



**Universidad**  
Zaragoza

1542

# Trabajo Fin de Grado

Diseño de un Robot Bombero en Edificios

Autor

Juan Hernández Vicén

Director

Javier Esteban Escaño

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia  
2015



**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA  
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

**MEMORIA**

**Diseño de un Robot Bombero en  
Edificios**

**424.13.136**

Autor: Juan Hernández Vicén

Director: Javier Esteban Escaño

Fecha: Julio 2015



# INDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN	3
4. ESTADO DEL ARTE	4
4.1. ANTECEDENTES	4
4.2. MARCO TEÓRICO	7
4.2.1. <i>Sistemas de movimiento.</i>	7
4.2.2. <i>Sensores incorporados en el robot.</i>	20
4.2.3. <i>Sensores de la vivienda y redes.</i>	34
5. DESARROLLO	41
5.1. DISEÑO MECÁNICO	41
5.1.1. <i>Cuerpo del Robot.</i>	41
5.1.2. <i>Brazo del Robot.</i>	43
5.1.3. <i>Modelo cinemático directo e inverso.</i>	44
5.1.4. <i>Cálculo del par y potencia de los motores.</i>	48
5.2. DISEÑO ELECTRÓNICO	52
5.2.1. <i>Descripción de los componentes.</i>	52
5.2.2. <i>Cálculo y selección de la batería.</i>	62
5.2.3. <i>Esquema eléctrico.</i>	66
5.2.4. <i>Diseño de la PCB.</i>	71
5.2.5. <i>Etapa de alimentación.</i>	73
5.2.6. <i>Conexión de los sensores de la vivienda.</i>	77
5.3. PROGRAMACIÓN	78
6. CONCLUSIONES	82
7. TRABAJOS FUTUROS	83
8. BIBLIOGRAFÍA	84

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Robot Ortogonal. Obtenida de Davis. ....	4
Ilustración 2. Robot extintor sin depósito. Obtenida de Nithiya. ....	5
Ilustración 3. Robot Serpiente. Obtenida de Liljeback. ....	5
Ilustración 4. Robot Tele operado incendios. Obtenida de Argudo. ....	6
Ilustración 5. Diseño Estructural del robot. Obtenida de Chien. ....	7
Ilustración 6. Modelo cinemático diferencial. Obtenida de: <a href="http://www.lajpe.org/sep10/420_Ramon_Silva.pdf">http://www.lajpe.org/sep10/420_Ramon_Silva.pdf</a> .....	8
Ilustración 7. Diagrama de fuerzas y velocidades. Obtenida de: <a href="http://www.lajpe.org/sep10/420_Ramon_Silva.pdf">http://www.lajpe.org/sep10/420_Ramon_Silva.pdf</a> .....	8
Ilustración 8. Métodos de transmisión indirecta. Obtenidas de: <a href="http://energia9.webnode.es/maquinas/los-operadores-mecanicos/engranajes/">http://energia9.webnode.es/maquinas/los-operadores-mecanicos/engranajes/</a> ; <a href="http://www.ecured.cu/index.php/Tornillo_sin_fin">http://www.ecured.cu/index.php/Tornillo_sin_fin</a> ; <a href="http://tecnologiapirineos.blogspot.com.es/2012/02/transmision-de-movimiento-mediante.html">http://tecnologiapirineos.blogspot.com.es/2012/02/transmision-de-movimiento-mediante.html</a> ; <a href="http://andomoto.blogspot.com.es/2014/08/funcionamiento-basico-de-un-motor.html">http://andomoto.blogspot.com.es/2014/08/funcionamiento-basico-de-un-motor.html</a> .....	11
Ilustración 9. Motor DC. Control por excitación e inducido. Obtenido de: Apuntes Automática avanzada.....	12
Ilustración 10. Motor Brushless. Obtenida de: Apuntes automática. ....	13
Ilustración 11. Esquema motor paso a paso. Obtenida de: Apuntes automática. ....	13
Ilustración 12. Motor paso a paso. Obtenida de: Apuntes automática. ....	13
Ilustración 13. Clasificación de incendios. Obtenida de: <a href="http://www.bomberosvoluntarios.org.py/extintor-avanzado/">http://www.bomberosvoluntarios.org.py/extintor-avanzado/</a> .....	16
Ilustración 14. Clasificación extintor por clases de fuego. Obtenida de: <a href="http://www.prevenciondocente.com/tiposfuego.htm">http://www.prevenciondocente.com/tiposfuego.htm</a> .....	16
Ilustración 15. Comportamiento de materiales en función de Temperatura. Obtenida de: <a href="http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Temperatura_5185.pdf">http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Temperatura_5185.pdf</a> ..	18
Ilustración 16. Variación tensión límite elástico según temperatura. Obtenida de: <a href="http://www.jmcprl.net/NTPs/@Datos/ntp_200.htm">http://www.jmcprl.net/NTPs/@Datos/ntp_200.htm</a> .....	18

Ilustración 17. Proceso transformación pintura intumescente ante el fuego. Obtenida de: <a href="http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn107.html">http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn107.html</a> .....	19
Ilustración 18. Lana de roca. Obtenida de: <a href="http://energiasrenovadas.com/lana-de-roca-para-el-aislamiento-de-edificios/">http://energiasrenovadas.com/lana-de-roca-para-el-aislamiento-de-edificios/</a> .....	20
Ilustración 19. Principio ultrasonidos. Obtenido de: <a href="http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/Trabajos/DiegoPerezDeDiego.pdf">http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/Trabajos/DiegoPerezDeDiego.pdf</a> ...	20
Ilustración 20. Configuración anillo sensores ultrasonidos. Obtenido de: <a href="http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/Trabajos/DiegoPerezDeDiego.pdf">http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/Trabajos/DiegoPerezDeDiego.pdf</a> ...	21
Ilustración 21. Configuración tipo sonar sensores ultrasonidos. Obtenido de: <a href="http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/Trabajos/DiegoPerezDeDiego.pdf">http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/Trabajos/DiegoPerezDeDiego.pdf</a> ...	21
Ilustración 22. Sensor infrarrojo. Obtenido de: <a href="http://snsoresdetemperatura.blogspot.com.es/">http://snsoresdetemperatura.blogspot.com.es/</a> .....	23
Ilustración 23. Cámara IR Flir. Obtenida de: <a href="http://www.flir.es">www.flir.es</a> .....	25
Ilustración 24. Funcionamiento Encoder. Obtenida de: <a href="http://facultad.bayamon.inter.edu/arincon/encoderincrementales.pdf">http://facultad.bayamon.inter.edu/arincon/encoderincrementales.pdf</a> .....	26
Ilustración 25. Canales de un Encoder. Obtenida de: <a href="http://facultad.bayamon.inter.edu/arincon/encoderincrementales.pdf">http://facultad.bayamon.inter.edu/arincon/encoderincrementales.pdf</a> .....	26
Ilustración 26. Representación gráfica de las señales incrementales A, B y Z. Obtenida de: <a href="http://facultad.bayamon.inter.edu/arincon/encoderincrementales.pdf">http://facultad.bayamon.inter.edu/arincon/encoderincrementales.pdf</a> ..	27
Ilustración 27. Bat. Ni-Cd. Obtenida de: <a href="http://robots-argentina.com.ar/Energia_baterias.htm">http://robots-argentina.com.ar/Energia_baterias.htm</a> .....	28
Ilustración 28. Bat. Ni-MH. Obtenida de: <a href="http://robots-argentina.com.ar/Energia_baterias.htm">http://robots-argentina.com.ar/Energia_baterias.htm</a> .....	29
Ilustración 29. Bat. Li-Ion. Obtenida de: <a href="http://robots-argentina.com.ar/Energia_baterias.htm">http://robots-argentina.com.ar/Energia_baterias.htm</a> .....	29
Ilustración 30. Batería Ni-Cd de 6 elementos (7.2V) y 400mAh. Obtenida de: <a href="http://roboticasunyer.blogspot.com.es/">http://roboticasunyer.blogspot.com.es/</a> .....	32
Ilustración 31. Batería Ni-MH de 3 (3.6V) elementos y 800 mAh. Obtenida de: <a href="http://roboticasunyer.blogspot.com.es/">http://roboticasunyer.blogspot.com.es/</a> .....	32
Ilustración 32. Batería Li-Po de 1 elemento (3.7V), 150mAh y 20C. Obtenida de: <a href="http://roboticasunyer.blogspot.com.es/">http://roboticasunyer.blogspot.com.es/</a> .....	33

Ilustración 33. Batería Li-Po de 3 elementos (11.1V), 2100mAh y 20C. Obtenida de: <a href="http://roboticasunyer.blogspot.com.es/">http://roboticasunyer.blogspot.com.es/</a> .....	33
Ilustración 34. Multiplicador de tensión de 2.5V a 9.5V de Pololu.Obtenida de: <a href="http://roboticasunyer.blogspot.com.es/">http://roboticasunyer.blogspot.com.es/</a> .....	34
Ilustración 35. Funcionamiento detector humos. Obtenida de: <a href="http://www.jung.de">www.jung.de</a> ....	35
Ilustración 36. Detector lineal de haz & Detector por aspiración. Obtenida de: <a href="http://www.prefire.es/proteccion-contra-incendios/deteccion-incendio-gases-4.php">http://www.prefire.es/proteccion-contra-incendios/deteccion-incendio-gases-4.php</a> .	36
Ilustración 37. Relación Zigbee entre tasa de transferencia y rango de cobertura. Obtenida de: <a href="http://sx-de-tx.wikispaces.com/ZIGBEE">http://sx-de-tx.wikispaces.com/ZIGBEE</a> .....	37
Ilustración 38. Topologías de redes ZigBee. Obtenida de: <a href="http://sx-de-tx.wikispaces.com/ZIGBEE">http://sx-de-tx.wikispaces.com/ZIGBEE</a> .....	39
Ilustración 39. Módulo ZigBee S2. Obtenida de: <a href="http://www.blogelectronica.com/zigbee-maxstream-modulos-practica-2/">http://www.blogelectronica.com/zigbee-maxstream-modulos-practica-2/</a> .....	39
Ilustración 40. Autómata para domótica LOGO 0BA7. Obtenidas de: <a href="http://biblioteca.unirioja.es/tfe_e/R000001357.pdf">http://biblioteca.unirioja.es/tfe_e/R000001357.pdf</a> .....	39
Ilustración 41. Robot Extintor 3D. Elaboración propia. ....	41
Ilustración 42. Base del Robot. Elaboración propia. ....	42
Ilustración 43. Casco del robot en 3D. Elaboración propia. ....	42
Ilustración 44. Brazo articulado del Robot en 3D. Elaboración propia. ....	43
Ilustración 45. Extremo del brazo. Elaboración propia. ....	43
Ilustración 46. Transmisión del movimiento en los brazos. Elaboración propia. .	43
Ilustración 47. Coordenadas cinemáticas del Robot. Elaboración propia. ....	44
Ilustración 48. Fuerzas que interactúan en la rueda. Elaboración propia. ....	48
Ilustración 49. Fuerzas del Brazo. Elaboración propia. ....	51
Ilustración 50. Conexionado sensor ultrasonidos HC-SR04. Obtenida de: <a href="http://www.kurtsik.org/blog/?p=1212">http://www.kurtsik.org/blog/?p=1212</a> .....	53
Ilustración 51. Cámara termográfica. FLIR A15sc. Obtenida de: <a href="http://www.flir.es">www.flir.es</a> ....	54
Ilustración 52. Conexión pines Xbee. Esquema y módulo. Obtenida de: <a href="http://unicarlos.com/_ARDUINO/Arduino%20+%20XBee.pdf">http://unicarlos.com/_ARDUINO/Arduino%20+%20XBee.pdf</a> .....	54
Ilustración 53. Combinación elegida para las ruedas. Obtenida de: <a href="http://www.maxonmotors.es">www.maxonmotors.es</a> .....	56

Ilustración 54. Conexiones Encoder. Obtenida de: maxon motors. ....	56
Ilustración 55. Rango de funcionamiento del motor. Obtenida de: www.maxonmotors.es.....	57
Ilustración 56. Dimensiones del motor. Obtenida de: www.maxonmotors.es ....	57
Ilustración 57. Cableado de los motores de las ruedas. Obtenida de: www.maxonmotors.es.....	57
Ilustración 58. Combinación motores brazo. Obtenida de: www.maxonmotors.es .....	58
Ilustración 59. Controlador de motor de CC trifásico (L6235N). Obtenida de Farnell. ....	59
Ilustración 60. Electroválvula con solenoide. ....	60
Ilustración 61. Solenoide. ....	60
Ilustración 62. Arduino Mega. Obtenido de la página oficial de Arduino.....	61
Ilustración 63. Raspberry Pi. Obtenida de: http://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi .....	61
Ilustración 64. Robot en la habitación. Elaboración propia.....	64
Ilustración 65. Captura KiCAD. Elaboración propia. ....	69
Ilustración 66. Captura KiCAD. Elaboración propia. ....	71
Ilustración 67. Captura KiCAD. Elaboración propia. ....	71
Ilustración 68. Conexión sensores vivienda. Elaboración propia. ....	77

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparativa de extintores 25Kg y 50Kg.....	17
Tabla 2. Valores modelo cinemático directo.....	45
Tabla 3. Datos desplazamiento rueda.....	49
Tabla 4. Datos dimensiones rueda. ....	49
Tabla 5. Listado de componentes electrónicos. ....	52
Tabla 6. Potencia de los componentes electrónicos.....	62

## 1. RESUMEN

El trabajo consiste en el diseño de un robot capaz de extinguir un incendio en una vivienda o local en su fase inicial o conato, acudiendo desde el punto de reposo donde se encuentre en la vivienda hasta la habitación en la que se esté produciendo el incendio.

A lo largo de la siguiente memoria, se va a poder ver la evolución del diseño, el primer bloque consiste en un estado del arte y marco teórico en los cuales están expuestas las posibles tecnologías a utilizar para la extinción del incendio y el diseño del robot. Además, en base a la información obtenida, en este bloque se han tomado ya decisiones importantes para el diseño, tales como la selección de material, aislantes térmicos, agente extintor, determinados sensores, etc.

En el siguiente bloque se puede ver el desarrollo del diseño dividido en tres apartados diferentes:

En el diseño mecánico, se ha desarrollado la estructura en 3D del robot con sus distintas piezas, los cálculos de la cinemática directa e inversa, así como los cálculos de potencia y par necesarios para otorgar movimiento a las distintas articulaciones que lo componen y que influirán posteriormente en la selección de motores.

En el apartado del diseño electrónico vienen especificados los componentes electrónicos seleccionados, con sus conexiones y esquemas, así como los diseños de PCB que harán funcionar el Robot. También hay un subapartado destinado a explicar el conexionado de los sensores de la vivienda con el robot mediante tecnología Zigbee.

Por último, en el apartado de la programación se han desarrollado diagramas UML, explicando las funciones a un nivel lo más bajo posible. Se ha optado por desarrollar diagramas UML en lugar del programa, porque al tratarse de un diseño, no existe el Robot en formato físico para poder probar si funciona o no correctamente el programa.

## 2. ABSTRACT

The work revolves around the design of a robot able to extinguish a fire in a house or in a store at its outset, moving from its rest area to the room in which the fire is located.

The present memory explains the development of such design. In the first part, the state of the art and theoretical framework will be analyzed playing special emphasis on the technologies which could be used to extinguish the fire and to design the robot. In addition, with the results obtained, important design decisions have been adopted in this part, such as the material, the thermic insulators, some sensors, etc.

In the next section, the design is developed in a threefold way:

In the mechanical design, the 3D structure has been developed with the different pieces that compose the robot, the calculation of the direct and inverse cinematic equations, as well as the torque and the power needed to move the various components of the robot and which will influence the selection of the motors.

In the electrical design section, the electronic components have been chosen, with their connections and schematics, as well as the design of the PCBs which will allow the correct work of the robot. There is also a subsection that explains the connection of the house sensors with the robot by using Zigbee technology.

Finally, the last section concerning programming, UML diagrams have been developed, explaining the functions in the lower level. UML diagrams have been developed instead of the program, because as there is no prototype there is no chance to prove if the program works properly or not.

### 3. INTRODUCCIÓN

Según un estudio llevado a cabo por la fundación Mapfre durante los años 2012 y 2013, el número de víctimas por incendios en España fue de 170 y 132 respectivamente, con un total de 142.260 intervenciones del cuerpo de bomberos en viviendas.

Tras observar estas cifras, me he planteado si gran cantidad de estas muertes se podrían haber evitado si el incendio se hubiera podido sofocar en el momento inicial, estos primeros minutos son cruciales puesto que suponen la diferencia entre un incendio pequeño que puede ser extinguido sin dificultad a uno imposible de dominar. Esta idea me ha motivado para diseñar un robot capaz de extinguir incendios en su fase inicial, con el fin de salvar vidas y evitar grandes daños materiales.

Las ventajas que presenta la utilización de un robot en lugar de los métodos tradicionales son:

- No es necesario realizar obras para su instalación, como sería el caso de un sistema de aspersión.
- Actúa centrándose en el foco del incendio, con lo cual no compromete el resto de muebles que haya en la habitación.

Este robot puede servir para ahorrar grandes costes económicos tanto a propietarios de viviendas como a compañías aseguradoras.

El documento está dividido en dos grandes bloques: el primero compuesto por un estado del arte, que permite documentarse sobre robots y sistemas que pueden ser útiles para el diseño, y un segundo bloque en el cual se encuentra el diseño de la estructura mecánica, la electrónica y la programación.

## 4. ESTADO DEL ARTE

Con el fin de tomar las decisiones más apropiadas a la hora de desarrollar el diseño del robot, procedo a realizar un estudio del arte, en el cual obtendré información de robots que realicen funciones similares o sistemas ya existentes que puedan ser aplicables y útiles para el robot. Para ello dividiré la búsqueda en dos apartados: Antecedentes y Marco teórico.

### 4.1. ANTECEDENTES

#### **Fire Fighting Robot**

Han diseñado y desarrollado un robot capaz de desplazarse a un punto de la casa y extinguir un incendio, se sirve de sensores ultravioleta para detectar la localización del incendio. Para extinguir el incendio se han decantado por usar CO<sub>2</sub>. La forma estructural que le han otorgado al robot es ortogonal. Al ser de dimensiones tan reducidas (35cm x 35cm) le permitirá desenvolverse sin problema por toda la vivienda, por otro lado la desventaja que plantea este robot es, que sus pequeñas dimensiones harán que el poder de extinción sea bastante limitado puesto que no tendrá un depósito de agente extintor suficientemente grande, tiene un tiempo de acción de 9 segundos. (Davis, Klundt, Limpisathian, & Giakos, 2010).

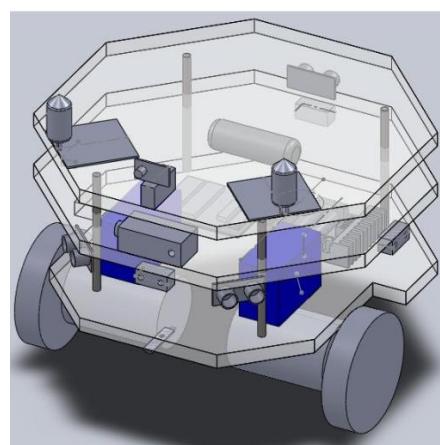
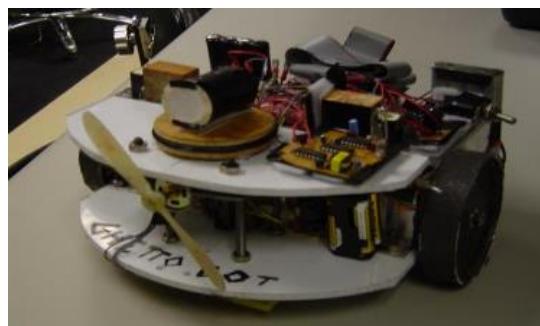


Ilustración 1. Robot Ortogonal. Obtenida de Davis.

## Fire Fighting Robot

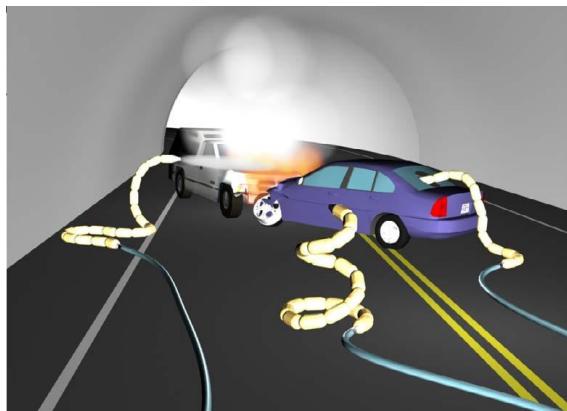
En este otro Robot, se trata de un sistema que es capaz de acudir al incendio dentro de la vivienda y bombear agua desde una fuente hasta el incendio, con lo cual no porta en su interior el agente extintor. La ventaja que presenta es que puede disponer del agua hasta que consiga extinguir el incendio y que reducirá el tamaño del robot, por otro lado la desventaja de no llevar el agente extintor incorporado es la necesidad que surge de disponer de un depósito o realizar la instalación adecuada en la vivienda así como la limitación que puede suponer la longitud de la manguera que deberá llegar desde el punto de obtención del agua hasta el punto donde se esté produciendo el incendio en la vivienda.

Como en el caso anterior el robot dispone de sensores de ultrasonidos para detectar obstáculos, sensores Ultravioleta para detectar el incendio, sensores de temperatura y motores DC.(Nithiya, Muthamizh, & Yr-ECE, s.f.)



*Ilustración 2. Robot extintor sin depósito. Obtenida de Nithiya.*

## Snake Fighter - Development of a Water Hydraulic Fire Fighting Snake Robot.



*Ilustración 3. Robot Serpiente. Obtenida de Liljeback.*

Se trata de un robot hidráulico que funciona mediante el principio de las serpientes, reptando y acudiría a extinguir el incendio en zonas difíciles de acceder para los bomberos, ya sea por el calor, el humo o los escombros. En este documento explican cómo le añaden a la manguera una estructura robótica articulada mediante pequeños componentes hidráulicos, la cual le dota de movimiento

para poder desplazarse hasta la posición deseada. Los actuadores son dos cilindros, los cuales están controlados mediante un sistema de control en el cual han

descompuesto los movimientos de las serpientes en dos (horizontales y verticales). Por último, destacan que en trabajos futuros habría que otorgar a este sistema robótico de mayor capacidad para soportar fuerzas mayores y así poder extinguir de forma más eficaz. (Liljeback, Stavdahl, & Beitnes, 2006)

## **Diseño y construcción de un robot móvil tele operado para la asistencia en operaciones de alto riesgo del cuerpo de bomberos.**



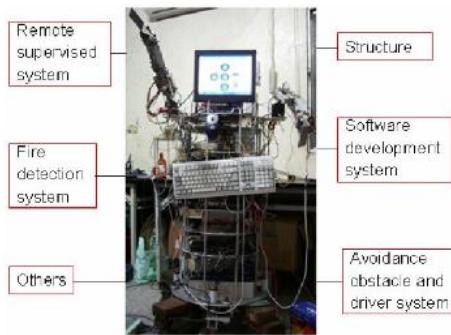
*Ilustración 4. Robot Tele operado incendios. Obtenida de Argudo.*

Me parece interesante mencionar este trabajo porque a pesar de ser un robot tele operado y que no sirve para extinguir incendios, sino para otorgar a los bomberos la información necesaria para saber las propiedades del entorno en el cual se está produciendo el incendio, así como favorecer la búsqueda de posibles víctimas que necesiten asistencia urgente. Para llevar a cabo estas

funciones se sirve de un conjunto de sensores que le permiten obtener información del entorno (Temperatura, gases...). Como he mencionado anteriormente, me parece interesante porque usan sensores para obtener datos de los incendios y materiales que soportan estas condiciones adversas. (Argudo Cobos, Geovanny Sebastián & Arpi Saldaña, Adrian Danilo, 2012).

## **Develop a Multiple Interface Based Fire Fighting Robot.**

En este trabajo se puede ver el desarrollo de un robot capaz de combatir el fuego en una vivienda. El robot consta de dos modos de funcionamiento: Uno en el cual lucha de forma autónoma contra el incendio y el otro en el cual sus movimientos pueden ser controlados por una persona. En el primer modo de funcionamiento el robot es capaz de moverse hasta el incendio y extinguirlo. Dispone de un sistema GSM para comunicar vía SMS el incendio. Además dispone de capacidad para evitar obstáculos por el camino. (Chien, Guo, Su, & Shiau, 2007).



*Ilustración 5. Diseño Estructural del robot. Obtenida de Chien.*

## 4.2. MARCO TEÓRICO

Tras realizar una investigación previa de robots similares que hayan sido diseñados previamente, procedo a buscar información sobre tecnologías existentes que pueda aplicar o utilizar para el funcionamiento del robot. Se pueden dividir en cuatro grandes bloques: Sistemas de movimiento del robot (Desplazamiento y movimiento del brazo), Agente extintor y recubrimientos de la superficie del robot, sensores incorporados en este para obtener la información de su entorno y sensores instalados en la vivienda para monitorizarla y saber dónde se está produciendo el incendio, así como el tipo de red que los conectará.

### 4.2.1. Sistemas de movimiento.

Engloba todos lo relacionado con los movimientos que va a realizar el robot, desde el desplazamiento del robot de un punto a otro de la vivienda hasta el movimiento del brazo para apuntar en la dirección correcta de extinción, pasando por los distintos motores que pueden servir para llevar a cabo estas acciones.

#### ***Sistema diferencial.***

La ventaja que presenta este sistema frente a uno de locomoción mediante patas u orugas es que es capaz de transportar mayor peso y tiene una mayor estabilidad, a su vez es cierto que a diferencia de los otros dos, este es incapaz de salvar obstáculos elevados. A pesar de este inconveniente, esto no va a impedir realizar las funciones predestinadas para el robot, puesto que al estar destinado para actuar en la planta donde se encuentra no va a tener que salvar desniveles.

Para el modelo cinemático del robot se considera que el desplazamiento se lleva a cabo en el plano XY. Se toma como referencia el punto central del eje de las ruedas motrices, y el ángulo  $\varphi$ , el cual describe el ángulo que forma el eje de simetría respecto al eje X. Cada rueda posee una velocidad angular  $\omega_i$  y  $\omega_d$ . R es el radio de las llantas y  $2l$  es la separación que existe entre ellas. Las velocidades  $V_i$  y  $V_d$  serán proporcionadas por la fuerza que actúa sobre cada rueda  $F_i$  y  $F_d$  respectivamente.

Con todo esto se puede deducir que las coordenadas vendrán delimitadas por  $(x, y, \varphi)$ ; posición del punto central y el ángulo respecto a X.

