

PROYECTO FIN DE CARRERA

VEHÍCULO DE PRUEBAS NO HOLONÓMICO DE TRES GRADOS DE LIBERTAD PARA EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE GUÍA, LOCALIZACIÓN Y CONTROL

Ingeniería Electrónica con Orientación en Sistemas Digitales

Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales

Universidad Nacional de San Luis

Departamento de Electrónica

Realizado por: G.Walter Grotz

Dirigido por: Emanuel Trabes

Diciembre del 2020

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis dr. Emanuel Trabes que me brindó su tiempo, esfuerzo y sus conocimientos desinteresadamente y me orientó para lograr llevar a cabo este trabajo.

A la Universidad Nacional de San Luis y especialmente a sus profesores del LEIS que me brindaron sus conocimientos y experiencia a lo largo de toda mi carrera.

INTRODUCCIÓN

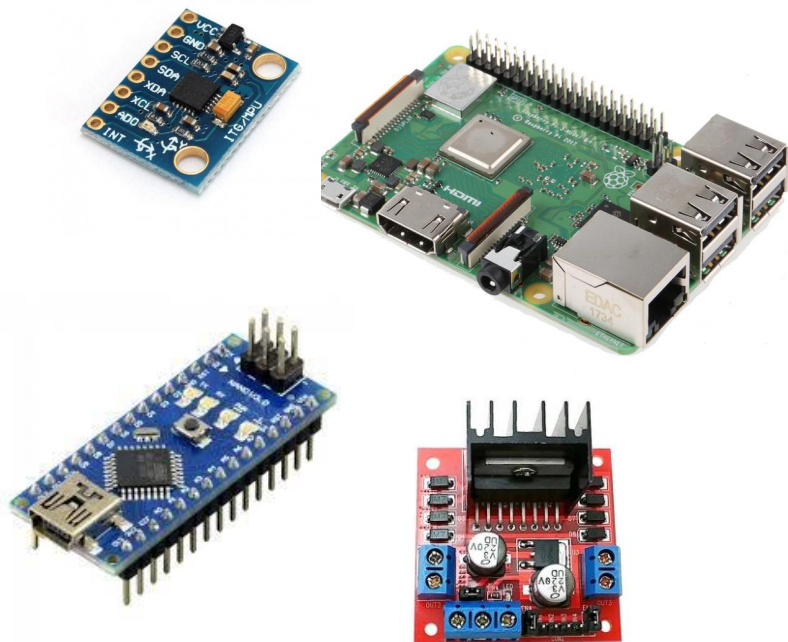
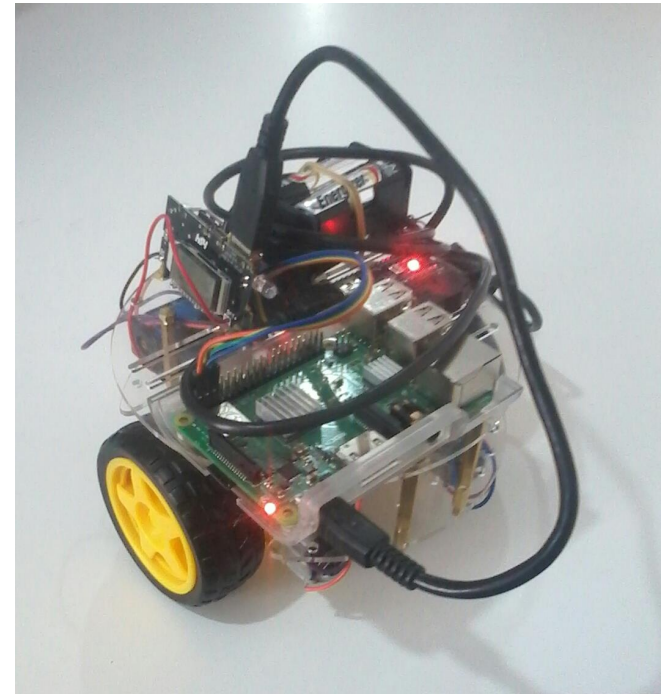
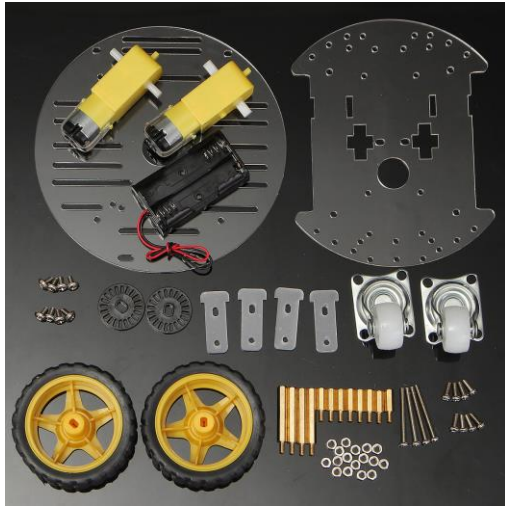
El estado actual de la robótica ha dado como resultado sistemas robóticos altamente complejos. Para su desarrollo se requieren conocimientos de distintas ramas de la ingeniería así como también de ciencias como matemáticas, física y computación. Particularmente, en lo que respecta a ingeniería electrónica, la robótica abarca temáticas como procesamiento de señales, sistemas de control, comunicaciones, sistemas embebidos, modelados matemáticos, etc.

