

APROVECHAMIENTO HOLÍSTICO DE LA MECATRÓNICA EN LOS PROCESOS DE MANUFACTURA INDUSTRIALES

Aguinaga, Álvaro Ph.D. Msc. Ing.
alvaro.aguinaga@epn.edu.ec.

Escuela Politécnica Nacional de Quito
Facultad de Ingeniería Mecánica

RESUMEN:

Una definición general de Mecatrónica es la integración sinérgica entre la ingeniería mecánica con la electrónica y sistemas computarizados de control inteligente en el diseño y manufactura de productos y procesos.

El holismo se define como el tratamiento de un tema que implica todos sus componentes, con sus relaciones. Se usa como una nueva solución a un problema. El holismo enfatiza la importancia del todo, que es más grande que la suma de las partes (sinergia), y da importancia a la interdependencia de éstas.

La hipótesis de la presente ponencia, es justamente, que la aplicación de la mecatrónica, en los procesos de manufactura industriales debe ser holística, considerando así a la mecatrónica como una filosofía o una forma de pensamiento, mas que una tecnología en si mismo.

En un mercado global y competitivo, las compañías necesitan contar con la habilidad de incrementar la competitividad de sus productos y sistemas mediante el uso de tecnología, y deben poder responder rápidamente y efectivamente a los cambios en el mercado. Las estrategias de la mecatrónica han demostrado ser efectivas para esto y para revitalizar productos y sistemas ya existentes, por esta razón la mecatrónica actualmente está considerada dentro de las diez tecnologías emergentes.

PALABRAS CLAVE: Mecatrónica, Cad, Cam, Cim, Automatización, Robótica.

1. DEFINICIÓN DE MECATRÓNICA(1,3,4):

Toda sociedad humana produce conocimiento y utiliza técnicas para resolver sus problemas. La ciencia es el conjunto de conocimientos obtenidos mediante la observación y el razonamiento, sistemáticamente estructurados y de los que se deducen principios y leyes generales. La ciencia básica o pura tiene carácter general y su objetivo es el conocimiento desinteresado del mundo y el ser humano, sin motivaciones prácticas. La ciencia aplicada tiene el objetivo de conocer al mundo para controlarlo. La definición sintetizada de la tecnología se plantea como la aplicación práctica de los conocimientos científicos y la experiencia para mejorar el nivel y la calidad de vida de los seres humanos.

La ingeniería es la profesión en la cual se aplican los conocimientos científicos y tecnológicos con la función principal de diseñar o desarrollar soluciones tecnológicas a necesidades sociales, industriales y económicas, esta aplicación debe ser realizada con criterio y conciencia en beneficio de la humanidad.

La ingeniería se ha desarrollado con el ser humano, desde que éste utilizó sus primeras herramientas talladas para su defensa, la cacería o en el encender fuego. El hombre empezó a desarrollar tecnologías para producir metales resistentes, arcos, vestimenta, arado. Posteriormente, además de sus propias herramientas, se sustituyó la fuerza del hombre por la fuerza animal, a partir del surgimiento del arado.

Una ruptura fundamental en el desarrollo de la ingeniería, con un profundo cambio tecnológico constituye la revolución industrial en que se substituye la fuerza muscular del hombre y los animales por máquinas, con las que se conforman industrias de manufactura de los más diversos productos. Con esta revolución industrial se posibilita la etapa de la mecanización, caracterizada por la producción en serie, el descubrimiento y uso de nuevas, para ese entonces, fuentes de energía, una revolución paralela en el desarrollo del transporte y la aplicación de la ciencia y la tecnología en el desarrollo de máquinas para mejorar los procesos productivos.

En esta etapa, las máquinas, en general, eran controladas manualmente por operadores, con algunos componentes o subsistemas automatizados con controles mecánicos, eléctricos, hidráulicos y/o neumáticos.

Después de la segunda guerra mundial se produce un increíble y vertiginoso desarrollo de la electrónica, informática y comunicaciones, con la consecuente utilización de estas tecnologías en las industrias de manufactura y los procesos de producción. Esta implementación, mejora ampliamente la productividad, incrementando la velocidad de producción y la calidad de los productos, disminuyendo los costos de fabricación y asegurando la seguridad industrial y sostenibilidad ambiental. Actualmente, las máquinas y los procesos industriales son en un alto porcentaje automatizados con controladores electrónicos y computarizados.

