



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CAMPUS ARAGÓN

MINI ROBÓTICA, UNA ALTERNATIVA PRÁCTICA
EN LA FORMACIÓN DEL INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

PEDRO JOSUÉ LARA GRANADOS



ASESOR:

ING. JUAN ANTONIO VILLANUEVA ORTEGA

MÉXICO 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	5
CAPÍTULO 1 LA ROBÓTICA EN LA FORMACIÓN DEL INGENIERO	
1.1 La Ingeniería, el progreso constante del mundo en que vivimos.....	8
1.2 Formación profesional del Ingeniero.....	12
1.3 Robótica y Mini robótica	13
1.4 Etapas propuestas para el diseño de mini robots	22
1.5 Educación profesional integral: Un reto para México	26
CAPÍTULO 2 VEHÍCULO SEGUIDOR DE LÍNEA (AGV)	
2.1 Seguidor de línea AGV	27
2.2 Diseño en cuatro etapas.....	30
2.2.1 Etapa mecánica	30
2.2.2 Etapa de sensado	33
2.2.3 Etapa de control.....	38
2.2.4 Etapa de potencia	42
2.3 Modelo experimental	48
2.4 Resultados	50
CAPÍTULO 3 GRÚA MÓVIL MULTICONTROLADA	
3.1 Control.....	52
3.2 Control con PC mediante Puerto paralelo.....	55
3.2.1 Etapa mecánica (hardware).....	56
3.2.2 Etapa electrónica (hardware)	60
3.2.3 El sistema de control (Software)	69
3.3 Control remoto.....	76
3.3.1 Infrarrojos	77
3.3.2 Radio frecuencia	78
3.3.3 Otras formas de control a distancia.....	80
3.4 Control con sensores.....	82
3.5 Control con secuencias programadas (Micro controladores)	86
3.6 Resultados	94
CAPÍTULO 4 BRAZO MANIPULADOR	
4.1 Industria, área de oportunidad para el ingeniero.....	95
4.2 Robots constructores.....	97
4.3 Introducción a brazos robóticos manipuladores.....	98
4.4 Diseño de un brazo manipulador experimental.....	107
4.4.1 Objetivos.....	107
4.4.2 Modelo experimental.....	107
4.4.2.1 Etapa mecánica	120
4.4.2.2 Etapa electrónica y de control	124
4.4.2.3 Sugerencias para sensado	128
4.4.2.4 Sugerencias para control	130
4.4.3 Resultados.....	130
CONCLUSIONES.....	132
ANEXOS	134
BIBLIOGRAFÍA	135
HEMEROGRAFÍA	135
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS (PÁGINAS WEB) Y CITAS.....	136

*“La ingeniería puede describirse, de manera muy general, como la solución de problemas en la vida del ser humano. Una descripción ligeramente más específica es que **se trata de la aplicación de la ciencia en el empleo de los recursos disponibles para el beneficio de la humanidad.** En este caso, el término ciencia se emplea en su sentido más amplio. “*

Eronini Umez
Dinámica de sistemas de control

DEDICATORIAS.

Dedicado a lo constantemente nuevo,
A la duda metódica,
A la timidez desafiante,
Al siempre es ahora
Mal que le pese al después,
A la complejidad,
En fin, dedicado a la REUMA, D’Vinci, Pascal, Galatea, Asimov, r2d2, Newton, Pitagoras, Wall-e, ASIMO, Mario-Capek, c3po, “B9”, Hawking, Maria-Futura-Metropolis, Herón, T-800, ”Johnny Number 5” R=0 cortocircuito, Robby, Giskard, Bender, Galileo, David Becker y Jessica Screammers, Droides, Centinelas, AMEE, DARYL, Robocop, Edison, David-AI, Oliwa, Verne, Andrew Martin, Data, Proteo... son tantos y tantos.

Mal y tarde estoy cumpliendo la palabra empeñada
Doquiera que estén...
Mamá, Papá, aquí, mi tesis dedicada.

A toda mi familia con emoción
Les dedico este trabajo terminado
Que sirva un poco en restitución
Del tiempo que les he tomado

Nelly, Hugo, Edgar,
mucho más que
hermanos: FAMILIA.

A mis alumnos:
Pábulo de mi trabajo.

Edgar, Hugo, Nelly, Noé, Virginia, Alejandro: Porque su
invaluable ayuda, motivación y apoyo rindieron frutos.

Dedicada a usted Ing. Juan Antonio:

Por saber decirme lo que era y cuando era necesario, por saber
esperarme, por saber apurarme, pero especialmente por saber
guiarme.

A mis profesores, compañeros de trabajo, amigos, todos aquellos
que con el paso de los años han confiado en mí.

GRACIAS

Y ya que me preguntas te diré, que sé lo que es tener catorce años y estar muerto.
Mi única creencia es en la Diosa Razón. La última guerra fue con mando a distancia.
Pelearé hasta el último segundo y mi epitafio será: No estoy de acuerdo... pero te entiendo.
Yo le quería decir la verdad, por amarga que fuera. Si volvieran los dragones.

INTRODUCCIÓN

Desde que el ser humano empezó a modificar el entorno a su alrededor, dio comienzo la formación de ingenieros dedicados a mejorar las condiciones de vida para la humanidad. Debió ser fascinante para algún *hombre primitivo* descubrir que una simple rama podía transformarse como una herramienta para aumentar la capacidad de obtención de alimentos, usada como una extensión de su brazo y alcanzar frutos en un árbol, o para excavar y extraer tubérculos o raíces y al seguir con la mejorando la idea usarla como una arma para cazar dándole forma de lanza o flecha. De este modo se dedicó a la búsqueda de la madera que se adaptara de mejor manera a sus necesidades, de cómo tallarla para darle forma, experimentar con varios modelos hasta lograr uno funcional, presentarla para mostrar su aplicación, sus funciones y principalmente, su utilidad, y así disfrutar esa sensación de satisfacción al compartir su habilidad y descubrimientos con todos sus iguales al permitirles usar un instrumento que facilitara su vida.

El ingeniero logra avances, descubrimientos, dispositivos que mejoran la vida. La historia de la humanidad está llena de ejemplos: La rueda, el fuego, la imprenta, la máquina de vapor, las telecomunicaciones, computadoras, entre muchas otras que no terminaría de enunciar.

Tengo admiración y respeto por los personajes relacionados con los avances científicos a lo largo de la historia, “El genio es uno por ciento de inspiración y 99 por ciento de sudor” solía decir Tomas Alva Edison”, y tiene mucha razón, Tales de Mileto, Pitágoras, Aristóteles, Albert Einstein, Johannes Gutenberg, Stephen Hawking, Leonardo da Vinci, ejemplos de logros y avances en la historia de la tecnología y ciencia al servicio de la humanidad, en la que como Isaac Newton decía “Si logramos ver más lejos es porque hemos conseguido auparnos a hombros de gigantes”

En México, tenemos la necesidad de formar ingenieros, para aprovechar la inventiva, el ingenio mexicano reconocido a nivel mundial, y hacer que este país progrese. Miles de mexicanos, jóvenes estudiantes se inclinan a desarrollarse como ingenieros. El presente trabajo tiene por objetivo ser una ayuda en su proceso de formación, mediante la presentación de casos prácticos, en donde cada uno comprende fases fundamentales en el desarrollo de mini robots, aplicando además conocimientos formales que hacen interesante e incluso divertido el estudio y dejando una puerta abierta para que cada quien profundice en los temas presentados y sea capaz de desarrollar sus propias ideas y proyectos.

La mini robótica tiene como uno de sus objetivos fundamentales reducir los costos, permitiendo que el desarrollo y puesta en marcha de los proyectos, sea posible dentro del aula de clases, el laboratorio de prácticas e incluso en el ejercicio profesional. El costo de desarrollo de un proyecto de robótica, aún a nivel estudiantil, es muy elevado, tanto que a veces es preferible ignorar el desarrollo de proyectos de robótica, por lo que la mini robótica es una herramienta alternativa que coadyuva a la formación del ingeniero mecánico electricista.

El primer capítulo tiene por objetivo resaltar la importancia de la formación del ingeniero en áreas prácticas, desarrollar una definición personalizada del tema robótica y mini robótica, y proponer el campo de acción profesional, una alegoría al esfuerzo de profesores y alumnos. La mini robótica es una de las herramientas que existen para formar ingenieros, un medio de hacer más interesante y hasta entretenido el proceso de enseñanza. En suma; una sólida herramienta en mi formación como Ingeniero, que he comprobado una y otra vez.

En el segundo capítulo, el “**AGV Seguidor de Línea**”, es un mini robot interesante, permite desarrollar un proyecto sencillo, pero completo de mini robótica, en los concursos nacionales e internacionales podemos ver ingenieros, maestros en Ingeniería, e incluso doctores con altos reconocimientos y grados académicos, junto con sus estudiantes atentos a un pequeño vehículo, colocado sobre una mesa, a veces negra, a veces blanca, con una línea, a veces blanca, a veces negra, dando vueltas y vueltas. ¿Qué les motiva a estar ahí? ¿Qué hace que Universidades e Instituciones tanto gubernamentales como autónomas, públicas y privadas inviertan tiempo y recursos para que sus estudiantes participen? Es a mi consideración la cereza adelantada de un gran pastel, descubrámoslo juntos mientras desarrollamos nuestro mini robot.

Para el capítulo tres ya estaremos en condiciones de desarrollar un mini robot mucho más completo. En este capítulo aprendemos que el **control** es fundamental para que un robot funcione, la “GRÚA MULTI CONTROLADA” es un proyecto que permite aprender cómo usar una computadora para controlar dispositivos mecánicos más allá de una impresora o un scanner. Enseguida desprendemos el móvil de cables, controlándolo a distancia mediante señales de diversas fuentes como luz o sonido, para llevar el control a un nivel en el que el vehículo sea capaz de seguir rutas programadas sin depender de un ser humano atento a sus movimientos y por último, dotarle de sensores para que tenga la mayor autonomía posible.

El capítulo 4 atiende a una aplicación más práctica e inmediata, la introducción a los brazos manipuladores, que ya son utilizados ampliamente en la industria, haciendo énfasis en la propuesta de avanzar más en los estudios formales de la física y la matemática para crear modelos funcionales antes de construirlos. Y por supuesto, un caso práctico, simple y fácil de construir.

En el CD anexo, encontraremos los recursos electrónicos como hojas de datos de todos los microchips empleados, programas de freeware para programación mencionados a lo largo de los capítulos, y los dos sencillos robots BEAM, el "Vri-bot" y el "Seguidor de luz", fáciles de construir, baratos y divertidísimos. Así como este mismo trabajo en formato PDF.

Finalmente quiero hacer mención del uso de internet en esta investigación, quiero romper con el paradigma del rechazo al uso de esta herramienta, todas las ligas que se mencionan fueron ampliamente investigadas y apoyadas en libros, no se trata de idealizar el uso de internet, ni de rechazarlo, se trata de aprender a utilizar de manera correcta el uso de las tecnologías de información y comunicación (TIC's).

Espero que el presente trabajo sea de utilidad para aquellos que se interesen y también que durante la construcción de los robots se percaten de que no solo es construir, competir y divertirse, sino que están formándose como ingenieros.

Pedro Josué Lara Granados.

Capítulo 1

LA ROBÓTICA EN LA FORMACIÓN DEL INGENIERO

1.1 La Ingeniería, el progreso constante del mundo en que vivimos.

Existen un sinnúmero de definiciones de la Ingeniería y del ingeniero, desde diversos puntos de vista y en varios contextos, por lo que propondré aquellos que sean más significativos y nos lleven a una conclusión más ecuánime y completa de lo que es un Ingeniero y la Ingeniería. Este procedimiento nos permitirá construir nuestras propias definiciones. En la fig. 1.1 podemos observar el diseño de un autómatas por parte de Leonardo da Vinci, muestra del ingenio que es capaz de desarrollar el humano.



Fig. 1.1 Modelo de un robot basado en los diseños de Leonardo da Vinci.³

Inicio este proceso de deducción, para obtener una definición personal, con una fuente de información disponible para todo mundo, tanto para consulta, como para actualización, mejora y sustentación de contenido: La “Wikipedia, La enciclopedia libre”¹, y dice al respecto:

“La ingeniería es el conjunto de conocimientos y técnicas científicas aplicadas, que se dedica a la resolución u optimización de los problemas que afectan directamente a la humanidad.

En ella, el conocimiento, manejo y dominio de las matemáticas y ciencias naturales, obtenido mediante estudio, experiencia y práctica, se aplica con juicio para desarrollar formas económicas de utilizar los materiales y las fuerzas de la naturaleza para beneficio de la humanidad y del ambiente.

Pese a que la ingeniería como tal (transformación de la idea en realidad) está intrínsecamente ligada al ser humano, su nacimiento como campo de conocimiento específico viene ligado al comienzo de la revolución industrial, constituyendo uno de los actuales pilares en el desarrollo de las sociedades modernas.

Otro concepto que define a la ingeniería es el arte de aplicar los conocimientos científicos a la invención, perfeccionamiento o utilización de la técnica en todas sus determinaciones. Esta aplicación se caracteriza por utilizar principalmente el ingenio de una manera más pragmática y ágil que el método científico, puesto que una actividad de ingeniería, por lo general, está limitada a un tiempo y recursos dados por proyectos. El ingenio implica tener una combinación de sabiduría e inspiración para modelar cualquier sistema en la práctica.”²

Esta definición, como toda la Wikipedia, ha sido revisada de manera exhaustiva por un conjunto de especialistas en el área, y esta a disponibilidad de cualquiera que la necesite y cualquiera que quiera actualizar, corregir o agregar podrá abrir una discusión que será debidamente tratada, así Internet, se convierte en una herramienta que nos permite el acceso a un conjunto de conocimientos, desmitificando que solo fomenta el ocio del estudiante.

En segundo lugar, una referencia obligada al *Oxford English Dictionary*, que es por mucho, la mejor fuente de definiciones no solo en habla anglosajona sino referente mundial de conceptos:

“The term engineering itself has a much more recent etymology, deriving from the word engineer, which itself dates back to 1325, when an engine’er (literally, one who operates an engine) originally referred to “a constructor of military engines.” In this context, now obsolete, an “engine” referred to a military machine, i. e., a mechanical contraption used in war (for example, a catapult). The word “engine” itself is of even older origin, ultimately deriving from the Latin ingenium (c. 1250), meaning “innate quality, especially mental power, hence a clever invention.”⁴

De ahí, podemos revisar una definición mucho más moderna, proveniente de la no menos importante y muy influyente “Encyclopædia Britannica”:

“The application of science to the optimum conversion of the resources of nature to the uses of humankind. The field has been defined by the Engineers Council for Professional Development, in the United States, as the creative application of “scientific principles to design or develop structures, machines, apparatus, or

*manufacturing processes, or works utilizing them singly or in combination; or to construct or operate the same with full cognizance of their design; or to forecast their behaviour under specific operating conditions; all as respects an intended function, economics of operation and safety to life and property.” The term engineering is sometimes more loosely defined, especially in Great Britain, as the manufacture or assembly of engines, machine tools, and machine parts.”*⁵

Aquí nos encontramos con una definición, moderna y completa, que abarca el amplio espectro de los conocimientos englobados en la Ingeniería y sus aplicaciones, incluso nos deja leer entre líneas el futuro de lo que será la ingeniería.

Es fundamental hacer referencia a nuestra fuente de definiciones autorizada, si la palabra en español no se encuentra en el RAE, es decir, la Real Academia de la lengua Española y su diccionario, simplemente no existe, no es más que un modismo o adaptación local, pero claro que nuestra palabra: Ingeniería, está contenida:

“f. Estudio y aplicación, por especialistas, de las diversas ramas de la tecnología.

f. Actividad profesional del ingeniero.

*~ genética. Tecnología de la manipulación y transferencia del ADN de unos organismos a otros, que posibilita la creación de nuevas especies, la corrección de defectos génicos y la fabricación de numerosos compuestos útiles.”*⁶

Bastante simple, y sin embargo es de lo más clara, el estudio y la aplicación, mediante especialistas (ingenieros) de las diversas ramas de la tecnología. Si, así es, los ingenieros tenemos la capacidad y obligación, de involucrarnos, no solo en el área de nuestra especialidad, sino en las diversas ramas del conocimiento, para lograr un entendimiento integral del entorno y mejorar la forma de lograr nuestros objetivos. En la fig. 1.2



Fig. 1.2 Robot industrial para medición de la estructura de un auto, Simulación en 3-D CAD⁷

podemos observar la representación de un brazo robótico dual que mide con precisión la estructura de un auto, tarea que para un ser humano resultaría complicada, un ejemplo de cómo la ingeniería resuelve problemas de la sociedad.

En un juego de palabras, podemos decir que “La ingeniería es el campo de acción profesional del ingeniero” y que “El ingeniero es aquel que tiene como actividad profesional la ingeniería”, por lo que se hace la propuesta para que cada uno construyamos nuestra definición personal de Ingeniería e Ingeniero, y así, apropiarnos del conocimiento.

Nuestro mundo y la forma de vida que tenemos han sido constantemente mejorados gracias a la ingeniería, desde los albores de la humanidad, los seres primitivos modificaban su entorno para hacer más fácil su vida, desde cambiar de posición un tronco para sentarse con mayor comodidad, hasta afilar piedras para elaborar herramientas, pasando por todas y cada una de las tareas de su día a día.

Actualmente podemos encontrarnos con un entorno enteramente modificado. La tecnología en la que estamos inmersos está tan íntimamente ligada a nuestra vida que no la notamos de manera consciente: La iluminación, la energía instantánea disponible, herramientas tan simples como un cepillo de dientes o una cuchara, comunicaciones globales, computadoras, vehículos, la lista sería interminable; y nos pasa desapercibida del todo, damos por sentado que está presente y a nuestra disposición.

En este contexto, el ser humano cada vez realiza menos labores manuales, dedicando su tiempo y esfuerzo a labores intelectuales o lúdicas. El ingeniero desarrolla la tecnología que libera del trabajo físico a la humanidad, entre muchas otras áreas de la ingeniería, por lo que una consecuencia natural es la automatización de los procesos productivos, tanto para elevar la productividad como la calidad; aplicando sus conocimientos y creatividad para lograrlo.

La automatización de los procesos productivos inició una revolución en todos los aspectos de la vida, cambiando los métodos de producción, las condiciones laborales, la disponibilidad de los productos y servicios, la comercialización y economía, mejorando de manera continua nuestra vida y nuestro mundo, logrando así cumplir con la misión y visión del ingeniero y la ingeniería.

La Ciencia, la Tecnología, y por ende la Ingeniería son amorales. Es decir que no son ni buenas ni malas, son el producto del conjunto de conocimientos acerca de los fenómenos físicos y sociales que podemos percibir. La aplicación que da el usuario es la que moraliza estos avances. La disponibilidad de los mismos, debe ser para todos y con buenos propósitos, y si bien, suena a una utopía, es como debería ser desde el punto de vista de la ingeniería.

1.2 Formación profesional del Ingeniero

La formación del Ingeniero en México se logra al mismo nivel de cualquier Universidad en el mundo con un buen nivel de conocimientos y una notable capacidad para resolver problemas y para integrarse al entorno productivo del país. Sin embargo, este logro no es fácil para ninguno de los protagonistas en este proceso. Las Instituciones y su personal, los profesores, los estudiantes y la infraestructura tienen diversas problemáticas que deben resolverse para mejorar, y hacer que la formación de los ingenieros resulte excelente, significativa y por supuesto más productiva. En la Facultad de Estudios Superiores Aragón, de la UNAM, contamos con una planta docente reconocida, capaz, comprometida con la educación, estudiantes dedicados, recursos e infraestructura, a veces limitados, pero contamos con lo necesario para llevar a cabo la formación profesional del Ingeniero.

Encuentro tres áreas de oportunidad que me parece deben satisfacerse para hacer una mejor formación.

Primero, equilibrar el proceso académico, para que el estudiante reciba de la mejor manera posible los conocimientos y las oportunidades que brinda la FES Aragón.

Segundo, motivar al estudiante para que se involucre en su formación, los proyectos son una alternativa que en nuestra institución se emplean de manera correcta para lograrlo.

Tercero. ¿Qué hace México con sus ingenieros? Si bien es cierto que para crecer como país necesitamos de la ciencia y la tecnología, también es cierto que si no contamos con los espacios para insertar a los ingenieros egresados con buena formación, utilizando su capacidad creativa, darles las condiciones tecnológicas requeridas, ofrecerles los satisfactores a sus necesidades. La mini robótica le da una mejor oportunidad de inclusión en el medio laboral al estudiante de ingeniería porque

amplifica su capacidad creativa, además de desarrollar sus competencias y habilidades.

Los ingenieros de México, son altamente reconocidos. Tenemos grandes exponentes de la capacidad de desarrollo y creatividad, del nivel profesional y ético, de los resultados notables y aplicables en la vida diaria, y que son orgullo y motivación de las generaciones que vienen luchando por lograr su formación profesional.

1.3 Robótica y Mini robótica.

La robótica, poco a poco se ha integrado a nuestra vida, la automatización en la industria de nuestro país ha ido creciendo de manera gradual, en el mundo, países como Alemania y Japón ya están inmersos en una producción robotizada. Desde tiempos inmemoriales la humanidad pensaba en ingeniosos dispositivos para facilitar el trabajo, hacerlo más preciso o simplemente para entretenimiento.

Desde Herón de Alejandría (fig. 1.3) y sus dispositivos automatizados, como la famosa eolípila en la fig. 1.4, primera máquina de vapor funcional, aunque considerada un simple objeto de entretenimiento, sus grandes conocimientos de matemáticas y física que lo llevaron a establecer formulas que hoy utilizamos comúnmente, descubre el concepto de acción-reacción con vapor, que cientos de años después Newton establecería como parte de sus leyes. En óptica propuso un concepto del camino geométrico que debería seguir la luz y que cientos de años después el propio Fermat corregiría. Y lo que en esta investigación resulta de lo más interesante; la propuesta de un autómeta que además de movimiento, debería incluso hablar.



Fig. 1.3 Herón de Alejandría



Fig. 1.4 Eolípila de Herón

En la historia podremos encontrar ejemplos de diseños y aparatos, ingenios mecánicos funcionales, de los cuales, presento los que me parecen más interesantes en la fig. 1.5 el elefante automático de Al-Jazari, en la fig. 1.6 el caballero mecánico de Leonardo Da Vinci y en la fig. 1.7 El león automático, que maravillo a las cortes reales de su época.



Fig 1.5 El autómata elefante de Al-Jazari¹



Fig. 1.6 The mechanical knight¹

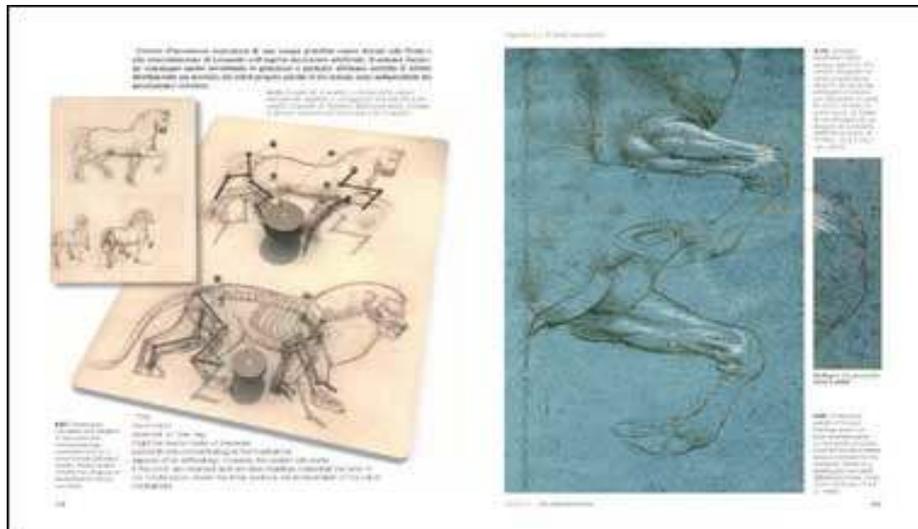


Fig. 1.7 El León autómata de Da Vinci

Estos diseños antiguos nos muestran la creatividad que tenían los primeros e ingeniosos inventores roboticistas, aún sin saberlo. En la fig. 1.8 podemos observar un ingenio desarrollado por Jacques Vaucanson en 1739, “The Canard Digerateur” aclamado como el primer autómata capaz de hacer la digestión. Mientras que en la fig.

1.9 podemos observar un brazo de la empresa KUKA® programado para escribir la biblia. Ambos ejemplos distantes uno de otro en el tiempo y la tecnología empleada, pero similares en su uso, simplemente entretenimiento.

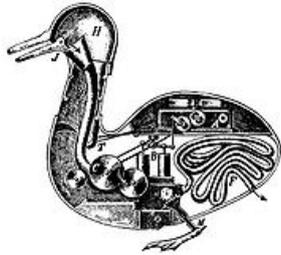


Fig. 1.8 The Canard Digérateur



Fig. 1.9 Brazo Robot de KUKA
Escribiendo la biblia.

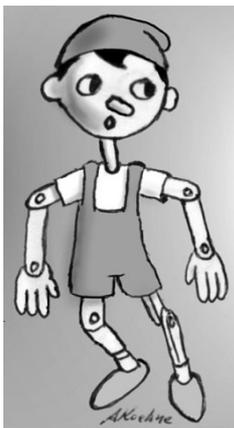


Fig. 1.10 Pinocho como en el mundo, no son más que sueños de una ficción aún lejana.

Podríamos elaborar una gran lista con cientos de ejemplos de autómatas construidos a lo largo de la historia, además agregar aquellos que sin haber sido construidos tenemos muy presentes, como Pinocho en la fig. 1.10, incluso los famosos R2-D2 y C-3PO en la fig. 1.11, que existen como simulaciones medianamente funcionales, pero que hoy con toda la tecnología que tenemos tanto en México



Fig. 1.11 C3PO & R2D2

La Robótica, según la wikipedia¹:

*“Es la ciencia y la tecnología de los robots. Se ocupa del diseño, manufactura y aplicaciones de los robots. La robótica combina diversas disciplinas como la mecánica, la electrónica, la informática, la inteligencia artificial y la ingeniería de control. Otras áreas importantes en robótica son el álgebra, los autómatas programables y las máquinas de estados.”*⁸

Y enseguida la definición de la “Encyclopædia Britannica”⁹:

“Design, construction, and use of machines (robots) to perform tasks done traditionally by human beings. Robots are widely used in such industries as automobile manufacture to perform simple repetitive tasks, and in industries where work must be performed in environments hazardous to humans. Many aspects of robotics involve artificial intelligence; robots may be equipped with the equivalent of human senses such as vision, touch, and the ability to sense temperature. Some are even capable of simple decision making, and current robotics research is geared toward devising robots with a degree of self-sufficiency that will permit mobility and decision-making in an unstructured environment. Today’s industrial robots do not resemble human beings; a robot in human form is called an android.”

Claro que los robots, no necesariamente tienen forma humana. Ya que realizan actividades de construcción, producción, empaquetado, diseño. Llevan a cabo sus tareas en ambientes peligrosos para los humanos, tienen un grado de inteligencia artificial, sensores capaces de detectar el entorno, movilidad en diversos ejes y formas de translación, y sus aplicaciones principales están en la industria.

Por su parte, el RAE define la robótica como:

*“f. Técnica que aplica la informática al diseño y empleo de aparatos que, en sustitución de personas, realizan operaciones o trabajos, por lo general en instalaciones industriales.”*¹⁰

Podemos notar que mientras la “Wikipedia” coloca a la Robótica a nivel de rama de la ciencia, la “Encyclopædia Britannica” y la “Real Academia de la Lengua Española”, no la consideran aún una rama de la ciencia, sin embargo, debemos recordar que las grandes academias solo actualizan contenido en ciertas ocasiones, pero la ciencia y tecnología tiene un ritmo propio y por supuesto más acelerado.

Los **«robots»** son el elemento esencial en esta investigación, y antes del checoslovaco *Karel Čapek*, simplemente se llamaban autómatas, pero en su obra teatral de ciencia ficción, “R. U. R.” (*Rossum’s Universal Robots*) escrita en 1920, y llevada a escena como podemos ver en la fig. 1.12, donde Karel utiliza por primera vez el término **robot**, que en lenguajes escandinavos significa, tarea, trabajo o servidumbre. Cabe aclarar que fue su hermano *Josef Čapek*, el que le propuso usar la

palabra *robot* en su trabajo, ya que Karel había usado «*automat*». En la fig. 1.13 podemos ver la primera representación de un “robot” por parte de un actor.

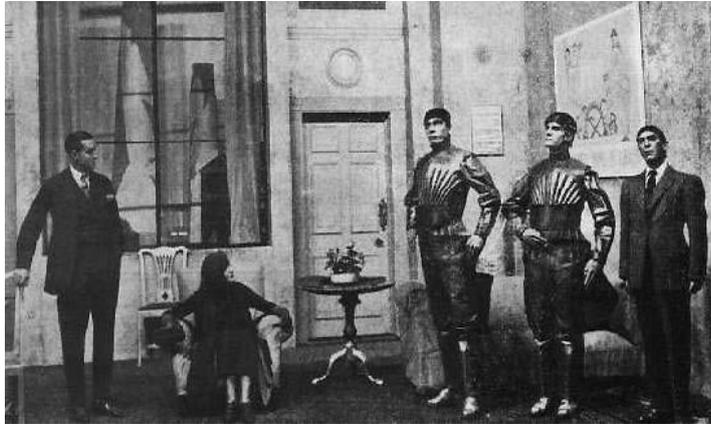


Fig. 1.12 Imagen de la puesta de escena de la obra *R. U. R.* Praga, 1921.



Fig. 1.13 Primera representación de un robot, en la obra *R. U. R.* Berlín, 1921.

Aunque los robots de Karel eran humanos artificiales, no corresponden a nuestra idea actual de robot. Por lo que debemos hacer una clasificación actualizada de los robots:

El **robot**: Un ente totalmente mecánico, en la fig. 1.14 podemos observar varios ejemplos .

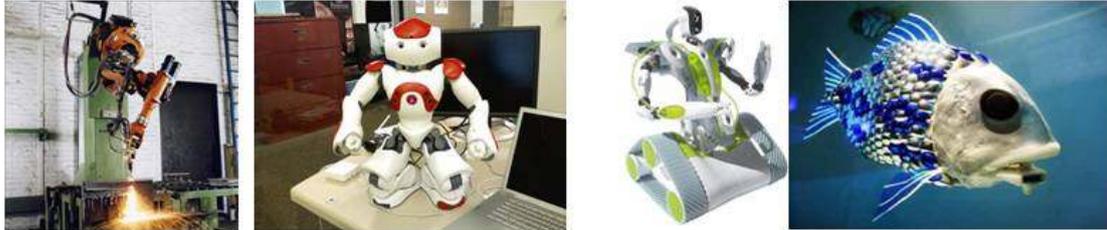


Fig. 1.14 Ejemplos de Robots

El **cyborg**: Un ser vivo que combina partes inorgánicas con orgánicas aunque no necesariamente tiene forma humana. En la fig. 1.15 se presentan diversos modelos de cyborgs.

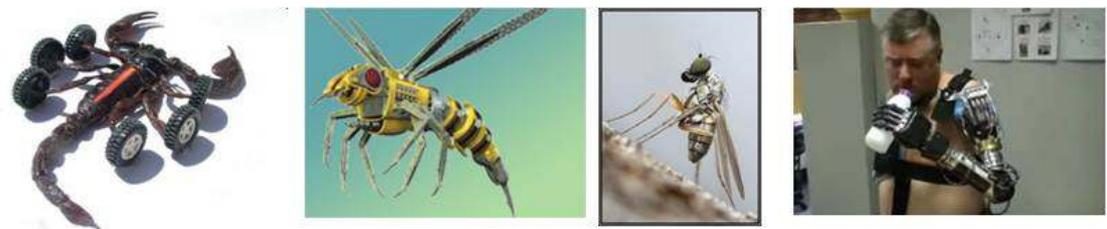


Fig. 1.15 Ejemplos de Cyborgs

El **androide**: Un autómatas inorgánico con forma de ser humano necesariamente. Podemos ver cuatro ejemplos de androides en la fig. 1.16



Fig. 1.16 Ejemplos de Androides

Los robots, androides, y Cyborgs, cada vez son más sofisticados, con mayor capacidad de interacción, percepción y movimiento.

Robótica y humanidad.

La concepción moderna de la palabra robótica, evidentemente proviene de robot, y fue acuñada por Isaac Asimov, dándole el concepto moderno que usamos hoy en día. Cabe agregar que sus robots y las ideas que rodean sus novelas de ciencia ficción han establecido muchos de los parámetros a seguir, y como ejemplo podemos enunciar las leyes de la robótica:

1. Un robot no debe dañar a un ser humano o, por su inacción, dejar que un ser humano sufra daño.
2. Un robot debe obedecer las órdenes que le son dadas por un ser humano, excepto si estas órdenes entran en conflicto con la Primera Ley.
3. Un robot debe proteger su propia existencia, hasta donde esta protección no entre en conflicto con la Primera o la Segunda Ley.

Y posteriormente se desarrolló la “Zeroth law”, ley cero, que enuncia:

0. Un robot no puede hacer daño a la Humanidad o, por inacción, permitir que la Humanidad sufra daño.

La primera aparición de estos conceptos se da en “**Runaround**” (Círculo vicioso) cuento corto de ciencia ficción, escrito precisamente por Isaac Asimov en 1941 que describe de manera sumamente interesante el uso y la aplicación de las leyes robóticas. Este relato está incluido en la obra “I robot”¹¹ (Yo, robot).

Por otra parte, en nuestra época se están desarrollando robots para la guerra, donde quedan muy atrás las ideas de Asimov. Podemos encontrar referencias mucho más precisas en la obra “A Concept of Operations for Armed Autonomous Systems”¹² del reconocido ingeniero naval militar John S. Canning, donde los objetivos militares y civiles para un robot pueden parecer la misma cosa y las decisiones deberían ser compartidas por el operador humano y el robot.

Estas leyes, son conceptos de ciencia ficción, actualmente los robots no tienen desarrollada completamente la capacidad para entender estos conceptos, pero es una buena idea para partir en la construcción de los que un día a través de la inteligencia artificial podrían acompañarnos en el recorrido por el tiempo y el espacio, los robots.

Existe una limitación significativa con respecto al desarrollo y aprendizaje de la robótica: El costo.

El diseño, desarrollo y construcción de los robots tiene un costo elevado. Solamente las grandes empresas han desarrollado robots de alto nivel y como ejemplo tenemos en la fig. 1.17 a ASIMO¹⁴, de Honda, con costo de desarrollo superior a 250 millones de euros (€250,000,000.00), es decir alrededor de cuatro mil quinientos cincuenta millones de pesos (\$4,550,000,000.00) (Cálculo en 2010).



Fig. 1.17 Robot ASIMO de la empresa Honda ®

Los robots industriales sencillos, como en la fig. 1.18 un brazo de KUKA® o quizá un brazo PUMA®, con seis grados de libertad y manejo de objetos ligeros, superan con facilidad 15,000 euros, es decir, alrededor de 280,000 pesos. Debido a esta razón especialmente y a otras que mencionare en su oportunidad, es que nace la mini robótica.



