50	\$67.50
Cableado (metro)	90	\$0.75	\$67.50
Filtro Regulador	1	\$25.00	\$25.00
Tuercas, pernos y arandelas	1	\$50.00	\$50.00
Brocas de metal y cemento	1	\$25.00	\$25.00
Guantes, paños y trapos	1	\$20.00	\$20.00
Racores (Filtro Regulador)	2	\$2.50	\$5.00
Pintura	1	\$20.00	\$20.00
Alquiler herramientas	1	\$50.00	\$50.00
Mano de obra	1	\$250.00	\$250.00
Imprevistos	1	\$50.00	\$50.00
Tablero de Control	1	\$150.00	\$150.00
			\$880.00
COSTO TOTAL			\$1,807.00

Fuente: Guerra P., Luna H., 2024

Realizado por: Guerra P., Luna H., 2024

CONCLUSIONES

Específicamente, las conclusiones del trabajo fueron las siguientes:

- Se logró diseñar, implementar y automatizar un sistema de cinco trampas para la arena de batalla de robots que cumple a cabalidad las exigencias del cliente.
- La aplicación de la norma VDI 2221 proporcionó una guía de diseño valiosa basada en los requerimientos del cliente. Esta metodología fue especialmente útil dado que no contábamos con fuentes de información extensa sobre el tema, lo cual dificultaba el proceso de diseño. La norma facilita el desarrollo de diseños en áreas con información limitada, permitiendo empezar el diseño directamente a partir de los requisitos del club de robotica.
- Se consiguió que el sistema sea desmontable, gracias a que todas las trampas se encuentran acopladas al suelo del laboratorio con uniones no permanentes. Además, el plantear usar en todas las trampas un mismo material para su estructura metálica nos ahorró costos, tiempo y permitió mantener una estética equilibrada en toda la arena, esto debido a que se usaron los mismos materiales con los cuales fue construida inicialmente.
- Si bien se realizaron ciertas alteraciones en la apariencia original de la arena, esta no sufrió grandes cambios y se mantuvo prácticamente igual a como se la encontró.

- Gracias al diseño y concepción de las trampas, estas pueden ser fácilmente retiradas o escondidas cuando no se requieran. Las planchas originales se mantienen almacenadas para restaurar la arena a su estado original si es necesario. Esto es especialmente relevante para las trampas de perforación y de levantamiento y choque, ya que están integradas dentro de la arena y cuentan con planchas perforadas en su estructura. Al haber sido fabricadas con el mismo material que las originales, pueden ser retiradas y sustituidas por las planchas originales sin problemas.
- La concepción de la trampa de impacto vertical fue fundamental para la selección del actuador neumático. Su funcionamiento, basado en depender únicamente del actuador para levantar el pulverizador y caer por gravedad, nos permitió escoger un cilindro con pocos parámetros. Esto simplificó significativamente el diseño de todo el sistema de trampas, ya que el mismo actuador se utilizó en las demás trampas.
- Plantear la idea de utilizar el mismo actuador en todas las trampas facilitó significativamente el diseño y la selección de los componentes de cada trampa del sistema. Esto se debió a que partimos de datos iniciales, como la carrera disponible y la fuerza del cilindro, y ajustamos nuestros diseños a esos valores.
- El uso de actuadores neumáticos fue una decisión acertada, ya que garantizan velocidad y fuerza en su desempeño. Esto confirma por qué son utilizados en los mecanismos de las batallas del programa de Battlebots.
- El uso de una amoladora en la trampa de corte permitió encontrar una solución sencilla para un problema que inicialmente parecía complicado. Se logró obtener una trampa que cumple plenamente con las exigencias del cliente, utilizando actuadores neumáticos y eléctricos.
- La elección del lenguaje Ladder fue fundamental para el desarrollo de la programación en este sistema debido a su simplicidad, secuencialidad y elementos gráficos son apropiadas para el contexto en el que se utilizara este sistema, los estudiantes o docentes que requieran hacer uso del sistema no necesariamente deben tener una formación técnica avanzada en programación.
- El acertado uso del PLC Siemens S7-1500 se debe a su robustez y confiabilidad al activar y desactivar las trampas con precisión. Además, su capacidad para manejar amperajes altos resulta fundamental para el sistema de corte. En situaciones donde la seguridad y la precisión son críticas, este PLC demuestra ser una elección acertada.
- El sistema de compresión y almacenamiento de aire ha sido seleccionado de manera óptima y suficiente para su propósito. Cada actuador neumático se activará aproximadamente 4 veces por minuto, y el tiempo de descarga del almacenamiento de

aire durante el funcionamiento es de aproximadamente 10 minutos. Esta configuración garantiza un rendimiento eficiente y una disponibilidad adecuada de aire comprimido para las necesidades del sistema.

