DISEÑO DE MÁQUINA LANZADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DE JUGADORES DE FÚTBOL

JHONATAN RICARDO CONTRERAS GOMEZ

LUIS FERNEY JIMÉNEZ SOLANO

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD TECNOLÓGICA

INGENIERÍA MECÁNICA

Bogotá 08 de Febrero de 2017

DISEÑO DE MÁQUINA LANZADORA DE BALONES PARA EL ENTRENAMIENTO DE JUGADORES DE FÚTBOL

JHONATAN RICARDO CONTRERAS GOMEZ

LUIS FERNEY JIMÉNEZ SOLANO

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico

DIRECTOR DE PROYECTO:

Ing JOHN ALEJANDRO FORERO CASALLAS M.S.C

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD TECNOLÓGICA

INGENIERÍA MECÁNICA

Bogotá 08 de Febrero de 2017

Contenido

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 7
2. JUSTIFICACIÓN 10
3. OBJETIVOS 11
3.1 Objetivo general 11
3.2 Objetivos Específicos 11
4. MARCO TEÓRICO 12
4.1 DISEÑO MECÁNICO 12
4.2 QFD 13
4.3 DISEÑO CONCEPTUAL 13
4.4 DIAGRAMA DE CAJA NEGRA 13
4.5 TRIZ 14
4.6 LABVIEW 14
4.7 MOTORES PASO A PASO 14
4.8 CILINDRO NEUMÁTICO 16
4.9 MOTOR NEUMÁTICO 17
5. INGENIERÍA DEL PROYECTO 18
5.1 WORKBENCH 18
5.2 GENERACION DE CONCEPTOS 19
5.3 IMPLEMENTACIÓN DE MATRIZ TRIZ, PARA LA GENERACIÓN DE CONCEPTOS 20
5.4 FLUJO DE ENERGÍA 22
5.4.1 FLUJO DE ENERGÍA EN EL PROCESO 23
5.5 SUBSISTEMAS 24
5.6.1 RODACHINAS 24
5.6.2 PARTES Y FUNCIONAMIENTO RODACHINA 25
5.6.3 ACTUADORES DE MOVIMIENTO 26
5.6.4 MECANISMO DE LANZAMIENTO 27
5.6.5 SISTEMA HMI 27
5.7 TABLAS DE COMBINACIÓN DE CONCEPTOS 28
5.7.1 BOCETO A 29
5.7.2 BOCETO B 30
5.7.3 BOCETO C 31
5.7.4 BOCETO D 32
5.7.5 BOCETO E 33

5.7.6 BOCETO F 34
5.7.7 BOCETO G 35
5.7.8 BOCETO H 36
5.8 SELECCIÓN DE CONCEPTO 37
5.8.1 BOCETO I (BOCETO COMBINADO) 38
5.8.2 MODELADO CAD DEL DISEÑO FINAL 40
5.10 CÁLCULOS SINFÍN CORONA 46
5.11 DISEÑO DE CONTROLADOR PARA MOTOR DC 49
5.11.1 SELECCIÓN DE MOTORES 51
5.11.2 SELECCIÓN DE MOTOR PARA RODILLOS PROPULSORES 51
5.11.3 SELECCIÓN DE MOTOR PARA EL POSICONAMIENTO DE LA MÁQUINA 55
5.11.4 SINTONIZACIÓN DEL CONTROLADOR DE POSICIÓN POR EL MÉTODO DE ZIEGLER AND NICHOLS 55
5.11.5 DISCRETIZACIÓN CONTROLADOR DE POSICIÓN 59
5.12 ELABORACIÓN DEL CÓDIGO EN LABVIEW 60
5.13 DISEÑO INTERFAZ HMI 61
6. EVALUACIÓN DEL PROYECTO 65
7. CONCLUSIONES 66
8. BIBLIOGRAFÍA 67

LISTADO DE IMAGENES

Imagen 1 Diagrama de caja negra 13
Imagen 2Motor paso a paso 14
Imagen 3Cilindro neumático 16
Imagen 4Motor neumático 17
Imagen 5 Máquina Globus Eurogoal. 18
Imagen 6Máquina Sidekick. 19
Imagen 7Matriz QFD 20
Imagen 8Resultados matriz QFD 21
Imagen 9Esquema Rodachina. 24
Imagen 10Boceto A 29
Imagen 11 Boceto B 30
Imagen 12 Boceto C 31
Imagen 13 Boceto D 32
Imagen 14 Boceto E 33
Imagen 15 Boceto F 34
Imagen 16Boceto G 35
Imagen 17Boceto H 36
Imagen 18Boceto 1 combinado 38
Imagen 19 Diseño final CAD 40
Imagen 20Vista en corte Diseño final 40
Imagen 21 Vista en corte 2 Diseño final 41
Imagen 22Detalle mecanismo posicionamiento máquina 41
Imagen 23Gráfica de Ashby. 42
Imagen 24Esquema tornillo sinfín 46
Imagen 25 Modelado sistema dinámico motor DC. 50
Imagen 26Esquema método laminación. 52
Imagen 27 Sistema considerado para el cálculo de rodillos propulsores. 52
Imagen 28Esquema velocidad de salida balón. 53
Imagen 29 Motor DC Rodillos propulsores 55
Imagen 30Modelamiento Control PID en Simulink de matlab. 56
Imagen 31Comportamiento oscilatorio del sistema 57
Imagen 32Detalle de las crestas producidas por el sistema. 57
Imagen 33Respuesta de sintonización del Controlador PID. 58
Imagen 34Respuesta optimizada del sistema de control. 59
Imagen 35Código de programación control PID en LABVIEW. 60
Imagen 36Código control de posición velocidad por PWM en LABVIEW, simulado con ARDUINO uno. 61
Imagen 37Pantalla de bienvenida sistema HMI. 61
Imagen 38Selección de modo manual o automático HMI. 62
Imagen 39Modo manual, sistema HMI. 62
Imagen 40Menú modo automático, sistema HMI. 63
Imagen 41Modo tiros libres, sistema HMI. 63
Imagen 42Modo tiros de esquina, sistema HMI. 64

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Resultados Matriz Triz. 22
Tabla 2Parámetros boceto A 29
Tabla 3Parámetros boceto B 30
Tabla 4Parámetros boceto C. 31
Tabla 5Parámetros boceto D. 32
Tabla 6 Parámetros boceto E. 33
Tabla 7Parámetros boceto F. 34
Tabla 8 Parámetros boceto G. 35
Tabla 9 Parámetros boceto H. 36
Tabla 10 Selección de conceptos 37
Tabla 11Criterios de selección. 39
Tabla 12Características rodillo propulsor. 53
Tabla 13Constantes de motor DC. 55
Tabla 14 Cálculo de constantes del controlador. 58
Tabla 15Constantes del controlador. 58
Tabla 16 Costos del proyecto 65

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El fútbol es un deporte que día a día va evolucionando, cada vez los técnicos se preocupan más por la táctica de juego, con el objeto de lograr triunfos y alcanzar la meta de la mayoría de equipos que es ser campeón.

Pero esto obliga a que se presenten innovaciones en los entrenamientos de un equipo de fútbol, los técnicos exitosos así lo han demostrado consiguiendo títulos consecutivos, por ejemplo el gran equipo de Joseph Guardiola, que consiguió campeonatos locales, champions league y la tan anhelada copa internacional de clubes.

Otro ejemplo es el Borussia Dortmund, un equipo que le apostó no sólo por trabajos tradicionales en lo físico y lo táctico sino que le incorporó tecnología para mejorar las condiciones técnicas de sus jugadores, esto lo llevo a tener éxito en la temporada 2012-2013 donde logró llegar a finales enfrentado al Bayer Munich[1].

La implementación de esta tecnología ha servido para que este equipo haya mejorado las capacidades técnicas de sus jugadores, consiste en un laboratorio, el cual cuenta con máquinas que lanzan el balón para posteriormente por medio de un indicador el jugador deba lanzar la pelota al destino indicado, todo esto se realiza aleatoriamente, para que el jugador tenga la sensación como si fuera una situación normal de un partido.

El fútbol latinoamericano se ha caracterizado por ser vistoso, cuenta con jugadores de gran técnica, por citar uno de los más grandes de los últimos tiempos el gran "Ronaldinho", que por su talento y desempeño en el campo de juego, es que logra posicionarse en los grandes clubes de Europa.

Lastimosamente hay mucha diferencia entre el fútbol Latinoamericano y el europeo, y esto se ve evidenciado en los mundiales, Alemania siempre se ha

[1] (25-04-2013). conoce la máquina millonaria que entrena al arrollador borussia dortmund, de Deporte total Sitio web: http://elcomercio.pe/deporte-total/futbol-mundial/video-maquina-millonaria-que-entrena-al-arrollador-borussia-dortmund-noticia-1568577

caracterizado por ser una potencia de fútbol y realiza grandes presentaciones en los torneos que disputa.

Precisamente es el país donde con mayor disciplina se entrena y en el cual se aceptan ayudas tecnológicas para el mejoramiento del desempeño de sus jugadores dentro del terreno de juego, no es casualidad que en los últimos años los equipos de la liga Alemana hayan hecho grandes presentaciones en la Champions League.

Sin embargo hay un gran salto respecto al fútbol europeo y el latinoamericano, si bien es cierto que acá también se trabaja la parte táctica y física, la principal diferencia radica en el estudio que han tenido sus técnicos, esto los lleva a implementar nuevos modos de entrenamiento y la aceptación de la tecnología como auxiliar en sus entrenamientos.

Por otra parte el reconocido equipo de fútbol Argentino River plate ha utilizado éste tipo de tecnología para el entrenamiento de arqueros, así llevaba a cabo sus rutinas cuando estaba de técnico el exdefensor central Matías Almeyda, con el cual tuvieron el ascenso a primera división.

En el fútbol Colombiano aún no se implementan éste tipo de ayudas tecnológicas, las cuales pueden ayudar a que sea más competitivo a nivel internacional y que logren mejores participaciones en los torneos que realizan año tras año como lo es la copa libertadores y la copa sudamericana.

También sería útil que se utilizara para la selección Colombia, para que nos siga brindando alegrías así como lo hizo en la copa del mundo Brasil 2014.

Tal vez por falta de conocimiento por parte de los cuerpos técnicos del fútbol Colombiano, no se ha contemplado la opción del uso de esta fabulosa herramienta y la falta de acceso a estas tecnologías, lo cual imposibilita su uso.

Para no ir más lejos, el equipo de fútbol de la Universidad Distrital debería contar con éste tipo de innovaciones para sus entrenamientos, ayudando a mejorar su táctica y estilo de juego, catalogándolo como el pionero del uso de estas máquinas a nivel de Colombia y lo mejor de todo que sea una herramienta

desarrollada por el talento de la propia Universidad, buscando beneficiarse a futuro de las creaciones de sus propios estudiantes.

Es por esto que se ha pensado en diseñar una máquina para el entrenamiento de futbolistas, con el objeto de mejorar la táctica de los equipos en lanzamientos de balón parado, ya sea tiros libres, tiros de esquina, lanzamientos desde el punto penal (mejoramiento de habilidades para arqueros) y lanzamientos de costado.

La máquina será capaz de realizar lanzamientos en diferentes áreas del terreno de juego, simulando así situaciones de un partido real, sustituirá un lanzador en el entrenamiento, evitando que éste pueda presentar alguna lesión con el tiempo.

Será una máquina capaz de generar lanzamientos aleatorios para el entrenamiento de arqueros, generando así un disparo imprevisto como se da en un partido de fútbol.

Se podrá manipular la altura de los lanzamientos, el ángulo de tiro, el efecto, la velocidad de propulsión del balón, para darle mayor dificultad a los entrenamientos.

2. JUSTIFICACIÓN

En las últimas dos décadas aproximadamente la tecnología ha tenido una evolución significativa, abarcando las grandes mayorías de los hábitos circundantes a la humanidad, además, contribuyendo al alcance y satisfacción de las necesidades del hombre, tales como: la salud, comunicación, educación, investigación, procesos manufactureros, producción en masa etc.

Todas estas tecnologías le han brindado una nueva forma de vivir a la humanidad, debido, al confort que le brinda todas las máquinas que circulara alrededor del diario vivir del hombre.

Esta evolución tecnológica ha sido tan amplia, que además ha abordado los entrenamientos de la humanidad, como es el fútbol, el cual es un símbolo mundial del deporte primario, que junto con la tecnología busca brindar nuevas formas de entrenamiento, con el fin de mantener y desarrollar aún más las habilidades de los futbolistas, con los cuales los clubes buscan ser los mayores exponentes del balón-pie mundial.

Debido a que la tecnología a nivel suramericano hasta el momento es muy poca y a nivel nacional (Colombia) es nula, se pretende construir una máquina lanza pelotas de fútbol, que permita el entrenamiento de lanzamiento de balones ya sea de costado, tiro libre, pases y penaltis para generar el mejoramiento continuo de las habilidades de los jugadores con respecto a la recepción de pases y en especial a los arqueros con lanzamientos de balones de forma aleatoria tal como sucede en un partido de fútbol.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Diseñar una máquina lanzadora de balones para el entrenamiento de jugadores de fútbol de la Universidad Distrital.

3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar una máquina que garantice la seguridad del individuo que la maniobre.
- Crear una interfaz amigable con el usuario para que cualquier persona sin importar sus conocimientos sea capaz de manipular la máquina.
- Desarrollar un programa aleatorio de lanzamientos con el objeto de brindar sorpresa al momento de realizar el entrenamiento.
- Generar un control de posicionamiento para brindarle altura a los lanzamientos.
- Garantizar distintos lugares dentro del terreno de juego para el lanzamiento del balón.
- Evaluar los gastos del proyecto.

4. MARCO TEÓRICO

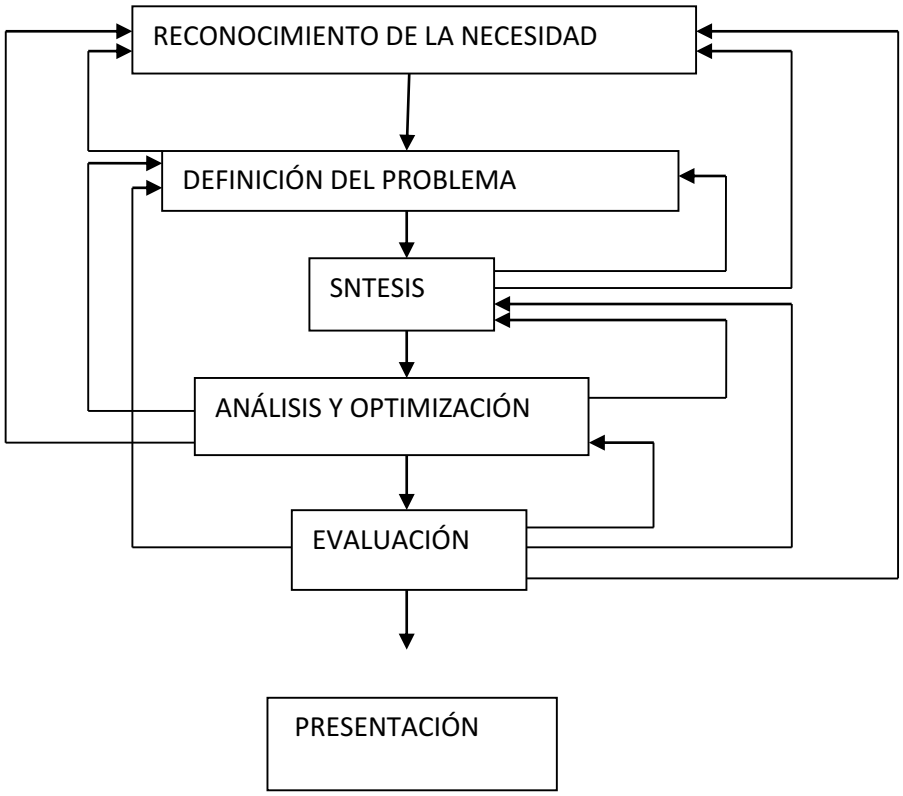
4.1 DISEÑO MECÁNICO

El diseño en ingeniería es un proceso que requiere de varias fases para poder ser elaborado, se trata de reunir especificaciones, para con base a estas enfocar lo que se desea realizar.

Para esto se tienen en cuenta metodologías de diseño las cuales reúnen todas las características y especificaciones del producto, lo cual facilita todo el proceso y hace que el desarrollo sea de una manera más eficaz.

Lo primero que se debe identificar en un proceso de diseño es la necesidad, para posteriormente realizar un planteamiento del problema, con base a esto se procede a establecer los objetivos, revisar los límites que va a alcanzar el producto.

A continuación se muestra el modelo de diseño de Shigley.[2]



[2] Budynas Richard, Nisbett Keith. (2008). Introducción al diseño en la ingeniería mecánica. En Diseño en ingeniería mecánica de shigley (pag 6). México: McGrawHill.

4.2 QFD

También conocido como despliegue de la función de calidad, es una metodología de diseño que reúne requerimientos, expectativas del cliente y las características técnicas para satisfacerlos, permitiendo escoger las que tengan una alta prioridad durante el análisis de la matriz.

Además esta matriz tiene la particularidad de comparar el diseño con otros productos del mercado, lo cual establece los parámetros de calidad a alcanzar.

4.3 DISEÑO CONCEPTUAL[3]

En el diseño la etapa más importante es la de diseño conceptual, en esta se definen el tipo de mercado, las necesidades del cliente, las posibles soluciones.

En esta fase se busca ofrecer varios modelos como alternativas de solución a las necesidades del cliente.

