Capítulo 1

La evolución de la robótica

1.1 Marco general del proyecto

Desde que en 1917 el escritor Karel Capek[1] usara el término robot para referirse a unas máquinas en forma de humanoide, han tenido que aparecer numerosos avances tecnológicos y pasar más de medio siglo, para que el autor de este proyecto haya podido realizar un robot articulado en un espacio de tiempo relativamente corto y con un presupuesto mucho más reducido.

En el libro *Robótica Industrial* [1] se define la robótica como una ciencia aplicada que surge de la combinación de la tecnología de las máquinas-herramienta y de la informática. Una máquina-herramienta se define como una máquina que efectúa cualquier trabajo manual, y la informática como la ciencia del tratamiento automático y racional de la información. Uniendo ambos conceptos la robótica surge al automatizar de manera racional las máquinas-herramienta, es decir al permitir que un programa informático controle las operaciones que antes realizaba un operario. Ligado a la robótica aparece el robot, si lo primero es la ciencia lo segundo es el objeto. Se considera la aparición del primer robot, en su concepción moderna, como la unión del control numérico y de la telequérica. El control numérico fue una de las primeras formas de la informática y la telequérica es la ciencia que estudia los manipuladores controlados a distancia por un ser humano, o teleoperadores, que se pueden considerar como una máquina-herramienta avanzada. A partir de aquí la evolución de la robótica ha estado íntimamente relacionada con el desarrollo de la tecnología eléctrica e informática, todo en la aparición de nuevos y mejores sistemas de control. En 1959 se introdujo el primer robot comercial por Planet Corporation, estaba controlado por interruptores de fin de carrera y levas. En 1971 la Universidad de Stanford desarrolló el *Stanford Arm*, un pequeño brazo robot de accionamiento eléctrico. En 1981 la Universidad Carnegie-Mellon diseñó un robot que utilizaba motores eléctricos situados en las articulaciones del manipulador sin las transmisiones mecánicas habituales. Las primeras aplicaciones prácticas de los robots se encuentran en la industria y sobre todo en la del motor. En 1961 la Ford Motor Company utilizó uno para controlar una máquina de fundición en troquel y en 1974 Kawasaki instaló otro para soldar las estructuras de las motocicletas.

[1] Karel Capek utilizó en su obra 'Rossum's Universal Robots' la palabra 'robota', que en checo significa trabajador forzado. Cuando este libro se tradujo al inglés apareció el término ROBOT.

En paralelo, los lenguajes de programación de robots fueron mejorando, y en la exposición 'Robots 8' se mostraron los primeros lenguajes de programación, que permitían el desarrollo de programas de control utilizando gráficos interactivos en un ordenador personal que luego se podían cargar en el robot.

Al ser la industria la que adquirió la mayoría de ellos, una de las primeras definiciones del término robot la proporcionó el Robotics Industries Association (RIA) y vino a decir:

> Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable diseñado para desplazar materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales mediante movimientos programados variables para la ejecución de una diversidad de tareas.

Bajo el punto de vista anterior es fácil comprender la definición dada por la RIA, aunque actualmente se podría decir que se ha quedado pequeña, ya que en el 2000 existen muchas más aplicaciones que no responden a las características anteriores y no por ello dejan de ser robots. Además, se está produciendo un cambio en la actitud de la sociedad respecto a la robótica, todo por la sucesiva aparición de aplicaciones que, de no haber sido por ella, no podrían haberse llevado a cabo. Al principio existió un sentimiento generalizado de oposición al robot, se consideraban más enemigos que amigos, siendo la razón principal el temor a ser sustituido. Evidentemente esta opinión tiene su fundamento en un momento puntual de la historia y en todas aquellas personas que perdieron sus puestos de trabajo al introducir los robots en las fábricas. Pero ahora se puede decir que este hecho permitió la evolución de los trabajos, ya que se eliminaron las tareas repetitivas que no permitían un enriquecimiento *mental,* y se crearon nuevos puestos dentro de las empresas, que permitían una participación mayor del empleado, siendo su trabajo más humano que repetitivo. No obstante, no se quiere entrar a discutir en este proyecto si la robótica ha sido perjudicial o no desde un punto de vista social.

Otro concepto era la forma que tenía que tener un robot. Al principio la mayoría opinaba que un robot tendría un aspecto humanoide, con pies, manos, cabeza, más o menos inteligente y que estaba al servicio de su amo. Si hubiese que buscar un motivo de esto se podría decir que fueron las películas, libros, series de TV, etc., las que emplearon la figura del humano y le pusieron un cerebro electrónico. Por ejemplo, se podrían citar las numerosas obras del escritor Isaac Asimov que tenían como protagonistas a robots. Fue este escritor el que enunció las tres leyes de la robótica [2] , en ellas se puede ver la preocupación inicial del hombre en mantener el control de los engendros mecánicos, como si hubiese un temor a una revolución de una raza mecánica. Este argumento se ha usado en infinidad de películas y cuentos, teniendo un ejemplo clarísimo en el robot *TERMINATOR*[3]. Las tres leyes de la robótica, enumeradas más abajo, sirvieron en un principio para discutir el futuro amenazador de los robots, pero dado que todavía no se ha alcanzado dicho momento, se han usado más para escribir novelas que para construir robots, por lo menos hasta que estos no alcancen un grado de desarrollo, hablando de inteligencia, mucho mayor del actual.

1. Un robot no puede herir a un ser humano ni dejar de intervenir si éste está en peligro de sufrir algún daño.

[2] 'Runaround' historia escrita por Isaac Asimov y publicada por primera vez en el número de marzo de 1942 de la revista 'Astoundig Science Fiction' (línea 7, página 100). Editor John Campell.

[3] 'The Terminator'. Película dirigida por James Cameron en 1984. Orion Pictures International.

2. Un robot debe obedecer las órdenes de los seres humanos, salvo cuando éstas contradigan la primera ley.

3. Un robot debe proteger su propia existencia, siempre y cuando dicha existencia no contradiga las leyes primera y segunda.

Actualmente, la robótica sigue avanzando con paso firme, pero con un ritmo menor que el previsto por los expertos en los años 80. Además, la sociedad ha asumido el papel de estos, considerándolos como herramientas, sin una forma típica y con una inteligencia mínima en comparación con la del ser humano. La evolución de la tecnología ha permitido desarrollar nuevos materiales, sensores y chips que han facilitado y abaratado considerablemente la construcción de robots. Sin embargo todavía no se ha producido la explosión que ocurrió con los ordenadores personales, que pasaron de ser un privilegio de empresas multinacionales y universidades, a ser un electrodoméstico más dentro de una casa. Es más, es normal que al adquirir un ordenador se le permita al comprador seleccionar los diferentes componentes que lo van a integrar. Y todo se debe al acercamiento que sufrió la informática al público no especializado, todo cuando su uso se volvió más sencillo, barato y con aplicaciones más potentes y flexibles que las tradicionales. Por ejemplo, se puede destacar el paulatino desuso de las máquinas de escribir en favor de las aplicaciones de procesamiento de textos.