Fig. 1.18 Brazo industrial de la empresa alemana Kuka®

La mini robótica

Es una rama derivada de la robótica. De hecho, es la misma robótica a una escala que permite que los estudiantes, entusiastas y profesionales, puedan desarrollar sus propios robots, a un costo accesible, sin perder por esto el nivel de conocimiento, de diseño y de resultados. La miniaturización de los circuitos integrados, los nuevos materiales de construcción y principalmente la creatividad del roboticista, permite la construcción de mini robots completamente funcionales, que realizan todas las funciones de los grandes robots, control, detección del entorno e inteligencia artificial.

Mini robótica BEAM

Existe una rama de la robótica que se denomina BEAM, por sus siglas en inglés Biología (Biology), Electrónica (Electronics), Estética (Aesthetics) y Mecánica (Mechanics). Esta robótica BEAM tiene una filosofía muy interesante, y en la sección de anexos, encontraremos como construir un minirobot seguidor de luz, económico y sencillo, además un cepillo-boot-dental, un minirobot BEAM con un cepillo de dientes y otras cuantas piezas. En la fig. 1.19 tenemos un insecto seguidor de luz, diseñado y construido con la filosofía mini robótica BEAM.



Fig. 1.19 Robot BEAM seguidor de luz

La robótica está presente en diversas áreas, y tiene un sinnúmero de aplicaciones:

Industria: Producción, seguridad, control de calidad, etc.

Medicina: Operaciones quirúrgicas, control de inventarios. Etc.

Modelos: Simulación, experimentación, etc.

Educación: Diseño, construcción, experimentación, modelado, etc.

Arte: Diseño, creatividad, etc.

Entretenimiento: Simuladores, competencia, control, etc.

El impacto de los robots al sustituir al operador humano, ha generado controversias, han desplazado al operador humano por su capacidad productiva y exactitud. Un robot no se reporta enfermo, no falta por razones personales, mantiene el ritmo de trabajo que le fue programado, es decir, con un buen programa de mantenimiento, no detiene la producción, y las personas se ven liberadas de trabajos repetitivos, peligrosos y mal remunerados, porque ahora no se requiere un obrero, sino un operador de robot, que por supuesto tendrá mejores ingresos. Aunque siempre existirá la polémica de que muchos se quedaran sin empleo, es cuestión de enfoques, sin embargo, está sucediendo y parece que el cambio no se detendrá, En México todavía tardemos para que la robótica se integre a la industria de manera masiva, sin embargo ya existen empresas como PEMSA que produce laminados y refacciones metálicas para autos con un nivel de automatización superior al 60% en su proceso

productivo, o FEMSA Coca Cola ® que tiene un nivel de automatización superior al 75% en su planta en el Valle de Lerma, Toluca.

De cualquier manera, la robótica ha sido, es y seguirá siendo un arte, donde el ingeniero, expone su capacidad creativa, donde expresa sus conocimientos mediante el diseño y construcción de robots, incluso nos da a conocer sus sentimientos al darle vida e inteligencia (artificial), a sus ingenios.

1.4 Etapas propuestas para el diseño de mini robots

A continuación se presenta una propuesta para el diseño de prototipos, que servirá como guía, y cada roboticista podrá agregar o retirar aquellas que considere necesario.

Etapas de un proyecto

Un proyecto es una planificación que consiste en un conjunto de actividades que se encuentran interrelacionadas y coordinadas. La razón de un proyecto es alcanzar objetivos específicos dentro de los límites que imponen un presupuesto, calidades establecidas previamente y un lapso de tiempo previamente definidos. La gestión de proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades de un proyecto para satisfacer los requisitos del proyecto. Basado en la definición del "Project Management Institute"⁷¹. Este diseño está basado en las etapas del método científico experimental.

La idea de proyecto o "Problema a resolver".

Consiste en establecer la necesidad u oportunidad denominada regularmente "**problema**" a partir de la cual es posible iniciar el diseño del proyecto. La idea de proyecto puede iniciarse debido a alguna de las siguientes razones:

- Existen necesidades insatisfechas actuales o se prevé que existirán en el futuro si no se toma medidas al respecto.
- Existen potencialidades o recursos sub aprovechados que pueden optimizarse y mejorar las condiciones actuales.
- Es necesario complementar o reforzar otras actividades o proyectos que se producen en el mismo lugar y con los mismos involucrados.

Delimitación del problema. Se define el problema, se establecen límites, y se proponen soluciones y se eligen las más viables, dependiendo de las capacidades y/o recursos disponibles.

Marco teórico de referencia. Se realiza la documentación, investigación, mediante consultas de fuentes autorizadas respecto al tema, entrevistas y revisión de problemáticas relacionadas para evitar redundancia y aprovechar la experiencia existente respecto al tema.

Hipótesis. Dependiendo del tipo de problema y las propuestas que se realicen se establece una hipótesis. Es la propuesta de lo que creemos que va a pasar al resolver el problema que nos interesa, constituye una importante herramienta que guía nuestros esfuerzos en la búsqueda de la solución, una hipótesis experimental se caracteriza por poderse probar mediante una investigación o experimento controlado, que diseñamos con la intención de saber si lo que hemos predicho es válido o no. Es importante que la hipótesis tenga:

- Predicción.
- Fundamentación.
- Condiciones de verificación.

La hipótesis guía el plan de acción o proyecto experimental a desarrollar. En su propia formulación contiene los elementos esenciales que delinear la estrategia a seguir.

Diseño experimental.

La estrategia a seguir para resolver el problema propuesto. Etapa de un proyecto en la que se valoran las opciones, tácticas y estrategias a seguir teniendo como indicador principal el objetivo a lograr. Debemos observar:

- Correspondencia al problema.
- Reconocimiento de los límites del problema.
- Condiciones de verificación.
- Factibilidad.

Los elementos del diseño experimental:

- Elección de la variable experimental.
- Elección de las variables independientes.

- Elección y/o diseño de métodos, técnicas, materiales, equipos, recursos y personal.
- Elección y/o diseño de formas de medición y registro de datos, esquemas, tablas, encuestas y todos los medios de adquisición de datos necesarios.

Construcción del modelo o prototipo, considerando las especificaciones. En esta etapa se realiza la experimentación correspondiente, basado en las variables relacionadas al sistema. La experimentación se somete al control para supervisar que la obtención de resultados sea significativa.

En esta etapa se produce la aprobación del proyecto, que se suele hacer luego de la revisión del perfil de proyecto y/o de los estudios de pre-factibilidad, o incluso de factibilidad. Una vez dada la aprobación, se realiza la planificación operativa, un proceso relevante que consiste en prever los diferentes recursos y los plazos de tiempo necesarios para alcanzar los fines del proyecto, asimismo establece la asignación o requerimiento de personal respectivo.

Conclusiones, es decir un resumen de los resultados de la experimentación del proyecto, enunciando la relación con la hipótesis para afirmarla o refutarla.

Debemos asegurarnos que las conclusiones estén relacionadas con el problema, que las estrategias respondan a los planteamientos, las observaciones deben analizarse y verificarse para realizar un análisis crítico de los datos obtenidos.

Ejecución.

Consiste en poner en práctica la planificación llevada a cabo previamente. Implementando los sistemas, productos o procesos que se establecieron, así como los elementos de supervisión y control relacionados.

Evaluación.

Etapa final de un proyecto en la que éste es revisado, y se llevan a cabo las valoraciones pertinentes sobre lo planeado y lo ejecutado, así como sus resultados, en consideración al logro de los objetivos planteados.

A continuación se propone un esquema que sirva como guía para el diseño y construcción de un proyecto:

Elementos a considerar en el diseño y construcción de un robot (Bajo el método científico experimental ⁷²)				
PROBLEMA	HIPÓTESIS	DISEÑO EXPERIMENTAL	ANÁLISIS DE RESULTADOS	CONCLUSIONES
Justificación. Incógnita. Límites espaciales, conceptuales y temporales.	Fundamentación. Predicción. Condiciones de verificación.	Selección de la variable independiente. Selección de las variables dependientes. Identificación y control de parámetros. Selección de material y diseño de equipo. Registro de datos.	Organización y representación de datos. Interpretación de gráficas, análisis de constantes. Verificación de controles. Identificación de tendencias.	Nuevos datos. Contrastación de la hipótesis. Valoración del diseño de equipo. Organización e interpretación de la información obtenida. Propuesta de nuevas alternativas.
Mini robótica				
Problema a resolver. Reglamento del concurso. Tipo de proyecto académico a realizar.	Comparación y búsqueda de analogías con robots previamente construidos. Propuestas del prototipo mini robótico a construir para resolver el problema. Propuesta de la escala del mini robot, según el problema a resolver.	Selección de material y diseño de equipo. <ul style="list-style-type: none"> • Chasis o estructura de soporte. • Sensores de percepción y de control. • Motores o actuadores. • Interactuación de elementos 	Revisión del comportamiento del robot dentro de reglamento ó que tenga la capacidad para resolver el problema estudiado.	Establecimiento del modelo construido como solución al problema. Propuesta del mini robot, como modelo para un robot a escala natural al problema. Propuestas de nuevos diseños.

Es importante no separar el método científico experimental del diseño del mini robot, son parte de un todo, el resultado dependerá de cubrir ambas etapas de manera completa.

Aunque la organización de cada uno de los capítulos está dada por el tema a tratar, en todos capítulos se utiliza este método.

1.5 Educación profesional integral: Un reto para México

En todos los niveles educativos podemos notar que algo está sucediendo. Día con día, año con año, se reduce el número y resultado de los egresados, basta con revisar los resultados de la OCDE¹³. Desde los niveles básicos hasta los universitarios, debemos recuperar al estudiante, al profesor, a la escuela, a la Institución, al sistema completo si es necesario.

Pienso que una tarea fundamental es dignificar la labor del Profesor, esa persona que teniendo la capacidad y conocimientos demostrados, decide de manera personal, dedicar su esfuerzo profesional a la educación. Es necesario darle los medios, los recursos, las herramientas, capacitación y actualización para llevar a cabo su loable labor, y más allá, darle la seguridad a quien demuestre merecerla, no solo por su profesionalismo sino además su ética y dedicación, de un medio de vida social y económicamente estable, que le permita seguir adelante con su esfuerzo profesional.

No menos importante es la Institución. A cualquier nivel, necesitamos invertir en nuestro futuro y la mejor manera de hacerlo es con la educación y cultura, dotando del presupuesto suficiente para llevar a cabo la tarea asignada a cada nivel educativo, sin escatimar como hemos venido haciendo desde hace décadas. Ya estamos empezando a pagar esa falta de inversión y de seguir así llegaremos a un punto de no retorno. Aún estamos a tiempo.

Las herramientas para el proceso de enseñanza aprendizaje están en constante desarrollo, no son finitas ni completas, por el contrario, cambian todos los días. Los nuevos medios de comunicación, de procesamiento de datos, son imperiosamente abrumadores, saturan a todo mundo.

Los estudiantes viven inmersos en estas herramientas, pero eso no quiere decir necesariamente que las apliquen correctamente. Aquí tenemos un quid, un paradigma, la respuesta es lograr el equilibrio, que todos, alumnos, profesores y todos los involucrados en el proceso de enseñar-aprender estemos en condiciones de usar la tecnología al mismo nivel para enfrentar el reto de la formación profesional.

Capítulo 2

SEGUIDOR DE LÍNEA AGV

2.1 Seguidor de línea AGV (Autonomous Guided Vehicle)



Fig. 2.1 REUMA
Seguidor de línea micro controlado

El mini robot Seguidor de línea ha sido objeto de estudio en muchas de las Universidades del mundo donde se desarrollan Ingenieros de alto nivel. En todo el planeta se organizan diversas competencias de robótica, donde la de “Seguidor de línea” con sus interesantes variantes son la prueba más importante.

El objetivo principal es que los estudiantes logren construir un vehículo como la “Reuma” en la fig. 2.1, que sea guiado de manera autónoma, capaz de seguir una línea de color blanco sobre una superficie de color negro que forma un circuito continuo que se establece dentro de un rectángulo de aproximadamente 2.2 metros de largo y 1.2 metros de ancho, en el que deberá correr a la mayor velocidad posible, “Randall” en la fig. 2.2 es una clara muestra de velocidad, sin perder la línea ni detenerse hasta lograr las condiciones establecidas, según el tipo de competencia establecida, las reglas de cada competencia indican todas las dimensiones asociadas, antes de construir debemos revisarlas a detalle para asegurar que cumplimos con ellas como podemos ver en el anexo 4 “Concursos de robótica”.



Fig. 2.2 RANDAL Seguidor de línea analógico de alto rendimiento



Fig. 2.3 Red Team del Carnegie Mellon Vehículo que termino el DARPA Challenge en el desierto de Mojave USA en 2007.

Muchos autores han anticipado un futuro increíble: Un Vehículo que será capaz de recorrer las calles, carreteras, autopistas y podemos notar cómo se vuelven realidad poco a poco por ejemplo con autos capaces de estacionarse por sí mismos, utilizando un conjunto de sensores, micro controladores y

software que le permitirán llevarnos a nuestro destino con seguridad y comodidad, siguiendo por supuesto todas los reglamentos de transito. Ya existen vehículos con una autonomía asombrosa para conducirse por sí mismos a un destino predeterminado, aunque tienen limitaciones notables, y por otra parte, se han dado premios para quien logre desarrollar un vehículo capaz de cruzar el desierto de Mojave (USA), auspiciado por DARPA (Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada del Pentágono) del ejército norteamericano, con el objetivo de contar con una flotilla de vehículos autónomos durante las batallas para aproximadamente el 2015, así mismo el DARPA Urban Challenge que tiene como meta lograr un vehículo capaz de circular entre el trafico de la ciudad de Victorville en California, y que debieron lograr avanzar sin causar problemas, estacionarse, rebasar y permitir ser rebasados, cruzar intersecciones, estacionarse e incluso negociar cambios de carril, y de entre participantes de muchas universidades, no solo de USA sino de todo el mundo, el Tartan Racing Team de Pittsburgh, PA, logró el campeonato con un premio de 2'000,000.00 de dólares.

Además de que existen diversos proyectos relacionados con el desarrollo de vehículos robotizados que nos lleven a donde sea que lo necesitemos.

Uno de los primeros pasos para lograr ese sueño, es que un vehículo sea capaz de seguir una trayectoria bajo ciertas condiciones y con un buen nivel de control, así nace la competencia del “Seguidor de línea”.

En las fig. 2.4 podemos observar los tres primeros lugares del concurso nacional de mini robótica en 2009, Querétaro, México.

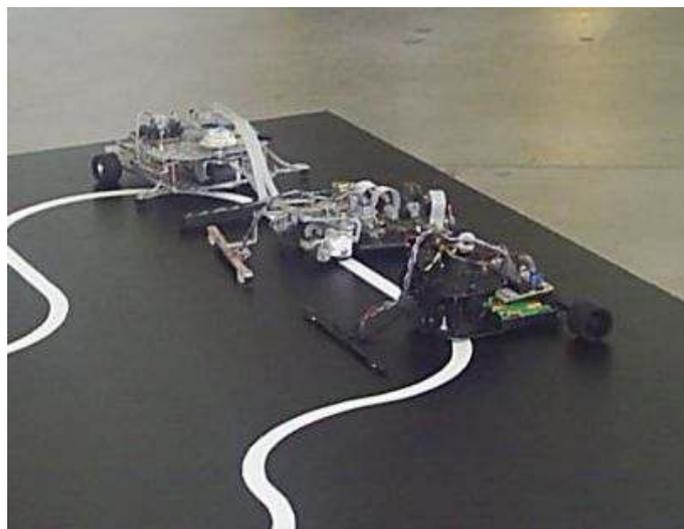


Fig. 2.4 Ganadores del concurso nacional de mini robótica 2009 1°, 2° y 3° Querétaro.

Mientras que en la fig. 2.5 observamos un seguidor de línea de distribución comercial, aunque actualmente discontinuado.



Figura 2.5 Seguidor de línea “Roby”

Finalmente, en la fig. 2.6 observamos a “FLET”, Micro Seguidor de línea de alto rendimiento, con procesador PIC, programación IA, tecnología de montaje superficial y diseño extremo para alta velocidad, diseñado por el Equipo mini robótica FES Aragón. Diseñador: Francisco Cuevas, 2008.

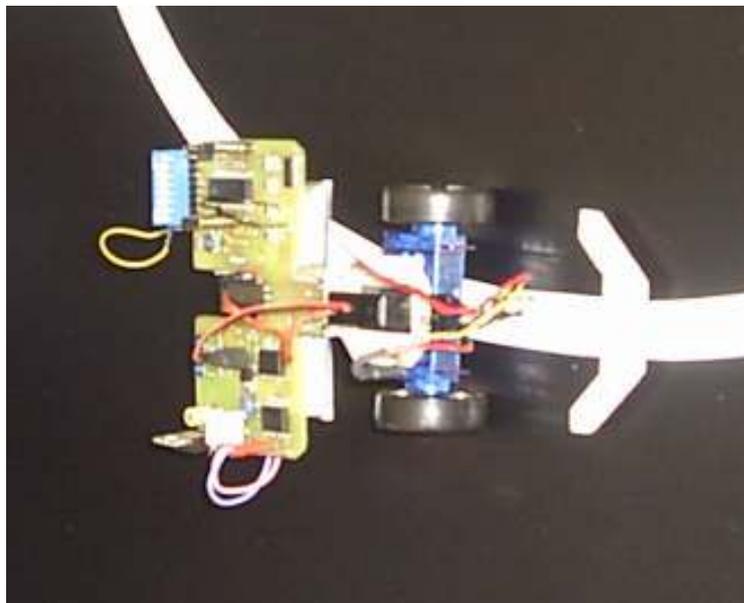


Fig. 2.6 FLET Micro Seguidor de línea de alto rendimiento.

2.2 Diseño en cuatro etapas

El diseño de un seguidor de línea se simplifica si dividimos la construcción en etapas, teniendo siempre en cuenta el resultado final, es decir, cada etapa forma parte de un todo, el AGV. Observando la propuesta de diseño mediante el método científico experimental. En la fig 2.7 observamos el diagrama a bloques del seguidor sencillo que esperamos construir.

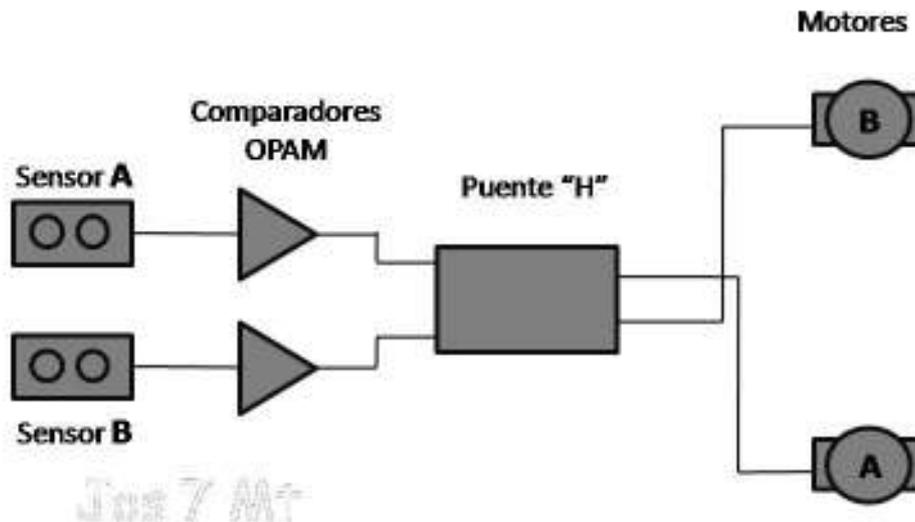


Fig. 2.7 Diagrama de bloque del seguidor de línea sencillo.

2.2.1 Etapa mecánica

En esta, tenemos básicamente cuatro objetivos:

Primero: Una plataforma (Chasis) en la que se colocaran los motores, la electrónica y la fuente de energía. Existen diversas opciones, desde la más simple que es construirla con nuestro propio diseño que nos permitirá decidir la ubicación de todos los componentes, hasta comprar un chasis que ya cuente con las bases, perforaciones y tornillería para fijar todo en su lugar.

Un punto extremadamente importante es que el diseño deberá permitirle al robot dar las vueltas con seguridad, libertad y especialmente con estabilidad.

Debe tener dimensiones muy precisas ya que se diseñan para las competencias nacionales de mini robótica, son de 25 cm. de largo máximo por 20 cm. de ancho máximo, no hay restricciones en cuanto al peso ni a la altura, pero es recomendable

que tenga una altura mínima para que el centro de gravedad este lo más bajo que sea posible y así lograr una mejor estabilidad.

Las velocidades de competencia nacional se encuentran alrededor de 20cm/seg sin embargo, hemos notado que no siempre los vehículos más rápidos logran ganar, la mayor posibilidad de éxito reside en lograr un control y estabilidad a una buena velocidad.

Mi recomendación es utilizar placas de "Sintra" fig. 2.8 (Ver Anexo 2 "Listado de materiales y productos" #2.1), que no son sino un tipo de PVC en diferentes colores de 30 cm por 20 cm bastante maleables, por corte o por termo-moldeo, que nos permite diseñar con facilidad la forma básica del seguidor, darle cierta aerodinámica, perforar, e incluso hacer dobleces al sumergirlas en agua caliente; pero pueden utilizarse diversos materiales para la construcción del chasis.



Fig. 2.8 SINTRA

Segundo: Los motores y llantas son esenciales, tanto en su colocación como aplicación, el motor o motores de tracción según el diseño, y el motor de dirección cumplen con la primordial función de proporcionarle potencia y velocidad al vehículo y darle control a la dirección que deberá seguir en todo momento, para un seguidor de línea básico y funcional, recomiendo los moto-reductores tipo gorila en la fig. 2.9 (Ver Anexo 2 "Listado de materiales y productos" #2.2), en sus diferentes relaciones de reducción, tanto para darle la potencia suficiente para mover todo el peso, como la velocidad de reacción suficiente para seguir la línea. Sin embargo, una vez que entendemos la función de los motores, es posible utilizar cualquier motor que cumpla las funciones de nuestro diseño.



Fig. 2.9 Motor tipo GORILLA

Las llantas son muy importantes, tanto en sus dimensiones como los materiales y colocación, realice varias pruebas, encontrando que las llantas traseras deben tener un radio mayor y un piso más ancho, mientras que las delanteras serán de menor radio y piso más delgado, en una proporción



Fig. 2.10 Llantas de plástico con cubierta de goma.

de $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{3}$ como se puede ver en los diversos modelos que se proponen por ejemplo en la fig. 2.10.

Tercero: Es sumamente importante entender que una parte del chasis debe ser móvil con respecto a la dirección, existen varias formas de construir esta parte del AGV, la más sencilla es que todo el vehículo gire con dos llantas frontales controladas por un par de sensores y detrás una sola, de las denominadas “rueda loca” como se ve en la figura 2.11.



Fig. 2.11 Seguidor de línea sencillo
www.xrobotics.com

La configuración más empleada por los diseñadores de seguidores de línea avanzados, es colocar los sensores en el mismo eje que la dirección, así aseguramos un control eficiente, aunque existen diseños muy interesantes como el control con corona en el eje de dirección que dan una versatilidad a diseños extremos, que claro, requieren mucha experiencia pero que permite mejores resultados en velocidad y control.

Podemos notar la diferencia entre el modelo presentado en la figura fig. 2.11 construido con el único fin de cumplir con el seguimiento de líneas, al de la fig. 2.12, diseñado por el Club Rutgers¹⁷ de la IEEE Robotic¹⁸ con el sistema rep-rap¹⁵, un eficiente y recomendado pero costoso sistema de diseño en plástico de alto rendimiento, que permite el control con cuatro sensores y un sistema de dirección independiente al chasis principal.

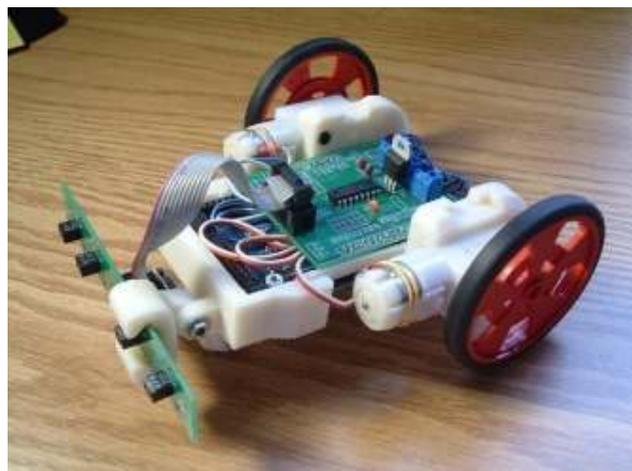


Fig. 2.12 Seguidor de línea del Club Rutgers IEEE Robotic
diseñado en REP RAP®

Cuarto: Finalmente y no menos importante, la colocación de los circuitos de sensado, de control y potencia. Debemos pensar en la aerodinámica, en la distribución de las masas, en el centro de gravedad, aunque en realidad para los primeros seguidores de línea que diseñemos, podemos tomarnos ciertas libertades en cuanto a esta distribución.

A lo largo del capítulo podremos observar ejemplos de diseño de diversos seguidores, pero mi recomendación es ser creativos, experimentar y construir modelos para realizar pruebas y lograr el AGV personalizado que nos de la satisfacción de lograr contar con un robot creado por uno mismo, el primer paso para convertirse en un buen *roboticista*.

2.2.2 Etapa de sensado

Dotar de la capacidad de detectar la línea es un proceso muy interesante para el roboticista y para el robot, la posibilidad para que una máquina sea capaz de detectar un suceso en la vida real es fundamental para los robots, de hecho, considero que es el pilar del control, la adquisición de datos en tiempo real.

La oferta comercial de sensores que puedan llevar a cabo esta tarea es enorme, desde sencillos y económicos emisores - receptores LED infrarrojos Fig. 2.12 (LED, de las siglas Light Emitter Diode, diodo emisor de luz) (Ver Anexo 2 "Listado de materiales y productos" #2.3), hasta complejos y costosos sensores láser (de las siglas inglesas LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, amplificación de luz por emisión estimulada de radiación)¹⁶. Pasando por los amables y fabulosos sensores opto-acoplados infrarrojos como el CNY-70 Fig. 2.14 (Ver Anexo 1 Circuitos integrados #1.1) o el QRD-1114 Fig. 2.15 (Ver Anexo 1 Circuitos integrados #1.2). OPAM (Amplificador operacional) en la fig. 2.16.



Fig. 2.13 Led infra rojo de bajo costo

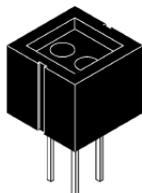


Fig. 2.14 Sensor CNY70 de Vishay Telefunken



Fig. 2.15 Sensor QRD 1114 de Fairchild



Fig. 2.16 Amplificador operacional LM358

Después de un largo proceso de investigación y la inestimable ayuda de mi equipo de mini robótica⁷⁰, desarrollamos un circuito de sensado estable, configurable en cuanto a la sensibilidad a la línea y a la luz del lugar, además de ser especialmente confiable

gracias a la combinación de un trimpot multivuelta para graduar la sensibilidad del sensor y un amplificador operacional LM358 Fig. 2.15 (Ver Anexo 1 Circuitos integrados #1.3) , que digitaliza la señal a un “uno” o “cero”, además cambiando la configuración del circuito, puede sensar línea blanca en fondo negro o línea negra en fondo blanco, o bien combinaciones para crear control del AGV en lazo cerrado.

A continuación propongo los diagramas del circuito a los lectores del presente trabajo, operando con una fuente de VCC de 4.8 volts (4 baterías recargables de 1.2V a 2500mAh).

Utilizando los conocimientos previos que el estudiante de ingeniería a obtenido sobre electrónica, o bien investigando y experimentando, será posible modificar el circuito o proponer alguna configuración que se adapte mejor a un problema en particular, sin embargo, para este mini robot, funciona correctamente. Además deberá realizar los cálculos correspondientes a la electrónica, como voltajes, corrientes y configuraciones.

El circuito de sensado propuesto para el seguidor, diseñado con el sensor CNY70 (sustituible por el QRD1114 cualquiera de los dos opera bien), es sumamente estable, fácil de sensibilizar mediante el trimpot a 10 kΩ, y cuenta con muy buen nivel de inmunidad a la luz ambiente. El amplificador operacional, nos entrega una señal lógica de 0 o 1.

En la fig. 2.17 observamos la configuración para detectar una superficie blanca, utilizada cuando la pista es negra y la línea blanca.

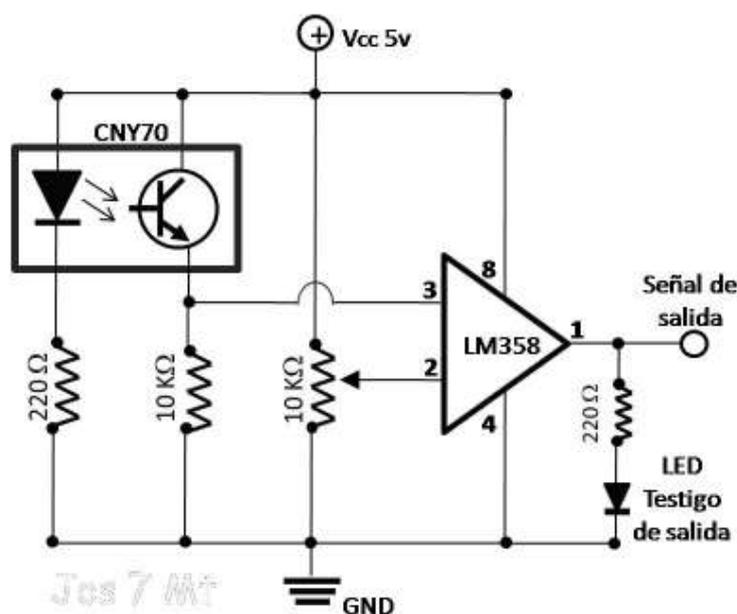


Fig. 2.17 Este circuito detecta superficie blanca, se enciende el LED Testigo y activa el puente “h” y el motor asociado a la señal de salida.

Mientras que en la fig. 2.18 tenemos el circuito para detectar una superficie negra, que obviamente sirve para la pista de color blanco, con la línea a seguir en negro.

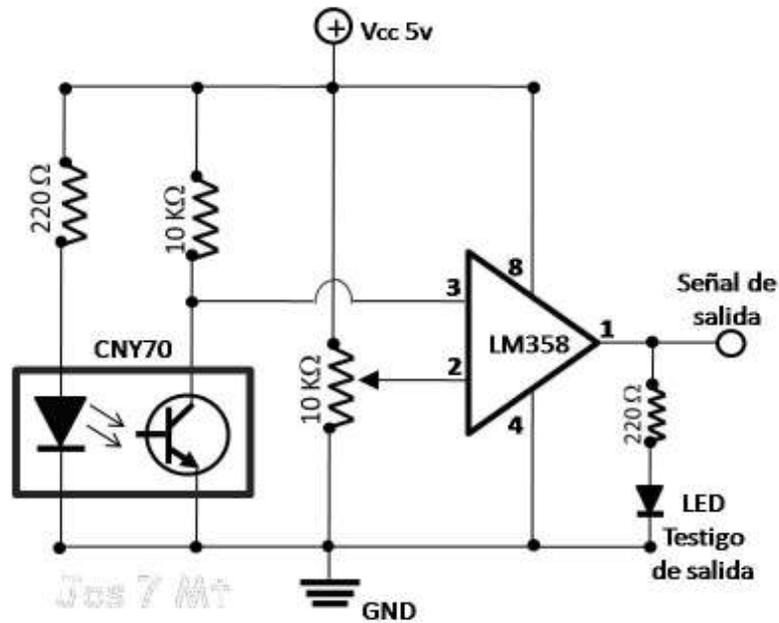


Fig. 2.18 Este circuito detecta **superficie negra**, se enciende el LED Testigo y activa el puente “H” y el motor asociado a la señal de salida.

El sensado puede darse usando desde uno y hasta varios sensores, por ejemplo en la fig. 2.19 observamos un conjunto de 8 sensores.

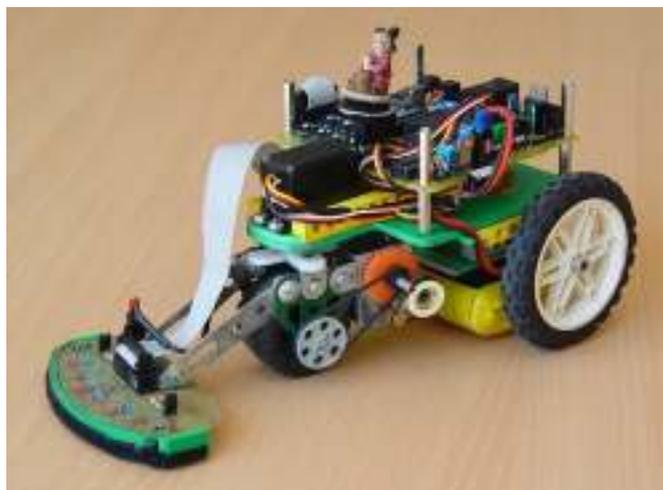


Fig. 2.19 Robot seguidor de líneas, Universidad de Navarra, España, con sensores múltiples y programación de lógica difusa (“Fuzzy”). 2006

La cantidad de sensores elevará la complejidad de diseño y de control. Un solo sensor puede controlar al robot para que no se salga de la línea, pero no podrá ser rápido ya que “cabeceará” demasiado al rebotar una y otra vez dentro de la línea. Un sensado multiplexado con una matriz de “2ⁿ” sensores, quizá controlada por lógica difusa³ “fuzzy”, dará un alto grado de control, pero con una extremada complicación en la programación de la lógica difusa y su aprovechamiento en la etapa de control.

Para facilitar el diseño del primer seguidor la solución más sencilla es la siguiente:

Dos sensores, dentro de la línea, uno a cada lado, así cuando el vehículo sale de la línea de inmediato el sensor lo detecta y reporta a la etapa de control. En la fig. 2.20 observamos una propuesta para colocar el par de sensores en un corte de tableta fenólica.

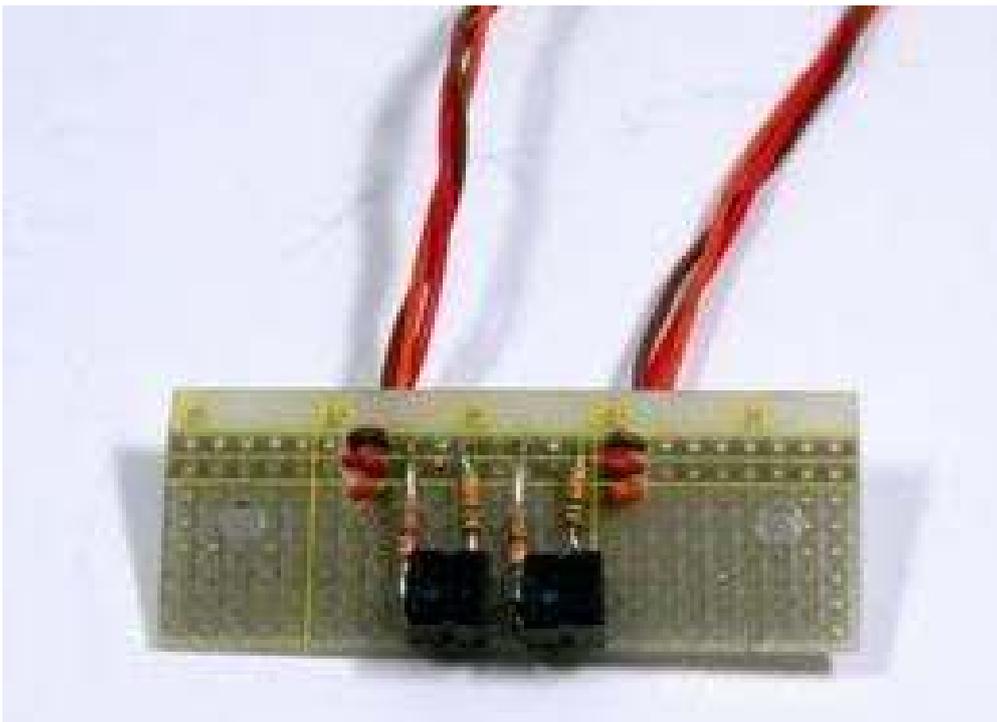


Fig. 2.20 Montaje de dos sensores CNY70 para seguidor de línea.

