



Universidad  
Carlos III de Madrid

Departamento de Sistemas y Automática

PROYECTO FIN DE CARRERA

DESARROLLO DEL  
SISTEMA DE LOCOMOCIÓN  
DE UNA PLATAFORMA  
HARDWARE PARA  
ROBOCUP SMALL SOCCER  
LEAGUE (SSL)

Autor: Álvaro García López

Tutor: José María Armingol Moreno

Leganés, Septiembre de 2010





# ÍNDICE

<b>ÍNDICE.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....</b>	<b>6</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
1.1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	8
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	10
<b>2. REGLAS DE JUEGO DE LA LIGA 2010 PARA LOS ROBOTS F180 .....</b>	<b>12</b>
2.1. LEY 1 – El terreno de juego .....	13
2.2. LEY 2 – El Balón .....	17
2.3. LEY 3 – El número de robots .....	17
2.4. LEY 4 – El equipo de robótica .....	18
2.5. LEY 5 – El árbitro .....	25
2.6. LEY 6 – El árbitro asistente .....	29
2.7. LEY 7 – La duración del partido .....	29
2.8. LEY 8 – Inicio y reanudación del juego.....	31
2.9. LEY 9 – El balón en juego y parado.....	33
2.10. LEY 10 – Método de tanteo .....	34
2.11. LEY 11 – Fuera de juego .....	35
2.12. LEY 12 – Faltas y conducta antideportiva .....	35
2.13. LEY 13 – Tiros libres.....	39
2.14. LEY 14 – El tiro de penalti .....	40
2.15. LEY 15 – El saque de banda .....	42
2.16. LEY 16 – El saque de puerta.....	43
2.17. LEY 17 – El saque de esquina .....	43
2.18. Apéndice A – Reglas de competencia.....	45
2.19. Apéndice B – Expertos en visión .....	47
<b>3. COMPOSICIÓN DEL MICROROBOT F180.....</b>	<b>48</b>
3.1 SISTEMA DE VISIÓN .....	49
3.2 SISTEMA DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	49



3.3 SISTEMA DE CONTROL DEL ÁRBITRO.....	50
3.4 ROBOTS .....	50
3.5 LOS PARTIDOS F180.....	51
3.6 ARQUITECTURA DEL MICROROBOT F180 .....	51
3.6.1. Procesamiento del robot.....	51
3.6.2. Locomoción.....	53
3.6.3. Alimentación .....	54
3.6.4. Estructura .....	55
3.6.5. Sistema de Disparo.....	55
3.6.6. Circuito de Potencia .....	57
3.6.7. Dribbler .....	58
<b>4. SISTEMA DE LOCOMOCIÓN Y MOTORES .....</b>	<b>59</b>
4.1 LOCOMOCIÓN .....	60
4.1.1. Tracción Diferencial.....	60
4.1.2. Ruedas Directrices o triciclo .....	61
4.1.3. Tracción Síncrona .....	62
4.1.4. Tracción Ackerman.....	63
4.1.5. Desplazamiento Omnidireccional .....	64
4.1.6. Conclusión.....	65
4.2 MODELO CINEMÁTICO OMNIDIRECCIONAL .....	65
4.2.1. Control Omnidireccional.....	65
4.2.2. Consideraciones iniciales .....	66
4.2.3. Marco de Referencia .....	66
4.2.4. Numeración de los Motores .....	66
4.2.5. Medición de los Ángulos de los Motores.....	67
4.2.6. Dirección de Rotación de los Motores .....	68
4.2.7. Ángulo de Fuerza de los Motores .....	69
4.2.8. Desplazamiento del Robot .....	70
4.3 RUEDAS OMNIDIRECCIONALES.....	76
4.3.1. Introducción .....	76
4.3.2. Análisis del Sistema .....	77
4.3.3. Elección de Ruedas .....	77
4.3.4. Modelo 2051 .....	78
4.3.5. Modelo 2051K .....	78
4.3.6. Modelo 2052 .....	79
4.3.7. Conclusión.....	79



4.4	MODELO CINEMÁTICO .....	80
4.5	VECTOR DE VELOCIDADES .....	89
4.6	ELECCIÓN DE LOS MOTORES .....	90
4.6.1.	EC45 Flat Brushless 30W .....	91
4.6.2.	EC45 Flat Brushless 30W, con electrónica integrada .....	93
4.6.3.	Conclusiones .....	95
4.6.4.	Sobre el Funcionamiento del Motor .....	95
4.7	CONTROL PWM.....	96
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES Y MEJORAS .....</b>	<b>99</b>
5.1	CONCLUSIONES .....	99
5.2	MEJORAS .....	100
<b>6.</b>	<b>PRESUPUESTO .....</b>	<b>101</b>
6.1	COSTE MATERIAL .....	101
6.1.1.	Estructura .....	101
6.1.2.	Sistema Locomotor .....	102
6.1.3.	Dribbler .....	102
6.1.4.	Sistema de Disparo.....	102
6.1.5.	Sistema de Control .....	103
6.1.6.	Cableado y Conexionado .....	103
6.1.7.	Alimentación .....	103
6.2	COSTE PERSONAL .....	103
6.3	PRESUPUESTO FINAL .....	104
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>105</b>
7.1	RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS .....	105
7.2	RECURSOS ELECTRÓNICOS.....	106
<b>8.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>108</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1.1. Logotipo de RoboCup .....	9
Figura 2.1. Dimensiones del campo de juego.....	13
Figura 2.2. Portería en detalle .....	15
Figura 2.3. Dimensiones máximas del robot .....	19
Figura 2.4. Área mínima superior del robot .....	20
Figura 2.5. Patrón estándar para RoboCup 2010.....	21
Figura 2.6. Asignaciones del color estándar para RoboCup 2010 .....	22
Figura 2.7. Sistema de regateo .....	23
Figura 2.8. Cómo se debe coger la pelota.....	37
Figura 3.1. Arquitectura del sistema.....	49
Figura 3.2. Partes funcionales de un robot F180 .....	51
Figura 3.3. Módulo RCM5400W .....	52
Figura 3.4. Motor y Rueda del Robot F180.....	54
Figura 3.5. Batería de 14,7V y 3300mAh.....	54
Figura 3.6. Base Inferior y Soporte de Motores .....	55
Figura 3.7.a. Solenoide No Excitado.....	56
Figura 3.7.b. solenoide excitado .....	56
Figura 3.8. Circuito de Potencia .....	57
Figura 3.9. Dribbler .....	58
Figura 4.1. Tracción Diferencial.....	61
Figura 4.2. Ruedas Directrices .....	62
Figura 4.3. Tracción Síncrona .....	63
Figura 4.4. Tracción Ackerman.....	63
Figura 4.5. Diseño de una Rueda Omnidireccional.....	64
Figura 4.6. Base con los Motores y Ruedas Omnidireccionales .....	65
Figura 4.7. Plano Cartesiano del Robot.....	66
Figura 4.8. Numeración de los motores.....	67
Figura 4.9. Medición de los Ángulos de los Motores.....	67
Figura 4.10. Rotación Positiva de los Motores.....	68
Figura 4.11. Dirección Positiva de la Fuerza de los Motores.....	69
Figura 4.12. Ángulo de la Fuerza de los Motores .....	70
Figura 4.13. Ángulo de Desplazamiento del Robot .....	70
Figura 4.14. El Robot Omnidireccional en el Plano Cartesiano.....	71
Figura 4.15. El Robot debe ir a una Posición Futura.....	74
Figura 4.16. Diagrama de Diferentes Movimientos Omnidireccionales.....	77
Figura 4.17. Rueda 2051 con cotas .....	78
Figura 4.18. Rueda 2051K con cotas.....	79
Figura 4.19. Rueda 2052 con cotas .....	79
Figura 4.20. Rueda 2051 con Cilindro Acoplado.....	80



Figura 4.21. Disposición de los Motores .....	80
Figura 4.22. Desplazamiento del Robot con el Motor1 al 100% .....	87
Figura 4.23. Desplazamiento del Robot con el Motor3 al 100% .....	87
Figura 4.24. Desplazamiento del Robot con el Motor2 al 100% .....	88
Figura 4.25. Desplazamiento del Robot con el Motor4 al 100% .....	88
Figura 4.26. EC45 Flat Brushless 30W, número 339281 .....	92
Figura 4.27. EC45 Flat Brushless 30W, con electrónica integrada, número 370424.....	94
Figura 4.28. Diferentes vistas del Motor Elegido.....	95
Figura 4.29. Rango de funcionamiento $n = f(M)$ .....	95
Figura 4.30. Modulación por Ancho de Pulsos .....	96



## *CAPÍTULO 1*

# **1. INTRODUCCIÓN**

---

## **1.1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

Este trabajo se enfoca a la creación de un robot F180 de la Robocup Small Soccer League. Basándonos en estudios previos realizados por estudiantes de la Universidad Carlos III de Madrid, integrantes del Laboratorio de Sistemas Inteligentes (LSI) se procedió a la implementación de un prototipo totalmente autónomo y funcional, con la intención de que fuese el primero de los cinco robots necesarios para la futura participación de la Universidad en la Liga Small Size.

En la presente introducción se describe el problema que este proyecto pretende resolver, definiéndose el objetivo y acotando el alcance del trabajo, así como una breve descripción del resto de sistemas que intervienen en el correcto funcionamiento del robot.

En los últimos años la humanidad ha presenciado grandes avances en el campo de la robótica y la inteligencia artificial. En el año de 1997 sucedieron dos grandes hechos que pueden ser considerados como un punto de inflexión: en mayo, Deep Blue de IBM derrotó al campeón mundial de ajedrez y el 4 de julio la misión Pathfinder de la NASA hizo llegar exitosamente a Marte al Sojourner, un sistema robótico. Ese mismo año se llevó a cabo una competencia por demás singular: más de cuarenta equipos se reunieron para formar parte del primer campeonato mundial de fútbol robótico.

El origen de esta extraña competencia se encuentra en el documento “On Seeing Robots” publicado en 1992 por Alan Mackworth de la UBC Canadá, desde ese momento su equipo de investigación publicó trabajos relacionados con el tema de robots que juegan fútbol. De manera paralela, un grupo de investigadores japoneses organizó en octubre de 1992 un taller sobre los grandes retos de la inteligencia artificial. En él se discutió la posibilidad de utilizar el fútbol como plataforma de desarrollo para la ciencia y la tecnología.



En junio de 1993, tras una serie de estudios de viabilidad tecnológica y financiera, los japoneses Minoru Asada, Yasuo Kuniyoshi y Hiroaki Kitano decidieron lanzar una competencia robótica, llamada originalmente Robot J-League, en honor a la recién creada liga de fútbol profesional de Japón. Unos meses después, la comunidad científica mundial propuso que el proyecto recién creado tuviera alcance mundial. Así nació “The Robot World Cup Initiative”, mejor conocido como el proyecto RoboCup.

Por todo esto, se creó la Federación RoboCup como una organización internacional registrada en Suiza. La federación se encarga de dirigir el esfuerzo de la comunidad científica mundial para promover la ciencia y la tecnología a través de robots y agentes de software que juegan fútbol. La figura 1 muestra el logotipo de la Federación RoboCup.



Figura 1.1. Logotipo de RoboCup.

El proyecto tiene un objetivo ambicioso, se pretende que con la tecnología desarrollada en el año de 2050 un equipo de robots autónomos humanoides sea capaz de derrotar en un partido de fútbol a la selección humana campeona del mundo de ese tiempo. Para lograrlo se han creado varias líneas de investigación que promuevan el desarrollo tecnológico y de sistemas inteligentes y colaborativos.

La iniciativa RoboCup se divide en tres grandes áreas: “RoboCup Soccer”, “RoboCup Rescue” y “RoboCup Junior”.

En el presente documento se expone primeramente lo que es la competición de Robocup con su reglamentación para presentar el problema u objetivo que se persigue con el proyecto. A continuación se presentará una breve descripción de los distintos sistemas que componen cada equipo, y por último se hará especial hincapié en el diseño del sistema de locomoción de un microrobot de la competición de Robocup en la categoría de SSL F180.

Las competiciones de fútbol de robots tienen como finalidad la investigación y el desarrollo de un equipo de robots autónomos pero que buscan un fin común y enfrentándose a un entorno dinámico y en continuo cambio de tal forma que pueden llevar a cabo los objetivos cooperando entre ellos. Todas las soluciones ante las adversidades particulares que supone un campeonato de fútbol de robots, son soluciones válidas para cualquier otro contexto, como por ejemplo el rescate de una persona en una situación de peligro.

Actualmente existen diferentes campeonatos de fútbol de robots. Las diferentes ligas atienden a la morfología del robot y siguen diferentes conjuntos de reglas. Dentro de RoboCup Soccer existen cinco categorías de competencia, cada una con características muy particulares, y son:



- Liga de simulación, donde no existen robots físicos, sino que se trata de 11 agentes virtuales que se enfrentan en un terreno de juego virtual. Cada Agente envía información a un servidor de simulación y recibe datos sobre su posición y del ambiente.
- Liga de robots de tamaño pequeño (Small Size), también conocida como SSL por sus siglas en inglés aunque su nombre oficial es F180 (El nombre F180 proviene de los 180mm de altura máxima de los robots). Dos equipos de 5 robots cada uno, de un tamaño no mayor a un cilindro de 180 mm de diámetro y 150 mm de alto, juegan al fútbol en un campo de 6050x4050 mm con una pelota de golf de color naranja. Los robots son totalmente autónomos y un sistema central de visión obtiene la información del ambiente y de los robots, mientras un sistema de control envía instrucciones de manera inalámbrica a los robots.
- Liga de robots de tamaño medio, formado por 4 robots con sensores de abordo para obtener información del ambiente y un sistema de visión local.
- Liga de robots con cuatro patas, en el que cuatro robots cuadrúpedos (SONY AIBO) disputan el encuentro y que al igual que en la anterior poseen sensores de abordo y sistema de visión local y se comunican entre ellos.
- Liga de robots humanoides, es la única liga en donde los robots, en este caso con forma humana, se permite la intervención humana.

El presente documento se centrará en la liga de robots de tamaño pequeño (Small Size League). En esta competición participan hasta cinco robots pequeños por equipo con un tamaño máximo descrito en la normativa del juego. Los robots deben ser capaces de saber cuál es su posición dentro del terreno de juego, dónde se encuentra la pelota y cuál es su trayectoria y si está bajo el control de un robot del mismo equipo o del equipo contrario, de esquivar obstáculos móviles, los robots tanto de un equipo como de otro, interceptar la pelota en su trayectoria, realizar pases, disparos, ejecutar jugadas, etc. Se irá viendo la complejidad de cada uno de las acciones descritas anteriormente y las posibles soluciones a cada una de ellas.

## 1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El Laboratorio de Sistemas Inteligentes de la UC3M es un centro de investigación enfocado al desarrollo de tecnología en las áreas de inteligencia artificial, visión por computadora, comportamientos autónomos, comunicaciones inalámbricas, colaboración de agentes y robótica. En él, los alumnos de las Ingenierías de la UC3M participan en proyectos motivados por competiciones nacionales e internacionales tales como EUROBOT. En 2008 se decidió comenzar con el proyecto RoboCup en la liga de robots pequeños. Es la primera vez que realiza dicho proyecto en la historia de la UC3M, y el objetivo del presente proyecto será diseñar y construir la base para poder desarrollar un equipo de cinco robots de la liga F180 que cumplan con las reglas establecidas por la Federación RoboCup y puedan participar en competiciones oficiales.

El alcance de este proyecto se centra en el diseño y la construcción de los robots. El diseño de la solución abarca los módulos que forman parte del robot comenzando por la recepción de información, el procesamiento, su correcta ejecución en los dispositivos actuadores de los motores, disparo y dribbling.



Por tanto el presente proyecto se centra en dotar al futuro robot de:

- Un sistema de procesamiento de datos y de comunicaciones, compuesto por una placa base que incorpora un microprocesador y un sistema WIFI.
- Un sistema de locomoción omnidireccional compuesto por ruedas omnidireccionales, motores, reductoras, encoders y drivers de potencia.
- Un sistema de alimentación compuesto por baterías que dota al robot de autonomía y le permite moverse libremente sin necesidad de estar conectado mediante cables a un sistema de alimentación externo.
- Una estructura sólida en la que poder fijar los componentes.
- La programación necesaria para el control de la velocidad, dirección de los motores, dribbling y disparo de la pelota.
- Un sistema de disparo óptimo para que el robot pueda pasar y disparar en el momento oportuno.
- Un circuito elevador para posibilitar un disparo potente.
- Un sistema de dribbling para que el robot pueda mantener la pelota mientras se desplaza en la dirección necesaria, pivota o regatea o esquiva a algún robot.



## *CAPÍTULO 2*

# **2. REGLAS DE JUEGO DE LA LIGA 2010 PARA LOS ROBOTS F180**

---

Para poder hacerse una idea del proyecto es necesario hacer una breve descripción de lo que será el sistema completo y es necesario conocer cuáles son las reglas, limitaciones, etc. que se imponen para ubicarse en el contexto y entender mejor el por qué de cada subsistema. Se describirán por tanto las reglas de juego ya que nos marca las restricciones a la hora del diseño y en el transcurso de un partido y por tanto son determinantes en el diseño global del sistema.

- LEY 1 - El terreno de juego
- LEY 2 - El balón
- LEY 3 - El número de robots
- LEY 4 - El equipo de robótica
- LEY 5 - El árbitro
- LEY 6 - El árbitro asistente
- LEY 7 - La duración del partido
- LEY 8 - El inicio y la reanudación de juego
- LEY 9 - El balón en juego y parado
- LEY 10 - El método de puntuación
- LEY 11 - Fuera de juego
- LEY 12 - Faltas y conducta antideportiva
- LEY 13 - Tiros libres
- LEY 14 - El tiro de penalti
- LEY 15 - El saque de banda
- LEY 16 - El saque de puerta
- LEY 17 - El saque de esquina
- Apéndice A - Reglas de Competencia
- Apéndice B - Expertos en Visión

## Notas

Masculino y Femenino

Las referencias al género masculino en las leyes con respecto a los árbitros, árbitros asistentes, el equipo y los miembros y funcionarios, se aplican por simplificación y se aplican tanto a hombres y mujeres.

### 2.1. LEY 1 - EL TERRENO DE JUEGO

#### Dimensiones

El campo de juego debe ser rectangular. Las dimensiones incluyen las líneas de contorno.

Longitud: 6050mm

Anchura: 4050mm

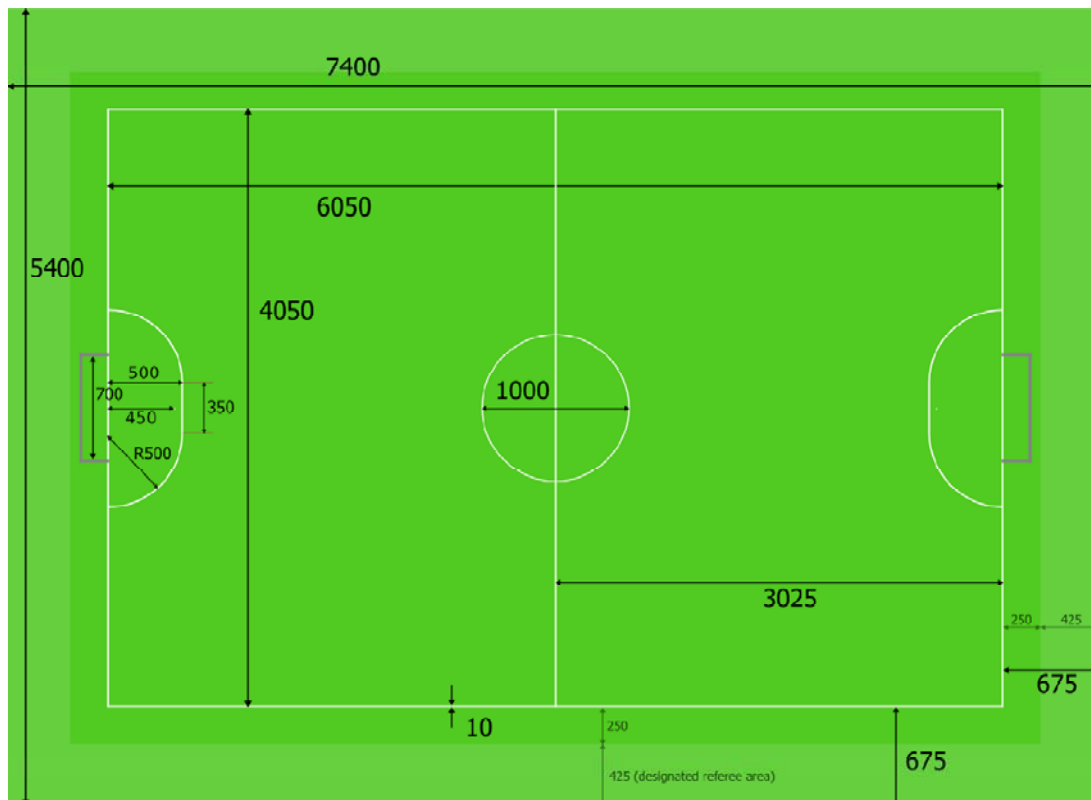


Figura 2.1. Dimensiones del campo de juego.

#### La superficie del campo

La superficie de juego es de color verde, de fieltro o moqueta. El suelo debajo de la alfombra debe estar nivelada, plana y dura.

La superficie del campo se aumentará 675 mm más allá de las líneas fronterizas por todo el contorno. Los 425mm del exterior de esta zona de escape se utilizan para el paso a pie del árbitro designado a esta la zona (véase la Ley 5). En el borde de la superficie del campo, una pared de 100 mm de altura impedirá que la pelota y los robots salgan fuera del borde exterior.

### **Campo de Marcas**

El campo de juego está marcado con líneas. Las líneas pertenecen a las áreas, de las que son las fronteras.

Los dos lados más largos se llaman los límites de contacto (las bandas). Los dos lados más cortos se llaman límites de gol.

Todas las líneas son de 10 mm de ancho y pintado de blanco.

El campo de juego se divide en dos mitades por una línea en mitad del campo.

La marca de centro se indica en el punto medio de la línea del centro. Un círculo con un diámetro de 1000mm se caracteriza a su alrededor.

### **El Área de Defensa**

Un área de la defensa se define en cada extremo del campo de la siguiente manera:

Dos cuartos de círculo con un radio de 500mm se dibujan en el terreno de juego. Estos cuartos de círculo están conectados por una línea paralela a la línea de meta. La configuración exacta se muestra en la figura 2.1.

La zona delimitada por este arco y la línea de meta es el área de defensa.

### **Punto de penalti**

Dentro de cada área de la defensa se marca un punto de penalti que se sitúa a 450 mm desde el punto medio entre los postes y equidistante a ellos. La marca es un círculo de 10 mm de diámetro de pintura blanca.

### **Porterías**

Las porterías deben ser puestas en el centro de cada límite de gol.

Constan de dos paredes laterales verticales de 160mm, unidas por la detrás por una pared vertical de 160 mm.

La cara interna de la meta tiene que ser cubierta con un material absorbente de energía como la espuma para ayudar a absorber los impactos de las bolas y disminuir la velocidad de las desviaciones. Respecto a las porterías, las paredes, los bordes, y las tapas son de color blanco.

Hay una barra redonda de acero con forma de cruz que recorre la parte superior de la portería y está dispuesta en paralelo a la línea de meta. No tiene de más de 10mm de diámetro, pero es lo suficientemente fuerte para desviar el balón. La parte inferior de la

barra está a 155mm de la superficie del campo, la barra es de color oscuro para reducir al mínimo la interferencia con los sistemas de visión. La parte superior de la meta está cubierta por una red fina para evitar que la bola pueda entrar en la portería desde arriba. Se sujeta de forma segura a la barra y las paredes de la portería.

La distancia entre las paredes laterales es de 700mm. La meta es de 180mm de profundidad. La distancia desde el borde inferior del larguero a la superficie de juego es de 150mm.

El piso interior de la portería es el mismo que el resto de la superficie de juego.

Las paredes de la portería son de 20mm de espesor.

Las porterías deben estar ancladas firmemente a la superficie de terreno.

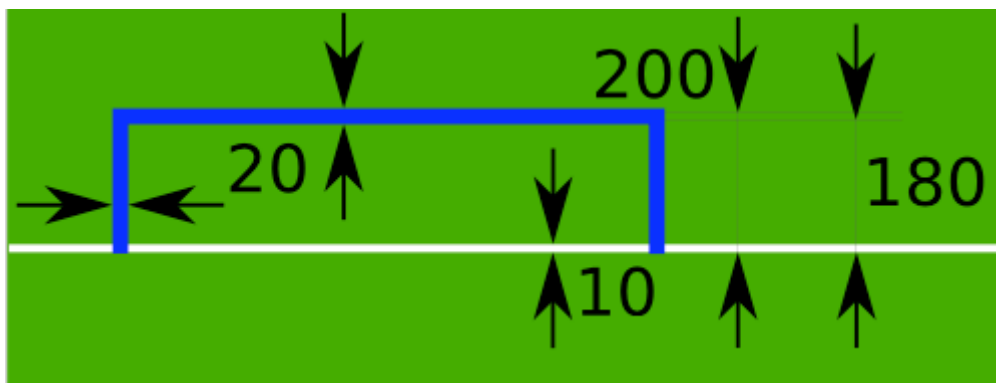


Figura 2.2. Portería en detalle.

### Equipo para montaje de las cámaras.

La barra de montaje tendrá de 4 m de longitud sobre el terreno. La barra se coloca por encima de la línea media del campo de meta a meta. La barra debe montarse de forma segura para que no se descuelgue bajo una fuerza externa pequeña, y no debe doblarse o torsionarse de manera significativa cuando el peso del equipo de vídeo sea añadido.

### Sistema de visión compartida

Cada campo está provisto de un sistema centralizado de visión compartida y un conjunto de cámaras compartidas. Este equipo de visión compartida utiliza el software “SSL-Vision” para comunicar los datos de localización a los equipos vía Ethernet en formato paquete que será anunciado por los desarrolladores del sistema compartido de visión antes de la competición. Los equipos tendrán que asegurarse de que sus sistemas son compatibles con la salida del sistema compartido de visión y de que sus sistemas son capaces de manejar las propiedades típicas de los datos de sensorización del mundo real proporcionados por el sistema de visión compartida (incluyendo ruido, retraso, o detecciones ocasionales fallidas y errores de clasificación).

Además del equipo de visión compartida, los equipos NO pueden montar sus propias cámaras u otros sensores externos, a menos que sean específicamente anunciados o permitidos por los respectivos organizadores de la competición.



El sistema de visión compartida en cada campo está bajo mantenimiento de uno o más expertos de visión. El proceso de selección de estos expertos será comunicado por los organizadores de la competición. El Apéndice B describe las labores de los expertos de visión.

## **Decisiones del Comité Técnico de la Liga Small Size**

### **Decisión 1**

El comité organizador local, debe procurar proporcionar uniformes, las condiciones de luz difusa de la aproximadamente 500 LUX o más brillante. No se utilizará un equipo especial de iluminación especial para proporcionar estas condiciones. El brillo no está garantizado ni se espera que esté completamente uniforme a través de la superficie del campo. Se espera que los equipos sean autosuficientes para hacer frente a las variaciones que se produzcan cuando se utiliza la iluminación ambiente. El comité organizador dará a conocer detalles de la iluminación de acuerdo a la competencia tan pronto como sea posible.

### **Decisión 2**

Ningún tipo de publicidad comercial, ya sea real o virtual, está permitido en el terreno de juego y el equipo de campo (incluidas las redes y las áreas que delimitan) desde el momento en que los equipos entran en el terreno de juego hasta el descanso y desde éste hasta el momento en que vuelven a entrar en el terreno de juego hasta el final del partido. En particular, ningún material de publicidad de cualquier tipo puede aparecer dentro de los objetivos o las paredes. Los equipos ajenos (cámaras, micrófonos, etc) también se ajustaran a estas normas.

### **Decisión 3**

El color específico y la textura de la superficie no se especifica y puede variar de una competencia a otra (como los campos de fútbol reales pueden variar). La superficie por debajo de la alfombra será nivelada y dura. Ejemplos de las superficies aprobadas incluyen: cemento, linóleo, pisos de madera, madera contrachapada, mesas de ping-pong y tableros de partículas, moqueta o superficies acolchadas no están permitidas. Todo el esfuerzo será hecho para asegurar que la superficie sea plana, sin embargo, corresponde a los equipos individuales el diseño de sus robots para hacer frente a la ligera curvatura de la superficie.





## 2.2. LEY 2 - EL BALÓN

### Calidades y Medidas

La pelota es una pelota de golf estándar de color naranja. Esta será:

- esférica
- de color naranja
- de aproximadamente 46 g de la masa
- de aproximadamente 43 mm de diámetro

### Sustitución de una pelota defectuosa

Si el balón se vuelve defectuoso durante el transcurso de un partido:

- el partido se detiene
- el partido se reanuda mediante la colocación de la bola de sustitución en el lugar donde la primera bola se convirtió en defectuosa.

El balón no puede ser cambiado durante el partido sin la autorización del árbitro.

## 2.3. LEY 3 – EL NÚMERO DE ROBOTS

### Robots

Un partido se juega con dos equipos, cada uno compuesto de no más de cinco robots, uno de las cuales deberá ser el portero. Cada robot debe ser claramente numerado de modo que el árbitro puede identificarlo durante el partido. El portero debe ser designado antes del comienzo del partido. Un partido no puede comenzar a menos que ambos equipos designen antes un portero.

### Intercambio

Los robots pueden ser intercambiados. No hay límite en el número de intercambios.

### Procedimiento de intercambio

Para el intercambio de un robot, las siguientes condiciones deben ser observadas:

- intercambio sólo puede hacerse durante una interrupción del juego.
- el árbitro ha sido informado antes de que el intercambio se haga.
- el robot de intercambio entra el campo de juego después de que el robot a sustituir ha sido eliminado.
- El robot intercambiado entra en el campo de juego en la línea del centro.



## **Cambiar el portero**

Cualquiera de los otros robots pueden cambiar de lugar con el portero, siempre que:

- el árbitro esté informado antes de efectuarse la modificación.
- el cambio se realiza durante una interrupción en el partido.

## **Robots Expulsados**

Un robot que ha sido expulsado se puede intercambiar por otro robot que sale del campo.

## **Las decisiones del Comité Técnico F180**

### **Decisión 1**

Cada equipo debe tener un único controlador de robot encargado de realizar el intercambio y del robot cuando sea necesario. No hay otros miembros del equipo que puedan invadir el área que rodean el campo. El movimiento de los robots por el controlador no está permitido.

## **2.4. LEY 4 - EL EQUIPO DE ROBÓTICA**

### **Seguridad**

Un robot no debe tener nada en su construcción, que sea peligroso para sí mismo, otro robot o para los mismos seres humanos.

### **Forma**

El robot debe entrar en un cilindro de 180mm de diámetro y tener una altura de 150mm o menor. Adicionalmente, la parte superior de robot debe aferrarse al tamaño y forma del Patrón Estándar como se describe más abajo en esta misma Ley.

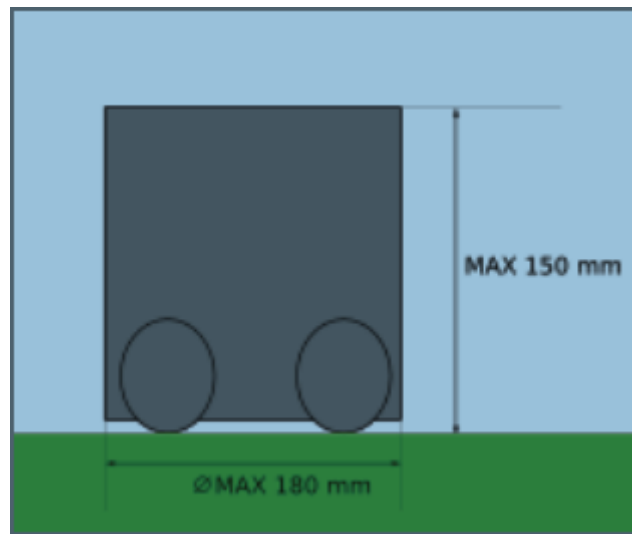


Figura 2.3. Dimensiones máximas robot.

### Los colores y marcadores

Antes de que un partido, cada uno de los dos equipos tienen un color asignado, es decir, amarillo o azul. Cada equipo debe ser capaz de usar marcadores de color amarillo y azul. Marcas circulares del color asignado deben ser puestas en la parte superior de los robots. El centro de la marca debe estar ubicado en el centro visual del robot cuando se ve desde arriba. Los marcadores deben tener un diámetro de 50 mm.

Los robots podrán utilizar colores en blanco y negro sin ninguna restricción. Los robots también pueden utilizar marcas de color verde claro, rosa y cian.

### Locomoción

Las ruedas del Robot (u otras superficies que entren en contacto con la superficie de juego) deben ser hechas de un material que no dañe la superficie de juego.

### Comunicación inalámbrica

Los robots pueden utilizar la comunicación inalámbrica con las computadoras o las redes situadas fuera del campo.

### Color del equipo

Antes del partido, a cada uno de los dos equipos se le asignará un color, siendo amarillo o azul. Todos los equipos tienen que ser capaces de ser de color amarillo y azul. El color de equipo asignado es usado como la marca central de todos los robots del equipo. El layout detallado del marcador está descrito en la siguiente sección “Patrón Estándar”.

## Patrón estándar

Todos los equipos participantes deben llevar la pegatina dada según los requerimientos de operación del sistema de visión compartida (ver Ley 1). En concreto, los equipos deben usar un determinado conjunto de colores y patrones estandarizados en la parte superior de su robot.

Para asegurar la compatibilidad con los patrones estandarizados del sistema compartido de visión, todos los equipos deben asegurarse de que todos sus robots tienen una superficie plana en su parte superior con espacio suficiente disponible. El color de la parte superior del robot será de color negro o gris oscuro y tener un acabado mate (no brillante) para reducir los deslumbramientos. El patrón estándar del SSL-Vision está garantizado para reconocer un círculo de 85mm de radio que cortará la parte frontal del robot a una distancia de 55mm desde el centro, como se muestra en la Figura 2.4. Los equipos deben asegurarse de que la parte superior de su robot cabe perfectamente en esta área.

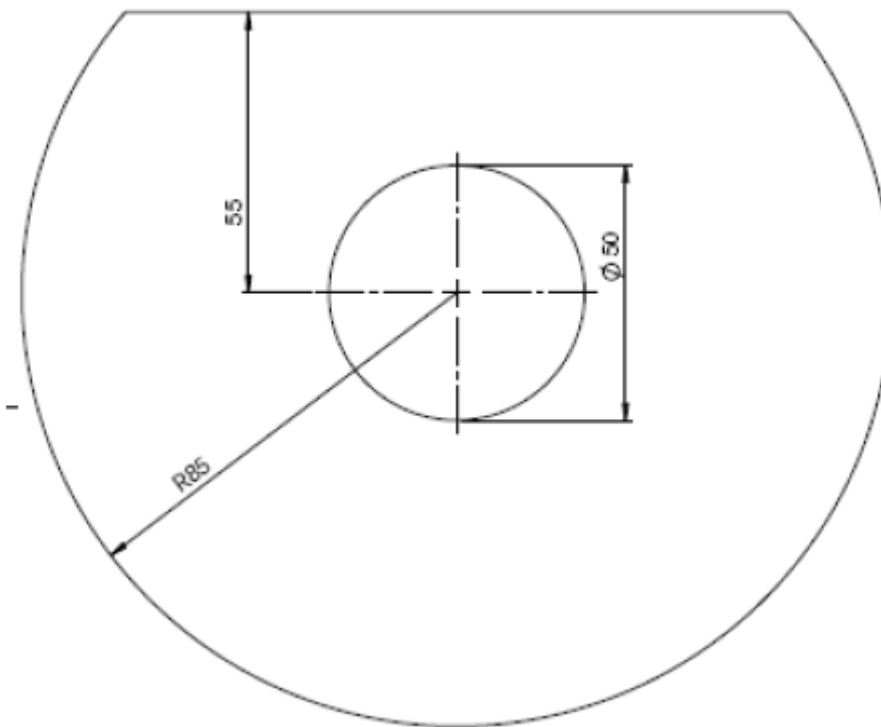


Figura 2.4. Área mínima superior del robot.

El patrón estándar que se usará por todos los equipos en el RoboCup 2010 se muestra en la Figura 2.5. Nota, los organizadores se reservan el derecho de cambiar el patrón en cualquier momento, si fuese necesario. Los equipos deben, por consiguiente, asegurarse de que todavía se mantiene conforme al tamaño de la parte superior del área estandarizado como se representa en la Figura 2.5.

