

**INCURSIÓN AL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT SOCCER DE LA  
SERIE F-180**

**MIGUEL ANDRÉS MURILLO ROZO  
FABIÁN ERNESTO PARRA GIL**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BOGOTÁ  
2013**

**INCURSIÓN AL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT SOCCER DE LA  
SERIE F-180**

**MIGUEL ANDRÉS MURILLO ROZO  
FABIÁN ERNESTO PARRA GIL**

**Proyecto de grado para optar por el título  
de ingeniero mecatrónico**

**Director  
LEONARDO ENRIQUE SOLAQUE GUZMAN, Ph.D.**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BOGOTÁ  
2013**

Nota de aceptación:

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de grado principalmente a mis padres (Celina Gil Sarmiento - Ernesto Parra Rojas), porque a lo largo de toda mi carrera y en general toda mi vida, han sido un apoyo incondicional.

A mi hermana Laura Constanza Parra Gil por creer en mis capacidades y estar a mi lado siempre.

Fabián Parra

Dedico este proyecto a mis padres y a mis abuelos, ellos han estado conmigo en todo el proceso de mi formación académica y en ellos encontré todo el apoyo para sacar adelante esta meta, una de las tantas que quiero alcanzar.

Miguel Murillo

## AGRADECIMIENTOS

*"Caminar con un amigo en la oscuridad,  
es mejor que caminar solo bajo la luz"*  
Hellen Keller

Agradecemos al Ingeniero y Director del proyecto Leonardo Enrique Solaque, por confiar en nosotros, por darnos la oportunidad de hacer parte de este proyecto.

Un especial agradecimiento a la Universidad Militar Nueva Granada primordialmente a los integrantes del grupo de investigación y desarrollo GIDAM.

A nuestros amigos y allegados.

## CONTENIDO

	<b>pág.</b>
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN</b>	<b>8</b>
1.1 INTRODUCCIÓN	8
1.2 CATEGORIAS DE LA ROBOCOPA	9
1.2.1 Simulación	9
1.2.2 Liga de plataforma estándar (SPL)	9
1.2.3 Liga Humanoide	10
1.2.4 Liga robots pequeños (f-180) y liga de robots medianos (f-2000)	11
1.3 JUSTIFICACIÓN	12
1.4 OBJETIVOS	12
1.5 METODOLOGÍA	13
1.6 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	13
1.7 CONCLUSIONES DEL CAPITULO	14
<b>CAPITULO 2 - DISEÑO</b>	<b>14</b>
2.1 EVALUACIÓN COMPARATIVA	15
2.2 RESUMEN REGLAS F180	16
2.3 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	19
2.3.1 Arquitectura y configuración de diseño	19
2.3.1.1 Sistema de Locomoción	20
2.3.1.2 Sistema de Pateo	21
2.3.1.3 Sistema de Procesamiento	23
2.3.1.4 Sistema de Comunicación inalámbrica	24
2.3.1.5 Sistema Energético	25
2.3.1.6 Control	26
2.3.2 Casa de la calidad	28
2.4 DISEÑO PRELIMINAR	30
2.4.1 Estructura plataforma móvil	30
2.4.2 Dribbling	34
2.4.3 Pateador	34
2.4.4 Batería	38
2.4.5 Validación CAD	38
2.5 CONCLUSIONES DEL CAPITULO	39

	<b>pág.</b>
<b>CAPITULO 3 - ELECTRÓNICA Y CONTROL</b>	<b>40</b>
3.1 MODELADO ROBOT OMNIDIRECCIONAL	40
3.2 CONTROL	44
3.2.1 Identificación	44
3.2.2 Control velocidad	50
3.3 ELECTRÓNICA	52
3.3.1 Digital	52
3.3.2 Circuito elevador de voltaje	53
3.3.3 Comunicación	57
3.4 PROGRAMACIÓN	58
3.5 CONCLUSIONES DEL CAPITULO	59
<b>CAPITULO 4 - SIMULACIÓN</b>	<b>60</b>
4.1 WEBOTS	60
4.1.1 Introducción a Webots	60
4.1.2 Simulación Webots	62
4.2 INTERFAZ	64
4.3 CONCLUSIONES DEL CAPITULO	64
<b>CAPITULO 5 - PRUEBAS Y RESULTADOS</b>	<b>65</b>
5.1 Control	65
5.2 Dribbling	68
5.3 Dispositivo de pateo	68
<b>CAPITULO 6 - LINEAS FUTURAS</b>	<b>69</b>
6.1 Propuesta Rediseño	69
<b>CAPITULO 7 - CONCLUSIONES GENERALES</b>	<b>72</b>

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 2.1 Comparación entre los sistemas de pateo	20
Tabla 2.2 Comparación entre los sistemas de pateo	23
Tabla 2.3 Comparación entre los sistemas de comunicación	24
Tabla 2.4 Comparación entre los diferentes tipos de baterías	25
Tabla 3.1 Funciones de transferencia para cada llanta	49
Tabla 3.2 Empaquetamiento de datos	57
Tabla 5.1 Frecuencia de corte para las tres llantas	57
Tabla 5.2 Resultados prueba pateador	70

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1.1 Jugadores de futbol del proyecto Dinamita.	8
Figura 1.2 Simulación Robots Humanoides	9
Figura 1.3 Liga de plataforma estándar	10
Figura 1.4 Mejor Humanoide 2012 Alemania.	11
Figura 1.5. Ganador de la liga de robots medianos, México 2012	11
Figura 2.1. Metodología de Diseño	14
Figura 2.2. Patrón de reconocimiento	17
Figura 2.3 Arquitectura de diseño	19
Figura 2.4 Pateo mediante uso de resortes	21
Figura 2.5 Pateo mediante aire comprimido	26
Figura 2.6 Pateo mediante solenoide	26
Figura 2.7 Diagrama bloque de control PID y Fuzzy	27
Figura 2.8 Casa de la calidad	30
Figura 2.9 Disposición final de los piñones	33
Figura 2.10 Diseño de encoder	33
Figura 2.11 Dribbling del robot móvil	34
Figura 2.12 Campo magnético generado en solenoide	35
Figura 2.13 Representación del radio medio y espesor de devanado	35
Figura 2.14 Sistema de pateo del robot móvil	37
Figura 2.15 Ensamble Robot f180.	38

	Pág.
Figura 2.16 Centro de masa del robot.	39
Figura 3.1 Representación del robot móvil para modelo cinemático	40
Figura 3.2 Ángulo de rodillos rueda omnidireccional	41
Figura 3.3 Desacople de velocidades según dirección	43
Figura 3.4 Velocidad obtenida llanta 1	45
Figura 3.5 Velocidad obtenida llanta 2	45
Figura 3.6 Velocidad obtenida llanta 3	46
Figura 3.7 Respuesta lazo abierto de las 3 ruedas	46
Figura 3.8 Ingreso datos en IDENT	47
Figura 3.9 Señales de entrada y salida listas para procesar	47
Figura 3.10 Valores obtenidos para la función de transferencia	48
Figura 3.11 Respuesta al aplicar la entrada al modelo obtenido	48
Figura 3.12 Salidas de cada modelo ante escalón	49
Figura 3.13 Comparación entre respuesta real y modelo obtenido	50
Figura 3.14 Diagrama conexión I293B	52
Figura 3.15 Organización del circuito	53
Figura 3.16 Circuito básico booster	53
Figura 3.17 Switch S cerrado	54
Figura 3.18 Switch S Abierto	54
Figura 3.19 Integrado 555 en configuración astáble	54

	pág.
Figura 3.20 Circuito de carga y pateo	56
Figura 3.21 Circuito de pateo (a) PCB (b) Representación CAD	56
Figura 4.1 El robot en la ventana de simulación	64
Figura 4.2 Interfaz grafica	65
Figura 5.1 Diagrama de bloques en Simulink	66
Figura 5.2 Bloque de PID	66
Figura 5.3 Salida controlada en llanta 1	67
Figura 5.4 Diagrama de bode, frecuencia en -3dB	67
Figura 5.5 Respuestas del PID análogo y el PID digital	68
Figura 5.6 Resultados pruebas pateador	69
Figura 6.1 Etapa de reducción de velocidad	70
Figura 6.2 Disposición física de Motores Brushless sobre base.	70
Figura 6.3 Sistemas de Pateo del Robot Móvil.	71
Figura 6.4 Porción de cobertura de la bola	72

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 2.1 PID	26
Ecuación 2.2 Índice de mejora parcial	28
Ecuación 2.3 Índice de mejora total	28
Ecuación 2.4 Peso relativo	29
Ecuación 2.5 Importancia absoluta	29
Ecuación 2.6 Relación de reducción	31
Ecuación 2.7 Diámetro externo de un piñón	31
Ecuación 2.8 Diámetro de paso	32
Ecuación 2.9 Distancia entre centros	33
Ecuación 2.10 Conservación de la energía	35
Ecuación 2.11 Inductancia en bobina de varias capas	35
Ecuación 2.12 Conservación del momento lineal	37
Ecuación 3.1 Ecuación de rodamiento	41
Ecuación 3.2 Ecuación de restricción de movimiento	42
Ecuación 3.3 Función de transferencia con 2 polos reales en IDENT	48
Ecuación 3.4 PID en dominio de la frecuencia	50
Ecuación 3.5 Representación del polinomio deseado	51
Ecuación 3.6 Tiempo de establecimiento	51

	pág.
Ecuación 3.7 Frecuencia de salida en el 555	54
Ecuación 3.8 Calculo del valor del timer	59
Ecuación 3.9 Calculo de tiempo según valor en el timer	59
Ecuación 5.1 PID digital	66

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A	Tabla de equipos
Anexo B	Comparación de Motores
Anexo C	Comparación de procesadores
Anexo D	Diagrama de programación
Anexo E	Árbol de Webots
Anexo F	Planos prototipo F-180
Anexo G	Planos rediseño

## GLOSARIO

**Grados de libertad:** son la cantidad de movimientos independientes que puede realizar un robot.

**Holonómico:** término utilizado para robots, donde un robot es Holonómico cuando es posible controlar los grados de libertad que este posea.

**Inductancia:** es la oposición que presenta un conductor ej. Bobina, a cambios en la corriente que circula por ella.

**Odometria:** es el estudio de la estimación de la posición de vehículos con ruedas durante su navegación.

**Robot:** es una entidad virtual o mecánica, que posee cierto grado de inteligencia para la elaboración de determinadas tareas

**Robot Móvil:** es un robot provisto de un sistema de locomoción el cual le permite desplazarse en un espacio.

**Solenoide:** es un dispositivo regularmente cilíndrico que presenta un alambrado y es capaz de crear un campo magnético al circular corriente a través de él.

**Webots:** es una herramienta software utilizado para modelar, programar y simular robots móviles.

## RESUMEN

Este proyecto tiene como fin el diseño y la construcción de un prototipo de robot móvil de la robo copa perteneciente a la categoría de tamaño pequeño. El robot móvil está compuesto de diferentes sistemas como los son el sistema de comunicación, locomoción, control, procesamiento de datos, energía y sistema de pateo, para el diseño se utilizó la metodología de diseño mecatrónico partiendo con la definición del problema, en este caso es la construcción de un prototipo que cumpla las reglas establecidas por la robo copa.

En esta etapa se hace la búsqueda de la información y se establecen diferentes alternativas de solución para cada uno de los sistemas que hacen parte del robot., finalmente se eligen las mejores opciones basándose en las características de robots competidores y del presupuesto, puesto que el prototipo es un robot de bajo costo. Se eligen los materiales y se hace la validación CAD del aspecto final del robot y se procede a la construcción, se diseñan y elaboran los circuitos electrónicos y se hacen pruebas de funcionamiento de cada sistema.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 INTRODUCCION

Robocup o Robocopa es un proyecto internacional fundado en 1997 para promover a través de competencias integradas por robots autónomos, la investigación y educación de los sistemas multi-robot cooperativos y multi-agente en entornos dinámicos de confrontación, basados en adelantos importantes de inteligencia artificial; buscando la oportunidad de educar, entretener y hacer partícipe al público en torno a temas de ciencia y tecnología [1].

El origen de esta competencia se puede atribuir al Proyecto Dinamita, emprendido por Alan Macworth de la Universidad de Columbia, Canadá, donde se desarrollaban coches de juguete radio controlados, que se movilizaban en un campo con una cámara superior para ver sus acciones y poder realimentar información a los programas de control de los robots [2].

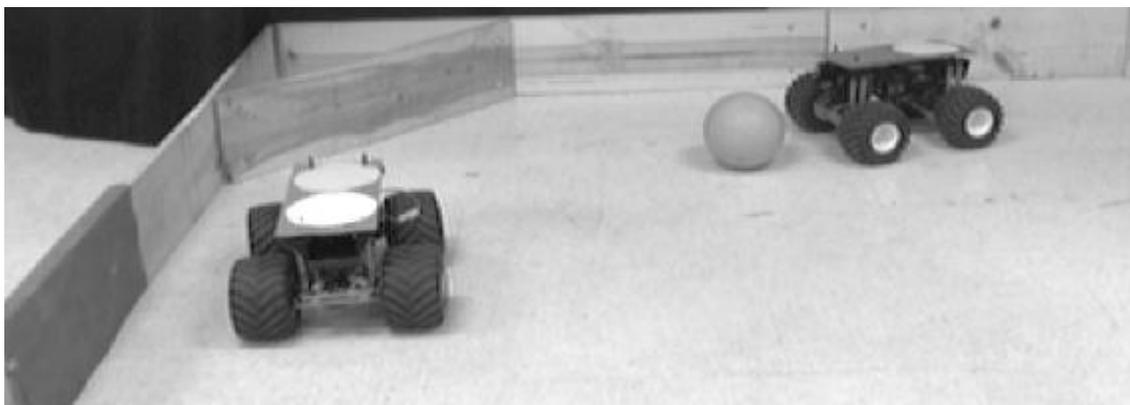


Figura 1.1 Jugadores de futbol del proyecto Dinamita.

Con la idea de obtener un proyecto de alcance mundial y con el fútbol como plataforma de desarrollo para la ciencia y la tecnología, se logra crear *The Robot World Cup Initiative* (ROBOCUP) en 1997, que se centra en desafíos de sistemas multi-robot para interactuar y/o cooperar entre ellos (o con humanos de ser necesario) en ambientes complejos e inciertos, convirtiéndose en una de las competencias mundiales más grandes de robótica [3].

La Robocopa cuenta con 4 categorías principales de desarrollo, una enfocada a misiones de búsqueda y rescate en la *RoboCup Rescue*, una línea de investigación para jóvenes en la división *RoboCup Junior*, una para partidos de futbol en la *RoboCup Soccer* y la última competencia agregada a principios del

2006, la destinada a tareas de la vida diaria o interacción hombre-máquina en la *Robocup Home*.

## 1.2 CATEGORIAS DE LA ROBOCOPA

### 1.2.1 Simulación

La Robocup Soccer cuenta con cinco diferentes ligas que atienden a la morfología del robot y sus diferentes reglas. La primera corresponde a la liga de simulación, que siendo una de las categorías más viejas de la competencia, basa sus progresos en inteligencia artificial y estrategia de equipo. Existen dos enfoques, el primero para simulación en 2D en donde 2 equipos con 11 jugadores o agentes, que son programas autónomos, se enfrentan en un estadio por un servidor central, quien conoce todo del juego desde las posiciones de los jugadores y de la bola, hasta un motor de sistemas físicos; o el enfoque 3D que busca recrear en robots humanoides comportamientos básicos como caminar, dar patadas, giros, entre otros.



Figura 1.2 Simulación Robots Humanoides [4]

### 1.2.2 Liga de plataforma estándar (SPL)

La *Soccer Standard Platform League* o liga de plataforma estándar es una competencia donde todos los equipos utilizan robots idénticos, con el fin de concentrarse únicamente en desarrollos a nivel de software, mejorando la planeación y toma de decisiones.

Inicialmente se realizaba con los robots de 4 patas *Soni AIBO*, Figura 1.3 a [5], pero en el 2008 se estandarizó por el nuevo humanoide *Aldebaran Nao*, Figura 1.3 b [6]. Sus principales desafíos se centran en la localización autónoma, campo de vista limitado, puntos de referencia ambiguos, visión y comunicación On board, compartir información, estabilidad para caminar y coordinación.



Figura 1.3 Liga de plataforma estándar (a) Robot Soni AIBO (b) Aldebaran Nao

### 1.2.3 Liga Humanoide

Nace con su primera demostración en el 2000, y con resultados exitosos la liga de Humanoides se une a la Robocopa desde el 2002. Cuenta con robots que tienen atributos similares a la morfología y sentidos humanos, que se dividen por tamaños en *KidSize* entre 30 y 60 cm de altura, *TeenSize* entre 90 y 120 cm, y *AdultSize* con robots superiores a 130 cm. Empezó solo como una competencia para penaltis para luego convertirse en juegos reales con robots pateando, haciendo pases, defendiendo y porteros lanzándose a la bola [7].

Los principales desafíos para esta categoría son la rapidez, agilidad, diseño mecánico, consumo energético y estrategias de juego. A diferencia del *Standard Platform League*, los equipos deben realizar sus propios robots, los equipos no constan de más de tres jugadores [8].

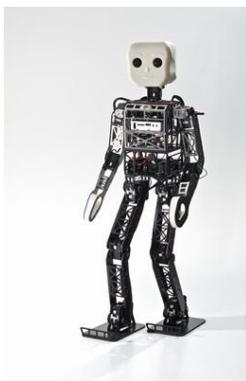


Figura 1.4 Mejor Humanoide 2012 Alemania TeenSize[9]

#### 1.2.4 Liga robots pequeños (f-180) y liga de robots medianos (f-2000)

La cuarta y quinta categoría son la *f-180* y *f-2000*, que corresponden a equipos de 6 robots, equipados de sensores y sistema de visión global para posicionamiento; utilizan redes inalámbricas para comunicarse con el host sin intervención humana durante todo el encuentro, donde la principal diferencia es el tamaño reglamentado de cada robot y centra su investigación en la autonomía y cooperación para obtener goles.

Los desafíos para esta liga son principalmente el cálculo de la posición de los otros jugadores, evitar obstáculos y planear movimientos a través de sistemas creativos de ataque y defensa [10].



Figura 1.5 Ganador de la liga de robots medianos, México 2012 [11]

En la liga de robots pequeños también conocida como F180, los robots no deben superar unas dimensiones de 180 mm de diámetro y 150 mm de altura, dotados de un sistema de locomoción omnidireccional, un sistema de pateo y comunicación inalámbrica con el punto o host central.

Hace algunos años, cada equipo debía realizar su propio desarrollo de visión de máquina, y con los datos obtenidos decidir los movimientos para cada jugador, enviando las instrucciones a través de un protocolo de comunicación inalámbrico; sin embargo, los últimos adelantos proporcionados a los robots de competición en esta categoría son principalmente en el desarrollo de estrategias de juego, pues se obtiene en primera instancia la información del ambiente real a través de cámaras estandarizadas comunes para ambos equipos, indicando un procesamiento en el host para cada jugador.

En Colombia poco a poco se ha intentado incursionar en este campo de investigación, donde unos de los mayores exponentes y actuales competidores son el Equipo Bogotano STOX's [12] de la Universidad Santo Tomas de Aquino, con excelentes resultados en los últimos 2 abiertos mundiales y ganadores a nivel Latinoamericano en el LARC 2011; y el grupo Bochica conformado por estudiantes y profesores de la Pontificia Universidad Javeriana y Universidad de los Andes, participantes de la Robocup desde el 2010, de otros países participo la universidad Federico santa maría de Chile con el equipo LEGO en la categoría standar.

Los retos a futuro para los equipos de esta robo copa, están familiarizados con la reducción de las dimensiones del robot comprometiendo el espacio físico, mecánico, electrónico, sistemas que permitan alta velocidad en el juego (siendo robots rápidos y ágiles que puedan navegar de forma robusta en la dirección deseada coordinando sus acciones con el resto del equipo), mejoras en la etapa energética con baterías o circuitos que alarguen su duración en estado de uso, así como la implementación de nuevas estrategias de juego contemplando el campo como un ambiente dinámico con procesamiento y ejecución en tiempo real.

Dentro de la Universidad Militar Nueva Granada, las áreas de trabajo están destinadas al desarrollo de hardware y software sobre diferentes plataformas para dotar a robots móviles con unidades de procesamiento, modelamiento y/o simulación para el análisis y representación de sistemas físicos reales, herramientas para el procesamiento digital de señales, entre muchas otras, que forman la base ideal de este proyecto para poder integrarnos a la investigación en el área de robótica cooperativa.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

La primera motivación para emprender este proyecto es la de incursionar en la robótica cooperativa abarcando una de sus categorías más grandes como lo es la construcción de robots móviles que juegan al fútbol. Aunque el desarrollo de este proyecto no representa gran impacto a nivel social o económico, pues no es un trabajo que busque lucro o saciar alguna necesidad en la sociedad, si constituye un reto tecnológico porque se basa principalmente en la implementación de los conocimientos científicos en la construcción del primer prototipo omnidireccional que se va a desarrollar en la Universidad Militar Nueva Granada, dando a esta organización la oportunidad de entrar en este campo investigativo.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Implementar una metodología de diseño mecatrónico en la realización de un prototipo de robot móvil como primer jugador de la Universidad Militar Nueva Granada, de acuerdo a las especificaciones de la competencia mundial Robocup, para la categoría de robot f-180.

### **Objetivos específicos**

- Diseñar y construir una estructura mecánica capaz de integrar todos los elementos mecánicos y electrónicos que constituyen el robot móvil modelo f180.
- Elaborar una tarjeta electrónica capaz de ejecutar el control cinemático, y efectuar los protocolos de comunicación de la plataforma móvil.
- Utilizar una herramienta de simulación para evaluar el modelo cinemático del robot móvil bajo una configuración omnidireccional

## **1.5 METODOLOGÍA**

La realización del proyecto estará dividida en 3 etapas, en la primera se efectuará la recolección de la información donde se estudiará documentación actual referente a la competición y las normal estipuladas por los organizadores como también el análisis sobre los robots utilizados por los competidores, teniendo como principal fuente las ETD (Extended Team Description), las publicaciones de la página oficial de la robo copa, artículos publicados y consultados desde la base virtual de IEEE y algunas reuniones con el grupo Stox y su líder, provenientes de la Universidad Santo Tomas en Bogotá.

La segunda etapa contempla el diseño electrónico, mecánico y de simulación iniciando con la elaboración de bocetos para culminar con Diseño asistido por computadora con archivos CAD.

La tercera y última fase constará de la construcción y ensamble del prototipo seguido de las pruebas e interacción con la interfaz.

## **1.6 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO**

El presente documento está dividido en 6 capítulos, el primero trata acerca de las generalidades del proyecto, lo que se busca con su realización a nivel académico y el objetivo de ejecutarlo dentro de la Universidad Militar Nueva Granada.

El segundo capítulo está compuesto por la implementación de la metodología de Diseño Mecatrónico, desde la búsqueda y análisis de fuentes de información, diseño conceptual y la respectiva selección de materiales.

Para el tercer capítulo, se menciona el modelo cinemático, el método de control para cada actuador, los protocolos de comunicación, y el diseño del circuito electrónico.

En el cuarto capítulo se especifican la construcción de la interfaz y el uso del software de simulación destinado a aplicaciones de robótica, Webots.

En el quinto capítulo se exponen los resultados obtenidos de las pruebas del pateador, del dribbling y el control de velocidad en las llantas.

Por último, en el sexto capítulo se menciona el rediseño y selección de nuevos elementos para la estructura mecánica y electrónica del robot ajustándola a nuevos requerimientos de funcionamiento.

## **1.7 CONCLUSIONES DEL CAPITULO**

La Robocopa nace como fomento a las líneas de investigación de robótica cooperativa e inteligencia artificial, las categorías son una alternativa de respuesta a estas líneas, logrando así crear lo que es actualmente la liga más grande a nivel mundial.

Los desarrollos en Colombia en cuanto a este tipo de robots de competencia son pocos, el más representativo es el grupo STOKS de la Universidad Santo Tomas que hace parte de los 6 mejores grupos del mundo en la categoría de robots pequeños, y el cual ha participado en la copa obteniendo muy buenos resultados. La construcción de este prototipo permitirá a la Universidad Militar Nueva Granada ampliar poco a poco las investigaciones en cuanto a sistemas multi-robot.

## 2. DISEÑO

Para el desarrollo del prototipo del robot F180, se implemento una metodología de diseño mecatrónico basado el siguiente esquema:

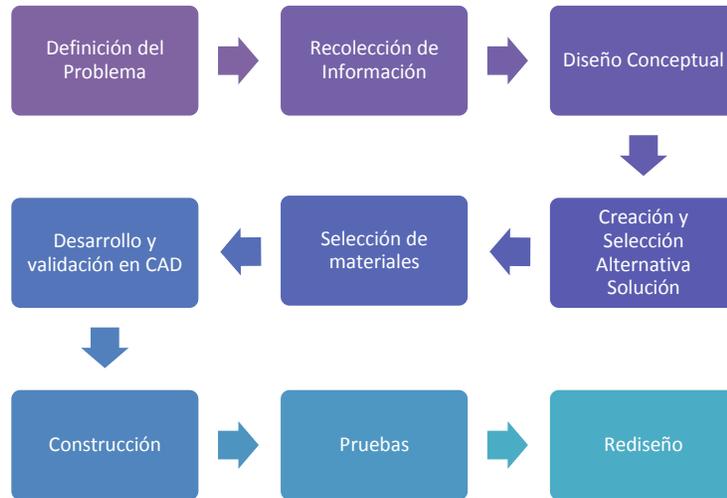


Figura 2.1. Metodología de Diseño

### 2.1 EVALUACIÓN COMPARATIVA

El último abierto de la Robocopa tuvo lugar en Eindhoven, Países bajos, a finales del mes de junio del 2013, en donde 22 equipos de la categoría de robots pequeños F-180 se reunieron para enfrentarse entre sí. En esta oportunidad los finalistas de la competencia fueron los equipos ZJUNlict[13], CMDragons[14], MRL[15], RoboDragons[16], siendo el ganador el equipo ZJUNlict. Estos robots son el principal objeto de estudio y guía para el diseño del prototipo del robot.

El análisis de los distintos robots se realizó simultáneamente al desarrollo de la competencia realizada en México en el 2012, dentro de los mejores equipos se encuentra el equipo Skuba [17] de Tailandia, quienes obtuvieron el primer lugar. Su estructura tiene unas dimensiones de 176 mm de diámetro con una altura de 147 mm. Con una configuración omnidireccional de 4 ruedas controladas por motores brushless Maxon EC 45 flat que logran altas velocidades en el terreno de juego. Para el control y dominio de la bola, poseen un actuador adicional que la mantiene cercana a la estructura.

Entre los actuadores implementados, como sistemas de pateo se encuentran los cañones de gauss, que consisten en un mecanismo electromecánico con una pieza que sirve como proyectil y es impulsada hacia adelante al generar un campo magnético producto de una corriente que circula a través de un solenoide. Este dispositivo es controlado por medio de circuitos convertidores DC-DC, pues elevan y almacenan en condensadores un voltaje alto, para luego descargarlo rápidamente por bobinas. Este equipo cuenta con dos bobinas, la primera destinada a lanzamientos directos y la segunda para tiros parabólicos. El procesamiento lo realizan en una Spartan 3 FPGA en donde se ejecuta la lectura e interpretación de la información obtenida de los encoders y el control para cada motor.

El segundo lugar en el abierto de México fue para el equipo ZJUNict [18] de China, quienes tienen unas especificaciones similares al grupo Tailandés. Sin embargo, el control lo ejecutan con el driver comercial MC33035 y haciendo uso de los sensores de efecto Hall, controlar la velocidad de cada rueda. La diferencia radica en que no es necesario la implementación de encoders para sensar la velocidad, sino por la realimentación del mismo actuador asegurar las RPM deseadas, además que la programación se basa en enviar la magnitud a través de un protocolo serial y la tarjeta realiza toda la acción. El procesamiento también lo realizan en una tarjeta FPGA, y solo dotan al carro con sensores infrarrojos para la detección de la bola.

El grupo que logró obtener el tercer lugar fue el equipo Japonés KIKs [19]. Por su parte realizan el procesamiento en dispositivos con arquitectura ARM7, sus fortalezas se encuentran en el circuito para el control de pateo, implementando un multiplicador de voltaje - boost en condensadores con capacitancia final de 5400 uF, y elevando el voltaje hasta 250V, logrando obtener una máxima velocidad de la bola de hasta 12 m/s. Para aumentar la vida del robot o tiempo en juego, implementan 2 baterías de litio-polímero a 14.8 v con 2100 mAh.

Las características que sobresalen en los robots para la competencia de la categoría *Small Size* son principalmente la maniobrabilidad, rapidez, sistema de pateo, protocolo de comunicación inalámbrico y duración - robustez del sistema energético

A nivel de competencia mundial, es evidente el uso de motores brushless con más de un 90 % de equipos con este actuador, sin embargo soluciones más económicas son implementadas por otros equipos como motores DC, motorreductores o servos.

La información más detallada de cada equipo se puede ver relacionada en el Anexo A Tabla de Jugadores.

## **2.2 RESUMEN REGLAS F180**

El campo de juego sobre el cual se llevan a cabo las competencias debe ser rectangular, con unas dimensiones de 6050 mm de largo y 4050 mm de ancho. La superficie debe ser de un tapete o alfombra verde, sobre un suelo nivelado, plano y duro, que debe ser de cemento, linóleo, madera dura, madera contrachapada, o tableros de partículas.

El campo tiene un espacio de 675 mm por todos los lados que marca la zona límite. En el exterior, hay un espacio de 425 mm para la movilización del árbitro y en los bordes del campo, existe un muro de 100 mm de altura para impedir el paso de la pelota o de los robots.

La superficie esta demarcada con líneas blancas de 10 mm de ancho que pertenecen a la zona que delimitan. Los dos lados más largos se denominan límites táctiles, y los dos lados más cortos se llaman límites de gol.

El arco se coloca en el centro de cada límite de gol, constituido por dos paredes laterales y una posterior, hechas o cubiertas por espuma para soportar impactos de la bola, y disminuir la velocidad de los rebotes. Con una separación entre las paredes laterales de 700 mm, una profundidad de 180 mm y altura de 150 mm.

La bola es una pelota naranja estándar de golf que es: Esférica, de 46 g y 43 mm de diámetro.

En caso de que la pelota empiece a fallar o esté defectuosa, se detiene el encuentro, y de ser necesario es reemplazada con previa autorización del árbitro.

El partido es jugado por dos equipos cada uno compuesto por seis (6) robots totalmente autónomos, uno de los cuales puede ser el portero el cual debe ser designado antes del inicio del juego. Cada robot debe ser claramente numerado para que el árbitro pueda identificarlos durante el partido y pueden ser intercambiados, sin tener límite el número de cambios. Por ser robots totalmente autónomos, solo puede haber intervención humana en los descansos o tiempos de espera

Los robots en su construcción no deben tener elementos que sean peligrosos para él, otros robots o humanos. El robot debe caber en un cilindro de 180 mm de diámetro y una altura no mayor a 150 mm. Las ruedas o cualquier otro elemento que esté en contacto con la superficie de juego, debe ser de un material que no represente un daño para esta.

Por encima del terreno de juego a 4 metros de altura directamente sobre la línea media del campo, se dispone de una cámara que envía las posiciones de todos los jugadores del terreno de juego a los equipos que compiten. Este sistema es un servidor de cámaras y visión central compartida que usa un programa denominado "SSL Vision" [20] para proporcionar datos de localización a los equipos a través de Ethernet en un formato de paquete que es anunciado por los desarrolladores antes de la competencia. Los equipos deben estar seguros que sus sistemas son compatibles con el sistema de visión compartida, y que son capaces de manejar las propiedades típicas de los datos sensoriales del mundo real, incluyendo ruido, latencia, o detecciones erróneas.

Además del equipo de visión compartida, los equipos no están autorizados para montar sus propias cámaras o sensores externos.

Para garantizar la compatibilidad con el sistema de visión, todos los equipos deben asegurar que los robots tienen una superficie plana con un diagrama estandarizado en la parte superior Figura 2.2. Debe ser de color negro o gris oscuro sin brillo.

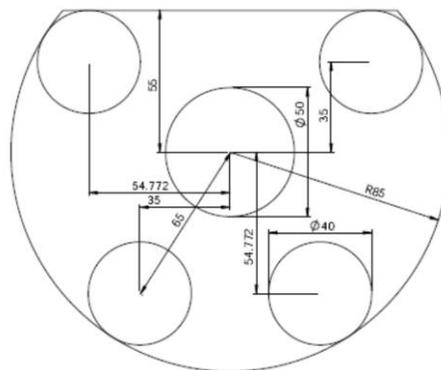


Figura 2.2. Patrón de reconocimiento

Está permitida la implementación de un dispositivo que ejerza activamente un giro reverso a la bola (*dribbling*), para mantenerla en contacto con el robot, siempre y cuando el giro ejercido sobre la bola sea perpendicular al plano del campo, siendo descartadas las barras verticales o parcialmente inclinadas. Además su uso está restringido en tiros libres indirectos. Una violación de esta regla puede generar la expulsión de un robot del campo de juego hasta que el árbitro autorice su reingreso.

Se debe tener en cuenta que no se puede implementar adhesivos como pegamento para el control de la bola o en la fabricación de la barra de *dribbling*.

Este mecanismo debe ser accionado cuando la bola entra en contacto con el robot, y detenido cuando hay una separación notoria entre el robot y la bola. Sin embargo, esta distancia permite apuntar, recibir pases, dar vueltas con el balón, y desplazamiento de grandes distancias al tomar y perder periódicamente la bola.

Dentro de las reglas, se establece que dentro de los robots, son permitidos dispositivos de pateo; sin embargo, la pelota no puede exceder una velocidad de 8m/s.

Los robots de la serie F180 Small Size, pueden usar comunicación inalámbrica a los computadores o redes fuera del campo. En caso de ser implementadas, se debe informar al comité organizador el método de comunicación, potencia y frecuencia. Con el fin de evitar interferencias, se disponen de 2 frecuencias portadoras que se asignan antes del encuentro. Sin embargo, su uso está sujeto a la competencia y leyes del comité organizador local.

Se debe tener presente que no está permitida la comunicación inalámbrica por Bluetooth.

Puntas de metal y velcro están prohibidas para el propósito de la locomoción.

El partido tiene una duración de dos tiempos de 10 min cada uno. Los equipos tienen un descanso en el medio tiempo que no debe exceder los 5 min.

A cada equipo se le asignan cuatro tiempos fuera y el tiempo total de estos no debe superar los 5 min. En caso de ser necesarios, se realizan dos tiempos extra cada uno de 5 min, con un descanso que no debe exceder los 2 min.

Dentro de esta normativa, se especifican además de las divisiones del campo, el área de defensa, punto penal y dimensionamientos entre sí, las funciones del árbitro y su asistente, método de puntuación, ejecución de los tiros libres, directos a gol, de esquina, condiciones de iluminación, reglamentación acerca de publicidad y equipamientos ajenos y demás características a contemplar ya en el desarrollo de las estrategias de juego. Esta información se ve en detalle en las Reglas de la *Robocup* 2012 [21].

## **2.3 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN**

Para seguir la metodología de diseño mecatrónico, y en la etapa de planteamiento de posibles soluciones al diseño del prototipo de un robot móvil, se establecen los requerimientos mínimos o del cliente basados en la normativa de la Robocopa 2012, mientras que los valores asociados a la competencia, se recopilan de la información recolectada de los mejores equipos que participaron en el abierto de México 2012.

### 2.3.1 Arquitectura y Configuración de diseño

La función que cumple la arquitectura de diseño dentro de la metodología que se implementa en la construcción del robot, es la de establecer los principales sistemas que se necesitan en el desarrollo del prototipo, y esclarecer la gama de posibilidades a partir de elementos, dispositivos o subsistemas para dicho propósito. Nuestra arquitectura está conformada por seis grandes sistemas que se muestran en la figura 2.3.



