



INFORMADOR TÉCNICO

CENTRO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

CDT
ASTIN

SERVICIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN TECNOLÓGICA EDICIÓN 65 - 2002 ISSN 0122-056X

6° Seminario Internacional SOLUCIONES AUTOMATIZADAS PARA EMPRESAS INDUSTRIALES



Octubre 21 al 25 de 2002

Centro de Desarrollo Tecnológico y Asistencia Técnica a la Industria
Calle 52 2Bis - 15 A.A. 8053
Tel.: 431 58 52 - 431 58 55
Fax: 431 58 53 - 431 58 54

astin@sena.edu.co
senastin@colombianet.net
www.sena.astin.edu.co

Santiago de Cali, Colombia - Sur América



INFORMADOR TÉCNICO
Edición 65 - 2002
ISSN: 0122-056X

ESPERANZA ADRIANA RAMOS RODRÍGUEZ
 Directora Regional

AURA ELVIRA NARVÁEZ AGUDELO
 Jefa (e) CDT - ASTIN

EDITOR
 GERMÁN CIFUENTES CEBALLOS
 Técnico Especialista en Información
 y Divulgación Tecnológica

COLABORADORES
 ILSE KÖNIG DE LAVERDE
 SANDRA RUBY GUTIÉRREZ A.
 GILBERTO BEJARANO G.
 EDWIN PEREA RAYO
 FEDERICO SEQUEDA
 PEDRO MARÍA SÁENZ PUENTES

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN
 MONTE ARTE IMPRESORES
 GERMÁN CIFUENTES C.
 ALEJANDRA SUÁREZ

IMPRESIÓN
 Publicaciones SENA - Cali

EL INFORMADOR TÉCNICO es una publicación
 del Centro de Desarrollo Tecnológico y
 Asistencia Técnica a la Industria CDT - ASTIN,
 dirigida a las empresas del subsector de
 plásticos y metalmecánica para su
 actualización tecnológica.

Dirección: Calle 52 No. 2Bis-15
 Tels: (2) 447 1075 - 446 7182 - 431 5855
 Fax: (2) 431 5853 - 431 5854
 Apartado Aéreo 8053 Cali - Colombia
 E-mail: astin@sena.edu.co
 senastin@colombianet.net
 http://www.sena-astin.edu.co

Tarifa Postal Reducida 1568
 Vence diciembre / 2002

CONTENIDO

VI Seminario Internacional: Soluciones Automatizadas para Empresas Industriales	2
Tecnologías Informáticas Utilizadas en el Diseño y la Fabricación de Moldes y Troqueles <i>Bairo Vera Mondragón; Diego Vidarte Mayor</i>	7
Los Recubrimientos y Materiales Cerámicos en el Mecanizado Eficaz <i>Gilberto Bejarano Gaitán</i>	13
El Nuevo Papel del Productor de Plásticos: Decisiones estratégicas a comienzos del siglo XXI <i>Thomas L. Hensel</i>	21
Nivelación y Reglaje de Máquinas Troqueladoras <i>Pedro María Sáenz Puentes</i>	29
Los Aditivos en los Materiales Plásticos <i>Sandra Rubby Gutiérrez Artunduaga</i>	32
Propiedades Mecánicas y Tribológicas de Recubrimientos Duros: Uso de la Técnica de Nanoindentación <i>F. Sequeda Osorio; J.A. Trujillo; M. Benavides G. Bejarano</i>	38
Motores Paso a Paso <i>Steve Jennings; Jim Huntley</i>	47
Actualización Tecnológica de Maquinaria Industrial <i>José Seiggubar Guiza Amaya</i>	59

VI SEMINARIO INTERNACIONAL "SOLUCIONES AUTOMATIZADAS PARA EMPRESAS INDUSTRIALES"

EL CDT ASTIN

Astin es un Centro de Desarrollo Tecnológico y Asistencia Técnica para la industria colombiana del plástico y la matricería. La misión que rige sus acciones es la de contribuir activamente al progreso sostenible de la nación, impulsando la capacidad productiva del subsector industrial, desarrollando el conocimiento técnico y la destreza laboral de su talento humano y promoviendo una dinámica relación entre el sistema empresarial y el científico-tecnológico del país.

Si bien fue creado hace 27 años como proyecto de fomento a la pequeña y mediana industria metalmecánica, un nuevo convenio Colombo-Alemania de cooperación técnica (SENA-GTZ) lo transformó en 1991 en un centro de apoyo para la industria manufacturera del plástico. En los años siguientes no sólo creció significativamente la infraestructura y el equipamiento del ASTIN- laboratorios, maquinaria, etc. - sino que además se produjo un intenso proceso de apropiación de conocimiento en un nuevo área, los polímeros y su transformación, y su transferencia a un sector básicamente empírico. Tanto su capacidad teórica como su larga experiencia en asesoría y capacitación fueron poderosas razones para asignar a este centro al poco tiempo tareas de investigación aplicada y para reconvertirlo finalmente en Centro de Desarrollo Tecnológico del SENA, con un período de transición de 4 años (1999-2002).

Hoy por hoy, en el umbral de su pleno desempeño

como CDT y consciente de su misión, trabaja en cuatro líneas tecnológicas de investigación: Diseño y desarrollo de productos - Materiales y procesos de transformación - Electrónica y automatización - Evaluación de tecnologías, sectores económicos y mercados; y en cuatro modalidades de servicio: Ensayos de laboratorios y calidad - Asistencia técnica - Formación y capacitación especializada - Información y divulgación tecnológica.

El Centro siempre se ha esforzado por crear plataformas de encuentro empresarial e intercambio de saberes, a diferentes niveles, realizando simposios y jornadas tecnológicas sobre temas claves para el progreso tecnológico, y compartiendo con el sector industrial sus proyectos de desarrollo. Es así como puede invitar hoy al VI Seminario Internacional sobre métodos y modelos de automatización en la pequeña-mediana empresa.

PRESENTACIÓN Y JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, Colombia ha vivido un proceso de apertura económica, cuyos efectos han hecho entender que la modernización de infraestructura industrial nacional es una condición fundamental para alcanzar los niveles de competitividad exigidos. Entre el conjunto de acciones orientadas a modernizar el aparato productivo, la automatización de los equipos y procesos industriales se ha convertido en el aspecto más importante de los sistemas automatizados actuales.

En los países desarrollados se observan dos vertientes principales para la realización técnica de la automatización de una empresa: la integración del diseño de productos y su manufactura, apoyada por facilidades de simulación, prototipado rápido, que garantizan un desarrollo innovativo rápido, flexible y con calidad, y la integración tanto vertical como horizontal de las funciones de la empresa, desde el mercadeo y planificación del producto, hasta su producción, empaque, almacenaje y distribución.

Los proveedores de soluciones automatizadas se concentran en sistemas de control modulares y abiertos, basados en PC, que permiten a los fabricantes de maquinaria manufacturera adaptar el software a las distintas versiones tecnológicas. En este sector, controles de máquinas más eficaces y más fáciles de usar constituyen una constante exigencia.

El uso de sistemas de control basados en PC facilitan la transmisión de datos de máquinas y procesos al sistema informático central de la empresa, y permiten aprovechar posibilidades de Internet tales como el telediagnóstico y el mantenimiento de la máquina a distancia.

Con todo, se está buscando un equilibrio entre integración, flexibilidad, continuidad e innovación para lograr disminuir significativamente el costo del ciclo de vida de un producto y mantenerse competitivo en el mercado globalizado.

En América Latina, la pequeña y mediana industria ha reaccionado ante las nuevas condiciones comerciales, cambiando productos y líneas de producción, buscando nichos de mercado y formando alianzas, agrupaciones y parques industriales. La automatización ha sido una respuesta tímida y se implantó con grandes contrastes. Mientras que algunas industrias la han incorporado como eje impulsor de sus negocios, ya que les ayuda a cumplir eficientemente las exigencias de calidad, control, productividad y seguridad industrial, otras cuentan con una mínima automatización debido a los altos costos de los sistemas PLC. Las que aún no han accedido a sus beneficios encuentran dificultades para crecer, ya que sustentan su competitividad en aspectos como el costo de la mano de obra o el tipo de cambio, y no en una producción adecuadamente planeada.

El Seminario Internacional sobre Automatización pretende responder a la necesidad de las PYMES latinas de contar con una mayor información técnica que les permite evaluar alternativas concretas de automatización, adecuadas a su dimensión productiva y su capacidad financiera y, más allá de los debates ideológicos, tomar decisiones más acertadas sobre su aplicabilidad y conveniencia.

PARTICIPANTES

El seminario está dirigido en primer lugar a empresarios y personal técnico de las empresas manufactureras, especialmente a la pequeña - mediana industria, pero interesa también a profesionales en ingeniería del ámbito académico y docente, y a estudiantes de último semestre.

OBJETIVO GENERAL

Realizar un evento que permite a la Pequeña y Mediana Industria Manufacturera adquirir conocimiento teórico y práctico acerca de las nuevas tecnologías de la automatización y su aplicación en dos áreas claves de la empresa - el diseño y desarrollo de productos y el monitoreo y control de maquinaria y procesos - con el fin de disponer de criterios más amplios para su evaluación o incorporación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- * Facilitar el encuentro entre industriales del sector productivo y profesionales de ingeniería vinculados al desarrollo tecnológico.
- * Conocer y evaluar el uso de ayudas computacionales para agilizar las diferentes etapas del diseño, desarrollo y fabricación de nuevos productos.
- * Presentar y discutir el uso de las tecnologías CAE en la optimización de procesos de transformación.
- * Demostrar y evaluar elementos y sistemas automatizados en aplicaciones que mejoran el

actualización de maquinaria existente y la reproducción de procesos.

* Analizar el impacto económico y social de las nuevas tecnologías y su incorporación en el aparato productivo y sus efectos sobre la competitividad de la empresa ante las condiciones actuales de los mercados.

METODOLOGÍA

Presentaciones magistrales de los conceptos tecnológicos de la automatización industrial y su

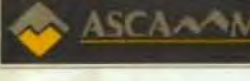
fundamentación teórica, que serán complementadas por ejemplos prácticos de aplicación en empresas dentro y fuera de Colombia. Demostración de un modelo de automatización realizada por el Centro ASTIN en su planta transformadora de plásticos. Panel de análisis y debate sobre los factores que afectan la productividad de las PyME en América Latina y el impacto que las tecnologías de informática y automatización ejercen sobre el empleo y el trabajo.

CONTENIDO DEL PROGRAMA

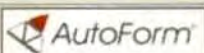
LUNES 21 DE OCTUBRE DE 2002

Inicio	Final	Conferencia	Centro de Investigación	Conferencista
7:45	7:45	Inscripciones		
8:00	8:30	Instalación del evento		
8:30	10:00	Tecnologías y Metodologías de Diseño en el Lanzamiento de Productos		Joseba Arana
10:00	10:30	Refrigerio		
10:30	12:00	Tecnologías y Metodologías de Diseño en el Lanzamiento de Productos		Joseba Arana
12:00	14:00	Almuerzo		
14:00	16:00	Nuevas Tecnologías Aplicadas al Desarrollo de Productos Plásticos Inyectados, para reducir el "Time to Market"		Francisco Javier Plantá Torralba
16:00	16:30	Café		
16:30	18:30	Nuevas Tecnologías Aplicadas al Desarrollo de Productos Plásticos Inyectados, para reducir el "Time to Market"		Francisco Javier Plantá Torralba

MARTES 22 DE OCTUBRE DE 2002

Inicio	Final	Conferencia	Centro de Investigación	Conferencista
8:00	10:00	Sistemas Expertos para la Tecnología de Procesos		Francisco Javier Plantá Torralba
10:00	10:30	Refrigerio		
10:30	12:00	Sistemas Expertos para la Tecnología de Procesos		Francisco Javier Plantá Torralba
12:00	14:00	Almuerzo		
14:00	16:00	Fresado de Alta Velocidad. Principios y Aplicaciones		Alex Gómez Benito
16:00	16:30	Café		
16:30	18:30	Fresado de Alta Velocidad. Principios y Aplicaciones		Alex Gómez Benito

MIÉRCOLES 23 DE OCTUBRE DE 2002

Inicio	Final	Conferencia	Centro de Investigación	Conferencista
8:00	10:00	Herramientas de Simulación Aplicadas en el Diseño de Matrices de Embutición para la Conformación de la Chapa Metálica		Diana V. Heimlich
10:00	10:30	Refrigerio		
10:30	12:00	Herramientas de Simulación Aplicadas en el Diseño de Matrices de Embutición para la Conformación de la Chapa Metálica		Diana V. Heimlich
12:00	13:30	Almuerzo		
13:30	14:00	Desplazamiento a las instalaciones del CDT ASTIN		
14:00	16:00	Presentación de Proyectos desarrollados en el CDT ASTIN <i>Presentado por: Directores de proyectos y líneas de investigación CDT / ASTIN – Universidad Nacional sede Palmira – J.L.O. Ware Ltda.</i>		
		Desarrollo de Productos Plásticos, Diseño y Fabricación de Herramientas aplicando las Nuevas Herramientas de la Informática	 JLO WARE LTDA.  Universidad Nacional Sede Palmira	Bairo Vera M. Álvaro Jaramillo Diego Vidarte M. Julio Fontal Milton Mera O. Eduardo Oliveros John Cardozo
		Redes de Comunicación Industrial Aplicadas a la Automatización en una Planta de Transformación de Plásticos		José Seigubar Gúiza William Mantilla
		Los Recubrimientos Duros: Una Contribución al Mejoramiento de la Vida Útil de las Herramientas y a los Procesos de Manufactura.	  Universidad del Valle	Gilberto Bejarano Federico Sequeda
		Sistema para el Cambio Rápido de Moldes en la Transformación de Plásticos por Inyección.		Jair Nieto S.

JUEVES 24 DE OCTUBRE DE 2002

Inicio	Final	Ponencia	Organización	Ponente
8:00	10:00	Aplicación de la Automatización en la Industria		Oswaldo Peña
10:00	10:30	Refrigerio		
10:30	12:00	Aplicación de la Automatización en la Industria		Oswaldo Peña
12:00	14:00	Almuerzo		
14:00	16:00	Automatización de Plantas Industriales, mediante Sistemas de Control Distribuidos basados en PLC. en un solo sistema: M.E.S. (Manufacturing Execution System)		Alfredo Pulido
16:00	16:30	Café		
16:30	18:00	Automatización de Plantas Industriales, mediante Sistemas de Control Distribuidos basados en PLC. en un solo sistema: M.E.S. (Manufacturing Execution System)		Alfredo Pulido

VIERNES 25 DE OCTUBRE DE 2002

Inicio	Final	Ponencia	Organización	Ponente
8:00	10:00	Gestión de la Producción en Procesos de Automatización		Mauricio Estrada Mesa
10:00	10:30	Refrigerio		
10:30	12:00	Gestión de la Producción en Procesos de Automatización		Mauricio Estrada Mesa
12:00	14:00	Almuerzo		
14:00	16:00	Panel: Impacto Económico y Social que genera la incorporación de Nuevas Tecnologías en la Industria Latinoamericana Orientador: Mariano Antonio Benavides		Carlos Arvey González Orlando Rincón Lutz J. Winterfeldt
16:00		Clausura del Evento		

INSCRIPCIONES:

Valor de la Inscripción: En Colombia: \$400.000 • Otros Países: US\$ 200.00

Descuentos: • - 10%, para inscripciones efectuadas hasta el 15 de Octubre de 2002 • 10% para 3 o más participantes por empresa • 20% para estudiantes

Fecha límite de Inscripción: 16 de octubre de 2002

Beneficios de la Inscripción: • Acceso total a las conferencias y visita al Centro de Desarrollo Tecnológico ASTIN

• Memorias en CD de todas las conferencias • Certificado de Asistencia • Carpeta con el material de apoyo • Almuerzo y refrigerio los días del evento

Proceso de Inscripción: El aspirante debe legalizar su inscripción, consignando en la cuenta de ahorros No. 0161-0022279-9 de DAVIVIENDA

de la Asociación Colombiana de Pequeños Industriales "ACOPI" (Nit. 890300238-2), adjuntando los siguientes documentos:

1. Cupón de Inscripción 2. Certificado de la Institución Educativa (para estudiantes) 3. Copia del comprobante de pago.

Los documentos se deben remitir a: **Asociación Colombiana de Pequeños Industriales (ACOPI)**

Calle 14 No. 39-04 ACOPI Cali Yumbo Fax: (572) 664 44 19

Teléfonos: (572) 664 55 80 / 664 44 19 e-mail: acopival@emcali.net.co

FECHA Y LUGAR:

FECHA: Octubre 21 al 25 de 2002

LUGAR: Santiago de Cali, Colombia, Sur América

HOTEL DANN CARLTON CALI

Dirección: Carrera 2ª No. 1-60

Conmutador: (572) 886 20 00

Fax: (572) 893 40 00 / 893 50 00

INFORMACIÓN:

**CENTRO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO
Y ASISTENCIA TÉCNICA A LA INDUSTRIA**

Calle 52 No. 2Bis 15 Apartado Aéreo. 8053

Teléfonos: (572) 431 5848 - 431 5849 - 431 5856

Fax: (572) 431 5853 - 431 5854

Santiago de Cali, Colombia

goviedo@sena.edu.co - senastin@colombianet.net

www.sena-astin.edu.co

TECNOLOGÍAS INFORMÁTICAS UTILIZADAS EN EL DISEÑO Y LA FABRICACIÓN DE MOLDES Y TROQUELES

Bairo Vera Mondragón; Diego Vidarte Mayor
Instructores SENA, CDT - ASTIN

PRESENTACIÓN

La incorporación del computador y la automatización en todas las áreas de producción ha significado una segunda revolución industrial mucho más profunda y amplia que la proporcionada por la máquina de vapor.

Nuestra época se caracteriza por una gran evolución tecnológica, con una rápida obsolescencia de los productos industriales. Por ello, se precisa de unas áreas de diseño ágiles que proporcionen nuevos productos, con mejores prestaciones, y con un tiempo de respuesta cada vez más corto que mejoren la productividad, por lo que la incorporación de nuevas tecnologías es el medio más efectivo para conseguirlo.

La demanda es cada vez más selectiva al tiempo que los fabricantes amplían la gama de sus productos y disminuyen el tamaño de las series de fabricación. Todo ello hace necesario disponer de un diseño y una fabricación más flexibles, más sencillos de cambiar y adaptar a otros modelos.

Dado que los avances en la tecnología, por sí solos, ya no son suficiente para lograr las mejoras

requeridas para competir y sobrevivir en este nuevo mercado, las compañías necesitan revisar sus técnicas tradicionales de forma que permitan que las tareas seriales de ingeniería sean ejecutadas en paralelo, concurrentemente.

La Ingeniería concurrente o Ingeniería de compresión de tiempo puede ser considerada como una forma de reingeniería de procesos y las principales tecnologías que permiten esta característica en esta área son los sistemas CAD y el desarrollo rápido de prototipos. Por esto, la técnica de la Ingeniería concurrente se basa en la aplicación de principios y procedimientos que intentan involucrar, de forma temprana, a productores y proveedores en el diseño, y gestionar el trabajo de las distintas áreas, sin que se produzca una pérdida de tiempo y

eficacia apreciables. (Ver figura 1). Para responder a estas exigencias, se analizan a fondo los sistemas y procedimientos de producción:

1. DISEÑO DEL PRODUCTO. En ésta, el computador se incorpora a través de un software gráfico que permite crear, manipular y representar productos en 2D Y 3D, naciendo la tecnología CAD (Computer Aided Design) Diseño Asistido por Computador; también se habla del CADD (Computer Aided Drafting and Documentation) Dibujo y Documentación asistida por Computador, y del CAT (Computer Aided Testing) Pruebas Asistidas por Computador, así como del CAE (Computer Aided Engineering) Ingeniería Asistida por Computador, el cual incluye otros aspectos del diseño como cálculos, en especial el estructural por elementos finitos FE (Finit Elements); la planificación



Figura 1. Ingeniería concurrente

y el control de proyectos; la codificación y la estandarización GT (Group Technology), la tecnología de Grupos, entre otros.

2. INGENIERÍA DEL PROCESO.

En esta etapa, una vez definido el producto, se estudia y se establece los medios-máquinas, las herramientas, utillajes y los métodos y tiempos de fabricación. El computador, que apoyado del software de simulación de mecanizado, se constituye en una herramienta potente en manos del técnico, creándose el llamado CAM (Computer Aided Manufacturing) Manufactura Asistida por Computador, tecnología que incluye, también, la aplicación del computador en el taller.

La organización industrial establecía grupos orgánicamente distintos para ingeniería del producto e ingeniería del proceso; separación que ocasionaba, en muchos casos, graves problemas de comunicación. Desde el punto de vista funcional, a menudo, es difícil establecer esta separación, y es evidente que una estrecha colaboración entre ambos, tanto en el momento del diseño como en el de definición del proceso de fabricación, supone grandes beneficios. El computador facilita esta integración al compartir bases de datos comunes y facilitar la comunicación entre ambos grupos.

Por todo esto, en la actualidad, no se habla de CAD/CAM/CAE por separado por cuanto se utilizan como una única tecnología a incorporar de forma simultánea.

3. FABRICACIÓN Y MONTAJE.

En ésta el computador se incorpora de manera directa en

las máquinas, como elemento de monitorización y control; con ello se crea el CNC (Computer Numerical Control) apoyado en máquinas CN (Numerical Control); los sistemas de alimentación automática, la robótica y los procesos administrativos de planificación y control PPC (Product Planning Control) Planificación del Producto Asistido por Computador.

4. VERIFICACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD.

En ésta el computador se acopla a máquinas de medición y prueba, de forma que automatiza los controles y asegura una gran uniformidad en la producción. Esta técnica recibe el nombre de CAI (Computer Aided Inspection) Verificación Asistida por Computador.

La conjunción de todas estas técnicas en una sola tecnología nos lleva al CIM (Computer Integrated Manufacturing) Fabricación Integrada por Computador. Según ella, el computador o una red de computadores comunicados entre sí, apoyados en una base de datos única para todas las áreas, asiste y controla toda la producción en todos los aspectos (materiales, máquinas, hombres, costos, etc.)

Así, nace también el concepto de FA (Full Automation) Automatización Completa que apoyado en la FMS (Flexible Manufacturing System) Sistema de Fabricación Flexible, nos presenta las fábricas del futuro, sin papeles, sin operarios directos, funcionando totalmente automatizadas, de la misma forma que ya, hoy día, funcionan los grandes complejos químicos.

Por lo anterior, afirmamos que en la actualidad, el CIM es más una filosofía que una realidad industrial que consiste en la automatización e integración de todas las fases de producción. (Ver figura 2).

Es evidente que la utilización de todas estas tecnologías nos confronta o nos lleva a enfrentar nuevos problemas, como son aquellos particularmente derivados del intercambio de datos entre los diferentes sistemas CAD/CAM/CAE, y dado que es poco probable un consenso entre las diferentes empresas para utilizar el mismo sistema, es preciso recurrir a los Traductores Estándar (Interfases) o Formatos de Intercambio de Datos.

5. LA DIGITALIZACIÓN. Al aplicar la Ingeniería Inversa al Desarrollo y Diseño de Nuevos Productos, se hace necesario implementar Metodologías y Tecnologías de punta a las diferentes fases del proceso para que lo optimicen y sean más rentables (ver Diagrama 1).

En una de las primeras fases del Diseño como es la elaboración de bosquejos y planos del objeto a construir y/o modificar, labor que se hacía de forma manual y era dispendiosa con gran acumulación de errores por diferentes causas, se han incorporado sistemas CAD para la elaboración de estos planos.

En caso de que exista el objeto físicamente, y esté presente una gran complejidad superficial, es decir, superficies con geometría y contornos muy irregulares, se va a

tener más dificultad para su representación gráfica en sistemas CAD, ya que los datos que se le transfieren al sistema son los que se toman manualmente con instrumentos.

Para salvar este tipo de dificultad se han desarrollado los **DIGITALIZADORES** para objetos tridimensionales, los cuales permiten obtener el contorno superficial del objeto por más complicado e irregular que sea.

El digitalizado consiste en obtener información de la superficie de un objeto real en formato electrónico.

En un computador se tendrá una nube de puntos, en coordenadas cartesianas **X, Y, Z**, correspondientes a la superficie digitalizada. Los principales sistemas para realizar esta operación están basados, bien en una máquina de metrología tridimensional, bien en fresadoras **CNC** (Sistemas de Contacto, ver Figura 3 y 4), o mediante sistemas de visión artificial (Sistemas de No Contacto, ver Figura 5 y 6).

El control de la máquina de medir tiene que disponer del correspondiente software para realizar el proceso de digitalizado de forma

automática, almacenar de manera adecuada las coordenadas de los puntos medios y exportar dicha información a un sistema CAD, en general en un formato IGES o bien en algún otro tipo de formato de intercambio gráfico.

Existen dos tipos de palpadores, el palpador discreto o dinámico y el palpador continuo o estático. El primero palpa puntos discretos sobre la superficie de la pieza, y si la estrategia de palpado se da conforme a los planos, permite la compensación automática del radio de la punta del palpador, registrando, por tanto, las coordenadas de los puntos de contacto entre los puntos y la superficie de la pieza.

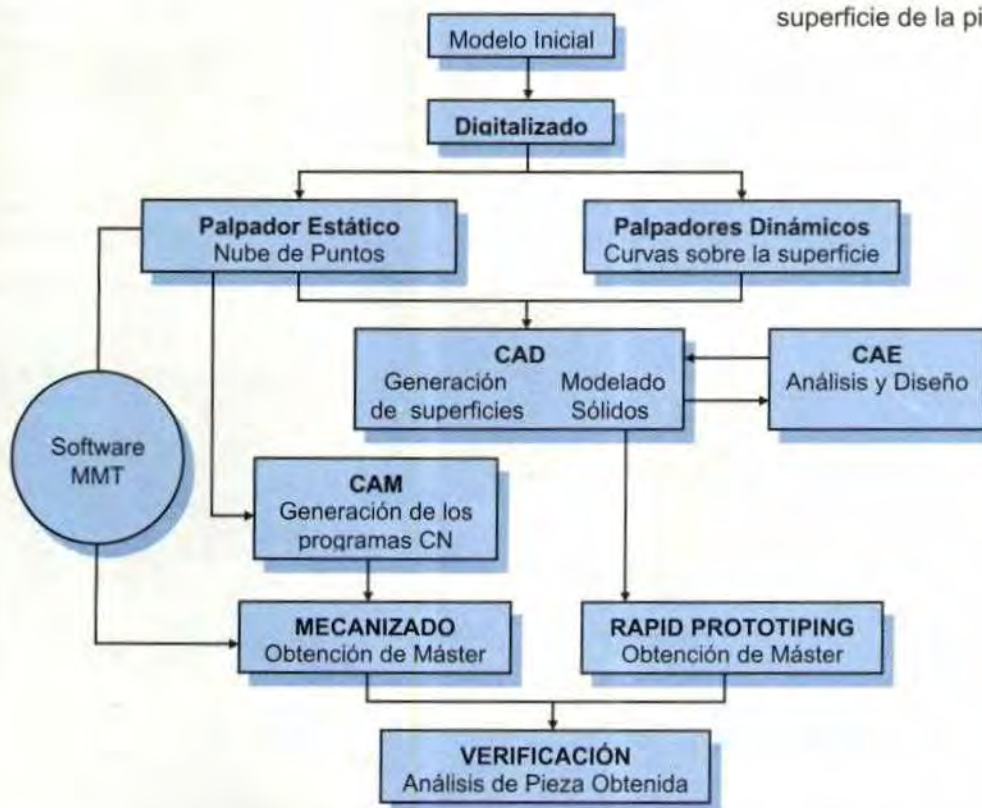


Diagrama 1. Tecnologías de punta utilizando la digitalización como punto de partida.

(A partir de una pieza real, modelo o pieza master, por digitalizado se obtiene una nube de puntos correspondientes a la superficie de dicha pieza).



Figura 3. Sistema de digitalización de contacto

Este sistema ofrece flexibilidad al ser posible definir diferentes estrategias de digitalizado a fin de obtener el máximo de información sobre la superficie de la pieza con el mínimo número de puntos digitalizados, dispuestos en forma de "costillas" que facilitan el tratamiento posterior en el sistema **CAD** para el ajuste con superficies matemáticas al manejar la mínima información posible.

El segundo, el palpador continuo o estático, la superficie se palpa de manera continua y automática, dentro de la zona que se le define, realizando un barrido, y registrando las coordenadas **X,Y,Z** del centro del radio del extremo del palpador con la densidad de puntos que se especifique.

Inicialmente las coordenadas de los puntos obtenidos corresponden a puntos de una "piel" paralela a la superficie digitalizada y separada una distancia igual al radio de la punta del palpador. A partir de estos puntos, existe un software que permite obtener las

coordenadas de puntos de la superficie de la pieza, realizando lo que se denomina la "corrección de offset o compensación de radio de punta de palpador". Con este sistema de palpado se obtiene un gran volumen de información, coordenadas de muchos puntos, que no siempre es sencilla de manejar.

El sistema de palpado es el adecuado para generar de forma directa los programas de **CN** mediante el propio software de digitalizado o bien para exportar la nube de puntos directamente a un sistema **CAM**, si éste lo permite, para generar los programas de **CN**. Para el digitalizado existe, también, la opción de utilizar un cabezal láser (ver Figura 5 y 6) en lugar del palpador en las máquinas de medir por coordenadas. En este caso, el digitalizado se realiza sin contacto físico, de manera continua, generando un barrido de la superficie de la pieza

obteniéndose las coordenadas **X, Y, Z**, de puntos de la superficie de la pieza con la densidad de puntos que se especifique.

Las coordenadas **X, Y** se determinan a partir de los captadores de posición de los ejes de la máquina que controlan la posición del cabezal y la coordenada **Z** de cada punto viene dada por el sistema de medición láser.