4.4 DIAGRAMA DE CAJA NEGRA

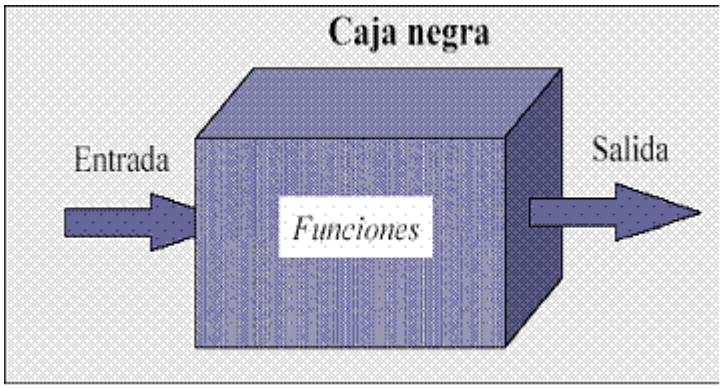


Imagen 1 Diagrama de caja negra

En el diagrama de caja negra se busca generar soluciones de diseño (salida) a los requerimientos del cliente (entrada), se considera un sistema abierto con una entrada y una salida.

Se debe tener en cuenta la función que desempeña las variables de entrada y lo que se produce con las variables de salida, se busca la relación de estas con las salidas.

[3] Ulrich Karl T, Eppinger Steven P. Diseño y desarrollo de productos, McGrawHill.

4.5 TRIZ

Es una metodología de diseño, un sistema de herramientas, una base de conocimiento y una tecnología basada en modelos para la generación de ideas para a partir de estas proporcionar soluciones innovadoras. El triz brinda herramientas y los métodos a usar en la formulación de problemas en el análisis de sistemas, de fallas,

Apunta a crear un acercamiento algorítmico a la invención de nuevos sistemas y al refinamiento de sistemas obsoletos. Con éste método se utilizan los parámetros de diseño en la matriz de contradicción, encontrando soluciones a partir de ésta.

4.6 LABVIEW[4]

Labview Laboratory virtual instrumentation engineering workbench es un software que permite diseñar sistemas con un lenguaje de programación visual. Tiene la particularidad que se puede simular enlazándolo a un software CAD para observar de una manera más detallada lo desarrollado en la plataforma.

El lenguaje de programación que maneja este software se llama G, lo que significa que maneja un entorno gráfico, convirtiéndolo en uno de los más sencillos de manipular.

4.7 MOTORES PASO A PASO

Imagen 2Motor paso a paso

[4] Labview qué es? Sitio web: http://www.ajolly.com.mx/es/desarrollo-consulta-sistema-supervisor-control-prueba-medida/19-LabVIEW-que-es.html

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8°, es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360°.

Principio de funcionamiento: Básicamente estos motores están constituidos normalmente por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en su estator. Las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) debe ser externamente manejada por un controlador[5].

Para el desarrollo del diseño de la maquina lanza balones de futbol integraremos motores paso a paso híbridos, los cuales tiene las siguientes características:

- Combina las mejores características de los motores paso a paso de reluctancia variable y de imán permanente.
- Tienen muchos polos en el rotor (p.ej. 200).
- Tienen altas resoluciones (hasta < 1º).
- Tienen gran torque.
- Son más caros.
- Ideales para aplicaciones industriales (p.ej. robots)[6].

[5] Palacios Enrique, Remiro Fernando, López Lucas.J, Microcontrolado pic 16f84 Desarrollo de proyectos, (pag 481) alfaOmega.
[6] Ing. Mazzeo, H. Hugo. Seminario control de motores paso a paso

4.8 CILINDRO NEUMÁTICO[7]

Imagen 3Cilindro neumático

Los cilindros neumáticos son unidades que transforman la energía potencial del aire comprimido en energía cinética o en fuerzas prensoras. Básicamente consisten en un recipiente cilíndrico provisto de un émbolo o pistón. Al introducir un determinado caudal de aire comprimido, éste se expande dentro de la cámara y provoca un desplazamiento lineal. Si se acopla al embolo un vástago rígido, este mecanismo es capaz de empujar algún elemento, o simplemente sujetarlo. La fuerza de empuje es proporcional a la presión del aire y a la superficie del pistón:

$$F = p. A$$

Dónde: F = Fuerza p = Presión manométrica A = Área del émbolo o pistón Variantes constructivas.

Cilindros de simple efecto Uno de sus movimientos está gobernado por el aire comprimido, mientras que el otro se da por una acción antagonista, generalmente un resorte colocado en el interior del cilindro. Este resorte podrá

[7] Instituto nacional de educación tecnológica, Tecnología Neumática, Ciudad autónoma de Buenos Aires.

situarse opcionalmente entre el pistón y tapa delantera (con resorte delantero) o entre el pistón y su tapa trasera (con resorte trasero). Realiza trabajo aprovechable sólo en uno de los dos sentidos, y la fuerza obtenible es algo menor a la que da la expresión F = p.A, pues hay que descontar la fuerza de oposición que ejerce el resorte.

4.9 MOTOR NEUMÁTICO

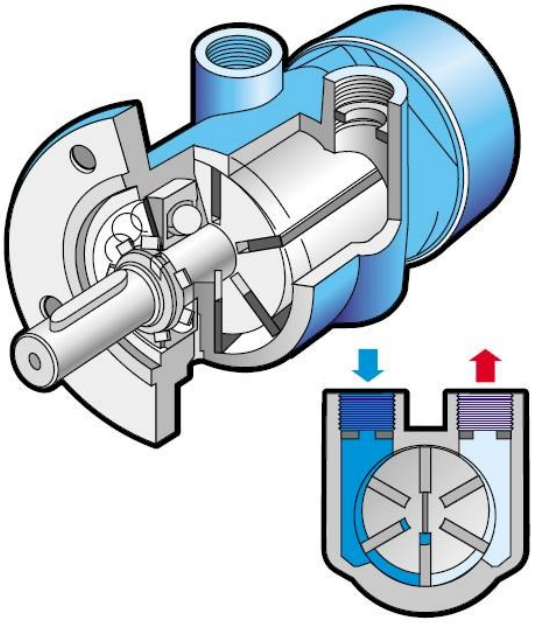


Imagen 4Motor neumático

Diseño compacto y ligero. Un motor neumático pesa menos que un motor eléctrico de la misma potencia y tiene un volumen más pequeño. Estos desarrollan más potencia con relación a su tamaño que la mayoría de los otros tipos de motores. El par del motor neumático aumenta con la carga.

Los motores neumáticos[8] no se dañan cuando se bloquean por sobrecargas y no importa el tiempo que estén bloqueados. Cuando la carga baja a su valor normal, el motor vuelve a funcionar correctamente. Los motores neumáticos, se pueden arrancar y parar de forma ilimitada. El arranque, el paro y el cambio de sentido de giro son instantáneos, incluso cuando el motor esté trabajando a plena carga. Control de velocidad infinitamente variable. Simplemente con una válvula montada a la entrada del motor. Par y potencia regulables. Variando la presión de trabajo. Como no hay ninguna parte eléctrica en el motor, la posibilidad de

[8] Majumdar S.R, Sistemas neumáticos principios y matenimiento,(pag 108) McGrawHill.

que se produzca una explosión en presencia de gases inflamables es reducida. Cuando el motor gira, el aire expandido enfría el motor. Por esto, los motores pueden usarse en ambientes con temperaturas altas (70 grados centígrados). Mantenimiento mínimo. El aire comprimido debe estar limpio y bien lubricado, lo que reduce desgastes en el motor y elimina tiempos de parada al alargar la vida del motor[9].

5. INGENIERÍA DEL PROYECTO

Como primera medida se tuvo en cuenta los diseños de algunas máquinas que ya existían, para tomar como modelo base y realizar algunas mejoras.

5.1 WORKBENCH[10]

Dentro de las máquinas que se seleccionaron en la etapa de workbench, se encuentran las siguientes.

Imagen 5 Máquina Globus Eurogoal.

En la imagen 5 se observa la máquina globus eurogoal, es una buena máquina, tal vez de las mejores que se encuentran en el mercado actualmente, sin embargo posee un

[9] NEUMAC. Motores neumáticos. http://www.neumac.es/storage/pdf/113/MOTORES%20NEUMATICOS_FOLLETO%20GENERAL%20Rev0105.pdf

[10] Rotstein Gustavo, Fernandes Thiago. (05-05-2011). 'Canhão' de lançar bolas reforça o Botafogo e desafia goleiros Com 'chutes' de até 150km/h, máquina que está na rotina de clubes italianos passa a integrar treinamentos do Alvinegro. de Globus Sitio web: http://www.globuscorporation.com/sporttechnology/spa/039canho039-de-lancar-bolas-reforca-o-botafogo-e-desafia-goleiros-2425.asp?idPage=2247&id=2425

tamaño pequeño, lo cual no cumple con la antropometría y puede ser incomoda de manipular.

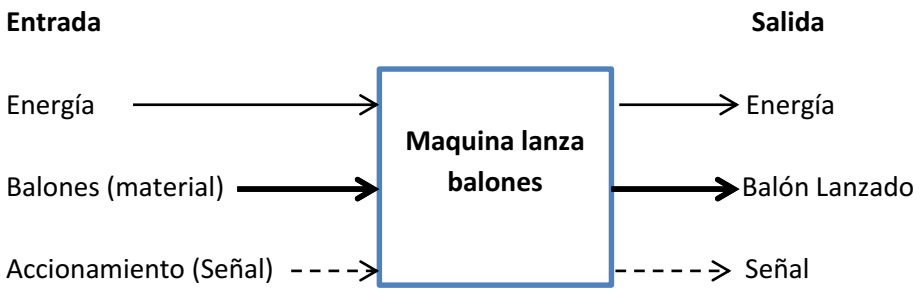
Imagen 6Máquina Sidekick.

Otra modelo guía es la SideKick[11] la cual se observa en la imagen 6, es una máquina un poco más robusta, garantiza la seguridad del usuario con guardas en los rodillos propulsores, y unas llantas que facilitan el movimiento sobre el césped.

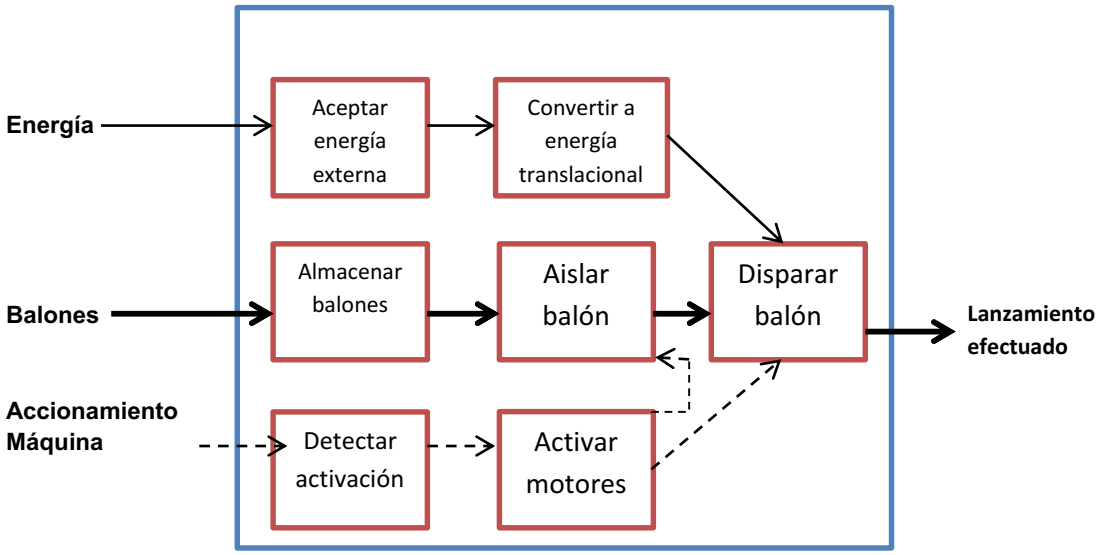
Posteriormente al haber seleccionado modelos guía en el workbench, se procede con la generación de conceptos para el diseño de la máquina.

5.2 GENERACION DE CONCEPTOS
DESCOMPOSICIÓN DEL PROBLEMA

5.2.1 CAJA NEGRA



[11] Manual del usuario para la máquina de fútbol, de GLOBALWMÉXICO Sitio web: http://www.globalwmexico.com/index.php/management-2/sidekick



5.3 IMPLEMENTACIÓN DE MATRIZ TRIZ, PARA LA GENERACIÓN DE CONCEPTOS

- Lo primero que se ha realizado en esta etapa de diseño del proyecto, es la realización de la matriz del QFD, allí se encontraron cuatro parámetros con mayor relevancia, los cuales se muestran en la siguiente imagen.

					Column #	1	2	3	4
					Direction of Improvement	▲	▼	◇	
Row #	Weight Chart	Relative Weight	Customer Importance	Maximum Relationship	Customer Requirements (Explicit and Implicit) / Functional Requirements	Control de posición	Control de velocidad	Lanzamiento de baón con efectos	Lanzamiento en distintos lugares del campo.
1		20%	8	9	Seguridad	●	●	●	▽
2		3%	3	9	Interfaz usuario máquina	●	●	●	●
3		10%	6	9	Distintos modos de entrenamiento	●	●	●	●
4		6%	5	9	Baja inversión inicial	○	○	○	○

Imagen 7Matriz QFD

	Target	Target for Functional Requirement #1	Target for Functional Requirement #2	Target for Functional Requirement #3	Target for Functional Requirement #4
	Max Relationship	9	9	9	9
	Technical Importance Rating	620	620	600	440
	Relative Weight	12%	12%	11%	8%
	Weight Chart				
Assesment	Our Product	1	3	4	2
	Competitor #1: *Foot-matic*	2	3	5	2
	Competitor #2: *Pro Trainer Soccer*	2	3	3	4
	Competitor #3: *Sidekick*	4	4	3	3
	Competitor #4: *Smart Player*	4	4	3	3

Imagen 8Resultados matriz QFD

La matriz completa del QFD se presenta como anexo, para una mejor lectura de ella.

A partir de los parámetros de mayor relevancia arrojados por el QFD (Quality Function Deployment), se realiza la entrada a la matriz TRIZ, la cual es una metodología, que consiste en un conjunto de herramientas basado en modelos para la generación de ideas y soluciones innovadoras para resolver problemas, en este caso específico es el diseño de una máquina lanzadora balones de fútbol.

Ingresando los parámetros más relevantes a partir del QFD, en la matriz TRIZ, nos arroja valores de solución e inventiva para el diseño de la máquina, los cuales se evidencian en la siguiente tabla:

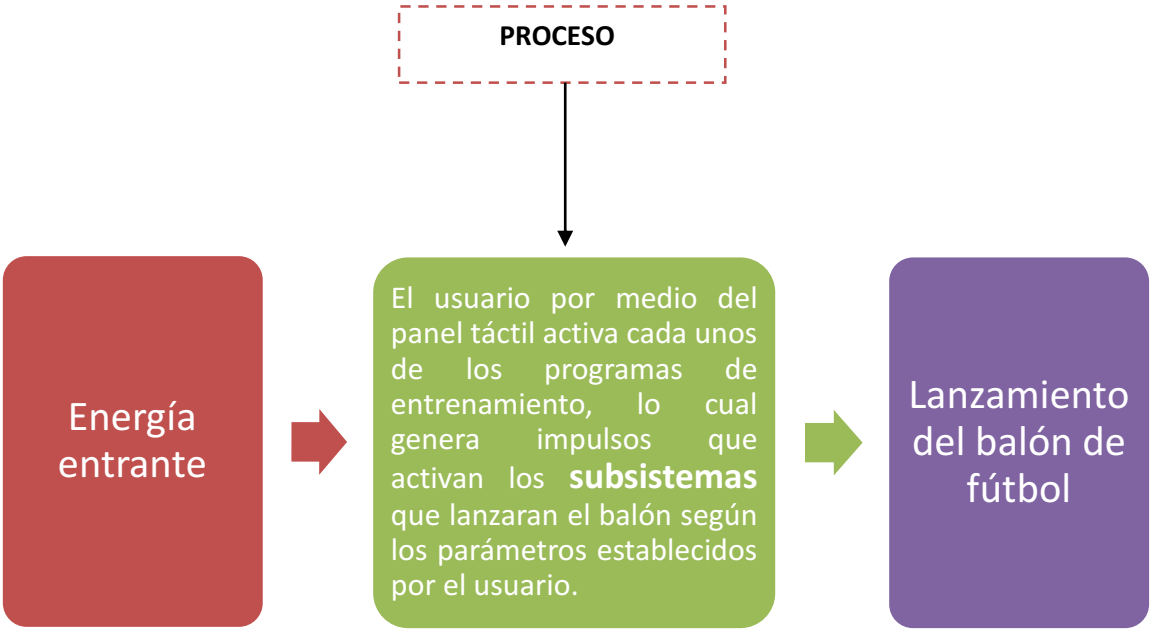
PARÁMETRO	VS		VALORES MATRIZ TRIZ
Control de posición	Forma	Estabilidad	• División de componentes • Piezas asimétricas
Control de velocidad	Velocidad	Ferza	• Reemplazar sistemas mecánicos. • Inversión de los sistemas
Lanzamiento	Potencia	Velocidad	• Dinamicidad
Lanzamiento con efecto	NO aplica		• Acción periódica

Tabla 1 Resultados Matriz Triz.