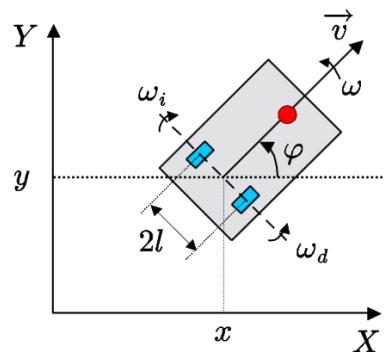


Ilustración 6. Modelo cinemático diferencial. Obtenida de:  
[http://www.lajpe.org/sep10/420\\_Ramon\\_Silva.pdf](http://www.lajpe.org/sep10/420_Ramon_Silva.pdf)

Las ecuaciones que se obtienen a partir de las afirmaciones anteriores son las siguientes:

$$\vec{r}_i = x - l \sin \varphi \hat{x} + y + l \cos \varphi \hat{y}$$

$$\vec{r}_d = x + l \sin \varphi \hat{x} + y - l \cos \varphi \hat{y}$$

De donde, si  $m$  es la masa de cada una de las ruedas, entonces la energía cinética del sistema viene dada por:

$$T = \frac{m}{2} \left( |\dot{\vec{r}}_i|^2 + |\dot{\vec{r}}_d|^2 \right) = m(x^2 + y^2 + l^2\varphi^2)$$

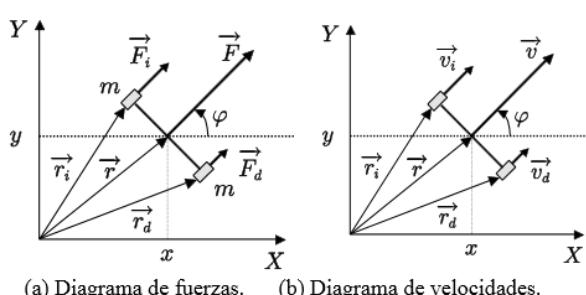


Ilustración 7. Diagrama de fuerzas y velocidades. Obtenida de:  
[http://www.lajpe.org/sep10/420\\_Ramon\\_Silva.pdf](http://www.lajpe.org/sep10/420_Ramon_Silva.pdf)

Con base en la teoría de Lagrange de la mecánica clásica, las ecuaciones de movimiento del sistema físico corresponden con:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial T}{\partial x} = Q_x,$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{y}} \right) - \frac{\partial T}{\partial y} = Q_y,$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q_\varphi,$$

Donde  $Q_x$ ,  $Q_y$ ,  $Q_\varphi$ , son las denominadas componentes de la fuerza generalizada, las cuales están dadas por:

$$Q_x = \vec{F}_i \cdot \frac{\partial \vec{r}_i}{\partial x} + \vec{F}_d \cdot \frac{\partial \vec{r}_d}{\partial x} = \vec{F}_i + \vec{F}_d \cdot \hat{x},$$

$$Q_y = \vec{F}_i \cdot \frac{\partial \vec{r}_i}{\partial y} + \vec{F}_d \cdot \frac{\partial \vec{r}_d}{\partial y} = \vec{F}_i + \vec{F}_d \cdot \hat{y},$$

$$Q_\varphi = \vec{F}_i \cdot \frac{\partial \vec{r}_i}{\partial \varphi} + \vec{F}_d \cdot \frac{\partial \vec{r}_d}{\partial \varphi} =$$

$$Q_\varphi = l \vec{F}_d - \vec{F}_i \cdot \cos \varphi \hat{x} + \sin \varphi \hat{y}.$$

Aplicando las fórmulas anteriores, un cálculo directo muestra que las ecuaciones de movimiento están dadas por:

$$2m\ddot{x} = (\vec{F}_i + \vec{F}_d) \cdot \hat{x},$$

$$2m\ddot{y} = (\vec{F}_i + \vec{F}_d) \cdot \hat{y},$$

$$2ml^2\ddot{\varphi} = l(\vec{F}_d - \vec{F}_i) \cdot (\cos \varphi \hat{x} + \sin \varphi \hat{y}).$$

De donde  $\vec{F}_i$ ,  $\vec{F}_d$  son las fuerzas que actúan sobre las ruedas izquierda y derecha, respectivamente, proporcionando las velocidades  $\vec{v}_i$ ,  $\vec{v}_d$ , entonces:

$$\vec{F}_i = m\vec{v}_i = m\dot{v}_i(\cos \varphi \hat{x} + \sin \varphi \hat{y}),$$

$$\vec{F}_d = m\vec{v}_d = m\dot{v}_d(\cos \varphi \hat{x} + \sin \varphi \hat{y}),$$

Donde  $\dot{v}_i$  y  $\dot{v}_d$  son las magnitudes de las aceleraciones de las ruedas izquierda y derecha respectivamente. Usando las anteriores 5 fórmulas, después de integrar respecto al tiempo y simplificar, se encuentra que:

$$2\ddot{x} = (v_i + v_d) \cos \varphi + c_x,$$

$$2\ddot{y} = (v_i + v_d) \sin \varphi + c_y,$$

$$2l\ddot{\varphi} = (v_d - v_i) + c_\varphi$$

Donde  $c_x$ ,  $c_y$  y  $c_\varphi$  son tres constantes de integración. Finalmente, si  $\omega_i$  y  $\omega_d$  son las velocidades angulares de las ruedas izquierda y derecha, respectivamente, la condición de rodadura sin deslizamiento es equivalente a imponer que:

$$v_i = rw_i,$$

$$v_d = rw_d,$$

Donde  $r$  denota el radio de cada una de las ruedas del robot. Así, con la intención de hacer más general el modelo y no restringirlo a una posición y orientación iniciales las constantes de integración  $c_x$ ,  $c_y$  y  $c_\phi$  se hacen iguales a cero, obteniendo que las ecuaciones del modelo cinemático estén dadas por:

$$\dot{x} = \frac{(w_d + w_i r)}{2} \cos \varphi$$

$$\dot{y} = \frac{(w_d + w_i r)}{2} \sin \varphi$$

$$\dot{\varphi} = \frac{(w_d + w_i r)}{2l}$$

De las tres últimas ecuaciones, es claro que para  $r$  y  $l$  dados, la única forma de imponer que las variables del sistema ( $x$ ,  $y$ ,  $\varphi$ ), generen una trayectoria deseada queda determinada por la elección apropiada de  $\omega_d$  y  $\omega_i$ , las cuales son conocidas como variables de control del móvil dentro del contexto de la teoría de control automático. (Ortigoza, Ramos-Silvestre, & Morales-Guerrero, 2010).

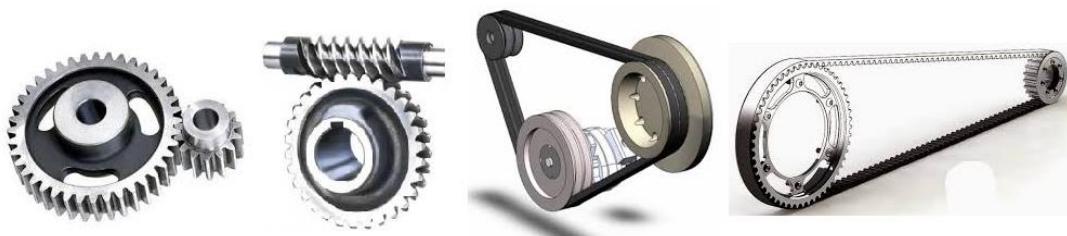
### ***Sistema movimiento brazo.***

Para la transmisión del movimiento en el brazo hay que evaluar las distintas soluciones disponibles en el mercado y elegir la que más se aadecue a las necesidades de diseño. Las posibilidades que encontramos son las siguientes:

**Transmisión directa:** El motor está instalado justo en el punto donde va a actuar y no necesita ningún mecanismo intermedio para actuar sobre la articulación.

**Transmisión indirecta:** El movimiento será transmitido mediante un mecanismo que permitirá comunicar el movimiento del motor a la articulación.

Dentro de la transmisión indirecta, podemos encontrar sistemas de transmisión mediante engranajes, tornillos sin fin, sistemas de poleas con correa y ruedas dentadas con cadena.



*Ilustración 8. Métodos de transmisión indirecta. Obtenidas de:*  
<http://energia9.webnode.es/maquinas/los-operadores-mecanicos/engranajes/>;  
[http://www.ecured.cu/index.php/Tornillo\\_sin\\_fin](http://www.ecured.cu/index.php/Tornillo_sin_fin);  
<http://tecnologiapirineos.blogspot.com.es/2012/02/transmision-de-movimiento-mediante.html>;  
<http://andomoto.blogspot.com.es/2014/08/funcionamiento-basico-de-un-motor.html>

Tras evaluar las distintas opciones, descarto la transmisión directa puesto que el brazo no quedaría equilibrado. Para poder mover la segunda articulación del brazo se necesitará un sistema que transmita el movimiento desde la distancia por ello me quedo con el sistema de poleas con correa y de ruedas dentadas con cadena. Por último, considero que el sistema de polea con correa puede ser menos fiable y además la correa como suele estar hecha de plásticos puede sufrir más ante temperaturas elevadas, por ello me decanto por el sistema de engranajes con cadena.

### ***Motores DC, Brushless y Paso a Paso.***

#### **MOTORES DC**

Los motores DC son los más usados en la actualidad debido a su facilidad de control. Están formados por dos devanados internos, inductor e inducido, que se alimentan con corriente continua:

- El inductor, (devanado de excitación), está situado en el estator y crea un campo magnético de dirección fija, denominado de excitación.
- El inducido, situado en el rotor, hace girar al mismo debido a la fuerza de Lorentz que aparece como combinación de la corriente circulante por él y del campo magnético de excitación. Recibe la corriente del exterior a través del colector de delgas, en el que se apoyan unas escobillas de grafito.

Los campos magnéticos del estator y del rotor deben permanecer estáticos entre sí para que se pueda convertir la energía eléctrica en energía mecánica. Esta transformación es máxima cuando ambos campos se encuentran en cuadratura.

El colector de delgas es un conmutador sincronizado con el rotor encargado de que se mantenga el ángulo relativo entre el campo del estator y el creado por las corrientes circulantes por el rotor. De esta forma se consigue transformar automáticamente, en función de la velocidad de la máquina, la corriente continua que

alimenta al motor en corriente alterna de frecuencia variable en el inducido. Funcionamiento se conoce con el nombre de auto pilotado.

Al aumentar la tensión del inducido aumenta la velocidad de la máquina. Si el motor está alimentado a tensión constante, se puede aumentar la velocidad disminuyendo el flujo de excitación. Pero cuanto más débil sea el flujo, menor será el par motor que se puede desarrollar para una intensidad de inducido constante. En el caso de control por inducido, la intensidad del inductor se mantiene constante, mientras que la tensión del inducido se utiliza para controlar la velocidad de giro. En los controlados por excitación se actúa al contrario.

Se obtiene que la relación entre tensión de control y velocidad de giro (función de transferencia), responde a un sistema de primer orden en los controlados por inducido, mientras que en el caso de los motores controlados por excitación, esta relación es la de un segundo orden.

Además, en los motores controlados por inducido se produce un efecto estabilizador de la velocidad de giro originado por la realimentación intrínseca que posee a través de la fuerza contra electromotriz. Por estos motivos, de los dos tipos de motores DC es el controlado por inducido el que se usa en el accionamiento de robots.

El uso de control por excitación sólo tiene sentido en el caso de motores de tanta potencia que no sea posible construir una etapa de potencia sencilla para realizar el control.

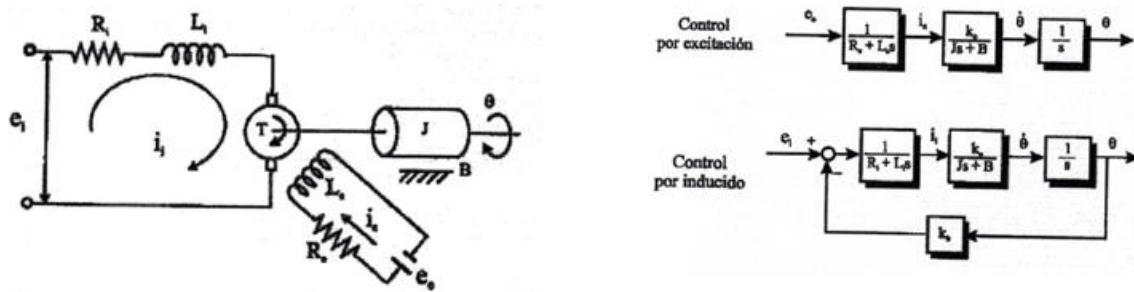
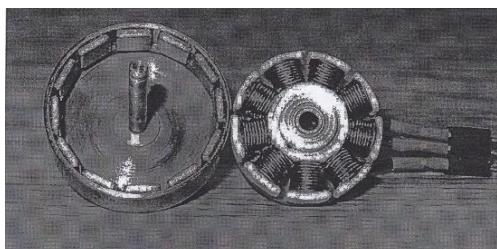


Ilustración 9. Motor DC. Control por excitación e inducido. Obtenido de: Apuntes Automática avanzada.

Para mejorar el comportamiento de este tipo de motores, el campo de excitación se genera mediante imanes permanentes con el fin de evitar fluctuaciones del mismo. Estos imanes son de aleaciones especiales como samario-cobalto. Las velocidades de rotación que se consiguen con estos motores son del orden de 1000 a 3000 r.p.m., con un comportamiento muy lineal y bajas constantes de tiempo. Las potencias que pueden manejar pueden llegar a los 10 KW.

Los motores DC son controlados mediante referencias de velocidad. Estas normalmente son seguidas mediante un bucle de realimentación de velocidad analógico que se cierra mediante una electrónica específica (Accionador del motor). Sobre este bucle de velocidad se coloca otro de posición, en el que las referencias son generadas por la unidad de control (microprocesador) en base al error entre la posición deseada y la real. (Javier Esteban Escaño, 2013).

### MOTOR BRUSHLESS:



*Ilustración 10. Motor Brushless.*  
Obtenida de: Apuntes automática.

El motor de corriente continua presenta el inconveniente del obligado mantenimiento de las escobillas. Por otra parte, no es posible mantener el par con el rotor parado más de unos segundos, debido a los calentamientos que

se producen en el colector.

Para evitar estos problemas, se han desarrollado en los últimos años motores sin escobillas o también llamados Brushless. Los imanes de excitación se sitúan en el rotor y el devanado de inducido en el estator, con lo que es posible convertir la corriente mediante interruptores estáticos, que reciben la señal de conmutación a través de un detector de posición del rotor.

### MOTOR PASO A PASO:

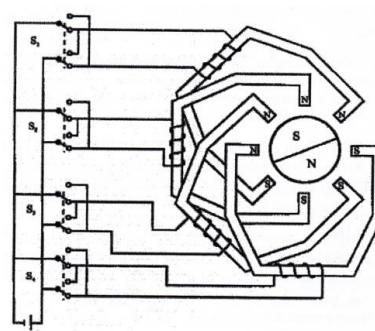
Las aplicaciones de los motores paso a paso están limitadas a controles de posición simples, debido a que los pares para los que estaban disponibles eran muy pequeños y los pasos entre posiciones consecutivas eran grandes.

Existen tres tipos de motores paso a paso:

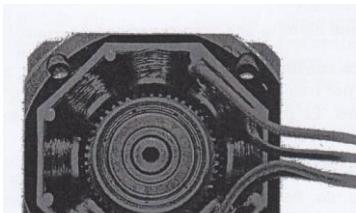
- De imanes permanentes.
- De reluctancia variable.
- Híbridos.

En los imanes permanentes, el rotor, que posee una polarización magnética constante, gira para orientar sus polos de acuerdo al campo magnético creado por las fases del estator.

En los motores de reluctancia variable, el rotor está formado por un material ferro-magnético que tiende a orientarse de modo que facilite el camino de las líneas de



*Ilustración 11. Esquema motor paso a paso.*  
Obtenida de: Apuntes automática.



*Ilustración 12. Motor paso a paso.*  
Obtenida de: Apuntes automática.

fuerza del campo magnético generado por la bobinas de estator. Los motores híbridos combinan el modo de funcionamiento de los dos tipos anteriores.

En los motores paso a paso la señal de control son trenes de pulsos que van actuando rotativamente sobre una serie de electroimanes dispuestos en el estator. Por cada pulso recibido, el rotor del motor gira un determinado número discreto de grados.

Para conseguir el giro del rotor en un determinado número de grados, las bobinas del estator deben ser excitadas secuencialmente a una frecuencia que determina la velocidad de giro. Las inercias propias del arranque y parada (aumentadas por las fuerzas magnéticas en equilibrio que se dan cuando está parado), impiden que el rotor alcance la velocidad nominal instantáneamente, por lo que ésta, y tanto la frecuencia de los pulsos que la fija, debe ser aumentada progresivamente.

Para simplificar el control de estos motores existen circuitos especializados que a partir de tres señales (tren de pulsos, sentido de giro e inhibición) generan, a través de una etapa lógica, las secuencias de pulsos que un circuito de conmutación distribuye a cada fase.

Su principal ventaja con respecto a los servomotores tradicionales es su capacidad para asegurar un posicionamiento simple y exacto. Pueden girar además de forma continua, con velocidad variable, como motores síncronos, ser sincronizados entre sí, obedecer a secuencias complejas de funcionamiento, etc. Se trata al mismo tiempo de motores muy ligeros, fiables y fáciles de controlar, pues el ser cada estado de excitación del estator estable, el control se realiza en bucle abierto, sin la necesidad de sensores de realimentación.

Entre los inconvenientes se puede citar que su funcionamiento a bajas velocidades no es suave, y que existe el peligro de pérdida de una posición por trabajar en bucle abierto. Tienden a sobrecalentarse trabajando a velocidades elevadas y presentan un límite en el tamaño que pueden alcanzar.

Su potencia nominal es baja y su precisión (mínimo ángulo girado) llega típicamente hasta 1,8º. Se emplean para el posicionado de ejes que no precisan grandes potencias (giro de pinza) o para robots pequeños (educacionales); también son muy utilizados en dispositivos periféricos del robot, como mesas de coordenadas.

Es común encontrar en múltiples sistemas el uso de motores paso a paso, servomotores y motores DC; sin embargo debido a que cada uno presenta

características distintas, la selección depende del sistema a desarrollar y de esta forma se adapte a sus requerimientos. Analizando los servomotores, se puede ver que tienen un desplazamiento angular limitado y se basan para su funcionamiento en un control por ancho de pulso, por lo tanto no es el recomendable para el robot. Los motores paso a paso, ofrecen un control con una precisión elevada en el giro del rotor debido a su estructura interna, sin embargo exigen mayor electrónica para su control, lo cual lo hace relativamente complejo para su implementación. Por ello, considero que los modelos más adecuados tanto para el sistema diferencial de desplazamiento como para los brazos son los motores brushless, ya que tienen un modelo lineal que facilita su control, y además son controlables en lazo cerrado y son más sencillos de instrumentar.

## AGENTE EXTINTOR Y RECUBRIMIENTOS:

A continuación se evaluarán los distintos agentes extintores utilizados en incendios según la naturaleza de este, el material más apropiado para construir la estructura y posibles recubrimientos para aislar el interior de la temperatura y protegerlo del fuego.

### **Agente extintor.**

Para seleccionar un agente extintor apropiado para la aplicación, lo primero de todo es necesario conocer la nomenclatura utilizada para nombrar los distintos fuegos que pueden producirse. Para ello se utilizan las letras A, B, C y D.

- **Fuego tipo A:** Se producen en materias combustibles comunes sólidas, como madera, papeles, cartones, textiles, plásticos, etc. Cuando estos materiales se queman, dejan residuos en forma de brasas o cenizas.
- **Fuego tipo B:** se producen en líquidos combustibles inflamables, como petróleo, gasolina, pinturas, etc. También se incluyen en este grupo el gas licuado de petróleo y algunas grasas utilizadas en la lubricación de máquinas. Estos fuegos, a diferencia de los anteriores, no dejan residuos al quemarse.
- **Fuego tipo C:** Conocidos como "fuegos eléctricos". En forma más precisa, son aquellos que se producen en "equipos o instalaciones bajo carga eléctrica", es decir, que se encuentran energizados. Cuando en un fuego de clase C se desconecta la energía eléctrica, éste pasará a ser A, B ó D, según los materiales involucrados. Sin embargo, con frecuencia es muy difícil tener la absoluta certeza de que realmente se ha "cortado la corriente". En efecto, aunque se haya desactivado un tablero general, es posible que la instalación que arde esté siendo alimentada por otro circuito. Por lo tanto, deberá actuarse como si fuera fuego C mientras no se logre total garantía de que ya no hay electricidad.

- **Fuego tipo D:** son los que se producen en polvos o virutas de aleaciones de metales livianos como aluminio, magnesio, etc. (Javier Pérez Soriano, s. f.)



*Ilustración 13. Clasificación de incendios. Obtenida de:  
<http://www.bomberosvoluntarios.org.py/extintor-avanzado/>*

En una vivienda, el tipo de incendio que encontraré será sobre todo de carácter A y C, por ello el agente extintor tendrá que tener una buena actuación frente a este tipo de fuegos.

Tras investigar los distintos tipos de agentes extintores disponibles en el mercado, he llegado a la conclusión de que el polvo polivalente es el que más se adapta a las necesidades que va a cubrir el robot, puesto que está destinado a extinguir incendios en viviendas y locales. Además presenta un comportamiento bastante bueno para incendios de clase A, B y C.

Elección del agente extintor respecto a la clase de fuego			
TIPO DE EXTINTOR	CLASES DE FUEGO		
	A	B	C
De agua pulverizada	XXX	X	
De agua a chorro	XX		
De espuma	XX	XX	
De polvo convencional		XXX	XX
De polvo polivalente	XX	XX	XX
De polvo especial			X
De anhídrido carbónico	X	XX	
De hidrocarburos halogenados	X	XX	X
Específico para fuego de metales			X

XXX Excelente, XX Bueno, X Aceptable  
Espacios en blanco, No aceptable

*Ilustración 14. Clasificación extintor por clases de fuego. Obtenida de:  
<http://www.prevenciondocente.com/tiposfuego.htm>*

El componente principal del polvo polivalente ABC es el fosfato monoamónico, que viene combinado con Nitrógeno para otorgarle la presión necesaria para que pueda ser expulsado por el extintor y aplicado sobre el incendio, al ser eléctricamente no conductor, puede emplearse también contra fuegos de líquidos inflamables en que también participan fuegos eléctricos bajo tensión.

Una vez seleccionado el material que usará el robot para apagar el fuego, hay que valorar la cantidad que se necesita de este, teniendo en cuenta el tiempo de funcionamiento por un lado, y las dimensiones por el otro.

Debido a que tiene que tener una cierta capacidad de extinción es necesario que el extintor contenga suficiente polvo para que sea efectivo. Por ello, finalmente se han descartado todos los extintores menos los de 25Kg y 50Kg, para tomar la decisión final y elegir el que más se adapta a la aplicación he realizado una tabla comparativa:

*Tabla 1. Comparativa de extintores 25Kg y 50Kg.*

EXTINTORES	25KG	50KG
<b>PRESIÓN SERVICIO</b>	17 BAR	17 BAR
<b>TEMPERATURA UTILIZACIÓN</b>	-20°C a 60°C	-20°C a 60°C
<b>LONGITUD DE DISPARO</b>	8m	9m
<b>TIEMPO DESCARGA</b>	50s	60s
<b>ALTURA EXTINTOR</b>	920mm	1020mm
<b>DIÁMETRO</b>	250mm	300mm
<b>EFICACIA</b>	43A-233B C	89A-610B C

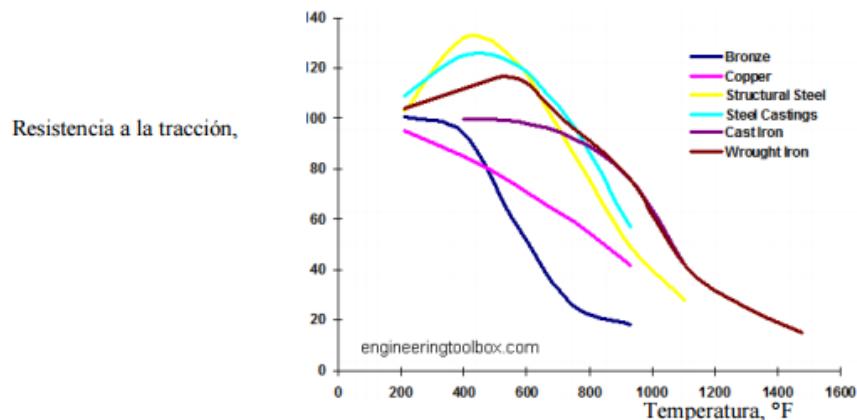
Puesto que el robot va a tener que contener en su interior el extintor, y a su vez va a tener que ser de unas dimensiones que sean asequibles para que favorezcan su desplazamiento por la vivienda, considero que el extintor de **25Kg**, va a ser la mejor opción puesto que respecto a su tamaño es más manejable, y con una longitud de hasta 8 metros de distancia en una vivienda o en un local es más que de sobras, además los tiempos de descarga de uno a otro solo varían en 10 segundos.

### ***Material estructural.***

La estructura del robot debe estar diseñada con un material que sea capaz de soportar altas temperaturas. Las temperaturas que se suelen alcanzar en un incendio ya extendido en una vivienda son de 1200°C. A pesar de este dato, como el robot

llevará a cabo una acción inmediata de extinción sobre el fuego las temperaturas no llegarán a alcanzar estos valores.

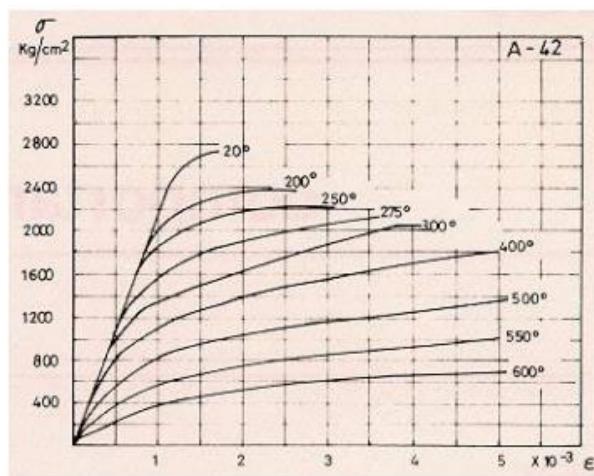
Para seleccionar el material más apropiado, en la siguiente gráfica se puede observar la resistencia a tracción que ofrecen distintos tipos de metales al ir aumentando la temperatura.



*Ilustración 15. Comportamiento de materiales en función de Temperatura. Obtenida de: [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Temperatura\\_5185.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Temperatura_5185.pdf)*

Tras observar las distintas curvas se puede ver que el material que ofrece un mejor comportamiento ante el aumento de temperatura (Entre 200°C y 800°C) es el acero. (Teresita Robert, 2008).

En función de la tensión y temperatura a la que se someta al acero, este sufrirá variación en el límite elástico tal y como se puede observar en la gráfica siguiente.



*Ilustración 16. Variación tensión límite elástico según temperatura. Obtenida de: [http://www.jmcprl.net/NTPs/@Datos/ntp\\_200.htm](http://www.jmcprl.net/NTPs/@Datos/ntp_200.htm)*

(Miño Quintero, 2007)

El acero seleccionado para la estructura del robot es el **F-314**, un acero inoxidable al Cr-Ni (18-8), según la norma UNE. Sus aplicaciones están recomendadas para equipos industriales y aparatos domésticos.

### **Recubrimiento aislante.**

Para ofrecer una mayor resistencia a las altas temperaturas, se aplicará en la superficie exterior del robot un recubrimiento, las distintas opciones más adecuadas existentes en el mercado son:

**Pintura intumescente**, ofrece una protección de entre 30 a 60 min, tiempo más que de sobra para que el robot sea capaz de extinguir el incendio. Este recubrimiento al ser sometido a altas temperaturas sufre una transformación debido a reacciones químicas que genera la expansión de la pintura en forma de una espuma carbonosa aislante que retarda la acción del fuego. (Ingemecánica, s. f.).