Si bien este sistema tiene ventajas como la rapidez de digitalizado y que permite acceder a zonas donde no sería posible con palpador debido al radio de su extremo, también hay que tener en cuenta la dificultad de digitalizar superficies paralelas al rayo láser y la problemática que puede introducir la superficie a digitalizar según sus características reflectantes, que pueden solucionarse pintando de manera adecuada dicha superficie.

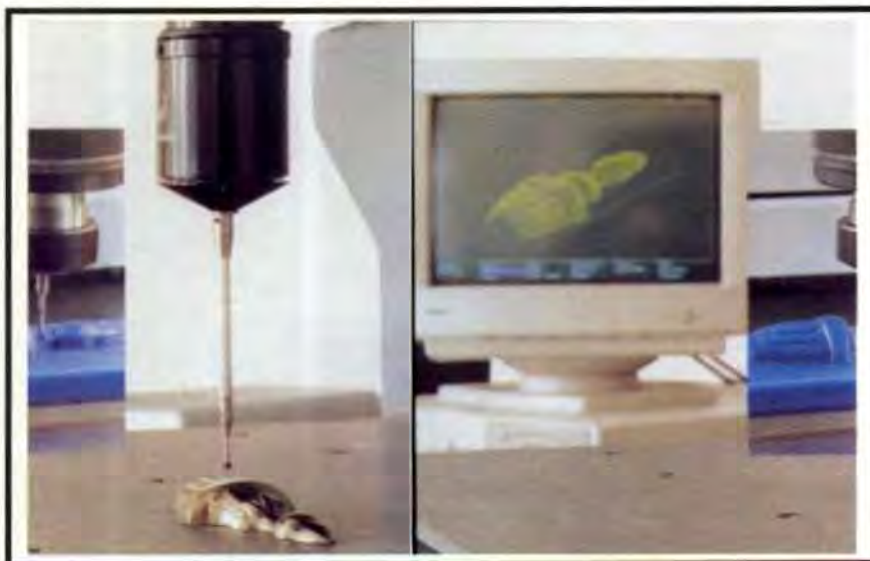


Figura 4. Transmisión de datos de un digitalizador de contacto al computador



Figura 5. Sistema de digitalización láser (No contacto)

5.1. ¿Dónde se pueden acoplar los digitalizadores?. Existe la posibilidad de digitalizar mediante el acople de una sonda o palpador de medida o bien un sistema láser en el cabezal de una fresadora o centro de mecanizado con **CNC**. En este caso, el control del movimiento de los ejes y el proceso de digitalizado, ya lo realiza el propio **CNC** si tiene esta opción, o ya se realiza con un sistema de hardware + software complementario que actúa directamente sobre las tarjetas de control de los motores de la máquina.

El sistema de visión consta de dos cámaras para obtener una visión en estéreo y de un haz lineal láser

mediante el cual se hace un barrido de la superficie digitalizando las sucesivas intersecciones del plano definido por el haz de luz láser con la superficie.

Las digitalizadoras son máquinas automáticas que encajan dentro del concepto de **escáner 3D**, incorporando sistemas ópticos de palpado basados en diferencia de tonos entre los puntos registrados por dos cámaras **CCD** que registran el reflejo del haz de luz láser emitido.

5.2. Ajuste de las superficies.

Una vez efectuado el digitalizado sigue el ajuste de la superficie que consiste en crear con un sistema CAD, superficies matemáticas que

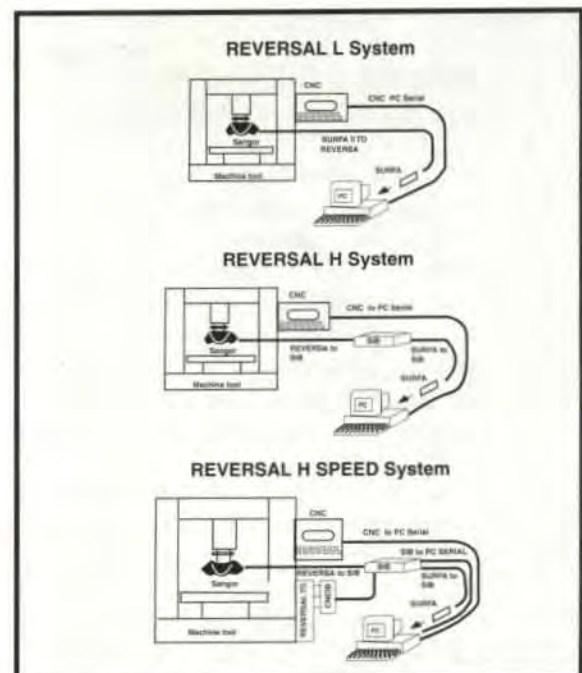


Figura 6. Cabezal láser montado en una máquina herramienta C.N.C.

se ajusten a la superficie real basándose en la nube de puntos obtenida con el correspondiente digitalizado.

Los requerimientos del equipo informático **CAD** y de la consiguiente elaboración de superficies están condicionados por el tipo de digitalizado realizado.

Con palpado discreto o dinámico se precisa, luego de un programa **CAD** tridimensional, con un módulo de creación de Superficies Avanzadas. Este módulo permite la creación de curvas que coincidan con los puntos palpados en distintos planos del modelo y, luego, basándose en estas curvas, se crearán superficies que reproducen la piel digitalizada del modelo.

Con palpado continuo, los requerimientos pueden ser mayores. Además de un sistema CAD 3D, se precisa de un módulo adicional que ayude a convertir una densa nube de puntos en una superficie. En algunos casos, se trata de programas cerrados, totalmente orientados a este objeto, incluso necesitando un hardware más potente para poder manipular grandes cantidades de información (ficheros de puntos de 30 a 100 Mbytes). En este caso, con el software y el hardware especiales, el ajuste de superficies puede ser relativamente rápido, siempre de la mano de un técnico con experiencia para guiar el programa, y el generar superficies coherentes, seleccionando zonas de puntos agrupables: radios de acuerdo, planos, etc.

5.3. Análisis y verificación de superficies. Para verificar la bondad de las superficies creadas caben dos posibilidades: la comparación de las superficies de la pieza de partida con las de la pieza fabricada o bien la comparación entre los puntos digitalizados y las superficies CAD creadas. En el primer caso, se comparan las superficies digitalizadas inicialmente del modelo master y las del prototipo final fabricado mediante ingeniería inversa. Esta función de comparación se realiza mediante un software especial de Metrología y Verificación instalado en el propio computador de control de la máquina de medición tridimensional, facilitando la tarea de dictaminar si la ingeniería inversa es correcta o no.

En el caso de la comparación entre los puntos digitalizados y las superficies CAD creadas, los programas de CAD avanzados permiten superponer los puntos palpados en el digitalizado con las superficies creadas a partir de los mismos puntos, a fin de detectar errores de desviación entre la modelización hecha con superficies y la información original. Este método es el más usado por ser menos complejo que el anterior y ser lo suficiente fiable.

5.4. Aspectos a tener en cuenta con el uso de la Digitalización.

El proceso de concepción, diseño y obtención de un producto partiendo de un modelo inicial digitalizado, supone una disminución de los errores con respecto a los sistemas tradicionales con que se fabrica a partir de planos 2D. Muchas veces resulta difícil materializar toda la información geométrica completa 3D en dichos planos, con lo que la calidad del producto fabricado a partir de ellos se ve comprometida y depende, en muchos casos, de la habilidad y las destrezas de los

operarios de las máquinas.

La tendencia en el campo de la digitalización y las tecnologías asociadas es:

- Reducir el tiempo de digitalizado utilizando sistemas combinados de visión artificial e iluminación o barrido tipo escáner con láser.
- Desarrollo de software de CAD específicos, capaces de manejar gran cantidad de puntos, para crear y ajustar superficies a partir de las nubes de puntos, de forma rápida y con la mínima intervención del operador.
- Desarrollo de nuevos sistemas de fabricación rápida de prototipos con buenas características mecánicas y de acabado que, incluso, sirvan como preseries de piezas funcionales.

Estos sistemas permitirán, por ejemplo, desarrollar de manera rápida tanto un molde que sirva para inyectar una preserie de piezas como un electrodo para máquina de electroerosión.

NO	COMPAÑÍAS	DIGITALIZADOR	SOFTWARE
A	Laser Design Inc.	Surveyor	Datasculpt
B	3D Scanner Inc.	Replica - Reversa - Model maker	Riscan
C	Renishaw Inc.	Retroscan - rescanner cyclon	ct
D	Polhemus Inc.	HLS - Escaneador láser manual	Polhemus Fastrak
E	Romer Inc.	Series Romer	Imagenware

Compañías que desarrollan y distribuyen Digitalizadores

LOS RECUBRIMIENTOS Y MATERIALES CERÁMICOS EN EL MECANIZADO EFICAZ

Gilberto Bejarano Gaitán
Profesional SENA, CDT ASTIN

PRESENTACIÓN

El mecanizado de materiales duros presenta grandes dificultades en lo referente a la vida útil de las herramientas, sus filos y geometría, los parámetros de mecanizado y los sistemas portaherramientas. Las herramientas de acero utilizadas y las mezclas metal - carburos no dan una solución aceptable a estos problemas técnicos. Razón por la cual, los trabajos de investigación actuales apuntan al desarrollo de diferentes recubrimientos cerámicos con grandes prestaciones. En este artículo se analizan varios sistemas cerámicos aplicados a las herramientas y se presentan las ventajas alcanzadas en el mecanizado de materiales duros considerando además los aspectos ambientales.

INTRODUCCIÓN

Para que los procesos de manufactura sean más rentables y competitivos, deben incorporar tecnologías modernas, que permitan grandes tirajes con cortos ciclos de producción, bajos costos de mantenimiento, cero reprocesos y productos de buena calidad, respetando siempre las

buenas prácticas de trabajo frente a los problemas ambientales. Esto requiere, no sólo de máquinas y equipos modernos, sino también de herramientas que respondan a las altas exigencias de carga y condiciones críticas de operación, sobre todo en el mecanizado de materiales de alta dureza. Tres aspectos importantes son objeto de investigación y desarrollo para obtener estas herramientas:

- Los materiales con los cuales se fabrican las herramientas
- El diseño de la herramienta misma
- El proceso de fabricación de ésta.

Con base en lo anterior se han diseñado y fabricado una serie de herramientas con aceros altamente aleados, como los aceros rápidos, con aceros a partir de la pulvimetalurgia, con metales duros y con materiales cerámicos de alto rendimiento. Por los grandes logros alcanzados con el último grupo de materiales, éste trabajo se concentra en el estudio y análisis de ellos.

CONSIDERACIONES TÉCNICAS

Los materiales duros que presentan grandes dificultades en el mecanizado se pueden clasificar en los siguientes cuatro grupos [1]:

- Aceros con durezas entre 60 y 65 HRC
- Fundiciones de hierro entre 550 y 750 HRB
- Superalaciones de base Cobalto y Níquel hasta 58 HRC
- Materiales sinterizados

En el caso del mecanizado de los aceros recocidos, con durezas hasta de 40 HRC, se pueden ajustar los parámetros de corte, de tal manera que se formen virutas en forma de "6 o de 9", las cuales representan los menores problemas de las virutas conocidas. Sin embargo, cuando se trabaja a grandes velocidades de corte, se generan temperaturas demasiado altas, que no solamente producen soldadura de la viruta con la herramienta, sino también procesos de difusión que originan el desgaste prematuro de ésta, en particular si están fabricadas en WC o en diamante, como veremos más adelante.

En los aceros duros y en la fundición de hierro las virutas son cortas y en forma de "C", las cuales se fracturan con mayor facilidad, permitiendo así un mecanizado más rápido. Un enorme problema lo representan los carburos finos y duros que constituyen la microestructura de estos materiales tales (WC, VC, TiC, MoC y el CrxCy) y el polvillo altamente abrasivo de los cerámicos, que originan microfisuras en los filos de la herramienta y su desgaste prematuro. Estos fenómenos conllevan al desarrollo de una gran variedad de materiales como los aceros rápidos, los metales duros, los materiales cerámicos sinterizados y últimamente los materiales cerámicos obtenidos a partir de la deposición física y química de vapor PVD y CVD.

MATERIALES DUROS PARA HERRAMIENTAS DE CORTE

METALES DUROS

Aunque este grupo de materiales, que presentan durezas mayores a los 1000 HV, ya fueron suficientemente estudiados y han sido reemplazados por otros materiales de avanzada, son dignos de mencionar, porque marcan el punto de partida para el desarrollo de los materiales cerámicos modernos y porque aún son utilizados en la industria colombiana.

Las aleaciones pertenecientes a este grupo pueden considerarse como materiales compuestos de matriz metálica y refuerzo metaloide de diferentes tipos de carburos, nitruros, carbonitruros, boruros y óxidos. Dependiendo del contenido metaloide o cerámico se

diferencian, ante todo, por su brillo superficial, su conductividad térmica y eléctrica y por su tenacidad. El carácter tenaz viene dado por el tipo y cantidad de aglutinante (Fe, Co, Ni), que constituye la matriz del compuesto y que forma una segunda fase que envuelve totalmente las partículas duras del material [2].

1. Carburos

Por ser el carburo de tungsteno el metal duro de mayor importancia y de más utilización en nuestro medio, se trata aquí en forma detallada. Las figuras 1 y 2 muestran la microestructura de un tipo de carburo de tungsteno y el diagrama de equilibrio termodinámico del tungsteno / carbono.

El WC forma una capa protectora de óxidos a partir de los 400°C, que lo pasiva y lo protege contra algunos medios agresivos. Sin embargo, esta capa se disuelve

por encima de los 1000°C, y el WC queda expuesto al contacto directo con la pieza que se está mecanizando y con la viruta encandeciente, generando un proceso de difusión del carbono y desgaste de la herramienta.

Por la similar estructura cristalina y distancias interatómicas, el WC posee una buena solubilidad con la mayoría de los carburos de otros metales, lo que facilita su combinación, mejorando así sus propiedades físicas, químicas y mecánicas y ampliando de esta manera la gama de aplicaciones industriales de este material. Así por ejemplo, existen combinaciones de WC con TiC, TaC, NbC y HfC, VC y CrxCy que poseen gran dureza, una mayor tenacidad, estabilidad térmica y alta inactividad química frente a otros metales. Estos carburos actúan además como afinadores de grano del WC. La figura 3 muestra por ejemplo el diagrama ternario WC - TiC - Co [2].

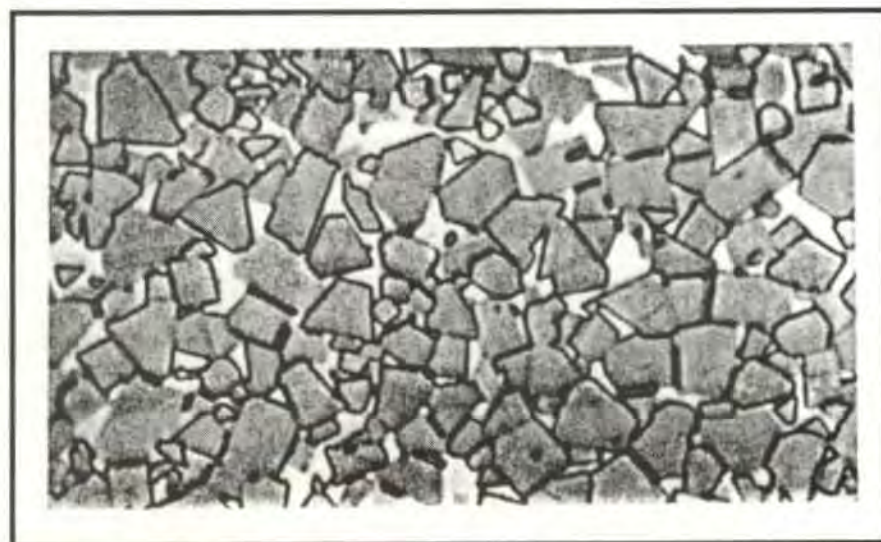


Figura 1. Microestructura del WC-8Co (x1500) [2]

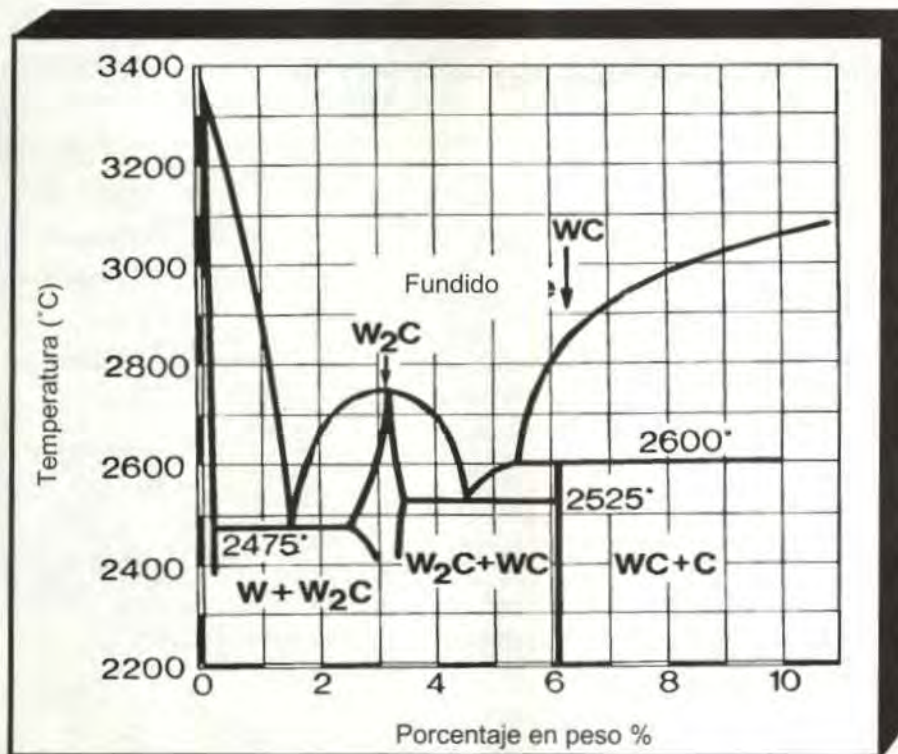


Figura 2. Diagrama de equilibrio W - C [2]

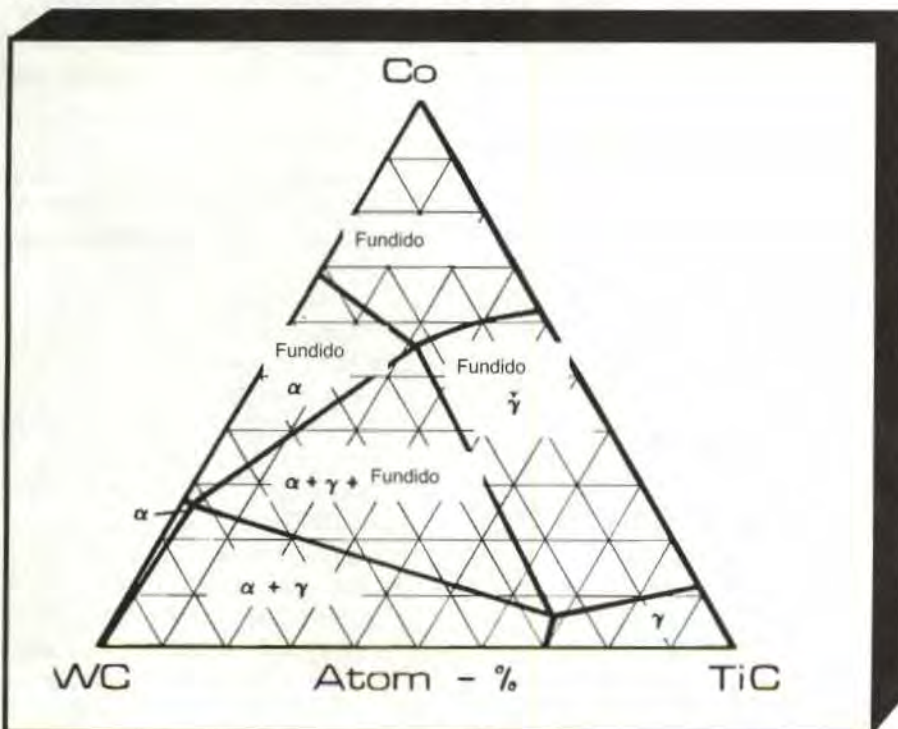


Figura 3. Diagrama de equilibrio WC - TiC - Co, corte a 1400°C [2]

Para que haya una buena sinergia e interacción entre la matriz y el refuerzo en este tipo de materiales, el aglutinante debe poseer las siguientes características:

- Debe formar una fase líquida a la temperatura de sinterización
- La fase líquida debe mojar por completo la fase dura
- La fase líquida debe tener buena solubilidad para la fase dura a la temperatura de sinterización, pero tendiente a cero en el enfriamiento para posibilitar su precipitación
- La fase líquida no debe reaccionar con la fase dura formando otras fases y por ello ser consumida
- La fase aglutinante debe poseer propiedades mecánicas, que soporten las cargas a temperatura de trabajo de la herramienta y no se rompa en la interface.

Carburo de boro (B_4C)

Se fabrica principalmente en hornos eléctricos a partir del ácido bórico y carbono. Su extrema dureza lo ha llevado a ser utilizado como medio de pulido y de desbaste en la fabricación de lijas y discos de corte, pero la falta de un aglutinante apropiado no ha permitido su empleo en aplicaciones de herramientas para procesos de mecanizado y conformado de otros materiales [2].

Carburo de silicio (SiC)

Se fabrica de manera similar al carburo de boro a partir de arena

PROPIEDAD	WC	TiC	TaC	NbC	VC	Cr ₃ C ₂	Mo ₂ C
Estructura cristalina	Hex	ccc	ccc	ccc	ccc	Orto romb	Hex
Densidad g/cm ³	15,7	4,9	14,5	7,8	5,7	6,7	9,2
Microdureza dN/mm ²	2080	3200	1790	2400	2950	2280	1950
Módulo de elasticidad KN/mm ²	296	451	285	338	422	373	533
Punto de fusión °C	2600 Z	3160	3780	3500	2830	1875 Z	2400 Z
Coeficiente de dilatación térmica 20 — 400°C 10 ⁻⁶ /K	5,2	7,7	6,3	6,7	7,2	10,3	7,8
Resistencia eléctrica Microhm.cm	22	68	25	35	60	75	133

Hex = Celda hexagonal

ccc = Centrada cúbica en las caras

Z = Descomposición

Tabla 1. Propiedades de algunos carburos convencionales [2]

de sílice, carbono y cloruro de sodio. Su aplicación especial esta en el campo de las lijas, discos de corte, ladrillos refractarios y crisoles. También se utiliza como fibra reforzante en otros materiales compuestos y obtenido mediante la tecnología del PVD se emplea además como recubrimiento duros en herramientas de corte.

En la tabla 1 se observan las propiedades más importantes de algunos carburos

2. Nitruros

Los nitruros poseen un carácter metálico menor que los carburos y más baja tenacidad, pero tiene una mayor eficiencia en el mecanizado de los aceros y de otros materiales ferrosos, ya que presentan una menor actividad química frente a los microconstituyentes de éstos, un coeficiente

de fricción menor y mayor resistencia al desgaste en caliente. Debido a la apariencia óptica, por los colores que presentan algunos nitruros en combinación con ciertos carburos, tienen amplia aplicación como recubrimientos decorativos resistentes al rayado en el campo de la joyería y de la relojería. Así por ejemplo el TiN es de color dorado, con 10% de TiC es rojo - dorado, con 15% es rojo violeta y con 20% violeta. El ZrN es dorado y el HfN gris plateado [2].

3. Boruros

Esta gama de materiales poseen, con excepción del diamante, la más alta dureza y la mayor inactividad química frente a otros materiales. Por las características antes mencionadas que deben tener los aglutinantes, ha sido difícil, hasta hoy, encontrar uno

apropiado, que permita la aplicación industrial de estos materiales, por lo que siguen siendo en la actualidad objeto de investigación. Recubrimientos de TiB₂/CrB₂ así como de BN/TiB₂ se utilizan en elementos que entran en contacto con medios agresivos como el aluminio líquido.

Los electrodos de grafito, empleados en el proceso Heroult para la obtención electrolítica del aluminio, han sido sustituidos por electrodos de este material, ya que poseen una buena mojabilidad frente al aluminio, una menor resistividad eléctrica, requiere de un menor voltaje de operación y permite reducir sustancialmente los costos del proceso. La tabla 2 muestra las propiedades más importantes de algunos boruros [2].

PROPIEDAD	TiB ₂	ZrB ₂	HfB ₂	VB ₂	NbB ₂	TaB ₂	CrB ₂	MoB	WB
Estructura cristalina	Hex.	Hex.	Hex.	Hex.	Hex.	Hex.	Hex.	Ortho - romb.	Ortho - romb.
Densidad [g/cm ³]	4,5	6,1	11	5	7	12	5,6	8,5	15,5
Microdureza, Vickers	3480	2200	2900	2080	2600	2200	2250	2500	3750
Módulo de elasticidad [KN/mm ²]	374	350					215		
Punto de fusión [°C]	2900	2990	3250	2400	3000	3150	2200	2350	2860
Coefficiente de expansión Térmica [10 ⁻⁶ /K]	6,39	6,83	5,3	5,3		5,1	11,1		
Resistividad eléctrica [μΩcm]	9	7	15,8	38	12	21	56	50	

Tabla 2. Propiedades de algunos compuestos de boro [2].

4. Alúmina (Al₂O₃)

Se encuentra contenido principalmente como mineral en la bauxita acompañado de diferentes impurezas. En presencia de algunos óxidos forma el zafiro de color azul y el rubí de color rojo. La alúmina ha encontrado amplia aplicación como elemento de desbaste y pulido para aceros y metales ferrosos, en la fabricación de ladrillos refractarios y otros componentes de hornos. En combinación con TiC y ZrO₂ posee una buena tenacidad y puede ser utilizado en la fabricación de herramientas de corte para materiales no ferrosos, matrices de extrusión y diferentes elementos en turbinas y motores

de combustión [2]. La alúmina reforzada con whiskers de SiC y TiC encuentra aplicación en el mecanizado del acero y de las fundiciones de hierro, ya que posee buena tenacidad, es estable térmicamente y tiene baja reactividad química con la mayoría de los metales, aún a altas temperaturas [1,2].

MATERIALES CERÁMICOS NANOESTRUCTURALES

En la búsqueda de lograr mayor eficiencia en el mecanizado de los materiales duros y sobre todo reducir el impacto ambiental que ocasionan los medios refrigerantes y lubricantes y disminuir de lado los costos de producción, se

desarrollaron otros materiales, incluyendo casi todos los anteriormente nombrados a partir de la deposición química y física de vapor CVD - PVD. Estos materiales obtenidos como recubrimientos y películas delgadas, con espesores de hasta 2 micras, no necesitan medios aglutinantes y poseen un tamaño de grano del orden de los nanómetros. Estos dos aspectos disminuyen sustancialmente la cantidad y tamaño de los defectos e imperfecciones cristalinas, por lo cual presentan una mayor tenacidad y mejoradas propiedades físicas y mecánicas que los materiales sinterizados a partir de polvos.

El desarrollo de recubrimientos

ultrafinos de TiAlN por la tecnología del PVD de arco pulsado, abre una ventana de posibilidades en el mecanizado del aluminio y del acero inoxidable, que tanto problema causan en este proceso, ya que se adhieren y sueldan a la herramienta. Estos recubrimientos poseen gran dureza, bajo coeficiente de fricción, buena adhesión al sustrato y son químicamente inactivos hasta altas temperaturas de trabajo. La consecuencia de ello es una mayor vida útil de la herramienta, tiempos de mecanizado más cortos, mayor calidad superficial de las piezas y menores costos de producción [3,4].

Las figuras 4a y 4b muestran dos herramientas de corte, una recubierta con TiAlN, la otra sin recubrir, y el respectivo desgaste de ellas. También se observa una broca desgastada en la figura 4c por causa de efectos de adhesión del material en la herramienta. La tabla 3 muestra el rendimiento de un punzón en función del tipo de recubrimiento [3].

Otro enorme problema que acompaña a los fenómenos de desgaste de las herramientas en el proceso de mecanizado, es el que atañe el aspecto medioambiental, originado ante todo por los medios refrigerantes y lubricantes de la herramienta. Es conocido, que los medios refrigerantes y lubricantes así como sus vapores, ocasionan en contacto con el operario, reacciones alérgicas, problemas bronquiales, náuseas, mareos e incluso contribuyen a la formación de diferentes tipos de cáncer, lo que incrementa los costos por incapacidad.

Según datos de 1996, cada año en Alemania, deben deponerse 850.000 toneladas de residuos lubricantes. Los costos de consecución, mantenimiento y deposición de los refrigerantes y lubricantes hacen el 16% de los costos de producción, mientras que los costos de las herramientas representan solo el 4% [3,4].

Diferentes tipos de recubrimientos duros como el diamante, el nitruro de boro cúbico, el TiAlN, el TiCN y

combinaciones de estos con la alúmina, además de ser muy duros y resistentes al desgaste, actúan como barreras térmicas y de difusión y permiten de esa manera el mecanizado en seco, sin utilización de medios refrigerantes, haciendo que el calor generado durante el proceso, se disipe por la viruta. Los siguientes ejemplos, a mano de las figuras 5 y 6, muestran algunas pruebas de mecanizado realizadas con este tipo de materiales.

Los recubrimientos de diamante depositados sobre diferentes metales duros mediante la tecnología del CVD han tenido amplia aplicación en el procesamiento de componentes en la industria del automóvil y aeroespacial. En pruebas efectuadas sobre piezas fabricadas en aleaciones de aluminio al silicio (A 6061 - T6) altamente abrasivas y reforzadas con 15% de alúmina, las herramientas presentaron un desgaste considerablemente menor que las fabricadas en diamante policristalino sinterizado.