Lamentablemente el uso de estas plataformas se ve limitado, generalmente, por el elevado costo. A su vez, las plataformas más económicas carecen de la documentación adecuada para su uso a un nivel académico, como un modelo matemático de la plataforma, respuesta de los sensores, etc.

OBJETIVOS

- Diseñar e implementar una plataforma de pruebas móvil para sistemas de localización, guía y control, con componentes de costos accesibles y fácil obtención en el mercado nacional.
- Contener sensores y unidades de procesamientos que permitan realizar las tareas antes descritas.
- Implementar sistemas sencillos de localización, guía y control, que sirvan como ejemplo y base para futuros desarrollos.
- Llevar a cabo una evaluación real utilizando el vehículo de pruebas en un ambiente de laboratorio.

DISEÑO DEL ROBOT



DISEÑO DEL ROBOT

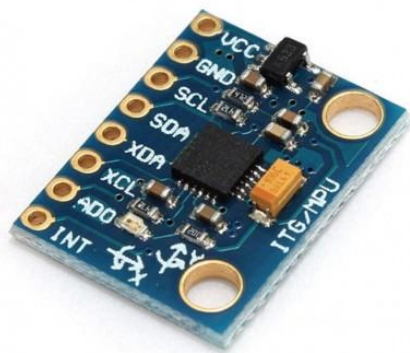
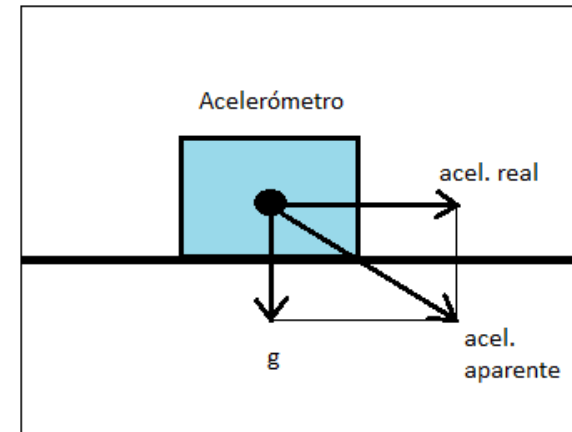
- RASPBERRY Pi 3B+
- Procesador de 64 bits y 4 núcleos corriendo a 1.4 GHZ.
- RAM: 1GB LPDDR2 SDRAM.
- Conexión wifi 2.4/5 GHZ.
- Bluetooht 4.2 BLE.
- fast ETHERNET, capacidad PoE (a traves de un HAT).
- sistema operativo RASPBIAN.
- programas realizados en lenguaje PYTHON 3.



DISEÑO DEL ROBOT

IMU MPU6050

- Los sensores de la unidad inercial, al medir las aceleraciones lineales, entregan valores aparentes, puesto que las mediciones son afectadas por la aceleración de la gravedad.
- Eliminar el efecto de esta última sobre las mediciones y así obtener valores reales de las aceleraciones lineales del robot.



MPU6050 (unidad de medición inercial).