La reflexión anterior induce a pensar en una posible revolución de la robótica, pasando a ser un elemento más dentro del hogar, de la empresa y de la sociedad en general. Ésta opinión es una apuesta de futuro, avalada por la aparición a lo largo de estos últimos años, de robots y proyectos muy llamativos, que han facilitado los cambios de opinión de las personas hacia los robots. Ya no se ven como los grandes enemigos sino todo lo contrario: son tratados como herramientas amigas, que tratan de ayudar y de facilitar el trabajo. Esto último es un poco exagerado, seguro que más de una vez se ha desesperado por problemas con su ordenador, coche, etc. y ha pensado que cada día la sociedad lo tiene más complicado. Pero la prueba está ahí, delante de todos nosotros. Sin ir más lejos, en 1997 un pequeño robot móvil aterrizó en Marte permitiendo que millones de espectadores pudiesen apreciar fotografías captadas desde 191 millones de kilómetros de la Tierra. Este pequeño robot llamado Sojourner[4], más conocido como *Pathfinder* (nombre de la misión), recordó los primeros pasos de la llegada del hombre a la Luna y aumentó las esperanzas de que algún día, más cercano que lejano, el hombre llegará a Marte. Otro caso parecido fue el robot sumergible que bajó a 3500 metros de profundidad para introducirse en los restos del *Titanic* con objeto de fotografiarlo. En esta ocasión el robot se llamaba *Jason Junior* y se operaba por control remoto. Los ejemplos anteriores muestran aplicaciones fuera de la industria como tal, y no son las únicas: otros campos como la medicina, aeronáutica y agri-

[4]El todoterreno de seis ruedas y 10,5 kg llamado Sojourner dio su primer paseo por Marte el 5 de julio de 1997, un día después que su nave nodriza, la Mars Pathfinder, aterrizara en una llanura rocosa del hemisferio norte del planeta. Su tamaño era de 62 cm de longitud y 32 cm de altura, fue diseñado para obtener datos de la superficie marciana que luego serían interpretados por científicos en la Tierra. Se le ha calificado de geólogo interplanetario con visión estereoscópica, espectrómetro de partículas alfa, protones y rayos X, con inteligencia suficiente para llevar a cabo las órdenes dadas desde la Tierra, y con la sabia precaución de esperar nuevas órdenes cuando algún inconveniente imposibilitaba o ponía en peligro la ejecución de la misión. Esta información ha sido obtenida del reportaje de William R. Newcott en la revista National Geographic.[12]

Figura 1.1: Concurso de fútbol RoboCup.

cultura se beneficiaron con la llegada de robots telecontrolados para realizar operaciones, aviones espías autónomos y los sistemas de recolección y envasado directo.

Aún así, estos robots son excesivamente caros y su función está muy especializada, para lograr su integración total se necesitará hacerlos cada vez más baratos y generales, de manera que sean accesibles, económicamente, a las personas ajenas a toda esta evolución y que lo que quieren es que les resuelva alguna de sus tareas cotidianas. ¿ No sería fantástico un robot que limpiase el polvo, que cortara el césped y que además vigilase la casa ?. Más de uno invertiría en un artilugio de este tipo. Las dos características anteriores, económico y general, se encuentran en un tipo de robot que poco a poco se está abriendo camino. El lugar dónde hay que ir a buscarlo es el entorno universitario y, más recientemente, en algunas compañías jugueteras. ¿A qué es debido esto?. La razón fundamental se comentó antes: la informática, electrónica y mecánica han pasado de ser un privilegio a ser materia de estudio en muchos centros. La tecnología ha evolucionado tanto que los precios se han reducido mucho. Además construir un pequeño robot se ha convertido en un hobbie para muchos jóvenes, llenos de imaginación y en muchas ocasiones motivados por los concursos que se realizan por el mundo. Uno de los más famosos es ROBOCUP [4], que consiste en un partido de fútbol entre robots y que cuenta con la participación de un equipo español, RoGi Team[5]. En España se están empezando a celebrar concursos, sobre todo en el ámbito universitario de la ingeniería. Tal vez el más conocido sea el torneo que organiza la asociación AESS [5]de la UPC, SumoBot, cuyo objetivo es un combate de sumo entre dos robots[6]. También se producido un efecto curioso, la aparición de concursos ha hecho que la

[5]Más información en http://rogiteam.udg.es

[6]El autor tuvo la suerte de poder acudir al segundo certamen del concurso junto con un grupo de amigos, el Grupo J&J, y la experiencia fue inolvidable. Nuestro robot, llamado Tauro Viper por su aspecto de toro

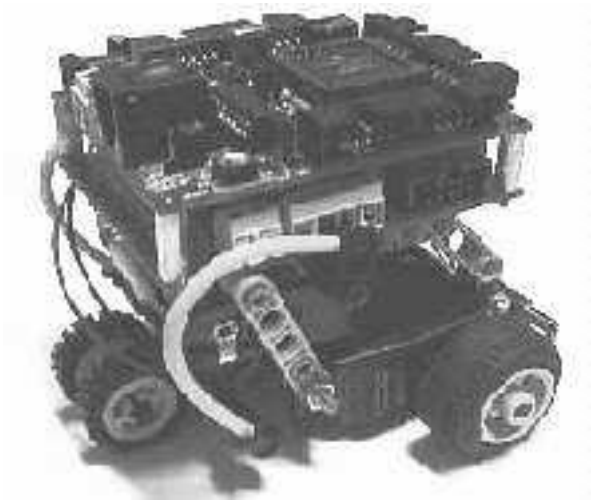

Figura 1.2: Microbot Tritt de la empresa Microbótica S.L.

aplicación práctica de investigaciones informáticas y electrónicas se lleven a cabo mediante pequeños robots que realizan actividades sorprendentes. Uno de esos robots es COG [3], desarrollado en el MIT, que es capaz de jugar al tenis de mesa. En él se ensayan estudios de visión artificial, mecánica, elasticidad en robótica y también actitudes de comportamiento, esto último más ligado a la inteligencia artificial que a la robótica, pero que sirve para darle un carácter más humano. Por último, han sido varias las compañías jugueteras que han sacado kits de aprendizaje o de iniciación a la robótica, la más avanzada ha sido LEGO con su kit LEGO MindStorms[7], pero también hay que destacar a Robotix[8] , Mattel o Bizak[9].

