

PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS
REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL

—
UNA GUÍA
PARA LA MEJORA
DE PROCESOS EN LAS
PROVINCIAS DE MENOR
DESARROLLO EN LA
REPÚBLICA ARGENTINA

Innovación en Tecnologías
de Mecanizado

CUADERNO TECNOLÓGICO N°8a

Autor: **Prof. Dr. Ing. Luis
Norberto López de Lacalle**

Universidad del País Vasco, ETSI de Bilbao

Con la colaboración de:
Prof. Ing. Daniel Martínez Krahrmer
INTI-Mecánica, Buenos Aires, Argentina

Julio de 2014



INTI



Unión Europea

PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS
REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL



Unión Europea

Delegación de la Comisión Europea en Argentina
Ayacucho 1537
Ciudad de Buenos Aires
Teléfono (54-11) 4805-3759
Fax (54-11) 4801-1594



INTI



Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Gerencia de Cooperación Económica e Institucional
Avenida General Paz 5445 - Edificio 2 oficina 212
Teléfono (54 11) 4724 6253 | 6490
Fax (54 11) 4752 5919

www.ue-inti.gob.ar

CONTACTO

Información y Visibilidad: Lic. Gabriela Sánchez
gabriela@inti.gob.ar

UNA GUÍA
PARA LA MEJORA
DE PROCESOS EN LAS
PROVINCIAS DE MENOR
DESARROLLO EN LA
REPÚBLICA ARGENTINA

Innovación en Tecnologías
de Mecanizado

CUADERNO TECNOLÓGICO N°8a

Autor: **Prof. Dr. Ing. Luis
Norberto López de Lacalle**

Universidad del País Vasco, ETSI de Bilbao

Con la colaboración de:
Prof. Ing. Daniel Martínez Kraher
INTI-Mecánica, Buenos Aires, Argentina

Julio de 2014



INTI



Unión Europea

Eman ta zabal zazu (en euskera)

“Da y difúndelo”

Lema del emblema de la Universidad del País Vasco

INDICE

PARTE A:

INNOVACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE MECANIZADO

1. PRESENTACIÓN	6
2. LA NECESIDAD DE PROGRESO EN LA INDUSTRIA METAL/MECÁNICA	10
3. LA SITUACIÓN EN EL NOA Y NEA DE LA TECNOLOGÍA DE MECANIZADO	12
3.1 Algunos detalles de la visitas.....	12
3.1.1 Maquinaria	
3.1.2 Piezas y Clientes	
3.1.3 Herramientas	
3.1.4 Metrología	
3.2 Análisis DAFO	23
4. INNOVACIÓN EN FABRICACIÓN MECÁNICA	27
4.1 Tendencias generales del mercado, necesidad de innovación	27
4.2 EL I+D+i en fabricación	29
4.3 La vigilancia tecnológica y sus fuentes.....	33
5. TENDENCIAS TECNOLÓGICAS POR SECTORES CLIENTES	39
5.1 Automotriz	39
5.2 Aeronáutica.....	42
5.3 Energías alternativas.....	45
5.4 Biomedicina	46
5.5 Moldes y matrices.....	48
5.6 Máquina - herramienta y mecanizado	50
6. PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN PROCESOS DE FABRICACIÓN	56
7. FABRICACIÓN RÁPIDA Y ADITIVA	59
7.1 Fabricación Aditiva aplicada a piezas de material polimérico	60
7.2 Fabricación Aditiva aplicada a piezas metálicas.....	62
8. PROCESADO DE NUEVOS MATERIALES	64
9. MICROFABRICACIÓN Y NANOFABRICACIÓN	65
10. PASOS A SEGUIR PARA LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA DE LAS REGIONES DE MENOR DESARROLLO DE ARGENTINA	70

ABREVIATURAS Y SIGLAS UTILIZADAS

MiPyMEs	Micro, Pequeñas y Medianas Empresas
NOA	Región del Noroeste de Argentina
NEA	Región del Noreste de Argentina
INTI	Instituto Nacional de Tecnología Industrial
PTM	Parque Tecnológico Miguelete
PyMEs	Pequeñas y Medianas Empresas
UE	Unión Europea
DAFO	Análisis de Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades
HSM	High Speed Machining, fresado a alta velocidad
HPC	High performance Cutting, literalmente corte de alto rendimiento,
EBM	Environmentally Benign Manufacturing, fabricación de reducido impacto ambiental.
MQL	Mínima cantidad de lubricante
UPV/EHU	Universidad del País Vasco

1. PRESENTACIÓN

La Unión Europea y el INTI firmaron un convenio de financiación destinado a mejorar la competitividad de las miPyMEs del norte argentino acercando respuestas tecnológicas apropiadas al nuevo entorno productivo industrial. Los responsables de la ejecución del Proyecto "Mejora de las Economías Regionales y Desarrollo Local" son el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), en representación del gobierno nacional, y la Delegación de la Unión Europea en Argentina.

Durante más de medio siglo, el INTI ha construido capacidades profesionales e infraestructura tecnológica de relevancia que lo posicionan hoy como actor importante para aportar innovación tecnológica aplicada a los procesos productivos de toda la economía y para el desarrollo de soluciones industriales que incrementen la productividad y la competitividad de la industria nacional.

Con la ejecución de este proyecto se busca acercar la tecnología y las capacidades técnicas a las regiones de menor desarrollo relativo del país, poniendo a disposición de las miPyMEs y Pymes los medios para satisfacer las demandas de mejora de eficiencia y calidad de sus productos y/o servicios para dar un salto cualitativo en cada una de las provincias del NOA y NEA.

Por tanto, a través de un diagnóstico y evaluación de necesidades tecnológicas hecho en articulación con los gobiernos provinciales, se diseñó un plan de acción sectorial que se implementará hasta el 2015, en cinco sectores industriales determinados como prioritarios: industrialización de alimentos, curtiembre, textil, y metalmecánica junto a la gestión medioambiental como eje transversal a los sectores industriales anteriores.

El proyecto Mejora de las Economías Regionales y Desarrollo Local surge como parte de las acciones de vinculación internacional del INTI, en donde la cooperación técnica con organismos públicos y privados del mundo -presentes en el campo tecnológico- favorecen el intercambio de conocimientos como elemento fundamental para el desarrollo industrial local.

En esa dirección, uno de los componentes de este proyecto es la convocatoria de especialistas en diversas temáticas, para cumplir con misiones de trabajo en nuestro país. El objetivo de cada misión es brindar capacitaciones específicas a técnicos de las provincias norteñas, de acuerdo a la especialidad de cada experto, a grupos de trabajo de Centros Regionales de Investigación y Desarrollo así como a Unidades Operativas que conforman la red INTI, y brindar asistencia técnica a las miPyMEs que acompañen el desarrollo de las actividades del proyecto. Además, mantienen entrevistas con actores locales quienes constituyen un recurso esencial y estratégico para alcanzar los objetivos planteados.

La publicación que se dispone a conocer ha sido concebida como resultado de una misión técnica de uno de los expertos intervinientes en este proyecto. Cada experto al finalizar su trabajo en el país, elabora un informe técnico con recomendaciones para el fortalecimiento del sector para el cual fue convocado y que da lugar a la presente producción, editada con el propósito de divulgar los conocimientos a partir de las necesidades

detectadas y los resultados del intercambio efectivo hecho en territorio, conjugando los basamentos teóricos con la realidad local.

Dra. Graciela Muset

DIRECTORA DEL PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL

El contenido de este documento es responsabilidad exclusiva del autor y en ningún caso se debe considerar que refleja la opinión de la Unión Europea.

Este informe se realiza fruto de la estancia del experto López de Lacalle en las regiones NOA y NEA de Argentina en Junio de 2014, en la misión relacionada con el proyecto denominado "MEJORA DE LAS ECONOMÍAS REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL EN LA REPÚBLICA ARGENTINA", EuropeAid/130594/C/SER/AR. La actividad consistió en la realización de talleres de sensibilización para los técnicos y profesionales de las miPyMEs de la región de intervención, así como también la difusión al sector productivo de la región, de las capacidades de los Centros de NOA y NEA y de las Unidades de Extensión del INTI en la región.

Como complemento a esta misión se edita este informe, que pretende dejar constancia de las ideas, estudios, y conclusiones del trabajo realizado. La perspectiva principal que lo inspira tiene su origen en las visitas llevadas a cabo por los autores, ambos tecnólogos del campo del mecanizado; pero se ha considerado importante incorporar a este informe una visión más amplia de la tecnología de mecanizado, dada la influencia de factores más generales relativos a la evolución de diversos sectores industriales en el campo del mecanizado.

Un papel fundamental en el éxito de la misión fue la coordinación y participación del personal del INTI, siendo por tanto obligado el agradecimiento a todos ellos, y en particular a:

- Juan Szombach: acompañó al experto a Resistencia, siendo además receptor de varias ideas para el desarrollo de sistemas de microlubricación y otras tecnologías.
- Abel Villamil y Remigio Colcombet, que en Resistencia sirvieron de enlace, acompañamiento y coordinación de la misión en la región del Chaco.
- Claudio Berterreix: sirvió de enlace, y coordinador de varias actividades de sensibilización a empresas, en Tucumán, Resistencia, y Buenos Aires.
- Sebastián Bretones, coordinador del área metal/mecánica en Tucumán, que organizó la actividad en esta provincia.
- Alejandra Agostinho, que coordinó todas las actividades de la zona de Jujuy, junto a su joven y dinámico equipo de trabajo.
- Jorge Schneebeli, que es el Gerente de Proyectos Especiales del INTI y Director de INTI-Mecánica, quién supervisó el desarrollo global de la misión.
- María Eugenia Suárez, Germán Pasetti, Gabriela Sánchez, Carina Zabala, Mariana Tarifa, y Paula Massimilla que organizaron la misión en sus términos generales, y estuvieron en las jornadas abiertas para empresas llevadas a cabo en las provincias del NOA y NEA involucradas.