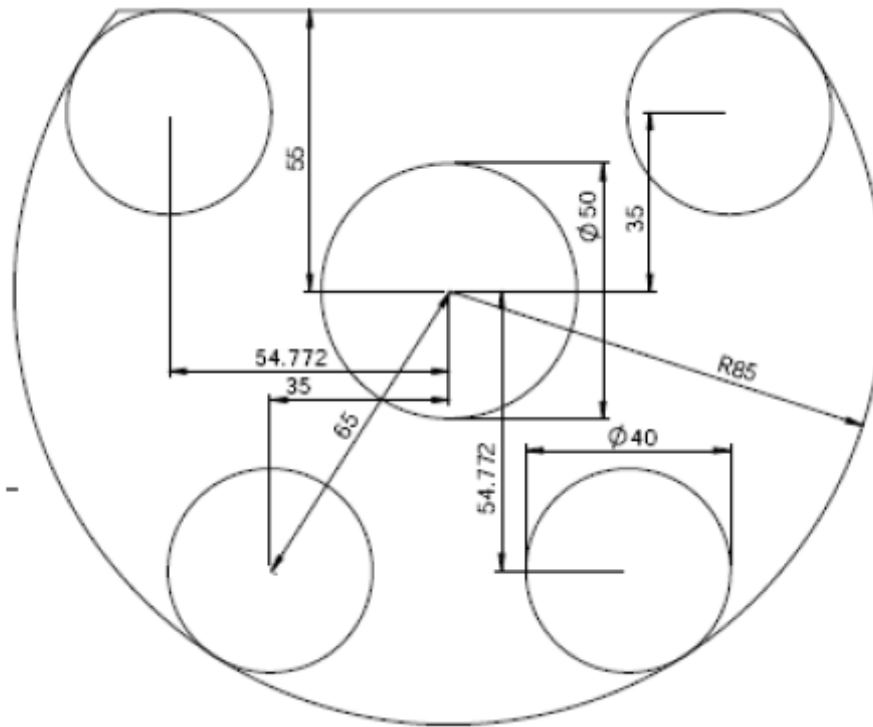


Figura 2.5. Patrón estándar para RoboCup 2010.

Cada robot debe utilizar el patrón estandarizado con una única combinación de colores seleccionada desde el conjunto estandarizado entre las posibles combinaciones de colores. No puede haber dos robots que usen la misma combinación de colores. El color del punto central determina el equipo y su color será o azul o amarillo.

El papel de colores estandarizado o cartulina con los colores requeridos será dado en la competición. El conjunto legal de asignaciones de colores se muestra en la Figura 2.6. Nota, los organizadores se reservan el derecho de cambiar esta asignación de colores en cualquier momento en caso de ser necesario.

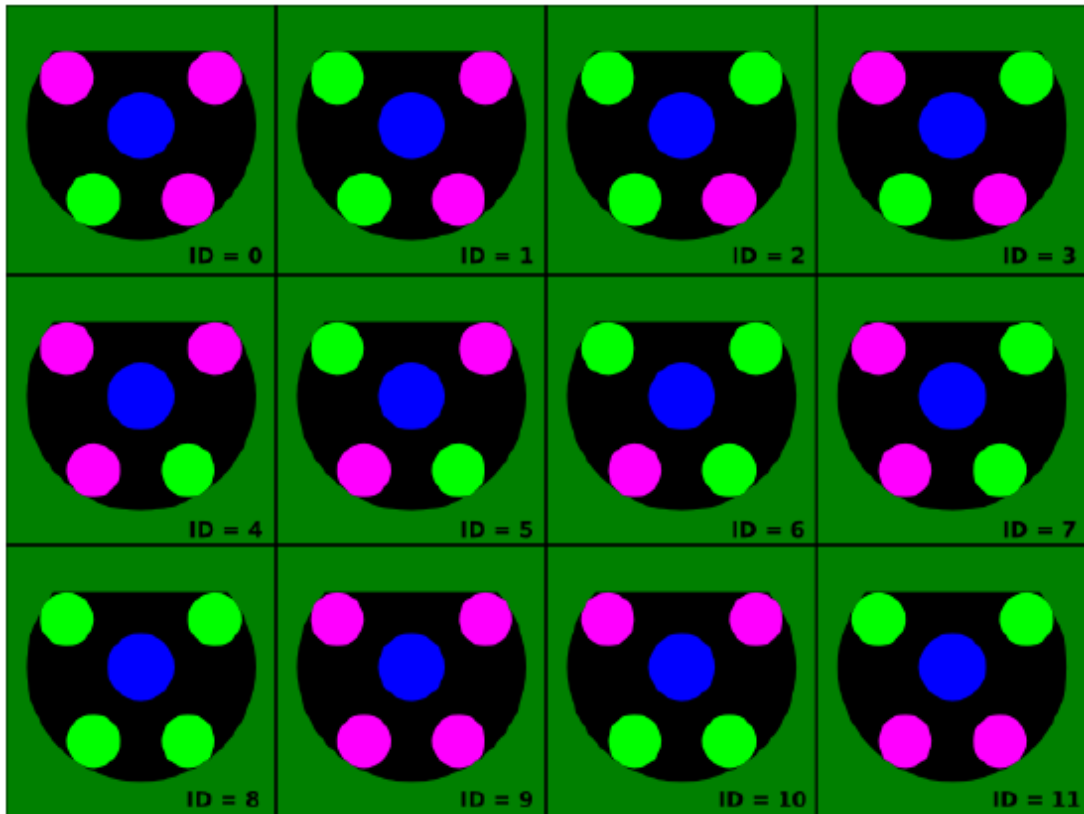


Figura 2.6. Asignaciones del color estándar para RoboCup 2010.

Se recomienda a los equipos seleccionar la asignación de colores con ID 0-7 ya que se ha comprobado experimentalmente que son más estables, así como que no hay riesgo de que los dos puntos de la parte trasera “se confundan” con los otros.

### Visión Global del Sistema

El uso de un sistema de visión global o de sistemas externos de visión distribuidos son permitidas, pero no necesarias para identificar y rastrear la posición de los robots y la pelota. Esto se logra mediante el uso de una o más cámaras. Las cámaras no pueden sobresalir más de 150mm por debajo de la parte inferior del montaje suministrado por el campo. (Ley 1).

### Autonomía

El equipo de robots será plenamente autónomo. Las operaciones humanas están permitidas, no se permite introducir información en el equipo durante un partido, excepto en el descanso o durante un tiempo de espera.

### Regateo

Los dispositivos que ejercen activamente un movimiento en la bola, para mantener la bola en contacto con el robot, se permiten bajo ciertas condiciones. El giro ejercido sobre la bola debe ser perpendicular al plano del campo. No se permiten dispositivos verticales o parcialmente verticales para mantener la bola en contacto con el robot en los lados del mismo. El uso de dispositivos de regateo también está restringido por la Ley 12, libre indirecto.

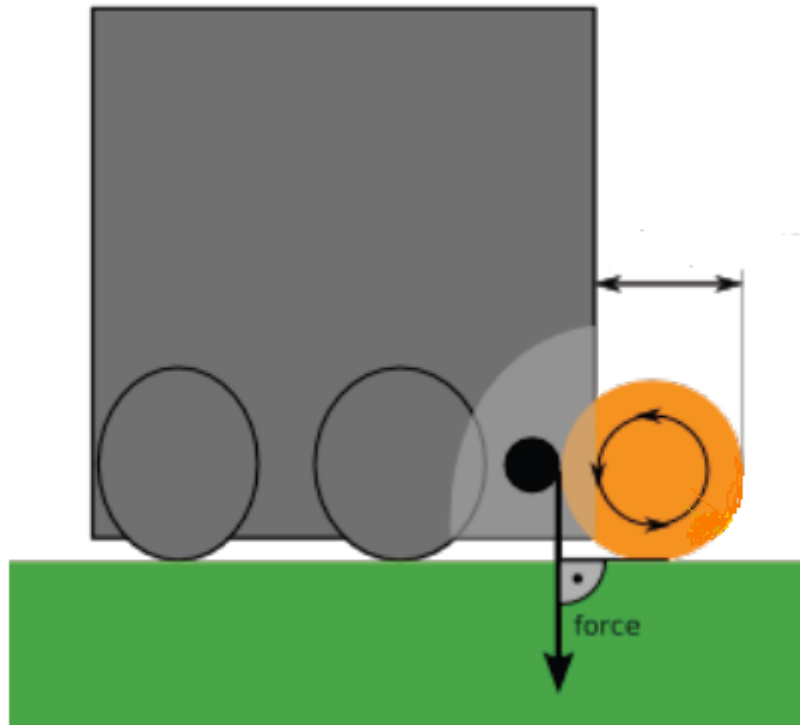


Figura 2.7. Sistema de regateo.

### Infracciones / Sanciones

Para cualquier infracción de la presente Ley:

- el juego no necesita ser detenido.
- el robot infractor es instado por el árbitro a abandonar el terreno de juego para corregir su equipo.
- el robot deja el campo de juego cuando la pelota deja de estar en juego.
- ningún robot obligado a abandonar el terreno de juego para corregir su equipo no vuelve a entrar sin el permiso del árbitro.
- el árbitro comprueba que el equipo del robot es correcto antes de permitir que vuelva a entrar en el terreno de juego.
- al robot sólo se le permite volver a entrar en el terreno de juego cuando el balón está parado.
- un robot que ha sido obligado a abandonar el terreno de juego debido a una infracción de la presente ley y que entra (o vuelve a entrar) al terreno de juego sin el permiso del árbitro es amonestado y se le muestra la tarjeta amarilla.

## **Reanudación del juego**

Si el juego es detenido por el árbitro debido a que se hace necesario toma alguna precaución:

- el partido se reanudará con un tiro libre indirecto a lanzar por un robot de la parte contraria, desde el lugar donde se encontraba el balón cuando el árbitro detuvo el partido.

## **Decisiones del Comité Técnico de la Liga Small Size**

### **Decisión 1**

Los participantes que utilizan las comunicaciones inalámbricas notificarán al comité organizador local el método de comunicación inalámbrica, potencia y frecuencia. El comité organizador local será notificado de cualquier cambio después de la inscripción tan pronto como sea posible.

Con el fin de evitar la interferencia, un equipo debe ser capaz de seleccionar entre dos frecuencias portadoras antes del partido. El tipo de comunicación inalámbrica se ajustará a las normas legales del país donde se celebre la competición. El cumplimiento de las leyes locales es responsabilidad de los equipos que compiten, no de la Federación RoboCup. El tipo de comunicación inalámbrica puede también ser restringido por el comité organizador local. El comité de organización local dará a conocer cualquier restricción a la comunidad lo antes posible.

### **Decisión 2**

- No permitir los dispositivos está permitido.

### **Decisión 3**

Puntas de metal y Velcro está específicamente prohibido con el propósito de la locomoción.

### **Decisión 4**

La comunicación inalámbrica Bluetooth no está permitida.

### **Decisión 5**

Los colores oficiales serán proporcionados por el comité organizador. Los equipos deben usar lo colores oficiales a menos que ambos equipos no estén de acuerdo.





## **Decisión 6**

Adhesivos, como pegamento o cinta no puede ser utilizado con fines de control del balón o para construir dribladores (sistemas de regateo). El uso de dispositivos que utilizan por ejemplo un adhesivo para adherir la pelota a un robot se consideran una violación de la Regla 12, Decisión 4, por "la eliminación de todos los grados de libertad de la pelota". Además, el uso de adhesivos para cualquier propósito en el robot que provoque residuos sobre el balón o el campo, se considera como daño y son sancionados según la Ley 12.

## **Decisión 7**

Un chequeo de las normas se realiza en todos los robots en la competición antes del primer partido. Si algún componente de cualquier robot se considera que infringe una norma debe ser modificado para ser compatible antes de que pueda participar en los partidos.

## **2.5. LEY 5 - EL ÁRBITRO**

### **La autoridad del árbitro**

Cada partido es controlado por un árbitro que tiene plena autoridad para hacer cumplir las Reglas de Juego en relación con el partido para el que ha sido nombrado.

### **Atribuciones y Deberes**

El árbitro:

- Hace cumplir las Leyes del Juego y controla el partido en cooperación con los árbitros asistentes.
- Se asegura de que cualquier pelota utilizada cumpla los requisitos de la Ley 2.
- Asegura que el equipo de robótica cumple con los requisitos de la Ley 4
- Informa a los árbitros asistentes de cuando comienzan y terminan los períodos de tiempo, de conformidad con la Ley 7.
- Se detiene, suspende o termina el partido, a su discreción, por cualquier infracción de las leyes.
- Se detiene, suspende o termina el partido debido a interferencias externas de cualquier clase.
- Se detiene el partido si, en su opinión, un robot es probable que cause daños graves a los seres humanos, otros robots o a sí mismo y asegura que se retira del terreno de juego.
- Colocar la bola en una posición neutral, si se queda atrapada durante el juego.
- Permite que el juego continúe si el equipo contra el que se ha cometido una falta se beneficia de tal ventaja y penaliza la falta original si no se produce dicha ventaja en ese momento.



- Castiga con la pena máxima cuando un robot comete más de una falta en el mismo tiempo.
- Toma medidas disciplinarias contra los robots infractores y puede expulsarlos. No está obligado a tomar esta medida inmediatamente, pero debe hacerlo cuando la pelota sale del terreno de juego.
- Toma medidas contra los responsables del equipo que no se comporten de una manera responsable puede a su discreción, expulsarlos del terreno de juego y sus alrededores inmediatos.
- Actúa con el asesoramiento de los árbitros asistentes en relación con incidentes que no ha visto
- Garantiza que ninguna persona no autorizada invada el terreno de juego.
- Reanudará el partido después de haber sido detenido.
- Proporciona al comité técnico de un informe del partido que incluye información sobre cualquier acción disciplinaria tomada contra los equipos y cualquier otro incidente ocurrido antes, durante o después del partido.
- Compruebe el estado del sistema de visión compartida con el/los experto(s) en visión (ver Apéndice B) antes de cada partido.
- Consiga confirmación del Experto(s) en visión de que ambos equipos reciben los datos de localización del sistema compartido de visión correcta y exactamente.
- Para el juego cuando el/los Experto(s) en visión lo digan durante un partido y deje que el/los Experto(s) en visión diagnostiquen y arreglen el problema. Si el/los Experto(s) en visión confirman que el problema está resuelto entonces el juego será reanudado inmediatamente.

### **Decisiones del árbitro**

Las decisiones del árbitro sobre hechos relacionados con el partido son determinantes.

El árbitro sólo puede cambiar una decisión al darse cuenta de que es incorrecta o, a su discreción, debido al consejo de un árbitro asistente, siempre que no haya reanudado el juego.

### **Equipo de señalización del Árbitro**

El dispositivo necesario se suministra para convertir las señales del árbitro en serie y Ethernet. Las señales de comunicación se transmiten a ambos equipos. Los equipos serán operados por el árbitro asistente. Los detalles del equipamiento serán suministrados por la organización local de Comité antes de la competición.

### **Señales del Árbitro**

Durante un partido, el árbitro de la señal de inicio y fin del juego en la forma habitual. El árbitro asistente enviará señales que reflejarán las decisiones del árbitro a cada uno de los equipos. Ninguna interpretación de las señales del árbitro por los operadores humanos está permitida.



La señal del silbato indica que el árbitro ha parado el juego, y que todos los robots deben separarse 500mm de la pelota para que el árbitro pueda colocar el balón para reiniciar el sistema. Todos los robots tienen la obligación de 500mm de la bola mientras esta se mueve a la posición de reiniciar.

Cuando se produce un gol (Ley 10), o una precaución o se produce una salida de la pelota del campo de juego (Ley 12), una señal de información es enviada a los equipos para indicar la decisión del árbitro.

El tipo de señal de reinicio indicará el tipo de reinicio.

Los robots deben moverse a posiciones legales a la recepción de esta señal. Para reiniciar otras acciones que no sean un saque inicial (Ley 8) o un penalti (Ley 14), el robot que saque puede patear el balón cuando esté listo, sin esperar más señales del árbitro.

Para un saque inicial (Ley 8), o un penalti (Ley 14), una señal de arranque será enviada para indicar que el Robot que lance puede proceder. Esta señal será distinta a otros tipos de señales de reinicio del juego.

Señales que indiquen los períodos de tiempo de espera y el tiempo perdido también se enviará cuando sea necesario.

Se considerará que el árbitro ha dado una señal cuando el árbitro asistente envíe esta señal a los equipos mediante las comunicaciones.

## **Decisiones del Comité Técnico de la Liga Small Size**

### **Decisión 1**

El árbitro (o en su caso, un árbitro asistente) no es responsable de:

- cualquier tipo de perjuicio sufrido por un componente del equipo o un espectador
- cualquier daño a la propiedad de cualquier tipo.
- cualquier otra pérdida sufrida por cualquier persona, club, empresa, asociación u otro organismo, que es debido o que puede ser debido a cualquier decisión que se tome en virtud de los términos de las leyes del juego o en el caso de los procedimientos normales requeridos para conservar, reproducir y controlar un partido.
- Esto puede incluir:
  - La decisión de que la condición del terreno de juego o sus alrededores son tales como para permitir o no a la permitir que un partido que tenga lugar.
  - la decisión de abandonar un partido por cualquier razón.
  - una decisión en cuanto a la condición de los accesorios o equipos utilizados durante un partido como el campo y la pelota.
  - la decisión de detener o no detener a un partido debido a la interferencia del espectador o cualquier problema en el área de los espectadores.



- la decisión de detener o no detener el juego para permitir que un robot dañado pueda ser eliminado del campo de la jugar para su reparación.
- la decisión de solicitar o insistir en que un robot dañado se retire del terreno de juego para su reparación.
- la decisión de permitir o no permitir a un robot ciertos colores.
- La decisión (en la medida en que esta puede ser su responsabilidad) para permitir o no permitir a las personas (incluyendo el equipo o funcionarios del estadio, oficiales de seguridad, fotógrafos u otros medios, representantes, etc.) para estar presentes en las inmediaciones del campo de juego
- de cualquier otra decisión que pueda tomar de acuerdo con las Reglas de Juego o de conformidad con sus obligaciones bajo los términos de la Federación RoboCup o las normas o regulaciones bajo las cuales se juega el partido.

### **Decisión 2**

Los hechos relacionados con el partido serán incluidos tanto si se marca un gol o no, así como el resultado del encuentro.

### **Decisión 3**

El árbitro debe usar un bastón negro, o algún otro dispositivo al reposicionamiento de la bola para reducir el riesgo de interferencias con los sistemas de visión.

### **Decisión 4**

El árbitro podrá ser asistido por árbitros autónomos proporcionados por uno o ambos de los equipos que compiten, si ambos equipos están de acuerdo.

La región externa de la superficie del campo que es más allá de 250mm de distancia de la línea divisoria es utilizada como zona de paseo designado por el árbitro y/o el árbitro asistente durante el juego.

Los equipos deben controlar a sus robots para permanecer fuera de esta zona para no interferir con los árbitros.

Los árbitros no son responsables de cualquier obstrucción a los robots o sistemas de visión dentro de esta área.

Sin embargo, los árbitros deberán llevar ropa y zapatos que no contienen ningún color reservado para la bola o los marcadores de los robots.

## 2.6. LEY 6 - EL ÁRBITRO ASISTENTE

### Deberes

El árbitro asistente nombrado, con sujeción a la decisión del árbitro, tiene las siguientes obligaciones:

- actuar como cronometrador y llevar un registro del partido.
- operar el equipo de comunicaciones para transmitir las señales del árbitro sobre los enlaces de comunicaciones.
- supervisar a los operadores de robots para evitar que señales ilegales sean enviadas a los robots.
- indicar cuándo se solicita un intercambio.
- indicar cuando una mala conducta o cualquier otro incidente se ha producido fuera de la vista del árbitro.
- indicar cuándo se comete una si los asistentes se acercan más a la acción que el árbitro (esto incluye, en determinadas circunstancias, las faltas cometidas en la defensa del área)
- indicar si, en los penaltis, el guardameta se ha movido hacia delante antes de que el balón ha sido golpeado y si el balón ha cruzado la línea de meta.

### Asistencia

Los árbitros asistentes también ayudan al árbitro a controlar el partido, de conformidad con las Leyes de del juego. En el caso de una interferencia indebida o conducta incorrecta, el árbitro dará liberar a un árbitro asistente de sus funciones y para un informe para comité organizador.

### Decisión 1

Un segundo árbitro asistente se utilizará siempre que sea posible. El árbitro asistente de segunda ayuda al árbitro en la colocación del balón en el campo, así como ayuda a vigilar el cumplimiento de todas las leyes y procedimientos.

## 2.7. LEY 7 - LA DURACIÓN DEL PARTIDO

### Períodos de juego

El partido tiene dos periodos iguales de 10 minutos, salvo mutuo acuerdo el árbitro y los dos equipos. Cualquier acuerdo para alterar los periodos de juego (por ejemplo, para reducir cada mitad a 7 minutos a causa de un horario limitado) debe hacerse antes el inicio del juego y deben cumplir con las normas de competencia.

## **Intermedio**

Los equipos tienen derecho a un intermedio a mitad del tiempo medio de un intervalo que no deberá exceder de 5 minutos.

Las normas de competencia deben indicar la duración del intermedio o descanso. La duración del descanso puede ser modificado únicamente con el consentimiento de ambos equipos y el árbitro.

## **Tiempos de espera**

A cada equipo se le otorga cuatro tiempos de espera al comienzo del partido. Se permite un total de 5 minutos para todos los tiempos de espera. Por ejemplo, un equipo puede tomar tres tiempos de espera de un minuto de duración y, posteriormente, sólo tienen un tiempo de espera de hasta dos minutos de duración. Los tiempos de espera sólo pueden ser consumidos durante una interrupción del juego. El tiempo es controlado y registrado por el árbitro asistente.

## **Indemnización por el tiempo perdido**

Se tiene en cuenta cualquier período de tiempo perdido para todos a través de: evaluación de los daños a los robots, la eliminación de los robots dañados en el terreno de juego y cualquier otra causa que suponga la pérdida de tiempo.

La indemnización por el tiempo perdido es a discreción del árbitro.

## **Tiempo Extra**

Las normas de competencia podrán prever dos tiempos suplementarios iguales a jugar. Las condiciones de la Ley 8 serán aplicadas.

## **Abandonar el partido**

Un partido abandonado se repite a menos que las normas de competencia dispongan otra cosa.

## **Decisiones del Comité Técnico de la Liga Small Size**

### **Decisión 1**

El comité organizador local hará todo lo posible para proporcionar acceso a los equipos de la competición al menos dos horas antes del inicio de la competición. También se esforzará por permitir al menos una hora de tiempo de configuración antes de cada partido. Los participantes deben ser conscientes, sin embargo, que puede ocurrir que este tiempo no se pueda proporcionar.

## Decisión 2

Dentro de estas reglas, el término "interrupción del juego" se usa para describir los momentos en que el modo de juego se encuentra en un estado detenido. El juego no se considera parado si los robots se detienen cuando se les permite golpear la pelota.

## 2.8. LEY 8 - INICIO Y REANUDACIÓN DEL JUEGO

### Preliminares

Si ambos equipos tienen una frecuencia preferida común para las comunicaciones inalámbricas, el comité organizador local asignará la frecuencia para la primera mitad del partido. Si ambos equipos tienen un color preferido común, el comité organizador local asignará el color de la primera la mitad del partido.

Se lanza una moneda y el equipo que gane el sorteo decidirá qué meta atacará en la primera la mitad del partido.

El otro equipo toma realiza el saque para comenzar el partido.

El equipo que gane el sorteo tiene el saque inicial para comenzar la segunda mitad del partido.

En la segunda mitad del partido, los equipos cambian de campo.

Si los equipos no están de acuerdo para cambiar campos, pueden permanecer en los mismos que el primer tiempo con el consentimiento del árbitro.

Si ambos equipos tienen una frecuencia común predefinida para las comunicaciones inalámbricas, los equipos deberían cambiar la asignación de esa frecuencia para la segunda mitad del partido. Los equipos pueden acordar no cambiar la asignación de la frecuencia predefinida para la segunda mitad del encuentro con el consentimiento del árbitro.

Si ambos equipos tienen una marca común de color preferido, los equipos deben cambiar los colores de marcado en la segunda mitad del partido. Si lo equipos no están de acuerdo para cambiar la marca de colores, no la cambiarán el consentimiento del árbitro.

### Saque desde el centro del campo

Un saque desde el centro del campo es una forma de iniciar o reiniciar el juego:

- en el inicio del partido.
- después de que un gol haya sido anotado.
- al comienzo de la segunda mitad del partido.
- al comienzo de cada período de tiempo adicional, cuando proceda.

Un gol puede ser anotado directamente desde el saque inicial.



## **Procedimiento**

- todos los robots se encuentran en su propia mitad del campo.
- los oponentes del equipo que toman el pistoletazo de salida están por lo menos a 500mm de la bola hasta que el balón esta en el juego.
- el balón está parado en el centro del campo hasta que el árbitro da la señal de saque.
- la pelota está en juego cuando es pateado y se mueve hacia delante.
- el lazador no podrá toca el balón por segunda vez hasta que haya tocado a otro robot.

Después de que un equipo anota un gol, el pistoletazo de salida es tomado por el otro equipo.

## **Infracciones / Sanciones**

Toda infracción que se enumeran en la Ley 9 se tratará en consonancia.

Para cualquier otra infracción de los saques de salida el procedimiento será:

- el pistoletazo de salida se repite.

## **Situando la pelota**

Es necesario colocar la pelota, por parte del árbitro, tras un paro temporal para reanudar el partido, mientras la bola está en juego, por cualquier razón no mencionada en otras partes de las leyes del juego.

## **Procedimiento**

Es necesario colocar la pelota, por parte del árbitro, tras un paro temporal para reanudar el partido, mientras la bola está en juego, por cualquier razón no mencionada en otras partes de las leyes del juego.

## **Infracciones / Sanciones**

La pelota se coloca de nuevo:

- si un robot está a menos de 500 mm de la pelota antes de que el árbitro de la señal.

## **Circunstancias especiales**

Un tiro libre concedido al equipo defensor dentro de su propia área de defensa se realiza desde la posición de tiro cercana a donde se produjo la infracción, elegida por el propio equipo.



Un tiro libre concedido al equipo atacante en el área de defensa de sus oponentes es lazado desde la posición legal predefinida de tiro libre más cercana al lugar donde se produjo la infracción.

Una pelota que esté en condiciones de reiniciar el partido después de que la jugada ha sido detenida temporalmente en el interior de la zona defensiva se coloca sobre la posición legal de tiro libre más cercana a donde se encontraba el balón cuando la jugada se detuvo.

## **2.9. LEY 9 - EL BALÓN EN JUEGO Y PARADO**

### **Balón parado**

La pelota está parada cuando:

- ha cruzado los límites del campo sea por el suelo o por el aire.
- el juego ha sido detenido por una señal del árbitro.

Cuando la bola sale fuera de juego, los robots deben seguir estando a 500 mm de la bola mientras ésta se coloca, hasta que la señal de reinicio es dada por el árbitro.

### **Balón en juego**

La pelota está en juego en cualquier otro momento.

### **Infracciones / Sanciones**

Si, en el momento en que el balón entra en juego, un miembro del equipo que saca esta a una distancia inferior de 200mm de la zona de defensa del oponente:

- si un tiro libre indirecto se concede al equipo contrario, el tiro se lanzará desde la ubicación en la que se encontraba la pelota cuando se produjo la infracción (véase la Ley 13).

Si, después de que el balón entra en juego, el pateador toca el balón por segunda vez antes de que lo haya tocado a otro robot:

- se concede tiro libre indirecto al equipo contrario, el lanzamiento será desde el lugar donde se produjo la infracción (véase la Ley 13).

Si, después de que el balón entra en juego, el pateador deliberadamente sostiene el balón antes de que lo haya tocado otro robot:

- un tiro libre directo es concedido al equipo contrario, el lanzamiento será desde el lugar donde se produjo la infracción (véase la Ley 13).

Si, después de darse una señal para reiniciar el juego, el balón no entra en juego en 10 segundos, o la falta de progreso indica claramente que la pelota no entrará en juego en 10 segundos:

- el juego se detiene por una señal del árbitro,



- todos los robots tienen que moverse a 500mm de la pelota, y
- se indica un saque neutral.

## **Decisiones del Comité Técnico de la Liga Small Size**

### **Decisión 1**

Para todos los reinicios en que las leyes establecen que la pelota está en juego bien sea golpeándola o regateando, los robots deben claramente hacer lo posible para que ésta se mueva. Se entiende que la pelota puede permanecer en contacto con el robot o ser golpeado por el robot varias veces a corta distancia, pero bajo ninguna circunstancia el robot mantendrá el contacto o se mantendrá tocando la pelota después de haber recorrido una distancia de 50mm, a menos que el balón haya tocado antes a otro robot.

Los robots pueden utilizar los dispositivos de regateo y patada en los saques de las faltas.

### **Decisión 2**

La zona de exclusión de 200mm de la zona de la defensa del oponente se designa para permitir a la defensa de los equipos tomar una posición defensiva contra un lanzamiento sin la interferencia de los oponentes. Este cambio se ha añadido para ayudar a los equipos de defensa contra saques de esquina en los que los equipos usan un “*saque-elevado*” y la pelota pasa directamente a la zona de defensa.

## **2.10. LEY 10 – MÉTODO DE TANTEO**

### **Puntuación de Gol**

Se marca un gol cuando el conjunto de la pelota pasa por encima de la línea de meta, entre las paredes de meta o por debajo del travesaño, sin que se haya cometido una infracción de las reglas de juego con anterioridad por parte del equipo que anotar el gol.

### **Equipo ganador**

El equipo que anota el mayor número de goles durante un partido es el ganador. Si los dos equipos marcan un número igual de goles, o si no marcó ningún gol, el partido se da como empatado.

### **Las normas de competencia**

Para los partidos que terminan en un empate, las normas de competencia podrán estipular un tiempo suplementario, u otro método aprobado por la Federación RoboCup para determinar el ganador del partido.

## **2.11. LEY 11 - FUERA DE JUEGO**

La regla del fuera de juego no se usa en esta competición.

## **2.12. LEY 12 - FALTAS Y CONDUCTA ANTIDEPORTIVA**

Las faltas y la conducta antideportiva se sancionan como sigue:

### **Tiro libre directo**

Un tiro libre directo es concedido al equipo adversario si un robot comete cualquiera de los siguientes cuatro infracciones:

- hacer contacto sustancial con un oponente.
- retener un oponente.
- sostener el balón deliberadamente (excepto para el guardameta dentro de su ámbito de la defensa propia).
- es el segundo robot de la defensa y a la vez ocupa el área de la defensa del equipo de tal forma de afectar sustancialmente el juego.

Un tiro libre se lanza desde donde se cometió la falta.

### **Tiro de Penalti**

Un tiro de penalti se otorga si alguna de las anteriores cuatro infracciones es cometida por un robot dentro del área de defensa propia, independientemente de la posición de la pelota, siempre y cuando ésta esté en juego.

### **Tiros libres indirectos**

Un tiro libre indirecto se concede al equipo contrario si el guardameta, dentro de su propia área defensiva, comete cualquiera de las siguientes infracciones:

- Transcurren más de quince segundos mientras sostiene la pelota antes de liberarla de su posesión.
- tiene el balón de nuevo después de haber sido liberado de su posesión y no lo ha tocado otro robot.

Un tiro libre indirecto además es concedido al equipo adversario si un robot:

- entra en contacto con el portero y el punto de contacto está en el área de defensa.
- conduce el balón a una distancia superior a 500mm
- tocó la pelota de tal manera que la parte superior de la bola alcanza una altura superior a 150mm respecto del suelo y el balón entra en la meta de su oponente, salvo que haya sido tocado previamente por un compañero de equipo, o que manteniéndose en contacto con el suelo alcance dicha altura y entre en la meta de su oponente debido a un rebote.



- patea la pelota de tal manera que supera los 10 m/s de velocidad.
- comete cualquier otra infracción, que no se haya mencionado anteriormente en la Ley 12, por la que se interrumpirá el juego por precaución o para expulsar al robot.

El tiro libre se lanza desde donde se cometió la falta.

### **Sanciones disciplinarias**

Un equipo será amonestado y recibirá la tarjeta amarilla si un robot del comete cualquiera de las siguientes infracciones:

1. es culpable de conducta antideportiva.
2. es culpable de graves y violentos contactos.
3. infringe persistentemente las Reglas de Juego.
4. retrasa la reanudación del juego.
5. no respetar la distancia reglamentaria cuando el juego se reanudará con un saque de meta, saque de esquina o tiro libre.
6. modifica o provoca daños en el campo o pelota.
7. deliberadamente entren o se desplacen dentro de la zona de tránsito del árbitro.

Al recibir una tarjeta amarilla, un robot del equipo penalizado debe mover inmediatamente fuera y ser removido del campo. Después de dos minutos de juego (según lo medido por el árbitro asistente utilizando el tiempo de juego oficial) el robot puede entrar de nuevo en el campo en la próxima parada del juego.

### **Expulsión de sancionados**

Un equipo recibe la tarjeta roja si uno de los robots o el equipo es culpable de un comportamiento antideportivo grave. El número de robots en el equipo se reduce en uno después de cada tarjeta roja.

## **Decisiones del Comité Técnico de la Liga Small Size**

### **Decisión 1**

Contacto importante es el contacto suficiente para desalojar al robot de su orientación actual, posición o movimiento en el caso de que se esté moviendo. Cuando los dos robots se mueven a velocidades similares, y la causa de contacto no es evidente, el árbitro permitirá que el juego continúe. Esta ley está diseñada para proteger a los robots que son lentos o permanecen estacionarios en el momento del contacto, y por tanto deben ser detectados por los sistemas de evasión de obstáculos.

### **Decisión 2**

Las precauciones para evitar contactos graves y violentos son una manera de desalentar a los equipos al ignorar el espíritu del principio de no contacto. Como ejemplos de

infracciones amonestables se incluyen el movimiento incontrolado, las malas evasiones de obstáculos, empujar o girar rápidamente mientras se está junto a un oponente. En un escenario típico, el árbitro podrá advertir al equipo, y se espera que se modifique su sistema a fin de reducir la violencia de su juego. Si el árbitro aún no está satisfecho, dictará una amonestación.

### Decisión 3

Un robot que se coloca en el campo, pero claramente no es capaz de moverse, será sancionado por conducta antideportiva.

### Decisión 4

Un robot está reteniendo el balón si toma el control total del balón mediante la eliminación de todos sus grados de libertad, por lo general, la fijación de un balón en el cuerpo o rodear un balón con el cuerpo para prevenir el acceso de otros. El 80% de la superficie de la bola cuando se ven desde arriba debe estar fuera de la parte convexa que rodea el robot. Otro robot debe ser capaz de quitar el balón a otro robot que posee la pelota. Esta limitación se aplica también a todos los dispositivos de regateo y patada, incluso si tal infracción es momentánea.

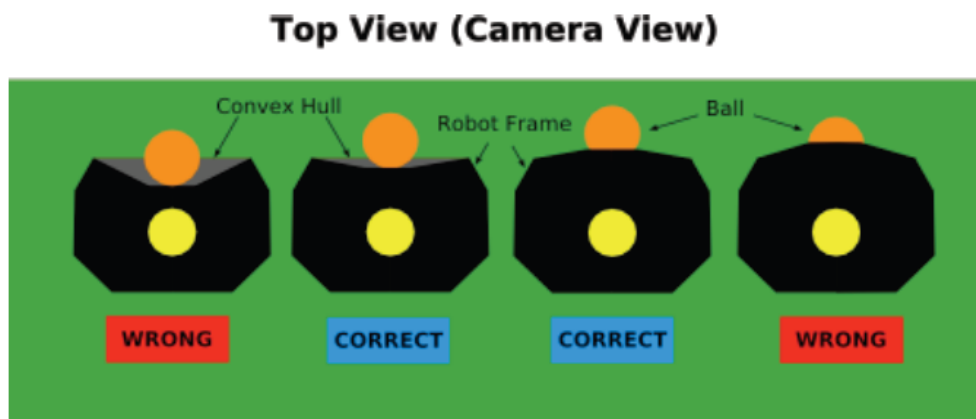


Figura 2.8. Cómo se debe coger la pelota.

### Decisión 5

Un robot comienza el regateo cuando tiene contacto con el balón y se detiene el regateo cuando hay una separación observable entre la pelota y el robot.

La restricción de la distancia en el regateo se añadió para evitar que un robot con una mecánica superior pudiera tener un indiscutible control de la pelota en el ataque. La restricción de la distancia, no obstante, permite a los atacantes dar y recibir pases, girar con el balón, y detenerse con la pelota. Los sistemas de regateo se pueden utilizar para regatear a grandes distancias con el balón, siempre y cuando el robot pierda periódicamente la posesión, tales pérdidas pueden ser patear la pelota delante de él como hacen a menudo los jugadores de fútbol humano comité técnico espera que la

regla de distancia sea auto-forzada, es decir, que los equipos dispongan de un software que la cumpla con antelación, y se les pueda pedir una demostración previa a una competición.

Los árbitros, sin embargo, podrán seguir señalando faltas y pueden señalar amonestaciones (tarjeta amarilla) por situaciones de violación sistemática de dicha regla.

### **Decisión 6**

La limitación de velocidad de disparo de la pelota ha sido añadido para prevenir que un robot con un disparo mecánicamente superior tenga demasiada ventaja sobre sus oponentes, o patear la pelota a una velocidad no apta para los espectadores. También se cree que esto ayudará a fomentar el juego en equipo sobre la capacidad de solo robot.

### **Decisión 7**

La norma sobre la subida al marcador cuando el lanzamiento ha sido producido mediante un tiro parabólico o “picado de la pelota”. Esta norma se redacta debido a que en las competiciones anteriores hubo algunas confusiones que se produjeron después de que los robots picaran la pelota y se produjeran goles en propia puerta. Por esta razón, una interpretación estricta de esta regla, es dada aquí:

- Si un robot lanza la pelota picada (no importa a qué altura se desplaza) a un compañero de equipo y la bola posteriormente, entra en propia meta, el tanto se dará como válido para el equipo oponente.
- Si un robot pica pelota por encima de un adversario y el balón, posteriormente entra en la propia meta, después de permanecer por debajo de 150mm de altura todo el tiempo después haber tocado al robot oponente, el equipo oponente también obtiene un tanto.
- Si un robot pica la pelota por encima de un adversario y el balón, posteriormente entra en propia meta después de haber estado por encima de 150mm durante algún tiempo (y no habiendo estado en contacto permanente con el suelo después), después de tocar al robot oponente, el equipo oponente no puntúa.