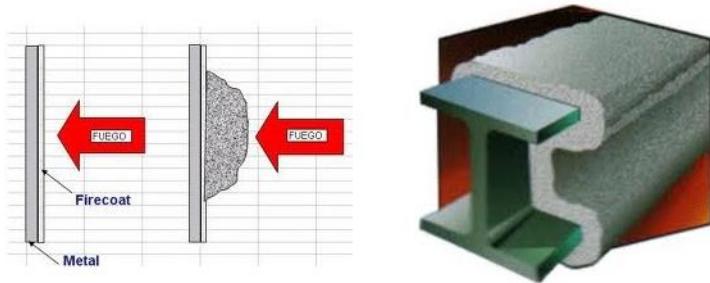


Ilustración 17. Proceso transformación pintura intumescente ante el fuego. Obtenida de: <http://ingemecanica.com/tutorialesemanal/tutorialn107.html>

**Lana de roca.** Se trata de un material de origen mineral, fabricado a partir de roca volcánica (Basalto). Debido a su uso extendido para aislamiento térmico y como protección pasiva contra incendios en viviendas (Es un material ignífugo), podría ser de gran utilidad para aislar el robot y la electrónica interior de las altas temperaturas. Al contener aire seco y estable en su interior, actúa como obstáculo a las transferencias de calor caracterizándose por su baja conductividad térmica. Además, es un material no combustible, siendo Clase A1 según la clasificación europea de reacción al fuego de los materiales de la construcción (Euroclases). Se utiliza como protección pasiva contra el fuego en edificios, pues conserva sus propiedades mecánicas intactas incluso expuesta a temperaturas superiores a 1000°C. («Microsoft Word - P1\_Propiedades aislantes.doc - P1\_portada.pdf», s. f.).

Denominación	Origen	Conductividad (λ) W(m.K)	Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua (μ)	Inflamable <sup>1</sup>	Precio aproximado (€/m <sup>3</sup> )	Formato	Medidas de protección en su instalación	Coste energético de producción MWh <sup>2</sup>	Contenido de producto reciclado (0-1) <sup>3</sup>	Biodegradable <sup>4</sup>
Lana de roca (SW)	Mineral	0,03 - 0,05	1	NO	45	Pan, rollo y a granel	Ojos, sistema respiratorio y piel	15 - 25	1	No



Ilustración 18. *Lana de roca.* Obtenida de: <http://energiasrenovadas.com/lana-de-roca-para-el-aislamiento-de-edificios/>

De nuevo cabe destacar que al tratarse de un robot que atacará la llama en su momento inicial, y al tener una capacidad de aplicación del agente extintor de 50s, no se encontrará en zona de temperaturas elevadas más de lo que le cueste posicionarse y aplicar el agente. Además al disponer de un brazo extensible, el robot se podrá encontrar a una distancia prudencial del fuego que no le influya la temperatura excesivamente.

#### 4.2.2. *Sensores incorporados en el robot.*

En este apartado se tratarán las tecnologías que utilizan los sensores que permitirán al robot conocer su entorno y desplazarse sin problemas.

##### **Sensor ultrasonidos.**

Los ultrasonidos son sonidos a una frecuencia mayor que la máxima audible por el oído humano (40KHz).

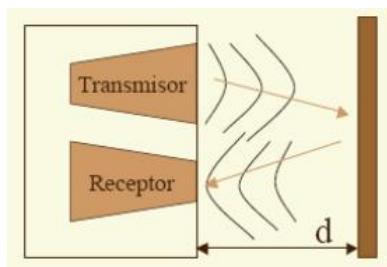


Ilustración 19. *Principio ultrasonidos.* Obtenido de: <http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/Trabajos/DiegoPerezDeDiego.pdf>

El principio básico por el que se rigen los sensores de ultrasonidos a la hora de medir distancias consiste en que el transmisor envía un pulso, el cual rebota contra el obstáculo u objeto que se encuentra enfrente y la reflexión de este pulso es detectada por un receptor. En función del tiempo que tarda el sensor de ultrasonidos en recibir

de vuelta esta señal se calcula la distancia que hay hasta el objeto. La fórmula que utiliza para calcular esta distancia es la siguiente:

$$d = \frac{1}{2}V \cdot t$$

Donde V es la velocidad de propagación del sonido en el aire y t es el tiempo transcurrido entre la emisión y recepción del pulso. Se divide para dos para obtener la distancia que hay desde el emisor hasta el objeto, si no se obtendría la distancia recorrida de ida y vuelta del pulso.

Para diseñar un sistema de medición de distancias por ultrasonidos existen dos formas básicas de configuración, en forma de anillo o tipo sonar (Sensor giratorio).



*Ilustración 20. Configuración anillo sensores ultrasonidos. Obtenido de: <http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/Trabajos/DiegoPerezDeDiego.pdf>*



*Ilustración 21. Configuración tipo sonar sensores ultrasonidos. Obtenido de: <http://www.alcabot.com/alcabot/seminario2006/Trabajos/DiegoPerezDeDiego.pdf>*

A pesar de las ventajas y facilidades que ofrece este sensor para medir distancias, también presenta una serie de inconvenientes.

Al tener forma cónica la onda enviada puede detectar ecos de objetos que se encuentren en la periferia y que pueden no influenciar en la trayectoria del robot.

La cantidad de eco reflejada depende del material y las propiedades de la superficie donde rebotará.

Los factores ambientales pueden afectarle en su funcionamiento.

Su comportamiento puede verse afectado por falsos ecos.

A pesar de estos inconvenientes debido a las ventajas que presenta para medir distancias y que parte de los problemas se pueden solucionar mediante la programación considero que puede ser una buena solución a adoptar para el robot, a su vez por la naturaleza cilíndrica que va a tener para poder contener en su interior el extintor la configuración de los sensores que mejor encajan con la aplicación es la de anillo.

(Santillán Valdiviezo & Núñez Alvarez, 2011)

### ***Sensor infrarrojo.***

La banda que cubre el infrarrojo va desde los 0,75 hasta los 1000um (nanómetros), y podemos diferenciar las siguientes bandas:

- IR cercano: 0.75 a 3um.
- IR medio: 3 a 6um.
- IR lejano: 6 a 15um.
- IR extremo: 15 a 1000um.

La banda que se utiliza para la medición de temperatura va de las 0,7 a 14 micras.

Los sensores de temperatura infrarrojos (IR), denominados también piró-metros de radiación, son dispositivos de no contacto que miden indirectamente la temperatura de cuerpos calientes a partir de la radiación térmica emitida en forma natural por los mismos. Se utilizan en los casos en los cuales resulta imposible o peligroso el uso de un termistor, una termocupla u otro tipo de sensor de contacto. Es el caso, por ejemplo, de procesos industriales donde se manejan temperaturas muy superiores a las del punto de fusión del transductor, de cuerpos calientes muy pequeños, inaccesibles o en movimiento, de atmósferas de alto voltaje o que deben permanecer libres de contaminación, etc.

Los sensores IR están basados en el concepto de que todos los cuerpos, a temperaturas por encima del cero absoluto (-273.5°C), producen radiación térmica en cantidad dependiente de su temperatura y sus propiedades físicas. Esta energía se incrementa a medida que el objeto se torna más caliente. Los cuales miden la energía emitida, reflejada y transmitida. En los sensores IR prácticos la energía emitida, que es la que indica realmente la temperatura de un objeto, se captura mediante un detector apropiado, precedido de un sistema óptico, se amplifica y procesa mediante circuitos electrónicos.

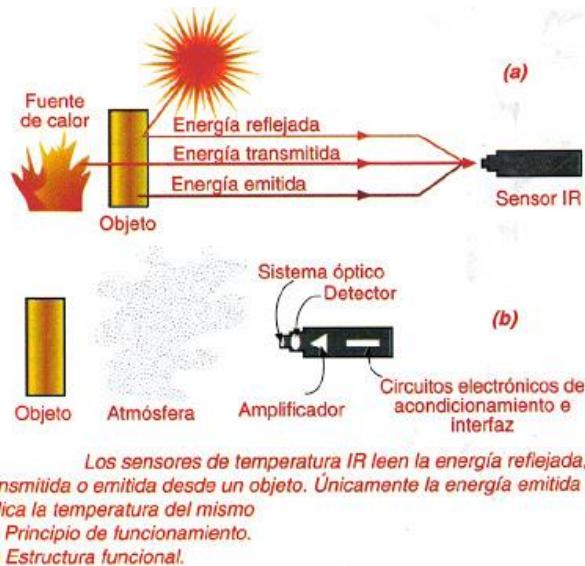


Ilustración 22. Sensor infrarrojo. Obtenido de:  
<http://snsoresdetemperatura.blogspot.com.es/>

La función de la óptica es concentrar la energía y limitar la influencia de la radiación proveniente de otras fuentes distintas del objeto bajo medida. Esta es la parte más crítica del sistema y la que determina el campo de vista (FOV) de la unidad. El detector, por su parte, se encarga de convertir la energía IR a una variable eléctrica medible, es decir un voltaje, una corriente o una resistencia equivalente. Incluye típicamente un filtro espectral para limitar la energía a una banda estrecha. El amplificador debe resolver y amplificar las débiles señales de salida enviadas por el detector, las cuales pueden ser, por ejemplo, del orden de 1 mV/°C. Una vez obtenida una señal estable y manejable, la misma debe ser linealizada, es decir convertida en una función lineal de la temperatura y representada como una corriente de 4-20 mA, un voltaje de 0-5 V, una señal digital, etc.

Actualmente se dispone también de sensores de temperatura IR inteligentes, los cuales pueden ser programados para comunicarse entre sí y con ordenadores. De este modo se facilita el direccionamiento, la configuración y la actualización.

(«Sensores de temperatura», s. f.)

### **Cámara CCD.**

Se trata de un dispositivo de carga acoplada (Charge- Coupled Device CCD), y consiste en un circuito integrado compuesto por un número determinado de condensadores enlazados o acoplados. Es uno de los elementos principales de las cámaras fotográficas y actúa en estas como el sensor con diminutas células

fotoeléctricas que registra la imagen. Desde este sensor la imagen es procesada por la cámara y registrada en la tarjeta de memoria.

La resolución de la imagen obtenida depende del número de células fotoeléctricas del CCD que está instalado en la cámara, esto medida se expresa en píxeles. Ante un mismo tamaño de imagen a mayor número de píxeles mayor nitidez se obtendrá.

Los píxeles del CCD registran gradaciones de los tres colores básicos: rojo, verde y azul (RGB: Red, Green & Blue), por lo cual tres píxeles, uno para cada color, forman un conjunto de células fotoeléctricas capaces de captar cualquier color en la imagen. («Dispositivo de carga acoplada - Wikipedia, la enciclopedia libre», 2015).

Para poder evaluar el punto más caliente de la llama, una vez que el robot se encuentre en la habitación necesitará servirse de un dispositivo que le permita adquirir los datos. Por ello, llevará incorporado en el extremo del brazo una cámara CCD. Dentro de éstas cámaras existen distintas tipologías como: cámaras ultravioleta, de infrarrojos o termográficas...

**Camera CCD ultravioleta.** Las cámaras ultravioleta han sido optimizadas para capturar luz del espectro ultravioleta. Esto es llevado a cabo mediante el empleo de un filtro de paso UV, que solo deja pasar la luz por debajo del espectro visible (Longitudes de onda inferiores a 400nm). La luz UV-A, también llamada cercana a ultravioleta, tiene una longitud de onda entre 320-400nm. Las longitudes de onda UV permite aparecer las superficies con gran claridad, a menudo permiten ver datos de otra forma invisibles.

Operan de forma similar a las cámaras CCD, con la única diferencia de que graban en luz UV-A. Los sensores de las CCD son capaces de grabar luz UV. La luz UV-B es absorbida por la mayoría de materiales de lentes, y la luz UV-C es absorbida por el oxígeno. Los materiales empleados para fabricar estas lentes suelen ser cuarzo y fluoruro de cuarzo. Su precio suele ser bastante elevado, por ello me decanto por la cámara termográfica o de infrarrojos. (Globalspec, s. f.)

**Cámara Termográfica.** Permite obtener imágenes de una habitación con una particularidad, en función a una gama cromática se obtiene la temperatura existente en ésta. A partir de las emisiones de infrarrojos medios del espectro electromagnético de los cuerpos detectados, forma imágenes luminosas visibles por el ojo humano.

Estas cámaras operan, más concretamente, con longitudes de onda en la zona del infrarrojo térmico, que se considera entre 3  $\mu\text{m}$  y 14  $\mu\text{m}$ . Los filtros infrarrojos tienen como misión excluir la radiación ultravioleta y la totalidad o gran parte del

espectro visible, dejando pasar a través del objetivo de la cámara solamente el espectro infrarrojo.

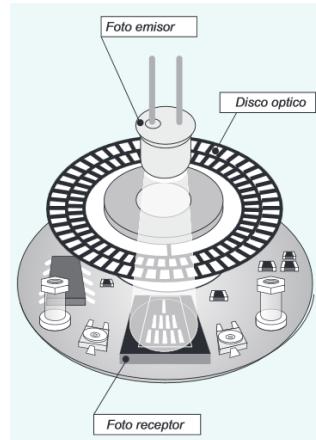
Para reconocer la temperatura dentro de la habitación he seleccionado una cámara del fabricante FLIR, modelo A15sc. Me ha parecido apropiada porque su rango de medida de temperaturas es de -40º a 500ºC, la imagen infrarroja que obtiene es de resolución 160x128 píxeles y además tiene conexión mediante Ethernet, lo que permitirá el envío de las imágenes al procesador para que las interprete y ordene al robot moverse en función de estas. Además sus dimensiones reducidas (106 x 40 x 43 mm) facilitarán el montaje de la cámara en el brazo del robot. Más información sobre las características técnicas de la cámara en el anexo.



Ilustración 23. Cámara IR Flir. Obtenida de: [www.flir.es](http://www.flir.es)

### ***Encoder incremental.***

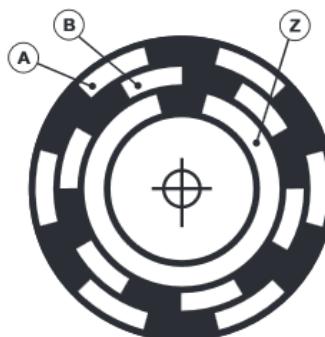
El encoder es un transductor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie de impulsos digitales. Estos impulsos generados pueden ser utilizados para controlar los desplazamientos de tipo angular o de tipo lineal, si se asocian a cremalleras o a husillos. Las señales eléctricas de rotación pueden ser elaboradas mediante controles numéricos (CNC), contadores lógicos programables (PLC), sistemas de control etc. En este caso el Encoder va a servir como un sistema de medición y control de la posición y velocidad del robot. En los encoders, la detección del movimiento angular se ejecuta en base al principio de exploración fotoeléctrica. El sistema de lectura se basa en la rotación de un disco graduado con un conjunto radial formado por líneas opacas, alternadas con espacios transparentes. Este conjunto está iluminado de modo perpendicular por una fuente de rayos infrarrojos. El disco proyecta de este modo su imagen sobre la superficie de varios receptores oportunamente enmascarados por otro disco que tiene el mismo paso del anterior llamado colimador. Los receptores tienen la tarea de detectar las variaciones de luz que se producen con el desplazamiento del disco convirtiéndolas en las correspondientes variaciones eléctricas.



*Ilustración 24. Funcionamiento Encoder. Obtenida de:  
<http://facultad.bayamon.inter.edu/arincon/encoderincrementales.pdf>*

La señal eléctrica detectada, para generar impulsos correctamente coordinados y sin interferencias, debe ser procesada eléctricamente. Para incrementar la calidad y estabilidad de las señales, el sistema de lectura se efectúa generalmente de manera diferencial, comparando dos señales casi idénticas, pero desfasadas en 180º eléctricos. Su lectura se efectúa en base a la diferencia de las dos señales, eliminando de este modo las interferencias definidas "de modo común" porque están superpuestas de igual manera en toda forma de onda.

El encoder incremental proporciona normalmente dos formas de ondas cuadradas y desfasadas entre sí en 90º eléctricos, los cuales por lo general son "canal A" y "canal B". Con la lectura de un solo canal se dispone de la información correspondiente a la velocidad de rotación mientras que si se capta también la señal "B" es posible discriminar el sentido de rotación en base a la secuencia de datos que producen ambas señales. Está disponible además otra señal llamado canal Z o Cero, que proporciona la posición absoluta de cero del eje del encoder. Esta señal se presenta bajo la forma de impulso cuadrado con fase y amplitud centrada en el canal A.



*Ilustración 25. Canales de un Encoder. Obtenida de:  
<http://facultad.bayamon.inter.edu/arincon/encoderincrementales.pdf>*

La precisión de un encoder incremental depende de factores mecánicos y eléctricos tales como: el error de división del retículo, la excentricidad del disco, la de los rodamientos, el error introducido por la electrónica de lectura, imprecisiones de tipo óptico. La unidad de medida para definir la precisión de un encoder es el grado eléctrico, Éste determina la división de un impulso generado por el encoder: en efecto, los 360° eléctricos corresponden a la rotación mecánica del eje, necesaria para hacer que se realice un ciclo o impulso completo de la señal de salida. Para saber a cuantos grados mecánicos corresponden 360 grados eléctricos es suficiente aplicar la fórmula siguiente:

$$360^{\circ} \text{ Eléctricos} = \frac{360^{\circ} \text{ Mecánicos}}{N^{\circ} \text{ impulsos/giro}}$$

El error de división en un encoder, está dado por el máximo desplazamiento expresado en grados eléctricos, de dos frentes de onda consecutivos. Este error existe en cualquier encoder y se debe a los factores antes citados. Dicho error suele estar incluido entre  $+25^{\circ}$  eléctricos máximo, en cualquier condición ambiental declarada, que corresponden, en porcentaje, a un desplazamiento de  $\pm 7\%$  del valor nominal. Por lo que se refiere al desfase entre dos canales, nominalmente de  $90^{\circ}$  eléctricos, éste se aleja en  $+35^{\circ}$  eléctricos máximo que corresponden aproximadamente al  $\pm 10\%$ .

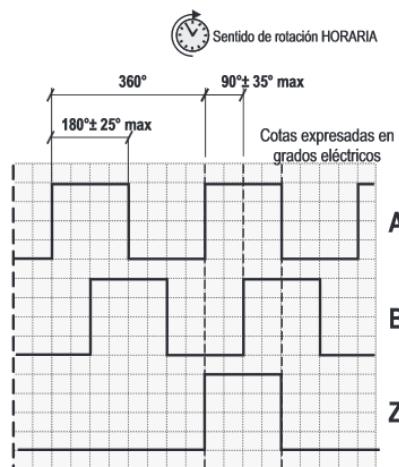


Ilustración 26. Representación gráfica de las señales incrementales A, B y Z. Obtenida de: <http://facultad.bayamon.inter.edu/arincon/encoderincrementales.pdf>

Información obtenida del documento comercial de la empresa ELTRA. (ELTRA, s. f.).

## SUMINISTRO DE ENERGÍA:

La alimentación eléctrica en cualquier tipo de robot es de vital importancia, ya que, influye en muchos aspectos de su funcionamiento, como puede ser en la potencia que pueden desarrollar los motores, la autonomía del robot, el peso que debe soportar, etc.

La batería de cualquier robot se define como un elemento eléctrico capaz de transformar la energía química de las reacciones de sus componentes en energía eléctrica y viceversa (proceso electroquímico), pudiéndola usar para mover motores o producir movimientos.

### **Tipos de Batería:**

En el mercado podemos encontrar distintos tipos de batería, entre los que se encuentran:

#### **Baterías de Níquel-Cadmio (Ni-Cd):**

Una batería recargable de Ni-CD (o NiCd) está formada por una placa positiva de hidróxido de níquel y una placa negativa de hidróxido de cadmio. Ambas placas están separadas por un electrolito, compuesto por una solución acuosa de potasio cáustico, contenida dentro de un tejido poroso. Pueden sufrir dos efectos:



Ilustración 27. Bat. Ni-Cd.

Obtenida de: [http://robots-argentina.com.ar/Energia\\_baterias.htm](http://robots-argentina.com.ar/Energia_baterias.htm)

- **Efecto inversión de polaridad:** No deben ser descargadas por debajo de su tensión mínima, (1,1 V por elemento), ya que se puede producir una inversión de polaridad en uno o varios de sus elementos causando un daño casi siempre irreversible en el interior de los elementos.
- **Efecto memoria:** Se producen unos cristales en el interior, a causa de una reacción química como consecuencia de sobrecargas repetidas y/o descargas parciales. El fenómeno reduce la capacidad de las baterías con cargas incompletas. Para prevenirlo basta con que cada cierto período de tiempo se haga una carga completa.

Las baterías que tienen efecto memoria son las de Ni-Cd y las de Ni/MH y las que no las de plomo y ácido (las de los coches) y las baterías de iones de litio.

#### **Baterías de Ni-Cd frente a Ni/MH:**

Las principales ventajas que presentan las baterías de Ni/MH son:

- Las baterías de Ni/MH tienen una mayor densidad de carga (capacidad/peso superior, aproximadamente 40%-70% más capacidad); no contienen cadmio (tóxico) y aparentemente no tienen efectos de pérdida de capacidad por mal uso o de formación de dendritas (que se forman en las baterías de Ni-Cd al producirse la inversión de la polaridad de la celda).
- Las baterías de Ni/MH son más respetuosas con el medio ambiente además tienen una resistencia interna superior que limita su uso en aplicaciones de alta potencia.
- Las Ni/MH no admiten una carga tan rápida como las de Ni-Cd, bajo riesgo de deteriorarlas. Son sensibles al calor dado que con un sobrecalentamiento puede producir gases internos y sobrepresiones dejando pasar escapes de electrolito y pérdidas de estanqueidad, reduciendo la vida útil de las celdas. (Eduardo J. Carletti ,2007)
- También más difícil de detectar el estado de carga total en las Ni/MH, por lo que se recomienda el uso de cargadores que especifiquen su aptitud para cargar baterías de Ni/MH, evitando así sobrecalentamientos indeseados. (Eduardo J. Carletti ,2007)
- En estas baterías de Ni-Cd la cantidad de ciclos de carga y descarga oscila entre los 1.000 y 1.500, contra 500 en las de Ni/MH.



Ilustración 28. Bat. Ni-MH.  
Obtenida de: [http://robots-argentina.com.ar/Energia\\_baterias.htm](http://robots-argentina.com.ar/Energia_baterias.htm)

### Batería de iones de litio (Li-Ion):

Las baterías Li-Ion poseen una elevada densidad de energía. Por esta razón tienen menor peso en relación a baterías de otro tipo de la misma capacidad. Se presentan en placas rectangulares, de poco espesor, de menos de 0,5 cm, los que las hace especialmente interesantes para integrarlas en dispositivos portátiles con poco espacio.



Ilustración 29. Bat. Li-Ion.  
Obtenida de: [http://robots-argentina.com.ar/Energia\\_baterias.htm](http://robots-argentina.com.ar/Energia_baterias.htm)

Presentan un alto voltaje por celda (cada unidad proporciona 3,6 voltios). Carecen de efecto memoria. Su descarga es lineal, es decir, que durante toda la descarga el voltaje de la batería

apenas varía, lo que evita la necesidad de circuitos reguladores. (Se debe tener en cuenta que esto puede ser una desventaja en algunos casos, ya que hace difícil averiguar el estado de carga de la batería.)

Tienen una baja tasa de autodescarga. Cuando guardamos una batería, ésta se descarga progresivamente aunque no se la use. En el caso de las baterías de Ni/Mh, esta autodescarga puede ser de un 20% mensual. En el caso de Li-Ion es de sólo un 6% ( $\pm 0.01\%$  diario)

Es recomendable que estas baterías se mantengan en un sitio fresco ( $15^\circ\text{ C}$ ) y evitar el calor. No se deben descargar del todo habitualmente. Es mejor no cargarlas cuando tienen más de un 50% de carga (según el cargador que tengamos). Cuando se vayan a almacenar mucho tiempo, se recomienda dejarlas con una carga intermedia. Si el aparato que utiliza estas baterías se puede usar enchufado a la red, y mientras funciona así carga las baterías, se debe evitar que este proceso continúe cuando la batería ya está con la carga completa, porque esa situación disminuye su capacidad. Es preciso cargarlas con un cargador específico para esta tecnología. Usar un cargador inadecuado daña la batería y puede hacer que se incendie.

Las desventajas de estas baterías de litio son: Independientemente del uso, sólo tienen una vida útil de 3 años. Se pueden cargar entre 300 y 600 veces, menos que una batería de Ni-Cd o Ni/MH. Son más caras, pero el precio se ha ido acercando rápidamente al de las otras tecnologías. Están fabricadas con materiales inflamables (pueden explotar o incendiarse). Necesitan de un sistema electrónico para controlar en todo momento la batería y evitar los inconvenientes citados. Rendimiento muy inferior a las demás baterías de Ni-Cd o Ni/MH en bajas temperaturas, reduciéndose su duración hasta a un 25%. (Eduardo J. Carletti, 2007)

### **Factores para elegir una batería:**

Los factores que influyen en la elección de una batería son los siguientes:

#### **La tensión nominal:**

- Pilas alcalinas y demás: 1.5V nominales por elemento.
- Baterías de níquel cadmio (Ni-Cd): 1.2V. Descarga 1.1V y carga 1.4V nominales por elemento.
- Baterías níquel metal hidruro (Ni-MH): 1.2V. Descarga 1.1V y carga 1.4V nominales por elemento.
- Baterías de polímeros de litio (Li-Po): 3.7V. Descarga 3.2V y carga 4.2V nominales por elemento.

- Baterías de Litio Hierro (LiFe-Po): 3.2V. Descarga 3V y carga 3.6V nominales por elemento.

### **Capacidad de la batería:**

Está directamente relacionada con las horas que va a durar la batería antes de que se tenga que volver a cargar. Aunque tampoco es muy decisivo, ya que los movimientos que tendrá que realizar el robot durarán unos pocos minutos.

La capacidad de una batería se expresa en mAh (una batería de 1000mAh, podrá proporcionar una intensidad de 1000mA durante una hora antes de agotarse).

Por tanto queda claro que la duración de una batería depende de dos cosas:

- La capacidad de la batería (expresada en mAh).
- El consumo del circuito que alimenta la batería.

Siendo la expresión matemática que lo calcula:

$$\text{Duración de la batería} = \frac{\text{Capacidad de la batería (mAh)}}{\text{Consumo del circuito (mA)}}$$

### **Tasa de descarga:**

Si se conecta la batería de 1000mAh a un circuito que consuma 1000mA, tardará una hora es descargarse, y si el consumo es de 2000mA, tardará media hora. Sin embargo existe un límite máximo de corriente C, también llamado tasa de descarga que se puede entregar sin sufrir daños. *EJEMPLO:* Si la batería es de 5C, será capaz de entregar hasta 5000mA, es decir, 5A, aunque si esto sucediera duraría tan sólo 12 minutos.

No todos los tipos de baterías admiten valores altos de C. Por ejemplo, las batería de níquel cadmio únicamente admiten valores de 1C. Sin embargo, existen baterías de polímeros de litio con valores muy altos de C, como 10C, 20C o hasta 50C.

### **Peso:**

La relación entre tamaño, peso e intensidad influye en los Amperios/hora.