- 6 grados de libertad (acelerómetro de 3 ejes y un giroscopio de 3 ejes).
- Integra un DMP(digital motion processor).
- Conversores analógico-a-digital de 16 bits.
- Rangos de escala: +/-250, +/-500, +/-1000 y +/-2000°/seg. para el giroscopio. +/-2, +/-4 +/-8, +/-16g para el acelerómetro.

DISEÑO DEL ROBOT



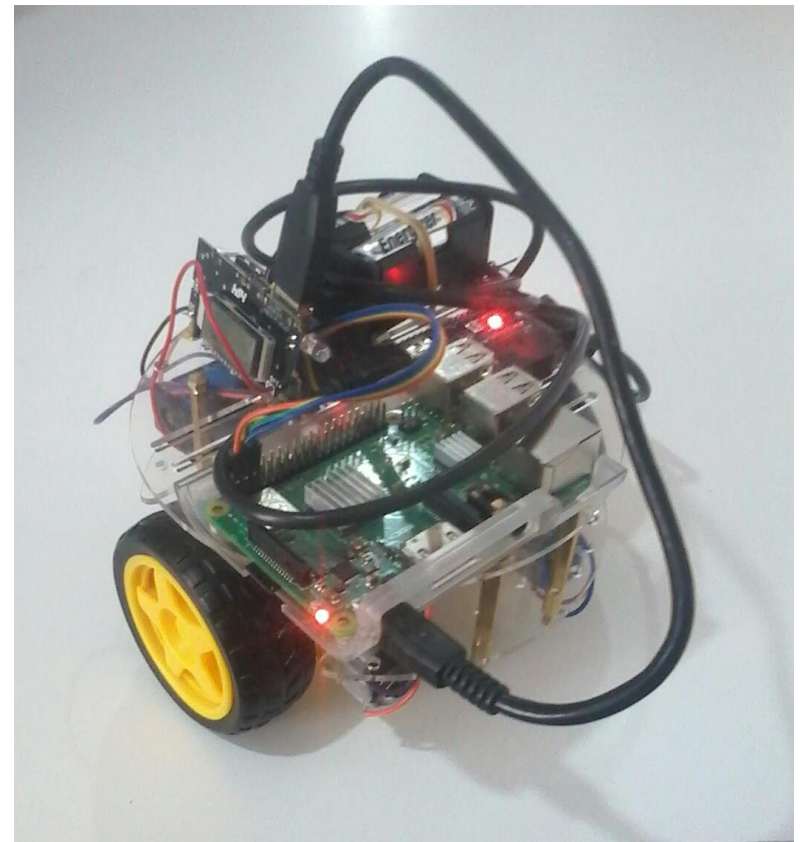
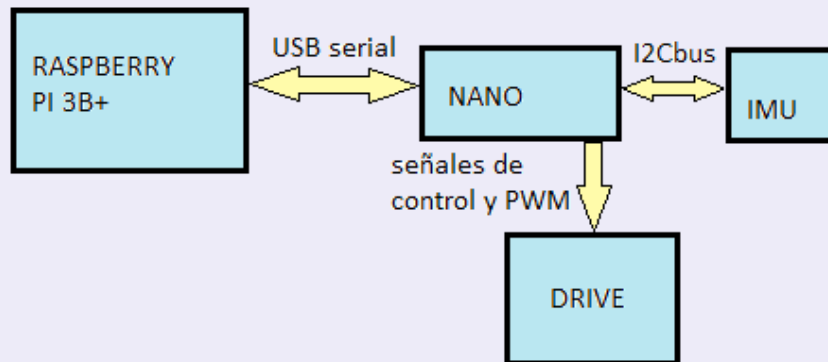
Arduino NANO V3

- Basada en el microcontrolador Atmega328.
- Controla la velocidad de los motores mediante PWM.
- Comunicación serial, i²c bus.

Módulo L298N (drive puente H).

- Permite controlar la velocidad y dirección de 2 motores de corriente continua.
- Rango de tensiones de trabajo desde 3V hasta 35V, y una intensidad de hasta 2A.

DISEÑO DEL ROBOT



MODELADO E IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS

- Modelo que pueda predecir la respuesta del sistema ante las acciones de control utilizadas.
- Modelo cinemático sencillo que refleje los movimientos del robot en un marco de referencia global.