### **Decisión 8**

La infracción cometida al entrar deliberadamente en la zona de tránsito del árbitro fue añadido para desalentar a los equipos de la conducción de vehículos por esta zona para obtener ventajas tácticas. En particular, debe prevenir que los equipos exploten el hecho de que otros equipos no podrían tener cobertura de visión del árbitro caminando por dicha área. Se entiende que en ocasiones un robot puede entrar en la zona si está fuera de control, o si ha sido empujado a esta área. Estos casos no deben ser considerados infracciones. Sin embargo, la decisión final en cuanto a lo que constituye una violación deliberada del reglamento se deja al árbitro.

## 2.13. LEY 13 - TIROS LIBRES

### Tipos de Tiros Libres

Serán directos o indirectos.

Tanto en los directos como en los indirectos, la bola debe ser parado cuando se comete la falta y el lanzador no puede tocar el balón por segunda vez hasta que lo haya tocado otro robot.

### El tiro libre directo

- si un tiro libre entra directamente en la meta del oponente, se concede un gol.
- si un tiro libre entra directamente a gol en propia meta, se concede un gol al equipo oponente.

### El tiro libre indirecto

#### El balón entra en la meta

Se concede un gol solamente si el balón toca posteriormente a otro robot antes de que entre el balón entre en la portería.

- si un tiro libre indirecto entra directamente en la meta del oponente, se concede un saque de puerta.
- si un tiro libre indirecto entra directamente en la propia meta del equipo, se concede un saque de esquina al equipo contrario.

### Procedimiento para los tiros libres

Si el tiro libre se concede dentro del área de defensa, el tiro libre se lanza desde un punto a 600mm de la línea de gol y a 100mm desde la línea de contacto más cercana a donde se produjo la infracción.

Si el tiro libre es concedido al equipo atacante a 700mm de la zona de defensa, la pelota está se traslada al punto más cercano a 700mm desde el área de defensa.

Por el contrario, el tiro libre se lanza desde el lugar donde se produjo la infracción.

Todos los robots oponentes se colocarán a una distancia mínima de 500mm de la pelota.

La pelota está en juego cuando es pateada y se mueve.

### Infracciones / Sanciones

Si, cuando se lanza un tiro libre, el oponente más cercano a la bola no se encuentra a la distancia requerida:

- el tiro se repetirá

Toda infracción que se enumera en la Ley 9 se tratará en consonancia.

Para cualquier otra infracción de la presente Ley:

- el tiro se repetirá.

## **2.14. LEY 14 - EL TIRO DE PENALTI**

Un tiro de penalti se otorga contra un equipo que cometa una de las cinco infracciones por las que se concede un tiro libre directo, dentro de su área de defensa y mientras la bola está en juego.

Un gol puede ser anotado directamente de un tiro de penalti.

El tiempo adicional permitido para un tiro de penalti se añadirá al final de cada mitad o al final de los períodos de tiempo extra.

### **Posición de la bola y los Robots**

El balón:

- se coloca en el punto de penalti.

El robot de lanza el penalti:

- está debidamente identificado

El guardameta defensor:

- se mantiene entre los postes de la portería, toca la línea de meta, y la cara externa de la meta, hasta que el balón ha sido pateado. Se le permite el movimiento antes de que el balón haya sido golpeado, siempre y cuando no se infrinja alguna de estas restricciones.

Los robots que no sean los lanzadores se encuentran:

- dentro del campo de juego.
- detrás de una línea paralela a la línea de gol y a 400mm detrás del punto penalti.

### **El árbitro**

- no da la señal de lanzamiento de penalti hasta que los robots han tomado posición de conformidad con la Ley.
- decide cuando un tiro penal se ha completado.

### **Procedimiento**

- el robot que lanza el penalti, golpea la pelota hacia delante.
- no toca el balón por segunda vez hasta que haya sido tocado por otro robot.



- la pelota está en juego cuando es golpeada y se mueve hacia delante.

Cuando un tiro de penalti se lanza durante el curso normal del juego, o el tiempo se ha ampliado en la primera mitad o al final del partido para permitir que un lanzamiento de penalti sea lanzado. Se concede un gol si entra directamente o si antes de que el balón pase entre los postes y por debajo del travesaño:

- la pelota toca uno o ambos postes de la portería y/o el travesaño, y/o el portero.

### **Infracciones / Sanciones**

Si el árbitro da la señal de un tiro de penalti y, antes de que el balón esté en juego, se produce una de las siguientes situaciones:

El robot que lanza el penalti infringe las Reglas del Juego:

- el árbitro permitirá que continúe la jugada.
- si el balón entra en la meta, se repetirá el tiro.
- si el balón no entra en la meta, el lanzamiento no se repetirá.

El guardameta infringe las Reglas de Juego:

- el árbitro permitirá que continúe la jugada.
- si el balón entra en la meta, se concede un gol.
- si el balón no entra en la meta, se repetirá el tiro.

Un compañero del robot que lanza, penetra en el área de los 400mm detrás del punto de penalti:

- el árbitro permitirá que continúe la jugada.
- si el balón entra en la meta, se repetirá el tiro.
- si el balón no entra en la meta, el lanzamiento no se repetirá.
- si el balón rebota en el guardameta, el travesaño o el poste de la meta y es tocado por el presente robot, el árbitro interrumpirá el juego y reanudará el partido con un tiro libre indirecto a favor del equipo que defiende.

Un compañero del guardameta penetra en la zona de los 400mm detrás del punto de penalti:

- el árbitro permitirá que continúe la jugada.
- si el balón entra en la meta, se concede un gol.
- si el balón no entra en la meta, se repetirá el lanzamiento.

Un robot de ambos equipos, de la defensa y el equipo atacante, infringen las Reglas de Juego:

- el tiro se repetirá.

*Si, tras el cumplimiento de la pena:*

Toda infracción que se enumeran en la Ley 9 se tratará en consonancia.

El balón es tocado por un agente externo, y se mueve hacia delante:

- el tiro se repetirá.

El balón rebota en el terreno de juego tras tocar al guardameta, el travesaño o los postes, y es entonces tocado por un agente externo:

- el árbitro detiene el juego.
- juego se reanuda con un toque neutral en el lugar donde la pelota tocó al agente externo (véase la Ley 13).

## **2.15. LEY 15 - EL SAQUE DE BANDA**

Un saque de banda, es un método de reinicio el juego.

Un gol no puede ser marcado directamente desde un saque de banda.

Un saque de banda se concede:

- cuando la totalidad de la pelota pasa por encima del límite de contacto (línea de banda), ya sea por tierra o por aire.
- desde el punto, a 100mm, perpendicular a la línea de banda donde la pelota cruzó el límite.
- a los opositores del último robot que toca el balón.

### **Procedimiento**

- El árbitro pone el balón en la posición designada.
- Todos los robots oponentes se distancian por lo menos 500mm de la pelota.
- La pelota está en juego cuando es pateada y se mueve.

### **Infracciones / Sanciones**

Si, cuando un saque de banda se realiza, un oponente está más cercano a la bola de la distancia requerida:

- el saque de banda se repetirá.

Toda infracción que se enumeran en la Ley 9 se tratará en consonancia.

Para cualquier otra infracción:

- el tiro se repetirá.



## 2.16. LEY 16 - EL SAQUE DE PUERTA

Un saque de puerta es un método de reinicio el juego.

Un gol puede ser anotado directamente por un saque de puerta, pero sólo si entra en la portería contraria.

Un saque de puerta es otorgado cuando:

- la totalidad de la pelota, después de haber sido tocada por un robot del equipo atacante, pasa por encima de la línea de límite de gol ya sea por tierra o aire, y no se concede un tanto de conformidad con la Ley 10.

### Procedimiento

- la pelota es pateada desde el punto a 500mm de la línea de gol y 100mm de la línea de banda más cercano a donde la pelota pasó por la línea de gol.
- los opositores siguen estando a 500mm de la bola hasta que el balón está en juego.
- el lanzador no puede jugar el balón por segunda vez hasta que haya tocado a otro robot.
- la pelota está en juego cuando es golpeada y se mueve.

### Infracciones / Sanciones

Toda infracción que se enumeran en la Ley 9 se tratará en consonancia

Para cualquier otra infracción de la presente Ley:

- el tiro se repetirá.

## 2.17. LEY 17 - EL SAQUE DE ESQUINA

Un saque de esquina es un método de reinicio el juego.

Un gol puede ser anotado directamente de un saque de esquina, pero solamente contra el equipo contrario.

Un saque de esquina se concede cuando:

- la totalidad de la pelota, después de haber tocado un robot del equipo defensor, pasa por encima de la línea de gol, ya sea por tierra o aire, y no se concede un gol de conformidad con la Ley 10.



### **Procedimiento**

- la pelota es golpeada desde la esquina más cercana, a 100mm en la línea de gol y de la línea de banda.
- los contrarios siguen estando a 500mm de la bola hasta que el balón está en juego.
- el lanzador no puede jugar el balón por segunda vez hasta que haya tocado a otro robot.
- la pelota está en juego cuando es golpeada y se mueve.

### **Infracciones / Sanciones**

Toda infracción que se enumera en la Ley 9 se tratará en consonancia.

Para cualquier otra infracción:

- el tiro se repetirá.



## **2.18. APÉNDICE A - REGLAS DE COMPETENCIA**

Este apéndice describe los procedimientos adicionales para la Small Size League.

### **Tiempo Extra**

Si el resultado del partido es de empate después del final del segundo período y el partido necesita terminar con un claro ganador, se jugará un tiempo extra (como se indica en las leyes 7 y 10). Antes de la primera mitad del tiempo extra, habrá un intervalo que no deberá exceder de 5 minutos.

### **Períodos de juego durante el tiempo extra**

El tiempo extra dura dos períodos iguales de 5 minutos, salvo mutuo acuerdo entre el árbitro y los dos equipos participantes. Cualquier acuerdo para alterar los períodos de tiempo extra (por ejemplo, para reducir cada mitad a 3 minutos a causa de un horario limitado) debe hacerse antes del inicio del juego y deben cumplir con las normas de competencia.

### **Tiempo extra**

Los equipos tienen derecho a un descanso en el intervalo entre las dos mitades del tiempo extra. El plazo de tiempo no debe exceder de 2 minutos.

La duración del descanso en dicho intervalo de tiempo puede ser modificado únicamente con el consentimiento de ambos equipos y el árbitro.

### **Tiempos de espera**

Cada equipo tiene asignado dos tiempos de espera en el comienzo del tiempo extra. Se permite un total de 5 minutos para todos los tiempos de espera. El número de tiempos de espera y el tiempo, no utilizados en el juego regular, no se agregan. Los tiempos de espera en el tiempo extra siguen las mismas reglas que en el juego regular (indicado en la ley 7).

### **Tanda de penaltis**

Si el partido termina en empate después del final de la segunda parte de la prórroga, el resultado final se decidirá en los penaltis.

### **Preparación**

Antes del inicio de los penaltis, habrá un intervalo que no deberá exceder de 2 minutos. Este tiempo, se designa para ser utilizado por los equipos en el diálogo con el árbitro y sus asistentes para comprobar que la posición del portero es correcta (en la línea) y que todas las demás normas se cumplen como se indica en la ley 14. El árbitro determina (por ejemplo, lanzando una moneda), qué equipo defiende la portería, así como qué equipo tiene que lanzar el primer penalti.



## **Procedimiento**

Durante los tiros desde el punto de penalti, un máximo de 2 robots por equipo estarán en el campo con el fin de evitar interferencias. Los tiros desde el punto penalti se harán alternativamente por parte de ambos equipos hasta que cada equipo haya lanzado 5 sanciones. Para todos los lanzamientos, se aplican las normas de la ley 14. Un segundo tiro (por ejemplo, si la pelota rebota en la portería o un poste de la portería) o el robot que lanza recuperarse la pelota, no puntuará. Durante los lanzamientos, desde el punto penalti no habrá tiempos muertos. Los robots pueden ser intercambiados entre los lanzamientos siguiendo las reglas de intercambio de la ley 3. Como el intercambio de los papeles entre ambos equipos costaría demasiado tiempo y se forzaría a los equipos a variar sus sistemas, se usarán ambas porterías.

Si después de 10 tiros no hay un vencedor, cada equipo tiene un lanzamiento de penalti en el mismo orden en que lo hicieran anteriormente. Este procedimiento (un penalti por equipo) se continúa hasta que haya un vencedor.

## 2.19. APÉNDICE B – EXPERTOS EN VISIÓN

Durante las competiciones, los expertos en visión están a cargo del sistema compartido de visión de cada campo. La asignación y tiempo de su período de servicio es designado por los organizadores de la competición. Esto deber hecho de tal forma que cada sistema de visión compartido tenga asignado, al menos, un experto en visión.

### Deberes

El experto en visión:

- Comprobar el hardware del sistema compartido de visión e informar de cualquier problema relacionado con esto al TC/ organizadores locales.
- Hacer el proceso de calibración del SSL-Vision cuando sea necesario o los equipos lo requieran durante los tiempos de configuración.
- Calibrar o realizar el mantenimiento durante el partido del SSL-Vision cuando el árbitro lo requiera.
- Antes de cada partido, comprobar que ambos equipos reciben los paquetes del SSL-Vision correctamente.
- Antes de cada partido, comprobar que ambos partidos utilizan los correctos patrones estandarizados, que la altura de sus robots está calibrada con exactitud y que los datos de localización recibidos son correctos.
- Vigilar el estado del sistema compartido de visión durante el partido y reportar inmediatamente cualquier tipo de problema al árbitro.
- Recibir las quejas de los equipos sobre el sistema de visión compartido durante el partido y, si fuera necesario, preguntar al árbitro para parar el juego de tal forma que se pueda diagnosticar y solucionar el problema.
- Avisar al árbitro si hay alguna queja no solucionable de algún equipo acerca del sistema de visión. En este caso, el árbitro, tiene la autoridad definitiva para fallar en cualquier modo con respecto sus poderes y deberes (ver Ley 5), incluyendo la habilidad para avisar y(o sancionar a los equipos de mal comportamiento si las exigencias de los equipos son infundadas y continúan obstruyendo el juego (ver Sanciones Disciplinarias en Ley 12).



## *CAPÍTULO 3*

### **3. COMPOSICIÓN DEL ROBOT F180**

---

Este capítulo expone una breve descripción de la arquitectura del sistema para que el lector del presente documento pueda entender la funcionalidad de sus partes y por tanto los posteriores capítulos del proyecto.

Como se ha visto anteriormente en la reglamentación un equipo de fútbol consta como mucho de 5 robots y cada uno debe caber en cilindros de 180 mm de diámetro y 150mm de altura en caso de la implementación de visión global y 225 mm en caso de visión local. Para el caso de visión global se coloca una cámara sobre la barra situada sobre el campo a 4 m. de altura. En el transcurso del encuentro los robots utilizan comunicación inalámbrica mediante la cual el PC central que está fuera del campo, les envía información sobre su posición, la estrategia del juego, etc.

En general la arquitectura del sistema puede ser dividido en cuatro partes bien diferenciadas:

1. Sistema de visión.
2. Sistema de inteligencia artificial.
3. Sistema de control del árbitro.
4. Los propios robots.

A continuación se muestra el esquema de los subsistemas enumerados anteriormente. Desarrollo de una plataforma hardware para la Robocup Small Soccer League (SSL).



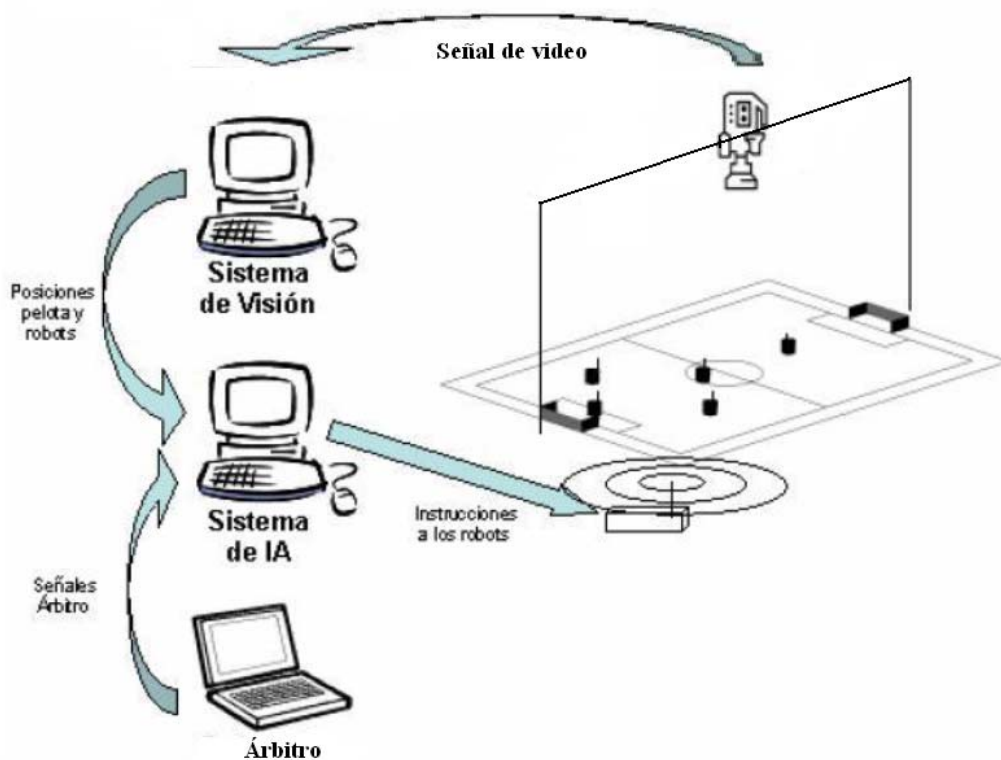


Figura 3.1. Arquitectura del sistema.

Generalmente el sistema de visión y el sistema de inteligencia artificial están dentro de un mismo ordenador.

### 3.1. SISTEMA DE VISIÓN

El objetivo del Sistema de Visión es calcular la posición y orientación de los robots en el ambiente. Recibe información por medio de una o varias cámaras de video, procesa las imágenes para identificar a los objetos de interés y envía sus resultados al Sistema de Inteligencia Artificial.

### 3.2. SISTEMA DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

El Sistema de Inteligencia Artificial recibe la posición y orientación de los robots del equipo y la posición de la pelota y los robots contrarios. Además el árbitro del partido utiliza un Sistema de Control para informar al Sistema de Inteligencia Artificial del estado del partido y enviar eventos que afectan el desarrollo del encuentro. La función principal del Sistema Inteligencia Artificial consiste en tomar decisiones estratégicas que afectan el comportamiento de los robots en el encuentro, así como responder a los comandos que el Control del Árbitro le envía. El Sistema de Inteligencia Artificial envía instrucciones a los robots por medio de un módulo de comunicación inalámbrica.



### 3.3. SISTEMA DE CONTROL DEL ÁRBITRO

La persona del árbitro se encarga de vigilar que el partido transcurra según la reglamentación establecida usando un silbato y su voz. El asistente, según esas indicaciones opera sobre un sistema para controlar el estado del juego enviando las correspondientes señales a los Sistemas de Inteligencia Artificial de los equipos.

### 3.4. ROBOTS

Los robots se encargan de jugar fútbol y para lograrlo deben ofrecer la siguiente funcionalidad básica:

- Deben ser capaces de desplazarse dentro de la cancha.
- Requieren “patear” la pelota para enviar pases y marcar goles.
- Necesitan “controlar” la pelota, de modo que se puedan desplazar sin perder la pelota.
- Deben recibir la información enviada por el Sistema de Inteligencia Artificial, procesarla y ejecutarla.
- Requieren ser capaces de bloquear tiros del equipo contrario para evitar pases y goles.

Para que cada uno de los robots ejecute las instrucciones que el Sistema de Inteligencia Artificial envía, se requiere que los robots tengan un módulo de comunicación inalámbrica para recibir la información del Sistema de Inteligencia Artificial, un dispositivo de procesamiento central que, de acuerdo con un programa residente en la memoria del robot, interpreta los comandos recibidos por el Sistema de Inteligencia Artificial y envía señales hacia los circuitos de potencia para activar los dispositivos de movimiento del robot y de control y pateo de la pelota.

La figura 3.2 representa un diagrama de los componentes principales de un robot F180.

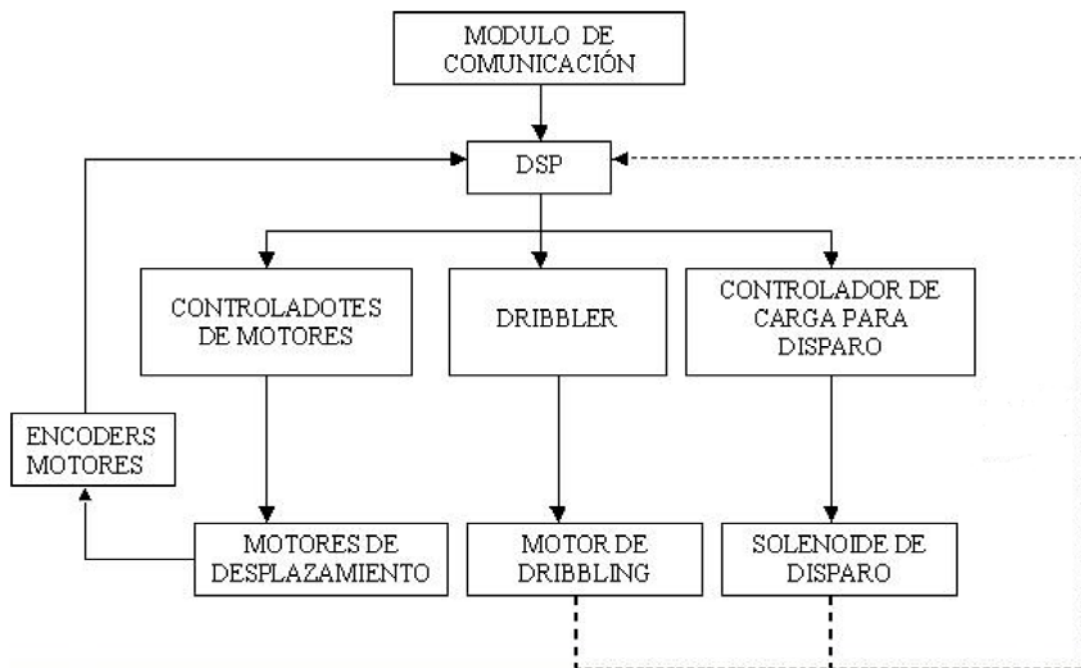


Figura 3.2. Partes funcionales de un robot F180.

### 3.5. LOS PARTIDOS F180

Los partidos de la liga F180 tienen una duración de 20 minutos, dividido en dos tiempos de 10 minutos cada uno.

La liga F180 es posiblemente la liga en la cual los partidos tienen gran intensidad por la velocidad de juego, la pelota llega a alcanzar una velocidad de hasta 3m/s y los robots se mueven a más de 2,3 m/s.

La velocidad de juego y el control de los robots han dado a la liga la calificación de una “liga de ingeniería”. En ella se aplican disciplinas de la ingeniería como el diseño electro-mecánico, teoría de control, electrónica de potencia, electrónica digital y comunicación inalámbrica.

### 3.6. ARQUITECTURA DEL MICROROBOT F180

En esta sección se elabora un análisis de los sistemas que componen a un robot F180. El análisis parte de la funcionalidad básica requerida y sirve como punto de partida para el diseño y la implementación de un equipo de robots F180.

#### 3.6.1. Procesamiento y comunicación del robot

La comunicación del robot F180 está hecha para la ejecución de órdenes de movimiento, actuación de dribbler y solenoide del motor, y la lectura de datos

necesarios para la futura retroalimentación. El presente robot aprovecha el hecho de que el módulo RCM5400W está dotado de un módulo Wi-Fi que proporciona la comunicación inalámbrica necesaria para el fin, competir de manera autónoma en partidos de liga.



Figura 3.3. Módulo RCM5400W.

Para lograr una comunicación inalámbrica entre los robots y la IA se requiere de alguna tecnología que lo permita. Independientemente de la tecnología de comunicación, es importante señalar que es necesario establecer un flujo de comunicación para que la información circule entre la IA y los robots de manera bidireccional.

En nuestro caso, y debido a las opciones de modulo del robot, se ha creado la comunicación con Sockets. Básicamente, un Socket es una estructura de comunicación por el cual dos maquinas pueden intercambiar información de manera bidireccional. Esta estructura está definida por una dirección IP, un protocolo de transporte y un número de puerto definidas previamente tanto en un servidor como en el cliente (ordenador y módulo RCM5400W). En la comunicación, también es muy importante saber el tipo y la cantidad de información que se va a manejar.

Una ligera descripción de esta información, se detalla a continuación. Hay que tener en cuenta que el módulo de control mueve los motores, indicándoles el sentido en el que girar y controlar los sistemas de dribbler (control de bola) y solenoide (pateo de bola). Entonces la cantidad de información que la IA debe manejar para cada robot se puede agrupar en dos bloques: control, que hace referencia a todos los sistemas que funcionan a nivel alto o bajo, y velocidad, donde es necesario un paquete de datos.

Bloque de control: En esta sección se ubica la información relativa al estado de los dispositivos de control y pateo de la pelota, así como la dirección (el sentido) a la que

los motores deben moverse. El estado de cada dispositivo puede ser encendido o apagado y la dirección de un motor puede ser hacia delante o hacia atrás y por lo tanto, el estado de cada dispositivo y la dirección de cada motor se pueden representar con un bit por dispositivo.

Bloque de velocidades: En este bloque se especifica la velocidad de cada uno de los motores. Las ondas PWM con las que se controla la velocidad obtenibles del modulo RCM5400W, son ondas de 10 bits, por lo que a la hora de programar esta velocidad en la IA del módulo, tendremos que hablar de velocidades entre 1 y 1024 (10 bits en programación son  $2^{10} = 1024$ ).

### 3.6.2. Locomoción

El sistema de tracción y el locomotor son los encargados de hacer que el robot sea capaz de desplazarse por el campo de juego.

Desde el punto de vista de la tracción la robótica puede clasificarse en dos grandes grupos: los basados en movimiento por actuadores o piernas y los basados en movimiento por rodadura.

En nuestro caso se ha optó por el movimiento basado en rodadura ya que es el más sencillo. Entre todas las posibilidades que incluyen este tipo de tracción, se optó por un control omnidireccional por resultar el más conveniente para efectividad del robot en el terreno de juego.

El control omnidireccional se lleva a cabo mediante cuatro motores EC45 Flat Brushless 30W con electrónica integrada, ya que ofrecían el par requerido en los requisitos propuestos. A pesar de que la velocidad máxima excedía la requerida, no se ha visto en esto inconveniente alguno puesto que, el control de la velocidad del robot se lleva a cabo mediante un control PWM, consiguiendo asignar la velocidad deseada en cada momento. Debido a esto, se desechó la posibilidad de aplicar una reductora, que disminuiría la velocidad máxima pero aumentaría el par. Además estos motores se presentan ocupando un espacio muy limitado gracias a su tecnología sin escobillas, no requieren mantenimiento por desgaste de las mismas y no requerían un control externo, gracias a lo cual, consiguiéndose liberar peso y espacio que puede ser utilizado por los demás sistemas que integran el robot F180.

Para las ruedas se buscaron modelos comerciales, optándose por utilizar unas ruedas omnidireccionales, modelo 2051 de Kornylak.

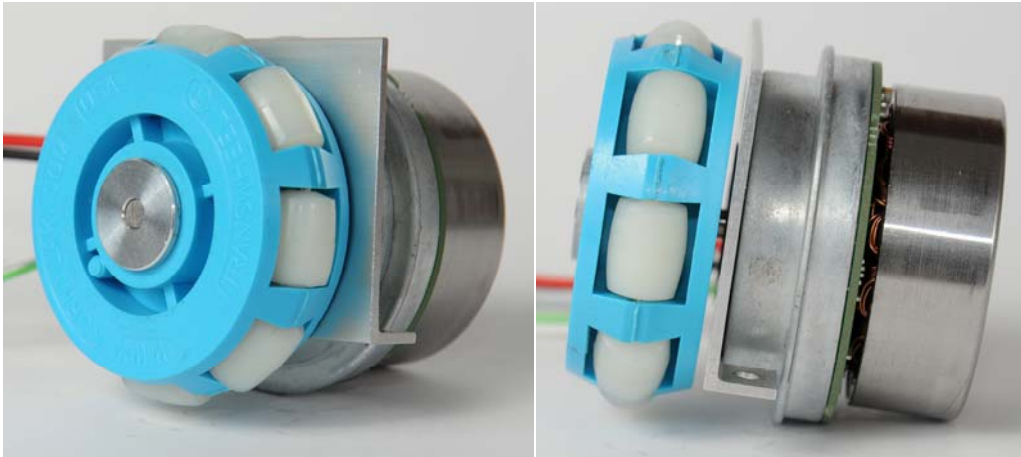


Figura 3.4. Motor y Rueda del Robot F180.

### 3.6.3. Alimentación

Para la alimentación del robot F180 se optó por utilizar una batería modular. Entre los diferentes tipos que nos ofrece el mercado, se eligió una batería de tipo LiPO que nos proporciona de una tensión nominal de 14,7V y con un límite en corriente muy alto, especialmente pensado para poner a los motores en su máxima potencia durante todo el partido.



Figura 3.5. Batería de 14,7V y 3300mAh.

### 3.6.4. Estructura

La estructura del robot F180 debe ser estable y sólida, ya que los sistemas del interior no deben ser dañados durante el partido ya que se tendría un robot inutilizado. Debido a esto se opta por una estructura de aluminio de diferentes grosores, de 4mm para la base inferior y los soportes del dribbler; para la primera, segunda base y soportes de motores y solenoide de 1,5mm.



Figura 3.6. Base Inferior y Soporte de Motores.

### 3.6.5. Sistema de disparo

Para que un equipo gane un partido de fútbol es necesario que haya goles, incluso en un partido de RoboCup. Los robots F180 necesitan de algún mecanismo que les permita impulsar la pelota lejos de sí mismos para poder mandar pases y tirar a gol.

La dificultad del problema del golpeo de la pelota radica en encontrar un dispositivo lo suficientemente pequeño para que quepa en el robot F180 y lo suficientemente poderoso para que la pelota salga impulsada con fuerza. Múltiples propuestas surgieron para resolver el problema utilizando mecanismos con resortes, sistemas de aire comprimido, etc. A lo largo de la historia de las competencias del RoboCup se ha generalizado el uso de un solenoide con un núcleo metálico.

En un solenoide, cuando la corriente está fluyendo en la bobina, las líneas de fuerza salen del solenoide por uno de sus extremos, el polo norte, y entran por el extremo opuesto, el polo sur, esas líneas de fuerza se aprovechan para que el núcleo metálico sea impulsado con fuerza para que el robot pueda lanzar la pelota. En la figura 3.7.a se puede ver este sistema antes de hacer pasar la corriente por la bobina y en la 3.7.b en el momento del disparo.

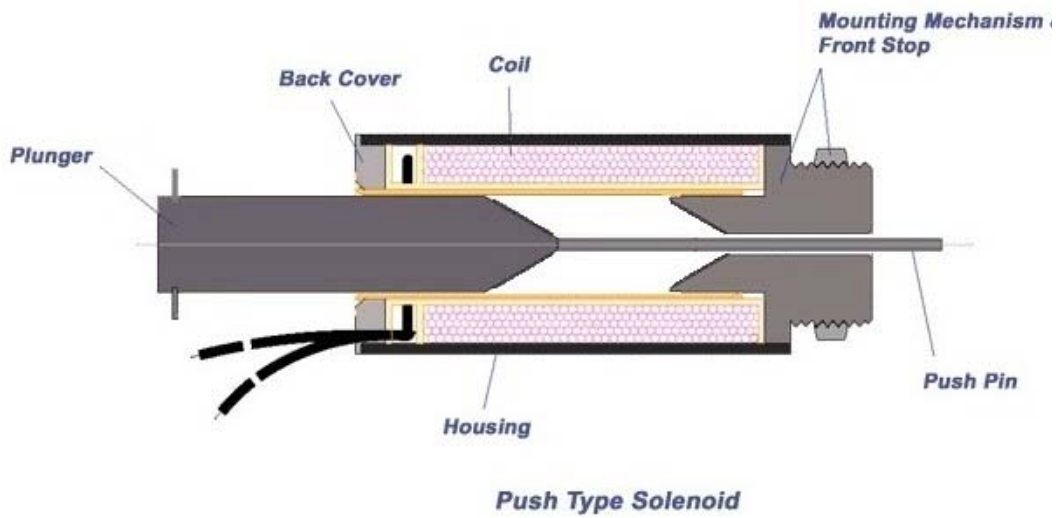


Figura 3.7.a. Solenoide No Excitado

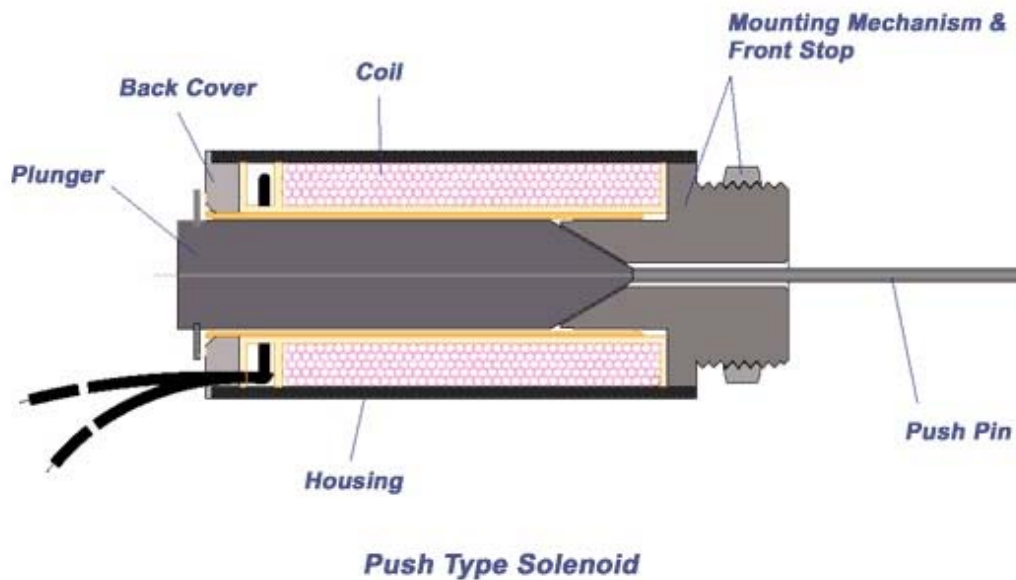


Figura 3.7.b. Solenoide Excitado

El uso de un solenoide requiere una gran cantidad de corriente eléctrica y la única fuente de corriente en el robot son sus baterías, para utilizar un solenoide se necesita de un circuito que almacene carga y se disponga de ella cuando sea necesario patear la



pelota, para poder almacenar carga de manera temporal se puede hacer uso de un capacitor.

### 3.6.6. Circuito de potencia

La alimentación de la mayoría de los componentes de robot puede llevarse a cabo mediante la conexión directa con la batería o mediante divisores de tensión.

La excitación del solenoide requiere de una alta tensión en una batería de condensadores, de alrededor de unos 200 voltios, y para conseguirla se hará uso de un circuito elevador.

El circuito elegido para este propósito es un elevador de tipo Boost con dos etapas, en la primera etapa se eleva la tensión a 63 voltios y en la segunda conseguimos los 200 voltios requeridos para un disparo óptimo.

Dado a que el objetivo del elevador es almacenar carga en el capacitor y no proporcionar una corriente constante a otro circuito se necesita de un sistema de control que permita interrumpir y reanudar el funcionamiento del elevador según el nivel de carga en el capacitor.

Conseguimos esto mediante un comparador que mide la diferencia entre un nivel de tensión prefijado en un divisor de tensión y un nivel proporcional al existente en el capacitor conseguido también mediante otro divisor de corriente. Dependiendo de la diferencia de niveles entre las tensiones este comparador permitirá o no que pase corriente al elevador través la activación de un interruptor implementado mediante un transistor permitiendo la alimentación del circuito elevador tipo Boost.

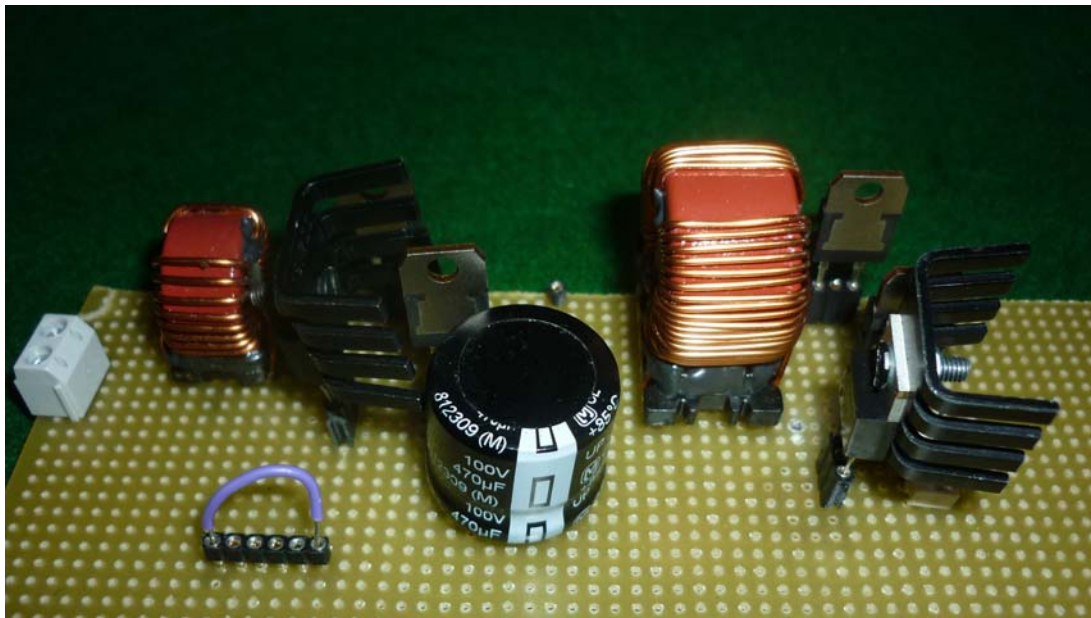


Figura 3.8. Circuito de Potencia.

