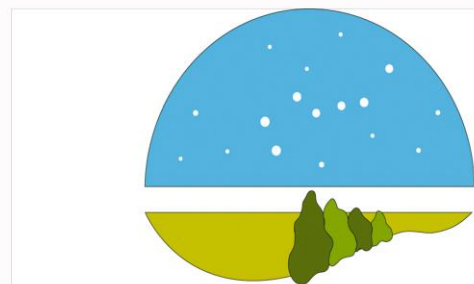


Taller de Introducción a la Construcción de Robots Móviles



Club Robótica Granada



PARQUE de las CIENCIAS
ANDALUCÍA - GRANADA



Contenido

1	Introducción	5
2	¿Qué es la robótica?	5
3	Tipos de robots.....	5
3.1	Robots Industriales.....	5
3.2	Robots de servicio	5
3.2.1	Robots domésticos	5
3.2.2	Robots médicos	5
3.2.3	Robots militares	6
3.2.4	Robots espaciales	6
3.2.5	Robots educacionales.....	7
3.2.6	Robots humanoides	7
3.2.7	Robots de logística	7
3.3	Clasificación según el entorno de trabajo	7
3.3.1	Robots Estacionarios	7
3.3.2	Robots de suelo	7
3.3.3	Robots submarinos.....	7
3.3.4	Robots Aéreos	7
3.3.5	Robots de microgravedad	7
3.4	Clasificación en función de su autonomía.....	8
3.4.1	Robots teleoperados	8
3.4.2	Robots semi-automáticos.....	8
3.4.3	Robots automáticos	8

3.5	Clasificación en función de su tamaño.....	8
3.5.1	Robots	8
3.5.2	Microrobots.....	8
3.5.3	Nanorobots.....	8
4	¿Qué problema queremos resolver?	8
5	Estudios de cinemática.....	9
5.1	Robots de ruedas	9
5.2	Robots de patas.....	9
	$A_{i-1}^i = Rot(z_{n-1}, \varphi_i) * Tras(0, 0, d_i) * Tras(a_i, 0, 0) * Rot(x_i, \alpha_i)$	9
5.2.1	Cinemática directa.....	11
5.2.2	Cinemática inversa	11
6	Tipos de sensores	11
6.1	Sensores analógicos	11
6.2	Sensores digitales.....	12
6.3	Ejemplos de sensores.....	12
6.3.1	Temperatura.....	12
6.3.2	Humedad	15
6.3.3	Giroscopios.....	15
6.3.4	Geoposicionamiento	15
6.3.5	Visión	15
7	Tipos de motores.....	16
7.1	Servomotores	16
7.1.1	Microservomotor:	17
7.1.2	Servomotores:	17
7.2	Motores Paso a Paso (PAP)	18
7.3	Motores de Continua (DC)	19
8	Tipos de controles motores.....	20
8.1	Control por PWM	20
8.2	Control por PWM y con puente en H para controlar sentido de giro de motores DC.....	21
9	El robot “Hashtag”	22
9.1	¿Qué problema vamos a resolver con este robot?	22
9.2	Análisis de Biomimetismo	23

9.3	Estudios de cinemática.....	24
9.3.1	Cinemática directa.....	26
9.3.2	Cinemática inversa	26
9.4	Diseño 3D	27
9.5	Mecanizado de piezas	27
9.6	Diseño electrónico.....	28
9.7	Conexionado	31
9.8	Firmware	32
9.9	Programa de control	33
10	Problemas que nos podemos encontrar en el desarrollo de robots	34
10.1	Hardware:.....	34
10.1.1	El microcontrolador no arranca	34
10.1.2	Oscilación en los valores analógicos obtenidos	34
10.1.3	Los motores no funcionan.....	34
10.2	Software:	35
10.2.1	Comunicación de datos errónea	35
10.2.2	Valor de sensores no corresponde con la magnitud a medir	35
11	Bibliografía	35
12	Manuales y cheatsheets.....	36
12.1	Ensamblador.....	36
12.1.1	x86	36
12.1.2	x64	36
12.1.3	ARM:.....	36
12.1.4	Raspberry PI	36
12.1.5	Microchip (PICs)	36
12.2	Java	36
12.3	Arduino.....	36
12.4	C#.....	36
13	Agradecimientos	37
14	Información de contacto	37

1 Introducción

En la actualidad, el avance de la tecnología avanza a pasos agigantados. Por este motivo, los procesos y metodologías de trabajo que demanda el mercado una de las premisas es que el producto salga “lo antes posible al mercado” y por ello, la seguridad es una de las materias que menos se analiza en la construcción de un proyecto.

Este documento tiene la finalidad de recoger la importancia del análisis de seguridad en nuestros proyectos, dar a conocerlo y que se vaya proponiendo como buena práctica.

2 ¿Qué es la robótica?

La robótica se puede definir como ciencia o técnica que se emplea en el diseño y construcción de robots y aparatos que realizan ciertas acciones, generalmente para sustituir la mano de obra humana.

La robótica se aplica en diversos ámbitos como pueden ser el ámbito industrial, servicio, educativo, ... cada uno de estos ámbitos requieren de unos requisitos y prestaciones determinadas.

3 Tipos de robots

A continuación, se van a detallar con un poco más de profundidad los tipos de robots en función de sus posibles clasificaciones, para posteriormente, dado los requisitos y el problema a resolver, decidir qué tipo de robot será más adecuado según nuestras necesidades.

3.1 Robots Industriales

Normalmente, se define como robot industrial como “Manipuladores multifuncionales” donde su principal cometido es el de mover piezas, materias primas, herramientas o dispositivos especiales, según trayectorias variables programadas para realizar tareas como soldar por puntos, realizar cortes, comprobación y posicionamiento de piezas, ...

3.2 Robots de servicio

Los robots de servicio, son robots que su función principal es realizar o ayudar a los seres humanos en tareas cotidianas.

3.2.1 Robots domésticos

Los robots domésticos tratan de automatizar tareas típicas del hogar como la limpieza, robots de recibimiento, mascotas mecatrónicas, ... entre otras tareas.

3.2.2 Robots médicos

Los robots médicos son aquellos que permiten a cirujanos realizar con más presión ciertas tareas en operaciones o realizarlas de forma remota. Uno de estos tipos de robots es el robot Da Vinci (ver Ilustración 1).



Ilustración 1: Robot Davinci (Fuente <https://davinci.imedhospitales.com>)

3.2.3 Robots militares

Los robots militares son aquellos robots que están destinados al reconocimiento de terrenos (detección de minas, obtención de cartografías, ...), transporte (material médico, armamento, ...) entre otras aplicaciones.

3.2.4 Robots espaciales

Los robots espaciales son aquellos robots que están destinados al reconocimiento de terrenos fuera de la Tierra. Normalmente emplean un sistema de locomoción híbrido, disponiendo de ruedas en un sistema basculante de “patas” (Ver Ilustración 2).



Ilustración 2: Curiosity - fuente nasa.gov

3.2.5 Robots educativos

Los robots educativos son robots simples, cuya finalidad es potenciar el pensamiento computacional de los estudiantes.

3.2.6 Robots humanoides

Son robots diseñados como los seres humanos en forma y movimientos para simularlos lo más fiel posible.

3.2.7 Robots de logística

Son robots cuya misión es realizar tareas relacionadas con la logística como los AS / AR (sistemas de automatizados de almacenamiento / recuperación), los AGV (Vehículos guiados y automatizados) entre otros.

3.3 Clasificación según el entorno de trabajo

Una clasificación de robots importante, es el entorno en los que operan. Es muy importante tener constancia de estos detalles, ya que cuando debemos resolver un problema mediante robótica, el entorno de trabajo de dicho robot, nos facilitará la solución del sistema. Por ejemplo, si necesitamos un robot móvil con manipulador, podríamos usar un dron o un robot móvil con ruedas. Si la altura suponemos que no es un problema, tenemos dos posibles soluciones, pero como ventajas e inconvenientes. Debemos evaluar muy bien que nos va a dar mejor resultado.

3.3.1 Robots Estacionarios

Son robots que están fijos al suelo o a un soporte y no se pueden trasladar. Por ejemplo, brazos industriales.

3.3.2 Robots de suelo

Son robots que se desplazan por el suelo o superficie. A su vez se clasifican como.

- Ruedas
- Patas
- Orugas

3.3.3 Robots submarinos

Son robots que están preparados para operar bajo el agua.

3.3.4 Robots Aéreos

Son robots que se desplazan a través del aire. Ejemplo, drones,...

3.3.5 Robots de microgravedad

Son robots contruidos para funcionar con baja gravedad, por ejemplo en la órbita terrestre.

3.4 Clasificación en función de su autonomía

Otra clasificación importante, es en función de su autonomía, es decir, si al ejecutar acciones necesitan recibir órdenes o no

3.4.1 Robots teleoperados

Son robots que para cada acción, necesitan que sean controlados de manera remota.

3.4.2 Robots semi-automáticos

Son robots que tienen cierto grado de autonomía, pero en ciertas ocasiones interviene un ser humano para algunas acciones.