Es tan alto el impacto que ha tenido el uso de estas tecnologías, que está demostrado que la industria productiva que no alcanza niveles adecuados de automatización y utilización de estas tecnologías, no puede competir, en el mundo globalizado actual.

Estos adelantos científicos y tecnológicos han posibilitado el apareamiento de nuevas disciplinas como la automatización inteligente, integración CAD/CAM, fabricación flexible CIM, Robótica y otras que son agrupadas en la Mecatrónica, y que en la actualidad tienen una aplicación amplia e intensiva en diferentes campos del quehacer humano y en particular en los procesos industriales de manufactura.

El término "Mecatrónica" fue definido inicialmente en 1969 por ingeniero japonés de nombre Tetsuro Mori, en la compañía japonesa Yasakawa, como una combinación de "Meca" de la palabra mecanismo y "trónica" de la palabra electrónica.

Una definición general de Mecatrónica es la integración sinérgica entre la ingeniería mecánica con la electrónica y sistemas computarizados de control inteligente en el diseño y manufactura de productos y procesos.

Otra definición indica que la Mecatrónica es una disciplina integradora que utiliza las tecnologías de la mecánica, electrónica y tecnología de información para proveernos de productos, procesos y sistemas mejorados.

También se considera que la Mecatrónica sirve para la resolución de problemas industriales, científicos y tecnológicos de una manera integral, es decir utilizando un enfoque tecnológico integral.

La mecatrónica ofrece la oportunidad de ver los problemas de ingeniería de diseño y de producción desde una perspectiva diferente, donde los ingenieros mecánicos no se limitan a analizar y sintetizar un problema sólo en términos mecánicos, sino también en función de una gama de tecnologías: electrónica, control e informática, que no deben considerarse como partes agregadas al equipo sino adoptar un enfoque mecatrónico, es decir sistémico, integrador, sinérgico u holístico.

La Sinergia es la acción de dos o más causas cuyo efecto es superior a la suma de los efectos individuales, por lo que la Mecatrónica es mucho más que la suma de las tres disciplinas: mecánica, electrónica e informática por lo que es una buena forma de pensar en la Mecatrónica como el campo definido por la intersección de estas tres áreas, como se ve en la figura No. 1.

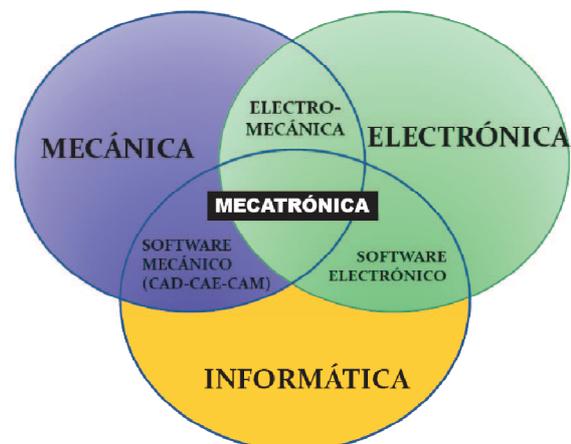


Figura No. 1: Definición de Mecatrónica

El holismo se define como el tratamiento de un tema que implica todos sus componentes, con sus relaciones. Se usa como una nueva solución a un problema. El holismo enfatiza la importancia del todo, que es más grande que la suma de las partes (sinergia), y da importancia a la interdependencia de éstas.

Holístico se utiliza como sinónimo de sistémico. Cuando se recomienda por ejemplo tener una visión holística significa que se deben ver las cosas completas "de manera integral", no en partes.

Desde temprana edad nos enseñan a simplificar un problema para facilitar el análisis y la solución del mismo, esta fragmentación del problema provoca que se pierda de vista de interrelación entre las partes y de totalidad de los sistemas, por lo que en la Mecatrónica se hace necesario destruir la ilusión de que los sistemas están compuestos por componentes separados, el abandonar esta ilusión posibilita diseñar y manejar sistemas inteligentes.

