



Mayo 2018 - ISSN: 1696-8352

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ROBOT MÓVIL PARA GRANJAS AVÍCOLAS

Fausto Ramiro Cabrera Aguayo¹

Profesor de la carrera de Ingeniería Electrónica en Control y redes Industriales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, fausto.cabrera@espoch.edu.ec

John Hidalgo Aguirre²

Estudiante de la carrera de Ingeniería Electrónica en Control y redes Industriales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, john_aha223@hotmail.com.

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Fausto Ramiro Cabrera Aguayo y John Hidalgo Aguirre (2018): "Diseño de un prototipo de robot móvil para granjas avícolas.", Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, (mayo 2018). En línea:

<https://www.eumed.net/rev/oel/2018/05/prototipo-robot-movil.html>

Resumen.- La manera más adecuada de tener el control en la producción avícola de una industria es estimular a que las aves caminen y se muevan constantemente, pues es importante tener una carne de mejor calidad para aprovechar los nutrientes que estas aves nos ofrecen. Se ha diseñado un prototipo de robot móvil usando un sistema de tracción diferencial, analizando tanto la cinemática y la dinámica del robot para que su funcionamiento sea óptimo dentro del terreno. Además, al robot está dotado de sensores para que no abandone el área de trabajo y cumpla con la tarea asignada, además de un sistema de limpieza. Con ello se pretende evitar enfermedades tanto en las aves como en los avicultores.

Abstract.- The most appropriate way to have control in the poultry production of an industry is to encourage the birds to walk and move constantly, because it is important to have a meat of better quality to take advantage of the nutrients that these birds offer us. In this way, a design of a prototype of mobile robot is implemented using differential traction system, analyzing both the kinematics and the dynamics of the robot so that its operation is optimal in the field. In addition, the robot will be equipped with sensors that it does not leave the work area, and a cleaning system. It could prevent diseases in both birds and poultry farmers.

Palabras Clave: Robot móvil, robot autónomo, cinemática, dinámica, tracción diferencial, granjas avícolas.

Key words.- Mobile robot, autonomous robot, kinematics, dynamics, differential traction, poultry farms.

1. INTRODUCCIÓN.

La situación actual del hombre, así como sus necesidades han logrado que se desarrollen nuevos robots con la capacidad de desplazarse: "Robots móviles", estos se han adaptado a las necesidades humanas existiendo así, por ejemplo, robots móviles de servicio, de rescate, de transporte, avícolas, etc.

Los robots móviles pueden abarcar varios campos y se utilizan en muchos lugares de la vida humana. Se pueden diseñar para diversos entornos según sean las necesidades. La investigación, el desarrollo y la educación en la robótica móvil ameritan la verificación de las propiedades de diferentes sistemas electrónicos (Curtidor Zabala and Torres Nuñez 2016).

En todas las etapas de crecimiento de las aves, éstas necesitan moverse constantemente para

¹ Ingeniero en Electrónica Control y Redes Industriales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-Ecuador, Máster en Automática y Robótica de la Universidad Politécnica de Madrid-España.

²Estudiante de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-Ecuador, carrera de Ingeniería en Electrónica Control y Redes Industriales.

mantener y conservar su salud hasta lograr su máximo nivel de crianza.

En las primeras etapas del periodo de crecimiento, el objetivo principal es mantener a las aves con el calor suficiente, pero a medida que crecen, uno de los objetivos es mantenerlas en constante movimiento para que se desarrollen mejor.

Otro aspecto importante es mantener limpio el lugar en donde las aves crecen, por lo que se debe tener una planificación de limpieza, éste trabajo es complicado debido al espacio en el que se crían y al número de aves que suele ser grande, si un ser humano realizara esta actividad estaría propenso a contagiarse de enfermedades provocadas por estos animales. Es por ello por lo que se justifica la implementación de un mecanismo robótico que ayude a realizar estas actividades durante ciertos periodos de tiempo (Curtidor Zabala and Torres Nuñez 2016). Para ello se desarrollará un robot móvil que ayude a mejorar la calidad de producción avícola mediante la limpieza constante del recinto, además de mantenerlas en constante movimiento para mejorar la calidad de la carne.