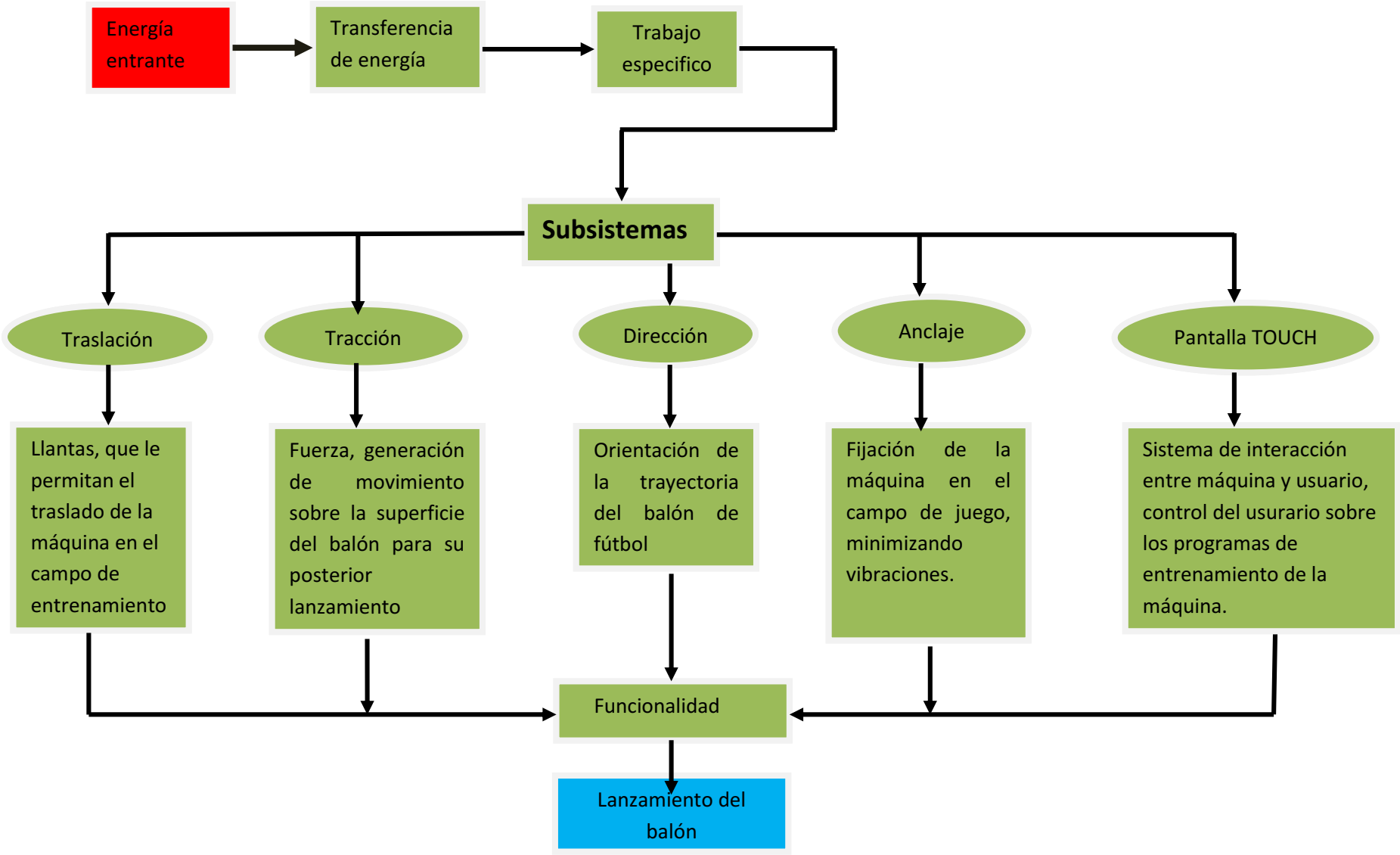
Se adiciona la matriz como anexo en este trabajo para su mejor comprensión

Después se procede a realizar el flujo de energía de la máquina, dividiéndola en subsistemas para facilitar el diseño.

5.4 FLUJO DE ENERGÍA



5.4.1 FLUJO DE ENERGÍA EN EL PROCESO



A continuación se presenta la descripción de cada uno de los subsistemas consideras en el diseño de la máquina lanzadora de balones.

5.5 SUBSISTEMAS

entra en forma de	Traslacion	métodos
• traslado en el campo de entrenamiento	• Sistema que permita la movilización libre de la máquina lanza balones.	• LLantas • Ruedas • Rodachinas

5.6.1 RODACHINAS

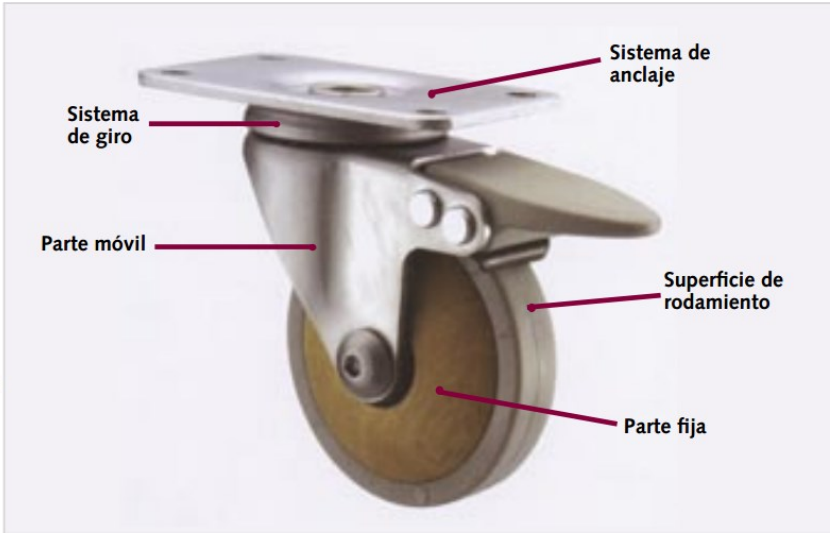


Imagen 9Esquema Rodachina.

5.6.2 PARTES Y FUNCIONAMIENTO RODACHINA

I. Parte fija: Es el cuerpo exterior de la rodachina y desempeña una función estética. Se fabrica en metal de chapa troquelada o fundición de Zamac, en plástico o nylon según su uso o diseño, generalmente sujeta la rueda.

II. Parte móvil: Fabricada en chapa metálica troquelada o embutida, tiene dos funciones: la de anclar la rueda y la de proporcionar el giro o asegurarla, cuando la rueda va fija, soldada directamente al soporte. El sistema de giro, de la parte móvil está compuesto por un eje ubicado dentro de la superficie del anclaje y que se mueve gracias a una esfera fundida al metal, a un balín o varios balines (aunque éstos últimos se instalan sólo en ruedas que soportan grandes pesos). Las rodachinas pueden tener sistemas de giro de 360° y 90°.

III. Sistema de Anclaje: Vale señalar que existen diversos tipos de anclaje, están los de plataforma que son los más comunes y se aseguran con cuatro tornillos, los de “U” Sistema de anclaje Sistema de giro Parte fija Parte móvil Superficie de rodamiento o neumático, que cubre la rueda de la rodachina posibilitando el deslizamiento al contacto con el suelo.

Sobre esta última parte de la rodachina, es importante señalar que su material de fabricación debe seleccionarse cuidadosamente de acuerdo al uso. Por lo cual es de debida importancia tener en cuenta factores tales como: el suelo sobre el que se deslizará, la cantidad de peso que soportará y la temperatura del ambiente, pues cada material tiene sus ventajas y desventajas. Por lo cual se seleccionara unas rodachina de nylon tipo Semi-industrial, estas soportan un peso menor, que va desde 25Kl hasta 90Kl aproximadamente cada una, y tienen

diámetros de 3, 4 y 5 pulgadas, las cuales son resistentes e ideales para deslizarse sobre campo sintético y natural[12].

5.6.3 ACTUADORES DE MOVIMIENTO

entra en forma de	Tracción	métodos
• Sistema de propulción y movimientos de máquina.	• Sistema de lanzamiento del balón en distintos modos de entrenamiento	• Motor neumático • Motor Eléctrico • Cilindro neumático

entra en forma de	Dirección	métodos
• Mecanismos para variar el ángulo de lanzamiento	• Sistema que permite darle efectos al balón de fútbol al momento del lanzamiento	• Mecanismos motorizados • Variación del ángulo de lanzamiento.

[12] Jaimes Cristancho, I Marcela, La rodachina un accesorio que mueve el mundo. *Revista MyM*. Edición 52.

5.6.4 MECANISMO DE LANZAMIENTO

La variación del lanzamiento de balones de fútbol en los diferentes tipos de entrenamientos, tales como son: lanzamientos al arco (entrenamiento para porteros) y pases (entrenamiento de recepción de pases), será determinados por el cambio sistematizado de los motores que regulan el ángulo de posición del cabezal de lanzamiento y la velocidad angular de los rodillos de lanzamiento.

El cambio de ángulo del cabezal de lanzamiento, nos permitirá regular la altura con la cual se pretende que el balón de fútbol sea lanzado por la máquina, el cual seguirá una trayectoria parabólica hacia su destino, cuya distancia será directamente proporcional a la potencia predeterminada por el programa de entrenamiento establecido.

La variación de la velocidad angular permitirá a la máquina lanzar el balón de fútbol, dándole a éste un efecto, ya sea hacia la derecha o izquierda, dependiendo de cuál sea el motor del rodillo que tenga mayor velocidad angular al momento del lanzamiento.

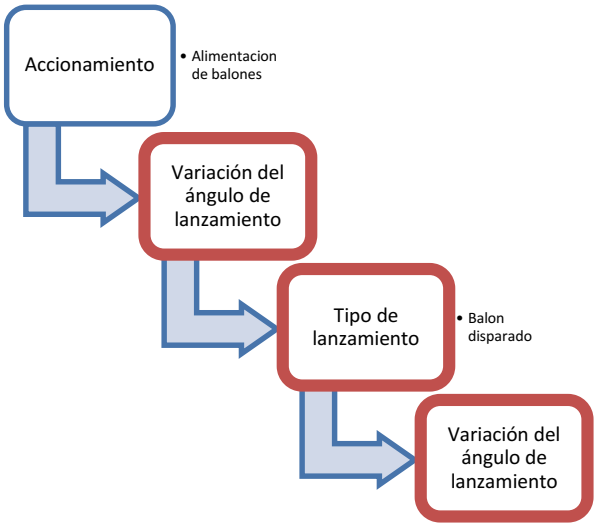
5.6.5 SISTEMA HMI

entra en forma de	Pantalla TOUCH	metodos
• Interacción máquina usuario.	• Sistema que nos permite ajustar y eleguir cada unos de los metodos de entranamiento establecidos en la maquina de forma gráfica.	• Pantalla Touch • Se seleccionará una pantalla de 4", se mirará la mejor opción según el mercado.

Acto seguido a la identificación de los subsistemas de la máquina se procede a realizar una tabla en la cual se combina la generación de conceptos.

5.7 TABLAS DE COMBINACIÓN DE CONCEPTOS

A partir del análisis de los subsistemas que influyen en el diseño de la maquina lanzadora balones de fútbol, se constituye una descomposición del problema que supone lo siguiente:



5.7.1 BOCETO A

Variación del ángulo de lanzamiento	Tipo de lanzamiento
Base neumática y mecánica	Rodillos (motor eléctrico o neumático)
Base Radial	Impacto
Ambos	Cilindro neumático

Tabla 2Parámetros boceto A

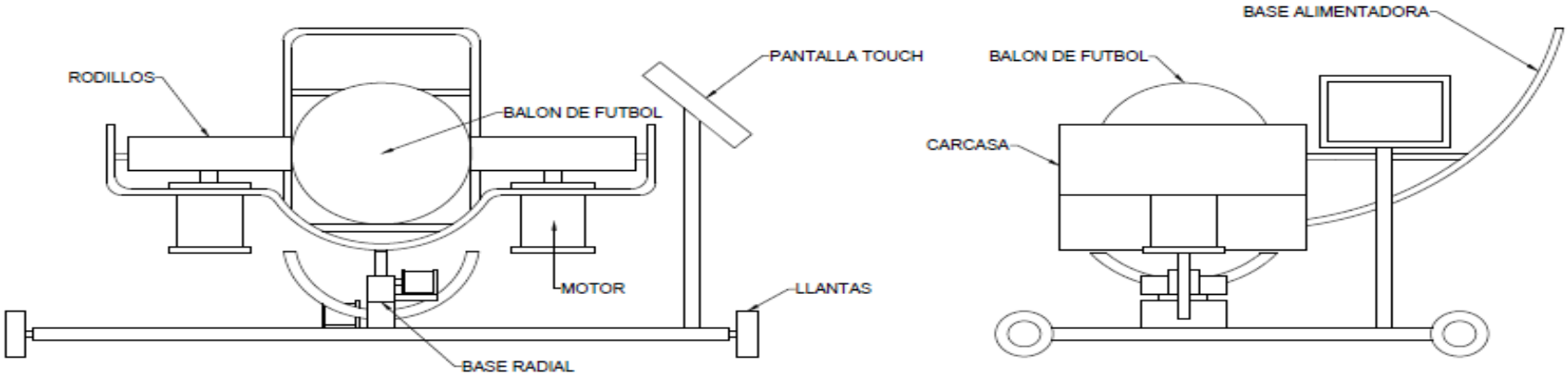


Imagen 10Boceto A

5.7.2 BOCETO B

Variación del ángulo de lanzamiento	Tipo de lanzamiento
Base neumática y mecánica	Impacto
Base Radial	Rodillos (motor eléctrico o neumático)
Ambos	Cilindro neumático

Tabla 3Parámetros boceto B

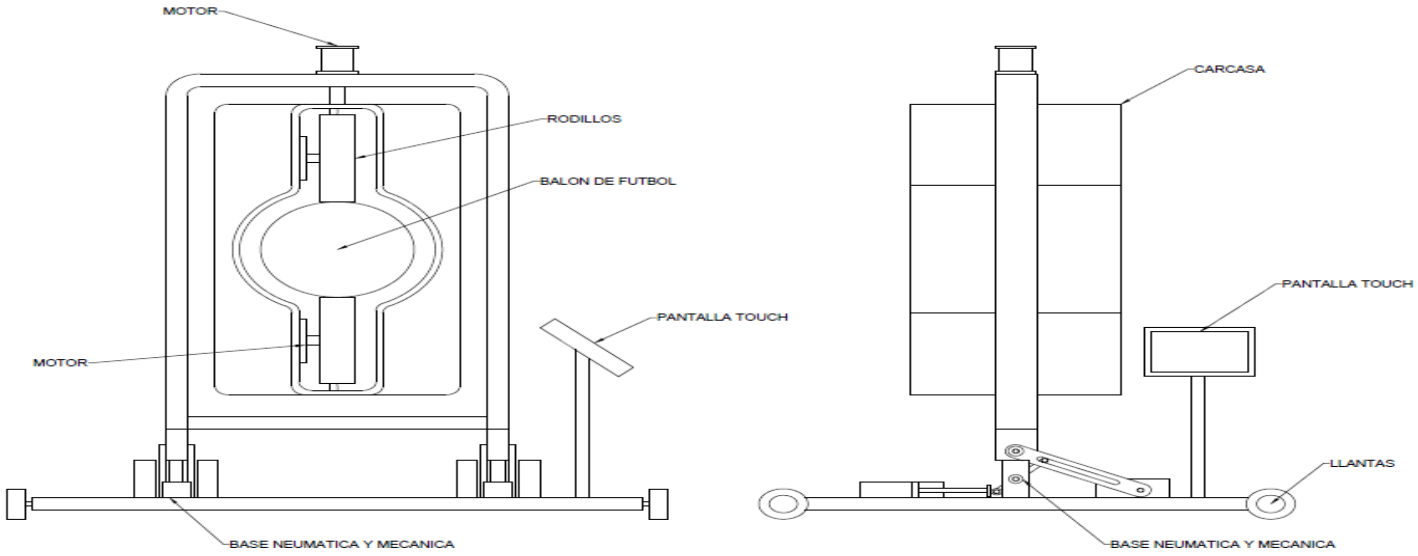


Imagen 11 Boceto B

5.7.3 BOCETO C

Variación del ángulo de lanzamiento	Tipo de lanzamiento
Base neumática y mecánica	Impacto
Base Radial	Rodillos (motor eléctrico o neumático)
Ambos	Cilindro neumático

Tabla 4Parámetros boceto C.

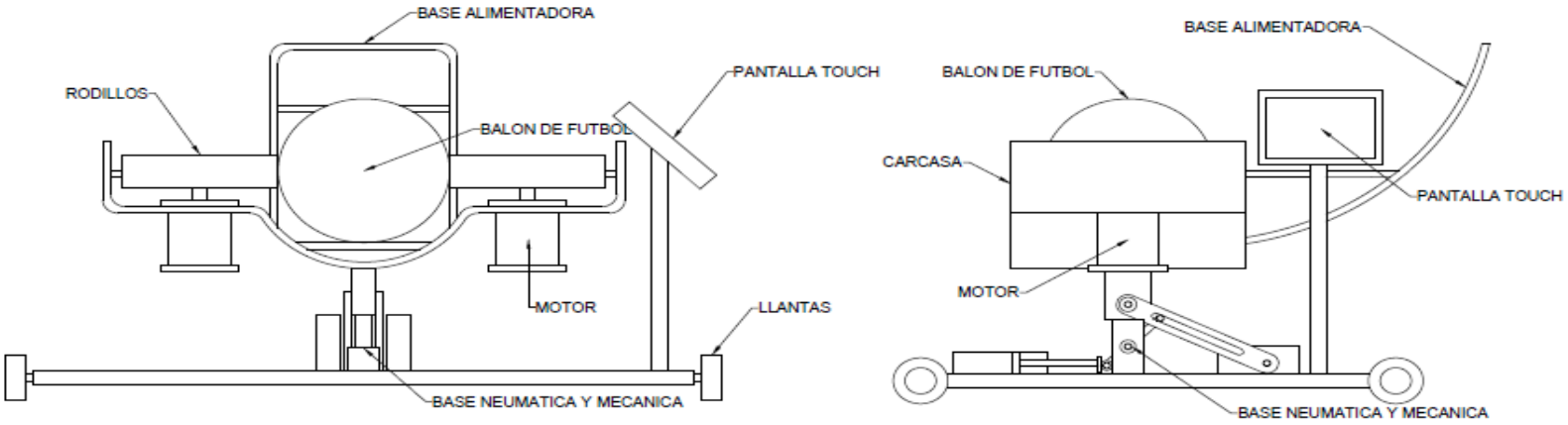


Imagen 12 Boceto C

5.7.4 BOCETO D

Variación del ángulo de lanzamiento	Tipo de lanzamiento
Base neumática y mecánica	Impacto
Base Radial	Rodillos (motor eléctrico o neumático)
Ambos	Cilindro neumático

Tabla 5Parámetros boceto D.