- $$\nu_{\psi}^r = \beta u_{giro}$$
$$\nu_x^r = \alpha \cos(\nu_{\psi}^r \Delta t) u_{avance}$$
$$\nu_y^r = \alpha \sin(\nu_{\psi}^r \Delta t) u_{avance}$$

ν_x^r y ν_y^r : son coordenadas del vector velocidad de avance.

ν_{ψ}^r : velocidad de giro.

αu_{avance} : velocidad en avance según el modelo.

βu_{giro} : velocidad de giro según el modelo.

α y β : constantes de proporcionalidad como parámetros a calcular.

MODELADO E IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS

Modelo probabilístico

- En el filtro de Kalman extendido, las matrices de covarianza Q y R modelan la incertidumbre en las mediciones de los sensores y en las predicciones del modelo respectivamente.
- Las matrices Q y R se obtienen utilizando la definición de covarianza.

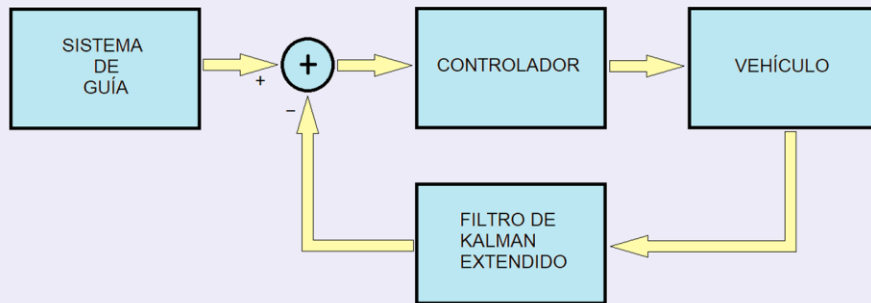
$$E((a-E(a))(b-E(b)))$$

Donde los valores esperados se logran utilizando el mejor modelo obtenido mediante el algoritmo que se describe a continuación.

Metodologías para hallar los parámetros y matrices de covarianza.

- Se utiliza una función de costo donde se comparan valores medidos con estimados.
- Búsqueda exhaustiva mediante el método de Divide and Conquer.
- Los parámetros buscados serán entonces aquellos que hagan mínima a dicha función.

CONTROLADOR



$$e = v_{ref}(t) - v_{estim}(t)$$

$$u_{avance} = \alpha e_x$$

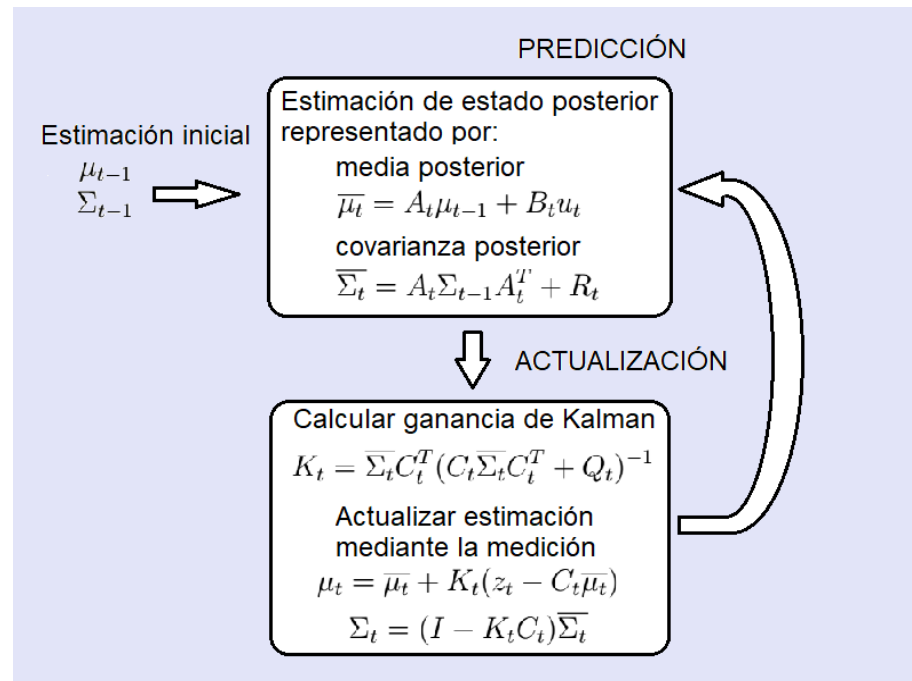
$$u_{giro} = \beta e_\psi + \gamma \dot{e}_\psi$$