Figura 2.3 Arquitectura de diseño

#### 2.3.1.1 Sistema de Locomoción

La característica principal que identifica a un robot es su estructura mecánica y tiene dos posibles formas, la primera de ellas corresponde a robots que poseen una base fija nombrados como robots manipuladores, los cuales son cadenas cinemáticas abiertas que consisten en una secuencia de cuerpos rígidos interconectados mediante articulaciones; y la segunda categoría, pertenece a los robots móviles que a diferencia de los manipuladores, poseen una base móvil la cual le permite al robot moverse libremente por el espacio; es decir, estos tipos de

robots están compuestos de uno o más cuerpos rígidos los cuales poseen un sistema de locomoción [22].

Existen diferentes tipos de robot móvil, los robots móviles con piernas o patas, estos constan de múltiples cuerpos rígidos interconectados, la mayoría inspirados en el estudio de seres vivos (robots biométricos), y los robot móviles con ruedas, consisten de un chasis o una base y un sistema de ruedas las cuales le aportan el movimiento al robot con respecto al suelo [23], robots con sistema de orugas, estos están dentro de la categoría de robots móviles terrestres, se pueden encontrar robots móviles aéreos y acuáticos.

Existen diferentes configuraciones cinemáticas para los robots móviles terrestres con llantas , en la tabla 2.1 se muestran algunas de ellas con las ventajas y desventajas que ofrecen [24].

	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Vehículo diferencial</b>	Es un sistema barato y de fácil implementación. Su diseño es muy sencillo de realizar	se requiere un control de precisión para ejecutar trayectorias rectas, esto lo hace algo complejo de controlar
<b>Vehículo tipo triciclo</b>	No existe deslizamiento, tiene una buena estabilidad y posee simplicidad mecánica	Posee varios problemas de estabilidad en terrenos difíciles
<b>Vehículo Ackerman</b>	Sistema fácil de implementar	Limitaciones en la maniobrabilidad
<b>Vehículo con dirección sincronizada</b>	Los motores separados facilitan el control de traslación y rotación, la trayectoria de línea recta se asegura por la configuración mecánica	Este tipo de vehículo requiere de una elevada precisión mecánica para lograr la sincronización de todas las ruedas. Su diseño es complejo
<b>Vehículo tipo oruga</b>	Este sistema es sencillo de controlar	La exactitud del direccionamiento se ve afectado por una alta velocidad
<b>Vehículo omnidireccional</b>	Facilitan la ejecución de movimientos complicados por la reducción de restricciones cinemáticas	, la implementación de este tipo de robot es complicada y requiere un buen control para lograr el movimiento y direccionamiento correcto.

Tabla 2.1 Comparación entre configuraciones de robot móvil

- **Alternativa elegida**

Para el robot móvil construido se utilizó un sistema de locomoción de tipo omnidireccional, este ofrece una mayor maniobrabilidad ya que puede lograr una mejor movilidad y una mejor direccionalidad, es decir que un robot dispuesto con esta configuración es capaz de trasladarse tanto de forma independiente, como de forma simultánea en los ejes del sistema coordenado (X y Y), además de rotar en un eje perpendicular a estos (Z) [25].

El actuador elegido para el sistema de locomoción es un motorreductor de 300 RPM y 2 kg de fuerza, en el Anexo B se puede observar una tabla comparativa de diferentes tipos de motores y sus características.

### 2.3.1.2 Sistema de Pateo

Para el sistema de pateo de la bola existen diferentes tipos de mecanismos que pueden ser utilizados, dentro de estos se destacan 3 sistemas puesto que han sido utilizados en diferentes equipos participantes de la Robocopa en la modalidad de robots de tamaño pequeño.

El primer sistema se basa en el pateo mediante la acción de un resorte, Figura 2.4 donde se almacena energía a través de la compresión del resorte por acción de un actuador (motor), y al ser liberarlo se transmite la energía a la bola. Este sistema puede llegar a ser potente pero depende del tipo de resorte que sea utilizado, el número de disparos que pueda realizar depende de la capacidad de la batería y la velocidad entre disparo y disparo recae sobre la potencia del motor utilizado en la compresión. La variación en la fuerza de disparo se logra mediante diferentes distancias de compresión del resorte.

Algunos de los equipos que han utilizado este sistema de pateo son Agilo, Philips CFT, Tkumsu y Win-Kid [26], a continuación se muestra un esquema básico de la composición de este sistema de pateo

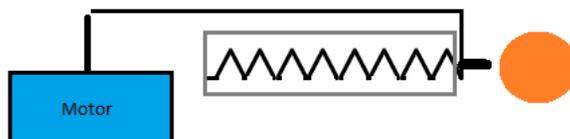


Figura 2.4 Pateo mediante uso de resortes

Otro sistema de pateo es implementado mediante presión neumática Figura 2.5. Consiste en la ubicación de un tanque con aire presurizado dentro del robot móvil conectado a un cilindro neumático que dispara la bola, la fuerza con la que pueda disparar la bola depende directamente de la presión con la que se cargue el tanque, representando un problema debido al espacio que ocupa dentro del robot, además del peso que le agrega al mismo. La cantidad de disparos que este sistema puede realizar está ligada al volumen de aire que sea cargado en el tanque. Debido a las desventajas que este tipo de sistema de pateo tiene, no es implementado por los equipos de la robo copa [27].

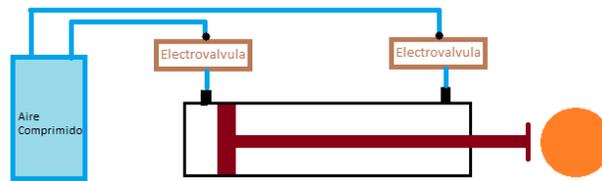


Figura 2.5 Pateo mediante aire comprimido

El último sistema de pateo es mediante el uso de un solenoide, Figura 2.6, en este, se hace circular una corriente a través de un embobinado creando un campo magnético que genera el desplazamiento de un material ferro magnético dentro del núcleo de la bobina, la fuerza con la que sale el material ferro magnético, o vástago, hace que este impacte con la bola consiguiendo dispararla [28]. La fuerza que se puede conseguir en este sistema puede elevarse mediante el aumento del campo magnético que se genera en la bobina, esto se logra incrementando el número de espiras (vueltas) que posee el solenoide o aumentando la corriente que pasa a través de este. Este sistema puede ser pequeño y muy potente [29].

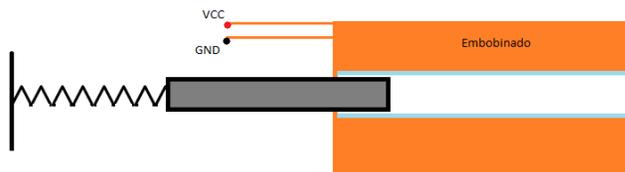


Figura 2.6 Pateo mediante solenoide

Tomando las características antes mencionadas, se construyó la tabla 2.2 con el fin de identificar qué sistema de pateo resulta mejor para la implementación en el prototipo que se desea construir.

	<b>Sistema resorte</b>	<b>Sistema Neumático</b>	<b>Sistema Solenoide</b>
<b>Ventajas</b>	sistema pequeño, no ocupa mucho espacio, y buena potencia de disparo, costo moderado	La velocidad entre disparos sería elevada puesto que bastaría solo activar la electroválvulas	Es de bajo costo, su potencia de disparo es elevada y puede ser controlada para obtener diferentes velocidades de pateo, ocupa poco espacio, la velocidad entre disparos es baja
<b>Desventajas</b>	No muy fácil de implementar, y la velocidad entre disparos depende del sistema que contrae el resorte lo cual puede resultar en un alto consumo energético	Su implementación es complicada, el tanque que se requiere le adiciona peso al robot y ocuparía demasiado espacio si se desea una buena potencia de disparo, su costo es elevado.	Se utiliza alto voltaje para cada disparo, aumenta la peligrosidad del sistema

Tabla 2.2 Comparación entre los sistemas de pateo

- **Alternativa elegida**

Según la tabla 2.2, el sistema de pateo neumático se descartó de las posibilidades debido a su complicada implementación, además que ocupa demasiado espacio y representa un peso significativo en el robot móvil. El pateo por resorte es una muy buena opción pero la utilización del solenoide, aparte de ser muy económica y de sencilla puesta en funcionamiento, trae beneficios adicionales como diferentes potencias de pateo y un rango de tiempo corto entre disparos. El pateador elegido es mediante el uso de un solenoide.

### 2.3.1.3 Sistema de Procesamiento

El robot móvil debe llevar consigo un sistema de procesamiento que le permita ejecutar las tareas programadas, realizar los cálculos respectivos y efectuar las salidas que correspondan para asegurar el funcionamiento del carro. El procesador o microprocesador, es un circuito integrado y es el cerebro de la máquina, interpreta y ejecuta las instrucciones dependiendo de los datos que se reciban.

Para el prototipo de robot móvil que se desea construir se analizaron los aspectos más importantes para la elección de un dispositivo de procesamiento, teniendo en cuenta elementos como cantidad de pines de propósito general I/O, facilidad el lenguaje de programación, protocolos de comunicación, el consumo de corriente

ya que este es un factor en la elección de la batería y costo. Dados estos elementos se realizó una tabla comparativa con diferentes procesadores que se encuentran en el mercado, en el Anexo C se puede observar una comparación entre diferentes procesadores y las características antes mencionadas.

- **Alternativa elegida**

El procesador elegido fue un Ds pic 30f4011, este posee comunicación rs232 la cual resulta conveniente por el uso del protocolo zigbee y en particular el xbee, los pines de salidas y entradas digitales son suficientes para las tareas que debe realizar tal como sentido de giro de los motores, habilitar el driver que controla los motores. Se desarrollará una tarjeta para que el Ds pic pueda controlar los motores y recibir las señales correspondientes tanto de la comunicación inalámbrica como la lectura de sensores.

#### 2.3.1.4 Sistema de Comunicación inalámbrica

Para la comunicación del robot móvil con el computador que controlara todos sus movimientos se utilizarán módulos de comunicación inalámbrica. Dentro de los diferentes tipos de redes inalámbricas que pueden ser utilizados para esta tarea se encuentran el wi-fi, bluetooth [30] y zigbee. La tabla 2.3 muestra los tres sistemas con sus ventajas y desventajas.

	<b>Wi Fi</b>	<b>Bluetooth</b>	<b>Zigbee</b>
<b>Ventajas</b>	Posee una buena cobertura, es una red barata y de fácil configuración, velocidad de transmisión de hasta 54Mbps.	Puede llegar a tener velocidades de transmisión de hasta 3000Kbps, el consumo de corriente en transmisión es de 40mA	Una red que implemente zigbee permite la conexión de 65535 nodos distribuidos en subredes de 255 nodos, el consumo de energía es menor que en bluetooth, alto rango de cobertura con bajo consumo, 30mA transmitiendo. disminuye su consumo debido a que puede permanecer dormido
<b>Desventajas</b>	Necesita de una mayor potencia de transmisión, debido a la masificación de este protocolo, la conexión	Tiene un limitado radio de cobertura, puede haber máximo 8 dispositivos conectados en una	Velocidad de transmisión de 250Kbps, no es compatible con otros protocolos como

	de dispositivos a distancias de 100 metros se ve afectada-	red (Piconet), el módulo de bluetooth siempre está enviando o recibiendo	bluetooth debido a la diferencia en las tasas de transferencia
--	--	--	--

Tabla 2.3 Comparación entre los sistemas de comunicación

- **Alternativa elegida**

Según la reglas que establece la Robocopa el uso de redes bluetooth no está permitida, por lo cual queda establecer cual tipo de protocolo escoger entre Wi-Fi y zigbee, aunque el zigbee es de bajo uso en el mercado, tiene ciertas características que sobresalen en comparación con Wi-Fi, primero que todo el consumo de potencia es mucho menor utilizando tan solo 30mA en transmisión a comparación de 400mA en el wi-fi[31], la complejidad disminuye en el uso del zigbee además que su precio es menor. Tiene 16 canales utilizando la misma banda de frecuencia (2.4GHz) que el wi-fi que posee 14[32]. El rango de alcance es igual al de wi-fi con menor requerimiento de potencia como se menciono anteriormente. Pensando en la expansión del equipo, es decir adicionando más jugadores, se encuentra que el protocolo zigbee puede manejar diferentes tipos de arquitecturas de red, lo cual resultaría en una ventaja según la estrategia de juego que se maneje, o según las tareas que se deseen realizar con los robots.

### 2.3.1.5 Sistema Energético

El sistema de energía se refiere a la batería que se utilizará para alimentar los circuitos, los motores y el sistema de pateo del carro, dentro de los diferentes tipos de baterías que se encuentran en el mercado están las de plomo, Niquel-Cadmio(Ni-Cd), Niquel-Hierro (Ni-Fe), Niquel Hidruro metalico (Ni-Mh), Litio-polimero (LiPo) , iones de Litio (Li-on).

Una batería es un elemento que almacena energía de forma química y al ser conectada a un circuito la transforma en energía eléctrica, la mayoría de las baterías están compuestas por una serie de celdas cargadas a determinado voltaje. Dentro de los parámetros importantes que definen las características de una batería están el voltaje y la cantidad de energía que pueda almacenar este parámetro se da comúnmente en Amperios Horas.

A continuación se muestran las diferentes baterías, las ventajas y desventajas que presenta cada una [33].

	Plomo	Ni-Cd	Ni-Fe	Ni-Mh	Li Po	Li on
Ventajas	Bajo costo	Admite un rango de sobrecarg a alto	Vida útil larga, admisión de sobrecargas sin afectar la	Mínimo efecto memoria	Alta densidad de energía (130Wh/Kg), alta tasa de	Alta densidad de energía

			capacidad de almacenar energía		descarga	(160Wh/Kg), bajo efecto memoria
Desventajas	Altamente contaminantes, baja densidad de energía (30Wh/Kg)	Baja densidad de energía (50Wh/Kg), alto efecto de memoria	Baja densidad de energía(40Wh/Kg), baja eficiencia	densidad de energía media (80Wh/Kg), bajo frio extremo se ve comprometida su potencia	La celda queda inservible si llega a quedar por debajo de 3V	No se admiten descargas completas

Tabla 2.4 Comparación entre los diferentes tipos de baterías

- **Alternativa elegida**

En la Robocopa, los partidos constan de dos tiempos de 10 min cada uno, es decir el robot debe ser capaz de jugar 20 min. Este es el parámetro más importante en la elección de la batería puesto que esta debe ser capaz de proporcionarle carga para que los sistemas (locomoción y procesamiento) duren ese tiempo, además la batería debe ser lo más liviana posible para no agregarle demasiado peso al robot y así mismo que los motores no requieran mucha potencia para lograr el movimiento, en ese orden de ideas, las baterías que reflejan ser las más adecuadas son la Li-po y Li-on debido a su alta densidad de energía, es decir con un tamaño pequeño y poco peso se puede obtener una gran descarga de energía. Finalmente por costos se decidió la batería Li-Po.

### 2.3.1.6 Control

Para el control de movimiento del robot móvil se necesitara asegurar y controlar la velocidad de las ruedas. Existen diferentes tipos de control los cuales pueden aplicados para el control de dichas velocidades, dentro de ellos está el PID, que es el método de control más utilizado en procesos, y consta de tres factores, un factor proporcional, uno derivativo y uno integral, cada uno de estos afecta directamente a la señal de error que entra de la medición del sensor en el proceso o la planta que se desea controlar. La ecuación del PID recibe el error medido con respecto a una referencia, y realiza los ajustes necesarios para obtener la respuesta deseada en la salida del sistema. La ecuación del PID es la siguiente:

$$u = Kp(e + \frac{1}{Ti} \int_0^t e dt + Td \frac{de}{dt}) \quad (2.1)$$

Otro tipo de controlador es el *fuzzy*, básicamente es lo mismo puesto que dependiendo del error de entrada se genera una salida, esto se llama inferencia difusa y se realiza en 3 partes, la primera es la fusificación, aquí la señal de entrada es convertida en variables difusas, la evaluación mediante reglas en donde los valores de la salida difusa son calculados, y por último la defusificación donde la salida difusa se convierte a valores aptos para aplicar a la planta. En la figura 2.7 se muestran los diagramas de bloque de un sistema controlado por un PID y otro por un controlador *fuzzy*.

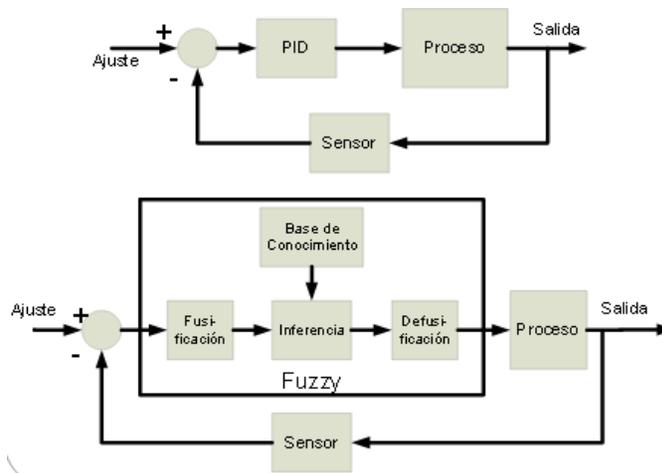


Figura 2.7 Diagrama bloque de control PID y Fuzzy [34]

- **Alternativa elegida**

El uso de un PID para realizar el control de un sistema dinámico es una buena opción puesto que este proporciona un tiempo de respuesta rápida, además las constantes son halladas mediante el modelo del sistema, esto permite obtener un mejor comportamiento en el sistema según las entradas deseadas.

### 2.3.2 Casa de la calidad HOQ

Esta herramienta permite cumplir con los requerimientos de un producto , a través de la interpretación de a quién va dirigido , lo que se espera del producto y con quienes se debe competir a fin de obtener un buen diseño, contribuyendo en la planificación y coordinación de las diferentes etapas que lo conforman.

Para la construcción de la casa de la calidad figura 2.8 , primero se establecen las necesidades o expectativas mínimas del sistema correspondiente a los que Para

este caso se proponen 11 elementos rescatados del benchmarking y las reglas de la competencia, donde se contempla desde la movilidad, algunos aspectos físicos hasta el costo del proyecto. La manera ingenieril en que se va a abordar cada uno de estos problemas está dado en la parte superior de la casa en la etapa de los Cómo. Una matriz de correlación entre estos aspectos se construye cruzando las filas y columnas, a fin de verificar el grado de vínculo que tiene el problema con dicha solución. Para el caso práctico, se establecen sólo 3 valores a evaluar así: Fuertemente con 9, moderado con 3, débil con 1 y si no existe alguna dependencia, se establece cero o nulo [35].

La manera de evaluar el prototipo de robot de la serie F180, es identificando las características de importancia en la competencia, y verificar nuestra posición respecto a estas.

Esta matriz de pesos contiene números entre 1 y 5, siendo 1 el valor de menor importancia y 5 un aspecto claramente necesario. Su análisis parte de la importancia de los respectivos Qué en la competencia, seguido de los valores del benchmarking que para nuestro caso fue un estudio de los 19 equipos participantes en el abierto de México en el 2012, seguido de la importancia de incluir o solucionar dicho aspecto en el robot a construir.

El índice de mejora parcial Ecuación 2.2 está calculado respecto a los otros equipos. Y el índice de mejora total se calcula según la Ecuación 2.3

$$IMP = \frac{\textit{Prototipo Robot}}{\textit{Benchmarking}} \quad (2.2)$$

$$IMT = IMP * \textit{Importancia Competencia} \quad (2.3)$$

Esto nos da un total de 37.5 con el cual se puede calcular el peso relativo Ecuación 2.4.

$$\textit{Peso Relativo} = \frac{IMT_i}{\sum_1^i IMT} \quad (2.4)$$

$$\textit{Peso Relativo} = \frac{IMT}{37.5}$$



Teniendo en cuenta los elementos analizados en la configuración de diseño, se plantea como alternativa de solución para abarcar los diferentes problemas establecidos desde la casa de la calidad, los siguientes elementos:

#### 2.4.1 ESTRUCTURA PLATAFORMA MOVIL

Para la construcción del robot F180 se tiene como punto de partida el tipo de locomoción omnidireccional, y con la idea de realizar un esquema relativamente simétrico, puesto que se van a implementar 3 ruedas omnidireccionales, se trata de ubicar los elementos a 120 grados entre sí.

La distribución que se le otorga al robot consta de tres pisos, donde la primera planta está destinada para el soporte de las ruedas, piñonera para la etapa de reducción de velocidad y los sensores encoder. En el espacio medio de la estructura, destinado para el actuador lineal que proporciona el disparo de la bola y en la parte frontal el sistema de dribbling o agarre. La segunda plataforma esta propuesta para sostener los motores y separar todo el montaje del último piso correspondiente a la electrónica tanto de los sistemas lógicos y de control como del circuito de potencia y batería.

Para tal fin, se utiliza una lamina de aluminio calibre 14 (1.9 mm). Este material tiene algunas propiedades que fueron de interés para su selección, como facilidad de mecanizado por ser blando y maleable, resistente, metal ligero, donde comparado con un acero tiene muy baja densidad.

Para soportar las bases entre sí, se implementan piezas rectangulares de aluminio de 6mm de grosor.

La etapa de reducción de velocidad empieza con los motores que logran una velocidad de 300 RPM en su máximo voltaje de alimentación, pero con un torque de tan solo 196 mNm.

Por esto, la etapa de reducción queda planteada así:

$$\omega_1 T_1 = \omega_2 T_2 \quad (2.6)$$

Si la relación de reducción es de 4, la velocidad de cada rueda queda en 75RPM y el torque es de 784mNm, superando a los motores analizados en la configuración de diseño.

Un piñón comercial metálico de 18 dientes con diámetro externo de 16 mm es implementado para acoplarse directamente al motor.

El módulo es calculado bajo la relación presentada en la ecuación 2.6.

$$De = (Z + 2) * m \quad (2.7)$$

De la ecuación 2.7 se despeja m obteniendo:

$$m = \frac{De}{Z + 2}$$
$$m = \frac{16}{18 + 2}$$
$$m = 0.8$$

El diámetro de paso, ecuación 2.8, corresponde a :

$$Dp = Z * m \quad (2.8)$$

Sustituyendo en la ecuación 2.8 el número de dientes y el módulo hallado se obtiene:

$$Dp = 18 * 0.8$$
$$Dp = 14.4 \text{ mm}$$

Puesto que la reducción tiene un factor de 4, el piñón del eje debe ser:

$$Z_2 = 18 * 4$$
$$Z_2 = 72 \text{ dientes}$$

Ahora se debe asegurar que el módulo de ambos sea el mismo, por lo cual el diámetro esta descrito por:

$$Dp = 72 * 0.8$$
$$Dp = 57.6 \text{ mm}$$

El diámetro externo obtenido es

$$De = (72 + 2) * 0.8$$
$$De = 59.2 \text{ mm}$$

Por tanto, la distancia entre centros, Ecuación 2.9, es de:

$$Dc = \frac{Dp_1 + Dp_2}{2} \quad (2.9)$$

$$Dc = \frac{14.4 + 57.6}{2} = 36 \text{ mm}$$

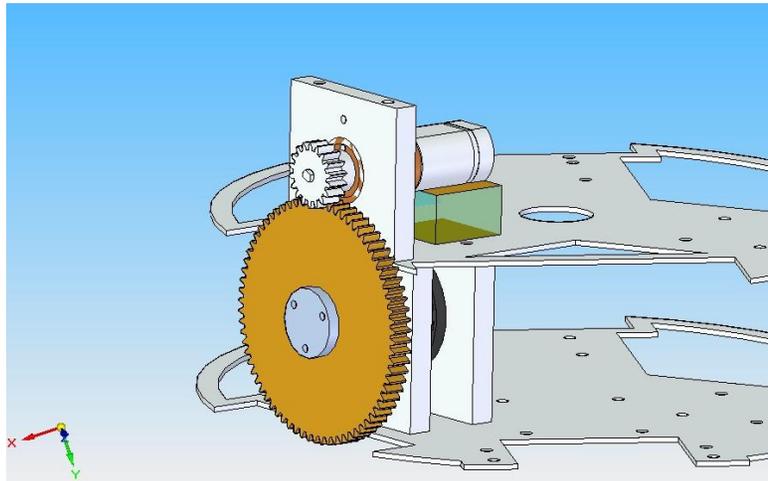


Figura 2.9 Disposición final de los piñones

En la figura 2.9 se pueden observar como quedan los dos piñones distanciados, y como se disponen en el chasis del vehículo.

Como sistema de sensado de la velocidad directamente sobre cada rueda, se establece un encoder sujeto al eje. Con 18 agujeros distribuidos en la pieza, la resolución es de:

$$\text{Resolución} = \frac{360^\circ}{18 * 2} = 10^\circ$$

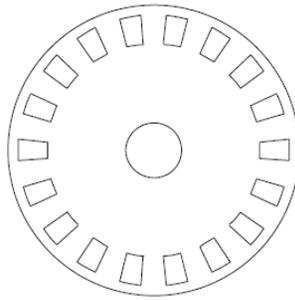


Figura 2.10 Diseño de encoder

El peso total estimado del robot es de 2.5 Kg.

### 2.4.2 DRIBBLING

El dribbling, Figura 2.11, se basa en un dispositivo capaz de controlar la bola con el robot en movimiento, implementando una barra con cierto agarre capaz de generar un giro contrario a la bola que la mantiene en contacto a la plataforma móvil. Su control esta dado por un motor reductor de 300rpm y una relación de piñones con una configuración de un aumento de velocidad obteniendo 1000rpm.

Dentro de la normativa, el dribbling observado desde una vista superior no puede cubrir más del 20% de la bola cuando la esta maniobrando, esto se considero en el momento del diseño del mecanismo.

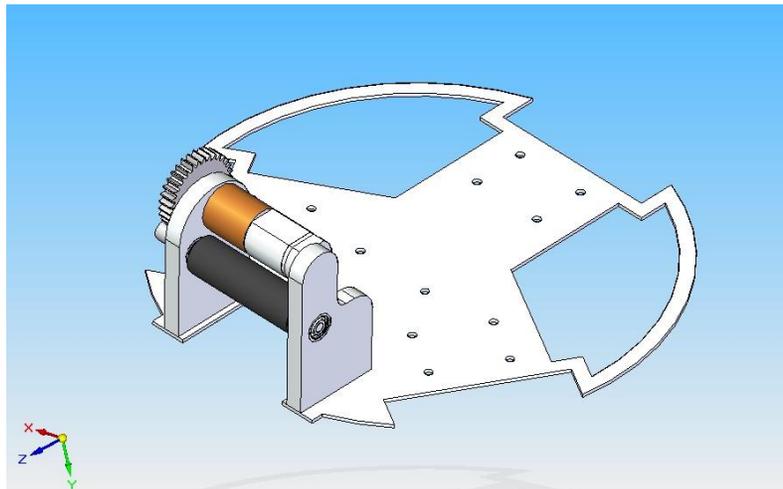


Figura 2.11 Dribbling del robot móvil

### 2.4.3 PATEADOR

El principio de funcionamiento del solenoide consiste en el paso de corriente mediante un embobinado y en el cual se genera un campo magnético, para la construcción de un solenoide y así acelerar un vástago para golpear la bola y conseguir un disparo, se debe analizar diferentes aspectos del solenoide, tales como la cantidad de espiras o vueltas que este posea y la cantidad de corriente que va a circular por las espiras.

La mayoría de campo magnético se concentra uniformemente en el centro a lo largo del solenoide, como se muestra en la figura 2.12, es allí donde se introducirá el núcleo ferromagnético que se utilizará para golpear la bola [36].

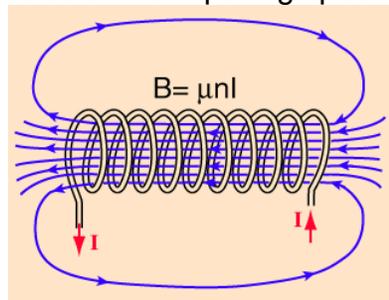


Figura 2.12 Campo magnético generado en solenoide

La expresión que se puede observar en la figura corresponde a la inducción magnética que se produce dentro de un solenoide, donde  $\mu$  es permeabilidad magnética en el vacío,  $n$  es el número de vueltas por unidad de longitud también llamado densidad de vueltas, y por ultimo  $I$  que corresponde a la corriente que circula por el solenoide. Esta expresión puede ser utilizada para un cálculo aproximado puesto que está dada para un solenoide de longitud infinita. El cálculo de la velocidad final de la bola se realizó mediante el uso de energías ecuación 2.10, la energía cinética del vástago dentro del solenoide y la energía que almacena la bobina en forma de campo magnético, dado esto las dos energías deberían ser las mismas obteniendo así:

$$E_{bobina} = E_{Cinetica\ bola} \quad (2.10)$$

$$\frac{1}{2}Li^2 = \frac{1}{2}mv^2$$

la inductancia de la Bobina está dada por la ecuación 2.11

$$L = \frac{0,315 r^2 N^2}{6r+9l+10d} \quad (2.11)$$

Siendo :

r, Radio medio en cm  
 l, la longitud del bobinado  
 d, espesor del devanado  
 N, número de espiras

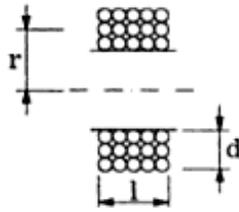


Figura 2.13 Representación del radio medio y espesor de devanado

Reemplazando los valores en la ecuación 2.11, el resultado de la inductancia de la bobina es

$$L = \frac{0,315 (1.125)^2 (1000)^2}{6(1.125) + 9(4) + 10(2.5)}$$

$$L = 5884\mu F$$

Una aproximación de la corriente que pasa a través de la bobina en el momento de la descarga, se calcula mediante la ley ohm  $I = \frac{V}{R}$  en donde el voltaje máximo esperado son 200V y la resistencia medida en la bobina es de  $9\Omega$ , de esta forma la corriente que recibe la bobina es de aproximadamente 22A .

Al reemplazar los valores la energía que se obtiene en la ecuación 2.10 en la bobina es la siguiente:

$$E_{bobina} = \frac{1}{2} Li^2$$

$$E_{bobina} = \frac{1}{2} 5.88mH(22A)^2$$

$$E_{bobina} = 1.42J$$

A igualar la energías de la bobina y del vástago, y despejar la velocidad del vástago

$$v_v = \sqrt{\frac{1.42 * 2}{m_v}}$$

$m_v$  es la masa del vástago = 15gr

$$v_v = 13 \text{ m/s}$$

La velocidad obtenida es que la adquiere el vástago al salir del solenoide, para calcular la rapidez transmitida a la bola por el vástago se realiza utilizando la conservación de momento

$$m_{vastago} v_{vastago} = m_{bola} v_{bola} \quad (2.12)$$

Según las reglas de la robocopa, la masa de la bola es de 44g, despejando la velocidad de la bola de la ecuación 2.12:

$$v_{bola} = \frac{m_{vastago} v_{vastago}}{m_{bola}}$$

$$v_{bola} = \frac{15gr * 13.77m/s}{44gr}$$

$$v_{bola} = \frac{15gr * 13 \text{ m/s}}{44gr}$$

$$v_{bola} = 4.4m/s$$

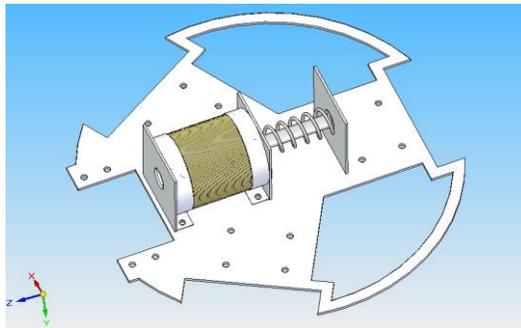


Figura 2.14 Sistema de pateo del robot móvil.

El embobinado debe ser capaz de generar un campo magnético que arrastre el proyectil e impacte con la bola a fin de alcanzar altas velocidades, para lo cual se

puede pensar en dos posibilidades de diseño, la primera un cable grueso que implica una baja resistencia por lo tanto mucha corriente y menor número de vueltas, o la segunda con una solución más cómoda, con un cable delgado y un embobinado con gran número de espiras.

Puesto que se desea evitar consumos y pérdidas energéticas en el desarrollo del proyecto, se opta por un cable calibre 24 y un aproximado de 1700 vueltas.

El proyectil es una pieza ferromagnética acoplada con un resorte que le permite volver a la condición inicial. La ubicación de esta varilla de hierro debe estar a  $1/3$

#### 2.4.4 BATERIA POLIMERO DE LITIO

El cálculo preliminar del consumo de energía se basa en la totalización de los aportes individuales de cada actuador y los diferentes circuitos que conforman el robot móvil. Cada motor tiene un consumo aproximado de 600mA,

#### 2.4.5 VALIDACION CAD

La herramienta de diseño implementada es SolidEdge, donde se elaboraron las respectivas piezas, En el Anexo F se pueden observar los planos de las piezas correspondientes. La figura 2.15 muestra el aspecto final del ensamble del robot F180.



Figura 2.15 Ensamble Robot f180.

## Centro de masa

Se considera importante el análisis del centro de masa para el robot, pues para efectos prácticos se entendería como el punto donde se encuentra concentrada toda la masa del sistema, y es aquella partícula que se movería de la misma manera al cuerpo sometido a las mismas fuerzas externas.

Este lugar geométrico, con dimensiones en los 3 ejes coordenados, corresponde al punto de equilibrio o de pivote del robot. Desde el diseño se pensó en una estructura que procurara mantener su centro de masa lo más bajo posible y de preferencia en el centro del robot.

Con ayuda de la herramienta de simulación y con el inspector de propiedades físicas, el centro de masa del robot móvil se aprecia en la figura 2.26.

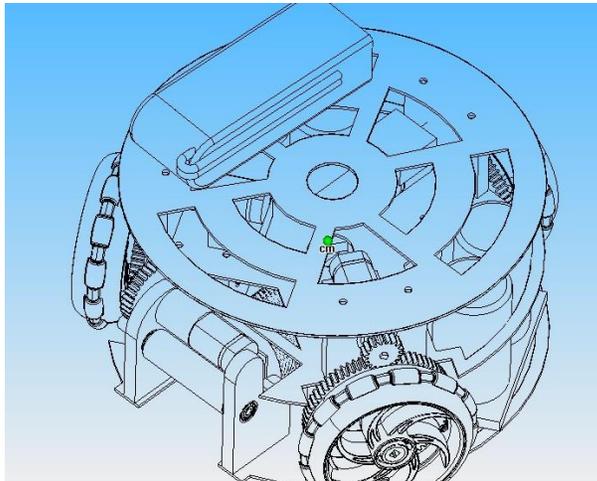


Figura 2.16 Centro de masa del robot.

El centro de masa (tomando como eje coordenado el centro de la primera plataforma) se encuentra en:

$x = -8 \text{ mm}$   
 $y = 40 \text{ mm}$   
 $z = 2 \text{ mm}$

## 2.5 CONCLUSIONES DEL CAPITULO

Los sistemas elegidos que harán parte del prototipo y que hacen parte de la arquitectura de diseño, coinciden en su mayoría con los sistemas utilizados por algunos de los equipos pertenecientes a la Robocopa, es decir que el análisis realizado de las diferentes alternativas con vista a obtener las mejores

características de maniobrabilidad, control de bola, comunicación, sistema energético y pateo, fueron acertadas.

Como el sistema de pateo puede tener limitantes en cuanto a las dimensiones, la manera de aumentar la fuerza final de pateo es aumentando la capacitancia en los condensadores puesto que así se obtendrá una mayor corriente de descarga por la bobina.