### **Ventajas e inconvenientes de cada tipo:**

- Pilas alcalinas: Se desechan tras su utilización. Se utilizan en dispositivos de bajo consumo. Necesitan porta pilas al no poder ser soldadas sin dañarlas.
- Baterías níquel cadmio (Ni-Cd): Tienen el efecto memoria ya nombrado. Este efecto es relativamente rápido. Se destruyen fácilmente con largos almacenamientos. Se pueden unir elementos entre sí mediante soldadura. Se prohibió su uso en 2008 por su poder contaminante.



*Ilustración 30. Batería Ni-Cd de 6 elementos (7.2V) y 400mAh. Obtenida de: <http://roboticasunyer.blogspot.com.es/>*

- Baterías metal hidruro (Ni-MH): Mucho menos efecto memoria que las de Ni-Cd, que se soluciona mediante dos o tres ciclos de descarga y carga si la batería es nueva y su tensión no ha bajado de 0,9 V. (descarga profunda). Auto descarga del 15% al 20% mensual, mayor que las de Ni-Cd. Las baterías Ni-MH doblan el tiempo de uso a las Ni-Cd con el mismo tamaño. Más sensibles que las Ni-Cd al calor. Alta corriente de carga y descarga.



*Ilustración 31. Batería Ni-MH de 3 (3.6V) elementos y 800 mAh. Obtenida de: <http://roboticasunyer.blogspot.com.es/>*

- Baterías Li-Po: No tienen efecto memoria. Pegan del 20% al 35% menos que las de Ni-MH o de Ni-Cd. No tienen efecto auto descarga. El almacenamiento puede ser prolongado siempre que se mantengan a una tensión del 75% de la nominal. Se estropean si bajan de 3 V. Altas corrientes de carga (2... 5 C) y descarga (20... 50C) suelen de explotar si se les exige por encima de sus posibilidades.

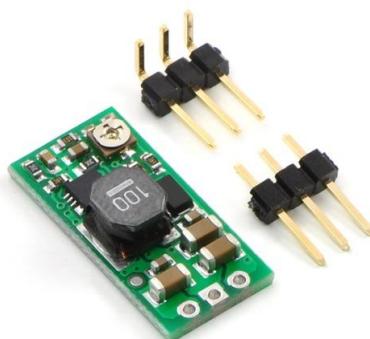


Ilustración 32. Batería Li-Po de 1 elemento (3.7V), 150mAh y 20C. Obtenida de: <http://roboticasunyer.blogspot.com.es/>



Ilustración 33. Batería Li-Po de 3 elementos (11.1V), 2100mAh y 20C. Obtenida de: <http://roboticasunyer.blogspot.com.es/>

- Las baterías Li-Po aparte del conector clásico con cables rojo y negro, que es el de alimentación, llevan otro conector con más cables. Este es el conector de balanceo o equilibrado, y se utiliza para equilibrar la tensión de los diferentes elementos que componen la batería, ya que para que funcione correctamente y no sufra daños la diferencia de tensión entre los elementos de la batería debe ser inferior a 0.1V.
- Baterías LiFe-Po: Mejoran las cualidades de las de Li-Po: más corriente de carga y descarga, etc. Como inconveniente, el aumento de peso respecto de las de Li-Po y su menor tensión nominal.
- Si lo que se quiere es reducir todavía más el peso del robot, se puede utilizar una batería Li-Po de un elemento (1S). El problema es que solo proporciona una tensión de 3.7V, insuficiente tanto para los motores como para la electrónica. Esto se puede solucionar añadiendo un multiplicador de tensión, que aumenta la tensión entregada por la batería hasta el valor que se desee.



*Ilustración 34. Multiplicador de tensión de 2.5V a 9.5V de Pololu. Obtenida de: <http://roboticasunyer.blogspot.com.es/>*

En el proyecto aún no se sabe con certeza qué tipo de batería sería la adecuada para el robot. Pero se podría utilizar una batería de tipo hidruro metálico (Ni-MH) ya que no tienen efecto memoria aunque tengan un porcentaje de autodescarga, o una tipo Li-Po ya que no tienen efecto memoria ni autodescarga pero pueden explotar si se les exige más de sus posibilidades. (Luis Suñer de Alzira, 2013).

#### *4.2.3. Sensores de la vivienda y redes.*

En esta última parte que compone el marco teórico se tratarán las tecnologías existentes para localizar incendios en viviendas (Sensores de humo y fuego), así como, las redes mediante las cuales se realizan estas conexiones. A través de estos aparatos que irán conectados en red, la señal será enviada al robot y este será capaz de acudir a la habitación de la vivienda donde se esté produciendo el incendio, de la cual procederá la señal.

##### ***Detector de incendios.***

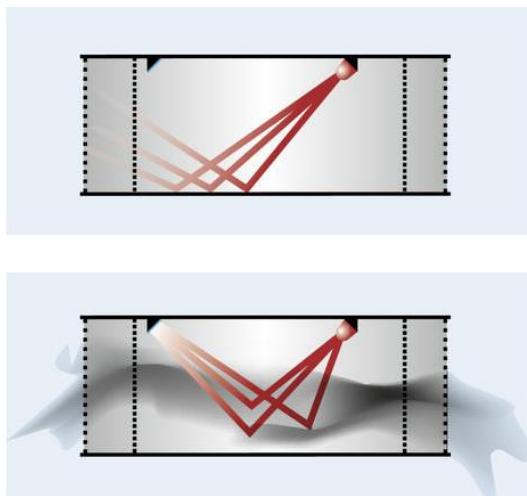
Los detectores de incendios se clasifican en función de los principio de activación y cada tipo de detector es el más adecuado para una etapa de desarrollo del fuego en particular. Éstos se pueden clasificar en tres tipos:

**Detector de humo.** Estos elementos detectan el fuego en las primeras etapas y existen dos principios de activación fundamentales.

De tipo cámara de Ionización. Éstos son detectores especialmente sensibles pero actualmente están en desuso.

De Tipo Óptico. Se trata de detectores normalmente basado en células fotoeléctricas que al oscurecerse por el humo o iluminarse por reflexión de luz en las partículas del humo, se activan originándose una señal eléctrica.

La tecnología que emplean está basada en un procesado mediante dos sensores. El funcionamiento es el siguiente:



*Ilustración 35. Funcionamiento detector humos. Obtenida de: [www.jung.de](http://www.jung.de)*

En el interior del detector de humo se encuentra la cámara de medición de humo. Ahí, un diodo de infrarrojos emite señales luminosas constantemente que no entran en contacto con la célula fotosensible hasta que penetran partículas de humo en la cámara.

Si se dispersan partículas de humo por la cámara de medición en caso de incendio, estas partículas reflejan la luz del diodo de infrarrojos y los impulsos luminosos chocan contra el elemento de alta sensibilidad. La electrónica posterior evalúa este efecto como

un peligro de incendio y el detector de humo dispara una alarma inmediatamente.  
(JUNG, s. f.)

Incluidos en este grupo podemos reconocer diferentes tipos:

- Detectores puntuales.
- Detectores lineales de haz o barreras lineales. Son sensibles al valor medio de la densidad a lo largo del haz. Son adecuados cuando el humo puede haberse dispersado por una gran superficie o cuando la altura del techo es superior a 12 m.
- Detectores de humo por aspiración. Los sistemas de detección por aspiración consisten en una red de tuberías que toman muestras del aire de la zona protegida por unos orificios y la transportan a un sensor alojado en una caja. Este sistema de detección es apto para equipos electrónicos y para ambientes con alto grado de humedad.



*Ilustración 36. Detector lineal de haz & Detector por aspiración. Obtenida de: <http://www.prefire.es/proteccion-contra-incendios/deteccion-incendio-gases-4.php>*

**Detector de calor.** Son los menos sensibles (última etapa del desarrollo del fuego) aunque generalmente tienen una mayor resistencia a condiciones medioambientales. Se clasifican en:

- Detectores térmicos. Se activan al alcanzarse una determinada temperatura fija en el ambiente.
- Detectores termo-velocimétricos. Se activan cuando se detecta la temperatura ambiente se incrementa rápidamente. Estos sensores son más adecuados cuando la temperatura ambiente es baja o varía lentamente en condiciones normales.
- Cable sensor de temperatura. El cable sensor se basa en un sistema de detección lineal de calor de respuesta rápida, capaz de detectar el calor en toda la longitud de un cable sensor de fibra óptica.

**Detector de llama.** Este tipo de detector se basa en la detección de la radiación procedente del incendio. Pueden detectar radiación ultravioleta, radiación infrarroja o una combinación de ambas. Son adecuados para la vigilancia de zonas exteriores de almacenamiento, o para zonas desde se puede propagar con gran rapidez un incendio con llamas. Son capaces de responder a incendios con llama con mayor rapidez que los detectores de humo pero su incapacidad para detectar incendios sin llama, hace que no se consideren detectores para uso general. (Prefire, s. f.)

Como interesa detectar el incendio en el momento inicial, el detector de humo es el más adecuado puesto que está diseñado para detectar el fuego en las primeras etapas.

El detector seleccionado para ser instalado en la vivienda es del fabricante System Sensor, es el modelo "Advanced Multi-Criteria Fire/CO Detector" y es capaz detectar fuegos así como índices de monóxido de carbono. La información sobre este detector se encuentra en los anexos.

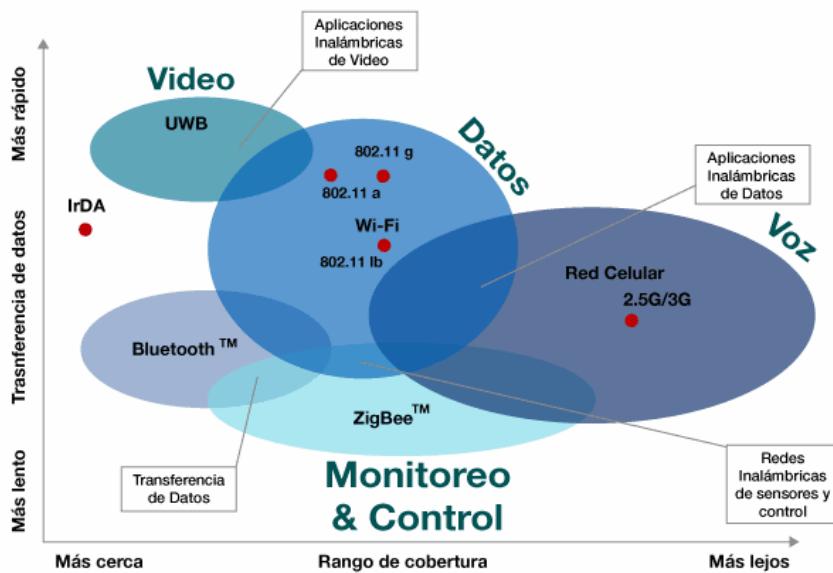
En caso de existir ya una instalación previa de sensores de fuego en la vivienda habría que comprobar si existe compatibilidad con el sistema para que pueda enviar cada sensor la señal al robot.

### **Red Zigbee.**

Se trata de un protocolo de comunicaciones inalámbricas diseñado por un grupo de empresas (Zigbee Alliance), basado en el estándar 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal.

Es un sistema ideal para redes domóticas, específicamente diseñado para reemplazar la proliferación de sensores/actuadores individuales. ZigBee fue creado para cubrir la necesidad del mercado de un sistema a bajo coste, un estándar para redes Wireless de pequeños paquetes de información, bajo consumo, seguro y fiable.

En comparación a otras tecnologías similares, que pueden ser utilizadas en el mismo entorno, en el siguiente gráfico podemos observar la relación de transferencia de datos y el rango de cobertura. Tal y como se puede ver, no posee una gran tasa de transferencia pero la cobertura es superior a la que puede ofrecer el Wifi, como el sistema no se caracteriza por un envío de gran cantidades de datos, podría ajustarse perfectamente a la aplicación.



*Ilustración 37. Relación Zigbee entre tasa de transferencia y rango de cobertura.  
Obtenida de: <http://sx-de-tx.wikispaces.com/ZIGBEE>*

Algunas de las propiedades que presenta esta tecnología son:

- Su velocidad de transmisión es de 25-250kps.
- Tiene un rango de cobertura de 10 a 75 metros.

- A pesar de coexistir en la misma frecuencia con otro tipo de redes como Wifi o Bluetooth su funcionamiento no se ve afectado, debido a su baja tasa de transmisión y a las características del estándar IEEE 802.15.4.
- Opera en las bandas libres ISM de 2.4GHz, 868MHz en Europa y 915MHz en Estados Unidos.
- Utiliza un protocolo asíncrono, half dúplex y estandarizado, lo que permite a productos de distintos fabricantes trabajar juntos.
- Es un protocolo seguro ya que se pueden implementar encriptación y autenticación.

Para poder aplicar esta tecnología se sirve de los siguientes dispositivos:

- Coordinador ZigBee (ZC): Es el dispositivo más completo e importante. Su función es almacenar información sobre la red y actuar como su centro de confianza a en la distribución de claves de cifrado. Puede actuar como director de una red en árbol así como servir de enlace a otras redes. Debe existir uno por cada red.
- Router ZigBee (ZR): Actúa como router interconectando dispositivos separados en la red y limitados debido a su rango.
- Dispositivo final (ZED): puede comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías. Un ZED tiene requerimientos mínimos de memoria y es por tanto significativamente más barato.

Puede ser instalado siguiendo distintos topologías de configuración: En estrella, en árbol o desordenado. En todas estas topologías interactúan los tres componentes nombrados anteriormente: El coordinador (ZC), el router (ZR) y el dispositivo final (ZED). (Ignacio Vidri Salgado, 2011)

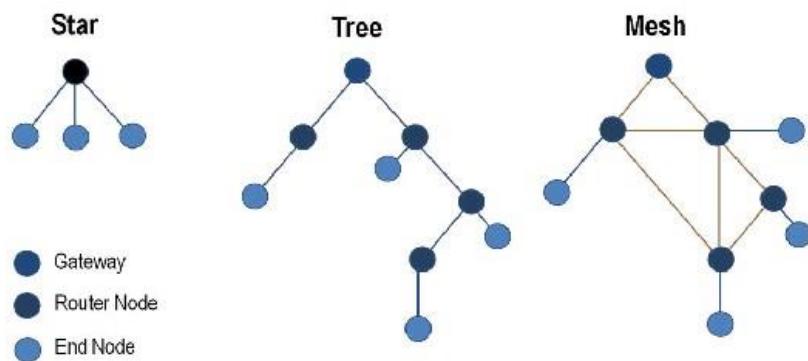


Ilustración 38. Topologías de redes ZigBee. Obtenida de: <http://sx-de-tx.wikispaces.com/ZIGBEE>

Debido a que fue concebido como un medio de transmisión de señales en aplicaciones domóticas, y su disponibilidad en varios formatos comerciales, así como su versatilidad para funcionar con distintos tipos de aparatos procedentes de diferentes fabricantes considero que es la red que más se aadecua para este proyecto.



Ilustración 39. Módulo ZigBee S2. Obtenida de: <http://www.blogelectronica.com/zigbee-maxstream-modulos-practica-2/>

### **Red domótica basada en un autómata.**

Otro tipo de conexiónado que se suele realizar en instalaciones domóticas es mediante la utilización de un autómata, en el cual entran sensores y mediante actuadores realiza las funciones requeridas.

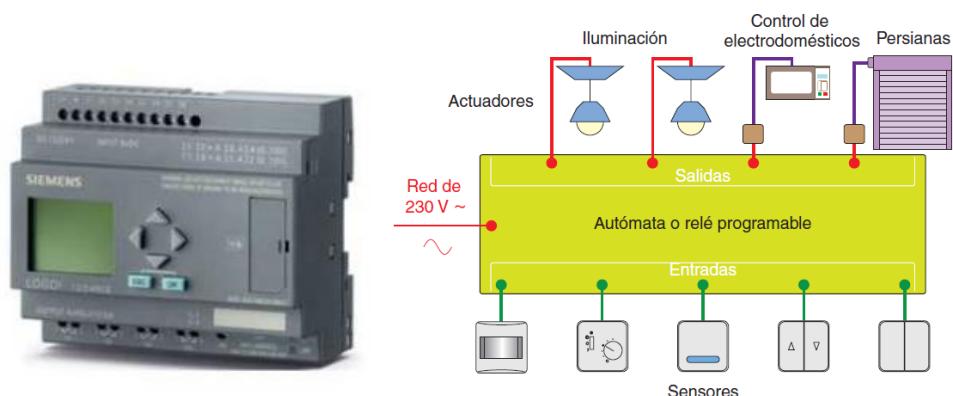


Ilustración 40. Autómata para domótica LOGO 0BA7. Obtenidas de: [http://biblioteca.unirioja.es/tfe\\_e/R000001357.pdf](http://biblioteca.unirioja.es/tfe_e/R000001357.pdf)

A pesar de ser una muy buena opción para la automatización de una casa considero que en este caso podría ser más costosa, puesto que a diferencia de la red ZigBee, en este caso hay que realizar un cableado en toda la vivienda de los distintos sensores y actuadores, frente a la transmisión inalámbrica de datos que se puede llevar a cabo con el otro tipo de tecnología. En caso de que la vivienda u oficina ya contara con una instalación domótica previa sí que merecería la pena utilizar esta y no habría problema en implementarla. Pero en un principio, como una de las ventajas frente a sistemas tradicionales de extinción de incendios (Como pueden ser aspersores en el techo) es la facilidad de instalación y el evitar obras, si el sistema se implementará en un lugar sin instalaciones domóticas la mejor elección es el ZigBee. (María Fernández Gómez, 2011).

## 5. DESARROLLO

Tras haber recopilado toda la información necesaria para el diseño del robot, en este apartado se procederá a explicar el diseño mecánico, el diseño electrónico y la programación del robot.

### 5.1. DISEÑO MECÁNICO

A la hora de diseñar la estructura del robot y la mecánica por la cual va a funcionar ha habido que tener en cuenta una serie de factores que han condicionado el diseño final:

- El tamaño del extintor que lleva el robot en su interior es un importante condicionante en cuanto a las dimensiones finales del robot. En el marco teórico ha quedado justificada la elección de un extintor de 25Kg.
- Al ser un robot destinado para extinguir incendios en vivienda, otro factor que limitará su tamaño es la anchura de las puertas de una casa, que es mínimo de 0,72m, esta no podrá ser superada, puesto que si fuera así, no podría moverse de una habitación a otra.
- La forma del robot tendrá que favorecer la tarea de esquivar obstáculos que se pueda encontrar en el camino, por ello considero que una forma cilíndrica puede ser la más adecuada.

El diseño se puede dividir en cuatro bloques principales: el diseño del cuerpo del robot, el diseño del brazo que enfocará hacia la llama, cálculo del modelo cinemático directo e inverso y el cálculo de las potencias y par necesarios para los motores, tanto de las ruedas como de los brazos.

#### 5.1.1. Cuerpo del Robot.

Debido a los factores anteriormente mencionados, la forma definitiva del cuerpo del robot es cilíndrica y está compuesta por una base, el tronco del robot y el casco.

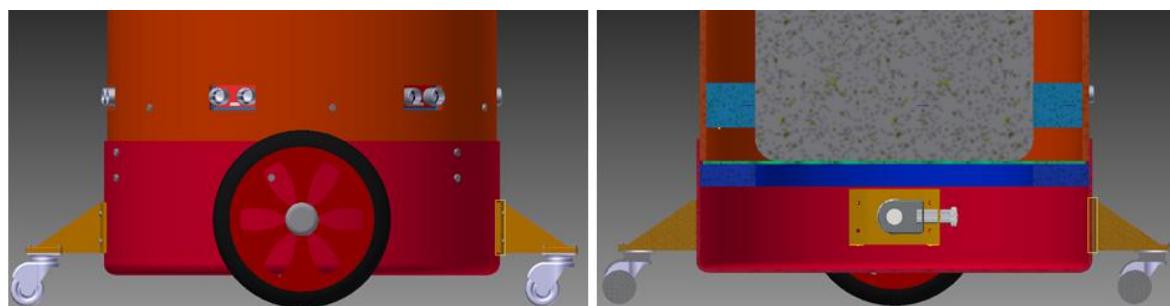
En la base hay espacio suficiente para alojar los motores de las ruedas, la batería del robot, así como toda la electrónica destinada al control de los movimientos de este.

Como se puede observar en la ilustración 47, el robot es de gran altura, debido al



Ilustración 41. Robot Extintor 3D.  
Elaboración propia.

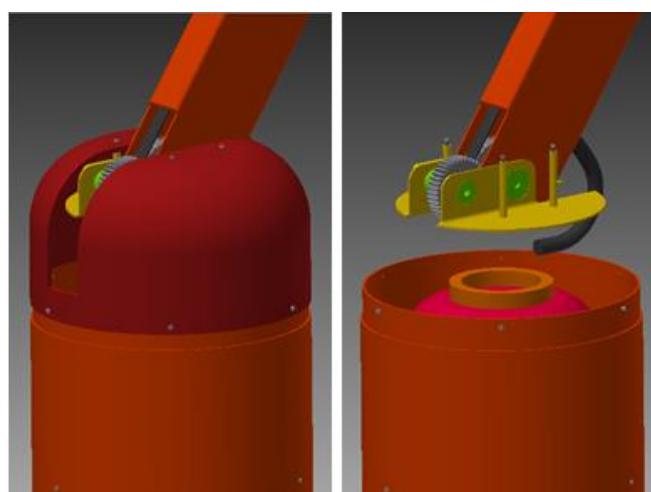
extintor que lleva en su interior, para evitar que este pueda volcar y otorgarle mayor estabilidad al robot, además de las ruedas impulsadas por los motores DC, se han incorporado dos ruedas locas.



*Ilustración 42. Base del Robot. Elaboración propia.*

En la ilustración de la izquierda se puede observar la batería de extintores dispuestos para la detección de obstáculos durante la navegación, mientras que en la ilustración derecha, se puede ver la base del robot cortada por la mitad, pudiéndose observar el espacio dejado para la electrónica y los motores (Parte roja), así como, el soporte del extintor compuesto por las piezas azul y verde, yendo la azul atornillada a la base. Respecto a la pieza azul más clara, realiza dos funciones, la primera sirve para sujetar los seis sensores de ultrasonidos que lleva el robot y evita que el extintor se desplace dentro del robot.

Para el cuerpo central del robot, he seleccionado un tubo comercial de acero inoxidable de 350mm de diámetro exterior y 6mm de espesor con el fin de reducir costes de producción. Además este tubo cumple con la normativa de resistencia al fuego E600/90, realizada por el método de ensayo UNE-EN 13501-4:2007. Su precio es de 78,26€/m, con un peso aproximado de 50Kg. Los datos comerciales sobre el tubo, se encuentran en el Anexo.



*Ilustración 43. Casco del robot en 3D. Elaboración propia.*

El último componente principal del cuerpo del robot sería el casco, el cual permite la unión de la parte central del robot con el brazo, para ello, tal y como se puede ver en la ilustración 49, se han incorporado dos soportes amarillos a los cuales van sujetos los ejes de los brazos del robot y los motores que los moverán.

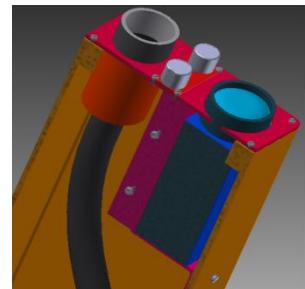
### 5.1.2. Brazo del Robot.

Para poder alcanzar cualquier punto de la habitación donde esté localizado el incendio, el brazo está articulado en dos partes.



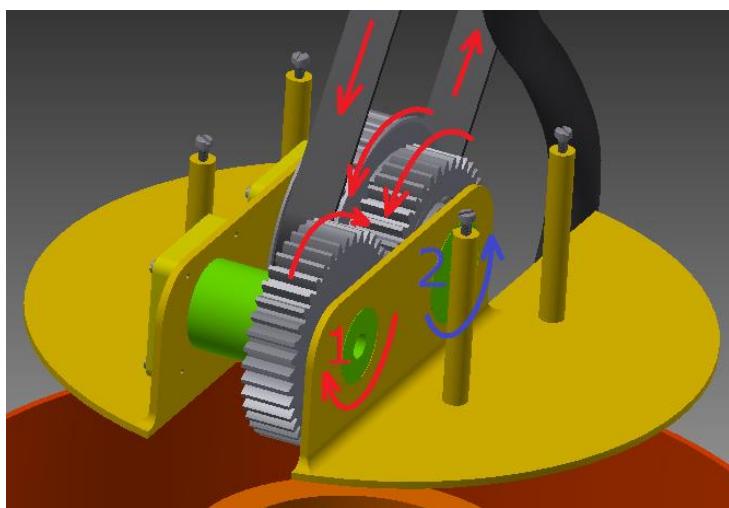
*Ilustración 44. Brazo articulado del Robot en 3D. Elaboración propia.*

En el extremo de la segunda articulación (Color amarillo), va la boquilla por donde se expulsará el agente extintor, la cámara CCD para reconocer el lugar donde se produce el incendio y el sensor de ultrasonidos que permitirá medir la distancia desde la punta del brazo hasta la superficie más cercana, con el fin de detectar la distancia a la que se está aplicando el extintor para apagar el fuego.



*Ilustración 45. Extremo del brazo. Elaboración propia.*

El movimiento de los brazos se produce mediante el sistema de engranajes que



*Ilustración 46. Transmisión del movimiento en los brazos. Elaboración propia.*

se ve en la ilustración 52. Para mover la primera articulación, la más cercana al cuerpo del robot (Color naranja), el motor hará girar el eje dos, que a su vez moverá el brazo.

Mientras que la segunda articulación (Color amarillo), se mueve por la acción del motor en el eje primero, el cual hará que se muevan los engranajes, a su vez el segundo engranaje,

el cual está unido a la polea, moverá esta, y así transmitirá el movimiento. El engranaje y la polea dentada que se encuentran sobre el eje dos, tienen en su interior rodamientos, para evitar que el eje dos transmita el movimiento.

### 5.1.3. *Modelo cinemático directo e inverso.*

Una vez seleccionado el mecanismo con el cual va a ser transmitido el movimiento, procedo a calcular las ecuaciones de la cinemática directa e inversa que van a regir el movimiento del brazo del robot.

Para obtener las **ecuaciones del modelo cinemático directo** sigo los pasos del algoritmo de Denavit-Hartenberg.

Sí se considerara que el robot solo tiene un brazo compuesto por dos partes que realizan movimientos únicamente verticales estaríamos hablando de un sistema de 2GDL (Grados De Libertad), a pesar de ello como también quiero tener en cuenta la capacidad de giro de las ruedas del sistema motriz, ya que le permitirá orientarse en la dirección correcta para extinguir el fuego, considero que el sistema tendrá 3GDL.

A continuación procedo a numerar los eslabones, las articulaciones, y los ejes de cada una tal y como se puede observar en la siguiente imagen.