Después de una breve descripción del estado actual de la robótica, se describen las circunstancias que rodean al autor de éste proyecto, por considerarlas de interés para la comprensión del porqué de su realización. El autor cuenta en su haber con la realización de varias estructuras mecánicas, que junto con una electrónica diseñada por compañeros de trabajo, han proporcionado la base para la realización de pequeños robots llamados *Microbots*. Estos se han convertido en un instrumento de iniciación a la robótica, tanto para estudiantes como para cualquier otra persona interesada. Algunos de estos microbots se distribuyen a través de Microbótica S.L., empresa de ingeniería que desde el principio y debido al carácter de sus miembros siempre ha apostado y ha apoyado a este tipo de robótica. Bautizada como *Microbótica*, haciendo alusión a un tipo de robot que si bien es pequeño y sin un alto grado de control, consigue mediante la cooperación un grado de

y la alta velocidad que llegaba a adquirir, luchó hasta el final, y aunque no ganó dió un magnífico espectáculo. Pero lo que más nos llamó la atención fue el ambiente que rodeaba al concurso, los espectadores y el increíble interés que tenía la gente. Un año más tarde se organizó un curso de robótica en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación y se culminó con la realización de un concurso. En él, volvimos a experimentar la sensación de Barcelona, y quedó demostrado que había bastante por el tema. A raíz de ese concurso se han organizado muchos otros por diferentes universidades españolas.

[7]LEGO es una marca registrada del Grupo LEGO. (http://www.LEGO.com)

[8]Robotix ha sacado en la línea de juguetes 'Learning Curve' el kit RoboDog.

[9]Bizak se diferencia del resto en que directamente ha sacado al mercado un perro robótico controlado mediante mando a distancia, se llama 'OPTIMUS'. La descripción que hacen de él dice 'Se enfada, refunfuña y ladra, mueve cabeza, cola y enciende los ojos'. No es un kit de construcción, sino un juguete para niños de pequeña edad que quieran algo diferente al clásico peluche.

NIVEL DE COOPERACIÓN
NIVEL DE COMUNIDAD
NIVEL DE INTELIGENCIA
NIVEL DE CONTROL
NIVEL DE REACCIÓN
NIVEL FÍSICO

Tabla 1.1: Niveles de la Torre Bot

complejidad bastante elevado.

Dentro de este marco se encuentra el autor, que ve la necesidad de evolucionar y de investigar en nuevas formas de control y de movimiento. De esa evolución surgirán nuevos productos para la empresa y una gran cantidad de información que será accesible vía Internet, permitiendo que el público pueda tener la documentación necesaria para desarrollar sus propios microbots. Los robots anteriormente desarrollados por el autor están dotados de ruedas u orugas, siendo el control de los motores muy sencillo, ya que únicamente se utilizan como motores de continua sin prestar atención a su uso como servo motores. Tan sólo hay un robot más complejo que utiliza los servo motores como tal, pero también aquí es necesario una evolución del software y del control. Por eso, en éste proyecto, hay tres focos de investigación y desarrollo: uno la mecánica, otro los motores y por último la electrónica. Tres pilares fundamentales para la realización de robots, aunque todavía quedarían dos más, el primero haría referencia a los sensores, necesarios para obtener información del medio; y el segundo, al software de alto nivel, que permite dotar al robot de comportamientos complejos. Estos dos últimos niveles no se tratarán en éste proyecto, dejándolos para unos posteriores trabajos. Por lo tanto, lo que se obtendrá al finalizar será un nuevo tipo de plataforma sobre la cual se podrán desarrollar nuevas aplicaciones.

1.2 Torre Bot: Etapas en la construcción de un robot

En el desarrollo de cualquier proyecto siempre hay que tener un orden de actuación determinado, es decir una buena planificación. En este caso, se ha recurrido a una herramienta útil que divide en diferentes niveles o etapas la fabricación de robots. Son los niveles proporcionados por la torre Bot [13]. El nivel inferior *Nivel Físico* representa el primer paso y el superior *Nivel de Cooperación* el último (Ver tabla 1.1). Realmente no es necesario llegar hasta el último nivel, dependerá de la aplicación en concreto. Lo que sí es importante es empezar por el primer nivel para evaluar las necesidades y tener un cierto orden de prioridades. También es evidente que, a medida que se avanza, se puede retroceder para ajustar detalles que hayan quedado pospuestos en niveles anteriores. La información se ha obtenido del documento titulado *Torre Bot*, en la sección 6 del *Manual Técnico de Microbótica* [6]. El significado de cada nivel es el siguiente :

- *Nivel Físico*: Comprende la estructura física, las unidades motoras y las etapas de potencia. Es posible encontrar desde sistemas muy sencillos basados en un único motor, hasta estructuras sumamente complejas que buscan emular las capacidades mecánicas de algunos insectos.

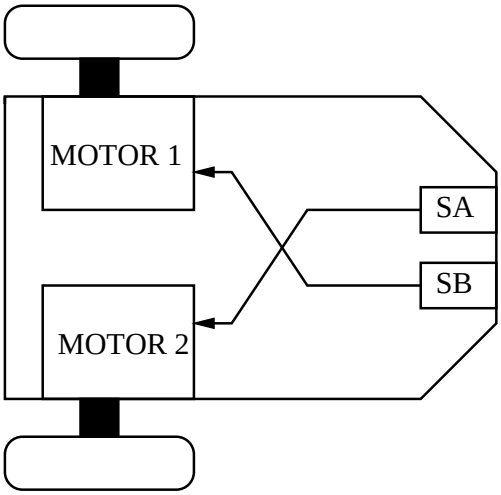

Figura 1.3: Esquema de microbot reactivo.

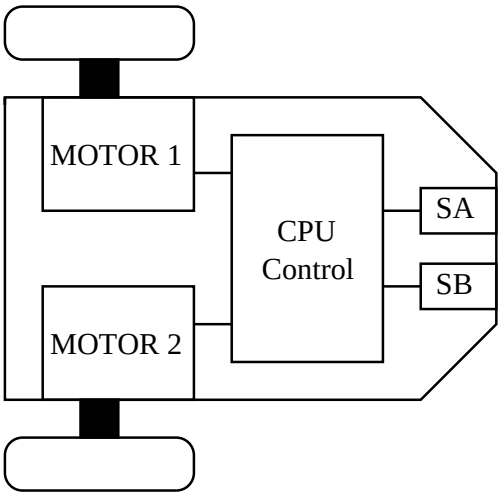

Figura 1.4: Esquema de un microbot con el nivel de control.

- *Nivel de Reacción:* Está formado por el conjunto de sensores y sus circuitos de polarización. Estos transductores cubren un amplio margen de posibilidades, tal que podemos encontrar desdes simples topes de fin de carrera, hasta micro cámaras digitales con sistemas de reconocimiento de imágenes. Un microbot que haya superado en cuanto a su construcción tanto el nivel físico como el de reacción, se denomina microbot reactivo. Este tipo de unidades trabajan cumpliendo la premisa, acción o reacción. En estos casos, los sensores son los propios controladores de las unidades motoras, sin ningún tipo de control intermedio.

- *Nivel de control*: Incluye los circuitos más básicos que relacionan las salidas de los sensores con las restantes unidades. Partiendo de una simple lógica digital hasta potentes microcontroladores, se busca dotar al microbot de la capacidad para procesar la información obtenida por los sensores, así como actuar de una manera controlada sobre las unidades motoras.