Para los cálculos que tiene que realizar el procesador, el desacople cinemático y la comunicación con el computador, el Dspic 30f4011 resulta ser suficiente para cumplir a cabo con estas tareas, mediante el uso de interrupciones recibe los comandos enviados desde el computador y por medio de salidas digitales y el uso de timers realiza el control de velocidad de los motores, y el disparo de la bola. La utilización de la metodología de diseño mecatrónico permitió identificar basado en las reglas, la competencia y en las diferentes alternativas existentes para la construcción del robot, las mejores opciones para que el prototipo cumpliera con las características básicas con un presupuesto limitado.

La elaboración de la casa de a calidad permitió identificar de las características básicas del robot, cuales están por debajo del estándar manejado en la competencia. La velocidad es el rasgo más notorio puesto que es mucho menor a la alcanzada por los equipos en la competencia.

### 3. ELECTRÓNICA Y CONTROL

#### 3.1 MODELO ROBOT OMNIDIRECCIONAL

Al realizar un modelado cinemático se tienen en cuenta las características geométricas como la distribución de las ruedas en el vehículo, en el caso particular el prototipo usará ruedas omnidireccionales, este tipo de ruedas tiene una característica particular debido a que está dotada de rodillos simétricamente distribuidos en la periferia de la rueda, es decir que si a la rueda se le aplica una fuerza lateral, los rodillos permiten que se desplace y por lo tanto la velocidad en esa componente de la llanta es diferente de cero, esto le quita al sistema la restricción cinemática de no holomicidad [37].

El modelo permitirá obtener a partir de las velocidades de cada una de las ruedas, del aporte de estas, una velocidad lineal y angular en el robot móvil. En la figura 3.1 se muestra la disposición en la que se encuentran las llantas del móvil.

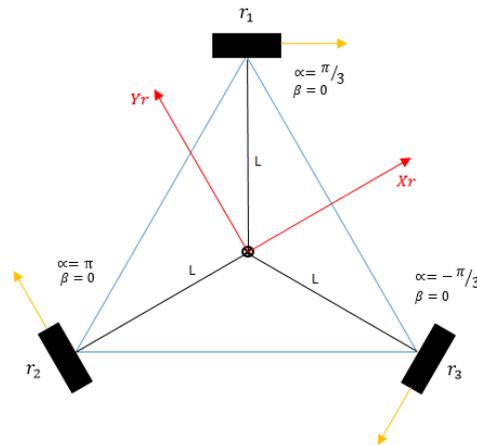


Figura 3.1 Representación del robot móvil para modelo cinemático

Para la realización del modelo cinemático se dispuso de un eje de referencia local en el robot móvil,  $X_r$  y  $Y_r$ , y con respecto al eje  $X_r$  y la línea que conecta el centro de masa con cada rueda es medido el ángulo  $\alpha$ , como se puede observar en la imagen el ángulo existente entre cada una de las ruedas es de  $120^\circ$  y está definida por una estructura triangular equilátera. El ángulo  $\beta$ , es el ángulo existente entre la perpendicular de la línea que une el centro de masa con la rueda y la

posición de la rueda, en este caso todas las ruedas son perpendiculares resultando un ángulo igual a  $0^\circ$ .

En el modelo existe otro ángulo ( $\gamma$ ), y es el ángulo que presenta la configuración de los rodillos presentes en la rueda omnidireccional, en el robot móvil se utilizaron unas llantas cuyos rodillos no presentan ángulo con respecto a una línea que dibuja al perímetro de la rueda, a continuación se muestra una imagen que representa mejor esto

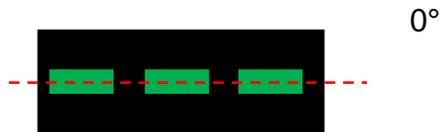


Figura 3.2 Ángulo de rodillos rueda omnidireccional

Para el modelo se considera a todas las llantas girando en la misma dirección y misma velocidad.

A continuación se muestran las ecuaciones de rodamiento

La primera de estas

$$J_1(Bs)R_R^l(\theta)\dot{E}_I = J_2\dot{\phi} \quad (3.1)$$

$J_2$  Hace referencia a una matriz identidad donde se encuentran los radios de cada una de las ruedas

$$\begin{bmatrix} r1 & 0 & 0 \\ 0 & r2 & 0 \\ 0 & 0 & r3 \end{bmatrix}$$

$\dot{E}_I$  es la matriz en donde están las velocidades del carro

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}$$

$J_1 =$

$$[\sin(\alpha + \beta) \quad -\cos(\alpha + \beta) \quad -L \cos \beta]$$

Y la segunda

$$C_1(Bs)R_R^l(\theta)\dot{E}_I = 0 \quad (3.2)$$

Y donde C1=

$$[\cos(\alpha + \beta) \quad \sin(\alpha + \beta) \quad L \sin \beta]$$

De las ecuaciones 3.1 y 3.2 se obtiene

$$\begin{bmatrix} J_1(BS) \\ C_1(BS) \end{bmatrix} R_R^I(\theta) \dot{E}_I = \begin{bmatrix} J_2 \dot{\phi} \\ 0 \end{bmatrix}$$

Si se reemplaza las variables que se obtuvieron en el modelo del carro en la ecuación de rodamiento se obtiene para J1 y C1 los siguientes resultados

$$J_1 = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & -L \\ 0 & 1 & -L \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & -L \end{bmatrix}$$

Y para c1

$$C_1 = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 0 \end{bmatrix}$$

Como se puede observar la matriz C1 existe una columna de ceros por lo que sólo se utiliza J1 obteniendo de esta forma

$$\begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & -L \\ 0 & 1 & -L \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & -L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r1 & 0 & 0 \\ 0 & r2 & 0 \\ 0 & 0 & r3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\phi}1 \\ \dot{\phi}2 \\ \dot{\phi}3 \end{bmatrix}$$

Y por consiguiente

$$\begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & -L \\ 0 & 1 & -L \\ -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & -L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r1 \dot{\phi}1 \\ r2 \dot{\phi}2 \\ r3 \dot{\phi}3 \end{bmatrix}$$

La ecuación anterior será la utilizada para calcular las velocidades de cada una de las ruedas según una velocidad especificada en X y Y.

Si se deseara lo contrario, es decir a partir de una medición en las ruedas obtener las velocidades del carro, es necesario hallar el inverso del jacobiano de las ruedas

Una vez programado el modelo en el robot móvil, y a manera de comprobación la funcionalidad del mismo, se envía un valor fijo de velocidad y se varía el ángulo para observar como es el comportamiento del desacople en las tres velocidades angulares Figura 3.3 , a 0° según el Xr del robot.

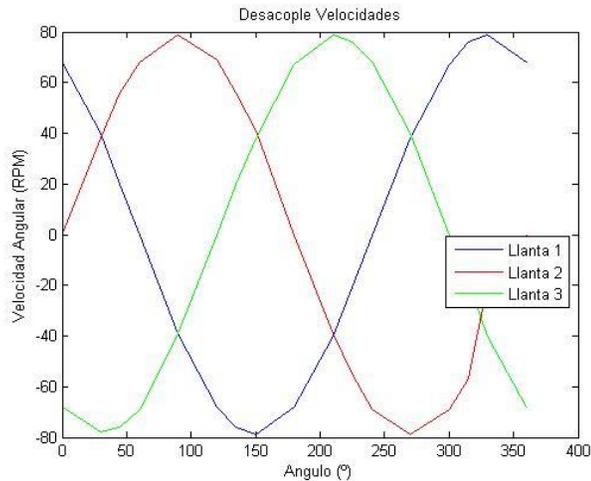


Figura 3.3 Desacople de velocidades según dirección

Como se puede observar, existen ciertos valores en los cuales solo se deben accionar 2 motores para ejecutar la trayectoria, mientras que otros ángulos pueden ser más críticos por la contribución de los tres actuadores, teniendo sus picos más importantes en ángulos 30, 90, 150, 210, 270, o 300.

Para la correcta ejecución de la trayectoria, es fundamental asegurar que el comportamiento de cada rueda sea apropiado, y el tiempo de respuesta de los

sistema sean muy similares o iguales entre si, por lo cual se debe realizar una etapa de control que conserve cada velocidad.

## 3.2 CONTROL

### 3.2.1 Identificación

Para el modelado y control de las plantas, es decir, el montaje final del acople entre motores, reducción y llanta, se implementó la herramienta de Matlab dedicada a la identificación de sistemas, donde basta con introducir la señal de entrada y salida para obtener un modelo aproximado del sistema a tratar.

La herramienta Ident proporciona un ambiente interactivo para el análisis de datos, la estimación de modelos, visualización y comparación de respuestas. Tiene la facilidad de hacer cálculos estimativos en función del tiempo (continuo y discreto), y/o frecuencia.

El primer paso consiste en la captura de datos de la planta en lazo abierto; se expone ante una referencia y se toman los datos del sensor de la variable de interés. Para el caso práctico, se establece como referencia un voltaje de alimentación de 9v DC, correspondientes a un esperado de 56.25 RPM, y a través del encoder y con una medida indirecta de velocidad, calculada en un dispositivo dsPIC, y se captura la trama de datos de la respuesta de cada rueda.

Se establece como parámetro un tiempo de muestreo de 50 ms obteniendo las siguientes respuestas:

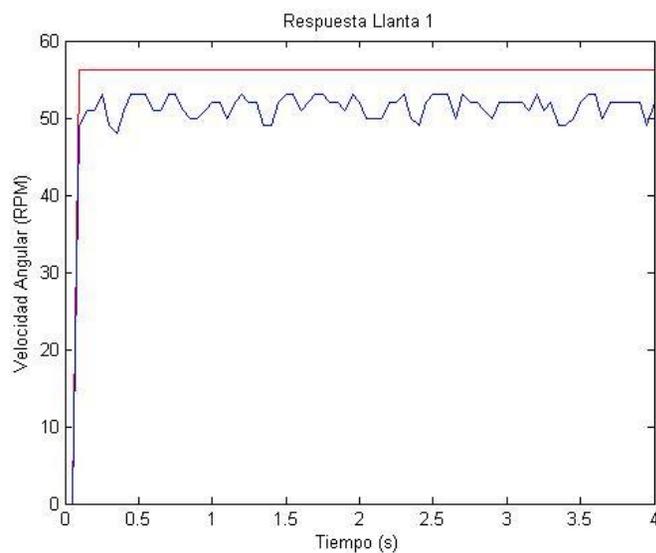


Figura 3.4 Velocidad obtenida llanta 1

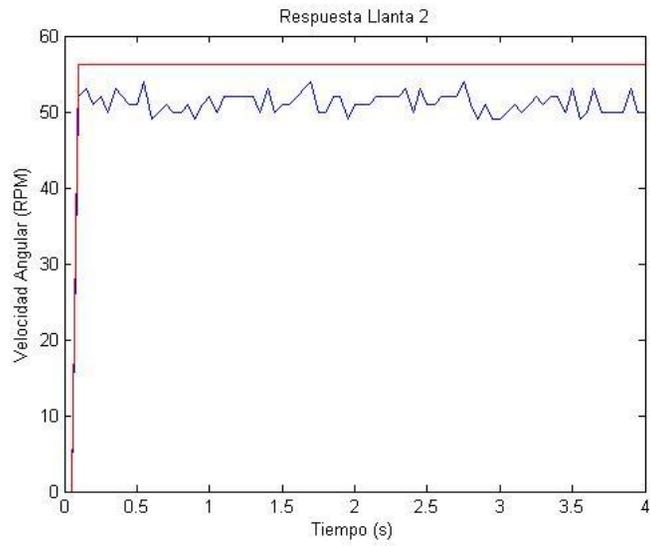


Figura 3.5 Velocidad obtenida llanta 2

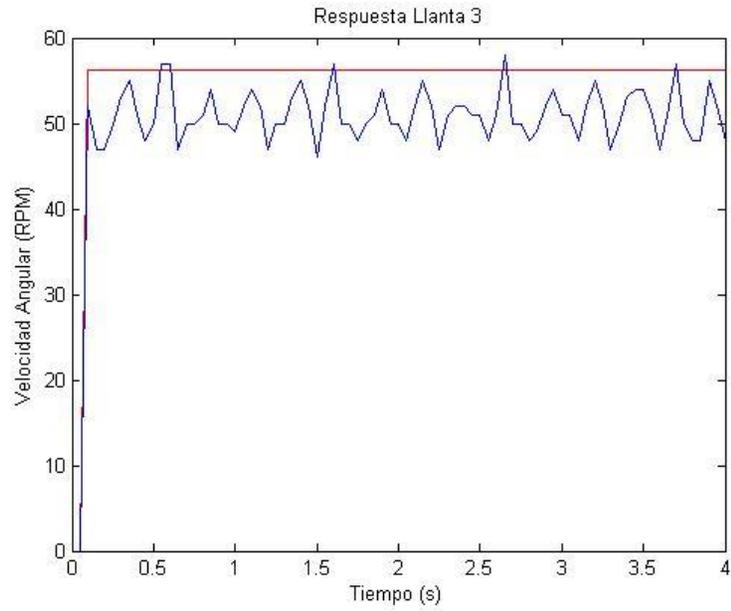


Figura 3.6 Velocidad obtenida llanta 3

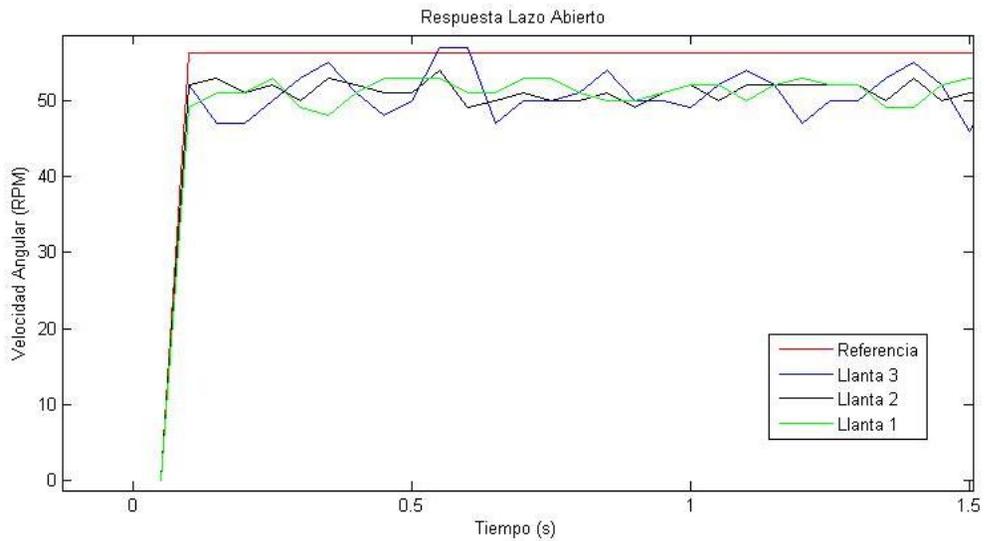


Figura 3.7 Respuesta lazo abierto de las 3 ruedas

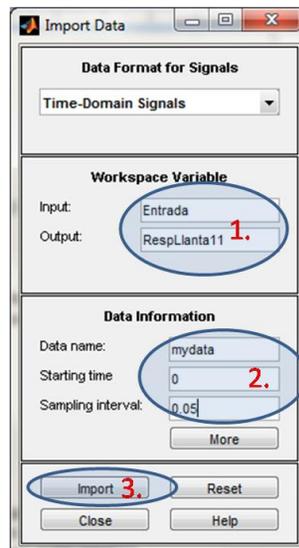


Figura 3.8 Ingreso datos en IDENT

En la herramienta Ident, se insertan los vectores de datos correspondientes a la entrada y salida Figura3.9 (1.), se debe tener en cuenta desde el espacio de trabajo que la longitud debe ser la misma. Puesto que los datos se tomaron directamente desde el dsPic, con un tiempo de muestreo de 50 ms es necesario establecer este tiempo en la casilla de *Sampling interval* Figura 3.9 (2.) y por ultimo importarlo para su respectivo procesamiento.

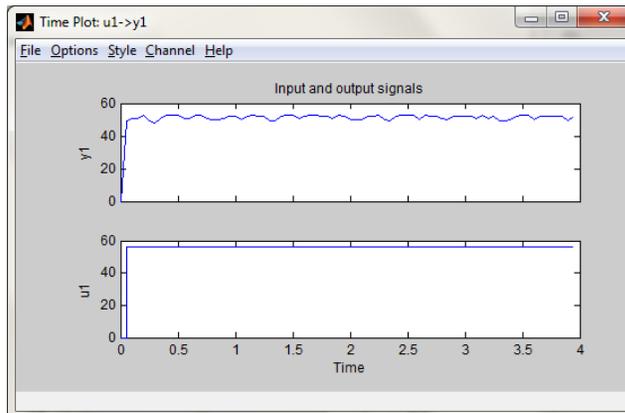


Figura 3.9 Señales de entrada y salida listas para procesar

Para la estimación del modelo, se selecciona la opción de Process Model, y se toma el modelo simplemente con 2 polos reales. Después de algunas iteraciones los datos obtenidos se muestran en la figura 3.11.

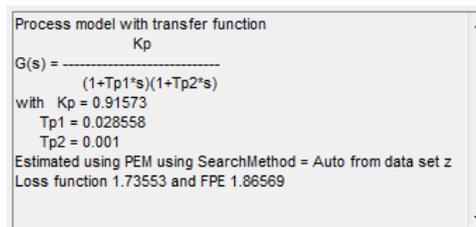


Figura 3.10 Valores obtenidos para la función de transferencia

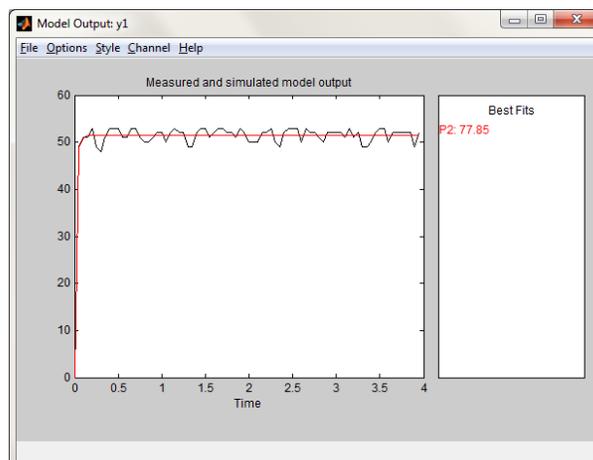


Figura 3.11 Respuesta al aplicar la entrada al modelo obtenido

Sabiendo que la función de transferencia es:

$$FT = \frac{Kp}{(1+Tp1s)*(1+Tp2s)} \quad (3.3)$$

	Kp	Tp1	Tp2	Grado de Correlación	Función de Transferencia
Llanta 1	0,91573	0,028558	0,001	77,85	$\frac{0.91573}{2.85e^{-5} s^2 + 0.02966 s + 1}$ $= \frac{32063}{s^2 + 1035 s + 35014}$
Llanta 2	0,91	0,12299	0,001	78,31	$\frac{0.91}{1.2299e^{-4} s^2 + 0.1240 s + 1}$ $= \frac{7398}{s^2 + 1008 s + 8130}$
Llanta 3	0,90995	0,03553	0,035639	57,85	$\frac{0.90995}{0.0013 s^2 + 0.0712 s + 1}$ $= \frac{699}{s^2 + 54 s + 769}$

Tabla 3.1 Funciones de transferencia para cada llanta

La respuesta ante una entrada escalón de los tres diferentes modelos se muestra en la figura 3.12.

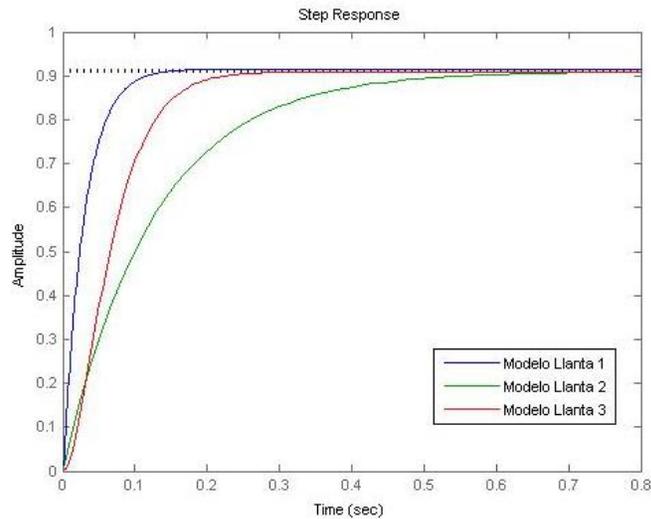


Figura 3.12 Salidas de cada modelo ante escalón

El tiempo de establecimiento de las plantas oscila entre 0.1 y 0.3 segundos. Cada una presenta error de estado estacionario evidenciado con el teorema de valor final, donde para el primer caso es de 0.9157, 0.909 para el segundo y 0.908 para la tercera función de transferencia. Comparado con los valores inicialmente tomados para la identificación, se puede notar que son modelos que realmente representan la planta, pues sus valores de correlación arrojados por el estimativo en Matlab son cercanos al 100%.

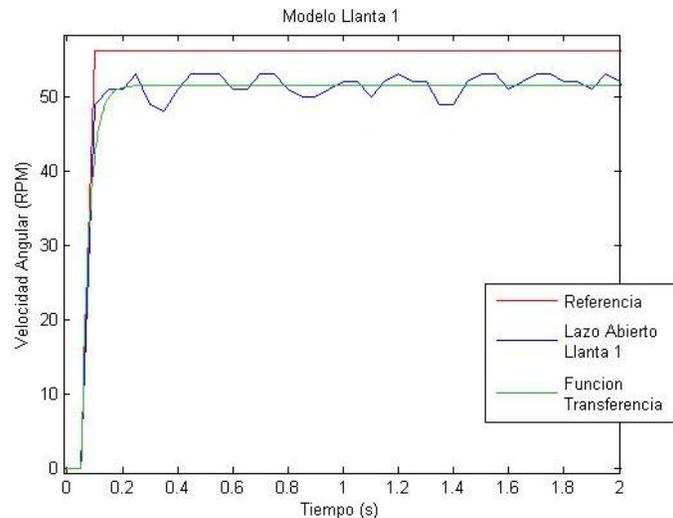


Figura 3.13 Comparación entre respuesta real y modelo obtenido

A partir de estos valores se procede a realizar el respectivo control de cada sistema, para lo cual como criterios de diseño se establece un factor de amortiguamiento de 1.8, y un tiempo de establecimiento de 0.7 segundos.

La metodología de diseño para cada control está en su cálculo inicial en continuo, y al final la implementación de un método de discretización para poder ejecutarlo desde un dispositivo dsPIC.

### 3.2.2 Control Liantas

Para el control, se implementa un PID con la estructura:

$$PID = Kp \left( 1 + \frac{1}{Ti * s} + Td * s \right)$$

$$PID = \frac{KpTdTi s^2 + KpTi s + Kp}{Ti s} \quad (3.4)$$

Al hacer la realimentación negativa de la planta con la ecuación 3.4 se obtiene:

$$F(s) = \frac{32063 * (KpTdTi s^2 + KpTi s + Kp)}{Ti s * (s^2 + 1035 s + 35014) + 32063 * (KpTdTi s^2 + KpTi s + Kp)}$$

$$F(s) = \frac{32063 * (KpTdTi s^2 + KpTi s + Kp)}{Tis^3 + 1035Tis^2 + 35014Tis + 32063KpTdTis^2 + 32063KpTis + Kp32063}$$

$$B(s) = s^3 + s^2(1035 + 32063KpTd) + s(35014 + 32063Kp) + 32063 \frac{Kp}{Ti}$$

**Polinomio Deseado:**

Si:  $ts=0.7$  s

$$B(s_{deseado}) = s^2 + 2\rho\omega n + \omega n^2 \quad (3.5)$$

$$ts = \frac{4\pi}{\rho\omega n} \quad (3.6)$$

Despejando  $\omega n$  de la ecuación 3.6

$$\omega n = \frac{4\pi}{\rho * ts}$$
$$\omega n = \frac{4 * 3.1416}{1.8 * 0.7} = 9.97$$

por tanto reemplazando en la ecuación 3.5

$$B(s_{deseado}) = s^2 + 35.89 s + 99.4$$

Para poder igualar se necesita un polinomio de tercer grado.

las raíces del polinomio actual son:

$$b_1 = -32.8656$$
$$b_2 = -3.0244$$

Se toma el polo dominante y lo multiplicamos por 10 obteniendo:

$$B(s) = (s + 32.8656)(s + 3.0244)(s + 1600)$$

$$B(s) = s^3 + 1635s^2 + 57523s + 159040$$

Igualando B(s) con el deseado obtenemos

$$Kp = 0.701$$
$$Td = 0.026$$
$$Ti = 0.141$$

### 3.3 ELECTRÓNICA

En este trabajo, se hace referencia a dos etapas electrónicas correspondiente a lo relacionado con aspectos lógicos, que se manejan entre 0 y 5 voltios, mientras que el circuito que controla el pateador por tener niveles de voltaje y corriente significativos es considerado como electrónica de potencia.

### 3.3.1 Digital

El circuito consiste principalmente en el microcontrolador dsP30f4011, con un cristal de 20MHz.

El control de los motores esta a través PWM por medio de tres salidas lógicas, conectados al enable de un puente H L293B, Figura 3.14 [38] , que soporta una corriente de 2A, y para el control de giro 6 pines del puerto E.

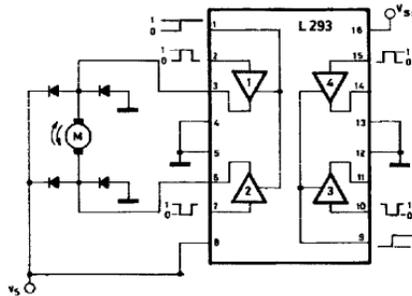


Figura 3.14 Diagrama conexión l293B

La figura 3.15 muestra como queda organizado el circuito, la imagen CAD de los elementos se obtuvo mediante el software *proteus*.

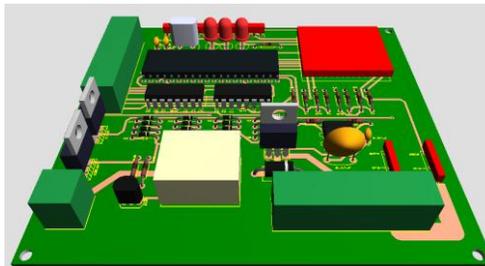


Figura 3.15 Organización del circuito

### 3.3.2 Circuito elevador de voltaje

Un elevador de voltaje, también conocido como booster, Figura3.16, es un circuito capaz de generar un voltaje de salida mayor al que se encuentra en la entrada, es decir cambia un nivel de tensión continua a otro.

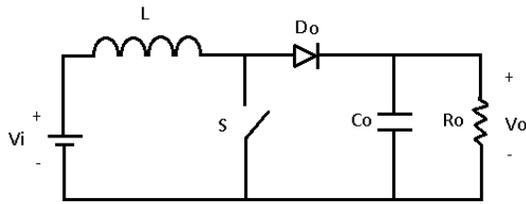


Figura 3.16 Circuito básico booster

Como se puede observar en la figura,  $V_i$  es el voltaje de entrada al circuito y  $V_o$  el voltaje que se obtiene a la salida debido a la carga del condensador  $C_o$ , siendo este último siempre mayor a la entrada. El interruptor  $S$  conmuta a cierta frecuencia por lo que el circuito se encuentra en dos estados, uno en el que el interruptor está conduciendo y el diodo  $D_o$  se encuentra como un circuito abierto, en esta etapa el inductor  $L$  se carga de energía y el condensador  $C_o$  es el encargado de suplir la corriente de salida si existe carga, en este caso  $R_o$ . El segundo estado ocurre cuando el interruptor se abre, la energía almacenada por el inductor es entregada a la salida mediante el diodo cargando el condensador [39].

Estos dos casos se muestran en la figura 3.17 y figura 3.18

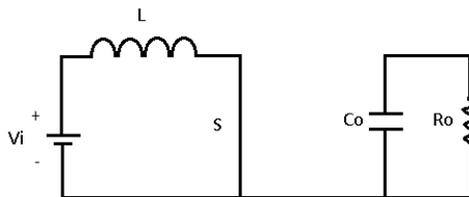


Figura 3.17 Switch S cerrado

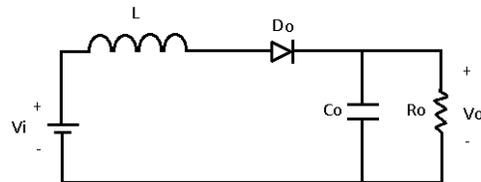


Figura 3.18 Switch S Abierto

Al realizar muchos ciclos de *switch*eo el voltaje de la salida, es decir el del condensador, se incrementa obteniendo de esta forma un voltaje que es mayor en comparación con la entrada.

En la aplicación del circuito el interruptor es reemplazado por un mosfet que realiza la función de interruptor controlado mediante modulación de ancho de pulso (PWM *pulse-width modulation*), este pulso se realiza mediante el uso del dispositivo 555 en configuración astable figura 3.19[40], caracterizada por obtener a la salida una onda cuadrada.

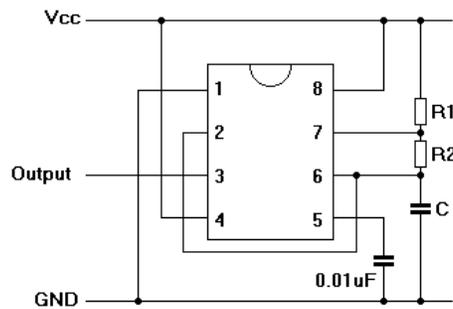


Figura 3.19 Integrado 555 en configuración astable

En modo astable la frecuencia de salida del dispositivo está dada por:

$$f = \frac{1.45}{(R_1 + 2R_2)C} \quad (3.7)$$

El tiempo de switcheo tiene que ser un valor  $0 < S_w < 1$ , y mientras menor sea este se obtiene una mejor respuesta en el voltaje de salida, es decir en el voltaje del condensador, basándose en ese criterio se eligió una frecuencia de oscilación de 5000Hz es decir unos 0.2ms

Los valores de las resistencias y el condensador que fueron utilizados para obtener la frecuencia de 5KHz son:

$$\begin{aligned} R_1 &= 250\Omega \\ R_2 &= 150\Omega \\ C &= 0.47\mu\text{f} \end{aligned}$$

El circuito elevador de voltaje se implementó para el sistema de pateo del robot, esto con el fin de cargar el banco de condensadores a determinado voltaje y descargarlo mediante una bobina de 1000 vueltas, al circular la corriente por el embobinado se genera un campo magnético que desplaza a cierta velocidad una pieza metálica dentro del solenoide, la salida de esta pieza la hace impactar con la bola, consiguiendo así dispararla. El circuito de disparo funciona en dos tiempos, el primero es el tiempo de carga, en esta primera parte mediante una señal enviada por el micro controlador al transistor T4, permite que se active el mosfet T2 y a su vez que funcione el oscilador (555) y el mosfet de conmutación T1, mientras la señal del microcontrolador siga activa los condensadores seguirán cargándose hasta llegar a un voltaje de 200V. Además de esto se mantiene un margen de 50V del voltaje máximo permitido por los condensadores. La segunda parte del circuito de disparo es la descarga de la energía almacenada en los

condensadores por la bobina, para la descarga se utilizó un IGBT T3, por este dispositivo puede transitar una gran cantidad de corriente, lo cual hace de este el elemento perfecto para actuar como switch y de esta forma lograr descargar los condensadores y generar el pateo, este igbt es activado mediante el transistor T5 que al igual que para la carga, recibe una señal de activación del microcontrolador. La utilización de los transistores T4 y T5 fue necesaria puesto que la salida del microcontrolador no es la suficiente como para activar tanto al mosfet de carga, como al igbt. La figura 3.20 muestra el circuito resultante.

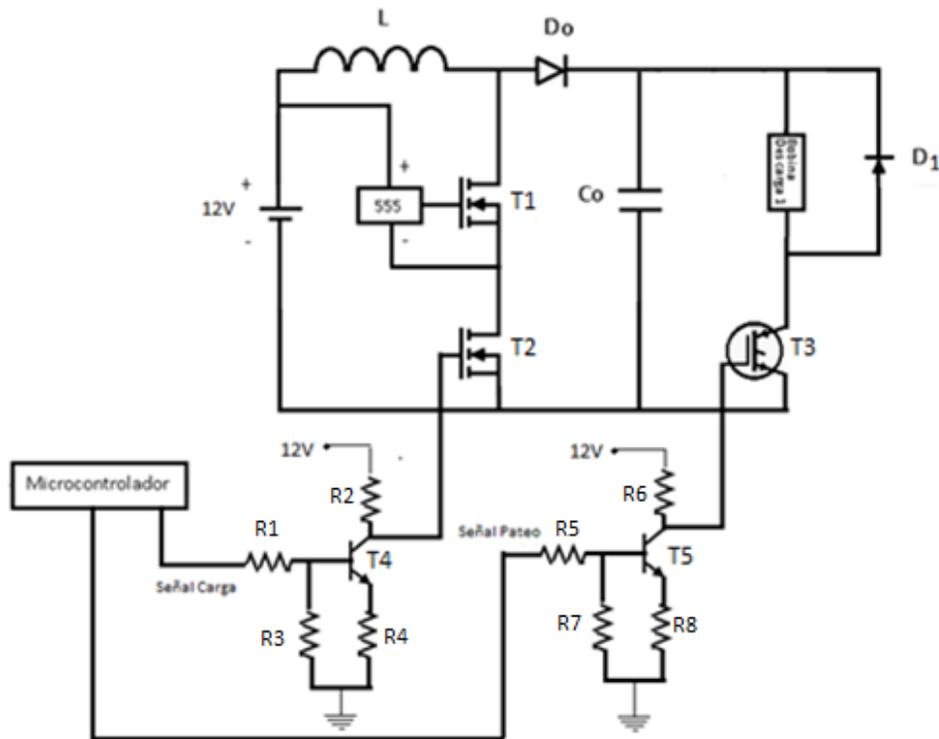


Figura 3.20 Circuito de carga y pateo

Como se puede observar en la figura 3.20, los transistores T4 y T5 son alimentados con el mismo voltaje con que funciona el circuito de carga, y es con este voltaje que son activados T2 y T3. También es utilizado un diodo volante D1 polarizado inversamente y en paralelo a la bobina de descarga con el fin de evitar algún daño en el igbt debido a que en el momento de la desactivación de igbt se genera una corriente inversa, el diodo volante elimina este problema.

T1=T2= Mosfet IRF 840  
T3= Igbt IRG4PC50UD  
T4= T5 = 2n2222

L= Bobina 100 vueltas, alambre AWG 17  
Co= 5400uF  
R1=1K $\Omega$   
R2=300K $\Omega$   
R3=200 $\Omega$   
R4=100 $\Omega$   
R5=4.7K $\Omega$   
R6=680K $\Omega$   
R7=820 $\Omega$   
R8=120 $\Omega$

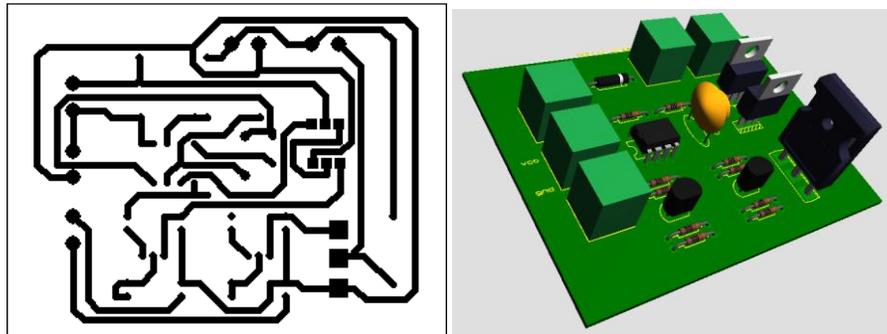


Figura 3.21 Circuito de pateo (a) PCB (b) Representación CAD

### 3.3.3 Comunicación

Para la competencia son seis los robots que se ponen en juego y de forma paralela e independiente, ejecutar las tareas asignadas desde el computador. Este host recibe información en tiempo real relacionada con el campo de juego, posiciones de la bola y cada robot, para en la siguiente etapa con la toma decisiones a través de estrategias de juego fijar una acción a cada móvil.