3.4.3 Robots automáticos

Son robots que toman sus propias decisiones sin intervención del ser humano.

3.5 Clasificación en función de su tamaño

Otra clasificación es en base al tamaño.

3.5.1 Robots

En esta clasificación se incluirían robots donde su tamaño son visibles a simple vista.

3.5.2 Microrobots

Robots con tamaño de micras.

3.5.3 Nanorobots

Robots nanométricos.

4 ¿Qué problema queremos resolver?

En este apartado, trataremos de buscar un sistema de un robot acorde al problema a resolver, ya que cada tipo de robot y la forma de controlarlos, nos permitirá de resolver el problema de una forma más eficiente y adecuada.

Las preguntas básicas que nos deberemos de hacer, pueden ser:

- ¿Qué medio de trabajo va a emplear? Mar, tierra, aire, ...
- ¿tipo de locomoción? Ruedas, orugas, patas, híbridos, ...
- ¿tipo de energía? Eléctricos, motores de explosión, motores de combustión,
- ¿Sensores necesarios para medir las magnitudes que permitan tomar medidas del problema?
Sensores de ultrasonido, sensores de temperatura, sistemas de geolocalización, giroscopios,...
- ¿Tipos de actuadores? Servomotores,...

5 Estudios de cinemática

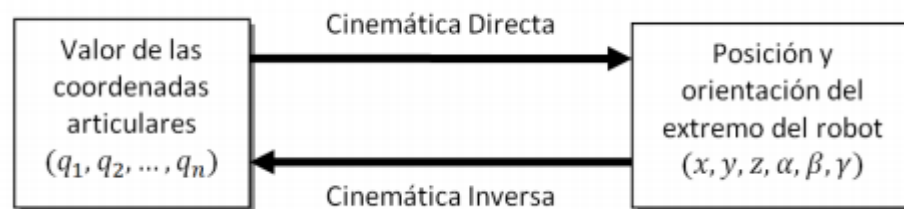
En este apartado vamos a describir de forma matemática, como describir la posición y movimiento de la estructura del robot que queremos diseñar.

Cada tipo de robot tendrá una forma de expresarse que veremos a continuación.

5.1 Robots de ruedas

5.2 Robots de patas

Los robots basados en patas o manipuladores, se basan en problemas de resolución de cinemática.



- Traslación a lo largo de X_i una distancia a_i .
- Rotación alrededor del eje X_i un ángulo α_i .

Estas transformaciones se pueden expresar de forma matricial. A esta matriz se le denomina matriz de transformación homogénea y es la matriz que representa la posición y orientación relativa entre

los sistemas asociados a dos eslabones consecutivos del robot y se denota como A_{i-1}^i . Para obtener la expresión de dicha matriz debemos ir aplicando las rotaciones y traslaciones en el orden correcto, ya que las matrices no son conmutativas. Para obtener la expresión general de la matriz lo haremos mediante la siguiente expresión:

$$A_{i-1}^i = Rot(z_{n-1}, \varphi_i) * Tras(0, 0, d_i) * Tras(a_i, 0, 0) * Rot(x_i, \alpha_i)$$

Dado cada término como:

$$Tras(d_x, d_y, d_z) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & d_x \\ 0 & 1 & 0 & d_y \\ 0 & 0 & 1 & d_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rot(x, \alpha) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rot(y, \alpha) = \begin{pmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$Rot(z, \alpha) = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Retomando la expresión A_{i-1}^i , temos que:

$$\begin{aligned} A_{i-1}^i &= \begin{pmatrix} \cos \varphi_i & -\sin \varphi_i & 0 & 0 \\ \sin \varphi_i & \cos \varphi_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \\ &* \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i & 0 \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} \cos \varphi_i & -\sin \varphi_i & 0 & 0 \\ \sin \varphi_i & \cos \varphi_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i & 0 \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} \cos \varphi_i & -\cos \alpha_i * \sin \varphi_i & \sin \alpha_i * \sin \varphi_i & a_i * \cos \varphi_i \\ \sin \varphi_i & \cos \alpha_i * \cos \varphi_i & -\sin \alpha_i * \cos \varphi_i & a_i * \sin \varphi_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

5.2.1 Cinemática directa

Consiste en obtener la expresión analítica del posicionamiento y de la orientación del extremo ó del punto de destino con respecto al sistema de la base del robot conociendo los valores de los ángulos de las articulaciones y los parámetros geométricos.

5.2.2 Cinemática inversa

Consiste en obtener la expresión analítica de los ángulos que debe adoptar el robot para una posición y orientación conocida del extremo ó del punto de destino.

6 Tipos de sensores

En este apartado vamos a describir y a tener una idea de los tipos de sensores que existen. Antes de ver los distintos tipos de sensores, vamos a dar una definición.

Un sensor para nosotros va a ser un dispositivo que va a tomar una magnitud del entorno y lo va a transformar en señales eléctricas. Dependiendo del tipo de señal, se pueden catalogar como sensores analógicos y sensores digitales.

Cada uno de estos tipos de sensores, disponen de una serie de ventajas e inconvenientes que deberemos de determinar a la hora de elegirlo y ver que compensa en cada caso.

6.1 Sensores analógicos

Los sensores analógicos son aquellos que su salida es una señal continua en el tiempo (ver Ilustración 3):



Ilustración 3: Señal analógica

Ventajas:

- Son baratos

Inconvenientes:

- Son más sensibles al ruido eléctrico: cualquier retroalimentación, cualquier elemento que pueda introducir ruido (motores, inductancias, ondas electromagnéticas del entorno) pueden inducir corrientes no deseadas y meter ruido en la señal de salida.
- Suelen requerir de una etapa de adaptación de señales en sensores con tecnología resistiva (Puente de Wheatstone: ver apéndice **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)
- No suelen disponer de salidas lineales y hay que realizar aproximaciones lineales por tramos.
- Suelen ser más lentos a la hora de procesar su señal ya que suelen requerir de un proceso de interpolación para sacar el valor real de la magnitud.

6.2 Sensores digitales

Los sensores analógicos son aquellos que su salida es una señal que solo puede tener dos valores en el tiempo (ver Ilustración 4)

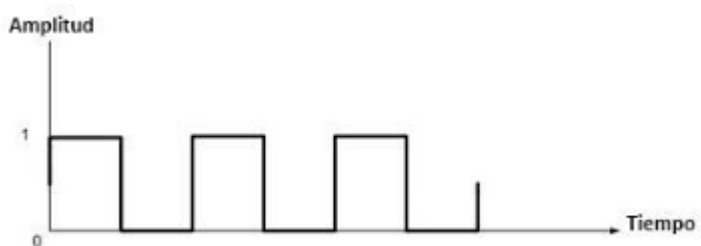


Ilustración 4: Señal digital

El valor 1 corresponde a la tensión a la que se alimenta el circuito por regla general (comprendido entre 5V, 3.3V, 12V, ...) dependiendo de la tecnología del circuito. El valor

Ventajas:

- Son más fáciles de programar.
- Son más inmunes al ruido electromagnético.
- Dependiendo de la plataforma, suelen disponer de librerías para procesar las señales.

Inconvenientes.

- Son más caros.

6.3 Ejemplos de sensores

En este apartado, vamos a ver los dispositivos que nos van a permitir que en nuestros robots tengamos “una cierta conciencia” del entorno en el que se encuentran.

6.3.1 Temperatura

Esta medida física es una de las más utilizadas en el mundo de la ingeniería y del ámbito científico. A continuación, se detallarán los tipos de sensores que pueden medir temperatura.

6.3.1.1 Termopares

Los termopares son sensores formado por dos conductores de distinto material. Al someterse la unión a la temperatura, se crea una fuerza electromotriz muy pequeña debido a la diferencia de respuesta de los materiales a la temperatura, generándose una tensión proporcional a la temperatura entre las uniones.

Dependiendo de los tipos de materiales que se componen los sensores, nos sirven para medir diferentes rangos de temperatura.

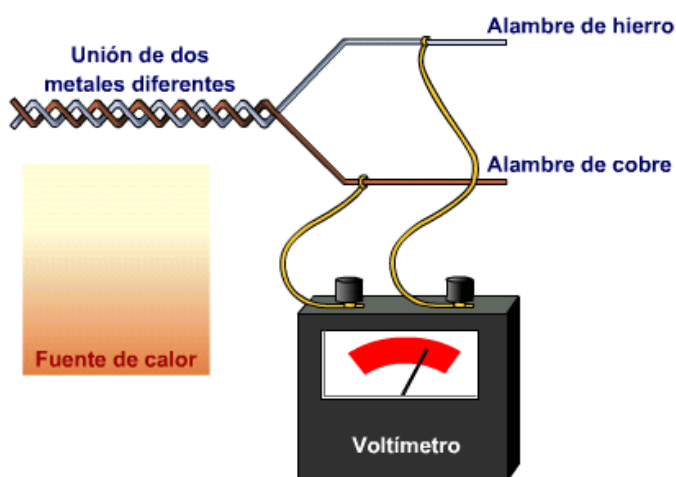


Ilustración 5: Esquema de un termopar - Fuente Wikipedia

6.3.1.2 RTD

Los RTD son elementos que miden la temperatura en correlación de la resistencia del elemento con la temperatura.