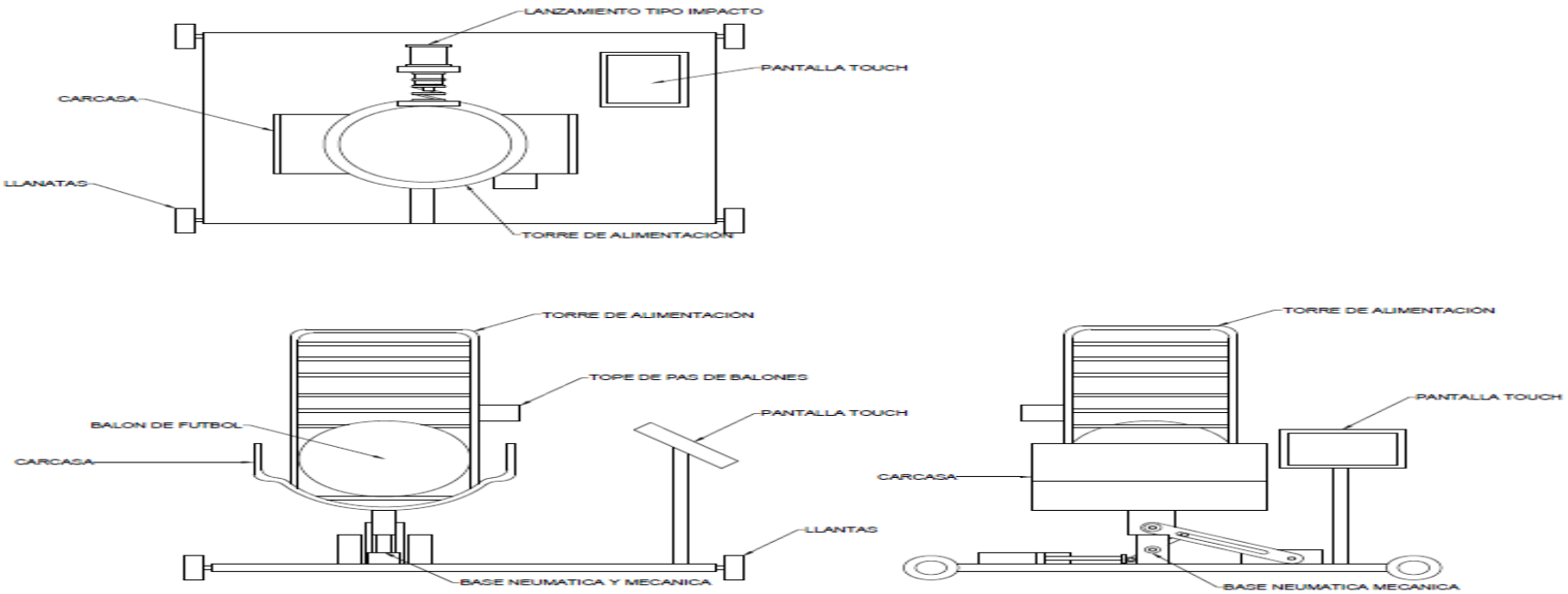


Imagen 13 Boceto D

5.7.5 BOCETO E

Variación del ángulo de lanzamiento	Tipo de lanzamiento
Base neumática y mecánica	Impacto
Base Radial	Rodillos (motor eléctrico o neumático)
Ambos	Cilindro neumático

Tabla 6 Parámetros boceto E.

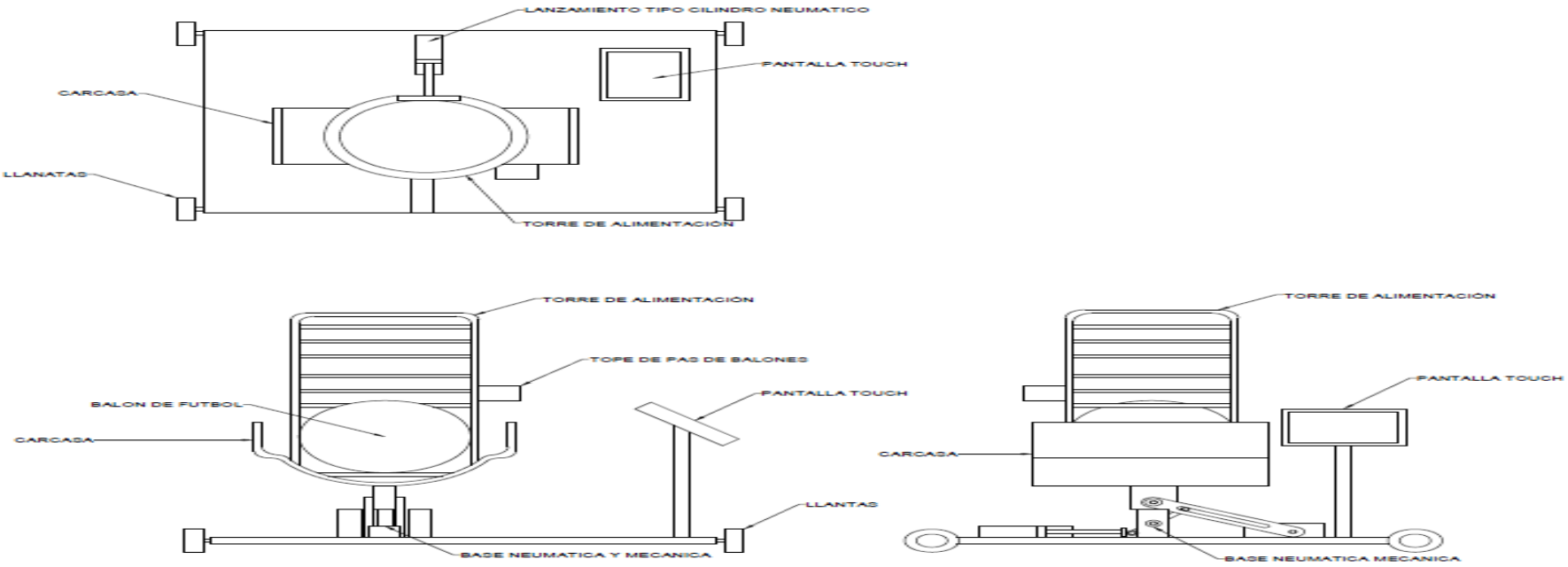


Imagen 14 Boceto E

5.7.6 BOCETO F

Variación del ángulo de lanzamiento	Tipo de lanzamiento
Base neumática y mecánica	Impacto
Base Radial	Rodillos (motor eléctrico o neumático)
Ambos	Cilindro neumático

Tabla 7Parámetros boceto F.

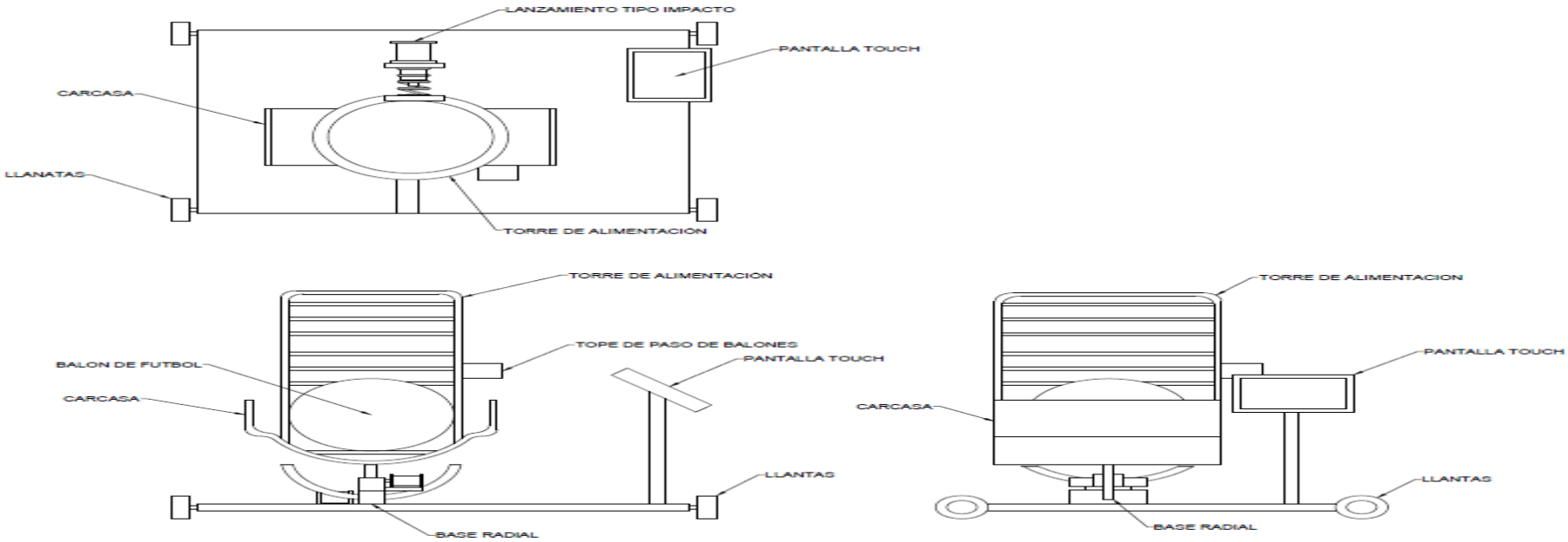


Imagen 15 Boceto F

5.7.7 BOCETO G

Variación del ángulo de lanzamiento	Tipo de lanzamiento
Base neumática y mecánica	Impacto
Base Radial	Rodillos (motor eléctrico o neumático)
Ambos	Cilindro neumático

Tabla 8 Parámetros boceto G.

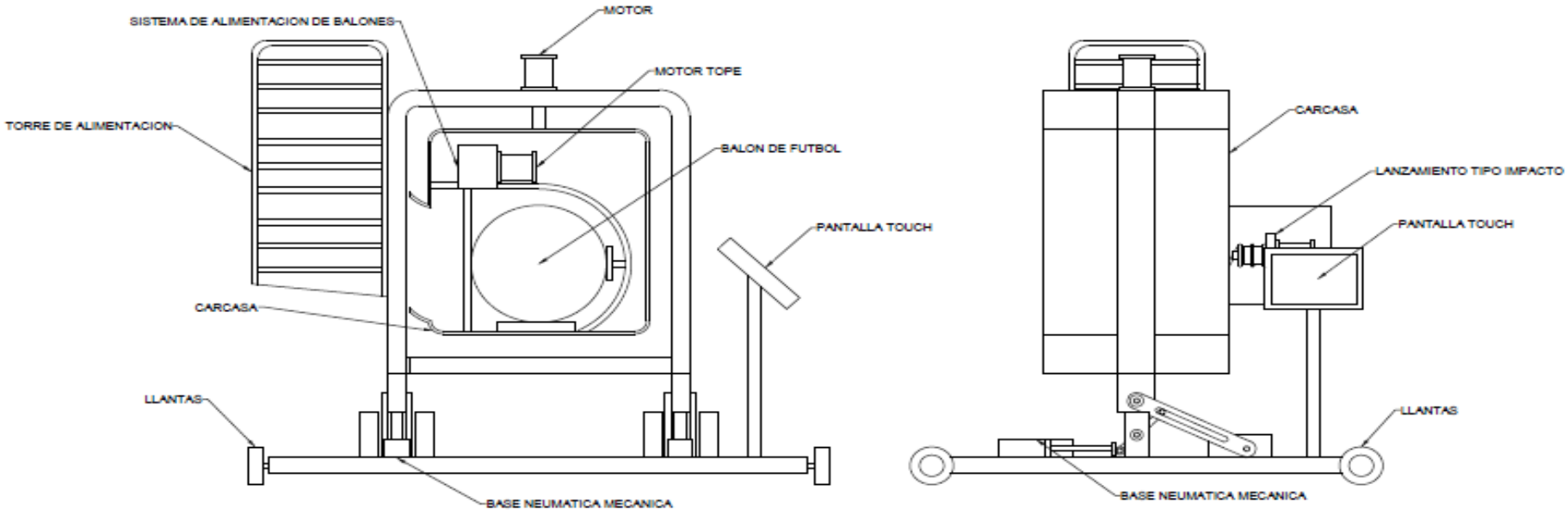


Imagen 16Boceto G

5.7.8 BOCETO H

Variación del ángulo de lanzamiento	Tipo de lanzamiento
Base neumática y mecánica	Impacto
Base Radial	Rodillos (motor eléctrico o neumático)
Ambos →	Cilindro neumático

Tabla 9 Parámetros boceto H.

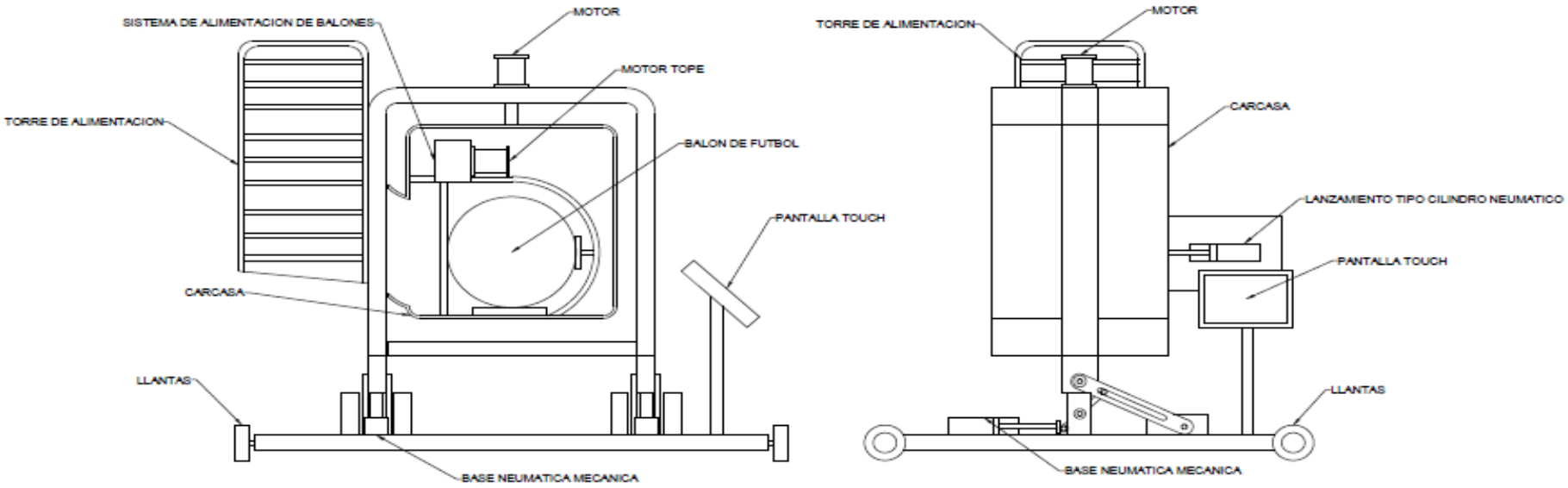


Imagen 17Boceto H

5.8 SELECCIÓN DE CONCEPTO

- La matriz de selección de conceptos, evalúa los conceptos con los parámetros determinados por el cliente en la matriz QFD, usando un solo código (+ “mejor que”, 0 “igual a”, – “peor que”), para identificar algunos conceptos para su posterior evolución.