Se agradece de forma especial el apoyo de Laura Atienza, de Eptisa, que gestionó la misión e hizo que todo fuese fácil, muy fácil. Y también a Euskoiker, fundación del País Vasco que siempre nos hace los trámites administrativos sencillos y rápido.

Algunas de las ideas de las personas arriba señaladas están reflejadas en este informe. Por tanto lo acertado del mismo y su posible valor es atribuible a todos ellos, no así los errores, fallos u olvidos, que sin duda son de exclusiva responsabilidad de los autores.

También se debe avisar de antemano que los contenidos de este informe son limitados, y no pueden explicar completamente las presentaciones efectuadas en las jornadas y los cursos impartidos durante la misión.

Este informe es simplemente una forma de hacer resumen y dejar por escrito algunas ideas expuestas o adquiridas durante la misión, para que no se pierda el esfuerzo realizado durante los magníficos días pasados en estas regiones de Argentina.

2. LA NECESIDAD DE PROGRESO EN LA INDUSTRIA METAL/MECÁNICA

En los últimos años se está asistiendo a una constante innovación en lo referente a sistemas de producción, y dentro de ellos en los procesos de mecanizado. Muchos han sido los avances de los últimos veinte años, pero se los podría resumir a todos ellos en la idea común de tratar de acercarse a un mecanizado "basado en el conocimiento", es decir, fundamentado en el conocimiento profundo de los procesos y no solamente en la aplicación de esquemas de producción ya probados anteriormente. En otras palabras se pretende escapar de la vieja y extendida metodología del "prueba-error".

La conjunción de la experiencia previa, uso del conocimiento de la tecnología y una visión creativa ha permitido multiplicar la productividad de muchos procesos y la calidad de las piezas mecanizadas. Productividad, calidad, y reducción del impacto ambiental de los procesos de fabricación son los tres ejes fundamentales de aplicación en empresas y áreas industrializadas, que pueden ser sostenibles en un entorno tan competitivo y globalizado como el actual.

Por otra parte la crisis mundial sufrida desde 2007 ha tenido como consecuencia una profunda reflexión social, industrial, e incluso política sobre el efecto beneficioso y fundamental de potenciar la industria manufacturera. La industria no es solo un factor determinante para mantener o asegurar el PIB de una nación, sino que implica generar puestos de trabajo directo e indirecto, mantener la paz social, generar inercia y un movimiento constante de innovación. Por tanto la industria es factor primordial de avance en el progreso y cohesión social de una nación. Dos hechos pueden ser claros ejemplos de esta situación, aunque por cierto podrían citarse muchos más:

- En los programas de apoyo al i+D Horizon 2020 de la UE la presencia de programas orientados a la fabricación es permanente, frente a programas marco de la década anterior (como el VI) donde era considerado como una actividad secundaria y no estratégica.
- Regiones de Europa, como por ejemplo el País Vasco en España, donde el esfuerzo en fabricación ha sido permanente incluso en años donde en otros ámbitos no se lo consideraba así, han sido los de menor sufrimiento durante la larga crisis que desde 2007 se prolonga en Europa y resto de países. Con una aportación de la industria al 25,3% del PBI en 2008, la estructura productiva vasca representa niveles algo más elevados de especialización industrial que países como Alemania, Austria, Finlandia o Suiza, en los que la industria contribuye entre un 22-23% del PBI.

Por otro lado, Argentina está tratando de recuperar parte de la industria metal/mecánica perdida o disminuida entre los años 1990 y 2000. Existen elementos tructores en su economía que requieren la existencia de empresas de fabricación mecánica fuertes y con tecnología actual. Están entre ellos los sectores de minería, el petróleo, la fabricación de maquinaria agrícola, y el sector de autopartes, que pueden ser claramente activadores de la innovación en el campo de las empresas de fabricación mecánica.

En las visitas al norte se ha observado que en algunos casos (ingenio azucarero por ejemplo) se están utilizando máquinas de más de 40 años de vida, cercanas a su obsolescencia y que a futuro deberán ser reemplazadas por maquinaria moderna. Si los nuevos bienes de equipo fueran nacionales, muchos componentes deberán fundirse, forjarse, o mecanizarse. Si las nuevas máquinas fueran extranjeras, se deberá disponer de capacidad de suministrar componentes, de reparación, ajuste y mantenimiento, situaciones que también requieren medios actuales y una respuesta ágil por parte de las empresas. Más allá de la entrada en juego de la electrónica y su indudable auge e importancia, todos podemos ver que las máquinas, vehículos, e instalaciones industriales, son de metal u otros compuestos, y que las piezas metálicas siguen formando parte de cualquier artificio creado por el hombre. La industria metal/mecánica sigue siendo factor clave de desarrollo en muchos países, pudiéndose citar los casos de Japón, Alemania o regiones como el País Vasco como ejemplos de éxito y donde además otros sectores también florecen.

Sucede entonces que la industria evoluciona hacia la producción de componentes y productos de mayor valor agregado, muchos de ellos constituidos por materiales de altas prestaciones mecánicas, y que adolecen de un difícil mecanizado. De hecho es habitual distinguir un grupo de aleaciones por el descriptor común "de difícil mecanizado" o "baja maquinabilidad". Sus procesos de mecanizado han de definirse tras un conocimiento en profundidad de su comportamiento cuando son atacados por una herramienta de corte. Muchas veces los factores cruciales en el corte de unos materiales, son irrelevantes en otros, y las soluciones para unos no son en absoluto adecuadas para los otros.

Por todos los motivos citados precedentemente, la ingeniería dedicada a la definición de los procesos de fabricación va creciendo en importancia, siendo en consecuencia objeto de una mayor dedicación en las escuelas de ingenieros y los centros de formación.

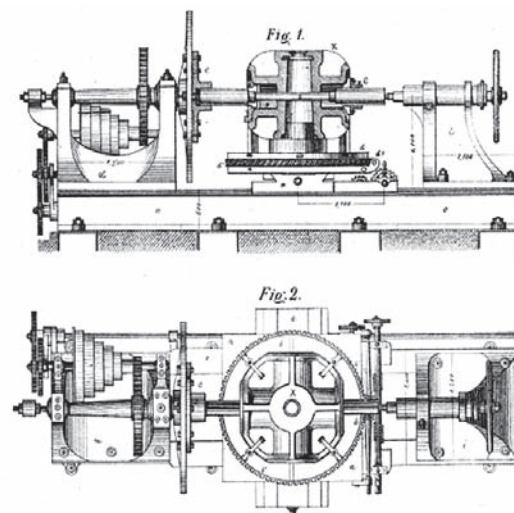


Figura 1: Un alesadora del siglo XIX, máquina fundamental para realizar cañones, alojamientos y émbolos de máquinas de vapor

3. LA SITUACIÓN EN EL NOA Y NEA DE LA TECNOLOGÍA DE MECANIZADO

Esta misión del experto se desarrolló en el contexto del proyecto 'Mejora de las economías regionales y desarrollo local' que tiene por objeto acompañar la estrategia del INTI vinculada al acercamiento de la tecnología a las PyMEs y miPyMEs de las regiones más postergadas del país, acrecentando su presencia, e implementando líneas de acción, que ayuden a resolver problemas comunitarios que contribuyan a una transformación social con equidad. Es por ello, que la región beneficiaria de este Proyecto comprende el Noreste Argentino (NEA) formado por las provincias de Chaco, Formosa, Misiones, y Corrientes y el Noroeste de la República Argentina (NOA) integrado por las provincias de Catamarca, Salta, La Rioja, Jujuy, Santiago del Estero y Tucumán.

La fecha de la misión se fijó entre el 8 de Junio al 2 de julio de 2014. El método de trabajo en las tres provincias seleccionadas (Chaco, Jujuy, y Tucumán), fue muy similar y siguiendo el orden cronológico de los puntos a continuación marcados, a saber:

- 1- Visita a PYMES de carácter metal/mecánico y centros de formación de cada región.
- 2- Clínicas de diagnóstico en empresas seleccionadas en cada zona.
- 3- Curso de capacitación entre 12 y 18 horas, abierto a técnicos de las empresas y del INTI.
- 4- Jornadas abiertas a empresarios, sobre los fundamentos de la tecnología de mecanizado, prospectiva, y los pasos a seguir para la mejora de las empresas.

Sin ser el fundamento de la misión del experto, en algunos casos se ayudó a realizar un análisis DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas, y Oportunidades) de la situación de las PYMES de Chaco y Jujuy, que son también de aplicación directa a Tucumán.

Siempre es difícil generalizar, máxime cuando el número de empresas visitadas fue una muestra limitada a unas 15 PYMES, no pudiendo abarcar un mayor número, por falta de tiempo material. Sin embargo en las jornadas de capacitación y durante las charlas a empresarios, también se obtuvieron valiosas ideas y aportaciones. Por tanto, los análisis DAFO efectuados pueden servir para tener una fotografía global de situación, aunque las excepciones puedan ser muchas.