- *Nivel de Inteligencia*: Abarca el planificador a largo plazo; en este nivel, se introducen los objetivos del microbot que tienen relativa independencia de los sensores. Éste es el más alto nivel de inteligencia que puede alcanzar un microbot como una unidad individual.

- *Nivel de Comunidad*: Se trata de la puesta en funcionamiento de más de un microbot, dentro de un mismo entorno, de forma simultánea y sin que ninguno de ellos tenga conocimientos explícitos de la existencia de otros en su mismo entorno. A estos recintos se les denomina granjas.

- *Nivel de Cooperación*: Comprende los sistemas donde a partir de un nivel de comunidad, se planifican o programan los microbots para que tengan conocimiento de la existencia de otros, tal que posean la capacidad de cooperar para el buen desarrollo de una tarea.

Para aclarar la torre Bot se expondrá mediante un ejemplo sencillo la diferencia entre los distintos niveles. Antes de nada hay que tener un objetivo fijado: en este ejemplo será la implementación de un microbot que sea capaz de seguir una línea negra trazada en el suelo. Luego se irán aplicando los distintos niveles de la torre Bot para obtener el resultado final. En este caso, el nivel físico comprende una estructura mecánica, dos motores de corriente continua y un driver de potencia que implemente dos puentes en H para controlarlos. El nivel de reacción comprende un par de sensores de infrarrojos mediante los cuales se distingue entre blanco y negro.

Una vez que se ha llegado aquí, ya se puede lograr el objetivo final, tan sólo hay que unir los sensores a los motores como indica la figura 1.3. La explicación del movimiento es fácil; cuando los dos sensores están la línea su salida es la misma (nivel alto), que hace que los motores avancen. Cuando el sensor SA se sale de la línea, su salida se pone a nivel bajo, con lo que se desactiva el motor 2. Al estar el motor 1 encendido hace que el microbot gire a la derecha, volviéndose a introducir el sensor SA. El mismo procedimiento ocurre si se sale el sensor SB, tan sólo que el microbot gira a la izquierda.

El control anterior, aunque cumple los objetivos iniciales, es muy rudimentario y poco seguro. Por ejemplo si se salen ambos sensores, el microbot se pararía. Por eso se añade el nivel de control, mediante el cual se añade un microprocesador, ver figura 1.4, que recibe las señales de los sensores, las procesa y genera las señales para los motores. Ahora se puede realizar un autómata mucho más complejo, siendo recomendable utilizar lógica reprogramable para pasar el problema de la electrónica al software. Por último, se podría añadir el nivel de inteligencia, que consistiría en programar ese microprocesador para tener un objetivo a largo plazo, por ejemplo seguir una línea negra para buscar la salida en un laberinto, para reconocer el trazado realizado, o para luego sin necesidad de cinta realizar el mismo recorrido.

Los siguientes niveles serían el de comunidad y cooperación. Para su puesta en marcha se necesita más de un robot por lo que no interesan en este ejemplo que tan sólo utiliza uno. Si el objetivo hubiese sido formar un equipo de robots para competir en el campeonato de fútbol, se tendría que utilizar el nivel comunidad para planificar el número de robots y las características de cada uno para poder realizar jugadas de peligro. Y luego el nivel de cooperación, para hacer que cada robot se pueda comunicar con sus compañeros para hacer tareas coordinadas. Si no se usase este nivel se podría dar el caso de que dos robots

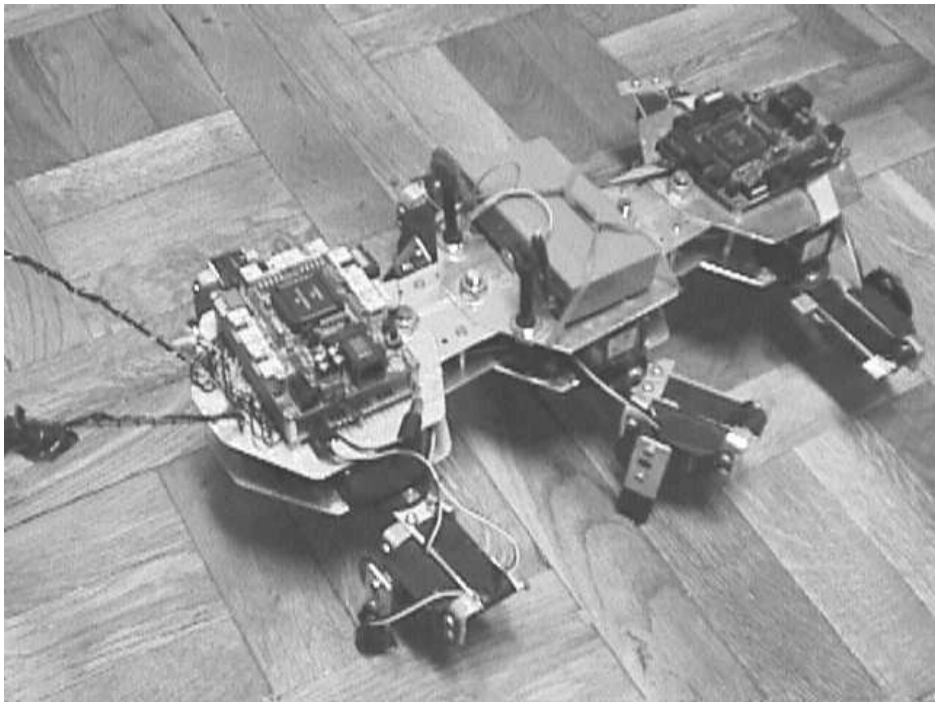

Figura 1.5: Hexápodo desarrollado con anterioridad por el autor de éste proyecto.

del mismo equipo luchasen por el balón, pues en realidad estos no sabrían de la existencia de sus compañeros.

1.3 Planificación del proyecto

La planificación de este proyecto se hizo en base a la utilización de los niveles de la torre Bot, explicados en el punto anterior. Por lo tanto y partiendo de un objetivo concreto, habrá que ir aplicando cada uno de los niveles para saber las necesidades que se tendrán que cubrir durante toda la fabricación. Además, éstas, estarán ya ordenadas permitiendo establecer una planificación muy eficaz para lograr el objetivo.

Como ya se ha dicho el objetivo es desarrollar una plataforma móvil articulada. En concreto se ha pensado en una estructura que se apoye cuatro extremidades, como lo hacen los perros, gatos, caballos, etc. El motivo principal de esta elección ha sido que el autor ya ha realizado con anterioridad estructuras basadas en seis extremidades (figura 1.5) y ahora se pretende una evolución de las mismas. Las estructuras de seis 'patas' tienen la ventaja de poder mantener más fácilmente el equilibrio, en relación a las de cuatro. Por ello, en este proyecto, además de investigar motores y electrónica se procederá a realizar una mecánica más avanzada que cualquiera de las desarrolladas por el autor anteriormente.