	CONCEPTOS							
CRITERIOS DE SELECCIÓN	A Boceto 1	B Boceto 2	C Boceto 3	D Boceto 4	E Boceto 5	F Boceto 6	G Boceto 7	H Boceto 8
Seguridad	-	+	-	+	+	+	+	+
Interfaz usuario máquina	+	+	+	+	+	+	+	+
Distintos modos de entrenamiento	+	+	+	+	+	+	+	+
Baja inversión inicial	+	-	0	0	+	0	-	-
Fácil operación	0	0	0	0	0	0	0	0
Aleatoriedad	0	0	0	0	0	0	0	0
Fácil mantenimiento	+	-	+	-	+	+	-	-
Fácil desplazamiento	0	-	0	0	0	0	-	-
Automática	+	+	+	+	+	+	+	+
Ergonómica	+	+	0	+	-	+	-	0
Duración de batería	0	0	0	0	0	0	0	0
"Mejor que"	6	5	4	5	6	6	4	4
"Igual a"	3	3	6	5	4	5	3	4
"Peor que"	1	3	1	1	1	0	4	3
Evaluación neta	5	2	3	4	5	6	0	1
Clasificación (1-10, siendo 10 el más alto)	6	2	3	4	6	7	0	1
¿Continuar?	**COMBINAR**	**NO**	**NO**	**NO**	**COMBINAR**	**COMBINAR**	**NO**	**NO**

Tabla 10 Selección de conceptos

5.8.1 BOCETO I (BOCETO COMBINADO)

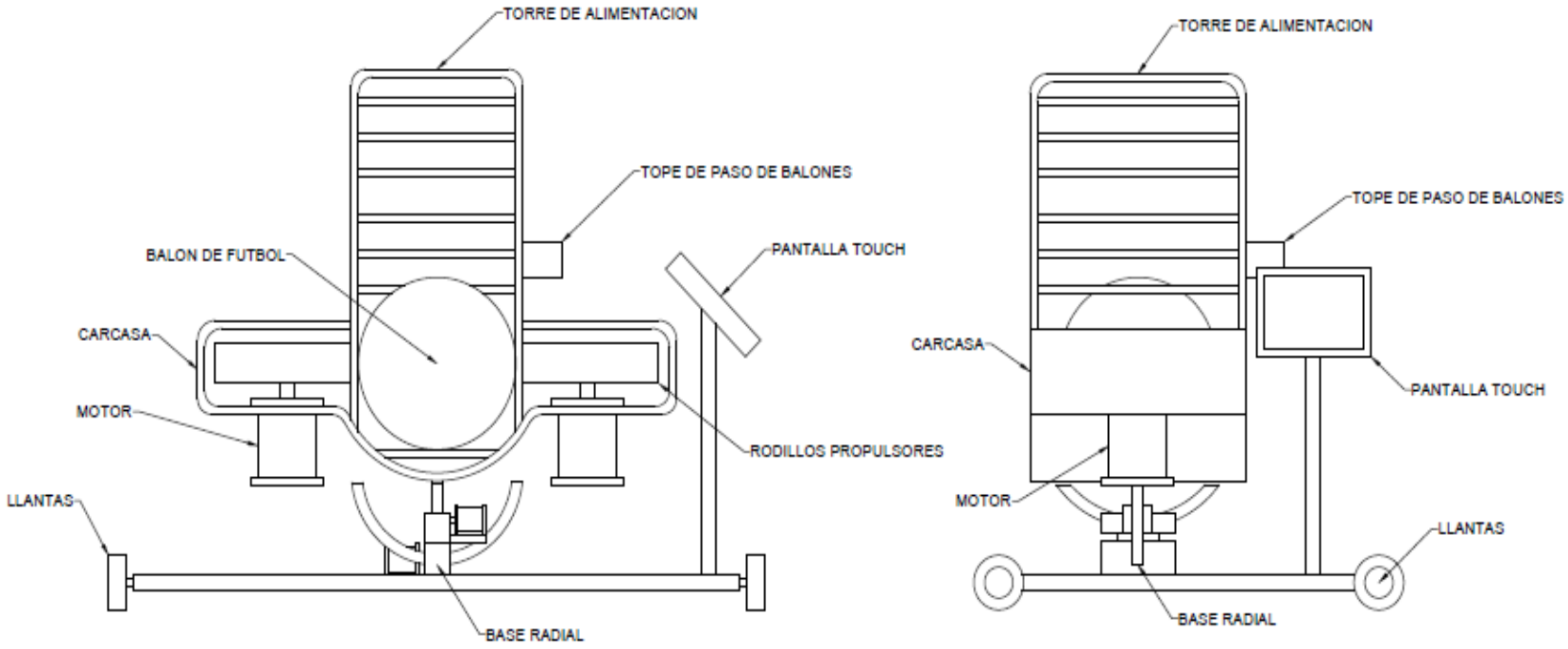


Imagen 18Boceto 1 combinado

- Matriz de evaluación de conceptos. Este método utiliza una suma ponderada de las evaluaciones para determinar la evaluación de conceptos. Al igual que en la etapa de selección de concepto, se evalúa todos los conceptos de los bocetos a combinar con respecto a los parámetros establecidos por el cliente en la matriz QFD. A cada parámetro se le dará una calificación cuya escala es de 1 a 5, siendo 5 el valor más alto, esta calificación será distinta cara cada boceto a combinar y el boceto combinado.

	CONCEPTOS								
CRITERIOS DE SELECCIÓN	Peso	A Boceto 1		E Boceto 5		F Boceto 6		I Boceto Combinado	
		Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
Seguridad	15%	2	0,3	4	0,6	4	0,6	5	0,75
Interfaz usuario máquina	10%	5	0,5	5	0,5	5	0,5	5	0,5
Distintos modos de entrenamiento	10%	4	0,4	4	0,4	4	0,4	4	0,4
Baja inversión inicial	5%	3	0,15	3	0,15	3	0,15	3	0,15
Fácil operación	10%	5	0,5	5	0,5	5	0,5	5	0,5
Aleatoriedad	5%	4	0,2	4	0,2	4	0,2	4	0,2
Fácil mantenimiento	10%	3	0,3	3	0,3	3	0,3	3	0,3
Fácil desplazamiento	10%	3	0,3	1	0,1	3	0,3	3	0,3
Automática	10%	4	0,4	3	0,3	3	0,3	4	0,4
Ergonómica	10%	4	0,4	1	0,1	3	0,3	4	0,4
Duración de batería	5%	3	0,15	1	0,05	3	0,15	4	0,2
	Total puntos		0,45		0,65		0,75		0,95
	Lugar		2		3		1		1
	Continuar	**NO**		**NO**		**NO**		**DESARROLLAR**	

Tabla 11Criterios de selección.

5.8.2 MODELADO CAD DEL DISEÑO FINAL

Por último se procede a realizar el diseño 3D del modelo escogido tras las técnicas de diseño.

En la imagen 19 se observa el modelo final, resultado de la combinación de las diferentes técnicas de diseño nombradas anteriormente.

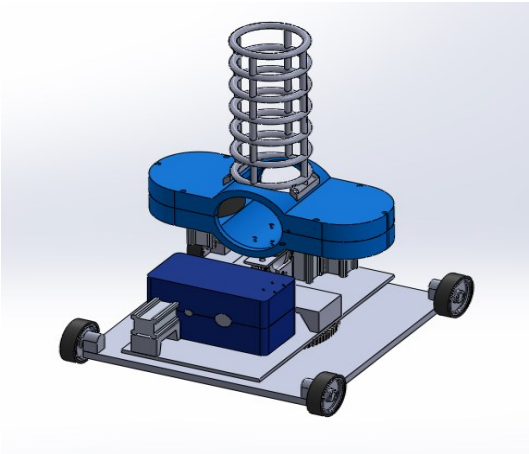


Imagen 19 Diseño final CAD

En la imagen 20 se muestra un corte de sección transversal con el objeto de visualizar de una mejor manera los mecanismos de la máquina.

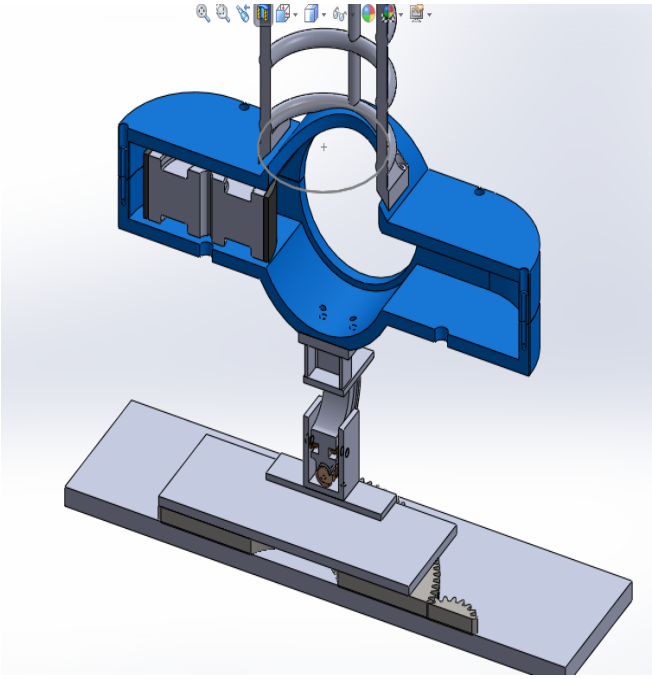


Imagen 20Vista en corte Diseño final

En la imagen 21 se ilustra el sistema de propulsión del balón, el cual consta de dos rodillos impulsados por motores DC de 24V.

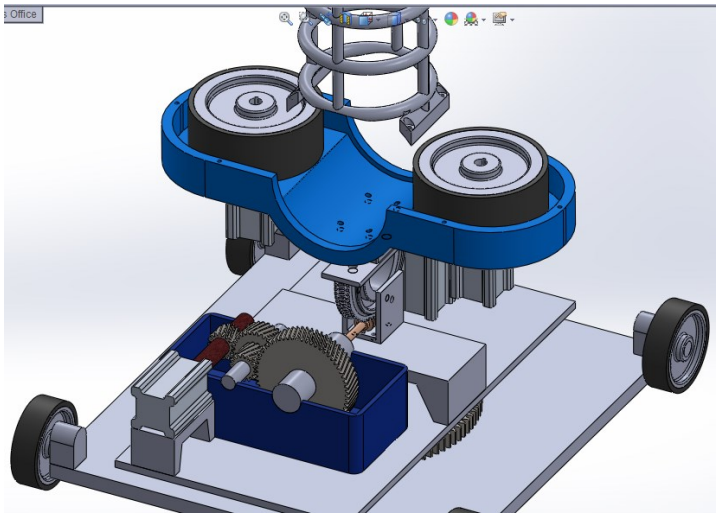


Imagen 21 Vista en corte 2 Diseño final

En la imagen 22 se aprecia con mayor detalle el sistema de movimiento vertical de la máquina, esto le dará la oportunidad de variar la altura del lanzamiento del balón.

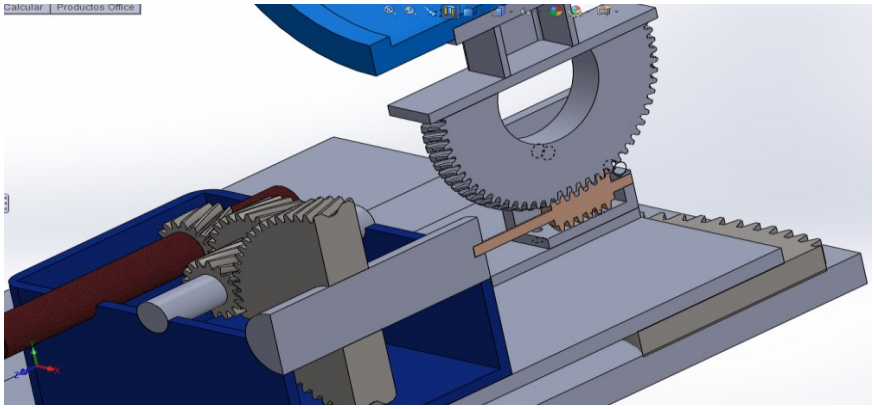


Imagen 22Detalle mecanismo posicionamiento máquina

5.9 MÉTODOS DE SELECCIÓN DE MATERIALES

En la selección de materiales óptimos para la conceptualización del sistema de lanzamiento de balones para el entrenamiento de deportistas dedicados al fútbol de alto rendimiento, el índice de desempeño que generalmente hace parte de una función objetivo, la cual maximiza o minimiza un atributo del material. Para nuestro sistema los índices de desempeño más comunes son máxima rigidez R1, y mínima densidad R2.

Donde E es el módulo de Young, ρ la densidad del material y R la rigidez.

$$R = \frac{E}{\rho} \rightarrow E = R\,\rho$$

Tomando logaritmos $Log\ E = Log\ R + Log\ \rho$

Fijando un valor para la rigidez especifica R, esta ecuación representa en la gráfica de Ashby una línea recta de pendiente 1.

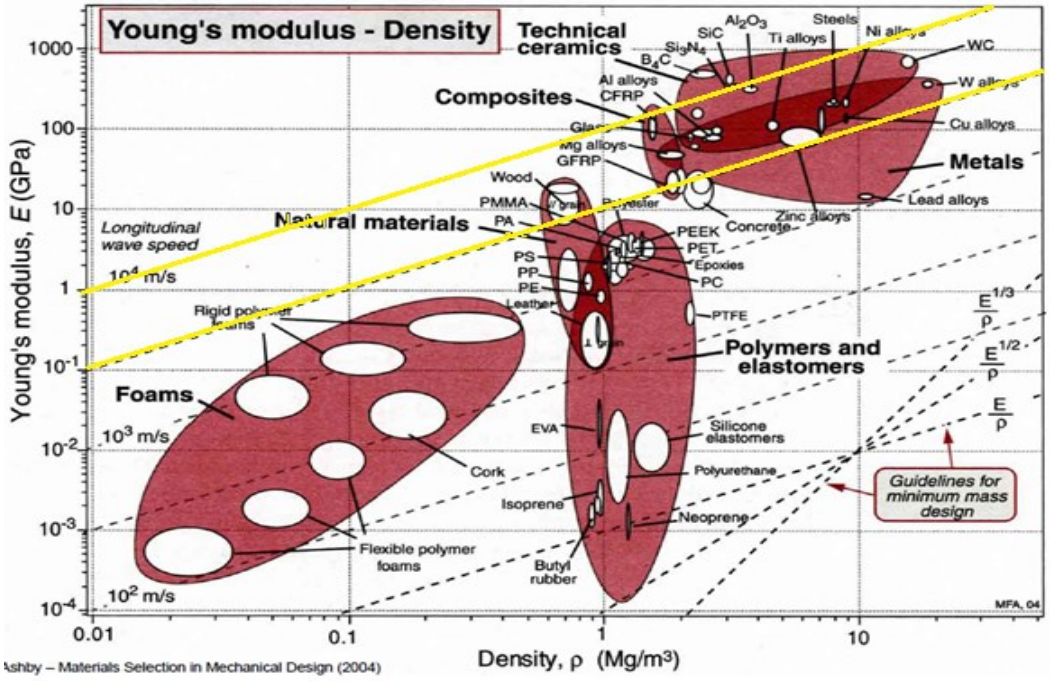


Imagen 23Gráfica de Ashby.

Debido al parámetro a maximizar que es la rigidez, la cual es la capacidad de un objeto solido o elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones o desplazamientos. Por lo cual la rigidez en una barra de sección cuadrada sometido a una carga es:

$$R = \frac{C_1 E A^2}{12 l^3}$$

Donde E es el módulo de Young, C_1 es la distribución de las cargas.

Una de las ligaduras impone que F/δ sea mayor que la rigidez de la barra, entonces:

$$\frac{F}{\delta} \geq \frac{C_1 E A^2}{12 l^3}$$

También, $m = \rho A l$, donde ρ es la densidad, despejando el parámetro libre A y sustituyendo en la ecuación previa:

$$m \leq \left(\frac{12F}{\delta C_1 l}\right)^{\frac{1}{2}} \; l^3 \left(\frac{\rho}{E^{\frac{1}{2}}}\right)$$

Donde los parámetros propios del material son:

$$\frac{\rho}{E^{\frac{1}{2}}}$$

En la siguiente tabla se especifica los requerimientos, con su debido índice para ingresar en las distintas tablas del módulo Young:

Requerimientos	Índice
Barra, Mínimo peso, rigidez especificada	$\frac{E^{1/2}}{\rho}$
Barra, peso mínimo, resistencia especificada	$\frac{\sigma_f^{2/3}}{\rho}$
Barra, costo mínimo, rigidez especificada	$\frac{E^{1/2}}{C_m \rho}$
Barra, costo mínimo, resistencia especificada	$\frac{\sigma_f^{2/3}}{C_m \rho}$
Columna, costo mínimo, resistencia al pandeo especificada.	$\frac{E^{1/2}}{C_m \rho}$
Aislamiento térmico, costo mínimo, flujo de calor especificado.	$\frac{1}{\lambda C_m \rho}$

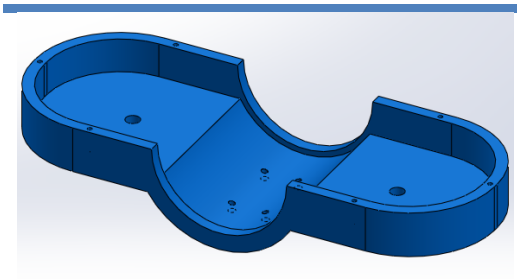
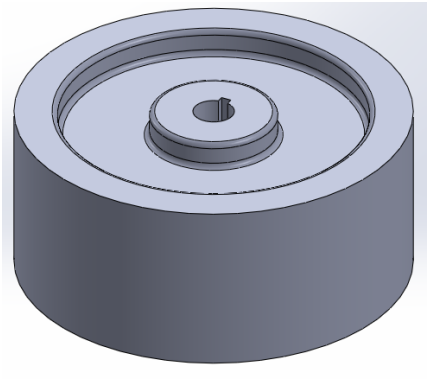
ρ densidad, E módulo de Young, σ_f esfuerzo de fluencia, C_m costo por kilogramo, λ conductividad térmica

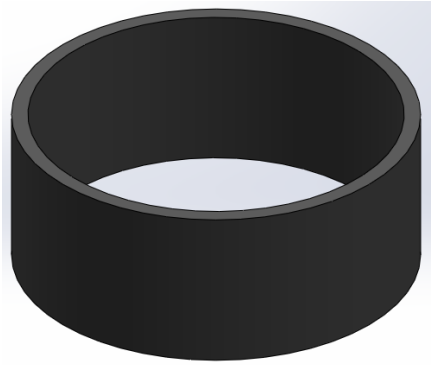
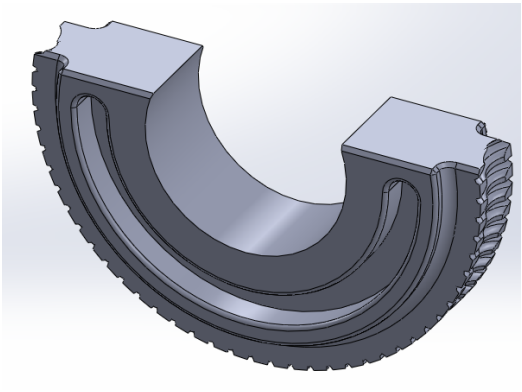
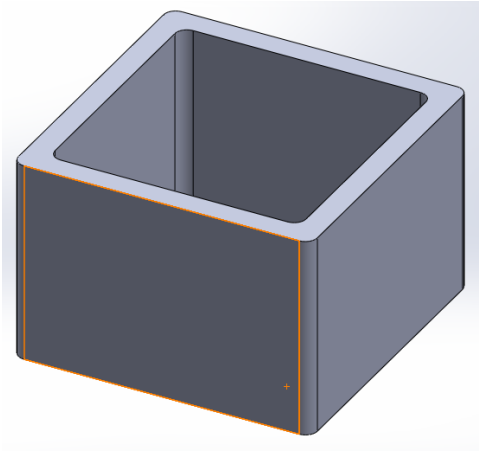
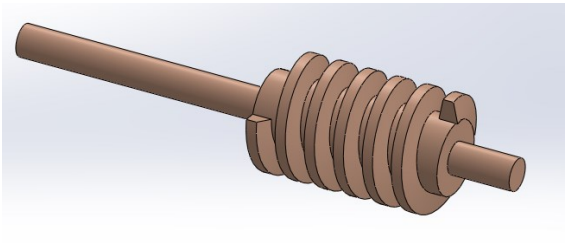
Los mejores materiales para la maquina lanza balones de futbol, son aquellos con un valor maximo del cociente ($\frac{E^{1/2}}{\rho}$), que sera el indice del material M, para la aplicación:

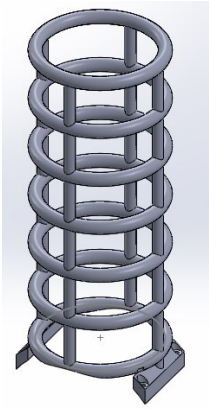
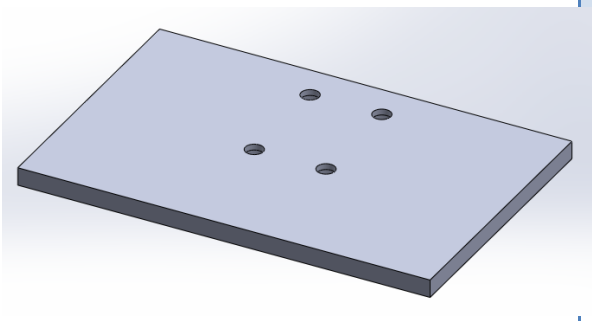
$$M = \frac{E^{1/2}}{\rho}$$

De esta forma se maximizara la rigidez, en los materiales seleccionados para el diseño de la máquina.