Pero previo a presentar el DAFO, indicaremos algunas visiones particulares de las visitas realizadas que permitan entender los puntos luego resumidos.

3.1 ALGUNOS DETALLES DE LA VISITAS

Tras visitar las distintas empresas del NEA y del NOA, se podría destacar una serie de apreciaciones generales (con múltiples excepciones), atendiendo a los puntos que a continuación se explican.

3.1.1 Maquinaria

En cada factoría visitada se pudieron ver máquinas de diferentes características, y su ubicación en los talleres. Algunas de las observaciones se describen en este apartado.

1. Existencia de maquinaria convencional muy antigua

Se ha podido contemplar máquinas-herramienta de hace más de 20 años, por tanto sobre amortizadas (Fig.2), pero en general con un estado de conservación bastante bueno. En algunos casos son máquinas difíciles de encontrar en otros países, como sería el caso de los cepillos puente, limadoras o mortajadoras.

Muchas de estas máquinas están más que justificadas en su utilización, dado que la reparación de 'pieza única' es el mercado principal de la mayor parte de los talleres visitados. En esta aplicación, los equipos no requieren de amortización y por tanto su uso solo es justificado pocas veces al año, para operaciones concretas. Y estas reparaciones como norma general son muy rentables económicamente, dado su carácter especial y a que se emplean máquinas con un costo horario muy bajo (unos 100-150 pesos/hora).

Pueden hacerse algunas consideraciones adicionales:

- Mantener una parte de este parque de maquinaria es importante, y en algunos casos puede ser de gran valor, pues en operaciones especiales, reparaciones de engranajes, u otros trabajos especiales, las máquinas se utilizan con baja frecuencia. Las máquinas a conservar (Fig.3) son aquellas que ofrecen una ventaja competitiva en alguna operación singular o reparación muy especial.
- Sin embargo muchas veces su existencia obedece a una visión tradicional del oficio, apartado de la evolución general mundial. Esto es, los técnicos tienden a creer que las máquinas del siglo XXI son estas mismas, lo cual es claramente un error, pues incluso a finales del XX ya eran anticuadas. Este hecho puede conducir a perpetuar la compra de máquinas convencionales en sustitución de las antiguas que ya no pueden recuperarse o cuyas holguras son ya incapacitantes, adquiriendo máquinas que son idénticas a las de hace 30 años.
- Algunas máquinas que han sobrevivido en estas empresas pueden tener un valor a futuro. Podemos citar el caso de las creadoras de engranajes por fresa madre o con creador de elevado módulo (Fig.3). Estas máquinas serían casi imposible de adquirir actualmente con una inversión moderada.

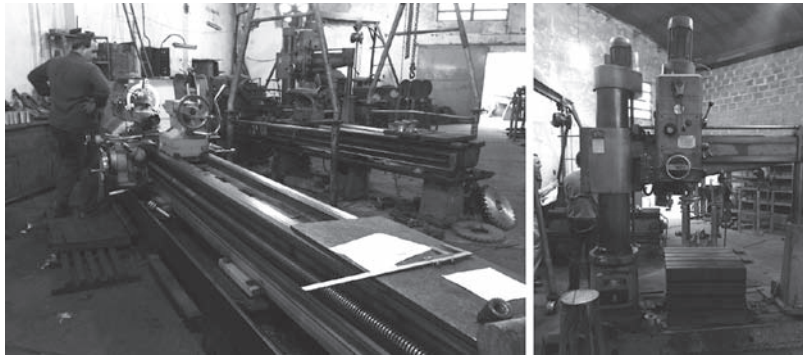


Figura 2: Maquinaria antigua, de más de 20 años, sobreamortizada

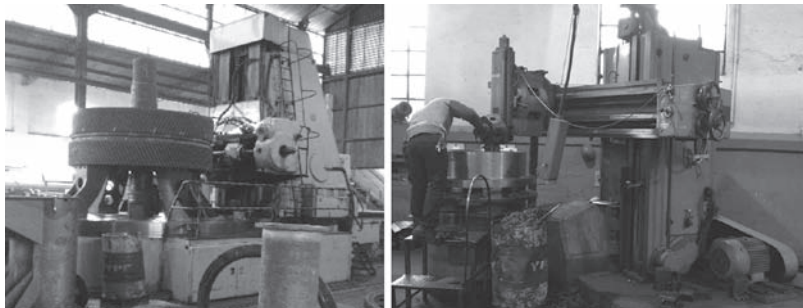


Figura 3: Máquinas antiguas de gran valor por su especificidad y buen mantenimiento (en Imsa, Tucumán)

2. Compra de máquina convencional de origen chino

Varias empresas han adquirido tornos y fresadoras convencionales de los pocos suministradores que quedan en el mercado, concretamente de la China continental. Por ejemplo, en las visitas realizadas se han observado varios tornos paralelos de longitud máxima de hasta unos 4 metros. El costo de esta maquinaria es razonable para los empresarios, en sustitución de las máquinas antiguas que ya sufren de juegos (desgaste) en husillos y carros que las hace inoperantes. Sin embargo, debemos hacer algunas apreciaciones:

- Debe pensarse que una máquina convencional dotada de reglas de medida (visualizador digital de cotas) es ya un paso de innovación, y que el sobreprecio de este

accesorio es más que razonable en relación a las ventajas que ofrece. Muchos empresarios o bien no lo contemplan aún para su empresa, o bien el vendedor no les ha ofrecido esta opción, lo que es claramente un defecto de la oferta. Pero quizás en muy corto tiempo, cuando comprendan la necesidad de agregar los visualizadores, la empresa lamenta el ahorro derivado de haber adquirido las máquinas ya con estas reglas. Es complicado incorporar las reglas tras la adquisición de las máquinas.

- Las medidas de seguridad y protección ofrecidas por estas máquinas es deficiente, y en algunos casos no pasarían los puntos básicos de seguridad de Europa. Debiera pensarse desde el INTI en promover la reglamentación o exigencia de cumplimiento en Argentina de la normativa básica.
- Además de la China continental, podrían buscarse otros países con capacidad de suministrar máquinas de mayor calidad y precisión, como Brasil o Europa. Se han escuchado muchas quejas en las visitas sobre las máquinas chinas, país donde es bueno aclararlo, tanto hay buena como mala máquina. Se debe analizar bien el producto y ser exigentes con el vendedor en cuestiones de garantía y servicio de asistencia técnico.
- El servicio de apoyo y asistencia técnica de esta maquinaria está lejos de ser óptimo. Como se ha dicho en el apartado anterior, la asistencia debe estar contemplada desde el contrato de compra, y el vendedor de la máquina ofrecer este servicio que por otra parte es muy rentable para este tipo de empresas.

Entrando en un aspecto más económico, en el empresariado en general existe poca idea o poco uso al menos del concepto de amortización, y de ahí la falta de precisión en la determinación de las tarifas horarias de sus máquinas. Una consecuencia directa de este olvido, es que no se contempla el mantenimiento en el costo total de la inversión, y en general se produce un efecto en cadena, de que el suministrador de máquinas no tiene el servicio de asistencia técnica entre sus prioridades.



Figura 4: Tornos de reciente adquisición, a) sin reglas de medida y b) con reglas

3. Tópicos y realidades sobre el uso de máquina de CNC en las regiones

Algunos empresarios ya están pensando en comprar o han adquirido máquinas de CNC, generalmente fresadoras de tres ejes verticales y tornos de dos ejes con control numérico. Debe recordarse que las máquinas para piezas de menos de un metro de longitud máxima son la referencia en casi todas las PyMEs de Europa, tipo y tamaño de empresa que son allí muy numerosas.

Pese a la entrada progresiva de estas máquinas en varias de las empresas argentinas visitadas, existen varias ideas asumidas en las empresas, que, si bien pueden tener algún fundamento, muchas veces son también barreras preconcebidas que lastran la innovación, como por ejemplo:

- *"No hago pieza repetida, por tanto el CNC no es para mi empresa".*

A este argumento se lo puede rebatir con que incluso para producir una pieza compleja es más rápido escribir un programa de CNC, probarlo, y ejecutarlo que hacer la pieza en máquinas convencionales. Debe recordarse que John Parsons inventó en 1945 el CN para resolver un mecanizado complejo, unas formas complejas, y para fabricar una leva glóbica. Esto es, el origen del control numérico no se vinculó a conseguir repetir piezas o a la alta producción, sino que se motivó por la necesidad de mecanizar unas pocas piezas complejas.

Por otro lado, la pieza puede no ser repetitiva de forma seguida, pero sí en periodos temporales fijos, por ejemplo de cosecha a cosecha, etc.

- *"El servicio de asistencia técnica es muy reducido, especialmente en el Norte".*

La mayor demanda de máquinas traería una mayor atención de los vendedores de máquinas, y a una mejora del servicio de mantenimiento.

- *"No hay técnicos formados".*

En muchas de las regiones ya existen máquinas CNC en escuelas, y técnicos con capacidad de programar códigos ISO. Mejorando los medios y apostando por dotar y formar al profesorado de las escuelas técnicas, este punto mejoraría en muy corto tiempo. Un joven acostumbrado a las tecnologías de celulares, computadoras, etc. aprendería control numérico en menos de una semana.