### 3.6.7. Dribbler

Como cualquier jugador de fútbol, el robot debe hacer desplazamientos manteniendo la pelota en su poder. Para que esto sea posible se utiliza un motor unido mediante engranajes a un rodillo de algún material antideslizante. Éste en contacto con la pelota hace que gire sobre sí misma y se mantenga “controlada” por el robot.

Este tipo de solución es la más popular en la liga F180 y se conoce como “dribbler”. En la actualidad, la mayoría de los equipos utiliza un dispositivo de ese tipo en los robots para poder controlar la pelota. La figura siguiente muestra un prototipo general de este sistema para controlar la pelota.

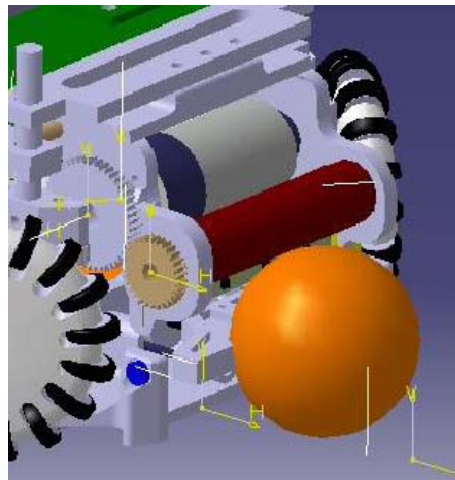


Figura 3.9. Dribbler.



## *CAPÍTULO 4*

### **4. SISTEMA DE LOCOMOCIÓN Y MOTORES**

---

El alcance de este proyecto se centra en el diseño y la construcción de un sistema de locomoción completo para un robot F180. El sistema de tracción y el locomotor son los encargados de hacer que el robot sea capaz de desplazarse por el campo de juego.

Desde el punto de vista de la tracción la robótica puede clasificarse en dos grandes grupos: los basados en movimiento por actuadores o piernas y los basados en movimiento por rodadura.

Para nuestro proyecto se decidió optar por un sistema de locomoción omnidireccional debido a las ventajas que presenta este sistema y se detallan en el capítulo anterior.

Por tanto el presente proyecto se centra en dotar al futuro robot de:

- Sistema de locomoción omnidireccional.
- Conjunto de rodadura.
- Sistema de control de los motores.

## 4.1. LOCOMOCIÓN

Se entiende por locomoción el desplazamiento del robot por el ambiente en el que va a desarrollar su tarea y para el cual es necesario la utilización de diversos elementos motrices, generalmente ruedas, motores eléctricos y baterías para su alimentación.

Un robot móvil requiere mecanismos de locomoción que le permitan desplazarse en su ambiente. Existe una gran variedad de soluciones para lograr que un robot tenga movimiento y muchos de estos mecanismos de locomoción están inspirados en sus contrapartes biológicas.

Una gran excepción la constituye la rueda, una invención de la humanidad que brinda una excelente movilidad en ambientes planos. La rueda ha sido el mecanismo de locomoción más usado en los robots móviles, su uso ofrece una buena estabilidad y balance pero requiere que se tome en cuenta la tracción, la maniobrabilidad y el control del movimiento.

El tipo de desplazamiento que se debe considerar para un robot móvil está sumamente relacionado con el tipo y la geometría de las ruedas. Los sistemas de locomoción de los robots de rodadura pueden clasificarse en función de los distintos tipos de tracción: tracción diferencial, ruedas directrices o triciclo, tracción síncrona, tracción Ackerman y desplazamiento omnidireccional.

### 4.1.1. Tracción Diferencial

Este tipo de tracción es el más simple. Consta de uno, dos o más ejes de dos ruedas motrices. Cada una de las ruedas va dotada de un motor, de forma que los giros se producen por diferencia de velocidades entre las ruedas de un mismo eje. En caso de haber sido utilizado este tipo de tracción, hubiera sido necesario la utilización de, al menos una rueda loca para que el robot mantuviese el equilibrio y la estabilidad del mismo. Esta tracción permite hacer giros sobre sí mismo (como un tanque), girar sobre una rueda (como un compás), o girar mientras se avanza (como un coche), todo ello dando distintas velocidades y direcciones de giro a los motores. Este sistema es muy flexible, pudiendo trabajar con el robot en espacios muy limitados gracias a sus posibilidades de giro. Presenta el inconveniente de que este tipo de tracción es muy sensible a la velocidad relativa de las ruedas, así pequeños errores producen diferentes trayectorias. También puede reducir el torque total, la fuerza rotatoria que propulsa al robot. La cantidad de torque requerida en cada momento depende directamente de la carga en ese instante.

En cada instante de tiempo, las ruedas izquierda y derecha deben seguir una trayectoria que se mueva alrededor del centro instantáneo de curvatura (ICC) a la misma velocidad angular.

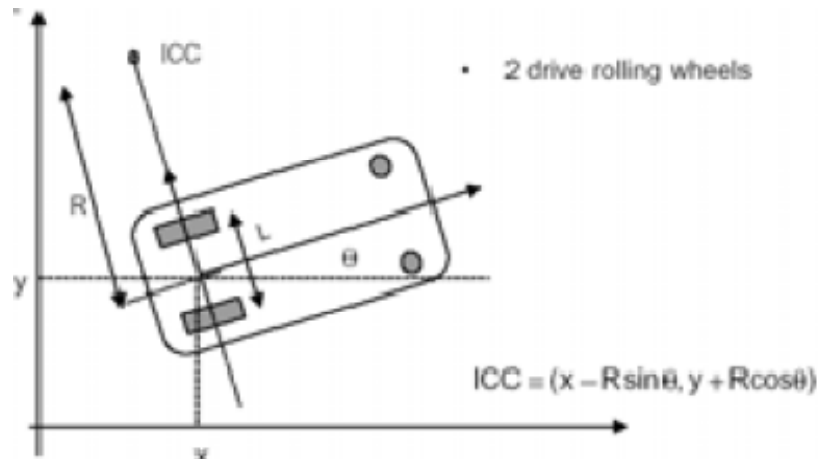


Figura 4.1. Tracción Diferencial.

Un caso particular de la tracción diferencial es la tracción mediante orugas. Esta consiste en sustituir las ruedas por orugas. En esta configuración el deslizamiento en los giros es muy grande, perdiéndose bastante precisión en el cálculo odométrico. Se emplea en casos en los que el terreno presente irregularidades.

Ventajas:

- El robot puede girar sobre su propio eje (el punto medio entre las ruedas de tracción) lo que le da una mejor respuesta ante las curvas.

Inconvenientes:

- Las ruedas de tracción no pueden ir a máxima velocidad siempre, en las curvas, una de las ruedas se deberá frenar, en general, la interior a la curva, o incluso, llegar a invertir su sentido.
- Para asegurarse el movimiento rectilíneo del robot debemos comprobar que las dos ruedas tengan la misma velocidad.
- Existen problemas de estabilidad que suelen ser solucionados con una tercera rueda, una rueda loca, sin embargo esto puede seguir dando problemas, dependiendo del centro de gravedad. Si se pone una cuarta rueda loca ganará estabilidad pero pueden perder contacto las ruedas de tracción en función de las irregularidades del terreno.

#### 4.1.2. Ruedas directrices o triciclo

Este sistema consta de tracción y dirección independientes, formado por tres ruedas con odometría en las dos ruedas traseras. La dirección y tracción viene proporcionada por la rueda frontal. Con este tipo de estructura se puede tener un control muy preciso sobre el ángulo de giro del robot. El inconveniente es que el radio de giro del robot es muy limitado, ya que la tracción trasera no es diferencial y los ejes no pueden girar a distintas velocidades, reduciéndose de esta manera el radio de giro. Esta configuración es recomendable para robots que operen en ambientes amplios y abiertos, que no necesite de gran libertad de movimientos.

El centro instantáneo de curvatura debe estar en la línea que pasa y es perpendicular a las ruedas traseras fijas.

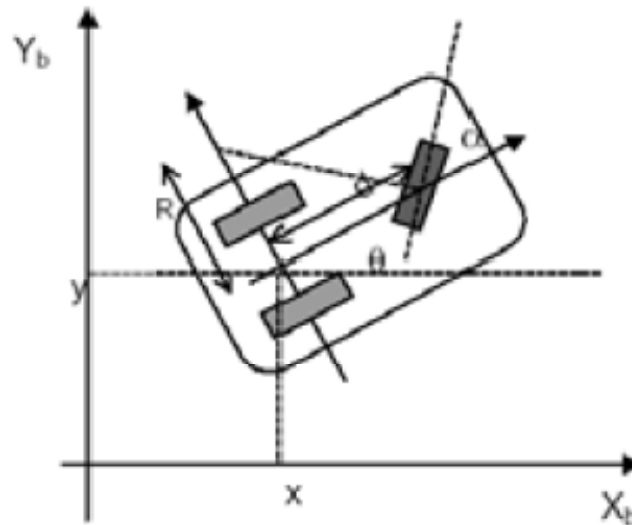


Figura 4.2. Ruedas Directrices.

Ventajas:

- Las ruedas de tracción pueden ir a máxima velocidad, siempre que el radio de giro de la pista sea lo suficientemente grande.
- Presenta una mayor facilidad para mantener una trayectoria rectilínea.

Inconvenientes:

- El radio de giro del robot no es muy grande, por lo que se deberá reducir la velocidad antes de realizar un giro o tomar una curva.

#### 4.1.3. Tracción síncrona

En un robot de tracción síncrona cada rueda es motriz y directriz. La configuración más típica se compone de tres ruedas orientables dispuestas en los vértices de un triángulo equilátero sobre una plataforma circular colocada sobre el triángulo. Las tres ruedas apuntan en la misma dirección y giran a la misma velocidad, esto se consigue mediante un conjunto complejo de correas que conectan las ruedas. Se usan dos motores independientes, uno hace rodar todas las ruedas y el otro las hace girar simultáneamente. El vehículo controla tanto la dirección en la que apuntan las ruedas como la velocidad a la que ruedan. Dado que todas las ruedas permanecen paralelas, el robot rota siempre alrededor de su centro geométrico. Los robots de tracción síncrona pueden controlar la orientación directamente. Los robots con este tipo de tracción presentan un movimiento no holónimo.

El centro instantáneo de curvatura está siempre en el infinito, cambiando la orientación de las ruedas cambia el centro instantáneo de curvatura.

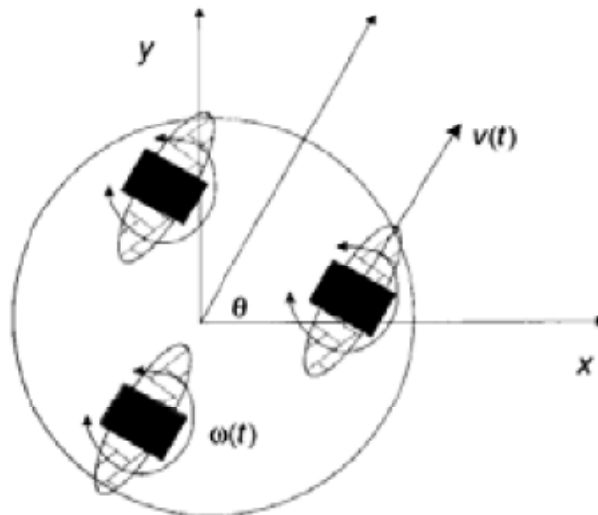


Figura 4.3. Tracción Síncrona.

Ventajas:

- Se evitan los problemas de inestabilidad y de pérdida de contacto del diferencial.

Inconvenientes:

- Mayor complejidad mecánica.

#### 4.1.4. Tracción Ackerman

Se usa en vehículos a motor, es la utilizada por los coches. Se compone de cuatro ruedas, donde las dos del tren delantero contienen la dirección y, en ocasiones, la tracción, y las dos del tren trasero que pueden ser empleadas para propulsar el vehículo. La rueda frontal interna rota un poco más que la externa (reduce el deslizamiento). Se usa de forma generalizada en robots móviles autónomos en exteriores.

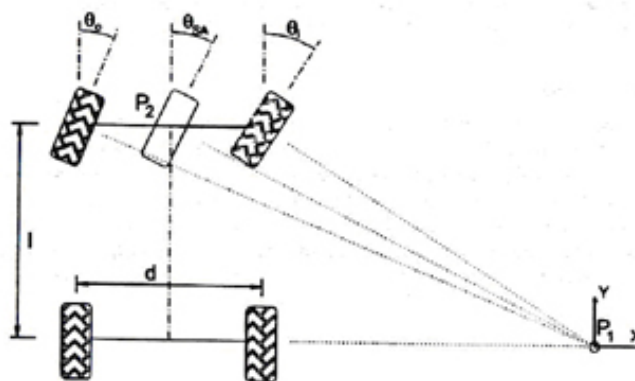


Figura 4.4. Tracción Ackerman.

Ventajas:

- Las ruedas de tracción pueden ir a máxima velocidad, siempre que el radio de giro de la pista sea lo suficientemente grande.
- Presenta una buena estabilidad.
- Permite un control muy bueno en las rectas.

Inconvenientes:

- El radio de giro del robot no es muy pequeño, por lo que se deberá reducir la velocidad antes de realizar un giro o entrar en una curva

#### 4.1.5. Desplazamiento Omnidireccional

El desplazamiento omnidireccional es de gran interés porque brinda una completa maniobrabilidad. Los robots omnidireccionales pueden moverse en cualquier dirección y en cualquier momento sin requerir una orientación específica para el desplazamiento del robot. Este tipo de desplazamiento requiere de ruedas que se puedan mover en más de una dirección, como son las ruedas suecas u omnidireccionales.

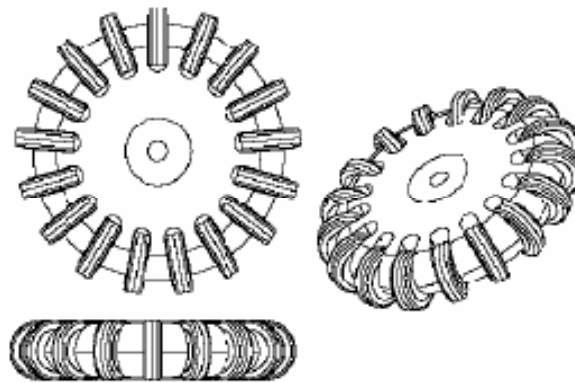


Figura 4.5. Diseño de una rueda omnidireccional.

El movimiento omnidireccional ha adquirido popularidad en los robots móviles porque permite que el robot se desplace en línea recta desde un punto origen hacia cualquier otro punto, sin tener que rotar antes de desplazarse. Adicionalmente, la traslación sobre la ruta deseada se puede combinar con una rotación, de modo que el robot llega a su destino en el ángulo correcto.

Cada una de las ruedas proporciona una fuerza en una dirección normal, noventa grados, al eje del motor y paralela al terreno. La suma de fuerzas provén la traslación y rotación del robot.



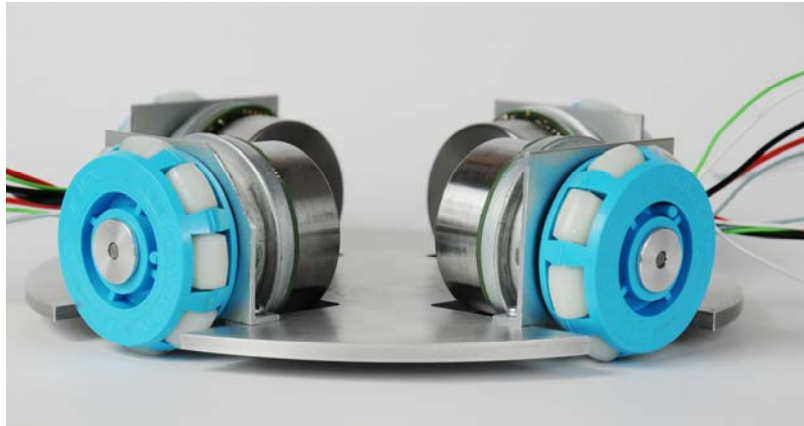


Figura 4.6. Base con los Motores y Ruedas Omnidireccionales.

#### Ventajas:

- Permite moverse con total libertad en dos direcciones sin necesidad de cambiar la dirección de las ruedas.
- El robot puede ir a velocidad máxima para realizar un giro, tomar una curva o incluso pivotar sobre sí mismo.

#### Inconvenientes:

- Se requieren más de dos ruedas para mover un robot que requiere el cálculo adicional de las velocidades a aplicar a cada motor.

### 4.1.6. Conclusión

Teniendo en cuenta las ventajas e inconvenientes de los diferentes sistemas de tracción y las limitaciones impuestas por la Federación de RoboCup, se ha considerado que el mejor sistema de tracción es el OMNIDIRECCIONAL. Esta elección se basa en que es la tracción que permite una mayor velocidad constante, independientemente del tipo de trayectoria que se pretenda realizar, permite colocar al robot después de un giro en el ángulo deseado, como por ejemplo para interceptar una pelota, gracias a su habilidad de pivotar sin la necesidad de desplazarse en absoluto. Con este sistema se evita, además, el problema de tener que utilizar mecanismos como engranajes, permitiendo así liberar espacio para otros sistemas.

## 4.2. MODELO CINEMÁTICO OMNIDIRECCIONAL

### 4.2.1. Control Omnidireccional

Existe una relación inversa entre la maniobrabilidad y el control. Por ejemplo, los diseños omnidireccionales requieren un procesamiento adicional para convertir las velocidades de rotación y traslación del robot en velocidades individuales para cada

rueda. Controlar un robot omnidireccional para que se mueva en una dirección deseada es más complicado que los métodos diferenciales. Para ello es necesario establecer un modelo cinemático omnidireccional

#### 4.2.2. Consideraciones Iniciales

Se van a establecer una serie reglas que deben ser tomadas en cuenta para el diseño de los robots y evitar así que haya controversias entre los sistemas que forman parte del equipo en su conjunto.

#### 4.2.3. Marco de Referencia

Se considera al robot como un cilindro de radio  $R$  y para ubicarlo en el plano se utilizan coordenadas cartesianas. El eje  $Y$  apunta al frente del robot.

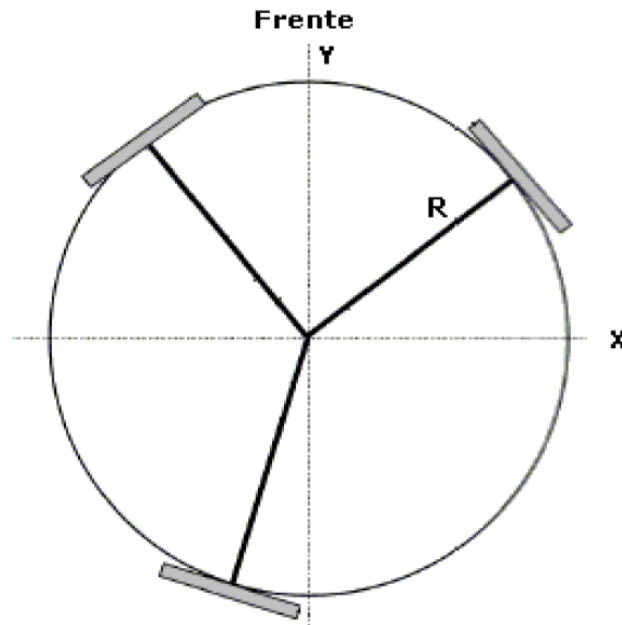


Figura 4.7. Plano cartesiano del robot.

#### 4.2.4. Numeración de los Motores

La numeración de los motores se realiza en sentido anti horario, comenzando desde el frente del robot.

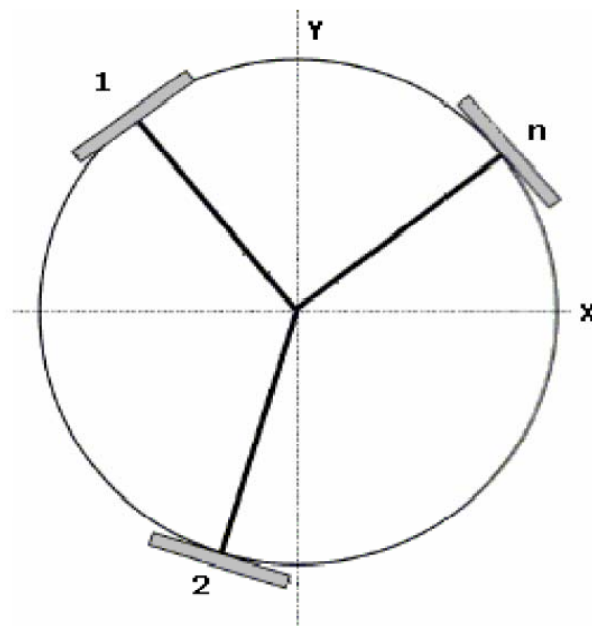


Figura 4.8. Numeración de los motores.

#### 4.2.5. Medición de los Ángulos de los Motores

El ángulo que indica la ubicación de cada motor se mide en sentido anti horario con respecto al eje Y. La nomenclatura para estos ángulos será  $\theta_i$ , donde  $i$  indica el número de motor.

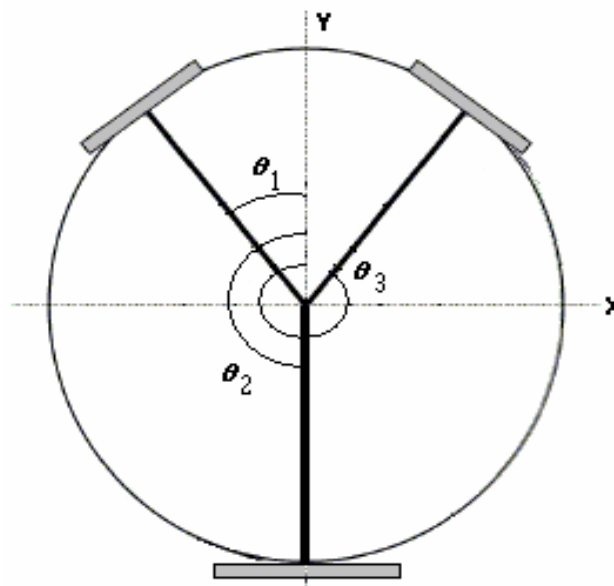


Figura 4.9. Medición de los Ángulos de los Motores.

#### 4.2.6. Dirección de Rotación de los Motores

La dirección positiva de rotación de los motores se establece en sentido horario con respecto al frente del motor. La figura 4.10 muestra el frente de un motor y la dirección positiva de rotación.

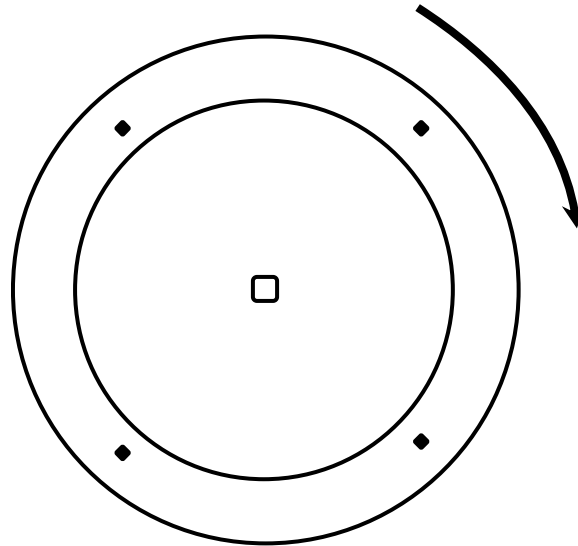


Figura 4.10. Rotación positiva de los motores.

Con esa dirección positiva de rotación, la dirección positiva de la fuerza que los motores ejercen es tangente al marco circular del robot y, como lo muestra la figura 4.11, apunta en sentido anti horario.

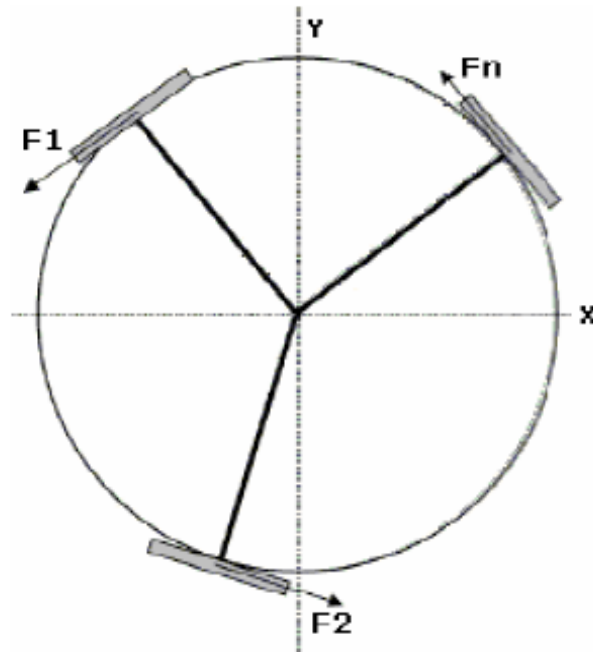


Figura 4.11. Dirección Positiva de la Fuerza de los Motores.

#### 4.2.7. Ángulo de Fuerza de los Motores

Para medir el ángulo que tiene la dirección de la fuerza del motor  $i$  se debe considerar que la dirección de la fuerza del motor  $i$  es tangencial al marco circular del robot y, por lo tanto, tiene un ángulo de:

$$\theta_i + \frac{\pi}{2};$$

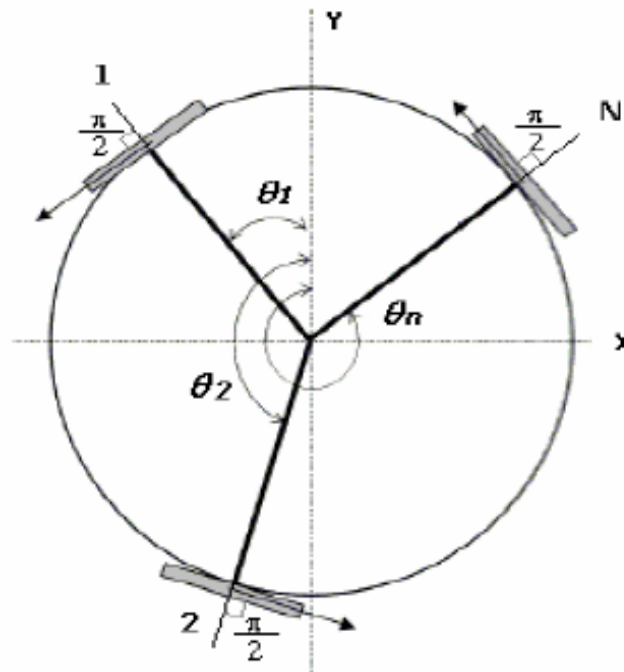


Figura 4.12. Ángulo de la Fuerza de los Motores

#### 4.2.8. Desplazamiento del Robot

Cuando el robot se mueve de una posición inicial a una posición final, éste realiza un desplazamiento descrito por un vector,  $\varphi$  es el ángulo que indica la dirección y se mide con respecto al frente del robot.

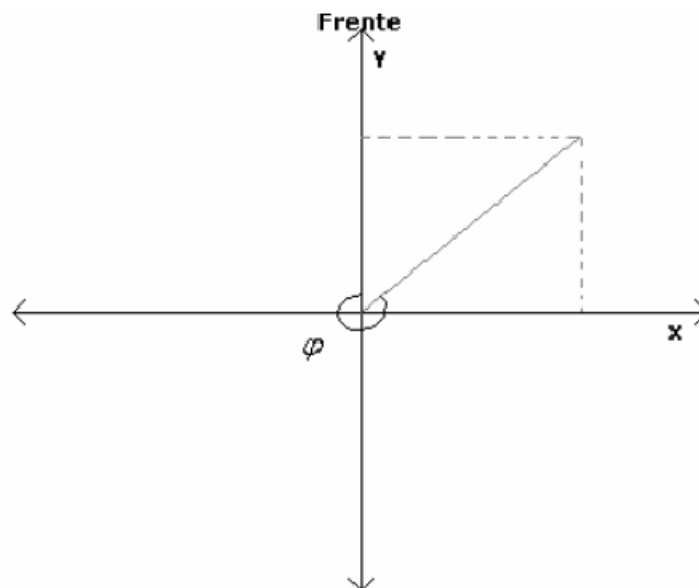


Figura 4.13. Ángulo de Desplazamiento del Robot.

El proceso para entender el movimiento de un robot comienza con el proceso de describir la contribución de cada rueda y para ello es necesario establecer un marco de

referencia y tomar en cuenta algunas importantes consideraciones. En este caso, el marco de referencia es el plano cartesiano. La figura 4.14 es una representación de un robot omnidireccional en el plano cartesiano.

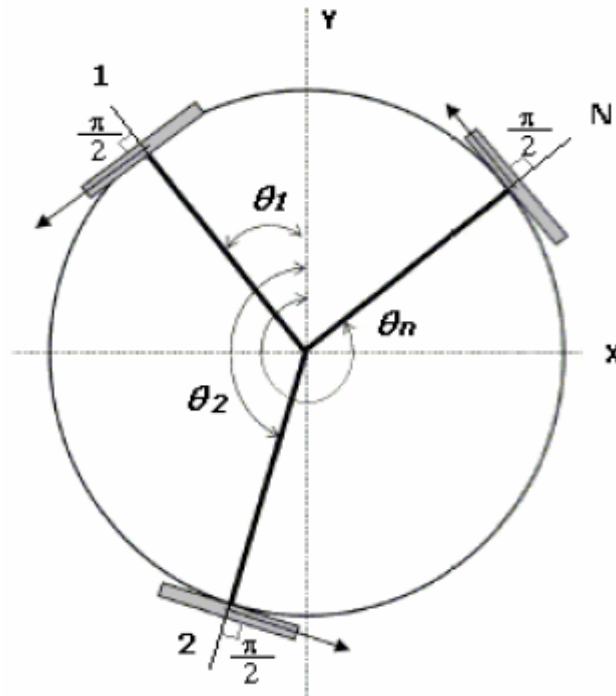


Figura 4.14. El Robot Omnidireccional en el Plano Cartesiano.

Con este marco de referencia se puede determinar la posición del robot si se conocen las coordenadas (x,y) del centro del robot. El robot de la figura 4.14 es omnidireccional, tiene cuatro ruedas y su centro se localiza en el origen.

Para poder descomponer la contribución de cada motor en términos de X e Y es necesario utilizar la segunda Ley de Newton:

$$F = m \cdot a ;$$
$$m \cdot \vec{a} = \sum_i^n f_i ;$$

(4.1)

Por medio de la ecuación 4.1 se puede determinar la relación directa que existe entre la aceleración de un cuerpo, su masa y la suma de fuerzas que interactúan sobre él.

Para el caso general de un robot omnidireccional de masa m y con n motores ( $n \geq 3$ ), despejando la aceleración de la ecuación 4.1:

$$a = \frac{1}{m} \cdot \sum_1^n f_i ;$$

(4.2)

Para calcular las componentes de aceleración en los ejes X e Y se debe tomar en cuenta el ángulo  $\theta_i$  sobre el que se coloca el motor con respecto a los ejes y que la dirección positiva de la fuerza del motor (de acuerdo con las consideraciones iniciales) apunta a  $\theta_i + \frac{\pi}{2}$ .

Entonces, la proyección de los componentes de aceleración en los ejes X e Y se obtiene con las siguientes ecuaciones:

$$a_x = \frac{1}{m} \cdot \sum_1^n [-f_i \cdot \sin(\theta_i + \frac{\pi}{2})]; \quad (4.3)$$

$$a_y = \frac{1}{m} \cdot \sum_1^n [-f_i \cdot \cos(\theta_i + \frac{\pi}{2})]; \quad (4.4)$$

Y considerando que:

$$\begin{aligned} \sin(x + t) &= \sin x \cdot \cos t + \cos x \cdot \sin t ; \\ \cos(x + t) &= \cos x \cdot \cos t - \sin x \cdot \sin t ; \end{aligned}$$

Las ecuaciones X.3 y X.4 se pueden expresar de la siguiente forma:

$$a_x = \frac{1}{m} \cdot \sum_1^n [-f_i \cdot \cos(\theta_i)];$$

$$a_y = \frac{1}{m} \cdot \sum_1^n [-f_i \cdot \sin(\theta_i)];$$

Por otra parte, para obtener la aceleración rotacional se debe considerar que las fuerzas que ejercen los motores son tangentes al marco circular del robot y apuntan hacia la misma dirección rotacional. Entonces, la aceleración rotacional está dada por la siguiente ecuación:

$$a_w = \frac{R}{I} \cdot \sum_1^n f_i; \quad (4.5)$$

Donde R es el radio del robot,  $f_i$  es la magnitud de la fuerza del i-ésimo motor, e I es el momento de inercia.

El momento de inercia de un cilindro sólido es:

$$I = \frac{1}{2} \cdot m \cdot R^2;$$



Mientras que para un aro delgado es:

$$I = m \cdot R^2;$$

Para cualquier distribución de masa estrictamente entre una concentración de masa en el centro y en la periferia (que sería el caso del robot),  $I = \alpha \cdot m \cdot R^2$  con  $0 \leq \alpha \leq 1$ . Entonces la ecuación 4.5 queda expresada como:

$$a_w = \frac{1}{m} \cdot \frac{\sum_1^n f_i}{\alpha \cdot R};$$

Esas ecuaciones de aceleración (4.3, 4.4 y 4.5) pueden ser expresadas como el vector de aceleraciones  $(a_x, a_y, a_w)^T$  que se obtiene como el producto de una matriz por un vector de fuerzas.

$$\begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_w \end{bmatrix} = \frac{1}{m} \cdot \begin{bmatrix} -\cos \theta_1 & -\cos \theta_2 & \dots & -\cos \theta_n \\ -\sin \theta_1 & -\sin \theta_2 & \dots & -\sin \theta_n \\ \frac{1}{\alpha \cdot R} & \frac{1}{\alpha \cdot R} & \dots & \frac{1}{\alpha \cdot R} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix}; \quad (4.6)$$

Para trabajar con las mismas unidades (metro por segundo al cuadrado) para la aceleración lineal y la aceleración angular, en vez de utilizar  $a_w$  se puede utilizar  $R \cdot a_w$  y la ecuación queda:

$$\begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ R \cdot a_w \end{bmatrix} = \frac{1}{m} \cdot \begin{bmatrix} -\cos \theta_1 & -\cos \theta_2 & \dots & -\cos \theta_n \\ -\sin \theta_1 & -\sin \theta_2 & \dots & -\sin \theta_n \\ \frac{1}{\alpha} & \frac{1}{\alpha} & \dots & \frac{1}{\alpha} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix};$$

Simplificando la escritura de la ecuación 4.6 se tiene:

$$a = \frac{1}{m} \cdot M_A \cdot f;$$

Donde:

$a$  : Vector de aceleraciones del robot.

$M_A$ : Matriz de acoplamiento de aceleración.

$f$  : Vector de fuerzas de los motores.

La ecuación 4.6 permite encontrar las componentes de aceleración de los ejes del marco de referencia (aceleraciones del robot) y la aceleración rotacional dada a la posición de los motores y la fuerza que cada motor ejerza.

Por otra parte, para las rutinas de control de la Inteligencia Artificial es útil encontrar una expresión que relacione la velocidad del robot con el vector de velocidades de los motores. Esto sucede porque un robot que se encuentra en una posición inicial debe realizar un movimiento, que en el mejor de los casos es, sobre una línea recta para que llegue a la posición deseada. Este movimiento, como muestra la figura 4.9, se representa como un vector de velocidad con una magnitud y una dirección.

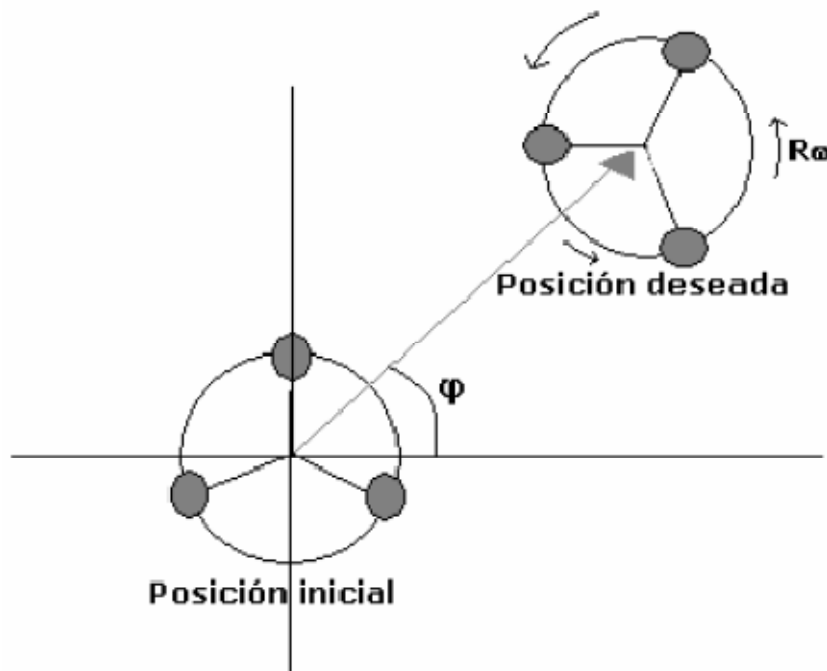


Figura 4.15. El robot debe ir a una Posición Futura.