La hipótesis de la presente ponencia, es justamente, que la aplicación de la Mecatrónica, en los procesos de manufactura industriales debe ser holística, considerando así a la Mecatrónica como una filosofía o una forma de pensamiento, mas que una tecnología en si mismo.

Dentro de éste enfoque sistémico u holístico se han diseñado, desarrollado, instalado, controlado y estan en funcionamiento diferentes tipos de sistemas mecatrónicos (ver Figura No. 2) en los procesos de manufactura industriales: Automatización inteligente, sistemas CAD – CAM – CAE, integración CAD/CAM, manufactura o fabricación flexible CIM, robótica de manipuladores y móvil, sistemas que tienen incorporados inteligencia artificial y redes neuronales, etc.

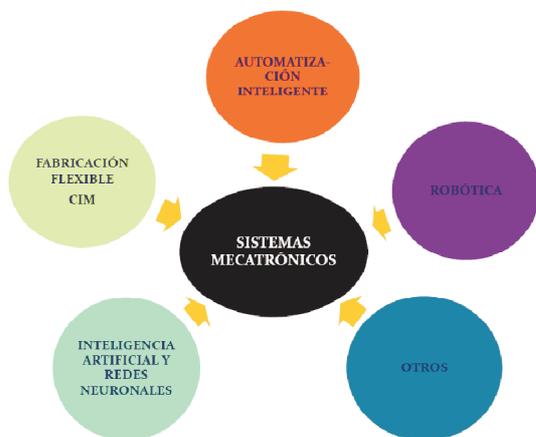


Figura No. 2: Sistemas Mecatrónicos

Generalmente un sistema o producto mecatrónico tiene las siguientes características:

- Eficiente.
- Bajo Costo.
- Preciso.
- Confiable.
- Flexible.
- Funcional.
- Mecánicamente menos complejo.

En un mercado global y competitivo, las compañías necesitan contar con la habilidad de incrementar la competitividad de sus productos y sistemas mediante el uso de tecnología, y deben poder responder rápidamente y efectivamente a los cambios en el mercado. Las estrategias de la Mecatrónica han demostrado ser efectivas para esto y para revitalizar productos y sistemas ya existentes, por esta razón la mecatrónica actualmente está considerada dentro de las diez tecnologías emergentes.

2. AUTOMATIZACIÓN INTELIGENTE(7):

Un sistema es un conjunto de elementos que interactúan para cumplir unos objetivos determinados. El control de un sistema actúa sobre el mismo para que este cumpla con sus objetivos. Los componentes principales del control son:

Sensores: Son dispositivos que establecen, detectan o sienten parámetros de los sistemas físicos y envían esta información a un controlador.

Controlador: Es el cerebro que además de almacenar información, recibe información de los sensores, procesa información y envía órdenes a los actuadores para que accionen sobre el sistema en vista a lograr que este logre sus objetivos.

Actuadores: Son dispositivos que reciben las órdenes por parte del controlador y accionan o actúan sobre un sistema para controlarlo.

Cuando no interviene un operador humano, sino son elementos artificiales los que efectúan el control, este se llama control automático y el sistema en general automatizado.

Es decir la relación entre el control de un sistema automatizado con la planta, proceso o sistema controlado, se da a través de los sensores y actuadores (ver Figura No. 3) los que son elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos

Los controladores actuales, como el caso del PLC, Controladores Lógicos Programables, son elementos electrónicos que además son programables. Sin embargo el nivel de los programas y en general del software de apoyo y recursos informáticos es limitado en estos componentes, puesto que el controlador se programa específicamente para cumplir con su función de recibir las señales de los sensores,

procesar la información y enviar órdenes a los actuadores o preactuadores.