Si regresamos a la fig. 2.10, podemos observar cómo se colocan los sensores en el chasis, ya que estos controlaran directamente el giro de cada motor. En cuanto a las conexiones podemos observar en la figura 2.1 el diagrama de bloque que nos explica cómo los motores se deberán conectar cruzados para asegurar que siga la línea.

Para montar los sensores es necesario tomar en cuenta las características del sensor utilizado, el CNY70 o el QRD1114, la altura de la cara del sensor a la superficie de la línea es de 2 a 3mm, aunque ajustando la sensibilidad con la resistencia asociada al emisor podemos aumentar esta distancia. La separación entre el par de sensores es importante, en las pruebas que realice, el centro de masa del AGV, la velocidad máxima que alcanza y la altura total nos dan un margen reducido en el que 2mm a cada lado de la línea a seguir dan un buen resultado, pero también recomiendo hacer pruebas para llevar al mejor control posible a tu AGV, como podemos ver figura 2.21:

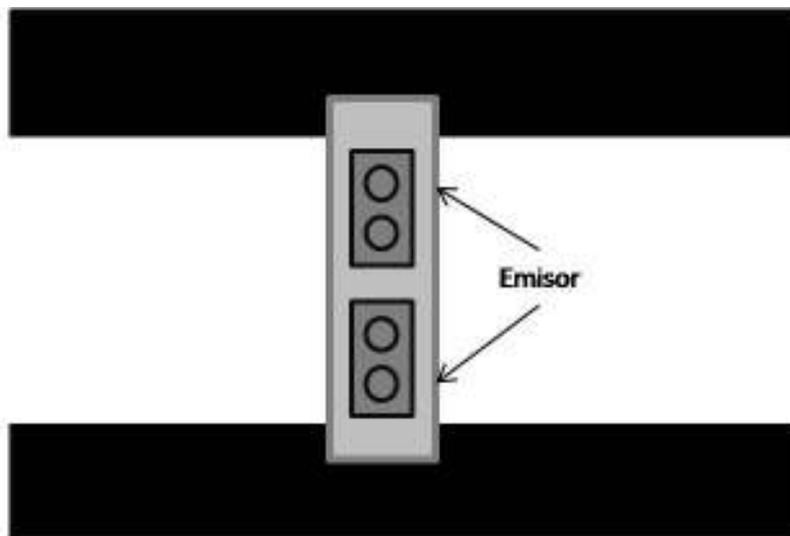


Fig. 2.21 Colocación de los sensores en la configuración sencilla.

Es importante notar que en esta configuración, todo el AGV girará cuando los sensores den la señal.

Si el sensor de la derecha se salió de la línea en la curva, entonces deberá suceder una de dos acciones de control: Que el motor del lado izquierdo deje de funcionar para que el motor de la derecha regrese al AGV dentro de la curva. O que el sistema de control de la dirección gire en ese sentido para seguir la curva de la línea. Y si se sale por la izquierda, las acciones de control deberán suceder a la inversa para que regrese a la derecha y no pierda la línea, en las fig. 2.22 y 2.23 podemos observar la colocación de los sensores en cada caso.

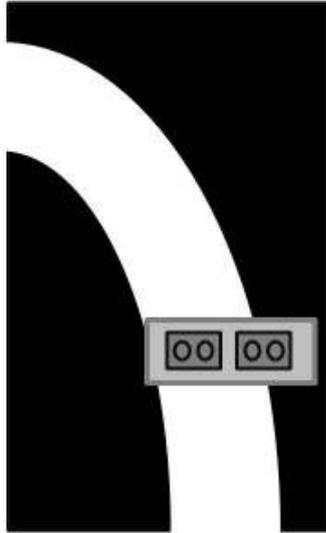


Fig. 2.22 Vuelta a la izquierda.

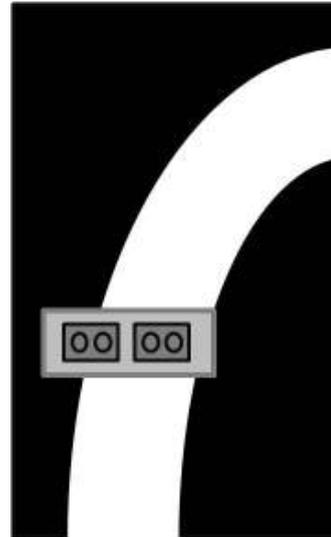


Fig. 2.23 Vuelta a la derecha.

Debemos tomar en cuenta que la pista en la que se coloque este seguidor sencillo no deberá ser muy complicada, especialmente en las curvas, además de tomar en cuenta que no tendrá tampoco una gran velocidad. Figura 2.24



Fig. 2.24 Pista sencilla para seguidor de línea.

2.2.3 Etapa de control

Una vez que tenemos la señal que nos proporciona la etapa de sensado, debemos elaborar un sistema tal que nos permita decidir qué deberá hacer el robot, a esta etapa le denominamos "control". Aunque sabemos que la misma señal de entrada es parte de la etapa de control, fue separada por efectos de simplificación del diseño de este mini robot.

La ingeniería de control se basa en la realimentación de datos al mismo sistema¹⁹, así, en nuestro vehículo, cuando alguno de los sensores sale de la línea, hace reaccionar el motor de dirección para volver a la misma, y cuando el vehículo encuentra una curva, evidentemente se saldrá de la línea y el sensor lo detectará, haciendo que el sistema de control lo regrese al camino correcto.

El control tiene por objetivo manejar una o más entradas, y que mediante la manipulación del controlador, se operen una o más salidas, dicho control puede darse en lazo abierto, por ejemplo establecer la duración de un proceso, con solo el tiempo que deberá suceder y sin la participación de sensores, y el control de lazo cerrado o sistema de control realimentado (Feedback), donde la salida es medida como una entrada más al sistema, de tal manera que puede auto controlarse, manteniéndose siempre en el valor deseado preestablecido.

El control puede ser analógico o digital, en el primero un proceso en tiempo real, es directamente sensado para obtener una señal, que debe procesarse simultáneamente y permitir actuar la salida del sistema, existen diversos sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos que llevan a cabo este tipo de control, el segundo, control digital, se realiza sensando la señal para posteriormente “digitalizarla” es decir, transformar la lectura analógica en un valor digital, regularmente comparando pequeños voltajes, para posteriormente usarlos en el proceso de toma de decisiones.

Existen diversos métodos para diseñar y operar los sistemas de control, por ejemplo: Identificación y estimación de parámetros, Control adaptativo, Vigilancia y diagnóstico de fallos, Lógica difusa Fuzzy, Algoritmos evolutivos y las avanzadas Redes neuronales, consideradas como el paradigma del control total, un sistema aprendiendo cada vez más.

Las matemáticas asociadas con el control pueden ser elementales, como una tabla de valores de entrada y su valor asociado de salida, y llegar a ser tan complejas como la aplicación de la transformada de Laplace en la teoría de control clásica.¹⁹

Por otra parte, debemos pensar también en donde ubicaremos físicamente el sistema de control, si es analógico, simplemente estará dentro de los circuitos y el mismo diseño nos dará el sistema, o podemos ubicarlo en un micro controlador o un micro procesador según la necesidad y complejidad del mismo, para estos casos mis preferidos son los micro controladores de la serie Microchip Technology® PIC, en sus

diferentes gamas y variedades, especialmente el PIC-16F84A o el PIC16F627A Fig. 2.25 (Ver Anexo 1 Circuitos integrados #1.5) para proyectos sencillos y el PIC16F876 para un sistema de control más complejo.



Fig. 2.25 Tres ejemplos de pic's Microchip®

En nuestro caso tendremos para empezar una tabla bastante simple como se ve a continuación en la tabla 2.1

Entrada		Salida		Resultado
Sensor	Estado	Motor	Estado	Dirección
"A" Derecha "B" Izquierda	Encendido Encendido	"A" Izquierdo "B" Derecho	Adelante Adelante	Avanza
"A" Derecha "B" Izquierda	Apagado Encendido	"A" Izquierdo "B" Derecho	Detenido Adelante	Vuelta a la Izquierda
"A" Derecha "B" Izquierda	Encendido Apagado	"A" Izquierdo "B" Derecho	Adelante Detenido	Vuelta a la Derecha
"A" Derecha "B" Izquierda	Apagado Apagado	"A" Izquierdo "B" Derecho	Detenido Detenido	Perdió la línea

Tabla 2.1 Estados de entrada y salida en la configuración sencilla

Un sistema de control elemental, si ambos sensores están "encendidos", es decir, detectando la línea el vehículo debe avanzar a toda velocidad, si el sensor de la derecha pierde la línea es porque hay curva hacia la izquierda y viceversa, como el sensor de un lado está asociado con el motor del lado contrario se simplifica el sistema de control. Ver la relación en las figuras 2.10, 2.19, 2.20, 2.21, 2.22 y 2.23.

Utilización de sensores múltiples para control. Una vez que hemos adquirido experiencia en la construcción de seguidores de línea simples, el siguiente paso es el diseño de seguidores de alto rendimiento, en este apartado la cantidad de sensores es el primer paso a seguir. Debemos recordar que para hacer más eficiente el proceso de sensado debemos asegurarnos que el emisor este colocado del lado del cambio que

queremos detectar, los que están dentro de la línea deben tener el emisor en el lado exterior, los que están fuera de la línea deben tener el emisor del lado interno.

En la figura 2.26 podemos ver una configuración con 4 sensores, dos dentro de la línea y dos por fuera, así logramos detectar el momento en que sale, pero también el momento en que recupera la línea haciendo así más eficiente el control, aunque sigue siendo **control en lazo abierto**, es decir, no verificamos la posición del AGV después de la acción de control aplicada. Podemos lograr esto mediante dos medios, un control electrónico PID o programación de micro procesadores.

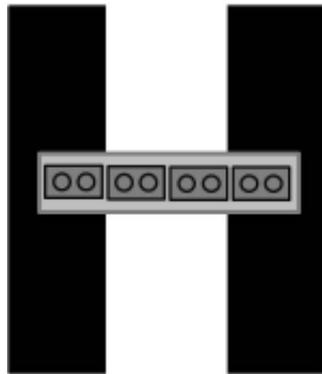


Fig. 2.26 Configuración de 4 sensores en lazo abierto

Para lograr un mejor control podemos empezar a aplicar el concepto de **control en lazo cerrado**, verificar que la acción de corrección aplicada haya dado el resultado esperado, o corregir hasta conseguir la posición correcta, Además de tener el control por dentro y fuera de la línea, con esta configuración, podemos comprobar si la corrección en la dirección fue suficiente, ya que los sensores en la parte posterior reportan al sistema de control el resultado de su acción anterior. Tomando en cuenta que requiere un buen nivel de programación del sistema, como se ve en la fig. 2.27

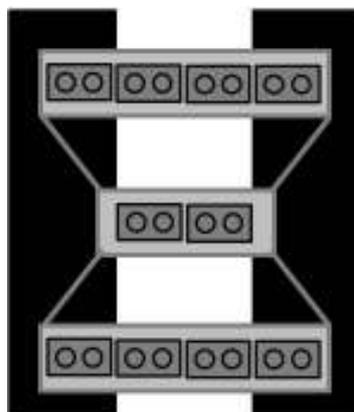


Fig. 2.27 Sensores múltiples en lazo cerrado

Un ejemplo muy bien desarrollado de esta disposición de lazo cerrado, es el mini robot AGV presentado por el Club de Informática, robótica y Electrónica de Madrid para el COSMOBOT 2008 en Madrid España. Fig. 2.28

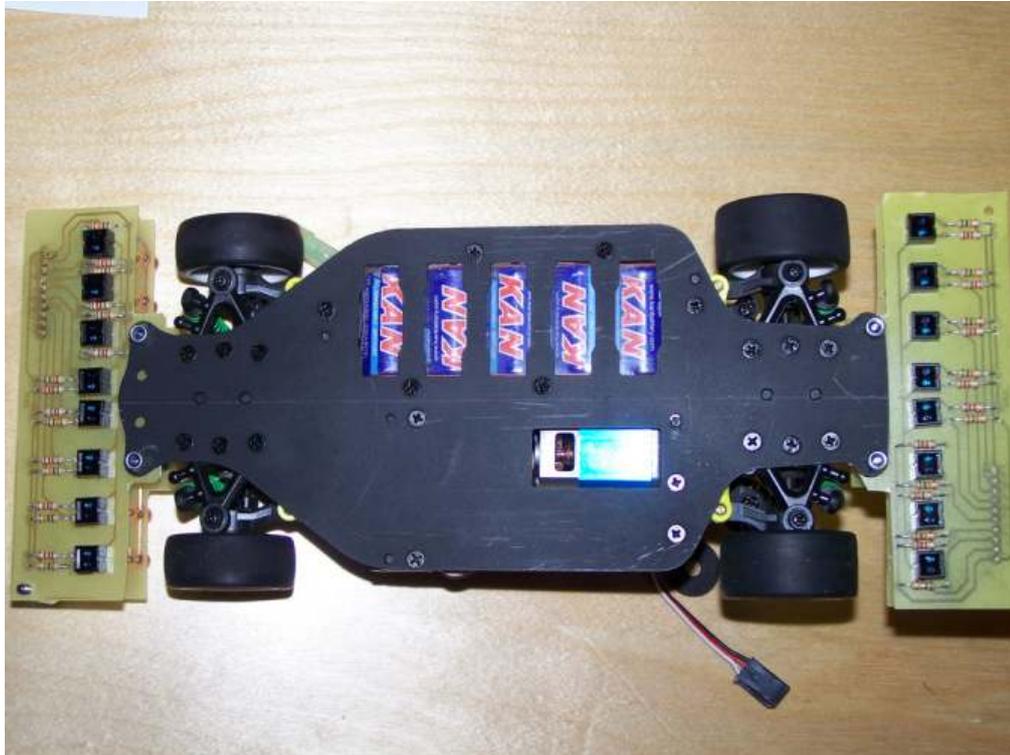


Fig. 2.28 VIT Seguidor de línea micro controlado y con tecnología “fuzzy” basado en un auto RC, para el Cosmobot 2008 en España. <http://www.jmnlab.com/vit/vit.html>

2.2.4 Etapa de potencia

Esta etapa tiene tres componentes fundamentales, el driver, los motores que harán operar el sistema y la fuente de alimentación.

Regularmente se utilizan pilas (Baterías) (*Ver Anexo 2 Listado de materiales y productos #2.5*) que pueden ser recargables, alcalinas, de Níquel-Metal, de diversos tamaños “A” “AA” “AAA”, en paquetes de cuatro para 6 volts o de seis para 9 volts, cuadradas de 9v, o incluso de diseños muy especializados aunque también muy costosos, con tasas de descarga que van desde los 1600mAh hasta los 2500mAh o más. Mi recomendación para un vehículo seguidor de línea sencillo y efectivo, es un paquete de cuatro pilas “AA” recargables,



Fig. 2.29 Baterías recargables GP® a 1.2 V 2500mAh c/u

que ofrecen 4.8v y 2500mAh de salida fig. 2.29, suficientes para los circuitos electrónicos y el funcionamiento de los motores durante un número de vueltas más que respetable para cualquier concurso.

La manera de proporcionarles la energía a los motores puede ser variable, arreglos con transistores de potencia, circuitos integrados, o circuitos de potencia de alto rendimiento (diseñados o adquiridos), una vez más, usaremos un dispositivo eficiente, económico y funcional, el puente “H”, contenido en chips como el L293D o alguno de sus equivalentes comerciales, recomiendo ampliamente el SN754410NE (Ver Anexo 1 *Circuitos integrados #1.4*). En la fig. 2.30 se muestra el encapsulado del circuito integrado y su patillaje.

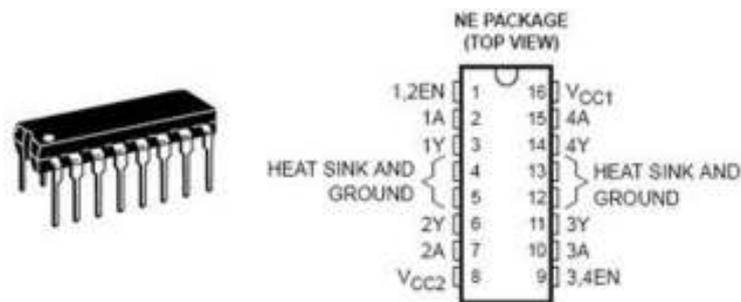


Fig. 2.30 Puente “H” Driver para motor

El puente “H” SN754410NE es de suma utilidad en este proyecto, ya que su diseño pareciera ser especialmente dedicado a nuestro propósito, por una parte permite enviar un voltaje y la corriente necesaria para el funcionamiento y por otra es capaz de realizar el control que necesitamos, ya que al recibir las señales de los sensores, actúa exactamente como es esperado, además cuenta con los capacitores integrados, que evitan las corrientes parasitas y el ruido que provocan al sistema de sensado y control.

Los motores que se utilizan para el proyecto son del tipo Gorila, es decir moto-reductores que cuentan con un motor DC y una caja reductora (Figura 2.31) en este caso usamos la reducción 1:120, sin embargo, existen diversas reducciones disponibles en este tipo de motores.



Fig. 2.31 Motor DC arriba y moto-reductor tipo gorila a la derecha

Por otra parte, para seguidores de línea más avanzados usaremos otro tipo de motores, por ejemplo servo motores trucados para girar 360° ó moto reductores metálicos con más torque y potencia, tomando en cuenta que aumentara el consumo y demanda de corriente, por lo que el driver y la alimentación deberán calcularse de nuevo.

Manos a la obra.

En las dos siguientes páginas presento un resumen de la construcción del “AGV seguidor de línea simple” mediante el diagrama electrónico completo en la fig. 2.32

El esquema de diseño y construcción en la fig. 2.33 así como las tablas de materiales básicos para la construcción del seguidor y la pista de pruebas.

En el circuito electrónico podemos notar que todo está conectado a una sola fuente de 4.8 V, las resistencias variables de 10k Ω a $\frac{1}{4}$ de W, son trimpots multivuelta que dan mucha precisión para ajustar la sensibilidad. Como los motores están integrados a una caja reductora operan muy bien sin una etapa de potencia extra, el amperaje del puente H será suficiente además cuenta con los capacitores integrados para evitar las corrientes parasitas que podrían generar ruido al sistema.

El circuito integrado LM358 contiene dos amplificadores operacionales, por esa razón, el segundo no se encuentra conectado a Vcc ni a GND (Ver patillaje en el anexo correspondiente). Se recomienda montar en una Proto-Board para hacer pruebas y posteriormente soldar en una fenólica pre perforada tipo Proto-Board.

Ahora estamos en condiciones de construir el seguidor de línea, usando los diagramas y esquemas propuestos, recordando que está basado en el método propuesto en el capítulo 1 para el diseño de mini robots, basado en el método científico experimental.

Para dudas, aclaraciones o cualquier situación no prevista, puedes enviar un correo electrónico a plaraq7@hotmail.com.

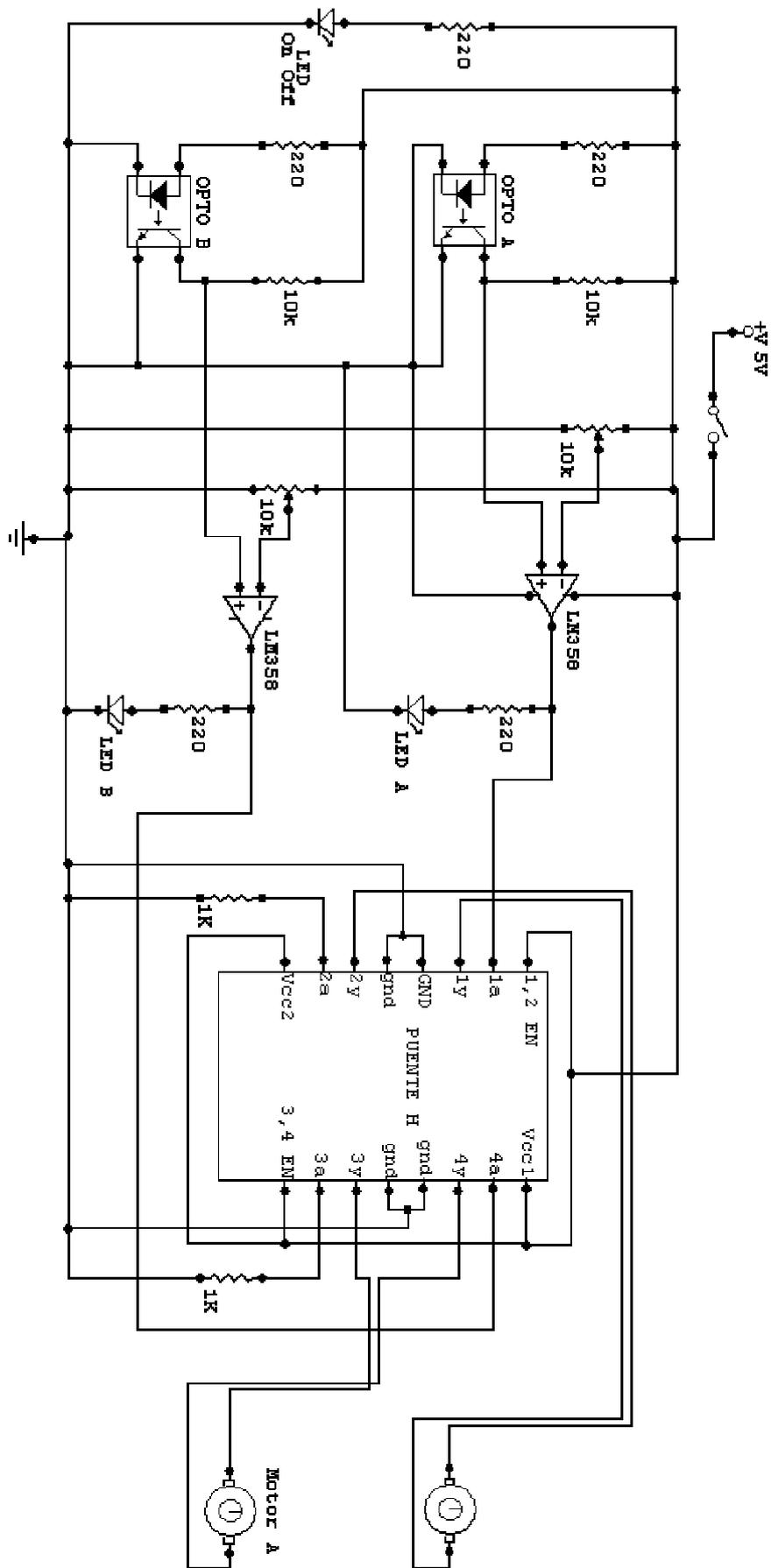


Fig. 2.32 Diagrama electrónico completo del seguidor de línea simple

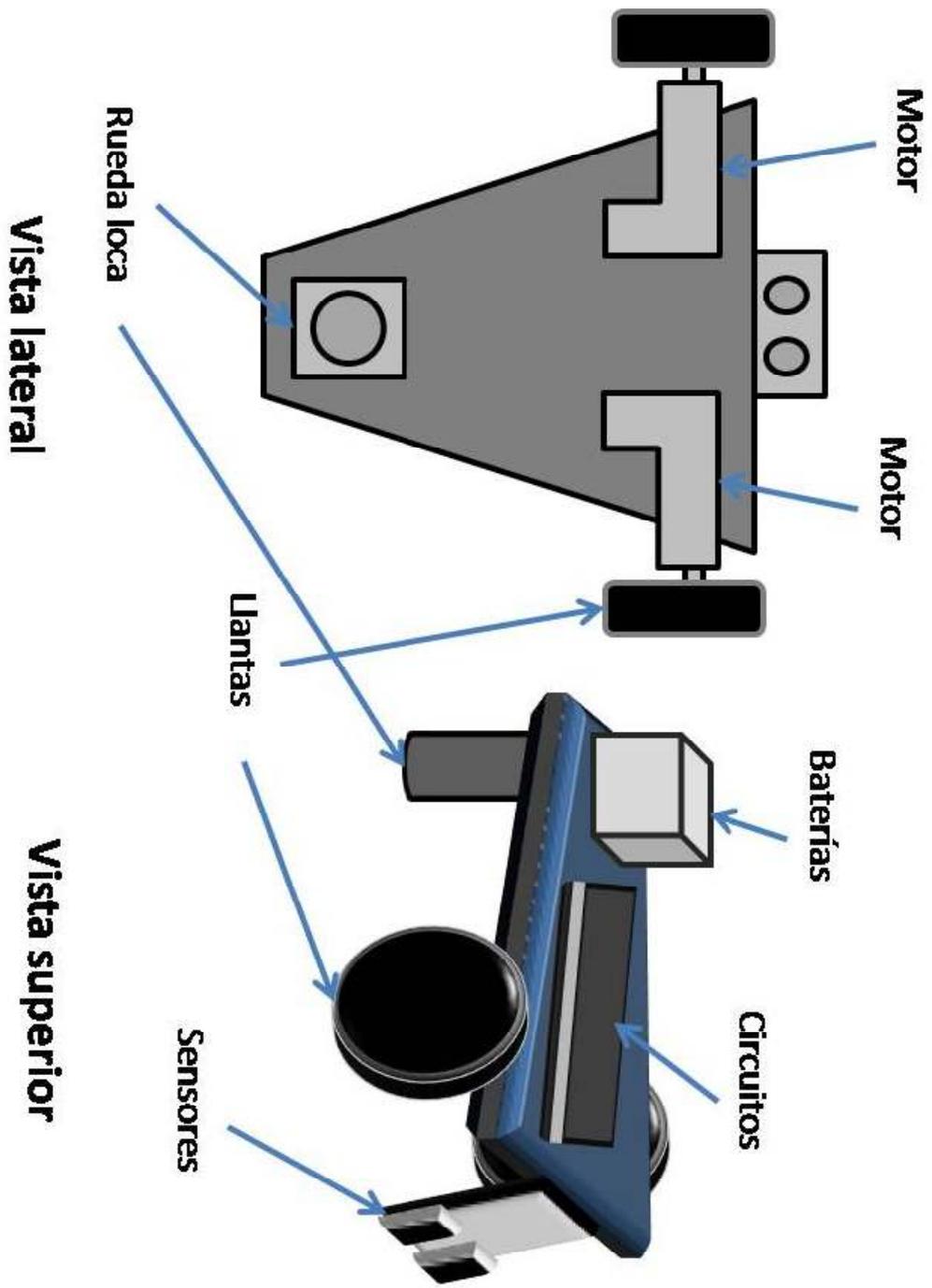


Figura 2.33 Esquema completo del seguidor de línea simple

Lista de materiales para la construcción del mini robot seguidor de línea.

No.	Descripción	Cantidad
1	Sensor Opto acoplador CNY70 o QRD1114	2 piezas
2	Puente "H" c. i. L293D o SN754410NE	1 pieza
3	Amplificador operacional c. i. LM358	1 pieza
4	Resistencia 220Ω a ¼ W	5 piezas
5	Resistencia 10KΩ a ¼ W	2 piezas
6	Resistencia 1KΩ a ¼ W	2 piezas
7	Trimpot multivuelta 10 KΩ	2 piezas
8	Led (Diodo emisor de luz)	3 piezas
9	Micro switch	1 pieza
10	Cable para Proto-Board (Varios colores)	5 a 6 metros
11	Porta pilas AA de 4 unidades	1 pieza
12	Pilas AA recargables 1.2V 2500mAh	4 piezas
13	Moto reductor Gorilla 1:120	2 piezas
14	Llantas (rueda grande con o'ring)	2 piezas
15	Hoja de Sintra	2 piezas
16	Tableta fenólica pre perforada tamaño Proto-Board	1 pieza
17	Rueda loca	1 pieza

Lista de materiales para la pista de pruebas

No.	Descripción	Cantidad
1	Superficie plana de color negro mate de al menos 2m de largo por 1.2 m de ancho. (Puede utilizarse una de dimensiones menores para hacer pruebas, tomando en cuenta el radio de curva mínimo según el tipo de concurso)	1 pieza
2	Cinta de aislar de color blanco para formar la línea blanca a seguir.	3 piezas

Lista de herramientas

No.	Descripción	Cantidad
1	Juego de 6 desarmadores con mango de plástico, tipo relojero	1 juego
2	Pinza de corte angular	1 pieza
3	Pinza de punta	1 pieza
4	Pinza pela cable automática	1 pieza
5	Cautín tipo lápiz marca Weller, de 25 Watts	1 pieza
6	Pasta para soldar	100 gramos
7	Soldadura con aleación estaño/plomo (60/40)	3 metros
8	Pistola de silicón con barras de silicón	1 pieza
9	Cinta de aislar negra	1 pieza
10	Cutter	1 pieza
11	Escuadra o regla graduada	1 pieza

2.3 Modelo experimental.

El modelo experimental construido para este trabajo de investigación tiene ya seis años en funcionamiento, con algunas reparaciones y modificaciones simples, debido a su funcionamiento y ahora a su edad cronológica, recibe el nombre de “*La reuma*” Figura 2.34 y aún así gana un par de concursos y muchos aplausos en diversas presentaciones en UNIVERSUM, en bachilleratos, en demostraciones y concursos a nivel nacional y durante la “Semana de la ciencia y la tecnología de CONACYT” en 2007 y 2008.

La “Reuma” es un AGV con chasis de partes de mecano®, partes de aluminio preparadas a medida, con un par de sensores CNY-70 configurables mediante un par de trimpots multivuelta, que entregan la señal digitalizada por un Amplificador Operacional LM358 a un micro controlador PIC16F84 que tiene un programa que decide qué hacer con la señal recibida, y que mediante la programación de una modulación por ancho de pulsos (PWM, siglas del inglés Pulse-Width Modulation) permite realizar un diferencial entre ambas ruedas del seguidor de línea para facilitar la dirección.



Fig. 2.34 “REUMA”
Modelo experimental del seguidor de línea

Tiene tres motores, dos para la tracción del vehículo con reducción de 1:48 y uno para la dirección, con reducción de 1:100, que si bien, no le dan rapidez, si permiten mover con facilidad toda la masa del AGV y darle un buen nivel de control.

Quiero hacer notar que fue el primer modelo que funcionó correctamente, después de haber desarrollado 6 modelos anteriores en los que no logre hacerlos funcionar de manera correcta, algunos por la mecánica, otros por la electrónica y algunos más por todo el conjunto, como el “Llama-móvil”, nuestro primer seguidor de línea en el equipo de “Mini robótica Aragón”⁷⁰. Cabe aclarar que el mini robot propuesto en este capítulo es más sencillo, ya que no es micro controlado como la Reuma.

Finalmente en nuestro equipo Francisco Cuevas Sandoval, desarrolla el modelo “Randall” (Figuras 2.35 y 2.36) que finalmente culmina todos los intentos, ya que es capaz de seguir la línea con un control muy fino y a altas velocidades, tan rápido que retó y ganó en varias ocasiones en concursos a nivel nacional.



Figura 2.35 Vista lateral de “Randall” detalles del sistema de corona en la dirección.



Figura 2.36 “Randall”, Seguidor de línea de alta eficiencia, ganador de diversos concursos de mini robótica, vista frontal

2.4 Resultados.

El seguidor de línea es una manera de inducir la construcción de robots, y el proceso de diseño y construcción permite pasar por una serie de temas, materias de ingeniería y de laboratorios de prácticas, tan amplio que finalmente por si solo puede convertirse en un elemento concentrador de áreas del quehacer ingenieril con resultados notables.

El funcionamiento del mini robot es eficiente, el modelo propuesto ha sido probado en diversas ocasiones con grupos de trabajo de mis alumnos de nivel secundaria, bachillerato y licenciatura; han sido construidos más de 30 mini robots siguiendo este procedimiento, y he notado que además de aprender y motivarse a estudiar, los estudiantes se divierten, logrando el objetivo, hacer de la mini robótica una herramienta en la formación del ingeniero mecánico electricista.

Por otra parte, los diversos concursos permiten observar otros diseños, otras propuestas, comparar los logros con los de otros participantes, mejorar diseños, compartir ideas, experiencias y por ende **conocimientos**.

No en vano un gran conjunto de Universidades: UNAM, IPN, UAM, Tecnológicos estatales, Universidades Autónomas de diversos estados del País, Tec. de Monterrey, La Salle, Iberoamericana, UVM, universidades y tecnológicos en todo el mundo (ver fig. 2.38 y 2.39), invierten recursos, tiempo de sus profesores y estudiantes, en la participación entusiasta en el evento cumbre de los concursos de mini robótica, *seguir la línea de manera autónoma*.



Figura 2.38 El público en el Hispabot 2009, Madrid España.



Figura 2.39 El público en el 10º Nacional de Mini Robótica, Tec. De Monterrey, Querétaro México2005

En mi labor con alumnos de bachillerato y estudiantes (tanto alumnos como compañeros de ingeniería y otras licenciaturas como informática y tecnología, el diseño y la construcción de un **AGV seguidor de línea** es una experiencia que construye conocimiento, desarrolla habilidades, genera competencias y principalmente resulta una fascinante manera de lograr la formación de estudiantes.

En la fig. 2.40 presento al grupo de estudiantes, profesores y empresarios que han participado continuamente en el desarrollo de los mini robots, el equipo de “Mini robótica Aragón”.



Figura 2.40 Izquierda El Equipo de Mini Robótica de la FES Aragón: Alumnos de IME, ICO, Bachillerato, Profesores y empresarios. A la derecha, entrevista en TV Azteca.

CAPÍTULO 3

GRÚA MÓVIL MULTI CONTROLADA.

3.1. Control.

Para la robótica, el control es un elemento fundamental, todos los robots necesitan tomar decisiones para realizar sus tareas. Al recibir señales del exterior mediante sensores, el robot debe procesarlas para transformarlas en información que le permita tomar una acción o grupo de acciones preestablecido.

En la Real Academia de la lengua española el control es definido como:

“ (Del fr. contrôle).