- *"El costo de estas máquinas no puede ser asumido / justificado por las piezas que realizo".*

Puede ser cierto en parte, pero muchos empresarios reconocen hoy día que el margen por pieza y / o pedido es grande o muy grande. El uso de máquinas CNC y la automatización siempre implica ganar menos por pieza, pero de mayor cantidad de piezas. Este efecto hace crecer las empresas, dado que el paradigma productivo es *"ganar menos, pero de mucho más"*.

Los argumentos y contraargumentos pueden ser los que sean, pero **en ningún lugar del mundo se entiende fabricación moderna sin un uso intensivo y general de máquinas de CNC**, que conllevan, productividad, precisión, calidad, y la posibilidad de poder acumular informáticamente los programas y proyectos de piezas, aumentando así la base de datos de experiencia de las empresas.

En el norte de Argentina ya existen empresas que han comenzado a adquirir máquinas, de marca española (varias marcas), china, brasileña, etc. No hay futuro sin control numérico, siempre pensando de forma razonada en función del entorno económico y del sector objetivo de cada empresa en concreto.

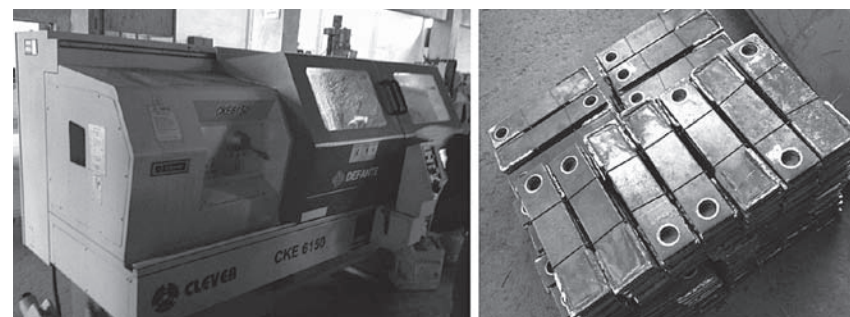


Figura 5: Torno CNC, en la empresa IDI, Jujuy, y pieza donde se ubica el casquillo de bronce que se realiza en el mismo, que tiene ya una producción anual elevada.

3.1.2 Piezas y Clientes

Como primera idea decir que el tipo de pieza que la empresa produce y el sector para el que la empresa trabaja (denominados sector cliente o sector objetivo), siempre están relacionados, dado que uno es la demanda y necesidad y el otro resuelve la oferta. Este hecho es obvio, pero solamente conociendo bien al cliente y su evolución y perspectiva de negocio se puede hacer una previsión de crecimiento e inversión a futuro en las propias empresas mecanizadoras.

1. Reparaciones

Las reparaciones de componentes de maquinaria de a) origen nacional y con muchos años de uso, o de b) maquinaria extranjera, es muy importante para el norte de Argentina. Se trabaja con especial intensidad para los Ingenios azucareros y tabacaleros, para la minería, y para equipos usados en obras civiles. Gran parte del negocio de las reparaciones está asociado a la caña de azúcar y a las papeleras, así:

- Se repara mucho engranaje, generalmente por aporte por soldadura y tallado posterior con fresadora convencional.
- Se repara mucho elemento de fricción y abrasión de máquinas de gran tamaño, que en cada cosecha se degrada y debe ser reparado. El de la Fig.6 es un ejemplo clásico de pieza que debe ser reparada por aportación de soldadura y posteriormente torneada y pulida a piedra.

- Las reparaciones se acumulan en determinados periodos de tiempo, cuando las azucareras mandan piezas a reparar, tras la zafra. El resto del año, hay menos carga de trabajo.

Sin embargo, el negocio de la reparación posee riesgos evidentes. Uno de ellos es que las máquinas muy antiguas que se reparan actualmente podrían ser sustituidas por otras más complejas en un corto plazo, y cuyos requisitos de calidad sean mucho más estrictos. Por otro lado, las reparaciones siempre generan actividad por reacción, nunca por anticipación. Por tanto no permiten "traccionar" la innovación, inversión, y formación. En otras palabras, siempre se actúa de "bombero", apagando el fuego. Y ya se puede imaginar uno lo difícil que debe ser gestionar económicamente un servicio de bomberos.

A futuro, y pensando que mucha de la maquinaria a sustituir procederá del extranjero, una posibilidad sería que los concursos públicos de explotación o adquisición de maquinaria costosa obliguen a planes de industrialización donde el mantenimiento sea de obligada realización local. Este punto es claramente responsabilidad de la administración y el gobierno pues incumbe a empresas públicas o participadas por la administración central o provincial.

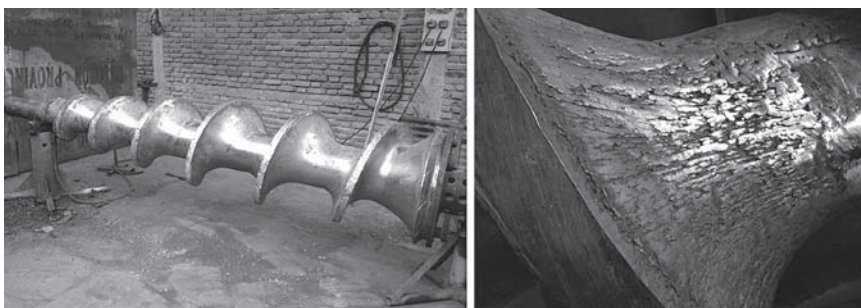


Figura 6: Tornillo sinfín de grandes dimensiones que debe repararse tras la zafra de la caña de azúcar. Detalle del desgaste tipo y magnitud de deterioro (derecha).

2. Poco uso de planos detallados con tolerancias y acabado superficial

La reparación de máquinas antiguas muchas veces conlleva realizar un proceso/procedimiento en que los planos, o bien no existen, o son muy básicos, sin la debida consideración de tolerancias dimensionales o de forma. Sin embargo, la producción mecánica debe colocar la precisión, en la cumbre de la pirámide de los requisitos del cliente. Por tanto, no tener planos con tolerancias debidamente definidas siempre deja a la empresa a la subjetividad de la visión del cliente, "que siempre tiene razón".

El problema algunas veces se agrava cuando muchas empresas no contemplan una idea sistemática de la tolerancia, ni la incorporan a sus planos. Por otra parte, en sus máquinas y sistemas de metrología las medidas son siempre aproximadas, o a lo sumo

se trabaja por ajustes de definición cualitativa y no cuantitativa del tipo "que entre suavemente", o "que no haga mucho ruido", etc.

Las empresas visitadas con visión de futuro saben que esta situación no puede perpetuarse; las que solo aspiran a llegar a la jubilación de sus dueños u operarios le quitan importancia a este asunto. Pero se podría considerar a este hecho un buen indicador de la idea de los dueños en cuanto al futuro de la empresa, o bien sobrevivir o por el contrario mejorar, innovar y crecer.

3. Poca pieza repetida

En alguna empresa se comienza a recibir pedidos de piezas de tiradas medias, que se resuelven con máquinas convencionales. Se pueden citar como ejemplos algunos elementos de desgaste de trapiches y otros componentes del ingenio azucarero, y también partes para estivar túneles de minería, y otros más. Estas piezas repetidas, se resuelven en los primeros pedidos con máquinas convencionales, o bien algún empresario ya dispone de máquinas de control numérico.

El pedido de series cortas permite planificar la producción y comenzar a pensar en amortizar las máquinas con costos analíticos (tarifar por hora máquina o pieza producida). Los pedidos son la base que da estabilidad a la empresa, mientras las reparaciones suponen el negocio de mayor rentabilidad, en otras palabras, el trabajo contra pedido te permite mejorar e invertir con un beneficio moderado, el trabajo especial te da un mayor margen de beneficio.

El INTI ya colabora con varias empresas de las regiones en apoyo a la introducción y definición de modelos de gestión y organización de la producción basados en estas premisas.

4. Escasa subcontratación a terceros

Como norma general, el empresario no contempla tercerizar operaciones, por lo que los empresarios buscan desarrollar tanto el proceso primario (fundición, forja), como el mecanizado, ensamblado, y montaje en la propia empresa. Este hecho implica riesgos en épocas de poca actividad, dado que la empresa debe soportar todos los costos en situaciones de poca producción.

5. Materiales

Casi todos los talleres trabajan aceros AISI/SAE 1010, 1020, y 1045, y otros de media aleación templables o cementables. En el norte, el material de partida llega de otras partes de Argentina, y en las visitas se citaron dificultades frecuentes de suministro.

Algunas empresas poseen su propia fundición de hierro o bronce, muchas veces utilizando hornos que queman aceite, aunque también los hay de arco eléctrico. No hay experiencia en otras aleaciones no férreas, por ejemplo de titanio o níquel, o poca en aleaciones de aluminio de alta resistencia.

En general existe mucho conocimiento de los aceros arriba señalados, pero poca conciencia de aspectos relativos a su metalurgia, caracterización mecánica u otras características físicas de los metales. El apoyo del INTI en este caso puede ser muy importante, tanto a nivel de definir y realizar ensayos básicos de caracterización (tracción, fatiga, resistencia) como en formación general.