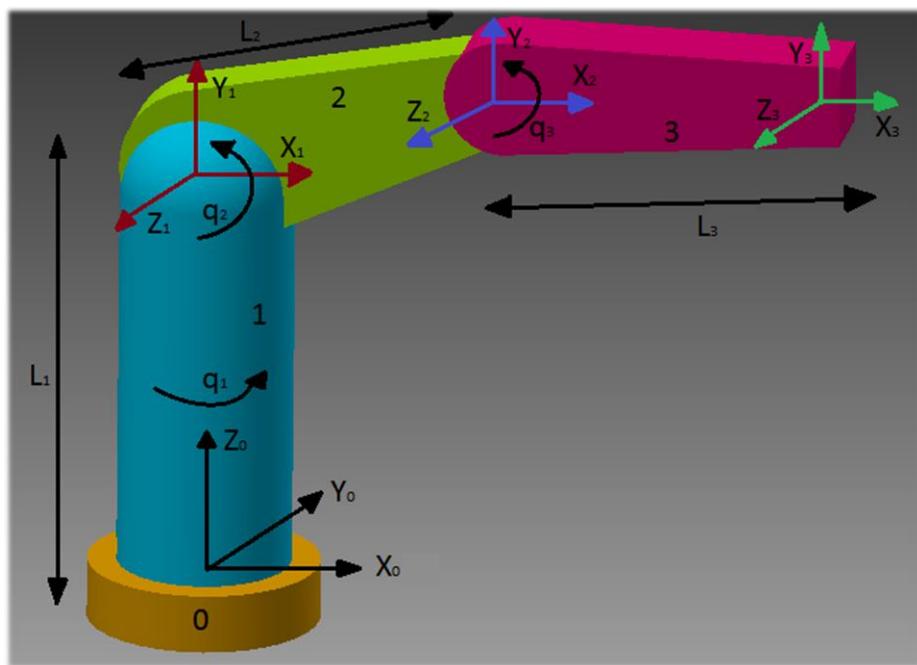


Ilustración 47. Coordenadas cinemáticas del Robot. Elaboración propia.

Después de tener la información completa del sistema, procedo a obtener  $\theta_i$  (Ángulo que hay que girar en torno a  $Z_{i-1}$ ),  $d_i$  (Distancia medida a lo largo de  $Z_{i-1}$  que habría que desplazar el eje  $S_{i-1}$  para que  $X_i$  y  $X_{i-1}$  quedasen alineados),  $a_i$  (Distancia medida a lo largo de  $X_i$  que habría que desplazar el nuevo  $S_{i-1}$  para que su origen coincidiese con  $S_i$ ) y  $\alpha_i$  (Ángulo que habría que girar en torno a  $X_i$  para que el nuevo  $S_{i-1}$  coincidiese totalmente con  $S_i$ ). Para obtener esta información elaboro la siguiente tabla:

*Tabla 2. Valores modelo cinemático directo.*

	$\theta$	$\mathbf{d}$	$\mathbf{a}$	$\alpha$
<b>1</b>	$q_1$	$L_1$	0	$\pi/2$
<b>2</b>	$q_2$	0	$L_2$	0
<b>3</b>	$q_3$	0	$L_3$	0

Una vez obtenida toda la información del sistema, procedo a calcular las matrices de transformación:

$$\begin{aligned} {}^0A_1 &= \begin{vmatrix} \cos q_1 & 0 & \sin q_1 & 0 \\ \sin q_1 & 0 & -\cos q_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \\ {}^1A_2 &= \begin{vmatrix} \cos q_2 & -\sin q_2 & 0 & L_2 \cdot \cos q_2 \\ \sin q_2 & \cos q_2 & 0 & L_2 \cdot \sin q_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \\ {}^2A_3 &= \begin{vmatrix} \cos q_3 & -\sin q_3 & 0 & L_3 \cdot \cos q_3 \\ \sin q_3 & \cos q_3 & 0 & L_3 \cdot \sin q_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \end{aligned}$$

A continuación se obtendrá la matriz de transformación que relaciona el sistema de la base con el del extremo del robot "T".

$$\begin{aligned} {}^0A_2 &= {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 = \begin{vmatrix} \cos q_1 \cos q_2 & -\cos q_1 \sin q_2 & \sin q_1 & L_2 \cos q_1 \cos q_2 \\ \sin q_1 \cos q_2 & -\sin q_1 \sin q_2 & -\cos q_1 & L_2 \sin q_1 \cos q_2 \\ \sin q_2 & \cos q_2 & 0 & L_2 \sin q_2 + L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \\ T &= {}^0A_2 \cdot {}^2A_3 = \begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & A_{24} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & A_{34} \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} & A_{44} \end{vmatrix} \end{aligned}$$

Siendo cada uno de los valores igual a:

$$A_{11} = \cos q_1 \cos q_2 \cos q_3 - \cos q_1 \sin q_2 \sin q_3$$

$$A_{12} = -\cos q_1 \cos q_2 \sin q_3 - \cos q_1 \sin q_2 \cos q_3$$

$$A_{13} = \sin q_1$$

$$A_{14} = L_2 \cos q_1 \cos q_2 + L_3 \cos q_1 \cos q_2 \cos q_3 - L_3 \cos q_1 \sin q_2 \sin q_3$$

$$A_{21} = \sin q_1 \cos q_2 \cos q_3 - \sin q_1 \sin q_2 \sin q_3$$

$$A_{22} = -\sin q_1 \cos q_2 \sin q_3 - \sin q_1 \sin q_2 \cos q_3$$

$$A_{23} = -\cos q_1$$

$$A_{24} = L_2 \sin q_1 \cos q_2 + L_3 \sin q_1 \cos q_2 \cos q_3 - L_3 \sin q_1 \sin q_2 \sin q_3$$

$$A_{31} = \sin q_2 \cos q_3 + \cos q_2 \sin q_3$$

$$A_{32} = \cos q_2$$

$$A_{33} = 0$$

$$A_{34} = L_2 \sin q_2 + L_1 + L_3 \sin q_2 \cos q_3 + L_3 \sin q_3 \cos q_2$$

$$A_{41} = 0$$

$$A_{42} = 0$$

$$A_{43} = 0$$

$$A_{44} = 1$$

Por último, con la siguiente expresión se obtendrán las ecuaciones del modelo cinemático directo:

$$\begin{vmatrix} P_X \\ P_Y \\ P_Z \\ 1 \end{vmatrix} = T \cdot \begin{vmatrix} V_X \\ V_Y \\ V_Z \\ 1 \end{vmatrix}$$

Se considera:

$$V = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{vmatrix}$$

Con esto obtenemos las ecuaciones:

$$P_X = L_2 \cos q_1 \cos q_2 + L_3 \cos q_1 \cos q_2 \cos q_3 - L_3 \cos q_1 \sin q_2 \sin q_3$$

$$P_Y = L_2 \sin q_1 \cos q_2 + L_3 \sin q_1 \cos q_2 \cos q_3 - L_3 \sin q_1 \sin q_2 \sin q_3$$

$$P_Z = L_2 \sin q_2 + L_1 + L_3 \sin q_2 \cos q_3 + L_3 \sin q_3 \cos q_2$$

Tras haber obtenido las ecuaciones por el modelo cinemático directo, se resolverá el **problema cinemático inverso** a partir de la matriz de transformación homogénea, para ello partiremos de la matriz de transformación.

Además se utilizarán las matrices  ${}^0A_1$ ,  ${}^1A_2$  y  ${}^2A_3$  obtenidas del desarrollo anterior:

$${}^0A_1 = \begin{vmatrix} \cos q_1 & 0 & \sin q_1 & 0 \\ \sin q_1 & 0 & -\cos q_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$${}^1A_2 = \begin{vmatrix} \cos q_2 & -\sin q_2 & 0 & L_2 \cdot \cos q_2 \\ \sin q_2 & \cos q_2 & 0 & L_2 \cdot \sin q_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

$${}^2A_3 = \begin{vmatrix} \cos q_3 & -\sin q_3 & 0 & L_3 \cdot \cos q_3 \\ \sin q_3 & \cos q_3 & 0 & L_3 \cdot \sin q_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Para resolver el problema cinemático inverso, se desarrollará la siguiente expresión:

$$T = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3$$

$$({}^0A_1)^{-1} \cdot T = {}^1A_2 \cdot {}^2A_3$$

A partir de la expresión anterior, se obtendrán las ecuaciones del problema cinemático inverso.

$${}^{i-1}A_i = \begin{vmatrix} \text{Matriz rotacional.} \\ \text{Matriz vector.} \end{vmatrix}$$

Se tiene que cumplir la siguiente propiedad, una matriz por su inversa es igual a la matriz identidad:  ${}^0A_1 \cdot ({}^0A_1)^{-1} = 1$

$$\begin{vmatrix} \cos q_1 & 0 & \sin q_1 & 0 \\ \sin q_1 & 0 & -\cos q_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \cos q_1 & \sin q_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -L_1 \\ \sin q_1 & -\cos q_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

La matriz resultante del producto de  ${}^1A_2 \cdot {}^2A_3$  es:

$$\begin{vmatrix} (\cos q_2 \cos q_3 - \sin q_2 \sin q_3) & (-\cos q_2 \sin q_3 - \sin q_2 \cos q_3) & 0 & (L_3 \cos q_3 \cos q_2 - L_3 \sin q_3 \sin q_2 + L_2 \cos q_2) \\ (\sin q_2 \cos q_3 + \cos q_2 \sin q_3) & (-\sin q_2 \sin q_3 + \cos q_2 \cos q_3) & 0 & (L_3 \cos q_3 \sin q_2 - L_3 \sin q_3 \cos q_2 + L_2 \sin q_2) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Con todas las matrices calculadas ya podemos sustituir en la fórmula desarrollada anteriormente:

$$({}^0A_1)^{-1} \cdot T = {}^1A_2 \cdot {}^2A_3$$

$$\begin{vmatrix} \cos q_1 & \sin q_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -L_1 \\ \sin q_1 & -\cos q_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} n_x & \theta_x & a_x & P_x \\ n_y & \theta_y & a_y & P_y \\ n_z & \theta_z & a_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = {}^1A_2 \cdot {}^2A_3$$

Las ecuaciones definitivas del problema cinemático inverso, obtenidas de las operaciones anteriores son las siguientes:

$$P_x \cos q_1 + P_y \sin q_1 = -L_2 \cos q_2 + L_3 \cos q_2 \cos q_3 - L_3 \sin q_2 \sin q_3$$

$$P_z - L_1 = L_2 \sin q_2 + L_3 \sin q_2 \cos q_3 + L_3 \sin q_3 \cos q_2$$

$$P_x \sin q_1 - P_y \cos q_1 = 0$$

Al desarrollarlas, y despejar  $P_x$ ,  $P_y$  y  $P_z$ , se puede ver que las fórmulas coinciden con las del modelo cinemático directo, por ello al obtener el mismo resultado por ambos procesos se confirma que las ecuaciones cinemáticas son las correctas.

$$P_x = L_2 \cos q_1 \cos q_2 + L_3 \cos q_1 \cos q_2 \cos q_3 - L_3 \cos q_1 \sin q_2 \sin q_3$$

$$P_y = L_2 \sin q_1 \cos q_2 + L_3 \sin q_1 \cos q_2 \cos q_3 - L_3 \sin q_1 \sin q_2 \sin q_3$$

$$P_z = L_2 \sin q_2 + L_1 + L_3 \sin q_2 \cos q_3 + L_3 \sin q_3 \cos q_2$$

### 5.1.4. Cálculo del par y potencia de los motores.

En este subapartado de la mecánica se van a desarrollar los cálculos necesarios para obtener el par y la potencia necesarios para mover las ruedas y las dos articulaciones del brazo. A raíz de los resultados obtenidos ya se podrán seleccionar los motores comerciales que más se amolden a las necesidades requeridas por el diseño.

#### **Potencia y Par motriz del sistema diferencial de desplazamiento.**

Para saber que motores se tienen que instalar en el robot para que sea capaz de desplazarse a lo largo de toda la vivienda es necesario calcular el par motriz y la potencia. En este apartado se van a obtener estos datos, de esta forma dentro de la tipología de motor seleccionada se podrá elegir el modelo comercial más adecuado.

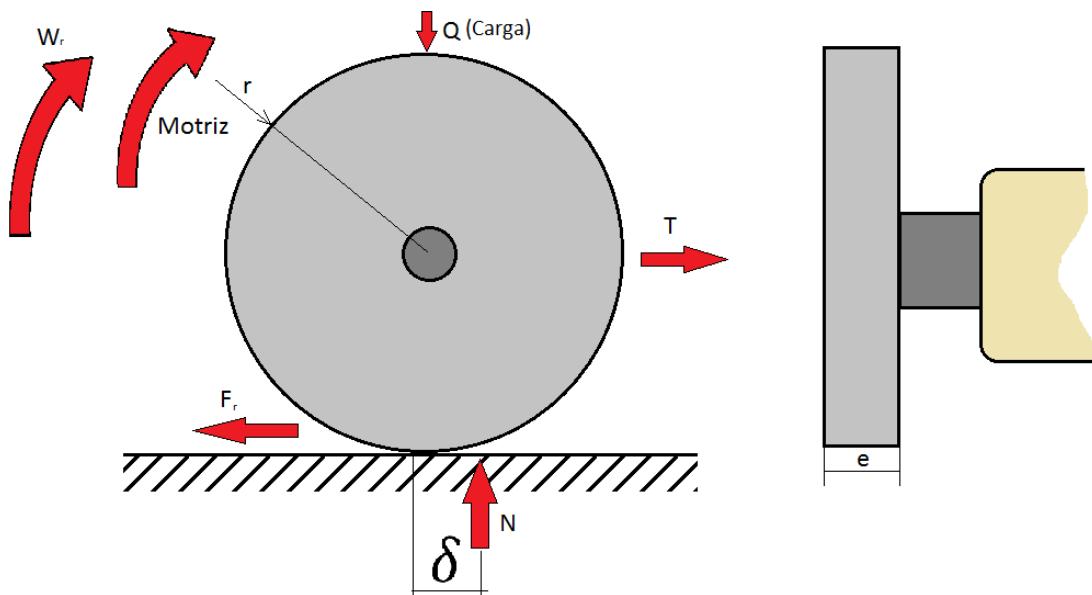


Ilustración 48. Fuerzas que interactúan en la rueda. Elaboración propia.

Hay que partir de unos datos que voy a imponer puesto que he considerado que son los más apropiados para la aplicación:

Tabla 3. Datos desplazamiento rueda.

DATOS MOVIMIENTO	
<b>Velocidad Lineal (<math>v_l</math>)</b>	0,4m/s
<b>Tiempo Aceleración (<math>T_a</math>)</b>	4s

Tabla 4. Datos dimensiones rueda.

DATOS RUEDA	
<b>Radio rueda (r)</b>	0,08m
<b>Espesor rueda (e)</b>	0,03m
<b>Material</b>	Acero
<b>Densidad (<math>\rho</math>)</b>	7850(Kg/m <sup>3</sup> )

A partir de los datos anteriores ya puedo obtener valores de otros términos mediante el desarrollo de fórmulas:

$$Veloc. Angular = \frac{Veloc. Lineal}{Radio (r)} \rightarrow \omega_r = \frac{v_l}{r} = \frac{0,4}{0,08} = 5 \text{ rad/s}$$

$$Aceleración Angular = \frac{Veloc. Angular}{Tiempo aceleración} \rightarrow \alpha_r = \frac{\omega_r}{T_a} = \frac{5}{4} = 1,25 \text{ rad/s}$$

$$Aceleración Lineal = \frac{Veloc. Lineal}{Tiempo aceleración} = \frac{0,4}{4} = 0,1 \text{ m/s}^2$$

Una vez obtenidos los valores de velocidades y aceleración hallaré los datos restantes de las ruedas:

$$\begin{aligned} Volumen (V) &= \pi \cdot r^2 \cdot e = \pi \cdot 0,08^2 \cdot 0,03 = 0,000603 \text{ m}^3 \\ Masa (m) &= \rho \cdot V = 7850 \cdot 0,000603 = 4,73 \text{ Kg} \\ Peso &= m \cdot g = 4,732608 \cdot 9,81 = 46,38 \text{ N} \end{aligned}$$

Ya dispongo de todos los datos necesarios para el cálculo del par y la potencia y mediante el desarrollo de las siguientes fórmulas se obtendrán.

Como hay que saber la resistencia que va a oponer el cuerpo en rotación (la rueda) al movimiento, hay que obtener el momento de inercia.

$$I = \frac{1}{2}mr^2 = \frac{1}{2} \cdot 4,732608 \cdot 0,08^2 = 0,01514 \text{ Kg m}^2$$

El par o momento motriz será igual a la siguiente expresión:

$$M = Q \cdot \delta + F_i \cdot r + I \cdot \alpha = Q \cdot \delta + (m \cdot a_l) \cdot r + I \cdot \frac{\omega_r}{T_a} = Q \cdot \delta + \left(\frac{Q}{g} \cdot \frac{v_l}{T_a}\right) \cdot r + I \cdot \frac{\omega_r}{T_a}$$

Sabiendo que la masa del robot va a ser de 100Kg, cada rueda tendrá que mover 50Kg, aplicándole un coeficiente de seguridad del 10%, son 55 Kg por rueda, sustituyo los valores:

$$M = 55 \cdot 0,001 + (55 \cdot 0,1) \cdot 0,08 + 0,01514 \cdot 1,25 = 0,52 \text{ N m}$$

Conociendo el par y el momento de fuerza o par, ya puedo obtener el valor de la potencia mínima que tendrá que tener cada motor para mover las ruedas y permitir que se desplace el robot:

$$P = M \cdot \omega_r = 0,52 \cdot 5 = 2,57 \text{ W}$$

Este valor es la potencia y el par necesarios para que el robot pueda comenzar el movimiento en un plano recto, pero para asegurar su funcionamiento en distintas situaciones se realizará el mismo cálculo para un plano inclinado.

Tras consultar en la normativa de edificios, la máxima inclinación que puede tener una rampa para minusválidos es del 10%, es decir 9º, para esta inclinación los valores del par y potencia serán los siguientes:

El par necesario en esta pendiente de 9º es de 3,52 N m y la potencia de 14,99 W.

Con el par y la potencia conocidos, ya se puede tomar la decisión del motor que más se adecua a la aplicación, el cual vendrá detallado en el subapartado de descripción de componentes que hay en la parte del diseño electrónico.

### **Potencia y Par motriz de los dos motores del brazo.**

A continuación, calculamos el par necesario para cada uno de los dos motores que irán incorporados en el brazo.

Tal y como se puede observar en la siguiente imagen, para obtener estos valores habrá que tener en cuenta la longitud de cada una de las partes del brazo, así como su peso.

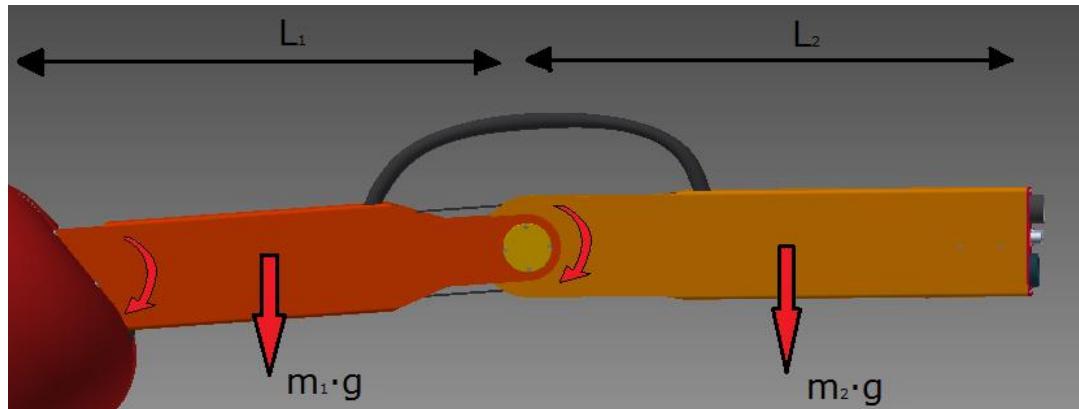


Ilustración 49. Fuerzas del Brazo. Elaboración propia.

Los datos iniciales que se conocen son las masas de ambas articulaciones, así como las longitudes de estas:

DATOS BRAZO	
<b>Masa 1 (<math>m_1</math>)</b>	4,226Kg
<b>Masa 2 (<math>m_2</math>)</b>	4,585Kg
<b>Longitud 1 (<math>L_1</math>)</b>	0,68m
<b>Longitud 2 (<math>L_2</math>)</b>	0,66m

La masa de cada una de las articulaciones, se ha obtenido mediante el programa de diseño en 3D, Inventor. Asignándole como propiedad a cada pieza la densidad del acero inoxidable 440C (7,750g/cm<sup>3</sup>), se ha multiplicado el volumen total de la pieza por la densidad y de esta forma se ha obtenido la masa de cada uno.

A partir de los valores anteriores, sustituimos en las siguientes fórmulas para obtener el par correspondiente del motor 1 y del motor 2:

$$\tau_1 = m_1 \cdot g \cdot \frac{L_1}{2} + m_2 \cdot g \cdot \left( L_1 + \frac{L_2}{2} \right)$$

$$\tau_1 = 4,23 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,68}{2} + 4,59 \cdot 9,81 \cdot \left( 0,68 + \frac{0,66}{2} \right) = 59,53Nm$$

$$\tau_2 = m_2 \cdot g \cdot \frac{L_2}{2}$$

$$\tau_2 = 4,59 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,66}{2} = 14,85Nm$$

Al igual que con los motores de las ruedas, ya se conocen los datos de los motores del brazo, lo que permitirá seleccionar los más adecuados.

## 5.2. DISEÑO ELECTRÓNICO

El diseño electrónico, es otro de los pilares fundamentales a la hora de diseñar un robot, puesto que estos componentes permitirán al robot transformar la energía eléctrica en movimiento y a su vez le permitirán adquirir los datos necesarios sobre su entorno.

Este punto va a estar dividido en cuatro subapartados: Descripción de los componentes electrónicos que incluirá el robot, cálculo y selección de la batería que permita el suministro de energía suficiente para que funcione correctamente, esquema eléctrico de las conexiones entre componentes y el diseño de la PCB donde irá incorporada parte de la electrónica.

### 5.2.1. Descripción de los componentes.

En este subapartado, se expondrán las características técnicas de los componentes electrónicos comerciales ya seleccionados, pueden ser clasificados en 5 grandes bloques, tal y como se puede observar en la siguiente tabla, sin incluir la alimentación, la cual será tratada en el siguiente apartado.

Tabla 5. Listado de componentes electrónicos.

BLOQUE	COMPONENTE	UNIDADES
ADQUISIÓN DE DATOS	Ultrasonidos	7
	Cámara termográfica	1
COMUNICACIÓN CON LA VIVIENDA	Zigbee	1
MOVIMIENTO MECÁNICO	Motores ruedas diferenciales	2
	Motores brazos	2
	Controlador motor CC	4
ACTUADOR	Electroválvula con solenoide	1
CONTROLADORES	Arduino Mega	1
	Raspberry pi	1

## BLOQUE DE ADQUISICIÓN DE DATOS:

Los componentes encargados de obtener los datos sobre su entorno van a ser el sensor de ultrasonidos y la cámara termográfica. Con el primero, se evitara la colisión del robot contra objetos cuando se esté desplazando por la vivienda, mientras que mediante la cámara termográfica, se hará el reconocimiento de donde se encuentra el incendio.

El **sensor de ultrasonidos** seleccionado es el HC-SR04, como se ha mencionado anteriormente permitirá detectar la distancia que hay hasta un obstáculo. Su principio de funcionamiento es el de un sensor de ultrasonidos, se envía una señal a través de un emisor y en función del tiempo que tarda en volver al receptor se calcula la distancia que hay hasta el obstáculo. Se ha seleccionado este sensor en concreto por su compatibilidad con el Arduino y porque tiene un rango de medida de 3cm a 3m con una precisión de 3mm.

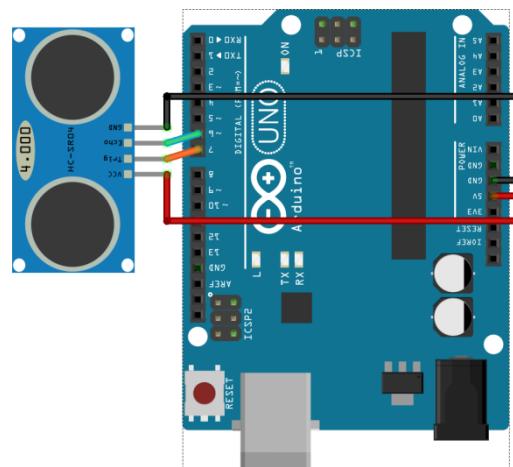


Ilustración 50. Conexionado sensor ultrasonidos HC-SR04. Obtenida de:  
<http://www.kurtisik.org/blog/?p=1212>

Consta de cuatro pines que mirándolo de frente de izquierda a derecha corresponden con:

- PIN1: Alimentación (Vcc), conectada a los 5V que proporciona el Arduino.
- PIN2: Trigger, pin digital a través del cual se introducirá el pulso ultrasónico creado por el Arduino y la cual será transmitida por el sensor.
- PIN3: Echo, es el pin digital a través del cual la señal recibida por el sensor ultrasonidos, es transmitido de nuevo al Arduino para que lo procese.
- PIN4: Masa.

La **cámara termográfica**, seleccionada es de la casa FLIR, modelo A15sc. Se ha elegido esta cámara porque posee en conjunto una serie de propiedades que se ajustan muy bien a la aplicación, tanto por las dimensiones físicas, las cuales se acomodaban perfectamente al espacio donde va a ir situada, como por sus buenas propiedades electrónicas:



Ilustración 51. Cámara termográfica. FLIR A15sc. Obtenida de: [www.flir.es](http://www.flir.es)

- La resolución es de 160x128 pixels.
- El rango de temperatura que es capaz de medir va de los -40°C a los +550°C, con una precisión del +-5%.
- Tiene disponible conexión por Ethernet, para la transmisión de datos, lo que favorece la comunicación con la Raspberry Pi.
- Su peso no es excesivo, solo 0.2Kg, factor importante puesto que va a ir en el extremo del brazo robótico.
- El campo visual es de 48º en el eje horizontal y 39º en el eje vertical.

## COMUNICACIÓN CON LA VIVIENDA:

Para comunicar el robot con la vivienda, se va a realizar mediante la conexión de una **red Zigbee**, como se ha explicado en el marco teórico. Para que el robot pueda comunicarse con esta red, es necesario incorporar un módulo de comunicación Zigbee, el modelo seleccionado se llama **XBee**.



Diagrama de pines del módulo XBee. Vista Superior.



Ilustración 52. Conexión pines XBee. Esquema y módulo. Obtenida de: [http://unicarlos.com/\\_ARDUINO/Arduino%20+%20XBee.pdf](http://unicarlos.com/_ARDUINO/Arduino%20+%20XBee.pdf).

Sus propiedades son:

- Integra un transmisor y un emisor Zigbee.

- Tiene un alcance de hasta 100 metros.
- Consta de 9 pines de entradas y salidas analógicas y digitales.
- Su consumo es bajo, siendo menor a 50mA cuando está funcionando e inferior a 10 $\mu$ A cuando está en modo sleep.
- Presenta gran facilidad para integrarlo en un sistema.

Este módulo va a ir conectado al Arduino, los pines que tendrán que ir conectados son:

- PIN1: Conectado a la alimentación (Vcc).
- PIN2: (DOUT) Pin por el cual saldrá la señal del módulo al Arduino, puede ir conectado a cualquiera de los pines digitales del Arduino.
- PIN3: (DIN) A través de este pin recibirá información del Arduino, de nuevo puede ir conectado a cualquiera de sus pines digitales que se encuentren libres.
- PIN10: Masa.