1. Con el primer nivel, o **nivel físico** se ve que es necesario una estructura ligera, fácilmente obtenible, lo más económico posible y articulada para permitir que el robot pueda realizar movimientos variados. Se pensó utilizar como material aluminio de un grosor menor a 1.5 mm (en el capítulo 4 se explicará detalladamente). Los motores a utilizar deben ser lo más pequeños y ligeros posibles, deben dar el sufi-

ciente par para que entre todos sean capaces de soportar el peso de la estructura y la puedan mover. La experiencia adquirida por el autor en el desarrollo de este tipos de robots indica que deben ofrecer un par entre tres y nueve kgxcm, siendo además fácilmente adaptable a las estructuras. Por último en este nivel se han de detallar etapas de potencia adecuadas a los motores seleccionados. En resumen, primero se realizar una búsqueda a través de Internet intentanto encontrar diferentes estructuras previamente utilizadas en perro robots, así como los motores empleados y sus mecanismos de control.

2. Segundo nivel o **nivel de reacción**: En este proyecto los únicos sensores a utilizar son los necesarios para conocer la posición de los motores para dejarlos fijos en un determinado ángulo. No se utilizan otro tipo de sensores como son los de seguimiento, luz, temperatura, etc, por no ser el objetivo del proyecto. Pero si en futuro se quisieran ampliar las funciones del robot se debería retornar a este nivel y añadir dichos sensores.

3. **Nivel de control** este es uno de los niveles más importantes del proyecto. Consiste en realizar un sistema de control flexible y modular que permita añadir motores sin necesidad de modificar lo realizado anteriormente. De esta manera primero se pondrán en movimiento las extremidades del perro y en un futuro cabeza, cola, etc. Además con este tipo de sistema se podrán hacer robots con diferente número de extremidades sin necesidad de rediseñar la electrónica de control. Para su realización, se utilizarán dos tipos de tarjetas electrónicas, la primera hará las funciones de cerebro y la segunda de receptora de órdenes. El cerebro sabrá qué motores y en qué orden se deben mover para conseguir que el movimiento sea el adecuado entre, otras cosas. Esta tarjeta, a través de un bus de comunicación, podrá, enviar órdenes a unas tarjetas periféricas esclavas. Éstas son las encargadas de mover un motor a una posición predeterminada, así el cerebro sólo informa y las tarjetas esclavas ejecutan. (Ver figura 1.6).

Los siguientes niveles no forman parte de los objetivos de este proyecto, a lo sumo se incluirá un breve nivel de inteligencia que permita al robot hacer algún movimiento como respuesta a algún estímulo externo. Los niveles de comunidad y cooperación, no entrarán a formar parte del proyecto por necesitar disponer de más de una estructura.

1.4 Estado actual

Internet se ha convertido en una herramienta de búsqueda de información muy potente, debido sobre todo a la gran cantidad de sitios que se pueden visitar y a la velocidad de obtención de dichos datos, pues no hace falta ir a bibliotecas ni pedir informes a distancia. La desventaja que aporta es la falta de verificación de los datos obtenidos: hay que tener en cuenta que cualquiera puede poner una página web con la información que desee y nadie contrasta si es cierta o falsa. Por eso tiene que ser uno mismo el que se preocupe de analizar su fuente. Una forma de asegurarse de que la información presente es cierta, es buscar en páginas que estén avaladas por centros o individuos con un prestigio reconocido.

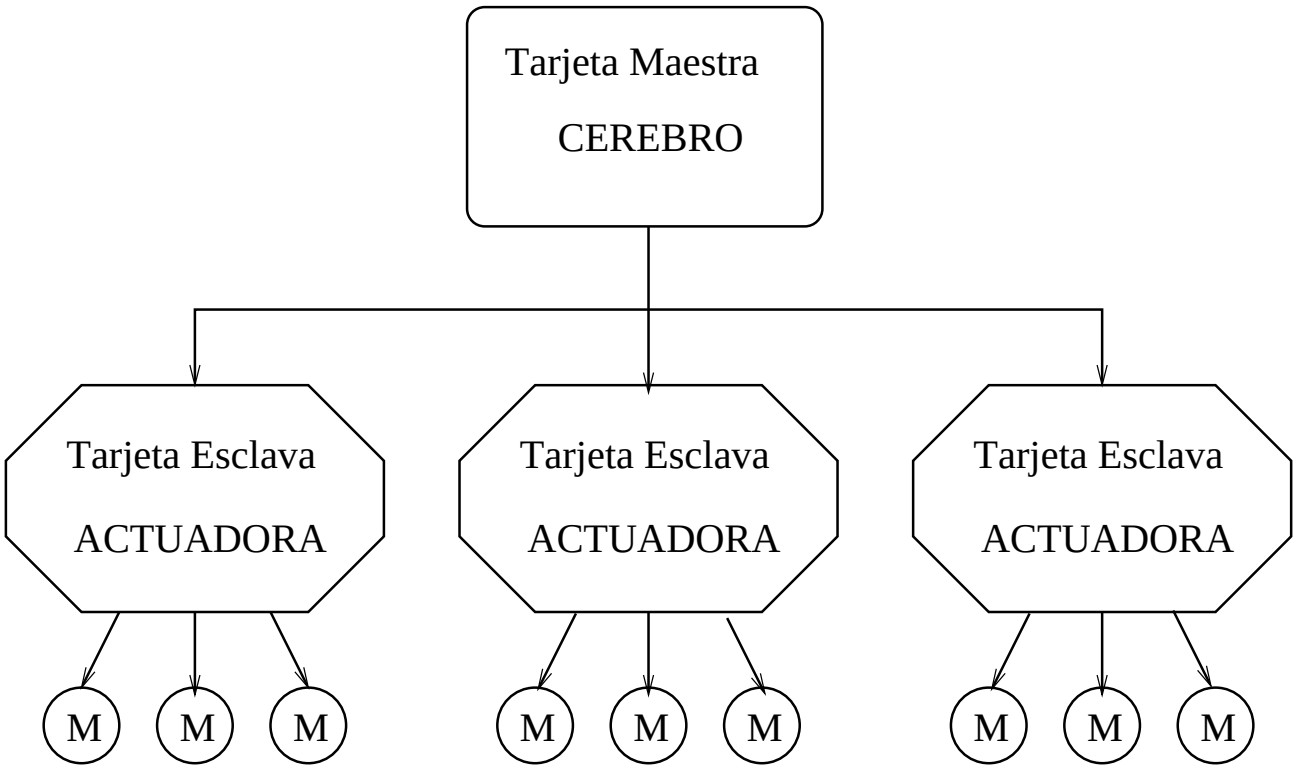

Figura 1.6: Diagrama preliminar de la red de control.

Es este caso se recurrirá a buscar información por los diferentes institutos y empresas de tecnología existentes, tanto en España como en el extranjero

En España encontramos una página ejemplar que corresponde al RogiTeam, mencionado antes, lo malo es que los robots mostrados son de ruedas, por lo que no se podrá sacar más información de la que ya se tiene. Pero es merecedora de una mención por tratarse del único equipo español que participa en la Robocup.