Es por esto, que la trama de datos se envía de forma inalámbrica por comunicación serial, referenciando inicialmente cual de los seis integrantes debe ejecutarla. Para poder ejercer un desplazamiento en la dirección deseada, los valores que se deben entregar al modelo son una velocidad y ángulo, y así desacoplar la velocidad requerida para cada rueda.

Un elemento adicional a tener en cuenta, es el momento de ejecución de tiros con la activación del sistema de pateo.

Teniendo en cuenta lo que se necesita para el protocolo de comunicación, se establece el empaquetamiento de estos datos, enviando 4 tramas de 8 bits. Su estructura se muestra en la tabla 3.2:

Giro								Identificación				Velocidad								Angulo								Pateo				
Byte 4								Byte 3								Byte 2								Byte 1								
7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	

Tabla 3.2 Empaquetamiento de datos

Tanto para la velocidad y el ángulo se establece una longitud de palabra de 9 bits con el fin de poder suministrar valores que varíen entre 0 y 511, abarcando el rango total de 0 a 360 grados y altas velocidades del robot.

Para la instrucción de giro, de los 8 bits se utiliza uno para identificar el sentido de giro y los 7 restantes representan la velocidad angular del giro.

Debido a que la comunicación se realiza por interrupción por comunicación serial, y el dispositivo dsPic para este propósito solo dispone de un registro de 8, se divide la trama preestablecida en 4. El primer Byte que se envía es el correspondiente a las 8 posiciones menos significativas, seguido del segundo y tercer byte, por último los valores más significativos.

Dentro del dispositivo a medida que se van recibiendo los datos, se hace un tratamiento para reconstruir los datos de Identificación, velocidad y ángulo.

Para ser implementado el protocolo de comunicación, se requiere de módulos Xbee poder realizar la transmisión de datos de manera inalámbrica. Para este propósito, se debe regular el voltaje a 3.3 v e implementar alguno de los dos canales UART del dsPic. Se establece una comunicación Fullduplex, es decir, se tiene la posibilidad de enviar y recibir datos de forma simultánea sin peligro de colisión, porque la implementación es a través de cables separados, y la velocidad de transmisión se establece a 9600 baudios. Sin embargo y por recomendación de la competencia Robocup, se debe probar la transmisión para diferentes frecuencias en caso de que otros equipos estén comunicando a la misma velocidad, por lo cual de ser necesario se puede variar este valor conforme al cristal implementado de 20MHz (con el que se consigue la velocidad de instrucción de máquina), desde un rango de 38bps hasta 1875 bps.

### 3.4 PROGRAMACIÓN

Para el control y manipulación del robot móvil de la serie F180, y según el dimensionamiento tanto físico (dimensiones) como lógico (pines, protocolos) realizado en la selección de materiales, para el primer prototipo se implementa un dsPIC30f4011.

Acoplado con el modelo cinemático del robot, y siguiendo la configuración omnidireccional con tres ruedas dispuestas a 120 grados cada una, se necesita asegurar la velocidad de cada una para poder obtener un desplazamiento en el plano en cualquier ángulo, por lo que se implementa un control para cada actuador.

El valor de la referencia para cada rueda se actualiza conforme los resultados del modelo del móvil y la comunicación. Desde el computador se envía la magnitud (velocidad) y ángulo deseado. El microcontrolador se encarga de hacer el desacople para cada rueda y así obtener el valor en RPM necesario para cumplir la trayectoria. La condición inicial para la referencia está dada en cero a fin de que el carro no se esté moviendo en el momento del encendido.

El cálculo del error se toma de la referencia y las velocidades obtenidas en una interrupción aparte, que se encarga de convertir los pulsos de cada encoder en RPM medidas en la etapa final es decir la rueda.

Como sensor de velocidad, se implementa un dispositivo óptico de herradura y un encoder acoplado directamente al eje de la rueda, diseñado con 18 orificios para obtener una resolución de 10 grados.

Dentro del código implementado en el microcontrolador dsPIC30F4011, es necesario recurrir a las interrupciones externas y captar cada vez que ocurre un cambio de estado lógico en cada sensor, y a través de un timer que siempre está activo contando, se captura un delta o cambio de este registro, y convertido a tiempo indica el lapso que tardo el encoder en girar los 10 grados de la resolución.

Para obtener una mejor medición, se dispone del Timer5 a 16 bits con un pre-escaler de 64. Además, una vez termine de contar hasta el valor máximo, ocurre un desbordamiento y simplemente regresa a cero para iniciar de nuevo el proceso. Es por esto, que para el cálculo del tiempo se debe tener en cuenta si el valor del registro actual es mayor o menor al valor de la captura anterior.

$$\text{Valor Timer} = V_{\text{Actual}} - V_{\text{Anterior}} \quad (3.8)$$

Si el tiempo calculado es negativo, quiere decir que el valor actual fue tomado una vez el timer se ha reiniciado, por lo cual el valor real debería ser:

$$\text{Valor Timer} = (2^{16} - 1) - V_{\text{Anterior}} + V_{\text{Actual}}$$

Por tanto, el tiempo que tarda el sensor en recorrer 20 grados es:

$$Tiempo(s) = \frac{4*(Valor\ Timer)*PreScaler}{Oscilador} \quad (3.9)$$

$$Tiempo(s) = \frac{4 * (Valor\ Timer) * 64}{20000000}$$

Es así que las RPM de la rueda es:

$$RPM = \frac{20^\circ}{Tiempo} * \frac{1\ rev}{360^\circ} * \frac{60\ s}{1\ min}$$

$$RPM = \frac{3.33}{Tiempo}$$

En el anexo D se puede apreciar un diagrama de flujo de la programación.

### 3.5 CONCLUSIONES DEL CAPITULO

La configuración utilizada en el prototipo (omnidireccional) permite obtener mejor maniobrabilidad del robot puesto que puede moverse tanto independiente como simultáneamente en los ejes del plano, esta configuración no aporta ningún tipo de restricción en el movimiento y es ventajosa para la aplicación de cualquier estrategia de juego.

La utilización de Matlab permitió encontrar una expresión matemática del sistema y aplicarle a esta un control PID con el cual se obtuvo un control en las velocidades de las llantas y de esta forma un control de dirección y velocidad de desplazamiento en el robot móvil.

Al circuito básico de elevación de voltaje se le adicionaron dos transistores de potencia para controlar la activación de la carga de los condensadores como también para la descarga (disparo). La señal de activación se envía mediante pines lógicos del microcontrolador, para esto fue necesario utilizar dos transistores que actúan como drivers para los transistores de potencia.

El empaquetamiento de datos facilita la programación y la comunicación puesto que asegura la llegada de la información la cual se lee en el software del robot para su posterior procesamiento. La lectura de los sensores se realiza únicamente mediante la interrupción externa del microcontrolador, de esta forma se conocen las velocidades de cada rueda para su posterior control.

## 4. SIMULACIÓN

### 4.1 WEBOTS

#### 4.1.1 Introducción a webots

Esta herramienta o software de simulación, sirve para modelar y programar robots móviles ya sean de ruedas, patas o voladores en mundos físicamente realistas. Con su primera aparición en 1996, por un proyecto del Dr Oliver Michel del Instituto Federal Suizo de Tecnología EPFL en Lausana, se ha convertido en una herramienta sencilla y muy potente a la hora de evaluar un proyecto de robótica, consiguiendo ser un programa ampliamente usado para fines académicos.

Cuenta con características llamativas como el poder interactuar durante la simulación, ya sea desde su interfaz gráfica, comandos desde un supervisor o elementos directos del ambiente. Hace uso de ODE (Open Dynamics Engine), que permiten la simulación en tiempo real, detección de colisiones, simulación dinámica de cuerpos rígidos, motor de física y evaluación de coeficientes de fricción estáticos y dinámicos.

Dentro de las facultades que trae este software, está la posibilidad de construir el robot propio, a partir de geometrías y dinámicas de las partes que lo conforman. Webots se podría interpretar en tres grandes partes que lo conforman, empezando por el árbol de escena que es el espacio destinado para insertar todos los objetos que integran el ambiente virtual, el segundo es la pantalla de simulación que permite visualizar e interactuar con el entorno. El tercer elemento corresponde al control que gobierna las acciones de los robots a través de una serie de instrucciones.

Una de las ventajas de la utilización de Webots se deriva precisamente del control, pues es un documento o archivo aparte que se le agrega al robot y domina las diferentes articulaciones o grados de movilidad del robot. Este control puede ser escrito en diferentes lenguajes como C, C++, Java, Phyhon, Matlab[41].

Los objetos básicos que se pueden insertar en el Árbol de escena son:

- GROUP

Nodo que contiene hijos sin necesidad de introducir una nueva transformación.

- ROBOT

Es un nodo de un tipo genérico de robot. Este elemento es el primer componente que se debe colocar dentro del árbol en caso de querer hacer un propio desarrollo

de robot. Contiene parámetros como Controlador, sincronización, colisión, robotwindow entre otros.

Para construir un robot con más de dos ruedas o tracción a través de patas, se debe empezar con un nodo tipo Robot.

- **SHAPE**

Es un objeto visual que incluye apariencia y geometría. Adicionalmente se puede implementar en los campos de límites o bounding de otros objetos, pues toma como base la geometría para este propósito. El campo de apariencia contiene un nodo que especifica los atributos visuales que se le agregan a la geometría.

- **SOLID**

Este nodo sirve para representar objetos del ambiente de simulación, que no son robots. Puede detectar colisiones, y prevenir que objetos se intercepten. Se le puede incluir un nodo de física para propósitos de simulación.

- **TRANSFORM**

Es un nodo que define un sistema de coordenadas para su nuevo hijo relativo al sistema de sus padres. Sus campos están divididos en un vector de traslación y uno de rotación.

- **SERVO**

Un nodo servo es usado para agregar una articulación o grado de libertad. Estos nodos pueden ser activos o pasivos, y son ubicados entre nodos padres e hijos. Para permitir algún tipo de movimiento, se puede distinguir entre rotacional o lineal.

Adicionalmente Webots permite dotar a los robots de una serie de sensores y actuadores como lo son:

**SENSORES**

Distancia IR - Ultrasonido –  
Láser  
Cámaras 1d - 2d - Esférica  
Touch  
Luz  
GPS  
Posición– Fuerza  
Encoders incrementales  
Acelerómetro  
Giróscopos

**ACTUADORES**

Ruedas diferenciales  
Servomotores  
Patas  
Brazos  
Ruedas  
Pistones  
Leds  
Grippers  
Displays

El controlador es el siguiente aspecto a mencionar de Webots, donde a través de código elaborado en alguno de los lenguajes que soporta, se puede controlar los diferentes servos activos del árbol o robot elaborado.

#### **4.1.2 Simulación Webots**

Para realizar la construcción de un robot personalizado es decir un diseño propio, es necesario incluir como primer elemento un Nodo Robot. Este componente reúne las características que gobiernan a toda la plataforma móvil, desde la posición y orientación en el espacio, hasta la definición del vínculo con el controlador.

Para hacer de la simulación un entorno más realista, se le debe agregar un nodo de física, el cual contiene información relacionada con aspectos del robot como la masa, densidad, centro de masa entre otros; lo que significa que además de la cinemática, las dinámicas del robot como fuerzas, gravedad, inercia, y fricción van a ser simuladas.

Para la detección de colisiones y establecer los límites o bordes del robot, se implementa en el nodo Bounding la transformación correspondiente al cuerpo del robot. Para este proceso era necesario tenerlo creado previamente, y en el momento en que se agrega el objeto seleccionar una transformación definida en lugar de una nueva [42].

Algunos de los nodos servo incluidos dentro de la estructura, conforman simplemente la unión de algunas de sus partes (pasivo), mientras que otros corresponden directamente a un actuador ya sea lineal o rotacional. Para esto, sólo los componentes activos deben ser bautizados en el argumento Nombre, teniendo en cuenta que es el valor con el que se va a identificar dentro del código.

Para nuestro caso, se incluyen nodos tipo servo para cada elemento que represente movimiento dentro del carro, como lo son las ruedas y sus respectivos rodillos, la rampa, rodillo para dominio o agarre de la bola y un último actuador lineal para el pateador.

Para ver en detalle el esquema del robot final, se incluye el árbol obtenido en webots en el Anexo E.

Para la elaboración del control, se eligió código .c, donde simplemente tiene un esquema de librerías, inicialización de variables y modificación de estados de los servos.

Dentro de las librerías de cabecera necesarias para poder correr el control sin errores, se debe incluir la de robot.h y servo.h. Adicionalmente se debe establecer la librería stdio.h (*standard input-output header*), para propósito de entrada y salida de datos.

Una vez creado el main es importante inicializar la comunicación entre el controlador y webots, a través de la función `wb_robot_init()`.

En caso de tener que implementar un ciclo o iteraciones, es conveniente usar la función destinada para sincronizar el controlador con el simulador a través de `wb_robot_step()`, el cual recibe por parámetro un número entero que representa un valor de tiempo de simulación.

Para asignar los servos al controlador, es necesario declarar una variable estática de tipo `WbDeviceTag`, y retornarle el valor dado por la función que captura los servos activos `wb_robot_get_device()`. En este paso ya se pueden empezar a modificar las características de cada actuador ya sea lineal o rotacional.

Los servos tienen la posibilidad de ser controlados a través de su posición, velocidad, aceleración y fuerza.

- Nuestro Robot se basa en 6 partes principales conformadas por: La carcasa correspondiente al cuerpo de todo el robot móvil, las tres llantas omnidireccionales donde se creó un cilindro que contiene 12 rodillos al rededor de su periferia, un pateador y un rodillo para el agarre de la bola.



Figura 4.1 El robot en la ventana de simulación

La ventaja de realizar el diseño y simulación en Webots, está en la facilidad de construcción, y en caso de necesitar más de un robot, basta con copiar porción del árbol y pegarlo como una nueva línea. Además, el hecho de que cada robot contenga un argumento para establecer el control, permite evaluar diferentes controladores de manera simultánea.

## 4.2 INTERFAZ

Para la interfaz del robot móvil, se tomó como base la herramienta NetBeans para el desarrollo del aplicativo, que cuenta con un panel que permite escoger el ángulo deseado, 3 paneles en donde son graficadas las rpm de cada llanta y una tabla donde los datos de las velocidades son almacenados según el ID del carro en distintas hojas de la tabla, y posteriormente pueden ser exportados a Excel para su respectivo análisis.

Para este propósito, se implementa un protocolo de comunicación, enlazado con hilos que se ejecutan una vez se entra a la aplicación, lo cual permite la ejecución de las tareas de forma paralela, evitando bloqueos o interferencias en los protocolos de comunicación.

Para modificar la posición del Robot, en una pantalla se visualiza un plano con ángulos dibujados Figura 4.2, este sería el modo manual, al hacer clic con el cursor dentro del recuadro, el ángulo es almacenado en una variable y junto con la velocidad se envían de forma serial al vehículo móvil según el protocolo mencionado en el capítulo 3. También se dispuso un modo automático donde en un plano cartesiano se eligen diferentes puntos con el mouse, siendo estos puntos diferentes coordenadas que el carro debe seguir cuando se le dé la orden. La velocidad varía conforme a valores de un Slider, teniendo como máximo valor 70, puesto que la velocidad máxima alcanzada por rueda es de 70 RPM.

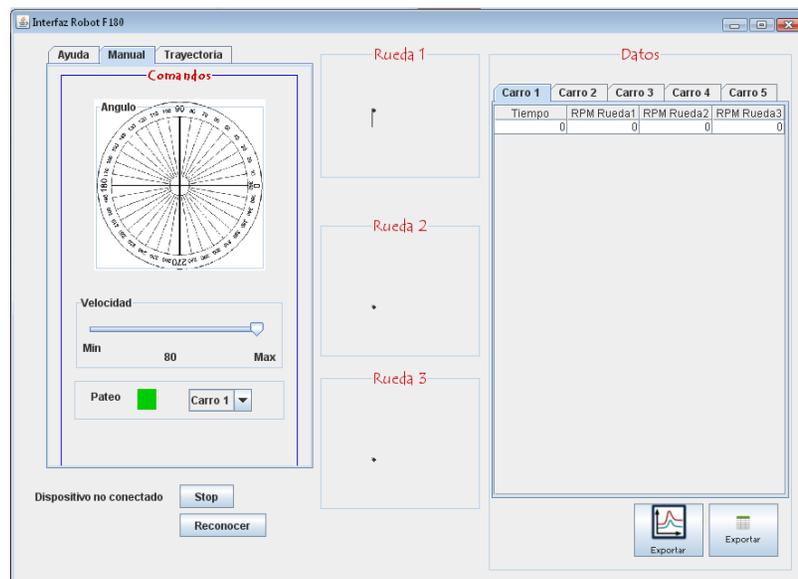


Figura 4.2 Interfaz grafica

### **4.3 CONCLUSIONES DEL CAPITULO**

Las herramientas de simulación permitieron hacer un análisis previo a lo que se puede obtener del modelo en la fabricación real, Webots ofrece bastantes instrumentos para la construcción de cualquier tipo de robot.

El uso de java como base en la construcción del software utilizando NetBeans como entorno de desarrollo para la comunicación y control del robot móvil fue una buena opción debido a que posee herramientas graficas que son sencillas y de fácil interacción con el usuario.

## 5 PRUEBAS Y RESULTADOS

### 5.1 CONTROL

Para la simulación se realiza un diagrama de bloques en *Simulink*, Figura 5.1, donde se inserta un step a 55 RPM como referencia, un punto suma para el cálculo del error, un sub-bloque que contiene las ganancias del PID, un bloque para saturación y por último la función de transferencia de la planta.

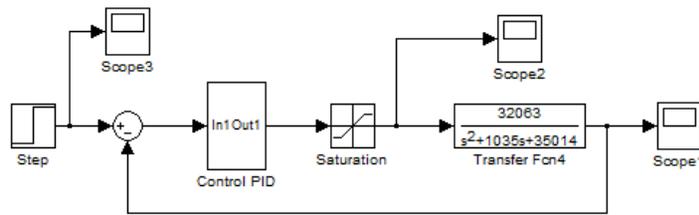


Figura 5.1 Diagrama de bloques en *Simulink*

El contenido del sub-bloque elaborado corresponde al PID:

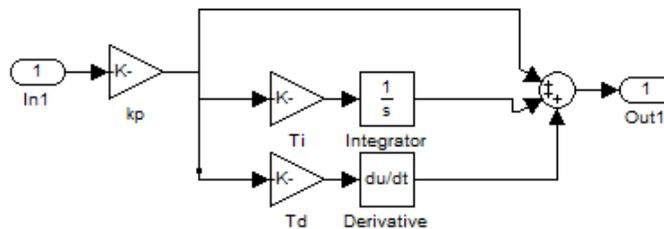


Figura 5.2 Bloque de PID

La respuesta de la función de transferencia para la planta de la llanta 1 es:

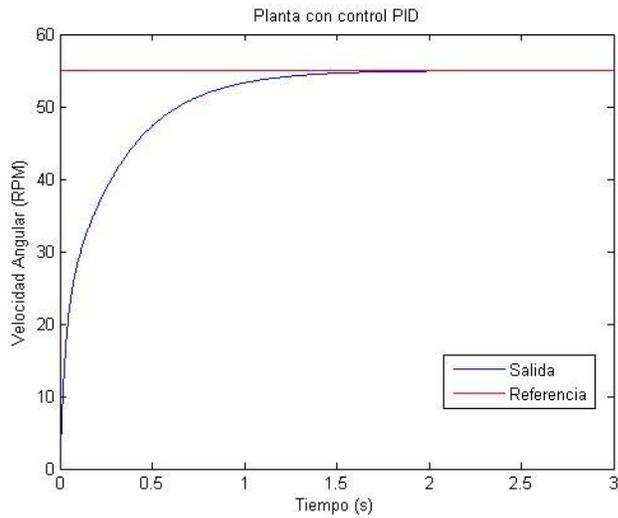


Figura 5.3 Salida controlada en llanta 1

Como se puede observar en la figura, se logró aumentar el tiempo de establecimiento, y evitar sobre impulsos que pueden ocasionar picos indeseados de corriente.

En el capítulo 2 la ecuación 2.1 que representa al PID, Se puede utilizar este mismo controlador pero digitalmente, para plantas con un tiempo de muestreo relativamente bajo.

Se puede interpretar la derivada como una diferencia hacia atrás y la integral por una sumatoria, obteniendo así la relación:

$$U = Kp \left( e_k + \frac{1}{Ti} + \sum_{j=1}^n e(j) * Ts + Td \frac{e_k - e_{k-1}}{Ts} \right) \quad (5.1) \quad [40]$$

Para el criterio de la elección del tiempo de muestreo, se analizó la respuesta en frecuencia de las plantas, obteniendo así que la magnitud para cuando cae 3db figura 5.4 es:

Sistema	Frecuencia en -3db
Llanta 1	4.62 Hz
Llanta 2	1.026 Hz
Llanta 3	2.45 Hz

Tabla 5.1 Frecuencia de corte para las tres llantas

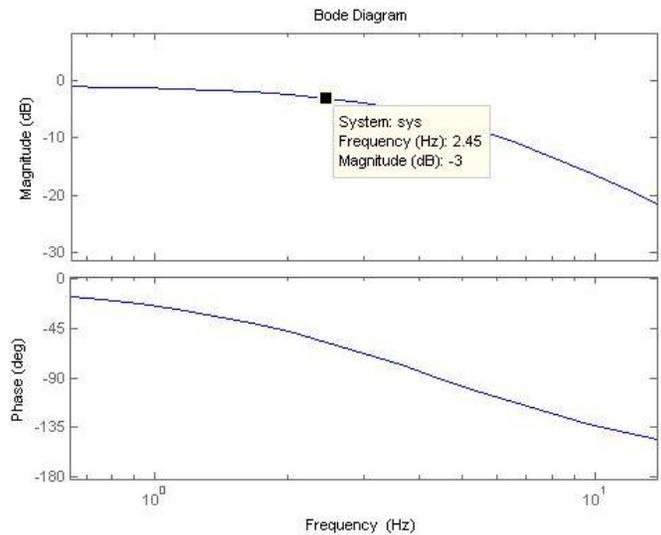


Figura 5.4 Diagrama de bode, frecuencia en -3dB

Puesto que la planta de la llanta 2 posee la menor frecuencia, el criterio de hacer el tiempo de muestreo de 10 a 20 veces mayor la frecuencia de corte, se realizo sobre este valor debido a que el tiempo de muestreo obtenido para esta también funciona para las otras dos.

$$Ts = (20 * 1.026)^{-1} = 0.049 \text{ s}$$

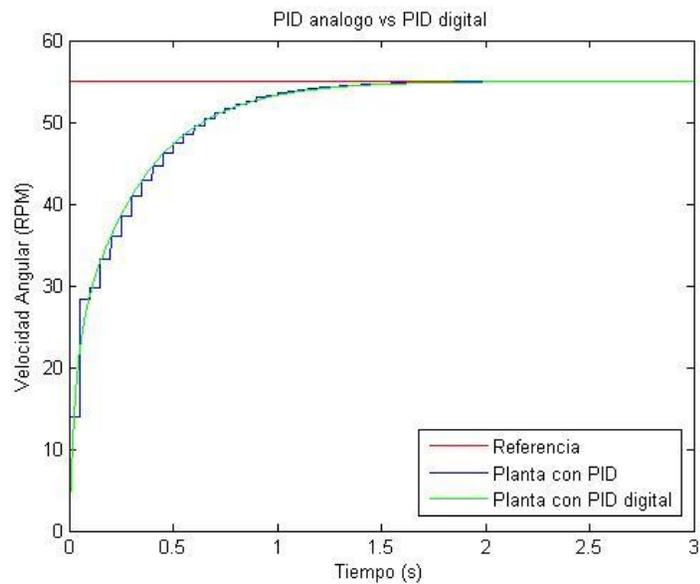


Figura 5.5 Respuestas del PID análogo y el PID digital

La respuesta obtenida con el control PID digital tiene una gran similitud con el PID análogo, como se observa en la figura 5.5

El carro presenta mejor movilidad en ángulos para los cuales la contribución es solo de dos actuadores, sin embargo, es capaz de seguir trayectorias elaboradas desde la interfaz. Para la prueba de elaborar un cuadrado se obtuvo errores en la posición final respecto a la posición inicial desde 1cm hasta 10 cm, producto de deslizamientos sobre las superficies lisas.

## **5.2 DRIBBLING**

El sistema de dribbling encargado de controlar y dominar la bola, presento algunos inconvenientes bajo las pruebas realizadas en superficies lisas como baldosas, pues al entrar en contacto con la barra de dribbling ya en movimiento, le genera rotación a la bola pero esta se desplaza o rebota, mientras que en elementos como tapetes el sistema es capaz de generar un giro en la bola que la mantiene fija al carro.

En la superficie de tapete se requiere una velocidad en el rodillo mucho mayor a 1000rpm puesto que el efecto generado en la bola no es el suficiente para que sea controlada por el carro.

## **5.3 DISPOSITIVO DE PATEO**

Uno de los factores de mayor cuidado corresponde al circuito de descarga, pues se debe tener sumo cuidado con las corrientes que lo atraviesan, siendo el IGBT el elemento más riesgoso, puesto que se generan corrientes pico.

Fue adecuado incluir una variación en el tiempo de carga del convertidor DCDC con tres valores pre-establecidos para el sistema de pateo, pues se pudo generar diferentes voltajes en los condensadores de carga consiguiendo una variación en la velocidad que adquiere la bola; sin embargo, se podría implementar algún tipo de lógica de control con un valor análogo a fin de conseguir un rango más amplio en la fuerza de pateo, y por ende en el dominio de la bola.

La velocidad obtenida en la bola al dispararla alcanzo una velocidad de 4.5m/s en máxima potencia de pateo, se observó que esta velocidad es relativamente cercana a la velocidad obtenida por los cálculos realizados, donde la velocidad de la bola era de 4.47 m/s.

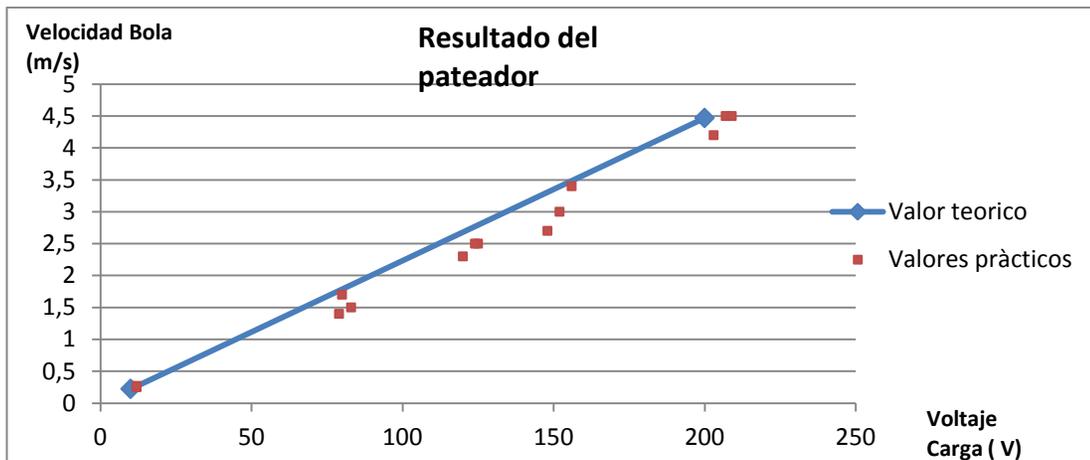


Figura 5.6 Resultados pruebas del pateador.

En la figura 5.6 se encuentran los datos obtenidos en diferentes pruebas a distinta intensidad de pateo, como se observa, la velocidad de pateo es directamente proporcional al voltaje cargado en el banco de condensadores. En la tabla 5.2 están la comparación de los valores prácticos de la velocidad de la bola con los valores teóricos, en ciertas medidas tomadas aproximadamente con el mismo voltaje se notan cambios significativos en el error relativo, esto se debe a que la carga de los condensadores no es precisa en un solo valor y existen errores de la toma de tiempos para el cálculo de la velocidad. Aun así, los valores prácticos se aproximan bastante a los cálculos teóricos.

Voltaje condensadores (V)	Velocidad bola teórica (m/s)	Voltaje condensadores (V)	Velocidad bola (m/s)	Error %
12	0,2682	12	0,26	3,06
12	0,2682	12	0,25	6,79
12	0,2682	12	0,27	0,67
80	1,788	83	1,5	16,11
80	1,788	79	1,4	21,70
80	1,788	80	1,7	4,92
120	2,682	120	2,3	14,24
120	2,682	125	2,5	6,79
120	2,682	124	2,5	6,79
150	3,3525	156	3,4	1,42
150	3,3525	152	3	10,51
150	3,3525	148	2,7	19,46
200	4,47	203	4,2	6,04
200	4,47	207	4,5	0,67
200	4,47	209	4,5	0,67

Tabla 5.2 Resultados prueba de pateador

## 6 LINEAS FUTURAS

El desempeño de este prototipo está ligado al trabajo de casi un año, en la búsqueda de información y puesta a prueba de diferentes sistemas, que nos dieron una primer impresión de cómo debe funcionar un robot de la liga de robots pequeños; y a fin de solventar problemas y buscar avances se plantean los aspectos que se deben mejorar o incluir:

- Aumento de velocidad del robot móvil.
- Disminuir tiempo de carga de sistemas de pateo.
- Estructura mecánica
- Otras recomendaciones

### 6.1 Propuesta rediseño

Uno de los objetivos para emprender este proyecto, fue la intención de hacer partícipe a la Universidad Militar Nueva Granada en el campo de robótica cooperativa con robots que juegan futbol. Para cumplir este propósito, y a fin de mejorar algunos aspectos del diseño preliminar, se dispone de cambios en la selección de materiales contemplando los mismos elementos del capítulo 2 en la configuración de diseño así:

Para lograr que el robot móvil alcance una mayor velocidad en el terreno de juego, la mejor solución como motor es el *Brushless Maxon EC 45 flat*, que a diferencia del motorreductor, tiene una velocidad de 2800 RPM para alcanzar un avance en el carro de 3m/s (comparado con el prototipo que contaba con 70 RPM en cada rueda y un aproximado de 0.7 m/s para el robot), para no trabajar en la velocidad nominal del motor y asegurar que en funcionamiento continuo este en el rango seguro de operación se deja la misma reducción, 4:1 utilizando los mismos piñones que se utilizaron para el prototipo. El torque nominal del motor es de 59mNM, es decir que en la rueda se obtienen 236mNM por rueda. La velocidad obtenida después de la reducción es de 700Rpm en las ruedas obteniendo un desplazamiento final del vehículo de 2.97 m/s.

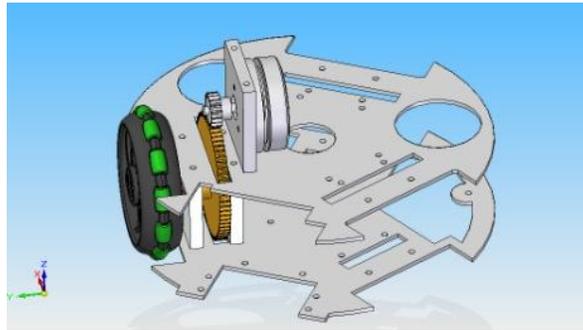


Figura 6.1 Etapa de reducción de velocidad.

La disposición física de los motores, al igual que en el prototipo está dada a 120 grados entre sí, pero esta vez se trato de ubicar estos elementos en el centro del robot como lo ilustra la figura 6.2, a fin de facilitar el diseño de las bases y ensamble de la estructura.

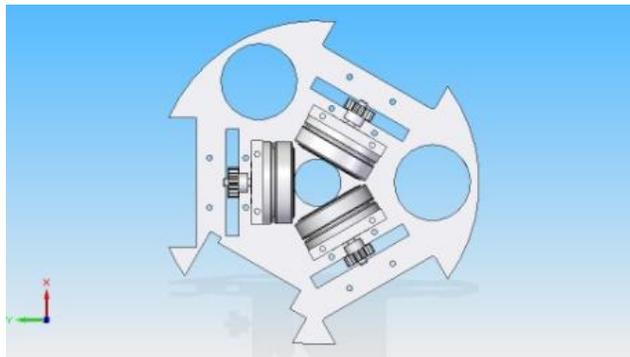


Figura 6.2 Disposición física de Motores Brushless sobre base.

A diferencia del modelo anterior, para el control de velocidad no se implementa un sensor tipo encoder que captura el giro del eje, sino que haciendo uso de las ventajas del motor *brushless* DC que posee sensores de efecto hall, se puede implementar el modulo de control *DEC Module 24/2*, que es un pequeño controlador digital diseñado especialmente para este tipo de motor.

Este dispositivo tiene un modo de operación capaz de realizar la etapa de control de velocidad en lazo abierto o lazo cerrado, alimentado con un voltaje de operación entre 8 y 24 voltios, y corriente máxima de 3 Amperios. La velocidad es ajustable desde el envío del valor externamente a través de un voltaje análogo entre 0 y 5v con una resolución de 1024, alcanzando un máximo de 2800 rpm. Para su funcionamiento tiene como entradas las tres señales de los sensores de efecto hall que detectan la posición del rotor y velocidad actual.

Para el dispositivo de pateo es necesario hacer más pequeño el solenoide puesto que son dos los que estarán actuando, uno para trayectoria lineal y otro para movimiento parabólico. Hacer más pequeño el embobinado significa pérdidas en la fuerza de pateo que pueden ser compensadas por el aumento en la capacitancia del banco de condensadores que se utilice. A diferencia del prototipo, en esta estructura se implementan 2 condensadores en los costados para mantener el centro de masa equilibrado, con una capacitancia total de 5400 uF y voltaje de trabajo hasta 250 VDC.

Como se muestra en la figura 6.3, Ambos dispositivos de pateo están ubicados sobre la primer base uno encima del otro. Para tiros parabólicos, se implementa el solenoide de la parte inferior, con un perfil rectangular que al ser accionado impacta con una pieza triangular que posee un eje de giro y permite elevar la bola de juego. Mientras que para tiros frontales, se implementa el de la parte superior con un vástago circular que atraviesa la pieza triangular por un orificio en su zona media, e impacta directamente la bola.

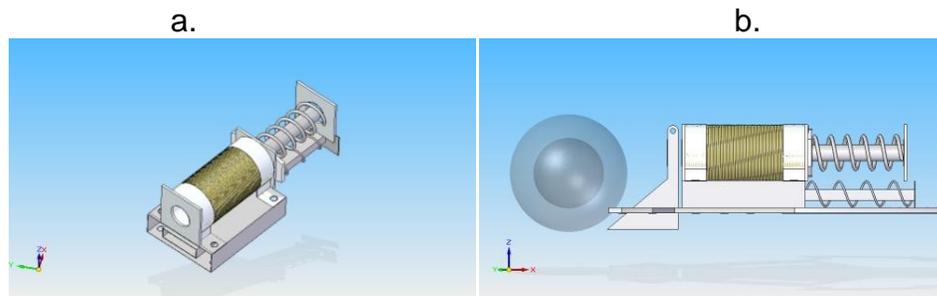


Figura 6.3 Sistemas de Pateo del Robot Movil.

Puesto que el funcionamiento del pateador se basa en la cantidad de energía que es almacenada en los condensadores y descargado rápidamente por los solenoides, se propone implementar una lógica de programación capaz de modificar el tiempo de carga, para así obtener mayor variedad en la fuerza de pateo, y por tanto en la velocidad que adquiere la bola, similar a la efectuada en el prototipo con tan solo 3 intensidades.