2. ESTADO DEL ARTE

En Colombia en el 2016 Curtidor Zabala, J. S. y Torres Núñez, C. (2016) desarrollaron un método para alimentar a las aves de corral mediante un proceso de temporización inteligente el cual tiene una aplicación de voz para atraer a las aves al comedero (Curtidor Zabala and Torres Nuñez 2016).

En 2016 en la Escuela Superior Politécnica del Ejercito – Ecuador se diseñó un sistema automático para el envasado de huevos con el cual se incrementaría la producción de huevos de las industrias avícolas (Martínez Meza and Quinchimba Cóndor 2016).

En 2017 estudiantes de la ESPE – Ecuador debido a que las aves de corral son susceptibles a diversas enfermedades, deciden implementar un control automático inteligente, el cual efectúa varias actividades que son normalmente realizadas por el avicultor tales como racionamiento de alimento, racionamiento de agua, control de temperatura y humedad y detección de tetrapleja aviar (Manobanda cardenas and Santamaría Castillo 2017).

Hoy en día en Charoen Pokphand Group, la empresa tailandesa, existen robots humanoides que se encargan de recorrer los pasajes en donde habitan las gallinas para analizar su temperatura y movimiento, con ello se logrará prevenir el contagio de alguna enfermedad entre las aves o con el hombre.

En la feria de la producción animal SPACE 2017, que se realizó del 12 al 15 de septiembre en Rennes, Francia se presentó un robot avícola que se mueve frecuentemente para que las aves caminen, acostumbra a las gallinas a poner sus huevos en los nidos y no en el piso.

Octopus Robots el 15 de diciembre del 2017 presentó un pequeño robot para reducir el riesgo de contaminación y proliferación de la flora bacteriana, aumentar el bienestar animal, la productividad y disminuir la tasa de mortalidad en las granjas.

Los ingenieros agrícolas de la Universidad de Cornell, Estados Unidos desarrollaron al robot "Rhino XR-1", cuya principal función es "coger y colocar" debido a que tiene un brazo robótico y una videocámara puede detectar los huevos que están rotos, logrando así que la producción y repartimiento de huevos sea de mejor calidad y de una forma más eficiente.

3. METODOLOGÍA

3.1. MOVILIDAD

Las plataformas móviles pueden moverse libremente y, por lo tanto, tienen un área operativa ilimitada. Sin embargo, éstas plataformas no pueden manipular objetos por sí mismas. Las plataformas tienen diferentes mecanismos para moverse: ruedas, piernas, alas e incluso bandas. Los robots móviles tienen la capacidad de desplazarse en una gran cantidad de entornos, entre ellos el entorno habitado por el hombre, por lo tanto, debe tener la capacidad

¹ Ingeniero en Electrónica Control y Redes Industriales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-Ecuador, Máster en Automática y Robótica de la Universidad Politécnica de Madrid-España.

²Estudiante de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-Ecuador, carrera de Ingeniería en Electrónica Control y Redes Industriales.

de evitar colisiones que afecten su integridad. Las medidas de seguridad requieren inteligencia incorporada, es decir un sistema de control destinado para dicho objetivo. El aumento de las operaciones del robot móvil como la evasión de obstáculos, el análisis de mapas y el cumplimiento de trayectorias son todas partes del sistema global.

3.2. SISTEMA DE TRACCIÓN DIFERENCIAL



Fig. 1: Sistema de tracción diferencial (Hernández Martha, Miguel, and Joaquín n.d.).

Características:

- Dos ruedas motrices.
- Si el sistema posee otras ruedas, éstas son pasivas y libres.
- De movimiento rápido, pero de movilidad limitada

La selección de ruedas para el robot se seleccionan de acuerdo al diseño y entorno de desplazamiento. Las ruedas fijas son ampliamente utilizadas sobre superficies regulares. Las ruedas orientables y esféricas son buenas para equilibrar un robot (especialmente cuando dos ruedas conducen y necesita una tercera rueda de equilibrado, también conocida como rueda auxiliar). Las ruedas omnidireccionales son buenas tanto para conducir como para equilibrar, pero tienen sus desventajas: son caras y el control se dificulta. Si se realiza un control correcto tienen un amplio rango de aplicaciones.