- 1. m. Comprobación, inspección, fiscalización, intervención.*
 - 2. m. Dominio, mando, preponderancia.*
 - 3. m. Oficina, despacho, dependencia, etc., donde se controla.*
 - 4. m. puesto de control.*
 - 5. m. Regulación, manual o automática, sobre un sistema.*
 - 6. m. testigo (// muestra).*
 - 7. m. Mec. Mando o dispositivo de regulación.*
 - 8. m. Mec. Tablero o panel donde se encuentran los mandos. U. m. en pl.*
- ~ de natalidad.*
- 1. m. Limitación del número de nacimientos.*
- ~ remoto.*
- 1. m. Dispositivo que regula a distancia el funcionamiento de un aparato, mecanismo o sistema. ^{“20}*

En el *Oxford English Dictionary*:

“The power to influence or direct people’s behavior or the course of events. *Pronunciation: /kənˈtrɒl/*

- *The ability to manage a machine, vehicle, or other moving object.*
- *The base from which a system or activity is directed.”²¹*

En la Wikipedia¹ actualmente existe una discusión relacionada con el tema de control (Junio 2010), ya que puede darse una ambigüedad entre el control administrativo, el control ingenieril e incluso el control a nivel psicosocial; y por lo tanto no cuenta con una definición que podamos incluir, afortunadamente las definiciones de los diccionarios RAE⁶ y OED⁴ nos dan una idea muy clara de que es control a nivel general, sin embargo necesitamos una definición para el tema que nos interesa.

El Doctor en ingeniería industrial Josep Balcells, Profesor de la Universidad Tecnológica de Terrasa en España, nos dice que:

*“El concepto de control es extraordinariamente amplio... Podríamos definir el control como la **manipulación** indirecta de las **magnitudes** de un sistema denominado **planta**, a través de otro, denominado **sistema de control**”*²²

Mientras que el Doctor en ciencias de la ingeniería por la universidad de Colorado USA, Katsuhiko Ogata, distinguido autor japonés de las teorías de control moderno, propone:

*“El control automático ha desempeñado una función en el avance de la ingeniería y la ciencia. Además de su extrema importancia en los sistemas de vehículos espaciales, de guiado de misiles, robóticos y similares; el control automático se ha vuelto una parte importante e integral de los procesos modernos industriales y de manufactura. Por ejemplo, el control automático es esencial en el control numérico de las máquinas-herramienta de las industrias de manufactura, en el diseño de sistemas de pilotos automáticos en la industria aeroespacial, y en el diseño de automóviles y camiones en la industria automotriz. También es esencial en las operaciones industriales como el control de presión, temperatura, humedad, viscosidad y flujo en las industrias de proceso. Debido a que los avances en la teoría y la práctica del control automático aportan los medios para obtener un desempeño óptimo de los sistemas dinámicos, mejorar la productividad, aligerar la carga de muchas operaciones manuales repetitivas y rutinarias, así como de otras actividades, casi todos los ingenieros y científicos deben tener un buen conocimiento de este campo.”*¹⁹

Por lo que como ingenieros deberemos tomar en cuenta que más que el control, los **sistemas de control automáticos** serán una herramienta que debemos estudiar a conciencia.

Desde los trabajos de James Watt en el siglo XVIII para controlar la velocidad de máquinas de vapor, pasando por innumerables desarrollos en estos ya dos siglos de teoría de control, combinados con los trabajos en matemáticas aplicadas al control, como las ecuaciones diferenciales que Minorsky demuestra son útiles para controlar automáticamente embarcaciones, los trabajos con la estabilidad de sistemas por parte de Nyquist, hasta llegar a los microprocesadores que han permitido aumentar el número de variables a recibir, la velocidad con la que el sistema analiza estos datos, y el número de salidas a controlar, mediante complejos programas computarizados que contienen sistemas de control e incluso empiezan a aprender para realizar por supuesto, un mejor control de la planta.

El control de sistemas indudablemente requiere métodos matemáticos para lograr un desempeño estable y eficiente, el lugar geométrico de las raíces (fig. 3.1), la respuesta en frecuencia por mencionar algunos de los más importantes entre muchos otros, formaron el centro de la teoría clásica del control.

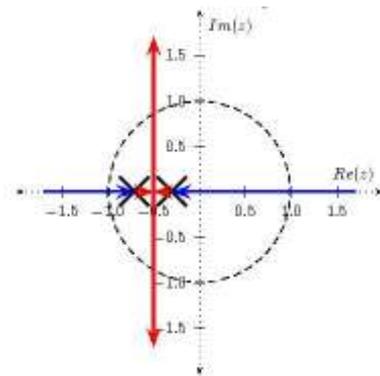


Fig. 3.1 Ejemplo de una gráfica para ubicar el lugar geométrico de las raíces, en Matlab®.

Con la llegada de los componentes electrónicos miniaturizados tanto para sensores como para los servomecanismos, las computadoras cada vez más accesibles y poderosas, los lenguajes de programación con mayores prestaciones, se lograron sistemas de control robustos, con capacidad para procesar datos en tiempo real con entradas analógico – digitales, se logró el análisis en el dominio del tiempo, llegando rápidamente a la teoría del control moderno.

Para optimizar el comportamiento de nuestros robots deberemos tomar en cuenta las teorías de control y atender a los métodos matemáticos necesarios que permitan el mejor comportamiento posible en la aplicación para la que hayan sido diseñados.

El control tiene cuatro niveles de aplicación en la robótica, primero el control humano simple y sencillo, segundo el control mediante la recolección de datos con sensores para realizar actividades pre establecidas, en tercer nivel el control adaptativo combinando sensores, bases de datos, toma de decisiones, redes neuronales, incluso aprendizaje y finalmente la idea más ambiciosa en la robótica: **AI** es decir, la Inteligencia artificial, un robot que está plenamente consciente de su entorno, que cuenta con un conjunto de instrucciones completo, que sabe cómo comportarse en diversas situaciones y principalmente que se adapta a nuevas ideas, aprendiendo, y a niveles aún más ambiciosos, es capaz de generar nuevos conocimientos. Hace un par de décadas esta idea sería tomada simplemente como ciencia ficción, pero con los avances en todas las áreas de la mecatrónica, la robótica, la informática y computación, se vislumbra un futuro prometedor.

Un primer paso es el control a distancia, con cables, con la emisión de señales a través de diversos medios, y que el robot tenga la capacidad de recibirlas, aunque obviamente el control seguirá siendo mediante la percepción del ser humano que opere al robot, y las acciones que lleve a cabo serán el resultado de las decisiones del operador, sin embargo, es una buena forma de iniciarse en un proyecto que controle a distancia el comportamiento del robot.

Ahora tenemos un panorama del tema y podemos aplicar estas ideas al diseño de un sistema para un proyecto sumamente interesante: El uso de la PC como medio de control.

3.2. Control con PC mediante Puerto paralelo.

Este proyecto proviene en gran medida de los cursos y prácticas en los laboratorios de electrónica y control, de las materias de la carrera de Ingeniería mecánica eléctrica electrónica en la Facultad de Estudios Superiores de Aragón, y de la experiencia que adquirimos para diseñar y construir robots para las competencias nacionales de robótica y mini robótica a lo largo de 5 años de trabajo.

La idea es sencilla: Una “**Grúa móvil multi controlada**”, reúne los elementos esenciales para desarrollar un proyecto interesante y que presenta un reto completo en mini robótica y es un buen paso para seguir aproximándonos a la mecatrónica y como ingenieros, al diseño de robots industriales.

Manos a la obra.

Para desarrollar este proyecto usando la PC como herramienta de control necesitamos integrar tres elementos:

- a) Diseño y construcción de la **etapa mecánica (Hardware)**
- b) Diseño y construcción de la **etapa electrónica (Hardware)**
- c) Diseño y desarrollo del **sistema de control (Software)**

Es importante recordar que seguiremos el mismo método de diseño de mini robots, que se menciona en el primer capítulo, basados en el método científico experimental, y que el diseño electrónico también es el mismo, pero que en este capítulo se da énfasis a los elementos de control, ya que el estudiante ya se familiarizó con las etapas de diseño aplicadas.

3.2.1 Etapa mecánica (Hardware).

Como en el capítulo anterior, debemos ser creativos, usar los elementos y herramientas que encontremos a nuestro alcance, tanto en la inversión monetaria para conseguirlo, como en la capacidad para usarlos.

El uso de un chasis metálico puede ser un buen principio, y completar el resto del proyecto usando Sintra. Ver fig. 2.7 en capítulo 2 y anexo 2 “Listado de materiales y productos” #2.1.

Presento dos ejemplos de grúas móviles construidas con materiales sencillos, en el primer caso un chasis con piezas de Meccano® y Sintra, la segunda es un diseño más avanzado en el que además de Sintra empleo un sistema de tracción con mejores prestaciones.

La primer grúa multi controlada. “Bleu et or versión beta 0.1”.

Podemos observar el primer modelo diseñado para el noveno concurso de nacional mini robótica celebrado en la ciudad de Querétaro en el año 2004, participando en la categoría de robots de exhibición, en la figura 3.1.

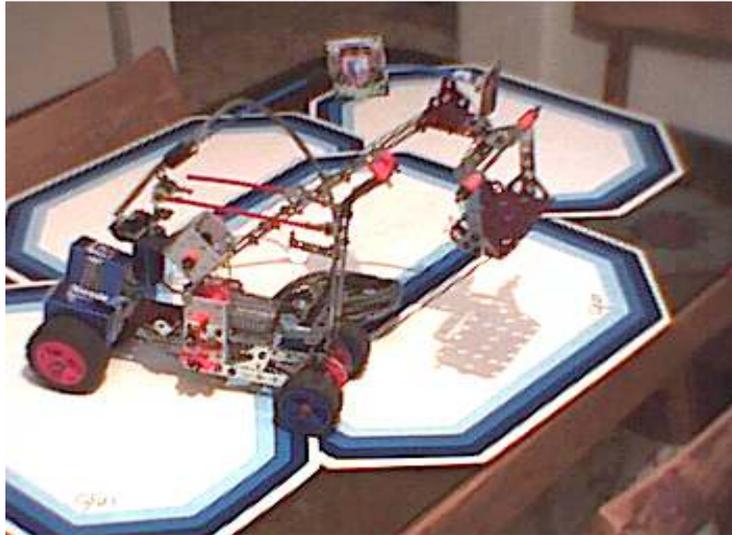


Fig. 3.1 Grúa multi controlada, recibió el nombre de Bleu et or (Azul y oro) versión 0.1

El chasis metálico basado en el sistema Meccano® fue de gran ayuda para contar con una base sólida, en la que se usaron los motores del mismo meccano, y se anexo la columna y poleas de la grúa, que simplemente consta de una plataforma que puede subir y bajar, el vehículo puede avanzar, retroceder, girar a izquierda y derecha.

En este primer diseño me enfrente a un problema significativo; en el capítulo anterior hice referencia a la necesidad de usar motores con la capacidad para que los vehículos tengan potencia suficiente para moverse con facilidad y comodidad; en este caso, fue difícil lograr una combinación de motores que logran mover al vehículo, finalmente la solución consistió en colocar un motor para cada llanta en la tracción trasera.

Para lograr el control de la dirección use un motoreductor que mueve el par de llantas delanteras desde su eje, mientras que la plataforma es accionada por un cuarto motoreductor que permite subir y bajar aproximadamente 200 gramos. Podemos ver los detalles de la grúa en la fig. 3.2.

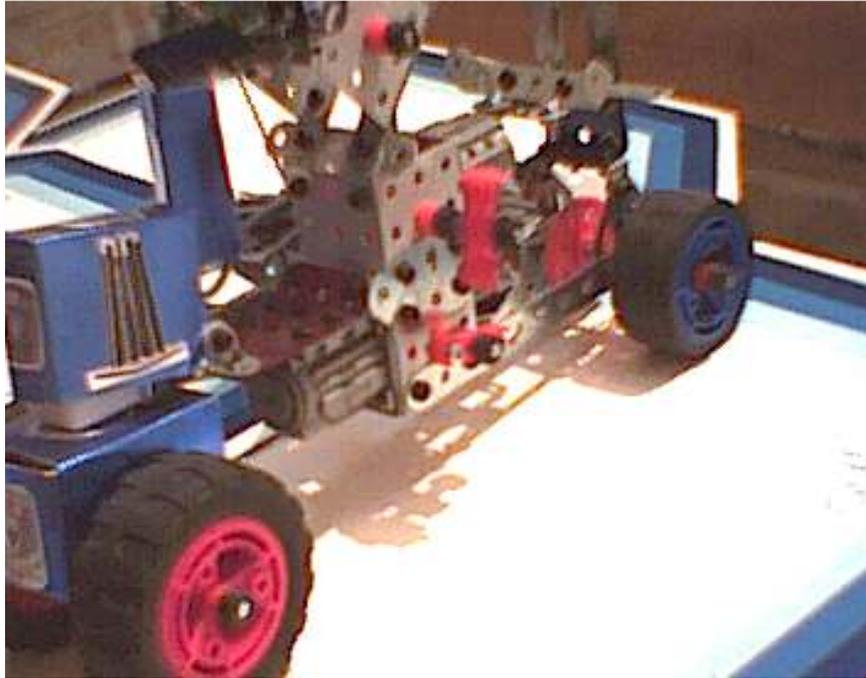


Fig. 3.2 Detalle de la Grúa multi controlada, recibió el nombre de Bleu et or (Azul y oro) versión 0.1

Aun cuando el sistema Meccano® permitió que tuviera un chasis sólido y resistente, al mismo tiempo provoco que la masa del vehículo fuera demasiado para el motor que coloque inicialmente.

Por otra parte, esta grúa solo era controlada mediante el puerto paralelo, porque la electrónica, los sistemas de control, las fuentes de alimentación y potencia, no estaban en el vehículo, lo que también era una limitante de las posibilidades del proyecto.

El problema de la potencia en los motores sumado a la idea de aplicar otro medio de control, me motivo a desarrollar algunos modelos más, usando diversos materiales y plataformas de potencia, construí varios modelos experimentales hasta llegar a un modelo más eficiente y que me resulto muy útil, ya que ha sido presentado en muy diversos escenarios con resultados bastante buenos.

La segunda grúa multi controlada. “Blue et or versión beta 0.7”.

Esta construida con un chasis de Sintra (Ver Anexo 2 “Listado de materiales y productos” #2.1) y tornillos de cuerda fina con cabeza allen (fig. 3.3) que permiten unir con mucha precisión logrando un ajuste milimétrico de las piezas de Sintra y la integración de partes del chasis, del sistema electrónico y de la grúa.



Fig. 3.3 Tornillo allen



Fig. 3.4 Grúa multicontrolada “Bleu et Or”, versión beta 0.7 actualización del proyecto en 2006, exhibida en Expocontrol-2006 y en UNIVERSUM 2007.

En esta versión de la grúa es donde inicia la idea del multi control, es decir, aplicar diversos medios de controlar a este mini robot.

Podemos observar en la figura 3.4 que es una combinación entre Sintra y Meccano® y que cuenta con la electrónica para recibir mediante diversos medios las señales de control.

Una de las innovaciones más importantes de esta versión, fue la programación, de lo que hablare un poco más adelante en este mismo capítulo.

Las dos presentaron complicaciones durante la construcción y especialmente la puesta en marcha, pero el proyecto funcionó como se esperaba y su desempeño resulto eficiente y con un buen nivel de control, tanto en su comportamiento físico, como en la demostración de la programación para el sistema de control.

Aunque yo considero que lo mejor para un ingeniero es presentar su propio diseño, liberar la creatividad y conocimientos. La facilidad que presentan los sistemas electrónicos, de potencia y de control diseñados para este proyecto nos dan una gran independencia ya que se adaptan fácilmente a cualquier mini vehículo robótico que deseemos controlar.

3.2.2 Etapa electrónica (Hardware).

Reuniré en esta etapa el circuito completo, incluyendo las etapas de potencia y energía, haciendo especial énfasis en la idea del multi-control, por ello necesitamos pensar siempre que los circuitos deben tener la capacidad para acoplarse a nuevas formas de control conforme las diseñemos e implementemos.

Estudiaremos con atención y detalle las características y propiedades del puerto paralelo de una "IBM PC ® y/o PC compatible" para usarlo como medio de entrada salida (I/O) para el sistema de control.

También debo mencionar que los voltajes, corriente y potencia estarán calculados para vehículos robóticos básicos de escala "mini" y que en caso de necesitar una planta mayor, debe volver a calcularse el circuito completo. Esto nos lleva una vez más a la idea principal de este trabajo, motivar al estudiante de ingeniería a revisar con mucha atención los contenidos de todas sus materias.

Interfaz entre el puerto paralelo de la PC y el mini robot (Incluyendo la fuente de energía)

Para obtener las señales del puerto paralelo, necesitamos construir la interfaz desde el cable que conectamos al puerto, un sistema de protección de las salidas, en este caso, un grupo de optoacopladores, que enlaza de manera óptica a la PC con el mini robot, protegiendo la motherboard (Tarjeta principal) de cualquier posible falla en el resto de los circuitos, agregar un led testigo para cada salida y conocer con seguridad que estamos emitiendo una señal por un pin en particular, usar una fuente que exclusivamente alimentara a los led testigo, para evitar corrientes que pudieran dañar los optoacopladores. Mediante el diagrama del patillaje del cable paralelo DB-25

(Centronics) conoceremos cuales son los 8 pines correspondientes a las señales de salida, los 5 pines de entrada y los pines de GND-PC. **La tierra de la PC no deberá conectarse de ninguna manera a la tierra del proyecto, esta es exclusiva de las salidas del puerto paralelo;** podríamos dañar seriamente la PC si aterrizamos la salida GND-PC a la del proyecto.

En la fig. 3.5 observamos la relación de pines en el Centronics, debemos identificar los pines 2 al 9 que son de salida (OUT) y usaremos para controlar al robot y siempre recomiendo usar el pin 23 como GND-PC ya que queda en línea para soldar o acomodar directamente el cable correspondiente. Para un proyecto más avanzado, los pines 1 y 10 al 17, que son de I/O (Input / output) servirán para enviar y recibir señales.

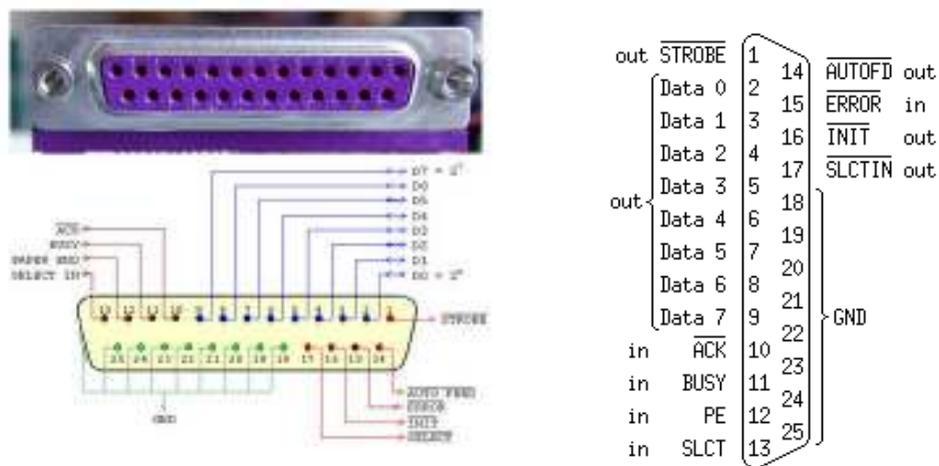


Fig. 3.5 Pines del conector macho al puerto Centronics de la PC, a la derecha correspondencia con la entrada hembra, a la izquierda los pines en el conector macho.

Podemos observar la correspondencia de los pines de entrada y salida, y como en el conector macho, los pines están claramente numerados en el interior, resultara fácil construir un cable de salida de la PC, para lo cual tengo tres sugerencias:

- a) Conseguir un cable para puerto paralelo bidireccional, cortar el conector hembra del puerto e identificar cada cable que nos interesa (Pin 2 al 9 para señales de salida y 23 para GND-PC), es aconsejable soldar un cable de tipo Proto-Board a cada punta de los cables que descubrimos, para que sea fácil conectarlos. (Ver figuras 3.6, 3.7 y 3.8)



Figura 3.6 Cable bidireccional puerto paralelo Centronics, abriendo la salida hembra.

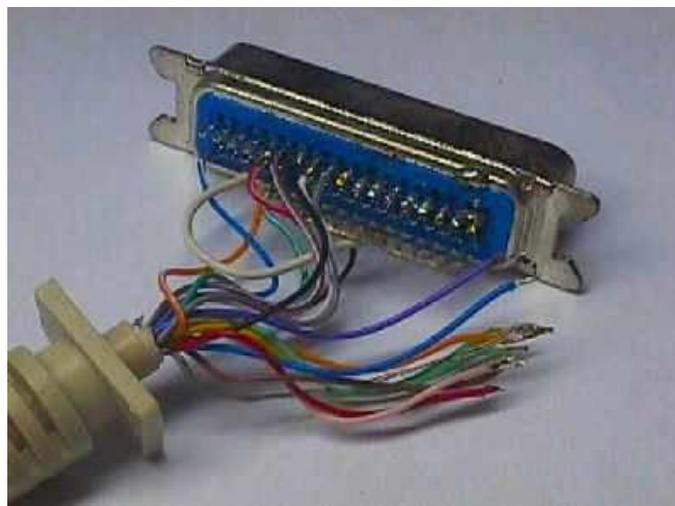


Figura 3.7 Cable bidireccional puerto paralelo Centronics, identificando por continuidad cada cable

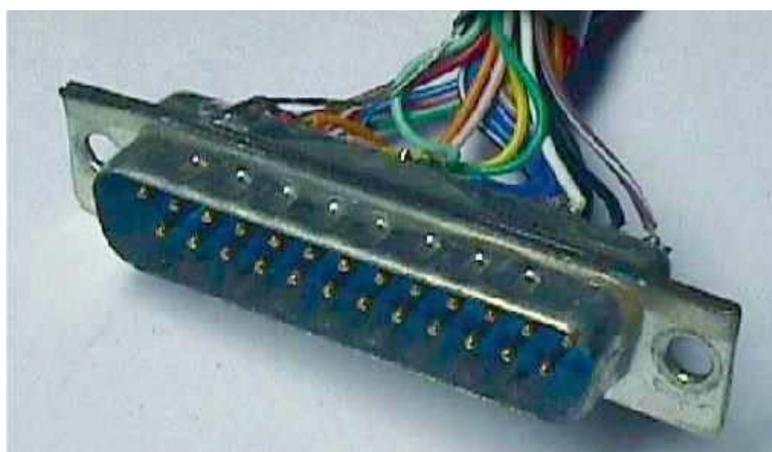


Figura 3.8 Cable bidireccional puerto paralelo Centronics, Pines del conector macho a la PC numerados.

b) La segunda sugerencia es conseguir un conector macho DB-25 para soldar los cables a los pines correspondientes creando un código de color personalizado para los pines 2 a 9 como señales de salida de la PC y el cable 23 para GND-PC Fig. 3.9.



Fig. 3.9 Conector macho DB-25 para soldar, con pines numerados.

c) La tercera opción es utilizar un conector DB-25 para cable plano, colocando al final del cable una salida para Proto-Board o PBC.

Considero que esta es la manera más elegante de elaborar la interfaz de conexión al puerto y nuestro proyecto.

Finalmente antes de conectarlo, probaremos uno a uno que las conexiones se realizaron correctamente, con el método de continuidad con un multímetro.



Fig. 3.10 Conector DB-25 para cable plano y conector a Proto-Board o PBC

Diseño de la interfaz para protección del puerto paralelo.

A continuación podremos observar el circuito completo de la interfaz del puerto paralelo en la figura 3.11 en la siguiente página, la conexión de los 2 puentes “H” (Ver Anexo 1 Circuitos integrados #1.4), y los cuatro motores que controlaremos con el software diseñado.

Utilizamos dos fuentes para asegurar que tanto el voltaje como la corrientes necesarias para la operación sean suministradas, para los puentes “H” y por ende los motores usaremos un paquete de 4 pilas recargables a 1.2V y 2500mAh, mientras que para la interfaz una fuente como un eliminador fijo de 6 Vcc, 500 mA será más que suficiente (Fig. 3.12).



Fig 3.12 Eliminador 6v 600mA

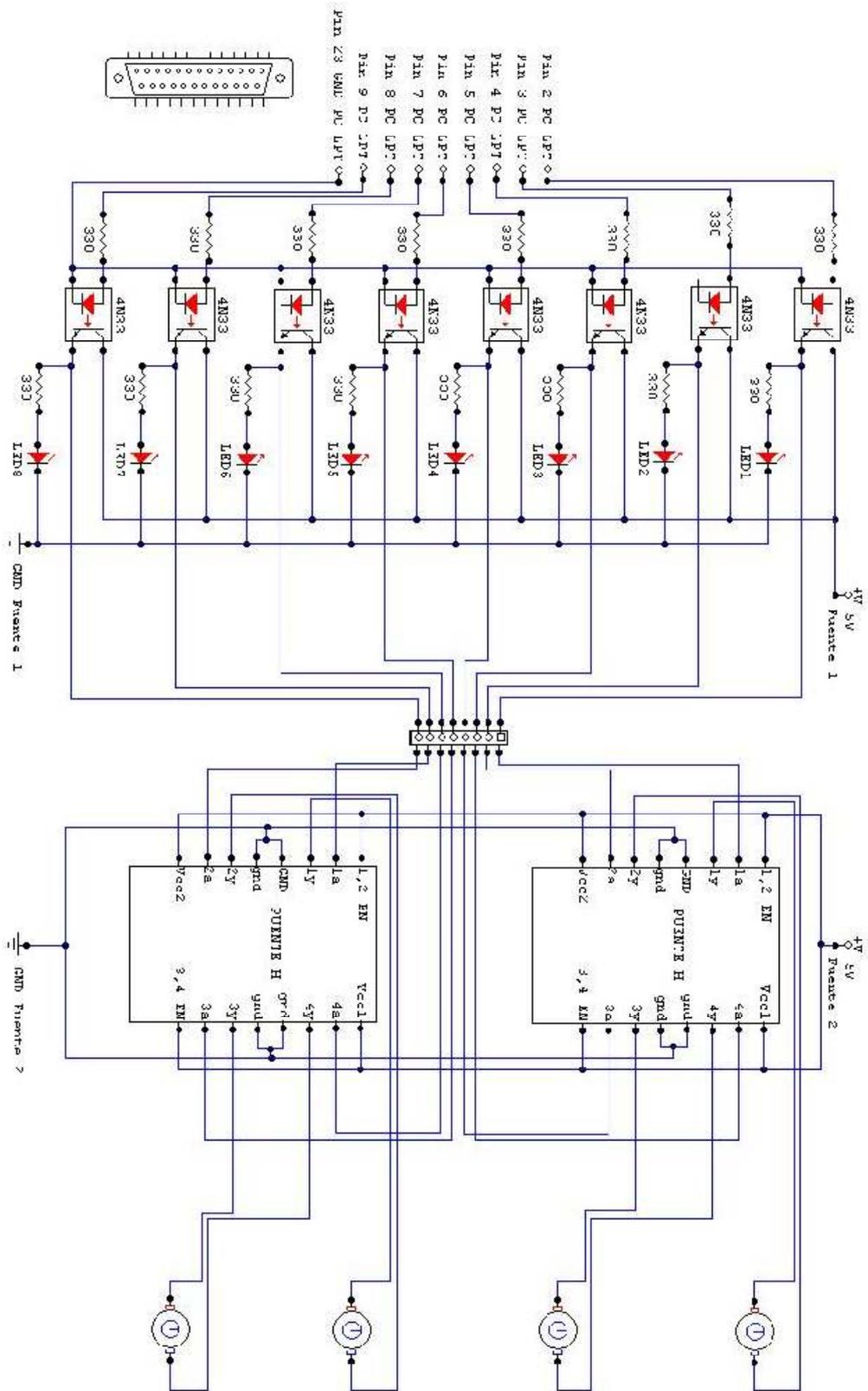


Figura 3.11 Circuito completo para puerto paralelo, puentes “H” y motores

Podemos observar claramente en la figura 3.11 que son tres etapas muy bien definidas:

a) La interfaz entre el puerto paralelo y el proyecto

Esta etapa puede ser montada en una Proto-Board, o bien en una fenólica o PCB, dependiendo de las necesidades del proyecto, y los conocimientos y capacidades del estudiante. Las tres formas propuestas tienen buen comportamiento y durabilidad.

Recordar una vez más que la tierra de la PC, el pin 23 GND-PC no deberá ser conectado a ninguna otra tierra, así **logramos la protección del puerto y la PC**, los optoacopladores son económicos y pueden ser fácilmente reemplazados en caso de algún fallo o corto circuito que pudiera suceder en las otras etapas del proyecto, mientras que la reparación del puerto regularmente es costosa y complicada.

Notemos que para usar la interfaz del puerto paralelo las salidas de los optoacopladores 4N33 (*Ver Anexo 1 Circuitos integrados #1.6*) tienen un **led testigo que nos indica la señal** que estamos enviando a la interfaz. Si construimos primero esta etapa, podremos realizar pruebas con sencillos programas en “Quick Basic”® o algún lenguaje más avanzado como el “Visual C”® o “Visual Basic”® que nos permitan comprobar el nivel de control que se puede lograr. Esta primera etapa es la parte fundamental de la grúa multi controlada, ya que nos permite entrenarnos en la programación de las salidas al puerto paralelo.

El orden de los LED en las salidas de los optoacopladores es del pin 2 hacia el pin 9, el Pin 2 es el Led menos significativo LSB (por sus siglas en inglés Least significant bit), y el pin 9 es el Led más significativo MSB (Most significant bit) de no seguir el orden estrictamente resultará muy complicado enviar los bits (dato de control) al par de pines que controla el motor al que queremos hacer funcionar.

Así el primer par de pines controla el primer motor, y de la misma manera sucesivamente como se muestra en la figura 3.12.

Antes de fijar y soldar los motores, recomiendo comprobar que la dirección que se desea según la tabla 3.1 en la página 70 sea la correcta.

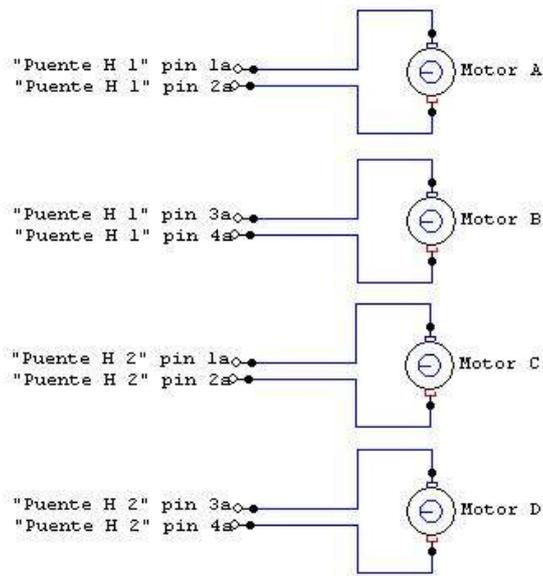


Fig. 3.12 Parejas de señales de salida de los puentes "H" hacia los motores.

Por último, la interfaz deberá estar fija, cerca de la PC (DESKTOP o LAPTOP), y los cables que conecten hacia el proyecto deberán tener la suficiente longitud para darle libertad de movimiento, y recomiendo ampliamente el uso de cable plano de 10 hilos, que es ligero y flexible.

b) Los puentes "H"

Circuitos integrados que nos permitirán interpretar las señales enviadas desde el puerto paralelo a través de la interfaz, y al mismo tiempo proporcionarán la energía a los mismos. Los C. I. recomendados para este proyecto son el L293D o el SN4410 ya que son equivalentes (Ver Anexo 1 Circuitos integrados #1.4).

El pin 16 correspondiente a Vcc se alimenta a 5v si se utiliza un eliminador o 4.8 si se usa un paquete de 4 baterías AA a 1.2V, en ambos casos se recomiendan 2500mAh, los pines 1 y 9 "Enabled" habilitan cada uno de los dos puentes "H" que contiene el C. I. (Circuito integrado). Así, un solo puente "H" puede controlar dos motores tipo gorila con facilidad.

Los pines del puente "H": 4, 5, 12 y 13, se conectan a tierra (GND o masa) de la fuente de alimentación utilizada. Y aunque no genera demasiado calor, sí es posible, se puede agregar un disipador y evitar cualquier problema por la disipación del mismo.

Cómo en el pin 8 del puente "H" se requiere un voltaje para la alimentación de los motores, podemos alimentarlo con la misma fuente aplicada. Es posible aplicarle un voltaje mayor hasta 36 V pero no demandarle más de 1^a, para estos detalles ver la hoja de datos del puente "H" en el CD anexo.

Esta etapa del proyecto puede construirse para pruebas en Proto-Board y aún utilizarse así directamente, pero lo más recomendable es soldarla en una fenólica o mejor aún en PCB. El paquete de 4 baterías AA, también debe tomarse en cuenta para el diseño del circuito y de la estructura del chasis.

Al diseñar esta etapa, debemos tener presente que posteriormente cambiaremos el medio de control, por lo que los pines de entrada de la señal a los puentes "H" debe tener fácil acceso y la posibilidad de asegurar el cable, circuito o elemento que deseemos conectar como medio de control. Algunos dispositivos que conectaremos a la grúa necesitan conectarse a la alimentación en Vcc y GND, así que deberemos dejar disponibles por lo menos dos entradas libres para este fin.

Para este proyecto limitamos las dimensiones y funciones de la grúa a la capacidad de los motores gorila, pero mediante otro tipo de arreglo podría emplearse motores de mayor capacidad, pero que un estudiante de ingeniería tendrá toda la capacidad para realizar los cálculos y adaptaciones electrónicas necesarias para su propio diseño.

c) Los motores

En la hoja de datos en el anexo y las páginas web recomendadas, podemos obtener datos específicos de los motores (Ver Anexo 2 Listado de materiales y productos #2.2). sin embargo, para facilitar la construcción de este proyecto, recomiendo que para los cuatro que se usen motores tipo gorila con una buena relación entre velocidad y potencia, por ejemplo los B01 1:180.

A los motores de tracción y dirección les colocaremos llantas (Ver Anexo 2 Listado de materiales y productos #2.4), que permitan el movimiento del vehículo con facilidad,

mientras que los motores de movimiento de la grúa a izquierda – derecha y arriba-abajo deberán estar firmemente sujetos al chasis para que el conjunto sea estable.

3.2.3 El sistema de control (Software)

Sistemas operativos, “IBM PC ® y/o PC compatibles”, lenguajes de programación, librerías y protocolos, programas y diseño de pantallas, una interesante aproximación a un grupo de materias que al estudiante de ingeniería le resulta indispensable conocer para su desempeño futuro en la industria.

Para desarrollar el programa de control que de aquí en adelante llamaré “Sis-Con”, por la abreviatura a Sistema de control, necesitaremos establecer los requerimientos mínimos del sistema de cómputo, las especificaciones técnicas del software y hardware para que estemos en condiciones de trabajar sin problemas.

Requerimientos mínimos de Hardware:

- IBM PC® o compatible o Portátil.
- Puerto paralelo.
- Windows XP (Con SP2 o SP3) (SP – Service Pack).
- 1 GB de memoria RAM o superior.
- 600 MHz de velocidad o superior.

Tomar en cuenta que algunas portátiles modernas e incluso PC desktops (de escritorio), ya no cuentan con la tecnología de puerto paralelo o Centronics.