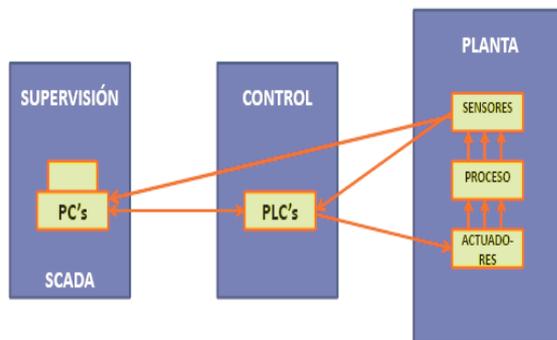


Figura No. 3: Automatización de una planta.

Sin embargo, el empleo de computadores y autómatas programables, como herramienta esencial para un control efectivo y mejor nivel de tratamiento de la información, es habitual en las plantas industriales modernas, así como la implantación de redes de comunicación internas, cumpliendo la llamada pirámide de automatización como la que se presenta en la figura No. 4.

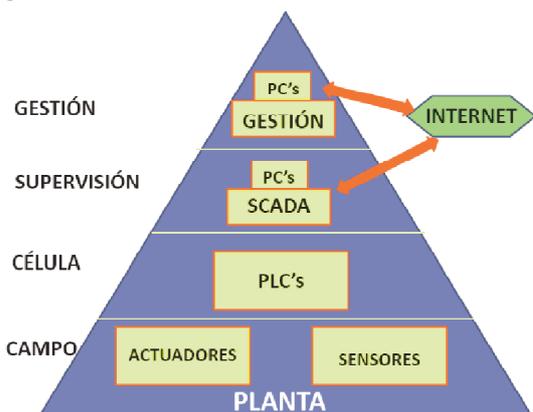


Figura No. 4: Pirámide de automatización.

En la parte inferior de la pirámide de automatización se encuentra la planta o el proceso industrial controlado con los respectivos sensores que detectan y miden los parámetros operativos y los actuadores que accionan sobre las entradas del proceso para controlarlo. Este nivel se lo conoce como Nivel de Campo. El siguiente nivel superior es el que le corresponde a los controladores como los PLC's, estos componentes son los que efectúan directamente la función de controlar el proceso. Como se indicó un PLC tiene un programa que partiendo de la lectura de las entradas, procesa la información y escribe los resultados del programa en las salidas que están conectadas a los actuadores o preactuadores. Este se lo conoce como Nivel de Célula. El siguiente nivel superior, llamado

Nivel de Supervisión, en el cuál están computadoras personales los llamados SCADA, que son sistemas de supervisión y adquisición de datos, supervisan a los controladores y efectúan un control indirecto enviando las consignas o referencias a los controladores para que estos puedan efectuar su función y, adicionalmente reciben los datos de los diferentes sensores del proceso, sensores que están detectando y transmitiendo los valores de las salidas del proceso.

Es importante recalcar que en el Nivel de Supervisión se usan PC's, lo que permite en este nivel la utilización de potente software de modelación y simulación, bases de datos industriales, programas de operación y mantenimiento, entre otros. También el uso de PC's, posibilita formas de comunicación inalámbrica como la celular y el internet, razones por las que un Director Técnico, por ejemplo puede monitorear la operación de un proceso e inclusive enviar consignas para los controladores a gran distancia.

El Nivel de Gestión, está en la cúspide de la pirámide, con el uso de Pc's comunicadas por red con el SCADA, posibilita dotar de la información necesaria para que los Directivos y alta gerencia de una industria puedan tomar adecuadamente sus decisiones. Esta información técnica además se entrega de tal manera y utilizando las interfaces amigables, para que un directivo que desconoce del área técnica pueda interpretar y comprender estos datos para utilizarlos en la gestión.

Como se puede concluir de esta sección, un sistema automatizado de una industria actualmente dispone de componentes mecánicos principalmente en la planta y los actuadores, elementos electrónicos en los controladores, sensores y actuadores; y, también dispone de componentes informáticos en los programas y software usados en los controladores en las PC's de SCADA y en las de gestión. Sin embargo, esto no los hace necesariamente sistemas mecatrónicos, de conformidad con la hipótesis que se está llevando en la presente ponencia, un sistema industrial automatizado será realmente un sistema mecatrónico si la concepción en la aplicación es holística, por ejemplo el programa del PLC o el sistema SCADA deberán responder a las verdaderas necesidades de funcionamiento del proceso y tener las prestaciones necesarias para llevar adelante una operación y mantenimiento efectivo y seguro.

