

CAPÍTULO V

SISTEMA DE CONTROL DE BOLA

5.1 Introducción

El sistema de control (SB) de bola es el encargado, como su nombre lo dice, de manipular la bola para poder realizar jugadas o posicionar la bola. Realmente es un sistema necesario, pero no esencial, ya que si no se tiene la capacidad de controlar la bola, no se tiene control en el partido. Este sistema es bastante complejo ya que no hay mucho espacio y las reglas lo limitan mucho.

5.2 Metas Específicas del Sistema

- *Diseño compacto.* Crear un mecanismo con el menor número de piezas para que su mantenimiento no sea tedioso y sea sencillo de reparar.
- *Material de la barra de driblar.* Utilizar un material con el coeficiente de fricción mas alto posible, considerando un proceso de manufactura con el menor número de procesos.
- *Alto rendimiento en su funcionamiento.* Aparte de un buen material, la forma de la barra de driblar determina quién se queda con la bola.
- *Selección de motor.* Se busca un motor con altas revoluciones, porque mientras más giro se le transmita a la bola será más difícil para otro robot quitarle la bola. Así que se pretende un motor con alto voltaje y poco amperaje.

5.3 Metas adicionales

- *Ligero y bajo.* Ya que este sistema no se encuentra en el centro del robot, sino en la parte de enfrente se tiene que tomar en cuenta que debe de ser lo más liviano que se pueda hacer, para que afecte lo menos posible a la aceleración. Si es muy pesado y su

centro de masa es muy alto, cuando el robot frene se va a levantar en sus dos ruedas delanteras e inclusive volcarse.

- *Habilidad de robo de bola.* Quitarle la bola a un robot con la barra de driblar solo pone a prueba el poder que tiene cada robot y esa no es la meta, se tiene que implementar un mecanismo para poder arrebatarse la bola sin violar alguna regla al igual de no lastimar ningún robot.
- *Control de velocidad.* Tener la capacidad de controlar la velocidad de la barra de driblar es una ventaja en cuestión de rendimiento de energía al igual que en control de la bola, ya que se puede determinar la velocidad óptima para el control en ciertas circunstancias.

5.4 Idea Inicial

Lo más importante del sistema es la barra ya que es lo que está en contacto directo con la bola. Así que se tiene que hacer una investigación profunda respecto a los materiales a usar, no sólo en sus características mecánicas como la fricción, sino también en su manufacturabilidad. Los materiales en los cuales se piensa primero son los elastómeros como el Santopreno® [31] y el Sorbothane® [34] por sus propiedades deseables de fricción y de amortiguar impacto. Además del material, está la forma de la barra, la cual se tendrá que analizar a fondo ya que pueden variar las reacciones en la bola debido a que es un sistema dinámico y en constante cambio. Ejemplo de esto es hacer una barra con doble cono, el cual se muestra en la figura 5.4.1,

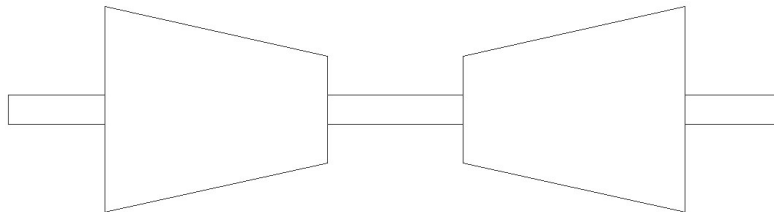


Figura 5.4.1 Barra de Doble Cono

cuando el robot no se está moviendo y solo la barra gira la bola se va a ir hacia la parte mas angosta del cono (centro de la barra), pero si el robot se está trasladando o rotando es difícil predecir que va a pasar con la bola. En la figura 5.4.2 se muestra la idea inicial del sistema de control de bola. Donde la barra de driblar va a girar, proporcionando a la pelota un giro en dirección al robot. La barra de abajo impide que la bola pase por debajo de la barra de driblar y se cree un auto frenado entre la barra de driblar y la bola.