Requerimientos de Software:

- Windows XP® Microsoft - Con la actualización Service Pack 2 o 3, que puede obtenerse en el sitio oficial de MicroSoft.
- Visual Basic 6.0® Microsoft – Instalado con privilegios de administrador. También es posible con las versiones portables del lenguaje, aunque debemos cuidar que la licencia sea legal y tener en cuenta que no podremos construir ejecutables y siempre se dependerá del portable.
- Las librerías io.dll e io.bas. Que son de distribución libre bajo la filosofía GNU, y se encuentran en el CD “Robótica para todos MT-7” adjunto a este trabajo.

- “Sis-Con” programa de distribución libre bajo la filosofía GNU, se encuentra en el CD “Robótica para todos MT-7” adjunto a este trabajo. (Este programa solo en caso que no desees elaborar tu propio software de control).

Procedimiento de instalación:

1. Iniciar sesión en Windows XP ® con privilegios de administrador.
2. Copiar el archivo io.dll a la carpeta C:\WINDOWS\system32 Esta librería se encuentra en el CD “Robótica para todos MT-7” adjunto a este trabajo o puede descargarse desde alguna de las múltiples páginas donde se distribuye bajo licencia libre.
Por ejemplo: <http://www.geekhideout.com/downloads/io.zip> (sitio web del autor de la librería).
3. Si deseas probar el software “Sis-Con” solo copia el archivo ejecutable sis-con.exe al escritorio o a alguna carpeta en particular.
4. Reiniciar Windows XP ®.

Uso del programa Sis-Con.

Ejecutar el programa Sis-Con, los botones Avanzar, Reversa, Izquierda, derecha, subir y bajar están programados para que con simplemente colocar el mouse encima envíen la señal al motor correspondiente para llevar a cabo la acción señalada.

Si se realizaron las conexiones de los motores y pines como de indicó en la figura 3.11 corresponderán directamente a las ordenes enviadas, si no sucediera así, simplemente habría que cambiar los cables de aquel motor o motores que no responda a la orden, a su lugar correcto.

Dado que solo es un programa para pruebas, no tiene otras posibilidades, lo más conveniente es desarrollar tu propio software de control. En el siguiente tema encontraremos una introducción al desarrollo de este tipo de programas.

Programación del puerto.

Debemos contar con el software Visual Basic 6.0 ® para realizar las pruebas descritas en este trabajo, o bien conocer algún lenguaje como Visual C®, Quick Basic®, o alguno otro que permita la programación a puertos de la PC.

En Visual Basic 6.0 ® debemos iniciar un nuevo proyecto tipo “Estandar.exe”. (Figura 3.13)



Fig. 3.13 Pantalla en VB6.0 para nuevo proyecto

Enseguida crear un “Módulo” en el programa, (figura 3.14), usando el menú “PROYECTO”, sub menú “Agregar módulo”

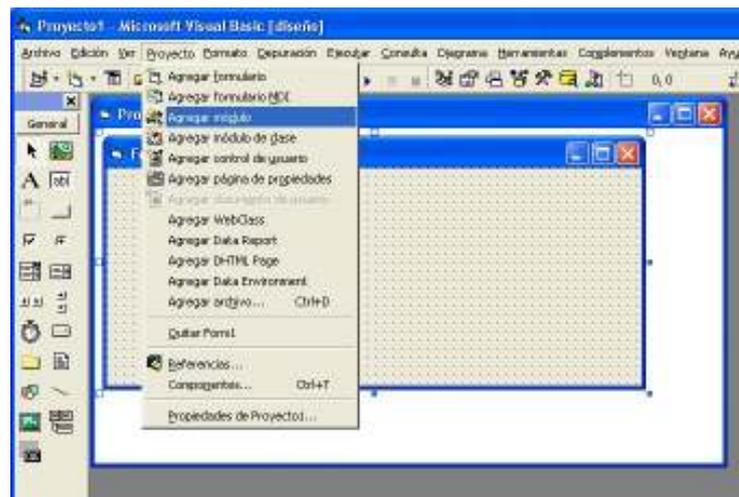


Fig. 3.14 Agregado del módulo general para la librería io.bas

Abrir el módulo agregado, en propiedades darle en nombre “io” (sin las comillas), y escribir el siguiente código:

```

Public Declare Sub PortOut Lib "IO.DLL" (ByVal Port As Integer, ByVal Data As Byte)
Public Declare Sub PortWordOut Lib "IO.DLL" (ByVal Port As Integer, ByVal Data As Integer)
Public Declare Sub PortDWordOut Lib "IO.DLL" (ByVal Port As Integer, ByVal Data As Long)
Public Declare Function PortIn Lib "IO.DLL" (ByVal Port As Integer) As Byte
Public Declare Function PortDWordIn Lib "IO.DLL" (ByVal Port As Integer) As Long
Public Declare Sub SetPortBit Lib "IO.DLL" (ByVal Port As Integer, ByVal Bit As Byte)
Public Declare Sub ClrPortBit Lib "IO.DLL" (ByVal Port As Integer, ByVal Bit As Byte)
Public Declare Sub NotPortBit Lib "IO.DLL" (ByVal Port As Integer, ByVal Bit As Byte)
Public Declare Function GetPortBit Lib "IO.DLL" (ByVal Port As Integer, ByVal Bit As Byte) As Boolean
Public Declare Function RightPortShift Lib "IO.DLL" (ByVal Port As Integer, ByVal Val As Boolean) As Boolean
Public Declare Function LeftPortShift Lib "IO.DLL" (ByVal Port As Integer, ByVal Val As Boolean) As Boolean
Public Declare Function IsDriverInstalled Lib "IO.DLL" () As Boolean

```

Este código se encuentra en el CD “Robótica para todos MT-7” adjunto a este trabajo en el archivo io.bas y desde el menú de nuevo módulo puede abrirse y evitar el trabajo de teclear, o bien abrir el archivo io.txt y copiar y pegar en el módulo como puede verse en la figura 3.15.

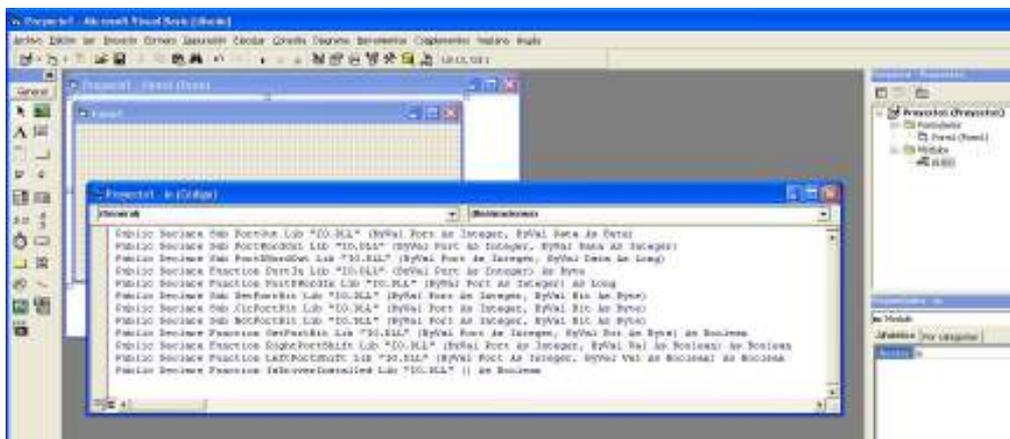


Fig. 3.15 Código io.bas agregado al módulo en el nuevo programa de control.

Una vez que tengamos el nuevo programa con su módulo io, empezaremos a crear los botones de control, con un sistema muy fácil, cada botón tendrá la orden de activar un motor, durante un tiempo predeterminado, al hacer click con el botón izquierdo del mouse. (Fig. 3.16).

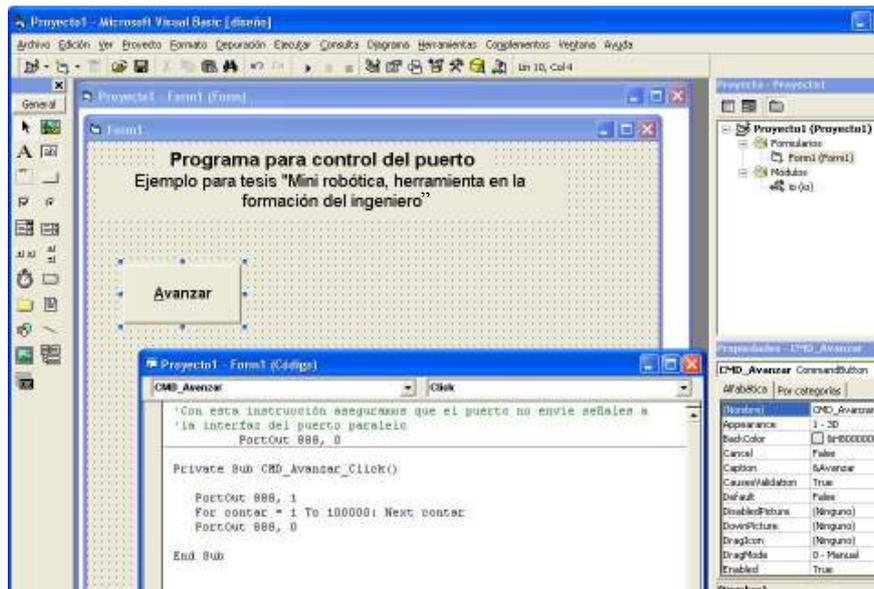


Fig. 3.16 Programación del botón AVANZAR

En la fig. 3.16 podemos observar detalles importantes de los primeros pasos en la programación, primero en “Declaraciones”, “General” se escribe el siguiente código:

'Con esta instrucción aseguramos que el puerto no envíe señales a
'la interfaz del puerto paralelo
PortOut 888, 0

Los comentarios iniciados con el símbolo ‘ nos dicen lo que hace esta primera instrucción, PortOut envía una señal al puerto paralelo en la dirección física 888, con un valor 0, es decir, apaga todos los LED en la interfaz. Para acceder a la programación de esta sección, debemos dar doble click en el formulario del programa (Cualquier lugar en la zona gris de trabajo).

Por lo tanto, la instrucción **PortOut 888, 1** enciende el primer LED en la interfaz, y si el motor estuviera conectado, lo hace avanzar en sentido horario. Para limitar el tiempo que el motor se mantenga activo usamos un sencillo código, poner a la PC a contar de 1 a 100000 con la instrucción For... To... Next

For contar = 1 To 100000: Next contar

Así, al ejecutar el programa y hacer click en el botón avanzar, este estará encendido mientras la PC se mantenga contando y al terminar el conteo el Led se apaga con la instrucción:

PortOut 888, 0

Es posible que los valores de conteo cambien de una PC a otra. Si tiene un procesador muy rápido, quizá el conteo hasta 100000 no sea suficiente y sea necesario elevarlo hasta 10000000 o más, también podría ser que la PC sea más lenta y entonces el conteo deberá reducirse a quizá 10000.

Para crear el botón, se elige el icono de la herramienta “Crear botón”, enseguida se define el botón, se le asignan las características como tipo de fuente, tamaño, color, y el importante nombre del botón, para este caso CMD_Avanzar. Posteriormente para acceder a la programación del botón deberás hacer doble click sobre el mismo, y escribir el código que presento a continuación:

```
Private Sub CMD_Avanzar_Click;
    PortOut 888,1
    For espera=1 to 100000 : Next espera
    PortOut 888,0
End Sub
```

Las salidas al puerto paralelo son controladas por señales binarias, es decir, debemos respetar el valor de la posición binaria, como se muestra en la siguiente tabla 3.1:

Pin	2	3	4	5	6	7	8	9
PortOut 888,	1	2	4	8	16	32	64	128
Salida								
	Motor A		Motor B		Motor C		Motor D	

Tabla 3.1 Relación entre los pines y el control de cada motor.

El motor A es la tracción del vehículo, así:

Enviar un PortOut 888, 1 significa “Avanzar”.

Enviar un PortOut 888, 2 significa “Reversa”.

El motor B es la dirección del vehículo, así:

Enviar un PortOut 888, 4 significa “Vuelta a la Derecha”.

Enviar un PortOut 888, 8 significa “Vuelta a la Izquierda”.

El motor C es el giro de la grúa, así:

Enviar un PortOut 888, 16 significa “Girar Grúa a Derecha”.

Enviar un PortOut 888, 32 significa “Girar Grúa a Izquierda”.

El motor D es el elevador de la grúa, así:

Enviar un PortOut 888, 64 significa “Bajar Grúa”.

Enviar un PortOut 888, 128 significa “Subir Grúa”.

Después será necesario crear todos los botones de control y probar que funcionen correctamente. Podríamos lograr un programa como el de la figura 3.17. Que esta contenido en CD anexo.

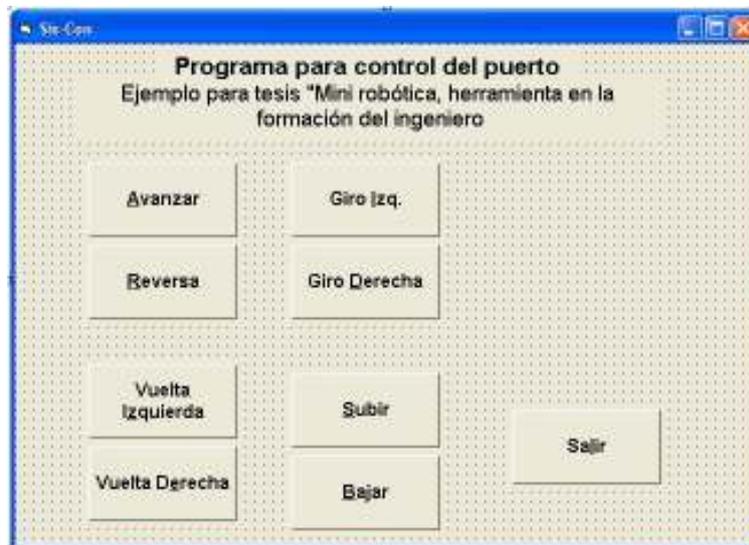


Fig. 3.17 Programa de ejemplo terminado “Sis-Con” ejecutable

Cada botón deberá programarse con el mismo código que el primer botón, pero obviamente con sus valores correspondientes. La experiencia y práctica nos dirán qué valores de conteo son mejores para cada caso, quizá el conteo para voltear las llantas a derecha no sea el mismo que para subir la grúa. Sin embargo, para efectos de prueba si recomiendo que inicialmente sean los mismos valores de conteo y que no sean ni demasiado pequeños ni tampoco grandes.

El Visual Basic ® está ampliamente documentado, tanto en libros muy didácticos como en sitios web interactivos. Considero a Francisco Javier Ceballos Sierra como uno de los autores más respetables por su manejo del auto aprendizaje. Profesor español de la Universidad de Alcalá, escribió el libro “VISUAL BASIC 6: CURSO DE

PROGRAMACIÓN”, que recomiendo ampliamente a los estudiantes de ingeniería principiantes en la programación, aunque esta obra ya está descatalogada en España, en México aún es posible conseguirlo, y por otra parte, cuenta con varios libros más actualizados.

El programa terminado en ejecutable para Windows XP®, las fuentes, formularios y librerías se encuentran en el CD “Robótica para todos MT-7”, adjunto a este trabajo.

Una línea de investigación que presenta un reto interesante es transformar el control por puerto paralelo a control por puerto USB. En el Clan de alebrijes robóticos⁶⁹, ya hemos iniciado la investigación, si deseas participar, no dudes en ponerte en contacto.

Una vez que tengamos funcionando la grúa de esta manera, seguramente sentiremos la necesidad de lograr mejores controles de las acciones. Por lo que de nuevo llegamos al objetivo de este trabajo, motivar a que el estudiante de ingeniería sienta la necesidad de una mayor formación académica, en este apartado, la programación de computadoras.

3.3. Control remoto

Definición de Wikipedia:

“Un mando a distancia o control remoto es un dispositivo electrónico usado para realizar una operación remota (o telemando) sobre una máquina.”²³

La Wikipedia, después de la definición formal, aclara después en el mismo tema, que generalmente esta frase se usa para el control de la televisión y otros aparatos electrónicos, y por supuesto, en la industria en general y la investigación científica y hasta videojuegos.

Definición de la Real Academia de la Lengua Española:

“Control remoto... Dispositivo que regula a distancia el funcionamiento de un aparato, mecanismo o sistema”.²⁴

La definición del diccionario de la lengua española es muy parecida a la de la Wikipedia, y a su vez, las referencias realizadas en la bibliografía de control, son en lo general muy parecidas, en todas se hace referencia a la existencia de un dispositivo capaz de enviar señales de control sin la necesidad de cables, dando una gran libertad

al dispositivo controlado a distancia, sin embargo, como podemos darnos cuenta, el control sigue siendo mediante un humano que percibe el medio ambiente, lo interpreta y decide que acción deberá realizar el robot.

Para aplicar este tipo de control a la grúa, necesitamos un sistema emisor y un sistema receptor que sean adaptables a la electrónica y mecánica que ya desarrollamos.

3.3.1. Infrarrojos.

Una señal de radiación electromagnética emitida por un dispositivo óptico en una longitud de onda mayor a la luz visible y que consecuentemente tiene una frecuencia menor a la luz visible, con longitudes de onda de entre 0.7 hasta 300 micrómetros²⁵.

Debido a que no interfiere con señales RF (radio frecuencia) se usan para controlar los dispositivos como la televisión entre otros, así como periféricos de la computadora, y cumplen con el estándar irda²⁶ (Infrared Data Association, Asociación para manejo de datos vía infrarrojos).

Para la grúa usaremos un control remoto universal (CRU) de marca genérica ajustado a las especificaciones de Sony® (Figura 3.18) y un “Módulo infrarrojo de 8 salidas Clave: 2111” (Figura 3.19) comercializado por Electrónica Estudio²⁷ acoplado a la etapa de puentes “H” en la grúa. En la placa del puente “H” tomaremos la alimentación para este circuito.



Fig. 3.18 Control remoto Universal



Fig. 3.19 Módulo infrarrojo de 8 salidas

Podemos observar que el módulo infrarrojo tiene un cable plano de 20 hilos; aunque solo emplea 8, podemos perforar (ponchar) un cable de 10 hilos y mejorar el tamaño y aspecto de la conexión a los puentes “H”.

Esta pareja de dispositivos emisor-receptor iR funciona bien, aunque el control está limitado a que exista una línea de vista entre la grúa y el operador.

El tema de enclavamiento de la señal es importante para la operación de la grúa, ya que si se maneja la señal con enclavamiento (monoestable) la salida solamente se mantiene mientras está presionado el correspondiente botón del emisor, y si no tiene enclavamiento (biestable), activan o desactivan alternativamente la salida por cada pulsación del botón correspondiente del emisor. Este es, un tema que requiere un estudio más profundo: La programación de un micro-procesador que sea capaz de recibir la señal infrarroja y enviar la salida con o sin enclavamiento según se necesite.

3.3.2. Radio frecuencia

“El radiocontrol... es la técnica que permite el gobierno de un objeto a distancia y de manera inalámbrica por medio de ondas de radio (enlace hertziano). En el radiocontrol entran en juego tres técnicas fundamentales: la electrónica que se encarga de transformar los comandos dados en ondas de radio en el transmisor y a la inversa en el receptor, la electricidad, encargada de proporcionar la energía necesaria a los dispositivos tanto al control remoto (o transmisor) como al receptor y a la mecánica encargada de mover los actuadores (servos o motores) que reciben las señales eléctricas desmoduladas o decodificadas en movimiento mecánico.”²⁸

No fue sencillo encontrar una definición del radio control o radio frecuencia para esta aplicación en particular, regularmente la radio frecuencia es utilizada para la transmisión de comunicaciones, como la tv, radio AM/FM e incluso internet de banda ancha, la cita proviene de la traducción de la Wikipedia en inglés.

Durante la investigación encontré un buen apoyo en los libros para hobistas del rc (radio control), y posteriormente en el equipo para uso industrial.²⁹ La empresa Futaba® ha desarrollado sistemas de control industrial, mediante el RC (radio control), muy sofisticados, de alta precisión y confiabilidad.³⁰

Es un muy efectivo medio de control a distancia, sin cables y con casi nulas perturbaciones cuando el sistema está bien calibrado. Es posible controlar con facilidad 6 vehículos en una competencia a alta velocidad, a cada uno se le establece una frecuencia en particular y mediante codificaciones de las señales no existe la posibilidad de confusión entre los controles, en la industria, algunas empresas como la ya mencionada Futaba®, ofrecen sistemas de control rc con capacidad para 256

motores en un área cerrada, fantástico y real. Lamentablemente para el presente trabajo y para mi, las imágenes de los productos Futaba® que considero son los mejores para este tipo de control, tienen todos los derechos reservados, sin embargo, agrego la liga a su sitio web³⁰ para que podamos aprender más de su tecnología y aplicarla en nuestros diseños de mini robótica, y a futuro en diseños industriales de control a distancia.

Los sistemas de radio control tienen un costo mayor a los descritos anteriormente, por lo que solo se presenta la idea, y queda a consideración del estudiante el desarrollo del proyecto.



Fig. 3.20 Emisor-receptor comercial de Holy Stone Enterprise Co. Ltd. ®

En la fig. 3.20 se observa el detalle de un sistema emisor-receptor comercial de la empresa Holy Stone Enterprise Co., Ltd® (*Ver listado de materiales y productos #2.8*).

Este sistema permite elegir entre 315 0 434 MHz para realizar la transmisión y con un buen sistema de codificación proporciona una gran libertad para diseñar el sistema de control remoto por radio frecuencia.

Para esta forma de control el reto es amplio, el diseño de los circuitos del emisor y receptor, adaptar un joystick o palanca de mando, con los botones correspondientes, agregar las antenas de emisión y recepción de señal, tarea propia para un estudiante de ingeniería.

3.3.3. Otras formas de control a distancia

TCP/IP

Por sus siglas Transmission control protocol/internet protocol, que significa “Protocolo de control de transmisión sobre el protocolo de internet”.

Este protocolo permite el intercambio de paquetes de información mediante estándares que garantizan que los datos se entregaran a su destino sin errores, lo que agrega alta confiabilidad a cualquier proyecto, los servidores principales de internet, usan por supuesto este protocolo para la comunicación incluso a nivel intercontinental³¹.

Mediante la programación de un par de sitios web emisor-receptor, es posible crear las secuencias de datos para enviarlos y recibirlos, según corresponda, y que controlen a la grúa o vehículo o robot que usemos en nuestro proyecto, los datos de envío y recepción viajaran en el TCP/IP, pero la generación de los datos e interpretación de las señales requieren programas dedicados en cada computadora, que pueden ser elaborados directamente en plataformas de internet como html o java, o bien, diseñar programas dedicados, por ejemplo en el ya mencionado Visual Basic® y dotarlos de el reconocimiento de protocolos para internet, ambas maneras presentan ventajas y desventajas. En la fig. 3.21 se muestra un esquema representativo.



Fig. 3.21 Representación simbólica del TCP/IP

El diseño web, la identificación de protocolos, el envío y recepción, entre muchos otros temas necesarios para hacer funcionar este tipo de control, serán tareas que coadyuvarán a lograr una mejor formación del estudiante de ingeniería.

Bluetooth

Obtenido directamente del sitio web oficial de la tecnología Bluetooth:

“Bluetooth wireless technology is a short-range communications technology intended to replace the cables connecting portable and/or fixed devices while maintaining high levels of security. The key features of Bluetooth technology are robustness, low power, and low cost. The Bluetooth specification defines a uniform structure for a wide range of devices to connect and communicate with each other.”³²



Fig. 3.22 Logotipo oficial de la tecnología Bluetooth®

En español: “Bluetooth es la tecnología de comunicaciones de rango cercano sin cables, que reemplaza los sistemas y dispositivos conectados por cables, manteniendo altos niveles de seguridad. Las características clave de la tecnología Bluetooth son la robustez, bajo consumo y bajo costo. Las especificaciones Bluetooth definen una estructura uniforme para un amplio rango de dispositivos para conectarlos y comunicarlos unos a otros.”

Bluetooth (logotipo en la fig. 3.22) es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN's) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2,4 GHz. Los principales objetivos que se pretenden conseguir con esta norma son:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos.
- Eliminar cables y conectores entre éstos.
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales.

Los dispositivos que con mayor frecuencia utilizan esta tecnología pertenecen a sectores de las telecomunicaciones y la informática personal, como PDA, teléfonos móviles, computadoras portátiles, ordenadores personales, impresoras o cámaras digitales.

Entonces como en el caso anterior, debemos implementar el proyecto, desde la infraestructura hasta el software.

Sistemas Ópticos de control.

El uso de sistemas ópticos de comunicación será de gran utilidad para la robótica, más allá de los sistemas infrarrojos, los sistemas laser, la fibra óptica, las cámaras y videocámaras con mayores capacidades, que ofrecen un amplio espectro de oportunidades.

Además existe una gran lista de tecnologías de comunicación y envío de datos sin cables, a continuación, una breve lista:

- Ultra-Wideband (UWB) Near Field Communication (NFC)
- Certified Wireless USB Near Field Magnetic Communication
- Wi-Fi (IEEE 802.11) HiperLan
- WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access and IEEE 802.16) HIPERMAN
- WiBro (Wireless Broadband) 802.20
- Infrared (IrDA) Zigbee (IEEE 802.15.4)

Esta lista presenta la oportunidad de elegir que tecnología resolverá de mejor manera las necesidades de los proyectos del estudiante.

3.4. Control con sensores

Para dotar a nuestros robots de un control más robusto, capaz e inteligente debemos darle la capacidad de percibir su entorno, que sean capaces de sentir lo que pasa a su alrededor. De interpretar su entorno para actuar en respuesta.

Los fantásticos robots que nos presenta la ciencia ficción exceden por mucho la capacidad real de detección con que contamos. Esos maravillosos robots descritos por Isaac Asimov (fig. 3.23) en la saga de Fundación e Imperio así como en sus novelas de robots, “R. Daneel Olivaw” y “R. Giskard Reventlov”, capaces de detectar su entorno en tiempo real completamente e incluso detectar pensamientos humanos. Los R2D2 y C3PO de la Guerra de las galaxias que reaccionan a eventos en su entorno e incluso detectan sentimientos humanos y son capaces de percibir situaciones a distancias lejanas, son sencillamente imposibles de construir hoy en día, exceden por mucho la realidad del control moderno, sin embargo, los roboticistas trabajamos día a día para cumplir sueños.



Fig. 3.23 Isaac Asimov, escritor de ciencia ficción y robótica

El término **SENSOR**, también conocido como transductor en un sentido más amplio, puede definirse como:

“Un sensor (transductor) es un dispositivo capaz de convertir el valor de una magnitud física en una señal eléctrica codificada, ya sea en forma analógica o digital”³³

Una muy completa definición del Doctor en Ingeniería Josep Balcells en cuanto a su aplicación práctica, pero necesitamos también la idea matemática de lo que es un sensor.

“Un sensor, o elemento de medición, es un dispositivo que convierte una señal de entrada en una variable que se mide y se controla”.

La diferencia entre sensor y transductor es que el sensor siempre estará en contacto con el proceso que se mide generando valores para la variable, mientras que el transductor representa un concepto más amplio, ya que no necesariamente el transductor genera una señal eléctrica, como en el caso de un termopar que controla el motor de arranque del refrigerador.

Los sensores típicos para un robot deben proporcionarle datos de:

- Proximidad
- Ubicación
- Distancia
- Velocidad
- Luz (visible, infrarroja y ultravioleta)
- Sonido y ultrasonido
- Gravedad (inclinación y posición)
- Temperatura
- Humedad
- Presión y/o fuerza
- Magnetismo

Por lo que contamos con la tabla 3.2 de clasificación de sensores:

Magnitud	Transductor	Característica
Posición lineal o angular	Potenciómetro	Analógica
	Encoder	Digital
Desplazamiento y deformación	Transformador diferencial de variación lineal	Analógica
	Galga extensiométrica	Analógica
	Magnetoestrictivos	A/D
	Magnetorresistivos	Analógica
	LVDT	Analógica
Velocidad lineal y angular	Dinamo tacométrica	Analógica
	Encoder	Digital
	Detector inductivo	Digital
	Servo-inclinómetros	A/D
	RVDT	Analógica
	Giróscopo	
Aceleración	Acelerómetro	Analógico
	Servo-accelerómetros	
Fuerza y par (deformación)	Galga extensiométrica	Analógico
	Triaxiales	A/D
Presión	Membranas	Analógica
	Piezoeléctricos	Analógica
	Manómetros Digitales	Digital
Caudal	Turbina	Analógica
	Magnético	Analógica
Temperatura	Termopar	Analógica
	RTD	Analógica
	Termistor NTC	Analógica

	Termistor PTC	Analógica
	Bimetal	I/O
Sensores de presencia	Inductivos	I/O
	Capacitivos	I/O
	Ópticos	I/O y Analógica
Sensores táctiles	Matriz de contactos	I/O
	Piel robótica artificial	Analógica
Visión artificial	Cámaras de video	Procesamiento digital
	Cámaras CCD o CMOS	Procesamiento digital
Sensor de proximidad	Sensor final de carrera	Analógica
	Sensor capacitivo	Analógica
	Sensor inductivo	Analógica
	Sensor fotoeléctrico	Analógica
Sensor acústico (presión sonora)	micrófono	Analógica
Sensores de acidez	IsFET	Analógica
Sensor de luz	Fotodiodo	Analógica
	Fotorresistencia LDR	Analógica
	Fototransistor	Analógica
	Célula fotoeléctrica	Analógica
Sensores captura de movimiento	Sensores inerciales	Analógica

Tabla 3.2 de clasificación de sensores

Para el proyecto de la grúa multi controlada resulta evidente que dotarle de sensores para que siga una línea blanca sería muy fácil, ya que conocemos previamente los circuitos. También resulta muy interesante conectar sensores a los movimientos de la grúa para detectar si ya está a la máxima altura o si ya no debe seguir girando por estar en el fin de carrera. En las figuras 3.24, 3.25 y 3.26 observamos ejemplos de sensores útiles en la mini robótica.



Fig. 3.26 Detector de distancia por infrarrojos



Fig. 3.25 Piel robótica artificial



Fig. 3.24 Sensor ultrasónico de distancia

3.5. Control con secuencias programadas (Micro controladores y/o micro procesadores)

Un microcontrolador y/o microprocesador es un circuito integrado o chip, que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y puertos de E/S (entrada/salida).

Con un micro-procesador podemos realizar algunas acciones de control como son:

- Control con acciones pre-programadas.
- Control con sensores y respuestas pre-programadas.

La diferencia entre ambos es simplemente la aplicación, plataforma y capacidad. Tendemos a pensar que un microprocesador está en una computadora y un microcontrolador en un aparato electrónico, sin embargo, la real diferencia estriba en que el microprocesador necesitará un conjunto de periféricos de I/O (input/output, entrada/salida) y una plataforma dedicada (Mother Board), mientras que el microcontrolador puede colocarse directamente en el dispositivo y realizar sus funciones sin necesitar una plataforma dedicada.

Existe una gran variedad de chips, marcas y modelos, no es fácil la elección, y depende de lo que deseamos construir. Atmel, Freescale (Motorola), Holtek, Intel, National Semiconductor, Microchip, NXP (Phillips), Parallax, Renesas (Hitachi), STMicroelectronics, Texas Instruments, Zilog y Silabs, Maxim IC, entre muchos otros.

Para el presente trabajo recomiendo la marca “MicroChip Technology Inc.®” (fig. 3.27) que cuenta con una amplia gama de microcontroladores. En especial los ya mencionados en el capítulo II, PIC-16F84A, PIC16F627A para proyectos sencillos y el PIC16F876 para un sistema de control más complejo Ver la figura 2.25 del capítulo II y el anexo 1 Circuitos integrados #1.5.



El uso de un microcontrolador es bastante interesante, nos libera por completo de cables de comunicación, abre posibilidades para aplicar toda nuestra creatividad y principalmente, es un gran reto de aprendizaje.

Con el microcontrolador debemos decidir cuál se usará, diseñar la plataforma donde lo colocaremos y su integración con el equipo a controlar, en este caso, la grúa. La programación puede ayudarnos a que los circuitos sean más sencillos, o a complicar todo el diseño, mi consejo es elaborar dibujos, esquemas, para decidir cuál es la mejor manera de proceder.

El proyecto presentado en esta investigación presenta soluciones diseñadas a propósito para la grúa, y pretende como en todos los capítulos incentivar el interés para que el lector desarrolle un robot funcional y pueda usar las ideas para desarrollar sus proyectos.

En la tabla 3.3 se presenta un listado con los equipos y programas necesarios para la programación del microchip a utilizar.

Hardware	Software
PIC16F84A	Basic Pro
Sistema mínimo para el PIC	MpLAB
Grabador para PIC's con cable	IcProg
Cable plano para conectar a la grúa	gcgBasic

Tabla 3.3 Hardware y Software para aplicar microcontrolador a la grúa.

Sistema mínimo para el PIC16F84A en la grúa.

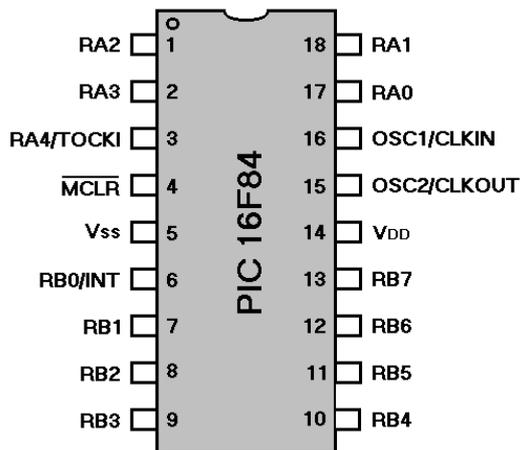


Fig. 3.28 Patillaje del PIC16F84A

El patillaje del 16F84A (fig. 3.28) consiste de un grupo de entradas de RA0 a RA4, salidas de RB0 a RB7, entre la 15 y 16 se coloca el cristal oscilador a 4MHz acoplado a dos capacitores de 27pF, la alimentación VDD en la pata 14, GND(Vss) en la pata 5, en la pata 4 cuenta con un botón para hacer el reset, es decir el reinicio a cero de la programación en el PIC, a continuación en la figura 3.36 se presenta el patillaje según la hoja de datos del fabricante.