En el extranjero una parada obligatoria es la web del Instituto de Tecnología de Massachuset, o MIT, en la cual se puede iniciar una búsqueda con la palabra clave "robots", para acceder a una lista variada de artículos, robots y concursos. Otras webs visitadas han sido: la universidad Carnegie Mellon, la universidad de Stanford, la compañía Mitsubishi y Honda. En todas ellas hay enlaces y artículos relacionados con la robótica, pero en la mayoría de los casos son bastante teóricos y sin aplicación inmediata para el proyecto que aquí se trata. También se ha visitado la página de IS Robotics, empresa que puede considerarse una de las mejores en robótica, realizando trabajos excelentes para diferentes organizaciones, como por ejemplo la NASA. Esta empresa ofrece en su web bastantes productos y soluciones para dotar a los robots de complejos sistemas de guiado, reconocimiento, sensores, etc. Lo malo es que la información técnica sobre su realización no se encuentra, y además, los robots en su mayoría no son articulados. También es verdad que siendo un poco espabilados se puede encontrar dicha información en las páginas de la universidad del MIT, ya que la empresa y la universidad están muy ligadas.

Principalmente la búsqueda se orientó hacia los robots articulados y de todo lo encon-

Nombre lugar	Dirección
IS Robotics	www.isr.com
Arrick Robotics	www.robotics.com
Mondotronics	www.robotstore.com
Honda	www.honda.co.jp/english/technology/robot
AIBO	www.aibonet.com
MIT	web.mit.edu
RoGi Team	http://rogiteam.udg.es
Carnegie Mellon	http://www.cmu.edu

Tabla 1.2: Direcciones de Internet relacionadas con la robótica.

Figura 1.7: Robot AIBO de SONY.

trado lo más relevante es el robot AIBO de Sony. En un artículo [7] publicado en TechWeb[10] Sony anuncia la creación de una arquitectura abierta para la construcción de robots. En él se explica que la compañía electrónica va ha invertir en un mercado hasta ahora inexistente que consiste en los robots personales de entretenimiento. Y como muestra de ello fabricará una tirada limitada de pequeños perros robot.

En junio de 1999 Sony lanzó al mercado una cantidad limitada del perro robot que se vendieron en una semana con un precio aproximado de 400.000 pts y ya se ha centralizado la información del mismo en una página web: www.aibonet.com. La foto de la figura 1.7 se ha extraído de ella. Examinando el contenido se pueden sacar bastantes conclusiones; la primera es que la tecnología que lleva incorporada el robot está muy por delante de lo que incorporan el resto de robots estudiados. Es verdad que la compañía lleva muchos años de investigación en el tema de motores, chips electrónicos, estructuras mecánicas y sensores. Fruto de esa investigación ha permitido que SONY sea una de las principales multina-

[10]TechWeb es una página de Internet cuya información es una gaceta tecnológica. Su dirección es 'www.techweb.com'.

Característica	Descripción
Operating System	Aperios (Sony's Propietary RT OS)
OPEN-R bus	conector de 10 pines
Datos	2 pines
Velocidad Transmisión	12 Mbps
Reloj	1 pin
Velocidad reloj	12 MHz
Alimentación circuitos	3 pines (incluyendo GND)
Tensión / máxima corriente	3.3v, 1A
Alimentación motores	4 pines (incluyendo GND)
Tensión/ máxima corriente	5v, 2A

Tabla 1.3: Especificaciones de la arquitectura OPEN-R.

cionales de electrónica de consumo. Fabricando desde televisores, vídeos, ordenadores, walkmans, radios, todo tipo de consumibles y ahora mascotas electrónicas. Por esto, este proyecto no puede aspirar a lograr una reproducción exacta de AIBO, pero sí intentar una alternativa que esté al alcance de un público más general y con un coste mucho menor. De todo lo que incorpora el robot hay que resaltar la realización por parte de SONY de un estándar que describe una electrónica modular y un bus específico para robots. Se ha bautizado como OPEN-R, y a pesar de que todavía no hay mucha documentación disponible, en la tabla 1.3 se muestran las especificaciones. Aunque como ya se ha mencionado en la sección de planificación, la estructura que se va a desarrollar, también incorporará un sistema modular y un bus de control. Realmente la decisión de SONY de crear dicho estándar se puede considerar como una afirmación de la necesidad de ese tipo de estructuración electrónica a la hora de hacer robots.

Por otro lado el éxito de la estructura se debe a la utilización de minimotores y de un armazón específicamente diseñado para poder realizar más o menos todos los movimientos típicos de los perros y hay que decir que han conseguido un gran realismo. Pero todo esto se logra mediante la creación de moldes industriales que llevan el coste a unas cifras prohibitivas para nuestra estructura. Se esta hablando de tres millones por molde y echando cuentas de las diferentes piezas se alcanzan los veinte millones rápidamente. Por ello hay que seguir analizando otros robots para descubrir nuevos motores y estructuras. Del proyecto AIBO nos quedaremos con la necesidad de emplear un bus de control y una electrónica modular.

Después del análisis de AIBO hay que seguir buscando y uno de los lugares obligatorios donde mirar es Robot Store[11], que tiene una gran cantidad de kits, materiales y documentación robots. Examinando el catálogo sólo se encuentra un cuadrúpedo, que es en realidad una simplificación de su robot hexápodo y que se muestra en la figura 1.8. En sus modelos hay una simplificación de la estructura mecánica, no se han utilizado moldes sino piezas sueltas de plástico (probablemente PVC). Además en todos ellos se utiliza el mismo tipo de motor, en concreto servo motores de aeromodelismo. Por lo tanto ya se puede descartar la realización de moldes y la búsqueda de motores se puede centralizar en los diferentes tipos dentro de los servos de aeromodelismo.