RECOMENDACIONES

- Asegurarse que no se encuentre ninguna persona al interior de la arena al momento de activar el sistema debido a que puede causar lesiones graves o cortes.
- Verificar que la presión tanto del compresor como del filtro regulador sea superior a 90 psi, la activación a presiones inferiores podrá causar daños a los cilindros neumáticos.
- Verificar al momento de iniciar el sistema se encuentre conectado y prendidos los componentes de la sierra debido a que por temas de seguridad se optó por implementar conectores e interruptores individuales para esta trampa.
- En caso que se requiera mejorar en el sistema actual debido a que se trata de un sistema neumático se necesitara implementar un compresor con mejores características.
- Se sugiere considerar la posibilidad de acoplar actuadores con mayor potencia en ciertas trampas para aumentar su efectividad, especialmente en aquellas donde se requiera una mayor fuerza, como la trampa para impacto horizontal.
- La integración de sensores adicionales podría optimizar la detección y respuesta ante situaciones variables, mejorando la eficiencia y precisión del sistema dependiendo cada tipo de trampa se incorporarían sensores de prescénica, infrarojos, fotoeléctricos, ultrasónicos, proximidad capacitivos, etc.
- En un futuro sería interesante implementar un mayor número de trampas y un sistema de seguridad para de esa manera mejorar el sistema.

GLOSARIO

- **Batalla de Robots:** Competencia de robots de combate donde los participantes construyen y operan sus propios robots para luchar en un escenario o arena.
- **Trampas:** Obstáculos o dispositivos desafiantes que se incorporan en la arena de Robots de Batalla para aumentar la dificultad de las competencias.
- **Automatización:** Proceso de hacer que un sistema o proceso funcione automáticamente, en este caso, las trampas en la arena de BattleBots.
- **Motores y Cilindros Neumáticos:** Componentes utilizados en la construcción de las trampas. Los motores proporcionan la energía necesaria para mover las trampas, mientras que los cilindros neumáticos utilizan aire comprimido para crear un movimiento mecánico.
- **STEM:** Acrónimo en inglés para Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas. Es un término utilizado para referirse a estos campos de estudio y a las carreras relacionadas con ellos.
- **Compresor:** Máquina que aumenta la presión de un gas. En este caso, se utiliza para proporcionar el aire comprimido necesario para los cilindros neumáticos.
- **Almacenamiento de Aire:** Sistema utilizado para guardar el aire comprimido producido por el compresor hasta que se necesite para operar las trampas.
- **Sincronización:** Proceso de coordinación de eventos para operar a la misma velocidad. En el contexto de esta tesis, se refiere a cómo los obstáculos se mueven en sincronía con los robots.
- **Desafío:** Un problema difícil que estimula el esfuerzo para ser resuelto. En este caso, se refiere a los obstáculos y trampas que los robots deben superar.
- **Innovación:** La introducción de nuevas ideas o métodos. En el contexto de esta tesis, se refiere a la forma innovadora en que se han incorporado obstáculos y trampas en las competencias de BattleBots.
- **Sistema de control con PLC:** Sistema que utiliza un Controlador Lógico Programable (PLC) para automatizar procesos industriales.
- **Controladores neumáticos:** Dispositivos que controlan la presión y el flujo de aire en un sistema neumático.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AIRTAC.** Serie 4M Válvula (5/2). *AIRTAC* [en línea]. 2024 [consultado el 16 de diciembre de 2023]. Disponible en: [https://sa-es.airtac.com/pro_det.aspx?c_kind=4&c_kind2=19&c_kind3=40&c_kind4=46&c_kind5=80&id=80&Serie-4M-\(NAMUR\)-Valvula-\(5/2\)](https://sa-es.airtac.com/pro_det.aspx?c_kind=4&c_kind2=19&c_kind3=40&c_kind4=46&c_kind5=80&id=80&Serie-4M-(NAMUR)-Valvula-(5/2))
2. **ATLAS COPCO.** *The Compressed Air Blog*. [en línea]. 25 de enero de 2024 [consultado el 26 de noviembre de 2023]. Disponible en: https://www.thecompressedairblog.com/the-compressed-air-manual?__hstc=249158360.436f86fafa58134d2a6a9f22f54bfe9a.1706755202622.1706755202622.1706755202622.1&__hssc=249158360.1.1706755202622&__hsfp=3311363937
3. **BATTLEBOTS.** *BattleBots rules & entry – BattleBots*. [en línea]. 2024 [consultado el 14 de enero de 2024]. Disponible en: <https://battlebots.com/rules/>
4. **CAGI.** Air Compressor Performance Verification and Testing Results. *Air Compressors - Compressed Air and Gas Institute - CAGI* [en línea]. 2024 [consultado el 15 de julio de 2024]. Disponible en: https://www.cagi.org/performance-verification?ap4=1_3
5. **SOLÉ, Antoni Creus.** Neumática e hidráulica. 2a ed. México D. F: Alfaomega, 2007. ISBN 9789701509036.
6. **ESPINOSA, Alexander.** Instrumentación Industrial. *Createspace Independent Publishing Platform*, 2011. ISBN 9781466278486.
7. **CAMSCO.** *Especificación de Relé. Camsco Electric Co., Ltd.* [en línea]. 2009 [consultado el 15 de enero de 2024]. Disponible en: <https://www.camsco.com.tw/spa/phase-voltage-protection-relay/relay-MY-LY-MK.html>