En el diseño de las piezas que conforman el sistema de dribbling, se tuvo sumo cuidado con la especificación de la norma en cuanto a la porción de bola que puede ser cubierta por el robot desde una vista superior en el momento de su agarre, evitando llegar a la marca de 20% reglamentado, como se observa en la figura 6.4; sin embargo, se implementaron los mismos elementos que los propuestos para el diseño anterior.

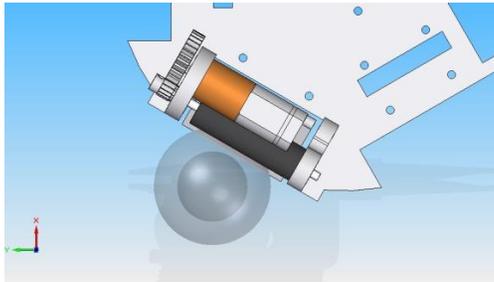


Figura 6.4 Porción de cobertura de la bola

El sistema de comunicación en el prototipo 1 es realmente bueno, sin embargo, se puede pensar en la posibilidad de implementar un sistema recurrente, es decir que a través de varios protocolos de comunicación se envía la misma información, y en caso de que ocurran fallas en algún sistema evitar pérdidas de información. Dentro de los elementos analizados en el capítulo 2, módulos como el wifly son realmente fáciles de implementar pues la comunicación con el dispositivo se realiza a través de protocolos de comunicación serial, soportado por todos los elementos propuestos.

Se propone que en la etapa electrónica, se incluya como entradas de inspección algunas señales análogas, correspondientes a el voltaje de cada celda, a fin de verificar y evitar que éstas lleguen a valores inferiores de 3.3 v, e impedir posibles daños en las baterías. En caso de que se presente tal situación, se debe suspender el uso o cualquier comando interno del robot, y a través del protocolo de comunicación, alarmar el sistema e informar de esta descarga en la fuente de alimentación.

En cuanto a la estructura mecánica, es necesario realizar cambios debido a la utilización de nuevos elementos como son los motores, esto implicó un cambio en la distancia entre los centros de los piñones y por tanto una modificación en las bases que sostienen tanto a los motores como al eje de las llantas. En el anexo G se pueden observar los planos del nuevo diseño.

Dentro de las otras recomendaciones esta el reducir el tamaño de los circuitos y tarjetas electrónicas, aprovechando las facilidades de algunas empresas de fabricarlas en varias capas.

Incluir un sistema de inteligencia artificial comandado por un sistema central que reciba información en tiempo real del campo a través de cámaras para un sistema de visión global o incluso, arriesgarse por un sistema de visión local.

Creación de rutinas de control para estrategias de juego.

## 7 CONCLUSIONES GENERALES

Al revisar y evaluar los diferentes equipos que hacen parte de la Robocopa se encontró que la mayoría de estos trabajan bajo los mismos estándares, es decir que la solución que dan a los diferentes sistemas en los que puede ser desglosada la construcción del robot móvil son los mismos. Se encontraron equivalencias e igualdad en los sistemas de locomoción, de pateo y en el dispositivo de control de bola (dribbling).

La utilización de la metodología de diseño mecatrónico fue una herramienta que permitió identificar a partir de los requerimientos y restricciones que existían en el proyecto, basándose en las reglas y analizando los demás competidores, las mejores opciones para la construcción de los sistemas que hacen parte del prototipo.

La construcción de este primer prototipo permitió identificar diferentes aspectos para obtener un mejor desempeño en el robot móvil, en cuanto a velocidad de desplazamiento los motorreductores utilizados a pesar de tener un excelente torque proporcionaban a la salida de la llanta una velocidad apenas de 70rpm, proporcionándole al vehículo muy baja velocidad final de desplazamiento, esto fue algo que entro en las consideraciones de diseño como prioridad puesto que es una característica importante en función de obtener una buen dinámica en el juego.

La tarjeta electrónica con el microcontrolador Ds pic 30f4011 permitió la correcta ejecución de todas las tareas del vehículo, entre ellas el desacople cinemático para el control de dirección y velocidad del robot a partir de la comunicación inalámbrica entre este y el computador además de la carga de condensadores mediante un circuito elevador de voltaje.

La elección de la batería basado en el consumo energético del robot, tarjeta electrónica y motores, fue la adecuada puesto que cumplió con darle al robot la energía necesaria para que los sistemas antes mencionados trabajaran de forma continua según el tiempo del encuentro del partido dividido en dos períodos de 10 min cada uno.

El sistema de pateo implementado posee ventajas frente a los otros sistemas de pateo (neumático y mediante un resorte) en cuanto a la facilidad de implementación, es un simple embobinado al cual se le adaptó un resorte para conseguir el retorno del vástago que dispara la bola, no representa un peso significativo para el vehículo y permite variar la potencia de disparo de manera muy sencilla. En cuanto a la utilización de este mismo sistema en la segunda propuesta de diseño, las dimensiones fueron necesarias modificarlas (más pequeño) para que se ajustara al espacio, esto implica perdidas en la fuerza de

pateo que pueden ser compensadas por el aumento de la capacitancia del banco de condensadores.

El mecanismo de control de la bola (Dribbling) mantiene la bola con un efecto hacia atrás mientras el carro se encuentra quieto, para mejorar el desempeño del dispositivo mientras el carro se mueve es necesario aumentar las revoluciones del rodillo que hace contacto con la bola.

La utilización de software (Matlab) para la estimación del modelo motor-engranajes-llanta fue bastante útil pues mediante este se encontró una expresión matemática del sistema a la cual se le realizó un PID, obteniendo así un control en las velocidades de las llantas y de esta forma un control de dirección y velocidad de desplazamiento en el robot móvil.

El rediseño de la estructura mecánica del robot móvil fue necesario puesto que al reemplazar elementos tales como los motores el espacio ocupado varía y consigo la distribución de todos los dispositivos que forman parte del sistema.

El cambio de los motores al Maxon Ec 45 flat trae ventajas puesto que se eliminan los encoders utilizados para determinar las velocidades en las ruedas del robot, y para las cuales era necesario realizar un cálculo repetitivo con el fin de actualizar el valor de las velocidades; el nuevo motor trae consigo sensores hall incluidos y utilizando un módulo de control específico para ese motor se obtiene tanto lectura de velocidad como control de la misma facilitando así el procesamiento y disminuyendo la cantidad de tareas que deba ejecutar el procesador dando prioridad a tareas de cálculo más robustas.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Robocup. En internet: (<http://www.robocup.org/>).
- [2] Macworth Alan "On Seeing Robots ", Department of Computer Science University of British Columbia, Vancouver, B.C.
- [3] SOTELO Edgar David, " Diseño e implementación de los robots f180 del itam ", Instituto tecnológico autónomo de México, México 2006.
- [4] Abierto de Alemania ,3D Simulación de fútbol. En internet: (<http://www.robocupgermanopen.de/en/major/soccer-3d>)
- [5] Robot Aibo. En internet: ([http://scratchpad.wikia.com/wiki/File:Aibo\\_diagram.jpg](http://scratchpad.wikia.com/wiki/File:Aibo_diagram.jpg))
- [6] Robot shop, Humanoid robot, Aldebaran robotics. En internet: (<http://www.robotshop.com/aldebaran-robotics-en.html>).
- [7] VELOSO Manuela, STONE Peter, " RoboCup Robot Soccer History 1997 – 2011 ", 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems October 7-12, 2012. Vilamoura, Algarve, Portugal.
- [8] Robocup, "RoboCup Soccer Humanoid League Rules and Setup", For the 2013 Competition in Eindhoven, Mayo 2013.
- [9] Universidad de Bonn Ais, Humanoid teensize open platform, robot NimbRo. En internet: (<http://www.ais.uni-bonn.de/nimbro/OP/>).
- [10] Robocup , Small size ,Soccer Small Size League. Internet: (<http://www.robocup.org/robocup-soccer/small-size/>)
- [11] Universidad de tecnología Eindhoven, RoboCup Mid-Size Soccer. En internet: (<http://www.tue.nl/en/research/research-institutes/top-research-groups/robotics-research/projects/robocup-mid-size-soccer/>).
- [12] RODRIGEZ Saith, PEREZ Katherine, LOPEZ Jorge, CALDERON Juan Manuel , "STOX's 2013 TEAM DESCRIPTION PAPER", Facultad ingeniería electrónica, Universidad Santo Tomas, Bogotá, Colombia, 2013.

[13] YONGHAI Wu, PENGHUI Yin, YUE Zhao, YIFAN Shen, "ZJUNlict Team Description Paper for RoboCup 2013", National Laboratory of Industrial Control Technology Zhejiang University, China , 2013.

[14] BISWAS deep, MENDOZA Juan Pablo, ZHU Danny, ETLING Phillip A, KLEE Steven, CHOI Benjamin, LICITRA Michael, and VELOSO Manuela, "CMDragons 2013 Team Description", Carnegie Mellon University, USA ,2013.

[15] ADHAMI-MIRHOSSEINI Aras, HAMIDREZA Jamaati Tafti, ASAD-DASTGERDI Siavash, GANJALI Amin, ESMAEELPOURFARD Saeid, MOHAMMADI Hadi Beik, "MRL Team Description 2013", Islamic Azad University of Qazvin, Electrical Engineering and Computer Science Department, Mechatronics Research Lab, Qazvin, Iran, 2013.

[16] YASUI Kotaro, NUNOME Yuji, MATSUOKA Shinya, YUSUKE Adachi, KENGO Atomi, MASAHIDE Ito, KOBAYASHI Kunikazu, MURAKAMI Kazuhito and NARUSE Tadashi, "RoboDragons 2013 Team Description", Aichi Prefectural University, Nagakute city, Aichi, 480-1198 JAPAN, 2013.

[17] PHAWAT Lertariyasakchai, THANAKORN Panyapiang1,KRIT Chaiso, "SKUBA 2012 Team Description", Department of Computer Engineering and Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering Kasetsart University, 2012.

[18] YONGHAI Wu, PENGHUI Yin, YUE Zhao, ZHANG Fan, YICHAO Mao, XIONG Rong," ZJUNlict Team Description Paper for RoboCup 2012 ", National Laboratory of Industrial Control Technology ,Zhejiang University,China,2012.

[19] RYUHEI Sato, TAKATO Horii, YUTAKA Yamada, SHUSUKE Teshima, "KIKS 2009 Team Description", Toyota National College of Technology, Department of Electrical and Electronic engineering, Japan,2009.

[20] ZICKLER Stefan, LAUE Tim, BIRBACH Oliver, " SSL-Vision: The Shared Vision System for the RoboCup Small Size League", Carnegie Mellon University, Computer Science Department, USA.

[21] Small Size League Technical Committee, "Laws of the RoboCup Small Size League 2013", April 17, 2013.

[22] ORIOLO Giuseppe, SICILIANO Bruno, SCIAVICCO Lorenzo, VILLANI Luigi, Robotics modeling ,Planning and control. Springer. 2009 p 4-14.

- [23] J. Ruiz del solar r. Salazar, " Robots Móviles ", universidad de chile facultad de cs. Fs. Y matemáticas departamento de ingeniería eléctrica.
- [24] Tipos de configuraciones Rueda omnidireccional, En internet: (<http://www.muchotrasto.com/TiposDePlataformas.php>)
- [25] OLLERO Anibal, Robótica manipuladores y robots móviles. Marcombo S.A. 2001. P 16-37.
- [26] C.J. Zandsteeg, "Design of a RoboCup Shooting Mechanism, ", Dynamics and Control Technology Group Department of Mechanical Engineering Eindhoven University of Technology The Netherlands.
- [27] Joris De Witte," Mechatronic Design of a Soccer Robot for the Small-Size League of RoboCup", 2009-2010.
- [28] ARNAU Antonio, FERRERO José, JIMENEZ Yolanda, SOGORB Tomas, Sistemas eléctricos de comunicaciones I, Universidad politécnica de Valencia p 59.
- [29] TILBURGS Ruud, "Design and realization of a solenoid for a Robocup kicking device", Technische Universiteit Eindhoven, Department of Mechanical Engineering Control Systems Technology Group, Eindhoven, November 13, 2006.
- [30] Universidad de Catarina, "El estándar Bluetooth IEEE 802.15.1. " En internet: ([http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/archundia\\_p\\_fm/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/archundia_p_fm/capitulo3.pdf))
- [31] Módulos de transmisión inalámbrica, ingeniería MCI limitada. En internet: (<http://www.xbee.cl/>)
- [32] Technology tracking Department, "WiFi technology", Telecom Regulatory authority, Julio 2003.
- [33] LYNCH Nick, "Conceptual Design of a Robot for the RoboCup Competition".
- [34] M.I. LORANDI Pedro, M.I. HERMIDA Guillermo, M.C. GUEVARA Enrique y M.I. HERNÁNDEZ José, "Controladores PID y Controladores Difusos", Revista de la Ingeniería Industrial ISSN 1940-2163 Academia Journals.com Volumen 5, No.1, 2011.

[35] RUIZ Arturo, ROJAS Falco, "despliegue de la función calidad (qfd)", Universidad pontificia ICADE, Madrid, Abril 2009.

[36] B.P.T. van Goch, "Optimizing a solenoid for a Robocup kicker", DCT - number: 2006.051, May 24 2006SupervisorsDr. ir. M.J.G. van de MolengraftIr. R.J.E. Merry Ing. R. Verhage.

[37] Chuntao Leng; Qixin Cao, "Velocity Analysis of Omnidirectional Mobile Robot and System Implementation," *Automation Science and Engineering, 2006. CASE '06. IEEE International Conference on* , vol., no., pp.81,86, 8-10 Oct. 2006.

[38] SGS –THOMSON MICROELECTRONICS, PUSH-PULL FOUR CHANNEL DRIVERS.L293B. En internet: (<http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet/SGSThompsonMicroelectronics/mXurruu.pdf>)

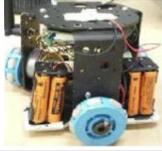
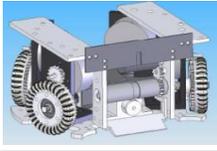
[39] "Conversor DC-DC",I instituto de ingeniería eléctrica , Facultad de ingeniería , W. Uturbey,1996.

[40] Configuración del dispositivo 555, En internet: (<http://freespace.virgin.net/matt.waite/resource/handy/pinouts/555/>)

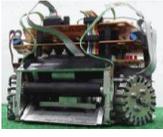
[41 ]Webots, fast prototyping and simulation of mobile robots, , En internet: (<http://www.cyberbotics.com/overview>)

[42 ]Webots users guide 2013 Cyberbotics Ltd, [www.cyberbotics.com](http://www.cyberbotics.com) August 28, 2013

# ANEXO A Tabla de equipos

	Nombre Equipo	Bochica	BRocks
	Pais	Colombia	Turquia
Apariencia	Logo		
	Imagen Robot		
Triunfos	Logros Robocup World Cup		
	Logros Competencia Local		
Fisico	Diametro	180 mm	176 mm
	Alto	135 mm	143 mm
	Peso (Kg)	1,8 Kg	
	Material	Laminas de acero inoxidable	
Mecanico	Velocidad robot	0,45	
	Numero de Ruedas	3	4
	Motor	DC HN-GH12	Brushless Maxon EC 45 30 W
	Velocidad Motor	190	4370
	Velocidad Rueda	190	
	Motor dribbling	DC	Brushless dc 6 W
	Velocidad backspin	3000	
Sistema de pateo	Numero de solenoides	1	1
	Circuito	Elevador Voltaje	Amplificador Voltaje
	Capacidad condensadores		
	Voltaje entrada		12
	Voltaje de carga		160
	Tiempo de carga		
	Velocidad pateo (bola) m/s		
Electrico - Electronico	Procesamiento	dsPIC 30f6010 A	Microcontrolador
	Modulos de Comunicación		Xbee
	Control Motores		Ics MC33035 - MC33039 Microcontrolador MC9S08GT16ACBE Puente H
	Sensores		
	Baterias	8 baterias AA	
	Duracion		

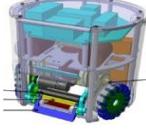
CMDragons	Eagle Knights (ITAM)	ER-Force
Estados Unidos	Mexico	Alemania
		
		
<p>1er lugar 2006  1er lugar 2007  2do lugar 2008  Cuartos de final 2009  2do lugar 2010</p>		
178	178	175
143	140	120
	1,8	
4	4	4
Brushless Maxon EC 45 30W	Faulhaber 2224P0212	Maxon ec 45 flat
		4400
	Faulhaber 2224P0212	Maxon A-max 19
2	1	
Elevador Voltaje	irf 100s	step-u
	2 de 2200	4900
12	14,8	
200	200	200
	Cada 25 s	
10	3	8m/s
	DSP Texas TMS320LF2812	ARM Cortex M3
rs232 radio link	2 Radiometrix RPC-914/869-64	Radio transmisores
	DSP con PWM L298n	BLDC
Infrarrojos	Opticos Encoders	Giroscopios
	2 LiPo	

Immortals	KIKs	MRL
Iran	Japon	Iran
		
		
3er lugar 2010 2do lugar 2011 Top 8 2012	Ronda Robin 2008 Cuartos de final 2009 4to lugar 2010 3er lugar 2012	3er lugar 2010 3er lugar 2011
2do lugar 2009 (Kharazmi) 1er lugar 2010 (Kharazmi) 3er Lugar 2010 (abierto Iran)		3er lugar 2009 Abierto Iran 1er lugar 2009 Abierto Iran 1er lugar 2010 Abierto Iran 2do lugar 2011 Abierto Iran 1er lugar 2012 Abierto Iran
178	172	179
148	140	149
	2,3	
aluminio - fibra carbono	Aleacion aluminio	
	2,5	2
4	4	4
Maxon ec 45 50 Watt	Maxon EC 45 flat	maxon ec 45 50 watts
4370	4370	4370
Maxon EC max-22 25 Watts	Re - max 24 10 watts	maxon ec 16 50 watts
17000	8800	
	2	2
boost convert		Multiplicador voltaje y boost
4 de 1200	4000	5400
	16	14,8
200	200	250
	2 s	
8	12	12
Xilinx XC3S400	Pic	FPGA Altera - ARM7
Telecontrol RXQ2-GFSK	FRH-SD07T - xbee	2 nRF2401
Mosfet PWM en FPGA	dsPic 30f4012	dec module 24/2 (erady to use)
Infrarrojos	Infrarrojo Encoders	Infrarrojo Encoders
		2 LiPo Dualsky 14,8v 2100mAh

NEU Islandres	Omid	Parsian
Norte de Chipre	Iran	Iran
		
		
Ronda Robin 2012		Ronda Robin 2008 Ronda Robin 2009 Top 12 2010 2do lugar 2010 Cuartos de final 2011 4to lugar 2012 1er lugar 2012 Pass Shoot
	2do lugar Abierto Iran	3er lugar Khawrazmi 2008 3er lugar Abierto Iran 2009 2do Lugar Khwarazmi 2010 2do lugar Abierto Iran 2012
175	178	178
150	148	138
	2,5	2
Aluminio- Polimetimetacrilato		Aleacion aluminio 2024-T351
		3,5
4	4	
	Maxon ec 45 30 watts	Maxon ec 45 30Watts
	4370	4370
	01:05	
	Maxon ec 16 15Watts	Maxon ec16 15Watts
		10000
	2	2
		boost convert
4700	2 de 2200	2 de 2200
35	250	
	5	
3	8	14
	FPGA Cyclon II	ATMEGA8 ucontrolador
	Xbee con standard 802,15,4	2 Xbee pro / robot
	L6235	
	Encoder	

RoboDragons	RoboFEI	RoboIME
Japon	Brazil	Brazil
		
		
3er Lugar 2007 2do lugar 2009 Cuartos de final 2010 Cuartos de final 2011 Cuartos de final 2012	Top 12 2009 Ronda Robin 2010 Top 12 2011 Top 8 2012	Ronda Robin 2012
	2do lugar Abierto Brazil 2009 1er lugar LARC 2010 1er lugar Abierto Brazil 2011 1er lugar LARC 2012	3er lugar LARC 2010 2do lugar Abierto Brazil 2011 2do Lugar LARC 2012
178		175
145	148	148
	2,6	
	Aleacion aluminio serie 6000	polivinil
Maxon ec 45 30Watts	Maxon EC 45 50Watts	
4370	4370	
Maxon ec16 15Watts	Maxon ec max 22 25watts	
boost	MC34063 IC	
4500	2 de 2700	
15	11,1 - 800mAh	
150 - 200	200	
2		
11,2		
Hitashi SH2A - FPGA	Xilinx Spartan 3 FPGA	ARM Cortex STM32F103
Modem FHR-SD07T Futaba	wifi (ieee 802,11b) - Xbee pro	SPI (Serial Peripheral Interface)
		TC 4427 y Puente H
Infrarrojo		
	1 LiPo 11,1 2200 mAh	

RoboJackets	Skuba	STOxs
Estados Unidos	Tailandia	Colombia
		
		
	3er lugar 2008 1er lugar 2009 1er lugar 2010 1er lugar 2011 1er lugar TC - Mixed Team 2011 1er lugar TC - Navigation 2011 1er lugar 2012 1er lugar TC - Pass-Intercept	Top 12 2011 Ronda Robin 2012
		2do Lugar LARC 2010 1er lugar LARC 2011
179	176	178
149	147	145
	2,3	
	Aleacion aluminio	Aluminio 7075
	3	3,2
	4	
	maxon ec 45 30Watts	Maxon ec 45 30Watts
	4370	4370
		300
Maxon ec16		Maxon ec 22
	13000	12000
	2	2
		boost - IGBT
820	2 de 2700	2 de 2700
250	250	200
	5s	10
8	14	10
Atmel AT91SA M7S64	Spartan 3 FPGA de Xilinx	Saprtan 3 FPGA - Custom
	Radiofrecuencia	Xbee
		Procesador embebido Microblaze con Xilinx
Optical Encoders Inerciales(GiroscoPIO - Acelerometro) Hall	Encoder CPR Us Digital E4P	Enconder 300 PPR
LiPo		LiPo 11,1 2000mAh
		30 min

Thunderbots FC	Tigers Mannheim	Warthog Robotics
Canada	Alemania	Brazil
		
		
		Ronda Robin 2012
178	180	179
148	148	150
		Aluminio
	3	3,8
	4	4
Maxon ec 45	Maxon ec 45 30Watts	DC Faulhaber 2342
4370	4370	
Maxon ec 16	Maxon ec 15 Watts	
2 angulos opuestos		
LT3751	flyback	boost
	4 de 470	2 de 2200
15		
250	400	200
	10s	
7,33	10	7
FPGA - Pic 18f4550	STM32F103ZE - 2Atmega uC	dsPic 33f y Pic 18 f
Xbee 2 /robot - MRF24j40	RS232	LAIPAC TRF 3,4G
FPGA- MC33035		L298
Infrarrojo	Infrarrojo Acelerometros	Encoders
	2 LiPo(serie) 7,4vc/u 2400mAh	LiPo 14,8 2100mAh
	20	40



## ANEXO B Comparación de motores

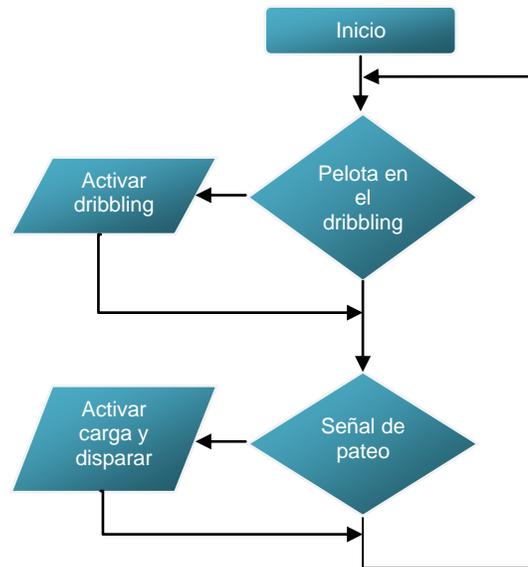
		COMPARACIÓN MOTORES			
		MOTORREDUCTOR	JHONSON	BRUSHLESS MAXON FLAT 45	SERVO MOTOR
fisico	largo		57mm	36.9mm	50 x 32 x 38 mm
	radio		35.8mm	43.2 mm	
	peso	25g	242g	88g	55g
Mecanico	rpm	300	7847	4400	114
	Constante torque	-	6.684mNm/A	25.5 mNm/A	-
	Stall torque	196mNm	400.13mNm	260mNm	1620mNm
Electrico	voltage	12V	12V	12V	7V-10V
	Corriente	300mA	4000mA	2300mA	900mA
	Maxima corriente	1000mA	8500mA	2300mA	900mA
	Potencia	-	70W	30W	-
Eficiencia		-	69.19%	77%	
Costo		\$ 25.000,00	\$ 25.000,00	\$ 180.200,00	\$ 83.000,00
Costo por Carro		\$ 75.000,00	\$ 75.000,00	\$ 540.600,00	\$ 249.000,00
Costo Total		\$ 225.000,00	\$ 225.000,00	\$ 1.621.800,00	\$ 747.000,00
Observaciones				Conector \$ 56000 Sensor de efecto hall	Position feedback

SERVOMOTORES	DYNAMIXEL AX - 12	ROB-09347	Parallax	SM-S4303R	HSR-1425CR
Velocidad	70rpm	60 - 70 rpm	50 rpm	70rpm	50rpm
Torque	15Kgcm	4,8 Kgcm	2,73kgcm	4,8kgcm	3,1Kgcm
Voltaje Alimentacion	9-12 v	4,8 - 6	4 - 6 v	6 v	4-8 v
Piñonería	plastico	4 Plasticos 1 Metalico			nylon
Precio unitario usd	44,9	13,95	12,34	12,95	16,99
Total(pesos)	\$ 741.119,40	\$ 225.990,00	\$ 199.908,00	\$ 209.790,00	\$ 275.238,00

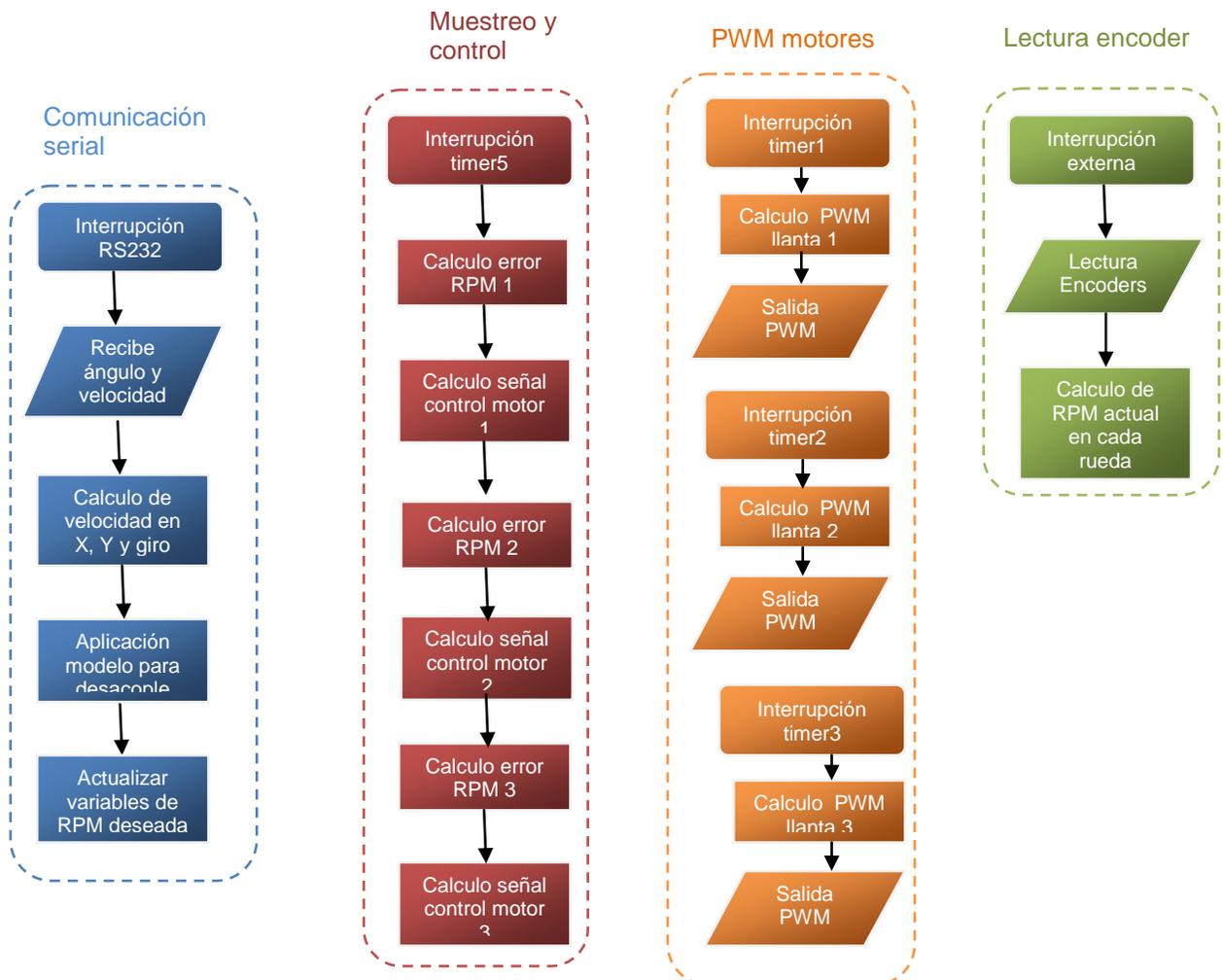
## ANEXO C Comparación procesadores

		18F4550	DS 30F4011	FPGA Mini	STM 32F4	Pandaboard ES OMAP4460	AIMB 280QG2
TAMAÑO(cm)	Ancho	-	-	50mm		101.6mm	170mm
	Largo	-	-	70mm		114.3mm	170mm
Lenguaje programación	C	✓	✓	✓	✓	✓	
	C++			✓			
	VHDL			✓			
	Bloques			✓			
	uC				✓		
Protocolo comunicación	RS232	✓ 1	✓ 2			✓ 1	✓ 2
	Ethernet			✓ 1		✓ 1	✓ 2
	Bluetooth					✓ 1	
	Usb	✓ 1		✓ 1		✓ 3	✓ 4
	I2C	✓ 1	✓ 1		✓	✓ 1	
	Wireless					✓ 1	
Periféricos	HDMI					✓ 1	✓
	VGA						
	Audio				✓ 1	✓ 1	✓ 1
	Camara					✓ 1	
	LCD				✓ 1	✓ 1	
Pines	ADC	8x10bit	9x10bit	8x 12-bit	3x 12-bit	-	-
	DAC	-	-	-	2x 12-bit	-	-
	GPIO	32	30	153 pines			
Clock		20MHz	48MHz	50MHz	168MHz	38.4MHz	
Voltaje alimentacion		5V	5V	5V	3V-5V		5V
Consumo Corriente		300mA	300mA				1410mA
Procesador		-	-	Altera Cyclone IV FPGA	ARM Cortex™-M4 MCUs	Dual-core ARM® Cortex-A9 MPCore	Intel core i7/i5/i3 Pentium
Costo(USD)		\$ 18.000	\$ 25.000	\$150.000,00	\$ 50.000	\$ 350.000	\$ 570.000