3. FABRICACIÓN FLEXIBLE (CIM)(6):

Producir es un proceso de transformación por el que los materiales brutos se convierten en productos acabados, que tienen un valor en el mercado, con una combinación de mano de obra, maquinarias, herramientas especiales y energía.

La máquina herramienta ha jugado un papel fundamental en el desarrollo tecnológico del mundo hasta el punto que no es una exageración decir que la tasa del desarrollo de máquinas herramientas gobierna directamente la tasa del desarrollo industrial.

Dado el alto nivel de competitividad en el mercado nacional e internacional, las compañías necesitan abatir sus tiempos de diseño y manufactura. El control numérico se introdujo en los procesos de fabricación por la necesidad de fabricar productos que no se podían conseguir en cantidad y calidad suficientes sin recurrir a la automatización del proceso de fabricación, por la necesidad de obtener productos hasta entonces imposibles o muy difíciles de fabricar, por ser excesivamente complejos para ser controlados por un operador humano y por la necesidad de fabricar productos a precios suficientemente bajos.

Inicialmente, el factor predominante que condicionó todo automatismo fue el aumento de productividad. Posteriormente, debido a las nuevas necesidades de la industria aparecieron otros factores no menos importantes como la precisión, la rapidez y la flexibilidad.

La aplicación de los sistemas computacionales para el diseño y la manufactura han tenido un amplio desarrollo y se han extendido a diversos sectores productivos. El Control Numérico por Computadora (CNC) se obtiene describiendo las operaciones de la máquina en términos de los códigos especiales y de la geometría de formas de los componentes, creando archivos informáticos especializados o programas de piezas.

El CAD (Computer Aided Design), o diseño asistido por computador, permite al diseñador crear imágenes de partes, circuitos integrados, ensamblajes y modelos de prácticamente todo lo que se le ocurra en una estación gráfica conectada a un computador. Estas imágenes se transforman en la base de un nuevo diseño, o en la modificación de uno previamente existente. A éstas se le asignan propiedades

geométricas, cinéticas, del material entre otras, mejorando así el diseño sobre papel. Se logra así una mayor velocidad en el diseño, al existir la posibilidad de corregir, encargándose el computador de recalculer el dibujo. Existen sistemas CAD especiales para aplicaciones mecánicas, electrónicas y de arquitectura, los cuales permiten una mejor interrelación con sus respectivos sistemas CAE.

El CAE (Computer Aided Engineering), o ingeniería asistida por computador, es la tecnología que analiza un diseño y simula su operación para determinar su apego a las condiciones de diseño y sus capacidades. Hoy en día, CAE es casi dos tecnologías separadas: una es la aplicada a la mecánica y otra a la electrónica. Ambas realizan extensos análisis respecto de las leyes físicas, así como de los estándares de la industria. El CAE mecánico, en particular, incluye un análisis por elementos finitos (FEA, finite element analysis) para evaluar las características estructurales de una parte y programas avanzados de cinemática para estudiar los complejos movimientos de algunos mecanismos. El CAE electrónico, asimismo, permite verificar los diseños antes de fabricarlos, simular su uso y otros análisis técnicos para evitar perder tiempo y dinero.

CAM es el acrónimo de 'Computer Aided Manufacturing' o producción asistida por computadora. Se trata de la tecnología implicada en el uso de computadores para realizar tareas de: modelación geométrica, planificación, programación, inspección, ensamblado y embalaje de la producción. El término CAM se puede definir como el uso de sistemas informáticos para la planificación, gestión y control de las operaciones de una planta de fabricación mediante una interfaz directa o indirecta entre el sistema informático y los recursos de producción.