3.3.CINEMÁTICA DIRECTA DE UN ROBOT MOVIL DIFERENCIAL

Al realizar la cinemática del robot móvil se asume que el robot va a desplazarse en una superficie plana y sin pérdidas por rozamiento. Además, debido a que es un robot diferencial tiene ciertas restricciones no holonómicas en su sistema (Wit, Siciliano, and Bastin 1996).

Para la cinemática directa de un robot móvil se deben conocer el espacio que existe entre las ruedas (L) y su radio (R) como se observa en la Fig. 2

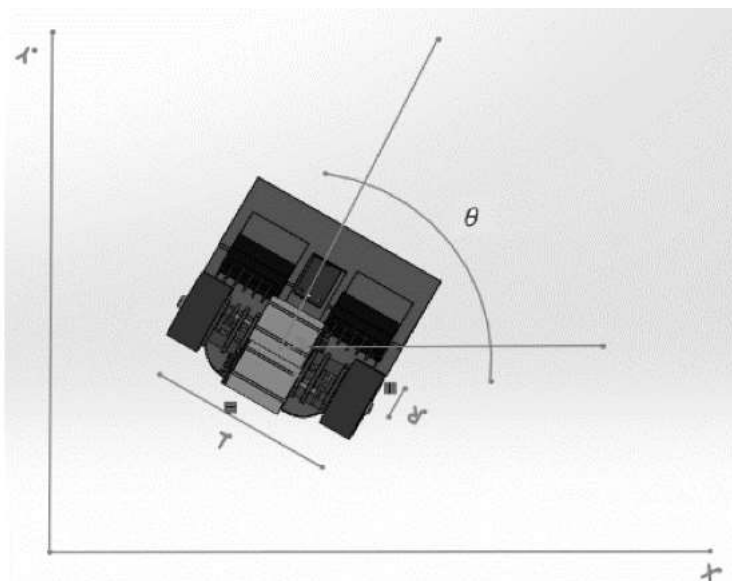


Fig. 2: Variables físicas de un robot diferencial.

En un robot móvil diferencial las incógnitas son la orientación y posición del robot con referencia a un sistema global y para tener un movimiento deseado se toma en cuenta la velocidad de la rueda derecha (ω_r) y la izquierda (ω_l) como se muestra en la Fig. 3.

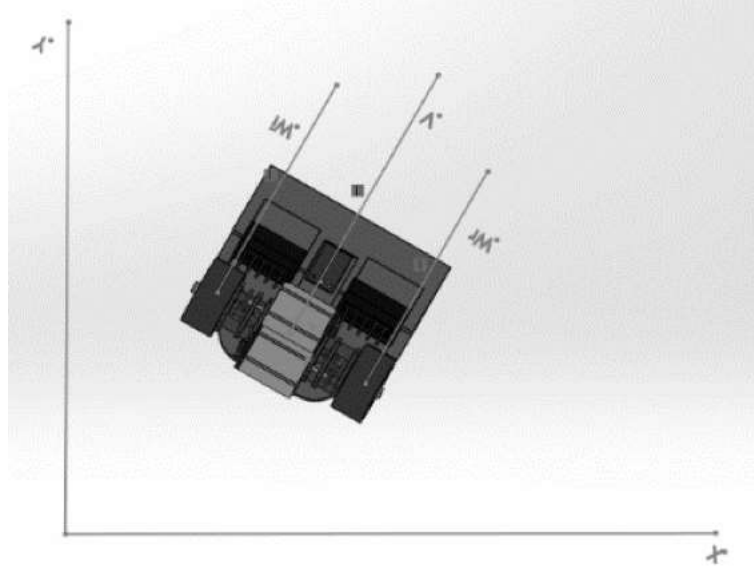


Fig. 3: Variables del movimiento de un robot diferencial.

Al modelar un robot diferencial encontramos la relación de las entradas ω_r y ω_l a los estados x , y , ϕ .

Una vez definidas las entradas y salidas del sistema se estudian los movimientos que presenta el robot en el plano, ya que éste puede desplazarse mediante una velocidad lineal " v " y rotar con una velocidad angular " ω ".