Ilustración 6: Foto to de un Sensor RTD

6.3.1.3 Termistores

Los termistores son dispositivos compuestos por electrodos internos que detectan el calor y lo miden a través de impulsos eléctricos. Hay dos tipos:

- Termistores NTC: Se usan en cambios continuos de la resistencia en una amplia gama de temperatura.
- Termistores PTC: Son usados cuando la temperatura cambia de forma brusca.



Ilustración 7: Sensor NTC

6.3.1.4 Infrarojos

Son sensores para medida de temperatura sin contacto.



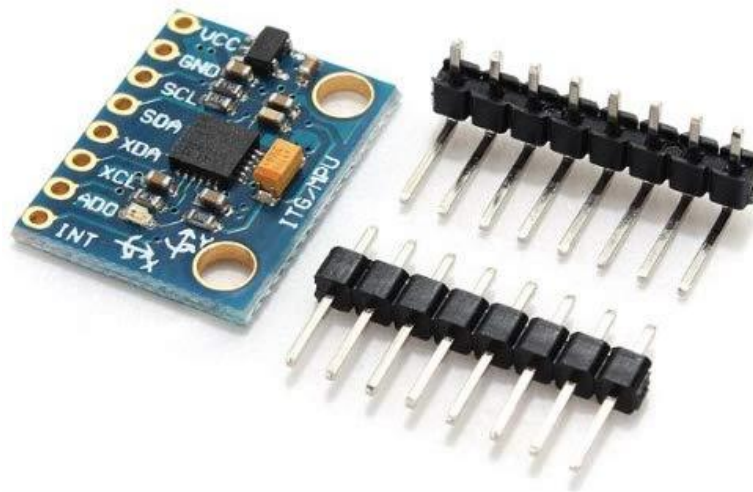
Enlaces:

- https://es.aliexpress.com/item/32610412493.html?src=google&albslr=222463252&src=google&albch=shopping&acnt=494-037-6276&isdl=y&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Google_7_shopping&aff_platform=google&aff_short_key=UneMJZVf&&albagn=888888&albcpr=1633820309&albag=63890294393&trgt=539263010115&crea=es32610412493&netw=u&device=c&gclid=Cj0KCQjwzozsBRCNARIsAEM9kB Nq-Uymg_I-WxcncYI8j53TiRuIE9NiqZhshOQV4WVTG1PWRFRx5ylaAmHBEALw_wcB&gclsrc=aw.ds

6.3.2 Humedad

- https://www.amazon.es/QLOUNI-Conjunto-Humedad-Sistema-Autom%C3%A1tico/dp/B077FGS3C1?ref=fsclp_pl_dp_2
- https://www.amazon.es/AM2302-Sensor-Digital-Temperatura-Humedad-Sensor/dp/B01LWJ1OSR?ref=fsclp_pl_dp_7

6.3.3 Giroscopios



- <https://www.amazon.es/SODIAL-MPU-6050-giroscopio-Acelerometro-Arduino/dp/B00K67X810>

6.3.4 Geoposicionamiento



- https://www.amazon.es/Bobury-Compatible-AeroQuad-Arduino-aeronaves/dp/B07HX26FT2/ref=asc_df_B07HX26FT2/?tag=googshopes-21&linkCode=df0&hvadid=301139769558&hvpos=1o2&hvnetw=g&hvrnd=12020228109115253434&hvpone=&hvptwo=&hvgmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=1005419&hvtargid=pla-806405387703&pssc=1

6.3.5 Visión

6.3.5.1 Serial Camera



- <https://www.amazon.co.uk/Adafruit-Serial-Camera-Video-ADA397/dp/B00B885XUU>

6.3.5.2 OV Camera



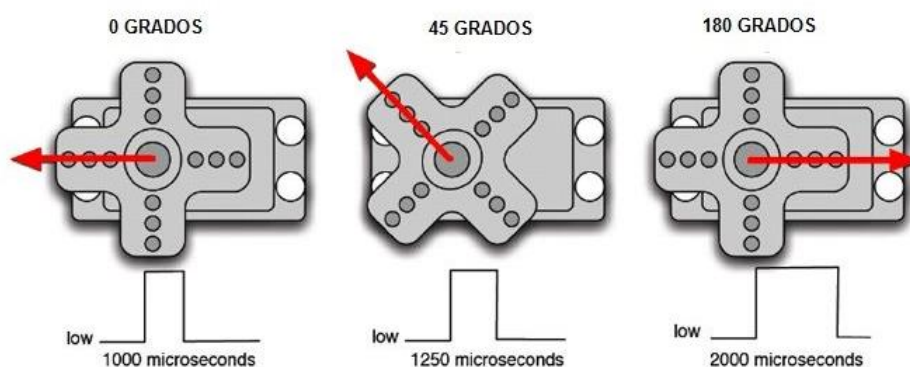
- https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwipKvLmeTkAhWQGBQKHflnBu4QMwjuASgFMAU&url=https%3A%2F%2Fwww.amazon.ca%2FSODIAL-OV7670-640X480-Compatible-Interface%2Fd%2FB00D8GFOTA&psig=AOvVaw0aYM_hJhVdNE85X5E-H5b&ust=1569233801119441&ictx=3&uact=3

7 Tipos de motores

Una vez visto los distintos sensores que podemos usar, es hora de ver qué tipo de motores vamos a usar en nuestra estructura y que funcionalidad tiene cada uno.

7.1 Servomotores

Los servomotores es un sistema compuesto de un motor de continua, una placa de control y un sistema de engranajes.



Su funcionamiento se basa en establecer su posición en base a un tren de pulsos.

7.1.1 Microservomotor:

Son servomotores pequeños con poco par de fuerza.



- https://www.banggood.com/es/6PCS-Emax-ES08MDII-Metal-Digital-Micro-Servo-For-RC-Airplane-p-1389958.html?gmcCountry=ES¤cy=EUR&createTmp=1&utm_source=googleshopping&utm_medium=cpc_bgs&utm_content=lijing&utm_campaign=pla-es-pc-thr-rcparts-0801&gclid=Cj0KCQjwz8bsBRC6ARIsAEyNnvondT5NK-ifWy7F2fjsWdwDuPkF7piNG-7rvHasp1TGa0Ue-VgzgMaAocCEALw_wcB&cur_warehouse=CN

7.1.2 Servomotores:

Son servos más grandes que los micro servomotores, con más par de fuerza y con una tensión de alimentación mayor.



- https://www.banggood.com/es/DSSERVO-DS3225-25KG-Metal-Gear-High-Torque-Waterproof-Digital-Servo-For-RC-Airplane-Robot-p-1353688.html?gmcCountry=ES¤cy=EUR&createTmp=1&utm_source=googleshopping&utm_medium=cpc_bgs&utm_content=lijing&utm_campaign=pla-es-pc-thr-rcparts-0801&gclid=Cj0KCQjwz8bsBRC6ARIsAEyNnvpN9ANZVRH5T4wFVzZgFMVWKdlatd8cHKs_MvoOUoNTCgjf8i8j2QaAixLEALw_wcB&cur_warehouse=CN

7.2 Motores Paso a Paso (PAP)

Los motores paso a paso con motores compuestos por un conjunto de bobinas, en el que en función de las bobinas que se alimenten, podemos establecer una secuencia de giro del rotor.



Ilustración 8: Motor Paso a Paso

La estructura interna de ejemplo podría ser como la de la Ilustración 9.

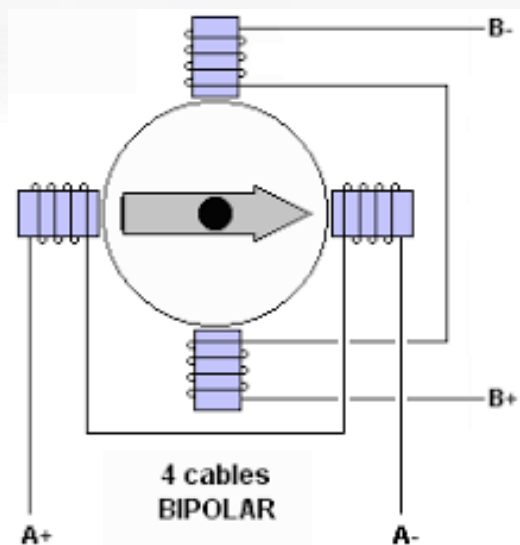


Ilustración 9: Diagrama motor PAP

La velocidad de rotación viene definida por la ecuación:

$$V = 60 * \frac{f}{N}$$

Donde:

- f: frecuencia del tren de impulsos
- n: nº de polos que forman el motor

Para el control de los motores, es necesario el uso de drivers. Estos drivers son circuitos integrados que nos permiten aislar la alimentación de los motores de la parte de control.