El siguiente diagrama puede colocarse en una Proto-Board para hacer las pruebas y posteriormente soldarlo en una fenólica o diseñarlo en PCB (fig. 3.29):

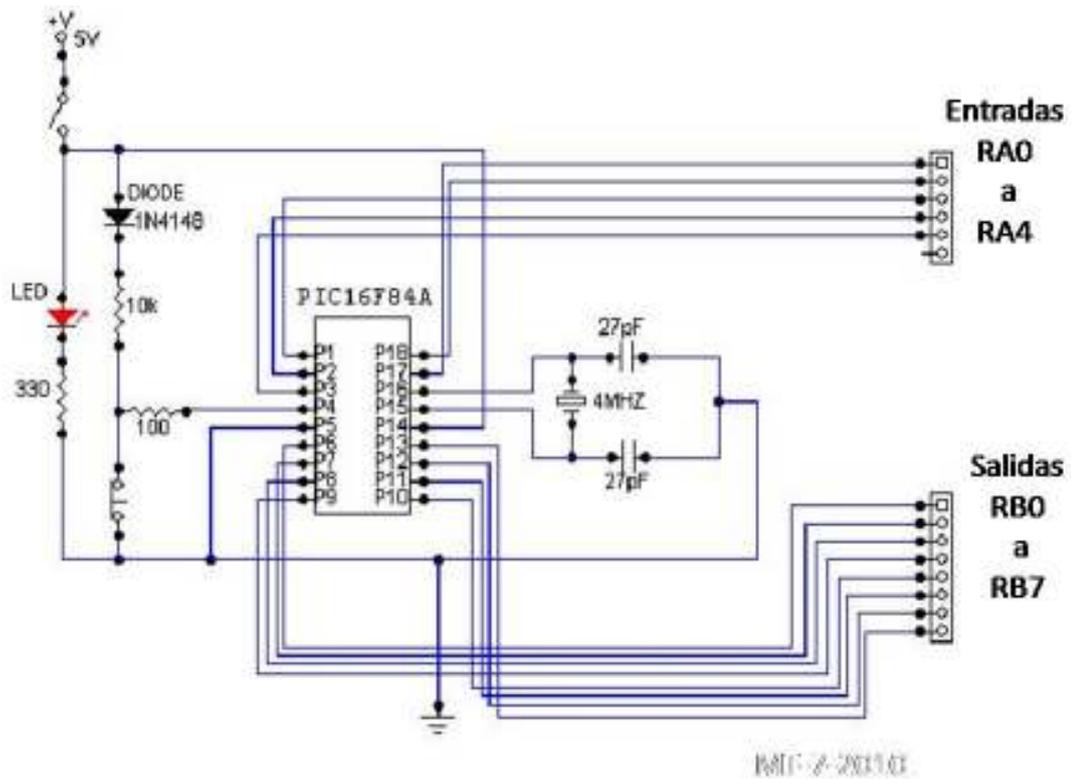


Fig. 3.29 Sistema mínimo completo para instalar el PIC16F84A en la grúa.

Para que la grúa tenga un mejor comportamiento, podríamos dotar de su propia fuente de alimentación con un paquete de baterías dedicado, también sería muy recomendable alinear las salidas para conectarlas con cable plano figura 3.30 (Ver Anexo 2 “Listado de materiales y productos” #2.9) o con conectores mol figura 3.31 (Ver Anexo 2 “Listado de materiales y productos” #2.10), y lo mismo para las entradas.

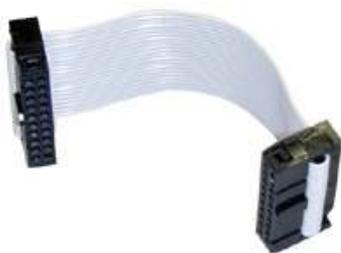


Fig. 3.30 Cable plano

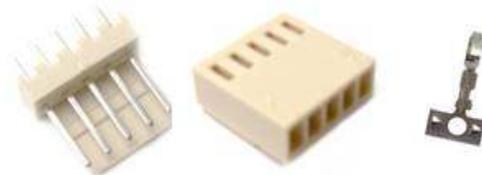


Fig. 3.31 Conectores Molex de 5 vías, macho, hembra y terminal.

Para manipular el PIC16F84A es recomendable utilizar pinzas, pulsera anti-estática y principalmente un ZIF (Por sus siglas en inglés Zero Insertion Force, Fuerza cero de inserción) de 18 pines. Figura 3.32 (Ver Anexo 2 “Listado de materiales y productos”

#2.11). Así podrá ser manipulado más fácilmente durante las pruebas de programación.



Fig. 3.32 Conector ZIF de 18 pines

Grabador para el PIC16F84A.

Existen muchos modelos de grabador de PIC's comerciales, e incluso es posible construirlo, sin embargo, recomiendo adquirirlo, ya que así se obtiene el software necesario para grabar los PIC's. El "PICkit Debug Express" versión 2 ó 3 de Microchip® es uno de los mejores y más populares, con una buena relación entre el costo y las prestaciones que ofrece. Otras marcas con programadores para PIC's son Volnia®, Steren® entre muchas otras, aunque estas tres, son las más confiables y que se venden en México directamente al consumidor. Es recomendable que el programador sea para puerto USB 2.0, ya que esto facilitará la disponibilidad de equipos de cómputo para la tarea de programación.

El software para la programación.

Para realizar la programación del PIC16F84 existen varias opciones, la primera es usar el lenguaje ensamblador de Microchip® o algún lenguaje de alto nivel como "C" o Basic, para facilitar el desarrollo del proyecto, usaremos el **Pic Basic Pro** de "microEngineering Labs, Inc." ®³⁵ (fig. 3.33) que es un compilador de Basic, para convertir los programas de Basic PIC en archivos hexadecimales que podrán a su vez, ser compilados en programas para PIC en lenguaje ensamblador, con una alta eficiencia en el código obtenido.



Fig. 3.33 Software PicBasicPro ®

Existe una versión “Demo”³⁶ que podemos ocupar para elaborar y compilar los programas necesarios para controlar la grúa, aunque esta versión está limitada a 32 líneas de código, son más que suficientes para nuestros propósitos. Dado que es una versión demo de distribución libre se incluye en el CD con la aclaración de que no se puede vender ni modificar, también se incluyen los manuales en inglés, en formato PDF. Y existe en la red una excelente traducción al español³⁸, realizada en Argentina para el sitio “todopic”³⁷.

Una vez obtenido el programa con la extensión .asm procederemos a programar el PIC16F84A, para lo cual usamos el “MPLAB Integrated Development Environment”® (fig. 3.34) que se puede obtener³⁹ de manera gratuita en el sitio web de Microchip® y cuenta con un completo manual de operación también en su sitio web⁴⁰ que también incluyo en el CD adjunto a este trabajo.



Fig. 3.34 Software MpLAB de Microchip®

Otra manera de programar el PIC, es utilizando el software de IcProg® (fig. 3.35) que es bastante sencillo tanto en su interface como en su aplicación, puede obtenerse de manera gratuita desde el sitio web oficial IcProg⁴¹ y también está incluido en el CD “Robótica para todos MT-7” adjunto a este trabajo junto con el archivo de ayuda en español⁴². También

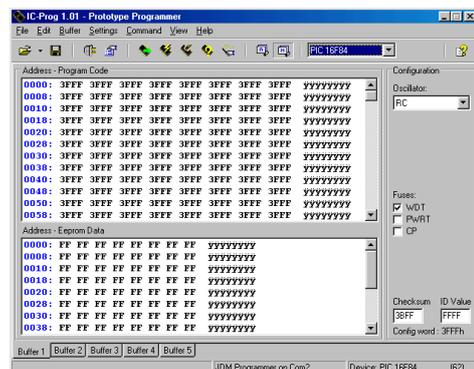


Fig. 3.35 Software IcProg ®

podemos encontrar ayuda en el sitio de “iearobotics”⁴².

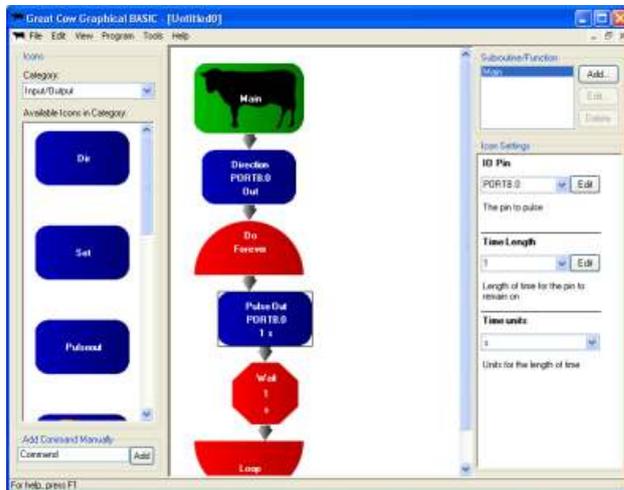


Fig. 3.36 Software GCGBasic, software de Open source, muy recomendado para programar PIC's

Actualmente está en desarrollo él:

GCGBasic “Great Cow Graphical Basic”

Un software genial y completamente libre bajo licencia “Open source”, es decir, fuente abierta, no es gratuito, es de distribución libre, con derechos de autor reservados, y que otorga el uso sin restricciones. Lo recomiendo ampliamente,

permite toda la libertad de diseño de programas, sin limitaciones y con la ventaja de poder trabajar en modo gráfico o en modo texto indistintamente, lo que ayudará al aprendizaje de la programación sin lugar a dudas⁴³ (fig. 3.36).

El Great Cow BASIC es capaz de generar el código y compilación para los PIC's de Microchip® y los AVR's de Atmel®, e incluso con una buena instalación⁴⁵, programar directamente los PIC's. Por todas estas ventajas se ha convertido en mi software favorito para el diseño de este tipo de programas en microcontroladores. Se puede descargar desde el sitio de código de fuente abierta del autor⁴⁴, cuenta con un excelente manual de ayuda⁴⁶ y por supuesto el software de instalación y su ayuda se encuentran en el CD “Robótica para todos MT-7” adjunto a este trabajo.

El lenguaje BASIC (Beginners All-purpose Symbolic Instruction Code - Código de instrucciones simbólicas de propósito general para principiantes) fue inventado en 1964 por John George Kemeny (1926-1993) y Thomas Eugene Kurtz (1928-) en el Dartmouth College, y ha tenido muchas versiones y modificaciones, por mi parte, utilizo el **BASIC ESTRUCTURADO** tanto para mis programas, como para la enseñanza, es moderno, visual, fácil de aprender y puede generar código a 32 y 64 bits para las versiones de Microsoft Windows ® en todas sus versiones, incluyendo los XP, VISTA y 7 logrando programas completamente funcionales y sin limitaciones con respecto a otros lenguajes de alto nivel como él C, además como si fuera poco, para la programación de PIC's resulta fantástico.

El siguiente código en Basic para PIC's, es un breve ejemplo de una secuencia pre-programada para que la grúa ejecute un circuito en forma de 8 y se encuentra en el CD "Robótica para todos MT-7" adjunto a este trabajo:

```

include "bs1defs.bas"
'      **** Ciclo OCHOS ****
'      **** con PWM ****
'      BY Jos7

Trisb = %00000000

portb = %00000000      'Alto total, antes de empezar
pause 2000             'Pausa para colocar la grúa

portb.4 = 1 : Pause 520 : portb.4 = 0      'giro ruedas a IZQUIERDA
B0=0:portb.0=1

for B0=1 to 40          'Girando hacia IZQUIERDA
    portb.2=1:pause 300:portb.2=0:pause 100
next B0

portb = %00000000      'Alto total
portb.5 = 1 : Pause 520 : portb.5 = 0      'giro ruedas a CENTRO
portb.5 = 1 : Pause 520 : portb.5 = 0      'giro ruedas a DERECHA
B0=0:portb.2=1

for B0=1 to 40          'Girando hacia DERECHA
    portb.0=1:pause 300:portb.0=0:pause 100
next B0

portb = %00000000      'Alto total
portb.4 = 1 : Pause 520 : portb.4 = 0      'giro ruedas a CENTRO
portb = %00000000      'Alto total
pause 3000 '

END

```

Posteriormente debe ser compilado para obtener el archivo ".asm", y después debe ser enviado al PIC16F84A mediante el programador de pic que se disponga.

Debido a que cuenta con pines de entrada, podemos hacerle llegar las señales de los sensores y por ejemplo, hacer que siga la línea en una maqueta para demostrar como operaría la grúa en un almacén, transportando productos sin conductor.

Migrando a PIC16F627A.

Un PIC moderno, económico y con ventajas sobre el PIC16F84A es el PIC16F627A. Este tiene el mismo encapsulado de 18 pines y tiene más capacidades internas.

Cuenta con dos osciladores internos uno de 32 kHz y otro de 4 MHz, la precisión es del orden del 1%. Por lo que no requiere de cristal externo ni componentes para oscilar, lo que nos deja libres esos pines como puerto de entrada/salida (RA6 y RA7).

El MCLR también puede ser interno, liberando el pin para usarlo como entrada/salida (RA5), lo que resulta en 16 pines útiles para los posibles proyectos. Todos los programas presentados en este trabajo pueden correr sin ninguna modificación, solo deben ser compilados para el PIC16f627A.

El circuito mínimo se presenta en la fig 3.37:

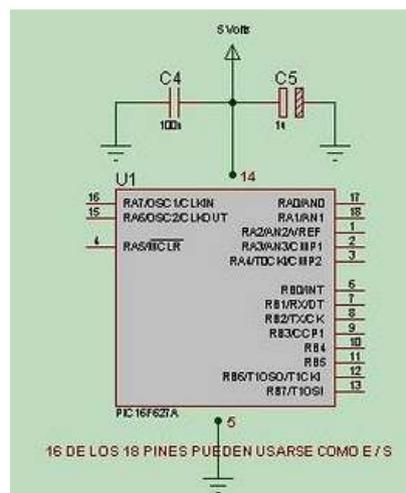


Fig. 3.37 Sistema mínimo para un PIC16F627A con 16 pines libres para I/O

Este tremendo PIC cuenta con comparadores analógicos, módulo de comparación, tensión de Ref, captura y modulación de ancho de pulso. Tres timer, (el pic16F84 solo uno) Interfaz serie y mayor capacidad en memoria RAM.

Así que este, será el PIC a utilizar en los próximos proyectos.

3.6. Resultados

El mini robot “Grúa multicontrolada” y sus variantes resultan ser una buena opción para aplicar los temas de control, tanto en diseño de la electrónica de control, como en el concepto teórico.

Especialmente la programación del puerto paralelo para controlar mini robots ha resultado muy efectiva para que el estudiante se motive a aprender, a estudiar y a dedicarse a diseñar, construir y poner en marcha proyectos. El uso de la computadora para los jóvenes es algo propio, casi podríamos decir innato, así que prácticamente están auto motivados.

He logrado con estudiantes de bachillerato e ingeniería, proyectos de mini robótica bastante interesantes, por ejemplo la “Cabeza animatrónica”, proyecto ganador del segundo lugar de la “Feria de ciencias UNAM 2010”, o el proyecto “Explorador espacial computarizado” ganador del segundo lugar de la “Feria de ciencias UNAM 2010”.

El mini robot **“GRÚA MÓVIL MULTI CONTROLADA Blue et or versión beta 0.7”** es el proyecto en que he logrado reunir todos los aspectos del diseño, construcción y puesta en marcha de mini robots. También es el proyecto que he logrado presentar en mas escenarios, escuelas de nivel primaria, secundaria, bachillerato y licenciatura del Estado de México, D. F., Querétaro, Morelos y Guadalajara, en concursos y demostraciones, durante La Semana Nacional de la Ciencia y la Tecnología de CONACYT 2005, 2006 y 2007, en UNIVERSUM durante los festejos del XXX aniversario de la FES Aragón.

Considero que es el proyecto con mejores resultados académicos y laborales; siempre ha llamado la atención y motivado a los estudiantes de diversos niveles educativos a diseñar y construir su propia grúa, de la que ya existen varios modelos en operación.

CAPÍTULO 4 BRAZO MANIPULADOR

4.1 Industria, área de oportunidad para el ingeniero.

La industria es un conjunto de procesos y actividades que se encargan de la transformación de las materias primas en productos elaborados, de manera masiva. Para llevar a cabo la transformación se utiliza la mano de obra, tecnología, energía y principalmente, el ingenio para mejora constante de los procesos y productos.



Fig. 4.1 Brazo robótico de wikicommons

El brazo industrial ha resultado una herramienta moderna que revolucionó la forma de producir, podemos ver un ejemplo del diseño de un brazo industrial en la fig 4.1.

En México la industria presenta siempre altibajos, algunos sectores económicos crecen y otros decrecen en el mismo periodo, durante julio del 2010 la producción industrial creció 8.4% según datos de INEGI⁴⁸. Por actividad económica la construcción, la minería y la manufactura decrecieron mínimamente, mientras que electricidad, agua y gas crecieron, también marginalmente. Sin embargo, por sectores económicos el sector minero y la industria manufacturera crecieron entre 4% y 15%, con respecto al mismo mes del año inmediato anterior (fig. 4,2).



Fig. 4.2 Distribución de la industria en México por sector. www.méxico24.org

Si seguimos revisando los datos, encontraremos que esta problemática se presenta cíclicamente, lo que nos da una idea de la fragilidad que ha venido presentando la industria de México en los últimos años.

México tiene una economía de libre mercado orientada a las exportaciones. Es la 2ª más grande de América Latina, y es la 3ª en tamaño de toda América después de la de los Estados Unidos y Brasil⁴⁹.

A causa de los elevados requisitos de componentes del continente norteamericano en la industria automotriz, según las estipulaciones del NAFTA, muchas industrias de autopartes y logística se han instalado en México. Tan sólo en Puebla, 70 compañías de autopartes operan en el corredor industrial cercano a Volkswagen®, el único productor del “New Beetle”® en el mundo⁵⁰.

Otras industrias importantes de México son Cemex®, el primer conglomerado de cemento más grande del mundo, las industrias de las bebidas, que incluyen al Grupo Modelo y el conglomerado FEMSA®, la segunda embotelladora de Coca-Cola más grande del mundo; la compañía Gruma®, el productor de harina y tortilla más grande del mundo con operaciones en China; y otras como Bimbo®, Telmex® y Televisa®. La industria maquiladora se ha convertido en el sector industrial más conocido del comercio de México y se ha beneficiado también del NAFTA, ya que el salario real del sector se incrementó 15.5% desde 1994, aunque el salario real del resto de las industrias no maquiladoras ha crecido con mayor rapidez. Esto no debería ser sorprendente ya que los productos de las maquiladoras fronterizas podían entrar a los Estados Unidos libres de impuestos desde el acuerdo industrial de 1960. Ahora, otros sectores se han beneficiado del libre comercio, y el porcentaje de exportaciones provenientes de estados no fronterizos se ha incrementado en los últimos 5 años, mientras que el porcentaje de exportaciones de la zona maquiladora fronteriza ha decrecido⁵⁰.

Pese a todo, la industria en general y la manufacturera en particular ha presentado una tendencia al crecimiento, lo que presenta una oportunidad al ingeniero bien preparado, capaz y con conocimientos sólidos.

4.2 Robots constructores.

En la mini robótica los robots constructores participan en interesantes concursos, presentan retos muy avanzados y requieren un nivel de experiencia, conocimientos de mayor profundidad así como disponer de mayores recursos, tanto económicos como de instalaciones y materiales.

La manipulación de objetos mediante brazos robóticos es de gran utilidad, ya que libera al ser humano de tareas repetitivas, aumenta la productividad, la seguridad en el proceso y la seguridad en el resultado.

Con los proyectos realizados en esta investigación, estaremos en condiciones de construir un brazo manipulador que cuente con las características principales que define la industria a nivel mundial.

Existen estándares internacionales que definen al Robot industrial, la norma ISO 8373⁵² los establece con claridad:



International
Organization for
Standardization

“An automatically controlled, reprogrammable, multipurpose manipulator programmable in three or more axes, which may be either fixed in place or mobile for use in industrial automation applications. (Un manipulador programable controlado automáticamente, reprogramable, de usos múltiples en tres o más ejes, lo que puede ser fijo o móvil en el lugar para su uso en aplicaciones de automatización industrial).”

Reprogrammable: Whose programmed motions or auxiliary functions may be changed without physical alterations; (Reprogramable: cuyos movimientos programados o las funciones auxiliares pueden ser modificados sin alteraciones físicas).

Multipurpose: Capable of being adapted to a different application with physical alterations; (Multiusos: capaz de adaptarse a una aplicación diferente con alteraciones físicas).

Physical alterations: Alteration of the mechanical structure or control system except for changes of programming cassettes, ROMs, etc. (Las alteraciones físicas: alteración de la estructura mecánica o sistema de control, excepto para los cambios de las cintas de programación, ROM, etc.).

Axis: Direction used to specify the robot motion in a linear or rotary mode (Eje: dirección utiliza para especificar el movimiento del robot en un modo lineal o rotatorio)."

El proyecto para este capítulo está orientado a las etapas formales del diseño robótico, por lo que la construcción de un mini robot manipulador está a cargo del estudiante. La recomendación es una vez más, seguir el método propuesto en el primer capítulo, que resulta una guía útil para el diseño, construcción y puesta en marcha de mini robots, y robots en general.

4.3 Introducción a brazos robóticos manipuladores.

Los robots constructores o de manufacturación, han revolucionado a la industria en general. El crecimiento de la planta robótica a nivel mundial se está recuperando de la caída mundial de la producción provocada por la crisis económica gestada entre 2007 y 2009. La **tendencia de densidad de robots**, es decir, una medida del número de robots por cada 10.000 personas empleadas en la industria está en franco crecimiento en el 2010 según el reporte anual de la "IFR International federation of Robotics"⁵³, toda una autoridad en el tema de la robótica industrial a nivel mundial, reforzando la postura de que la industria y la robótica son una gran área de oportunidad para el estudiante y egresado de Ingeniería⁵⁴.

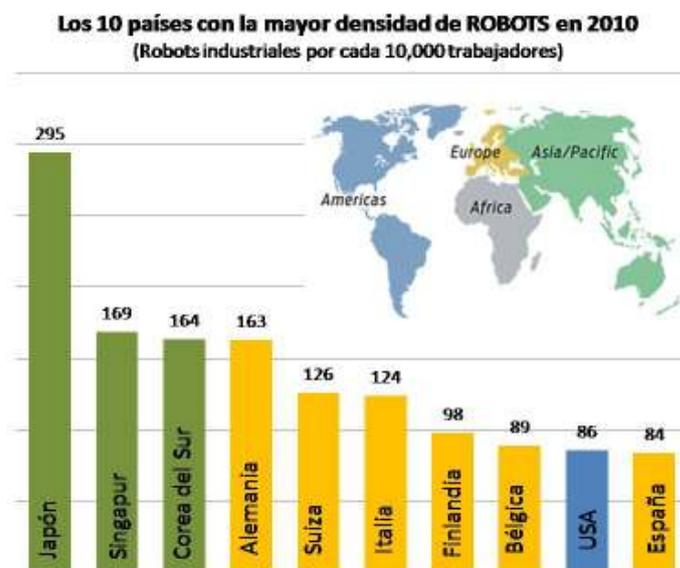


Fig. 4.3 Densidad de robots por cada 10,000 empleados industriales

Podemos observar que Japón es por mucho el país con mayor densidad robótica industrial en el planeta, casi el doble de los tres más cercanos, y 10 veces el promedio mundial.

El brazo manipulador es una herramienta de prestaciones superiores por su precisión, fuerza, flexibilidad y la disponibilidad de herramientas que puede aplicar en los procesos productivos, como pueden ser: asir, colocar, soldar, cortar, perforar, abrasar, pintar, torneear, fresar, taladrar, limar, limpiar, rotular, aspirar, acoplar, pulir, cepillar, clasificar, coser, doblar, estirar, empacar, lavar, transportar, un sin número de actividades, limitadas tan solo por la creatividad del ingeniero. Ejemplo de brazo soldador en la fig. 4.4



Fig. 4.4 Brazo robot soldador.
Wikicommons

Los tipos de brazo robótico son:

Robot cartesiano: Se utiliza para tomar y/o colocar con precisión en el lugar de trabajo, tiene aplicaciones de sellador, de montaje, manejo de máquinas herramientas y soldadura por arco. Es un robot cuyo brazo tiene tres articulaciones prismáticas, cuyos ejes son coincidentes con un coordinador cartesiano. (Fig. 4.5)

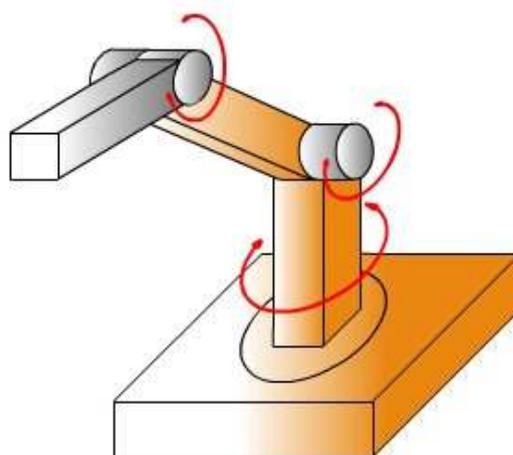


Fig. 4.5 Robot cartesiano

Robot Cilíndrico: Se utiliza para operaciones de montaje, la manipulación de máquinas herramientas, soldadura por puntos, y la manipulación de máquinas de fundición a presión. Es un robot cuyos ejes forman un sistema de coordenadas cilíndricas. (Fig. 4.6)

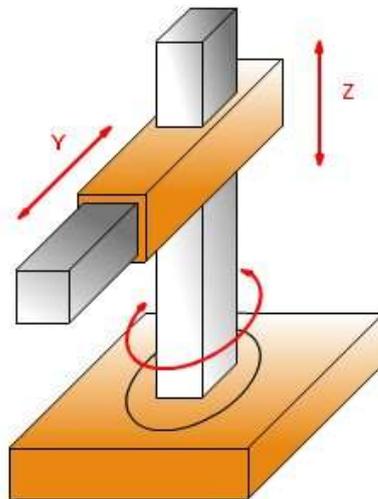


Fig. 4.6 Robot cilíndrico

Robot esférico / robot polar (como el Unimate): Se utiliza para el manejo de máquinas herramientas, soldadura de punto, de fundición a presión, máquinas de fresado y torneado, la soldadura de gas y soldadura por arco. Es un robot cuyos ejes forman un sistema de coordenadas polares. (Fig. 4.7)

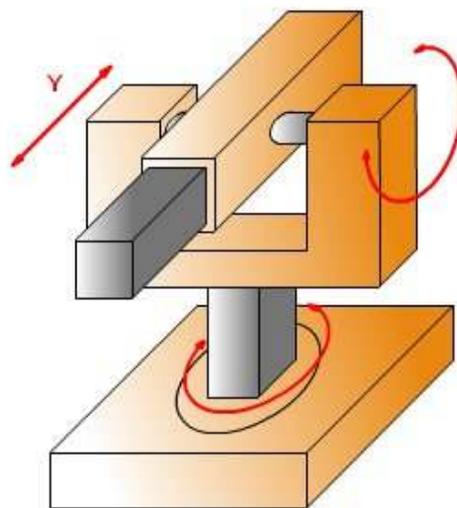


Fig. 4.7 Robot esférico o polar

Robot SCARA (SCARA siglas para Selective Compliant Assembly Robot Arm or Selective Compliant Articulated Robot Arm – Brazo robótico de ensamble articulado): Se utiliza para colocar con precisión en el lugar de trabajo, aplicación en las operaciones de montaje y manipulación de máquinas herramienta. Es un robot que tiene dos juntas rotativas paralelas a un plano. (Fig. 4.8)

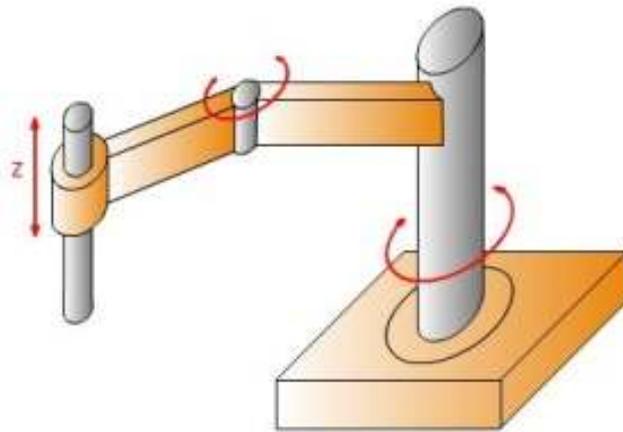


Fig. 4.8 Robot articulado - SCARA

Robot articulado antropomórfico: Se utiliza para operaciones de montaje, fundición a presión, máquinas de fresado/torneado, soldadura de gas, soldadura de arco o de pintura en aerosol. Es un robot cuyo brazo tiene al menos tres juntas rotativas. (Fig. 4.9)

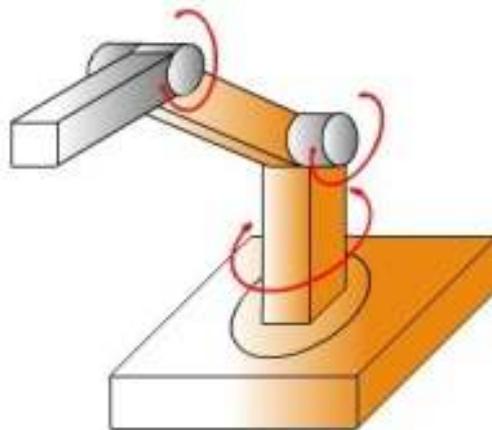


Fig. 4.9 Robot articulado antropomórfico

Robot paralelo: Es un robot cuyos brazos tienen articulaciones prismáticas concurrentes o rotatorio. Uno de los usos es una plataforma móvil encargada de los simuladores de vuelo de cabina, otra, la manipulación de objetos delicados, como en las líneas de producción de alimentos. (Fig. 4.10)



Fig. 4.10 Robot articulación en paralelo

Los brazos manipuladores robotizados tienen aplicaciones sorprendentes, están presentes en el espacio, en la nanobótica, el fondo del mar, en volcanes, en los lugares más insospechados, ahí donde las condiciones no permiten que el ser humano actúe, puede utilizarse un brazo manipulador robótico.

El CanadARM⁵⁶ (Fig. 4.11) es un brazo manipulador que está realizando tareas en los transbordadores espaciales, denominado SRMS (Shuttle Remote Manipulator System – Sistema manipulación remota del transbordador) un poderoso brazo de 15.3 metros de largo, 0.38 metros de diámetro y seis grados de libertad, capaz de manejar 29 toneladas (en el espacio), usando un grupo de motores de alto poder, sistemas de visión y control cinemático inverso.



Fig. 4.11 CanadARM, brazo robótico de los transbordadores de la NASA.

Y su hermano gemelo, el CanadaARM2⁵⁷ (Fig. 4.12) colocado en la estación espacial internacional.



Fig. 4.12 CanadaARM2. El brazo robótico de la estación espacial internacional.

El sistema de control de este brazo, es por sí mismo fascinante, un sofisticado sistema de cámaras, sensores de contacto y un joystick de operación con realimentación, es decir genera reacciones a los movimientos, para que el operador pueda sentir la fuerza que está aplicando. En la fig. 4.13 podemos observar al astronauta en misión exterior, a la especialista en misión controlando el brazo mediante las pantallas, y en el recuadro, el detalle del joystick de control especializado



Fig. 4.13 El CanadaARM2 en operación en la “Mission STS-118” de la NASA,

En la exploración del fondo marítimo los robots han tenido una participación primordial, ya que para el ser humano es prácticamente imposible descender a tales profundidades, aún con batiscafos y equipos de buceo en profundidad, el ejemplo más interesante y reconocido es el del submarino robótico “Alvin” (Fig. 4.14), que cuenta con dos brazos robóticos capaces de manipular con gran control objetos con mas no mayor a 100kg, a su vez llevaba al mini robot “Jason” (fig. 4.14) que mediante un “cordón umbilical” (cable de sujeción y cables de comunicación) de 80 metros de largo, un conjunto de cámaras, sensores y un brazo manipulador un tanto más pequeño fue capaz de explorar el fondo submarino y navegar en el interior del Titanic en el lecho oceánico.



Fig. 4.14 El submarino robótico Alvin, en su descenso rumbo al Titanic.



Fig. 4.15 El mini submarino robótico Jason Jr. entrando en una de las escotillas del RMS Titanic.

Esta dupla logró en 1986 descender hasta el lugar del hundimiento del “RMS Titanic”, y navegar dentro del mismo, manipulando objetos que posteriormente extrajeron.

En el 2003, ingenieros de la planta nuclear sueca Ringhals detectan un problema en un conducto del control de seguridad, lugar inaccesible para que alguno de ellos pudiera entrar sin hacer daño al sistema y además ponerse en riesgo a sí mismo⁵⁸.

La solución: Un mini robot con un brazo manipulador, que realizó las reparaciones necesarias sin dañar el sistema de control y evitando que cualquier humano corriera riesgos innecesarios. (Fig. 4.16).



Fig. 4.16 Robot de la planta nuclear Ringhals



Fig. 4.17 Robot examinando una erupción volcánica y tomando muestras.

En la fig. 4.17 podemos observar un brazo robótico en el fondo del mar, examinando una erupción volcánica en el Pacífico al sur de Samoa durante el 2009, obteniendo muestras para la “Fundación Nacional de la Ciencia y la Administración Nacional de los Océanos y la Atmósfera”⁵⁹.

Existen robots capaces de manipular bombas, investigar en habitaciones antes que entre la policía, robots capaces de apagar un incendio. Incluso robots que portan armas, desde mi punto de vista dotar de un arma a un robot es la peor aplicación que se le pueda dar, va en contra de la filosofía del roboticista, pero lamentablemente la industria militar invierte recursos sumamente considerables para desarrollarlos.



Fig. 4.18 Arriba izq. Robot-policía-negociador, derecha Robot-rescatador, Abajo izquierda Robot-bombero, derecha, robot-militar

En los modelos de robots de la figura 4.18 el brazo manipulador ya no es tan evidente, porque está integrado al cuerpo del robot, sin embargo, podemos observar la especialización que se logra.

En la rama de la medicina podemos encontrar robots y brazos manipuladores de alta especialización en pleno desarrollo, las operaciones de cirugía a distancia están cada día más cerca, ya se han realizado algunas en procedimientos quirúrgicos sencillos y en casos de emergencia. En la producción de medicamentos los brazos robóticos han resultado una herramienta indispensable, y en el área de prótesis los logros están mejorando sustancialmente la vida de los seres humanos que han sufrido pérdidas de extremidades superiores.



Prótesis robóticas con brazos manipuladores Inteligentes

Cirugía asistida por brazo robótico



Brazo manipulador para terapia de rehabilitación

Robot cirujano, una idea para el futuro



Fig. 4.19 Brazos robóticos en la medicina

En la fig. 4.19 podemos observar diversos ejemplos de la aplicación de brazos robóticos en la medicina, desde prótesis, hasta futuristas cirujanos robóticos.

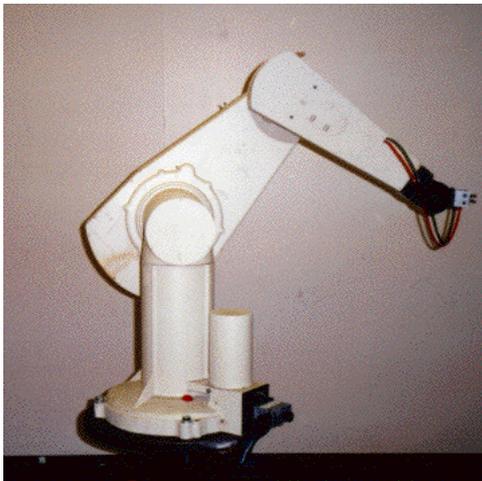


Fig. 4.20 Brazo robótico PUMA, primer prototipo en el museo smithsoniano.

Finalmente quiero hacer mención del robot **PUMA**, (Programmable Universal Manipulation Arm – Brazo manipulador de programación universal) (Fig. 4.20) desarrollado por Víctor Scheiman, en Unimation, empresa pionera en la robótica durante 1969 a solicitud de General Motors, que requería hacer más eficientes y productivas sus líneas de ensamble⁶⁰.