6. Generación de producto propio

En las zonas se conocen bien las necesidades agrícolas y ganaderas, y varias de las empresas metal/mecánicas fabrican productos (máquinas, equipos, y accesorios) bien orientados a la necesidad final de la cosecha, ganadería u otra operación. Así, se pueden citar ejemplos del Chaco de máquinas para recoger algodón o yerba mate, como la mostrada en la Fig.7. En todos los casos, la operación fundamental es el corte de chapa de acero y la soldadura, siendo el mecanizado una operación menos importante.

Como no existe tercerización, las empresas de pequeño tamaño suelen tener servicio y capacidad de corte de chapa (oxicorte o plasma), práctica de la soldadura y mecanizado de ejes y casquillos. Con objeto de establecer un referente, debe citarse que en otros países, existen dos tipos de empresas distintas, con colaboraciones entre ambas, las caldererías y las mecanizadoras. Las que se dedican al mecanizado, suelen considerarse de mayor nivel tecnológico.

En Tucumán se fabrican turbinas, bombas y otros componentes de mediana complejidad, con una visión mayor de la especialización. Existe claramente mayor nivel en las empresas de esta provincia en cuanto a tecnología y especialización de medios y profesionales.



Figura 7: Máquina para recoger mate tras ser cortado por pinzas neumáticas (empresa Jensen, Resistencia)

Por término general, aunque se fabrican ingeniosos sistemas para las operaciones agrícolas muy bien adaptados a necesidades concretas (ver Fig.7), no se contempla comercializar el producto más allá del pedido concreto de un cliente. Esto es, falla la comercialización, y el marketing del producto generado. Y este hecho induce que los sistemas de protección, equipos auxiliares, e incluso la estética de las máquinas, o bien no existan o sean deficientes.

En definitiva falta ingeniería de producto y diseño, que puede resolverse con apoyo externo a las empresas por parte de organismos o empresas de otras zonas de Argentina.

3.1.3 Herramientas

Por lo que se observó en todas las empresas visitadas, la herramienta de corte es fundamental en los procesos de mecanizado, aunque conviven viejas tradiciones con nuevas ideas.

1. Tipos de herramientas utilizadas

Respecto a las herramientas utilizadas, no parece existir en algunas zonas un uso extendido y general de herramientas de metal duro (llamado Widia), frente al clásico acero rápido. El concepto de placa o inserto de metal duro se conoce en todas las empresas, pero en algunos casos se aduce que los vendedores de herramienta de corte no llegan a la zona, o existen problemas de suministro.

El desgaste de las placas o herramientas no se evalúa de forma sistemática, estando determinado el cambio de herramienta o su reafilado por criterios subjetivos del operario. No se suele analizar el desgaste de flanco como criterio de medida, sino más bien la calidad del mecanizado resultante, o el nivel de ruido durante la operación.

2. Datos de proceso de manuales antiguos

Las condiciones de corte se seleccionan según la experiencia del operario, o se consulta el manual y prontuario del autor Casillas, como fuente principal de datos de corte. No existe costumbre de examinar manuales modernos, o acudir a fuentes de Internet, o utilizar catálogos electrónicos de los propios fabricantes de herramientas.

No se ha asumido que en el siglo XXI cada herramienta de corte es para un nicho muy determinado. Por el contrario se sigue pensando en la herramienta generalista, esto es, que pocas variantes sirvan para casi todas las operaciones.

3. Mucho ingenio aplicado en las operaciones

Los operarios conocen bien los procesos clásicos de torneado, fresado, alesado, taladrado, roscado, y los aplican con eficacia sobre metales que conocen, pero están siempre limitados por la poca rigidez de las máquinas, o por la herramienta utilizada. La experiencia y la intuición son las bases fundamentales de la vida en los talleres. Y por otra parte se es muy dependiente del 'sabio' del taller, que es persona casi insustituible.

La formación en escuelas técnicas parece bien orientada, pero muchas veces basada en uso de máquinas convencionales. Pero lo importante es que existe y hay alumnos jóvenes con interés de aprender, habiéndose visitado en todas las provincias escuelas se comprobó el interés del profesorado en las nuevas tecnologías, control numérico, nuevas herramientas de corte, etc.



Figura 8: Reparar y recuperar cada pieza tiene mucho de "arte e ingenio". Piezas en Nueva metalúrgica Boissiere SRL, en Chaco

3.1.4 Metrología

La metrología hace referencia a la medida y control de dimensiones y formas, y desde los inicios del mecanizado se encuentra indisolublemente unida a él. Por este motivo también fue objeto de observación surgiendo las apreciaciones que a continuación referiremos.

1. Casi nula existencia del concepto de "sala de metrología"

La metrología como forma de asegurar la calidad al cliente final, y de cumplir los requisitos de plano está desdibujada en el proceso global. En pocas empresas se observan salas de metrología que "aislan" la medida cuidadosa de las piezas de los procesos de fabricación anteriores. En los mejores de los casos (Fig.9) las salas de metrología son más bien despachos donde existe un cierto ambiente limpio, casi nunca con temperatura controlada.

Los empresarios que ya están concienciados con la importancia de medir las piezas como forma de asegurar la calidad, aducen problemas de financiación para abordar la compra de mármoles de planitud, o para adquirir máquinas de medir por coordenadas.

2. Poco instrumento digital

Muchas empresas siguen utilizando calibres y micrómetros mecánicos, con pocos de ellos dotados de indicadores digitales.

Las empresas que no poseen la ISO 9001 ni siquiera calibran sus instrumentos de forma periódica, lo que se asocia con el tipo de pieza de reparación hasta la fecha ejecutada. Otras sin embargo ya conocen y han establecido sus sistemas de medida y calibración de instrumentos. La palabra clave en este punto es "disparidad de casos y empresas".

La metrología implica precisión, calibración, y estética. Casi ninguna empresa posee una sala de metrología blanca, con apariencia de "control y precisión".



Figura 9: Mesa de metrología, en una empresa de las visitadas

3.2 ANÁLISIS DAFO

Tras las observaciones incluidas en el apartado anterior, se puede realizar un DAFO general de situación de las PYMES de mecanizado en las zonas del NEA y NOA, siempre recordando que existen muchos casos donde el esfuerzo por mejorar ha sido constante en los últimos años y la situación actual es mejor que la media general.

DEBILIDADES

- Pocos talleres trabajan con una tolerancia objetivo definida por el cliente. Incluso no hay planos ni requisitos claros de los clientes en las reparaciones. La precisión es un concepto no cuantificable en muchos casos.
- Existen muchas máquinas convencionales, sin control numérico. Sin embargo algunas máquinas ya tienen visualizadores de cotas, y los que las utilizan ya no quieren otra cosa (nos referimos a volver atrás, a usar máquinas sin reglas y visualizadores).
- Muchas máquinas nuevas son de procedencia china, lo cual no es una debilidad en sí mismo. Sin embargo la mayoría de ellas no tendrían posibilidad de pasar por el mercado CE de seguridad de la Unión Europea por ejemplo.
- Sistemas de medida sin certificar. Los calibres (Vernier) y micrómetros, no se calibran de forma regular.
- Operarios de formación desigual entre empresas, pero con mejora de formación a futuro.
- Organización de talleres... a veces sin mucha organización.
- Problemas de seguridad de los operarios. En algunos talleres no cuentan o no utilizan sistemas de protección individual, o no se presiona de forma sistemática para su uso por parte de los mandos intermedios o jefes.
- Problemas de suministro de herramientas y materia prima, sobre todo en Chaco y Jujuy.
- Presupuestos sin descripción analítica de costos, pocos facturan por horas.
- Escasa gestión de residuos (chatarra, emulsiones), y elevada contaminación e impacto ambiental.
- Contaminación originada por hornos de fundición o tratamiento térmico que queman aceites usados de automóvil.
- Empresarios que pueden ver en otros servicios y sectores mayor rentabilidad, y apuestan de forma poco convencida en el desarrollo de sus empresas.

FORTALEZAS

- Mucho conocimiento e ingenio basado en los principios fundamentales de los procesos de soldadura, y mecanizado. Incluso se posee conocimiento en mayor grado, que en otras zonas más industrializadas de Europa.
- Empresas familiares con posibles herederos que están ya formándose, o con socios jóvenes: posible salto por formación entre generaciones. La frase "quiero que mi hijo tenga un mejor negocio" puede resumir esta idea.
- Existe un sistema de enseñanza del oficio en colegios, escuelas técnicas, universidades, y otros centros. Hay tejido e interés en formar técnicos en cada región.
- Empresarios con ingresos suficientes y buen margen comercial, aunque se quejen de lo complejo de la situación.
- Existencia de ideas sobre la realidad del estado del arte; los empresarios consultan, viajan y están abiertos a la información. Algunos han visitado otras partes del

mundo (especialmente España), y conocen ideas de modernidad en tecnología de gestión y mecanizado.

- En las regiones del norte existe un producto cercano como la maquinaria y equipo auxiliar agrícola, minero, madera, repuestos, componentes del ingenio azucarero.
- Existencia del INTI, INTA, y organismos de coordinación entre empresas. Existen asociaciones que pueden generar actividades comunes y actuar de interlocutores ante la administración.
- Universidades con formación técnica en todas las regiones.
- Algunas empresas hacen presupuestos detallados: conciencia de costos, amortización, y ahí comienza la gestión moderna. Algunos ya están en la ISO 9001 (pocos).
- Se trabaja en la mejora simultánea de los sistemas de gestión y en tecnología.
- Existe buena respuesta ante actividades como la misión del experto y redactores de este informe.