[11] Robot Store pertence a la compañía Mondotronics. Web: www.RobotStore.com

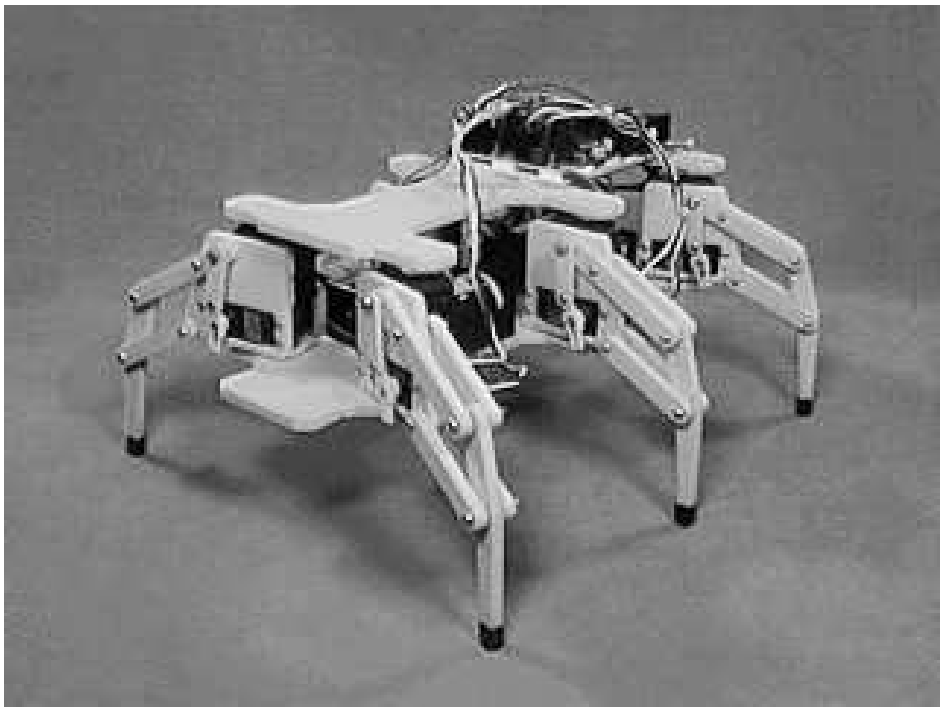

Figura 1.8: Uno de los kits articulados que distribuye Robot Store.

Una de las páginas más interesantes de las visitadas es la de ARRICK Robotics[12] , en ella hay una sección con enlaces a proyectos de robots realizados por particulares. Cada uno presenta una foto del robot, una breve descripción y una dirección donde encontrar más información. A continuación se muestran una serie de fotos las que se sacarán las conclusiones tomadas la estructura y los motores.

El primer robot examinado es *Gokiburi* (ver figura 1.9), un hexápodo que integra 12 motores. El propio autor dice que los motores son servomecanismos, que la tarjeta de control esta basada en el z80, que el material es plexiglass y que la estructura sin baterías pesa 600 gr. Además da razones de las elecciones anteriores. Así, por ejemplo, dice que utiliza servomecanismos porque cumplen una relación par-precio bastante buena. A esto le añadiremos otras dos características, son un estándar e incorporan facilidades para acoplarlos a las estructuras. También hace un análisis de materiales y llega a la conclusión que el aluminio a pesar de ser lo más indicado se descarta por la dificultad de tratarlo frente al plexiglass. Cada pata se levanta y gira lateralmente y la forma de andar es moviendo las patas de tres en tres, de manera que la estructura siempre se apoye tres de ellas. A pesar de no tener antenas tiene un aspecto muy parecido al de una hormiga, la clave de esto es utilizar unas patas largas y las articulaciones pegadas al cuerpo. Este detalle es la principal diferencia con relación al hexápodo fabricado por el autor, ver figura 1.5. Si se hace hincapié en una estructura de seis patas a pesar de no ser objeto de este proyecto es porque va a servir para comentar unos cuantos detalles de los robots siguientes.

En concreto se hace referencia a los robots *BERTA*, figura 1.11 y *Thing*, figura 1.10, que tienen una forma parecida y cuya disposición de motores, a efectos prácticos, es la misma. Ambos son muy parecidos a Gokiburi (figura 1.9) tan sólo que en lugar de tener seis patas

[12] Arrick Robotics: www.robotics.com

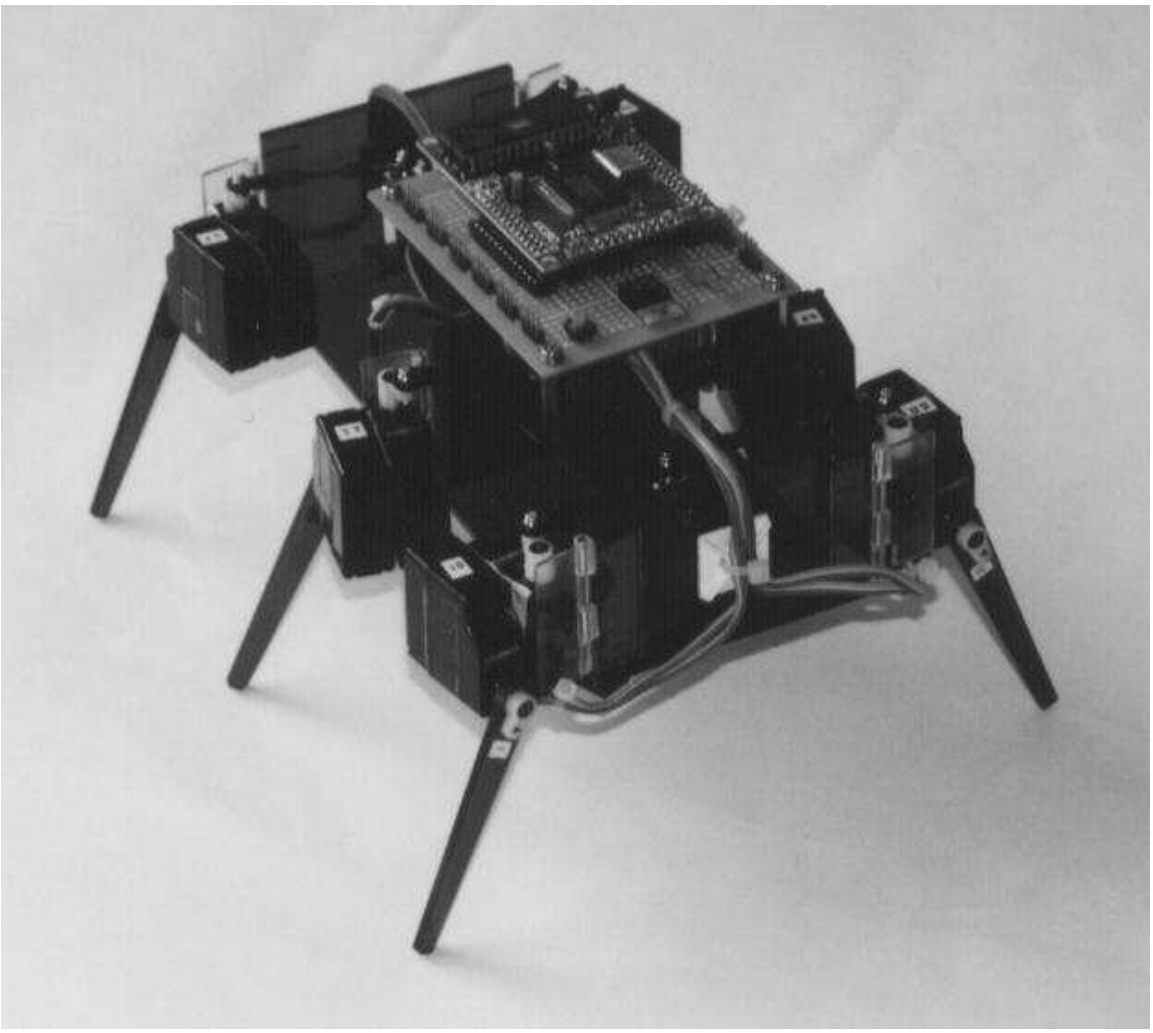

Figura 1.9: Robot "Gokiburi" diseñado por Ahmet ONAT.