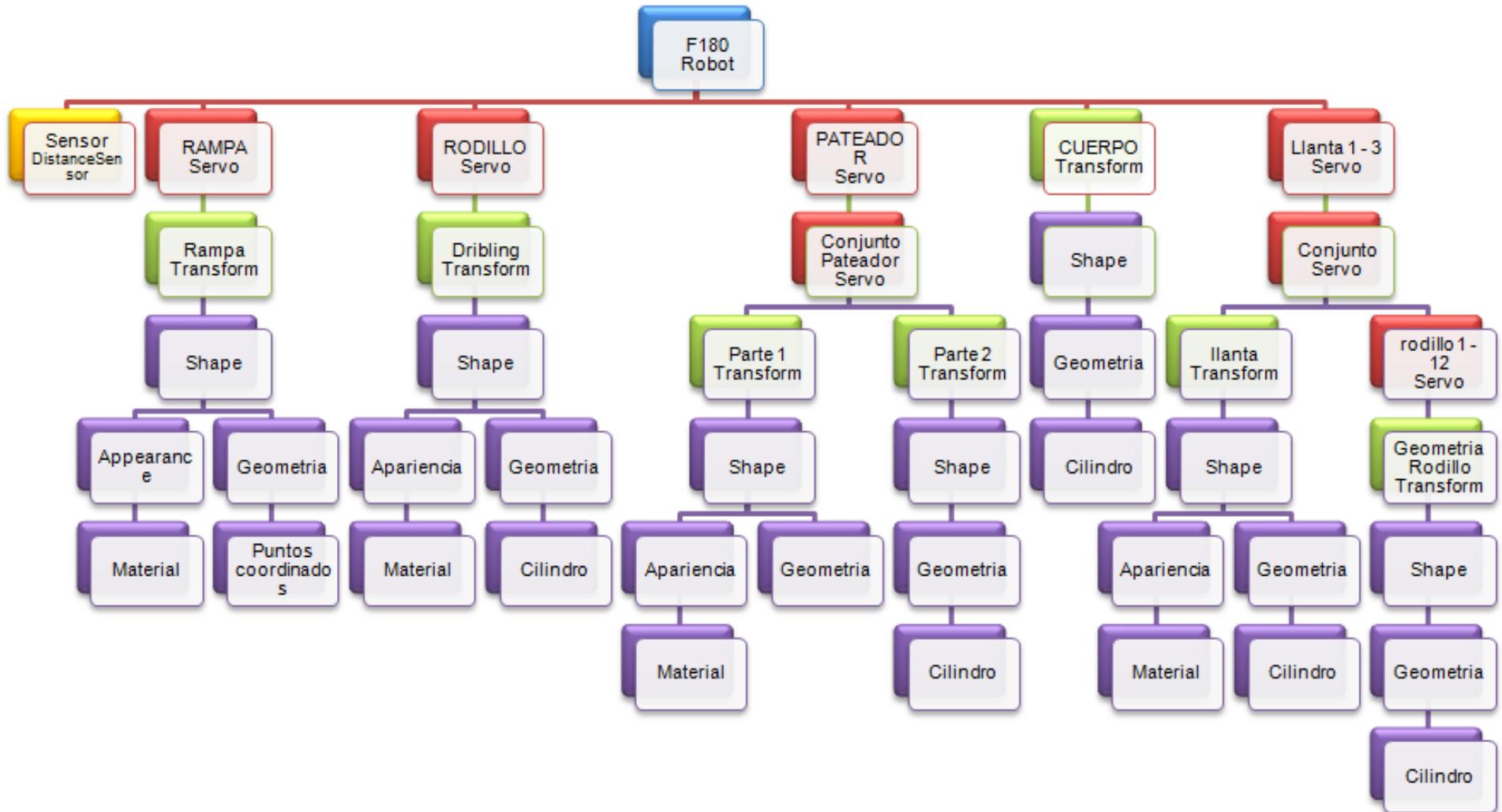
## ANEXO D Diagrama de programación



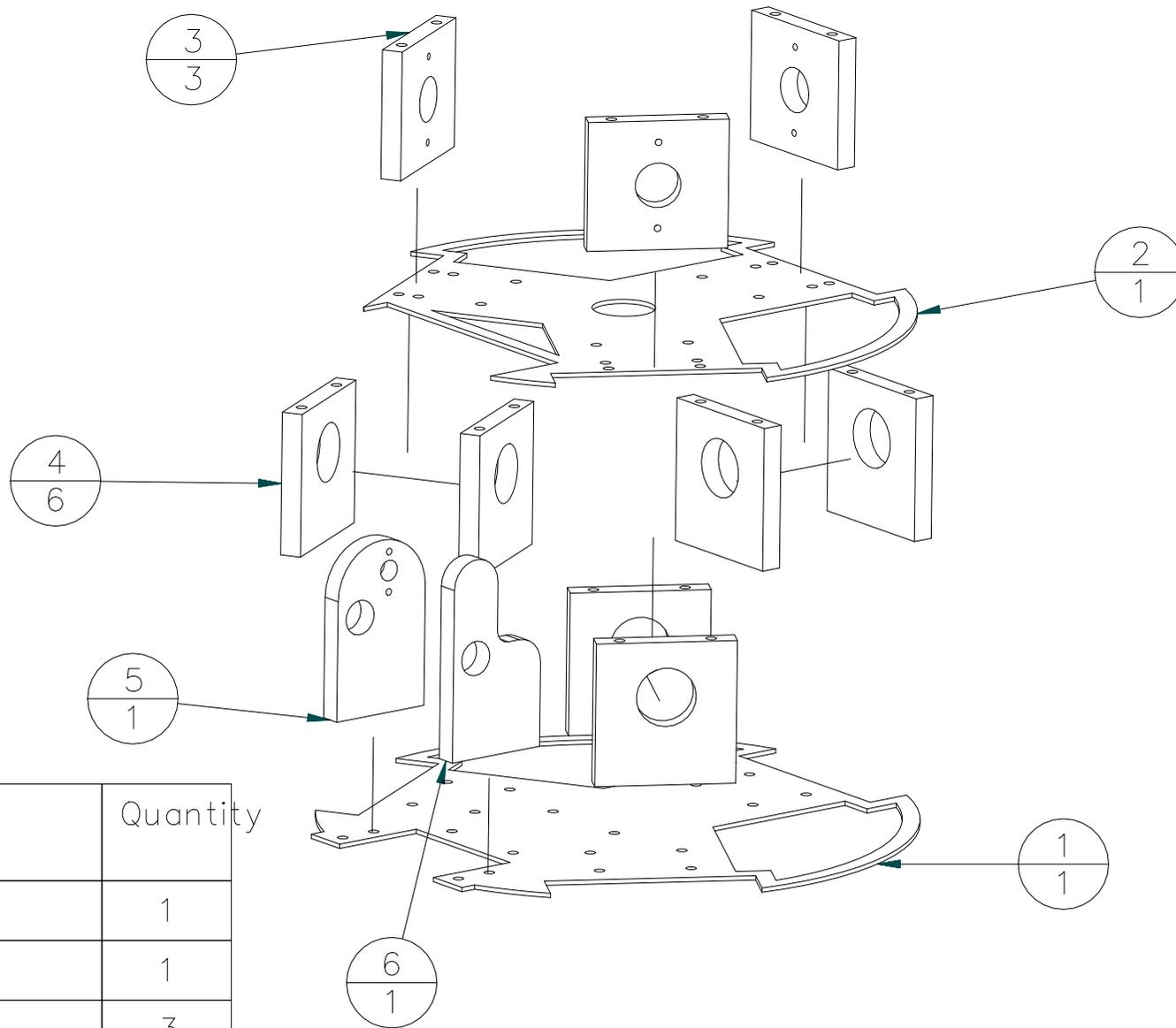
### Interrupciones



## ANEXO E Árbol de Webots

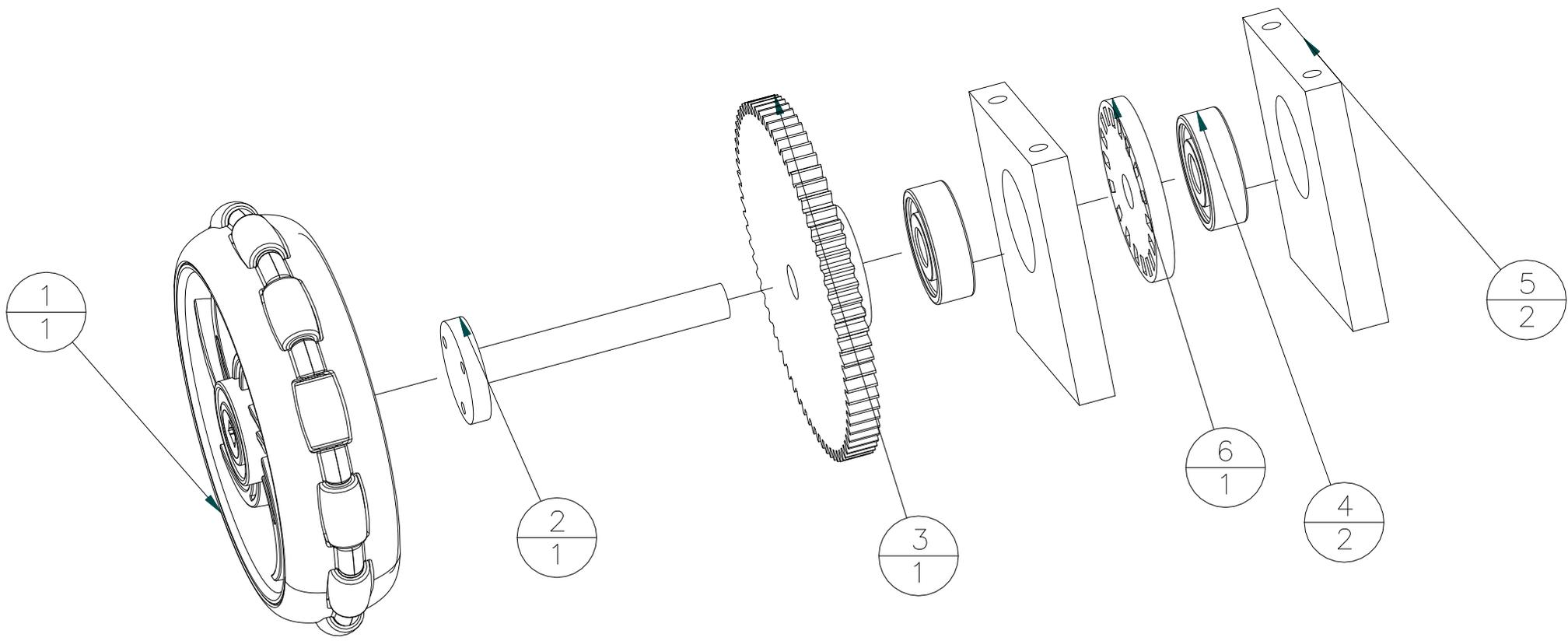


## **Anexo F Planos prototipo F-180**



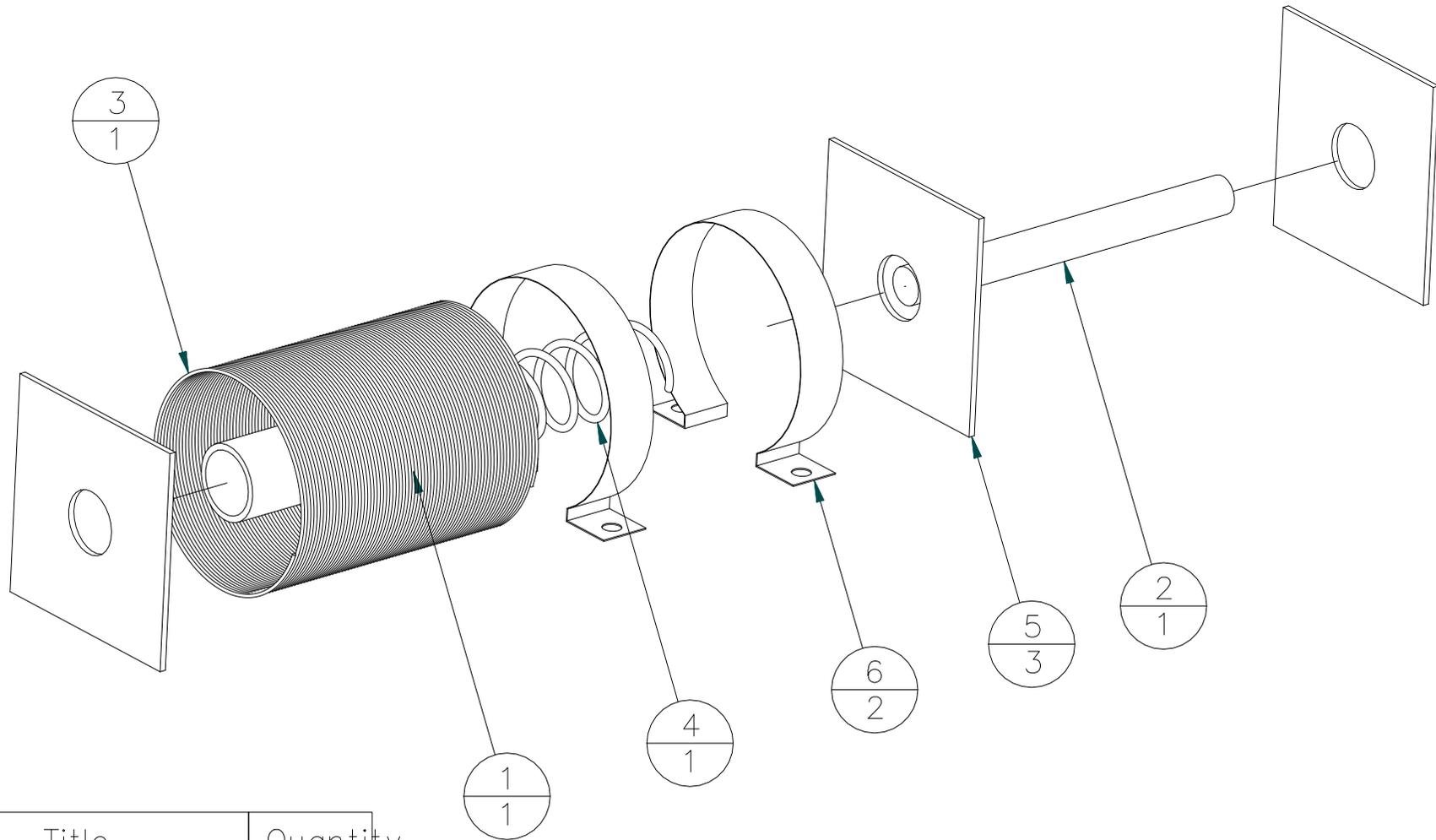
Item Number	Title	Quantity
1	Base 1	1
2	Base 2	1
3	Soporte Motor	3
4	Soporte Eje	6
5	Base Dribbling 1	1
6	Base dribbling 2	1
7*	Base 3	1

Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302		
Revisado por	Fabian Parra Gil	1801309	Titulo : Robot soccer serie F-180	
	Leonardo Solaque Ph.D		SIZE A4	Ensamble Estructura
Nota:	Cantidad 1		SCALE: 1 : 1	Hoja 1 de 3



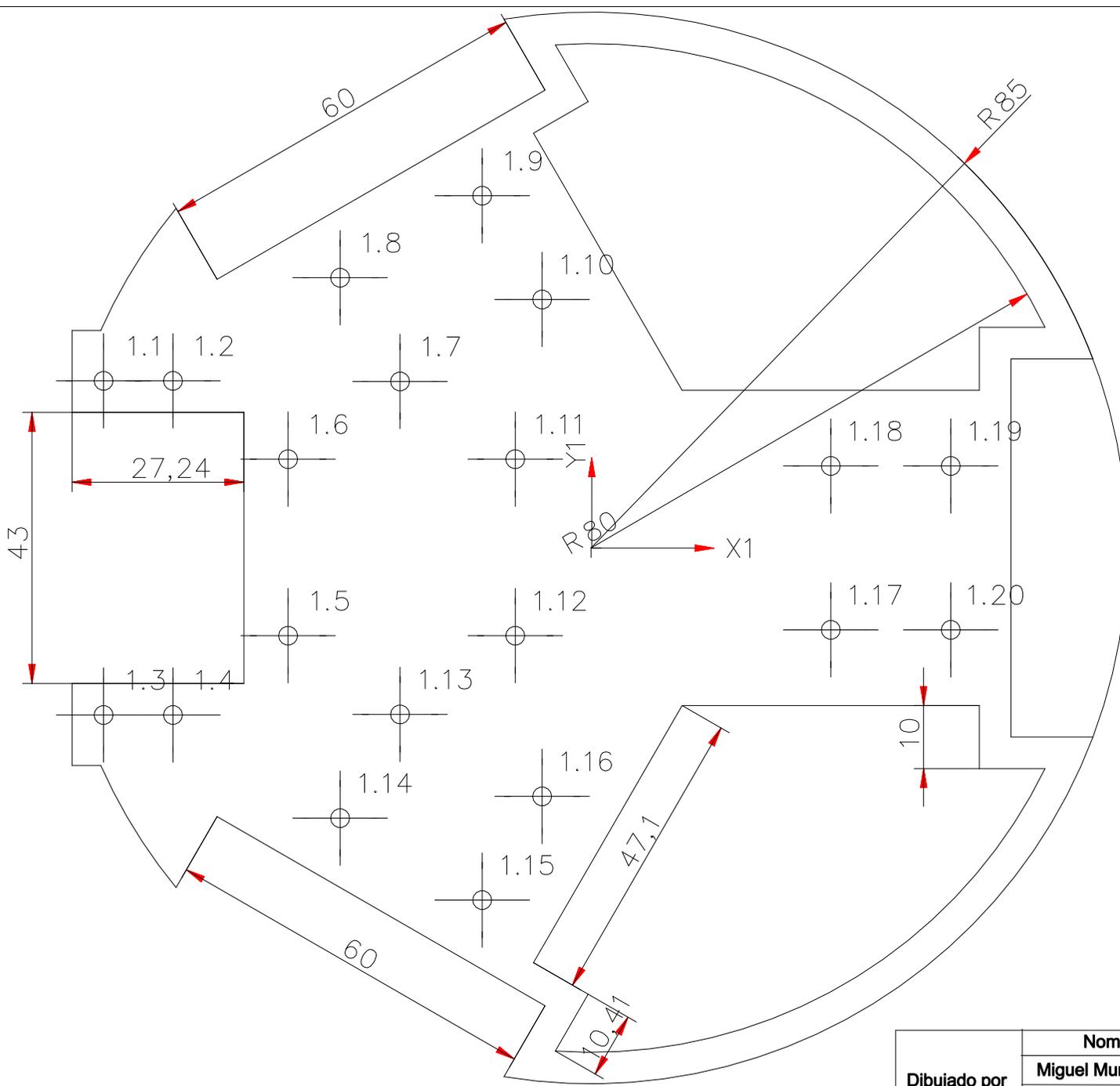
Item Number	Title	Material	Quantity
1	Rueda Omnidireccional		1
2	Eje	Aluminum, 6061+T6	
3	Piñon 72 Dientes	Aluminum, 6061+T6	
4	Rodamiento Eje		2
5	Soporte Eje	Aluminum, 6061+T6	
6	Encoder	Aluminum, 6061+T6	

Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180	
Revisado por	Fabian Parra Gil	1801309	SIZE A4	Ensamble Rueda piñon
	Leonardo Solaque Ph.D			
Nota:	Cantidad 1		SCALE: 1 : 1	Hoja 2 de 3



Item Number	Title	Quantity
1		1
2	Vastago	1
3	Embobinado	1
4	Resorte	1
5	Limite	3
6	Abrazadera	2

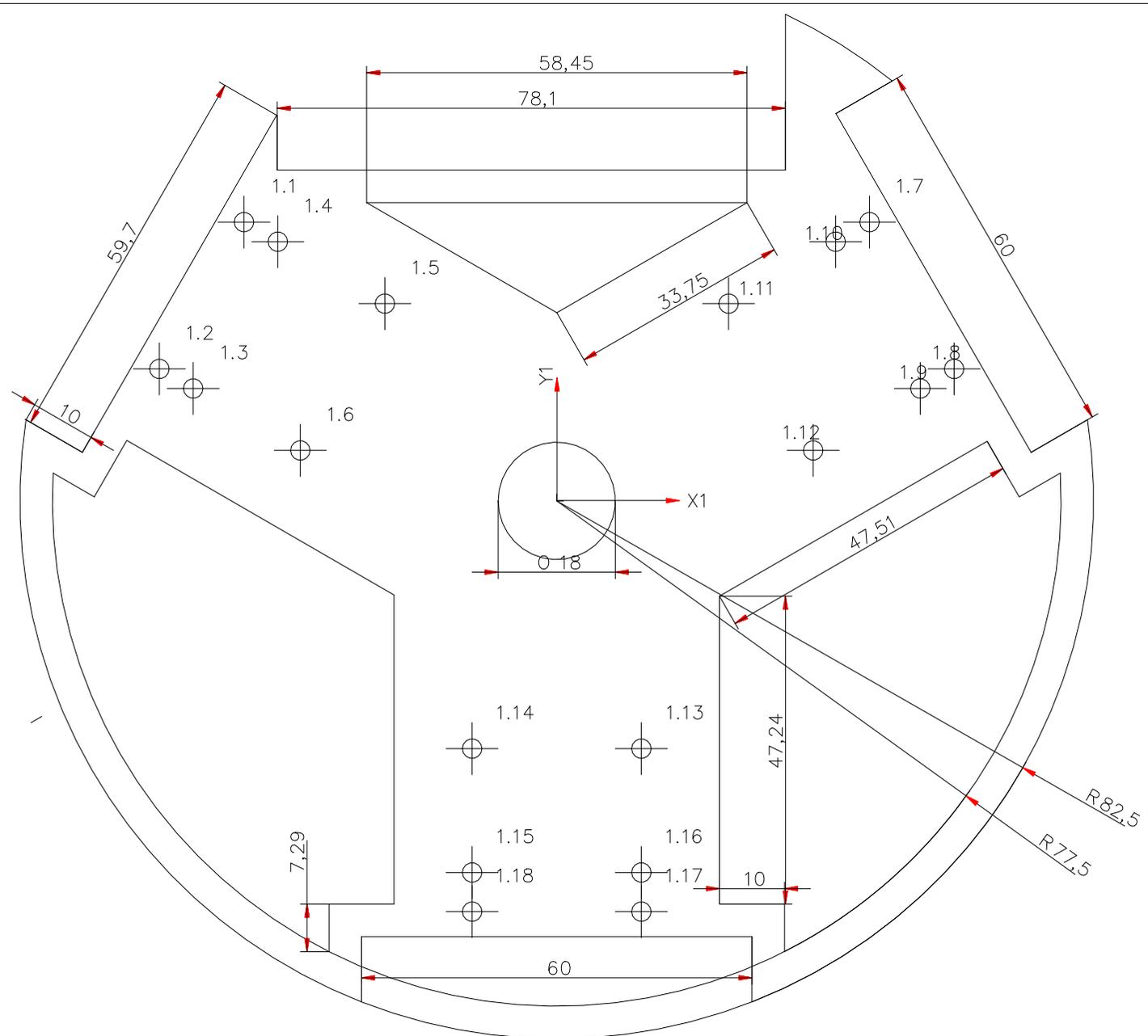
Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302		
	Fabian Parra Gil	1801309	Titulo : Robot soccer serie F-180	
Revisado por	Leonardo Solaque Ph.D		SIZE A4	Ensamble Pateador
Nota:	Cantidad 1		SCALE: 1 : 1	Hoja 3de 3



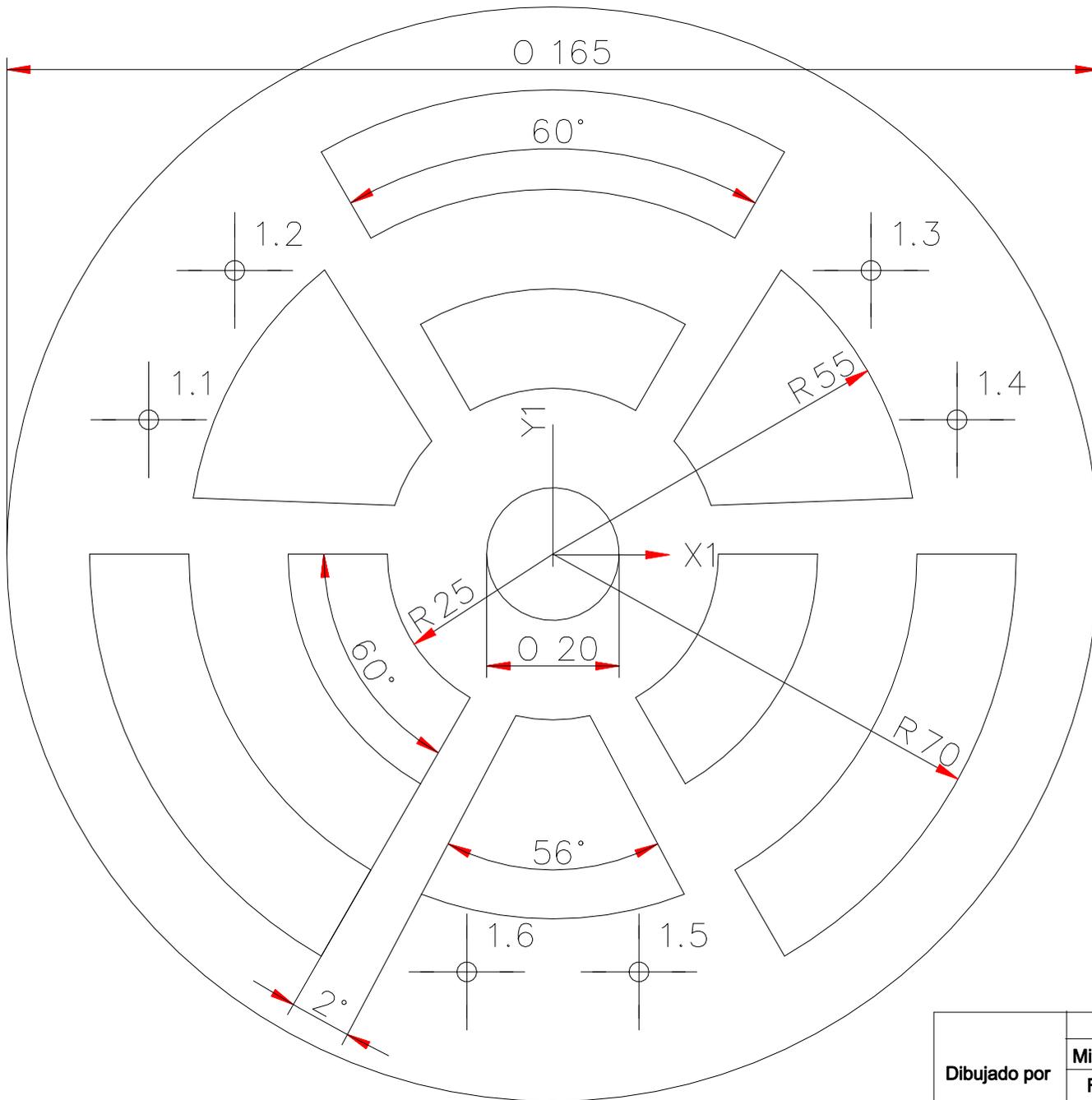
Hole Table			
Hole	X	Y	Size
1.1	-77,24	26,5	∅ 3
1.2	-66,24	26,5	∅ 3
1.3	-77,24	-26,5	∅ 3
1.4	-66,24	-26,5	∅ 3
1.5	-48	-13,92	∅ 3
1.6	-48	14,08	∅ 3
1.7	-30,26	26,41	∅ 3
1.8	-39,76	42,86	∅ 3
1.9	-17,24	55,86	∅ 3
1.10	-7,74	39,41	∅ 3
1.11	-12	14,08	∅ 3
1.12	-12	-13,92	∅ 3
1.13	-30,26	-26,41	∅ 3
1.14	-39,76	-42,86	∅ 3
1.15	-17,24	-55,86	∅ 3
1.16	-7,74	-39,41	∅ 3
1.17	38	-13	∅ 3
1.18	38	13	∅ 3
1.19	57	13	∅ 3
1.20	57	-13	∅ 3

Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302		
	Fabian Parra Gil	1801309	Titulo : Robot soccer serie F-180	
Revisado por	Leonardo Solaque Ph.D		SIZE A4	Base 1
Nota:	Cantidad 1		SCALE: 1 : 1	Hoja 1 de 12

Hole Table			
Hole	X	Y	Size
1.1	-48,06	42,76	∅ 3
1.2	-61,06	20,24	∅ 3
1.3	-55,86	17,24	∅ 3
1.4	-42,86	39,76	∅ 3
1.5	-26,41	30,26	∅ 3
1.6	-39,41	7,74	∅ 3
1.7	48,06	42,76	∅ 3
1.8	61,06	20,24	∅ 3
1.9	55,86	17,24	∅ 3
1.10	42,86	39,76	∅ 3
1.11	26,41	30,26	∅ 3
1.12	39,41	7,74	∅ 3
1.13	13	-38	∅ 3
1.14	-13	-38	∅ 3
1.15	-13	-57	∅ 3
1.16	13	-57	∅ 3
1.17	13	-63	∅ 3
1.18	-13	-63	∅ 3

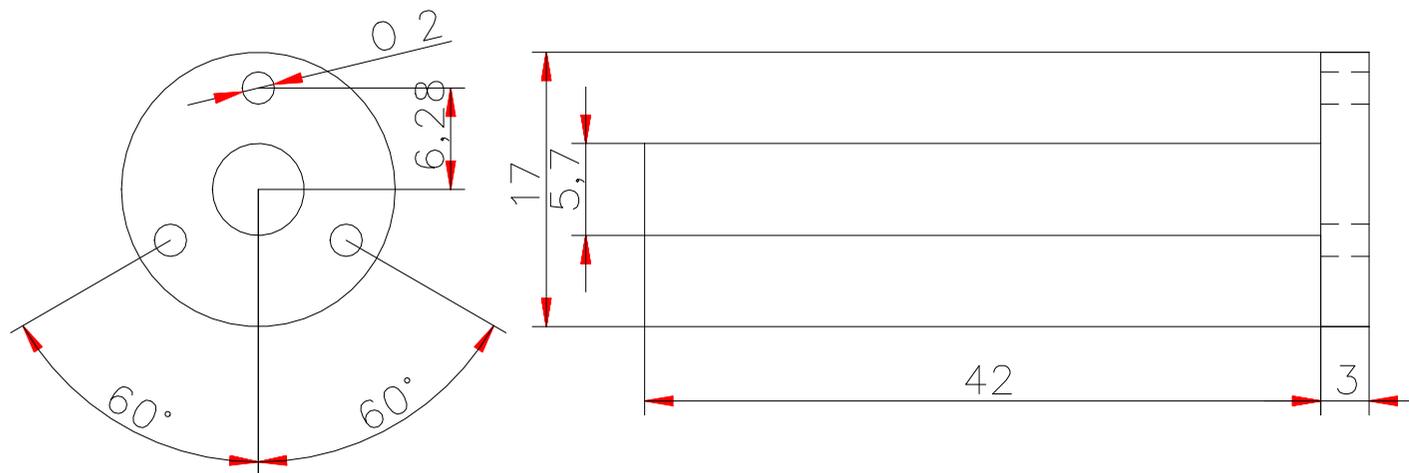


Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180	
Revisado por	Fabian Parra Gil	1801309	SIZE	Pieza : Base 2
	Leonardo Solaque Ph.D		A4	
Nota:	Cantidad 1		SCALE: 1 : 1	Hoja 2 de 12

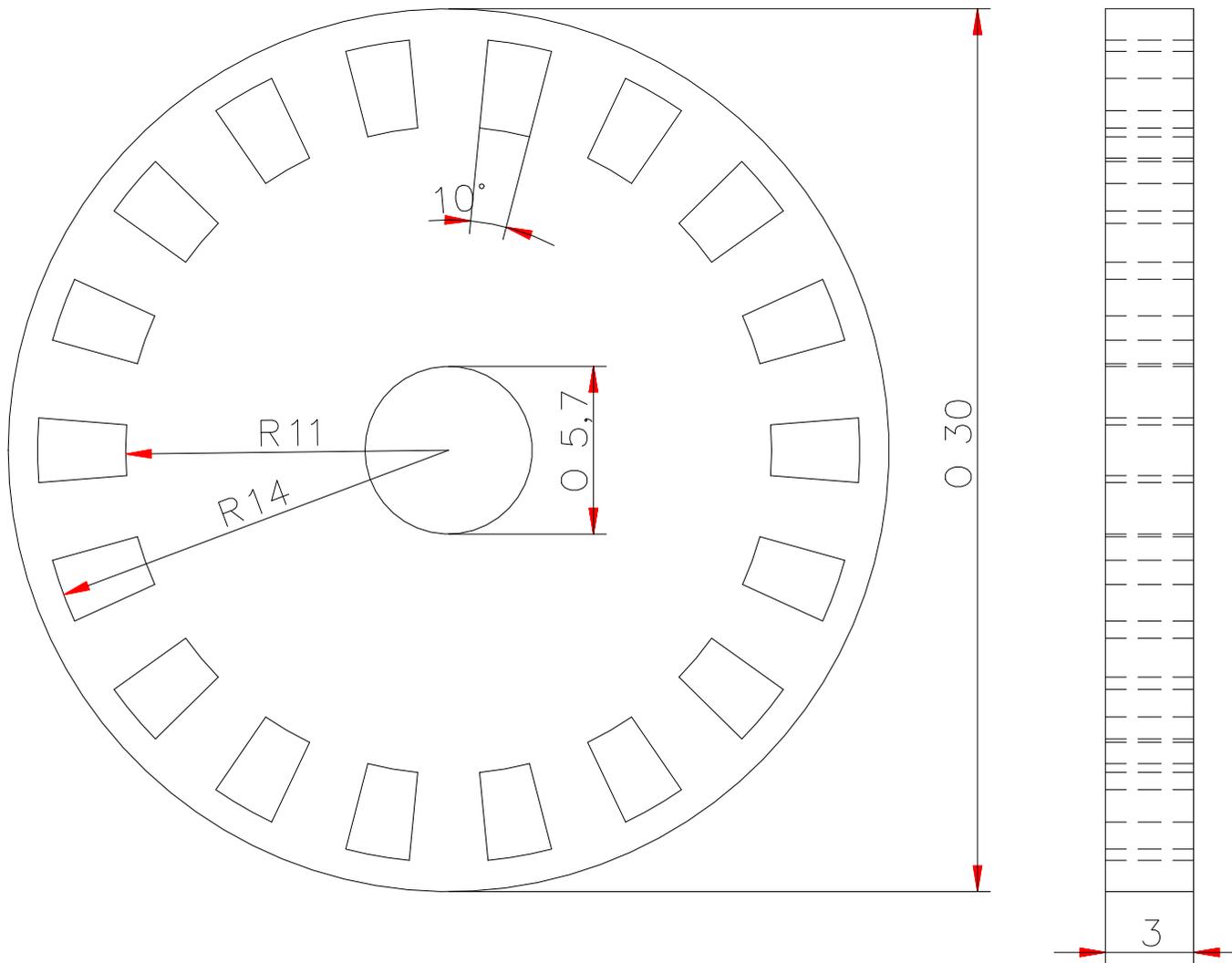


Hole Table			
Hole	X	Y	Size
1.1	-61,06	20,24	∅ 3
1.2	-48,06	42,76	∅ 3
1.3	48,06	42,76	∅ 3
1.4	61,06	20,24	∅ 3
1.5	13	-63	∅ 3
1.6	-13	-63	∅ 3

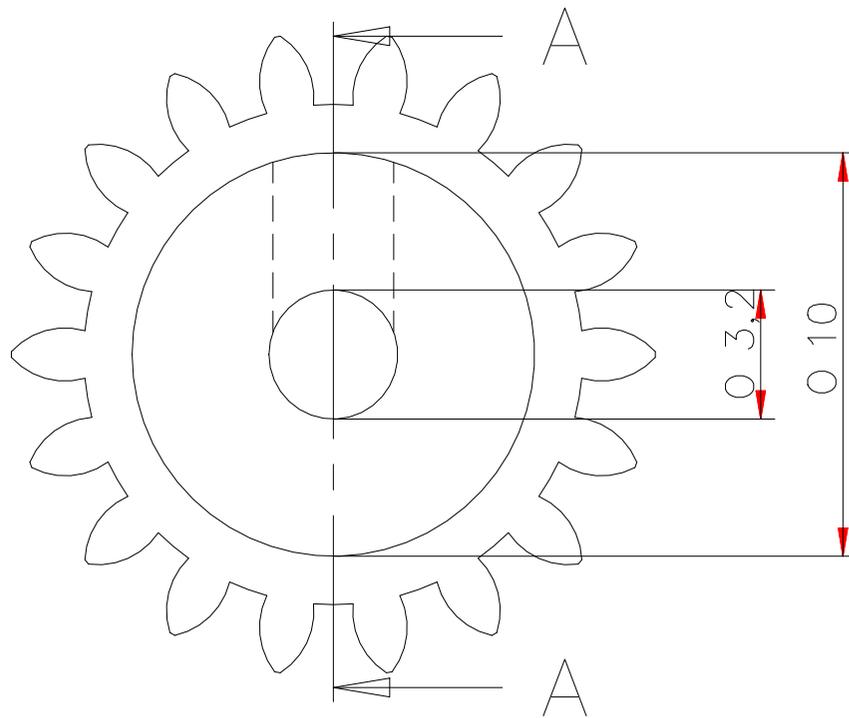
Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180	
	Fabian Parra Gil	1801309		
Revisado por	Leonardo Solaque Ph.D		SIZE A4	Pieza : Base 3
Nota:	Cantidad 1		SCALE: 1 : 1	Hoja 3 de 12



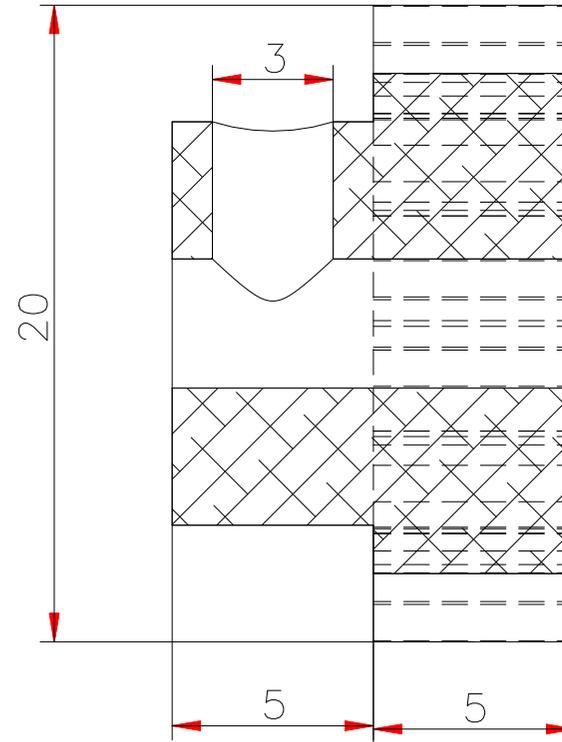
Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180	
	Fabian Parra Gil	1801309	SIZE A4	Pieza : Eje llanta
Revisado por	Leonardo Solaque Ph.D		SCALE:	2:1
Nota :	Cantidad 3			Hoja 4 de 12



Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180	
Revisado por	Fabian Parra Gil	1801309	SIZE	Pieza : Encoder
	Leonardo Solaque Ph.D		A4	
Nota :	Cantidad 3		SCALE: 4 : 1	Hoja 5 de 12