Nuestro robot se traslada de forma recta, cuando la velocidad de sus dos ruedas es igual, por consiguiente, la velocidad lineal del robot se define como se muestra en 1.

$$v = R(\omega_r + \omega_l)/2 \quad (1)$$

Por el contrario, para que el robot diferencial rote sobre su centro de masa, debe tener la misma velocidad en sus dos ruedas, pero con signo diferente como se muestra en 2.

$$\omega = R(\omega_r - \omega_l)/L \quad (2)$$

Ahora se estudian las ecuaciones que precisan la dinámica del movimiento del robot en cada uno de sus ejes como se muestra en 3, 4 y 5.

$$\dot{x} = v \cos \theta \quad (3)$$

$$\dot{y} = v \sin \theta \quad (4)$$

$$\dot{\phi} = \omega \quad (5)$$

Finalmente se obtiene el modelo diferencial del robot mediante las velocidades lineales y angulares que se obtuvieron anteriormente.

Adicionalmente de las situaciones de velocidad, se define una matriz de rotación, ya que el robot no siempre se va a encontrar colocado en el eje global (V., O., and Rios 2009).

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 \\ \sin\theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \frac{\omega_r + \omega_l}{2} \\ R \frac{\omega_r - \omega_l}{L} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Tras obtener el modelo del robot podemos encontrar las ecuaciones que se rigen su desplazamiento, para ello se multiplican las matrices de rotación y la matriz de velocidades, teniendo como resultado el modelo cinemático directo del robot diferencial como se muestra en 8, con el cual se puede desarrollar un sistema de control(Ivanjko, Petrini, and Petrovic 2010).

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R \frac{\cos\theta}{2} & R \frac{\cos\theta}{2} \\ R \frac{\sin\theta}{2} & R \frac{\sin\theta}{2} \\ \frac{R}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_l \end{bmatrix} \quad (8)$$

3.4.CINEMÁTICA ROBOT MÓVIL DIFERENCIAL.

Si se desea un desplazamiento de un robot controlado es necesario cambiar las señales de entrada de la planta, es decir, se debe buscar una expresión que determine las velocidades de cada rueda a partir de las velocidades angular y lineal deseadas.

Por lo que se aplica la cinemática inversa de un robot con la cual se determina cada velocidad de las llantas que deben ser aplicadas para lograr un comportamiento deseado(V., O., and Rios 2009)(V., O., and Rios 2009).

Mediante la ecuación 8 se determina la expresión 9.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R \frac{\cos\theta}{2} & R \frac{\cos\theta}{2} \\ R \frac{\sin\theta}{2} & R \frac{\sin\theta}{2} \\ \frac{R}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_l \end{bmatrix} \quad (9)$$

En la cual es necesario determinar una matriz inversa que no es posible obtenerla. Para ello, la solución es calcular la matriz pseudoinversa la cual se define en la ecuación 10:

$$A^+ = (A^T * A)^{-1} * A^T \quad (10)$$

En donde:

$$A = \begin{bmatrix} R \frac{\cos\theta}{2} & R \frac{\cos\theta}{2} \\ R \frac{\sin\theta}{2} & R \frac{\sin\theta}{2} \\ \frac{R}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \quad (11)$$

A partir de la ecuación 11 se obtiene la matriz pseudoinversa la cual queda definida como se muestra en la ecuación 12.

$$A^+ = \begin{bmatrix} \frac{\cos\theta}{R} & \frac{\sin\theta}{R} & \frac{L}{R} \\ \frac{\cos\theta}{R} & \frac{\sin\theta}{R} & -\frac{L}{R} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Por consiguiente, la expresión que determina la cinemática inversa del robot diferencial se define como se muestra en la ecuación 13:

$$\begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\cos\theta}{R} & \frac{\sin\theta}{R} & \frac{L}{R} \\ \frac{\cos\theta}{R} & \frac{\sin\theta}{R} & -\frac{L}{R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} \quad (13)$$

3.5.DINÁMICA ROBOT MOVIL DIFERENCIAL.