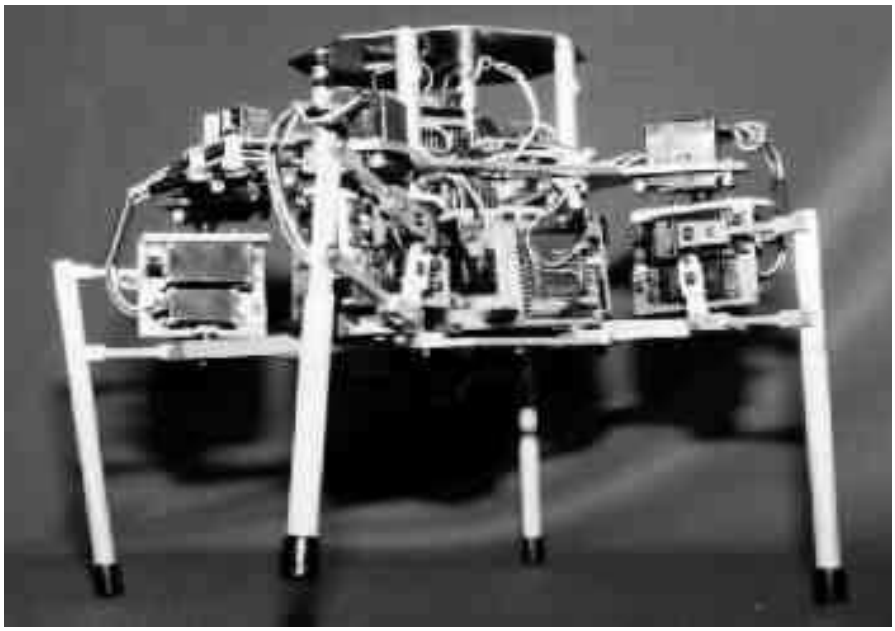

Figura 1.10: Robot "Thing" diseñado por Willad MacDonald.

tienen cuatro. Pero aún así, llevan doce motores y una vez más son servomecanismos. La razón de esto es que al quitar un par de patas se reducen las posibilidades de movimiento y para asegurar una amplia gama de ellos se añade un compañero al motor que levanta la pata. De esa forma cada una llevará tres motores en lugar de dos. Con todo ello se aprecia que cada pata se puede elevar, girar y desplazarse adelante y atrás. Con esa variedad de movimientos se ha creado una estructura que imita bastante bien a una araña, aunque el número de patas sea inferior. Como nota aparte queda mencionar que el control de Thing se realiza mediante una red de cinco microprocesadores, de los cuales hay uno que ejerce de control central y el resto controla cada una de las cuatro patas: vuelve a aparecer una electrónica modular.

Nuestra intención es crear un robot articulado que se parezca a un perro y para lograrlo las patas tienen que parecerse más a las de un perro que a las de un insecto, que es lo que ocurre en los robots anteriores. Se puede decir que partiendo del hexápodo y eliminando un par de patas han llegado a obtener un cuadrúpedo, pero que se identifica más con un insecto. La razón es que el modelo de partida era parecido a una hormiga y realmente la anatomía de ésta no tiene nada que ver con la de un perro. Por esta razón habrá que hacer un estudio más detallado del cuadrúpedo que se va a construir, pues realmente no se pueden utilizar las estructuras hasta ahora vistas, salvo la de AIBO, que sí tiene un aspecto de perro.

Después de esta búsqueda se sacan las siguientes conclusiones:

1. Se utilizará una red de microcontroladores, esta idea ya se tenía y se reafirma al haber sido utilizada en robots como AIBO.

2. Los motores serán del tipo servomecanismo, el modelo en concreto dependerá de la estructura final, sobre todo por los temas relacionados con la potencia necesaria para mover la estructura.

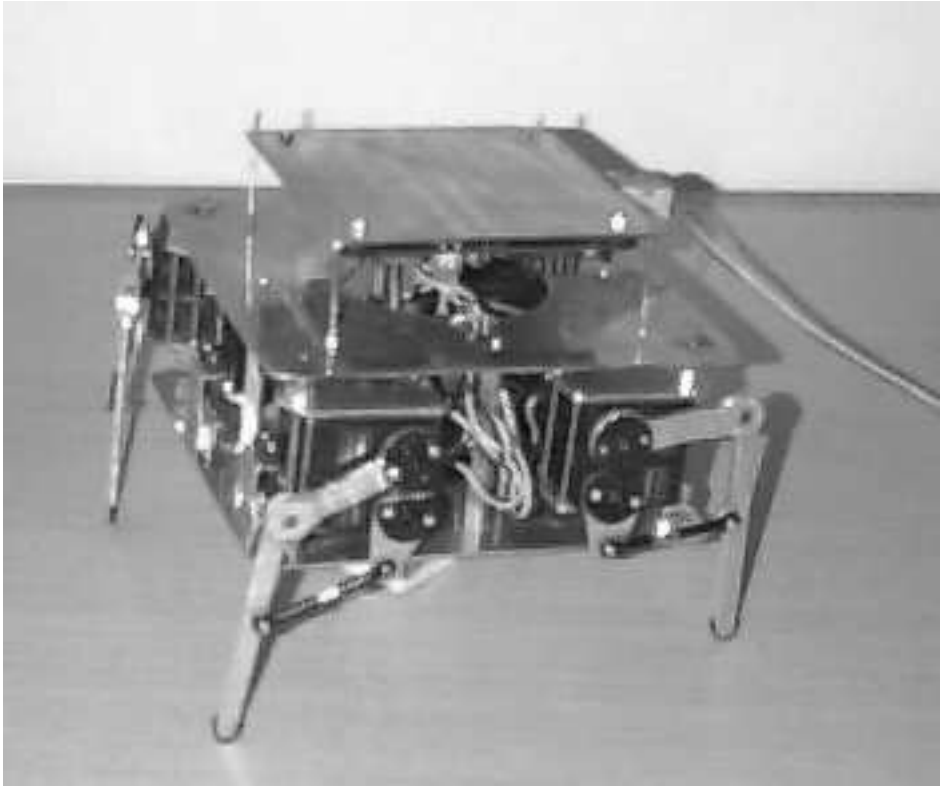

Figura 1.11: Robot *BERTA* desarrollado por Ivo Nijhuis & Ronnie Jansen.

3. Por último, el material será aluminio, aunque podría haber sido perfectamente plástico (PVC). La elección de éste se debe a que el autor ya tiene experiencia con él y además dispone de las herramientas para tratarlo.

4. Sobre la forma de la estructura se reafirma lo dicho en el párrafo anterior: habrá que diseñar una nueva que tenga aspecto de perro.