4.4 Diseño de un brazo manipulador experimental.

Para llevar a cabo este proyecto es necesario establecer un objetivo principal y objetivos secundarios por ejemplo que el brazo sea móvil o que disponga de un conjunto de sensores para mejorar su comportamiento, esto permitirá claridad para el diseño, desarrollo y construcción. Este proyecto da la oportunidad de poner en práctica las matemáticas aprendidas en los semestres iniciales o redoblar el esfuerzo en el aprendizaje de las mismas. Y nos presenta la oportunidad de practicar el método científico experimental, referido en el primer capítulo, así como desarrollar habilidades y competencias propias del ingeniero.

4.4.1 Objetivos

Una vez establecido el objetivo del proyecto, es decir, qué tarea principal llevará a cabo el robot manipulador, y cuales tareas secundarias si es que se asignaron, será necesario relacionarlas con los conocimientos previos, establecer prioridades de diseño y construcción.

De acuerdo a los movimientos del brazo robótico que se consideren necesarios para resolver el problema, se deberá establecer qué tipo de motor será el más apropiado. Para los motores será necesario adecuar los drivers para potencia y control, las fuentes de alimentación, elaborar diagramas del comportamiento y esquemas del diseño, para generar las tablas de control de acciones estableciendo los métodos que servirán para el control. También decidir cuáles serán los materiales para construir los soportes y estructuras del brazo así como la colocación de sensores o el medio de desplazamiento si fueran el caso.

4.4.2 Modelo experimental

Se enlistan los elementos principales del modelo de mini robot en general, pero para el desarrollo de los proyectos que cada estudiante diseñe, deberá agregar los detalles correspondientes a su problemática en particular.

Grados de libertad (DOF – Degree of freedom)

Cada DOF es una articulación del brazo, un punto donde dará vuelta, girará o doblará el brazo, que requerirá los cálculos correspondientes, el diseño esquemático y electrónico, motor, servomotor o actuador, así como su respectiva planta de control y potencia. Tomando en cuenta que después de 270° los servos deben ser trucados, o utilizar motores de CD con sensores de fin de carrera ópticos o de contacto.

Diagrama de cuerpo libre

Algoritmo “Denavit-Hartenberg”

El algoritmo Denavit-Hartenberg⁶¹ (Denavit and Hartenberg convention) es el método aceptado para diseño del brazo robótico. Sólo hay dos movimientos que una articulación puede hacer: trasladar y rotar. Sólo hay tres ejes en que esto sucede (x, y, z). A continuación se muestra un brazo de robot y un FBD (Free Body Diagram) junto a él, para demostrar las relaciones DOF y símbolos. (Fig. 4.21).



Fig. 4.21 Demostración de la relación entre el FBD y los símbolos del Convenio Denavit-Hartenberg

No se tomo el DOF del grip o pinza (también conocido como el actuador final). La pinza (grip) es compleja con múltiples grados de libertad, así que por simplicidad solo se muestran el FBD en el diseño de la base del brazo robot.

También es importante mencionar que este procedimiento utiliza un método matricial para establecer un sistema de coordenadas ligado a cada eslabón de una cadena articulada. Aquí aprovecho para recomendar la biblioteca digital “Kinematic models for design”⁶², un interesante y completo sitio web dedicado a presentar libros, modelos mecánicos, software y hardware, toda clase de recursos para el diseño y modelado de mecanismos con movimiento y cinemática. Lo mejor de todo, son recursos de uso libre, con licencias gratuitas, de aquí he logrado obtener una gran cantidad de información y acceso a libros digitalizados.

El método, matemáticamente dará lugar a un diagrama y sus relaciones parametrizadas en el algoritmo D-H como se aprecia en la figura 4.22.



Fig. 4.22 Diagrama y parametrización del ejemplo de diseño en algoritmo D-H

Área de trabajo.

Es importante asegurarse que el robot tenga espacio para realizar sus funciones, especialmente que al área de trabajo esté claramente delineada para evitar accidentes, que las líneas de acción estén libres. Los desplazamientos que el robot realice no deben poner en riesgo a los elementos que no pertenecen al sistema, como estantes o humanos. También debe tomarse en cuenta que el objeto manipulado esté seguro y no sea expuesto a golpes o roces contra objetos en la trayectoria. Por lo cual se realiza el siguiente procedimiento:

Espacio de configuración.

Un DOF tiene sus limitaciones, y se conocen como el espacio de configuración. No todas las articulaciones pueden girar 360 grados. Un conjunto tiene algunas restricciones en su ángulo máximo. Por ejemplo, ninguna articulación humana puede

girar más de aproximadamente 200 grados. Las limitaciones podrían ser en la estructura del chasis, las capacidades del actuador, las del ángulo del servo motor, entre muchas otras.

Espacio de trabajo.

También conocido como “espacio accesible”, es el conjunto de lugares al que el actuador final (actuador final) tendrá acceso, este espacio de trabajo depende del ángulo DOF de cada articulación y de la suma del movimiento de estas articulaciones, en gran medida el espacio de trabajo depende de las capacidades con las que dotamos al robot. Especialmente interesante es el caso de brazos robóticos móviles, donde el DOF de desplazamiento del brazo puede ser muy abierto, como el brazo móvil en la fig. 4.23:



Fig. 4.23 Brazo Robótico móvil de la marca lynxmotion®

Para el espacio de trabajo del brazo necesitamos elaborar esquemas de movimiento, una propuesta interesante es la siguiente, en la fig. 4,24:

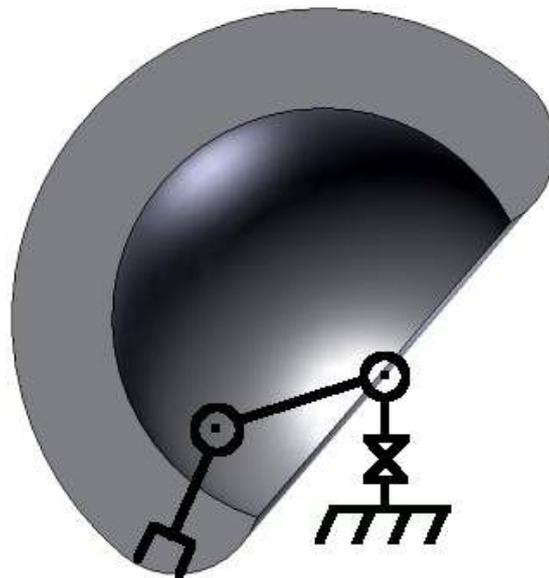


Fig. 4.24 Radio de acción de dos articulaciones del brazo robótico de ejemplo

Esta es la vista lateral del movimiento, pero debemos considerar que el movimiento es una esfera, para asegurar que el espacio de trabajo sea suficiente.

Existen diversas configuraciones del área de trabajo del brazo robótico que dependen de la aplicación que tendrá finalmente, sin embargo, las siguientes figuras de la 4.25 a la 4.29, servirán como referencia para el diseño final de tu propio brazo robótico.

Ejemplos del Área de trabajo de diversos brazos robóticos.

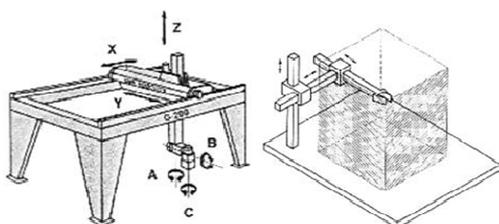


Fig. 4.25 Brazo robótico con Pórtico cartesiano

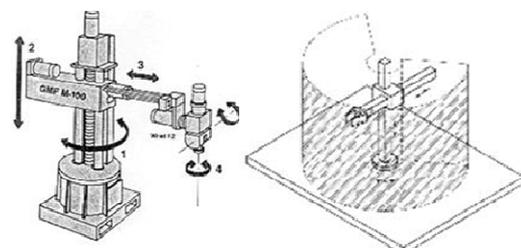


Fig. 4.26 Brazo robótico con movimiento cilíndrico

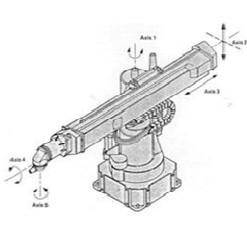


Fig. 4.27 Brazo robótico con movimiento esférico

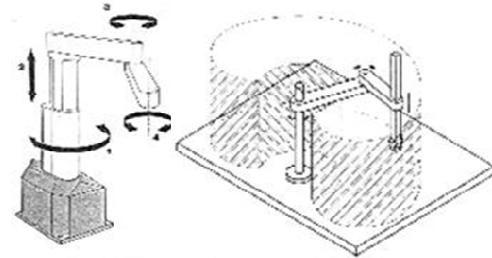


Fig. 4.28 Brazo robótico movimiento SCARA

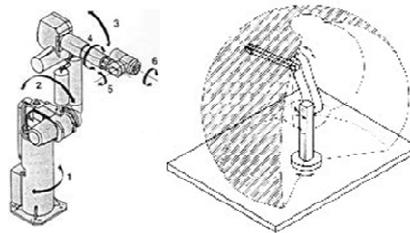


Fig. 4.29 Brazo robótico articulado

Fuerzas de juntas (articulaciones).

Aquí encontramos el reto más complejo del presente trabajo, los cálculos, las matemáticas, las ecuaciones que definen el movimiento y las fuerzas relacionadas. Las materias de estática, dinámica, cinemática, dinámica de sistemas físicos, y todas las matemáticas que incluyen, servirán para lograr un mejor diseño y por ende un mejor funcionamiento e incluso estética del brazo robótico. En este trabajo la intención es demostrativa, por lo cual los cálculos y procedimientos matemáticos solo son propuestos, y el lector tendrá la libertad para realizarlos de manera personal, auxiliándose de los mejores medios y métodos con que cuente.

La elección del motor deberá incluir la capacidad para mover no solo el objeto, sino también el propio brazo.

El primer paso es colocar etiquetas a cada articulación y movimiento, así como las direcciones que seguirá, el peso y la forma del objeto a manipular.

Obtener los siguientes parámetros de la fig. 4.30 de ejemplo:

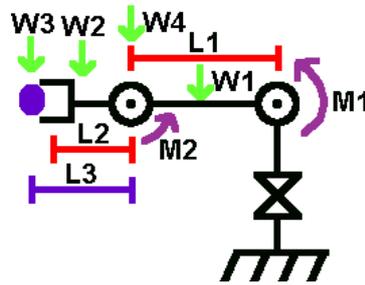


Fig. 4.30 determinación de fuerza de juntas en el brazo de ejemplo

- Masa (en kg) de cada vínculo $W1, W2$ y $W4$
- Masa (en kg) de cada articulación $M1$ y $M2$
- Masa (en kg) del objeto a levantar $W3$
- Longitud (en m) de cada conexión $L1, L2$ y $L3$

A continuación, hacer un cálculo brazo de palanca, multiplicando la fuerza al bajar por la longitud de la vinculación. Este cálculo debe hacerse para cada actuador de elevación. Este diseño en particular tiene sólo dos grados de libertad que requiere la elevación, y el centro de masa de cada enlace se supone que es Longitud / 2.

Par (Torque) Mixto Sobre 1:

$$M1 = ((L1)/2)*W1+L1*W4+(L1+(L2)/2)*W2+(L1+L3)*W3M1 = L1/2*W1+L1*W4+((L1)+(L2)/2)*W2+(L1+L3)*W3$$

Par (Torque) Mixto Sobre 2:

$$M2 = (L2)/2*W2+L3*W3M2 = (L2)/2*W2+L3*W3$$

Como podemos ver, para cada DOF la parte matemática se vuelve más complicada. También vemos que los trayectos cortos del brazo permiten requerimientos de torque menor. Y por supuesto el cálculo del grip es muy delicado, ya que tiene trayectorias y torques muy pequeños y requieren mucha precisión, especialmente si nuestro brazo manipulará objetos delicados o pequeños. Afortunadamente existen diversas herramientas informáticas para realizar estos cálculos. Como la calculadora de brazo robótico de la “SOR – Society of robots - Sociedad de robots” que podemos consultar en su sitio web⁶³, la cual también permite el uso del mismo algoritmo, a través de una

hoja de cálculo “*Robot-arm-designer.xlsx*” que opera en Microsoft Excel® y en varias hojas de cálculo de software libre como Openoffice (GNU License), y que se encuentra en el CD “Robótica para todos MT-7” adjunto a este trabajo.

Cinemática.

Cinemática directa es el método para determinar la orientación y la posición del actuador final, teniendo en cuenta los ángulos y longitudes de enlace conjunto del brazo del robot. Para calcular la cinemática del brazo, solo se necesita trigonometría y álgebra básica.

Para el ejemplo del brazo robótico, calculamos la ubicación del actuador final determinando ángulos articulares y longitudes de enlace. Para hacer más fácil la visualización, se agregan triángulos azules y etiquetas para los ángulos. (Fig. 4.31):

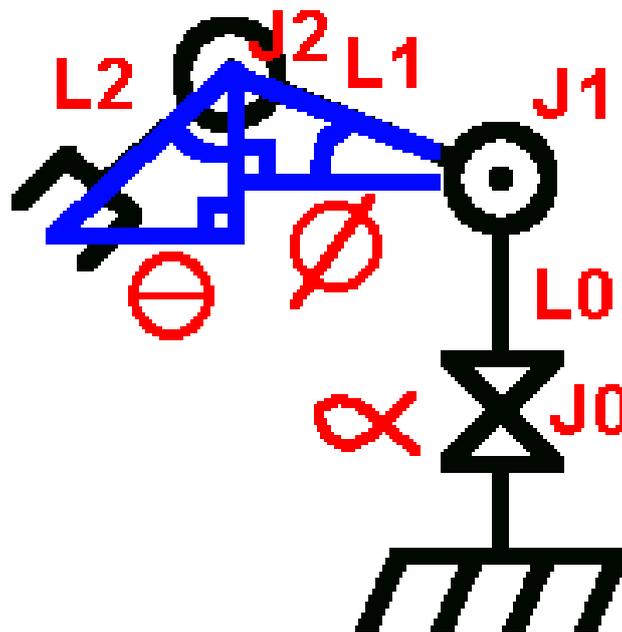


Fig. 4.31 Ejemplo del cálculo de orientación y posición final del brazo de ejemplo.

Suponiendo que la base se encuentra en $x = 0$ e $y = 0$, el primer paso sería localizar x e y de cada articulación.

J0 = Joint 0 (con x e y en la base igual a 0):

- $x_0 = 0$
- $y_0 = L_0$

J1 = Joint 1 (con x e y en la J1 igual a 0):

- $\cos(\phi) = x_1/L_1 \Rightarrow x_1 = L_1 \cdot \cos(\phi)$
- $\sin(\phi) = y_1/L_1 \Rightarrow y_1 = L_1 \cdot \sin(\phi)$

J2 Joint 2 (con x e y en J2 igual a 0):

- $\sin(\theta) = x_2/L_2 \Rightarrow x_2 = L_2 \cdot \sin(\theta)$
- $\cos(\theta) = y_2/L_2 \Rightarrow y_2 = L_2 \cdot \cos(\theta)$

Ubicación final del actuador (asegurándose que los signos son correctos):

- $x_0+x_1+x_2$, ó $0 + L_1 \cdot \cos(\phi) + L_2 \cdot \sin(\theta)$
- $y_0+y_1+y_2$, ó $L_0 + L_1 \cdot \sin(\phi) + L_2 \cdot \cos(\theta)$
- z es igual a α , en coordenadas cilíndricas

El ángulo del actuador final, en este ejemplo, es igual a $\theta + \phi$.

Por cierto, en la misma hoja de cálculo utilizada para calcular el par torque de fuerzas, también es posible calcular esta cinemática directa en la hoja electrónica de cálculo "Robot-arm-designer.xlsx" y se encuentra en el CD "Robótica para todos MT-7" adjunto a este trabajo.

A continuación muestro las tres aplicaciones de esta hoja de cálculo, que traduje al español y regrese a la "Society of Robots – SOR" para que la ponga a disposición del su público de habla hispana.

Podemos observar en la fig. 4.32 para Cálculo de fuerza y torque. En la fig. 4.33 para Cinemática directa. Y en la fig. 4.33 para cinemática inversa.

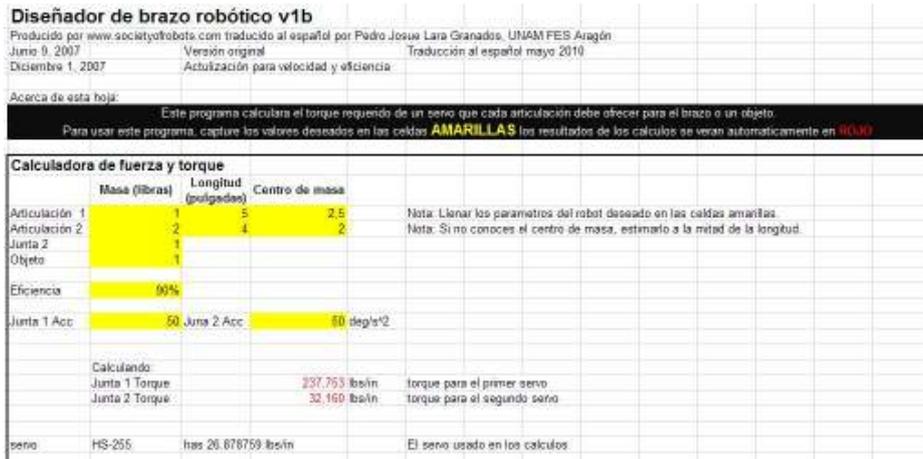


Fig. 4.32 Hoja de cálculo para Cálculos del diseño de brazos robóticos. Fuerza y torque. www.societyofrobots.com

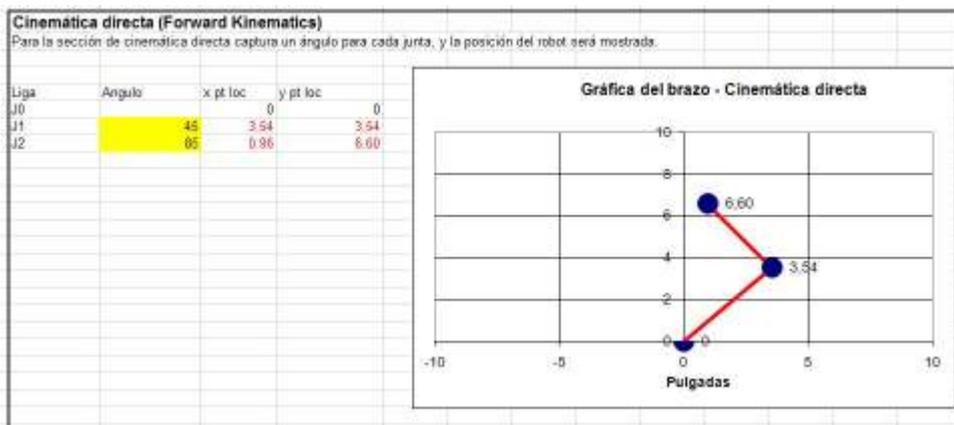


Fig. 4.33 Hoja de cálculo para Cálculos del diseño de brazos robóticos. Cinemática directa. www.societyofrobots.com



Fig. 4.34 Hoja de cálculo para Cálculos del diseño de brazos robóticos. Cinemática inversa. www.societyofrobots.com

Fantástica hoja de cálculo que permite resolver las ecuaciones relacionadas de una manera fácil y rápida, y podemos aplicarla a cualquier diseño robótico, sin embargo, recomiendo ampliamente realizar un estudio más profundo para entender el proceso matemático de diseño.

Cinemática inversa.

Al contrario de la cinemática directa, en este caso primero decidimos donde queremos que se encuentre el actuador final (Grip), y a partir de ese estado se definen los movimientos a realizar, desde una posición inicial establecida para lograrlo.

Por supuesto que la cinemática inversa presenta una mejor manera de control, sin embargo, al mismo tiempo presenta un proceso matemático mucho más complejo para lograr el resultado.

El modelado matemático que permite la cinemática inversa es útil, pero presenta complicaciones e incluso imposibilidades. Por ejemplo, para resolver una trayectoria se pueden presentar un número muy grande de soluciones posibles, que tiende a infinito, y que un buen algoritmo debe reducir a la mejor trayectoria posible, esto nos lleva a ecuaciones lineales no-simultaneas. Incluso se presentará tarde o temprano el caso de cero soluciones a ciertos movimientos, debido a aceleraciones imposibles de lograr con nuestro brazo, pero que matemáticamente son posibles, o a lugares que estén dentro del área de trabajo, pero que igualmente son matemáticamente posibles.

Todo lo anterior debe ser resuelto por el algoritmo de control del robot, ya sea un programa que obtiene datos desde sensores o bien un ser humano usando el control directo del brazo robótico, y que en ambos casos deberán pasar por un circuito integrado microcontrolador que procese los movimientos, y que podría tardar una eternidad en calcularlos.

En la hoja de cálculo ya mencionada "Robot-arm-designer.xlsx", que se encuentra en el CD "Robótica para todos MT-7" adjunto a este trabajo, podremos también aprender el cálculo básico del movimiento en cinemática inversa del ejemplo, y de ahí proyectarlo a nuestros diseños.

Para realizar un diseño en 3d avanzado y con una realidad sorprendente, contamos con el 3d Studio Max ® de la empresa Autodesk Media & entertainment Inc. Aunque tiene un costo bastante elevado, es una buena inversión.

Pero este trabajo de investigación pretende entregar un conjunto de herramientas accesibles a los estudiantes, así que para el modelado, propongo al software libre BLENDER⁶⁴ que es una herramienta poderosa para el modelado, aunque su problema

es que tiene una curva de aprendizaje un tanto larga en comparación con los programas de modelado de cinemática inversa comerciales. Cuenta con todas las herramientas y se logran modelar completamente los movimientos de cualquier brazo robótico que sea físicamente posible.

Otras singularidades en el diseño.

También debemos tomar en cuenta que los movimientos se ven afectados por un factor que regularmente pasamos por alto: la fuerza de gravedad. Aún en organizaciones tan avanzadas como la NASA han cometido este error, por ejemplo cuando colocan el lente del telescopio Hubble, se dan cuenta que lo diseñaron en la tierra, pero que en el espacio ya libre de la fuerza de gravedad terrestre, se deformó, generando una especie de “miopía” que tuvo que ser corregida en misiones espaciales posteriores. A un altísimo costo. **Por lo que la fuerza de gravedad es un factor a tomar en cuenta siempre.**

Otro problema común es el par torque, la fuerza del motor. Si es demasiado justa al mínimo necesario para el movimiento, lo más probable es que no sea la suficiente y por mas finamente que se haya logrado el diseño y los cálculos, simplemente el movimiento nunca será fluido, se recomienda dar un porcentaje de sobre fuerza, para asegurar la fluidez y libertad de movimientos.

La velocidad del movimiento.

La velocidad de cada articulación requiere del “Cálculo de movimiento de masas en tres dimensiones”, es decir, la matriz jacobiana inversa, un conjunto de matrices que formarán un complejo sistema a resolver. O bien usar las herramientas de modelado cinemático ya descritas en este trabajo, en el tema inmediato anterior como 3d Studio Max® ó BLENDER®.

El cálculo del jacobiano necesita una explicación mucho más amplia que la que permite este trabajo de investigación. Existen un sinnúmero de libros y sitios web dedicados a este respecto, entre estos, me parece que el libro de Robótica⁶⁵ de John C. Craig es de los mejores por su didáctica y accesibilidad. En el proyecto de e-books de google⁶⁶ es posible consultar esta obra, en caso de no contar con ella en la biblioteca de tu lugar de estudio.

El brazo suelto (flojo) - Análisis de elementos finitos.

Un problema difícil de detectar durante el diseño, pero muy fácil de notar cuando el robot está construido. Un brazo demasiado largo o pesado, provocará el efecto de brazo suelto, cabeceos innecesarios, pérdidas, nunca lograr la posición planeada. Para evitar este problema siempre pensemos en materiales resistentes y una buena estructura, para brazos más complejos o que requieren mayor precisión, debemos aplicar un análisis de elementos finitos⁶⁷, el software SolidWorks⁶⁸ es ideal para estos cálculos y diseños, de flexión, deflexión, dureza, rigidez, alcances y duración de mecanismos, podemos observar un ejemplo del uso de este software en la fig. 4.35:

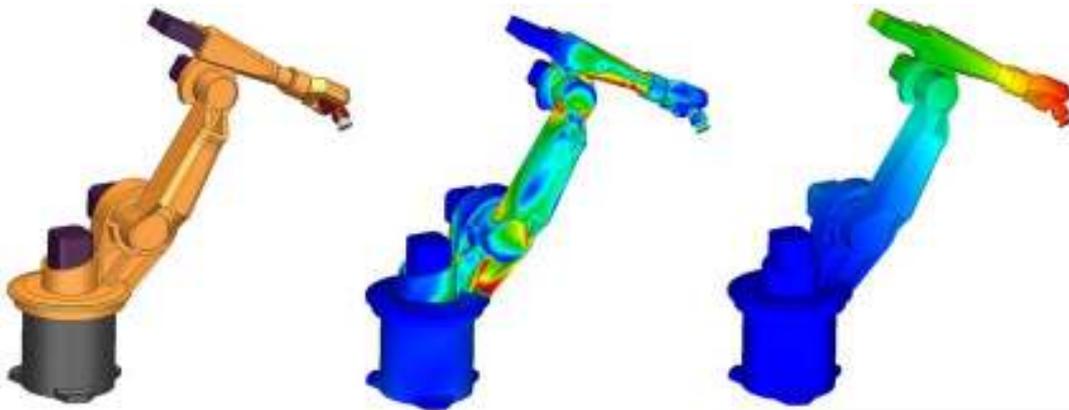


Fig. 4.35 Análisis de elementos finitos en SolidWorks®

4.4.2.1 Etapa mecánica

Para la construcción del mini robot “Brazo manipulador” usaremos las mismas etapas propuestas en el primer capítulo, dentro del marco del método científico experimental.

La idea es construir un modelo sencillo capaz de manipular piezas de madera, para poder colocarlas en una caja, controlado por el usuario, con cuatro movimientos principales: base, hombro, codo, muñeca, y el movimiento del grip (pinza), lo que suma un total de cinco grados de libertad.

El modelo propuesto, servirá como base para posteriormente proponer una solución al problema planteado en el nacional de mini robótica: Seleccionar piezas de color negro y gris de una en una, para colocarlas en la caja que les corresponda, en el menor tiempo posible y siguiendo las reglas establecidas. Aclarando que esta es una primera aproximación y que el estudiante deberá desarrollar el diseño con control automatizado.

En la fig. 4.36 podemos observar el objetivo a construir:

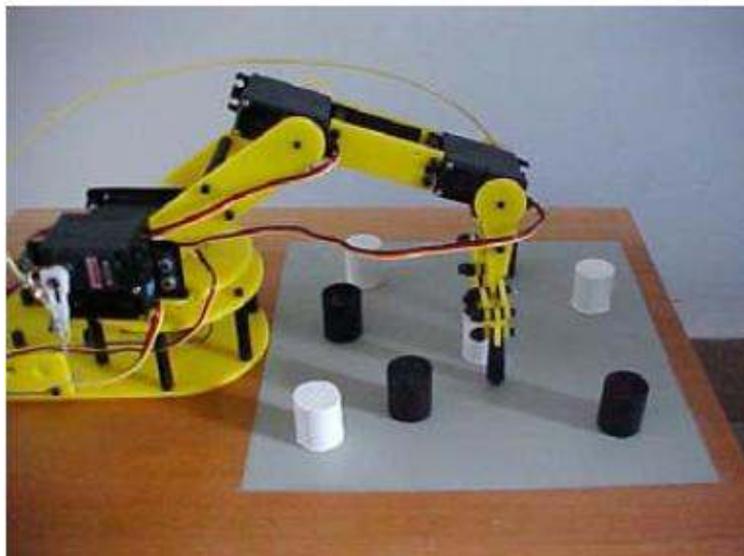


Fig. 4.36 Vista lateral del brazo manipulador

Para construirlo, utilizaremos placas de Sintra con cortes basados en el diseño y medida de la estructura calculada (también podría usarse acrílico cortado a medida), tornillería allen de cabeza hexagonal para darle precisión y firmeza a las estructuras, y servomotores para darle fuerza y control.

Grados de libertad.

En el esquema de la fig. 4.37 se presenta el diagrama de cuerpo libre que representa los movimientos básicos del brazo, es decir, sus cinco grados de libertad:

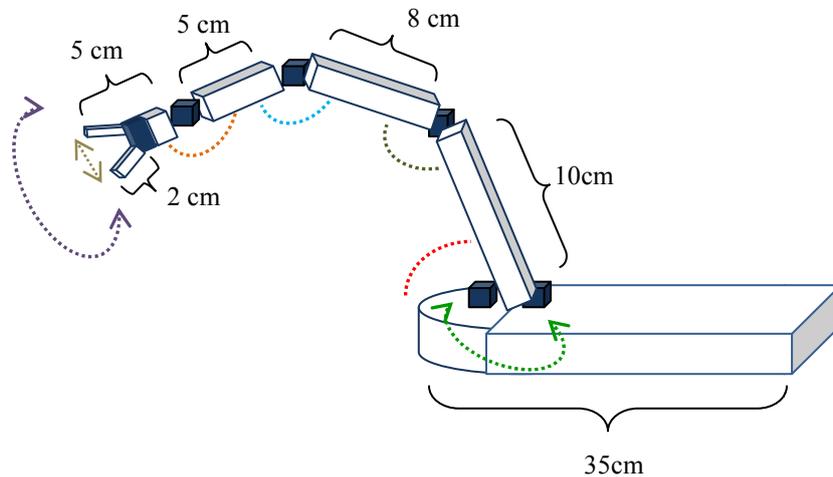


Fig. 4.37 Vista lateral del brazo manipulador

Las cajas azules representan los 6 servomotores que se utilizarán en este proyecto. Las líneas punteadas representan los movimientos que realiza cada servomotor, según la tabla 4.1

Servomotor	Dirección	Acción
1 Base		De 0° a 180° y viceversa (Rotatorio Horizontal)
2 Hombro		De 0° a 90° y vicsersa (Extensión Vertical)
3 Codo 1		De 20° a 180° y viceversa (Extensión Vertical)
4 Codo 2		De 0° a 180° y viceversa (Extensión Vertical)
5 Muñeca		De 0° a 270° y viceversa (Rotatorio en el ángulo que se encuentre)
6 Grip (Pinza)		De 0 a 3 cm y viceversa. Movimiento lineal

Tabla 4.1 Acciones de los servomotores.

En la **base**, requerimos un movimiento de 180° para que el brazo pueda tomar la pieza y llevarla a la caja correspondiente, como podemos observar en la fig. 4.38

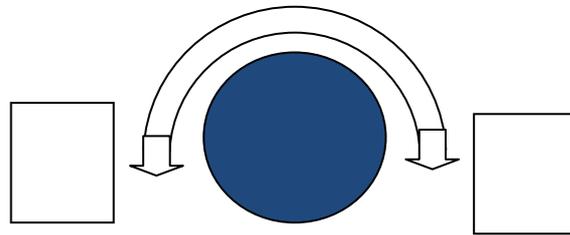


Fig. 4.38 Vista superior del brazo manipulador, giro a 180°

La propuesta para el diseño de la base, está en la fig. 4.39:

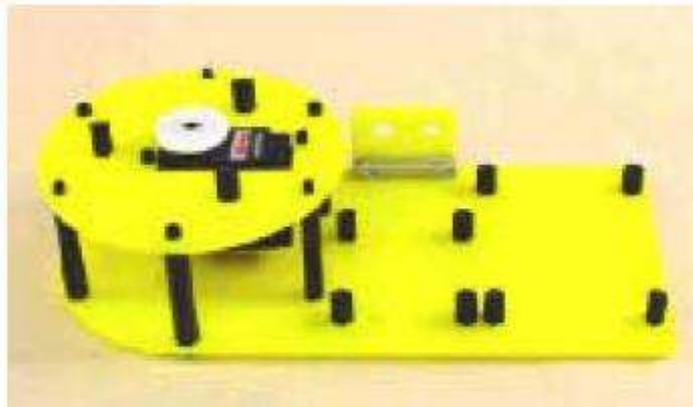


Fig. 4.39 Vista del diseño de la base del brazo.

Las dimensiones de la base deberán establecerse en base a los servomotores seleccionados para resolver el problema. En este caso se utilizaron servomotores de la marca Hi-tec, que posteriormente serán revisados a mayor detalle.

Propuesta para el diseño para el **brazo**, en la fig. 4.40:

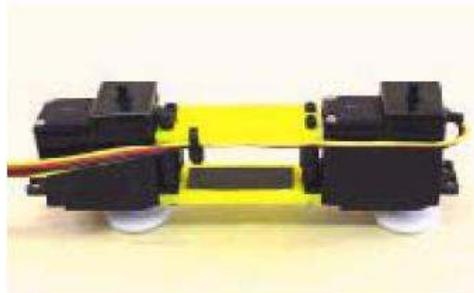


Fig. 4.40 Propuesta para brazo.

Propuesta para unión **hombro-codos-muñeca**, en la fig. 4.41:

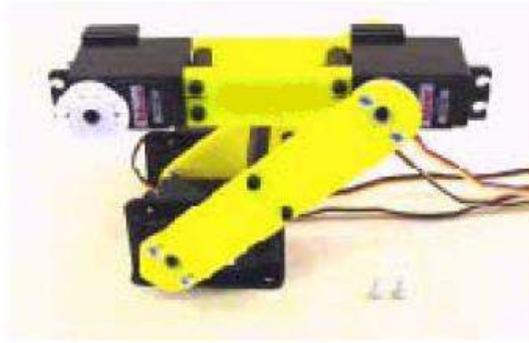


Fig. 4.41 Propuesta para hombro-codos-muñeca.

Finalmente, se coloca el grip (pinza) en la muñeca, como se ve en la fig. 4.42:

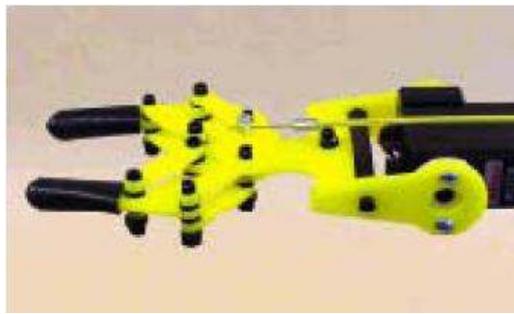


Fig. 4.42 Grip sujeto a la muñeca.

Finalmente, tendremos nuestro brazo manipulador como se muestra en la fig. 4.43:

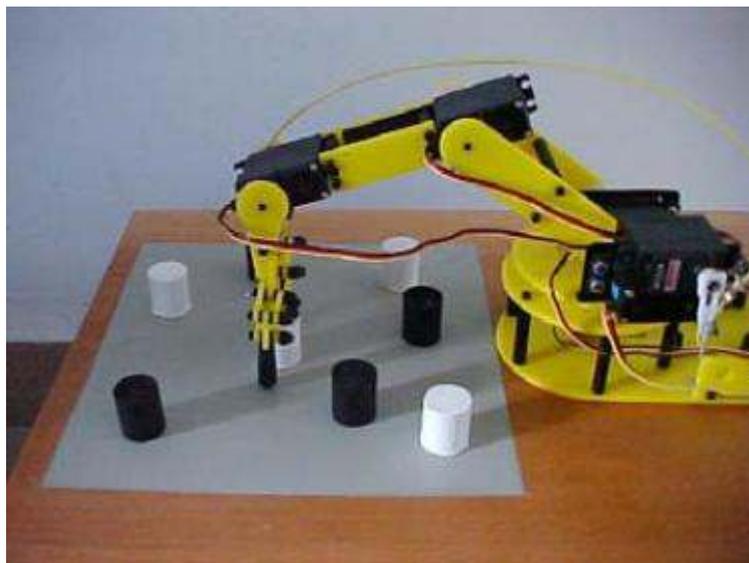


Fig. 4.43 Brazo manipulador terminado.