Figura 4a. Herramienta de corte recubierta con TiAlN



Figura 4b. Sin recubrimiento [3]



Figura 4c. Broca desgastada por adhesión de material [4]

Sin recubrir	10.000
Nitruración Iónica	60.000
TiNC	175.000
TiAIN	876.000

Tabla 3. Cantidad de piezas troqueladas en función del tipo de recubrimiento



Figura 5. Comparación entre maquinado seco y húmedo al torneear C54, a) desgaste de la herramienta en el torneado húmedo b) en el torneado seco c) temperatura del inserto d) de la pieza

La figura 7 muestra también el comportamiento del diamante monofásico obtenido por CVD frente al carburo de tungsteno microgranular en el mecanizado de una aleación de aluminio A356 - T6 reforzada con 10% de SiC. Se puede apreciar que el diamante monofásico presenta un rendimiento mayor en un 300% [3, 4, 5, 6].

CONCLUSIONES

La tendencia de los trabajos de investigación en el área del mecanizado eficaz, es el lograr una velocidad de corte cada vez mayor, reducir los costos de producción, sostener o mejorar la calidad superficial y acabado de los productos y disminuir la contaminación del medio ambiente. Los parámetros y recomendaciones a tener en cuenta para tales fines son [4]:

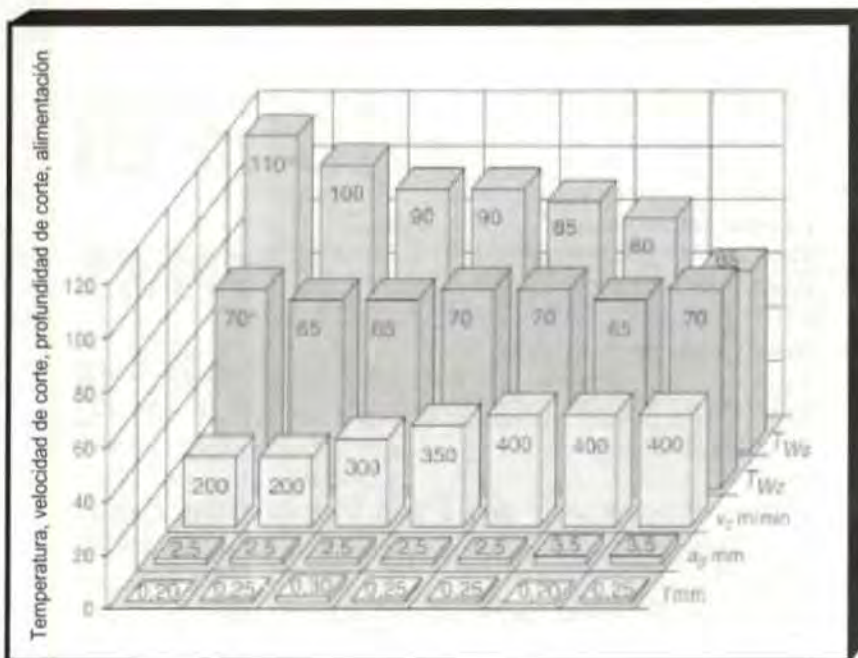


Figura 6. Temperatura de pieza y herramienta en función del porcentaje de desprendimiento de viruta que en el torneado seco (material C45, brillante, 50x80 mm, pieza terminada 20 x 80 mm, volumen removido V 130 cm³, material de corte M25/K20; profundidad de corte y alimentación; Vc velocidad de corte, Tws temperatura de la pieza y Twz temperatura de la herramienta

- El mecanizado en seco de piezas y demás componentes de máquinas y equipos.
- La fabricación de herramientas con materiales cerámicos y puestos que posean alta ° dureza, bajo coeficiente de fricción, gran resistencia al desgaste, suficiente tenacidad y buena estabilidad termo-química.
- El desarrollo de recubrimientos con el tipo de materiales anteriores que sean aplicables a las herramientas de mecanizado.
- Mejoramiento de la adhesión y tenacidad de dichos recubrimientos mediante la tecnología de gradientes de concentración y de multicapas, entre otras.
- Diseño de una geometría que minimice el tiempo y el área de contacto entre la herramienta - pieza - viruta.
- Diseño de sistemas de sujeción y guiado de la herramienta que minimice los esfuerzos que actúan sobre ella.
- En caso necesario incorporar la microrrefrigeración por aire o por goteo, e incorporar canales de refrigeración y lubricación.
- La utilización de un sistema de succión de polvos y virutas durante el proceso de mecanizado.
- El mecanizado con altas velocidades de corte, que disminuyen la temperatura de la herramienta y de la pieza,

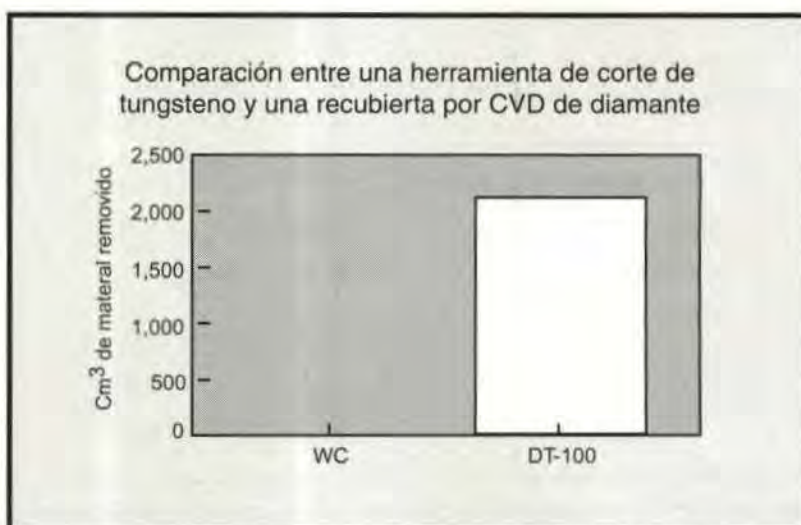


Figura 7. Mecanizado de la aleación de aluminio A356 -T6 con 10% SiC [6]

cuando se utiliza recubrimientos con efecto de barrera térmica y de difusión.

Con base en lo anterior y teniendo en cuenta la gran dureza y bajo coeficiente de fricción del diamante monofásico y del nitruro de boro cúbico obtenidos por la tecnología del PVD, las actuales investigaciones en el campo de los recubrimientos duros se concentra en la disminución de las tensiones residuales y mejoramiento de la adhesión de dichos recubrimientos, que permitan su aplicación industrial en el proceso del mecanizado eficaz.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] RAYMOND K. Martha. -- Ceramics ease up the machining of high - hardness parts, AMERICAN MACHINIST (Cleveland), Vol. 140, No. 5, mayo 1996, p. 36-39
- [2] SCHEDLER Wolfgang, AUFBAU, Herstellung. -- Eigenschaften y industrielle Anwendung einer modernen

Werkstoffgruppe, Handbuch Hartmetall für den Praktiker, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf-Germany, 1988, páginas 1-31.

[3] RINKER U., Christoffel Steinfurt and Klaus. -- Dry machining relieves environmental burdens. -- EUROPEAN PRODUCTION ENGINEERING (Munich), Vol. 20, No. 3-4, pg. 12-14, 1996.

[4] HEINE, Hans J. -- Development work in Germany leads to more frequent use of dry machining methods, FORGING (Cleveland) Vol. 9, No. 4, 1998, p. 39-40

[5] CREES, Dieter. -- Mecanizado de alta velocidad como nuevo método de producción. -- METALURGIA Y ELECTRICIDAD (Madrid), Vol. 64, No. 729, julio - agosto 2000, p. 34-35

[6] RAYMOND K., Martha. -- Coatings keep cutting tools sharp. - AMERICAN MACHINIST (Cleveland) Vol. 140, No. 5, mayo 1996. p. 40-42.

EL NUEVO PAPEL DEL PRODUCTOR DE PLÁSTICOS: Decisiones estratégicas a comienzos del siglo XXI

Thomas L. Hensel, Frankfurt am Main

PRESENTACIÓN

Las presiones del mercado sobre rentabilidad y márgenes de ganancia obligan a los productores de plásticos a revisar sus estructuras y buscar una reorientación estratégica. En este proceso, los tradicionales servicios post venta son puestos en tela de juicio. Surgen nuevos modelos empresariales que diferencian entre el proveedor de productos estándar, la empresa innovadora, el aliado en la solución de problemas y la empresa de servicios.

Tecnologías como la conexión en red y la empresa virtual abren nuevos horizontes para la cooperación.

Hace poco, el calendario del mundo occidental registró el arribo de un nuevo milenio. A pesar de que la mente humana es incapaz de abarcar períodos de tiempo de tal envergadura, o siquiera predecir el curso de la historia para un siglo e incluso encuentra difícil pronosticar con cierto grado de exactitud los acontecimientos de sólo una década, los expertos

de la industria del plástico están seguros que la importancia de los polímeros seguirá creciendo por mucho tiempo, como herramienta indispensable en la solución de los grandes problemas del planeta. Así por ejemplo en la medicina, la nutrición, la demanda de agua potable, la protección ambiental y la conservación de los recursos, en la construcción de viviendas dignas, el transporte y la comunicación global, para mencionar sólo algunos campos de aplicación.

1. Los mercados regionales pierden importancia, nacen mercados globales
2. Los mercados de Asia se convierten en el centro de las actividades comerciales
3. Nuevas inversiones se realizan preferiblemente en esta región
4. El enfoque en competencias específicas y factores críticos de éxito obligan a una revisión del portafolio de productos
5. Ofertas generales de productos pierden su atracción comercial
6. Plantas nuevas poseen altas capacidades y requieren grandes inversiones de capital
7. Gestión económica mediante racionalización y reducción de costos
8. Los márgenes de utilidad disminuyen incluso para plásticos de ingeniería
9. Algunos de los productores de plásticos, antes prestigiosos, no lograron hacer frente a una competencia cada vez más agresiva, abandonaron el mercado o vendieron determinadas líneas de la compañía
10. Las empresas que sobrevivieron sienten la necesidad de una mayor "masa crítica"
11. Nacen nuevas alianzas, agrupaciones y asociaciones
12. Decisiones estratégicas exigen nuevos modelos de empresa
13. La ejecución de las estrategias se delega crecientemente a asociaciones conectadas en red en función de proyectos, y a empresas virtuales

Figura 1. Procesos de cambio en el entorno del productor de plásticos

Presiones que provocan cambios

El futuro de los plásticos no será un acontecimiento aislado, sino un proceso íntimamente relacionado con la evolución global de la sociedad, la ciencia y la tecnología [1]. La confianza que los productores depositan en la eficacia de estos materiales y su potencial de desarrollo se basa en hechos irrefutables. Sin embargo, los cambios en las estructuras globales los obligan a nuevas orientaciones estratégicas [2] que no se pueden lograr sin desprenderse de los modelos tradicionales de la actividad industrial y comercial.

En la actualidad, la re-estructuración de la industria de los plásticos se halla en plena marcha y se desarrolla con extraordinaria dinámica. Algunos factores que están acelerando este proceso pueden apreciarse en el cuadro número 1.

Todas las estrategias de cambio tienen un propósito en común: deben situar al productor individual en una mejor posición competitiva.

Técnicamente, el nuevo papel del productor de plásticos será el resultado de un proceso de decisiones estratégicas, basado en un detenido análisis del estado actual de la industria y su prospectiva. En este contexto se les presentan varias opciones estratégicas, de acuerdo con su posición de partida y la interpretación de sus objetivos ("visión" y "misión"). Igualmente variada puede ser la forma del nuevo modelo que la empresa elija para enfrentarse en un futuro a la competencia en los mercados.

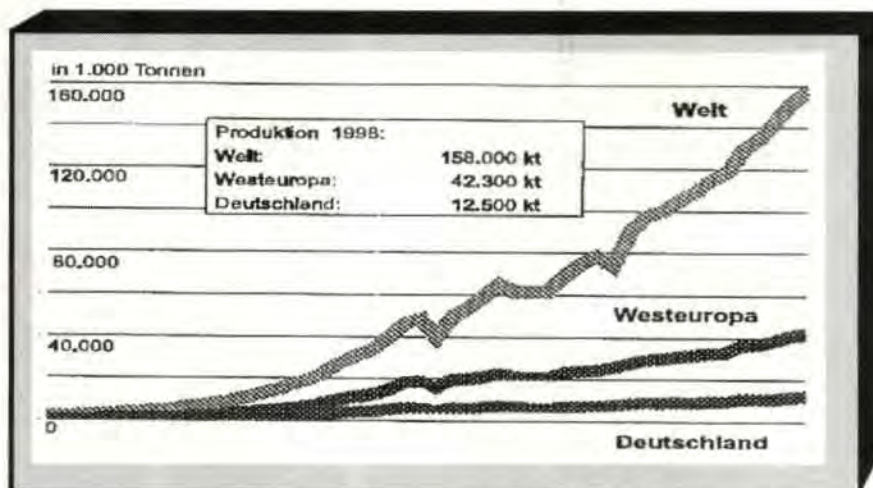


Figura 2. Producción de plásticos entre 1950 y 1998 [3]

El mercado global

La producción mundial de plásticos no ha perdido su dinámica, por lo contrario sigue creciendo constantemente [3] (véase figura 2).

En 1998, el consumo total de materiales plásticos fue de 158 millones de toneladas, de los cuales el 80 por ciento son termoplásticos (aproximadamente 125 millones de toneladas) [3].

Para el año 2000 se prevé un consumo de termoplásticos de 130 millones de toneladas, por un valor estimado en 130 mil millones de Euros. Hasta el 2005 se pronostica un aumento del consumo a 150 millones de toneladas.

Los polímeros dominantes son las poliolefinas (PE-LD, PE-LLD, PE-HD y PP) que se consideran como materiales estándar y comprenden aproximadamente dos tercios de la producción total.

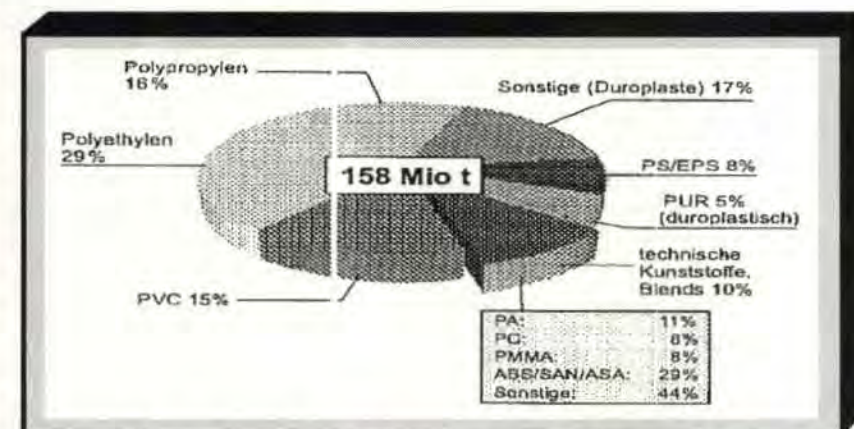


Figura 3. Producción mundial de plásticos en 1998, especificada por tipos de polímeros

Los plásticos de ingeniería participan en el mercado con un porcentaje mucho menor. Analizando el comportamiento de los cinco plásticos "clásicos": de esta categoría (PA, PC, PMMA, POM y PBT), se espera para el año 2000 un consumo de cinco millones de toneladas que aumentará a 6.5 millones en el año 2005. Los plásticos de altas prestaciones por su parte como PTFE, PEEK, LCP y PPS sólo llegan a un porcentaje mínimo (0,1%). Desde el punto de vista de su volumen en el mercado y a pesar de su interesante potencial en la solución de problemas tecnológicos, siguen siendo poco más que "productos de nicho".

En general, el mercado de los plásticos se ha tornado más transparente. Entre los diferentes tipos de plástico aumenta claramente la competencia de desplazamiento. Hay indicios de una competencia a nivel global y nuevos mecanismos para la determinación de precios. El manejo de los elementos logísticos se está convirtiendo en un instrumento de mercadeo, muchas veces decisivo para la compra. Parece que éstos además sientan las bases para nuevas alianzas profundas y duraderas, entre los productores y los transformadores de materiales plásticos.

Asia se convierte en el centro (de las operaciones comerciales?)

Una de las claves para comprender los cambios en este mundo, que inciden también en la industria del plástico, radica en la explosión demográfica en los países de "umbral" (medianamente desarrollados). En este

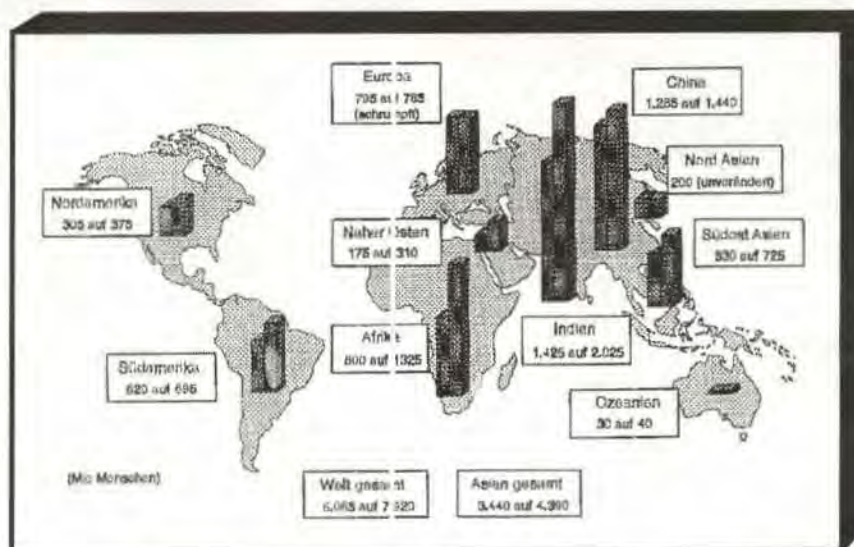


Figura 4. Crecimiento de la población mundial entre 2000 y 2025 en millones

proceso, la región asiática se convierte en el centro global. A comienzos del nuevo milenio, la población mundial alcanzó los 6 mil millones. En el curso de los próximos 25 años, esta población aumentará a 8 mil millones y para el año 2050 se espera una población mundial de 9 mil millones [4], lo cual producirá efectos de cambio persistentes de las estructuras globales. La división económica del mundo en las regiones industrializadas de Norte América, Europa Occidental y el Japón hoy está obsoleta e inservible para la comparación estadística.

Hoy se han desarrollado poderosas estructuras industriales en antiguas naciones "de umbral", que dentro de 10 años se convertirán en nuevos centros del mercado, con el liderazgo de la región asiática, donde ya vive más de la mitad de la población mundial. La extensión geográfica

de Asia y su gran diversidad política y cultural no permite considerar esta región como zona económica homogénea (figura 4). Se puede observar que el subcontinente de la India, la China y Asia Suroriental se están convirtiendo con gran dinámica en regiones industriales autónomas, que imponen nuevos retos a la competitividad de los productores de plásticos.

Se supone que, en la próxima generación, el consumo de plásticos per cápita tanto en Asia como en América Latina se aproximará a la media estadística actual de Norteamérica, Europa Occidental y Japón (más de 90 kg). Es incluso muy probable que para 2025 el consumo en Asia sea mayor, puesto que los plásticos serán indispensables ante la demanda de la industria de alimentos (entre otros como material de empaque), la producción y el suministro de agua

potable, y la industria de la construcción. En comparación con el crecimiento en Asia, el consumo de plásticos en los países industrializados de Occidente sólo experimentará un aumento modesto.

Del surtido universal

Durante las últimas dos décadas, prevalecía entre los productores de plásticos la opinión que el éxito económico de su empresa radicaba en un gran surtido y una amplia paleta de productos. Se esperaba un alto comportamiento sinérgico, suponiendo que el transformador de plásticos o el consumidor final iba a recompensar la amplia oferta de servicios de una sola mano y las posibilidades de una óptima solución de problemas, que ello implicaba. Sin embargo, esto rara vez ocurrió.

Con el tiempo se instaló cierta desilusión y la observación realista que, con la creciente estandarización de las aplicaciones y la suficiente eficacia técnica de los productos, el único factor que define una compra es el precio.

La presión sobre el costo que ejercen por igual los consumidores finales, los proveedores de sistemas y los transformadores, obligó a los productores de plásticos a reflexionar sobre sus competencias específicas e idearse estrategias de marketing más rigurosas. Esta revisión condujo a un proceso de "purificación" del surtido de la empresa, que aun no ha concluido. Las empresas actuales prefieren modelos con

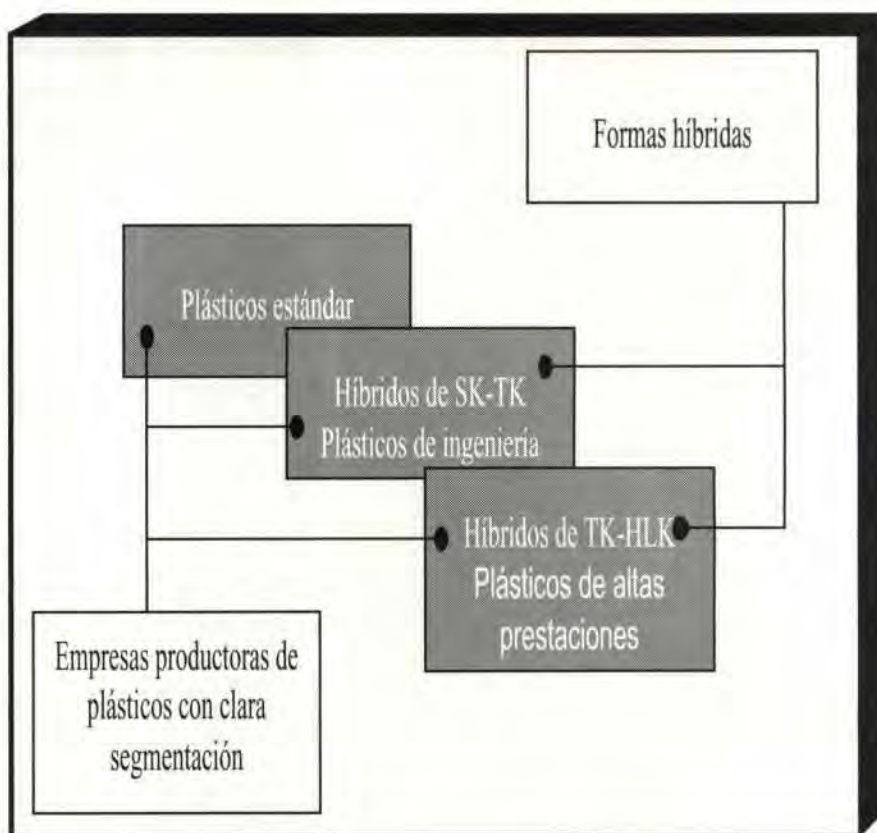


Figura 5. Los actuales modelos de empresa son definidos por el portafolio de productos

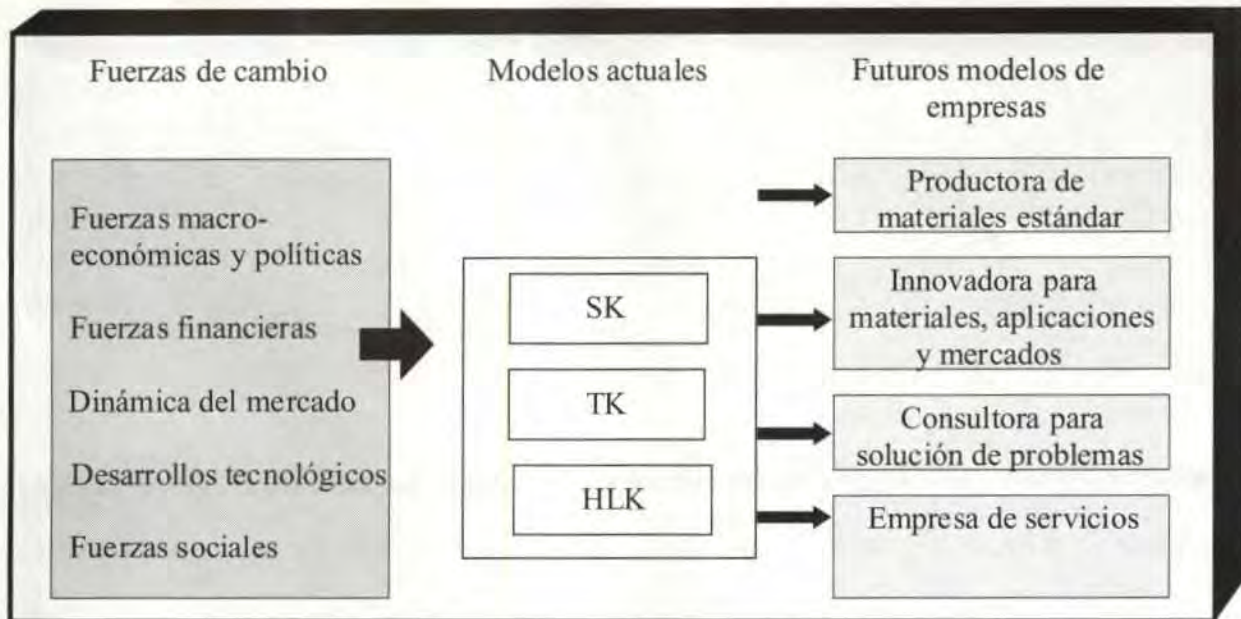
segmentación más clara y definición por el respectivo portafolio de productos (figura 5).

. . . . a nuevos modelos de empresa

En los informes de gestión y las publicaciones monográficas de las empresas se encuentran evidencias que las utilidades, márgenes de ganancia y réditos de los productores de plásticos se han reducido constantemente, situación que no es aceptable para los inversionistas de esta industria. [2]

Por un lado, los inversionistas

pagan un premio por la capacidad de abrir potenciales de mercado y crear valores. Por otro, la concentración del poder adquisitivo producirá cambios duraderos en la cadena de creación de valor, dando origen a "pools de creación", en los cuales también los productores de plásticos tendrán que definir su rol. Será indispensable para cada empresa seguir desarrollando el concepto de las competencias particulares para construir sobre estas bases las decisiones estratégicas, de cuál sería el modelo que la empresa adoptaría en un futuro (figura 6).



SK Plásticos estándar
TK Plásticos de ingeniería
HLK Plásticos de altas prestaciones

Figura 6. La presión sobre las estructuras actuales crea nuevos modelos de empresa

Para ello las empresas deben abandonar los modelos actuales basados en productos [5], sustituyéndolos por estructuras que se basan en competencias y prestaciones particulares bien definidas (figuras 7-10).

1. *Gestión de costos: Creación de valores mediante fabricación eficaz*
2. *Plantas: Última tecnología de procesos, alto rendimiento, alta capacidad*
3. *Bajo costo de monómeros, con frecuencia integración hacia atrás (retro – integración)*
4. *Logística eficiente, muchas veces engranada con la estructura de los clientes*
5. *Bajos costos generales*
6. *Enfoque: pocos productos, estrecha gama de géneros*
7. *Cientela: reducida, compradores de grandes volúmenes*
8. *Canales de venta de poca comunicación*
9. *Tipo de negocio: reducidos márgenes, grandes cantidades*
10. *Presencia global: indispensable para mantener el liderazgo en precios*

Figura 7. Nuevo modelo: Empresa productora de materiales estándar

1. *Creación de valor: mediante el desarrollo propio de productos, tecnologías, aplicaciones y mercados novedosos*
2. *Estructura: gran empresa o pequeño portador de tecnología*
3. *Facultades: tiempos cortos de investigación, patentado, desarrollo, ejecución y comercialización*
4. *Amplia clientela industrial*
5. *Tipo de negocio: I & D = Investigación y desarrollo*
6. *Presencia global: no indispensable, pero útil.*

Figura 8. Nuevo modelo - empresa innovadora de productos

1. *Creación de valor: aprovechando el amplio conocimiento técnico de expertos propios*
2. *Enfoque: solución de problemas específicos de los clientes (por ejemplo diversificación de productos)*
3. *Asesoría completa de aplicación*
4. *Concepción: sistemas, cadenas de costos y segmentos del mercado*
5. *Organización: creatividad y capacidad de trabajo en equipo*
6. *Estrecha relación con comitentes y sus clientes finales*
7. *Instalaciones productivas y tecnológicas*
8. *Canales de venta ricos en comunicación*
9. *Clientela: amplia, volúmenes medianos de compra / venta*
10. *Tipo de negocio: márgenes medios, cantidades medianas*
11. *Presencia global: necesaria, porque los clientes trabajan a nivel global*

Figura 9. Nuevo modelo - empresa asociada (para la solución de problemas)

1. *Creación de valores: mediante prestación de servicios especializados*
2. *Clientes: Mas consumidores finales que transformadores*
3. *Tareas típicas: CAE, CAD, MoldFlow, FEM, dimensionamiento de moldes*
4. *Además: gestión de la calidad y servicio técnico por encargo de terceros*
5. *También: servicios financieros tales como "leasing"*
6. *En parte: alta integración en las estructuras de los clientes*
7. *Por eso frecuentemente: integrante de redes, asociaciones y empresas virtuales*
8. *Tipo de negocio: Empresa consultora altamente competente*
9. *Presencia global: no indispensable, pero útil*

Figura 10. Nuevo modelo - empresa de servicios

Posiblemente, la mayoría de los actuales productores de materiales estándar se ubique en el primer modelo. Algunos ya están dirigiendo sus negocios según este patrón. En cambio, las empresas que producen plásticos de ingeniería en grandes volúmenes muestran dos tendencias opuestas: vacilan entre la producción de materiales estándar ("commodity products") y la especialización para la solución de problemas, razón por la cual en un futuro deberán establecer posiciones estratégicas más claras.