La dinámica de un robot diferencial determina la aceleración de cada una de las ruedas de un robot relacionada al momento de torsión aplicado a los motores (V., O., and Rios 2009). Al tener la masa del robot M y la masa de sus ruedas m se realiza el cálculo lagrangiano del sistema, además, debido a que la altura del robot es la misma siempre la energía potencial es constante como se muestra en la ecuación 14.

$$\mathcal{L} = K_c + K_{r1} + K_{r2} \quad (14)$$

De donde la energía cinética del cuerpo es igual a la ecuación 15, debido a su relación con la energía cinética dada por la traslación y rotación del cuerpo.

$$K_c = \frac{1}{2}MV^2 + \frac{1}{2}I_c\dot{\phi}^2 \quad (15)$$

Donde I_c es el momento de inercia que tiene el robot con referencia al centro de masa como se muestra en la ecuación 16.

$$I_c = \frac{1}{2}Ml^2 \quad (16)$$

El momento de inercia de la rueda se expresa como se muestra en 17.

$$I_r = \frac{1}{2}mr^2 \quad (17)$$

La energía cinética de cada rueda está dada por 18 y 19:

$$K_{r1} = \frac{1}{2}I_{r1} * \dot{\theta}_1^2 \quad (18)$$

$$K_{r2} = \frac{1}{2}I_{r2} * \dot{\theta}_2^2 \quad (19)$$

La energía cinética derivada del sistema se expresa en 20.

$$K_t = \frac{1}{2}(MV^2 + I_c\dot{\phi}^2) + \frac{1}{2}I_{r1} * \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2}I_{r2} * \dot{\theta}_2^2 \quad (20)$$

Ahora se procede a emplear las Ecuaciones de Lagrange obteniendo así 21 y 22.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\delta \mathcal{L}}{\delta \dot{\theta}_1} \right) - \frac{\delta \mathcal{L}}{\delta \theta_1} = \tau_1 - k\dot{\theta}_1 \quad (21)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\delta \mathcal{L}}{\delta \dot{\theta}_2} \right) - \frac{\delta \mathcal{L}}{\delta \theta_2} = \tau_2 - k\dot{\theta}_2 \quad (22)$$

Donde τ_1 y τ_2 son los torques de cada rueda y $k\dot{\theta}_1$, $k\dot{\theta}_2$ son los coeficientes de fricción viscosos de las ruedas.

Mediante este análisis se obtiene el modelo dinámico de un robot diferencial como se indica en las ecuaciones 23 y 24.

$$A\dot{\theta}_1 + B\dot{\theta}_2 = \tau_1 - k\dot{\theta}_1 \quad (23)$$

$$B\dot{\theta}_1 + A\dot{\theta}_2 = \tau_2 - k\dot{\theta}_2 \quad (24)$$

Donde A y B vienen dados por 25 y 26.

$$A = \left[\frac{mr^2}{4} + \frac{I_c * r^2}{l^2} + I_r \right] \quad (25)$$

$$B = \left[\frac{mr^2}{4} - \frac{I_c * r^2}{l^2} + I_r \right] \quad (26)$$

3.6.CONTROL ROBOT MÓVIL

Los robots móviles con ruedas están cada vez más presentes en los varios sectores, entre ellos el industrial y de servicio, particularmente cuando se requieren capacidades de movimiento flexibles en terrenos y superficies razonablemente lisos.

Existen varias configuraciones de movilidad, las cuales difieren según el número y tipo de rueda, su ubicación y actuación, si es un vehículo individual, o es una estructura de vehículo con varios cuerpos. La configuración más común para robots de un solo cuerpo es la diferencial y la sincronización unidad, ambas cinemáticamente equivalentes a un monociclo, triciclo o unidad similar a un automóvil.

Para lograr estabilizar el sistema propuesto en una postura determinada utilizar técnicas de control lineal es ineficaz debido a que el sistema es no lineal, de hecho, incluso es ineficaz utilizar técnicas de control lineal sobre sistemas locales en el robot móvil. Este problema de seguimiento de una trayectoria se resuelve globalmente mediante el uso de retroalimentación no lineal, e independientemente a través del uso de una linealización de realimentación dinámica.

Para diseñar un control en un robot móvil se debe tener en cuenta la capacidad que éste tiene para desplazarse en una determinada dirección.