Ese vector es la resultante de las velocidades del robot  $(v_x, v_y, \omega)$  por lo que es necesario encontrar una expresión que relacione las velocidades del robot con las velocidades de cada motor para que las rutinas del sistema de Inteligencia Artificial envíen esa información al robot y éste se mueva hacia la posición deseada. Asumiendo que la relación que se pretende encontrar es análoga a la ecuación 4.6, se puede suponer que tiene la forma:

$$v_M = M_v v_R;$$

donde:

$v_M$ : es el vector de velocidades de los motores  $(v_1, v_2, \dots, v_n)^T$ .

$M_v$ : es la matriz de acoplamiento de velocidades, de dimensión  $n \times 3$ .

$v_R$ : es el vector de velocidades del robot  $(v_x, v_y, \omega)^T$ .

Suponiendo que el vector de velocidades del robot es  $(1, 0, 0)^T$ , esto quiere decir que el robot se desplaza en línea recta sobre el eje X a una velocidad de  $1\text{ms}^{-1}$  y las ruedas

del robot estarán girando a una velocidad de  $-\cos \theta$ . Si el robot se desplazara en línea recta hacia el frente (sobre el eje Y) entonces el vector  $v_m = (0, 1, 0)^T$  y las ruedas tendrían una velocidad de  $-\sin \theta$ . Si el robot únicamente rotara  $v_m = (0, 0, 1)^T$  y cada motor tendría una velocidad de  $1/n$ , donde n es el número de motores del robot.

Por lo anterior, la relación se puede expresar como:

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & \frac{1}{n} \\ -\cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & \frac{1}{n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -\cos \theta_n & -\sin \theta_n & \frac{1}{n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{bmatrix}; \quad (4.7)$$

y simplificando la escritura:

$$v_m = M_v \cdot v_R;$$

Hasta ahora se han obtenido dos expresiones de gran utilidad para el diseño de un robot F180 y gracias a ellas es posible:

1. Transformar las fuerzas de los motores en aceleraciones del robot:

$$a = \frac{1}{m} \cdot M_A \cdot f; \quad (4.8)$$

2. Transformar velocidades del robot en velocidades de los motores:

$$v_M = M_v \cdot v_E; \quad (4.9)$$

Considerando que las ecuaciones anteriores utilizan matrices, en las siguientes líneas se analizará si es factible obtener las relaciones inversas.

La forma simplificada de la ecuación 4.6 sugiere que la relación inversa se podría encontrar fácilmente al considerar que el concepto de inversa de una matriz es análogo al del recíproco de un número real. En el sentido de que el producto de un número real con su recíproco es la unidad, así como el producto de una matriz con su inversa es la matriz identidad. Recordando la definición de una matriz inversa:

Sea  $I_n$  la matriz identidad de  $n \times n$  y  $A$  una matriz cuadrada de  $n \times n$ . Si existe una matriz  $A^{-1}$  de  $n \times n$  que tenga la propiedad de que:

$$A \cdot A^{-1} = A^{-1} \cdot A = I_n;$$

Se dice que  $A^{-1}$  es la inversa de la matriz  $A$ .

El problema radica en que la matriz  $M_A$  no es cuadrada y por lo tanto no es invertible.

Para resolver problemas de este tipo se recurre al uso de la matriz pseudoinversa, cuya definición es la siguiente:

Si  $A$  es una matriz de  $m \times n$ , se llama se llama pseudoinversa de  $A$  a la matriz:

$$A^+ = (A^T \cdot A)^{-1} A^T \text{ si el rango de } A = n$$

ó

$$A^+ = A^T \cdot (A \cdot A^T)^{-1} \text{ si el rango de } A = m.$$

De esta manera se obtienen las matrices pseudoinversas  $M_A^+$ ,  $M_v^+$  y las expresiones que permiten:

1. Transformar aceleraciones del robot en fuerzas de motores

$$f = m \cdot M_A^+ \cdot a; \tag{4.10}$$

2. Transformar velocidades de los motores en velocidades del robot:

$$v_R = M_A^+ \cdot v_M ; \tag{4.11}$$

Hasta este punto se han encontrado cuatro ecuaciones muy útiles para el diseño de un robot F180.

Otro análisis que es de gran utilidad para el diseño de los robots surge al observar que la contribución total de los motores varía con respecto al ángulo de desplazamiento del robot. La contribución de los motores depende totalmente de la configuración de los ángulos  $\theta_i$ .

### 4.3. RUEDAS OMNIDIRECCIONALES

#### 4.3.1. Introducción

Las ruedas omnidireccionales son únicas ya que permiten un movimiento total en dos direcciones. Esto se debe a que pueden moverse como si fuesen una rueda normal o moverse lateralmente usando las ruedas dispuestas a lo largo de su circunferencia. Las ruedas omnidireccionales permiten al convertir a un robot no holónomo en un robot holónomo. Un robot no holónomo que use ruedas normales puede controlar únicamente dos de los tres posible grados de libertad, estos son avance/retroceso y giro. Debido a que no se pueda desplazar lateralmente, el robot se moverá más lentamente y su eficacia en alcanzar el objetivo deseado, en nuestro proyecto será, fundamentalmente, marca un gol o llegar a la pelota antes que un robot del equipo contrario, será menos eficiente. Las ruedas omnidireccionales serán la mejor solución a este problema gracias a su alta maniobrabilidad. A pesar de disponer de un robot no holónomo, el robot omnidireccional holónomo podrá moverse en una dirección arbitraria continuamente sin la necesidad de tener que cambiar la dirección de sus ruedas, como sucede, por ejemplo, en los coches. Se podrá mover hacia atrás y a la vez de un lado a otro, desplazarse lateralmente y pivotar sobre sí mismo. Esta habilidad permite que se construya el robot para que pueda buscar la pelota y maniobrar hacia ella de forma considerablemente más rápida y con mayor eficiencia que sus oponentes.

### 4.3.2. Análisis del Sistema

Las ruedas omnidireccionales normalmente son montadas sobre bases triangulares equiláteras con una rueda en cada arista. Mediante la utilización de la suma vectorial y el control individual de la velocidad de cada motor, el robot será capaz de desplazarse en cualquier dirección más rápidamente que con las ruedas normales. El diagrama expuesto a continuación muestra diferentes formas en las que el robot se puede desplazar con ruedas omnidireccionales.

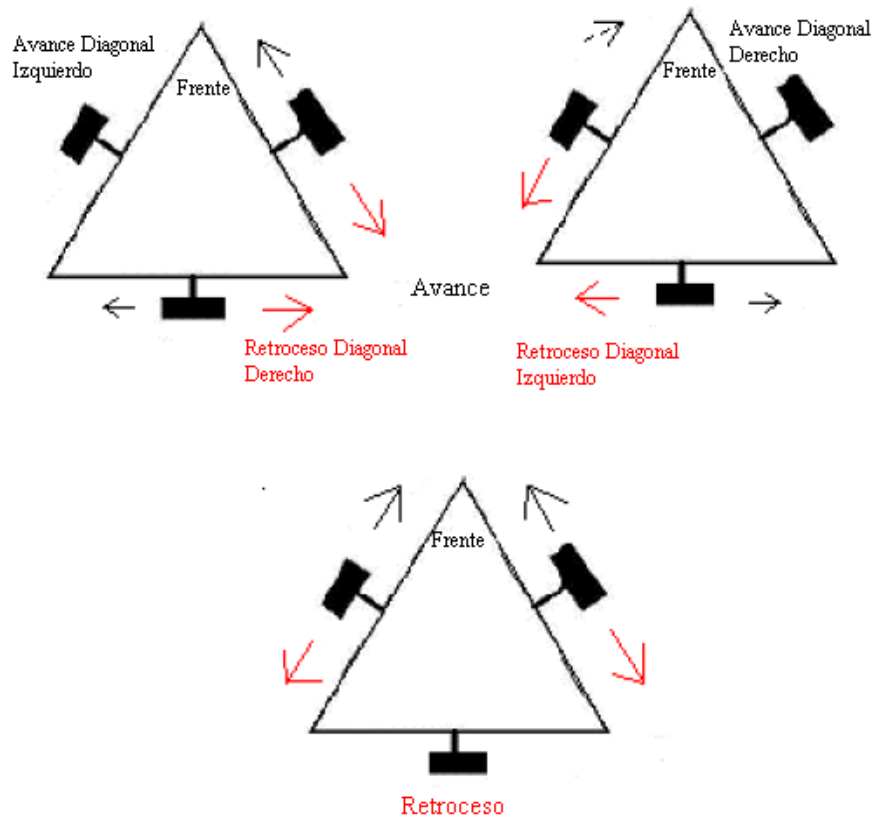


Figura 4.16. Diagrama de Diferentes Movimientos Omnidireccionales.

Sin embargo, este diseño con base triangular no era conveniente para un robot participante en la RoboCup debido a que su estabilidad es difícil de mantener a una velocidad elevada y a su falta de espacio para instalar los diferentes actuadores y sistemas necesarios para su correcto funcionamiento. De esta forma, en vez de usarse una base triangular, se optó por una base circular en la cual se dispondría de los motores guardando una formación cuadrangular con cuatro ruedas omnidireccionales.

### 4.3.3. Elección de las Ruedas

Para la realización de este proyecto se buscaron varios modelos de ruedas comerciales de tipo omnidireccional que, fundamentalmente, cumplieran los requisitos en cuanto a

tamaño, ya que este ha sido el mayor problema al que nos hemos enfrentado a lo largo de todo el trabajo. Otra condición impuesta fue que soportaran perfectamente el peso del robot, fácil acoplamiento con los motores y que ofrecieran la fricción necesaria para que el robot se adhiriera al terreno de forma firme y segura, para evitar, de este modo, derrapes y deslizamientos innecesarios. Finalmente, se decantó por los siguientes modelos como candidatos finalistas para ser instalados en el robot F180 (todos son del mismo fabricante, Kornilak). Una opción que nos daba el fabricante era la de poder elegir el material con el que se fabricaban los rodillos de la rueda, pudiendo ser de poliuretano, de polipropileno con una capa de goma sintética o de un plástico (no se dice cual) con alta resistencia a los impactos. Guiándonos por los catálogos se opta por utilizar rodillos de POLIURETANO ya que nos proporciona una mayor tracción y agarre que los cubiertos por goma, diseñados para aumentar la amortiguación.

#### 4.3.4. Modelo 2051

Modelo estándar de rueda omnidireccional, diseñada para asegurar el movimiento lateral con cualquier posición de la rueda y permitir rotarla libremente sin derrapar. En la siguiente figura se muestra una imagen de la rueda y las cotas de la misma.

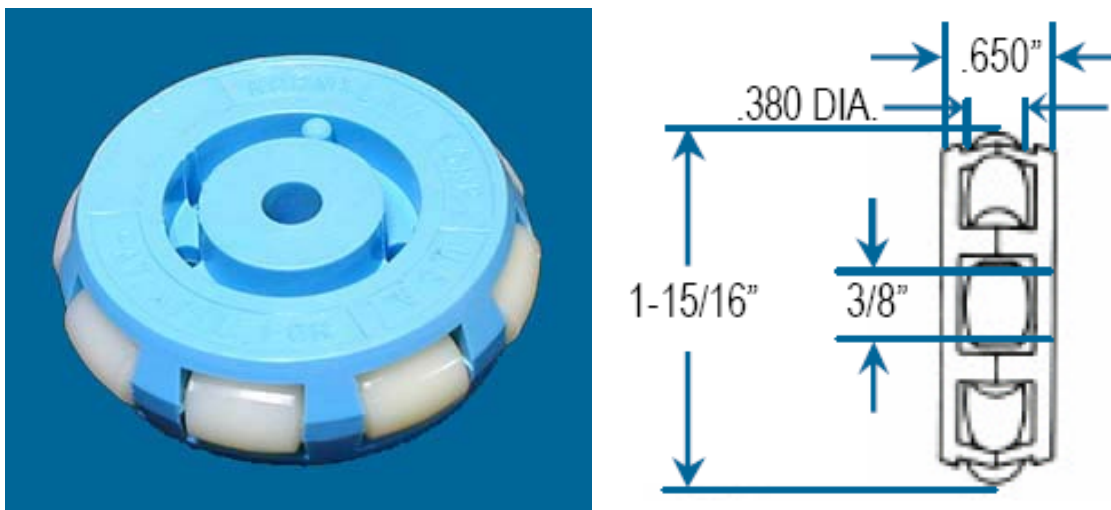


Figura 4.17. Rueda 2051 con cotas.

#### 4.3.5. Modelo 2051K

El modelo es similar al anterior con la diferencia de que presenta de que presenta una ranura para mejorar el acople del riel, motor, etc., de tal forma que se facilita la transmisión del movimiento.



Figura 4.18. Rueda 2051K con cotas.

#### 4.3.6. Modelo 2052

Este modelo nos proporciona dos ruedas del modelo 2051 pero rotadas una con respecto a la otra, ofreciendo un movimiento mucho más suave y silencioso.

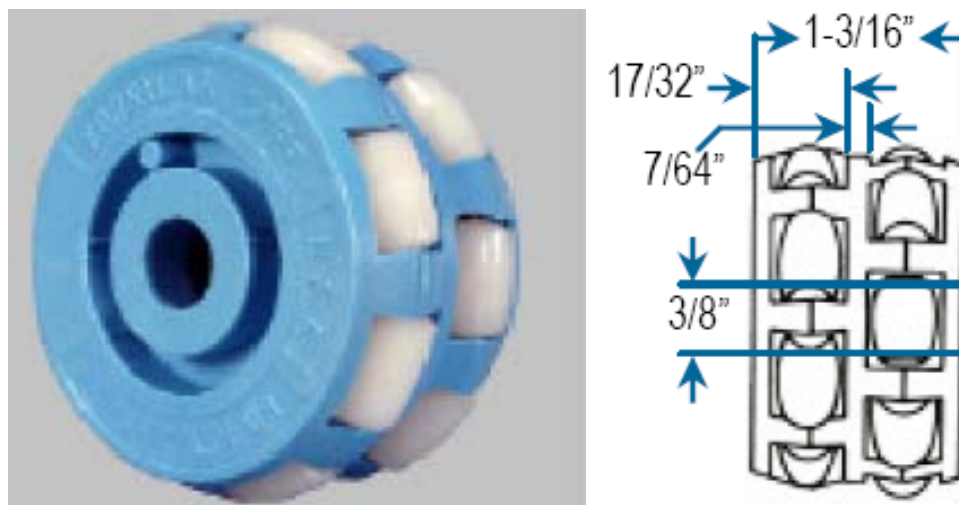


Figura 4.19. Rueda 2052 con cotas.

#### 4.3.7. Conclusión

Los principales candidatos fueron los modelos 2051 y 2052, ya que desde un principio se supuso que el primer modelo iba a producir un traqueteo que podría poner en peligro la estabilidad y los requisitos de velocidad y aceleración para el robot. Debido a esto la

elección del modelo 2052 era casi segura. Tras unas mediciones se desechó su implementación en el robot F180 debido al espacio que ocupaban, aunque siguen siendo una opción a tener en cuenta para futuras generaciones. Es por esto que se opta definitivamente al uso del MODELO 2051 como rueda omnidireccional, que presenta las siguientes medidas:

Diámetro exterior	49,2 mm
Diámetro del buje	9,5 mm
Peso	28,35 g
Carga máxima admisible	11,3 kg

Como la rueda y el motor deben acoplarse y su elección dependen de una serie de parámetros prácticamente independientes, se presentó un problema de acoplamiento entre ambos, esta es la razón principal de que se prestara atención al modelo 2051k, ya que el motor presenta un eje de 4mm de diámetro mientras que el de las ruedas es de 95mm. Para solucionar esto se opta por implementar un cilindro con un diámetro interior de 4mm y otro exterior de 9,5mm consiguiendo así que se pueda acoplar el motor al buje de la rueda. Para su instalación se procede a la utilización de un adhesivo a base de cianocrilato. Resultó ser más sencillo la realización del acople en el modelo 2051 que en su variante 2051K. En la siguiente figura se muestra la rueda con el cilindro acoplado.



Figura 4.20. Rueda 2051 con Cilindro Acoplado.

#### 4.4. MODELO CINEMÁTICO

Una vez que se han estudiado las ecuaciones del Capítulo 3 será conveniente establecer los ángulos de los motores dentro del robot. Estos ángulos vendrán determinados sobre



todo por las dimensiones del robot, las dimensiones de los motores a utilizar, las dimensiones del solenoide y de los condensadores que integran el sistema de golpeo.

La figura 4.21 muestra la disposición de los motores de nuestro robot.

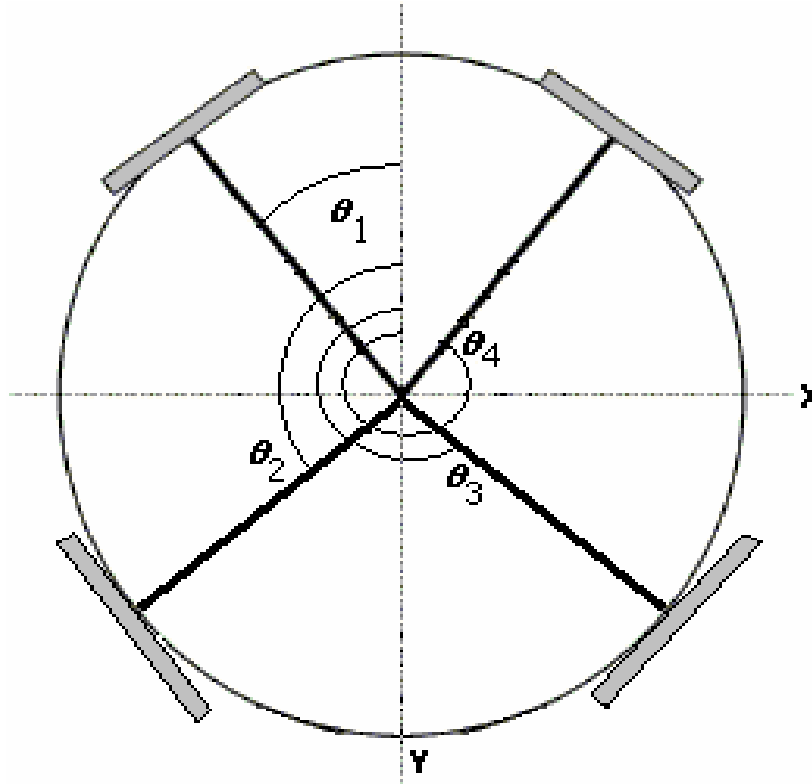


Figura 4.21. Disposición de los Motores.

Consideramos una disposición de cuatro motores distribuidos uniformemente en una circunferencia de 180mm de diámetro que el robot describe, posicionando cada motor a  $\frac{\pi}{2}$  rad con respecto del otro. Gracias al tamaño reducido de los motores que se implementan en este diseño, se pueden disponer los cuatro dejando hueco suficiente para los demás elementos totalmente necesarios para el diseño y funcionamiento del robot.

Tomando el origen de los ángulos sobre el eje de ordenadas y numerándolos en sentido anti horario, por lo que los valores de los ángulos de los motores serán los siguientes:

$$\begin{aligned}\theta_1 &= \frac{\pi}{4} rad = 45^\circ; \\ \theta_2 &= \frac{3\pi}{4} rad = 135^\circ; \\ \theta_3 &= \frac{5\pi}{4} rad = 225^\circ; \\ \theta_4 &= \frac{7\pi}{4} rad = 315^\circ;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos \frac{\pi}{4} &= \sqrt{2}/2; & \cos \frac{3\pi}{4} &= -\sqrt{2}/2; \\ \sin \frac{\pi}{4} &= \sqrt{2}/2; & \sin \frac{3\pi}{4} &= \sqrt{2}/2; \\ \cos \frac{5\pi}{4} &= -\sqrt{2}/2; & \cos \frac{7\pi}{4} &= \sqrt{2}/2; \\ \sin \frac{5\pi}{4} &= -\sqrt{2}/2; & \sin \frac{7\pi}{4} &= -\sqrt{2}/2; \end{aligned}$$

Con esta configuración las expresiones de aceleración y velocidad analizadas en el Capítulo 2, y considerando que  $\alpha = \frac{1}{2}$  y el número de ruedas es de cuatro, son:

$$a = \frac{1}{m} \cdot M_A \cdot f;$$

$$v_M = M_V v_R;$$

Quedando de la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ R \cdot a_\omega \end{bmatrix} = \frac{1}{m} \cdot \begin{bmatrix} -\sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 \\ -\sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 \\ 2 & 2 & 2 & 2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \end{bmatrix}; \quad (4.12)$$

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 & 1/4 \\ \sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 & 1/4 \\ \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & 1/4 \\ -\sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & 1/4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{bmatrix}; \quad (4.13)$$

Para encontrar las relaciones inversas se utilizarán las matrices pseudoinversas  $M_a^+$  y  $M_v^+$ . Debido a que las matrices no son cuadradas si no rectangulares, para encontrar sus pseudoinversas respectivas se recurrirá a la definición:

$$A^+ = (A^T \cdot A)^{-1} A^T \text{ si el rango de } A = n$$

ó

$$A^+ = A^T \cdot (A \cdot A^T)^{-1} \text{ si el rango de } A = m.$$

Siendo la matriz A una matriz de dimensiones m x n.

La matriz  $M_a$  es una matriz de 3x4, cuyo rango es de 3. Por lo tanto su pseuinversa es

$$M_a^+ = M_a^T \cdot (M_a \cdot M_a^T)^{-1};$$

$$M_a^T = \begin{bmatrix} -\sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 & 2 \\ \sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 & 2 \\ \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & 2 \\ -\sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & 2 \end{bmatrix};$$

$$M_a \cdot M_a^T = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 16 \end{bmatrix};$$

$$(M_a \cdot M_a^T)^{-1} = \begin{bmatrix} 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/16 \end{bmatrix};$$

$$M_a^T \cdot (M_a \cdot M_a^T)^{-1} = \begin{bmatrix} -\sqrt{2}/4 & -\sqrt{2}/4 & 1/8 \\ \sqrt{2}/4 & -\sqrt{2}/4 & 1/8 \\ \sqrt{2}/4 & \sqrt{2}/4 & 1/8 \\ -\sqrt{2}/4 & \sqrt{2}/4 & 1/8 \end{bmatrix} = M_a^+;$$

La matriz  $M_v$  es una matriz de 3x4, cuyo rango es de 3. Por lo tanto su pseuinversa es

$$M_v^+ = (M_v^T \cdot M_v)^{-1} \cdot M_v^T;$$

$$M_v^T = \begin{bmatrix} -\sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 \\ -\sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 \\ 1/4 & 1/4 & 1/4 & 1/4 \end{bmatrix};$$

$$M_v^T \cdot M_v = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/4 \end{bmatrix};$$

$$(M_v^T \cdot M_v)^{-1} = \begin{bmatrix} 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 4 \end{bmatrix};$$

$$(M_v^T \cdot M_v)^{-1} \cdot M_v^T = \begin{bmatrix} -\sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 \\ -\sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = M_v^+;$$

Con esto, las ecuaciones quedan como sigue:

La ecuación para transformar las aceleraciones del robot en fuerzas de motores:

$$f = m \cdot M_A^+ \cdot a;$$

$$\begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sqrt{2}/4 & -\sqrt{2}/4 & 1/8 \\ \sqrt{2}/4 & -\sqrt{2}/4 & 1/8 \\ \sqrt{2}/4 & \sqrt{2}/4 & 1/8 \\ -\sqrt{2}/4 & \sqrt{2}/4 & 1/8 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ R \cdot a_\omega \end{bmatrix};$$

(4.14)

La ecuación que transforma velocidades de motores en velocidades del robot:

$$v_R = M_A^+ \cdot V_M ;$$

$$\begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 \\ -\sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix};$$

La ecuación que transforma las velocidades del robot en velocidades de los motores:

$$v_M = M_v \cdot v_R ;$$

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 & 1/4 \\ \sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 & 1/4 \\ -\sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & 1/4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega \end{bmatrix}; \quad (4.15)$$

La elección de los motores debe tener en cuenta la aceleración exigida, prestando mayor atención al rol del portero ya que será el encargado de interceptar la pelota que se dirija a uno de los extremos de la portería estando posicionado en el centro de la misma. Para realizar dicha intercepción, el tiempo estimado en que debe realizarla es de 0,5 seg y se tendrá en cuenta que la distancia que el robot deberá recorrer es de 0,35m, con lo que obtendremos el siguiente valor de la aceleración necesaria.

$$d = V_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2; \quad (4.16)$$

Siendo:

$d$  = distancia del centro de la portería a uno de los postes.

$V_0$  = velocidad inicial del robot.

$t$  = tiempo que tarda el robot en recorrer la distancia  $d$ .

$a$  = aceleración necesaria para recorrer la distancia  $d$  en el tiempo  $t$ .

Partiendo de los siguientes datos:

$d = 0,35\text{m}$ .

$V_0 = 0 \text{ m/s}$ .

$t = 0,5 \text{ s}$ .

$a = ?$ .

Por tanto el valor de la aceleración que debe alcanzar el robot será de:

$$a = \frac{2 \cdot d}{t^2} = \frac{2 \cdot 0,35}{0,5^2} = 2,8 \text{ m/s}^2;$$

El siguiente paso será obtener la fuerza que los motores deben aportar para lograr que el robot, cuya masa es de 2,5kg, alcance una aceleración de 2,8 m/s<sup>2</sup>, calculada previamente. En el cálculo se supondrá el peor de los casos posibles, que será cuando algún motor esté al 100% de su capacidad, ya que en ese momento habrá dos motores enfrentados funcionando a máxima capacidad y los otros dos estarán parados, es decir, la situación más desfavorable será cuando el robot se desplace sobre las diagonales de los ejes cartesianos y la  $a_\omega$  sea nula, por lo tanto el ángulo  $\theta$  de desplazamiento será de

$45^\circ$  o  $\frac{\pi}{4}$  rad con respecto a los ejes del plano cartesiano. Dicho esto, los motores que trabajarán al máximo de su capacidad, con respecto a cada diagonal, serán:

1. Los motores 2 y 4 trabajan al 100% cuando  $\theta = \frac{\pi}{4} \pm \pi$ .
2. Los motores 1 y 3 trabajan al 100% cuando  $\theta = \frac{3\pi}{4} \pm \pi$ .

Como los motores están posicionados a una distancia de  $\frac{\pi}{2}$  rad con respecto al anterior, todos los cálculos serán iguales para cada motor, esto nos facilitará de forma increíble la labor de calcular los vectores de fuerza y velocidad.

Las siguientes figuras muestran el vector de desplazamiento del robot para el cual los motores 1 y 3 o 2 y 4 trabajarán al máximo de su capacidad. Considerando que la magnitud de la aceleración deseada es de  $2,8 \text{ m/s}^2$ , al descomponerse se obtiene el vector de aceleraciones del robot:

$$a = \begin{bmatrix} 2,8 \cdot \cos \theta_i \\ 2,8 \cdot \sin \theta_i \\ 0 \end{bmatrix};$$

Utilizando la ecuación 4.3 obtendremos los resultados

$$\begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \end{bmatrix} = 2,5 \cdot \begin{bmatrix} -\sqrt{2}/4 & -\sqrt{2}/4 & 1/8 \\ \sqrt{2}/4 & -\sqrt{2}/4 & 1/8 \\ \sqrt{2}/4 & \sqrt{2}/4 & 1/8 \\ -\sqrt{2}/4 & \sqrt{2}/4 & 1/8 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 2,8 \cdot \cos \theta_i \\ 2,8 \cdot \sin \theta_i \\ 0 \end{bmatrix};$$

En las siguientes líneas se obtendrán los valores de fuerza de cada uno de los motores considerando sus respectivos casos.

Cuando  $\theta = \frac{\pi}{4} \pm \pi$  el robot se desplaza como lo indican las siguientes figuras:

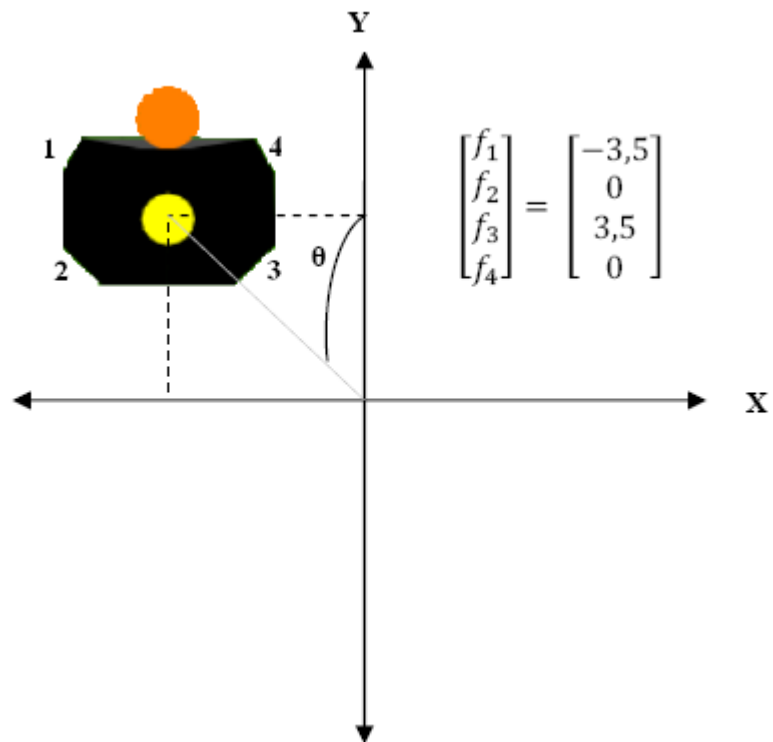


Figura 4.22. Desplazamiento del Robot con el Motor1 al 100%.

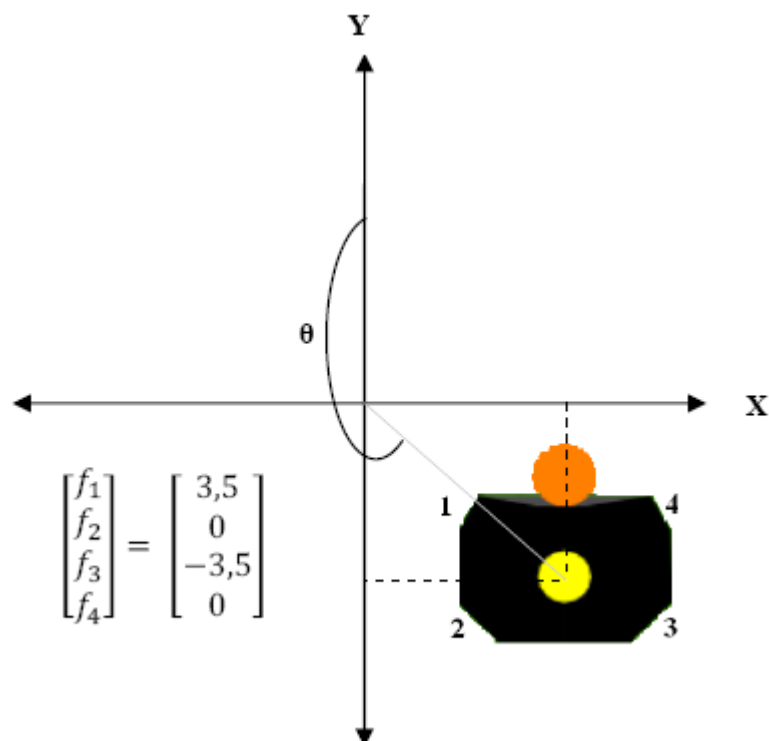


Figura 4.23. Desplazamiento del Robot con el Motor3 al 100%.

Cuando  $\theta = \frac{3\pi}{4} \pm \pi$  el robot se desplaza como lo indican las siguientes figuras:

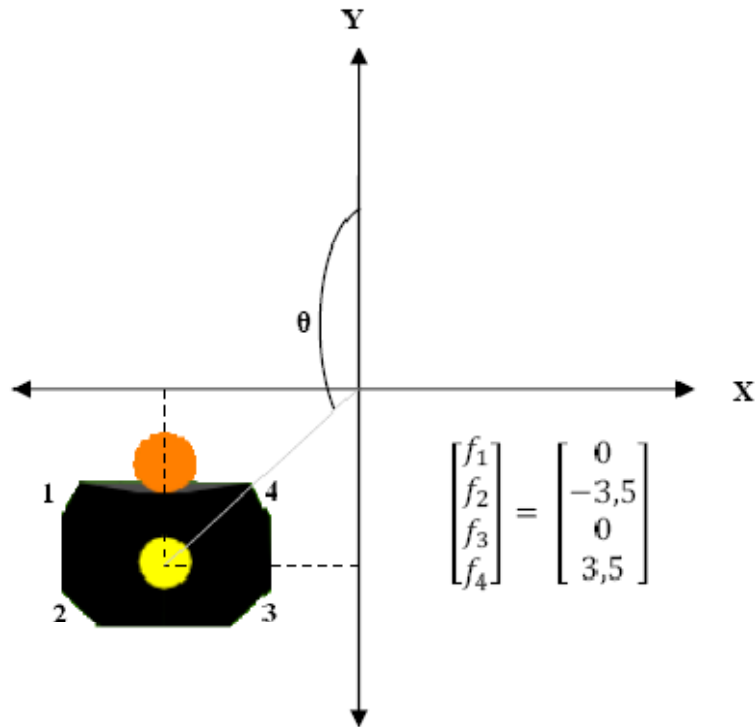


Figura 4.24. Desplazamiento del Robot con el Motor2 al 100%.

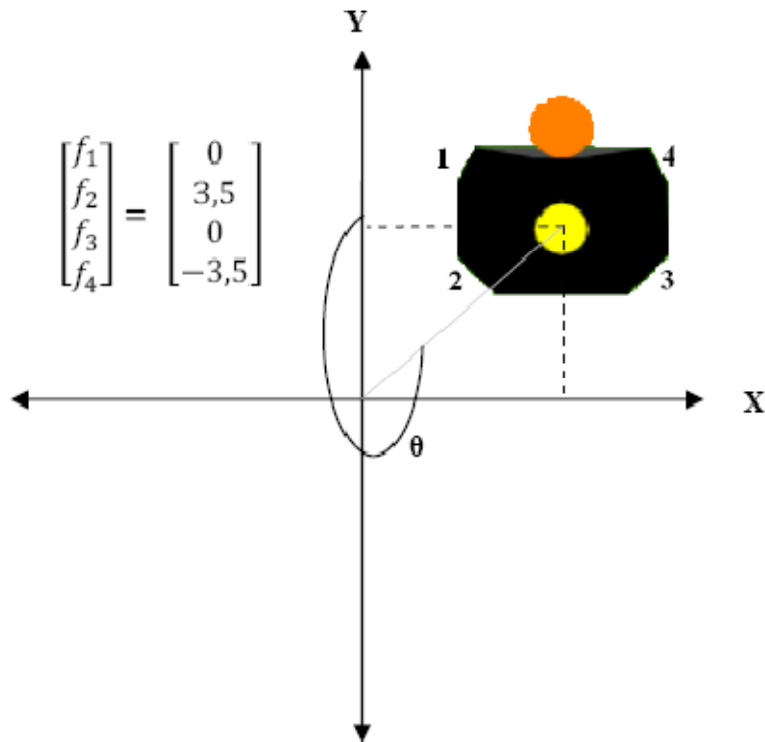


Figura 4.25. Desplazamiento del Robot con el Motor4 al 100%.



Se han obtenido los valores de fuerza para cada uno de los peores casos de los cuatro motores. De estas ecuaciones se obtiene la fuerza que debe aplicar el motor sobre las ruedas es de 3,5N. Si tenemos una rueda de 24,6mm de radio, como se ha visto anteriormente, el par requerido en el motor es de:

$$Par = f \cdot R = 3,5 \cdot 0,0246 = 86,1 \text{ mNm} \approx 86 \text{ mNm};$$

Por todo lo anterior, se concluye parcialmente que se debe seleccionar un motor con un engranaje que sea capaz de proporcionar un par mínimo de 86 mNm, de tal modo que nos asegure una aceleración mínima en el robot de  $2,8 \text{ m/s}^2$ .

#### 4.5. VECTOR DE VELOCIDADES

Se considera que los robots que la velocidad máxima que el robot debe alcanzar es de  $3 \text{ m/s}$ . Se ha tomado esta velocidad como tope debido a que los robots en las competencias mundiales alcanzan velocidades de hasta  $2,5 \text{ m/s}$ , debido a que nuestro objetivo es ganar los partidos, la velocidad de desplazamiento de nuestros robots deberá ser mayor que la de nuestros competidores, asegurándonos de este modo, llegar a los emplazamientos deseados antes que nuestro equipo competidor.