Cada uno de los cuatro modelos requiere de competencias distintas, que deben ser ampliadas y desarrolladas. Las estructuras aquí idealizadas dejan espacio para interpretaciones propias. Los productores de plásticos que tendrán éxito también en el futuro, se decidirán por versiones propias, aprovechando aquellos conocimientos y facultades que sus empresas dominan con especial perfección.

También podemos imaginarnos empresas, en las cuales los cuatro modelos descritos constituyen divisiones separadas de la misma empresa, cada una con su propia responsabilidad económica.

¿La prestación de servicios ante una nueva definición?

Tradicionalmente, la industria europea de producción de plásticos se caracterizaba por un alto grado de servicios. Durante muchos años, sostenían extensos departamentos de tecnología de aplicación, donde ingenieros expertos se desempeñaban en

proyectos de investigación aplicada, el desarrollo de productos, el servicio técnico, el diseño de aplicaciones y la asesoría asistida por computador. Estos importantes servicios, por lo general, no se cobraban a los transformadores y consumidores finales interesados. Se esperaba más bien que estos servicios fuesen tenidos en cuenta a la hora de negociar volúmenes de compra y precios.

No se puede negar que en importantes segmentos del mercado este tipo de servicios hoy ya no es honrado. Da cada vez más la impresión que las relaciones que prevalecen entre las grandes industrias globales por ejemplo del automóvil o la electrónica y los productores de plásticos son desiguales y de ninguna manera cooperativas. En ocasiones, las presiones para reducir los costos se traduce exclusivamente en presiones sobre los precios de la materia

prima, sin considerar posibilidades más obvias y persistentes para aumentar la competitividad.

Por eso el concepto de la cooperación en nuestra industria requiere de una nueva definición, que muestre más claramente qué se debe entender en un futuro por una división de costos según su origen. Tan sólo los costos obligan a los productores de plásticos a repensar su oferta de servicios. Se puede prever que en adelante una estricta separación entre producto y servicio formará parte importante de su estrategia de supervivencia. Los cuatro modelos que describimos abren un espacio para ello, sin reducir el margen actual de cooperación.

Redes y empresas virtuales

En el camino hacia nuevas estructuras y a veces paralelamente a su re-orientación, los futuros modelos recorren una serie de procesos de cambio (figura 11).

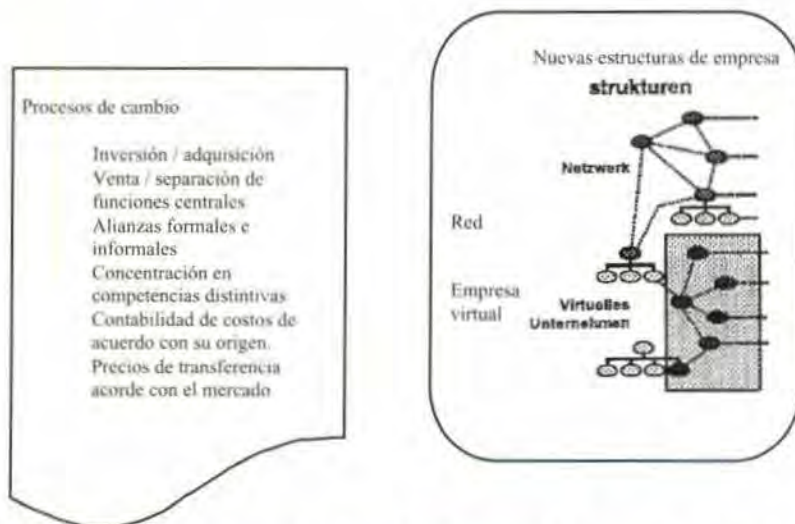


Figura 11. Los nuevos modelos de empresa se caracterizarán por redes y alianzas virtuales

El año pasado e incluso en las últimas semanas, hubo muchos ejemplos de inversiones y adquisiciones, la venta de departamentos y la separación de funciones centrales, como también de nuevas alianzas y cooperaciones, que confirman el proceso de (en parte considerables) reestructuraciones, que se están produciendo a nivel global.

Ya se conocen las primeras empresas virtuales (aparentes) y redes conformadas por industrias o partes de ellas. Este tipo de empresas trabaja preferiblemente con base en proyectos, muchas veces por tiempo limitado y expresamente de organización global. Con frecuencia están compuestas por un cúmulo de competencias específicas diferentes, que se reunieron para cumplir con determinados objetivos de trabajo. Estructuras de esta naturaleza superan los modelos de integración horizontal y vertical que hasta hoy estaban en uso. No están supeditados a niveles jerárquicos, su propósito es más bien la integración colateral, es decir asegurar la cooperación / concertación por encima de las diferentes funciones y jerarquías.

El criterio de selección es único y exclusivamente el potencial para la solución del problema. A menudo, estas cooperaciones dan comienzo a empresas filiales que pueden alcanzar posiciones de liderazgo en el mercado.

Las alianzas estratégicas con el fin de alargar la cadena de creación de valor aumentan aún más la inmensa diversidad de posibles

cooperaciones. Es probable que a mediano plazo, los transformadores o consumidores finales de los plásticos participen en la financiación de la industria productora a escala mucho mayor que hasta hoy. Igualmente se entenderán las ventajas de una mayor integración de las cooperativas de compradores, por lo general de actividad local, de proveedores y distribuidores en las actividades de los productores de plásticos.

Perspectivas

El éxito económico de los productores de plásticos en un futuro, requiere de decisiones estratégicas que deben tomarse hoy. Hemos presentado los principales modelos que incluyen una amplia gama de posibles opciones en la búsqueda de:

- Ventajas para el cliente
- Diferenciación y
- Solidez (rentabilidad persistente)

No existe un solo camino. Serán decisivas para el éxito, la consecuencia y rapidez con que las estrategias elegidas sean puestas en práctica.

Nuestra industria actual ya está altamente globalizada. El comercio electrónico (E-commerce) de seguro acelerará este proceso y contribuirá a la diferenciación de los productores de plásticos. El éxito en el mercado dependerá, además, de la forma cómo (los productores de plásticos) integren el mercadeo estratégico, las necesidades del cliente, la innovación, el conocimiento y la competencia en sus procesos de cambio.

Los plásticos siguen siendo materiales sorprendentemente jóvenes, que de ningún modo han alcanzado su mayor grado de madurez. El crecimiento de la población global no será manejable sin el uso de plásticos, lo cual les abre enormes perspectivas de crecimiento, que los productores de plásticos sabrán aprovechar.

BIBLIOGRAFÍA

CUHLS, K.; ESCHWEY, H. Die kunststoffindustrie im 21. Jahrhundert, 4. Internationaler Kongress: Kunststoffe 99, April 1999, Würzburg.

SCHMITT, B.; PRATORIUS, W.; MÜHLBACH, K.; PLESNIVY, T.; KLIMAWECHSEL. Neue grobwetterlage bei der kunststofferzeugung, kunststoffe, 89 (1999) 6, S.24

Wirtschaftsdaten und grafiken kunststoffen, stand oktober 1999, VKE verband kunststofferzeugende industrie e.V., Frankfurt (<http://www.vke/text/deutsch/download.htm>)

U.S. census bureau, the Official Statistics, März 1999, und Total midyear population for the world: 1950 to 2050 (<http://www.census.gov/ipc/www/worldpop.html>)

HURWITZ, D.; NECHVATAL, G. Industry outlook report: the chemicals industry in 2010, ARTHUR D. Little, Prism first quarter 1999 (www.arthurdittle.com/prism/prism%5F1-q99/hurwitz.html).

NIVELACIÓN Y REGLAJE DE MÁQUINAS TROQUELADORAS

Pedro María Sáenz Puentes
instructor SENA, CDT - ASTIN

INTRODUCCIÓN

La utilización de máquinas troqueladoras en la industria metalmecánica adquiere gran importancia, no sólo por la rapidez y precisión de la producción de las piezas con respecto a la producción con otras máquinas herramientas, sino también por su capacidad de ejecución de trabajos complejos.

Sin embargo, durante el empleo de las máquinas troqueladoras se pueden presentar los siguientes inconvenientes que afectan la producción:

- Deficiencias de nivelación de la máquina
- Fallas de paralelismo entre placa de apoyo ("colchón") y la base superior o "porta caña" (o entre placas del troquel)
- Fallas de perpendicularidad en el desplazamiento del carro porta punzón con respecto al plano de la mesa (o fallas de maquinado en el sistema de guiado).

Estas fallas pueden ocasionar, entre otras cosas:

1. Rotura y/o astillamiento de punzones y matrices (disminución de la vida útil)
2. Defectos en las piezas troqueladoras
3. Daños en mecanismos de la máquinas.

Pérdidas de tiempo en mantenimiento de troqueles, alineación, etc.

Por lo anterior, se sugiere realizar por lo menos una vez al año, una verificación de la nivelación y reglaje de la máquina, siguiendo las recomendaciones del constructor de máquinas, el alemán R. Schlesinger, que se muestran a continuación.

Para hacer este trabajo, se requiere un cilindro o una escuadra patrón (ángulo exacto de 90°), un indicador de carátula con

lectura por división de 0,01 mm, un nivel cuadrado con lectura de por lo menos 0,04 mm/m por división y de una platina paralela rectificada (para colocar el indicador si la superficie de la mesa está muy defectuosa).

COMPROBACIONES PARA PRENSAS TROQUELADORAS DE DOS MONTANTES MEDIANTE NORMAS SCHLESINGER

A continuación se presentan las comprobaciones que se deben efectuar y los límites admisibles permitidos. Se recomienda realizar esta verificación para cada uno de los siguientes ítems.

1. Movimiento del porta punzon perpendicular al plano de mesa.
2. Superficie Inferior del porta punzon paralela al plano de la mesa.
3. Asiento para el punzon perpendicular a la superficie por debajo del porta punzon.

Para máquina de:

Hasta 50t de presión máxima

Falla admisible	0,03 mm/300 mm
Falla tomada	

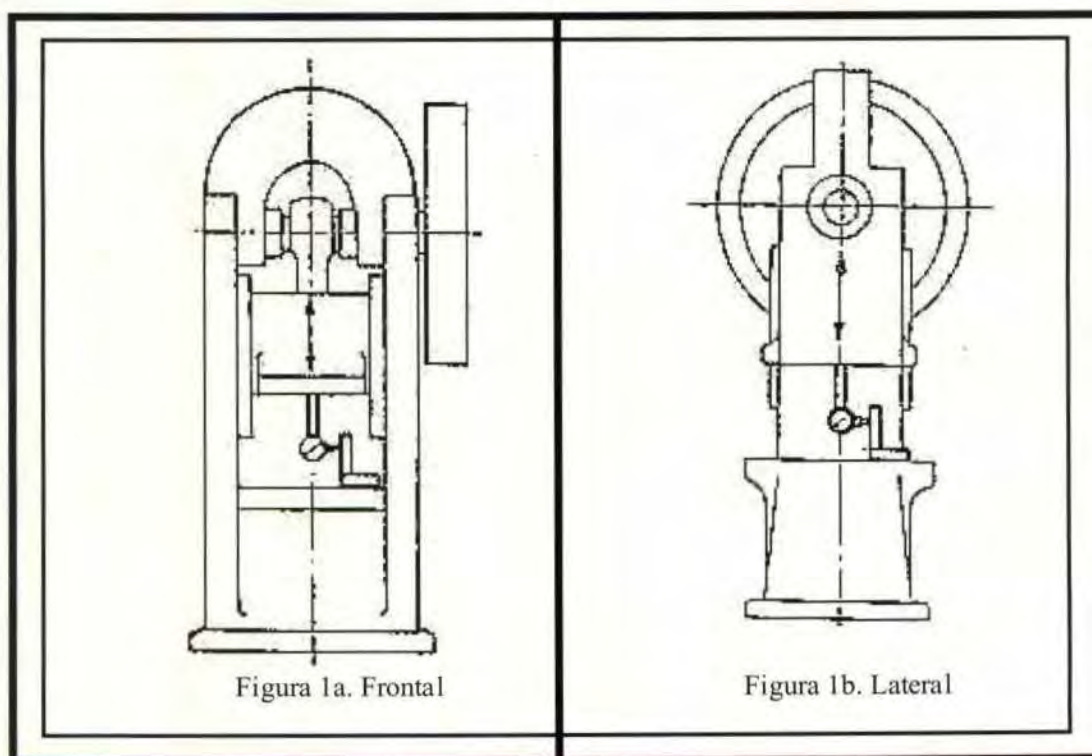
Sobre 50t hasta 250 t de presión máxima

Falla admisible	0,05 mm/300 mm
Falla tomada	

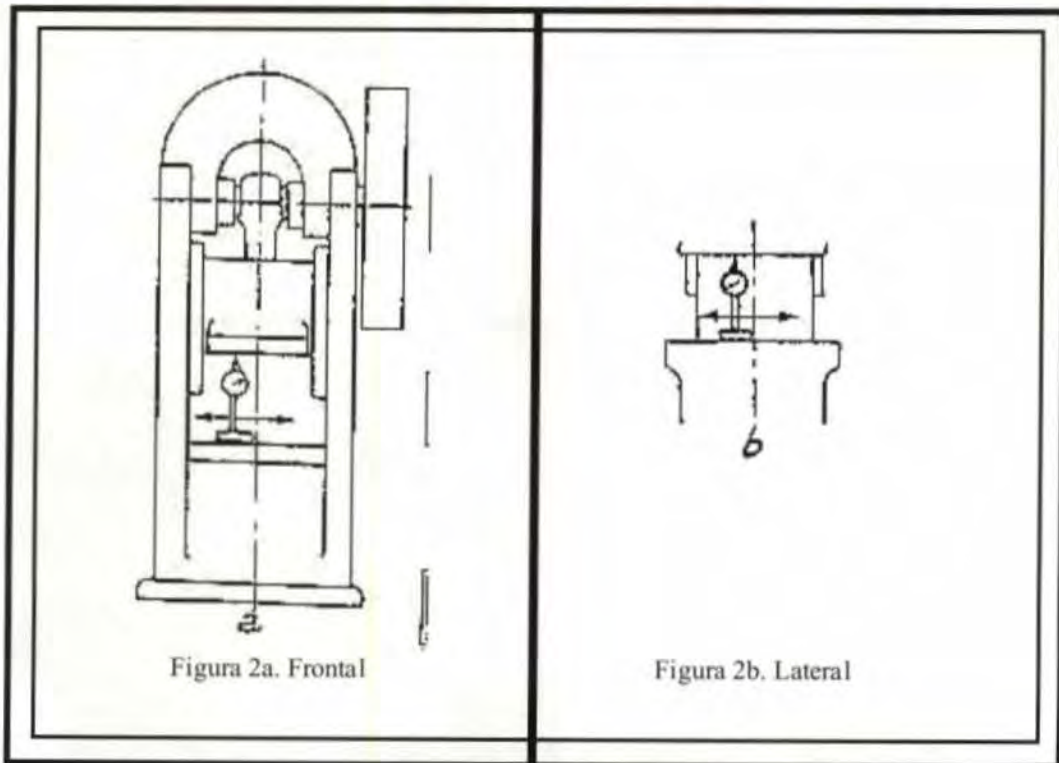
Sobre 250 t de presión máxima

Falla admisible	0,08 mm/300 mm
Falla tomada	

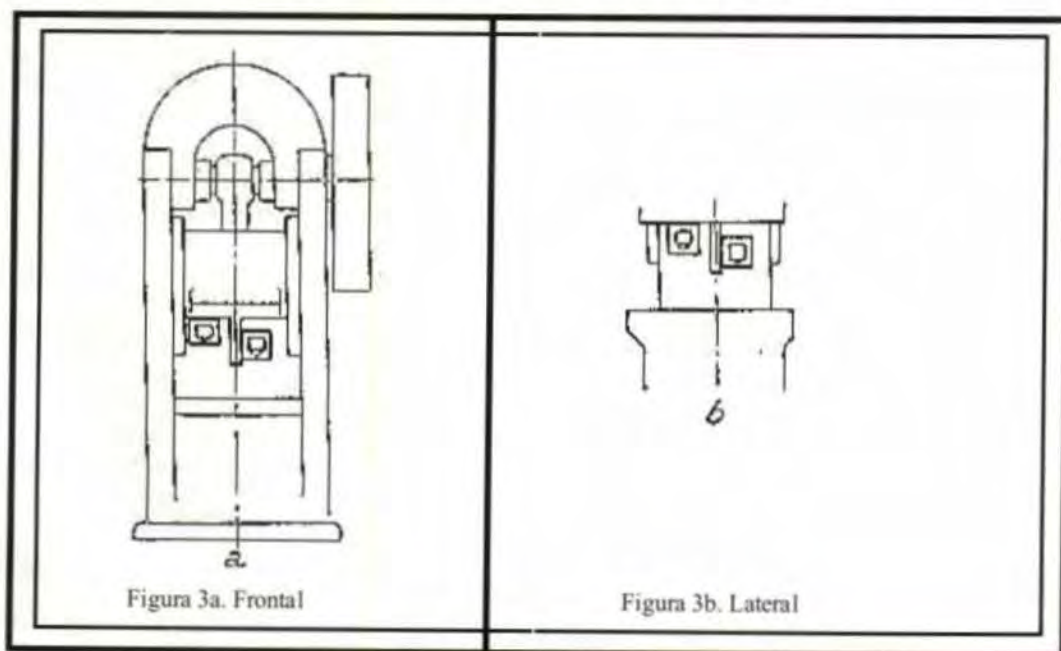
1. Movimiento del porta punzón perpendicular al plano de la mesa.



2. Superficie inferior del porta punzón paralela al plano de la mesa.



3. Asiento para el punzón perpendicular a la superficie por debajo del porta punzón.



LOS ADITIVOS EN LOS MATERIALES PLÁSTICOS

Ingeniera Sandra Rubby Gutiérrez Artunduaga
Profesional SENA, CDT - ASTIN

INTRODUCCIÓN

Los aditivos son sustancias que van dispersas en una matriz polimérica sin afectar su estructura molecular, cuya función es mejorar las propiedades, comportamiento y calidad de los materiales plásticos, a diferencia de los materiales auxiliares o modificadores como por ejemplo catalizadores, agentes de curado y emulsificantes, entre otros, que se usan en la fabricación del polímero o para modificar su estructura química.

Los aditivos se agregan a los polímeros en cantidades relativamente pequeñas, de manera usual en proporciones menores al 5%, por otra parte, cuando se agregan en proporciones entre el 10 y el 70% reciben el nombre de ingredientes de mezclado.

Debe garantizarse la eficacia de un aditivo, de manera que se logre el objetivo propuesto con una baja incorporación, en virtud de su alto costo.

Los polímeros por lo general no requieren sólo de un tipo de aditivo sino que se le deben mezclar varios de ellos, por tanto, lo que determina la elección final de uno o varios aditivos es el comportamiento considerado en conjunto, pues algunas veces mientras se

mejora cierta propiedad otras se pueden declinar.

Aspectos que se deben tener en cuenta en la elección de un aditivo:

Compatibilidad y movilidad

El aditivo debe tener una compatibilidad y movilidad en el polímero de acuerdo con su mecanismo de acción.

Si las moléculas del sistema polímero - aditivo han de interactuar, es preciso que exista una compatibilidad completa, esto es, miscibilidad mutua a escala molecular y movilidad o difusibilidad de las moléculas del aditivo dentro de la matriz polimérica.



En caso que el aditivo cumpla una acción a nivel supermolecular, puede ser deseable que haya una total incompatibilidad e inmovilidad de las moléculas de éste.

Se requiere una compatibilidad parcial si es necesario ejercer una fuerte afinidad entre el aditivo y el polímero en la interfase.

Migración y pérdida de aditivos

Un aditivo no debe ser volátil en las condiciones del proceso de transformación, ni exudar a la superficie durante su vida en servicio.

La presión de vapor de los aditivos debe ser baja a altas temperaturas

y no debe tender a agregarse, es decir, a precipitar o cristalizar por envejecimiento. Si esto sucediera, se daría lugar a un depósito del aditivo en forma de capa fina superficial que se denomina "caleo".

El aditivo tampoco debe ser extraído con los líquidos, con los que el polímero pueda entrar en contacto, ni debe exudar durante su vida de uso (sangrado o florescencia), por cuanto daría lugar a problemas de estética, o contaminación de los líquidos y a la disminución de eficacia por pérdida del aditivo.

El fenómeno de sangrado y eflorescencia depende de parámetros como:

- La compatibilidad aditivo +polímero
- El tamaño molecular del aditivo
- Las interacciones fisicoquímicas entre las moléculas del aditivo y del polímero
- La configuración de las cadenas poliméricas
- Los espacios intermoleculares.

Por lo anterior se concluye que los aditivos inorgánicos insolubles, como pigmentos, cargas, etc., no dan lugar en general a fenómenos de sangrado o eflorescencia, mientras que los plastificantes solubles de bajo peso molecular tienden más a exudar a la superficie durante el proceso de transformación y en el tiempo de uso del producto fabricado. Además puede ser vehículo para la migración de otros aditivos solubles.

Efecto de los aditivos en la salud

La salud del personal que participa en las operaciones de formulación y/o de transformación; no debe ser afectada por los aditivos. Así mismo, los consumidores deben estar exentos de perjuicio de manera especial en caso de que el producto plástico entre en contacto con alimentos, productos farmacéuticos o sea usado en la fabricación de juguetería.

A continuación se hace una descripción general de la mayoría de los aditivos:

Agentes antibloqueo

Este tipo de aditivo tiene como función evitar que las películas plásticas se adhieran entre ellas. Se utilizan principalmente en películas de PVC y poliolefinas. Las películas se pegan entre sí debido a cargas estáticas (por fricción) o cedencia en frío; porejemplo en polietileno de baja densidad.

Los agentes antibloqueo son de aplicación interna o externa, e incluyen: ceras, sales metálicas de ácidos grasos, sílices fundidas (de 0,01 mm de diámetro) y algunos plásticos como polialcohol vinílico, polisiloxano y plásticos fluorados.

La sílice fundida y los silicatos pueden usarse como agentes antibloqueo para generar rugosidad superficial y prevenir la adhesión entre películas. En películas de PVC son preferibles silicatos de calcio.



Aditivos antibruma

Estas sustancias se aplican en la fabricación de empaques (láminas y películas) de PVC y polietilenos y en ventanas de automóviles. Si una película de PVC se utiliza para empacar un alimento a baja temperatura, en la cara interna del empaque se condensan gotas de agua del alimento. El uso de aditivos antibruma o antiniebla hace que el agua forme una fina película continua manteniendo la transparencia o dándole características hidrofóbicas a la superficie interna para evitar que el agua forme gotas en ella. Los agentes antibruma actúan incrementando la tensión crítica de humectación en la superficie del polímero y reducen el ángulo de contacto entre el agua y el polímero.

Son de aplicación interna o externa y se usan por lo general en concentraciones del 0,5 al 4%.

Los agentes antibruma de incorporación interna lo hacen por extrusión o por mezcla seca; éstos métodos son los ideales para

preparar películas con efecto antibruma, porque se puede controlar la incompatibilidad con el polímero y la migración.

Los de uso externo se aplican en forma de spray, son fáciles de remover y tienen un tiempo de vida corto, pero son económicos y producen un efecto antibruma inmediato.

Los agentes antibruma, por lo general, son ésteres de ácidos grasos y glicerol, sorbitan y sorbitan etoxilado, y se usan dependiendo del polímero y su aplicación.

Agentes antiestáticos

La formación de cargas estáticas en piezas terminadas hace que el polvo y las partículas cargadas se acumulen sobre la pieza o la superficie de una película. Estas cargas también pueden obstaculizar la separación de las hojas de película plástica, dificultar el desmoldeo de las piezas y generar chispas.

Los polímeros se cargan con electricidad estática usualmente por el contacto directo con otra superficie (fricción). Una vez efectuado el contacto, la transferencia de electrones genera una distribución no uniforme de carga, las partes quedan estáticamente cargadas y de manera irregular.

Los agentes antiestáticos ofrecen un camino para disipar cargas estáticas en el aire. La molécula antiestática atrae carga estática hacia ella. Esta carga ya en el agente antiestático es transferida a las moléculas de agua presentes en el aire, la molécula de agua se lleva la carga y el agente antiestático recibe una nueva carga estática del polímero.

Pueden ser de aplicación externa o interna. Los de aplicación externa son sales de amonio cuaternario de ácidos grasos o ésteres de glicerol de ácidos grasos etoxilados. Estos se aplican en concentraciones de 0,1 y 2% en forma de aspersión en

soluciones acuosas o de agua - alcohol sobre la superficie de la película o pieza fabricada, la solución se seca y el agente antiestático queda sobre la superficie. Sin embargo, actividades posteriores de lavado, fricción o exposición a solventes hacen perder el aditivo.

Los agentes antiestáticos internos son de diferentes polaridades:

1. Los compuestos catiónicos trabajan mejor en polímeros polares, por ejemplo: PVC y ABS, pero pueden afectar la estabilidad térmica del polímero. No son grado FDA, pueden ser sales cuaternarias de amonio, fosfonio o sulfonio a menudo unidas a un radical alquilo de cadena larga. Se utiliza entre 1 y 2%.

2. Los compuestos no iónicos son de baja polaridad y son ideales para poliolefinas, son grado FDA y comprenden: ésteres de ácidos grasos, etanolamidas, aminas etoxiladas, compuestos de glicerol. Se pueden aplicar entre el 0,05 y el 2,5%.



Los agentes antiestáticos internos se añaden al polímero antes o durante el proceso de moldeo. El agente se disuelve en el polímero fundido y a medida que éste se enfría reduce su afinidad por el polímero y aflora a la superficie de manera que los grupos iónicos o higroscópicos de la molécula activa puedan dirigirse a la atmósfera. En caso de pérdida del aditivo por exposición a solventes o fricción la porción del agente antiestático que está en el interior migrará para restablecer las propiedades antiestáticas.

Aditivos antioxidantes

Muchos plásticos son sensibles a la degradación, la cual puede iniciarse cuando se los somete al calor y se producen daños en la

Aún así, los antioxidantes sólo ejercen una acción retardativa sobre los procesos de degradación.

Cuando se dice que se produjo daño en la estructura química del polímero es porque se han llevado a cabo reacciones de oxidación que generan hidroperóxidos y radicales libres.

El mecanismo de la reacción es el siguiente:

Los radicales libres atacan los enlaces de hidrógeno lábil cercanos y producen hidroperóxidos inestables, los cuales a su vez generan más radicales libres y perpetúan el proceso.

exposición a la radiación ultravioleta, por el corte mecánico o por la presencia de impurezas, tales como residuos de catalizadores.

Los antioxidantes capturan y/o evitan la formación de radicales libres durante la vida del polímero (copolimerización, transformación, almacenamiento y uso). Éstos se dividen en dos grupos: Los primarios y los secundarios ó los descomponedores de hidroperóxidos.

1.

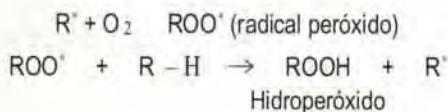
Los antioxidantes primarios: Interrumpen las reacciones de oxidación combinándose con los radicales libres, y generando productos no reactivos:

Polímero estabilizado

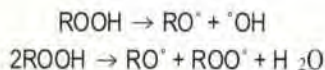
Iniciación:



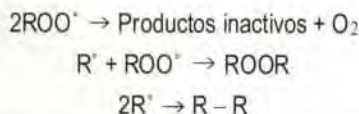
Propagación:



Ruptura de la cadena:

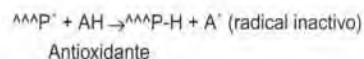


Finalización:

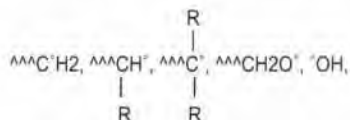


estructura química del polímero. Su estabilidad intrínseca sólo puede mejorarse introduciendo alteraciones adecuadas en algunos de sus enlaces químicos.

Los radicales libres se producen en todas las reacciones de oxidación pero éstas se pueden ocasionar no sólo por calentamiento, sino también por la



Donde $^{\bullet\bullet\bullet}P^{\bullet}$ es la especie de propagación que puede incluir alguno de los siguientes grupos (polímero radical).



Contienen grupos funcionales reactivos OH o NH que donan hidrógeno a los radicales libres. El más común entre ellos es el 2,6 - diterbutil - p - cresol (hidroxitolueno butilado BHT) utilizado en poliolefinas, vinilos y elastómeros; éste es grado FDA, pero es volátil.

Fenoles impedidos de mayor peso molecular son utilizados para procesos que requieren altas temperaturas y donde la volatilidad del BHT es un problema; sin embargo, son más costosos.

El α - Tocoferol (ATP), o vitamina E posee estructura similar a los compuestos fenólicos. Es menos impedido estéricamente lo cual le permite una reacción rápida, pero el ATP se consume más fácilmente y es más costoso que otros antioxidantes, por otra parte reduce el sabor y el olor en el plástico.

Dentro del grupo de los fenoles podemos encontrar derivados fenólicos (bisfenólicos, polifenólicos y tio - bisfenólicos).

En general los compuestos fenólicos no manchan ni decoloran.

Como antioxidantes primarios también se utilizan las aminas aromáticas del tipo fenil y difenil sustituidas. Éstas son mejores antioxidantes a altas temperaturas, pero tienden a decolorar y a manchar, por eso sólo se usan en objetos con colores oscuros. Se utilizan en concentraciones que varían entre el 0,2 y el 0,75%.

2. Los antioxidantes secundarios: Estos actúan descomponiendo los hidroperóxidos inestables y eliminan los radicales de peróxido. Son esencialmente compuestos de azufre (tioeteres y ésteres de ácido tiodipropiónico) o triésteres de ácido fosfórico (fosfitos).