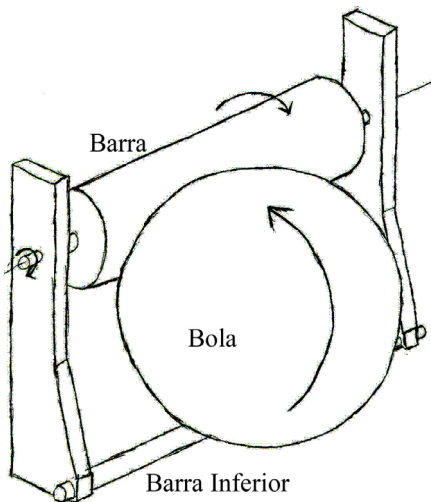


Figura 5.4.2 Idea Inicial del Sistema de Control de Bola

Otra cuestión que se debe tomar en cuenta es la suspensión del sistema ya que en la mayoría de los casos la bola es recibida con cierta velocidad y el sistema tiene que asimilar el impacto porque no se desea que la bola rebote debido a que se pierde control sobre ella. Esto, se soluciona de dos formas: implementando un sistema de suspensión a la barra de driblar o usando un material que amortigüe en la barra de driblar. Se prevé que el motor sea del menor diámetro posible y que su largo no pase de la longitud de la barra de driblar, ya que van a estar en paralelo uno respecto al otro. El reglamento de este año no permite barras de driblar a los lados, así que dar vueltas sin perder la bola es particularmente difícil. Una forma de solucionar este problema es con una barra escalonada, con las secciones más grandes en los extremos de la barra. Así una vez que la bola se encuentra en la parte de en medio las secciones grandes

(escalones) actúan como barras laterales manteniendo la bola en su lugar. Esta barra se presenta en la figura 5.4.3. Estas y otros tipos barras se detallan posteriormente en el diseño detallado.

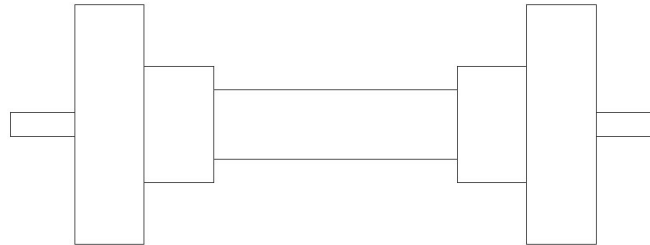


Figura 5.4.3 Barra Escalonada

5.5 Principios de Funcionamiento

El funcionamiento del sistema se basa en la fuerza de fricción. Se tiene que impulsar la bola hacia el robot para que siempre esté en contacto y tenga control sobre ella. La barra tiene que ejercer una fuerza sobre la bola que venza la fuerza que el suelo ejerce sobre la misma. En la figura 5.5.1 se muestra el diagrama de cuerpo libre de las fuerzas experimentadas por la bola. Se asume que la fuerza de fricción entre la barra y la bola es mayor a la fuerza de fricción entre el suelo y la bola porque el campo de juego está cubierto de alfombra y la barra estará fabricada con alguna clase de plástico o hule con un coeficiente de fricción lo más alto posible. Por lo tanto, la bola gira en dirección de las manecillas del reloj.

El contacto de la bola con la barra está limitado por el reglamento, el cual estipula que al menos el 80% del diámetro de la bola debe de estar fuera del área del robot. Por esta restricción no se pueden hacer barras con un diámetro muy grande. Otra limitante, la cual no está en el reglamento, es el pateador. Para lograr un buen tiro se tiene que golpear la pelota en la parte de en medio y el pateador es relativamente robusto ya que no debe flexionarse al impacto.