OPORTUNIDADES

- En algunos casos ya existen consorcios para generar un producto competitivo: orientado a la máquina agrícola, minera y auxiliar.
- Posibilidad de obtener series cortas de piezas, que estabilicen la producción. Para ello hace falta labor comercial de búsqueda de clientes. Las zonas mineras y los ingenios azucareros ya aseguran tiradas de cientos de piezas similares.
- Buscar mercados en zonas locales y cercanas: reparación, modificaciones de máquinas a cultivos locales. Apertura a países limítrofes.
- Aumentar la capacidad de diseño de máquinas. Extender el uso de sistemas de diseño CAD, Solid Edge, Solid Works, etc., dado que en centros de formación ya se conocen estos sistemas.
- Aprovechar la maquinaria convencional existente que en general está bien mantenida, para ofertar un buen servicio en reparación de pieza única.
- Fabricar componentes y/o repuestos de máquina extranjera que pueden resolverse en Argentina.

AMENAZAS

- Nula o escasa financiación para generación de prototipos orientados a desarrollar productos.
- Idem para compras de máquinas CNC.
- Empresarios que impiden la creatividad en sus empresas y no delegan funciones en personal cualificado.
- Perder oportunidades por invasión de máquinas de países de nivel similar, cuya evolución es más rápida o en los que sus gobiernos apoyan en mayor medida al sector.

- No tener capacidad de diseño y de acumular planos en sistemas computarizados.
- No acumular las experiencias de las empresas en proyectos bien documentados.
- Empresa dependiente de una sola persona, del que "sabe como se hace". El CNC, los procesos documentados, y la aplicación de métodos de trabajo ayudan a evitarlo. Debe pasarse de la "inteligencia del insustituible", al concepto de "Inteligencia corporativa".
- No fomentar desde los medios de comunicación interés social en temas de economía real: el hombre/mujer de la calle debe querer que sus gobernantes apoyen la economía real.
- Imposibilidad de importación de equipos que no se fabrican en Argentina y que son necesarios en su totalidad o en la variante específica necesaria para ser válidos en unas determinadas aplicaciones.

Volvemos a recordar que es injusto aplicar a todas las empresas visitadas el mismo análisis, pero no reconocer la debilidad propia o no hacer una reflexión estratégica realista, resulta en sí mismo un serio hándicap para la mejora e innovación de la industria de las zonas del norte.

A continuación se plantean dos entornos que deben ser tenidos en cuenta a la hora de establecer las pautas de innovación del sector en las zonas de menor desarrollo de Argentina. Por un lado las tendencias generales de evolución de varios sectores, que marcarían dinámica y "mega tendencias" del mercado y que se incluyen en la **parte A** de este informe. Por otra parte, el estado del arte de varios puntos importantes relativos al mecanizado, que se han separado en la **parte B** de este informe para facilitar su organización y edición en formato cuadernillo.

Pero previamente se establecerán los puntos principales a seguir en la innovación del sector, tarea compleja dado que el mecanizado es influido por múltiples tendencias del mercado y siempre estará al servicio de otros muchos sectores.

4. INNOVACIÓN EN FABRICACIÓN MECÁNICA

4.1 TENDENCIAS GENERALES DEL MERCADO, NECESIDAD DE INNOVACIÓN

La competencia de los países de bajo costo salarial se ha dejado sentir con gran fuerza en los últimos cinco años, y está provocando un gran problema en los sectores tradicionales de fabricación europeos y en los nacionales en particular. Las empresas de países industrializados, con costos más de 10 - 12 veces los salarios en China, deben competir en un mercado cada vez más complejo y con unos tiempos de evolución más cortos, donde las conexiones telemáticas permiten intercambios de información con gran agilidad. La idea hasta ahora imperante, y que servía de cierto alivio, de que en estos países emergentes se carece de formación y de técnicos de elevada cualificación, está siendo contestada por cifras contundentes, como la de los 3 millones de técnicos en fase de estudios (estudiantes de ingeniería de diverso grado) existente actualmente en China, la potencia y capacidad de ingenieros de la India, o el disparo en el número de trabajos científicos publicados en revistas técnicas en todos los ámbitos de la ingeniería, procedentes de estos países. China, India, Turquía, México, Brasil son actualmente dura competencia en el entorno metal/mecánico.

Por otro lado la competitividad evoluciona de tal forma que la innovación, la creatividad, y la productividad, son la clave del posicionamiento en el mercado. Innovación y creatividad surgen por un lado del esfuerzo y formación de los técnicos, pero también del conocimiento exacto de las necesidades del mercado. En la historia de la humanidad existen numerosos ejemplos de éxito donde el comercio se ha basado en "saber que desea el cliente", además de la tecnología. Un ejemplo, es el comercio de las repúblicas italianas en la edad media o el renacimiento, con el comercio de especias, telas, etc., o uno más reciente, el éxito de envasar ensalada y venderla en los supermercados a falta de aderezo, lista para consumir.

Ante esta competencia tan fuerte a nivel internacional, los retos y casi únicas vías de evolución a los que se enfrenta la industria, se pueden resumir así:

- Obtener una producción de alto valor añadido, en productos y sectores que impliquen un elevado nivel de tecnología. O producir solamente aquellas partes del producto que significan un gran porcentaje de su valor añadido. Además debe mantenerse la propiedad (intelectual e industrial) del producto final, y por tanto de su diseño e ingeniería.
- Crear una producción personalizada, flexible, y dinámica, respondiendo con agilidad al mercado. Sin embargo, se debe mantener un elevado grado de automatización que reduzca la mano de obra que en general es uno de los mayores costes en países industrializados.
- Crear tejido de fabricación siempre orientado a satisfacer mercados clientes cuya dinámica se conozca, y donde la adaptación del producto a la necesidad, sea el factor decisivo del éxito del producto.

- Generar redes de tercerización (subcontratación), que impliquen posibles desarrollos múltiples de tecnología o mercado, no siempre partiendo de la misma empresa cliente.
- Llegar a una industria sostenible en el plano medio ambiental, compatible con el deseo de la población de vivir en un entorno saludable y limpio.
- Innovar en nuevos procesos de fabricación diferentes a los tradicionales, como son el uso de técnicas láser, nuevas formas de sinterización, u otros más.
- Trabajar siempre intentando "mejoras incrementales", por ejemplo optimizando las prestaciones de herramientas de corte y rectificado, o elevando la precisión de los componentes mecanizados.

La investigación y desarrollo de tecnología (el I+D) son los elementos clave de cara al futuro, y aquí es donde América, Europa y los países emergentes compiten en un mundo industrializado. Este dinero debería gastarse racionalmente, y la colaboración y el esfuerzo en desarrollo compartirlo incluso entre empresas competidoras, por lo menos en lo que a investigación básica se refiere.



Figura 10: La innovación se expone en las principales ferias de máquina herramienta, como en la Bienal de Bilbao (España).

Por otro lado el envejecimiento de la población es un hecho, con una mayor presencia de los segmentos de personas mayores a 50 años, lo que implica cambios en el consumo interno, en la fuerza laboral y en su cualificación y experiencia. Sin embargo, en otros lugares del mundo no ocurren estos hechos, pues el segmento joven es preponderante, y además la motivación medio ambiental es casi inexistente.

Tampoco debe olvidarse la investigación en ciencias básicas, aunque para que se rentabilice socialmente deben ocurrir dos hechos, a) que se invierta suficientemente en proyectos de envergadura, y b) que de ellos se busque la transferencia al resto de la cadena

del desarrollo tecnológico. Gastar "un poquito" para que simplemente surjan unos artículos científicos, cuando muchas veces los resultados son luego aprovechados por otros grupos extranjeros, no es rentable. En ciencia hay que gastar generosamente y esperando retornos a largo plazo, y además con un objetivo claramente orientado a que el país pueda aplicarlo a mediano plazo. De no ser así, un país se puede llegar a convertir en la "ONG del conocimiento", que es un pecado donde España claramente ha caído en los últimos 20 años.

En este cuaderno se citan y repasan algunos cambios que se avecinan o parecen avecinarse en diferentes campos de la tecnología, y que se apuntan en varios informes de prospectiva elaborados en Europa, América, Japón, o USA. Los informes de prospectiva, sumado a las opiniones más o menos subjetivas de expertos internacionales, aderezado con "adivinos de la tribu" más o menos locales, son los indicios con los que se trabaja y de los que se dispone actualmente. Pero no olvidemos que en 1960 nadie predijo lo que iba a ser Internet o la guerra que se iba a desatar contra el tabaco, o los muchos vaticinios realizados y fallidos dados por grandes hombres y nombres de la ciencia. De este último caso hay hasta un subgénero de ejemplos y anécdotas en la literatura y en internet, que no vamos a repetir aquí.

4.2 EL I+D+I EN FABRICACIÓN

En tecnologías de fabricación, como en otros tantos campos de la actividad humana, los gestores y técnicos desean saber qué cambios se avecinan y que posibles actuaciones a realizar hoy pueden preparar un buen pronóstico para sus empresas. Esta inquietud, saber "qué va a suceder en el siglo XXI", está presente en nuestra sociedad, pensado que solamente estamos a 14 años pasados desde el inicio de siglo.