Se seleccionara los materiales contenidos en la tabla de Ashby dentro de las franjas amarillas, de tal forma, q se maximice la rigidez y se minimice la densidad del material seleccionado.

ELEMENTO	MATERIAL	DESCRIPCIÓN
	**(Carcasa)** Material compuesto	Para la carcasa de la máquina se utilizará un material compuesto, debido a su gran versatilidad, su baja densidad y su facilidad para moldear.
	**(Rodillo)** Aluminio	Debido a su baja densidad, el aluminio es el material idóneo para la fabricación del rodillo de impulso del balón.

	**(Cubierta de caucho)** Caucho natural	Es un excelente material debido a su flexibilidad, y debido a su textura es indicado para darle un adecuado impulso al balón.
	**(Corona)** Acero inoxidable	La corona será fabricada en acero inoxidable 304, y se someterá a un tratamiento térmico de nitruración.
	**(Perfil cuadrado de 100x100)**Perfil	Perfil cuadrado de acero inoxidable de 100x100 y un espesor de 10 mm, se utiliza acero inoxidable, con el fin de contrarrestar la corrosión del ambiente.
	**(Tornillo sin fin)**Bronce SAE65	El tornillo sin fin se construirá en Bronce SAE 65, debido a sus características mecánicas similares a las del acero, resistente a la corrosión.

	**(Torre de alimentación)** Acero inoxidable	Se construirá en tubo de acero inoxidable de calibre 12
	**(Placas)** Acero 1020	Cada una de las placas de las que consta la máquina lanza balones, serán fabricadas en acero 1020, recubiertos con pintura resistente a la corrosión

5.10 CÁLCULOS SINFÍN CORONA

Datos Conocidos:

Módulo (**M**) = 3
Número de Dientes de la rueda (**N**) = 70
Número de entradas (**n**) = 2

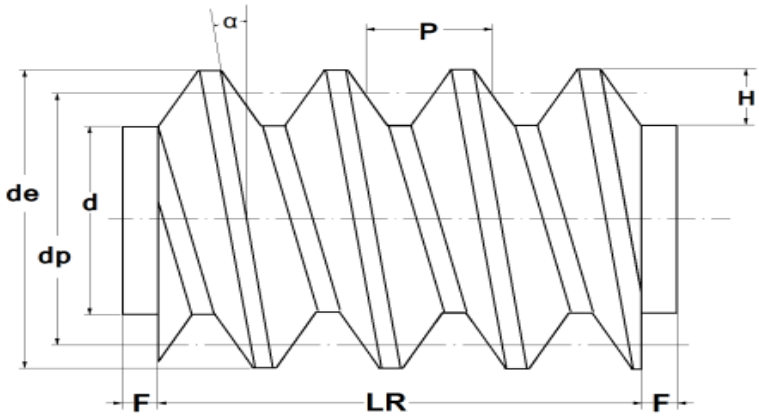


Imagen 24Esquema tornillo sinfín.

P = πM
P = 3.1416 (3)
P = 9.42 mm

h = 2.167M
h = 2.167(3)
h = 6.5 mm

dp = (de 8 a 12)M
tomaremos 10, entonces **dp** = 10(3)
dp = 30 mm

de = dp + 2M
de = 30 + 2(3)
de = 30 + 6
de = 36 mm

d = de – 2h
d = 36 – 2(6.5)
d = 36 – 13
d = 23 mm

α = tg^{-1} (M(n))/dp
α = tg^{-1} (3(2))/30
α = tg^{-1} (6/30)
α = tg^{-1} 0.2
α = 11.31

e = P/2
e = 9.42/2
e = 4.71 mm

c = P/2
c = 9.42/2
c = 4.71 mm

L = M
L = 3 mm

l = 1.167 **M**
l = 1.167 (3)
l = 3.5

Se toma **β = 14° 30'**

T = ((P Cot β /4)-L)(2tgβ)
T =(((9.42 Cot14°30′)/4) -3) (2tg14°30')
T =(((9.42 (3.92))/ 4)- 3) (2 (0.2586))

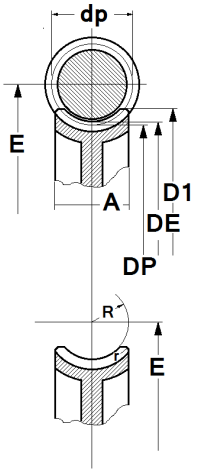
T =((36.95 / 4) -3) (0.5172))
T =((9.23- 3) (0.5172))
T = 6.23 (0.5172)
T = 3.15 mm

LR = P (4.5+(N/50))
LR = 9.42 (4.5+ (70/50))
LR = 9.42 (4.5 + 1.4)
LR = 9.42 (5.9)
LR = 60 mm

F = P
F = 9.42 mm

r = 0.05 P
r = 0.05 (9.42)
r = 0.47mm
Delta que es el Ángulo total entre flancos δ = 29°

Fórmulas para la rueda Tipo A:



DP = M(N)
DP = 3(70)
DP = 210 mm.

DE = DP + 2M
DE = 210 + 2(3)
DE = 210 + 6
DE = 216 mm

P = πM
P = 3.1416 (3)
P = 9.42 mm

H = 2.167M
H = 6.5 mm

D1 = DE + 0.4775P
D1 = 210 + 0.4775 (9.42)
D1 = 223

A = 6 + 2.38P
A = 6 + 2.38 (9.42)
A = 28.43

R = 0.5dp – M
R = 0.5 (30) – 3
R = 12 mm

r = 0.25P
r = 0.25 (9.42)
r = 2.35 mm

E = (Dp + dp)/2
E = (210+30)/2
E = 120 mm

Después de haber culminado la etapa de diseño mecánico se procede con la parte electrónica de la máquina, aquí se tendrá en cuenta, selección de motores, batería de alimentación, generación de código programado en Labview y el diseño del sistema HMI.

5.11 DISEÑO DE CONTROLADOR PARA MOTOR DC[13]

Antes de iniciar con la etapa de programación fue necesario identificar las variables a controlar, en este caso la velocidad de los motores y la posición.

Se comienza con la selección de los motores, se consulta por catálogo los valores que brinda el fabricante, tales como velocidad angular, resistencia del bobinado, la inductancia, el consumo en Ampers y la constante de torque del motor, todo esto debido a que son parámetros a tener en cuenta en el momento del diseño del control.

Acto seguido lo que se debe realizar es hallar la función de transferencia del sistema, Imagen 25.

[13] Kuo Benjamin.C Sistemas de control Automático. Pentice Hall.

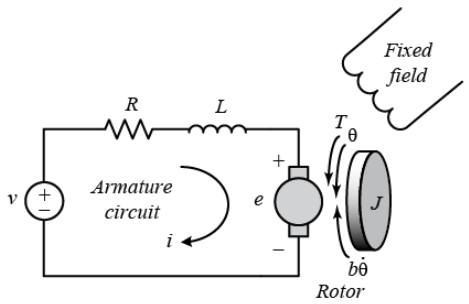


Imagen 25 Modelado sistema dinámico motor DC.

En este caso se considera que el sistema es alimentado por una fuente de voltaje V y consta de una resistencia R del bobinado, la inductancia L y el motor, también se deben tener en cuenta los parámetros del rotor, los cuales son el momento de inercia J, el torque T, el coeficiente de fricción viscoso b y la velocidad angular $\dot{\theta}$.

Se procede a plantear las ecuaciones que gobiernan al sistema, basados en la segunda ley de newton y la ley de kirchhoffs.

1. $V(t) = i.R + L\frac{di(t)}{dt} + K\frac{d\Theta(t)}{dt}$

2. $J\ddot{\theta}(t) + b\dot{\theta} = Ki(t)$

Aplicando la transformada de Laplace para las ecuaciones 1 y 2 se obtiene:

1. $V(S) - KS\Theta(S) = Ri(S) + SLi(S)$
- $V(S) - KS\Theta(S) = i(S)(R + LS)$
2. $JS^2\Theta(S) + Sb\Theta(S) = Ki(S)$
- $S\Theta(S)(JS + b) = Ki(S)$

Se va a hallar primero la función de transferencia para el control de velocidad, por tanto las variables de interés son el Voltaje que sería la entrada y la Velocidad que sería la salida, la cual va a ser la variable a controlar, por lo tanto:

3. $P(S) = \frac{\dot{\theta}(s)}{V(s)}$

Se despeja i(S) de 2 y se reemplaza en 1

$$\frac{S\Theta(S)(JS + b)}{K} = i(S)$$

Reemplazando en 2, se tiene:

$$V(S) - KS\Theta(S) = \left(\frac{S\Theta(S)(JS + b)}{K}\right)(R + LS)$$

$$V(S) = \left(\frac{S\Theta(S)(JS+b)}{K}\right)(R+LS) + KS\Theta(S)$$

Ahora lo que se busca es conseguir la función de transferencia basada en la ecuación 3, teniendo en cuenta la salida $\dot{\Theta}(S)$ y la entrada V(S), realizando el despeje correspondiente se obtiene:

4. $\frac{\dot{\Theta}(S)}{V(S)} = \frac{K}{(JS+b)(R+LS)+K^2}$

De ésta manera queda determinada la función de transferencia del sistema para el control de velocidad.

Así mismo se puede hallar la ecuación para el control de posición, la cual se puede obtener a partir de la ecuación 4.

$$\frac{S\Theta(S)}{V(S)} = \frac{K}{(JS+b)(R+LS)+K^2}$$

Para éste caso la función de transferencia depende de la entrada que es el voltaje V(S) y de la salida que es la posición $\Theta(S)$, por lo tanto:

5. $\frac{\Theta(S)}{V(S)} = \frac{K}{S((JS+b)(R+LS)+K^2)}$

Con las ecuaciones 4 y 5 queda solucionado el problema de las funciones de transferencia para el sistema, en este caso el motor DC.

5.11.1 SELECCIÓN DE MOTORES

Una vez obtenidas las funciones de transferencia, se procede a la selección de los motores a utilizar en la máquina lanzadora de balones, debido a que en base a las constantes brindadas por el fabricante, se podrá proceder con la sintonización del controlador.

Se tuvo en cuenta motores DC, motor paso a paso y servomotores.

El análisis de estos actuadores rotativos se realizó teniendo en cuenta la aplicación.

5.11.2 SELECCIÓN DE MOTOR PARA RODILLOS PROPULSORES

En éste caso el interés era un motor que girara a 1600 rpm y tuviera una potencia de 600W, como se sustenta en los siguientes cálculos.

Los únicos datos que se conocían para el cálculo de estos motores eran:

$v_b = 150\ Km/h$ Velocidad de alcance del balón

$m = 0.450Kg$ Masa del balón

$\emptyset_b = 0.20\ m$ Diámetro del balón

Lo primero que se calculó fue el diámetro de los rodillos propulsores, se analizó el problema simulando el sistema como deformación volumétrica[14], una laminación, de ésta manera:

[14] Beer Johnston, Mecánica vectorial para ingenieros Dinámica (pag)McGrawHill.

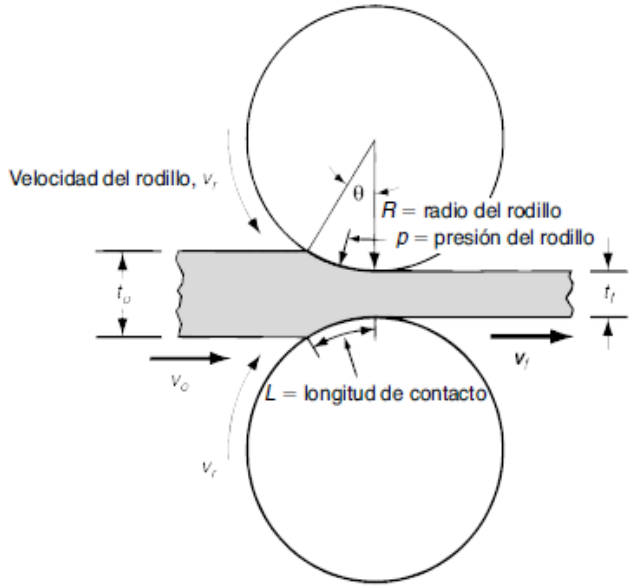


Imagen 26Esquema método laminación.

En éste caso se tendrá una deformación muy pequeña, ya que solo se necesita que los rodillos entren en contacto con el balón, así:

Imagen 27 Sistema considerado para el cálculo de rodillos propulsores.

Se procede a hallar el Radio de los rodillos, se elige un coeficiente de fricción entre el balón y los rodillos, no se encuentra sintético-sintético, por lo cual se asume un coeficiente de fricción cinético de 0.12:

$$\mu^2 R = H_o - H_f$$

μ=0.12 Coeficiente de fricción cinético entre rodillos y balón

H_o =Espesor inicial del balón

H_f =Espesor final del balón

$d_{max} = 2mm$ Draft máximo

R= Radio de los rodillos propulsores

$R = \frac{2}{(0.12mm)^2}$

$R = 138.889\ mm$ Se aproxima a 125 mm ya que es el diámetro comercial más cercano es 250 mm.

En base a esto se selecciona por catálogo una rueda de la línea radial (goma compacta) ref RL250.

LINEA RADIAL (GOMA COMPACTA)

Código	Medida Diámetro x Ancho en mm.	Diámetro del Buje en mm.	Tipo de Buje	Peso Aprox. en Gramos	Capacidad de Carga
RL80	80x20	8	poliamida	100	20
RL150	150x40	19	poliamida	725	70
RL175	175x40	19	poliamida	850	75
RL200	200x40	19	poliamida	1250	100
RL250	250x50	19	poliamida	2150	120

Tabla 12Características rodillo propulsor.

Ahora se procede a realizar el cálculo de la longitud de contacto, que está definida por la ecuación:

$L = \sqrt{R(d_{max})}$

$L = \sqrt{125(2)}$

$L = 15.811mm$ se aproxima el valor a 16 mm

Se debe hallar el número de revoluciones al que debe andar el motor para poder calcular la potencia mecánica.

$P = MN$

$N =$ Velocidad angular

Para el cálculo de la velocidad angular se halló por cinemática de cuerpos rígidos, tomado del libro Dinámica de Beer and jhonston.

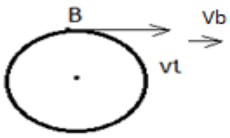


Imagen 28Esquema velocidad de salida balón.

$Vt = NR;\ Vt =$Velocidad tangencial

$R = 0.125m$

$Vt = 0.125N$

$V_b = 150Km/h$ Velocidad del balón

$$V_b = \frac{150\ 000m}{3600s}$$

$$V_b = 41.667m/s$$

$$V_b = v_t + v_{t/b}$$

$$V_b = v_t i + Nk * Rj$$

$v_{t/b}$ =Velocidad relativa

$$\frac{41.667m}{s} = (0.125N)i + Nk * 0.125j$$

$$\frac{41.667m}{s} = (0.125N)i + (0.125N)i$$

$$\frac{41.667m}{s} = (0.250N)$$

$$N = 166.668rad/s$$

$N = 1591.562\ rpm$ se aproxima a 1600 rpm

Se procede con el cálculo del momento:

$$M = I * N$$

El momento de inercia I para un cilindro es $I = \frac{1}{2}mR^2$

Según los datos obtenidos por catálogo en el que se seleccionó la rueda que va a actuar como rodillo propulsor, la masa es de 2.15Kg, como se observa en la Tabla 12.

$$I = \frac{1}{2}(2.15Kg)(0.125m)^2$$

$$I = 0.017$$

$$M = (0.017)(166.668\frac{rad}{s})$$

$M = 2.799Mm$ Una vez hallado el momento M y la velocidad angular N se puede calcular la potencia mecánica.

$$P = MN$$

$$P = 466.9W$$

Ahora si se tienen los datos necesarios para la selección del motor, como los rodillos propulsores van a estar girando constantemente y no necesitan sino el control de velocidad se selecciona un motor DC de 24V.

Imagen 29 Motor DC Rodillos propulsores

Este tipo de motor tiene las siguientes características según catálogo.