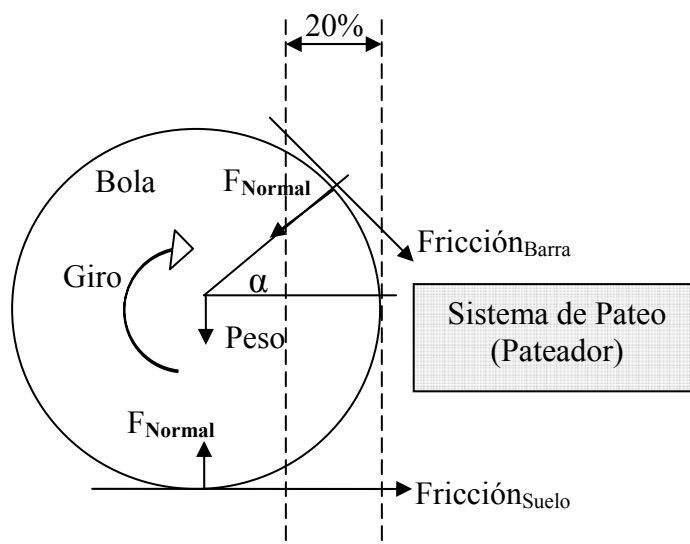


Figura 5.5.1 Diagrama de Cuerpo Libre de la Bola

Esto restringe principalmente en el ángulo de contacto (α en la figura) entre la barra y la bola. Analizando el diagrama de cuerpo libre se ve que mientras el ángulo α sea mayor, la fuerza normal que la barra ejerce sobre la bola va a ir creciendo respecto al suelo y la barra, esto hará que las fuerzas de fricción sean mayores y se presente un auto frenado de la bola. Con esto, se concluye que el punto de contacto ideal debe estar entre 0° a 45° tomando como referencia el eje horizontal que cruza la bola por el centro y de derecha a izquierda. Esto para que en la bola no este inestable dando saltos inesperados o creando un auto frenado. [1][10]

5.6 Diseño Detallado

Ya analizada la forma en que trabaja el sistema se determinan las dimensiones de éste. Se desea que la longitud de la barra de driblar sea lo más larga posible porque aumenta la posibilidad de atrapar la bola, sin embargo, esto entra en conflicto con la geometría del sistema de locomoción. Se determinó mover las ruedas delanteras 15° hacia atrás (de 45° a 60°) para dar mayor espacio al sistema de control de bola. Persiguiendo la idea inicial, la barra de driblar será de 15 mm de diámetro, 76 mm de largo y una altura 36 mm del suelo al centro

de la barra, contemplando un espacio en cada lado de 9.5 mm entre la barra y las ruedas delanteras para el soporte de la misma. El diámetro de la barra fue determinado por el reglamento ya que no permite invadir más del 20 por ciento de la bola, y por los demás elementos como son las ruedas delanteras y el sistema de pateo. Estas dimensiones son aproximadas ya que dependen de otros factores como el tamaño del soporte de la barra y el sistema de pateo que todavía no se conoce cuánto espacio va a requerir. Ya teniendo los demás sistemas detallados se buscará bajar la barra para que el ángulo de contacto con la bola sea menor, y de la misma manera aumentar su diámetro para tener más material y así, amortiguar mejor los impactos.

5.6.1 Selección de Material

El material para la barra de driblar debe caracterizarse por tener un coeficiente de fricción más alto que el del suelo con la pelota (aproximadamente 0.66) [29] y ser relativamente suave para amortiguar el impacto de la bola. Los primeros materiales que vienen a la mente son el hule y alguna clase de espuma por sus propiedades bien conocidas. En la actualidad existen muchas clases de hules sintéticos, de las cuales varios cumplen los requisitos del sistema. Los puntos clave para seleccionar los materiales candidatos son los siguientes: primero, que sea un material con un coeficiente de fricción mayor a 0.66 y relativamente suave; segundo, que se pueda procesar en la universidad o que no eleve mucho los costos del proyecto, por último, que sea accesible para conseguirse en México.

De los principales fabricantes de plásticos, en particular de elastómeros termoplásticos (TPE) y termoplásticos vulcanizados (TPV) se encuentra DuPont® [15] el cual cuenta con una infinidad de productos para esta clase de aplicaciones, sin embargo, es difícil encontrar información relacionada con propiedades de fricción e impacto. Otro fabricante especializado en TPE's es Santoprene® [31] con una amplia gama de productos con un coeficiente de

fricción que va desde 1.0 a 1.5 en acero, vidrio y aluminio [Apéndice A, tabla 7]. El problema que presenta este fabricante es que en México no se cuenta con toda la gama de sus productos. Un producto que sobrepasa los requerimientos es el Sorbothane® [34], el cual tiene un coeficiente de fricción entre 4.0 a 15.0 en acero pulido y está especialmente diseñado para soportes y audio, así que sus propiedades de bajo impacto son excelentes [Apéndice B tabla 13]. La complicación con este material es que sólo se trabaja en EUA. [15][31][34]