- 'e' es el error resultante entre la velocidad de referencia ($v_{ref}(t)$) y la velocidad estimada ($v_{estim}(t)$).
- u_{avance} y u_{giro} son acciones de avance y giro.
- Parámetros α , β , γ : obtenidos mediante prueba y error.

- Controlador PD clásico completamente diseñado en software; realizado en lenguaje PYTHON 3.
- Integrado como un módulo más del programa principal en la mini computadora RASPBERRY.
- Recibe del sistema de guía, los datos de referencia de ángulo de giro y coordenadas x e y.
- Como re-alimentación toma los datos estimados de la posición y ángulo de giro actuales del robot, provenientes del filtro de Kalman.
- Entrega como resultado, valores de velocidad lineal y velocidad de giro, traducidas a referencias de velocidad para ambos motoredutores.

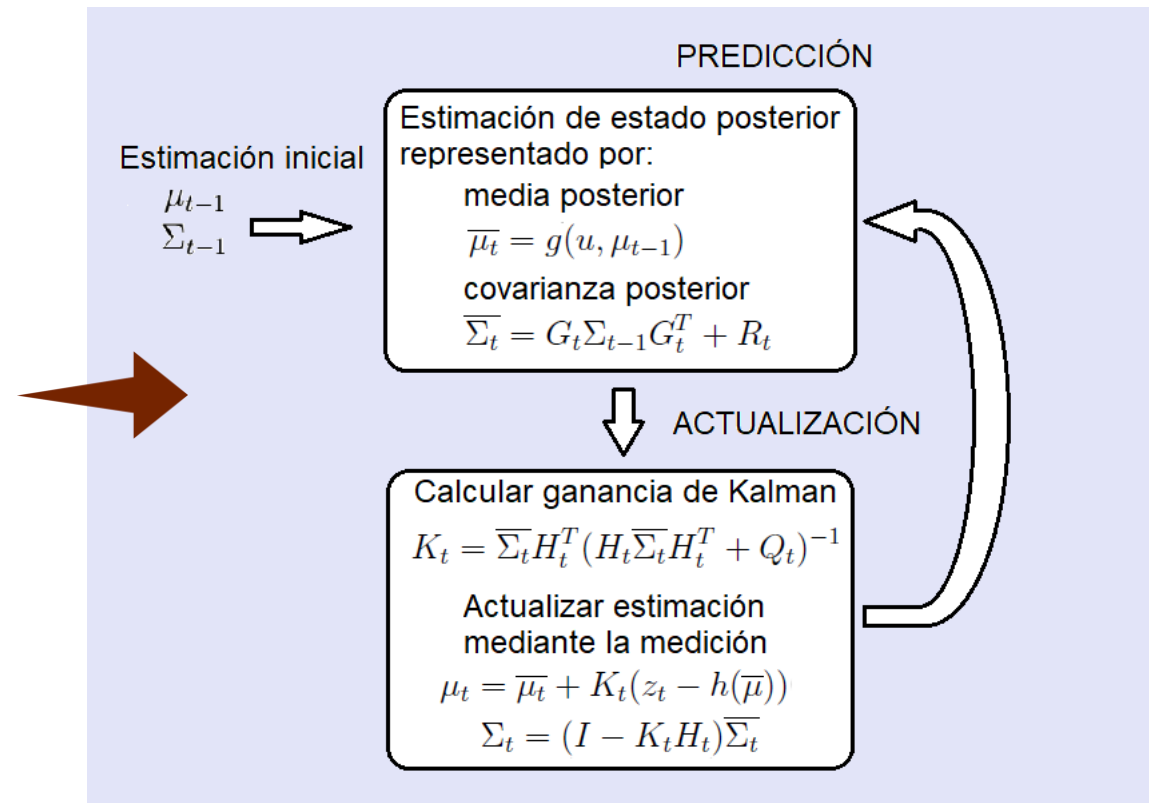
SISTEMA DE POSICIONAMIENTO MEDIANTE FKE

- Filtro de Kalman: una técnica de filtrado y predicción en sistemas lineales.
- Estima el estado de un proceso, minimizando a la vez, la media cuadrática del error de dicha estimación. El estado estimado se representa por su media μ_t y su covarianza Σ_t .
- El filtro está constituido por dos etapas:
 - Etapa de predicción, en la que se estima el estado en el instante actual t , utilizando el modelo del vehículo y agregando la acción de control.