Por ejemplo en una reacción del tioeter con el hidroperóxido:

El tioeter reacciona con el hidroperóxido y en una primera etapa da un alcohol y un sulfóxido. El sulfóxido en sí sufre una posterior oxidación y puede descomponer más hidroperóxidos. Los tioeteres presentan sinergia con los antioxidantes primarios para estabilizar al calor en el largo plazo, no decoloran y algunos generan olor. Los fosfitos tampoco decoloran y reaccionan con los hidroperóxidos reduciéndolos a alcoholes, quedando convertidos en fosfatos.

Los antioxidantes secundarios se aplican en concentraciones entre el 0,1 y el 0,5%, por lo general en combinación con los antioxidantes primarios.

Biocidas

Los biocidas previenen el crecimiento de microorganismos que pueden causar huecos negros o manchas rosadas en la superficie de plástico, o también pérdida de brillo, fracturas y olores desagradables. Los plásticos que poseen una resistencia inherente a la acción de los microorganismos, por ejemplo el PVC, la pierden debido a la presencia de aditivos tales como: plastificantes, lubricantes y otros aditivos. Esto se debe a que los compuestos antes mencionados constituyen una fuente ideal de nutrientes para los microorganismos.

El PVC plastificado es el más susceptible de ataque debido al alto contenido de plastificante y requiere de agentes antimicóticos para darle protección en artículos como cortinas de baño, tapetes y cables.

Los poliuretanos como los elastómeros son sensibles a la biodegradación por hongos, siendo más fácilmente atacados los poliésteres que los poliéteres.

Muchas sustancias químicas pueden ser usadas para dar acción antimicrobiana, pero sólo unas pocas pueden usarse en PVC, en este caso debe seleccionarse un plastificante que migre poco y tenga resistencia al ataque de microorganismos. El fosfato de tricresilo y los poliésteres limitan la fuente de alimento en la superficie de la película. Los plastificantes a base de ftalatos y fosfatos no son fuente de alimento.

El 10, 10'-oxydifenoarsina usado en concentraciones de 1-2% en el plastificante puede adicionarse al PVC plastificado y poliuretanos entre el 1 - 10 phr.

El 2-octil-4-isotiazolin-3-ona puede usarse al 4% en el plastificante y usarse al 2,5-4 phr.

BIBLIOGRAFÍA

Additives and modifiers. PLASTICS COMPOUNDING (Cleveland), V. 15, N. 4, 1994-1995, p. 10-13.

GACHTER, R.; MULLER, H., Plastics additives. 2ed. New York: Hanser publisher, 1999.

MODERN PLASTICS ENCICLOPEDIA (New York), 1999.

¿Qué necesitan los industriales?

¿Qué quieren los industriales?

¿Qué necesitan los industriales? ¿Qué quieren los industriales? Son las preguntas que nos planteamos quienes queremos hacer algo por el sector: El Estado, las empresas líderes, las agremiaciones, los institutos y algunas empresas particulares. Estos interrogantes son la base para definir cuales son las prioridades y las acciones a seguir para poder planificar y ejecutar proyectos que satisfagan las necesidades de los industriales y así fortalecer el sector.

De hecho, son muchos los estudios y análisis que han dado respuesta a las necesidades y exigencias del sector, dando como resultado: que diseño, que capacitación, que reconversión, que un centro tecnológico, que apertura de mercados, que una agremiación, que créditos, que información, que etc.

La verdad, es que todo lo anterior es necesario, hace muchísima falta y nunca será suficiente en términos de progreso, pero también es cierto que sobre esas carencias básica se han planeado muchas acciones a seguir, siempre para dar respuesta y servir al sector y a los industriales, pero han faltado proyectos y acciones para desarrollarlas. De hecho, los que siempre han faltado son los industriales, entonces, ¿Qué es lo que desean los industriales?

Uno puede ver como el SENA, Proexport, El Ministerios de Desarrollo, El Ministerios de Medio Ambiente y el de Comercio Exterior, la revista M&M, Fedemaderas, las Cooperativas, las Cámaras de Comercio, las Universidades y otras Entidades, hacen propuestas concretas con buen contenido y bien planeadas que son desatendida o ignoradas.

En muchas ocasiones no son propuestas, en realidad son invitaciones para opinar y consultar temas pertinentes al desarrollo sectorial

Pero la constante respuesta a todas las invitaciones por económicas y positivas que sean, es desalentadora, no solo por la deficiente cantidad de asistentes sino por la calidad de los mismos, pues en ocasiones, la representación que envían las empresas a dichas convocatorias no es precisamente la más indicada o idónea.

Pareciera que el slogan fuera "Beneficios si, esfuerzo no", que lo que quieren los industriales es que sean otros los que resuelvan los problemas generales del sector, y mejor aun, si no hay que pagar por ello. Es tal vez por esa actitud que hoy no tenemos nada, ni podemos pretender algo, sectorialmente hablando.

A los industriales que siempre acompañan y respaldan las convocatorias va un agradecimiento y una invitación a no desfallecer; a los que no, va una invitación a comprometerse, apoyar y respaldar con su presencia física y económica, las propuestas y actividades a las que se les invite.

Vinculándose a algo, a cualquier propuesta o iniciativa, podrán decir qué necesitan y cómo lo quieren. Así adquirirán derechos y también deberes, y así podrán exigir, verdaderamente, acciones concretas.

Fuente: Revista M&M: El mueble y la madera
No. 53 Marzo - mayo, 2002.

PROPIEDADES MECÁNICAS Y TRIBOLÓGICAS DE RECUBRIMIENTOS DUROS:

Uso de la técnica de nanoindentación

F. Sequeda Osorio, PhD.¹ ; J.A. Trujillo¹ ; M. Benavides² y G. Bejarano²

1. UNIVERSIDAD DEL VALLE - Centro de Investigación de Materiales CIM, Grupo de Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales

2. Centro de Desarrollo Tecnológico y Asistencia Técnica a la Industria - CDT ASTIN, SENA - Regional Valle Santiago de Cali - Colombia.

INTRODUCCIÓN

En un mundo cada vez más globalizado, el incremento en la competitividad en el sector manufacturero, se hace evidente en la medida que cada día existen condiciones más estrictas y necesidades más difíciles de satisfacer, debido a la demanda de altas tecnologías relacionadas con la producción; muestra de esto es la importancia que representa el producir de una manera eficiente, económica y ambientalmente compatible.

El uso de nuevas tecnologías en el sector industrial ha demostrado ser una herramienta básica para el desarrollo de nuevos productos con mejor calidad y desempeño. El impacto principal de esto, radica en el aumento sustancial de la calidad de los productos y en la mayoría de los casos, un incremento productivo.

Cuando se trata de producción industrial, existe una serie de elementos que no son ajenos al cambio y que por el contrario

sustentan la evolución industrial, es el caso de los materiales y sus procesos productivos. La relación fuerte que existe entre los materiales y su proceso de producción, más aún en la industria moderna, implica un viraje de 180 grados en la forma de concebirlos y de utilizarlos, como por ejemplo, en desarrollos a medida surgidos de necesidades específicas en la industria moderna, es el caso de las herramientas industriales, las cuales son sometidas permanentemente hasta sus límites y por esto se hace necesario encontrar alternativas de mejoramiento a su desempeño y vida útil, ya sea mediante reemplazos en su diseño, o fabricarlas con materiales y procesos novedosos que sean coherentes con estas nuevas necesidades.

Bajo este contexto y como una alternativa de solución a algunos aspectos relacionados con la vida útil y el desempeño de herramientas industriales, surge la ingeniería de superficies, más específicamente los tratamientos

tales como los Recubrimientos Duros utilizando técnicas como PVD, CVD, entre otras, que ofrecen la alternativa de cumplir en gran medida los requerimientos, tanto técnicos como económicos, suscitados por dichas herramientas.

Cuando se trabaja con herramientas industriales, es importante determinar cómo se comportan frente a las solicitudes que viven durante su desempeño, es más, conocer su respuesta a éstas, de tal manera que pueda predecirse de alguna forma su comportamiento en servicio. Las propiedades mecánicas y tribológicas definen en gran medida la respuesta de la herramienta a tales efectos.

Desde el punto de vista mecánico y tribológico, un recubrimiento duro debe poseer ciertas características que lo hagan idóneo para la aplicación buscada. En especial, para el caso de herramientas industriales, una alta dureza, una elevada resistencia al

desgaste y un coeficiente de fricción bajo, son por lo general deseables.

El propósito de este trabajo consiste en la fabricación y la caracterización mecánica y tribológica de recubrimientos duros (CrN, ZrN, AlTiN), depositados sobre acero HSS utilizando la técnica PVD - Evaporación por Arco. Para la caracterización mecánica y tribológica, se utilizó la técnica de Nanoindentación.

TÉCNICA DE NANOINDENTACIÓN

Como los recubrimientos duros fabricados poseen espesores de unas pocas micras, se hace necesario utilizar una técnica refinada que alcance una precisión y confiabilidad en las medidas que sobrepase las técnicas convencionales comúnmente usadas. Es así como se hace importante la técnica de nanoindentación, la cual ofrece precisión y confiabilidad a escala nanométrica.

La Nanoindentación es una técnica utilizada en la actualidad como alternativa para la medición de las propiedades mecánicas y tribológicas en películas delgadas, ésta brinda una mayor precisión debido a que permite hacer mediciones a escala nanométrica utilizando unos pocos mN de carga, a diferencia de los métodos convencionales los cuales utilizan cargas de gramos y desplazamientos de décimas de milímetro, lo cual es demasiado elevado dado los espesores de micras que poseen los recubrimientos a estudiar.

Es importante aclarar que esta técnica presenta algunas dificultades en su aplicación, debido en gran medida al efecto permanente de las propiedades del sustrato sobre las mediciones. No obstante, existen una serie de recomendaciones importantes que se deben seguir para evitar esos posibles errores en las mediciones.

Las propiedades con mayor frecuencia medidas usando la técnica de nanoindentación son el módulo elástico E y la dureza H , aunque es posible también determinar otros valores tales como la adhesión, la resistencia al creep, esfuerzos residuales, tenacidad de fractura, fatiga, etc. Desde el punto de vista tribológico se pueden obtener valores para el coeficiente de fricción, resistencia al desgaste, etc.

La técnica de Nanoindentación consiste en hacer penetrar un indentador de material (por lo general diamante) y geometría conocida (Piramidales, Esféricos, Cubos, Cónicos) y medir en tiempo real y simultáneamente la carga que se está aplicando (del

orden de $1\mu\text{N}$ a 10mN) y la profundidad de penetración que alcanza el indentador (del orden de 1nm a $5\mu\text{m}$) [1].

Cuando el indentador penetra en la película, ocurre tanto una deformación elástica como plástica, produciendo una huella en la película que está relacionada con la forma del indentador y de la cual pueden derivarse conceptos útiles para la interpretación de los resultados.

El proceso se realiza en dos etapas:

1. Proceso de carga: el indentador es programado para que alcance un valor máximo de carga P (partiendo de una carga P_{inicial} igual a 0, desde el punto de contacto con la superficie inicial), hasta una carga máxima, P_{max} , lo cual ocasiona un desplazamiento h de la punta del indentador hasta un h_{max} . Existe un efecto relacionado con este proceso y es la deformación elástica de la superficie en el perímetro del área de contacto denotado como h_s . Por otra parte, algo importante a considerar es la profundidad, h_c ,

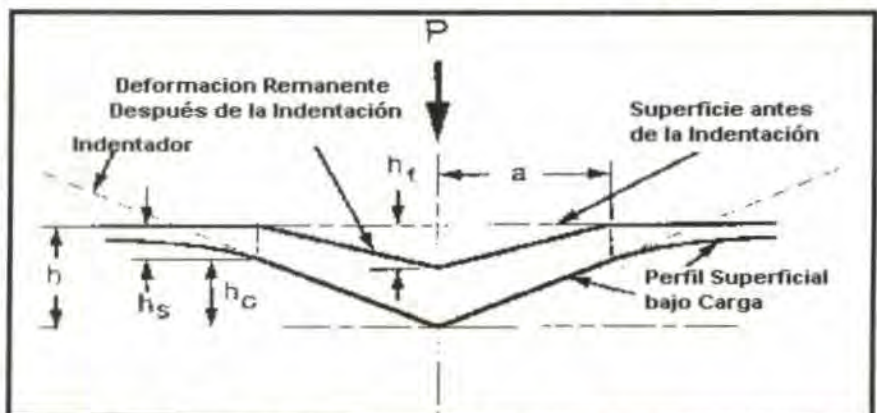


Figura 1. Proceso físico involucrado en una indentación y las cantidades usadas en el análisis

llamada profundidad de contacto, la cual representa la porción medida desde el nivel del perímetro del área de contacto y la profundidad máxima alcanzada por la punta del indentador a P_{max} . Por tanto, la medida total de la penetración durante el proceso de indentación está dada por la siguiente relación $h = h_c + h_s$.

2. Proceso de descarga: Al llegar al valor máximo de carga P_{max} , el movimiento es revertido y el indentador es retirado (midiendo de nuevo en tiempo real y simultáneamente la profundidad de indentación y la carga aplicada), quedando sólo la deformación plástica generada por el indentador, es decir la profundidad residual h_r .

Posteriormente, con los datos obtenidos en los procesos de carga y descarga, se grafica una curva Carga (P) vs. Desplazamiento (h), de donde se podrá determinar la profundidad h_c que será usada de acuerdo con la función de forma del indentador para establecer el área proyectada de contacto A en P_{max} . También pueden hallarse los valores asociados a esta curva como por ejemplo, la rigidez S, los valores de P_{max} , h_{max} , etc.

Las relaciones fundamentales de la dureza H y el módulo elástico E están dadas por:

$$H = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Donde P es la carga máxima y A es el área de contacto y,



Figura 2. Representación esquemática de la información disponible en una curva Carga vs. Desplazamiento en un proceso de indentación

$$E_r = \frac{\sqrt{\pi}}{2\beta} \frac{S}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Donde E_r es el módulo elástico reducido, β una constante que depende de la geometría del indentador [2,3] y S es la rigidez de contacto definida como la pendiente $S = dP/dh$ de la porción inicial de la curva de descarga en la gráfica P vs. h.

El módulo reducido utilizado en la ecuación 2, corresponde al efecto de la deformación elástica del indentador y del recubrimiento estudiado. El módulo elástico E del material se calcula de la siguiente relación:

$$\frac{1}{E_r} = \frac{1 - \nu^2}{E} + \frac{1 - \nu_i^2}{E_i} \quad (3)$$

Donde ν es el módulo de Poisson de la película y E_i y ν_i son el módulo elástico y el de Poisson del indentador respectivamente.

A continuación se debe calcular el área A de contacto, en función de h_c , para esto se utilizará el Método de Oliver y Pharr [3], el cual hace uso de la relación (Válida sólo para indentadores piramidales con la geometría correspondiente al indentador Vickers y al indentador Berkovich, los cuales tienen un área de contacto equivalente) [4]:

$$A = 24.5 h_c^2 \quad (4)$$

Calculamos h_c y A, y estos valores pueden ser usados para obtener valores tanto para E como para H.

La profundidad de contacto h_c está determinada por la relación:

$$h_c = h_{max} - \epsilon \frac{P_{max}}{S} \quad (5)$$

De donde el valor ϵ es una constante que depende de la geometría del indentador y que tiene un valor de 0.75 para el indentador Berkovich aquí utilizado [3].

Otra prueba que es posible realizar es la de rayado (Scratch) consistente en hacer pasar un indentador (el material y la geometría deben ser conocidos) por encima del recubrimiento, utilizando una carga normal, fija o variable, durante toda la raya, hasta que la capa sufra alguna falla [5]. La carga a la cual ocurre dicha falla es llamada carga crítica [6] y es utilizada como una medida de la adhesión del recubrimiento al sustrato. Durante este ensayo es posible registrar in - situ la fuerza tangencial que experimenta la punta del indentador, la cual está relacionada con la fricción entre esta punta y el recubrimiento. También es posible registrar la penetración de la punta de diamante y la carga normal en cada instante del ensayo. Estos datos deben ser contrastados con la observación al microscopio (óptico, SEM, AFM, etc.) de la raya residual, esto para obtener información que corrobore los valores de carga obtenidos y determinar los mecanismos de falla.

La prueba de Nanodesgaste está relacionada con las características de resistencia al desgaste de la superficie y consiste en hacer oscilar una punta de diamante a una frecuencia determinada y a lo largo de una longitud conocida, de tal forma que describa un área fijada con antelación. La cantidad de material erosionado en un

ION BOND®	
Ciclo de Acondicionamiento	5 Minutos X ion Bombardeo en Vacío
Número de Evaporadores	4
Voltaje Bias	- 1000 V
Ciclo de Recubrimiento	Tiempo/15 m Torr Presión de N ₂
Número de Evaporadores	4
Voltaje Bias	- 100 V
Temperatura de Deposición	480 - 540 °C
Espesor del Recubrimiento	2 - 5 micras

Tabla 1. Parámetros de proceso utilizado para fabricar los recubrimientos estudiados

tiempo dado es la rata de desgaste [7], es decir qué tanto material se pierde bajo una carga conocida en unidad de tiempo.

Procedimiento experimental

Para la realización de este trabajo se recubrieron varias muestras mediante la técnica de Deposición por Arco (Cathodic Arc Evaporation), utilizando los parámetros descritos en la tabla 1.

La caracterización mecánica y tribológica se realizó con un equipo Hysitron TriboScope® en la compañía Hysitron Inc. Minneapolis - USA. Este es un equipo de alta resolución que permite medir la dureza, módulo elástico (nanoindentación) y además permite pruebas de desgaste y coeficiente de fricción, adhesión, etc. Esta técnica permite obtener por cada indentación valores de dureza y módulo elástico en función de la profundidad de la indentación [1,3,4].

Diez procesos de indentación fueron hechos sobre cada muestra, tanto sobre el sustrato como sobre cada una de las muestras recubiertas (AlTiN, ZrN, CrN). Se estableció la profundidad máxima de Indentación en 2µ, y se utilizó un indentador tipo Berkovich [3]. Los procesos de carga y descarga fueron llevados a cabo mediante un perfil trapezoidal donde se cargó en 10 segundos, se hizo un sostenimiento a carga máxima por 3 segundos y posteriormente se descargó en 10 segundos. La carga utilizada fue de 10.000 µN. Las indentaciones fueron separadas entre sí por 50µ.

Sobre cada una de las muestras se llevó a cabo la prueba de Rayado (Scratch), donde se aplicó una carga máxima de 2.000 µN. El desplazamiento normal, la carga normal, el desplazamiento lateral y la fuerza lateral fueron medidos simultáneamente. El coeficiente de fricción fue calculado de la relación entre la fuerza lateral y la fuerza normal.

MATERIAL	Espesor (μm)	Dureza (GPa)	Módulo Reducido (GPa)	Coefic. de Fricción	Desgaste (nm^3)
Substrato	-----	10.55	230.59	0.40	3.41
AlTiN	5.0	26.65	366.86	0.31	3.15
ZrN	3.2	27.33	339.79	0.29	2.26
CrN	2.0	25.23	353.46	0.55	-----

Tabla 2. Valores obtenidos en la caracterización mecánica y tribológica de los recubrimientos estudiados

La prueba fue repetida cinco veces para cada muestra.

La prueba de desgaste también se realizó sobre cada pieza bajo los siguientes parámetros: Tamaño de barrido de $1\mu\text{m}$, velocidad de barrido 2 Hz, y una carga aplicada de 100 μN . Durante este proceso el material es desgastado por la punta del indentador Berkovich. El área desgastada, es tomada en un barrido de 3μ , para así determinar la cantidad de material perdido durante la prueba. Las pruebas se repitieron cinco veces sobre cada muestra.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Por lo general, el desempeño de los recubrimientos depende de su composición, microestructura y propiedades mecánicas, tanto del sustrato como del recubrimiento, más bien a un efecto combinado de ambos [11,12,13].

La medición de la dureza y el módulo elástico en películas delgadas es muy complicado, debido a que son una combinación de las propiedades intrínsecas (densidad de dislocaciones,

estructura cristalina, espesor de la película, etc.) y extrínsecas (dureza del sustrato, adhesión recubrimiento / sustrato, etc.), además, como estos factores interactúan entre sí, esto hace que sea más difícil su caracterización [14].

Como las propiedades del sustrato pueden afectar las mediciones, se recomienda realizar las indentaciones inferiores a un 30% del espesor del recubrimiento [15,16,17].

Los valores de dureza y módulo elástico reducido varían entre 25 y 27 GPa y entre 340 y 367 GPa respectivamente.

Observando las gráficas de Dureza vs. Profundidad de Contacto, generadas para cada recubrimiento, y comparando los valores obtenidos frente a los del sustrato se puede apreciar que en todos los casos, se tienen unos valores superiores al que presenta el sustrato de acero. Una tendencia adicional fue que en la medida en que aumenta la profundidad de contacto (indentación) existe un marcado

efecto de las propiedades del sustrato sobre la dureza de los recubrimientos [4,18,19].

Los valores de dureza obtenidos son similares entre sí, el recubrimiento de ZrN presentó la mayor dureza con 27,33 GPa, lo cual es un reflejo de su microestructura relacionada con la morfología uniforme que presenta este recubrimiento. El AlTiN presentó una dureza intermedia entre el ZrN y el CrN con un valor de 26.65 GPa, mientras que el CrN tuvo la menor dureza con 25.23 GPa. Tanto el AlTiN como el CrN, presentaron mayor presencia de macropartículas en su microestructura que el ZrN.

En la figura 3 se muestran las curvas de dureza vs. profundidad de indentación generadas para cada uno de los recubrimientos estudiados.

Para las gráficas Módulo Reducido vs. Profundidad de Contacto existe una tendencia igual que en las de dureza, aunque no tan acentuada. Como el módulo elástico también es afectado por las propiedades del sustrato, como puede verse

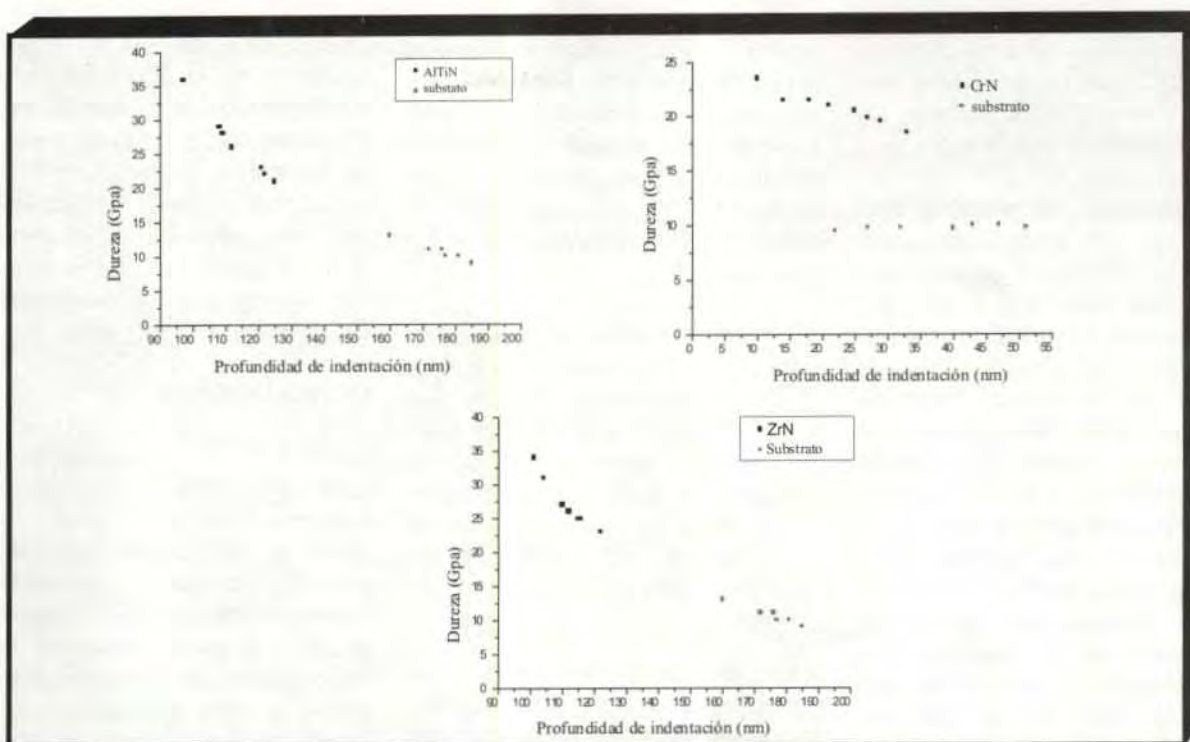


Figura 3. Curvas comparativas de dureza en función de la profundidad de indentación para cada recubrimiento

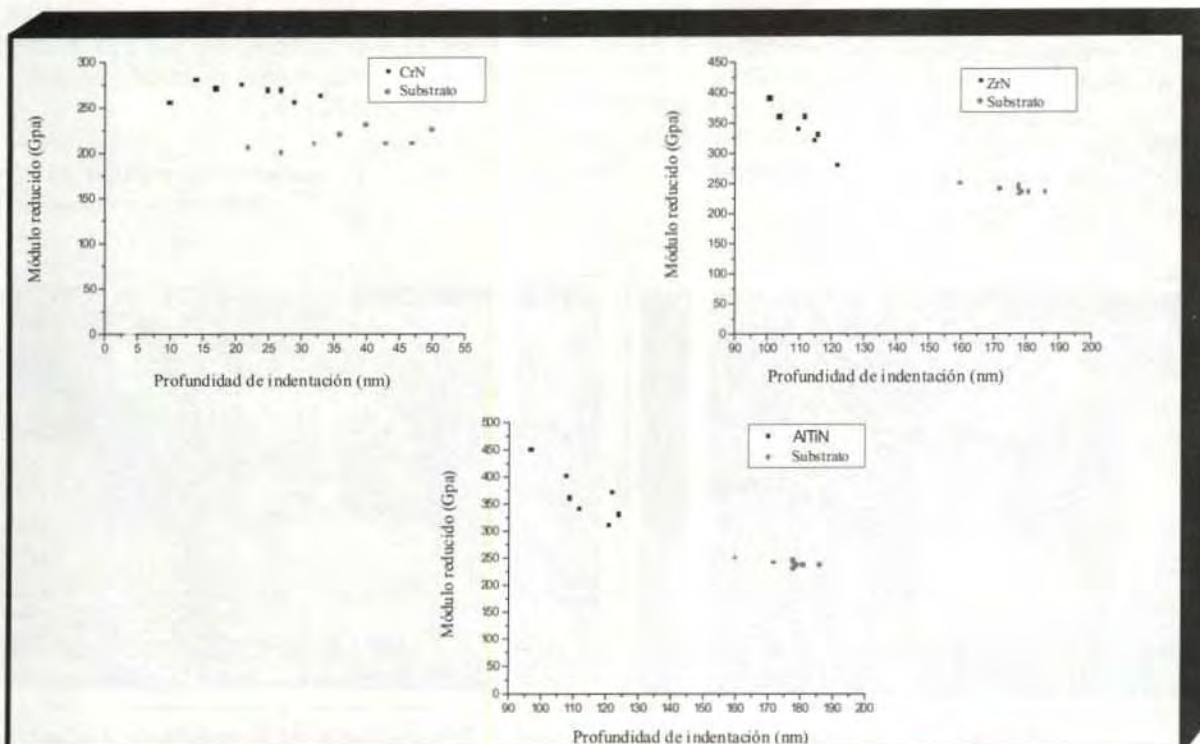


Figura 4. Curvas comparativas de módulo reducido en función de la profundidad de indentación para cada recubrimiento

en las gráficas, donde se observa un decrecimiento del valor del módulo con relación al aumento de la profundidad de Indentación.

Adicionalmente, el módulo está relacionado con la microestructura del recubrimiento, en especial por el tipo de enlaces entre sus componentes, es pues de esperar que para los enlaces de los nitruros se presenten módulos elevados. Esto se constata al encontrar un módulo reducido de 366.86 GPa en el AlTiN, mientras que el ZrN tuvo uno de 339.79 y el CrN uno de 353.46. Algo para destacar en las gráficas de módulo reducido contra profundidad de Indentación es lo disperso de los datos obtenidos, lo cual es clara evidencia del efecto de las micropartículas presentes en ellos ocasionadas por la técnica de deposición.

Mediante la prueba de Scratch se obtuvo el coeficiente de fricción (indentador de diamante tipo Berkovich sobre cada recubrimiento) como la relación entre la carga lateral y la carga normal.

Todos los recubrimientos presentaron un bajo coeficiente de fricción, en especial el ZrN con un valor de 0.29, seguido en ascenso por el AlTiN y el CrN con valores de 0.31 y 0.55 respectivamente, la muestra de referencia tiene un valor de 0.40.

También se realizaron pruebas de desgaste, las cuales arrojaron que el ZrN pierde menos material que el AlTiN y el CrN, con unos valores determinados de pérdida de material de 2.26 nm³, 3.15 nm³. Algunas de las imágenes AFM de las huellas de desgaste se presentan más adelante.

Es de esperar que un recubrimiento con alta dureza, moderado módulo elástico y bajo coeficiente de fricción sea el apropiado en aplicaciones tribológicas, sin embargo, hay que aclarar que existen otra serie de parámetros que juegan un papel muy importante en este desempeño [12,13,20], los cuales presentan oposición a esta teoría.

Las imágenes AFM que se muestran en las figuras 5 - 6 y 7, corresponden a la huella dejada por la erosión del material después de la prueba de desgaste. Nótese la regularidad de la misma, lo cual permite, apoyados en el perfil de profundidades, calcular el volumen de material que fue desgastado y así determinar dicho valor.

CONCLUSIONES

Todos los recubrimientos estudiados presentaron un comportamiento similar, sin embargo, el recubrimiento de ZrN presentó las mejores propiedades nanomecánicas. Su morfología presentó la menor influencia de las macropartículas procedentes del proceso de deposición y su composición elemental es favorable. Tanto el AlTiN como el CrN se vieron afectados por la inclusión de macropartículas en su superficie, en tamaño y cantidad mayores que las del recubrimiento ZrN.