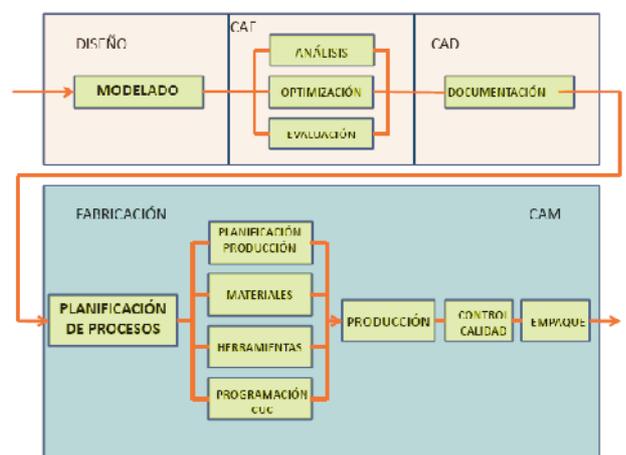


Figura No. 5: Ciclo del Producto.

CAD, CAM y CAE son tecnologías que tratan de automatizar computarizadamente y hacerlas más eficientes a las tareas más importantes del ciclo del de producto, como se puede observar en la Figura No. 5. Con estas tecnologías inteligentes se están consiguiendo cada vez más todos los beneficios potenciales de integrar las actividades de diseño y fabricación del ciclo de producto.

Computer Integrated Manufacturing (CIM) o manufactura integrada por computador es el lado de ésta que reconoce que los diferentes pasos en el desarrollo de productos manufacturados están interrelacionados y pueden ser ajustados de manera más eficiente y efectiva con el uso de computadores.

A pesar de que CIM implica integrar todos los pasos de un proceso de manufactura, en la práctica muchas compañías han logrado grandes beneficios al implementar sistemas CIM parciales, es decir, en solo algunas áreas de la empresa. De hecho, se cree que aún no existe ninguna empresa que haya logrado una integración total del sistema. Sin embargo, se sabe con certeza que ése es el próximo paso a seguir.

CIM incluye todas las actividades desde la percepción de la necesidad de un producto; la concepción, el diseño y el desarrollo del producto; también la producción, marketing y soporte del producto en uso. Toda acción envuelta en estas actividades usa datos, ya sean textuales, gráficos o numéricos. El computador, hoy en día la herramienta más importante en la manipulación de datos, ofrece la real posibilidad de integrar las ahora fragmentadas operaciones de manufactura en un sistema operativo único. Este acercamiento es lo que se denomina manufactura integrada por computador.

En el sistema CIM existen cinco dimensiones fundamentales:

- Administración general del negocio
- Definición del producto y del proceso
- Planificación y control del proceso
- Automatización de la fábrica
- Administración de las fuentes de información

Cada una de estas cinco dimensiones es un compuesto de otros procesos más específicos de manufactura, los cuales han demostrado una afinidad entre ellos. La primera dimensión rodea a las otras cuatro, y la quinta es el corazón del proceso. Respecto de esta última,

existen dos aspectos: el *intangible*, el cual es la información misma, y el *tangible*, el cual incluye los computadores, dispositivos de comunicación, etc.

La implementación de este sistema por parte de algunas empresas busca, por un lado, aumentar la productividad y, por otro, mejorar la calidad de los productos. Un reciente estudio aporta información sobre los beneficios que ha traído el CIM a empresas que lo han implementado.

Esta tecnología tiene el objetivo de aunar las islas de automatización computarizada conjuntándolas para que cooperen en un sistema único y eficiente. El CIM trata de usar una única base de datos que integre toda la información de la empresa y a partir de la cual se pueda realizar una gestión integral de todas las actividades de la misma, repercutiendo sobre todas las actividades de administración y gestión que se realicen en la empresa, además de las tareas de ingeniería propias del CAD y el CAM. Se dice que el CIM es más una filosofía de negocio que un sistema informático. Nuevamente y de conformidad con lo explicitado en este punto, estas tecnologías serán mecatrónicas, cuando su aplicación en los procesos industriales de fabricación sea integral u holística.

4. ROBÓTICA(5):

El escritor Karel Capek introduce la palabra "robot", que sale de la palabra checa robota, que significa trabajo pesado y repetitivo, en su novela llamada "Rossum's Universal Robots", esta novela describe una sociedad en la cual todo el trabajo es realizado por hombres mecánicos, al final los robots se rebelan y destruyen a sus creadores humanos.