 - Etapa de actualización, donde se agregan a la estimación realizada por la etapa de predicción, la estimación del estado, que incluye las mediciones del sensor.



SISTEMA DE POSICIONAMIENTO MEDIANTE FKE

- En la práctica son muy raras las transiciones de estado lineales y mediciones lineales
- Suponiendo que las probabilidades del estado posterior y de las mediciones se rigen por funciones no lineales g y h , respectivamente.
- El FKE entrega una aproximación de la estimación real y no exacta como en el caso del FK.
- La clave del FKE está en la linealización por medio de la expansión de Taylor.
- El FKE utiliza las matrices jacobianas G_t y H_t en lugar de las matrices lineales A_t , B_t y C_t . Estas jacobianas se usan para linealizar las funciones g y h en los puntos determinados.



SISTEMA DE GUÍA

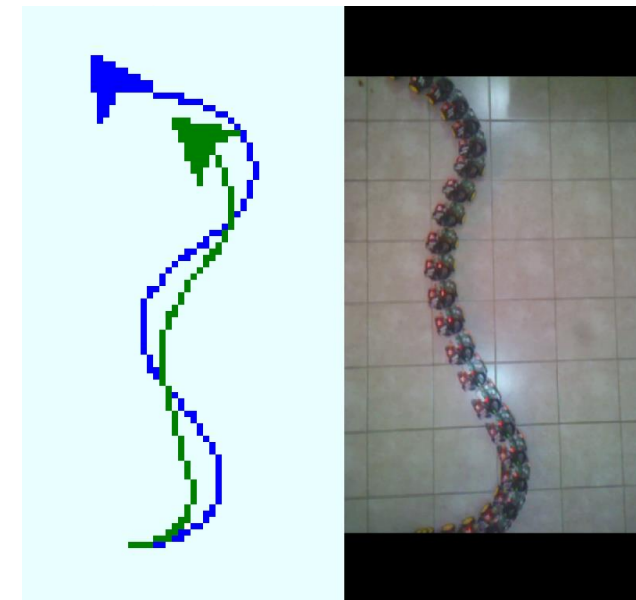
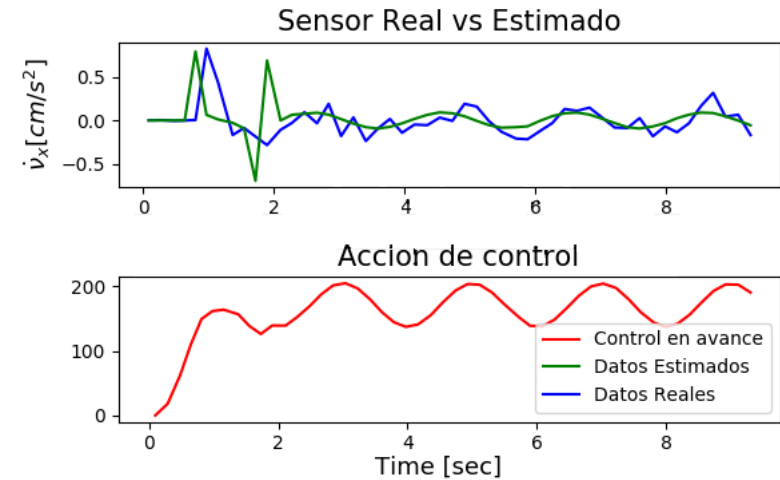
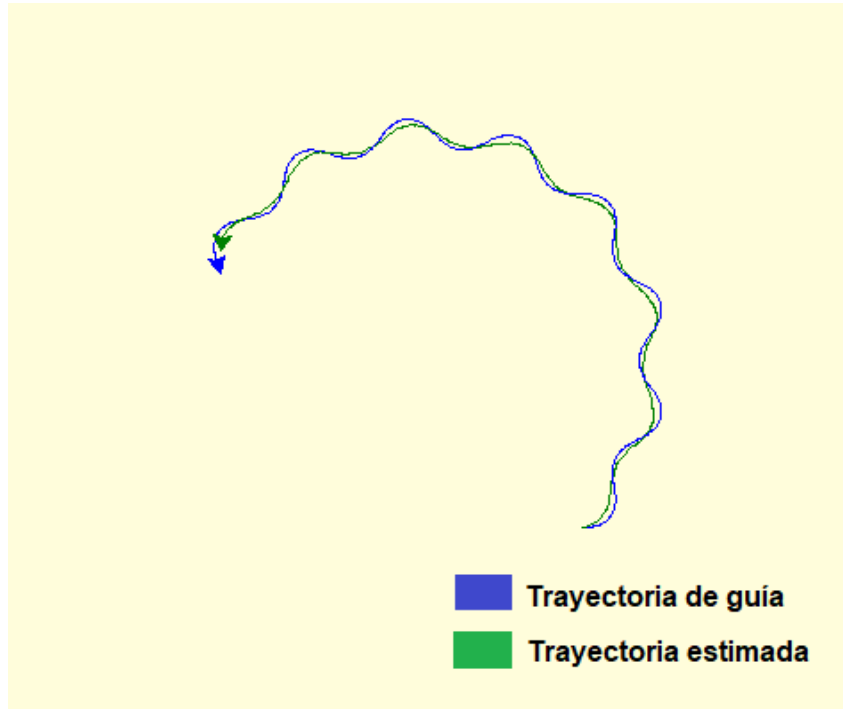
- El sistema de guía es un módulo de programa que se encuentra contenido en la pc RASPBERRY.
- Como único parámetro de entrada tiene a dt calculado en el programa principal, que representa el tiempo de muestreo.
- Los valores de salida son: posiciones de referencia x e y, además el ángulo de referencia.
- Entrega la referencia al controlador para que el robot móvil pueda llevar a cabo el recorrido establecido.
- Es posible variar el recorrido, modificando las constantes que intervienen en la función.