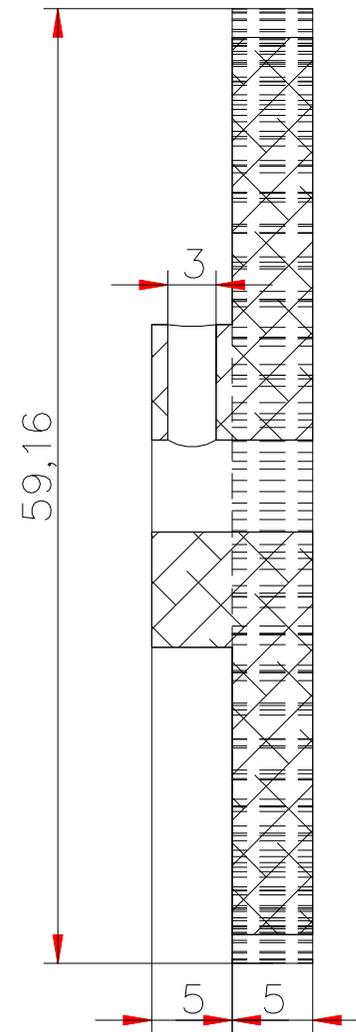
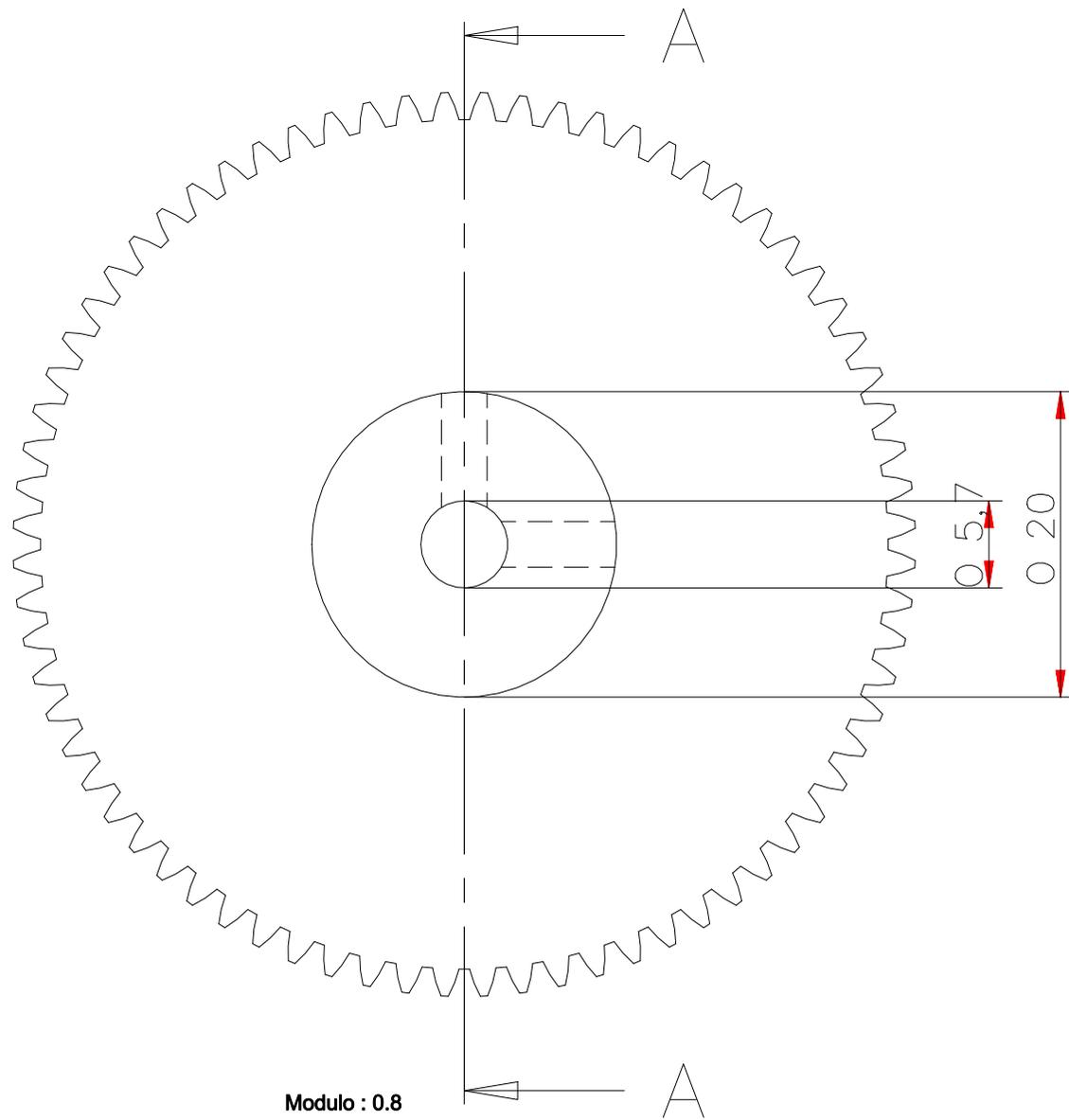


Modulo : 0.8  
 Dientes : 18



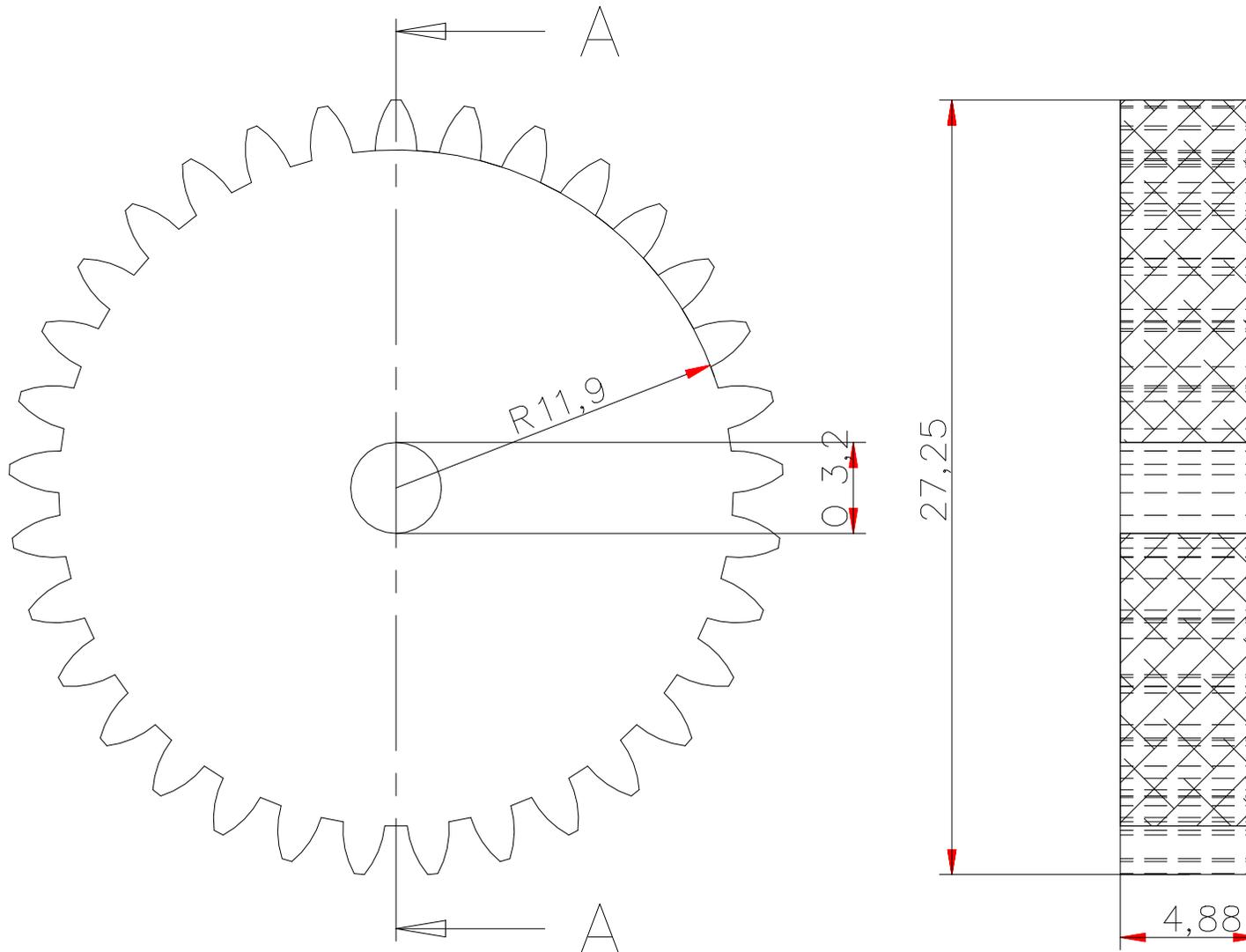
SECTION A—A

Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180	
Revisado por	Fabian Parra Gil	1801309	SIZE A4	Pieza : Píñon 18 dientes
	Leonardo Solaque Ph.D			
Nota :	Cantidad 3	SCALE: 5:1	Hoja 6 de 12	



SECTION A-A

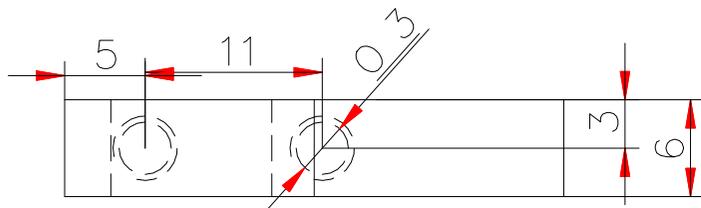
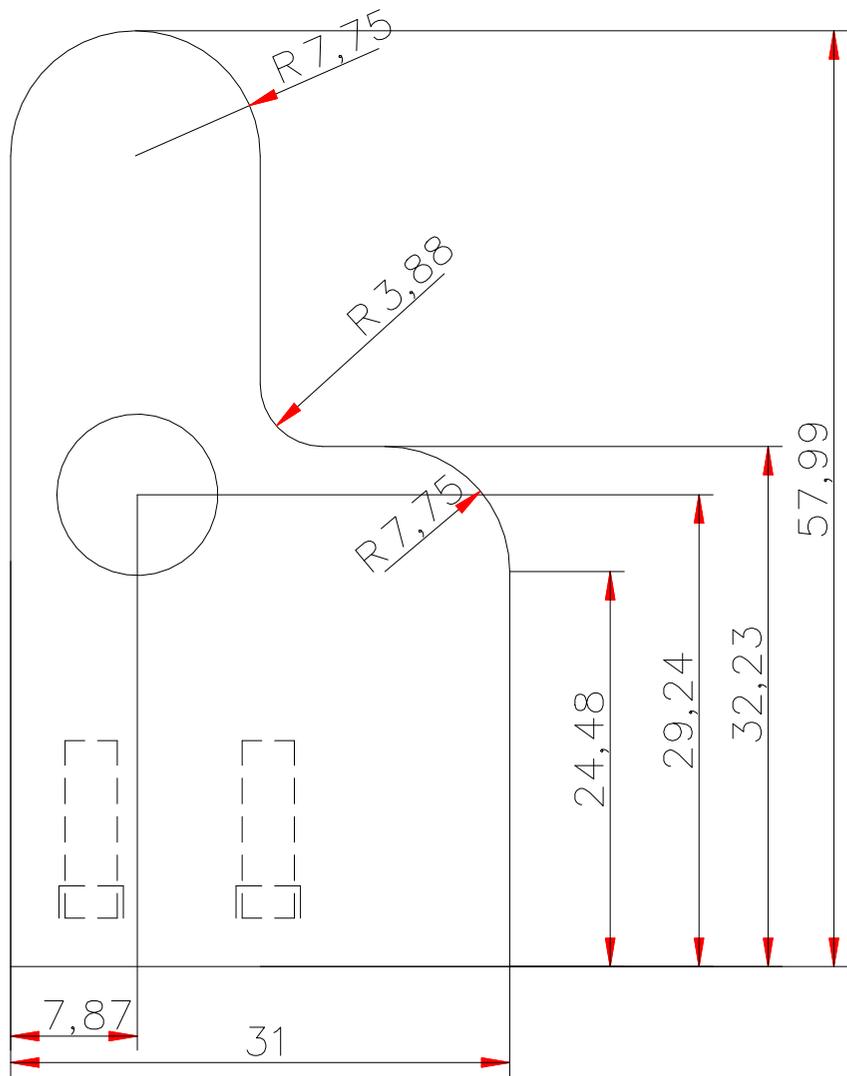
Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180	
Revisado por	Fabian Parra Gil	1801309	SIZE A4	Pieza : Pifon 72 dientes
	Leonardo Solaque Ph.D			
Nota :	Cantidad 3		SCALE: 2:1	Hoja 7 de 12



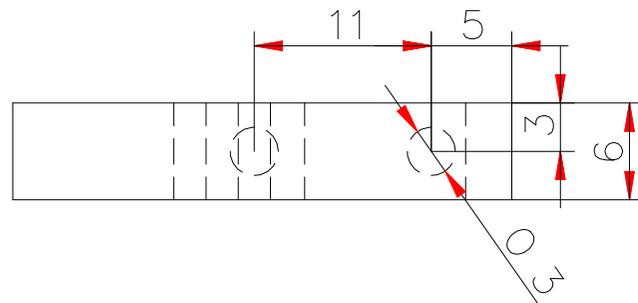
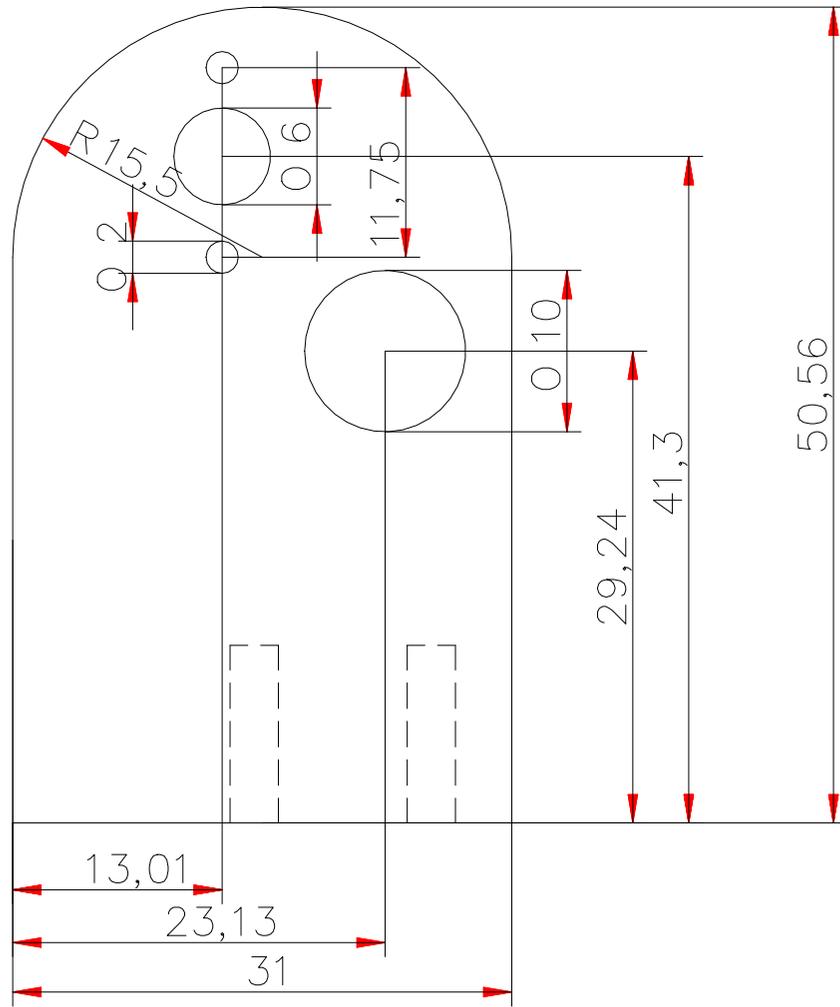
modulo : 0.7  
Dientes 33

SECTION A—A

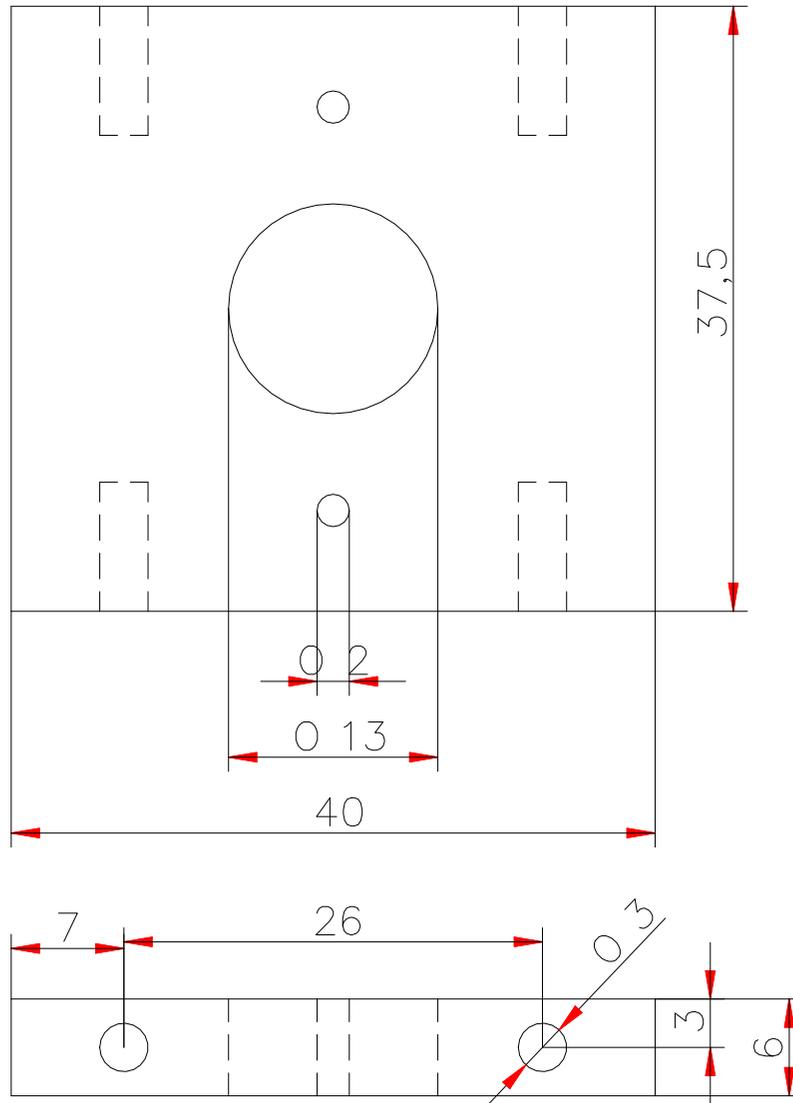
Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180	
	Fabian Parra Gil	1801309		
Revisado por	Leonardo Solaque Ph.D		SIZE A4	Pieza : Piñon 33 dientes
Nota :	Cantidad 1		SCALE: 4:1	Hoja 8 de 12



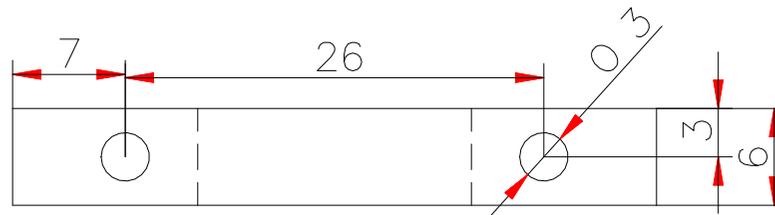
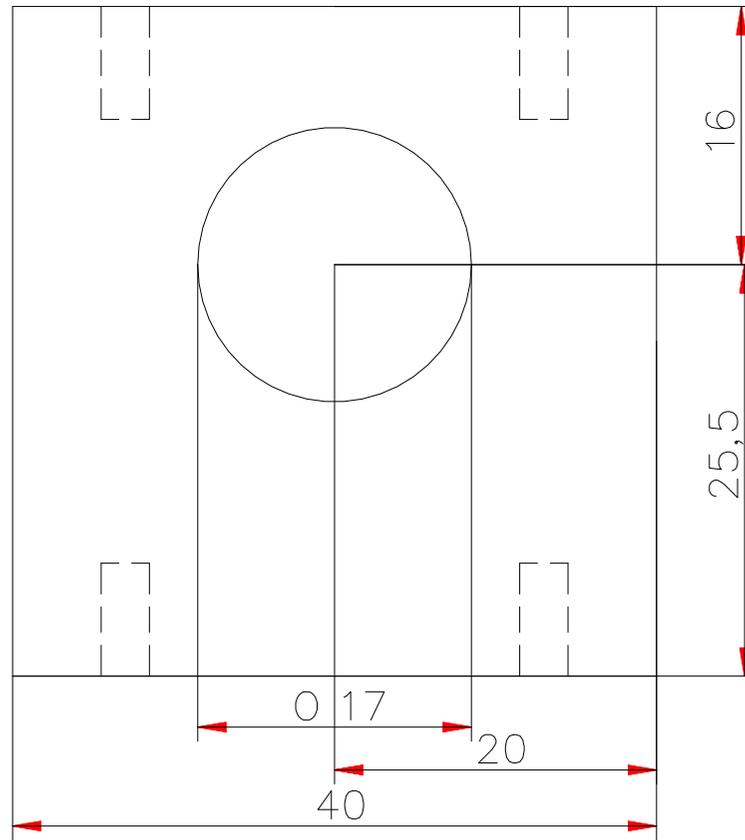
Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180	
Revisado por	Fabian Parra Gil	1801309	SIZE A4	Pieza : Soporte 1 Dribbling
	Leonardo Solaque Ph.D			
Nota:	Cantidad 1		SCALE: 2 : 1	Hoja 9 de 12



Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180	
	Fabian Parra Gil	1801309		
Revisado por	Leonardo Solaque Ph.D		SIZE A4	Pieza : Soporte 2 Dribbling
Nota :	Cantidad 1		SCALE: 2:1	Hoja 10 de 12

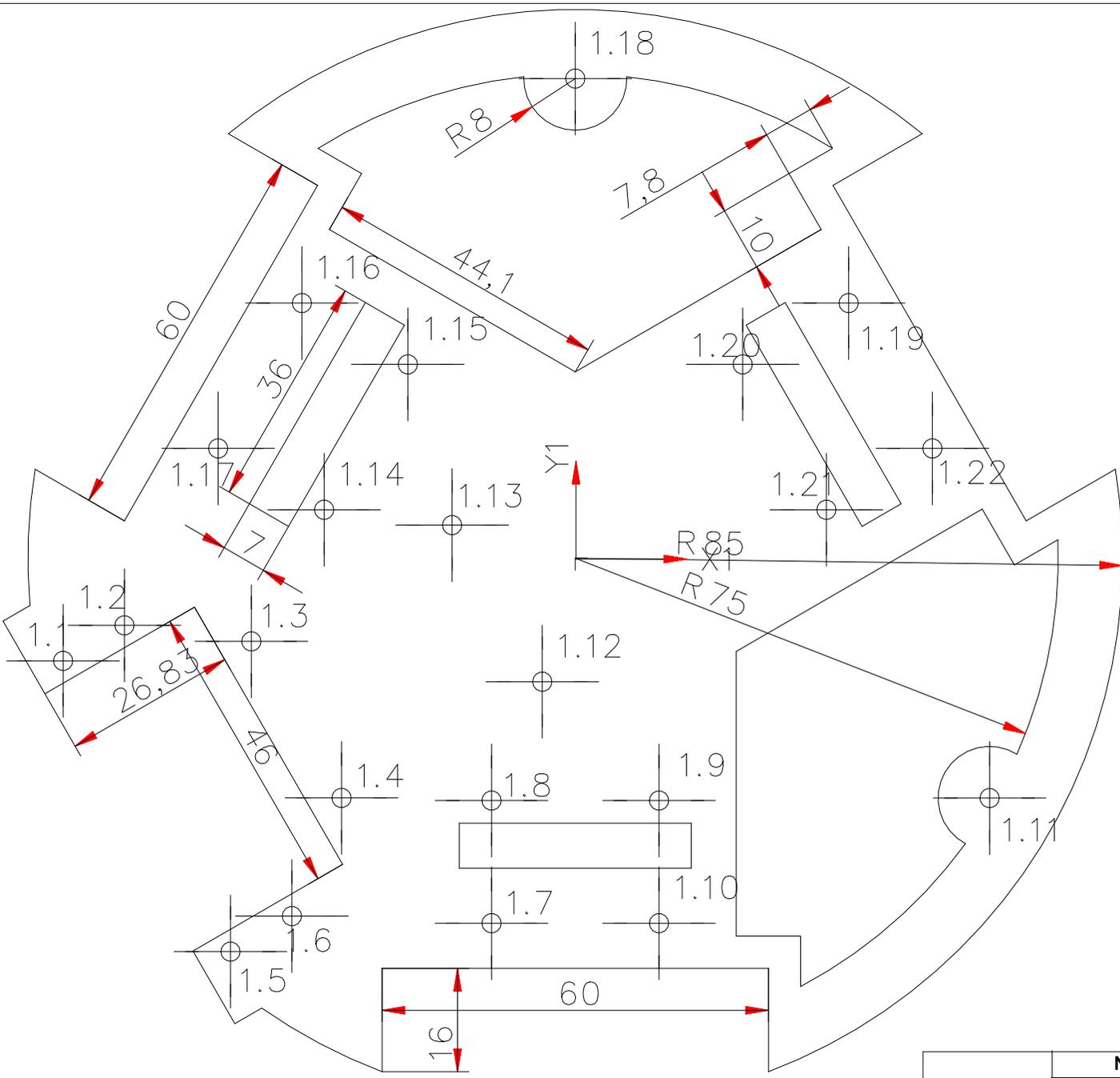


Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180	
Revisado por	Fabian Parra Gil	180130	SIZE A4	Pieza : Soporte Motor
	Leonardo Solaque Ph.D	9		
Nota :	Cantidad 3		SCALE: 2:1	Hoja 11 de 12



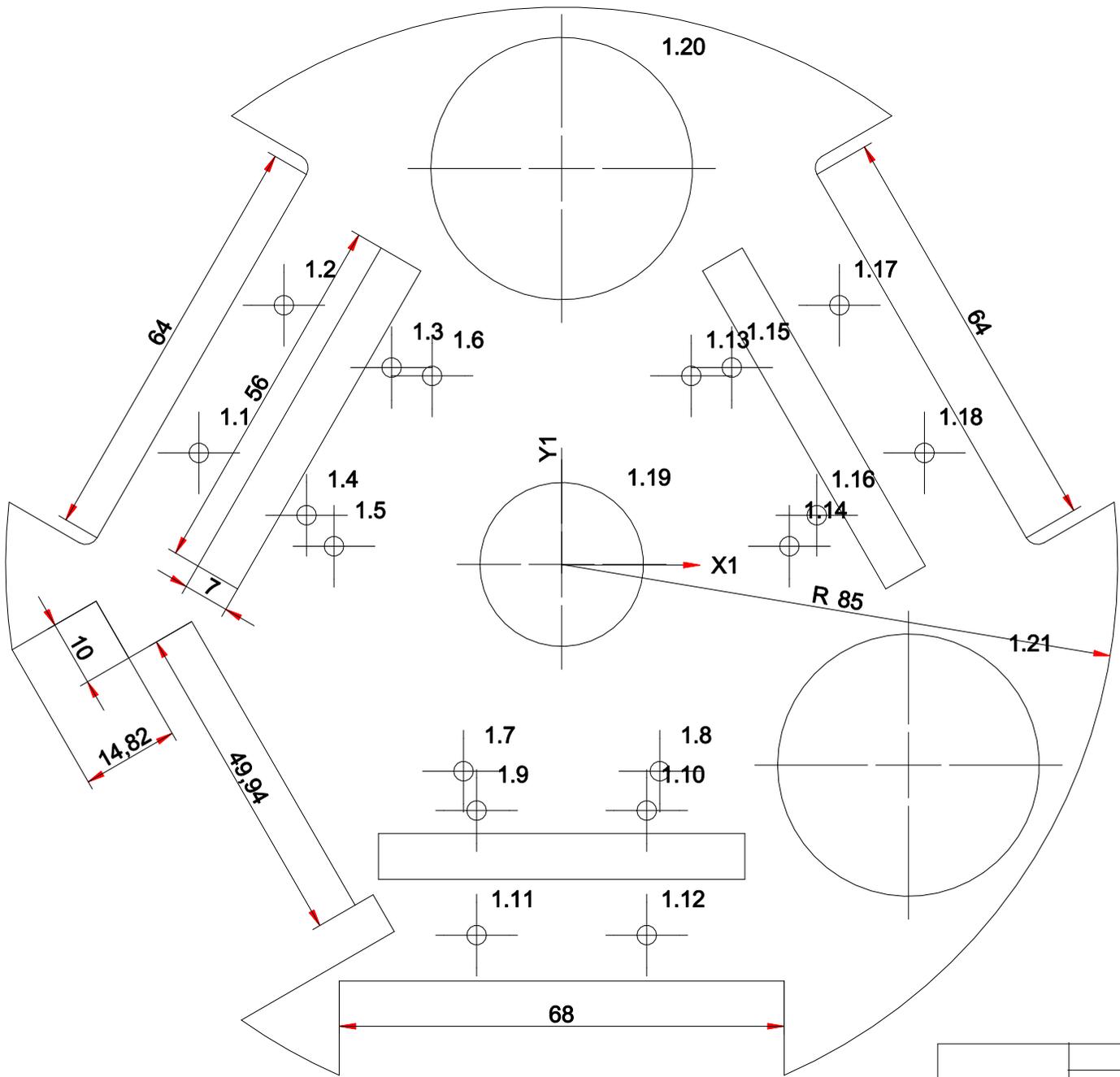
Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180	
Revisado por	Fabian Parra Gil	1801309	SIZE A4	Pieza : Soportes
	Leonardo Solaque Ph.D			
Nota :	Cantidad 6		SCALE: 2:1	Hoja 12 de 12

## **Anexo G Planos rediseño**



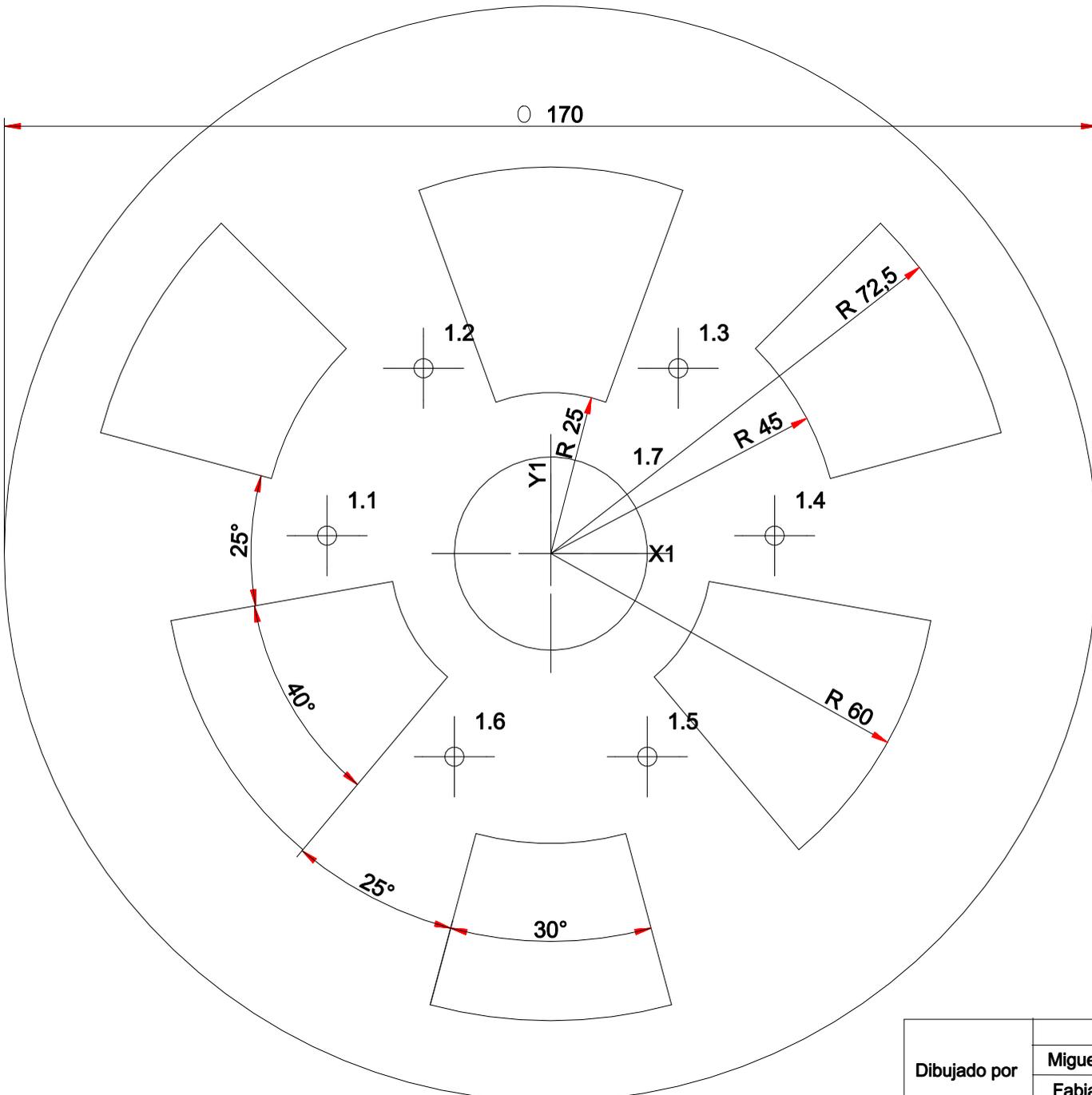
Hole Table			
Hole	X	Y	Size
1.1	-79,54	-15,9	∅ 3
1.2	-70,01	-10,4	∅ 3
1.3	-50,3	-12,88	∅ 3
1.4	-36,3	-37,12	∅ 3
1.5	-53,54	-60,93	∅ 3
1.6	-44,01	-55,43	∅ 3
1.7	-13	-56,53	∅ 3
1.8	-13	-37,53	∅ 3
1.9	13	-37,53	∅ 3
1.10	13	-56,53	∅ 3
1.11	64,34	-37,15	∅ 3
1.12	-5,12	-19,12	∅ 3
1.13	-19,12	5,12	∅ 3
1.14	-39	7,51	∅ 3
1.15	-26	30,02	∅ 3
1.16	-42,46	39,52	∅ 3
1.17	-55,46	17,01	∅ 3
1.18	0	74,29	∅ 3
1.19	42,46	39,52	∅ 3
1.20	26	30,02	∅ 3
1.21	39	7,51	∅ 3
1.22	55,46	17,01	∅ 3

Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302		
	Fabian Parra Gil	1801309	Titulo : Robot soccer serie F-180 diseño final	
Revisado por	Leonardo Solaque Ph.D		SIZE A4	Base 1
Nota:	Cantidad 1		SCALE: 1 : 1	Hoja 1 de 13