El desempeño y optimización de las propiedades nanomecánicas

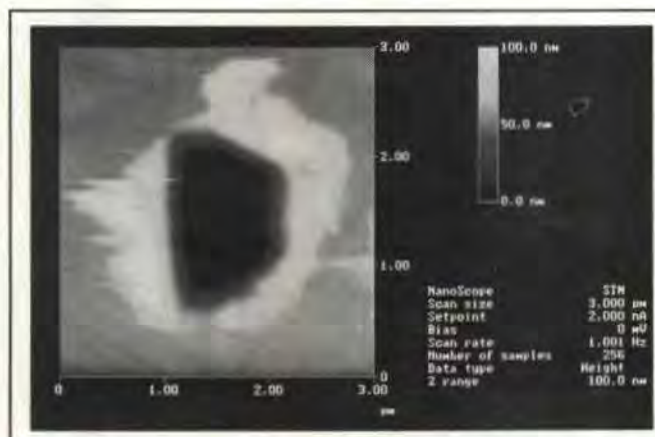


Figura 5. Imagen AFM de la huella de desgaste del acero

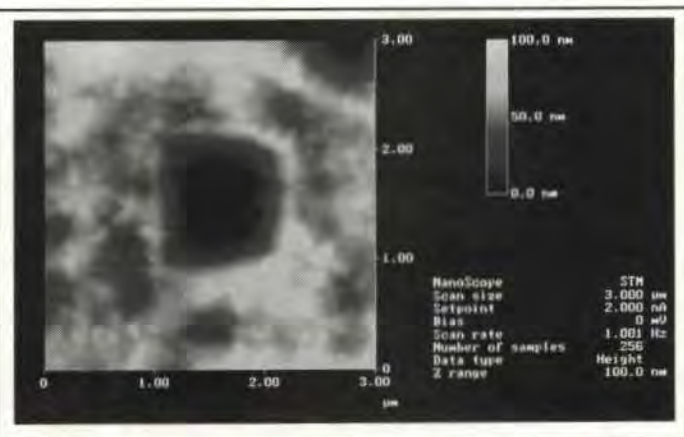


Figura 6. Imagen AFM de la huella de desgaste del recubrimiento ZrN

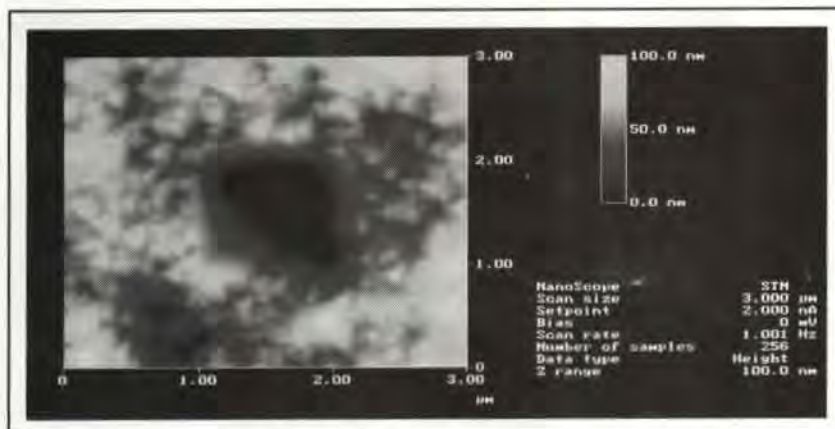


Figura 7. Imagen AFM de la huella de desgaste del recubrimiento AITiN

de los recubrimientos depende tanto de las propiedades del recubrimiento como de las del sustrato y por tanto, los valores obtenidos se hacen útiles con propósitos comparativos más no como parámetro o propiedad del material estudiado.

Las técnicas de deposición juegan un papel muy influyente en las propiedades de los recubrimientos ya que estos condicionan la microestructura de los mismos y por tanto sus propiedades finales. Por esta razón, no sólo se debe pensar en las propiedades del recubrimiento y del sustrato, sino también, en la técnica a utilizar con el fin de lograr un diseño apropiado de las propiedades requeridas.

Existe una correlación general entre los parámetros de deposición del recubrimiento y su respuesta tribológica. Los parámetros de proceso (temperatura del sustrato, características del plasma, presión de gas, etc.), junto con las propiedades del sustrato (composición, microestructura,

topografía), determinan las características del recubrimiento (espesor, composición química, microestructura, topografía superficial, etc.). Esto, por otro lado, gobierna las propiedades básicas del recubrimiento (químicas, térmicas, mecánicas, etc.), junto con las propiedades del sustrato, las propiedades básicas del recubrimiento controlan la respuesta tribológica de una manera compuesta.

Reconocimientos

Este trabajo se financió con recursos de COLCIENCIAS Proyecto (1106-08-775-98).

Agradecimientos

Multi - Arc Inc.
Hystron Inc.
IBM - Almaden Research Center
ICP - ECOPETROL

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J.L. Hay and G.M. Pharr, "Instrumented Indentation Testing", ASM Handbook, Vol. 8, 2000
- [2] S.I. Bulychev, V.P. Alekhin, Kh.

Shorshorov, A.P. Ternovskii, and G.D. Shnyrev, "Determining Young's Modulus from Indenter Penetration Diagram", Zavod. Lab., Vol 41 (No. 9), 1975.

[3] W.C. Oliver and G. M. Pharr, "An Improved Technique for Determining Hardness and Elastic Modulus Using Load and Displacement Sensing Indentation Experiments", J. Mater. Res. Vol 7 (No. 6), 1992.

[4] M.F. Doerner and Nix, "A Method for Interpreting the Data from Depth - Sensing Indentation Instruments", J. Mater. Res., Vol 1, 1986, p 601 - 609.

[5] S. Hong, T.P. Weihs, J.C. Bravman, and W.D. Nix, J. Elec. Mater. 19 (1990) p 903.

[6] P.A. Steinmann, Y Tardy, H.E Hintermann, "Adhesion Testing by the Scratch Test Method: The Influence of Intrinsic and Extrinsic Parameters on Critical Load", Thin Solid Films, 154 (1987)

[7] R. Keneko, T Miyamoto, and E. Hamada, "Microwear", Handbook of Micro/Nano Tribology, CRS Press, 1995, P 183 - 221.

[8] C.R. Brundle, C.A. Evans and S. Wilson, "Encyclopedia of Materials Characterization: Surface, Interfaces, Thin Films", Bulterworth - Heinemann, 1992.

[9] V.D. Scott and G. Love, EDS "Quantitative Electron - Probe Microanalysis", Jhon Wiley & Sons, New York, 1983.

[10] P.J Martin, "Cathodic Arc Deposition", Handbook of Thin Film Process Technology, IOP, 1995.

[11] P.K. Mehrotra and D.T. Quinto, "Techniques for Evaluating Mechanical Properties of Hard Coatings", J. Vac. Sci. Technol., A3 (6), Nov/Dec 1985.

[12] P. Hedenqvist, S. Jacobson, S. Hogmark, "Tribological PVD Coating - Characterization of Mechanical Properties", Surf. Coat. Technol., (97), 1997, p. 212 - 217.

[13] S. Hogmark, P. Hedenqvist and S. Jacobson, "Tribological Properties of Thin Hard Coatings: Demands and Evolution", Surf. Coat. Technol., (90), 1997, p. 247 - 257.

[14] B.D. Fabes, W.C. Oliver, R.A. Mckee and F.J. Walker, "The Determination of Film Hardness from the Composite Response of Film and Substrate to Nanometer Scale Indentations", J. Mater. Res. Vol 7, No. 11, Nov 1992.

[15] "Standards Test for Microhardness of Materials", ASTM Standard Test Method E-384, Annual Book of Standards 3.01 (American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, 1989) p. 469.

[16] M.F. Doerner, D.S. Gardner, and W.D. Nix, J. Mater. Res. 1 (1987) p. 845.

[17] D. Lebouvier, P. Gilormini, and E. Felder, J. Phys. D 18 (1985) 9 199.

[18] A.K. Bhattacharya and W.D. Nix, "Analysis of Elastic and Plastic Deformation Associated with Indentation Testing of Thin Films on Substrates", Int. J. Solids Struct., Vol 24 (No. 12), 1988.

[19] A.K. Bhattacharya and W.D. Nix, "Finite Element Simulation of

Indentation Experiments", Int. J. Solids Struct., Vol 24 (No. 9), 1988.

[20] A. Matthews and A. Leyland, "Developments in PVD Tribological Coatings", Society of Vacuum Coaters, 43 Annual Technical Conferences Proceedings, Abril, 2000.

[21] A. Matthews, A. Leyland, K. Holmberg, H. Ronkainen, "Desingn Aspects for Advanced Tribological Surface Coatings", Surf. Coat. Technol., (100 - 101), 1998.

RECUBRIMIENTO DURO POR DEPOSICIÓN FÍSICA DE VAPOR - PVD

Las siglas PVD corresponden a la expresión inglesa Physical Vapour Deposition, esto es, Deposición Física de Vapor.

Con este nombre se conocen un amplio conjunto de técnicas que tienen en común el empleo de medios físicos (en contraposición a químicos) para obtener el material de recubrimiento en fase vapor. Los recubrimientos se realizan en cámaras de alto vacío (10-6 mbar), requieren temperaturas de proceso medias (400°C) o bajas (<100°C) y se obtienen capas finas (10µm) o muy finas (<1µm) de composición muy controlable.

unos blancos (metálicos o cerámicos) con iones de un gas inerte (Argón) a baja energía (500-1000 eV). Estos átomos pulverizados viajan hasta las superficies próximas depositándose en ellas en proporciones similares a las del blanco de partida. Otras veces, mediante la pulverización simultánea de dos o más materiales es posible producir capas de recubrimientos binarios, ternarios, etc. Los procesos de sputtering tienen el inconveniente de ser más lentos que los de evaporación, pero tienen la ventaja de ser más limpios, más versátiles, más controlables y no necesitan altas temperaturas.

Durante mucho tiempo los sistemas empleados se basaban en fuentes de iones de baja energía y una adecuada disposición geométrica de fuentes, blancos y superficies a recubrir. Recientemente, el empleo de magnetrones desbalanceados permite prescindir de las fuentes de iones y alcanzar velocidades de recubrimiento próximas a las de los procesos de evaporación, de manera que los procesos de sputtering se han hecho comerciales.

Rafael Rodríguez Trias
Jefe Área de Ingeniería de Superficies
A.I.N. (Pamplona, España)

Fuente:
www.ain.es/boletin/difusin1.htm#tema1

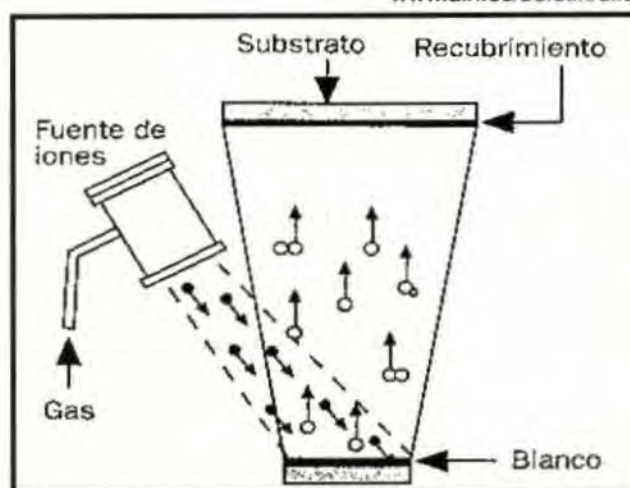
TÉCNICAS DIVERSAS

Las técnicas de PVD más empleadas se pueden agrupar en dos grandes grupos:

1. Técnicas de evaporación.
2. Técnicas de sputtering.

SPUTTERING

El segundo gran grupo de técnicas lo constituyen los procesos de pulverización (sputtering): a diferencia de los procesos de evaporación, los átomos que constituyen el recubrimiento se obtienen bombardeando



Esquema del PVD mediante sputtering con fuente de iones.

MOTORES PASO A PASO

Steve Jennings, editado por Jim Huntley.
http://www.sapiens.itgo.com/motores_por_pasos

CONSTRUCCIÓN

Los motores paso a paso son dispositivos electromagnéticos, rotativos, incrementales que convierten pulsos digitales en rotación mecánica.

La cantidad de rotación es directamente proporcional al número de pulsos y la velocidad de rotación es relativa a la frecuencia de los pulsos. Estos motores son simples de operar en una configuración de lazo cerrado y debido a su tamaño proporcionan un excelente torque a baja velocidad.

Entre los beneficios de estos motores se incluyen:

- Un diseño efectivo y un bajo costo
- Alta confiabilidad
- Libres de mantenimiento (no disponen de escobillas)
- Lazo abierto (no requieren dispositivos de realimentación)
- Límite conocido al "error de posición dinámica"

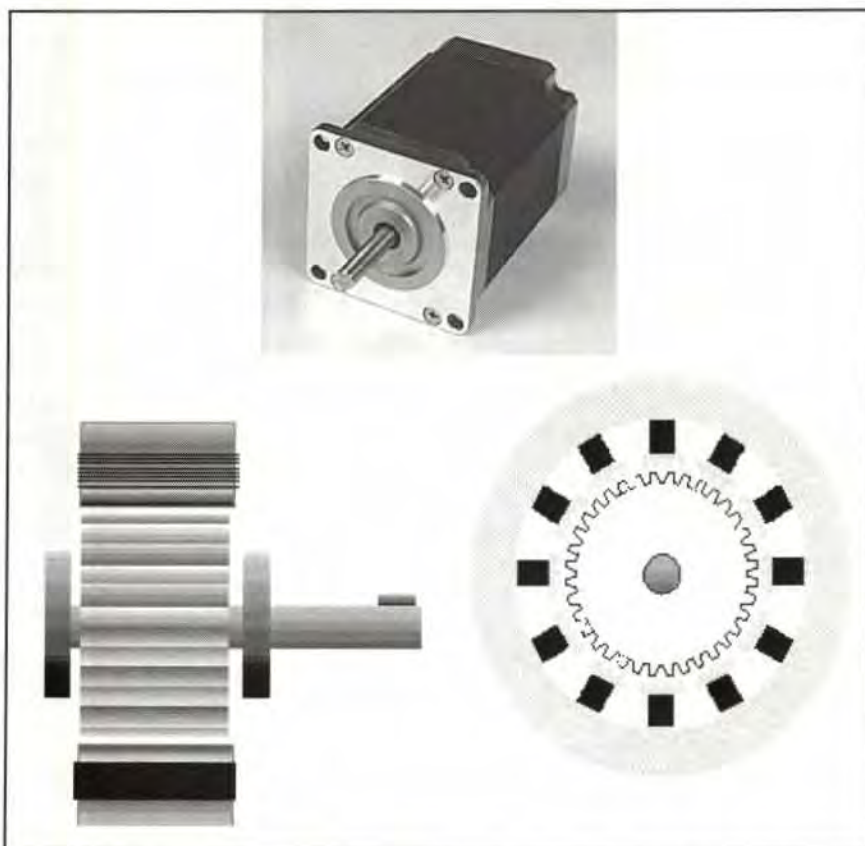


Figura 1. Vista de sección de un motor paso a paso de reluctancia variable

A pesar de que varios tipos de motores paso a paso han sido desarrollados, todos se enmarcan dentro de tres categorías básicas.

1. De reluctancia variable (V.R.)

2. De magneto permanente (armazón metálica)

3. Híbridos

El tipo de motor de reluctancia

variable o V.R. (figura 1) consiste en un rotor y un estator cada uno con un número diferente de dientes. Como el rotor no dispone de un magneto permanente, él mismo gira libremente, o sea que no tiene torque de detención. A pesar de que la relación del torque a la inercia es buena, el torque dado para un tamaño de armazón específico es restringido, por tanto, tamaños pequeños de armazones son por lo general usados y raramente varían para aplicaciones industriales.

El motor de magneto permanente (PM) o tipo enlatado (figura 2) es quizá el motor paso a paso más ampliamente usado para aplicaciones no industriales. En su forma más simple, el motor consiste en un rotor de magneto permanente con magnetizado radial y en un estator similar al motor V.R. Debido a las técnicas de manufactura usadas en la construcción del estator, ellos se conocen a veces como motores de "polo de uñas" o "claw pole" en Inglés.

El tipo híbrido es muy probable que sea el más usado de todos los motores paso a paso.

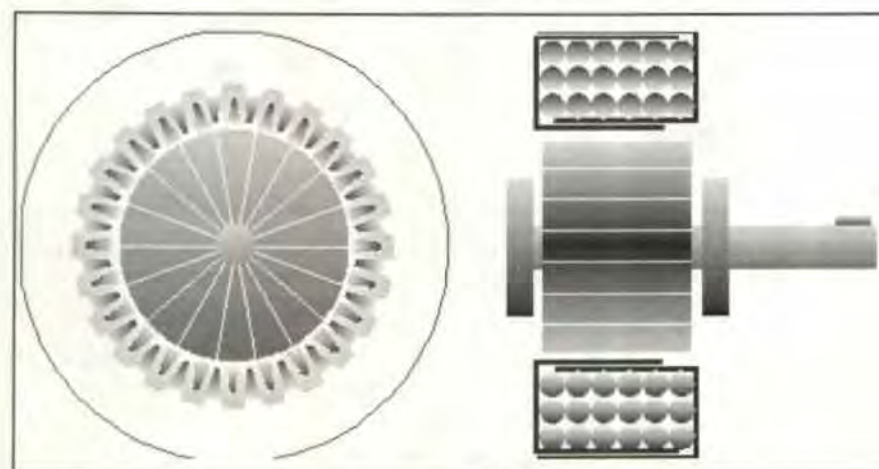


Figura 2. Vista en sección de un magneto permanente

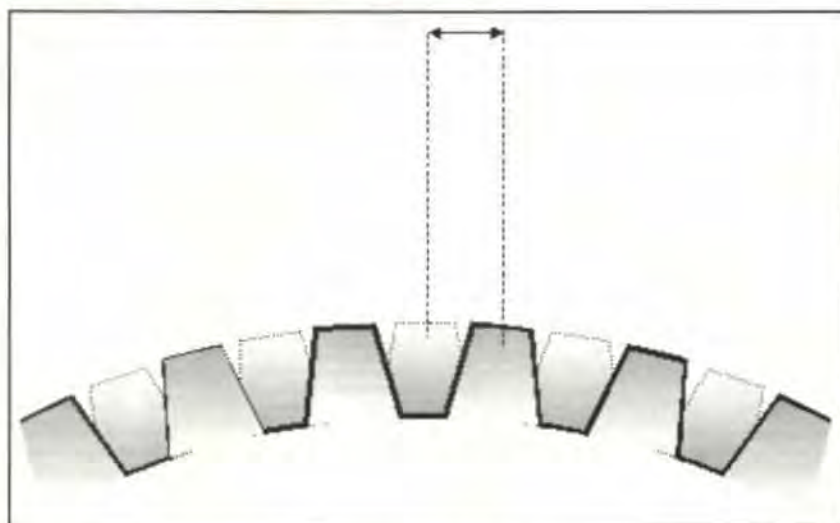


Figura 3. Vista expandida ilustrativa del desplazamiento de dientes.

Originalmente desarrollado como un motor PM sincrónico de baja velocidad, su construcción es una combinación de los diseños V.R. y P.M.. El motor Híbrido consiste de un estator dentado y un rotor de tres partes (apilado simple). El rotor de apilado simple contiene dos piezas de polos separados por un magneto permanente magnetizado, con los dientes opuestos desplazados en una mitad de un salto de diente (figura 3) para permitir una alta resolución de pasos.

El aumento en la demanda de sistemas con motor paso a paso de bajo ruido, con una mejora en su desempeño y con reducción de costos fueron satisfechos en el pasado con los dos tipos principales de motores paso a paso Híbridos. El tipo 2(4) fases, que se han usado en aplicaciones simples y el de 5 fases han probado ser ideales para las tareas más exigentes. Las ventajas que ofrecen los motores de 5 fases incluyen:

- Mayor resolución
- Menor ruido acústico
- Menor resonancia operacional
- Menor torque de frenado.

A pesar de que las características de los motores de 5 fases ofrecían muchos beneficios, especialmente en micro pasos, el creciente número de conmutaciones de alimentación y el cableado adicional requerido tenían un efecto adverso en el costo del sistema.

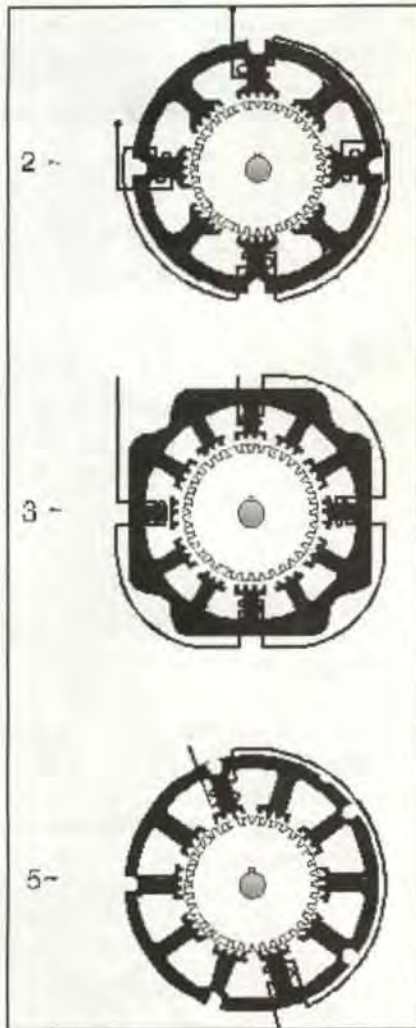


Figura 4. Secciones ilustrativas de las laminaciones y rotores para motores de 2, 3 y 5 fases

El motor Híbrido de 3 fases

A pesar de ser similar en construcción a otros motores paso a paso (ver figura 4), la implementación de la tecnología de 3 fases hizo posible que el número de las mismas se redujera dejando al número de pares de polos del rotor y a la electrónica determinar la resolución (pasos por revolución).

Dado que la tecnología de 3 fases ha sido usada por décadas como

un método efectivo de generación de campos rotativos, las ventajas de este sistema son evidentes. El motor paso a paso de 3 fases fue por tanto, una progresión natural

que incorporó todas las mejores características de un sistema de 5 fases a una significativa reducción de costos.

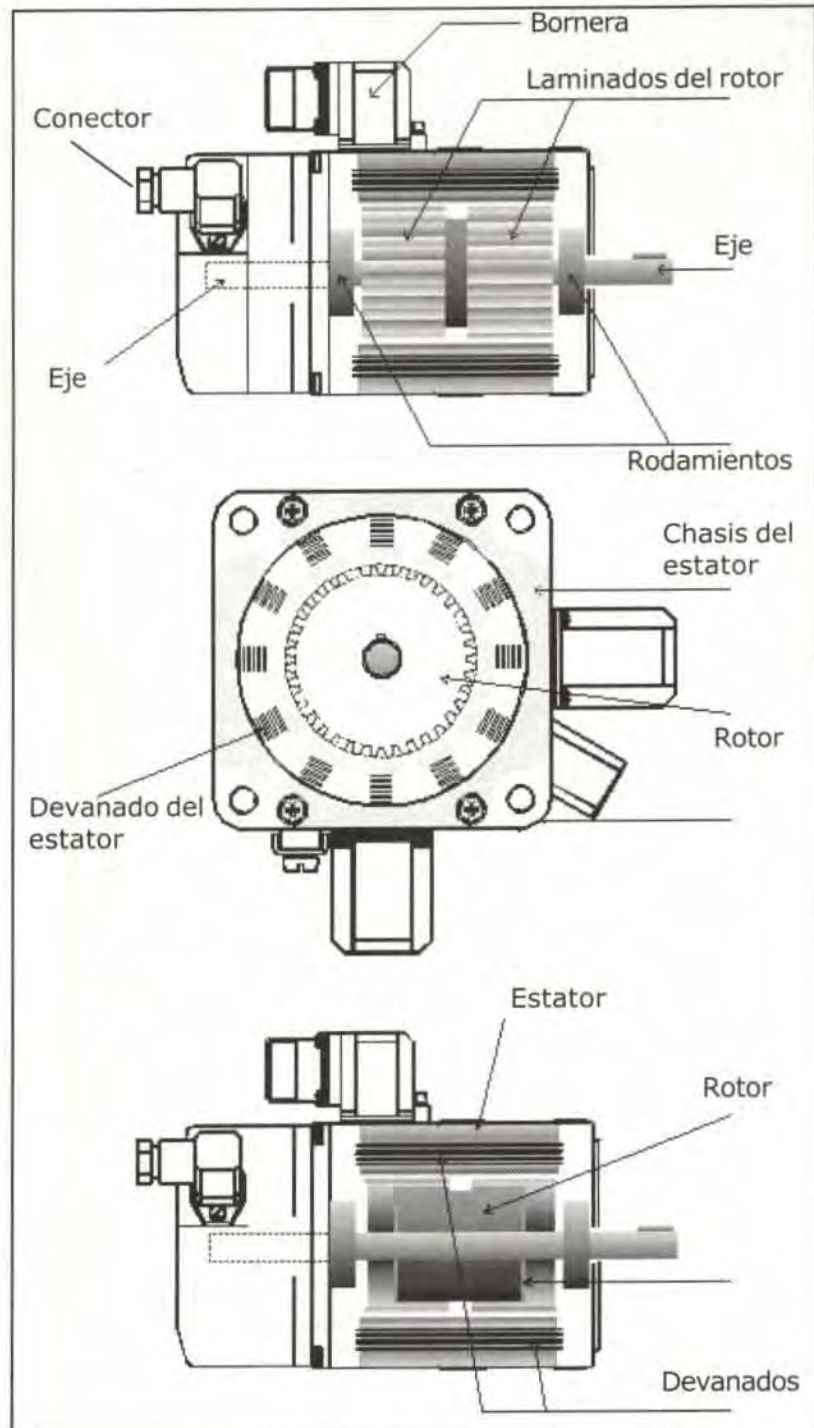


Figura 5. Corte de sección de un motor paso a paso Híbrido (3 fases)

Resolución de un motor por pasos y ángulo de paso

Como ya se mencionó, la resolución (número de pasos) y el ángulo de paso de un motor por pasos depende de:

- El número de pares de polos del rotor
- El número de fases del motor
- El modo de impulsión (completa o medio paso).

La resolución puede ser calculada usando la fórmula:

$$z = p * m * k$$

El ángulo de paso puede ser calculado dividiendo la rotación (360) por el número de pasos,

$$a = \frac{360}{Z}$$

Vectores de flujo

Los vectores de flujo se usan para ilustrar los ángulos de paso naturales de los motores paso a paso.

Operación

Secuencia de conmutación de fases

Para permitir la rotación, el campo magnético generado por las bobinas del estator debe moverse. Esto se lleva a cabo conmutando la dirección del flujo de corriente a través de cada bobinado

Paso completo: usando un motor simple de dos fases con un par de polos como ejemplo, la secuencia de conmutación de fases al ser

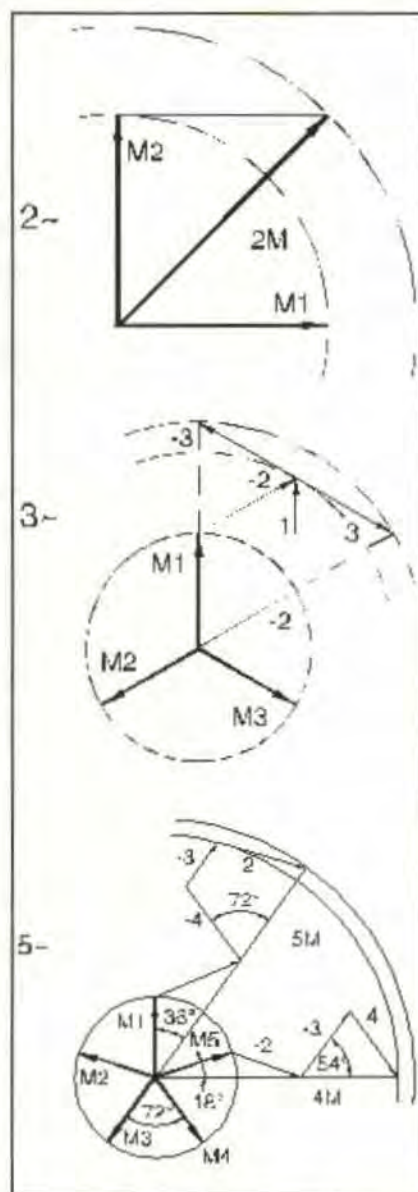


Figura 6. Diagramas de vectores de flujo para motores de pasos de 2, 3 y 5 fases. Si las corrientes de fases son conmutadas en pequeños incrementos, estos vectores de campo puede apuntar virtualmente en cualquier dirección.

impulsado en modo completo es como sigue:

(Figura 7a) Arranque = Paso ángulo 0 – Bobinados W1 y W2 son energizados produciendo un polo norte y sur que atrae los

respectivos polos del rotor y mantienen el rotor en posición.

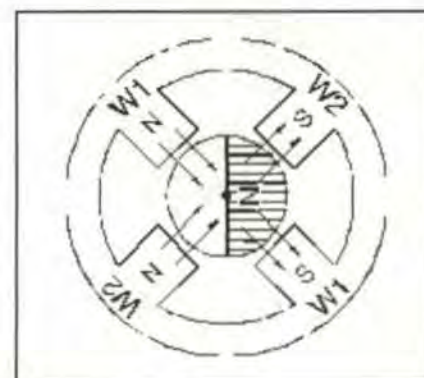


Figura 7a.

(Figura 7b) Paso 1 = ángulo de paso de 90° - El bobinado W2 permanece igual pero el flujo de corriente en el bobinado W1 es conmutado (invertido). Esto resulta en un movimiento del campo magnético del estator que el rotor sigue hasta que éste se ubique en la nueva posición.