El desarrollo de la industria de robots ha sido muy rápido, se habla de nuevos robots escaladores, submarinos y voladores. Las capacidades de las máquinas se incrementan rápidamente, nuevos y mejores robots son entregados al mercado cada año. Robots "inteligentes", capaces de relacionarse con su entorno, mediante el uso de realimentación sensorial, de aprender por si mismo y de tomar decisiones. Estos robots están dotados de "inteligencia artificial", tema respecto al cuál, se están en la actualidad realizando grandes esfuerzos en su investigación.

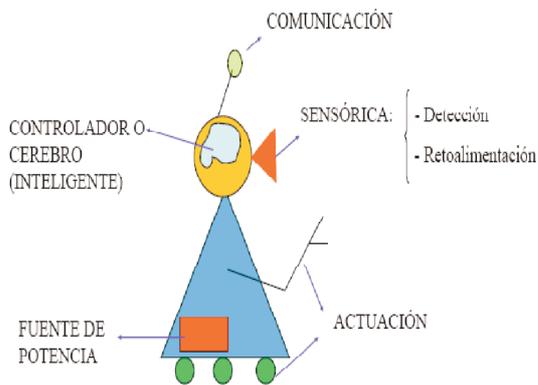


Figura No. 6: Componentes de un Robot

La concepción de la robótica en su sentido más amplio abarca en la actualidad a sistemas muy diversos que involucren: sensores, actuadores, control automático computarizado e "inteligentes" es decir con capacidad de relación con el entorno a través de retroalimentación sensorial, autoprogramación y toma de decisiones.

En sus aplicaciones industriales se definen dos vertientes de la robótica: la Robótica de Manipuladores y la Robótica Móvil.

El Robotics Institute of America define a un robot manipulador como reprogramable y multifuncional diseñado para mover materiales, partes, herramientas o dispositivos especializados a través de movimientos variables programados para la realización de múltiples tareas. Los robots industriales tienen características antropomórficas, es decir muy similares a un brazo humano distinguiéndose:

- Codo:** (Elbow) articulación.
- Hombro:** En que se pueden identificar las articulaciones hombro (Shoulder) y la articulación cintura (arm sweep).
- Muñeca:** En que se pueden distinguir tres articulaciones: balanceo (roll), cabeceo (pitch) y oscilación (yaw).

Adicionalmente se tiene el efector final, el cual es la mano del robot que le proporciona al robot varias posibilidades más de movimiento, en esta pueden encontrarse herramientas de producción unas tenazas o garras. Por el tipo de movimientos los robots manipuladores se clasifican en:

- Robot angular (Puma):** El hombro, cintura y codo tienen articulaciones rotatorias.
- Robot polar:** El hombro y la cintura tienen articulaciones rotatorias, la cintura rota en un plano horizontal y el hombro en un plano

vertical, perpendicular al primero. La otra articulación es prismática.

Robot cilíndrico: Este robot tiene la cintura como articulación rotatoria y las otras dos articulaciones son prismáticas.

Robot cartesiano: Las tres articulaciones son prismáticas.

Robot Scara: Es una especie de robot polar, pero la cintura y el hombro rotan en planos paralelos horizontales. La otra articulación es prismática.

Para el análisis y síntesis del movimiento de un robot manipulador se utiliza la cinemática directa y la cinemática inversa, como se puede apreciar en la Figura No. 7.

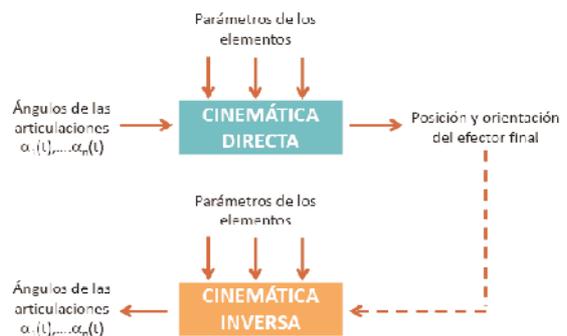


Figura No. 7: Cinemática directa e inversa.