La primera opción de material sería el Sorbothane®, pero debido a los problemas que presenta no se puede usar. El sistema de control de bola es un sistema necesario pero no esencial, así que la accesibilidad del material cobra más peso que si excede los requisitos del sistema. Se usará el material más accesible, siempre y cuando cumpla con los requerimientos del sistema. En la tabla 5.5.1 se muestra una matriz de selección para los materiales propuestos. Se asignó una calificación de 0 a 4 por criterio para cada concepto, siendo 4 el más satisfactorio y 0 el menos satisfactorio. Los criterios que se evaluaron fueron: el coeficiente de fricción, costo de realización, disponibilidad del material, el proceso de manufactura y el peso. [6]

Tabla 5.5.1 Matriz de Selección de Material

Criterio\Concepto	Hule Espuma	Santoprene®	Sorbothane®
Coef. Fricción	1	3	4
Costo	2	4	2
Disponibilidad	2	4	0
Impacto	4	3	4
Manufacturabilidad	2	3	3
Peso	3	2	2
TOTAL	14	19	15

5.6.2 Forma de la Barra

La forma de la barra determina el control sobre la bola. Esto sirve para posicionar la bola, para dar vueltas más rápido o tener mayor maniobrabilidad en el campo con la pelota.

En la figura 5.6.2.1 se muestra las distintas propuestas de barras.

Doble cono: está formada de dos conos encontrados con la parte más angosta en el centro de la barra y la parte más ancha en los extremos. En teoría esto haría que la bola, al momento de entrar en contacto con la barra se moviera a la parte mas angosta del cono (se centra la bola). El problema de esto es predecir que pasará entre la bola y la barra cuando el robot gire.

Tornillo sin fin: esta idea consiste en que la barra está dividida en dos secciones, cada una tiene un canal en espiral que lleva hasta el centro de la barra. El problema que presenta este diseño es que para que sea eficiente tiene que trabajar a bajas revoluciones y la superficie no uniforme haría que la bola sea inestable y sea fácil de perder control.

Escalonado: ya que el reglamento restringe el uso de barras laterales, teniendo una barra con distintos diámetros, estos harían una función parecida reteniendo la bola al momento de girar. El problema de esta idea es que la barra es demasiado corta para poner distintos escalones.

Muesca: si en la parte central de la barra se hace una muesca, al momento que la bola pase por ahí hará el mismo efecto que con los conos y se mantendrá centrada. Varios equipos en competencias pasadas han presentado este sistema.

Entre todas las opciones presentadas de barras, la muescada no tiene ningún inconveniente. Buscando hacer un híbrido entre las barras se podría poner un pequeño escalón en los extremos de la barra y darle un acabado a la barra de rayado en ángulo, para guiar a la pelota hacia el centro sin poner en riesgo su control.

En la tabla 5.6.2.1 se muestra un resumen en forma de matriz de selección de las opciones de forma de barras. No se incluyó a la barra híbrida por ser una combinación de las demás.

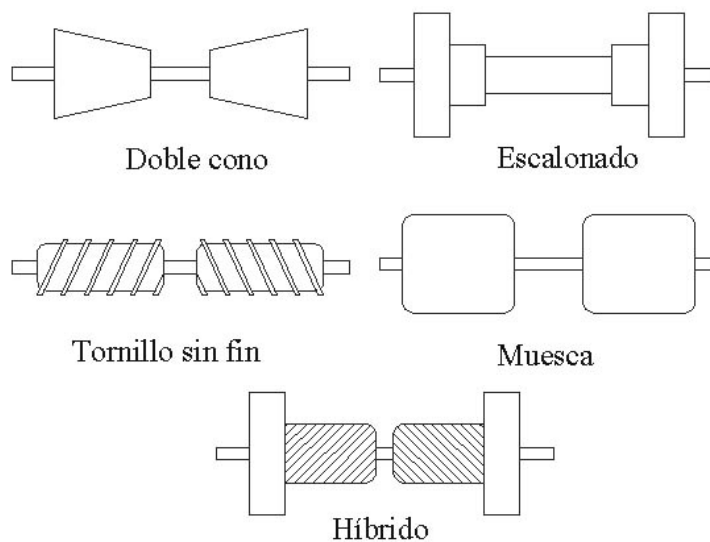


Figura 5.6.2.1 Tipos de Barras

Donde los criterios que se consideraron fueron los siguientes:

- Complejidad que se refiere a la forma de la barra.
- Dominio. Superioridad en un encuentro con otro robot.
- Estabilidad. El manejo de la bola.
- Funcionamiento. Cumple las metas.
- Posicionamiento. La bola siempre está al centro de la barra.
- Dimensiones. El tamaño de la barra para que funcione correctamente.
- Velocidad. La máxima o mínima velocidad que requiere para trabajar correctamente.