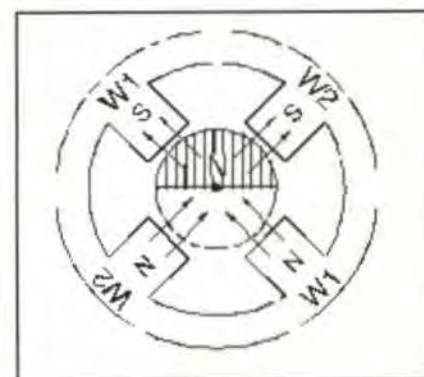
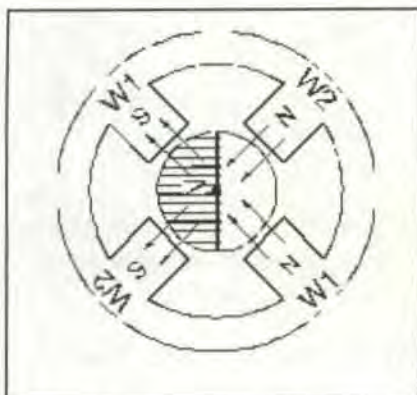


Figura 7b.

(Figura 7c) Paso 2 = ángulo de paso de 180° - Esta vez el flujo corriente en el bobinado W2 es conmutado (invertido) y W1 se mantiene igual. De nuevo, el campo magnético del estator se mueve, el rotor gira y se ubica en la nueva posición.


Figura 7c

(Figura 7d) Paso 3 = ángulo de paso de 270° - El bobinado W2 se mantiene como antes, el flujo de corriente en W1 es conmutado (invertido), el rotor gira y se ubica en la nueva posición.


Figura 7d

Las fases de conmutación pueden luego retornar el rotor a la posición inicial o la secuencia de conmutación puede ser revertida. Los diagramas de corriente pueden además ser usados para ilustrar las secuencias de conmutación como sigue: (figuras 8 y 8-1)

Medio paso: Usando el mismo motor paso a paso impulsado en modo de medio paso, se dobla la resolución (pasos por rotación). A

Rotación contraria a las manecillas del reloj

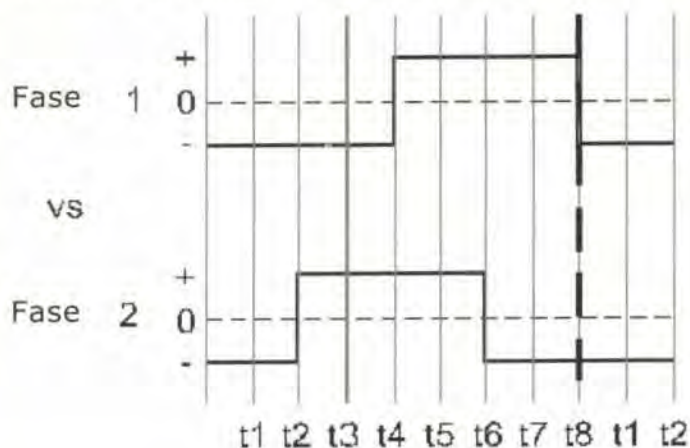


Figura 8. Diagrama de corriente para un motor paso a paso de 2 fases impulsado en modo de paso completo (rotación contraria a las manecillas del reloj)

Rotación en el sentido de las manecillas del reloj

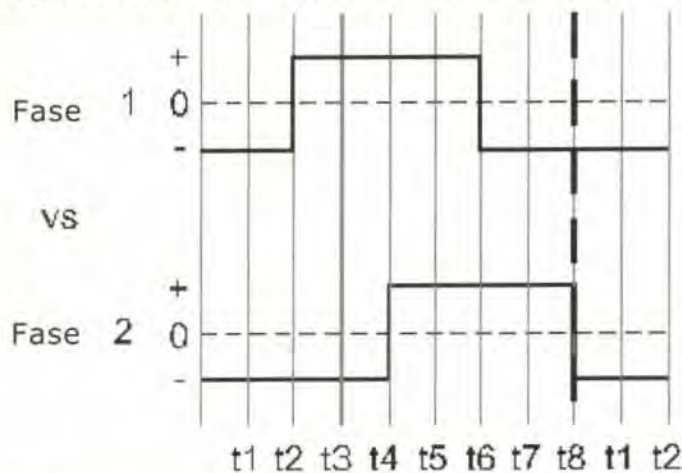


Figura 8-1. Diagrama de corriente para un motor paso a paso de 2 fases impulsado en modo de pasos completos (rotación en el mismo sentido de las manecillas del reloj)

pesar de que la secuencia de conmutación es similar, en vez de simplemente invertir el flujo de corriente a través de una fase, una de ellas es desconectada, permitiendo al rotor su giro y que tome más posiciones. La secuencia para una rotación es como se muestra en las figuras 9 y 10.

Al usar estos modelos simplificados, se ha demostrado el principio operacional de los motores por pasos de 2 fases. Esta conmutación paso a paso de corriente resulta en un campo rotativo "virtual" que el rotor de magneto permanente sigue.

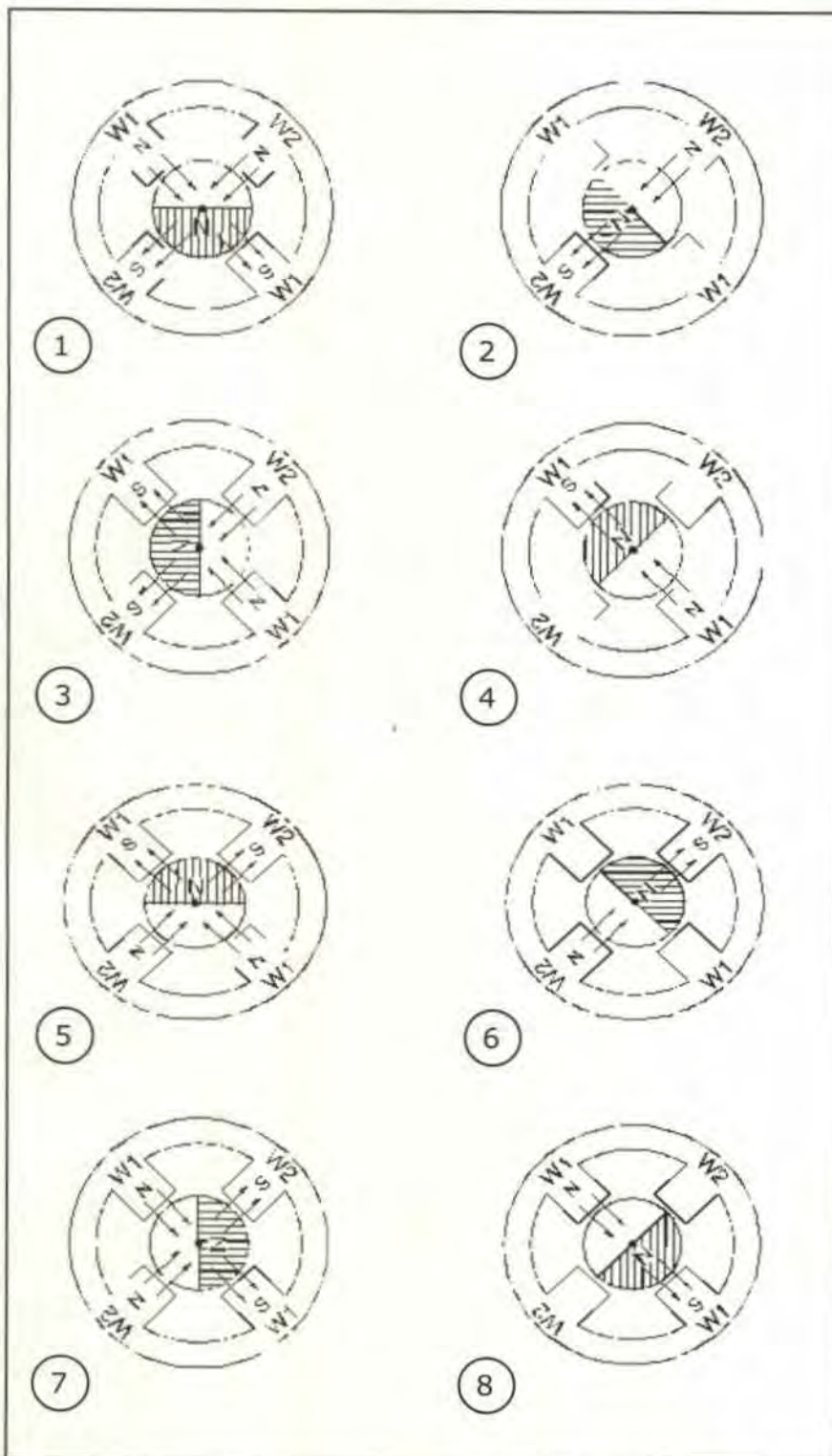


Figura 9. Secuencia de rotación para un motor por pasos de 2 fases en medio paso

La Figura 11 ilustra esta conmutación paso a paso de corriente para un motor de 3 fases en medio paso y su correspondiente diagrama de corriente. La operación de paso completo ocurre cuando sólo los números pares (t) son usados en la secuencia de pasos.

Características de los motores paso a paso

Torque estático o de mantenimiento – características de desplazamiento.

La característica del torque estático (de mantenimiento) – desplazamiento se entiende mejor usando un electro-magneto y un rotor de un solo polo (Figura 12). En el ejemplo, el electro-magneto representa el estator del motor y se energiza con su polo norte enfrentado al rotor.

Asumiendo que no existen cargas estáticas o friccionales sobre el rotor, la figura 12 ilustra cómo el torque de restauración varía con la posición del rotor a medida que es alejado de su posición estable. Al mismo tiempo que el rotor se mueve de su posición estable, el torque se incrementa hasta alcanzar un máximo. Este valor máximo es llamado el torque de mantenimiento y representa la carga máxima que puede ser aplicada al eje sin causar una rotación continua. Si el eje es alejado más allá de este punto, el torque caerá hasta que sea de nuevo cero. Sin embargo, este punto cero es inestable y el torque se revierte de inmediato mas allá de su punto previo hasta el punto estable. Un péndulo (Figura 13) puede usarse para demostrar los efectos que se observan.

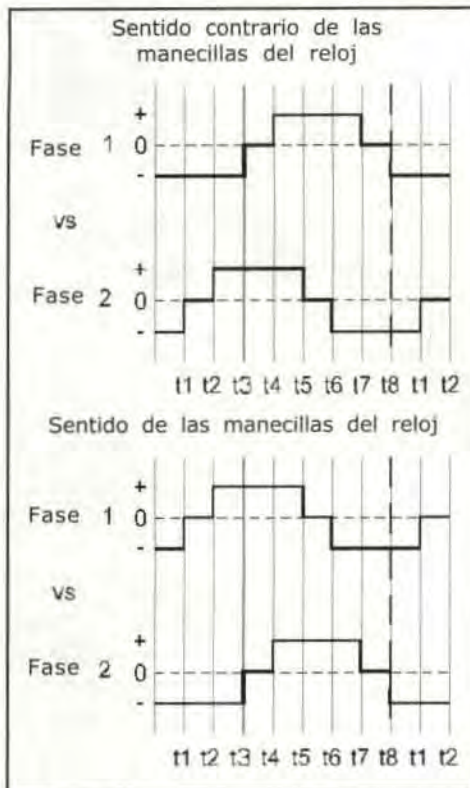


Figura 10. Diagrama de corriente para un motor paso a paso de 2 fases impulsado en medio paso.

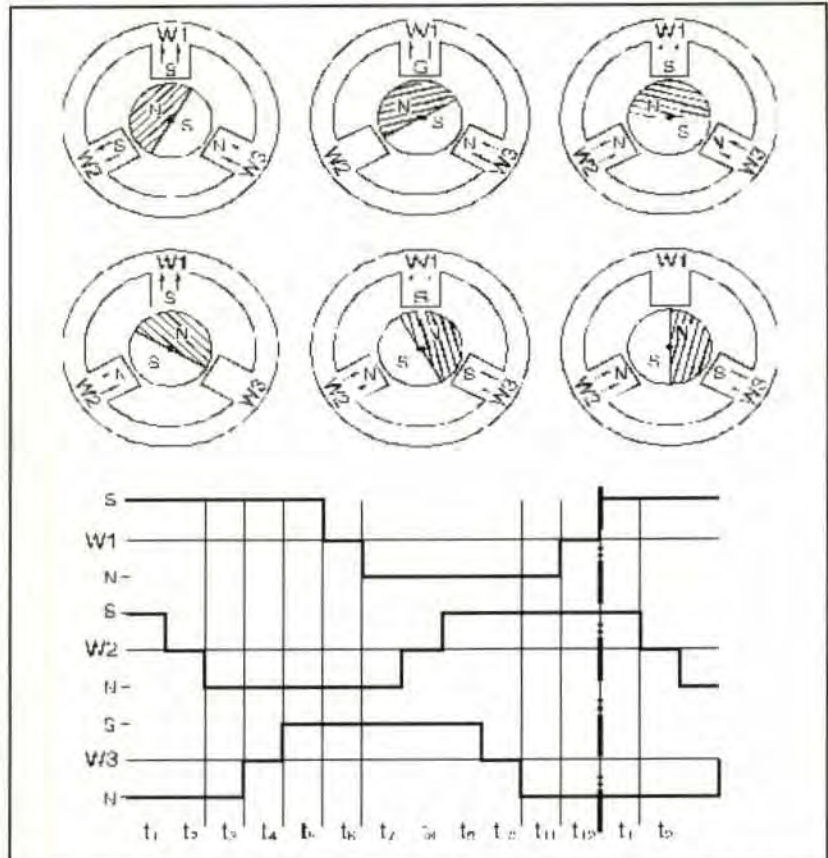


Figura 11. Secuencia a pasos y diagrama de corriente de un motor paso a paso de 3 fases

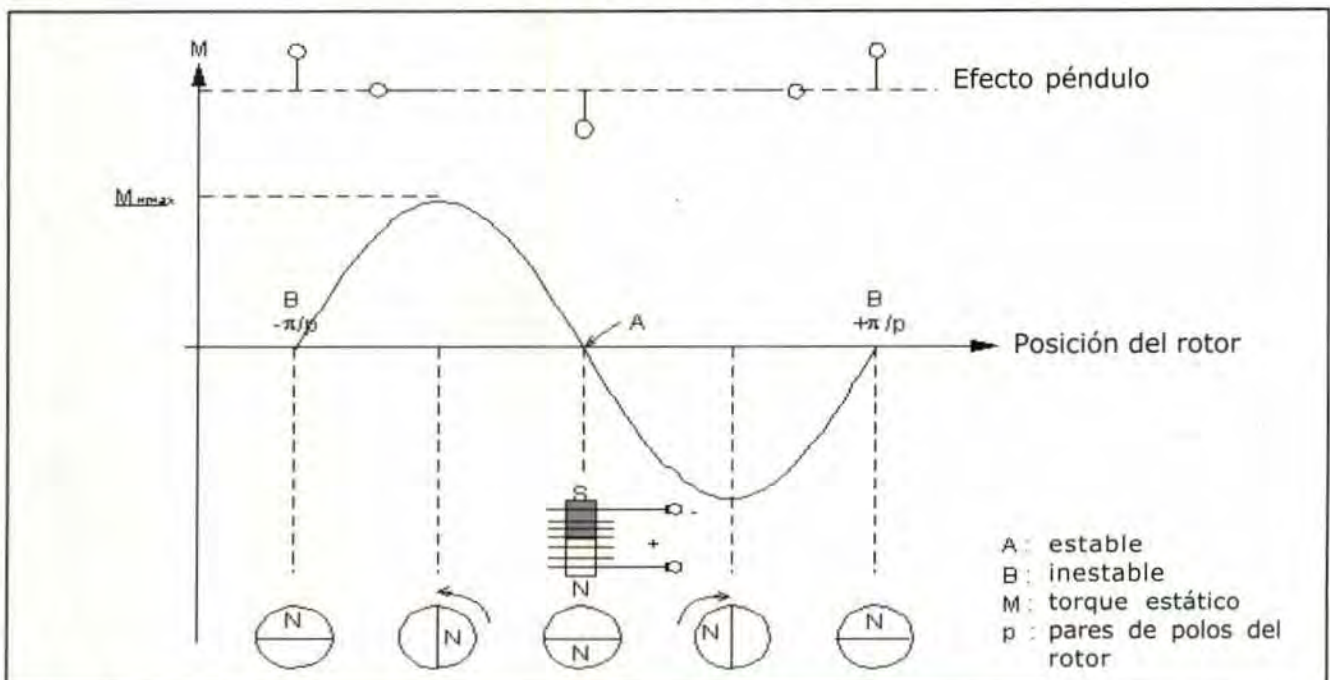


Figura 12. Curva ilustrativa del torque estático versus la posición del rotor

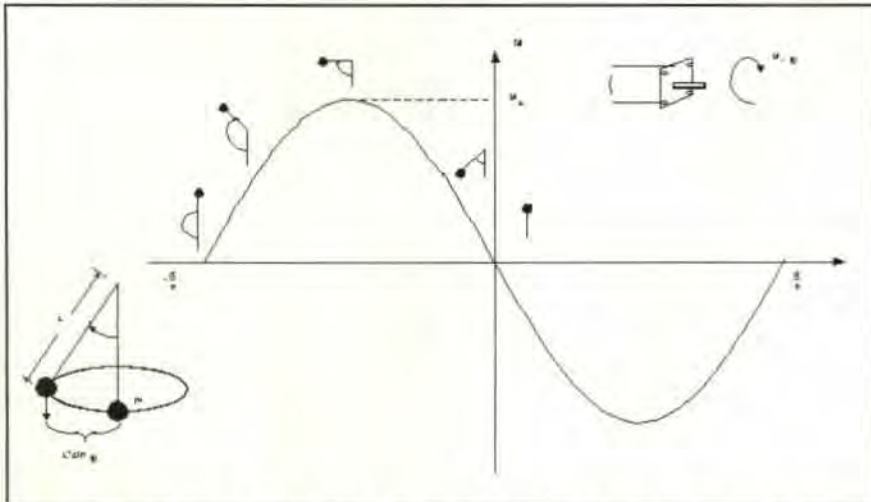


Figura 13. Efecto de péndulo o torque estático versus la posición del rotor

Dependiendo del número de fases, el ciclo en las figuras 12 y 13 equivalen al siguiente número de pasos completos.

2 fases 4 pasos

3 fases 6 pasos

5 fases 10 pasos

El torque requerido para girar el eje en un cierto ángulo puede calcularse usando la fórmula:

$$M = -M_H \cdot \sin(p^* \Psi)$$

A pesar de que esta característica de torque no es de gran utilidad por sí sola, sí explica algunos de los efectos que se observan. Por ejemplo, ella dicta la rigidez del sistema, en otras palabras, cómo la posición del eje cambia cuando una carga es aplicada a un rotor estacionario. El eje debe desviarse hasta que el torque generado sea emparejado con la carga aplicada. Por tanto, la posición estática varía con la carga.

Ángulo de carga estático

El ángulo de carga estático se

define como el ángulo entre la posición actual del rotor y la posición final estable para una carga dada. La figura 14 ilustra (tanto para paso completo como para medio paso) que a medida que el torque se incrementa lo mismo ocurre con la desviación o

giro desde la posición estable.

El ángulo de carga estático puede calcularse usando la siguiente fórmula:

$$C = \frac{dM_\Psi}{d\Psi} = p^* M_H \cos(p^* \Psi)$$

Torque de fricción

El torque de fricción es la carga implementada en el eje a través de tolerancias mecánicas en la aplicación.

La Figura 14 ilustra cómo para una carga dada (M_L) el torque de fricción (M_R) debe considerarse si se requiere un posicionamiento preciso.

Este fenómeno puede explicarse

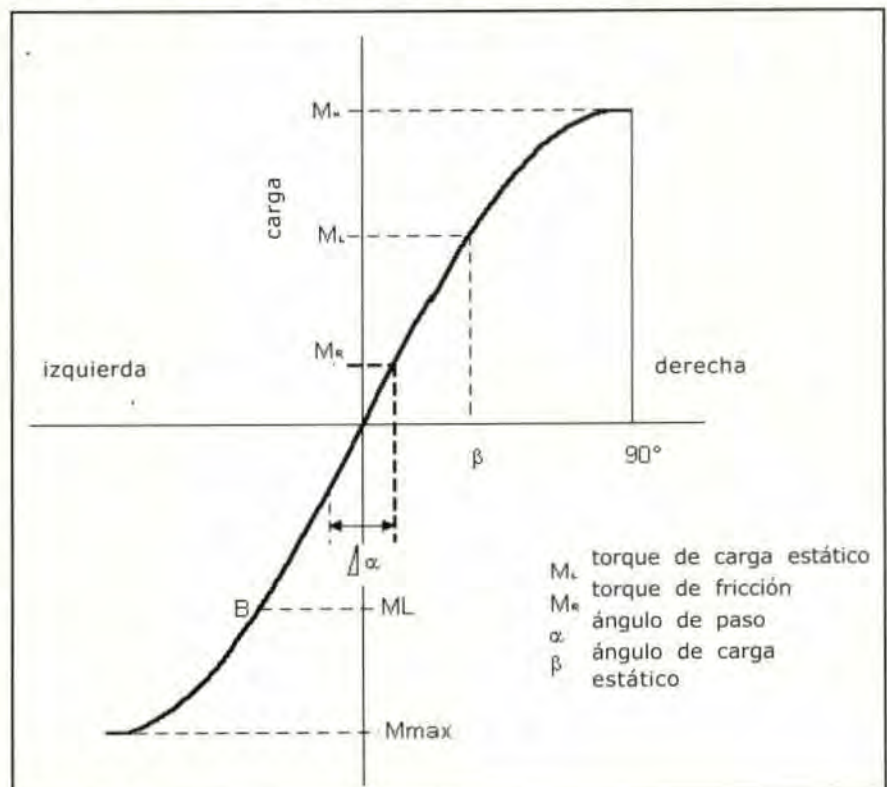


Figura 14.

usando el modelo de montaña (Figura 15). A pesar de que la pelota trata de encontrar su lugar natural de descanso, la fricción sobre la superficie evita que esto ocurra.

Tolerancia angular sistemática

La "tolerancia angular sistemática" es la desviación desde la posición teóricamente correcta de cualquier paso angular. También conocida como "precisión absoluta", puede expresarse como porcentaje de un paso completo o como una medición angular. No es acumulativa dado que se mantiene constante para cualquier paso angular.

La "tolerancia angular sistemática" es causada por tolerancias durante la fabricación del motor (o sea diferentes resistencias en los bobinados, magnetización desigual de magnetos, entrehierros, etc.) y en la electrónica de control del motor. A pesar de que las técnicas modernas de fabricación disminuyen estos valores, deben considerarse para mayor seguridad.

Ángulo de carga estático y dinámico

La "curva del ángulo de carga estático" (figura 14) ilustra lo que le pasa a un motor paso a paso estacionario bajo carga. Por tanto, si el mismo está produciendo torque, deberá estar retrasado con respecto al campo del estator bajo condiciones dinámicas. De forma similar habrá una situación de adelantamiento durante la desaceleración. A partir de la curva de torque estático, es claro que el atraso o adelanto no puede exceder el máximo torque de

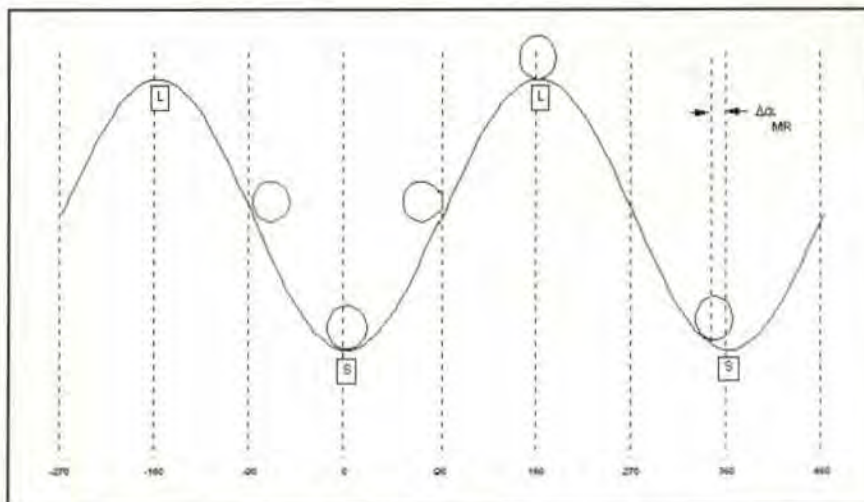


Figura 15. El modelo de la montaña

mantenimiento si el motor debe mantener su sincronismo. Por tanto, para un motor paso a paso híbrido (50 pares de polos) el máximo ángulo de atraso o adelantamiento es 3.6 o, dependiendo del número de fases 2, 3, ó 5 pasos completos. La figura 16 ilustra el retraso máximo que ocurre bajo condiciones de carga dinámica.

Resonancia

El fenómeno de la "resonancia" se presenta en algún grado en todos los motores paso a paso. Resonancia es el término usado para definir el efecto que ocurre cuando los motores paso a paso rotan a su frecuencia de oscilación natural. El salto a esta frecuencia

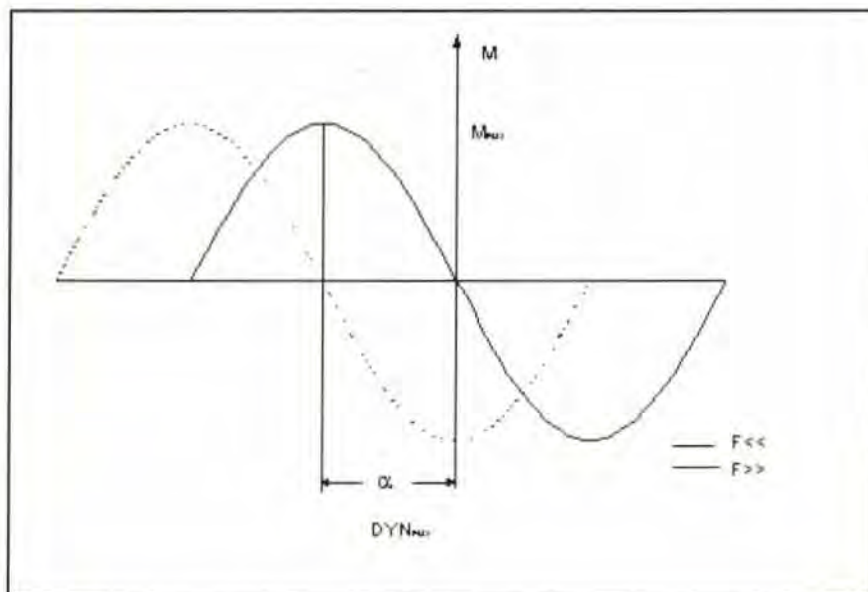


Figura 16. Curva de carga dinámica

natural puede producir una pérdida de sincronismo e incluso que el motor se detenga.

Para motores paso a paso híbridos bajo condiciones sin carga esta resonancia ocurre entre los 80 a 200 Hz., o sea 80 a 200 pasos por segundo. La resonancia de un motor paso a paso se puede calcular usando la fórmula:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{J_R}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{p^* M_H}{J_R}}$$
 a e s pasos o micro-pasos, cambiando la frecuencia de resonancia a través de variaciones en la inercia del sistema, en la fricción mecánica o eléctrica, por ejemplo,

incrementando la inercia del sistema o la fricción conocida en forma general como "damping" en Inglés.

Fluctuaciones del torque

Si un motor es impulsado cerca a su torque de trabajo, las fluctuaciones del torque pueden tener un efecto de resonancia. Las fluctuaciones del torque se ilustran en los "diagramas de torque dinámico" (Figuras 17 y 18). Se observa claramente las mejoras obtenidas con el aumento de la resolución y los micro-pasos.

Como se mencionó anteriormente, las corrientes en un motor de 3 fases son controladas con una onda sinusoidal. A pesar de que esta técnica de conmutación es más exigente que la conmutación

en bloque usada en los motores paso a paso de 2 y 5 fases, esta ofrece considerables beneficios en sus características de operación.

Cuanto mayor sea la resolución, menor será el cambio de corriente por paso, o sea mayor la aproximación a la función sinusoidal. Esto asegura que el motor tenga una menor fluctuación de corriente y subsecuentemente una menor fluctuación del torque. Dado que sólo el componente fundamental de la onda sinusoidal genera el torque, cualquier fluctuación tiene un efecto de calentamiento sobre el motor, el cual se disipa fácilmente a través de la estructura del motor.

Esta menor tendencia a la fluctuación tiene además un efecto positivo al reducir el ruido acústico.