4.4.2.2 Etapa electrónica y de control

Este proyecto de mini robot, utiliza servomotores, así que realizaremos un análisis del uso y comportamiento de estos actuadores.

Servomotor.

Un servomotor⁷³ es un dispositivo actuador que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y de mantenerse estable en dicha posición. Está formado por un motor de corriente continua, una caja reductora y un circuito de control, y su margen de funcionamiento generalmente es de menos de una vuelta completa, ver fig. 4.44.



Fig. 4.44 Servomotor marca Hi-Tec

Los servos de modelismo se utilizan frecuentemente en sistemas de radiocontrol y en robótica, aunque su uso no está limitado a solo estos dispositivos.

Estructura interna y funcionamiento.

El componente principal de un servo es un motor de corriente continua, que realiza la función de actuador en el dispositivo: al aplicarse un voltaje entre sus dos terminales, el motor gira en un sentido a alta velocidad, pero produciendo un bajo par. Para aumentar el par del dispositivo, se utiliza una caja reductora, que transforma gran parte de la velocidad de giro en torsión. Esquema interno del servomotor en la fig. 4.45

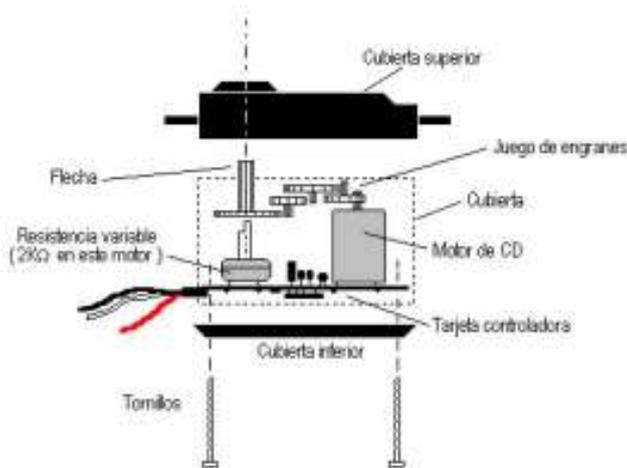


Fig. 4.45 Esquema del servomotor.

Control de posición.

El dispositivo utiliza un circuito de control para realizar la ubicación del motor en un punto, consistente en un controlador proporcional.

Diagrama del circuito de control implementado en un servo, (ver fig. 4.46). La línea punteada indica un acople mecánico, mientras que las líneas continuas indican conexión eléctrica.

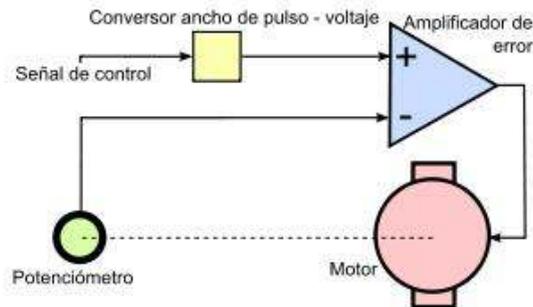


Fig. 4.46 Diagrama de control del servo

El punto de referencia o setpoint —que es el valor de posición deseada para el motor— se indica mediante una señal de control cuadrada. El ancho de pulso de la señal indica el ángulo de posición: una señal con pulsos más anchos (es decir, de mayor duración) ubicará al motor en un ángulo mayor, y viceversa.

Inicialmente, un amplificador de error calcula el valor del error de posición, que es la diferencia entre la referencia y la posición en que se encuentra el motor. Un error de posición mayor significa que hay una diferencia mayor entre el valor deseado y el existente, de modo que el motor deberá rotar más rápido para alcanzarlo; uno menor, significa que la posición del motor está cerca de la deseada por el usuario, así que el motor tendrá que rotar más lentamente. Si el servo se encuentra en la posición deseada, el error será cero, y no habrá movimiento.

Para que el amplificador de error pueda calcular el error de posición, debe restar dos valores de voltaje analógicos. La señal de control PWM se convierte entonces en un valor analógico de voltaje, mediante un convertidor de ancho de pulso a voltaje. El valor de la posición del motor se obtiene usando un potenciómetro de realimentación acoplado mecánicamente a la caja reductora del eje del motor: cuando el motor rote, el potenciómetro también lo hará, variando el voltaje que se introduce al amplificador de error.

Una vez que se ha obtenido el error de posición, éste se amplifica con una ganancia, y posteriormente se aplica a los terminales del motor.

Funcionamiento del servo. Control PWM.

La modulación por anchura de pulso, PWM (Pulse Width Modulation), es una de los sistemas más empleados para el control de servos. Este sistema consiste en generar una onda cuadrada en la que se varía el tiempo que el pulso está a nivel alto, manteniendo el mismo período (normalmente), con el objetivo de modificar la posición del servo según se desee. En la fig. 4.47 podemos observar el tren de pulsos correspondiente a cada estado de control del servomotor:

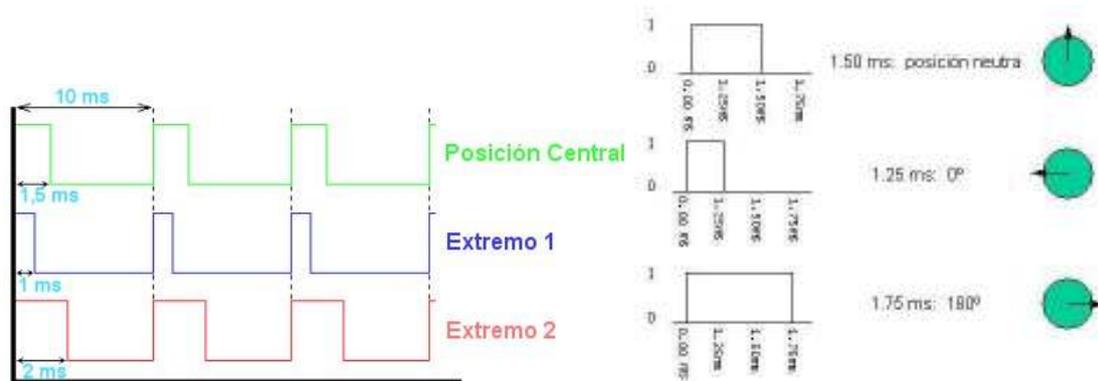


Fig. 4.47 Estado de control del servomotor.

Para la generación de una onda PWM en un microcontrolador, lo más habitual es usar un timer y un comparador (interrupciones asociadas), de modo que el microcontrolador quede libre para realizar otras tareas, y la generación de la señal sea automática y más efectiva. El mecanismo consiste en programar el timer con el ancho del pulso (el período de la señal) y al comparador con el valor de duración del pulso a nivel alto. Cuando se produce una interrupción de overflow del timer, la subrutina de interrupción debe poner la señal PWM a nivel alto y cuando se produzca la interrupción del comparador, ésta debe poner la señal PWM a nivel bajo. En la actualidad, muchos microcontroladores, como el 68HC08, disponen de hardware específico para realizar esta tarea, eso sí, consumiendo los recursos antes mencionados (timer y comparador).

El sistema de control de un servo se limita a indicar en qué posición se debe situar. Esto se lleva a cabo mediante una serie de pulsos tal que la duración del pulso indica el ángulo de giro del motor. Cada servo tiene sus márgenes de operación, que se corresponden con el ancho del pulso máximo y mínimo que el servo entiende. Los valores más generales se corresponden con pulsos de entre 1 ms y 2 ms de anchura, que dejarían al motor en ambos extremos (0° y 180°). El valor 1.5 ms indicaría la

posición central o neutra (90°), mientras que otros valores del pulso lo dejan en posiciones intermedias. Estos valores suelen ser los recomendados, sin embargo, es posible emplear pulsos menores de 1 ms o mayores de 2 ms, pudiéndose conseguir ángulos mayores de 180°. Si se sobrepasan los límites de movimiento del servo, éste comenzará a emitir un zumbido, indicando que se debe cambiar la longitud del pulso. El factor limitante es el tope del potenciómetro y los límites mecánicos constructivos.

El período entre pulso y pulso (tiempo de OFF) no es crítico, e incluso puede ser distinto entre uno y otro pulso. Se suelen emplear valores ~ 20 ms (entre 10 ms y 30 ms). Si el intervalo entre pulso y pulso es inferior al mínimo, puede interferir con la temporización interna del servo, causando un zumbido, y la vibración del eje de salida. Si es mayor que el máximo, entonces el servo pasará a estado dormido entre pulsos. Esto provoca que se mueva con intervalos pequeños.

Es importante destacar que para que un servo se mantenga en la misma posición durante un cierto tiempo, es necesario enviarle continuamente el pulso correspondiente. De este modo, si existe alguna fuerza que le obligue a abandonar esta posición, intentará resistirse. Si se deja de enviar pulsos (o el intervalo entre pulsos es mayor que el máximo) entonces el servo perderá fuerza y dejará de intentar mantener su posición, de modo que cualquier fuerza externa podría desplazarlo.

Circuito driver del Servo.

Este circuito se alimenta con una fuente variable de 4v a 8v con 2500mAh, pero para cada tipo de servomotores se deberá calcular su propia fuente de alimentación, el circuito no cambiará, solo los valores de operación. Puede usarse para probar con servomotores, para verificar que funcionan, o para conectarlos a un robot. El potenciómetro P1, controla la posición de cada servomotor.

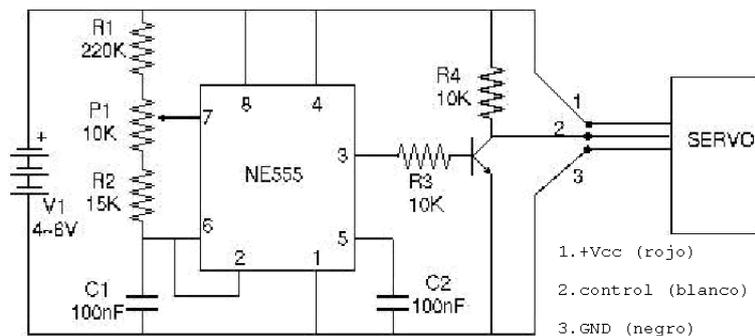


Fig. 4.48 Circuito driver de pruebas para servomotor.

Posteriormente se deben encontrar los pulsos requeridos con un osciloscopio para programarlo en un microcontrolador, y desarrollar el sistema de control, según la tarea propuesta.

A continuación en la fig. 4.49 se presenta el esquema completo de control manual para realizar las pruebas de comportamiento, cada caja contiene un circuito que controla un servomotor:

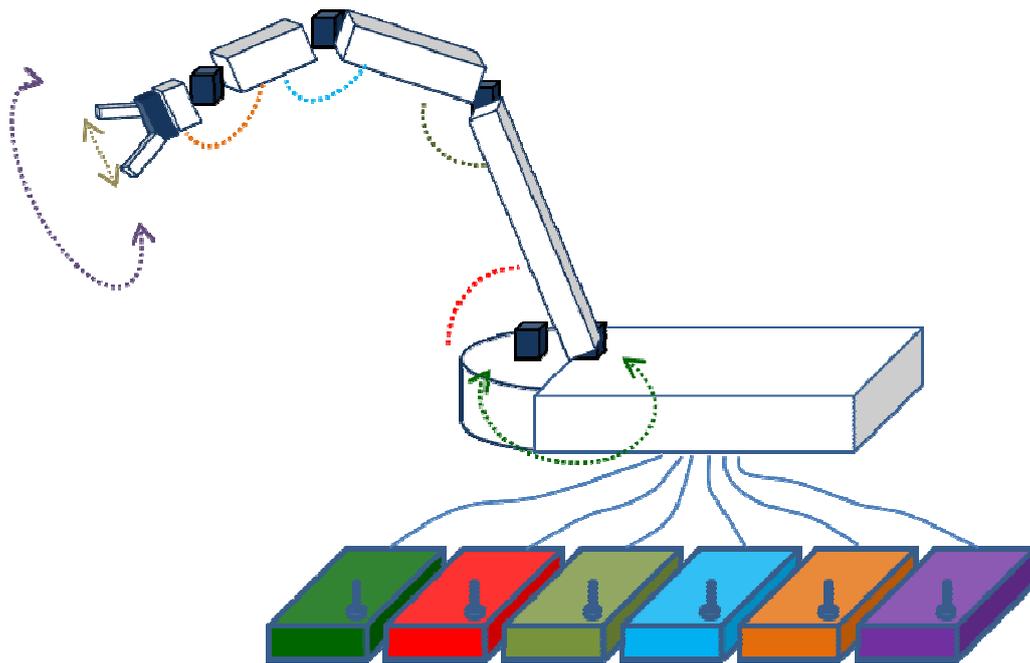


Fig. 4.49 Drivers de control manual con potenciómetro para cada servomotor.

4.4.2.3 Sugerencias para sensado

El uso de sensores para el robot es una excelente idea, sea como sea el control que se le aplique, sensores de fin de carrera, encoders, sensores de movimiento, de rotación, sensores de fuerza y fricción para el grip, cámara de video para la libre circulación, es decir, los sensores le darán al brazo robótico la posibilidad de interactuar con el mundo de mucho mejor manera. Aunque si, el diseño de los sistemas electrónicos para aprovechar los sensores aumentará el trabajo, pero también el aprendizaje, las habilidades y capacidades del estudiante de ingeniería.

Haptic de detección.

Recepción sensorial por la piel, extremidades humanas, o simulación de extremidades humanas.

La industria nos lleva al Haptic de detección a pasos agigantados, hoy podemos tener en casa controles Haptic en las consolas de videojuegos, En la industria este tipo de joystick son muy utilizados: La medicina, los brazos robóticos espaciales, la investigación submarina, la nanotecnología, se han visto beneficiadas por las facilidades que ofrece este tipo de tecnología de control. La tele-operación de brazos robóticos se facilita cuando el control Haptic genera una respuesta sensorial a los dedos, oponiendo una fuerza al movimiento, o generando vibraciones, o cualquier movimiento o sensación que nuestra imaginación nos permita. Podemos observar un ejemplo del Haptic aplicado a la manipulación de objetos en la fig. 4.50:

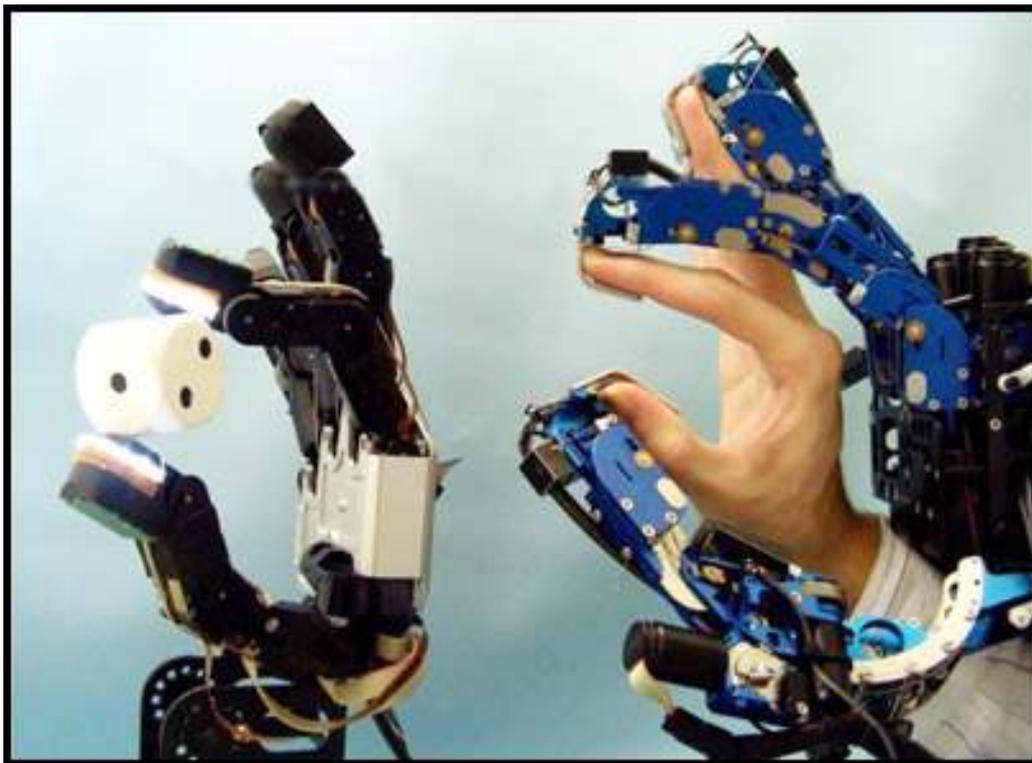


Fig. 4.50 Haptic de control y percepción, diseño.
<http://www.mechatronictips.com>

4.4.2.4 Sugerencias para control

Como ya hemos visto en el capítulo tres, existen diversos medios para controlar al mini robot, a continuación se enlistan los más utilizados en la industria actualmente:

- Infrarrojos.
- Radio frecuencia.
- TCP/IP.
- Bluetooth.
- Sistemas Ópticos de control.
 - Ultra-Wideband (UWB) Near Field Communication (NFC).
 - Certified Wireless USB Near Field Magnetic .Communication.
 - Wi-Fi (IEEE 802.11) HiperLan.
 - WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access and IEEE 802.16) HIPERMAN.
 - WiBro (Wireless Broadband) 802.20.
 - Infrared (IrDA) Zigbee (IEEE 802.15.4).
- Control con sensores.
- Control manual.
- Control con secuencias programadas (Micro controladores).

Y dependerá de las necesidades del proyecto que sistema de control elegir, o bien, realizar una combinación entre los que permitan resolver el problema propuesto.

4.4.3 Resultados

El proyecto del mini robot “Brazo manipulador” resulta más complejo que los anteriores, requiere que el estudiante ya tenga bases en el diseño, la electrónica, la mecánica, conceptos de control, lo que lleva a una dificultad de construcción y puesta en marcha, al mismo tiempo es un gran reto al ingenio, creatividad y capacidad, esto me ha llevado a una mínima cantidad de brazos robóticos construidos, pero los que se han logrado, son bastante eficientes y funcionales.

He notado que el análisis matemático es una limitante notable, no sólo por el hecho de que el estudiante de manera automática niega su base de conocimientos al respecto, sino porque además existe una real carencia. También existe la limitante del conocimiento relacionado con el uso del software de diseño para brazos robóticos.

Así el diseño, construcción y puesta en marcha del brazo robótico puede ser una herramienta en la evaluación del progreso del estudiante de ingeniería. Lograr que opere de manera correcta, con todas las etapas cubiertas, nos dará una idea clara de

la capacidad desarrollada. Coadyuvando en la formación profesional del ingeniero mecánico electricista.

Las competencias de brazos manipuladores en México son sumamente interesantes, las del Nacional de mini robótica han tenido grandes exponentes, tanto de universidades públicas como particulares. En el concurso de robots limpiadores terrestres y/o acuáticos de latas y pets, en las playas de Veracruz han logrado diseños interesantes y muy funcionales. Por su parte, los concursos de robots manipuladores de marca Lego® orientados a estudiantes de nivel medio superior que también cuentan con diseños creativos que resuelven los problemas propuestos.

El mini robot “Brazo manipulador”, es uno de los proyectos de robótica que más recursos, conocimientos y habilidades demanda, pero al mismo tiempo el resultado siempre es satisfactorio al observar que nuestro robot cumple su función.

CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación me ha permitido argumentar la afirmación de que la mini robótica es una alternativa práctica en la formación del ingeniero. Los proyectos desarrollados con estudiantes de diferentes niveles educativos me han permitido notar que a través del diseño y construcción de mini robots aprenden, estudian, investigan, desarrollan habilidades y competencias, con tal que logren el objetivo de que su robot funcione. He notado la dedicación, el interés y hasta la satisfacción que obtiene el estudiante, cuando logra su objetivo, cuando el mini robot hace lo que el imaginó.

En mi paso por las aulas de la FES Aragón, observé tanto con mis compañeros, como en lo personal, que al tener un objetivo claro, como la participación en un concurso de mini robótica, nos dedicábamos con entusiasmo a contar con un robot que cumpliera las reglas, incluso en proyectos de larga duración, como fue el caso del seguidor de línea, al que le dimos seguimiento durante tres años, hasta lograr ganar el concurso.

La construcción de los mini robots resulta apasionante, permite aplicar los conocimientos con que contamos y ampliarlos, aplicarlos en diversos niveles, generar habilidades y destrezas, desarrollar competencias efectivas para la formación académica y para la formación profesional, de una manera entretenida, didáctica, hasta emocionante y divertida.

El paradigma de “La atención del estudiante a la clase” siempre es un reto, y el profesor encuentra las herramientas para hacerle frente y lograr su objetivo de enseñanza – aprendizaje. Esta investigación es una herramienta que espero coadyuve en el proceso.

En México tenemos la fama de ser creativos, adaptativos, imaginativos, ingeniosos, y de hecho, es cierta, basta con asistir a cualquiera de las aulas de clase de cualquier escuela y notar que el binomio Profesor – Estudiante siempre está descubriendo las maravillas de la ciencia, de una u otra manera.

Ó al asistir a los concursos de robótica y observar qué con recursos limitados los estudiantes y profesores logran resultados más que sorprendentes.

En resumen, todos los que nos involucramos en el proceso de formación de ingenieros, debemos ser conscientes del enorme trabajo que tenemos por delante y

asumir cada uno de nosotros nuestra responsabilidad, sin esperar que alguien haga nada por nosotros, desde los niveles básicos, hasta los superiores, debemos lograr la formación integral de profesionales en nuestro querido país.

He tenido la maravillosa oportunidad de aplicar los diseños y construcción de estos robots con estudiantes de bachillerato y secundaria en nuestro país, logrando la participación entusiasta y decidida de los alumnos, y resultados significativos en concursos de ciencia, de robótica y física a nivel nacional.

La filosofía de la mini robótica BEAM es sumamente interesante y muy aplicable para el desarrollo de conocimientos electrónicos analógicos, diseño simple de mecanismos móviles, y resulta económica y rápida.

Es necesario profundizar en el tema de la mini robótica y la robótica, tanto para que los estudiantes y profesores cuenten con más herramientas, como para el desarrollo de aplicaciones para mejorar la vida del ser humano.

La parte matemática, que solo fue tratada superficialmente en esta investigación, es muy importante, por lo que también es necesario profundizar en esta área de la ciencia aplicada a la robótica.

Durante mis estudios de bachillerato en el Colegio de Ciencias y Humanidades, el físico Antonio Flores Gómez, mi profesor de física, nos dijo una frase con la que me sentí plenamente identificado, y he tratado de seguirla, inculcarla y transmitirla:

Hagamos de la ciencia y la tecnología parte de la cultura del mexicano.

ANEXOS

1. **Circuitos integrados (Todas las hojas de datos están en el CD).**
 - 1.1. CNY70 [En www.robodacta.com].
 - 1.2. QRD1114 [En www.robodacta.com].
 - 1.3. LM358 [En www.robodacta.com].
 - 1.4. Puente "H" (L293d o SN754410NE) [En www.robodacta.com].
 - 1.5. Microchip Technology® PIC [En <http://www.agelectronica.com/>]. PIC16F84A y PIC16F627A
 - 1.6. Optoacoplador 4N33 [En <http://www.agelectronica.com/>].
 - 1.7. NE555 [En <http://www.agelectronica.com/>].
2. **Listado de materiales y productos.**
 - 2.1. Sintra [En www.robodacta.com].
 - 2.2. Moto reductores Gorilla [En www.robodacta.com].
 - 2.3. Tipos de LED [En <http://www.agelectronica.com/>] y [En www.robodacta.com].
 - 2.4. Llantas [En www.robodacta.com].
 - 2.5. Pilas (Baterías) [En <http://www.steren.com.mx/pilas-recargables/>].
 - 2.6. Control remoto universal [En <http://www.electronicaestudio.com/index.htm>].
 - 2.7. Módulo Infrarrojo de 8 salidas [En <http://www.electronicaestudio.com/index.htm>].
 - 2.8. Emisor receptor rc [En www.robodacta.com].
 - 2.9. Cable plano [En <http://www.electronicaestudio.com/index.htm>].
 - 2.10. Conectores mol [En www.robodacta.com].
 - 2.11. ZIF (Por sus siglas en inglés Zero Insertion Force, Fuerza cero de inserción) [En <http://www.electronicaestudio.com/index.htm>].
3. **Concursos de robótica.**
 - 3.1. Concurso Nacional de Mini Robótica. IEEE Querétaro, anual. Internacional.
 - 3.2. CONCURSO DISTRITAL DE MINIROBOTICA. IPN DF, anual.
 - 3.3. Expo Robótica. Grupo Exporobótica empresas de robótica, anual.
 - 3.4. Torneo Mexicano de Robótica, IEEE, anual.
 - 3.5. Concurso Politécnico de Minirobótica, IPN, Anual.
 - 3.6. Guerra de Robots, IPN, anual.
 - 3.7. Concurso Mexicano de Robótica y Torneo Mexicano de Robots Limpiadores Terrestres y Acuáticos, Puebla, Veracruz, Anual.
 - 3.8. FIRST LEGO LEAGUE MÉXICO, Lego, Anual. Internacional.
 - 3.9. Congreso y concurso de Robótica, Cuernavaca, U. Fray Luca, anual.
 - 3.10. Congreso Nacional Interdisciplinario en Tecnologías Avanzadas, CYTEKNA, IPN, Anual.
 - 3.11. PUMABOTICA, UNAM, Esporádico.
4. **Contenido del Cd "Robótica para todos MT-7".**
 - 4.1. lo.dll [Archivo con librería para Input/Output en Windows a 32 bit].
 - 4.2. lo.bas [Archivo con programa para Input/Output en Windows a 32 bit].
 - 4.3. Programa "Sis-Con versión beta 01" con fuentes y ejecutable.
 - 4.4. Datasheet de todos los circuitos integrados.
 - 4.5. Mplab® [Software de instalación].
 - 4.6. Icpog® [Software de instalación].
 - 4.7. Programa grua-ochos.bas [Software de aplicación].
 - 4.8. gcgBasic y ayuda [Software de instalación].
 - 4.9. PBP® Demo [Software de instalación].
 - 4.10. Hoja de cálculo cálculos brazo robótico de society of robots .
 - 4.11. Materiales extras para robótica, electrónica y proyectos.
 - 4.12. Proyecto "Seguidor de luz" Robótica BEAM.
 - 4.13. Proyecto "Mini vibrobot" Robótica BEAM.
 - 4.14. Presentación para examen profesional en Power Point.
5. Los proyectos de mini robótica BEAM, se encuentran detallados en el CD Robótica para todos, con objetivos, proceso de construcción, materiales, y videos de ejemplo.

Bibliografía

- HENING, Whilhelm, Foto electrónica, Edit. Marcombo, España, 1979.
- MARKUS, John, Manual de circuitos electrónicos, Alfaomega, México, 1997.
- BHATTACHARYA, Pallob, Optoelectronic Devices Semiconductors, Edit. Prentice Hall, USA, 1994.
- HETCH, Eugene, Óptica, Addison Wesley, España, 2000.
- SERWAY, Raymond, Electricidad y magnetismo, Edit. McGraw Hill, México, 1999.
- SAMIR, Soliman, Señales y sistemas, Edit. Prentice Hall, España, 2000.
- ANGULO, Usategui, José María ; Angulo Martínez, Ignacio. Microcontroladores PIC. Diseño práctico de aplicaciones. 2ª edición. Editorial McGraw Hill. Madrid, 1999.
- HARTENBERG & DENAVIT, Richard and Jacques, Kinematic Synthesis of Linkages, McGraw-Hill, USA 1964.
- CRAIG, John, Robótica 3a ed., Prentice Hall, México, 2006.
- RUÍZ, Enrique, Robótica Pedagógica, construcción de proyectos, Grupo Editorial Iberoamérica, 2006.
- OLLERO Aníbal, Robótica manipuladores y robots móviles, Alfaomega, España, 2007.

Hemerografía

- PC MAGAZINE, Varios Editores, Mensual, México, Números Varios, ago-08, ene-09, dic-07.
- PC WORD, DIAZ Guillermo, “Robot tomará la batuta”, Mensual, México, Abr-08.
- PC WORD, PC-word-LA, “Ciencia e ingeniería”, Mensual, México, May-09.
- SERVO MAGAZINE, BERGERON Bryan, Varios números, Mensual, USA.
- SABER ELECTRÓNICA, TELLEZ, Carlos, “Mini Robótica, prototipos”, Mensual, Argentina, Agosto 2005.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS (PÁGINAS WEB) Y CITAS BLIBIOGRAFICAS

- 1.- <http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>
- 2.- <http://es.wikipedia.org/wiki/Ingeniería>
- 3.- <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Leonardo-Robot3.jpg>
Modelo de un robot basado en los diseños de Leonardo da Vinci.
Photo by Erik Möller.
Leonardo da Vinci. Mensch - Erfinder - Genie exhibit, Berlin 2005.
I, the copyright holder of this work, hereby release it into the public domain. This applies worldwide. In case this is not legally possible: I grant anyone the right to use this work for any purpose, without any conditions, unless such conditions are required by law.
- 4.- <http://www.oed.com/> (Tiene un costo de suscripción anual en dólares)
- 5.- <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/187549/engineering>
- 6.- <http://buscon.rae.es/>
http://buscon.rae.es/drael/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=ingenieria
- 7.- http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Robot_measurement.png
Author: H. Lettenbauer. Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License
- 8.- <http://es.wikipedia.org/wiki/Robotica>
- 9.- <http://www.britannica.com/>
- 10.- http://buscon.rae.es/drael/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=robotica
- 11.- Isaac Asimov, "I, Robot", New York: Doubleday & Company, 1950.
- 12.- http://www.dtic.mil/ndia/2006disruptive_tech/canning.pdf
- 13.-
http://www.oecd.org/document/12/0,3343,es_36288966_36287974_36316364_1_1_1_1,00.html
- 14.- <http://es.wikipedia.org/wiki/ASIMO>
- 15.- http://regrap.org/wiki/Main_Page
- 16.- <http://es.wikipedia.org/wiki/Laser>
- 17.- <http://sites.google.com/site/rapidgeneration/line-following-bot>
- 18.- <http://ieee.rutgers.edu/robotics/>
- 19.- OGATA, Katsuhiko, Ingeniería de control moderna, págs. 1-7, Editorial Prentice Hall 2007.
- 20.- http://buscon.rae.es/drael/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=control
- 21.- http://oxforddictionaries.com/view/entry/m_en_us1235733#m_en_us1235733
- 22.- BALCELS, Josep, Autómatas programables, Pág. 3, Editorial Alfaomega, España 1998
- 23.- http://es.wikipedia.org/wiki/Mando_a_distancia
- 24.- <http://www.wordreference.com/definicion/control>
- 25.- http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_infrarroja
- 26.- <http://www.irda.org/>
- 27.- <http://www.electronicaestudio.com/sensores.htm>
- 28.- <http://es.wikipedia.org/wiki/Radiocontrol>
- 29.- MANGILIT Joel, Secrets of nitro RC cars, Editorial rccarstips, USA, 2003.
- 30.- <http://www.futaba.com/products/irc/introduction/index.asp>
- 31.- http://es.wikipedia.org/wiki/Transmission_Control_Protocol
- 32.- <http://www.bluetooth.com/Spanish/Technology/Pages/default.aspx>
- 33.- BALCELS, Josep, Autómatas programables, Pág. 113, Editorial Alfaomega, España 1998
- 34.- CEBALLOS, Francisco Javier, "Visual Basic 6: Curso de programación", Editorial RA-MA, España 1999.
- 35.- <http://store.melabs.com/prod/software/PBP.html>
- 36.- <http://melabs.com/forms/DownDemo.php>

- 37.- <http://www.todopic.com.ar/>
- 38.- http://www.todopic.com.ar/pbp_sp.html
- 39.-
http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=1406&dDocName=en019469&part=SW007002#P171_5058
- 40.-
http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MPLAB_User_Guide_5151_9c.pdf
- 41.- <http://www.ic-prog.com/index1.htm>
- 42.- http://www.learobotics.com/proyectos/skypic/docs/conf_icprog.html#introduccion
- 43.- <http://gcbasic.sourceforge.net/>
- 44.- <http://gcbasic.sourceforge.net/download.html>
- 45.- <http://gcbasic.sourceforge.net/starting.html>
- 46.- <http://gcbasic.sourceforge.net/help/>
- 47.- <http://f-f-cch-v-unam.foroactivo.net/forum.htm>
- 48.- <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/comunicados/actbol.asp>
- 49.- <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/mx.html>
- 50.- http://es.wikipedia.org/wiki/Econom%C3%ADa_de_M%C3%A9xico#Industria
- 51.- <http://www.ifr.org/industrial-robots/>
- 52.- http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=15532
- 53.- <http://www.ifr.org/home/>
- 54.- <http://www.ifr.org/industrial-robots/statistics/>
- 56.- <http://en.wikipedia.org/wiki/Canadarm>
- 57.- <http://en.wikipedia.org/wiki/Canadarm2>
- 58.- http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science/newsid_5345000/5345856.stm
- 59.- <http://www.who.edu/page.do?pid=8421>
- 60.- http://es.wikipedia.org/wiki/PUMA_%28Robot%29
- 61.- http://en.wikipedia.org/wiki/Denavit-Hartenberg_Parameters
- 62.- <http://kmoddl.library.cornell.edu/>
- 63.-
http://translate.googleusercontent.com/translate_c?hl=es&langpair=en|es&u=http://www.societyofrobots.com/robot_arm_calculator.shtml&rurl=translate.google.com.mx&twu=1&usq=ALkJrhjGjbPt4-Vr6vyNlkKqWiNk9fQPdg
- 64.- <http://www.blender.org/>
- 65.- CRAIG, John, Robótica 3a edición, pág. 135, Prentice Hall, México, 2006
- 66.-
http://books.google.com.mx/books?id=hRzOp_qdxG8C&pg=PA135&lpg=PA135&dq=jacobiano+movimiento&source=bl&ots=fN8df4TH3m&sig=QoW1ZHpPISviJtes2wiv5oBMoRo&hl=es&ei=vx-UTMCZBoG-sQOxsPnACg&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=3&ved=0CB8Q6AEwAq#v=onepage&q=jacobiano%20movimiento&f=false
- 67.-
http://translate.googleusercontent.com/translate_c?hl=es&langpair=en|es&u=http://www.societyofrobots.com/mechanics_FEA.shtml&rurl=translate.google.com.mx&twu=1&usq=ALkJrhidEdTzErj_hUycG2bq5lYs7xAwGg
- 68.- <http://www.solidworks.com/>
- 69.- Clan de alebrijes robóticos, Grupo de trabajo de CCH Vallejo UNAM Bachillerato.
- 70.- Equipo de mini robótica FES Aragón 2003 – 2008.
- 71.- http://es.wikipedia.org/wiki/Project_Management_Institute
- 72.- TAMAYO, Ramón, “Guía ilustrada de la investigación experimental”, UNAM, CCH, Octubre 1998.
- 73.- http://es.wikipedia.org/wiki/Servomotor_de_modelismo