### **MOVIMIENTO MECÁNICO:**

Para transmitir el movimiento, el robot llevará incorporado cuatro motores, dos motores para hacer girar las ruedas del sistema diferencial por el cual se desplazará y otros dos para mover el brazo y que así le permita apuntar al fuego, a su vez, estos cuatro motores se comunicarán con el Arduino mediante un puente en H.

El **motor** seleccionado para el **sistema diferencial de desplazamiento**, como se ha comentado en el marco teórico, por las propiedades que ofrece, será un motor Brushless. Tras consultar en distintas marcas de fabricantes, he seleccionado a "Maxon motor", por la versatilidad que ofrecen sus modelos y la capacidad de configurar el motor según las necesidades en la página web: [www.maxonmotors.es](http://www.maxonmotors.es), poseen un programa de selección visual que favorece bastante la tarea.

He seleccionado una combinación de: reductora + motor + encoder, cuyas propiedades se encuentran en el anexo y que es capaz de mover el robot en una superficie inclinada de pendiente 90°.



Ilustración 53. Combinación elegida para las ruedas. Obtenida de: [www.maxonmotors.es](http://www.maxonmotors.es)

La denominación técnica de cada uno de los componentes es:

- Reductor planetario GP 32B Ø32mm, 1.0 - 6.0Nm, versión en cerámica.
- EC- max 22 Ø22mm, conmutación electrónica (Brushless), 25Vatios, con sensores Hall.
- Encoder MR tipo M, 512 ppv, de 3 canales con line driver.

El motor irá conectado al puente en H para ser gobernado por este, mientras que el encoder, de los 10 pines que tiene disponible los que se conectarán son los siguientes:

- PIN2: Alimentación del encoder de 5V.
- PIN3: Masa.
- PIN6: Cana A del encoder.
- PIN7: Canal B del encoder.

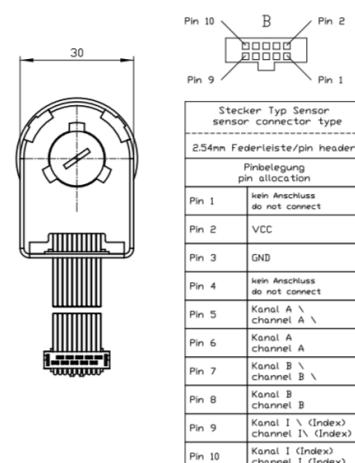


Ilustración 54. Conexiones Encoder. Obtenida de: [maxon motors](http://maxonmotors.com).

Para asegurar que los motores podrán ser capaces de mover el robot en el caso más desfavorable posible, pendiente de 90°, existe en la página web la posibilidad de introducir la velocidad en vacío y el par de fuerza necesarios, y junto a la tensión

disponible se obtiene el gráfico, en el cual se puede ver que el punto de trabajo (Amarillo), se encuentra dentro del rango, lo que confirma que el modelo escogido es el adecuado.

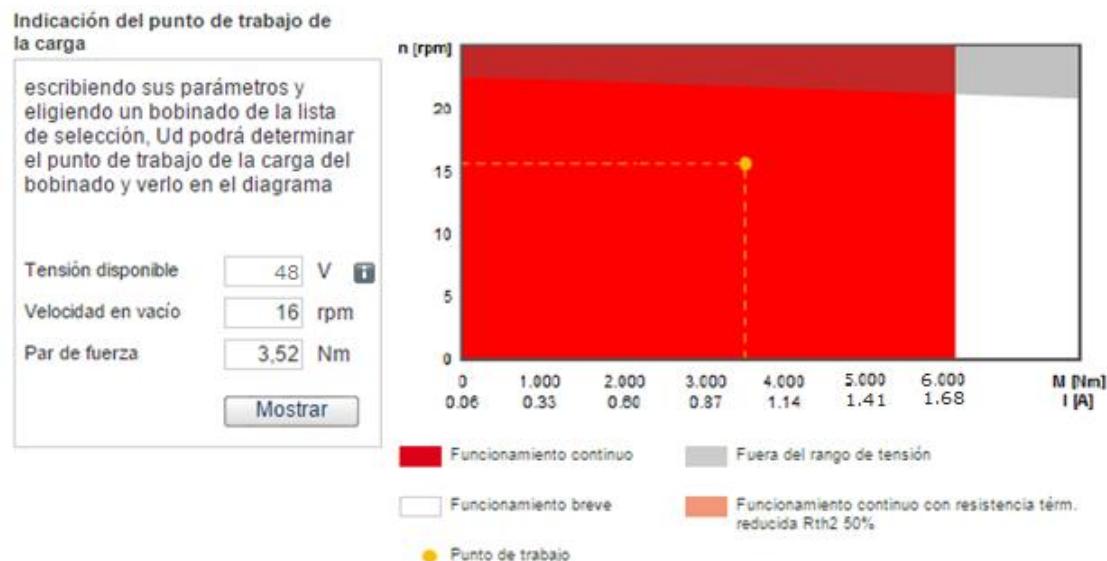


Ilustración 55. Rango de funcionamiento del motor. Obtenida de: [www.maxonmotors.es](http://www.maxonmotors.es)

Las dimensiones del eje del reductor y de la brida son:

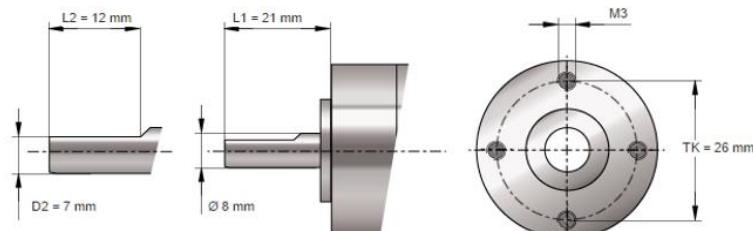


Ilustración 56. Dimensiones del motor. Obtenida de: [www.maxonmotors.es](http://www.maxonmotors.es)

Y el cableado del motor y del encoder:

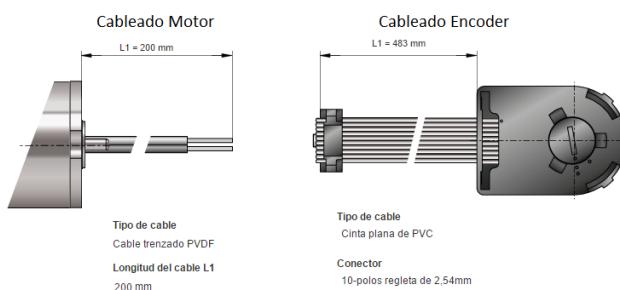


Ilustración 57. Cableado de los motores de las ruedas. Obtenida de: [www.maxonmotors.es](http://www.maxonmotors.es)

Como se ha podido observar en los cálculos de la parte mecánica, el par del **motor del brazo y el del antebrazo** es diferente, a pesar de ello, llevaran el mismo

motor, puesto que el modelo seleccionado cubre un rango de par desde 20Nm hasta 120Nm.

De nuevo, los motores han sido escogidos dentro de la gama ofertada por Maxonmotors. La combinación seleccionada para ambos motores ha sido la misma: reductora + motor + encoder. Sus denominaciones técnicas son:

- Reductor planetario GP 81A Ø81mm, 20 – 120Nm.
- Motor EC 60 Ø60mm, Conmutación electrónica (Brushless), 400Vatios, con sensores Hall.
- Encoder HEDL 9140, 500ppv, 3 canales, con line driver RS 422.



Ilustración 58. Combinación motores brazo. Obtenida de: [www.maxonmotors.es](http://www.maxonmotors.es)

Como en los motores de las ruedas, las conexiones van a ser muy similares, el motor va a ir cableado al controlador de CC para ser gobernado, y del encoder se conectarán el canal A y el canal B (Pin6 y pin8 respectivamente), y la alimentación de 5V y la masa.

Toda la información técnica detallada sobre estos motores se puede leer en la documentación añadida en los anexos.

Como los motores de las ruedas y los de los brazos trabajan a la misma tensión (48V), es posible utilizar el mismo modelo controlador brushless para controlar los cuatro motores.

El **controlador** para motores de corriente continua trifásico utilizado para los **motores de los brazos y de las ruedas**, es el microchip L6235N, trabaja con corrientes de hasta 7,1A, y soporta una tensión de hasta 52V.

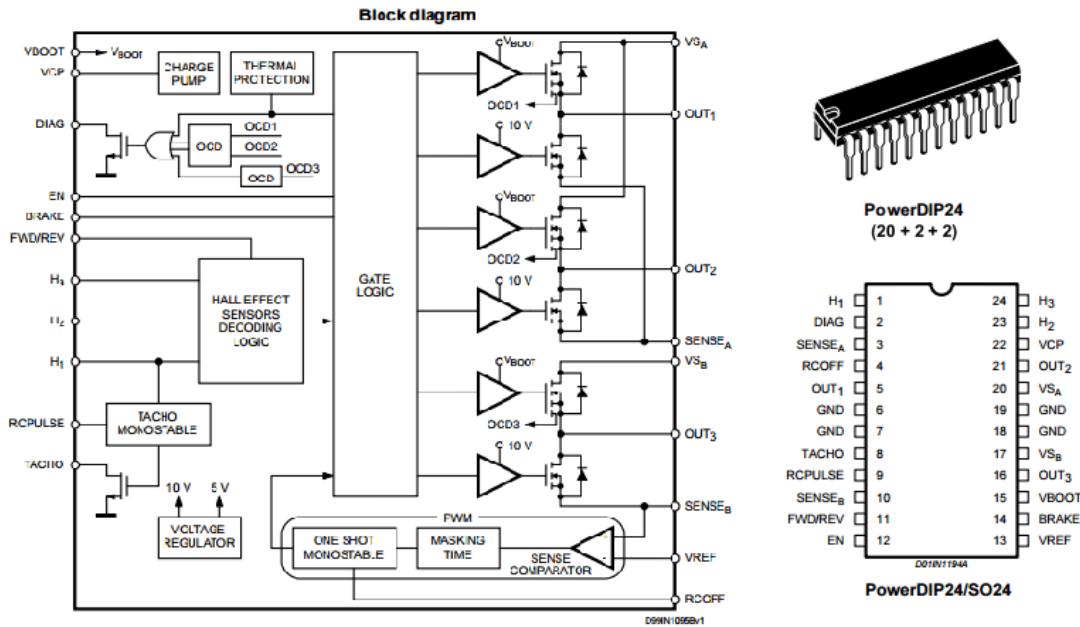


Ilustración 59. Controlador de motor de CC trifásico (L6235N). Obtenida de Farnell.

Tal y como se puede observar en la ilustración anterior, la cual representa las conexiones internas del chip, podemos deducir las siguientes conexiones principales, el resto irán detalladas en el esquema general de conexionado:

- PIN5, PIN21, PIN16: Son los tres pines a los cuales va ir conectado el motor Brushless.
- PIN1, PIN23, PIN24: Van a ir conectados al sensor Hall que lleva incorporado el motor Brushless.
- PIN 20, PIN 17: Por estos dos pines van a introducirse los 48 voltios necesarios para alimentar el motor.
- PIN11: FWD/REV, Este pin irá conectado a uno de los pines digitales del Arduino que se encuentren libres, con este pin se podrá cambiar el sentido.
- PIN12: Es el ENABLE, este pin del controlador va a ir conectado también a uno de los pines digitales del Arduino.
- PIN14: BRAKE, de nuevo este pin irá conectado a otro pin digital que se encuentre libre del Arduino. Su lógica será inversa a la del enable, es decir, cuando el enable este activado el freno estará desactivado, mientras que si el enable se encuentra desactivado, el freno se activará para impedir el movimiento del motor.
- PIN13: Vref. Va conectado a uno de los pines PWM del Arduino.
- PIN18, PIN19, PIN6, PIN7: Estos pines van a ir conectados a masa.

Como se ha comentado la conexión de este componente se puede consultar de forma más detallada en el esquema general.

### ACTUADOR:

Una vez que el robot se encuentre en la posición deseada para extinguir el incendio, se requerirá de un mecanismo que le permita al agente extintor salir del recipiente, para ello se utilizará una **electroválvula activada mediante un solenoide**.

La electroválvula seleccionada, es de la serie LPG23, destinada para cilindros de hasta 28 litros de capacidad, cuyo código de referencia es CC728FE130, y va activada mediante un solenoide que debe ir conectado a 24V.



Ilustración 61.  
Solenoide.

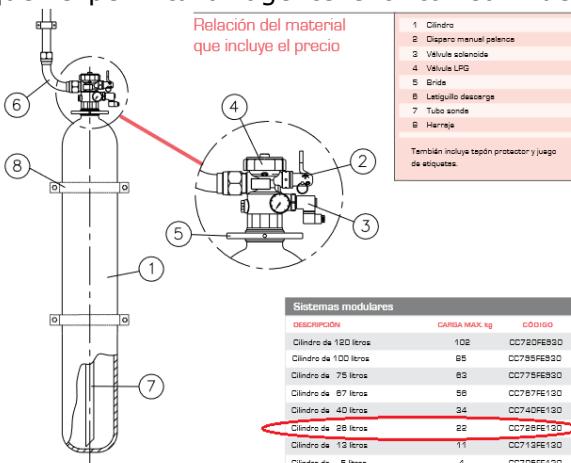


Ilustración 60. Electroválvula con solenoide.

El solenoide seleccionado que acompañará a la electroválvula es de 24V DC, con un consumo de 125mA y 3W.

### CONTROLADORES:

Por último, se necesitan los controladores que permitán coordinar toda la información obtenida por medio de los componentes electrónicos nombrados anteriormente y permitan que el robot realice sus funciones correctamente, para ello, se usarán dos controladores el Arduino Mega y la Raspberry Pi.

Se ha seleccionado el **Arduino Mega**, puesto que ofrece la suficiente cantidad de entradas y salidas como para satisfacer las necesidades de conexión del diseño electrónico. A este controlador irán conectados todos los componentes electrónicos y motores a excepción de la cámara termográfica.

Tal y como se puede ver en la imagen, posee un gran número de pines digitales y analógicos, así como PWM.

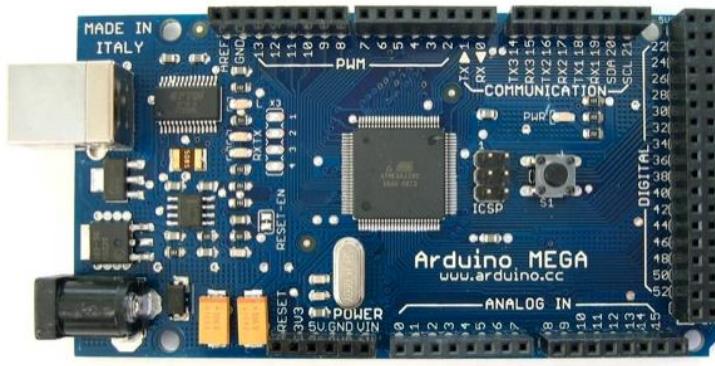


Ilustración 62. Arduino Mega. Obtenido de la página oficial de Arduino.

Alguna de sus características técnicas son:

- Su microcontrolador es un ATmega1280.
- Opera con una tensión de 5V.
- La velocidad de ejecución de instrucciones (Clock speed), es de 16MHz.

Como se ha mencionado anteriormente para la cámara termográfica se utilizará una Raspberry Pi, esto es debido a que para el procesado de la imagen se necesita una mayor capacidad de procesamiento. Además la Raspberry Pi tiene disponibilidad de conexión mediante Ethernet a cualquier componente, lo cual al disponer la cámara termográfica de esta conexión favorece esta transmisión de datos.

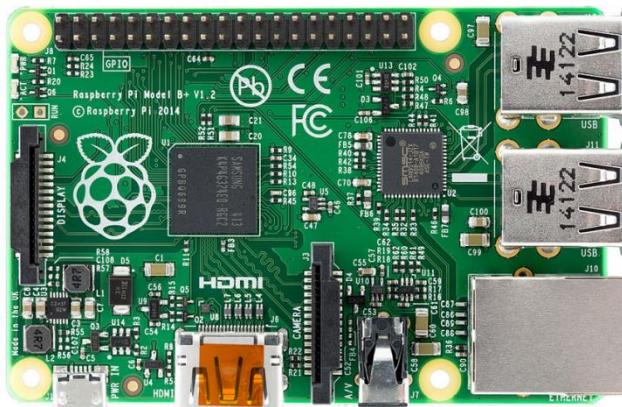


Ilustración 63. Raspberry Pi. Obtenida de: [http://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](http://en.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi)

Alguna de las propiedades que presenta la Raspberri Pi son:

- Procesador de la familia ARM11.
- Velocidad de ejecución de instrucciones 700MHz, lo cual supone un valor bastante más elevado que el Arduino Mega.
- Consumo energético de entre 500mA a 700mA, según el modelo seleccionado.

## 5.2.2. Cálculo y selección de la batería.

Después de haber seleccionado todos los componentes electrónicos que va a llevar el robot para desempeñar sus funciones, se procede a calcular la cantidad de energía que va a tener que suministrar la batería para satisfacer las necesidades de consumo.

Tabla 6. Potencia de los componentes electrónicos.

COMPONENTE	Nº	POTENCIA MÍNIMA	POTENCIA NOMINAL	POTENCIA MÁXIMA
Ultrasonidos	7		$5V \cdot 0,015A = 0,075W$	
C. termográfica	1			2,5W
Zigbee	1		$3,3V \cdot 0,05 = 1,65W$	
Mot. Ruedas	2	$48V \cdot 0,0604A = 2,90W$	$48V \cdot 0,716A = 34,37W$	$48V \cdot 3,66A = 175,66W$
			$5V \cdot 0,02 \cdot 2 = 0,2W$	
			34,57W	175,66W
Mot. Brazo	2	$48V \cdot 0,304A = 14,6W$	$48V \cdot 5,85A = 280,8W$	$48V \cdot 46,4A = 2227,2W$
			$5V \cdot 0,02 \cdot 2 = 0,2W$	
		14,6W	281W	2227,2W
Controlador de motor CC	4		$3,2V \cdot 0,01A = 0,032W$	
Solenoide	1		$24V \cdot 0,125A = 3W$	3W
Arduino Mega	1		$12V \cdot 0,1A = 1,2 W$	

Raspberry Pi	1		3,5W	
--------------	---	--	------	--

En la tabla anterior se pueden ver los datos sobre potencias con las que van a trabajar cada uno de los componentes. Estos datos han sido obtenidos de los correspondientes datasheets y hojas de información que tiene cada uno. En ocasiones la información detallada es directamente la potencia en Vatios (W), mientras que en otros casos hay que multiplicar la tensión por la intensidad para obtener la potencia.

Una vez conocidos todos los datos de consumo de cada componente de forma individual, es necesario establecer que componentes van a funcionar de forma simultánea durante el desarrollo de las distintas actividades que va a realizar el robot, con el fin de saber el consumo máximo que puede haber y así poder seleccionar y dimensionar la batería de forma correcta. Para ello se plantearán a continuación estas actividades relacionándolas con los componentes que interactuarán.

**Actividad de recepción de la señal de fuego.** Todos los componentes del robot se encontrarán parados a excepción del sensor Zigbee y del Arduino. Pero como esta situación solo se va a dar cuando se encuentre en la estación de recarga, no se tendrá en cuenta en los consumos puesto que va a haber posibilidad de continuar cargando la batería.

**Actividad de desplazamiento.** Durante este proceso, van a interactuar los dos motores de las ruedas con sus respectivos controladores de motores de CC, así como los 6 sensores de ultrasonidos dispuestos en batería en el tronco del robot para identificar los posibles obstáculos. También funcionará el Arduino Mega, que será el encargado de ir procesando la información.

Conocida la velocidad de desplazamiento de las ruedas (0,4m/s), y suponiendo que el robot tenga que desplazarse una distancia máxima de 48 metros, se supone un tiempo de funcionamiento de esta función de 120 segundos.

$$Wh = \text{Tiempo de funcionamiento (h)} \cdot \sum \text{Potencia de los componentes (W)}$$

$$Wh_{horiz} = \text{Tiempo func} \cdot (2 \cdot \text{Motor ruedas} + 2 \cdot \text{Controlador CC} + 6 \cdot \text{Ultrasonidos} + \text{Arduino})$$

$$Wh = \frac{120}{3600} \cdot (2 \cdot 34,57 + 2 \cdot 0,032 + 6 \cdot 0,075 + 1,2) = 2,37 \text{ Wh}$$

**Actividad de localización del incendio.** Esta actividad va a ir alternando dos rutinas, la primera consistiría en el escaneo vertical de la habitación y la segunda en el escaneo horizontal.



Ilustración 64. Robot en la habitación. Elaboración propia.

Con el robot ya en la habitación, para realizar el escaneo vertical entrarán en funcionamiento los motores del brazo con sus respectivos controladores de motores de CC, los dos finales de carrera, el Arduino Mega para comandarlos, y además funcionará la cámara termográfica y el sensor ultrasonidos del extremo del brazo, así como la Raspberry Pi, que procesará la imagen de la cámara. A continuación, para escanear horizontalmente también tendrán que funcionar los motores de las ruedas, con sus controladores de motores de CC. Esta actividad será la más crítica, puesto que implicará un gran consumo de energía. Como sabemos que la cámara tiene una amplitud visual horizontal de 48º, tendrá que realizar cuatro escaneos horizontales para cubrir los 360º, suponiendo un promedio de 5 segundos por escaneo horizontal más 15 segundos de escaneo vertical, suman un total de funcionamiento de esta actividad de 80 segundos. Con los valores de la potencia consumida por cada componente se puede obtener la potencia consumida por hora a partir de la siguiente ecuación:

$$Wh_{loc} = T_{fmn to \ horiz.} \cdot (h) \cdot \sum Pot_{comp} \ horiz. (W) + T_{fmn to \ vertical} \cdot (h) \cdot \sum Pot_{comp} \ vertical (W)$$

$$Wh_{horiz} = Tiempo \ func \cdot (2 \cdot Motor \ ruedas + 2 \cdot Controlador \ CC + Arduino \ Mega)$$

$$Wh_{horiz} = \frac{5 \cdot 4}{3600} \cdot (2 \cdot 34,57 + 2 \cdot 0,032 + 1,2) = 0,40Wh$$

$$Wh_{vert} = T \ func \cdot (2 \cdot M. \ brazos + 2 \cdot Control \ CC + Arduino + Raspberry \ Pi + C. \ termográfica)$$

$$Wh_{vert} = \frac{15 \cdot 4}{3600} \cdot (2 \cdot 281 + 2 \cdot 0,032 + 1,2 + 3,5 + 2,5) = 9,49Wh$$

$$Wh_{localización} = Wh_{vert} + Wh_{horiz} = 9,49Wh + 0,40Wh = 9,89Wh$$

**Actividad de extinción del incendio.** Con el foco ya localizado, el robot procede a la extinción de este, para ello, los componentes que interactuarán serán el solenoide de la electroválvula, el Arduino Mega para comandar la señal y los frenos de brazos y ruedas para evitar que se muevan. Debido al extintor seleccionado, va a ser

capaz de expulsar agente extintor durante 50 segundos, por ello entre la activación de la electroválvula y de los frenos, más el tiempo de expulsión del agente extintor se supone un tiempo de 60 segundos, para dar un margen de seguridad. Sustituyendo en la siguiente fórmula obtenemos la potencia por hora.

$$Wh_{extinción} = T_{func} \cdot (Solenoide + Arduino\ Mega + frenos\ brazo + frenos\ ruedas)$$

$$Wh_{extinción} = \frac{60}{3600} \cdot (3 + 1,2 + 2 \cdot 24V \cdot 5,85A + 2 \cdot 24V \cdot 0,716A) = 5,33Wh$$

Sumando la actividad de desplazamiento, la de localización del incendio y la de extinción obtendremos el consumo total en Vatios hora.

$$Consumo_{total} = Wh_{desplazamiento} + Wh_{localización} + Wh_{extinción}$$

$$Consumo_{total} = 2,37\ Wh + 9,89Wh + 5,33Wh = 17,59Wh$$

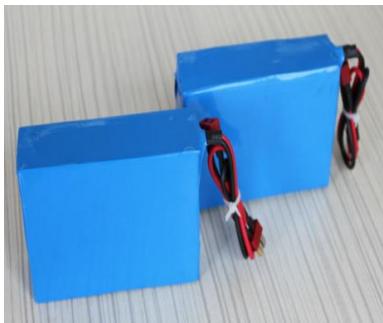
Como las características técnicas de las baterías sobre el consumo energético vienen expresadas en miliamperios hora (mAh), se transformará el dato anterior a las unidades deseadas, para ya poder elegir un modelo comercial de batería. Para ello se utilizará la siguiente fórmula:

$$E = \frac{Q \cdot V}{1000} \rightarrow Wh = \frac{mA \cdot V}{1000} \rightarrow Q = \frac{E \cdot 1000}{V} = \frac{17,59 \cdot 1000}{48} = 366,46mAh$$

Con el dato del consumo total ya en miliamperios hora, y conociendo la máxima tensión que necesitarán los componentes (48V), ya se puede detallar el modelo concreto de la batería comercial a utilizar.

Para lograr un mayor aprovechamiento del espacio disponible, así como para poder alimentar el solenoide a 24V sin tener que utilizar ningún regulador de voltaje, decidí utilizar cuatro baterías de 12V conectadas en serie, con el fin de obtener los 48V necesarios para alimentar los motores, así como de distribuir de forma más económica el espacio ocupado por la batería.