Los drivers más comunes para los motores más habituales son:

- L293: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/l293.pdf>

Nota: La elección de un driver, vendrá determinado por la tensión del motor así como la corriente que pueda alimentar a dicho motor.

7.3 Motores de Continua (DC)

Los motores de continua DC, son motores compuestos por un rotor que gira dependiendo de como se polarice los cables de alimentación (Ver Ilustración 10).



Ilustración 10: Motor de Continua de 250 W

Estos motores tienen el problema que su sentido de giro solo se puede cambiar con un puente H como se verá más adelante y su velocidad se puede reducir o aumentar mediante PWM o modulación por ancho de pulso.

8 Tipos de controles motores

En esta sección, se van a detallar los posibles controles más comunes de los motores y servomotores que hemos descrito anteriormente.

8.1 Control por PWM

El control PWM consiste en generar un tren de pulsos digital que varíe. Esta señal nos servirá para controlar:

- La posición de los servomotores.
- La velocidad de los motores de continua

La idea del tren de pulsos es establecer un ciclo de trabajo (Ver Ilustración 11)

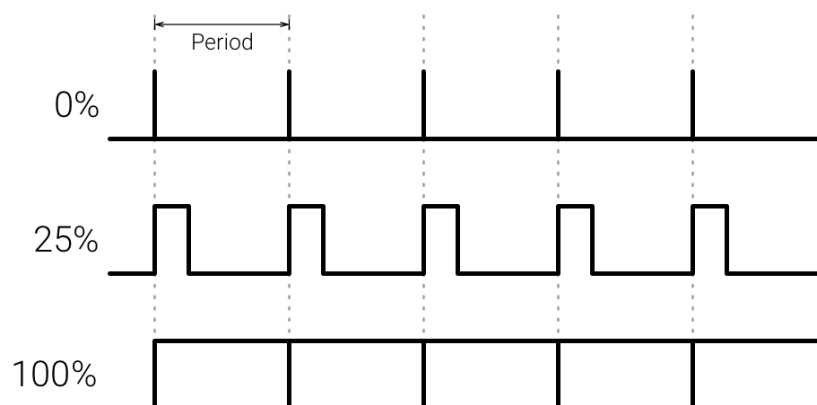


Ilustración 11: Señal PWM

Como podemos observar en la figura anterior, la señal estará activa durante un instante durante un periodo en función del ciclo de trabajo (de 0% al 100%)

8.2 Control por PWM y con puente en H para controlar sentido de giro de motores DC

En el apartado anterior se ha presentado el control por PWM, pero para controlar un motor DC, limita su sentido de giro. Para solucionar este problema, se presenta a continuación un puente en H (Ver Ilustración 12)

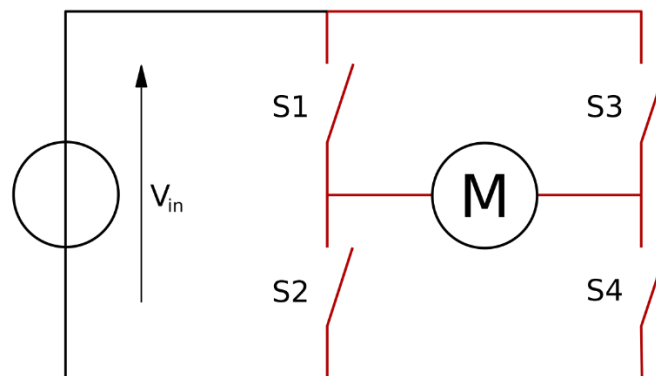


Ilustración 12: Esquema puente H. Fuente Wikipedia

Como podemos ver en la figura, se compone de 4 “interruptores” llamados S1, S2, S3 y S4. Para poder cambiar el sentido de giro del motor debemos de activar las siguientes combinaciones de dichos interruptores:

- S1 y S4: Gira en un sentido.
- S3 y S2: Gira en el sentido contrario al primero.

Una implementación de un puente en H real para un motor de 250 Wattios podría ser la Ilustración 13.

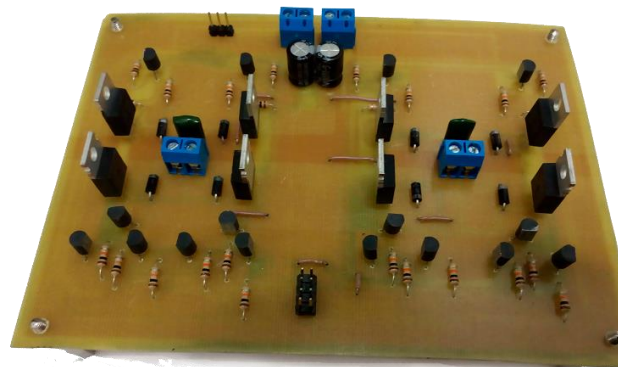


Ilustración 13: Puente H de 250 W y 24 Voltios con Mosfets

9 El robot “Hashtag”

En este apartado se va a detallar las fases de análisis y construcción de un robot en particular. La finalidad de este apartado, es ver un caso práctico de como enfocar todos los aspectos anteriores y materializar nuestra idea.

El robot del que se va a estudiar en este caso práctico, será un robot móvil artrópodo teleoperado llamado “Hashtag” (ver ilustración Ilustración 14: Robot Hashtag).



Ilustración 14: Robot Hashtag

9.1 ¿Qué problema vamos a resolver con este robot?

Este robot surge como idea de proyecto de fin de carrera. La idea inicial era realizar un robot hexápodo con los siguientes requisitos:

- Robot móvil.
- Robot hexápodo.
- Teleoperado controlado por PC.
- Sensores básicos.

A partir de estos requisitos, se procedió a realizar las siguientes preguntas tras un análisis previo antes de comenzar:

- ¿Tipo de locomoción? Locomoción a través de patas, ya que los hexápodos disponen de 6 patas, valga la redundancia.
- ¿Qué medio de trabajo va a emplear? tierra, ya que la finalidad de las patas es que pueda caminar por superficies irregulares.
- ¿tipo de energía? Eléctricos, ya que el empleo de otro tipo de energía implica más peso y mucho más tamaño.

- ¿Sensores necesarios para medir las magnitudes que permitan tomar medidas del problema? Este robot dispone de un sistema de geolocalización incluyendo conexión a red 3G o red GSRM.
- ¿Tipos de actuadores? Servomotores, ya que los servomotores nos permiten un control en función de los ángulos deseados
- ¿Tipo de comunicación con el PC? Comunicación mediante red XBee. Este módulo emplea un protocolo de comunicaciones y una serie de controles de verificación de las tramas enviadas, en las que los datos perdidos, son reenviados de forma automática.

9.2 Análisis de Biomimetismo

En este robot, una de las particularidades que tiene, es que su estructura se basa en la morfología de una hormiga europea, en concreto en una "Messor SP" (ver ilustración Ilustración 15: Hormigas europeas "Messor SP").



Ilustración 15: Hormigas europeas "Messor SP"

Este tipo de estudios se denominan estudio de biomimetismo. La finalidad de este estudio es realizar la estructura de las patas (ver ilustración Ilustración 16: Diseño 3D de la pata del robot) con respecto a una simplificación de las patas de este tipo de formícidos.

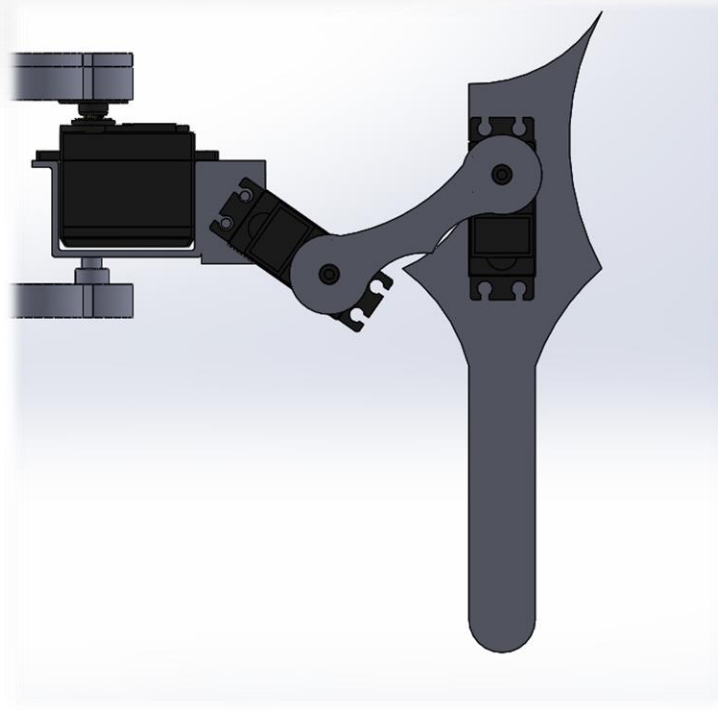


Ilustración 16: Diseño 3D de la pata del robot

9.3 Estudios de cinemática

El estudio de cinemática es un proceso en el desarrollo de robots, en el que consiste en sacar de forma matemática, las relaciones de posiciones y movimientos de la estructura del robot que hemos diseñado.