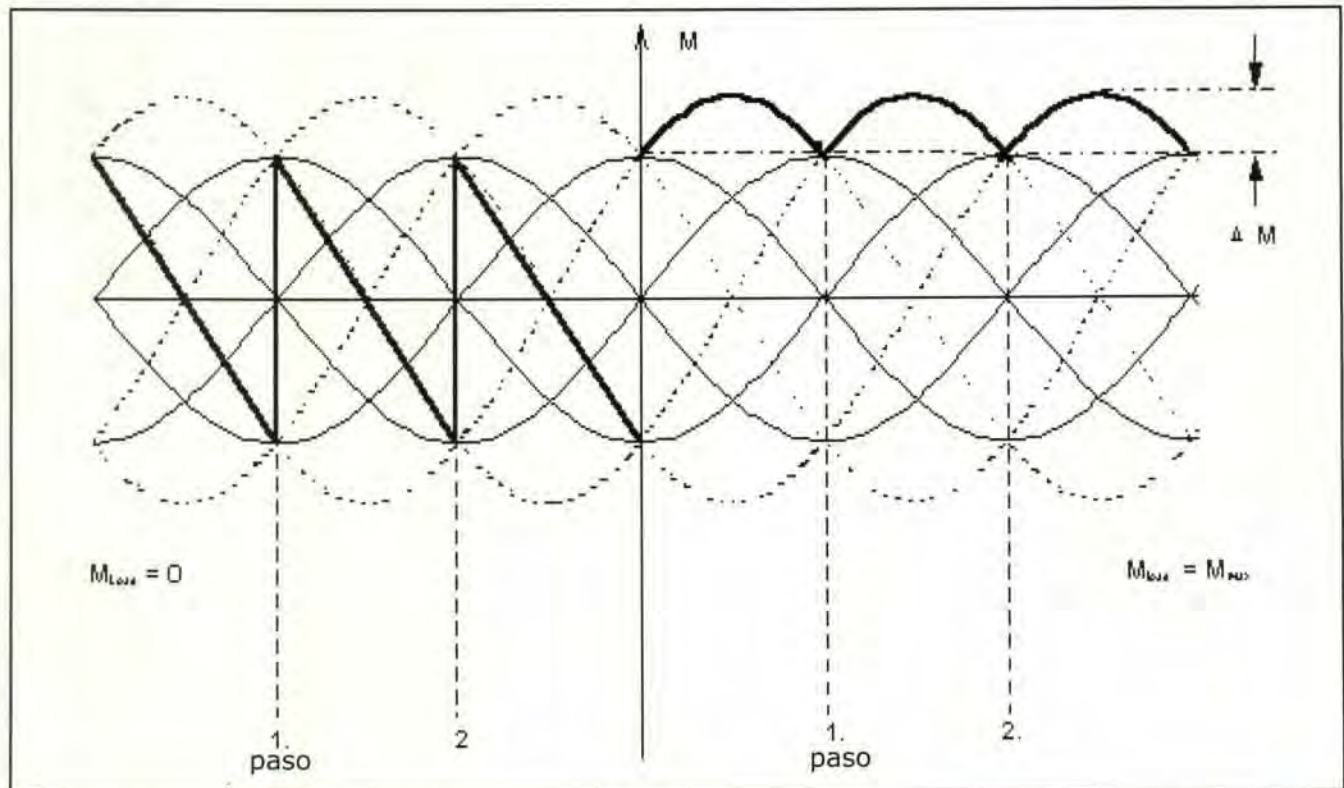


Figura 17. Diagrama de torque dinámico para un motor paso a paso de 2 fases

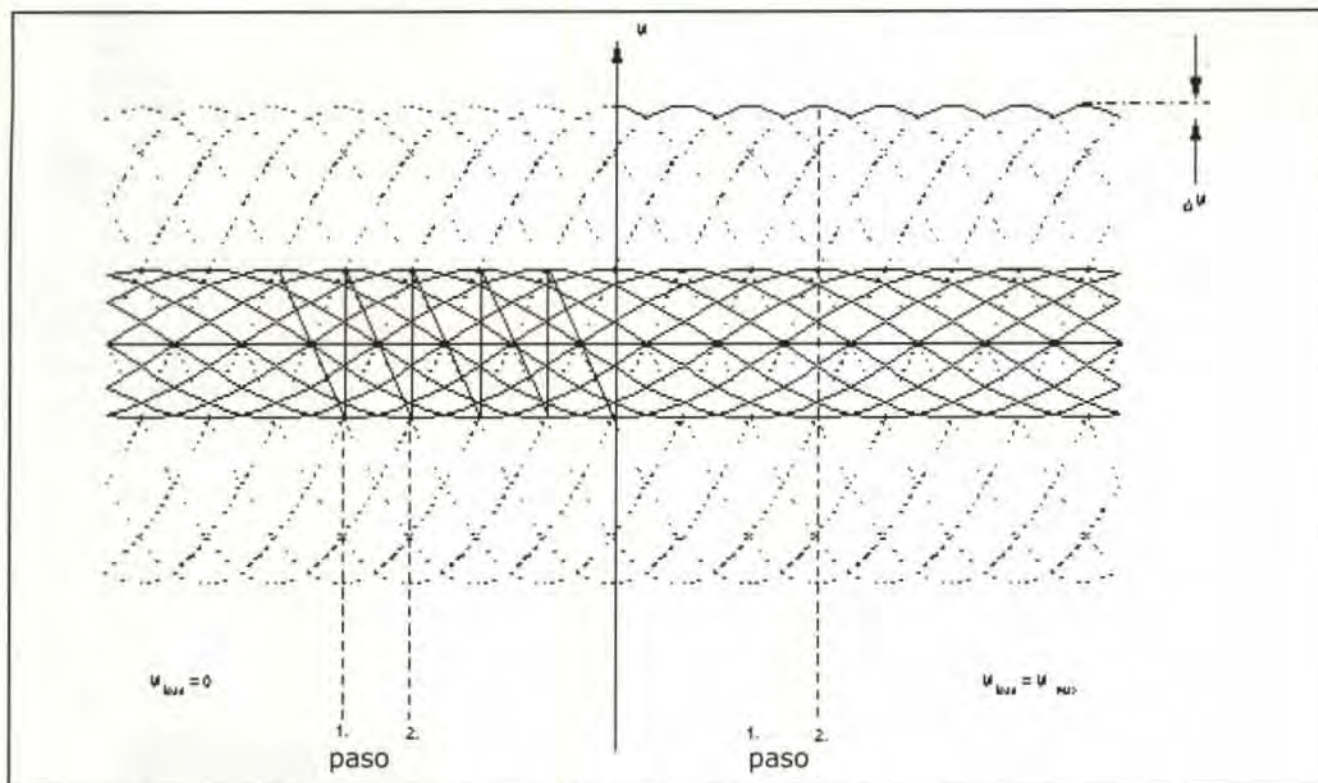


Figura 18. Diagrama de torque dinámico para un motor paso a paso de 5 fases

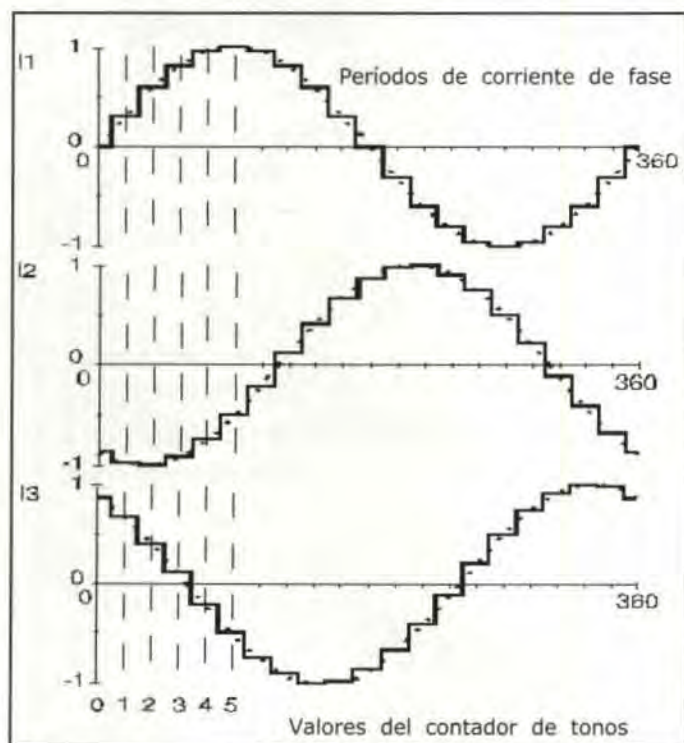


Figura 19. Conmutación de onda sinusoidal de un motor paso a paso de 3 fases

Definiendo la frecuencia de arranque / parada

Para el más simple de los requerimientos, impulsar el motor en su modo de arranque/parada es el método que menos tiempo consume. La frecuencia de arranque sin carga máxima (f_{Aom}) siempre es dada por los fabricantes y obviamente se reducirá cuando el motor es acoplado a una carga M_L y a su subsiguiente inercia de carga J_L .

La dependencia de la frecuencia de arranque con la carga se ilustra en dos curvas logarítmicas. (figura 20)

Estas curvas se usan de la siguiente manera:

1. Ubicándose en la curva de inercia, la carga de inercia (J_L) es trazada y transportada a la curva de torque.
2. A partir de éste punto de inicio, y en forma paralela a la máxima frecuencia de arranque sin carga (f_{Aom}), se dibuja una nueva curva de frecuencia de arranque que considere a la

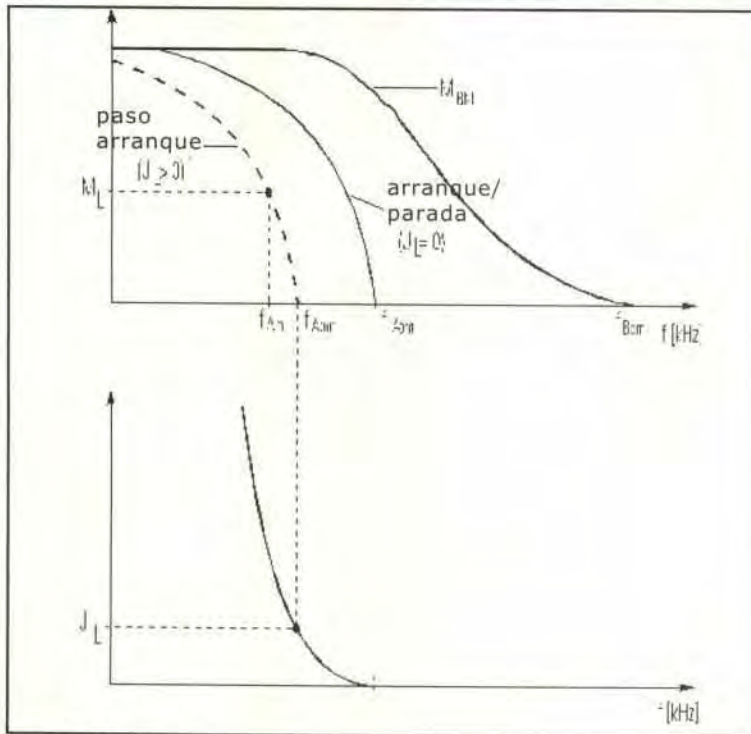


Figura 20.

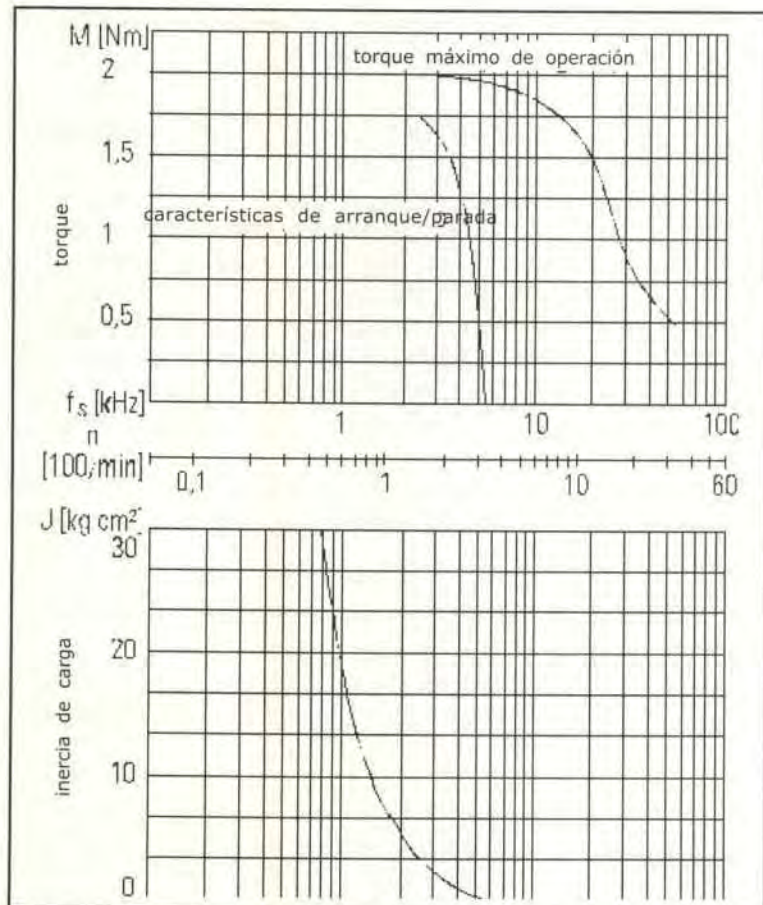


Figura 21.

inercia de carga.

- Desde el torque conocido de carga y la nueva curva de frecuencia de arranque, se puede encontrar la máxima frecuencia de arranque/parada.

Escrito por Steve Jennings, Editado para World Wide Web por Jim Huntley, correcciones y adaptaciones por Richard Massara. Tomado de Internet en: http://www.sapiens.itgo.com/motores_por_pasos

**Correos
de Colombia**



ADPOSTAL

Llegamos a todo el mundo!



Llame gratis a nuestras nuevas
líneas de atención al cliente

018000-915525

018000-915503

Visite nuestra página web
www.adpostal.gov.co

ACTUALIZACIÓN TECNOLÓGICA DE MAQUINARIA INDUSTRIAL

José Seiggubar Guiza Amaya - Jefe Área de Automatización
Profesional SENA, CDT - ASTIN

INTRODUCCIÓN

El Programa de Modernización Tecnológica tiene como finalidad apoyar a la Pequeña y Mediana Empresa para incrementar su productividad y competitividad, mediante el fortalecimiento de la maquinaria industrial, la optimización de sus procesos, la reducción de costos de producción, y la capacitación técnica derivada de las áreas mencionadas, entre otras.

Teniendo en cuenta estos aspectos, surge la opción de modernizar la maquinaria en lo relacionado con el sistema de control, programación, sensores, actuadores, software de diagnóstico de fallas, de tal forma que permita a las empresas obtener un óptimo aprovechamiento del talento humano competente, además, de generar información estadística para la trazabilidad de la producción, logrando mayor eficiencia y una alta fiabilidad en el control de la calidad.

Tomando como ejemplo la experiencia de automatización de las máquinas inyectoras de la planta de plásticos, de el Centro

de Desarrollo Tecnológico y Asistencia Técnica a la Industria CDT-ASTIN, del SENA Regional Valle, puede acompañar a las industrias del país en sus proyectos de actualización. Para ello se presentan, a continuación, una serie de pautas generales de interés tanto de empresarios como Jefes de Producción, Mantenimiento y Personal de I+D (Investigación y Desarrollo), que se deben tener en cuenta para la toma de decisiones en planes de mejoramiento tecnológico de las herramientas de producción, que tiene como consecuencia para la organización, adquirir autonomía en la tecnología que maneja, mayor independencia de firmas proveedoras de maquinaria y equipos, reducir las importaciones, y ganar experiencia técnica aplicable a nuevos diseños, modificaciones o mejoras en los procesos de fabricación:

1. Investigación tecnológica de la máquina que se desea actualizar
2. Definición de los cambios tecnológicos que proyecta realizar

3. Desagregación tecnológica de la máquina

4. Análisis de la estructura de control

5. Desarrollo del software de control con base en los estados normalizados.

Todo lo anterior sugiere que se responda a las necesidades de las empresas, expresadas a través del mercado, en la medida que reflejan oportunidades de obtener beneficios. Cabe anotar que la capacidad instalada puede responder a incrementos en la demanda, mediante el aumento en las actividades al interior de las entidades, en los esfuerzos por aumentar la creación y expansión de laboratorios de I + D y Departamentos de Ingeniería, financiados por las propias empresas, de tal forma que los inventos y avances serán incorporados en instalaciones existentes o en las nuevas y en los productos nuevos o mejorados para atender los pedidos de los clientes.

INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA DE LA MÁQUINA QUE SE DESEA ACTUALIZAR

- Investigación en Internet de los diferentes proveedores y elaboración de las fichas técnicas
- Recopilación de las nuevas prestaciones o funciones que en la actualidad tienen el mismo tipo de maquinaria.

DEFINICIÓN DE LOS CAMBIOS TECNOLÓGICOS QUE SE PROYECTA REALIZAR

Precisar cuáles de esas nuevas funciones se deben adicionar a la maquinaria para mejorar la eficiencia, la calidad y obtener información estadística para la trazabilidad de la producción

DESAGREGACIÓN TECNOLÓGICA DE LA MÁQUINA

Identificación general de la máquina

- *Planta de la máquina*
 - Parte eléctrica
 - Parte mecánica
 - Parte hidráulica - neumática
 - Parte térmica
- *Prestaciones y capacidad*
 - Velocidad de adquisición de datos
 - Velocidad de respuesta
- *Previsiones*
 - Ampliación
- *Condiciones ambientales*
 - Polvo, temperatura, humedad
 - Distancias entre PLC y proceso Red de alineación

- Proximidad de equipos que generan perturbaciones electromagnético
- *Tensiones de alimentación*
 - Interfaces de entrada y salida
 - Distancias de alimentación de la red
- *Análisis de funciones por PLC*
 - Redundancia por hardware para emergencia
- Estructura del software de control
 - Fuentes de alimentación
 - Unidad central
 - Entradas y salidas
- *Soporte técnico del distribuidor de la zona*

Análisis de cada sistema y subsistema

Se tomará como ejemplo una máquina inyectora.

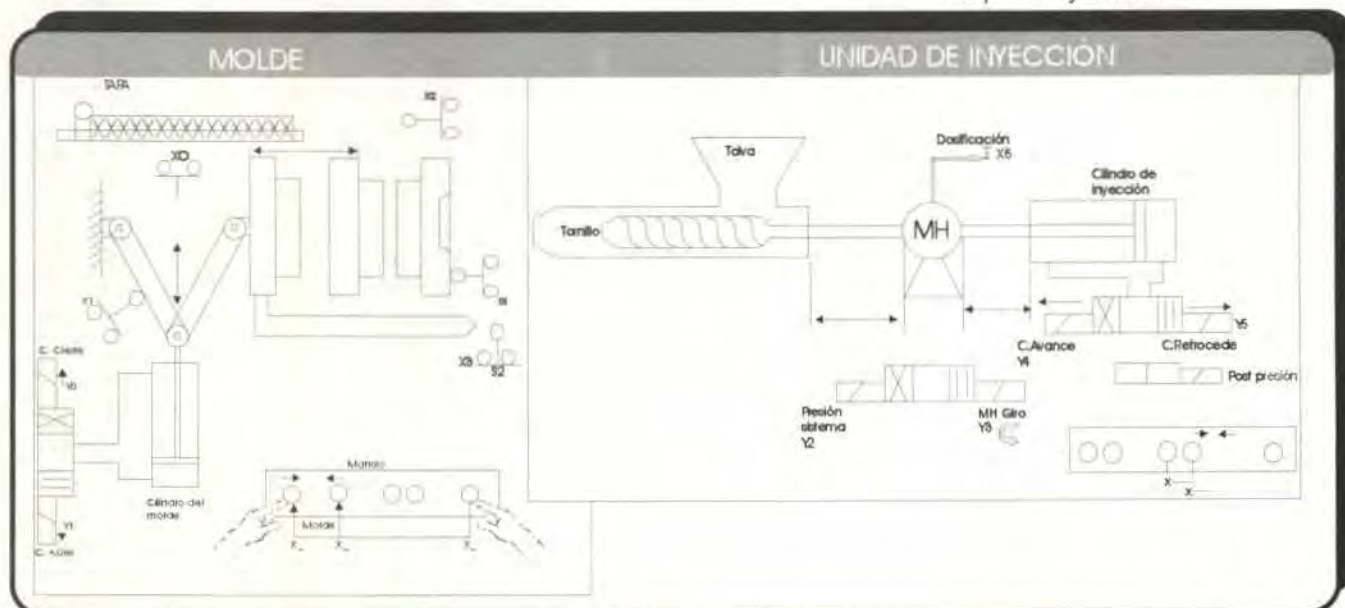


Figura 1. Plano de planta: Sensores tipo, actuadores y movimientos máquina inyectora sencilla

Sistemas mecánicos

- Molde
 - * Mecánico
 - * Sensores
 - * Actuadores

Entradas	Salidas
Mando Sensores Funcionamiento Seguridad	Cierre Apertura Señalización Presión Información estadística IE

- Unidad de inyección

Entradas	Salidas
Mando Sensores Funcionamiento Seguridad	Avance Retroceso Post-presión Señalización Información estadística IE

- Dosificación

Entradas	Salidas
Mando Sensores Funcionamiento Seguridad RPM	Giro único Señalización Información estadística IE

- Bomba Hidráulica

Entradas	Salidas
Mando Sensores Funcionamiento Seguridad Horas T _{aceite}	Arranque Ψ - Δ Señalización Información estadística IE Presión

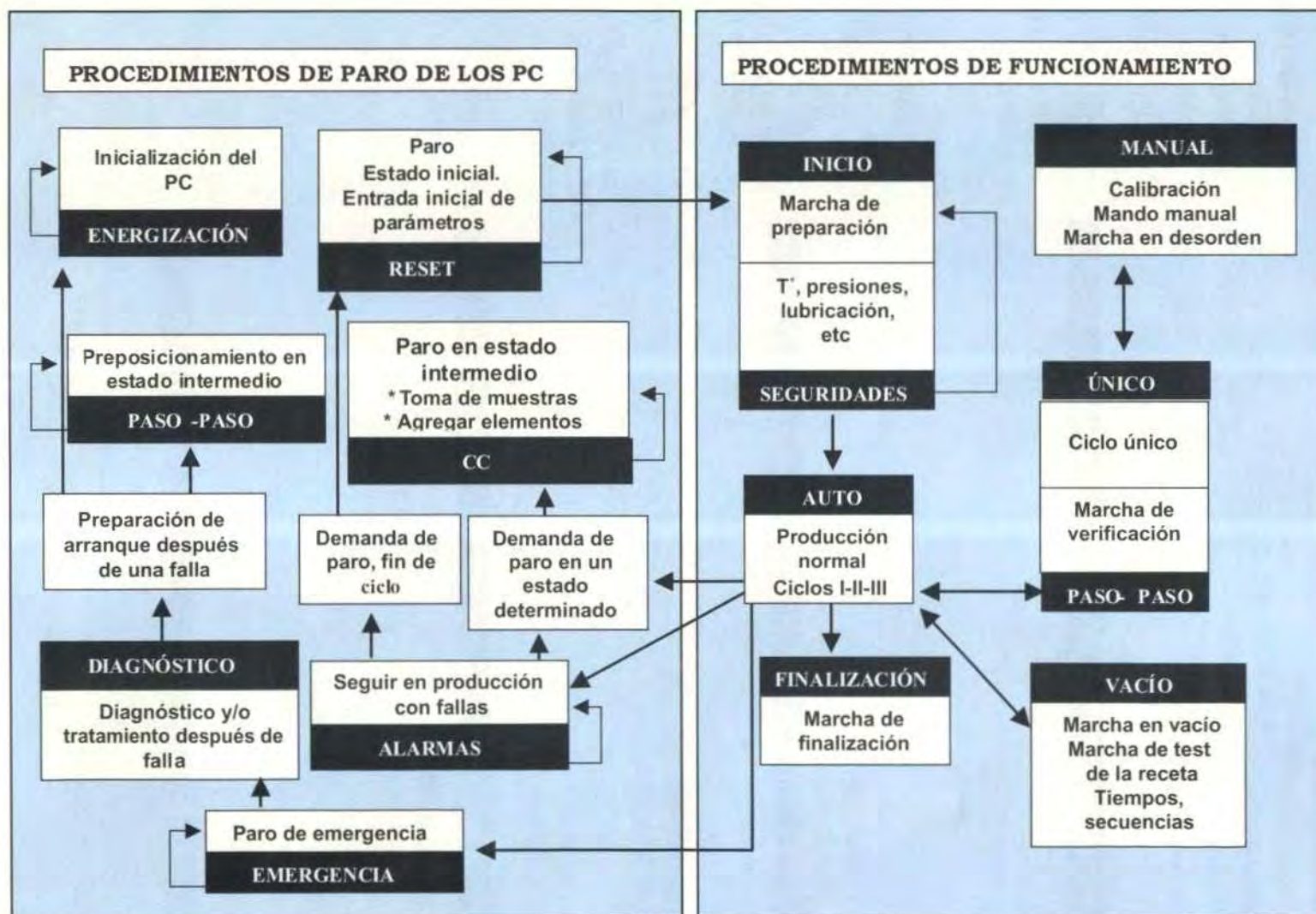
Sistema hidráulico

- Elaboración de plano del circuito
- Bomba potencia de voltaje
- Tipo de cilindros
- Electroválvulas / voltajes

Sistema eléctrico

- Elaboración de planos eléctricos
- Tablero de mando, ubicación de elementos
- Tablero de potencia, ubicación de elementos
- Plano de principio de control programable.

ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE CONTROL ESTADOS NORMALIZADOS



MODOS DE FUNCIONAMIENTO, PARÁMETROS Y ESTADÍSTICAS

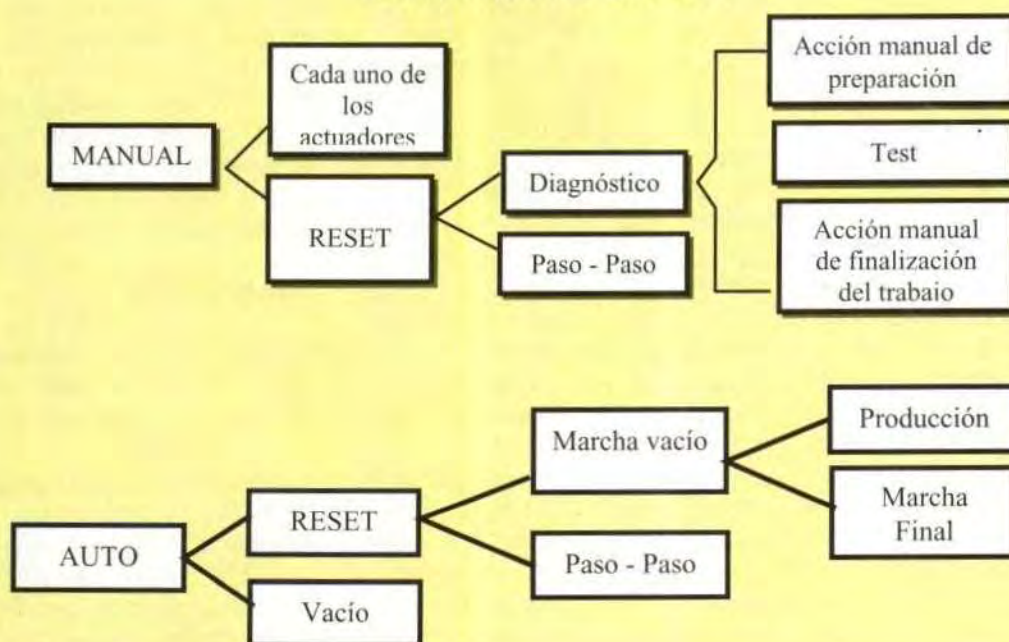
Modo	Parámetros	Estadística
* Manual * Automático * Ciclo en vacío * 1 ciclo * Continuo	* T° * Número de ciclos * Parámetros de variables * Otros	* Horas de trabajo * Número de productos * Referencia * Operario

PROGRAMA PLC

SUBROUTINAS

1. Reset
2. Inicio - Marcha de preparación
3. Preparación normal
4. Marcha de finalización
5. Marcha paso - paso
6. Manual. Movimiento de cada uno de los cilindros
7. Marcha en vacío
8. Emergencias
9. Seguridades
10. Alarmas
11. Diagnóstico
12. Ciclos I-II-III

ESTRUCTURA DE CONTROL



JERARQUÍA DE LAS SUBROUTINAS



CONCLUSIÓN

En términos conceptuales, estas experiencias se caracterizan por poseer cierto grado de especialización hacia sectores económicos determinados (metalmecánico, plásticos) lo cual les permite, entre otros beneficios, un mayor grado de actualización tecnológica en máquinas, equipos y materiales, pero también en conocimientos y técnicas aplicados a la producción. Dicha actualización, complementada con nuevas estrategias de acercamiento y colaboración con el sector productivo posibilita ofrecer una serie de servicios que vienen a complementar la oferta de formación, para mejorar la calidad de la mano de obra.

De modo general, se ha procurado

estructurar esfuerzos en materia de investigaciones que puedan aportar criterios de calidad e innovación tecnológica, así como en el control de procesos industriales y de mantenimiento.

El CDT-ASTIN ha tenido una relación creciente con el desarrollo tecnológico productivo, hoy su función de impartir formación especializada para los trabajadores del país, puede ser definida como transferencia de tecnología en un ambiente formativo, para ser aplicada a los procesos productivos de las PYMES en Colombia.

Entre los campos específicos de acción del CDT-ASTIN, el Área de Automatización y Electrónica tiene un enfoque amplio de apoyo al desarrollo tecnológico donde se destacan los servicios al sector

industrial. Estas labores son ejecutadas ya que cuenta con ventajas competitivas en cuanto al personal, infraestructura en equipos e instalaciones que se pueden aprovechar en alianzas estratégicas con empresas haciendo la transferencia del conocimiento obtenido de los proyectos de investigación realizados.

BIBLIOGRAFÍA

BALCELLS, Josep; Romeral, José Luis; Autómatas programables; Barcelona: Ed. Alfaomega - Marcobo. 1998.
Soluciones para automatización de máquinas y procesos. Revista Automática e Instrumentación. Nos. 326 y 330 de 2002.
www.iespana.es/automatizacion/ejem-gracf/ejem/gracec.htm



**CDT
ASTIN**

**Centro de Desarrollo Tecnológico
y Asistencia Técnica a la Industria**

Calle 52 2Bis - 15 Apartado Aéreo 8053
Tels: (2) 447 10 75 - 431 58 55 Fax: (2) 431 58 53 - 431 58 54
e-mail: astin@sena.edu.co - senastin@colombianet.net
www.sena-astin.edu.co

SANTIAGO DE CALI - COLOMBIA