Los diseños de robots holonómicos son los que permiten maniobrar en cualquier dirección a un robot desde cualquier dirección en el que se encuentre, por ejemplo, un robot omnidireccional tiene 3 movimientos independientes en un plano, dos que sirven para su traslación y uno para su rotación, esto hace que los algoritmos de control en estos robots sean más sencillos de implementar. Los robots no holonómicos se desplazan mediante movimientos independientes y su plano de configuración es de 3 dimensiones, es por ellos que el control es más complejo pero la ventaja es que el diseño mecánico del robot se vuelve más fácil.

En la Fig. 4 se muestra un algoritmo muy utilizado que se aplican a robots móviles cuando la trayectoria ya está definida.

Pues el principal objetivo del control de un robot móvil es garantizar que el seguimiento de la trayectoria sea efectiva y estable aun cuando existan cambios físicos en el espacio en el cual se esté trabajando, así como en el momento en el que los actuadores llegasen a maltratarse o desgastarse.

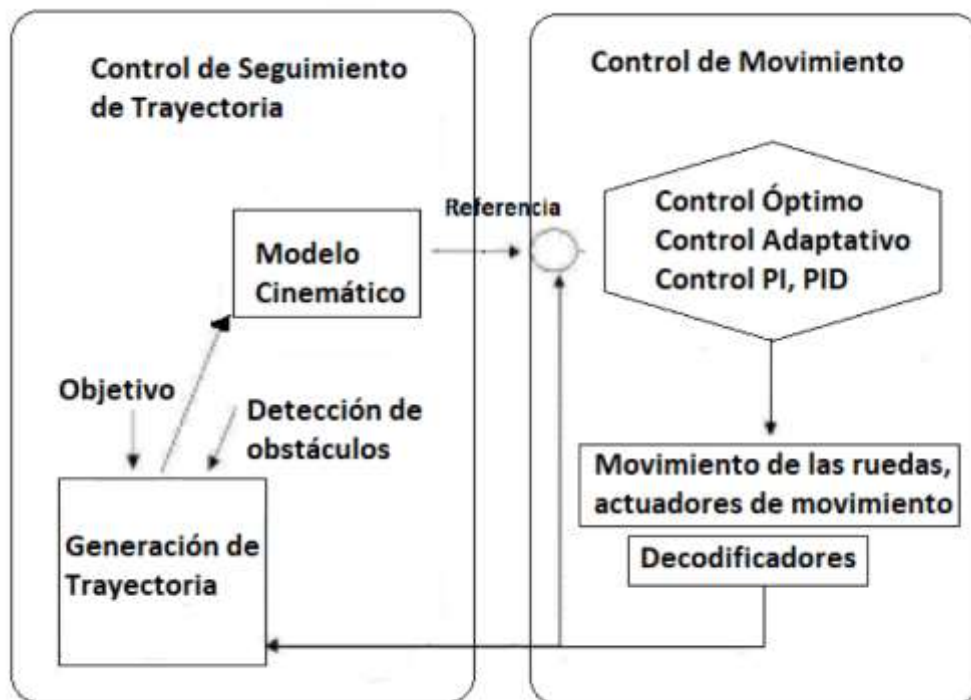


Fig. 3: Control de movimiento de un robot móvil.

Los controladores más utilizados en robots móviles son los siguientes:

Control Adaptativo Optimo:

Este control hace que el sistema de control automático del robot se acople a las diversas circunstancias variantes que existen en el comportamiento dinámico del sistema, así como de sus perturbaciones, es decir, regula comportamientos indeseables que se pueden dar en el sistema.

Control Proporcional-Integral y control Proporcional-Integral-Derivativo:

Este tipo de controladores son muy robustos e implementados en varias aplicaciones industriales, su estructura es simple lo cual lo hace muy fácil de programar en robots móviles.

El término proporcional P tiene que ver directamente con el error generando así una acción correctiva para disminuir el error (Wit, Siciliano, and Bastin 1996).

El término I corrige proporcionalmente a la integral del error, es decir, que si empleamos un esfuerzo de control el error se reduce a cero.

El término D por el contrario actúa mediante el cambio de rango del error lo cual genera un efecto estabilizante.