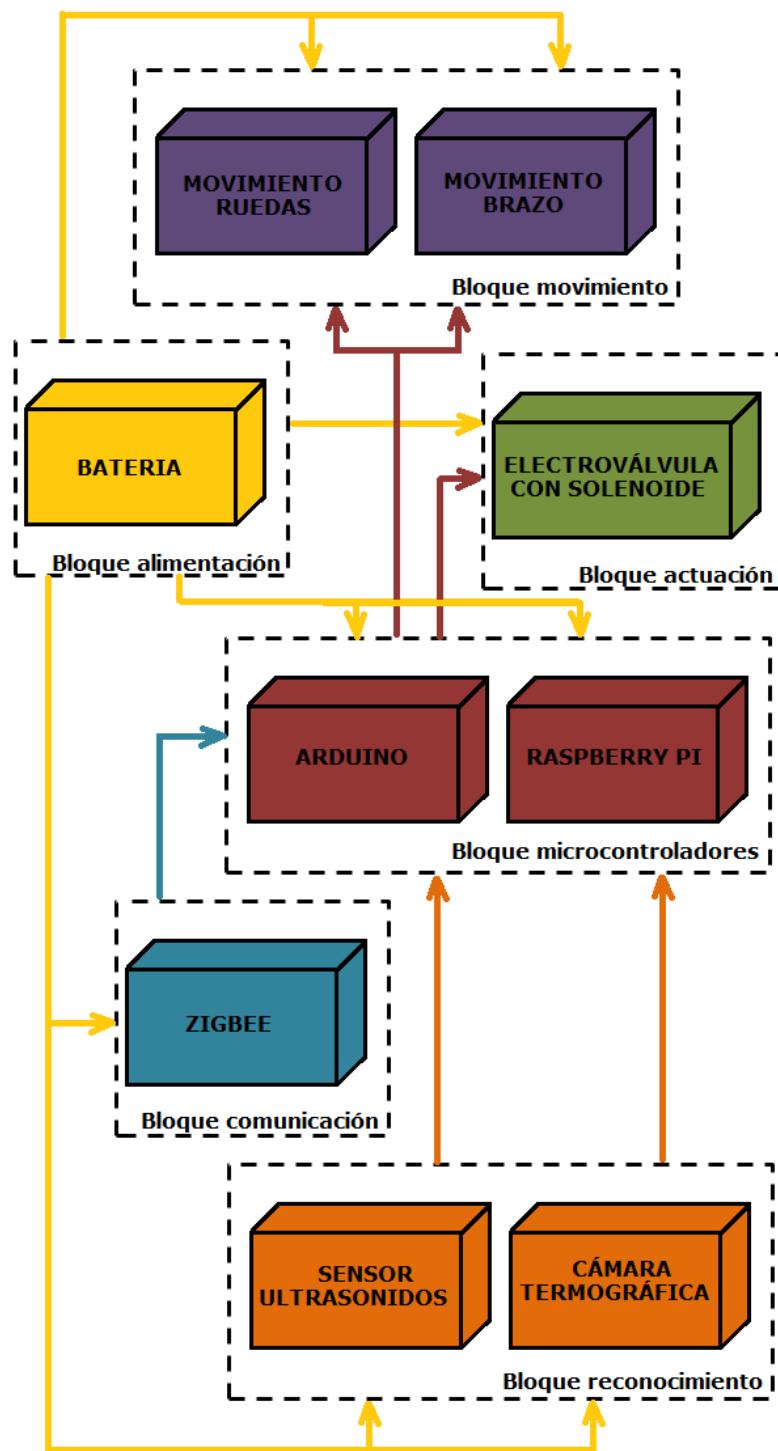
Las especificaciones del modelo de batería escogido son las siguientes:



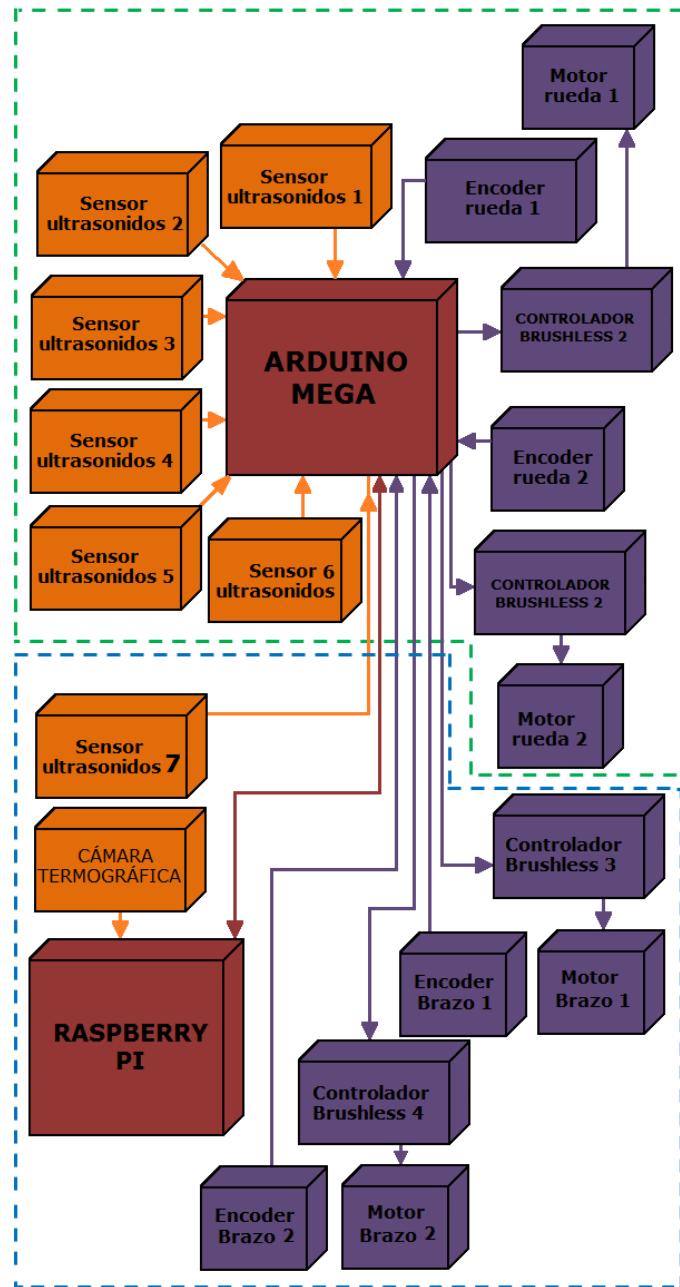
- Batería de 12V.
- Dimensiones: 45·70·170mm
- Capacidad nominal 10ah.
- Tipo Li-Ion.
- Peso: 800g.
- Nº modelo: H7048170. - Máxima tensión de carga: 12,6V.
- Estándar de circuito de carga: 0,2C. - Máxima descarga de corriente: 1C.

### 5.2.3. Esquema eléctrico.

Con el fin de realizar un esquema eléctrico de conexiones lo más completo posible y sin ningún error, comenzaré realizando un diagrama de alto nivel, en el cual se pueden ver por bloques funcionales los grupos de componentes electrónicos que hay integrados en el robot.



A raíz del esquema de alto nivel que se ha podido observar anteriormente, surgen los siguientes diagramas, en los cuales se pueden ver los componentes que intervienen según la actividad realizada por el robot:

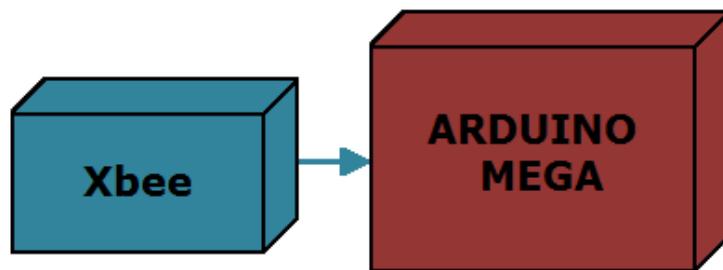


En este diagrama se pueden ver que los componentes que intervienen en el **movimiento del Robot** no son simplemente los motores, sino que al estar todo interrelacionado y tener necesidad de obtener información de alrededor necesita de otros componentes. Se puede observar que están divididos en dos subgrupos, el verde englobaría los componentes de desplazamiento de las ruedas, siendo los motores de estas con sus respectivos encoders y controladores, así como los sensores ultrasonidos para la detección de obstáculos. Por otro lado, estaría el bloque azul, en

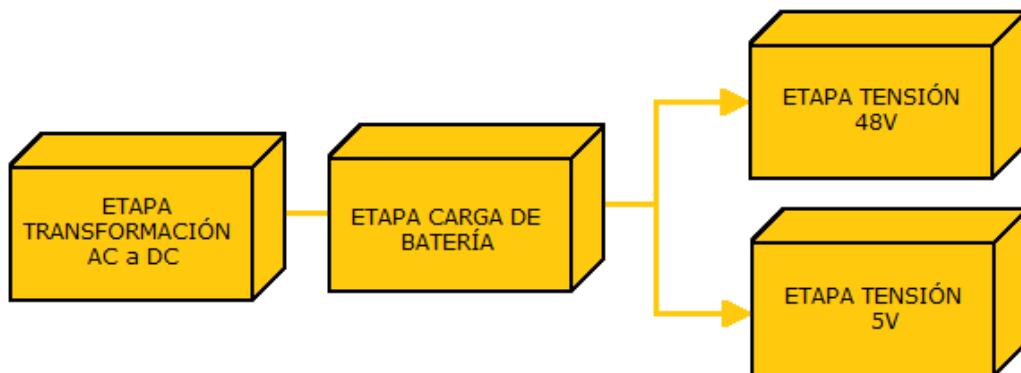
el cual estarían los componentes que servirían para mover el brazo, por ello engloba los motores de este, así como, la Raspberry pi y el sensor de ultrasonidos y la cámara termográfica dispuestos en el extremo del brazo.

Aunque a simple vista no parezca que exista relación para disponer estos dos subgrupos en el mismo bloque, sí que la hay puesto que cuando la cámara termográfica detecte el incendio interactuaran tanto el movimiento de las ruedas para acudir a este, como el brazo para apuntar correctamente.

Además del diagrama de movimiento, se puede observar a continuación el de **comunicación**, bastante más sencillo puesto que está compuesto simplemente por el módulo Xbee que proporcionará la comunicación Zigbee con la vivienda y el Arduino Mega que procesará esta señal.



Por último, podemos distinguir el diagrama de alimentación, en el cual estará la etapa de transformación de corriente alterna a corriente continua, la de carga de la batería y la de obtención de las tensiones deseadas (48V y 5V).



Después de haber realizado los esquemas de bloques un poco más detallados, ya se puede pasar al de bajo nivel, esquema general de conexiones, en el cual vienen mejor especificadas los cableados de los componentes que van a ir incorporados en la PCB. Para realizar el esquema general se ha utilizado el programa de software libre KiCAD. Al abrirlo aparecen una serie de pestañas que permiten ir configurando la PCB paso a paso.

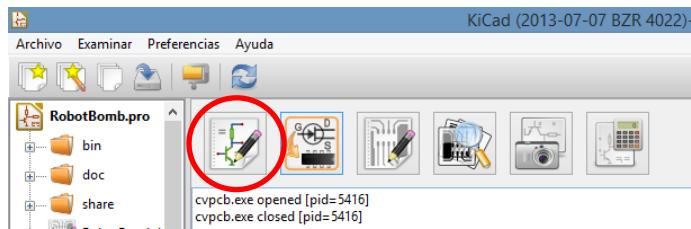
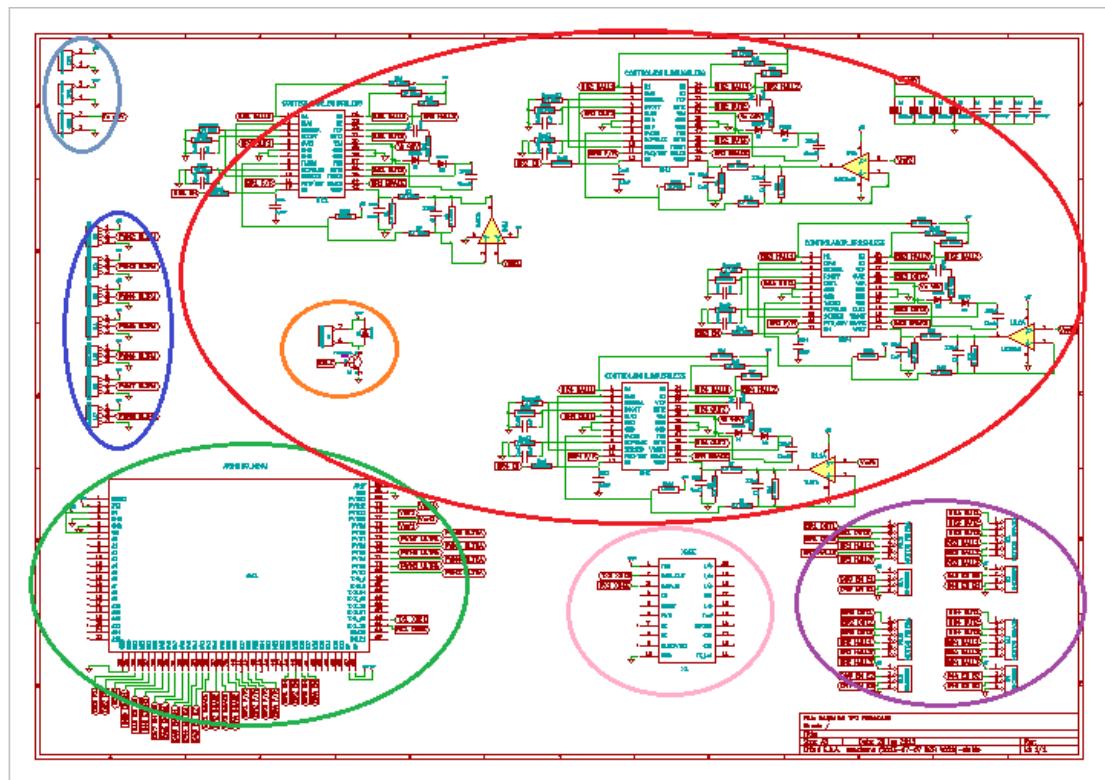


Ilustración 65. Captura KiCAD. Elaboración propia.

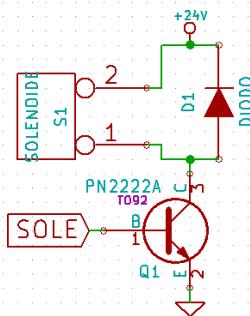
Al hacer clic en la primera de todas (Schematic editor), aparecen las herramientas necesarias para realizar el esquema general de conexiones, el cual queda de la siguiente forma:



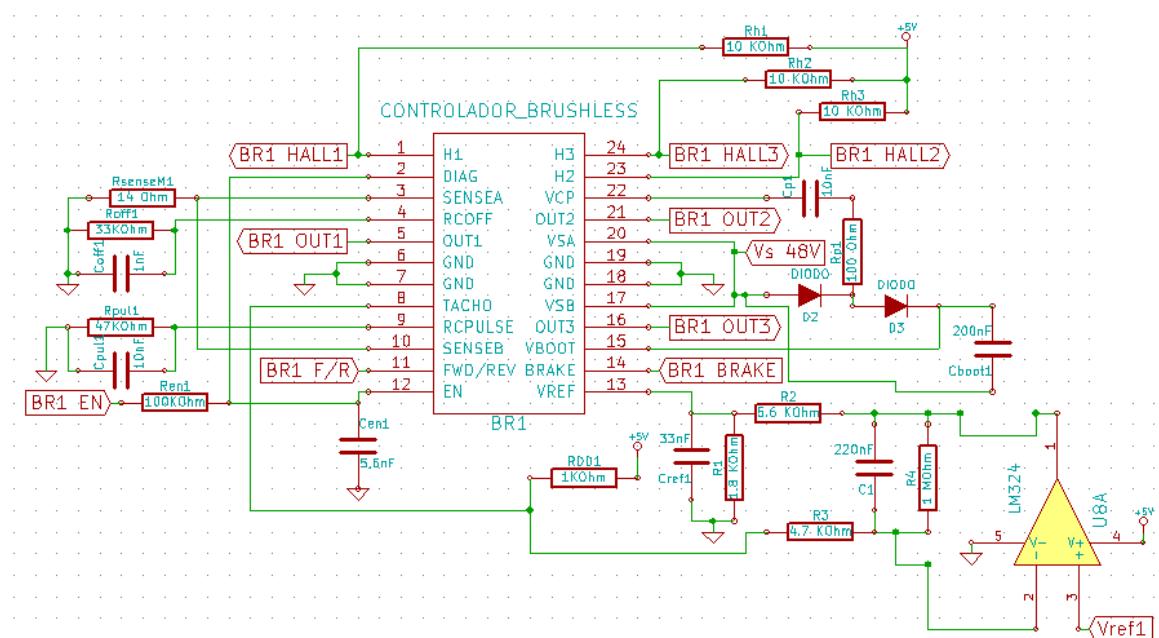
	Conectores alimentación		Solenoide
	Controladores		Arduino Mega
	Conectores Ultrasonidos		Xbee
	Conectores motores & encoders		

Tal y como se puede observar en el esquema, la PCB va a llevar todos los componentes a excepción de la etapa de la batería y transformación de tensión, de la Raspberry Pi y de la cámara termográfica. (Este esquema electrónico puede consultarse de forma más detallada en los anexos adjuntos a la memoria).

Para controlar el solenoide que activará la expulsión del agente extintor, se ha conectado mediante un transistor TO92, que a su vez está conectado por un pin al Arduino Mega, el cual cuando de la señal permitirá el paso del agente extintor o lo impedirá.



A los controladores Brushless que van a permitir que se pueda gobernar la electrónica correctamente, es necesario añadirles una serie de componentes electrónicos para que funcionen correctamente, de tal forma que todos quedarán cableados de la siguiente forma:



Como no todos los motores trabajan a la misma corriente, es necesario variar el valor de la resistencia RsenseM1 para ello dependiendo de si son para los motores de las ruedas o para los de los brazos, los valores serán:

$$R_r = \frac{V}{I} = \frac{48V}{3,6A} = 13,14\Omega \simeq 14\Omega$$

$$R_b = \frac{V}{I} = \frac{48V}{46,4A} = 1,03\Omega \simeq 2\Omega$$

Con el esquema a bajo nivel con los componentes necesarios para su funcionamiento ya se puede proceder al siguiente paso: El diseño de la PCB.

#### 5.2.4. Diseño de la PCB.

Tras haber hecho el esquema general, se procede a asignar la huella correspondiente a cada uno de los componentes. Para ello, dentro del programa KiCAD, se selecciona la pestaña (Components to Modules), se podrá ver una lista con todos los componentes incorporados en el esquema general, y a cada uno de ellos se le asigna una huella concreta.

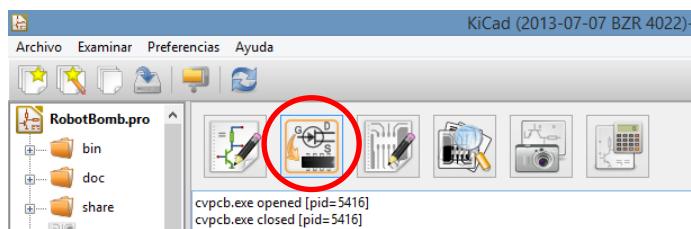


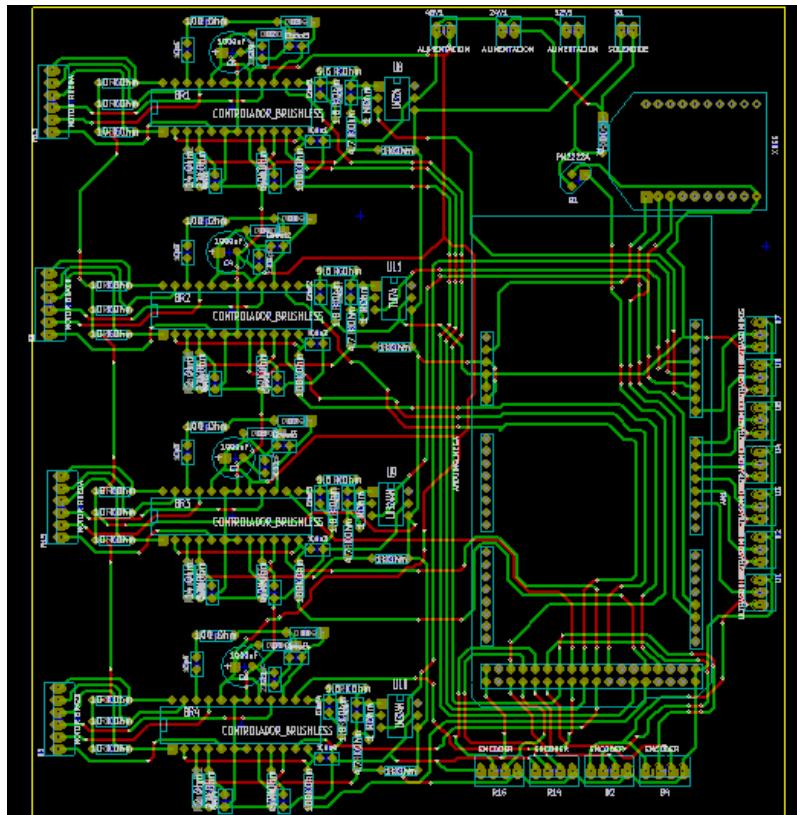
Ilustración 66. Captura KiCAD. Elaboración propia.

Tras haber hecho esta asignación, ya se pueden añadir todos los componentes a la PCB, para ello, se hace doble clic en la pestaña de (PCB editor).



Ilustración 67. Captura KiCAD. Elaboración propia.

A continuación, aparecerán todos los componentes sin unir. El resultado final de la PCB, tras haber unido todas las huellas con las pistas se puede observar de forma detallada en los anexos, a pesar de ello se puede ver reducido a pequeño para poder explicar los distintos bloques que engloba la PCB:



Tal y como se puede ver, en la PCB están incorporados el Arduino Mega, la Xbee, los cuatro controladores de los motores Brushless con los respectivos componentes necesarios para que funcionen correctamente, las conexiones necesarias para los siete sensores de ultrasonidos, así como los puertos de conexión de los cuatro motores con los respectivos encoders, el sistema de activación del solenoide y las entradas de 48V, 24V y 5V.

Se pueden distinguir cuatro colores diferentes en la PCB, el rectángulo de color amarillo, serviría para delimitar las dimensiones físicas de la PCB, los distintos dibujos azules corresponderían a las huellas de los componentes incorporados, y por último, cada una de las líneas verdes corresponderían a las pistas que se encuentran en la cara superior de la PCB, mientras que las líneas rojas, representan las pistas que se encuentran en la cara inferior de esta.

La PCB, anterior sirve para gobernar toda la electrónica del robot, por ello lleva incorporado todos los componentes que son controlados por el Arduino Mega, así como este controlador. La raspberry Pi, va independiente a esta placa, puesto que el fin de crear una PCB es el de ahorrar cableado, y esta última solo lleva conectada la Cámara termográfica, y el añadir una PCB, para cablear un componente lo único que nos traería es añadir costes innecesarios al diseño.

Por otra parte, es necesario incorporar otra PCB, en la cual estará tanto la fase de transformación de trifásica a monofásica, como la de transformación a 48V y 5V, para alimentar toda la electrónica.

### 5.2.5. Etapa de alimentación.

En este punto se va a desarrollar la electrónica necesaria para poder cargar las baterías y para obtener los 5V y los 48V deseados para hacer funcionar el robot.

Se pueden distinguir dos partes principales: En la primera, compuesta por el transformador AC-AC, en la cual se disminuirá la tensión de 230V a 55V de entrada, el puente de diodos y el condensador de filtro, obtendremos una tensión DC. Mientras que en la segunda, irán incorporados una serie de componentes para transformar la tensión a los 48V deseados, para controlar la carga de la batería y para convertir de 48V a 5V.

#### **Primera parte:**

Es necesario calcular el condensador de filtro que hay que instalar en la etapa de potencia, para ello, se utilizará la siguiente fórmula:

$$\omega RC = 7$$

$$C = \frac{\omega R}{7}$$

Para poder obtener este valor, es necesario antes saber la resistencia equivalente al consumo del circuito, conociendo la tensión de entrada y la corriente consumida por todos los componentes, y aplicando la ley de ohm se haya su valor.

Tensión entrada: 50V

Corriente: 14,15A

$$R = \frac{V}{I} = \frac{50}{14,15} = 3,53 \text{ Ohm}$$

Por último, se sustituye en la fórmula para obtener el condensador de filtro:

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 3,53}{7} = 158,34$$

Con el condensador de filtro calculado, ya solo queda por dimensionar el transformador AC-AC que va a tener que llevar el robot.

Para poder calcularlo hay que tener en cuenta las pérdidas que ha habido hasta alcanzar la segunda parte del circuito.

A los 50V que entran en el LTC4000 se le añade un 5% de tensión perdida en el condensador de filtro y otro 5% perdido en el puente rectificador de diodos, con ello suman 55V.

Teniendo en cuenta que la tensión real que proporciona un transformador es:

$$\text{Tensión transf real} = \text{tens transf} + 0,5\text{tens transf}$$

$$55V = 1\text{Tens} + 0,5\text{Tens}$$

Se va a necesitar un transformador que proporcione 36,66 Voltios.

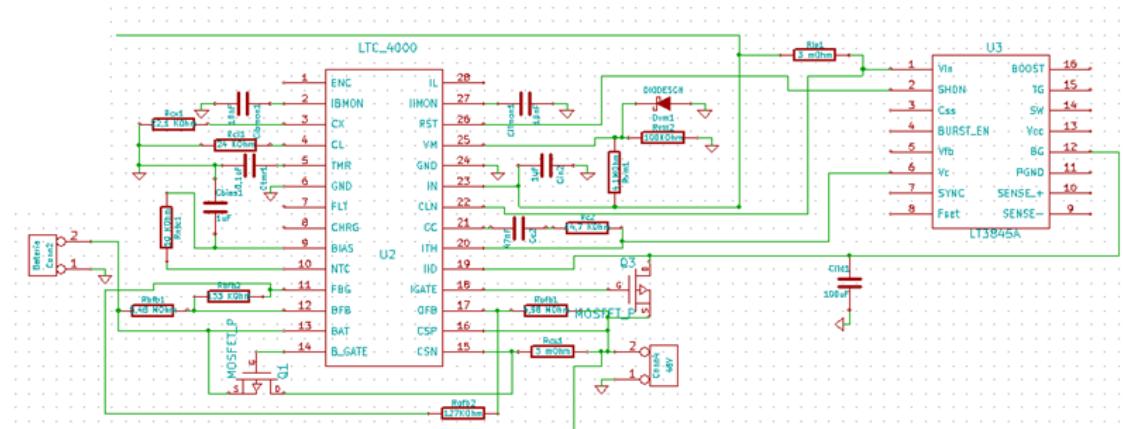
Con una potencia de 518,73W (36,66V·14,15A).

El transformador de tensión AC-AC que irá antes del puente de diodos, será encargado para que se fabrique para que proporcione la tensión de 36,66V y 518,73W de potencia.

### Segunda parte:

Para esta segunda parte, se va a diseñar una PCB que va a integrar todos los componentes, debido a que la gran cantidad de conexiones lo requiere.

Con el LTC4000, se va a regular la carga de la batería y además va a regular la tensión de salida. Soporta tensiones de entrada de hasta 60V. En función de la tensión que se introduzca en el chip y la tensión que se quiera sacar hay que modificar el valor de los componentes que va a llevar conectado a sus patillas.



Como el voltaje de entrada es de 50V la  $R_{VM1}$  es de:

$$R_{VM1} = \left( \frac{50V}{1,193V} - 1 \right) \cdot 100K\Omega = 4091 \simeq 4,1M\Omega$$

El Pin IL, se abre de tal forma que permita un paso de voltaje inferior a 1.05V. La regulación del voltaje en el pin IIMON está limitado a 1V con una referencia interna con bastante exactitud. Para controlar esta entrada de voltaje, se instalará una resistencia. Como el circuito consume un total de 14,15A, redondeamos a 15A y con

este valor y el de la tensión se obtendrá la resistencia necesaria. El valor de la resistencia  $R_{IS}$  será igual a:

$$R_{IS} = \frac{0,050V}{15A} = 3m\Omega$$

$R_{CL}$  está configurado con un valor de 24,9Kohm, de tal forma que el voltaje en el pin CL sea 1,25V. Al igual que en el pin IIMON, el voltaje del pin IBMON está limitado a 1V con una referencia interna de bastante exactitud. Por ello, como la corriente consumida des de 15A, se utilizará la siguiente fórmula:

$$I_{CLIM(MAX)} = \frac{0,050V}{R_{CS}} = \frac{0,050V}{3m\Omega} = 15A$$

La corriente de carga es de 0.2C. Como la capacidad nominal de la batería (C), es de 10 Amperios hora, al multiplicar ambas cifras se obtiene la corriente de carga.

El valor de la corriente de carga es de 2A.