Pero estamos todos convencidos de que es que el ratón del famoso libro "Quién ha robado mi queso" que evoluciona y que sabe adaptarse al cambio, que se anticipa al mismo, el que casi siempre tiene éxito y puede sobrevivir. En el ámbito de la producción, para ser como este roedor se debe disponer de una perspectiva aproximada de hacia dónde se va en tecnología de procesos y qué necesidades de producto aparecerán a corto y medio plazo.

Indudablemente lo que se investiga hoy día será lo que se industrialice en el futuro, por lo menos en alguna de sus líneas. Por tanto el problema se resume en conseguir un conocimiento general sobre lo que se investiga a nivel internacional, pues estamos hablando de un campo muy amplio, multisectorial, y sometido a un enorme secretismo por estar orientada toda la investigación y desarrollo a conseguir una posición competitiva en los mercados. Tener una idea de lo que se está haciendo a nivel internacional obliga a consultar distintas fuentes, siendo este informe una modesta aportación en este sentido.

En los últimos 20 años todos los campos de la ciencia han evolucionado en muchas líneas simultáneamente, y se han incorporado al esfuerzo del I+D numerosos técnicos o investigadores. El término "investigador" es un poco grandilocuente, y ha pasado de ser

aplicado desde la idea de referirse a unos pocos genios más o menos inspirados, a referirse a un tipo de profesional que aplica procedimientos y métodos de mejora de forma sistemática, más que dedicarse a "inventar" de forma inspirada. De cientos de personas se ha pasado a miles de investigadores.

El concepto de I+D+I (*Investigación+Desarrollo+Innovación*) en fabricación se organizaría en los siguientes aspectos:

- La **I de Investigación orientada**: sería una investigación básica de elevado riesgo sobre nuevos procesos o aspectos básicos transversales a todos ellos. Para la selección de temáticas se debe valorar el entorno socio-industrial que puede recoger los avances de la investigación, seleccionado aquellas líneas que puedan ser viables. En Europa tienen su cabida en los nuevos instrumentos de programa general Horizon 2020. El riesgo de la investigación puede ser alto, pero los proyectos deben tener un plan de alcanzar el mercado a medio/largo plazo. Debe admitirse un gran porcentaje de fracasos, siempre que del fracaso se extraigan conclusiones que permitan orientar futuros proyectos hacia líneas más factibles.
- La **D de Desarrollo de productos y procesos**, que den lugar a demostradores y prototipos precompetitivos, o a plantas experimentales. En este caso debe realizarse una concienzuda valoración económica y de repercusión industrial previa al lanzamiento. Las empresas deben implicarse económicamente, aunque siempre es necesario apoyo financiero externo.
- La **í de Innovación**, significa incorporar a los sistemas actuales los avances logrados, teniendo una política de mejora continua. En este caso es muy importante la formación de personal en las nuevas técnicas, lo que puede realizarse en universidades o centros de Formación Profesional. Este es un aspecto principal, pues significa imbuir a todo el personal de la cadena productiva en el hecho de la mejora e innovación.

Quizás en nuestros países (Argentina y España) existan esfuerzos en las tres líneas, pero en nuestra opinión, la no coordinación de los tres eslabones de la cadena ha producido en el pasado pérdida de oportunidades y negocios, y la sensación de que se ha perdido capacidad de liderazgo en sectores clave como la producción mecánica. Y en otros sectores quizás, en mucha mayor medida aún. En países como Alemania y Japón, la cadena parece funcionar mejor, siendo la innovación y mejora un valor en todos los niveles de la formación.

En los últimos años se comienza a utilizar la escala TRL (*Technology Readiness Level*) aplicada a procesos de fabricación como MRL (*Manufacturing Readiness Level*). Esta escala mide el grado de madurez de una tecnología desde su estado de idea inicial (nivel 1), hasta que llega a ser una realidad plasmada en una planta de producción real (nivel 10). En la tabla se describen de forma sucinta los niveles y sus puntos principales:

Tabla I: Escala de MRL (*Manufacturing Readiness Level*)

FASE	MRL NIVEL	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN
Análisis de soluciones y materiales	1	Implicaciones de fabricación básicos identificados	La investigación básica se expande a principios que pueden tener implicancias en ámbitos de fabricación. La atención se centra en una evaluación de alto nivel de las posibilidades de fabricación.
	2	Conceptos de fabricación identificados	Comienza la invención. Identificación de los enfoques, materiales y procesos. Los estudios se limitan a estudios de papel y análisis. Se determina la viabilidad de fabricación inicial.
	3	Prueba de Fabricación del concepto	Se llevan a cabo experimentos de análisis o de laboratorio para validar los estudios de papel. Se han caracterizado los materiales y los procesos.
	4	Capacidad para producir la tecnología en un entorno de laboratorio	Las inversiones requeridas se cuantifican. Se desarrollan demostradores tecnológicos para asegurar la fabricabilidad, producibilidad y la calidad. Se evalúan riesgos y se determina la factibilidad. Se determinan los parámetros clave de rendimiento del proceso.
Desarrollo Tecnológico	5	Capacidad para producir componentes en un entorno relevante de producción.	Se realizan pruebas suficientemente representativas. Evaluaciones de producibilidad de tecnologías. Modelo del costo basado en el mapa de flujo de valor.
	6	Capacidad de producir un prototipo de sistema o subsistema en un entorno de producción relevante.	La mayoría de los procesos de fabricación se han definido y caracterizado, pero todavía hay importantes cambios de ingeniería / diseño. Diseño preliminar de los componentes críticos. Se realiza un análisis detallado de costos y de la cadena de suministro.
Fabricación e Ingeniería de Desarrollo	7	Capacidad para producir sistemas, subsistemas o componentes en un entorno representativo de la producción.	Se realizan pruebas de producción, con evaluación de riesgos, costos detallados y análisis de la calidad obtenible. Se diseñan los equipos de producción necesarios y sus especificaciones.
	8	Planta y línea piloto con capacidad demostrada. Sistema listo para comenzar la producción de tasa baja.	Se lanza la producción a baja productividad, con objeto de estudiar los factores de rendimiento. La cadena de suministro de materiales y herramientas se define totalmente.

Producción y Despliegue	9	Producción de bajo rendimiento asegurada. Aceleración de la tasa de producción hasta la tasa completa.	Las principales características de diseño del sistema son estables y se probado y evaluado la línea piloto. Procesos bien definidos y documentados.
Operaciones y Apoyo	10	Tasa de producción completa. Optimización y aplicación de mejora continua	Este es el más alto nivel de disponibilidad de la producción. Los cambios de ingeniería / diseño son pocos y generalmente se limitan a mejoras en la calidad y los costos. Se aplican principios de reducción de costos y fabricación ajustada (Lean Manufacturing).

En los últimos años se viene denominando a los niveles 5, 6, y 7 el *valle de la muerte*, dado que desde los demostradores básicos que suelen ser objeto de proyectos de I+D en centros y universidades, pocas empresas poseen recursos propios y financieros para proseguir pasando por los demostradores en entornos representativos (en las propias industrias). Los riesgos son muy grandes para empresas medias y PyMEs. Por este motivo las nuevas iniciativas de gobiernos europeos (por el ejemplo del Gobierno Vasco), se centran en potenciar que grupos de empresas desarrollen los entornos en común, con apoyo de los agentes tecnológicos.

Respecto a la optimización de los recursos del I+D actualmente disponibles, podríamos citar tres aspectos para la mejora:

- Buscar una mayor relación entre las universidades y centros tecnológicos, pues no son agentes competidores, sino colaboradores. El INTI debe buscar esta sinergia dado que los fines son comunes y compatibles.
- Obligar en las convocatorias de proyectos de I+D a que existan obligatoriamente empresas, centros, y universidades en los mismos consorcios. Quizás en un primer momento produzca extraños matrimonios, pero con el tiempo se llegaría a una coordinación adecuada, donde objetivos, plazos y formas de trabajo e intereses se compatibilizarían claramente, desplazando viejas ideas e inercias.
- Apoyar actividades de investigación en ingeniería, siempre teniendo en cuenta que los indicadores para medir las actividades de los grupos de investigación deben ser mixtos, incluyendo trabajos en journals (ver apartado 3.3), tesis, patentes, proyectos con empresas, libros, y otros.

A continuación abordaremos como conseguir información sobre los avances hoy día en procesos de fabricación, acción que se denomina *Vigilancia Tecnológica*, pasando posteriormente a dar algunas ideas sobre los campos tecnológicos que se han detectado que se encuentran en emergencia, o en rápida evolución.

4.3 LA VIGILANCIA TECNOLÓGICA Y SUS FUENTES

Los avances en procesos de fabricación siempre son celosamente guardados como parte de la propiedad industrial y del valor de las empresas. Unos son objeto de patente, otros considerados "secreto industrial" y muchos de sus aspectos son parte fundamental del know-how de las empresas.

Esta realidad choca con la aplicación del procedimiento metodológico de la investigación, consistente en difundir rápidamente los hallazgos para facilitar la rápida evolución del "estado del arte". La investigación en todos los campos del saber se fundamenta parcialmente en la sociabilización de conocimientos y en la sucesión de ideas que mejoran y superan las anteriormente establecidas por otros investigadores. Así sucede en lo que al "manufacturing" se refiere, todo ello sin perjuicio de que algunos puntos y avances previamente se patenten y registren. La ley de oro es "no publicar nada hasta presentar en registro la solicitud de patente".