Estas técnicas son muy sofisticadas y frecuentemente las utilizan combinándolas junto con otras técnicas como la inteligencia artificial, la cual disminuye efectos indeseables en el sistema (Spong, Hutchinson, and Vidyasagar 2004).

Inteligencia Artificial:

Este controlador está basado en varias técnicas como las redes neuronales, algoritmos fuzzy, entre otros. Son muy utilizados en robots móviles ya que existen ocasiones en donde los cuerpos están sujetos a perturbaciones en las cuales los parámetros sean desconocidos (Ivanjko, Petrini, and Petrovic 2010).

4. DESARROLLO.

El diseño del robot se muestra en la Fig. 4, el cual es basado en un sistema de tracción diferencial ya que el robot no tendrá que realizar esfuerzos mayores, ni movimientos complejos dentro del área donde se va a desplazar.



Fig. 4: Diseño robot móvil avícola.

Para el control del robot se considera utilizar un sistema de control clásico, para el caso presente se realizarán pruebas de funcionamiento con un controlador PD y se evaluará su funcionamiento.

Para la obtención de estos coeficientes se utilizó el método de Ziegler-Nichols que permite ajustar o "sintonizar" un regulador PID de forma empírica, sin necesidad de conocer las ecuaciones de la planta o sistema controlado, su relación con los parámetros del controlador son:

$$K_p = 1,2 \frac{y_0}{k_1 \tau_0}$$

$$T_i = 2\tau_0$$

$$T_d = 0,5\tau_0$$

Utilizando las herramientas de Matlab, los parámetros obtenidos fueron los siguientes:

```

 $K_p = 0,175$ 
 $K_i = 0$ 
 $K_d = 16$ 
 $Pc = pid(k_p, k_i, k_d)$ 
 $Mc = feedback(Ps * Pc, h)$ 
figure(2)
step(Mc)
grid on

```

Con los parámetros ya obtenidos, se muestra en la Fig. 5 la respuesta Impulso unitario de los motores DC sin usar un control PID.

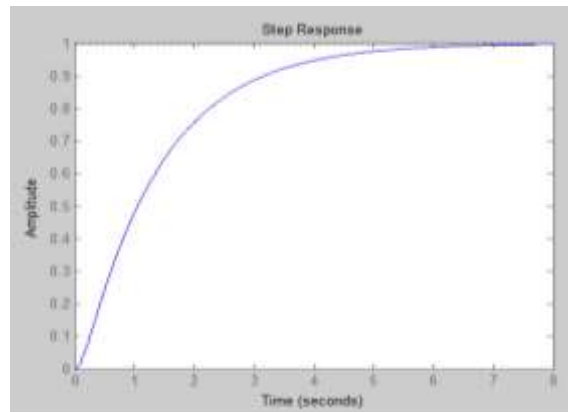


Fig. 4: Respuesta impulso unitario del motor dc sin PID.

A continuación en la Fig. 5 se muestra la respuesta impulso unitario del sistema con el controlador PID.

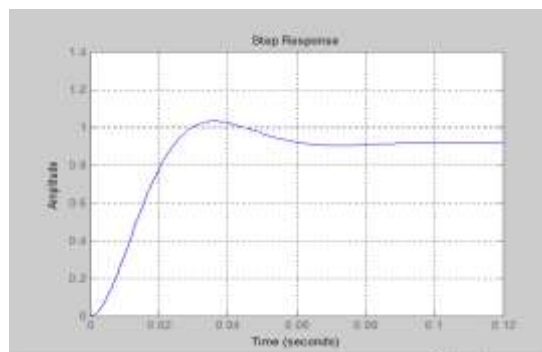


Fig. 5: Respuesta impulso unitario del motor dc con PID.

Se puede apreciar claramente que al aplicar el control PD en el sistema se pudo mejorar de manera considerable el tiempo de estabilización del sistema, provocando una leve oscilación del sistema que no afecta de mayor forma la funcionalidad del robot, otro pequeño problema que se puede observar es la presencia de un pequeño error en estado estacionario, es necesario evaluar si éste error va a afectar considerablemente tras la implementación del robot, para el caso, al ser un error muy pequeño se va a considerar no determinante en su funcionamiento.

Por el método del lugar de las raíces se muestra en la Fig. 6.