En estas ecuaciones, podemos obtener la posición, la velocidad o trayectoria de las diferentes patas que conforma el hexápodo que estamos analizando.

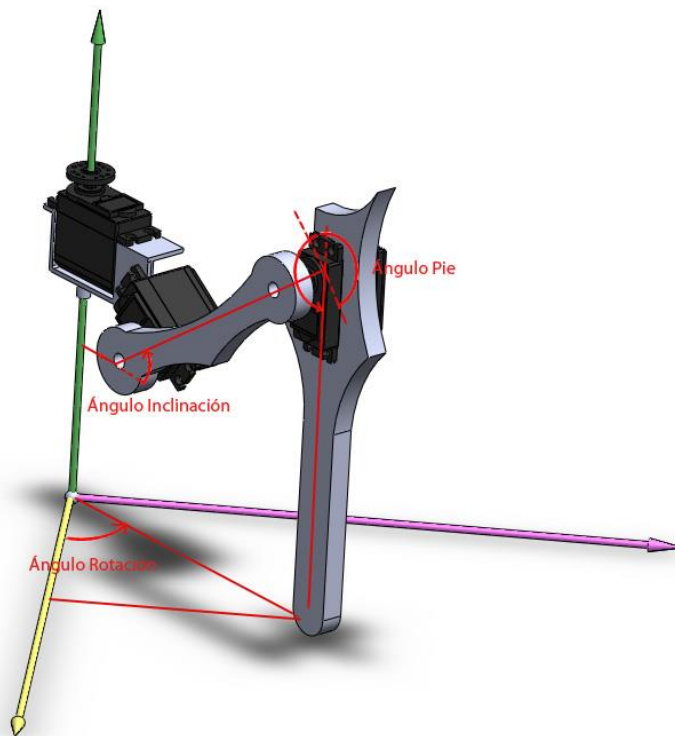


Ilustración 17: Sistema de referencias para el estudio cinemático

Para el comienzo del análisis, es vital establecer un sistema de referencias de lo que vamos a analizar (ver Ilustración 18: Estudio de cinemática)

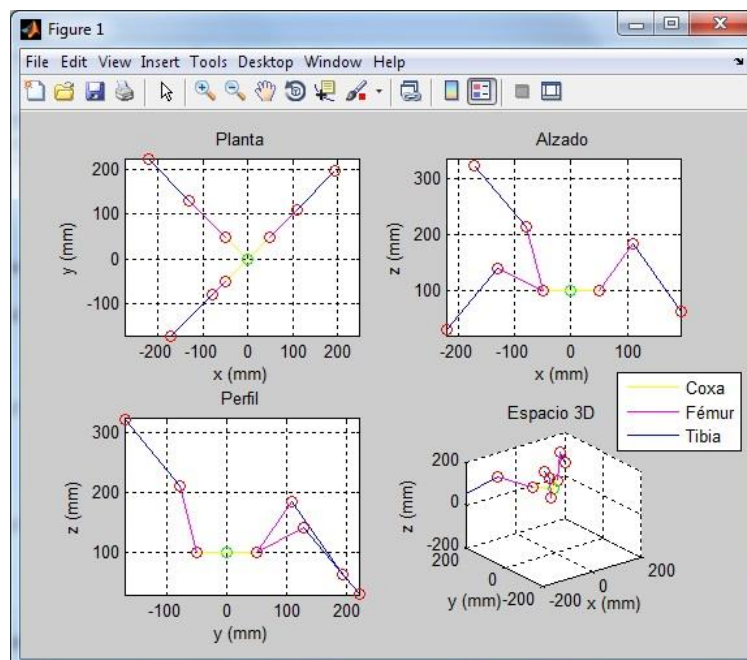
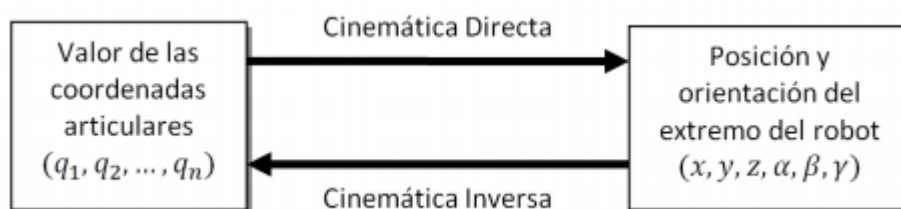


Ilustración 18: Estudio de cinemática

Una vez establecido el sistema de referencia, pasamos a simularlo en Matlab, o programado en cualquier programa de desarrollo (java, Python, .Net, ...), en este caso fue implementado en Matlab (ver Ilustración 18: Estudio de cinemática).



Existen dos tipos de cinemática que podemos estudiar:

- Cinemática directa.
- Cinemática inversa

En los siguientes apartados serán explicados con más detalles.

9.3.1 Cinemática directa

La cinemática directa se basa en establecer los ángulos de las coordenadas articulares y establecer la posición y orientación final de la extremidad. El problema que presenta es que no se sabe a priori el punto final de la trayectoria.

Existen varias formas de calcularlo, que son las siguientes:

- Trigonometría clásica
- Matrices de rotaciones y translaciones.
- Matrices de Denavit-Hattenberg

9.3.2 Cinemática inversa

La cinemática inversa resuelve el problema que tiene la cinemática directa, y permite calcular las posiciones articulares de la extremidad en función del punto de la trayectoria al que queremos llegar.

Al igual que la cinemática directa, existen varias formas de calcularlo, que son las siguientes:

- Trigonometría clásica
- Matrices de rotaciones y translaciones.
- Matrices de Denavit-Hattenberg

9.4 Diseño 3D

En esta fase del proyecto, es necesario realizar el diseño del robot completo. Para realizar el diseño podemos usar cualquier programa de diseño mecánico como 3D Slash, LibreCAD, Photoshop, SculptGL, SelfCAD, TinkerCAD, Clara.io, DesignSpark, FreeCAD, MakeHuman, Meshmixer, Moment of Inspiration (Moi), nanoCAD, OpenSCAD, Sculptris, SketchUp, 3ds Max, AutoCAD, Blender, modo, Mudbox, Onshape, Poser, Rhino3D, ZBrush Professional, CATIA, Fusion 360, Inventor o Solidworks.

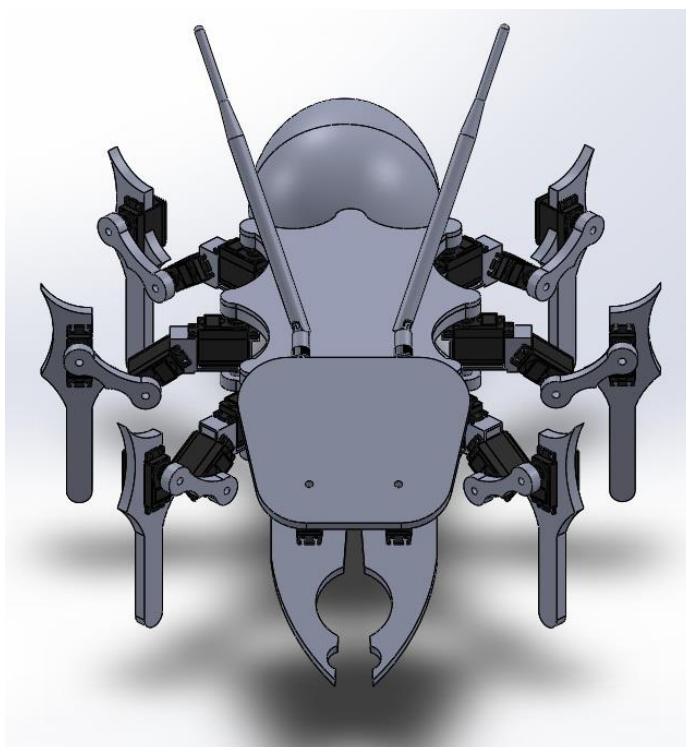


Ilustración 19: Diseño 3D del robot

Como podemos ver en la “Ilustración 19: Diseño 3D del robot” se han realizado el diseño de todas las partes, así como de los servomotores y antenas.

9.5 Mecanizado de piezas

En este apartado, deberemos de trasladar los diseños al mundo real. Uno de los detalles a tener en cuenta en el diseño del robot, es que herramientas o métodos tenemos para construir la pieza que vamos a diseñar.