- $[0] = 8.0$

$$[1] = 0.0$$

$$[2] = (\text{np.pi} * 0.08) * (\text{np.sin}(2 * \text{np.pi} * 0.1 * \text{self.totaltime}) * 3.0 + 0.3)$$

PRUEBAS Y RESULTADOS



Evaluación del sistema completo en el vehículo real.

- Lugar libre de obstáculos en el recorrido de la plataforma móvil.
- Superficie plana sin pendientes.
- Pruebas en espacio cerrado.

CONCLUSIONES

- Se pudo construir una plataforma robótica móvil y funcional, con componentes de bajo costo y fáciles de obtener.
- Se ha logrado la implementación y el correcto funcionamiento de los sistemas básicos de guía, posicionamiento y control.
- Las pruebas en el laboratorio en un lugar plano, sin pendientes y libre de obstáculos, permitieron verificar el funcionamiento correcto de la plataforma y sus sistemas.

TRABAJO FUTURO

- Es posible llevar a cabo diversas mejoras en vistas a continuar este trabajo.
- Una mejora, podría ser el uso de un magnetómetro para reducir el error en la estimación del giro del robot móvil.
- Implementar alguna metodología para medir el error con cierto grado de exactitud y utilizar este resultado para corregir tal error acumulado a lo largo del tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

<https://www.invensense.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6050/>

<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>

Li Junwei and Cui Xiaolin, "The stability control of electric vehicle based on optimal predictive control method," 2010 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology, Chengdu, 2010, pp. V4-500-V4-504.

R. Bao and Y. Li, "Kalman ltering design for agricultural vehicle state estimation," 2011 International Conference on Electric Information and Control Engineering, Wuhan, 2011, pp. 4252-4255.

Sebastian THRUN, Wolfram BURGARD and Dieter FOX, "PROBABILISTIC ROBOTICS", cap.3 sec.2 pag. 36.