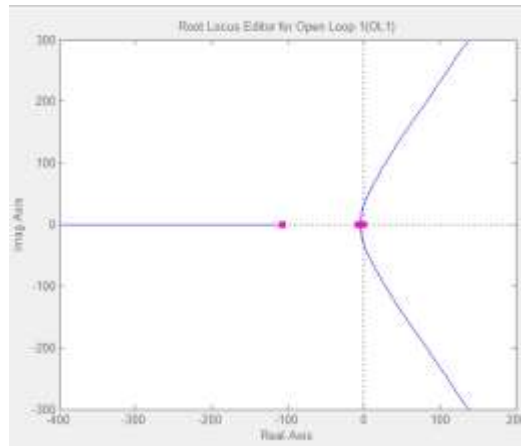


Fig. 6: Análisis por medio del lugar geométrico de las raíces para encontrar k crítico.

Como se puede observar en el gráfico nuestra k crítica es de 7.5, con este valor nuestro sistema oscila sostenidamente, con éste valor se puede empezar a trabajar para encontrar tanto la constante derivativa como para en la práctica establecer experimentalmente alrededor de éste valor el coeficiente más adecuado de funcionamiento.

5. CONCLUSIONES.

La configuración seleccionada del robot móvil es ideal para cumplir con el objetivo planteado, ya que el sistema diferencial permite tener un control lo suficientemente preciso y maniobrar adecuadamente en el sitio de trabajo.

El realizar un diseño previo del robot permite obtener una idea clara de la disposición de equipo y material seleccionado, con lo cual se pueden corregir errores antes de implementarlo, esto supone una gran ventaja en lo que corresponde a la optimización de recursos.

Basado en el estudio de aplicaciones en trabajos similares, se pudo realizar una selección de un controlador PD que supone ser lo suficientemente robusto para cumplir con la tarea propuesta, sin embargo una vez implementado el prototipo de robot móvil se realizarán pruebas de funcionamiento, de no funcionar adecuadamente, sobre el mismo sistema montado se pueden probar otros controladores, lo que no supone costo adicional en la implementación.

6. REFERENCIAS

- Curtidor Zabala, Johan Sebastián, and Camilo Torres Nuñez. 2016. "Dispensador de Alimentos Electrónico Temporizado Para Aves." <http://repository.ucatolica.edu.co/jspui/handle/10983/8279?mode=full> (May 2, 2018).
- Hernández Martha, Aguilera I, Bautista A Miguel, and Iruegas Joaquín. "Diseño y Control de Robots Móviles." <http://www.mecamex.net/anterior/cong02/papers/art24.pdf> (May 2, 2018).
- Ivanjko, Edouard, Toni Petrini, and Ivan Petrovic. 2010. *Modelling of Mobile Robot Dynamics*.
- Manobanda cardenas, Lenin Javier, and Alexis Andrés Santamaría Castillo. 2017. "Investigación, Diseño e Implementación de Un Sistema Mecatrónico Con Control Inteligente y Visión Artificial, Para Optimización de Recursos y Detección de Tetraplejia Aviar En La Avícola "Pollos Hermanos" Del Barrio La Calera Parroquia Eloy Alfaro, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi." <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/13447> (May 2, 2018).
- Martínez Meza, Alex Santiago, and Edwin Javier Quinchimba Córdor. 2016. "Diseño, Construcción e Implementación de Un Sistema Automatizado Para El Empaquetado de Huevos En La Empresa GRANPIAVE Cía. Ltda." <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/12084> (May 2, 2018).
- Spong, Mark W, Seth Hutchinson, and M Vidyasagar. 2004. "Robot Dynamics and Control Second Edition." <http://home.deib.polimi.it/gini/robot/docs/spong.pdf> (May 2, 2018).
- V., Jhonny A. Valencia, Alejandro Montoya O., and Luis Hernando Rios. 2009. "Modelo

Cinemático de Un Robot Móvil Tipo Diferencial y Navegación a Partir de La Estimación Odométrica." *Scientia et technica* 1(41).
<http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/2907> (May 2, 2018).
Wit, Carlos Canudas., Bruno. Siciliano, and Georges. Bastin. 1996. *Theory of Robot Control*. Springer London.