Tabla 5.6.2.1 Matriz de Selección de Forma de Barra

Criterio\Concepto	Doble Cono	Tornillo Sin Fin	Escalonado	Muesca
Complejidad	2	0	1	3
Dominio	3	1	4	4
Estabilidad	2	1	4	4
Funcionamiento	2	2	3	4
Posicionamiento	4	4	3	3
Dimensiones	3	2	1	4
Velocidad	2	1	3	4
TOTAL	18	11	19	26

5.6.3 Selección del Motor

El motor que se requiere para este sistema no representa mayor problema respecto a la fuerza demandada, ya que la fricción es relativamente pequeña. Los puntos claves para la selección del motor son el tamaño, máxima velocidad y control (encoder). Para calcular la fuerza y torque requerida del sistema se usan las siguientes fórmulas. [29]

$$\begin{aligned} F &= \mu * M_{Bola} * g \\ T &= F * r \end{aligned} \quad [5.6.3.1]$$

“ μ ” es el coeficiente de fricción con el suelo

“ M ” es la masa de la bola, [kg]

“ g ” que es la gravedad, [m/s²]

“ r ” es el radio de la barra, [m]

En este caso $\mu= 0.66$ [12], $M= 0.046$ kg], $g= 9.81$ m/s² y

$r= 0.0075$ m

El resultado de la fuerza es 0.2978 N. Multiplicado por el radio para obtener el torque da 2.233 mN*m, lo cual no representa gran esfuerzo para la mayoría de los motores en el mercado. No se toma en cuenta la fuerza de fricción entre la barra de driblar y la bola porque se asume que el coeficiente de fricción de la barra es mucho mayor que el del suelo y porque la fuerza que se busca vencer es del suelo con la bola.

Se desea que el motor tenga el menor diámetro posible ya que estará en paralelo con la barra. El largo del motor no es de mucho cuidado porque la barra de driblar es de 76 mm aproximadamente, el cual es más que suficiente para un motor. El fabricante predilecto es Maxon ya que fabrica motores pequeños y los motores del sistema de locomoción son de esa marca. El EC-max 16 de 16 mm de diámetro, sin escobillas, de 5 W y el reductor de velocidad planetario estándar del fabricante con una relación de 4.4:1 será apto para cumplir con la

tarea. No se requiere fabricar o comprar un soporte o unión especial para el motor con el reductor planetario, ya que son del mismo fabricante y está la opción de que lo ensamblen desde la fábrica. [Apéndice A, tabla 3] [20]

El motor estará conectado a la barra mediante engranes para que sea un mecanismo compacto. Los engranes son marca W.M. BERG INC., el piñón es de 28 y el otro engrane de 60 dientes, los dos son de aluminio. Número de parte PHA82-28 y PHA82-60, respectivamente. En el apéndice A tabla 4 se encuentra más información. La velocidad máxima permitida del motor es de 20,000 rpm, tomando este número, del reductor planetario salen 4,545 rpm y ya en la barra después de la relación de engranes se obtiene 2,124 rpm, la cual debe ser suficiente para el control de la bola. En la figura 5.6.2.2 se muestra una idea aproximada de como quedaría la unión entre el motor y la barra mediante engranes. El motor y la barra estarán montados en el mismo soporte, el cual estará sujeto a la parte inferior y superior del sistema de locomoción. [Apéndice A, tabla 4][37]