8. **FESTO.** Técnica de Automatización y soluciones técnicas de formación: Festo co. Festo [en línea]. 2024 [consultado el 10 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://www.festo.com/co/es/>
9. **TORO VALDERRAMA, Heiner Arley & PARDO CHAMORRO, Giovanni Leonardo.** *Protocolos de comunicación industrial.* 2015.
10. **ROSS, Robert; et al.** Phototropic BristleBot activity for robotics and STEM engagement. *En 2017 IEEE International Conference on Mechatronics (ICM).* IEEE, 2017. p. 425-430.
11. **SANCHIS LLOPIS, Roberto; et al.** *Automatización industrial.* Universitat Jaume I, 2010.
12. **SIEMENS.** *SIMATIC S7-1500.* Siemens España [en línea]. 2019 [consultado el 4 de diciembre de 2024]. Disponible en: <https://www.siemens.com/es/es/productos/automatizacion/sistemas/simatic/controlador-es-simatic/simatic-s7-1500.html>
13. **BARRIGA GAMARRA, Benjamín.** Métodos de diseño en Ingeniería Mecánica. *Lima-Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú,* 2016.
14. **BATTLEBOTS.** *BATTLEBOTS: DESTRUCT-A-THON LIVE VEGAS SHOW.* BattleBots [en línea]. [sin fecha] [consultado el 14 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://battlebots.com/>
15. **CONTRIBUTORS TO BATTLEBOTS WIKI.** *Ramrods.* BattleBots Wiki [en línea]. 11 de julio de 2010 [consultado el 13 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://battlebots.fandom.com/wiki/Ramrods>

16. **BATTLEBOTS FANDOM.** BattleBots Wiki. *BattleBots Wiki / Fandom* [en línea]. [sin fecha] [consultado el 9 de marzo de 2024]. Disponible en: https://battlebots.fandom.com/wiki/BattleBots_Wiki-Main_Page

17. **CONTRIBUTORS TO BATTLEBOTS WIKI.** *Killsaws*. BattleBots Wiki [en línea]. [sin fecha] [consultado el 23 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://battlebots.fandom.com/wiki/Killsaws>