Se distinguen dos tipos de robots móviles, los robots con ruedas y los robots con patas o caminantes. Los primeros intentos se realizaron con robots con ruedas; la locomoción sobre ruedas siempre ha parecido ser superior a la locomoción animal, sin embargo para este caso necesitamos transitar por superficies con algún nivel de preparación.

La configuración mecánica de la mayoría de los vehículos móviles con ruedas puede clasificarse en tres categorías:

- Vehículos con ruedas directrices:** los cuales están formados por un eje trasero fijo con dos ruedas u orugas y una rueda o un eje con dos ruedas delanteras directrices, la cual a veces también puede ser motriz.
- Vehículos con mecanismo diferencial:** los cuales tienen ruedas y orugas traseras que se controlan independientemente (la velocidad relativa de las ruedas a cada lado). Una ventaja importante de estos vehículos diferenciales es que se pueden girar con un radio nulo, mientras que las ruedas directrices necesitan un radio grande para girar.
- Vehículos con ruedas directrices/motrices:** los cuales están formados por ruedas que

tienen las características de ser ruedas motrices y directrices al mismo tiempo.

En otro tipo de superficie: muy irregulares, blandas, pedregosos, pendientes y laderas, terrenos con obstáculos, etc. Los vehículos con ruedas presentan muchos problemas para desplazarse, siendo mucho más efectivo el uso de uso de maquinas con patas o caminantes. Las patas no presentan tantos problemas de deslizamiento o atascamiento como las ruedas en superficies blandas. Las patas dañan mucho mas el terreno, representan mayor movilidad y velocidad, mayor capacidad para vencer obstáculos y mejor rendimiento energético.

Sin embargo una máquina caminante es mucho más compleja de ser diseñada, construida y controlada que un vehículo con ruedas. La construcción de un vehículo caminante que pueda acreditar cierta utilidad depende de áreas muy dispares de la ciencia y la tecnología: diseño de mecanismos, control del equilibrio, distribución de las fuerzas, integración sensorial, etc. Los recursos dedicados a estos temas en las últimas décadas han sido muy importantes, a pesar de ello, las últimas realizaciones de máquinas móviles con patas son aún grandes, pesadas y lentas, pero hacen prever que tendrán una gran importancia en un futuro próximo, en tareas de exploraciones, tanto espaciales como terrestres y submarinas, así como en tareas de inspección y protección civil.

BIBLIOGRAFIA

1. Bishop Robert, Mechatronics An Introduction, CRC Press, New York, 2006.
2. Preumont A, Mechatronics Dynamics of Electromechanical and Piezoelectric Systems, Springer, 2006.
3. Bolton W., Mecatrónica Sistemas de Control Electrónico en Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Alfaomega, 2da. Edición, México, 2002.
4. Senge Peter, La Quinta Disciplina, Granica, Argentina, 2005.
5. Sandin Paul, Robot Mechanisms and Mechanical Devices Illustrated, McGraw Hill, New York, 2003.
6. Teicholz, E. & Orr N.J. Computer Integrated Manufacturing Handbook. Editorial McGraw-Hill. 2003.
7. Ribeiro M, Automatización Industrial, Edit. Hemus., Sao Paulo, 2002.



AUTOR:

Ingeniero Mecánico Escuela Politécnica Nacional 1986. Doctor en Ingeniería Mecánica (Ph.D.) de la Universidad Politécnica Bialostocka en Polonia 1991. Master (Msc.) en Tecnologías de la Información para la Fabricación Universidad Politécnica de Madrid 2002. Especialista en Robótica (Canadá y España). Profesor universitario e investigador desde hace más de 22 años. Actualmente Subdecano de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la EPN. Ha ocupado dignidades académicas en la Escuela Politécnica Nacional y otras Universidades. Director de múltiples Tesis de Grado en Postgrado y Pregrado. Director y participante en más de 20 proyectos de investigación y consultorías. Ha dictado mas de 60 seminarios en las áreas de Ingeniería y Confiabilidad, Automatización Industrial, Procesos Industriales de Fabricación, Manejo Energético y Robótica. Autor de varios libros y folletos en sus áreas de especialización. Ponente de varios foros y jornadas científico-tecnológicas nacionales e internacionales.