Ilustración 20: Construcción de las piezas diseñadas

Para la construcción de piezas (ver Ilustración 20: Construcción de las piezas diseñadas), tenemos varios métodos, y dependerá del gasto y calidad que queremos obtener (hay que tener en cuenta que las piezas obtenidas en cada método, no disponen del mismo estrés mecánico):

- Técnicas de arranque de viruta:
 - Corte
 - Fresado
 - CNCs
 - Torno
 - Pulido
 - Taladrado
- Técnicas de modificación
 - Plegado
 - Guillotinado
- Soldadura
 - TIG
 - MIG
 - Laser
- Técnicas de electroerosión
- Técnicas aditivas:
 - Impresoras 3D

9.6 Diseño electrónico

Todos los robots que podemos pensar en construir, van a disponer de una lógica. Como cabe de esperar, esta lógica deberá de ir en un soporte electrónico. Actualmente existen varias plataforma de desarrollo de electrónica como puede ser Arduino (en todas sus variantes Mega, Duemilanove, UNO, ...), Raspberry Pi (en todas sus versiones), MSP de Texas Instruments, Intel Galileo, los famosos PICs de Microchip (entre los más comunes el 16F876, 16F877), ...

En esta fase de desarrollo del robot, deberemos de escoger el sistema electrónico adecuado a nuestras necesidades (consumo, tensiones de alimentación, generación de temperatura, número de entradas-salidas tanto analógicas como digitales, velocidad de operación,...)

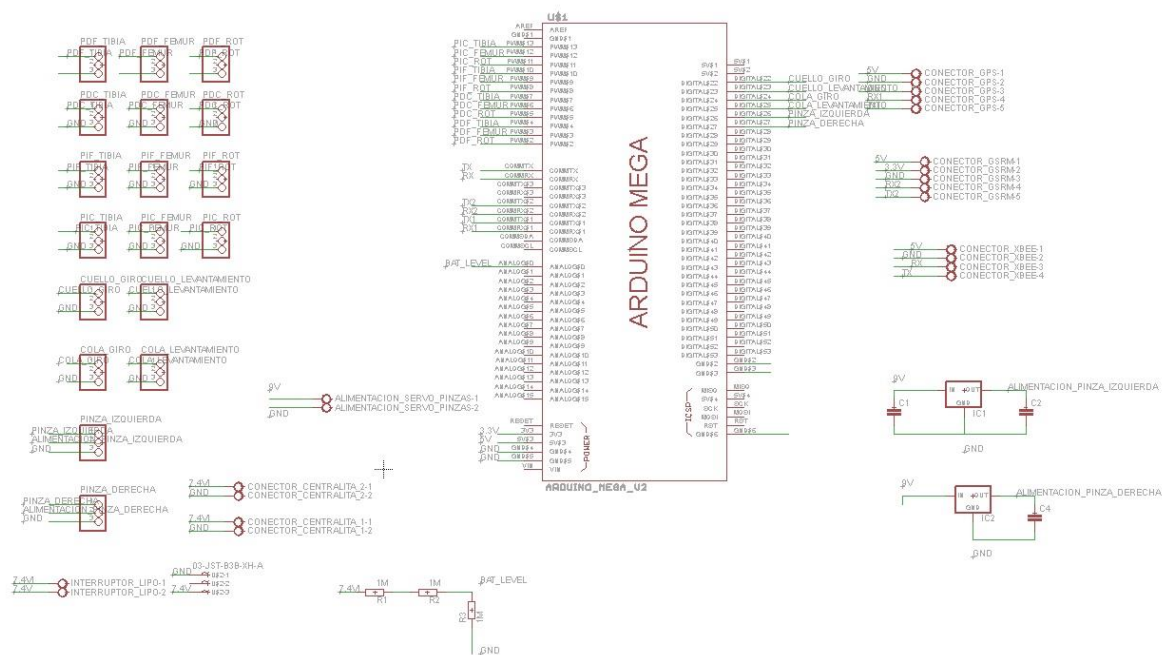


Ilustración 21: Esquema electrónico

El robot Hashtag integra una placa de control basada en Arduino Mega (ver Ilustración 21: Esquema electrónico) ya que dispone de las suficientes salidas digitales para controlar los 24 servos que lo componen, además de integrar la conexión XBee y el módulo de GRSM.

Para este robot se ha fabricado una placa a medida para expandir el conexionado de la placa Arduino Mega con todos los dispositivos y sensores que se pueden ver en la Ilustración 22 y la Ilustración 23.

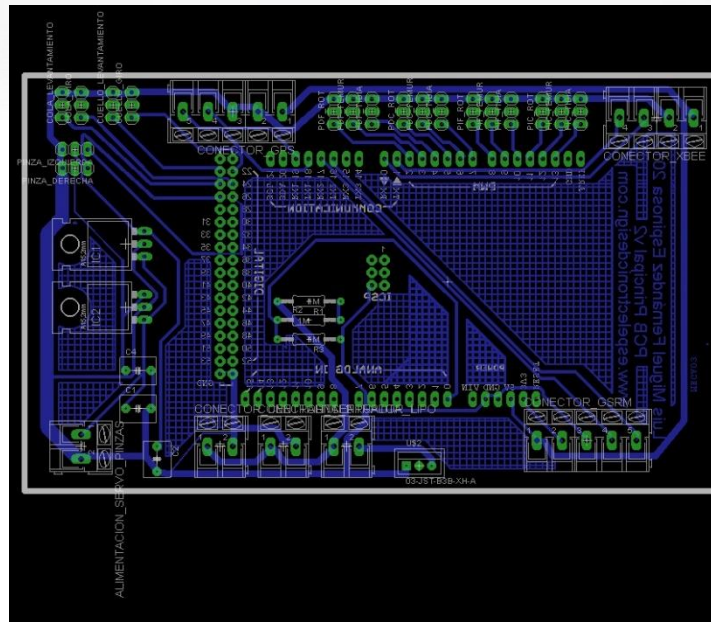


Ilustración 22: Distribución de componentes en PCB

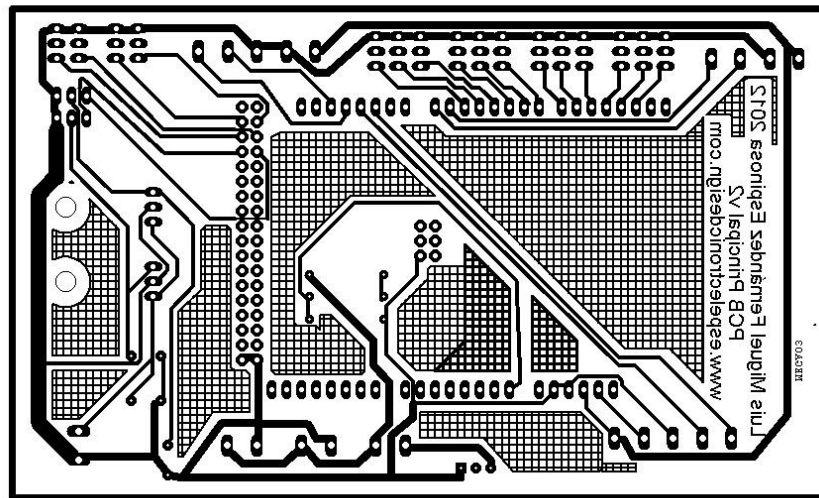


Ilustración 23: Fotolito de la PCB

Una vez construida la placa, y realizado los drills para la inserción de los componentes y soldado los mismos, la placa queda como sigue:

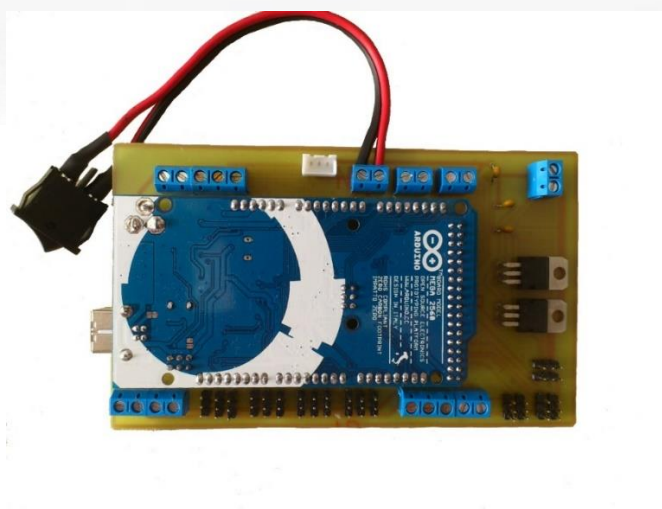


Ilustración 24: PCB fabricada y ensamblada

9.7 Conexionado

Una vez desarrollado las placas del robot, llega el momento de realizar el conexionado de todos los elementos (ver Ilustración 25)