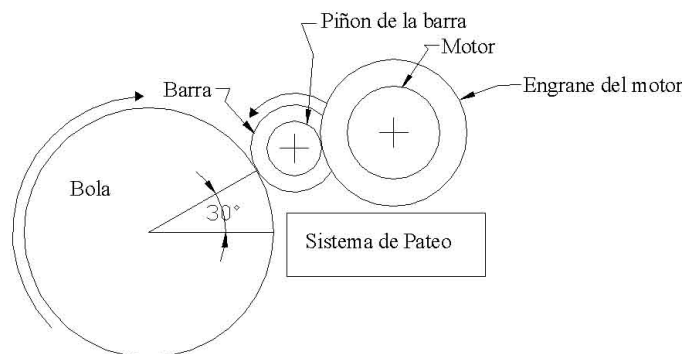


Figura 5.6.2.2 Unión de Motor con Barra

5.7 Soporte

La estructura que va a sujetar a la barra de driblar y al motor consiste en un soporte en cada extremo, asimismo, los dos soportes se fijan a la placa principal inferior mediante tornillos allen M3x0.5. Los planos de los soportes y de la placa principal inferior se muestran en el apéndice A bajo los planos RC-03-01-03 y RC-03-01-04. El material del soporte es Nylamid®

por ser accesible y porque no se requiere disipar tanto calor como en el sistema locomotriz. Cualquiera de los productos comerciales de esta compañía cumple con los requerimientos del sistema, no obstante, el SL es el recomendado para carga mecánica, resistencia térmica e impacto. [2][7][35]

5.8 Energía y Control del Sistema de Control de Bola

El control de este motor es exactamente igual que los motores del sistema locomotriz, ya que los dos son sin escobillas y están equipados con sensores para la retroalimentación. El conector tiene ocho pins, tres para cada embobinado (trifásico), otros tres para cada sensor respectivamente, uno para voltaje de 4.5V a 24V y el octavo pin para tierra. El conector se muestra en la figura 5.8.1. Ya que el motor cuenta con sus propios sensores y conector, no se requiere algún circuito eléctrico, el sistema electrónico creará el circuito necesario para controlar al motor. Obtener una retroalimentación, mediante los sensores y el “encoder”, de la velocidad de la barra de driblar es esencial para un buen control de la bola, por ejemplo, si el robot quiere girar se debe bajar la velocidad de la barra para que la bola gire con el robot. O cuando el robot va a patear, detiene la barra para lograr un tiro más potente. [20]

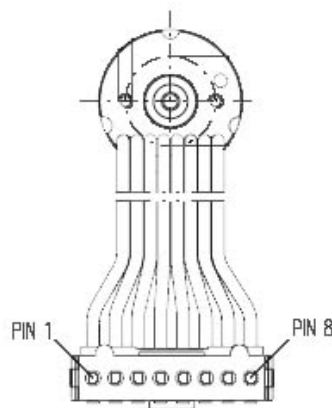


Figura 5.8.1 Conector del Motor

Respecto a cuanta energía consume el sistema es difícil dar un número preciso, ya que depende del programa que controle al robot y las circunstancias en las que se encuentre. Se

creo que en una situación real el robot usará la mitad del tiempo la barra de driblar, así que en una mitad de partido el motor funciona 5 min. Como indica en las especificaciones del mismo, el motor consumirá una corriente máxima de 455 mA en continuo a 5000 rpm. [20]

5.9 Resumen

El sistema de control de bola está extremadamente limitado por el reglamento y lamentablemente varias de las ideas propuestas se tienen que realizar para comprobar su funcionamiento apropiado. Sin embargo, por el historial de equipos participantes se puede tener confianza en el funcionamiento del sistema. Los componentes que conforman el sistema de control de bola son los siguientes:

Componentes a comprar.

- 1 Motor Maxon® EC-max 16. (apéndice A, tabla 2)
- 1 reductor planetario Maxon® de 4.4:1. (apéndice A, tabla 3)
- 2 engranes marca W. M. BERG® de 28 y 60 dientes respectivamente. (apéndice A, tabla 4)
- 8 tornillos M3x0.5 10 mm. (apéndice A, tabla 9)

Componentes a manufacturar.

- 1 soporte derecho. (apéndice C, RC-03-01-03)
- 1 soporte izquierdo. (apéndice C, RC-03-01-04)
- El material de los soporte es Nylamid® SL. (apéndice A, tabla 14)
- 1 barra de driblar.
 - Barra de 15 mm de diámetro y 76 mm de largo. (apéndice C, RC-03-01-02)
 - Barra tipo muesca. (apéndice C, plano RC-03-01-01)
 - El material de la barra es hule sintético Santoprene®. (apéndice A, tabla 7)