Para analizar el vector de velocidades, se procede de forma análoga a como se ha hecho anteriormente con las aceleraciones, por medio de la ecuación 3.9, es decir, suponiendo de nuevo el caso más desfavorable cuando se desplace por las diagonales de los ejes cartesianos y no rote sobre sí mismo:

$$v_M = M_v \cdot v_E;$$

Para la velocidad será:  $v_R = [v_x \quad v_y \quad \omega]^T$ ;

$$\alpha = \pi/4 \text{ rad} = 45^\circ;$$

$$v_x = v \cdot \cos \alpha = 3 \cdot \cos \frac{\pi}{4} = \frac{3\sqrt{2}}{2} \text{ m/s} \approx 2.1213 \text{ m/s};$$

$$v_y = v \cdot \sin \alpha = 3 \cdot \sin \frac{\pi}{4} = \frac{3\sqrt{2}}{2} \text{ m/s} \approx 2.1213 \text{ m/s};$$

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 & 1/4 \\ \sqrt{2}/2 & -\sqrt{2}/2 & 1/4 \\ -\sqrt{2}/2 & \sqrt{2}/2 & 1/4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 3\sqrt{2} \\ 2 \\ 3\sqrt{2} \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3 \\ 0 \\ 3 \\ 0 \end{bmatrix};$$

Procediendo de forma análoga, obtendremos el vector de velocidades para el resto de los cuadrantes.

$$\alpha = 3\pi/4 \text{ rad} = 135^\circ \rightarrow \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -3 \\ 0 \\ 3 \end{bmatrix};$$

$$\alpha = 5\pi/4 \text{ rad} = 225^\circ \rightarrow \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 \\ 0 \\ -3 \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$\alpha = 7\pi/4 \text{ rad} = 315^\circ \rightarrow \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \\ 0 \\ -3 \end{bmatrix};$$

Para completar el estudio se procede a obtener las revoluciones que la rueda debe recorrer a la velocidad exigida en un segundo para luego convertirla a minutos (rpm), esto se obtiene de la siguiente expresión:

$$\omega_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}} = v_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}} \cdot \frac{1}{2\pi R} \left( \frac{\text{rev}}{\text{seg}} \right) \left( \frac{60\text{seg}}{\text{min}} \right);$$
$$\omega_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}} = 3 \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot 0,0246} = 1.164,5484 \text{ rpm} \approx 1.165 \text{ rpm};$$

#### 4.6. ELECCIÓN DE LOS MOTORES

A partir de los datos obtenidos y el espacio limitado, el motor a elegir debe cumplir los siguientes requisitos mecánicos mínimos:

Par después de engranes: 86 mNm.

Rpm: 1.165 rpm.

Con estos datos de opta por dos siguientes motores: EC45 flat brushless, 30W, en los modelos con y sin electrónica integrada.

Ambos motores se presentan en la opción de dos ó cinco conexiones, en nuestro caso se opta en sendos motores por la versión de 5 conexiones ya que nos permite controlar de forma analógica la velocidad, en vez de una forma proporcional. En ambos se puede controlar la dirección de giro mediante un bit de la placa de control.



#### **4.6.1. EC45 Flat Brushless 30W**

Se pensó en este motor ya que cumplía con los requisitos de tamaño, que eran los más exigentes consiguiendo que se pudiesen implementar cuatro unidades de motores dejando espacio suficiente en la base para los demás elementos. Este motor proporciona una velocidad nominal de 2850, que es más de lo que se exigía. El principal problema que presentaba era que el par no era el suficiente, por lo que precisaba de una reductora. Para su control sería necesario implementar un driver con el cual controlar el sentido y la velocidad de giro de los motores, precisando un driver para cada motor y la electrónica necesaria para controlarlo.

Para que el motor nos diese el par deseado, habría que implementar una reductora 2:1, dándonos un par de 117,6 mNm y una velocidad de 1.092 rpm. Los cálculos de la reductora se pueden ver en el Anexo I. El problema que ahora surge es que al añadir un sistema mecánico para controlar el motor, aumentamos su tamaño. Según se informa en Maxon Motors, distribuidor que nos proporciona el motor, este dispositivo aumentará su tamaño en alrededor de 70mm, ocasionándonos una disminución drástica en el espacio disponible de la base.

Prestando atención al control que nos ofrece el distribuidor para este motor, no sólo nos aumenta el espacio requerido individualmente si no que el precio total también lo hace, ocasionando un desembolso mayor.

## EC 45 flat $\varnothing 45$ mm, brushless, 30 Watt

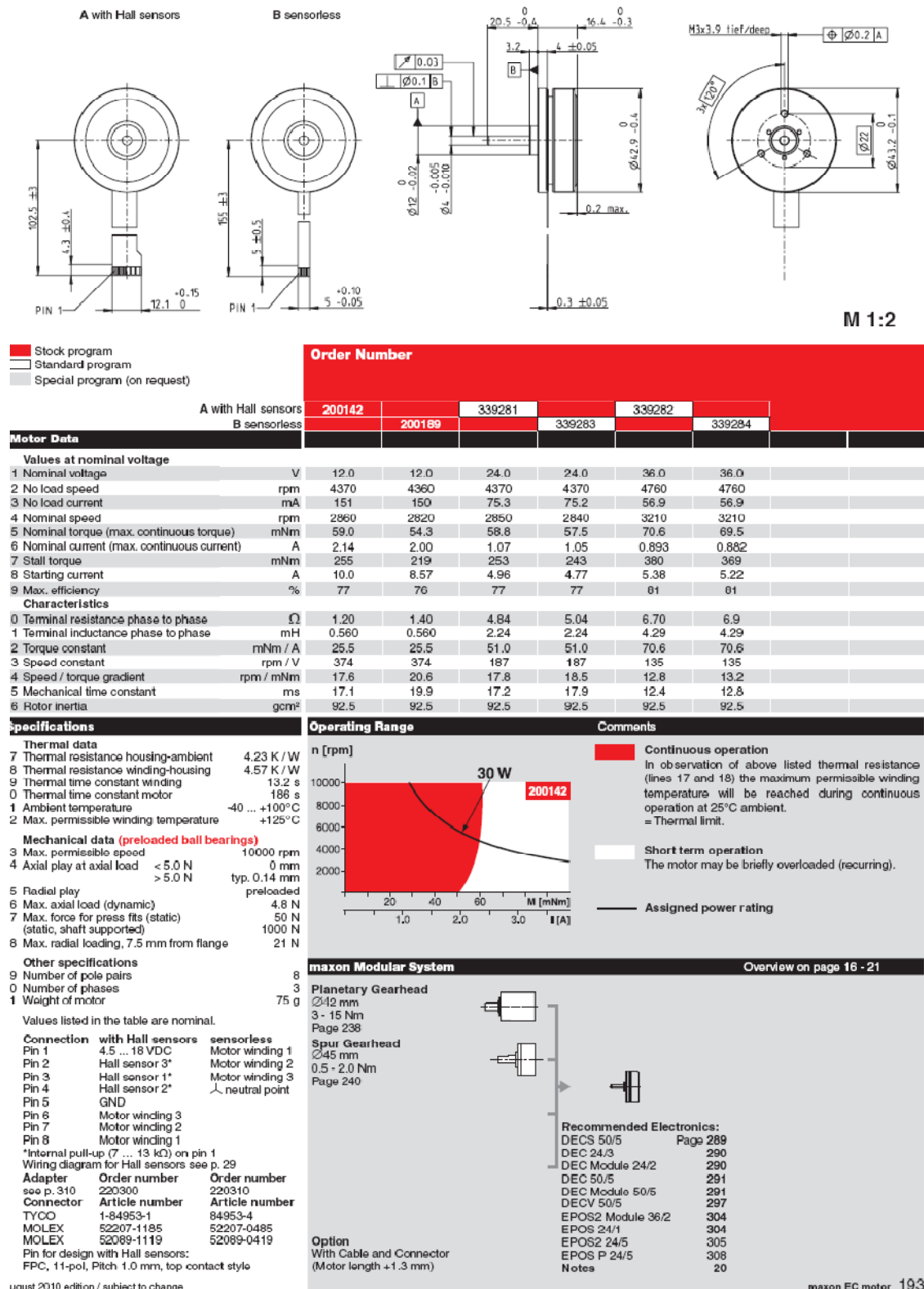


Figura 4.26. EC45 Flat Brushless 30W, número 339281.



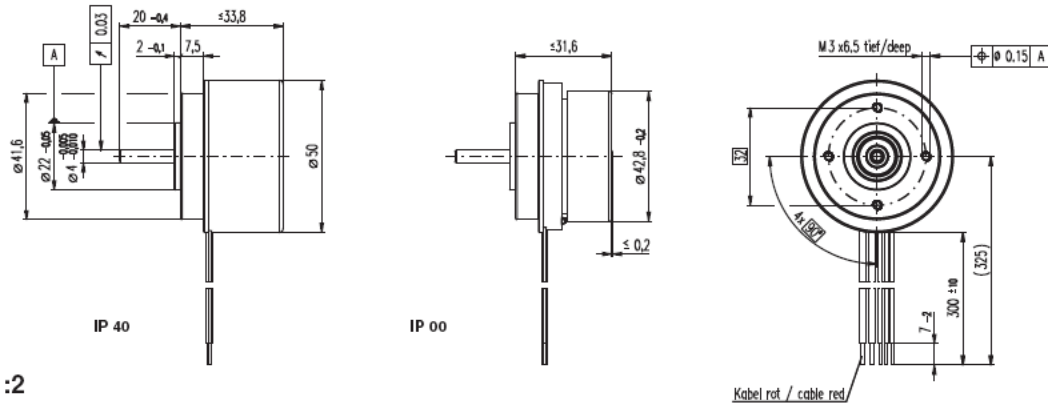
#### **4.6.2. EC45 Flat Brushless 30W, con electrónica integrada.**

Este motor es la una versión del anterior, pero nos da un par y velocidad nominales considerablemente más altas. Con esto y, sin necesidad de reductora, cumple con los requisitos mínimos exigidos tanto en par como en velocidad y superándolos, ya que ofrece una par de 91 mNm y una velocidad de hasta 6.000rpm.

Teniendo en cuenta que este motor incorpora toda la electrónica necesaria para su correcto control y manejo, nos libera cierta cantidad tanto de espacio como de peso.

## EC 45 flat brushless, 30 Watt, with integrated electronics

1-Q-speed controller



M 1:2

- Stock program
- Standard program
- Special program (on request)

	Order Number							
	2 wire version				5 wire version			
					Enable	Direction		
IP 40 (with cover)	353518		353519		350909		370425	
IP 00 (without cover)		353516		353517		352886		370424
<b>Motor Data (provisional)</b>								
<b>Values at nominal voltage</b>								
1 Nominal voltage	V	24	24	24	24	24	24	24
2 No load speed	rpm	3000	3000	6000	6000	6000	6000	6000
3 No load current	mA	105	105	222	222	222	222	222
4 Nominal speed	rpm	3000	3000	6000	6000	6000	6000	6000
5 Nominal torque (max. continuous torque)	mNm	65	91	67	91	67	91	67
6 Nominal current (max. continuous current)	A	1.2	1.8	2.4	3	2.4	3	2.4
33 Max. torque	mNm	106	106	104	104	104	104	104
34 Max. current	A	2.1	2.1	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
9 Max. efficiency	%	71	71	73	77	73	77	77
<b>Characteristics</b>								
35 Control variable		Speed	Speed	Speed	Speed	Speed	Speed	Speed
36 Supply voltage + V <sub>CC</sub>	V	10 ... 28	10 ... 28	10 ... 28	10 ... 28	10 ... 28	10 ... 28	10 ... 28
37 Speed set value input	V	= V <sub>CC</sub>	= V <sub>CC</sub>	= V <sub>CC</sub>	= V <sub>CC</sub>	0.33 ... 10.8	0.33 ... 10.8	0.33 ... 10.8
38 Scale speed set value input	rpm/V	125	125	250	250	600	600	600
39 Speed range	rpm	1250 ... 3500	1250 ... 3500	2500 ... 7000	2500 ... 7000	200 ... 6480	200 ... 6480	200 ... 6480
40 Max. acceleration	rpm/s	3000	3000	6000	6000	6000	6000	6000

Specifications	Operating Range	Comments
<b>Thermal data</b> 17 Thermal resistance housing-ambient 5.8 (3.5) K / W 18 Thermal resistance winding-housing 5 K / W 19 Thermal time constant winding 25 s 20 Thermal time constant motor 650 (400) s 21 Ambient temperature -40 ... +85°C 22 Max. permissible winding temperature +125°C 41 Max. temperature of electronics +105°C  <b>Mechanical data (preloaded ball bearings)</b> 16 Rotor inertia 135 gcm <sup>2</sup> 24 Axial play at axial load < 2 N 0 mm > 2 N 0.14 mm 25 Radial play preloaded 26 Max. axial load (dynamic) 6.8 N 27 Max. axial load (static) (static, shaft supported) 95 N 1000 N 28 Max. radial loading, 7.5 mm from flange 51 N  <b>Other specifications</b> 31 Weight of motor 226 g 32 Direction of rotation Clockwise (CW)	<b>Operating Range</b> n [rpm] vs M [mNm] plots for: - 350909, 352886, 370425, 370424 - 353518, 353516 - 353519, 353517	<b>Continuous operation</b> The drive can be operated with a speed controller and, taking account of the given thermal resistance (fig. 17 and 18) at an ambient temperature of 25°C, does not exceed the maximum permissible operating temperatures.  <b>Overload range</b> The drive reaches these operating points. Speed may vary from the set value. The overload protection shuts down the drive in the event of sustained overload.
<b>Protective functions</b> Overload protection, blockage protection, inverse-polarity protection, thermal overload protection, low/high voltage cut-off  <b>Connection 2 wire version (Cable AWG 18/24)</b> red + V <sub>CC</sub> 10 ... 28 VDC black GND  <b>Connection 5 wire version (Cable AWG 18/24)</b> red + V <sub>CC</sub> 10 ... 28 VDC black GND white Speed set value input green Monitor n (6 pulses per revolution) grey Disable (Enable) or sense of direction change over (Direction)	<b>maxon Modular System</b> <b>Planetary Gearhead</b> Ø42 mm 3 - 15 Nm Page 240  <b>Spur Gearhead</b> Ø45 mm 0.5 - 2.0 Nm Page 242	Overview on page 16 - 21

May 2009 edition / subject to change

maxon EC motor 197

Figura 4.27. EC45 Flat Brushless 30W con electrónica integrada, número 370424.

### 4.6.3. Conclusiones

Ante lo visto anteriormente el motor con electrónica integrada cumple los parámetros exigidos, incluso superándolos. Debido a esto se opta por utilizar cuatro motores EC45 FLAT BRUSHLESS 30W, CON ELECTRÓNICA INTEGRADA.



Figura 4.28. Diferentes vistas del Motor Elegido.

### 4.6.4. Sobre el Funcionamiento del Motor

Una de las peculiaridades que presenta el motor elegido es el rango de funcionamiento que ofrece en función del valor de tensión con que se alimente ( $V_{cc}$ ). En nuestro caso, todo el robot es alimentado mediante una batería Li-Po con una tensión de 14,7V; esto nos limita la velocidad máxima en unas 4.500 rpm aproximadamente, valor que corresponde a un par de 86 mNm en la gráfica.

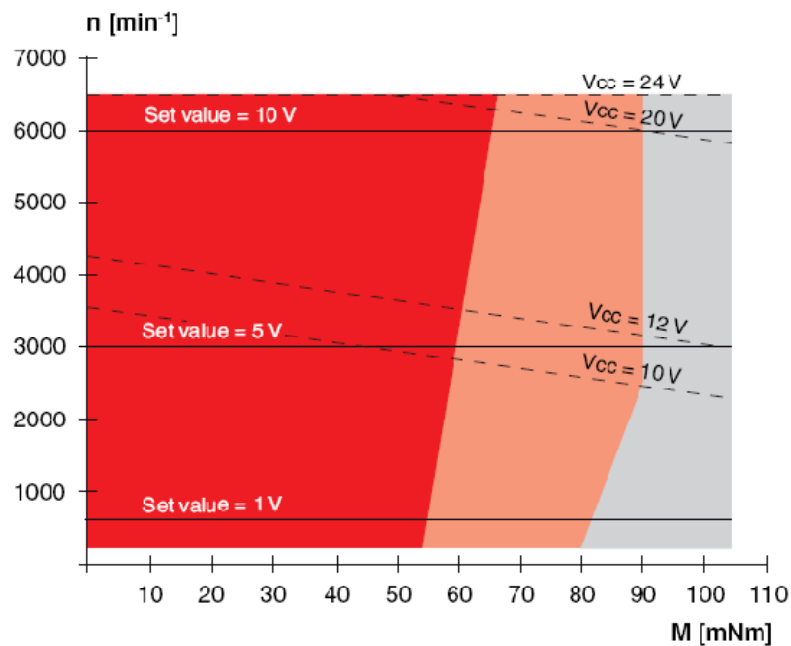


Figura 4.29. Rango de funcionamiento  $n = f(M)$ .

Este tipo de funcionamiento se debe a la electrónica integrada en el propio motor. Esta nos proporciona las siguientes características:

- Conmutación con sensores de efecto Hall.
- Control digital de velocidad.
- Amplio rango de velocidades.
- Fijado restrictivo de intensidad.
- Apagado por sobretensión y falta de la misma.
- Protección frente a sobretensión.
- Protección de bloqueo y monitorización de temperatura.
- Protección ante polaridad inversa.

Es por todo esto por lo que se decide no utilizar ningún tipo de driver para su control y realizarlo directamente desde la placa mediante un control PWM.

#### **4.7. CONTROL PWM**

El principal problema de los motores de corriente continua es el control de velocidad. Para la mayoría de las aplicaciones, la velocidad es un factor importante que determinará la calidad de la operación. Otra característica de muchas aplicaciones es el control de la dirección de rotación.

El control de la velocidad de motores de corriente continua se realiza ya sea a través de la variación de la tensión o por medio de un tren de pulsos. Aplicando un tren de pulsos se proporcionará al motor conducción durante una fracción de tiempo. Esto tiene el efecto de ajustar la velocidad a un valor más o menos estable. La frecuencia del pulso y el ciclo de trabajo fijarán la cantidad de corriente recibida por las bobinas del motor por unidad de tiempo y por tanto determinarán la velocidad de rotación.

Las señales PWM, Pulse Width Modulation, pueden ser usadas para reducir la cantidad total de potencia proporcionada a una carga sin ocasionar pérdidas debidas a controles con cargas resistivas. Esto se debe a que la potencia media que se aporta es proporcional al ciclo de trabajo de la modulación. Con un índice de modulación suficientemente alto, los filtros electrónicos pasivos pueden ser usados para suavizar el tren de pulsos y recuperar señal sinusoidal analógica.



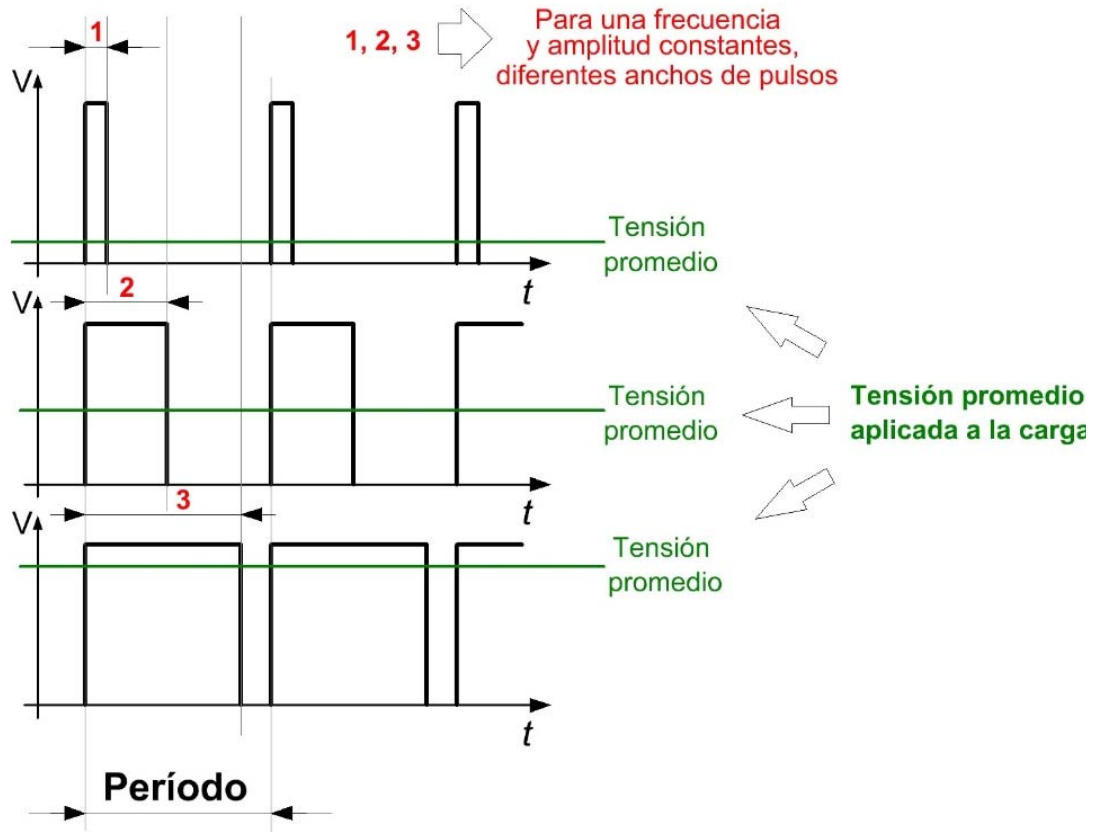


Figura 4.30. Modulación por Ancho de Pulsos.

El valor medio de la señal  $f(t)$  está definido como:

$$\bar{y} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt ;$$

Si  $f(t)$  es una señal cuadrada de período  $T$  y ciclo de trabajo  $D$ , entonces su valor es  $y_{M\acute{A}x}$  para  $0 < t < DT$  y  $y_{m\acute{i}n}$  para  $DT < t < T$  y la expresión del valor promedio se puede expresar como:

$$\bar{y} = \frac{1}{T} \left( \int_0^D y_{M\acute{A}x} dt + \int_{DT}^T y_{m\acute{i}n} dt \right);$$

$$\bar{y} = \frac{D \cdot y_{M\acute{A}x} + T \cdot (1 - D) \cdot y_{m\acute{i}n}}{T};$$

$$\bar{y} = D \cdot y_{M\acute{A}x} + (1 - D) \cdot y_{m\acute{i}n};$$



Con la expresión anterior, si  $y_{\min} = 0$  entonces  $\bar{y} = D \cdot y_{\text{MÁx}}$  lo que implica que para una señal cuadrada el valor promedio está directamente relacionado con el ciclo de trabajo de la señal.

En este prototipo, al no haber un Sistema de Visión que controle las acciones del equipo, se predefinieron varios movimientos, teniendo cada uno asignado una programación específica para el movimiento deseado del robot. De esta forma, el módulo de comunicación RCM5400W manda las señales pertinentes a cada motor indicando la longitud del pulso de la PWM y el sentido de giro. Cada movimiento se introduce por medio de una interfaz gráfica y se manda por una red WiFi que crea el propio módulo para comunicarse directamente con el ordenador con que se maneja. En el futuro, la longitud de estos pulsos de control serán elegidos en función de la necesidad por el Sistema de Inteligencia Artificial.



## *CAPÍTULO 5*

### 5. CONCLUSIONES Y MEJORAS

---

#### 5.1. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos han sido similares a los que en un principio se esperaron. Se ha creado una plataforma móvil que da cabida al resto de sistemas. Dispone de buena aceleración y velocidad, es robusta, y cumple con los requisitos impuestos en la normativa de la Liga. Una muestra de ello ha sido que la gran mayoría de las pruebas se han tenido que hacer a la velocidad mínima que permitía el movimiento del robot puesto que si no se incrementaba la complejidad del manejo del robot sin poner en peligro su integridad. Se ha podido implementar todos los sistemas en el espacio tan reducido del que se disponía, limitación que nos impuso innumerables complicaciones, mayores temores y cuantiosas dudas.

Se han comprobado problemas en cuanto a la estabilidad y adherencia del robot ocasionada por las ruedas, ya que estas están diseñadas dejando un espacio bastante amplio entre cada rodillo de goma, provocando un traqueteo constante, comprometiendo los resultados del robot. Esto se previó a la hora de decantarse por unas ruedas comerciales en vez de optar por un diseño específico del robot. Al tratarse de un prototipo que partía desde cero, no se consideró en exceso importante ya que se le dio más peso a que el sistema al completo funcionase de una forma aceptable para así poder comprobar fallos y debilidades.



## 5.2. MEJORAS

Teniendo en cuenta los problemas surgidos durante las pruebas y el comportamiento del robot durante las mismas, las mejoras que se proponen son las siguientes:

- Diseñar unas ruedas omnidireccionales específicas para este robot con el fin de eliminar el traqueteo y aumentar la adherencia al terreno. Esta mejora es de considerable importancia en caso de que se pretenda presentar el robot a futuras competiciones de la Liga Small Size.
- Se podría cambiar el ángulo en el que se han instalado los motores, cambiando de una cruz, como los ejes cartesianos, por una disposición de aspas, dejando un mayor espacio en las zonas frontal y posterior, con el fin de aumentar la zona de recepción de la pelota y del sistema de regateo o *dribbling*.
- En caso de querer cambiar los parámetros propuestos de aceleración, se podría diseñar una reductora para los motores, de tal forma que aumenten el par y no disminuyan drásticamente la velocidad máxima. Habrá que tener en cuenta el espacio del que se dispone.

## CAPÍTULO 6

### 6. PRESUPUESTO

#### 6.1. COSTE MATERIAL

##### 6.1.1. Estructura

Concepto	Precio Unitario	Unidades	Precio Total
Base Principal aluminio 4mm de espesor, 18 cm diámetro	90,00	1	90,00
Escuadra motor aluminio 1.5mm	7,00	4	28,00
Escuadra solenoide aluminio 1.5 mm	7,00	1	7,00
Pilar Soporte eje de aluminio 4 mm	7,35	2	14,70
Base primera planta aluminio 1.5 mm	20,00	1	20,00
Base segunda planta aluminio 1.5 mm	20,00	1	20,00
Separadores roscados	1,00	15	15,00
Tornillería	3,00	-	3,00
		<b>TOTAL</b>	197,70

### 6.1.2. Sistema Locomotor

Concepto	Precio Unitario	Unidades	Precio Total
Rueda omnidireccional mod 2051	2,06	4	8,24
Casquillo rueda	4,00	4	16,00
Motor EC45 Flat Brushless 30W con electrónica integrada	186,45	4	745,80
<b>TOTAL</b>			<b>770,04</b>

### 6.1.3. Dribbler

Concepto	Precio Unitario	Unidades	Precio Total
Rueda 34 dientes	1,65	1	1,65
Rueda 12 dientes	1,15	1	1,15
Topes de goma	2,15	2	4,30
Motor Maxon Slim A-max	36,51	1	36,51
Barra roscada de 3mm de diámetro	1,25	1	1,25
<b>TOTAL</b>			<b>44,86</b>

### 6.1.4. Sistema de Disparo

Concepto	Precio Unitario	Unidades	Precio Total
Solenoides de Tracción 24Vdc RP16 X 16 Magnet-Schultz	28,49	1	28,49
Condensador Snap-In UQ 1500uF 250V 85deg C	10,95	2	21,90
Condensador electro Al TSUP,470uF 100V	4,19	1	4,19
Bobina 1mH	3,80	1	3,80
Bobina 10mH	4,10	1	4,10
Mosfet FDP51N25	2,63	3	7,90
BJT BD249	4,55	2	9,10
Diodo STTH5L06D	0,99	5	4,95
LM741	0,49	1	0,49
NE555	0,48	1	0,48
Componentes electrónicos varios	5,00	1	5,00
<b>TOTAL</b>			<b>90,40</b>

### 6.1.5. Sistema de Control

Concepto	Precio Unitario	Unidades	Precio Total
Placa de control Rabbit RCM 5400W	240,00	1	240,00
<b>TOTAL</b>			240,00

### 6.1.6. Cableado y Conexionado

Concepto	Precio Unitario	Unidades	Precio Total
Cables, clemas y conectores	Varios	Varios	15,00
Protector helicoidal para cables	10m	0,57	5,70
<b>TOTAL</b>			20,70

### 6.1.7. Alimentación

Concepto	Precio Unitario	Unidades	Precio Total
Batería 14,8V 3300MAH 30C	59,99	1	59,99
Cargador/Equilibrador LiPO "Dual Power"	79,99	1	79,99
<b>TOTAL</b>			139,98

## 6.2. COSTE DE PERSONAL

Los costes de personal se han calculado en función de los sueldos base para Ingenieros técnicos y la cuantía de las becas para ingeniero técnico. La duración se ha estimado en 9 meses, tiempo que engloba el diseño, la construcción y la redacción del presente proyecto. Los cargos sobre los salario brutos son de un 7% en concepto de Seguridad Social y un 22% en concepto de I.R.P.F.

Concepto	Sueldo mensual	Meses	Total
Ingeniero Técnico Industrial	1.500,00	9	13.500,00
		Total antes de impuestos	13.500,00
<b>TOTAL</b>			17.415,00



### 6.3. PRESUPUESTO FINAL

El importe total asciende a:

<b>Concepto</b>	<b>Total</b>
Coste material	1.503,68
Coste personal	17.415,00
<b>TOTAL</b>	<b>18.918,68</b>

El presupuesto de ejecución material del proyecto asciende a la cantidad de **DIECIOCHO MIL NOVECIENTOS DIECIOCHO CON SESENTA Y OCHO EUROS.**





## CAPÍTULO 7

### 7. BIBLIOGRAFÍA

---

#### 7.1. RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS

- [1] DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MICROROBOT (EUROBOT08). Pablo Escribano García, PFC Universidad Carlos III de Madrid.
- [2] SISTEMA DE CONTROL DE TRACCIÓN Y POSICIONAMIENTO DE UN MICROROBOT EUROBOT 2008. Roberto Apéstigue Oreja. PFC Universidad Carlos III de Madrid.
- [3] DISEÑO GLOBAL DE ARQUITECTURA Y HW DE ROBOSOCER SSL. Jesús Emilio Fernández de Frutos. PFC Universidad Carlos III de Madrid.
- [4] DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA HARDWARE PARA LA ROBOCUP SMALL SOCCER LEAGUE (SSL). Francisco Javier Bermejo Lozoya. PFC Universidad Carlos III de Madrid.
- [5] TEAM DESCRIPTION FOR ROBOCUP 2010. Parsian SSL Team. Amirkabir University Of Technology (Tehran Polytechnic).
- [6] TEAM DESCRIPTION FOR ROBOCUP 2009. Parsian SSL Team. Amirkabir University Of Technology (Tehran Polytechnic).
- [7] DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LOS ROBOTS F180 DEL ITAM. Edgar David Sotelo Iniesta. Instituto Tecnológico Autónomo De México.



- [8] DISEÑO DE LA ARQUITECTURA HARDWARE DEL ROBOT HUMANOIDE RH-2. Andrés Cano Sánchez. PFC Universidad Carlos III de Madrid.
- [9] ÁLGEBRA LINEAL. Ron Larson. Madrid, Pirámide, 2006.
- [10] FÍSICA, Vol. 1, P.A. Tipler, Ed. Reverté.
- [11] CURSO DE VERANO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MICRO-ROBOT. Francisco José Rodríguez Urbano. Universidad Carlos III de Madrid.

## 7.2. RECURSOS ELECTRÓNICOS

- [12] <http://www.robocup.org/>
- [13] <http://en.wikipedia.org/wiki/Robocup>
- [14] [http://small-size.informatik.uni-bremen.de/\\_media/rules:ssl-rules-2010.pdf](http://small-size.informatik.uni-bremen.de/_media/rules:ssl-rules-2010.pdf)
- [15] <http://ccc.inaoep.mx/%7Eesucar/Clases-irob/ir2-locomocion.pdf>
- [16] <http://www.clubse.com.ar/news/news11/notas/nota10.htm>
- [17] <http://www.kornylak.com/wheels/transwheel-2000.html>
- [18] <http://wiki.mech.uwa.edu.au/upload/a/ac/Transwheels.pdf>
- [19] <http://www.neoteo.com/irfz44n-el-mos-fet-de-batalla-para-pwm.neo>
- [20] [http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width\\_modulation](http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation)
- [21] <http://www.kornylak.com/wheels/transwheel-specifications.html>
- [22] <http://www.kornylak.com/images/pdf/transwheel-brochure.pdf>
- [23] [https://downloads.maxonmotor.com/Katalog\\_neu/eshop/Downloads/Katalog\\_PDF/maxon\\_ec\\_motor/EC-flat-programm/new/newpdf\\_10/EC-45-flat-200142\\_10\\_EN\\_193.pdf](https://downloads.maxonmotor.com/Katalog_neu/eshop/Downloads/Katalog_PDF/maxon_ec_motor/EC-flat-programm/new/newpdf_10/EC-45-flat-200142_10_EN_193.pdf)
- [24] [https://downloads.maxonmotor.com/Katalog\\_neu/eshop/Downloads/Katalog\\_PDF/maxon\\_ec\\_motor/EC-flat-programm/new/newpdf\\_10/EC-45-flat-353516\\_10\\_EN\\_195.pdf](https://downloads.maxonmotor.com/Katalog_neu/eshop/Downloads/Katalog_PDF/maxon_ec_motor/EC-flat-programm/new/newpdf_10/EC-45-flat-353516_10_EN_195.pdf)
- [25] [https://downloads.maxonmotor.com/Katalog\\_neu/eshop/Downloads/EC\\_Bedienungsanleitungen/EC\\_45\\_flat/EC\\_45\\_flat\\_353518\\_Operating-Instruction\\_en.PDF](https://downloads.maxonmotor.com/Katalog_neu/eshop/Downloads/EC_Bedienungsanleitungen/EC_45_flat/EC_45_flat_353518_Operating-Instruction_en.PDF)



- [26][https://downloads.maxonmotor.com/Katalog\\_neu/eshop/Downloads/allgemeine\\_informationen/Technik\\_kurz\\_und\\_buendig/newpdf\\_10/EC-Technik-kurz-und-buendig\\_10\\_EN\\_026-027.pdf](https://downloads.maxonmotor.com/Katalog_neu/eshop/Downloads/allgemeine_informationen/Technik_kurz_und_buendig/newpdf_10/EC-Technik-kurz-und-buendig_10_EN_026-027.pdf)
- [27][https://downloads.maxonmotor.com/Katalog\\_neu/eshop/Downloads/allgemeine\\_informationen/Standardspezifikation/newpdf\\_10/EC-Standardspezifikation\\_10\\_EN\\_136.pdf](https://downloads.maxonmotor.com/Katalog_neu/eshop/Downloads/allgemeine_informationen/Standardspezifikation/newpdf_10/EC-Standardspezifikation_10_EN_136.pdf)



## *CAPÍTULO 8*

### 8. ANEXOS

---

A continuación se adjunta:

- Cálculos de reductora
- Hojas de características ruedas omnidireccionales modelo 2051
- Hojas de características motor EC45 Flat Brushless 30W
- Hojas de características motor EC45 Flat Brushless 30W con electrónica integrada
- Hojas de características tecnología brushless
- Instrucciones de operación del motor EC45 Flat Brushless 30W con electrónica integrada
- Plano detallado de la base del robot
- Plano detallado de las escuadras de los motores

Cálculos relacionados con el cálculo de la reductora:

Condiciones nominales:

$$\omega_e = 2.850 \text{ rpm};$$

$$T_e = 58,8 \text{ mNm};$$

$$\eta = 77\%;$$

Condiciones deseadas:

$$\omega_s = 1.165 \text{ rpm};$$

$$T_s = 86 \text{ mNm};$$

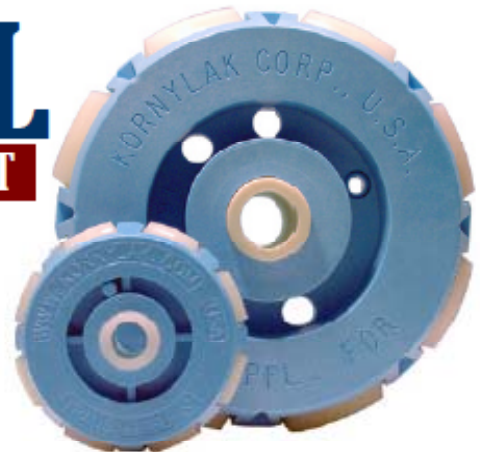
$$T_s \cdot \omega_s = R \cdot T_e \cdot \omega_e;$$
$$k = \frac{T_s}{T_e} = R \cdot \frac{\omega_e}{\omega_s}; \rightarrow k = \frac{T_s}{T_e} = \frac{86}{58,8} = \frac{215}{147} \approx 1,4626;$$
$$\omega_s = \eta \cdot \frac{\omega_e}{k} = 0,77 \cdot \frac{2.850}{1,4626} \approx 1500 \text{ rpm};$$

Como el valor de la reducción tiene que ser un valor comercial, optamos por  $k=2$ , por lo que los parámetros quedarían del siguiente modo:

$$T_s = 2 \cdot 58,8 = 117,6 \text{ mNm};$$
$$\omega_s = 0,77 \cdot \frac{2.850}{2} = 1.097 \text{ rpm};$$

# TRANSWHEEL

FOR MULTI-DIRECTIONAL MOVEMENT



**KORNYLAK CORPORATION**  
Hamilton, Ohio U.S.A  
[www.kornylak.com](http://www.kornylak.com)  
1-800-837-5676

KORNYLAK CORPORATION

## TRANSWHEEL

### Unique Design

The Transwheel's unique design contains eight free-turning rollers perpendicular to the axle arranged around the Transwheel periphery. This distinct design combined with the rotation of the wheel body provides the ability to move loads in any direction without "freezing." Its enclosed, light-weight body is self cleaning and keeps out foreign material.