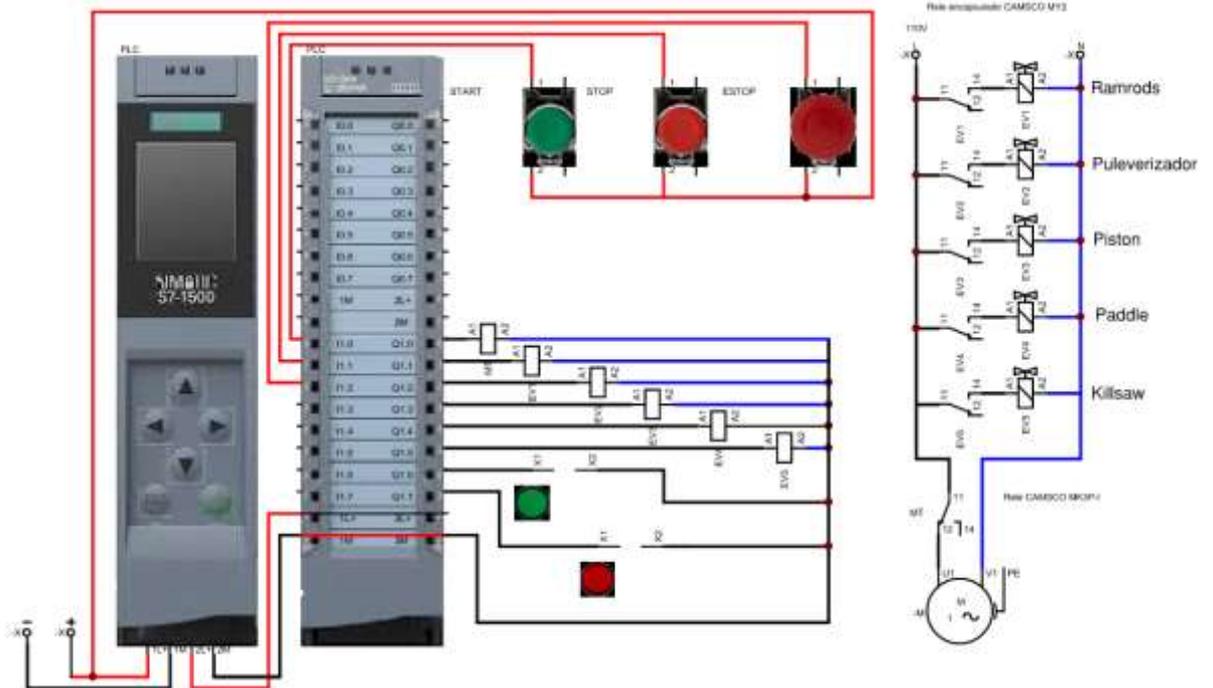
18. **CLUB DE ROBÓTICA ESPOCH.** BATALLA ROBOTS 12, 30 60, 120 LIBRAS. *Robótica ESPOCH* [en línea]. 19 de mayo de 2023 [consultado el 17 de enero de 2024]. Disponible en: <http://robotica.espoch.edu.ec/>

19. **RAMOS FLORES, Guido Fernando.** *Diseño y simulación de un sistema de ventilación y extracción de olores para el proceso de molienda de especias*. 2022.

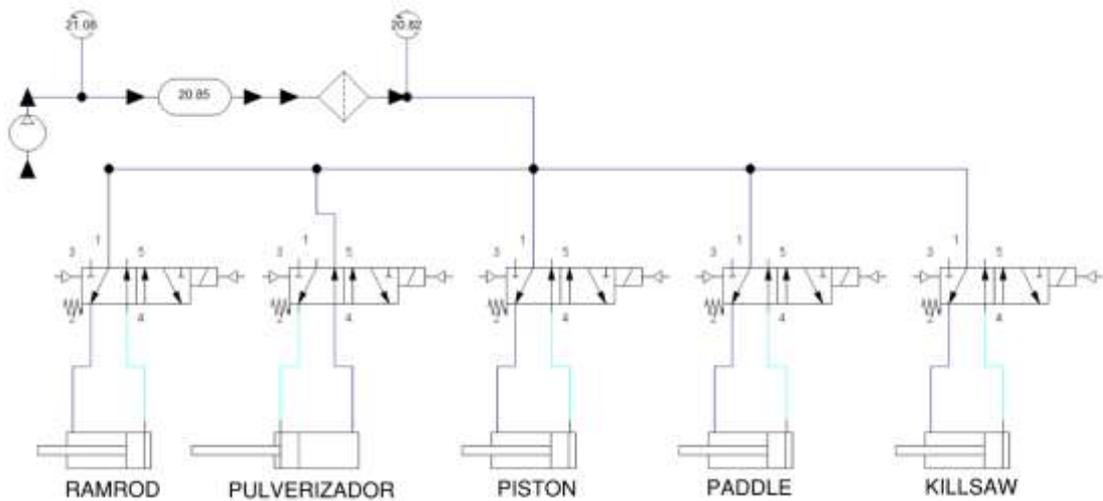
20. **SHIGLEY, Joseph Edward; et al.** *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. McGraw-Hill Interamericana, 2019.