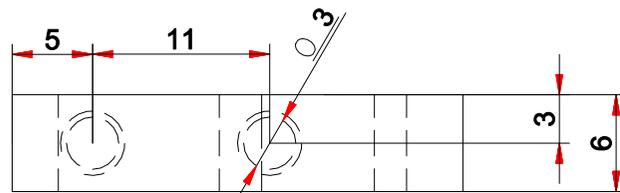
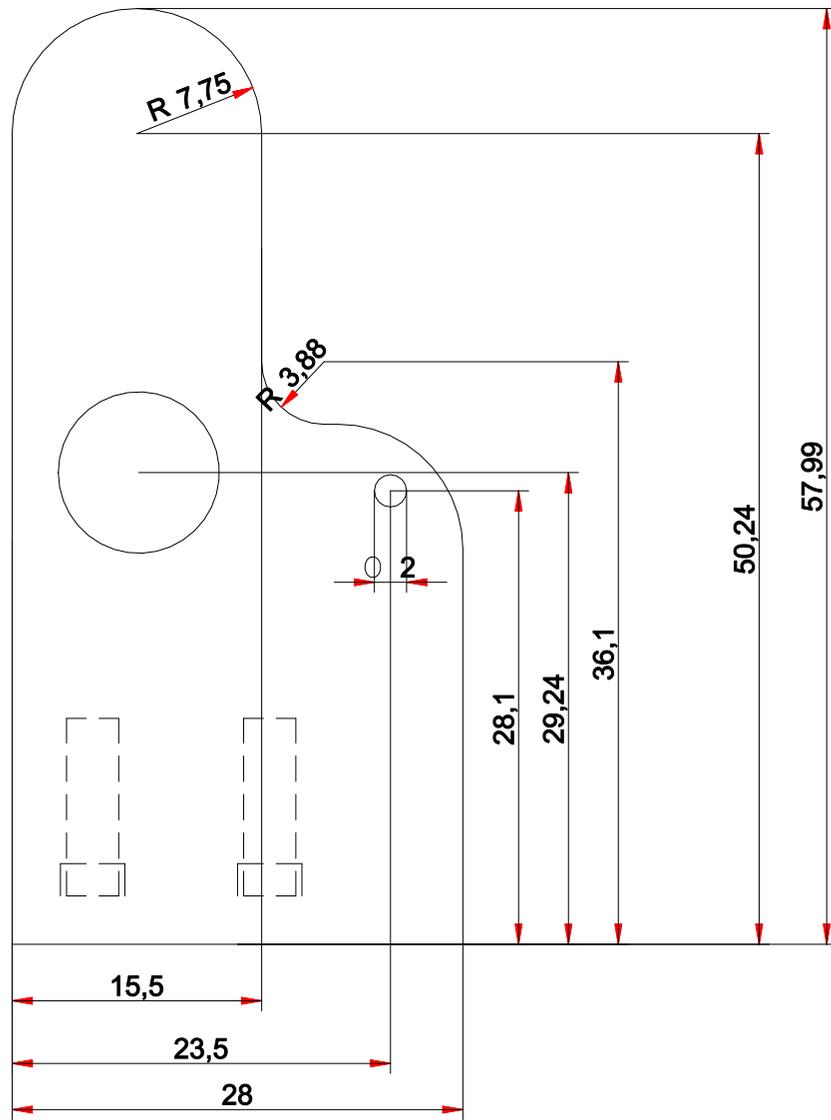
Hole Table			
Hole	X	Y	Size
1.1	-55,46	17,01	Ø 3
1.2	-42,46	39,52	Ø 3
1.3	-26	30,02	Ø 3
1.4	-39	7,51	Ø 3
1.5	-34,81	2,77	Ø 3
1.6	-19,81	28,76	Ø 3
1.7	-15	-31,53	Ø 3
1.8	15	-31,53	Ø 3
1.9	-13	-37,53	Ø 3
1.10	13	-37,53	Ø 3
1.11	-13	-56,53	Ø 3
1.12	13	-56,53	Ø 3
1.13	19,81	28,76	Ø 3
1.14	34,81	2,77	Ø 3
1.15	26	30,02	Ø 3
1.16	39	7,51	Ø 3
1.17	42,46	39,52	Ø 3
1.18	55,46	17,01	Ø 3
1.19	0	0	Ø 25
1.20	0	60,38	Ø 40
1.21	53,01	-30,6	Ø 40

Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180 diseño final	
Revisado por	Fabian Parra Gil	1801309	SIZE A4	Base 2
	Leonardo Solaque Ph.D			
Nota:	Cantidad 1	SCALE: 1 : 1		Hoja 2 de 13

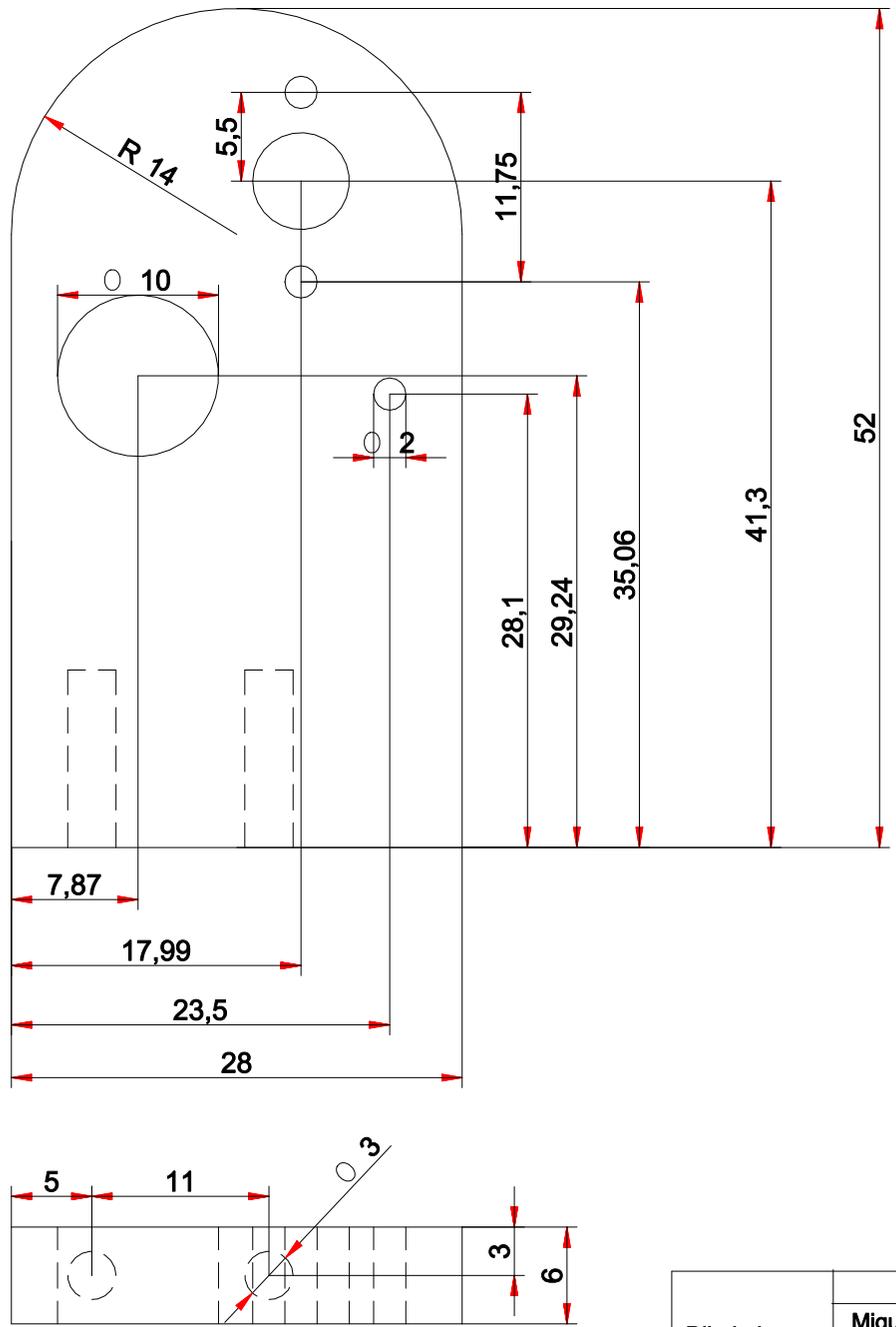


Hole Table			
Hole	X	Y	Size
1.1	-34,81	2,77	∅ 3
1.2	-19,81	28,76	∅ 3
1.3	19,81	28,76	∅ 3
1.4	34,81	2,77	∅ 3
1.5	15	-31,53	∅ 3
1.6	-15	-31,53	∅ 3
1.7	0	0	∅ 30

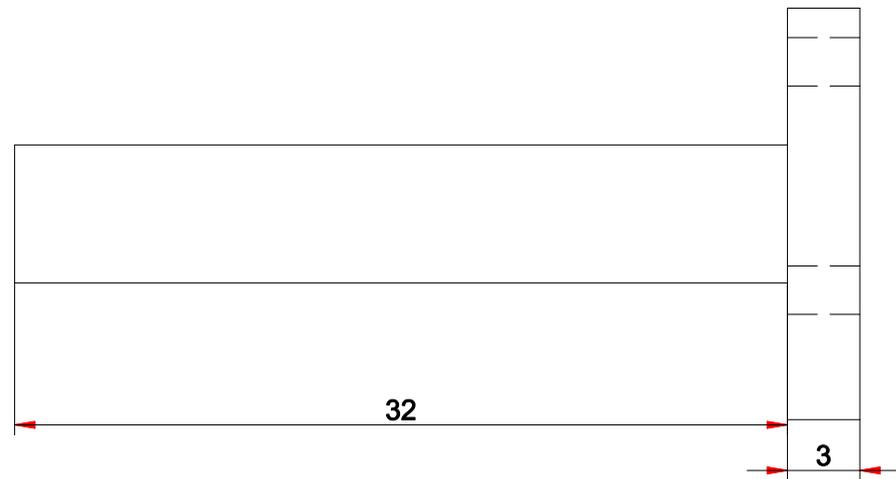
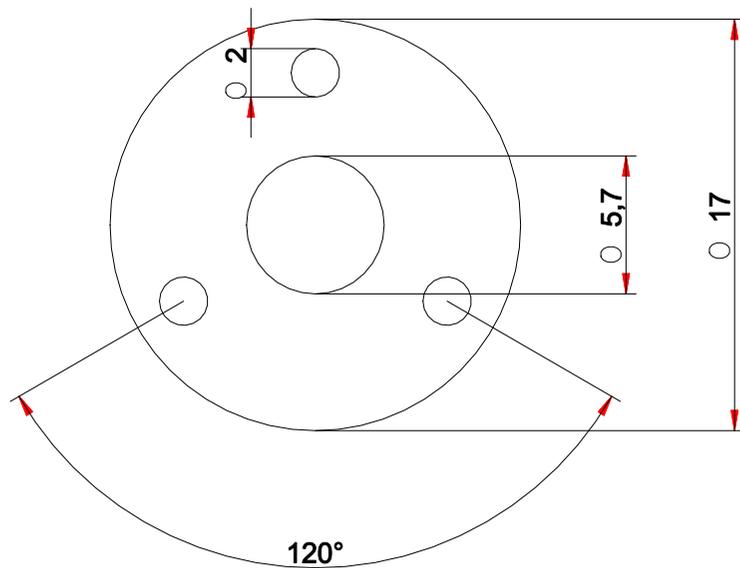
Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180 diseño final	
	Fabian Parra Gil	1801309		
Revisado por	Leonardo Solaque Ph.D		SIZE A4	Base 3
Nota:	Cantidad 1		SCALE: 1 : 1	Hoja 3 de 13



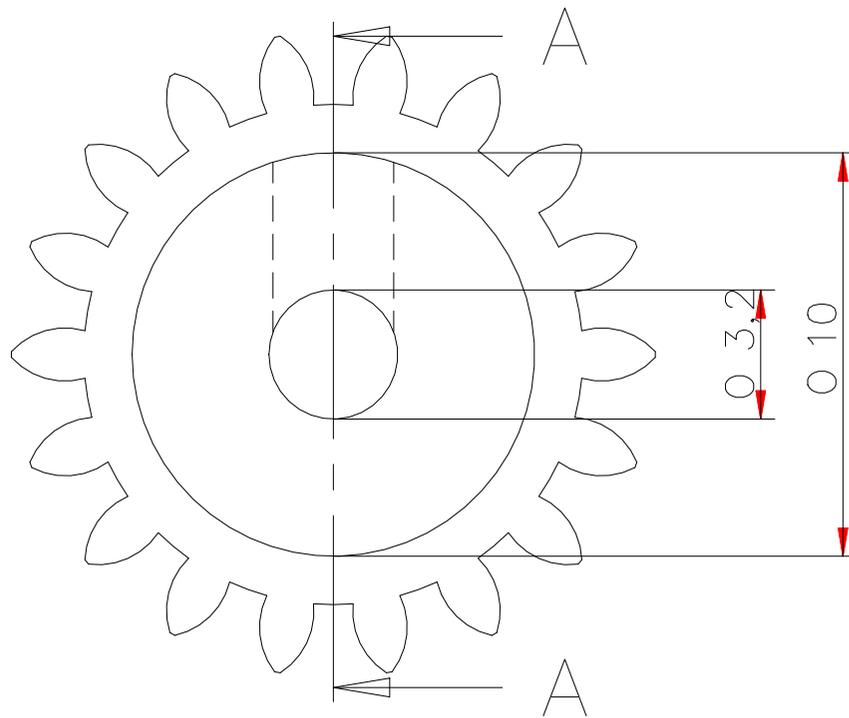
Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180 diseño final	
	Fabian Parra Gil	1801309		
Revisado por	Leonardo Solaque Ph.D		SIZE A4	base dribbling 1
Nota:	Cantidad 1		SCALE: 2: 1	Hoja 4 de 13



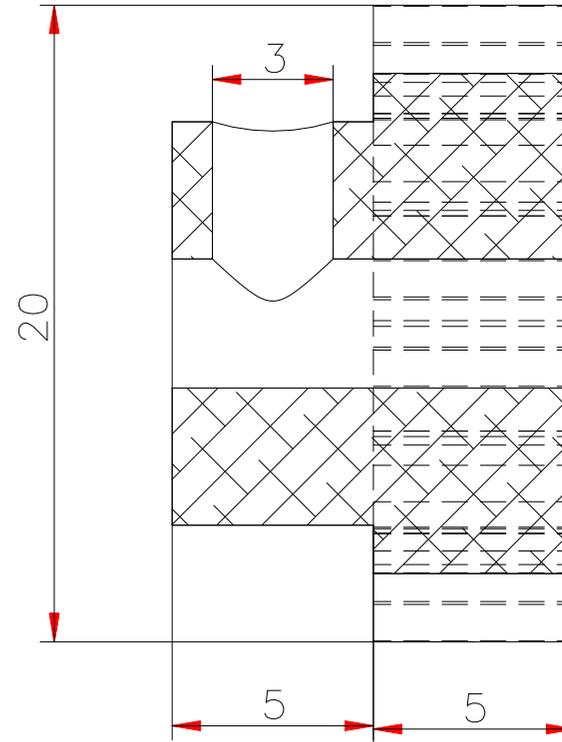
Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180 diseño final	
	Fabian Parra Gil	1801309		
Revisado por	Leonardo Solaque Ph.D		SIZE A4	base dribbling 2
Nota:	Cantidad 1		SCALE: 2: 1	Hoja 5 de 13



Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180 diseño final	
Revisado por	Fabian Parra Gil	1801309	SIZE A4	eje llantas
	Leonardo Solaque Ph.D			
Nota:	Cantidad 3		SCALE: 3: 1	Hoja 6 de 13

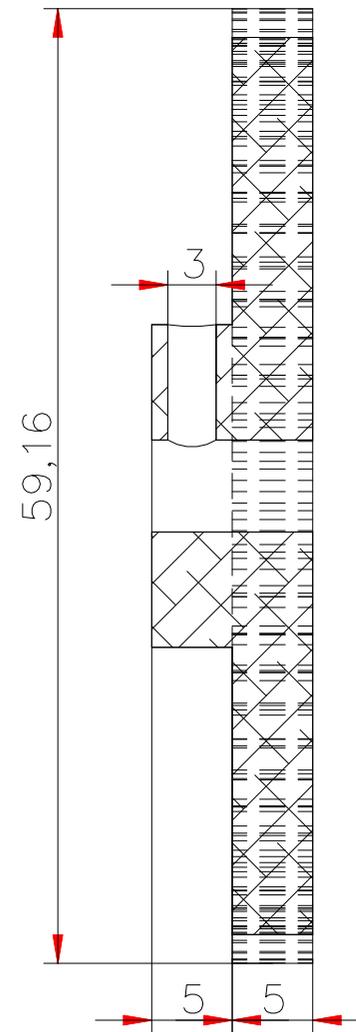
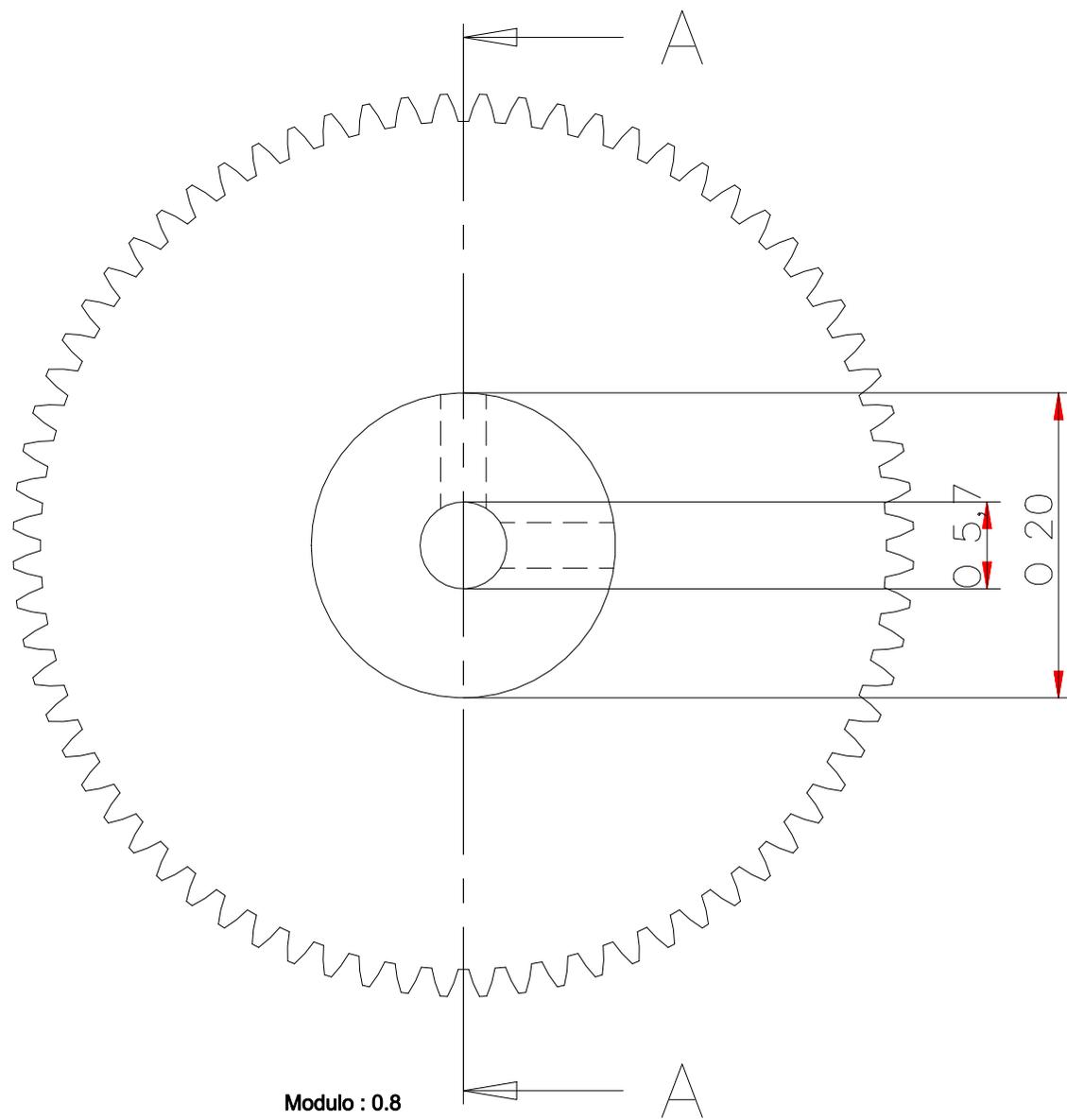


Modulo : 0.8  
 Dientes : 18



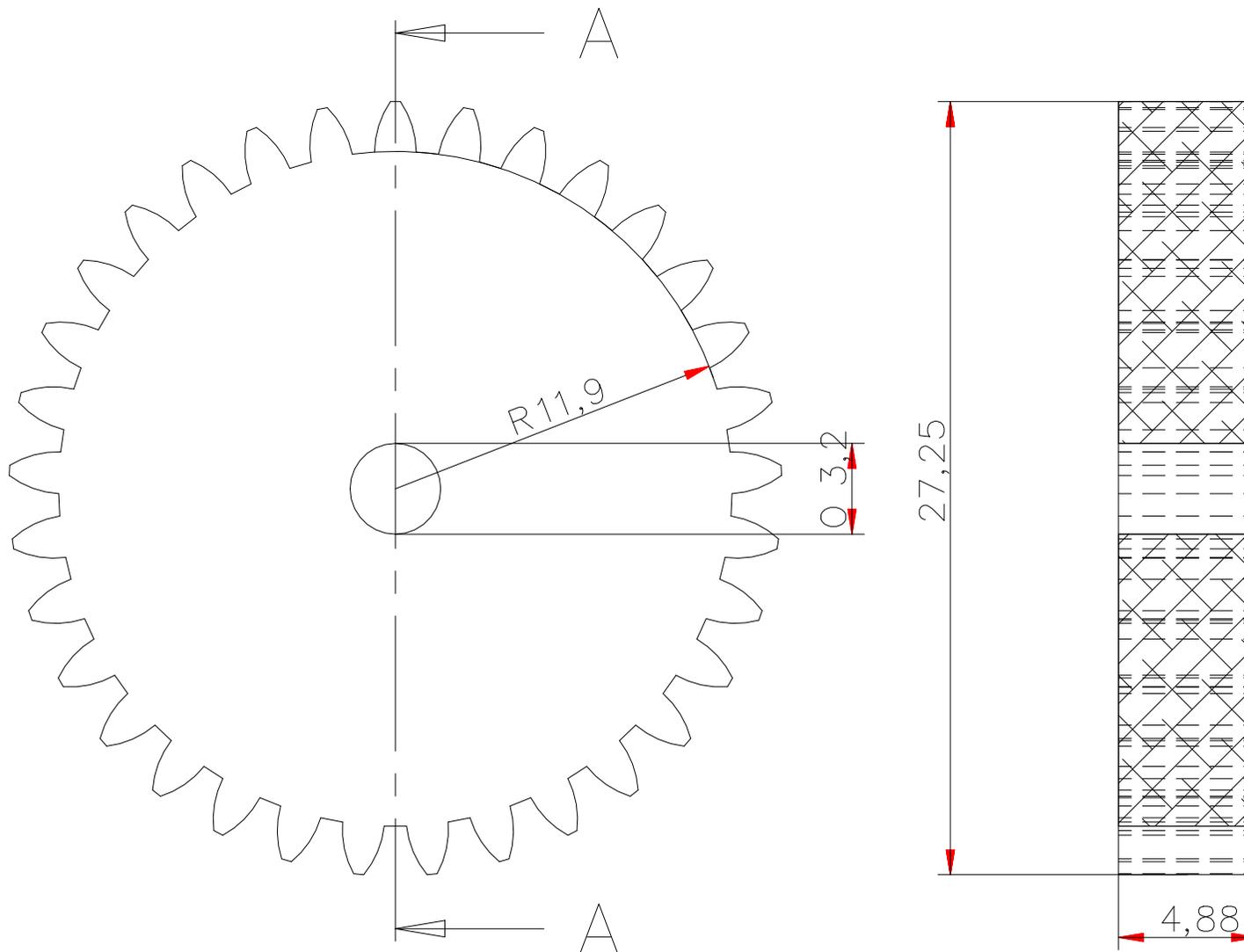
SECTION A—A

Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180 diseño final	
Revisado por	Fabian Parra Gil	1801309	SIZE A4	Pieza : Píñon 18 dientes
	Leonardo Solaque Ph.D			
Nota :	Cantidad 3	SCALE: 5:1	Hoja 7de13	



SECTION A-A

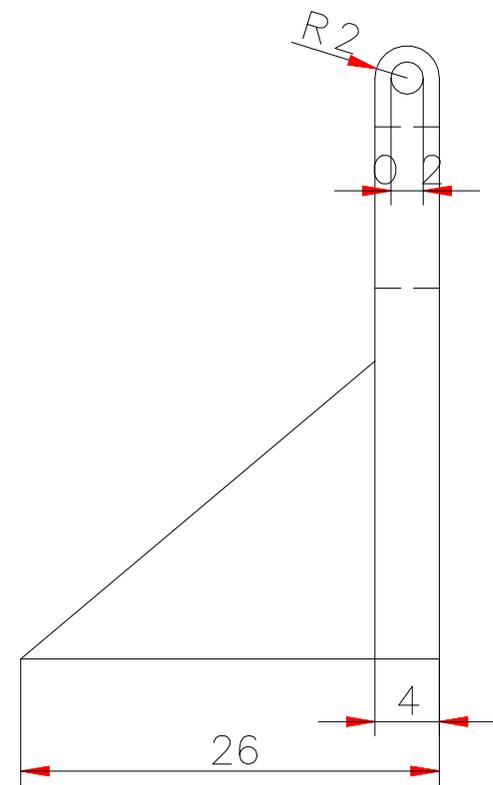
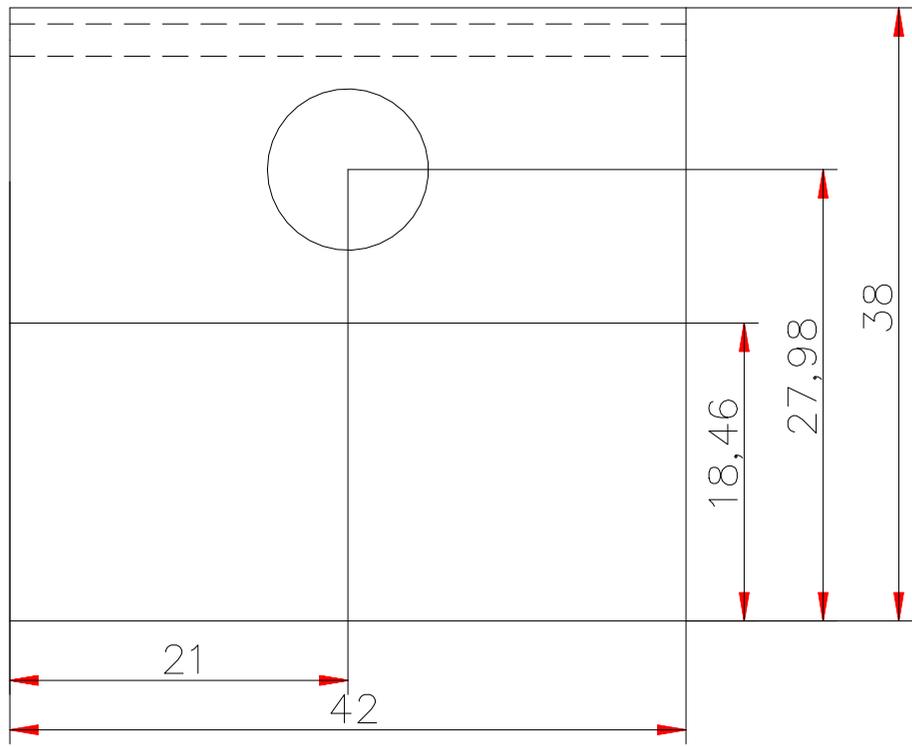
Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180 diseño final	
Revisado por	Fabian Parra Gil	1801309	SIZE A4	Pieza : Pifion 72 dientes
	Leonardo Solaque Ph.D			
Nota :	Cantidad 3		SCALE: 2:1	Hoja 8 de 13



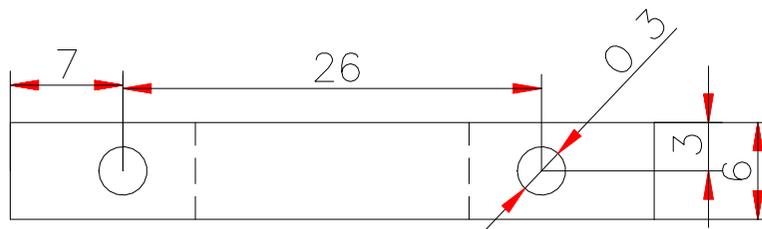
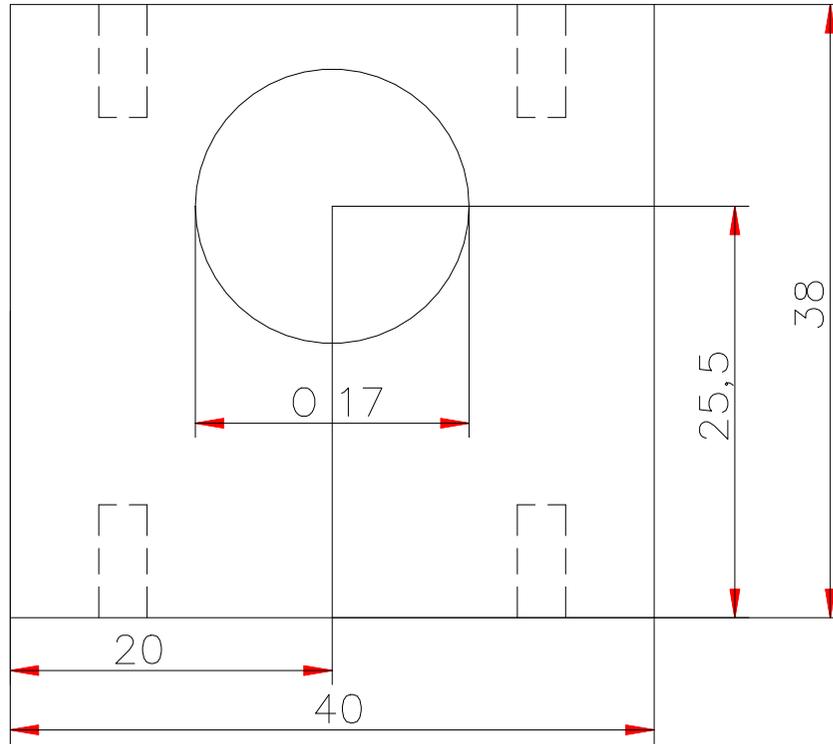
modulo : 0.7  
Dientes 33

SECTION A—A

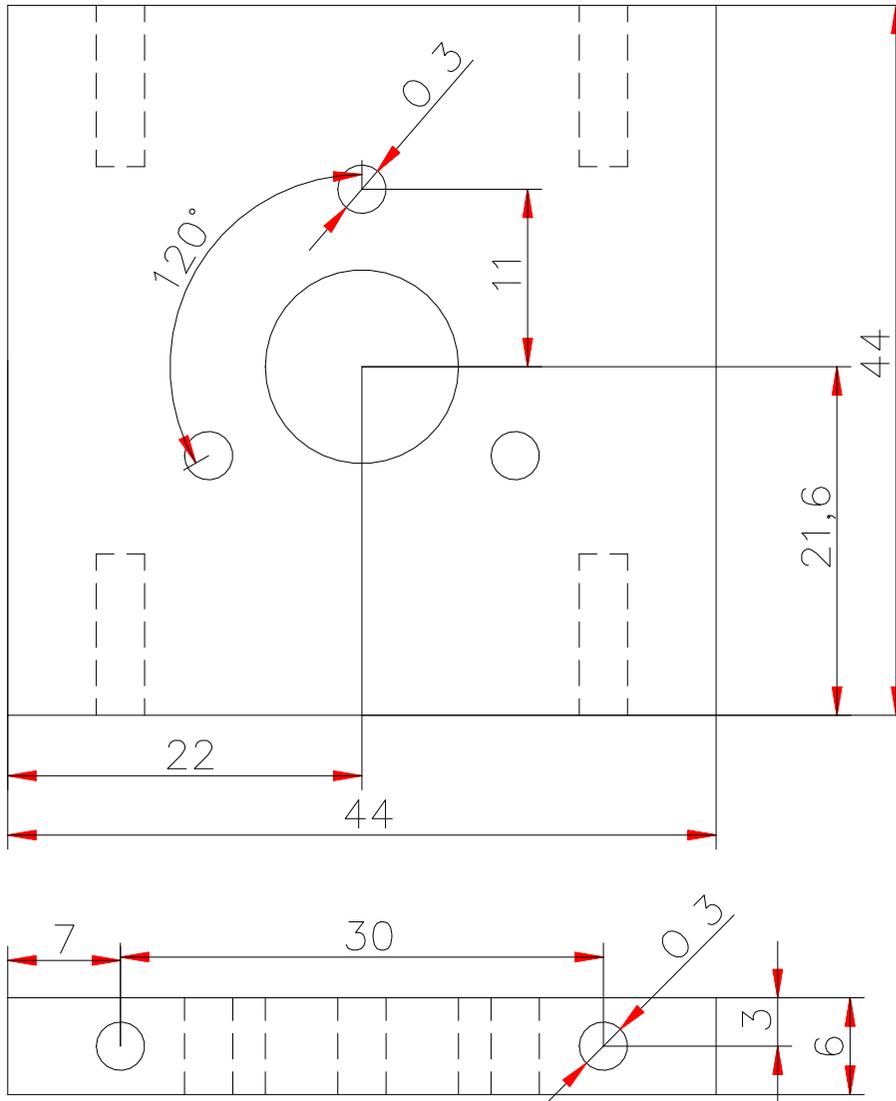
Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180 diseño final	
	Fabian Parra Gil	1801309		
Revisado por	Leonardo Solaque Ph.D		SIZE A4	Pieza : Piñon 33 dientes dribbling
Nota :	Cantidad 1		SCALE: 4:1	Hoja 9 de 13



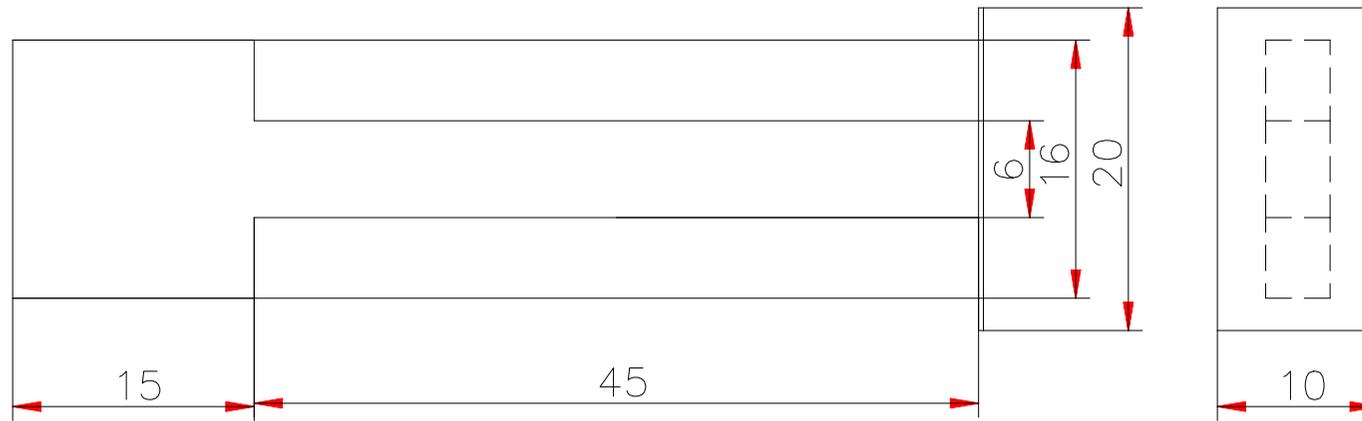
Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180 diseño final	
Revisado por	Fabian Parra Gil	1801309	SIZE A4	Pieza : Rampa
	Leonardo Solaque Ph.D			
Nota :	Cantidad 3		SCALE: 2:1	Hoja 10 de 13



Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180 diseño final	
	Fabian Parra Gil	1801309		
Revisado por	Leonardo Solaque Ph.D		SIZE A4	Pieza : Soportes eje
Nota :	Cantidad 6		SCALE: 2:1	Hoja 11 de 13



Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180 diseño final	
	Fabian Parra Gil	1801309		
Revisado por	Leonardo Solaque Ph.D		SIZE A4	Pieza : Soporte motor
Nota :	Cantidad 3		SCALE: 2:1	Hoja 12 de 13



Dibujado por	Nombre	Codigo	Universidad Militar Nueva Granada	
	Miguel Murillo Rozo	1801302	Titulo : Robot soccer serie F-180 diseño final	
	Fabian Parra Gil	1801309		
Revisado por	Leonardo Solaque Ph.D		SIZE A4	Pieza : Vastago disparador
Nota :	Cantidad 1		SCALE: 2:1	Hoja 13 de 13