### Corrosion-Resistant Structure

Transwheels are constructed with a standard ABS body, Nylon rollers, a Polyethylene center axle, Delrin sprockets, and stainless steel roller axles with low friction coatings. The combination of these materials creates a corrosion-resistant wheel that allows steam cleaning, water immersion, and outdoor use. Self-lubricating properties eliminate the need for oil or grease.

### Sizes

Transwheels are available with a 2" or 4" outer diameter. The Series 2000 Transwheels have a 2" outer diameter and a 25 pound/wheel load rating. The Series 4000 Transwheels have a 4" outer diameter and a 100 pound/wheel load rating. Center bore diameters vary according to the particular Transwheel model.

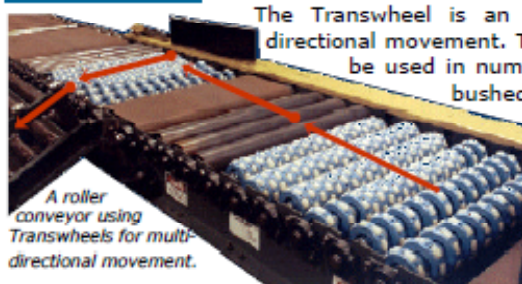
### Styles

The Transwheel is available in a variety of styles for standard and special applications.

- Standard Transwheel Models: Plain Bore, Bushed, Axled, Keyway, Sprocketed, Multiple Row, and Hex Bore.
- Transwheel Assemblies: Idler Transrail and Transection.

In addition, Kornylak will design and furnish special Transwheels and Transwheel Assemblies to suit your specific needs.

### Applications



A roller conveyor using Transwheels for multi-directional movement.

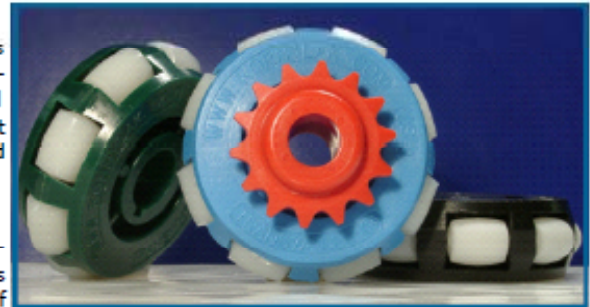
The Transwheel is an indispensable component for any application that requires multi-directional movement. The Transwheel's unique features create an all-purpose wheel that can be used in numerous industries ranging from **material handling** to **robotics**. The bushed Transwheel has the same basic dimensions as a standard skatewheel, and can easily convert any section conveyor into a multi-directional "ball table" or work station using the same axle rods and spacers. The keyway and the sprocket models allow the Transwheel to be used as a powered conveyor wheel. The Cat-Trak Transwheels offer resilient, non-marring surfaces for use with robots, and by glass and window manufacturers. The Transwheel's exceptional light weight is an important advantage for portable or aircraft equipment.

Other applications include: conveyor discharge or loading stations, packaging tables, appliance casters, transfers between angled conveyors, powered turns and powered multi-directional tables.

### Options

**Cat-Trak Transwheel:** The Cat-Trak Transwheel has been specially designed with traction in mind when power is applied. The Cat-Trak Transwheel has the ability to provide the ultimate in gripping power to operate on slick surfaces. Unlike the standard Transwheel rollers that are made from nylon, the Cat-Trak Transwheels are produced with either **Synthetic Rubber Coated Polypropylene Rollers** or **Polyurethane Rollers**. The Cat-Trak Transwheels are highly popular for use with robots, glass and window manufacturers, and in other similar circumstances where wheels need traction to grip the surface. The Polyurethane Rollers provide a stronger gripping force than the Rubber Coated Rollers; however both wheels provide remarkable traction. The Series 4000 Transwheels are available with both types of Cat-Trak rollers, and the Series 2000 Transwheels are available only with the Synthetic Rubber Coated Polypropylene Rollers.

**High-Impact Plastic:** Transwheels are also available in a high-impact plastic that provides resistance to extreme vibration. These Transwheels are ideal for 90 degree transfers using gravity or power, and are widely used by automotive tire manufacturers for conveying and in-process storage of rubber ply stock.



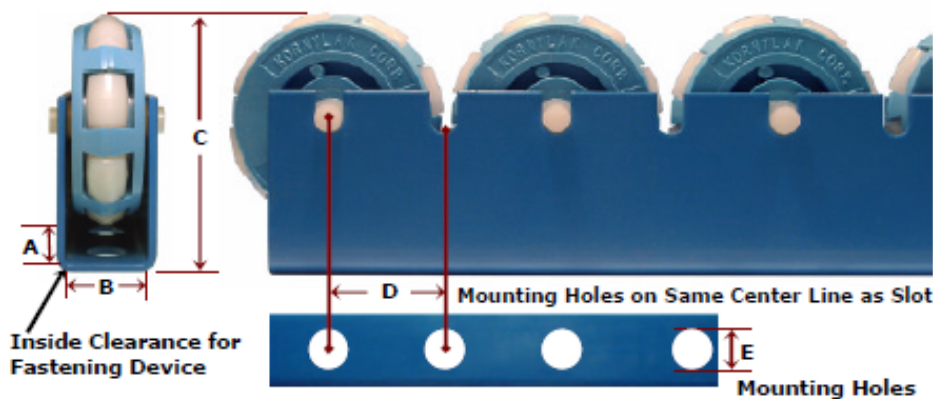
A specially designed Transwheel Assembly with 4" Double Row Transwheels.

## Idler Transrail

The Idler Transrail comes in 5-foot lengths with closely spaced holes in bottom face for trouble-free mounting. They are available for both the 2" Axled Transwheels (Model 2051A with 25 lb. capacity) and the 4" Axled Transwheels (Model 4201A with 100 lb. capacity.) The Axled Transwheels snap into snug-fitting slots for multiple spacing, and the rails are powder coated blue. The Idler Transrail is ideal for construction of ball tables, diverters, and work stations.



### Dimensions



	FFB109	FFC120
	Series 2000	Series 4000
A	5/16"	5/8"
B	3/4"	1-5/8"
C	2-3/8"	4-3/4"
D	1-1/32" TYPICAL	1-1/32" TYPICAL
E	13/32" DIA.	17/32" DIA.

## Transection

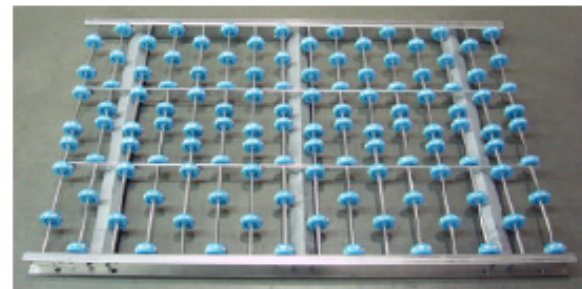
Transections are Transwheel gravity sections that can be substituted for skatewheels in standard skate conveyors to provide convenient ready made work stations, easy side load/unload conveyors, or "ball tables." Transections use 2" Transwheels and are available in six varieties.

### Transection Features

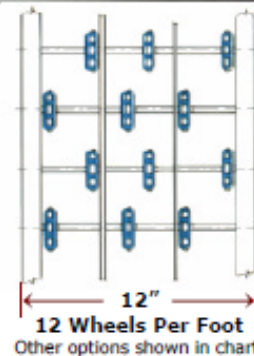
- Completely bolted construction
- Formed 10 gage aluminum or 12 gage enameled steel channel
- Accurately aligned 1/4" diameter steel axles
- Aluminum or zinc plated steel spacers
- Stringers and cross braces of 10 gage aluminum or 12 gage steel
- Self-locking nuts assure positive assembly

### Transection Capacities

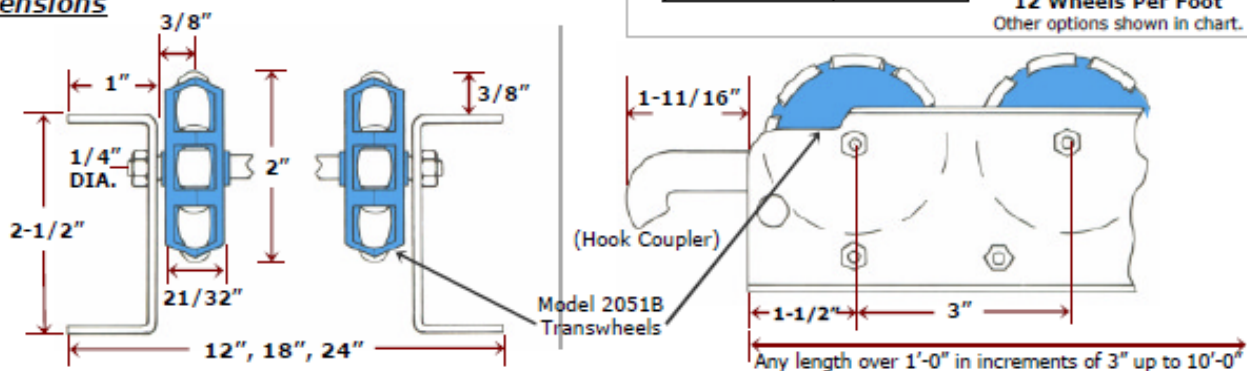
- Aluminum Frame (distributed load, supports on 10' centers) - 144 lbs.
- Steel Frame (distributed load, support on 10' centers) - 320 lbs.



Transection Width	Wheels Per Foot
12"	10
12"	12
18"	16
18"	18
24"	20
24"	24


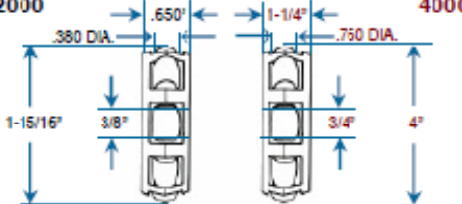

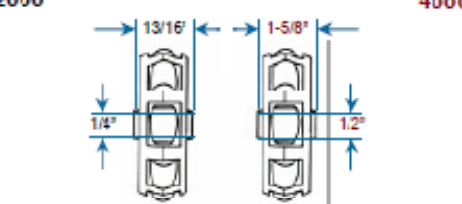

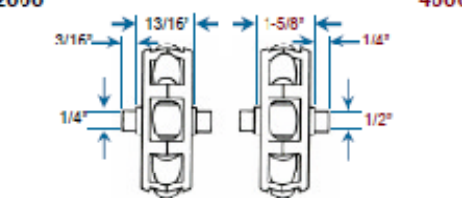

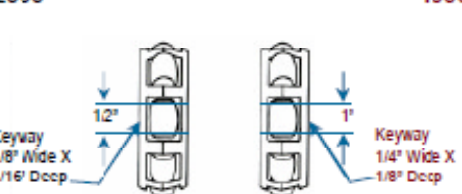

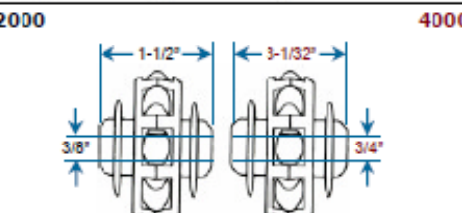

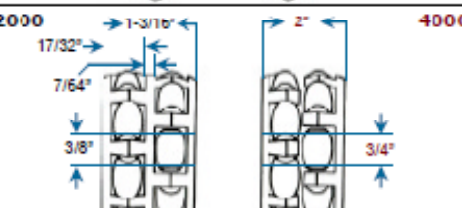

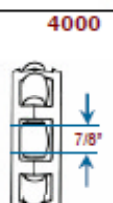


### Dimensions





## Standard Transwheel Models

 <p><b>Plain Bore</b></p>	<p>2000 4000</p> 	<p><b>PLAIN BORE: Models 2051, 4201</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>For applications where side clearance is assured to allow the wheel to rotate freely without a bushing</li> </ul> <p>Also Available In:  <b>2":</b> 1/4" ID, 1/2" ID, 10mm, HI, X  <b>4":</b> 3/4" ID, HI, X, XU</p>																				
 <p><b>Bushed</b></p>	<p>2000 4000</p> 	<p><b>BUSHED: Models 2051B, 4201B</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Guarantees wheel side clearance in applications where wheel is clamped between rails or spacers</li> <li>Has exact diameter, width, and bore as skatewheels</li> <li>Converts any portion of existing skatewheel conveyor into ball table equivalent</li> </ul> <p>Also Available In:  <b>2":</b> HI, X  <b>4":</b> HI, X, XU</p>																				
 <p><b>Axled</b></p>	<p>2000 4000</p> 	<p><b>AXLED: Models 2051A, 4201A</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Can conveniently be dropped into a slotted channel without the need for an axle</li> <li>Shoulders on the built-in axle maintain wheel side clearance</li> </ul> <p>Also Available In:  <b>2":</b> HI, X  <b>4":</b> HI, X, XU</p>																				
 <p><b>Keyway</b></p>	<p>2000 4000</p> 	<p><b>KEYWAY: Models 2051K, 4201K</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mounts on a keyed shaft to provide powered movement of load in wheel direction</li> </ul> <p>Also Available In:  <b>2":</b> HI, X  <b>4":</b> HI, X, XU</p>																				
 <p><b>Sprocketed</b></p>	<p>2000 4000</p> 	<p><b>SPROCKETED: Models 2051S, 4201S</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Turns on plain shaft when chain driven to provide powered movement in wheel direction</li> <li>Sprocket on each side permits chain engagement on either or both sides</li> <li>Sprockets are welded or available separately</li> </ul> <p>Also Available In:  <b>2":</b> HI, X  <b>4":</b> HI, X, XU</p>																				
 <p><b>Multiple Row</b></p>	<p>2000 4000</p> 	<p><b>MULTIPLE ROW: Models 2052, 4202</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Provides smoother rolling in single wheel applications</li> <li>Available in three styles: plain bore, bushing, axle</li> </ul> <p>Also Available In:  <b>2":</b> 1/4" ID &amp; Bushing, 1/2" ID &amp; Keyway, HI, X  <b>4":</b> 1/2" ID &amp; Bushing, 1" ID &amp; Keyway, HI, X, XU</p>																				
 <p><b>Hex Bore</b></p>	<p>4000</p>  <p><b>HEX BORE: Model 4201HB</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mounts on hex shaft to provide powered movement of load in wheel direction</li> </ul> <p>Also Available In:  <b>2":</b> Available Upon Request  <b>4":</b> HI, X, XU</p>	<p><b>Maximum Load Capacity for Each Model Based on Bottom Surface Indentation Per Wheel</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Model 2051</th> <th>Model 2052</th> <th>Model 4201</th> <th>Model 4202</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Steel</td> <td>25 lbs.</td> <td>25 lbs.</td> <td>100 lbs.</td> <td>100 lbs.</td> </tr> <tr> <td>Plywood</td> <td>7.5 lbs.</td> <td>15 lbs.</td> <td>40 lbs.</td> <td>80 lbs.</td> </tr> <tr> <td>200 lbs. Test Corrugated</td> <td>5 lbs.</td> <td>10 lbs.</td> <td>20 lbs.</td> <td>40 lbs.</td> </tr> </tbody> </table>		Model 2051	Model 2052	Model 4201	Model 4202	Steel	25 lbs.	25 lbs.	100 lbs.	100 lbs.	Plywood	7.5 lbs.	15 lbs.	40 lbs.	80 lbs.	200 lbs. Test Corrugated	5 lbs.	10 lbs.	20 lbs.	40 lbs.
	Model 2051	Model 2052	Model 4201	Model 4202																		
Steel	25 lbs.	25 lbs.	100 lbs.	100 lbs.																		
Plywood	7.5 lbs.	15 lbs.	40 lbs.	80 lbs.																		
200 lbs. Test Corrugated	5 lbs.	10 lbs.	20 lbs.	40 lbs.																		

NOTE: HI: High-Impact Plastic, X: Synthetic Rubber Coated Polypropylene Rollers, XU: Polyurethane Rollers

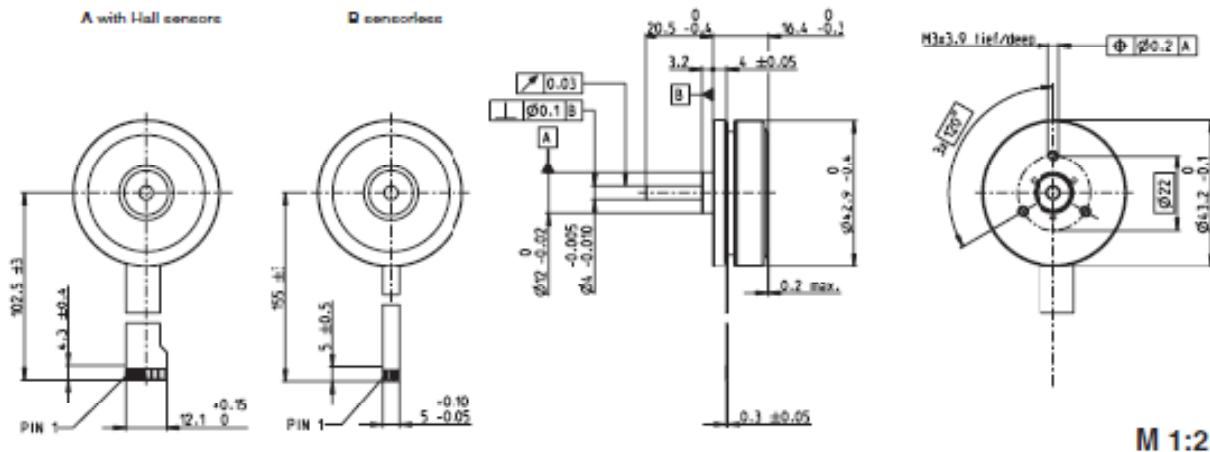


**Kornylak Corporation**  
 400 Heaton Street  
 Hamilton, Ohio 45011

Phone: 513-863-1277  
 Toll Free: 800-837-5676  
 Fax: 513-863-7644

[www.kornylak.com](http://www.kornylak.com)  
[www.omniwheel.com](http://www.omniwheel.com)

## EC 45 flat Ø45 mm, brushless, 30 Watt



- Stock program
- Standard program
- Special program (on request)

### Order Number

A with Hall sensors  
B sensorless

200142	200189	339281	339283	339282	339284
--------	--------	--------	--------	--------	--------

### Motor Data

#### Values at nominal voltage

	V	12.0	12.0	24.0	24.0	36.0	36.0
1 Nomina voltage	V	12.0	12.0	24.0	24.0	36.0	36.0
2 No load speed	rpm	4370	4360	4370	4370	4760	4760
3 No load current	mA	151	150	75.3	75.2	56.9	56.9
4 Nomina speed	rpm	2960	2920	2850	2940	3210	3210
5 Nomina torque (max. continuous torque)	mNm	59.0	54.3	98.8	57.5	70.6	69.5
6 Nomina current (max. continuous current)	A	2.44	2.00	1.07	1.05	0.992	0.992
7 Stall torque	mNm	256	219	353	243	380	369
8 Starting current	A	10.0	8.57	4.96	4.77	5.38	5.22
9 Max. efficiency	%	77	76	77	77	81	81

#### Characteristics

10 Terminal resistance phase to phase	Ω	1.20	1.40	4.84	5.04	6.70	6.9
11 Terminal inductance phase to phase	mH	0.560	0.560	2.24	2.24	4.29	4.29
12 Torque constant	mNm / A	25.5	25.5	51.0	51.0	70.6	70.6
13 Speed constant	rpm / V	374	374	187	187	135	135
14 Speed / torque gradient	rpm / mNm	17.8	20.6	17.8	18.5	12.8	13.2
15 Mechanical time constant	ms	17.1	19.9	17.2	17.9	12.4	12.8
16 Rotor inertia	gcm <sup>2</sup>	92.5	92.5	92.5	92.5	92.5	92.5

### Specifications

- Thermal data**
- 17 Thermal resistance housing-ambient 4.23 K / W
  - 18 Thermal resistance winding-housing 4.57 K / W
  - 19 Thermal time constant winding 13.2 s
  - 20 Thermal time constant motor 186 s
  - 21 Ambient temperature -40 ... +100°C
  - 22 Max. permissible winding temperature +125°C
- Mechanical data (preloaded ball bearings)**
- 23 Max. permissible speed 10000 rpm
  - 24 Axial play at axial load < 5.0 N 0 mm
  - > 5.0 N typ. 0.14 mm
  - 25 Radial play preloaded
  - 26 Max. axial load (dynamic) 4.8 N
  - 27 Max. force for press fits (static) (static, shaft supported) 50 N
  - 28 Max. radial loading, 7.5 mm from flange 1000 N
  - 21 N

#### Other specifications

- 29 Number of pole pairs 8
- 30 Number of phases 3
- 31 Weight of motor 75 g

Values listed in the table are nominal.

Connection	with Hall sensors	sensorless
Pin 1	4.5 ... 18 VDC	Motor winding 1
Pin 2	Hall sensor 3°	Motor winding 2
Pin 3	Hall sensor 1°	Motor winding 3
Pin 4	Hall sensor 2°	neutral point
Pin 5	GND	
Pin 6	Motor winding 3	
Pin 7	Motor winding 2	
Pin 8	Motor winding 1	

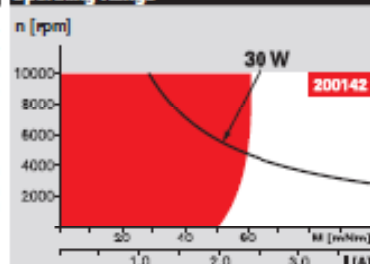
\*Internal pull-up (7 ... 13 kΩ) on pin 1

Wiring diagram for Hall sensors see p. 29

Adapter	Order number	Order number
see p. 310	220300	220310
Connector	Article number	Article number
TYCO	1-84953-1	84953-4
MOLEX	52207-1185	52207-0485
MOLEX	52089-1119	52089-0419

Pin for design with Hall sensors:  
FPC, 11-pol, Pitch 1.0 mm, top contact style

### Operating Range



### Comments

- Continuous operation**  
In observation of above listed thermal resistance (lines 17 and 18) the maximum permissible winding temperature will be reached during continuous operation at 25°C ambient.  
= Thermal limit.
- Short term operation**  
The motor may be briefly overloaded (recurring).
- Assigned power rating**

### maxon Modular System

Overview on page 16 - 21

#### Planetary Gearhead

Ø42 mm

3 - 15 Nm

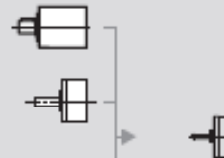
Page 238

#### Spur Gearhead

Ø45 mm

0.5 - 2.3 Nm

Page 240



#### Recommended Electronics:

DECS 50/5	Page 289
DEC 24/3	290
DEC Module 24/2	290
DEC 50/5	291
DEC Module 50/5	291
DECV 50/5	297
EPOS2 Module 36/2	304
EPOS 24/1	304
EPOS2 24/5	306
EPOS P 24/F	308
Notes	20

Option  
With Cable and Connector  
(Motor length +1.3 mm)



## maxon EC motor ironless winding Technology – short and to the point

### Characteristics of maxon EC motors

- Brushless DC motor
- Long service life
- Speeds of up to 50 000 rpm and higher are possible
- Highly efficient
- Linear motor characteristics, excellent control properties
- Ironless winding system maxon® with three phases in the stator
- Lowest electrical time constant and low inductance
- No detent
- Good heat dissipation, high overload capacity
- Rotating Neodymium permanent magnet with 1 or 2 pole pairs.
- Lowest residual unbalance

### Characteristics of the maxon EC-max range

- attractive price/performance ratio
- robust steel casing
- speeds of up to 20 000 rpm
- rotor with 1 pole pair

### Characteristics of the maxon EC powermax range

- Highest power density thanks to rotor with 2 pole pairs
- Knitted winding system maxon® with optimized interconnection of the partial windings
- Speeds of up to 25 000 rpm
- High-quality magnetic return material to reduce eddy current losses
- Mechanical time constants below 3 ms

## Bearings and service life

- The long service life of the brushless design can only be properly exploited by using preloaded ball bearings.
- Bearings designed for tens of thousands of hours.
  - Service life is affected by maximum speed, residual unbalance and bearing load.

### Legend

The commutation angle is based on the length of a full commutation sequence (360°). The length of a commutation interval is therefore 60°.

The commutation rotor position is identical to the motor shaft position for motors with 1 pole pair.

The values of the shaft position are halved for motors with 2 pole pairs.

## Program

- EC-Program
- EC-max-Program
- EC-powermax
- with Hall sensors
- sensorless
- with integrated electronics

## Electronical commutation

### Block commutation

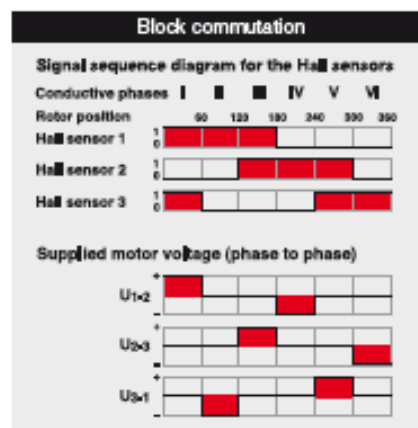
Rotor position is reported by three in-built Hall sensors. The Hall sensors arranged offset by 120° provide six different signal combinations per revolution. The three partial windings are now supplied in six different conducting phases in accordance with the sensor information. The current and voltage curves are block-shaped. The switching position of each electronic commutation is offset by 30° from the respective torque maximum.

### Properties of block commutation

- Relatively simple and favorably priced electronics
- Torque ripple of 14 %
- Controlled motor start-up
- High starting torques and accelerations possible
- The data of the maxon EC motors are determined with block commutation.

### Possible applications

- Highly dynamic servo drives
- Start/stop operation
- Positioning tasks



- 1 Flange
- 2 Housing
- 3 Laminated steel stack
- 4 Winding
- 5 Permanent magnet
- 6 Shaft
- 7 Balancing disks
- 8 Print with Hall sensors
- 9 Control magnet
- 10 Ball bearing
- 11 Spring (bearing preload)

### Sensorless block commutation

The rotor position is determined using the progression of the induced voltage. The electronics evaluate the zero crossing of the induced voltage (EMF) and commute the motor current after a speed dependent pause (30° after EMF zero crossing).

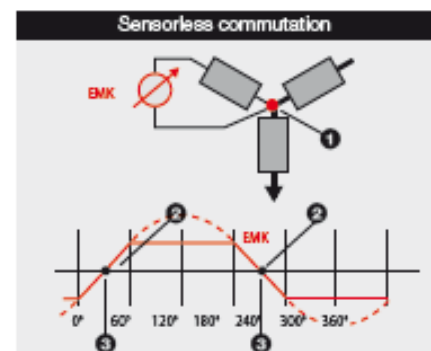
The amplitude of the induced voltage is dependent on the speed. When stalled or at low speed, the voltage signal is too small and the zero crossing cannot be detected precisely. This is why special algorithms are required for starting (similar to stepper motor control). To allow EC motors to be commuted without sensors in a Δ arrangement, a virtual star point is usually created in the electronics.

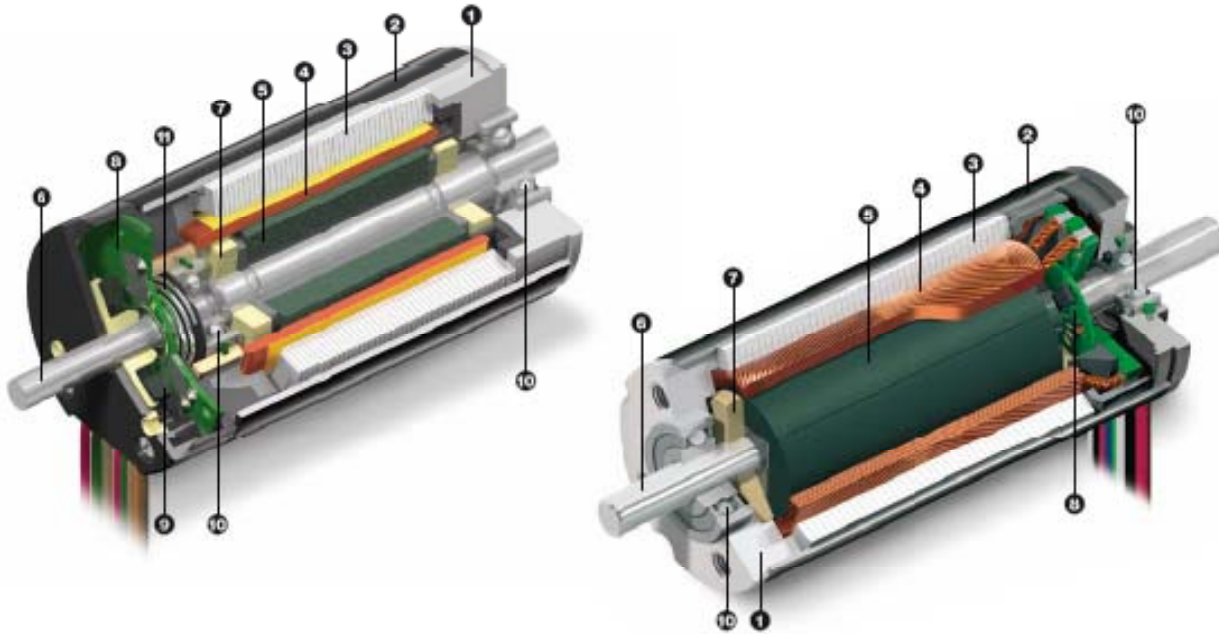
### Properties of sensorless commutation

- Torque ripple of 14 % (block commutation)
- No defined start-up
- Not suitable for low speeds
- Not suitable for dynamic applications

### Possible applications

- Continuous operation at higher speeds
- Fans





### Hall sensor circuit

#### Sinusoidal commutation

The high resolution signals from the encoder or resolver are used for generating sine-shape motor currents in the electronics. The currents through the three motor windings are related to the rotor position and are shifted at each phase by 120 degrees (sinusoidal commutation). This results in the very smooth, precise running of the motor and, in a very precise, high quality control.

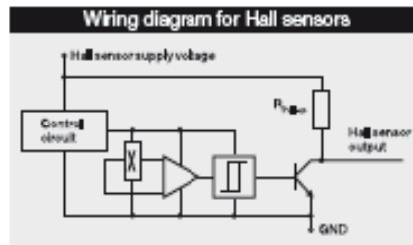
#### Properties of sinusoidal commutation

- More expensive electronics
- No torque ripple
- Very smooth running, even at very low speeds
- Approx. 5% more continuous torque compared to block commutation

#### Possible applications

- Highly dynamic servo drives
- Positioning tasks

The open collector output of Hall sensors does not normally have its own pull-up resistance, as this is integral in maxon controllers. Any exceptions are specifically mentioned in the relevant motor data sheets.



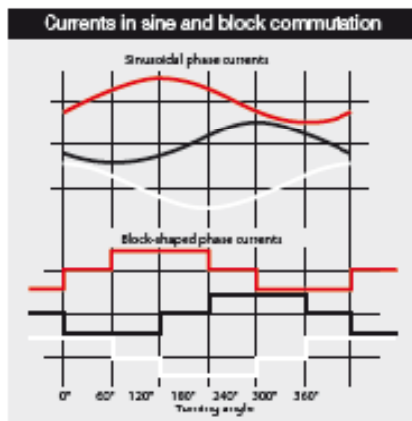
### Winding arrangement

The maxon rhombic winding is divided into three partial windings, each shifted by 120°. The partial windings can be connected in two different manners - "Y" or "Δ". This changes the speed and torque inversely proportional by the factor  $\sqrt{3}$ .

However, the winding arrangement does not play a decisive role in the selection of the motor. It is important that the motor-specific parameters (speed and torque constants) are line with requirements.



The maximum permissible winding temperature is 125°C. (EC-max and EC-powermax: 155°C).



For further explanations, please see page 141 or "The selection of high-precision microdrives" by Dr. Urs Kafader.

## maxon motor

**maxon EC motor**

**EC 45 flat with integrated electronics**

**Doc. no. 919801**

**Operating Instructions**

**Edition September 2009**

**Order Number:** 353518, 353516, 353519, 353517, 350909, 352886, 370425, 370424, 353526, 353524, 350910, 352887, 370427, 370426

The EC 45 flat motor with integrated electronics is a brushless, speed-controlled 1-quadrant drive. The EC 45 flat can be supplied in a 30 watt or 50 watt version.

### Functions:

- Commutation with Hall sensors
- Digital speed control
- Speed range: 200 rpm – 7000 rpm (depends on variation)
- Current restriction fixed
- Overvoltage and undervoltage switch-off
- Overvoltage protection
- Blockage protection, temperature monitoring
- Inverse polarity protection

### 2-wire version

- Speed proportionate to input voltage

### 5-wire version

- Speed set value target through analog signal 0 ... 10 V
- 2-wire operation possible
- Versions: - «Enable» TTL level compatible  
- Direction pre-selection «cw/ccw» TTL level compatible
- Speed monitor supplies frequency signal proportionate to speed



## Table of contents

1	Safety instructions .....	2
2	Technical data .....	3
3	Minimum wiring .....	7
4	Description of function inputs and outputs 5-wire version .....	10
5	Description of function 2-wire version .....	13
6	Protective functions .....	14
7	Assembly instructions .....	15
8	EMC-compliant installation .....	15
9	Error finding .....	16
10	Dimensions .....	17
11	Glossary .....	18

These instructions are available on the Internet as a PDF file at [www.maxonmotor.com](http://www.maxonmotor.com), under "Service & Down-

## 1 Safety instructions



### Skilled personnel

Only skilled, experienced personnel should install and start the equipment



### Statutory regulations

The user must ensure that the EC 45 flat with integrated electronics and the components belonging to it are assembled and connected according to local statutory regulations.



### Additional safety equipment

Any electronic equipment is, in principle, not fail-safe. Machinery and equipment should therefore be fitted with equipment-independent monitoring and safety features. There must be guarantees that the drive or the entire piece of equipment can be run safely if the equipment fails, if it is used incorrectly, if the control unit fails, if the cable breaks etc.



### Repairs

Repairs may only be carried out by authorised personnel or the manufacturer. It is dangerous for users to open the unit or carry out any repairs.



### Danger

Users must ensure that no apparatus is connected to the electrical supply during installation of the EC 45 flat with integrated electronics! After switching on, do not touch any live parts!



### Max. supply voltage

Make sure that the supply voltage is between 10 VDC and 28 VDC. Permanently switched on voltages above 30 VDC destroy the unit.



### Electrostatic sensitive components

During transportation, assembly and operation, contact of the EC 45 flat with integrated electronics with electrostatically charged components or persons must be avoided. The integrated electronics can be destroyed by electrostatic discharges.



### Temperature

The temperature of the housing, flange or components may exceed 60°C during operation.

<b>maxon motor</b>
Operating Instructions <span style="float: right;">EC 45 flat with integrated electronics</span>

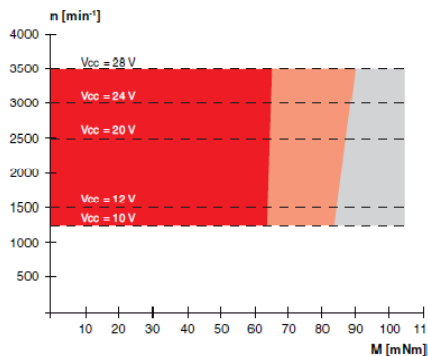
## 2 Technical data

### 2.1 Order number

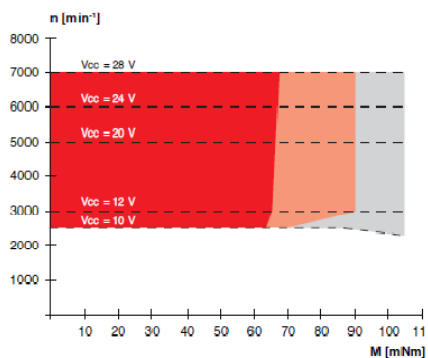
353518 (IP40), 353516 (IP00)	2-wire version, nominal speed 3000 rpm, 30 Watt
353519 (IP40), 353517 (IP00)	2-wire version, nominal speed 6000 rpm, 30 Watt
350909 (IP40), 352886 (IP00) «Enable»	5-wire version, nominal speed 6000 rpm, 30 Watt
370425 (IP40), 370424 (IP00) «cw/ccw»	5-wire version, nominal speed 6000 rpm, 30 Watt
353526 (IP40), 353524 (IP00)	2-wire version, nominal speed 3000 rpm, 50 Watt
350910 (IP40), 352887 (IP00) «Enable»	5-wire version, nominal speed 4500 rpm, 50 Watt
350910 (IP40), 352887 (IP00) «cw/ccw»	5-wire version, nominal speed 4500 rpm, 50 Watt

### 2.2 Motor data 30 Watt at 24VDC

Order number IP40 (with housing)	353518	353519	350909 370425	352886 370424		
Order number IP 00 (without housing)	353516	353517				
Nominal voltage	VDC	24	24	24	24	24
No load speed	rpm	3000	3000	6000	6000	6000
No load current	mA	105	105	222	222	222
Nominal speed	rpm	3000	3000	6000	6000	6000
Nominal torque	mNm	65	91	67	91	67
Nominal current	mA	1200	1800	2400	3000	2400
Max. torque	mNm	106	106	104	104	104
Max. current	mA	2100	2100	3600	3600	3600
Max. efficiency	%	71	71	73	77	77

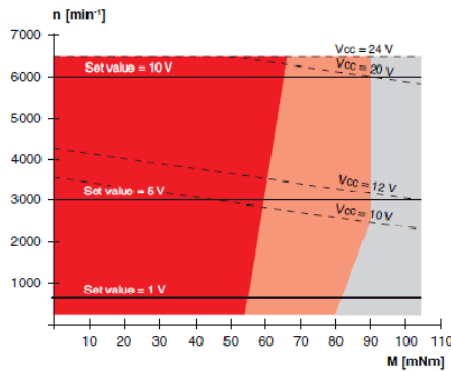


Picture 1: Operating range  $n = f(M)$   
2-wire version, nominal speed 3000 rpm, order number 353518, 353516



Picture 2: Operating range  $n = f(M)$   
2-wire version, nominal speed 6000 rpm, order number 353519, 353517

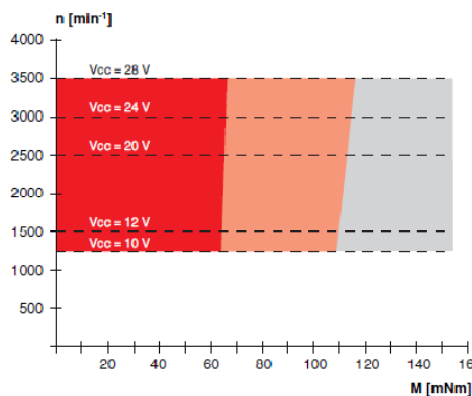




Picture 3: Operating range  $n = f(M)$   
 5-wire version, order number 350909, 352886, 370425, 370424  
 If the supply voltage is reduced, the torque and/or speed may change.