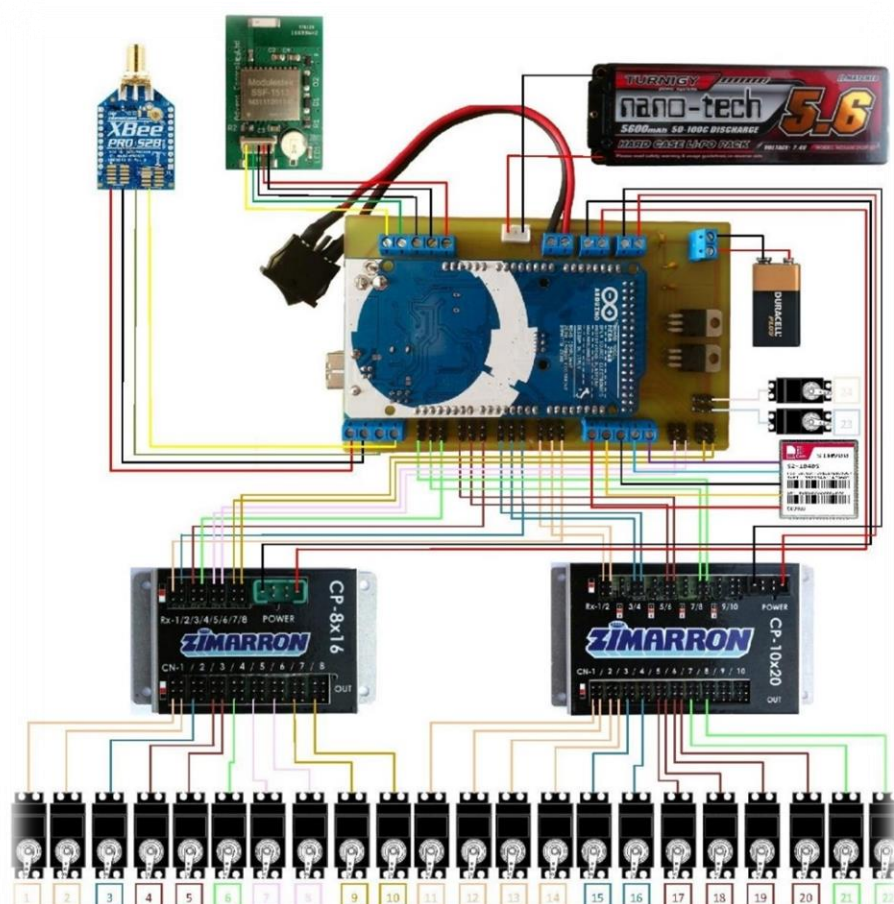


Ilustración 25: Conexionado de elementos

9.8 Firmware

Una vez todo ensamblado y realizado todo el conexionado eléctrico, es momento de realizar la programación del firmware del microcontrolador. Para el desarrollo del Firmware, se ha realizado con el propio IDE del fabricante Arduino.

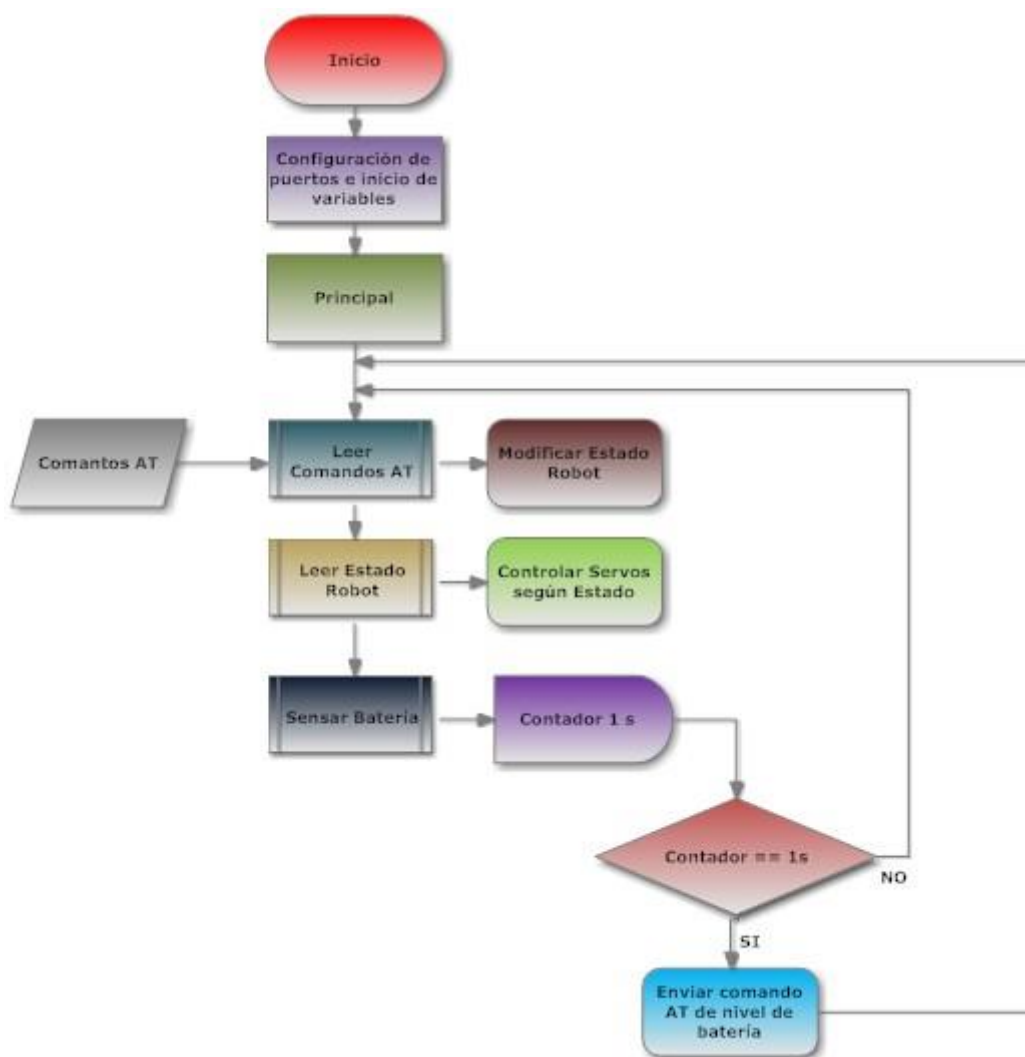


Ilustración 26: Diagrama de flujo del Firmware

Como se puede observar en la Ilustración 26, el código programado tiene los siguientes bloques:

- Configuración e inicio de variables:
- Comandos AT: Eventos de recepción de comandos
- Leer Comandos AT: Procedimientos para procesar los comandos recibidos y saber la próxima instrucción a ejecutar.
- Leer Estado Robot: Control de estado actual del robot para saber a qué estado siguiente hay que actualizar según los comandos recibidos.
- Sensar Batería: Proceso llamado por un timer cada segundo para obtener el valor del nivel de batería del robot.

- Enviar comando AT de nivel de batería: Preparación del comando a enviar al PC para notificar el nivel de batería que tiene el robot.

9.9 Programa de control

En este apartado se va a describir el programa de control que controla al robot. Este programa está escrito en C# e incorpora control sobre un dispositivo de video (conectado a un sintonizador para una cámara inalámbrica) y envío de comandos AT a través de un dispositivo xBee.

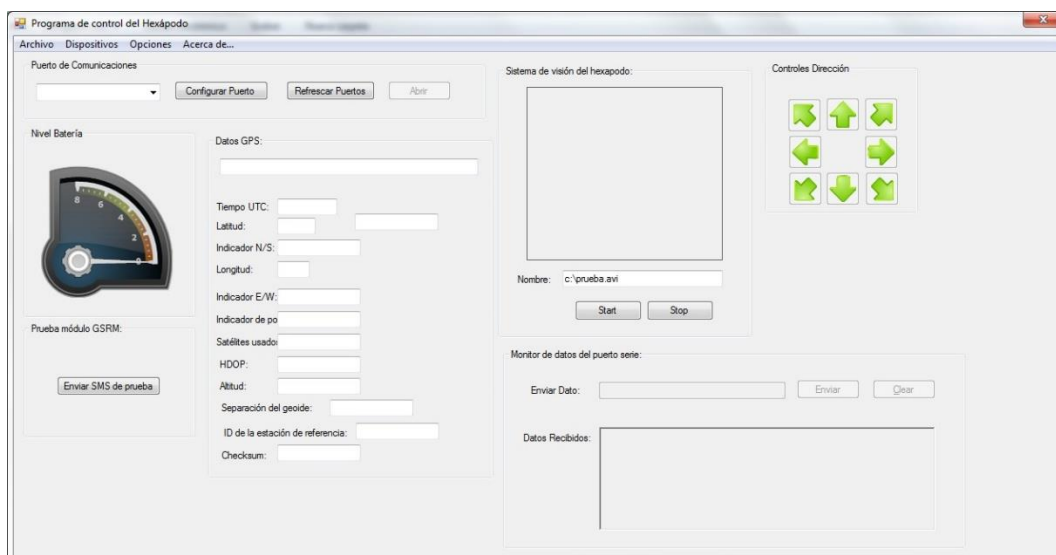


Ilustración 27: Interfaz de la aplicación de control

La siguiente Ilustración 28 representa el diagrama de flujos del programa.