Tipo	V_n [V]	n [min^{-1}]	C_n [Nm]	Pu [W]	K_c [Nm/A]	J [$kg.m^2$]	R_{term} [°C/W]	Rm [Ω]	Ind [mH]	Peso [Kg]
023	12 24 180	1500	0.20	30	0.065 0.129 0.971	0.00033	2.2	0.45 1.80 120	0.83 3.32 187.2	1.5
	12 24 180	3000		60	0.032 0.065 0.486			0.14 0.55 34	0.21 0.83 46.8	
040	12 24 180	1500	0.28	45	0.065 0.129 0.971	0.00057	2.0	0.32 1.28 72	1.41 5.63 316.8	1.8
	12 24 180	3000		90	0.032 0.065 0.486			0.08 0.32 20	0.35 1.41 79.2	
075	12 24 180	1500	0.88	135	0.065 0.129 0.971	0.0011	1.53	0.12 0.50 31.3	1.60 7.20 420.0	2.7
	12 24 180	3000	0.60 0.70	180 220	0.032 0.065 0.486			0.038 0.15 13.0	0.50 2.00 116.0	
105	12 24 180	1500	1.15 1.50 1.50	180 230 230	0.065 0.129 0.971	0.0015	1.32	0.052 0.24 20.0	0.72 4.66 240.0	4.3
	12 24 180	3000	0.55 0.77 0.77	170 240 240	0.032 0.065 0.486			0.013 0.085 10.6	0.18 1.35 69.0	

Tabla 13Constantes de motor DC.

5.11.3 SELECCIÓN DE MOTOR PARA EL POSICONAMIENTO DE LA MÁQUINA

Los motores que se pueden utilizar en el control de posición son los servomotores y los motores paso a paso, usando un encoder como sensor de posición.

Sin embargo como el voltaje de alimentación es de 24V DC, se descartan los servomotores, ya que no se encontró que funcionen a 24VDC con la potencia adecuada, la mayoría en el mercado son AC a 220V o monofásicos, por lo que se decide elegir un motor paso a paso para esta aplicación.

5.11.4 SINTONIZACIÓN DEL CONTROLADOR DE POSICIÓN POR EL MÉTODO DE ZIEGLER AND NICHOLS

Una vez seleccionado el motor, se procede a tomar los valores de las variables por catálogo, según la referencia escogida.

K=0.01

J=$0.01Kgm^2$

b=$0.01Nms$

R=1Ω

L= 0.5H

Donde K= constante del motor, J= momento de inercia del motor, b= Coeficiente de fricción viscoso del motor, R= Resistencia, L= Inductancia.

Se reemplazan estos valores en la función de transferencia obtenida para el control de posición del motor obteniendo la siguiente ecuación.

$$\frac{\theta(s)}{v(s)} = \frac{0.01}{0.05s^3 + 0.06s^2 + 0.1001s}$$

Con ésta función de transferencia se procede a la sintonización por medio del método de Ziegler and Nichols.

Como primera medida se modela el sistema en Matlab.

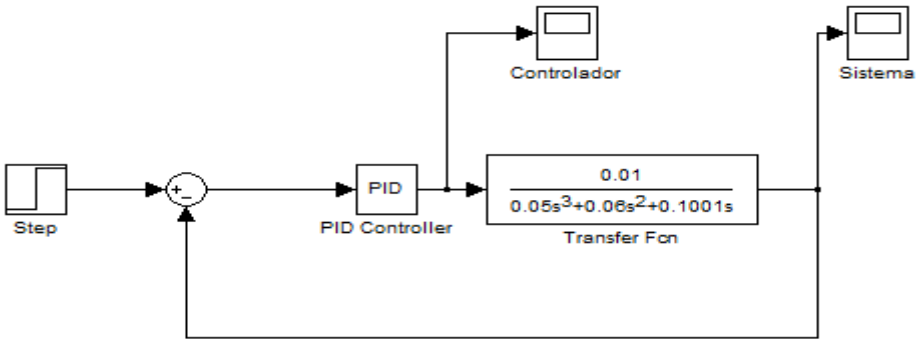


Imagen 30Modelamiento Control PID en Simulink de matlab

Lo primera que se hace es tomar un valor para la banda proporcional de tal forma que el sistema se comporte de manera oscilante, para lo cual se observó ese tipo de comportamiento para Ku=12, dando un Tu=4.3, estos valores se obtuvieron de manera experimental mediante el módulo simulink del software MATLAB, el cual se presenta en la imagen 31.

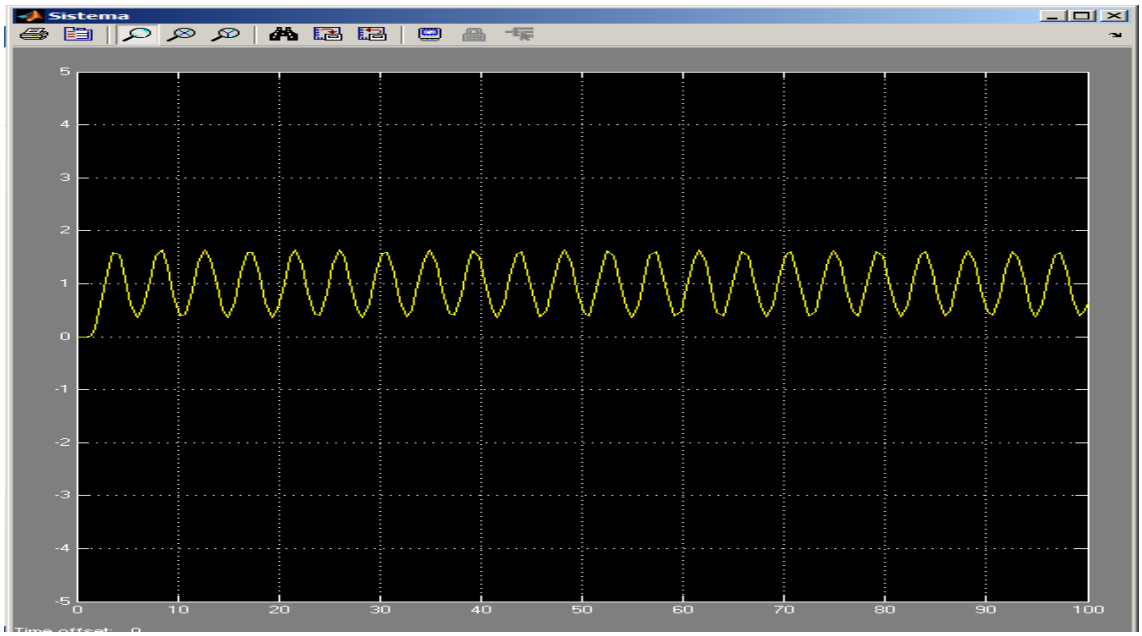


Imagen 31Comportamiento oscilatorio del sistema

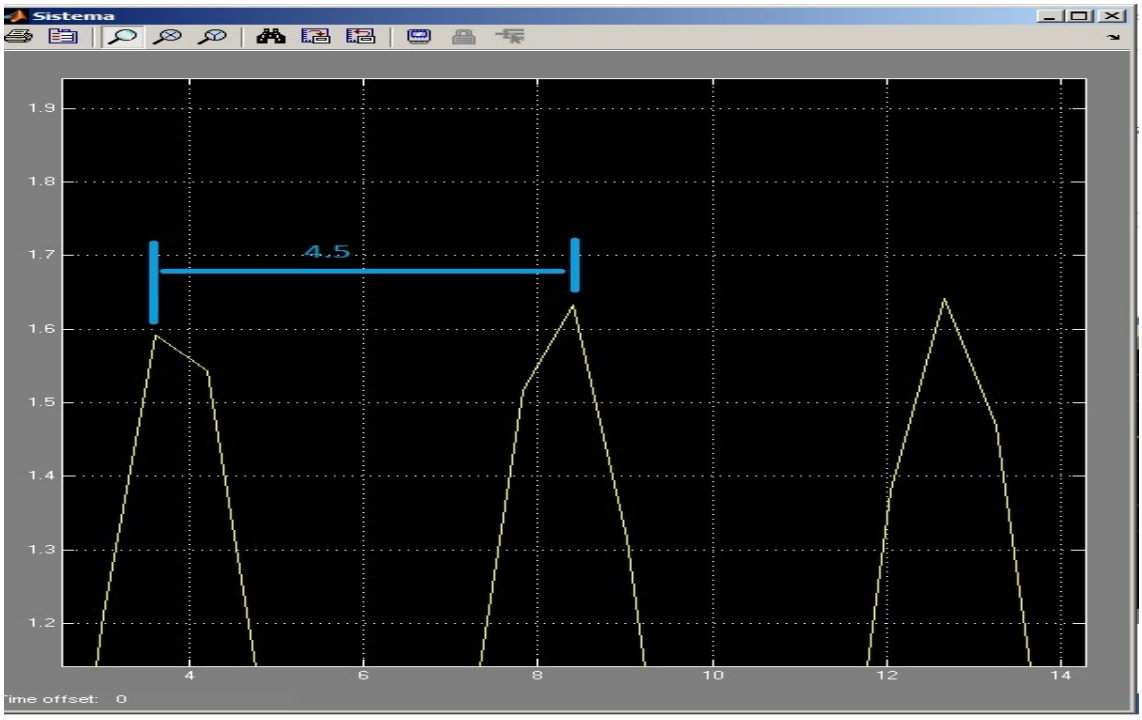


Imagen 32Detalle de las crestas producidas por el sistema.

Éste método proporciona una tabla para el cálculo de las constantes del controlador, tomando el valor de Tu, que se observa en la imagen 32.

Tipo de controlador	Kp	Ti	Td
P	0.5Ku	0	0
PI	0.45Ku	Tu/1.2	0
PID	0.5Ku	0.5Tu	0.125Tu

Tabla 14 Cálculo de constantes del controlador.

Reemplazando los valores correspondientes a la banda proporcional Ku y al período Tu, se obtiene:

Tipo de controlador	Kp	Ti	Td
P	6	0	0
PI	5.4	3.583	0
PID	6	2.15	0.5375

Tabla 15Constantes del controlador.

Lo cual arroja un lazo no muy estable, como se muestra en la imagen 31.

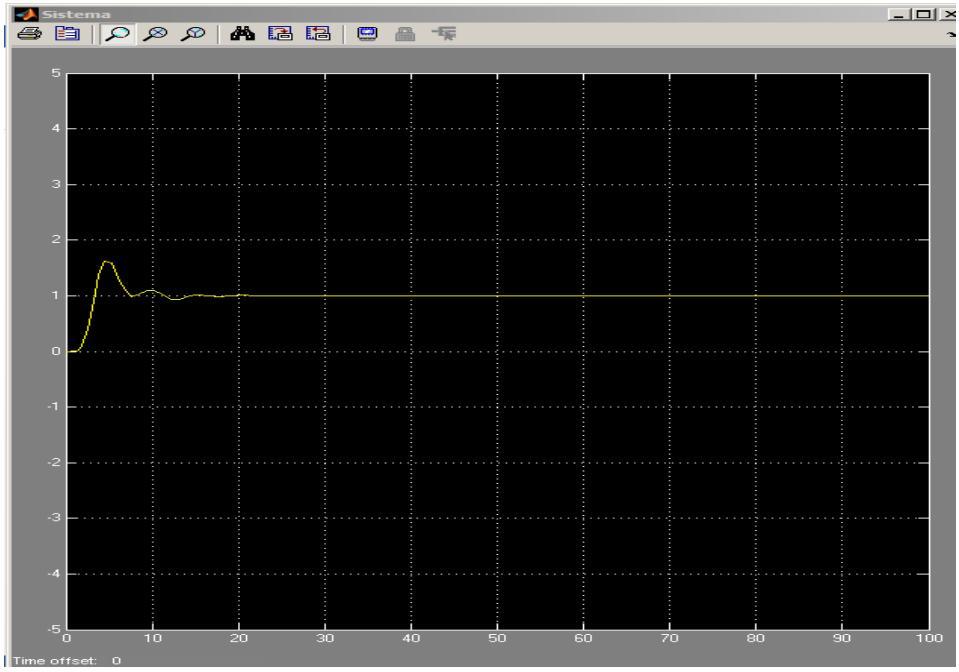


Imagen 33Respuesta de sintonización del Controlador PID.

Por lo cual el método de Ziegler and Nichols propone que se deben ajustar las ganancias del controlador manualmente hasta que se obtenga una respuesta estable, en caso que el sistema no se haya estabilizado durante la sintonización, por lo cual se hacen unas variaciones en los parámetros obtenidos, dando mejor resultado.

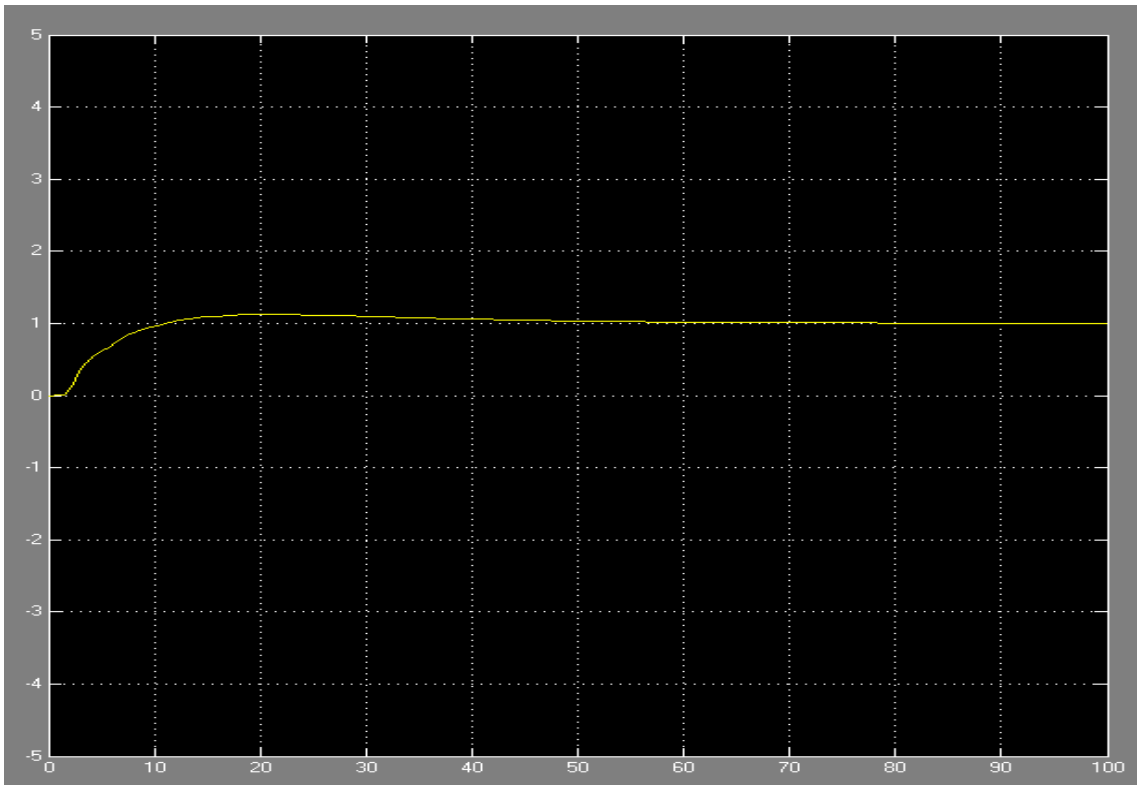


Imagen 34Respuesta optimizada del sistema de control.

Para obtener este resultado, los valores usados de los parámetros del controlador fueron los siguientes: Kp=3.5, Ti=0.15, Td=6.65.

Posteriormente se realiza la discretización del controlador para después seguir con la programación en el software Labview.

5.11.5 DISCRETIZACIÓN CONTROLADOR DE POSICIÓN

El control discreto PID viene dado por:

$$C(Z^{-1}) = \frac{U(k)}{e(k)} = \frac{q_0 + q_1 Z^{-1} + q_2 Z^{-2}}{1 - Z^{-1}}$$

Donde:

$$q_0 = kp[1 + \frac{T}{2Ti} + \frac{Td}{T}]$$

$$q_1 = +Kp[1 - \frac{T}{2Ti} + \frac{2Td}{T}]$$

$$q_2 = \frac{Kp * Td}{T}$$

La ley de control que se va a ingresar en el controlador PID sale despejando U(k) en el PID discreto.

$$U(k) * 1 - Z^{-1} = (q_0 + q_1 Z^{-1} + q_2 Z^{-2})(e(k))$$

$$U(k) = U(k) * Z^{-1} + q_0 * e(k) + q_1 Z^{-1} * e(k) + q_2 Z^{-2} * e(k)$$

Aplicando transformada inversa de Z se obtiene la Ecuación diferencial:

$$U(k) = U(k-1) + q_0 * e(k) + q_1 * e(k-1) + q_2 * e(k-2)$$

Con esta función discreta se procede a realizar la programación en software seleccionado.

5.12 ELABORACIÓN DEL CÓDIGO EN LABVIEW

Después de haber realizado la discretización del controlador PID, se procede a elaborar la programación en el software de national instruments Labview, como primera medida se programó el control para el posicionamiento de los motores de la máquina.

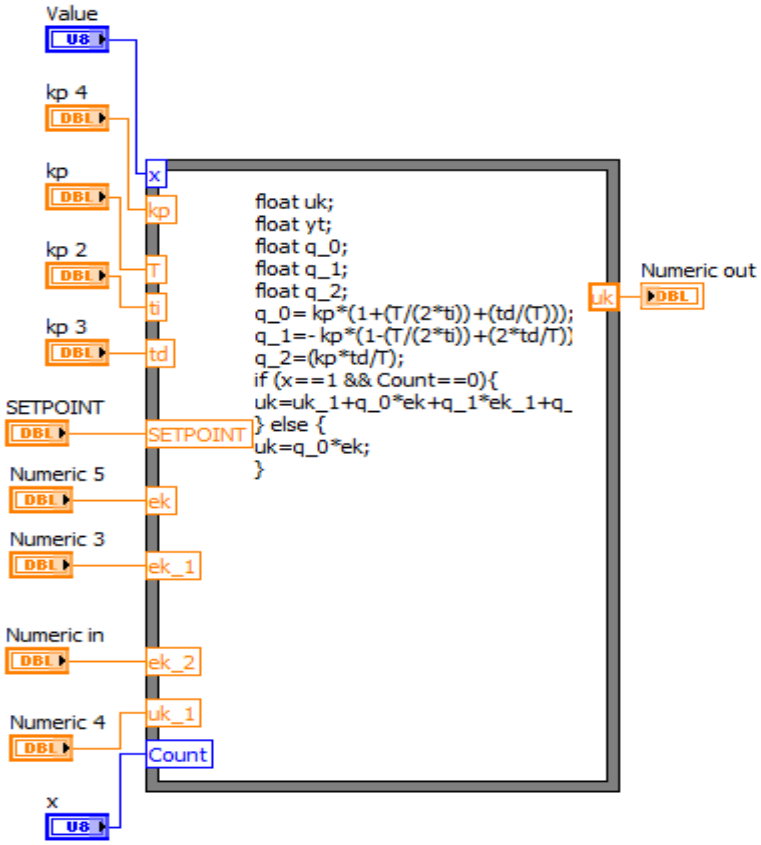


Imagen 35Código de programación control PID en LABVIEW.