Conocida la corriente, si aplicamos la siguiente fórmula, se obtendrá el valor de la resistencia que va a ir instalada a la salida del pin CL.

$$I_{CLIM(MAX)} = \frac{0,25\mu A \cdot R_{CL}}{3m\Omega} = 2A$$

$$R_{CL} = 24 K\Omega$$

El valor del voltaje con el cual se va a alimentar la batería es de 48V. De acuerdo con la siguiente fórmula, suponiendo una resistencia  $R_{BFB2}$  de 133K $\Omega$ . El valor de  $R_{BFB1}$  es:

$$R_{BFB1} = \left( \frac{48}{1.136} - 1 \right) \cdot 133K\Omega = 5487K\Omega \simeq 5,48M\Omega$$

El valor de salida del voltaje, viene determinado mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$R_{OFB1} = \left( \frac{V_{OUT}}{1.193} - 1 \right) \cdot R_{OFB2}$$

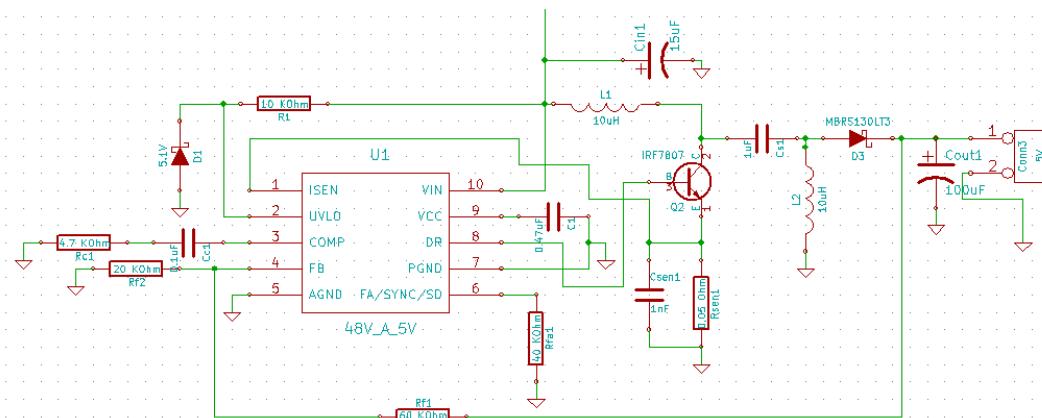
Suponiendo un valor de  $R_{OFB2} = 127K\Omega$ , y sabiendo que la tensión de salida tiene que ser de 48V, la  $R_{OFB1}$  valdrá:

$$R_{OFB1} = \left( \frac{48}{1.193} - 1 \right) \cdot 127K\Omega = 4982K\Omega \simeq 4,98M\Omega$$

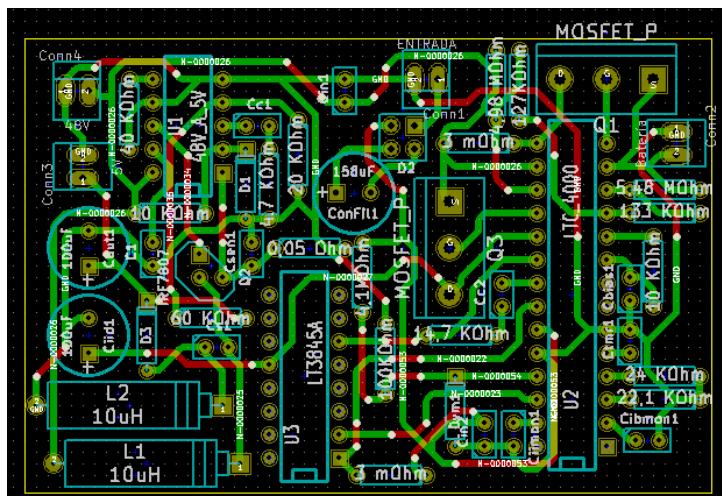
Con estos cálculos se obtendrá la respuesta deseada por el chip.

Como también es necesario obtener 5V, para alimentar la electrónica del robot, se necesita otro chip que realice la conversión de tensión, para ello se utilizará el

circuito integrado LM3481, cuyo esquema de conexionado de componentes externos queda de la siguiente forma:



Siguiendo los mismos pasos explicados en el apartado anterior de diseño de la PCB, el resultado final para la etapa de potencia es el siguiente:



## 5.2.6. Conexión de los sensores de la vivienda.

Una de las ventajas que presenta este sistema es la fácil implementación que presenta a la hora de instalarlo en una vivienda. Debido a la versatilidad que presenta el Arduino, el sistema de envío de la señal podría ser aplicado a una amplia variedad de detectores de humo y fuego.

Es necesario establecer un sistema de conexión entre los sensores instalados en la vivienda y el robot. Para ello, será necesario conectar los sensores de humo y fuego que se encuentren en cada una de las habitaciones a un Arduino y a un receptor – emisor Zigbee propios.

En este caso, como las únicas funciones que va a realizar el Arduino van a ser la de recibir la señal de aviso del sensor y la de enviarla al robot indicándole la habitación, no precisará de una gran cantidad de entradas y salidas. Por ello, es posible usar un modelo más reducido del mismo fabricante que el implementado en el robot, se instalará un Arduino Uno.

El esquema de conexión quedaría de la siguiente forma:

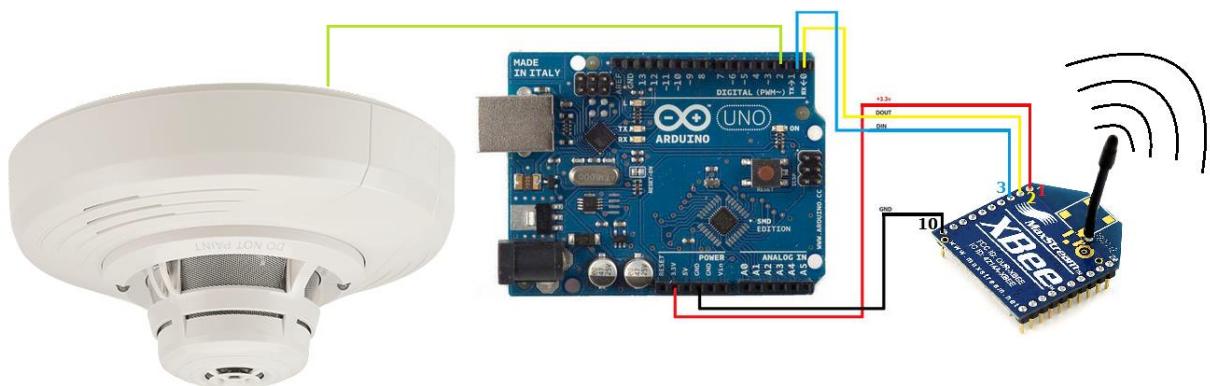


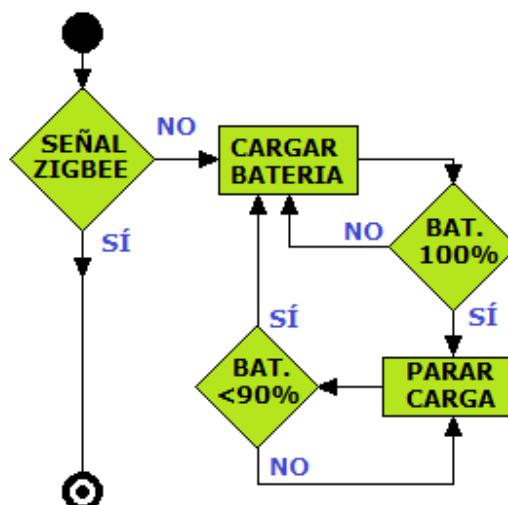
Ilustración 68. Conexión sensores vivienda. Elaboración propia.

El detector de humo o de fuego irá cableado al Arduino Uno y a través de este cable hará llegar la señal de que se está iniciando un incendio al microcontrolador, el cual procesará esta señal, a continuación a través del módulo Xbee que lleva acoplado enviará otra señal avisando al robot de que ha comenzado un incendio indicándole la habitación donde se está produciendo, para que así ya este pueda comenzar la rutina para acudir y extinguir el incendio.

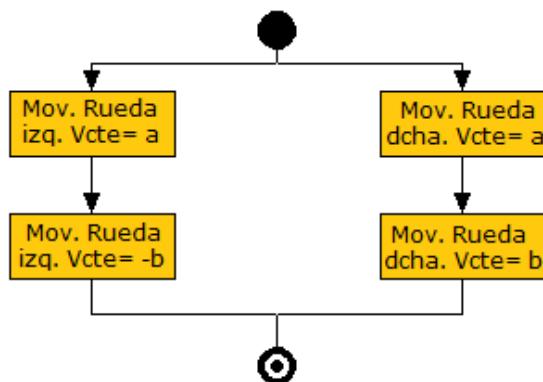
## 5.3. PROGRAMACIÓN

Al no haber desarrollado físicamente el robot, es imposible comprobar el correcto funcionamiento de la programación, por ello, se ha optado por explicar el programa en un nivel superior, con las funciones que va a realizar cada componente en cada situación, de tal forma que en un futuro si se lleva a cabo la construcción del robot, el informático que lo programase tuviera explicado de forma clara y concisa las instrucciones que tendría que llevar a cabo el robot.

**Función reposo:** Mientras que el robot no recibe señal mediante el módulo Xbee de que está ocurriendo un incendio en la vivienda, estará cargando la batería, pero para evitar que esta se estropee, al detectar que la carga se encuentre al 100%, dejará de cargar hasta que el nivel haya descendido por debajo del 90%, en cuyo caso volverá a comenzar la carga.

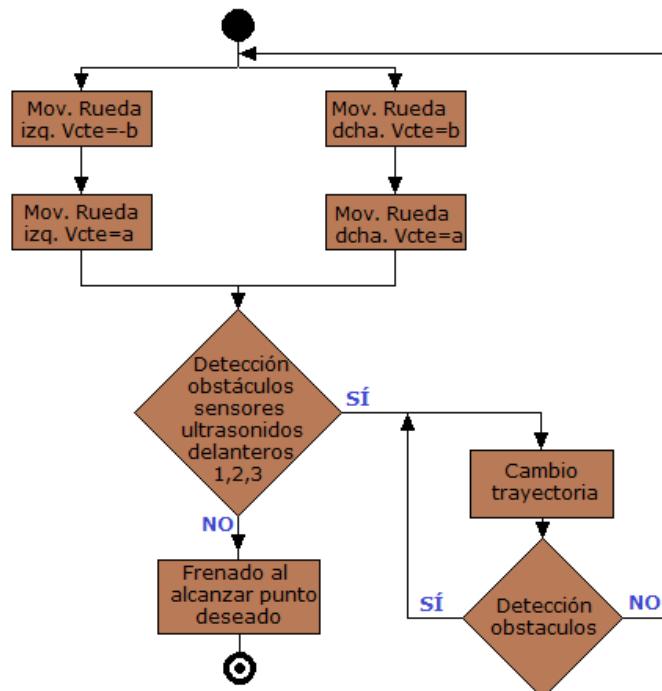


**Función desacople:** Una vez haya saltado la alarma, el robot pasará de la función reposo a la de desacople. Para distanciarse de la estación de carga moverá los motores de ambas ruedas a la misma velocidad y lo distanciarán de la base una mínima distancia, a continuación girarán en la orientación oportuna hacia donde tendrá que desplazarse para apagar el incendio.



**Función desplazamiento:** En esta función jugarán un papel importante tanto los sensores de ultrasonidos, como los motores de las ruedas, conociendo el punto al que se quiere llegar y el punto original, mediante los encoders se irá obteniendo la posición del robot. En caso de que no se detecte ningún obstáculo en la trayectoria original, el robot simplemente se orientará en la dirección en línea recta al punto que tiene que llegar y acto seguido se moverá a una velocidad constante hasta alcanzar dicho punto, momento en el cual el robot procederá a frenar.

Si se da la situación en la cual se interpone un cuerpo en la trayectoria entre el robot y el punto deseado, este procederá a un cambio de trayectoria, de nuevo realizará el escaneo para detectar obstáculos y si no encuentra ninguno, proseguirá su camino hasta el punto deseado, donde de nuevo al alcanzarlo frenará y terminará la función desplazamiento para pasar a la siguiente.



**Función escaneo:** Para escanear la habitación en busca del incendio, el robot empleará la cámara termográfica y los 4 motores. Con el fin de poder comandar correctamente la dirección, se va a dividir la imagen que obtiene la cámara en 9 cuadrantes, de tal forma que dependiendo del cuadrante donde se encuentre la mayor cantidad de pixels que indiquen una mayor temperatura, el robot se comportara de un modo o de otro.

1	2	3
4	5	6
7	8	9

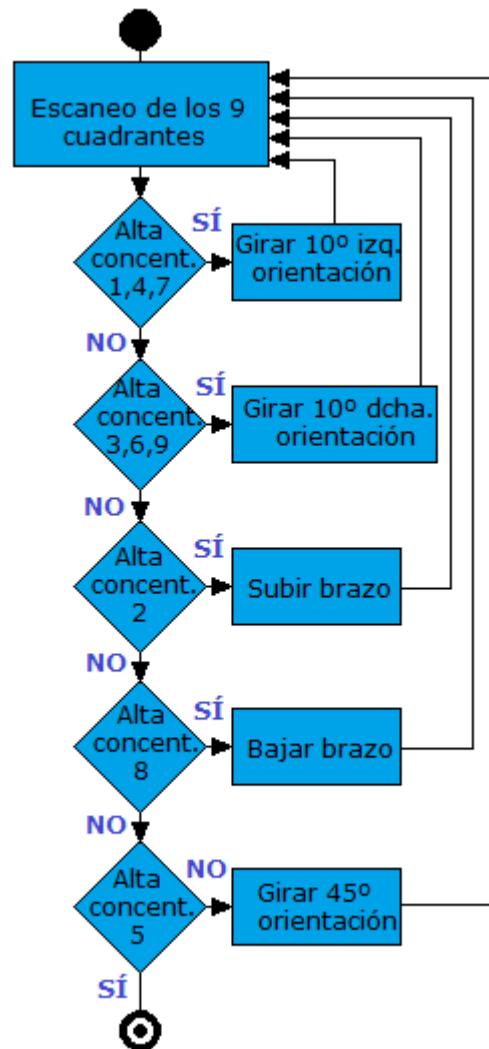
Si la mayor concentración se encuentra en los cuadrantes 1,4 y 7, es decir en la izquierda de la pantalla de la cámara, el robot girará 10º para que la mayor concentración se sitúe en el centro de la cámara.

Por lo contrario, si la mayor concentración se da en los cuadrantes 3,6 y 9, el robot girará a la derecha, de nuevo para centrar la llama en la imagen.

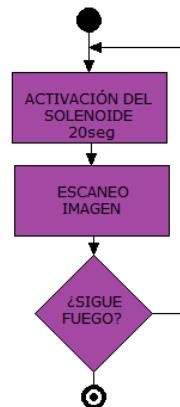
Si el cuadrante 2 es el que registra la concentración de pixels mayor, el robot deberá subir el brazo para orientarlo correctamente, mientras que si se ha dado en el cuadrante 8, deberá bajar el brazo.

Por último, cuando la mayor concentración se de en el cuadrante 5, significará que el brazo está apuntando correctamente hacia la llama, en cuyo caso podrá finalizar esta función y pasar a la de extinción.

En caso de que no haya detectado ningún punto caliente en ninguno de los cuadrantes el robot girará sobre sí mismo 45º para escanear de nuevo la habitación en otra dirección.



**Función extinción:** Esta función es la última que deberá realizar el robot, es la más sencilla, puesto que solo hay que dar la orden de activarse al pin digital del Arduino Mega al que está conectado el transistor del solenoide para dar paso al agente extintor sobre el incendio. Tras 20 segundos se cierra el solenoide, escanear de nuevo la imagen para ver si el incendio está apagado, si es así termina la función y si no reactiva el solenoide.



## 6. CONCLUSIONES

Tras la elaboración del trabajo se han podido llegar a las siguientes conclusiones:

- Se ha realizado una elección del agente extintor más apropiado, así como la cantidad de este necesaria para extinguir el fuego, fundamentando esta elección en una serie de argumentos.
- Se ha seleccionado el material más apropiado para la estructura del robot, así como un recubrimiento para otorgarle mayor protección ante las altas temperaturas que va a soportar.
- A partir de las limitaciones impuestas por el recipiente que lleva en su interior, se ha realizado un diseño en 3D, eficaz para el desplazamiento en la vivienda y para el desempeño de la función de extinción.
- Acorde a este diseño mecánico, se ha realizado el desarrollo del modelo cinemático directo e inverso, con el cual se han podido obtener las ecuaciones de movimiento del robot.
- Conociendo las dimensiones y el peso del robot, se ha calculado el par y la potencia necesarios para poder elegir los motores que sean capaces de mover tanto el brazo, como las ruedas del robot.
- Respecto al diseño electrónico, se ha hecho una selección de todos los componentes electrónicos necesarios para que pueda desempeñar las funciones para las que había sido diseñado.
- Se han obtenido los distintos consumos de cada uno de los componentes, y se ha evaluado las distintas situaciones de funcionamiento, a raíz de esto se ha obtenido el amperaje consumido por el robot y se han seleccionado las baterías necesarias para poder alimentar toda la electrónica.
- Se han diseñado dos circuitos impresos (PCB), uno para controlar toda la electrónica del robot, y en el otro se ha incluido la etapa de potencia, para transformar a la tensión necesaria de trabajo, así como etapa de carga de batería.
- Por último, se ha desarrollado la programación a un nivel alto, en la cual se han establecido las distintas funciones que tendrá que realizar el robot mediante diagramas UML. Debido a que no hay ningún prototipo, no había sentido en desarrollar la programación a un bajo nivel, puesto que no se podría comprobar si esta es correcta o no.

## 7. TRABAJOS FUTUROS

Como trabajos futuros, se podría continuar investigando en las siguientes líneas:

- Trabajar en el desarrollo de un prototipo, con el cual poder hacer pruebas de campo para poder probar su funcionamiento ante distintas situaciones.
- Profundizar en la lectura e interpretación inteligente de imágenes mediante la cámara termográfica.
- Con el prototipo desarrollado, profundizar en la programación de este para que pueda desempeñar todas las funciones, tal y como se ha establecido en los diagramas, o incluso mejorando las aplicaciones si se ve factible.
- Añadir al robot un sistema de alarma para avisar a las autoridades (Bomberos y ambulancias), para que acudan a la vivienda, con el fin de que confirmen la correcta extinción del incendio y asistan a las personas en caso de que sea necesario. Además se podría añadir un sistema de aviso a los dueños de la vivienda para que sepan si está ocurriendo un incendio.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Argudo Cobos, Geovanny Sebastián, & Arpi Saldaña, Adrian Danilo. (2012, julio).

Diseño y construcción de un robot móvil tele operado para la asistencia en operaciones de alto riesgo del cuerpo de bomberos. Recuperado 30 de marzo de 2015, a partir de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2424>

Chien, T. L., Guo, H., Su, K. L., & Shiau, S. V. (2007). Develop a Multiple Interface Based Fire Fighting Robot. En *ICM2007 4th IEEE International Conference on Mechatronics* (pp. 1-6). <http://doi.org/10.1109/ICMECH.2007.4280040>

Davis, J., Klundt, R., Limpisathian, P., & Giakos, G. (2010). FIRE FIGHTING ROBOT. Recuperado a partir de <https://ladder49.googlecode.com/files/DT08%20Design%20Report.pdf>

Dispositivo de carga acoplada - Wikipedia, la enciclopedia libre. (2015, abril). Recuperado 1 de mayo de 2015, a partir de [http://es.wikipedia.org/wiki/Dispositivo\\_de\\_carga\\_acoplada](http://es.wikipedia.org/wiki/Dispositivo_de_carga_acoplada)

Eduardo J. Carletti. (2007). Energía - Baterías para alimentación de robots - Robots Argentina. Recuperado 4 de mayo de 2015, a partir de [http://robots-argentina.com.ar/Energia\\_baterias.htm](http://robots-argentina.com.ar/Energia_baterias.htm)

ELTRA. (s. f.). Encoder Incremental. Descripción general. Recuperado 7 de abril de 2015, a partir de <http://facultad.bayamon.inter.edu/arincon/encoderIncrementales.pdf>

Globalspec. (s. f.). UV Cameras Information on GlobalSpec. Recuperado 3 de mayo de 2015, a partir de [http://www.globalspec.com/learnmore/imaging\\_video\\_equipment/video\\_cameras\\_accessories/uv\\_cameras](http://www.globalspec.com/learnmore/imaging_video_equipment/video_cameras_accessories/uv_cameras)

Ignacio Vidri Salgado. (2011, 2012). Zigbee y sus aplicaciones. Recuperado a partir de  
<http://www.dea.icaí.upco.es/sadot/Comunicaciones/avanzadas/Zigbee%20y%20sus%20aplicaciones.pdf>

Ingemecánica. (s. f.). Comportamiento del Acero con la Temperatura. Recuperado 14 de abril de 2015, a partir de  
<http://ingemecanica.com/tutorialesemanal/tutorialn107.html>

Javier Pérez Soriano. (s. f.). Prevención de Riesgos Laborales en Centros Docentes. Recuperado 14 de abril de 2015, a partir de  
<http://www.prevenciondocente.com/tiposfuego.htm>

JUNG. (s. f.). JUNG - Funcionamiento Detector de humo. Recuperado 4 de mayo de 2015, a partir de <http://www.jung.de/es/1607/soluciones/detector-de-humo/funcionamiento/>

Liljeback, P., Stavdahl, O., & Beitnes, A. (2006). SnakeFighter-development of a water hydraulic fire fighting snake robot. En *Control, Automation, Robotics and Vision, 2006. ICARCV'06. 9th International Conference on* (pp. 1-6). IEEE. Recuperado a partir de  
[http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=4150171](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4150171)

Luis Suñer de Alzira. (2013, febrero 27). Partes de un Robot: La batería. Recuperado 4 de mayo de 2015, a partir de <http://roboticasunyer.blogspot.com.es/>

María Fernández Gómez. (2011, 2012). Instalación eléctrica y domótica para una vivienda unifamiliar. Recuperado a partir de  
[http://biblioteca.unirioja.es/tfe\\_e/R000001357.pdf](http://biblioteca.unirioja.es/tfe_e/R000001357.pdf)

Microsoft Word - P1\_Propiedades aislantes.doc - P1\_portada.pdf. (s. f.). Recuperado a partir de [http://www.five.es/descargas/archivos/P1\\_portada.pdf](http://www.five.es/descargas/archivos/P1_portada.pdf)

Miño Quintero, P. A. (2007). Rediseño del sistema de detección y extinción de incendios para las turbinas a gas de la central térmica Santa Rosa

perteneciente a TERMOPICHINCHA SA. Recuperado a partir de  
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2405>

Nithiya, M., Muthamizh, E., & Yr-ECE, I. I. (s. f.). FIRE FIGHTING ROBOT. Recuperado a partir de  
<http://www.ifet.ac.in/pages/intsymp14/TechnoVision%20%2714/papers/ECE/ECE23.pdf>

Ortigoza, R. S., Ramos-Silvestre, E. R., & Morales-Guerrero, R. (2010). Modelado, simulación y construcción de un robot móvil de ruedas tipo diferencial. *Latin-American Journal of Physics Education*, 4(3), 39.

Prefire. (s. f.). Tipología de los detectores de incendios de incendios y gases. Recuperado 4 de mayo de 2015, a partir de <http://www.prefire.es/proteccion-contra-incendios/deteccion-incendio-gases-4.php>

Santillán Valdiviezo, L. G., & Núñez Alvarez, M. C. (2011). Diseño y Construcción de un Bastón Electrónico como Ayuda a Personas con Discapacidad Visual. Recuperado a partir de <http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/611>

sensores de temperatura: sensores de temperatura. (s. f.). Recuperado a partir de <http://sensorsdetemperatura.blogspot.com.es/2009/05/sensores-de-temperatura.html>

Teresita Robert. (2008). Influencia de la temperatura en el comportamiento mecánico de los metales. Recuperado 14 de abril de 2015, a partir de [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Temperatura\\_5185.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Temperatura_5185.pdf)

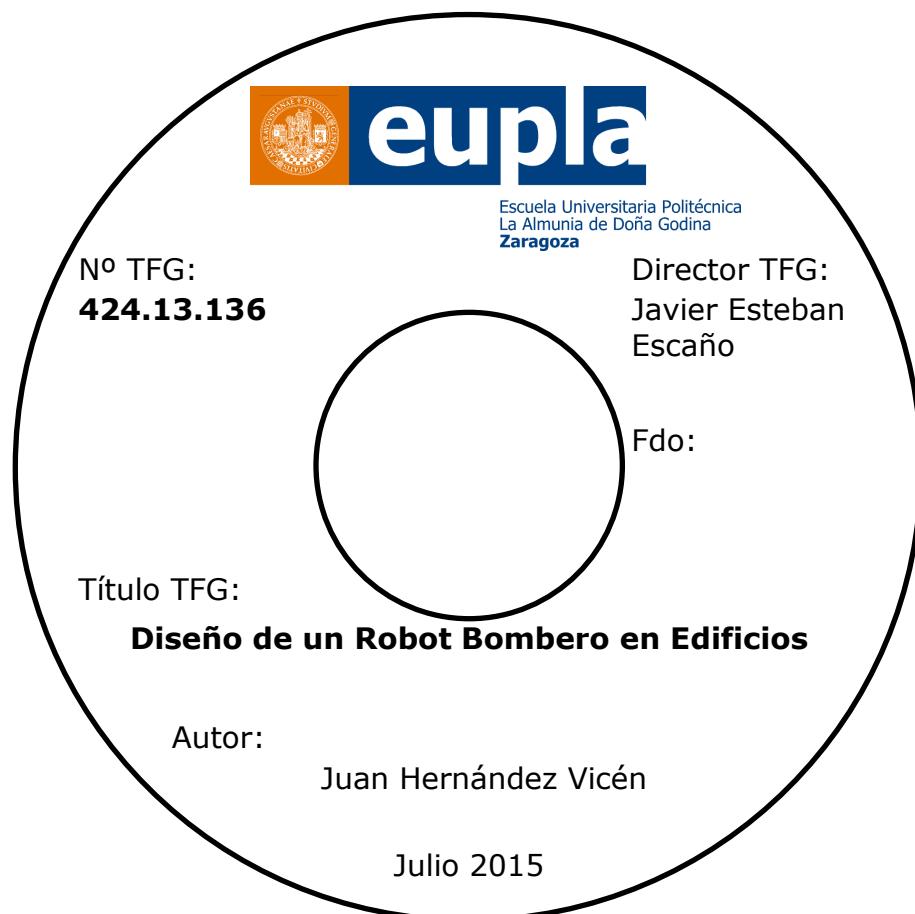
## Relación de documentos

( ) Memoria .....	86	páginas
( ) Anexos .....	81	páginas
( ) Planos .....	27	páginas

La Almunia, a 01 de Julio de 2015

Firmado: Juan Hernández Vicén



**Etiqueta para CD/DVD****eupla**

Escuela Universitaria Politécnica  
La Almunia de Doña Godina  
Zaragoza

Nº TFG:  
**424.13.136**

Director TFG:  
Javier Esteban  
Escaño

Fdo:

Título TFG:

**Diseño de un Robot Bombero en Edificios**

Autor:

Juan Hernández Vicén

Julio 2015



**Universidad**  
Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA  
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

**Diseño de un Robot Bombero en Edificios**

**424.13.136**

**Autor:** Juan Hernández Vicén

**Director:** Javier Esteban Escaño

**Fecha:** Julio 2015