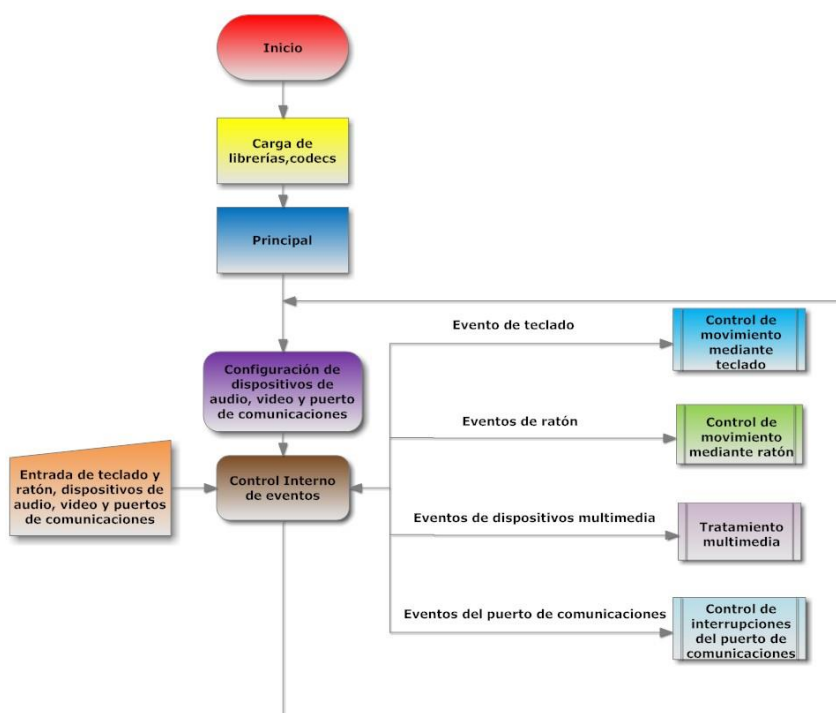


Ilustración 28: Diagrama de flujo del programa de control

Las partes más importantes de este programa son las siguientes:

- Preparación de la capturadora e inicialización de códecs.
- Control de eventos recibidos: Este módulo recoge eventos desde distintas fuentes como el teclado, eventos de ratón, eventos del dispositivo multimedia y eventos del puerto de comunicaciones.

10 Problemas que nos podemos encontrar en el desarrollo de robots

En este apartado se van a detallar algunos de los problemas con los que me he encontrado, que a veces, si no se han visto antes, son complicados de identificar.

Los problemas se van a clasificar en dos tipos según su tipología:

- Problemas Hardware
- Problemas Software.

10.1 Hardware:

10.1.1 El microcontrolador no arranca

El microcontrolador no pasa del Setup y no vemos trazas por serial.

El microcontrolador, si funciona, es que algún elemento está introduciendo alguna corriente más de lo que permite y por protección, se reinicia.

Pasos a seguir:

- Revisar conexionado de alimentación.
- Revisar los posibles cortos.
- Revisar el aislamiento eléctrico entre los motores (conexionado correcto de los drivers o puentes H).
- Revisar el conexionado de los sensores.

10.1.2 Oscilación en los valores analógicos obtenidos

Las lecturas de los datos, no se realizan de manera estable y oscilan cuando en las pruebas debería de tener un valor fijo para esa medida.

El conversor analógico-digital dispone de una tensión de referencia y posiblemente esté el terminal Vref del microcontrolador sin conectar. Conéctalo a VCC o a la alimentación que servirá de referencia (dependerá de la aplicación que estemos desarrollando).

10.1.3 Los motores no funcionan

Conectamos el puente H, pero los motores no se mueven.

Normalmente, las alimentaciones de control son tensiones más bajas que la alimentación de los motores y por consiguiente, son etapas distintas. Aunque son circuitos distintos, deben de tener la misma referencia de potencial, es decir, debemos conectar la tierra de la etapa de control (microcontrolador), a la etapa de tierra del driver (o puente H).

10.2 Software:

10.2.1 Comunicación de datos errónea

No recibimos datos o los datos recibidos no son los que deberían ser.

Cuando establecemos comunicaciones con el puerto serie, es importante saber la configuración y que ambos dispositivos, tanto emisor como receptor, trabajen con la misma configuración:

- BaudRate
- Bit de parada
- Bits de datos
- Paridad

10.2.2 Valor de sensores no corresponde con la magnitud a medir

Cuando se usan sensores, el valor que obtenemos es un valor comprendido entre 0 y 255 (según el tamaño del convertor Analógico digital puede ser mayor, por ejemplo, de 0 a 1024).

Como se puede pensar, esto no puede ser una magnitud de temperatura, por ejemplo. Lo que está ocurriendo, es que debemos interpolar este valor e interpolarlo según el tipo de sensor con el que estemos trabajando.

11 Bibliografía

Carvajal, E. M. (s.f.). *150 Proyectos con LEGO Mindstorms*.

Cortés, F. R. (s.f.). *Robótica: control de robots manipuladores*.

José María Angulo, I. A. (s.f.). *Introducción a la robótica*.

Ocaña, G. (s.f.). *Robótica educativa: iniciación*.

Página oficial de Arduino. (s.f.). Obtenido de www.arduino.cc

Porcuna, P. (s.f.). *Robótica y domótica básica con Arduino*.

Ribas, J. (s.f.). *Arduino para jóvenes y no tan jóvenes*.

Víctor de la Cueva, H. P. (s.f.). *Robótica aplicada con LabVIEW y Lego*.



12 Manuales y cheatsheets

12.1 Ensamblador

12.1.1 x86

- [https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Estructura_de_computadores/Estructura_de_computadores_\(Modulo_6\).pdf](https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Estructura_de_computadores/Estructura_de_computadores_(Modulo_6).pdf)

12.1.2 x64

- [https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Estructura_de_computadores/Estructura_de_computadores_\(Modulo_6\).pdf](https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Informatica/Estructura_de_computadores/Estructura_de_computadores_(Modulo_6).pdf)

12.1.3 ARM:

- <http://www.esi.uclm.es/www/isanchez/eco0910/ensamblaarm.pdf>

12.1.4 Raspberry PI

- <https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/10214/LibroDePracticas.pdf?sequence=1>

12.1.5 Microchip (PICs)

- <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/33014j.pdf>
- <https://www.unioviedo.es/ate/alberto/manualPic.pdf>

12.2 Java

- <https://introcs.cs.princeton.edu/java/11cheatsheet/>
- <https://dzone.com/refcardz/core-java>
- <http://mindprod.com/jgloss/jcheat.html>
- <https://jrebel.com/rebellabs/java-8-best-practices-cheat-sheet/>

12.3 Arduino

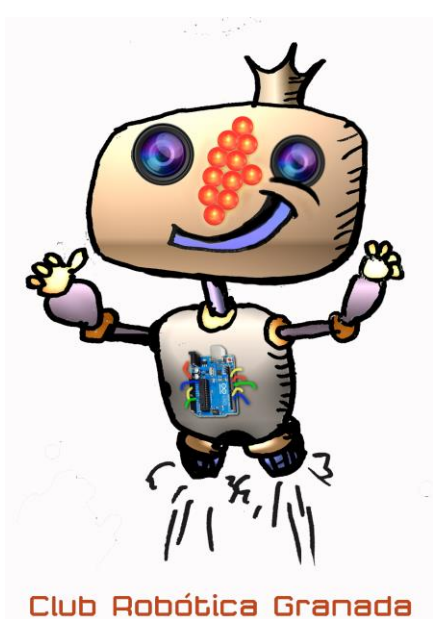
- https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/learn/materials/8/Arduino_Cheat_Sheet.pdf
- <http://www.cheat-sheets.org/saved-copy/Arduino-cheat-sheet-v02c.pdf>
- <https://www.farnell.com/datasheets/1682209.pdf>
- https://cdn.sparkfun.com/assets/f/4/9/2/2/Arduino_Cheat_Sheet-11-12-13.pdf
- <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Dev/Arduino/Boards/ProMini16MHzv1.pdf>
- <http://www.mantech.co.za/datasheets/products/A000047.pdf>

12.4 C#

- <https://www.thecodingguys.net/resources/cs-cheat-sheet.pdf>
- https://www.tutorialspoint.com/csharp/pdf/csharp_quick_guide.pdf
- <https://download.microsoft.com/download/D/E/E/DEE91FC0-7AA9-4F6E-9FFA-8658AA0FA080/CSharp%20for%20Java%20Developers%20-%20Cheat%20Sheet.pdf>
- <http://www.globalnerdy.com/2015/03/02/microsofts-swifc-cheat-sheet/>

13 Agradecimientos

Me gustaría agradecer a todos los asistentes del evento su asistencia y en especial a la organización del Club de Robótica de Granada por la labor que desarrollan, gestionando y organizando eventos tecnológicos por y para la comunidad de tecnologías libres, así como al Parque de las Ciencias de Granada por el espacio, dando la oportunidad a todos los asistentes y ponentes el intercambio de información y de una experiencia inolvidable.



14 Información de contacto



Linkedin:

<https://www.linkedin.com/in/luismiguelfernandezespinoza/>

Web:

www.espelectronicdesign.com

Email:

espinoza@espelectronicdesign.com