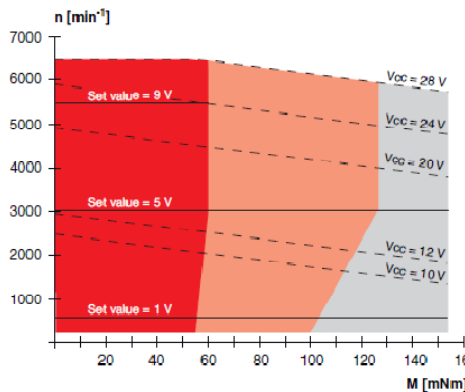
### 2.3 Motor data 50 Watt at 24VDC

<b>Order number IP40 (with housing)</b>	<b>353526</b>		<b>350910</b>	
<b>Order number IP00 (without housing)</b>		<b>353524</b>	<b>370427</b>	<b>352887</b>
				<b>370426</b>
Nominal voltage	VDC	24	24	24
No load speed	rpm	3000	3000	4500
No load current	mA	127	127	192
Nominal speed	rpm	3000	3000	4500
Nominal torque	mNm	66	123	71
Nominal current	mA	1200	2400	2000
Max. torque	mNm	154	154	154
Max. current	mA	3300	3300	3800
Max. efficiency	%	74	74	79



Picture 4: Operating range  $n = f(M)$   
 2-wire version, nominal speed 3000 rpm, order number 353526, 353524

<b>maxon motor</b>
Operating Instructions <span style="float: right;">EC 45 flat with integrated electronics</span>



Picture 5: Operating range  $n = f(M)$   
2-wire version, nominal speed 6000 rpm, order number 350910, 352887, 370427, 370426

## 2.4 Controller data

Version		2-wire 3000 rpm	2-wire 6000 rpm	5-wire 4500 rpm 6000 rpm
Nominal speed				
Control variable		speed	speed	speed
Supply voltage $V_{CC}$	V	10 ... 28	10 ... 28	10 ... 28
Speed set value input	V	= $V_{CC}$	= $V_{CC}$	0.33 ... 10.8
Scale speed set value input	rpm/V	125	250	600
Speed range	rpm	1250 ... 3500	2500 ... 7000	200 ... 6480
Max. acceleration	rpm/s	3000	6000	6000
Direction of rotation (CW = clockwise)		CW	CW	CW
Direction of rotation presetting «cw/ccw»				cw/ccw

## 2.5 Thermal data

Version		30 Watt	50 Watt
Thermal resistance housing-ambient	$\text{K/W}^{-1}$	5.8 (3.5)	5.8 (2.4)
Thermal resistance winding-housing	$\text{K/W}^{-1}$	5	4
Thermal time constant winding	s	25	27
Thermal time constant motor	s	650 (400)	290 (116)
Max. permissible winding temperature	$^{\circ}\text{C}$	+125	+125
Max. temperature of electronics	$^{\circ}\text{C}$	+105	+105

## 2.6 Mechanical data (preloaded ball bearings)

Version		30 Watt	50 Watt
Rotor inertia	$\text{gcm}^2$	135	193
Axial play at axial load	< 2 N	0	0
	> 2 N	0.14	0.14
Radial play		preloaded	preloaded
Max. axial load	(dynamic)	6.8	6.8
Max. axial load	(static)	95	95
	static, shaft supported)	1000	1000
Max. radial load	5 mm from flange	51	54
Weight of motor	gr	226	260

<b>maxon motor</b>	
EC 45 flat with integrated electronics	Operating Instructions

## 2.7 Connection (input/output)

Cable	Description	Connection	Value
Red	Operating voltage $V_{cc}$	Supply	10 ... 28 VDC
Black	Gnd	Supply	Ground
White (only 5-wire operation)	Speed set value input	Input	0.33 ... 10.8 VDC
Green (only 5-wire operation)	Monitor speed n	Output	6 counts per turn
Version Enable grey (only 5-wire operation)	«Enable»	Input	2.4 ... 28 VDC
Version Direction grey (only 5-wire operation)	«cw/ccw»	Input	2.4 ... 28 VDC
Wire size			AWG 18/24 $\hat{=}$ 0.86/0.22mm <sup>2</sup>

## 2.8 Protective functions

Inverse-polarity protection	up to max. 30 VDC
blockage protection	cut off with blocked motor shaft after 2 s
Low voltage protection	cut off at $V_{cc} < 8.5$ V
High voltage protection	cut off at $V_{cc} > 29.5$ V
Thermal control of the power stage	$T > 100$ °C typ.
High voltage protection (transient)	150 mWs

## 2.9 Ambient conditions

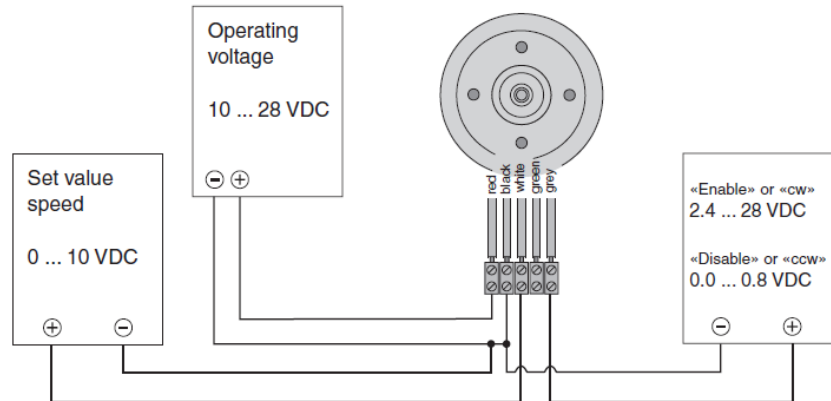
Temperature range	-40 ... +40 °C
Range with reduced performance	+40 ... +85 °C
Bearing temperature	-40 ... +85 °C
Humidity range not condensed	20 ... 80 %

## 2.10 Voltage supply

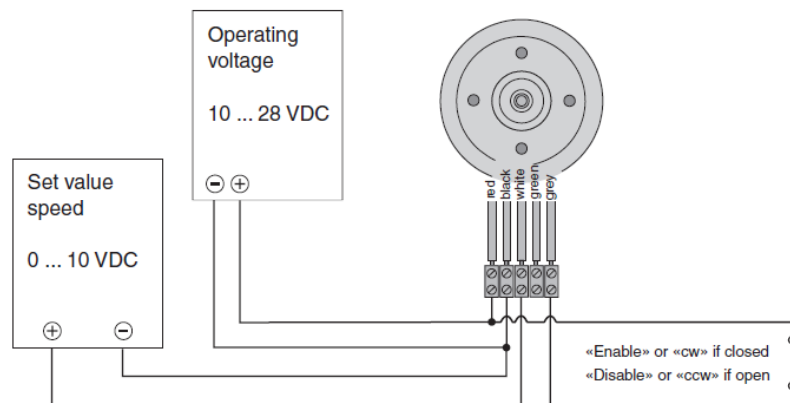
Ripple	< 5%
Output current depending on the load, recommendation	$\geq 5$ A
Max. output voltage	29 VDC
Min. output voltage	9.5 VDC

### 3 Minimum wiring

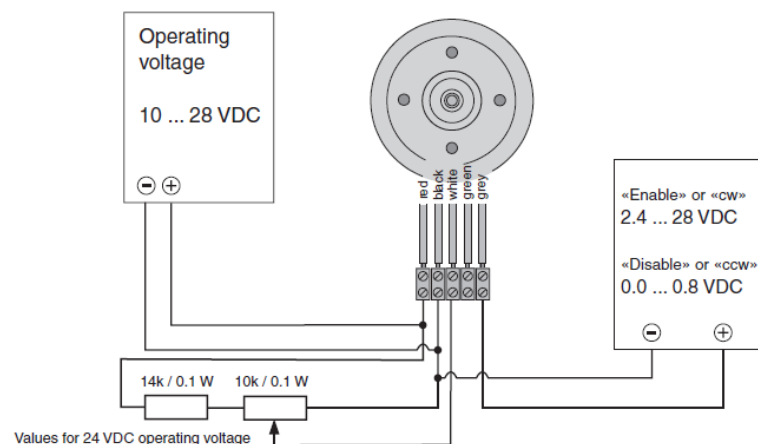
#### 3.1 5-wire version



Picture 6: Example for speed set value and release «Enable» or direction «cw/ccw» (depending on the variant) through external power source.



Picture 7: Example for speed set value with external power source and release «Enable» or direction «cw/ccw» (depending on the variant) with potential-free contact.

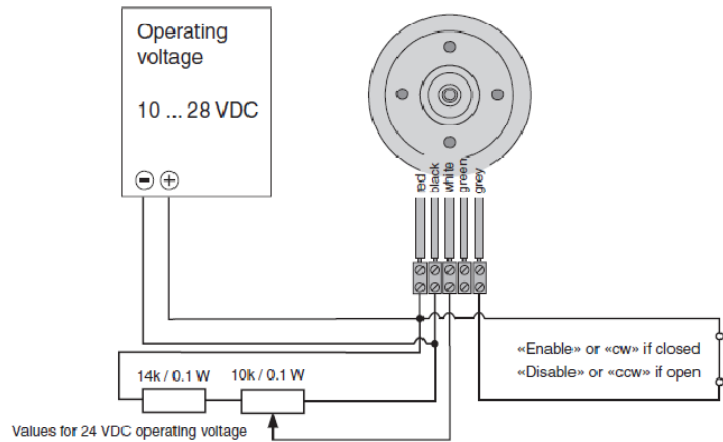


Picture 8: Example for speed set value with external potentiometer and release «Enable» or direction «cw/ccw» (depending on the variant) with external power source.

**maxon motor**

---

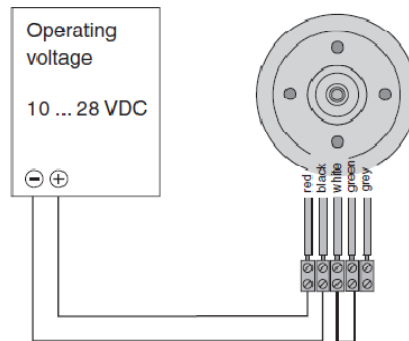
EC 45 flat with integrated electronics Operating Instructions



Picture 9: Example for speed set value with external potentiometer and release «Enable» or direction «cw/ccw» (depending on the variant) with potential-free contact.

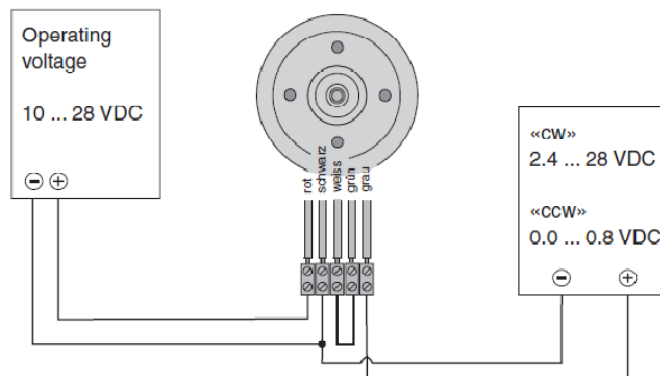
### 3.2 5-wire version in 2-wire operating mode

2-wire operating mode can be simulated by short-circuiting the terminals speed set value input and speed monitor output. Speed is proportionate to the supply voltage (see picture 16).



Picture 10: Example for 5-wire version in 2-wire operating mode

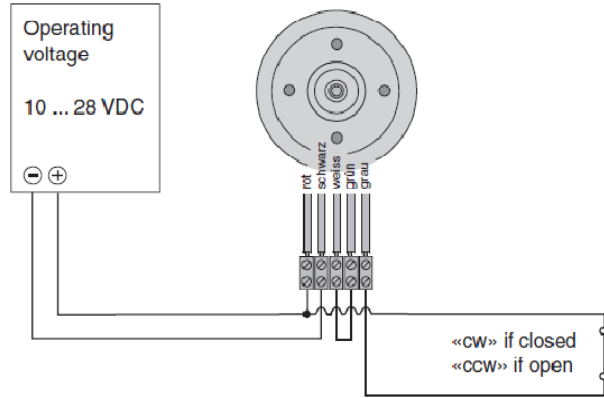
Version direction «cw/ccw»: the direction of rotation can be selected at the grey wire.



Picture 11: Example for 5-wire version direction «cw/ccw» in 2-wire operating mode.

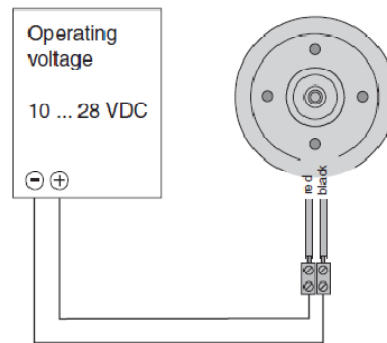
<b>maxon motor</b>	
Operating Instructions	EC 45 flat with integrated electronics

Version direction «cw/ccw»: the direction of rotation can be selected at the grey wire.



Picture 12: Example for 5-wire version direction «cw/ccw» in 2-wire operating mode.

### 3.3 2-wire version



Picture 13: Example for 2-wire version

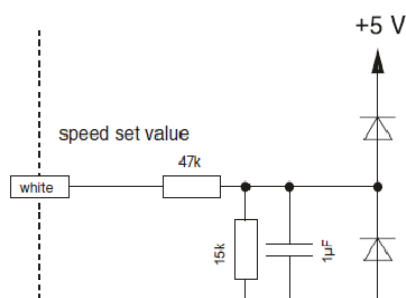
## 4 Description of function inputs and outputs 5-wire version

### 4.1 Speed set value input

Motor speed is set with an analog voltage at the speed set value input.

The speed set value input is protected against overvoltage.

Pin allocation	Cable white
Input voltage range	0 ... +10.8 V (based on GND)
Input impedance	62 kΩ (range 0 ... +21.9 V) 47 kΩ (range 21.9 V... +30 V)
Continuous overvoltage protection	-30 V ... +30 V



Picture 14: Wiring speed set value

The speed set value is set with the voltage at the speed set value input. The set speed is controlled by the amplifier. Changes to speed set value are restricted by the maximum acceleration (see section 2.4).

To activate the output stage in the «enable» version, the voltage at the enable input must be higher than 2.4 V, while the speed set value must be above 0.17 V.

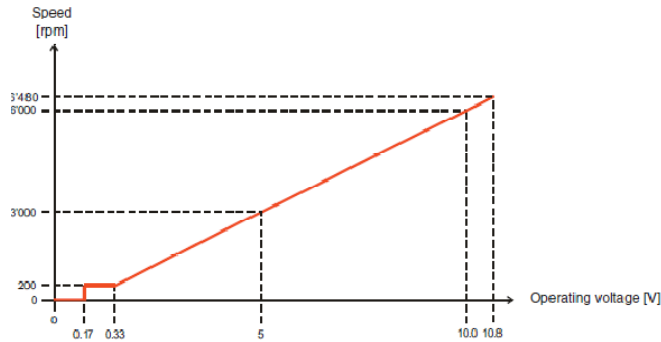
With the «cw/ccw» direction pre-selection version, the output stage is activated when the speed set value is higher 0.17 V.

Set value input area	Function	Comments
0 V ... 0.17 V	«Disable»	Power stage switched off.
0.17 V ... 0.33 V	Operation at minimum speed (200 rpm)	If «enable» higher than 2.4 V for version «Enable».
0.33 V ... 10.8 V	Linear speed setting between 200 rpm and 6480 rpm	If «enable» higher than 2.4 V. In speed range between 200 rpm and 300 rpm, control accuracy of the speed controller is restricted. The speed can vary from the specified set value depending on the load and supply voltage.

$$V_{target} = \frac{n_{target}}{600}$$

$V_{target}$  = Set value voltage  
 $n_{target}$  = Desired speed

<b>maxon motor</b>
Operating Instructions <span style="float: right;">EC 45 flat with integrated electronics</span>



Picture 15: Speed as function of specified set value voltage.

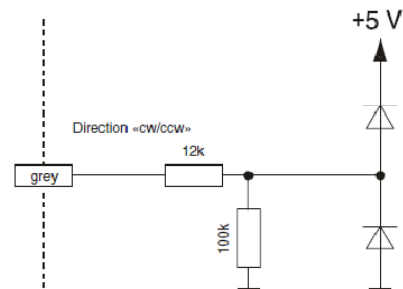
#### Option

By connecting (short-circuiting) the two wires speed monitor (green wire) and set speed value (white wire), control is set into 2-wire operating mode. It has to be connected before the supply voltage is switched on.

## 4.2 «Enable»

The power stage is activated with the digital input enable. The input enable is protected against overvoltage.

Pin allocation	Cable grey
Input voltage range	0 ... +5.0 V (based on GND)
Input impedance	112 kΩ (range 0 ... +5.9 V) 12 kΩ (range 5.9 V... +30 V)
Continuous overvoltage protection	-30 V ... +30 V



Picture 16: Enable wiring.

The power stage is activated by a voltage of more than 2.4 V. Speed is dependent on the connected voltage at the speed set value input. The power stage is switched off by a voltage of less than 0.8 V, the motor gradually slows down, irrespective of the connected voltage at the speed set value input.

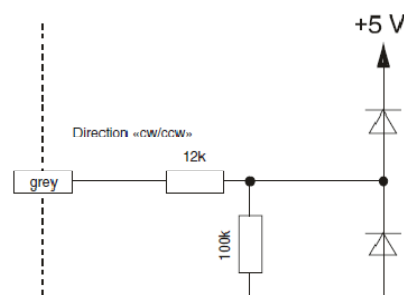
Input voltage range	Function	Comments
0 V ... 0.8 V	«Disable»	Power stage switched off
2.4 V ... 5.0 V	«Enable»	Power stage switched on if set value higher than 0.17 V.



### 4.3 «Enable» and direction version «cw/ccw»

The output stage is activated with the speed set value input. The output stage is activated if the speed set value is higher than 0.17 V. The «CW/CCW» direction is determined with the direction pre-selection digital input.

Pin allocation	Cable grey
Input voltage range	0 ... +5.0 V (based on GND)
Input impedance	112 kΩ (range 0 ... +5.9 V) 12 kΩ (range 5.9 V ... +30 V)
Continuous overvoltage protection	-30 V ... +30 V



Picture 17: Direction wiring

The «cw» direction is activated by a voltage of more than 2.4 V. Speed is dependent on the applied voltage at the speed set value input. If the direction is changed during operation, the motor will run down to minimum speed and then accelerates in requested direction.

Input Voltage range	Function	Comments
0 V ... 0.8 V	Sense of direction «ccw»	Motor turns direction «ccw»
2.4 V ... 5.0 V	Sense of direction «cw»	Motor turns direction «cw»

### 4.4 Speed monitor «Monitor n»

The actual speed of the motor shaft can be monitored at the speed monitor output of the electronics. The actual speed is available as a digital signal (high/low) and supplies 6 output pulses per mechanical revolution.

Pin allocation	Cable green
Output voltage range	0 or +5 V (based on GND)
Output resistance	4.1 kΩ
Low level	max. 0.5 V
High level	max. 4.2 V
Pulse-width modulation	50%
Continuous overvoltage protection	-30 V ... +30 V

Frequency at speed monitor output

$$f_{\text{Monitor } n} = \frac{n_{\text{actual}}}{10} \quad n_{\text{actual}} = 10 \cdot f_{\text{Monitor } n}$$

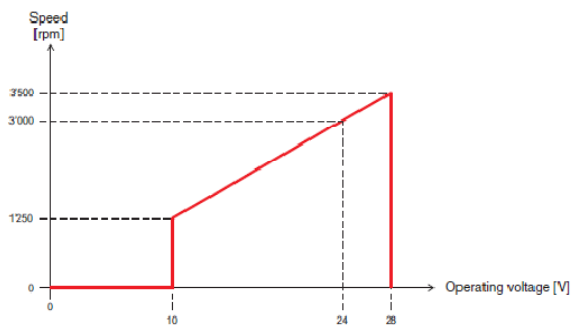
$f_{\text{Monitor } n}$  = Frequency at speed monitor output [Hz]  
 $n_{\text{actual}}$  = speed [rpm]

Note:  
The speed monitor output also works in «disable» mode.

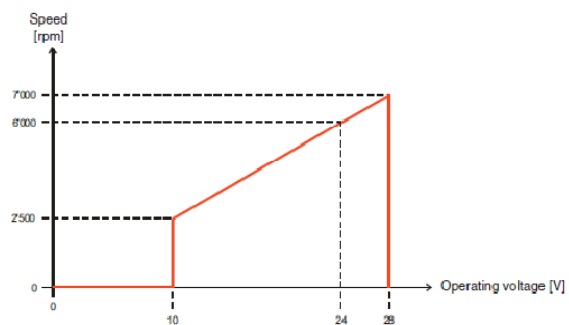
## 5 Description of function 2-wire version

### 5.1 Speed proportional to supply voltage $V_{CC}$

- Motor speed is proportional to the supply voltage, independent of torque.
- Supply voltage can be varied within the permitted range.
- Speed at 24V supply voltage is:  
3000 rpm for versions 353518 und 353516  
6000 rpm for versions 353519 und 353517



Picture 18: 3000 rpm as function of the supplied voltage.



Picture 19: 6000 rpm as function of the supplied voltage.

## 6 Protective functions

### 6.1 Inverse polarity protection

The EC 45 flat with integrated electronics is protected against polarity reversal of the supply voltage  $V_{CC}$ . This means that the negative input voltage must not exceed the maximum permitted supply voltage  $V_{CC}$ .

### 6.2 Undervoltage switch-off

The power stage is switched off if the supply voltage  $V_{CC}$  falls below approx. 8.5 V to prevent the EC 45 flat with integrated electronics operating off the specification.

As soon as the supply voltage exceeds the restart threshold of approx. 9 V, the EC 45 flat with integrated electronics is ready for operation.

### 6.3 Overvoltage switch-off

The power stage is switched off if the supply voltage  $V_{CC}$  exceeds approx. 29.5 V to prevent the EC 45 flat with integrated electronics operating off the specification.

As soon as the supply voltage falls below the restart threshold of approx. 28.5 V, the EC 45 flat with integrated electronics is ready for operation.

### 6.4 Blockage protection

The power stage is switched off if the rotor is blocked continuously for more than 2 seconds.

The EC 45 flat with integrated electronics automatically attempts to restart after 4 seconds.

### 6.5 Temperature monitoring

The power stage is switched off if the PCB temperature exceeds approx. 100°C. As soon as the PCB temperature has fallen below approx. 90°C, the EC 45 flat with integrated electronics is ready for operation.

### 6.6 Current limiting

The winding current is limited electronically to approx. 650 mA. The maximum load torque is also limited accordingly.

If the motor shaft slows down completely due to current limitation, the blockage protection switches off after 2 s.

### 6.7 Overvoltage protection

The overvoltage protection comprises a bi-directional transzorb diode (overvoltage protection diode) that can take a maximum peak energy of 150 mWs. Continuous power loss is 1 W. Threshold voltage is 36 V, independent of polarity.

## 7 Mounting instructions

- Max. torque of flange screws is 1.1 Nm (screw fastening class 8.8).
- Cooling improvement through mounting a large metallic part.
- Cable outlet preferably downwards.

## 8 EMC compliant installation

### 8.1 Cable length $\leq$ 300 mm

- Normaly no shielding is required.
- Star wiring if several EC 45 flat with integrated electronics are supplied by a common supply voltage.

### 8.2 Cable length $>$ 300 mm

- The voltage drop in the connection cable must be minimised by choosing a large enough wire cross section.
- The use of shielded cables connected to ground can improve immunity against interference in electromagnetically harsh environments.
- Release cable shielding on one side if 50/60 Hz interference problems occur.
- The irradiance surface for interference can be reduced by shortening the unshielded original connection cable.
- Immunity against interference and speed stability when loads fluctuate can be achieved by routing the set speed value signal separately in a shielded cable that is put to ground both sides. In addition to the set speed value signal, a second ground (GND) line must also be carried in this separate cable, but only connected on the motor side. The external speed set value signal must be potential-free.



## 9 Trouble shooting

### 9.1 2-wire version

- Is the supply voltage set between 10.0 and 28.0 VDC?
- Is the supply voltage connected to the red and black wire and switched on?
- Is the voltage at the red motor wire positive compared to voltage at the black wire?
- Is the power supply source in the current limitation?
- Is the motor blocked mechanically?

### 9.2 5-wire version

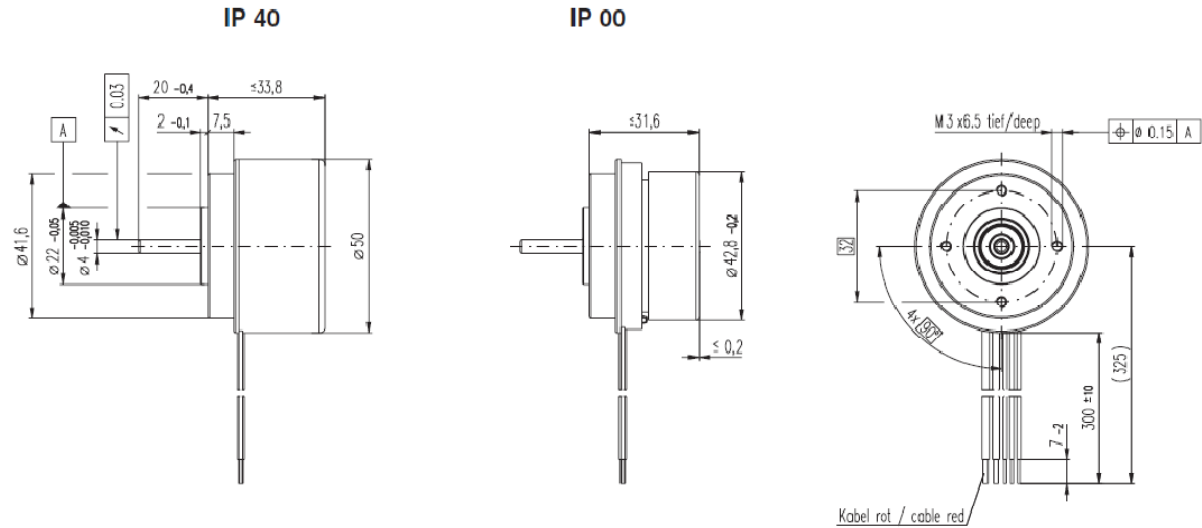
- Is the supply voltage set between 10.0 and 28.0 V?
- Is the supply voltage connected to the red and black wire and switched on?
- Is the voltage at the red motor wire positive compared to voltage at the black wire?
- Is the speed set value voltage set between 0.33 and 10.0 V?
- Is the speed set value voltage connected and set at the white and black wire?
- Is the voltage at the white motor wire positive compared to voltage at the black wire?
- **«Enable» through power supply (only for version «Enable»)**
  - Is the enable voltage set between 2.4 and 28.0 VDC?
  - Is the enable voltage connected to the grey and black wire and switched on?
  - Is the voltage at the grey motor wire positive compared to voltage at the black wire?
- **«Enable» through potential-free contact (only for version «Enable»)**
  - Is the grey enable connected directly to the red supply voltage wire?
  - Is the grey enable wire connected through a switch with the red supply voltage wire?
  - Is the switch or loop closed?
- Is the power supply source in the current limitation?
- Is the motor blocked mechanically?
- The green wire does not have to be connected!

### 9.3 5-wire version, 2-wire operating mode

- Is the white and green wire directly connected together?
- Was there a direct connection between the white and green wire before the supply voltage has been connected?
- Are there any more connections to the green or white wire?
- Is the supply voltage set between 10.0 and 28.0 VDC?
- Is the supply voltage connected and switched on?
- Is the voltage at the red motor wire positive compared to the voltage at the black wire?
- In «enable» version, the grey cable does not require to be connected.
- In «cw/ccw» direction pre-selection version, the grey cable can be used to define the direction (see 3.2).
- Is the power supply source in the current limitation?
- Is the motor blocked mechanically?

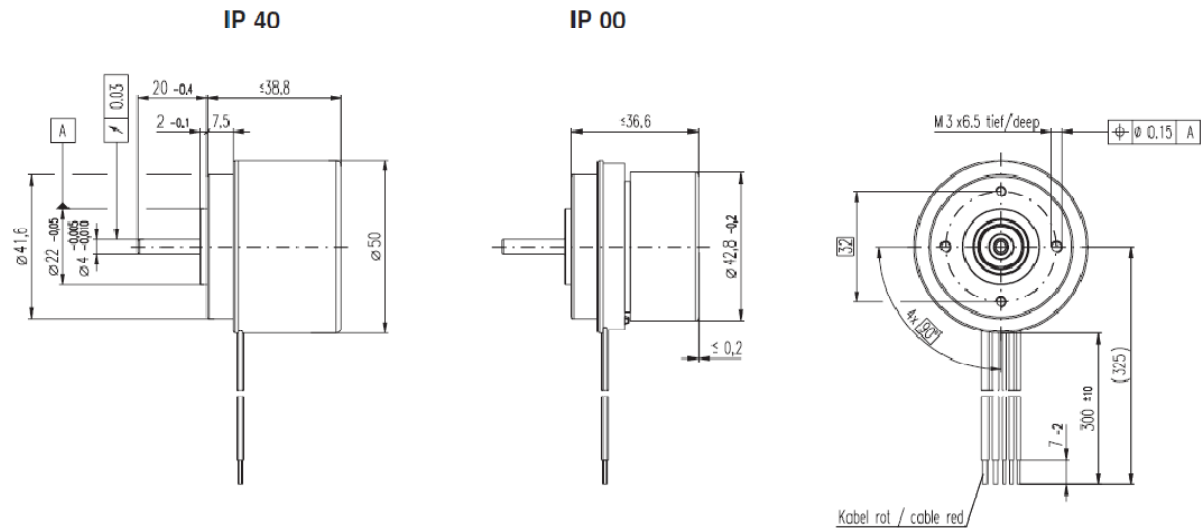
## 10 Dimensions

### 10.1 30 Watt Version



Picture 20: Dimensional drawing 30 Watt Version

### 10.2 50 Watt Version



Picture 21: Dimensional drawing 50 Watt Version



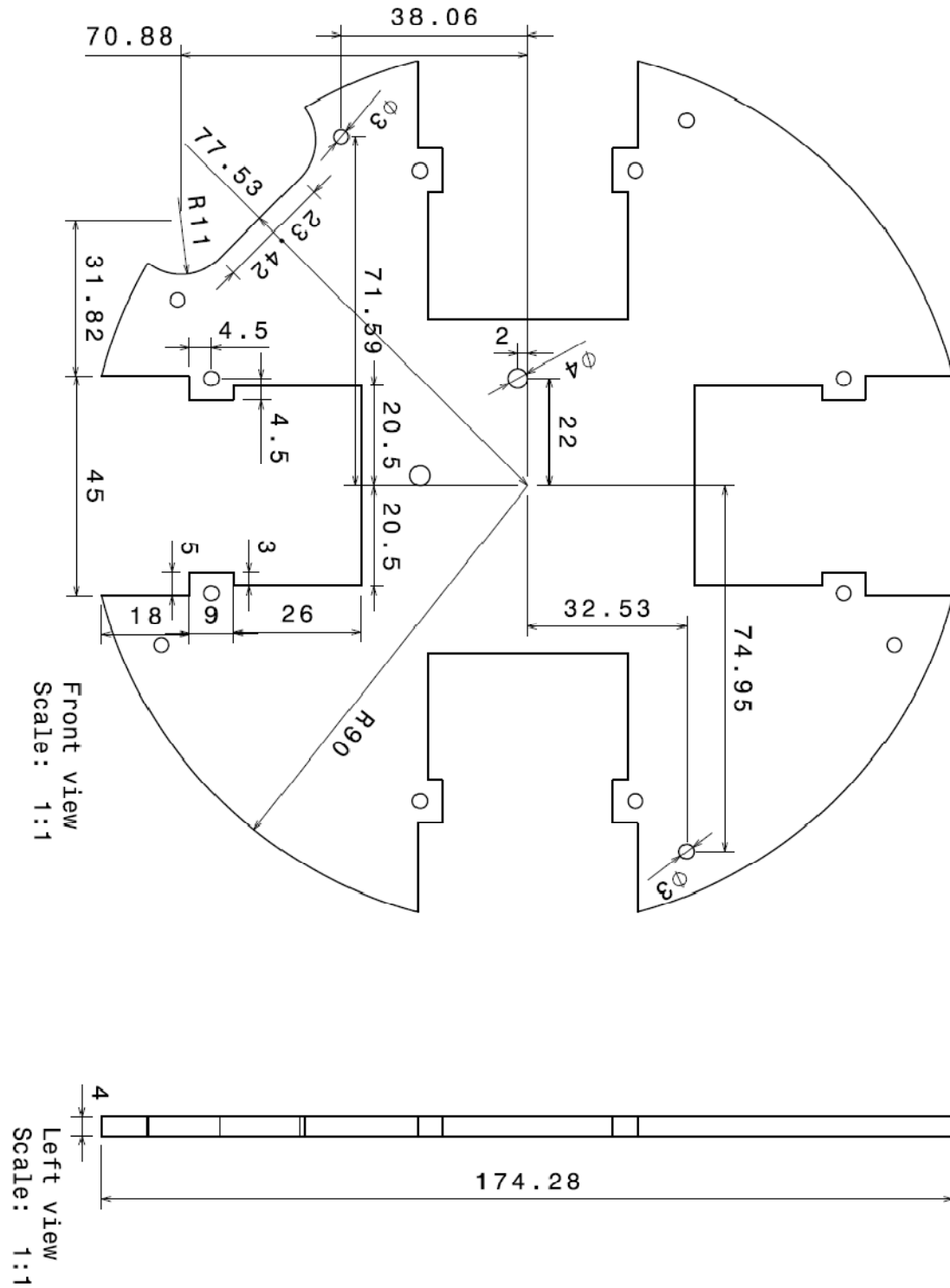
**maxon motor**

EC 45 flat with integrated electronics

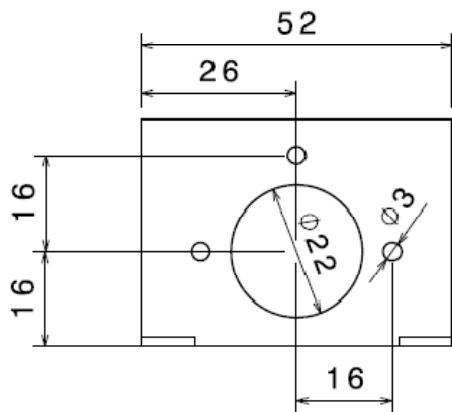
Operating Instructions

## 11 Glossary

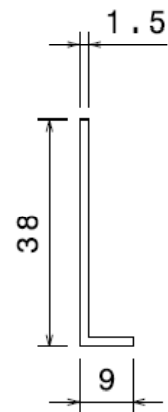
<b>1-Q speed controller</b>	The motor produces positive torque in the selected or programmed direction. The load is not actively decelerated when the speed set value is reduced or the direction changed (direction pre-selection version). The speed control enters again as soon as the load has reduced its speed through friction to the level specified by the speed set value.
<b>Max. torque [mNm]</b>	The peak torque by the motor can deliver intermittently. It is restricted by the electronics overload protection.
<b>Max. current [A]</b>	Supply current with which the peak torque is generated at nominal voltage. With an active speed controller, the supply current is not proportional to the torque, but also depends on the supply voltage. As a result, this value only applies at nominal voltage.
<b>IP 00</b>	No protection against access to dangerous parts. No protection against water.
<b>IP 40</b>	Protected against access to dangerous parts with a wire, tool or similar $\geq \varnothing 1$ mm. Protected against fixed foreign objects $\geq \varnothing 1$ mm. No protection against water.
<b>Rotation CW/CCW</b>	cw = clockwise ccw = counter-clockwise (seen on the flange side)



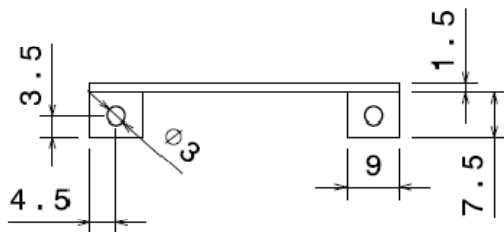




Front view  
Scale: 1:1



Left view  
Scale: 1:1



Top view  
Scale: 1:1