ANEXOS

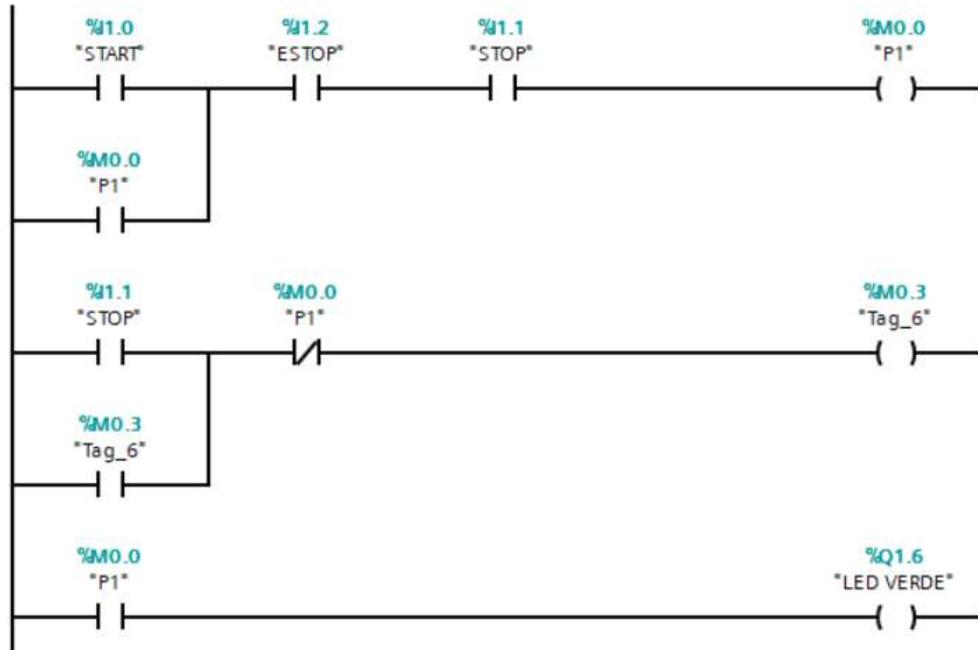
ANEXO A: Circuito



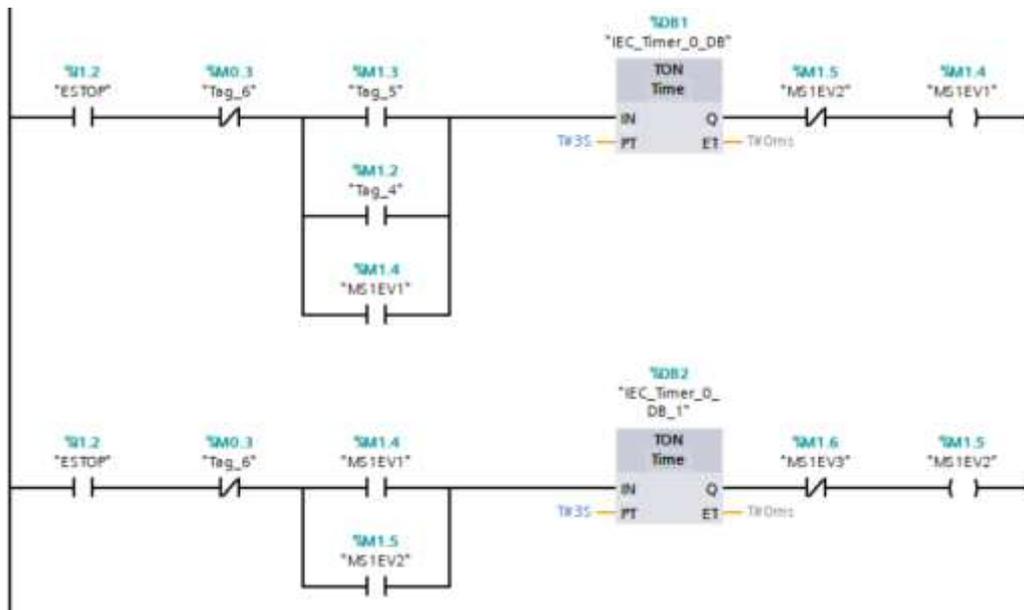
Anexo B: Diagrama neumático



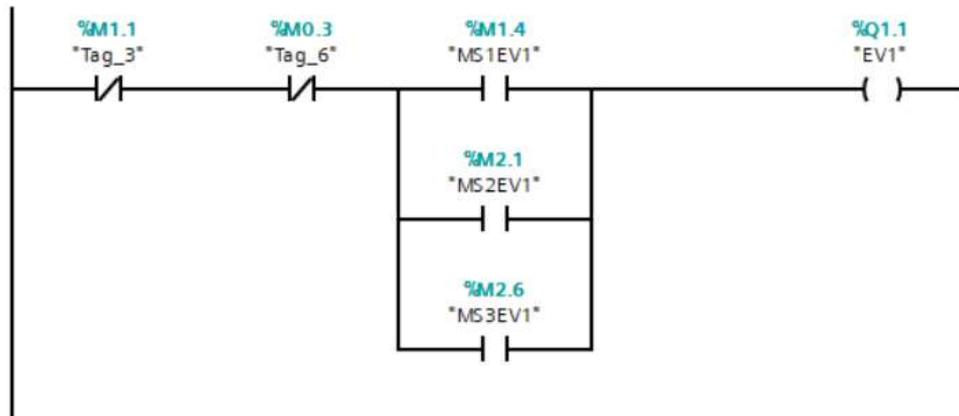
Anexo C: Programación Principal (Comandos, Inicio, Paro, Paro de Emergencia e Indicadores)



Anexo D: Programación inicial



Anexo E: Activación de electroválvulas a través de memorias acorde a la secuencia en la que se encuentre



Anexo F: Especificaciones Compresor Coleman Powermate 20-Gallon (Belt Drive)

CP0302013



Motor

Voltage	120/240 Volt AC
Phase	1-Phase
Magnetic Starter ?	No

Pump

CFM ?	4.9
CFM Rated @	90 PSI
CFM @ 40 PSI	6

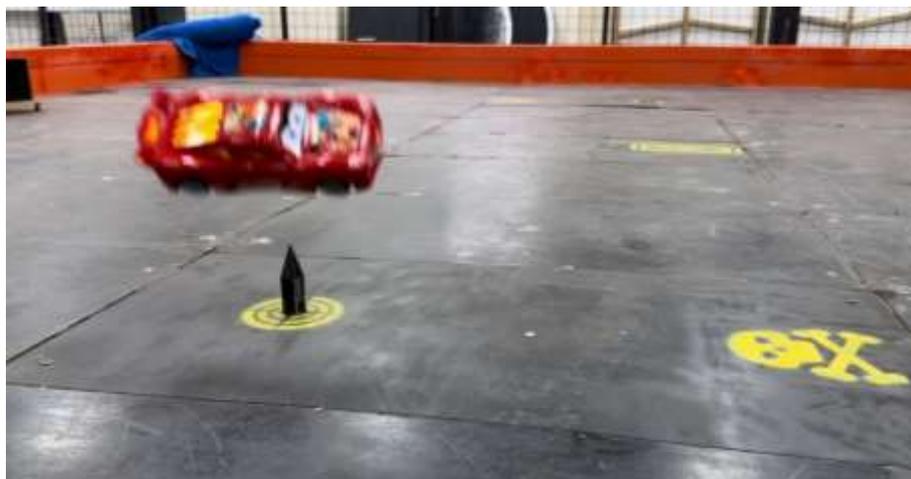
Tank

Tank Size	20 Gallons
-----------	------------

Overview

Weight	142 Pounds
Certification	UL
Consumer Warranty	2 Years

Anexo G: Prueba de funcionamiento en batalla de la trampa de perforación y su Ramrod



Anexo H: Prueba de funcionamiento en batalla de la trampa de elevación y choque y su pistón.



Anexo I: Prueba de funcionamiento en batalla de la trampa de impacto horizontal y su Paddle



Anexo J: Prueba de funcionamiento de la trampa de corte y su KillSaw



Anexo K: Prueba de funcionamiento en batalla de la trampa de impacto vertical y su Pulverizador



ANEXO L: Ubicación Trampas

Nota: guiarse en los planos de la arena de battlebots para conocer la ubicación de las trampas.

Ramrod	–	4C
Killsaw	–	4F
Pistón	–	4I
Paddle	–	1H y 1G
Pulverizador	–	3F



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 05/08/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: HAZIEL ALEJANDRO LUNA PÉREZ PATRICIO DAVID GUERRA VINUEZA
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: MECÁNICA
Carrera: MECÁNICA
Título a optar: INGENIERO MECÁNICO
 Ing. John German Vera Luzuriaga Director del Trabajo de Titulación  Ing. Santiago Alejandro López Ortiz Asesor del Trabajo de Titulación