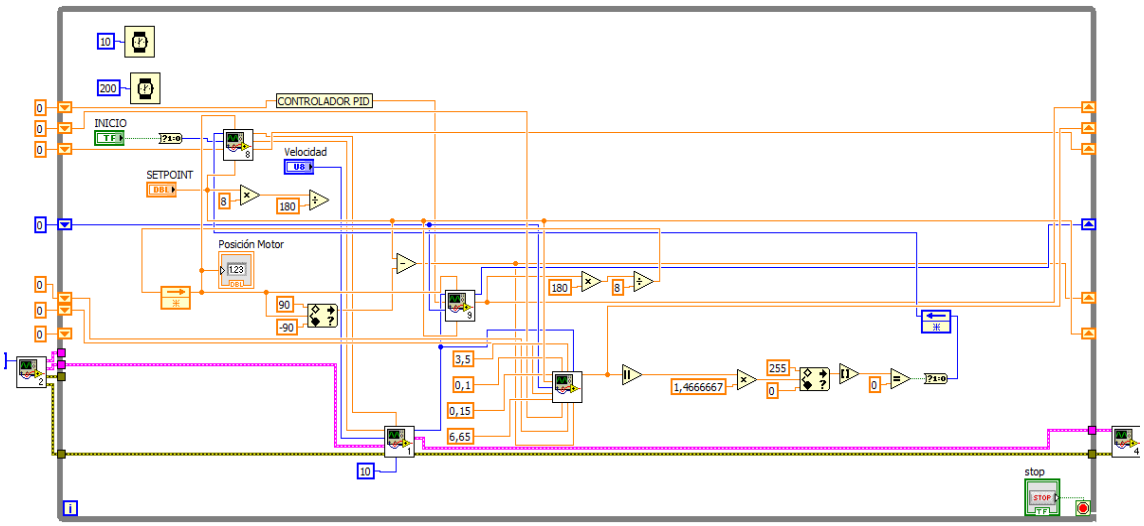


Imagen 36Código control de posición velocidad por PWM en LABVIEW, simulado con ARDUINO uno.

El control de posición se probó con el hardware arduino, el código se encuentra elaborado para ejecutarlo en ésta tarjeta, pero solo basta configurar las entradas, salidas y selección del plc a usar dentro del labview, por lo cual el código no cambia, en la imagen 35 y 36 se observa parte del código generado para máquina lanzadora de balones.

5.13 DISEÑO INTERFAZ HMI

Con el objeto que cualquier persona sea capaz de manipular la máquina, se realizó una interfaz, bastante amigable con el usuario, a continuación se presenta las diferentes imágenes que se observarán dentro de la pantalla HMI.

Imagen 37Pantalla de bienvenida sistema HMI.

Lo primero que se encontrará al iniciar la máquina, será una pantalla de bienvenida.

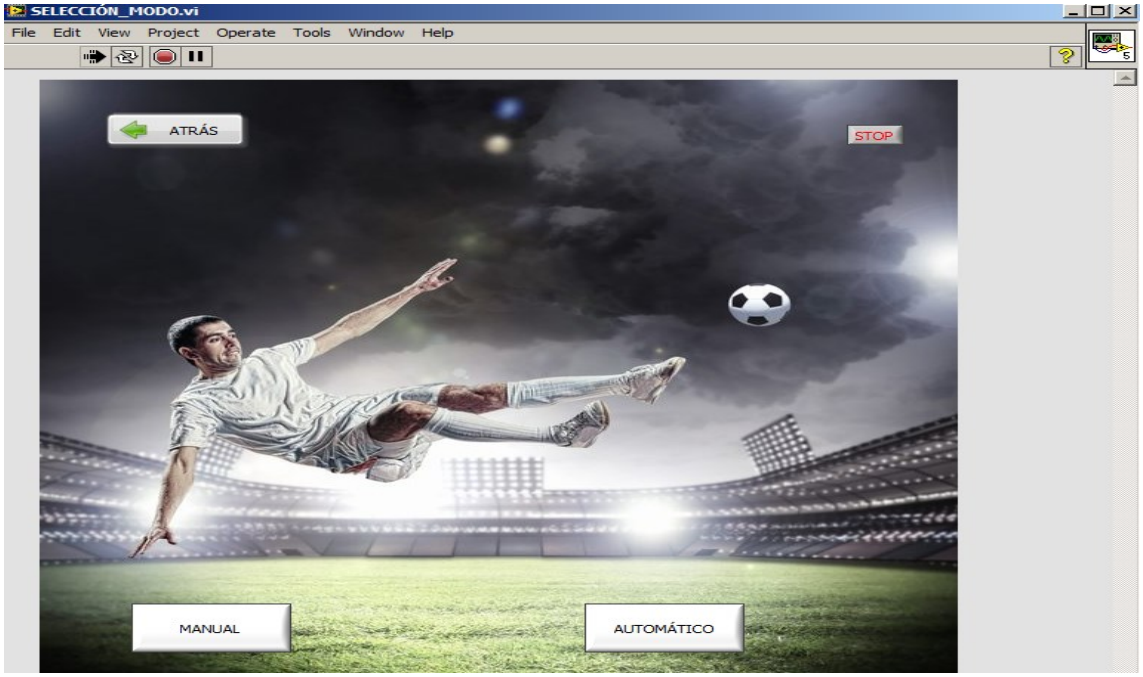


Imagen 38Selección de modo manual o automático HMI.

Posteriormente, se da la opción de elegir en un modo manual y un modo automático.

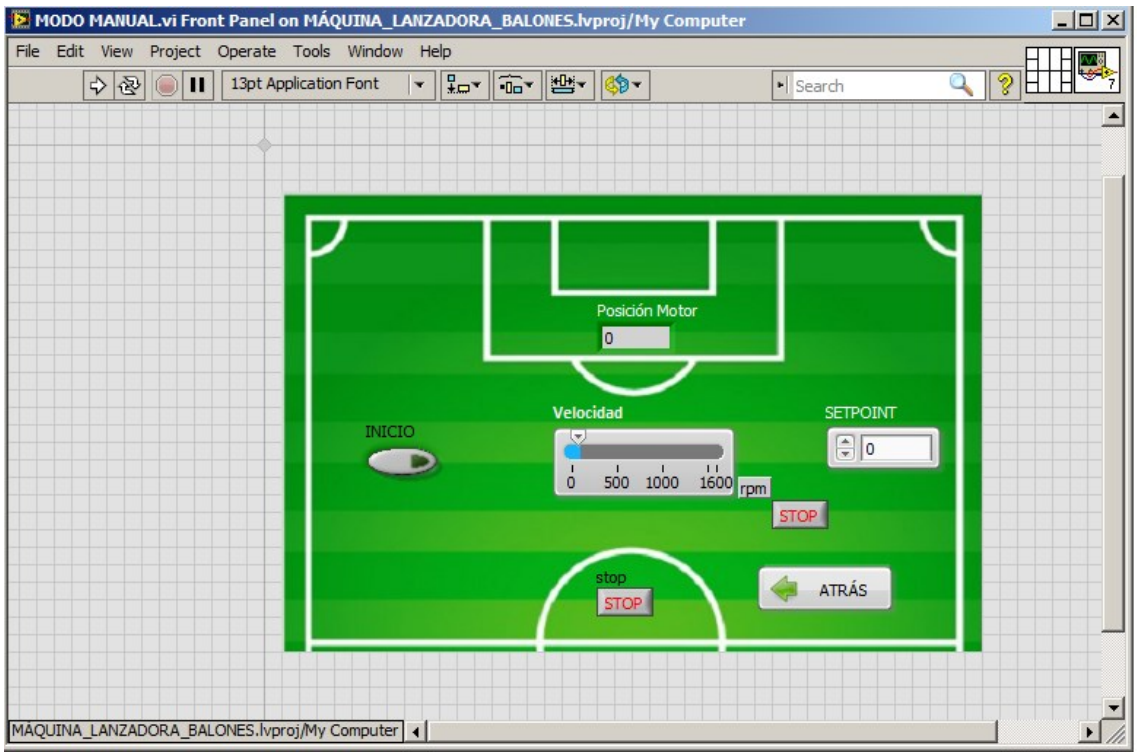


Imagen 39Modo manual, sistema HMI.

En el modo manual el ususarió podrá elegir libremente el lugar del campo de donde desea lanzar el balón, podrá variar la velocidad y el ángulo de tiro.

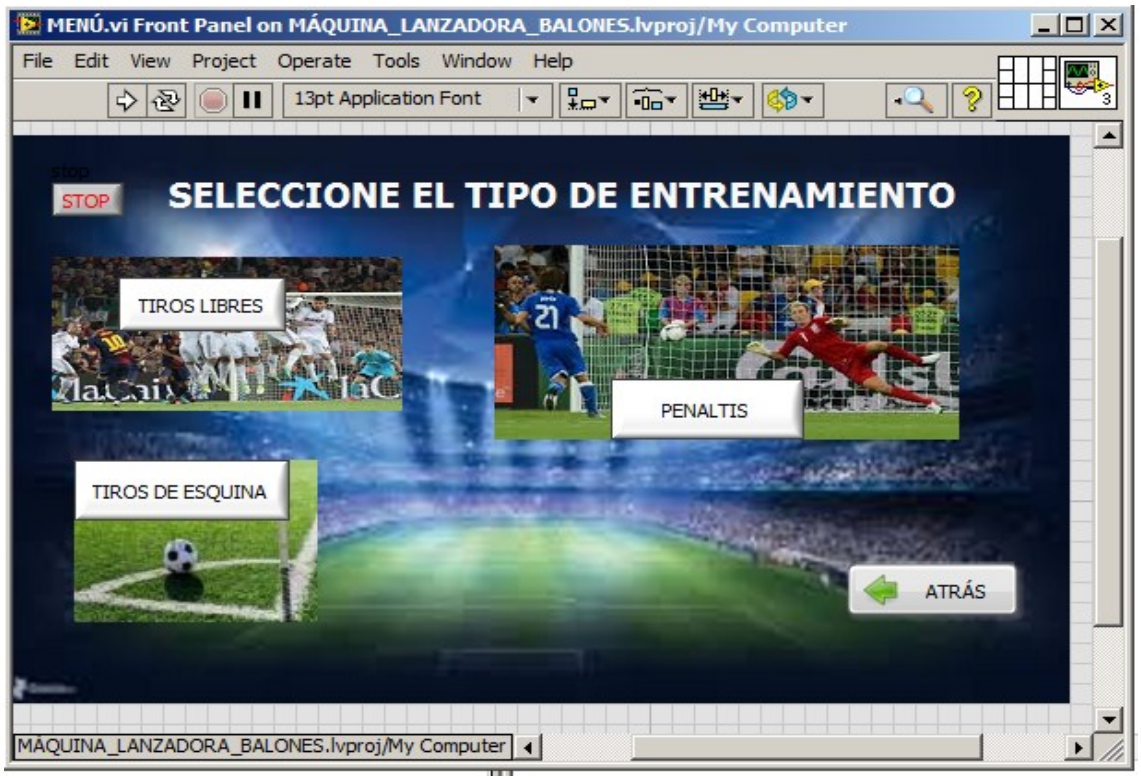


Imagen 40Menú modo automático, sistema HMI.

En el modo semiautomático, el usuario podrá elegir varias modaliades de entrenamiento, como se observa, tiene opciones de tiros de esquina, tiros libres y penaltis.

Imagen 41Modo tiros libres, sistema HMI.

En la sección de tiros libres el usuario podrá elegir varias zonas del campo para el lanzamiento del esférico.

Imagen 42Modo tiros de esquina, sistema HMI.

Tiros de esquina, el usuario podra elegir qué costado de la cancha quiere usar para el cobre del tiro de esquina, podrá variar el ángulo de tiro según lo requiera, y la velocidad para darle la potencia del disparo.

6. EVALUACIÓN DEL PROYECTO

Costos				
Descripción	Material	Costo	cantidad	Proveedor
Placa de 1.5 mx 1.5mx1/4"	Acero 1020	$ 1500,000	1u	
Tubo de 1" calibre 18	Acero inox 304	$ 6.000,00	6m	Soluciones tubulares
Rueda con rin en aluminio 10"	Aluminio y caucho	$ 146.600,00	2u	Rodachines Industriales y cia
Sinfín corona	Acero inox 304 y bronce		1u	
Rodachinas base móvil y rotativa todo tipo de terreno	Poliuretano	$ 135.800,00	4u	Rodachines Industriales y cia
Batería 24V 60 Ah	ion litio	$ 4.000.000,00	2u	made-in-china.com
Motor DC 24V 300w		$ 450.000,00	1u	Eléctricas Bogotá
Servomotor		$ 2.472.000,00	2u	Eléctricas Bogotá
Cable encoder		$ 54.000,00	1u	Eléctricas Bogotá
PLC 8 ent/6 sal		$ 348.000,00	1u	Eléctricas Bogotá
Pantalla táctil 4.3" TFT USB		$ 816.000,00	1u	Eléctricas Bogotá
Interfase comunicación HMI-PC		$ 27.600,00	1u	Eléctricas Bogotá
Interfase PLC XC PC PLC/PLC HMI		$ 26.400,00	1u	Eléctricas Bogotá
Pulsador START		$ 3.600,00	1u	Eléctricas Bogotá
Pulsador STOP		$ 3.600,00	1u	Eléctricas Bogotá
Paro de emergencia		$ 7.320,00	1u	Eléctricas Bogotá
Otros		$ 4.000.000		
TOTAL		$ 16.919.220,00		

Tabla 16 Costos del proyecto

7. CONCLUSIONES

- Respecto a otras máquinas existentes en el mercado, se logra crear un equipo que respeta la antropometría del usuario.
- El precio de manufactura de la máquina es más económica, frente a los precios de la competencia.
- Se logra garantizar la seguridad del usuario con unas guardas protectoras para los rodillos propulsores, de esta manera se evita que el operario tenga que meter las manos para colocar el balón ya que éste bajara por unas guías que sirven como sistema de alimentación para la máquina.
- Por medio del sistema HMI se crea una interfaz bastante amigable con el usuario, permitiendo que la máquina lanzadora de balones pueda ser manipulada por cualquier persona sin importar el tipo de conocimientos que tenga ésta.
- En el software Labview, se diseñó un programa para que ejecutara lanzamientos de manera aleatoria, de esta forma se garantiza sorpresa a la hora de los entrenamientos.
- Con el diseño del control PID se puede posicionar la máquina en el ángulo que se dese para efectuar los lanzamientos del balón.
- En el modo manual que ofrece la máquina lanzadora de balones, se pueden realizar disparos en cualquier lugar del terreno, esto siempre y cuando se varíen las velocidades de los rodillos propulsores, los cuales dan la potencia del tiro.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. (25-04-2013). conoce la máquina millonaria que entrena al arrollador borussia dortmund, de Deporte total Sitio web: http://elcomercio.pe/deporte-total/futbol-mundial/video-maquina-millonaria-que-entrena-al-arrollador-borussia-dortmund-noticia-1568577

2. Budynas Richard, Nisbett Keith. (2008). Introducción al diseño en la ingeniería mecánica. En Diseño en ingeniería mecánica de shigley (pag 6). México: McGrawHill.

3. Ulrich Karl T, Eppinger Steven P. Diseño y desarrollo de productos, McGrawHill.

4. Labview qué es? Sitio web: http://www.ajolly.com.mx/es/desarrollo-consulta-sistema-supervisor-control-prueba-medida/19-LabVIEW-que-es.html

5. Palacios Enrique, Remiro Fernando, López Lucas.J, Microcontrolador pic 16f84 Desarrollo de proyectos, (pag 481) alfaOmega.

6. Ing. Mazzeo, H. Hugo. Seminario control de motores paso a paso

7. Instituto nacional de educación tecnológica, Tecnología Neumática, Ciudad autónoma de Buenos Aires.

8. Majumdar S.R, Sistemas neumáticos principios y matenimiento,(pag 108) McGrawHill. NEUMAC. Motores neumáticos. http://www.neumac.es/storage/pdf/113/MOTORES%20NEUMATICOS_FOLLETO%20GENERAL%20Rev0105.pdf.

9. Rotstein Gustavo, Fernandes Thiago. (05-05-2011). 'Canhão' de lançar bolas reforça o Botafogo e desafia goleiros Com 'chutes' de até 150km/h, máquina que está na rotina de clubes italianos passa a integrar treinamentos do Alvinegro. de Globus Sitio web: http://www.globuscorporation.com/sporttechnology/spa/039canho039-de-lancar-bolas-reforca-o-botafogo-e-desafia-goleiros-2425.asp?idPage=2247&id=2425

10. Manual del usuario para la máquina de fútbol, de GLOBALWMÉXICO Sitio web: http://www.globalwmexico.com/index.php/management-2/sidekick

11. Jaimes Cristancho, I Marcela, La rodachina un accesorio que mueve el mundo. *Revista MyM*. Edición 52.

12. Kuo Benjamin.C Sistemas de control Automático. Pentice Hall.

13. Beer Johnston, Mecánica vectorial para ingenieros Dinámica McGrawHill