El conocimiento sobre procesos y los desarrollos de nuevos prototipos relativos a sectores y técnicas que están aún muy lejos del mercado se dan a conocer en revistas denominadas científicas o "journals". Por otra parte la universidad inserta los avances directamente en la formación de los alumnos, que son a su vez los técnicos del mañana. Además, muchos de estos proyectos son financiados por las instituciones y gobiernos, por lo que su naturaleza es pública.

A nadie le sorprende que si en el futuro existiera una vacuna contra el sida o se descubriera un nuevo eslabón perdido en la cadena de evolución humana, estos avances se hicieran públicos en las revistas Nature o Science. Estas dos constituyen el más insigne ejemplo de las revistas conocidas como "journals", donde los descubrimientos se difunden tras una rigurosa fase de análisis por parte de editores y revisores independientes, previamente a su publicación. Algunos lectores pensarán "pero eso es para la ciencia, para la fabricación no vale". Pues a estos escépticos les sorprenderán los siguientes ejemplos.

Los 25 años de trabajo que dedicó Taylor a investigar la relación entre la velocidad de corte y la vida de la herramienta, se hicieron de dominio público y universales, tras la publicación de su trabajo "On the art of cutting metals", efectuado en el número 28 de la revista Transactions of ASME, 1907, páginas 31-350. Esta revista todavía se edita, aunque se ha especializado en diversas ramas de la ingeniería mecánica, y se pueden consultar en la web de la ASME (American Society of Manufacturing Engineering, www.asme.org). Tras la publicación de los trabajos de Taylor, se inició toda una línea de trabajo que inspira hoy día tanto a fabricantes de herramientas de corte, como a usuarios y mecanizadores.

Por dar otro ejemplo, los primeros modelos del proceso de mecanizado, ofrecidos a la comunidad internacional por el ingeniero de Cincinatti Milacron M. E. Merchant, se dieron a conocer por la publicación de sus ideas y trabajos previos en el artículo en revista "Chip formation, friction and high quality machined surfaces", publicado en Transactions of American Society for Metals, (1941), páginas 299-378, y perfeccionado en el posterior "Mechanics of the cutting process" publicado en el Journal of Applied Physics, páginas 267-275 y 318-324 en 1945.

Las revistas científicas se califican y auditan anualmente con los denominados *Índice de impacto*, que se calculan como el número de veces que los trabajos de esa revista se han citado en otras revistas, partido por el número total de trabajos que se han publicado ese año. Su interpretación es la siguiente: si una revista publica trabajos muy buenos e importantes serán referencia de otros trabajos de investigación a lo largo del mundo, por lo que serán muy referenciados. Por tanto esta revista será la que más impacto tiene sobre el desarrollo del saber. Estos índices los calcula un instituto americano independiente, el ISI web of Knowledge, que publica anualmente el Journal of Citation Ranks con las revistas clasificadas por categorías.

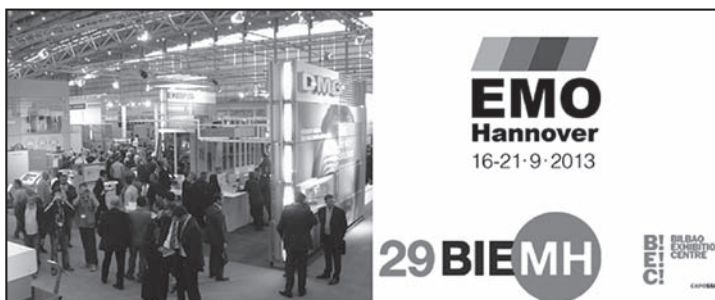


Figura 11: La EMO y la Biental se celebran en Europa cada dos años

Así, a fecha de hoy existen **journals especializados** por sectores y tecnologías, entre ellos citaremos los más relacionados con la fabricación son:

- *Annals of the CIRP*, editados por el CIRP, de periodicidad anual, incorpora artículos de interés sobre mecanizado, ensamblado, rectificado, y aspectos de producción. El CIRP es una organización internacional con sede en París y al que pertenecen centros e investigadores de todo el mundo (www.cirp.net).
- *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, interesante revista de la editorial Pergamon (grupo Elsevier, www.elsevier.com), con alto índice de impacto, sobre máquinas-herramienta y procesos. Ha sido desde hace más de 25 años el lugar de publicación de avances sobre diseño y uso de las máquinas-herramientas, especialmente de arranque de viruta y deformación.
- *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, de Springer (www.springer.com). Interesante revista de impacto medio. Incluye numerosos artículos de mecanizado y de procesos diferentes a los de arranque de viruta.
- *International Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*. Revista de alto impacto y elevado talante industrial, con 4 revisores por cada trabajo. En ella históricamente se han publicado importantes trabajos, sobre tecnologías muy diversas. Su nivel científico y matemático es especialmente alto. Es la sucesora de la previamente citada, donde Taylor dio a conocer sus trabajos.

- *Machining Science and Technology*, de la editorial Taylor & Francis posee una orientación 100% dirigida a los procesos de mecanizado. Desde su aparición hace 5 años ha ido creciendo en importancia y número de trabajos.
- *Journal of Material Processing Technology*, de Elsevier, incluye artículos sobre transformación de materiales, entre ellos fundición, conformado y en menor medida los procesos de mecanizado.
- *Proceedings of the British Institution of Mechanical Engineers. Part B: Manufacture*. De impacto medio, es un poco desigual en cuanto a la calidad de sus artículos. Sin embargo presenta gran calidad en procesos distintos al fresado y torneado. Accesible en (www.pepublishing.com/journals/).
- *International Journal of Production Research*, de Taylor & Francis, trata de producción en un sentido amplio, por lo que incluye la fabricación pero también aspectos organizativos. Abarca los costos de los procesos, y su implantación desde el punto de vista humano.
- *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, de Taylor & Francis. Pese al desencanto de los últimos años sobre las tecnologías de integración por computador y fabricación flexible, esta revista incluye buenos trabajos sobre ingeniería y fabricación asistida por ordenador.
- *International Journal of Nanomanufacturing*, de Indercience. No puede haber un gran recorrido en esta temática tan novedosa, pero están surgiendo foros para presentar los continuos avances en microfabricación.
- *Precisión Engineering, Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology* publicada por Elsevier con el auspicio de las asociaciones americanas, europeas y japonesas de ingeniería de precisión. Todo lo que se consigue por debajo del micrómetro en fabricación, tiene aquí su medio de difusión, por ejemplo el micromecanizado.
- *Journal of Manufacturing Processes*, de la SME (Society of Manufacturing Engineering, www.sme.org). Su calidad es elevada, aunque hay que reconocer que su difusión es pequeña. Esta asociación dinamiza la investigación y formación en fabricación en todo el mundo, ofreciendo publicaciones y videos didácticos en inglés, de varios temas.
- *Composites: Part A- Applied Science and Manufacturing*, de Elsevier, de enorme importancia en este material de uso creciente.
- *International Journal of Production Economics*, de Elsevier, centrada en temas de economía de la producción.
- *Production Planning & Control*, de Taylor & Francis, sobre control y gestión de la producción.
- *Materials and Manufacturing Processes*, de Taylor & Francis, sobre todos los procesos que no son de arranque de viruta, es decir, forja, fundición, métodos no convencionales, laminación, etc.
- *The International Journal of Forming Processes*, editada desde la asociación ESAFORM, para difundir los avances en simulación del conformado.

Las tecnologías que surgen de la investigación básica orientada a la mejora de la producción, se patentan si es posible, y se aplican en procesos si se consideran rentables. Muchas veces, y una vez en línea, se pueden leer reportajes sobre su rendimiento y puesta en servicio en algunas **revistas de difusión** que poseen este objetivo, entre ellas citaremos tres:

- *Manufacturing Engineering*, Revista mensual de la SME (*Society of Manufacturing Engineering*, www.sme.org), refleja el estado del mecanizado en los Estados Unidos. Esta asociación es de adscripción libre con un pago anual muy asequible.
- *Modern Machine Shop*, norteamericana, con un servidor gratuito muy interesante, www.mmsonline.com, dónde hay foros, artículos sobre el estado del arte de diversas tecnologías, monográficos, etc.
- *IMHE*, líder en España de información sobre máquinas-herramienta, cuya calidad aumenta en cada número, y cuya potencialidad ha crecido con el lanzamiento del web www.izaro.com.

Otro punto de acceso a información sobre avances en tecnologías son los sitios web de **centros tecnológicos dedicados a la fabricación**. En ellos podemos encontrar informes de sus proyectos en curso, y algunos indicios de lo que se logra en los mismos. Son muchos para hacer una lista completa, pero algunos de interés son los siguientes:

- World Technology Evaluation Center (www.wtec.org). Organización que agrupa a expertos mundiales dedicados a establecer el estado del arte de las tecnologías. Todos sus informes se encuentran entre los más completos y rigurosos, en diversos sectores de la tecnología.
- WZL, centro de la universidad de Aachen, (www.wzl.rwth-aachen.de), dedicado a la producción, máquinas-herramienta y procesos en general.
- IFW de Hannover (www.ifw.uni-hannover.de/), dedicado a la producción por arranque de viruta, y el IFUM (www.ifum.uni-hannover.de/), orientado a la producción por deformación.
- Sandia laboratorios, en USA, (www.sandia.gov/) dedicado a numerosas ramas de la ingeniería militar y con gran interés en nuevos procesos de fabricación.
- Engineering Research Center for Net Shape Manufacturing (*ERC/NSM*, <http://nsm.eng.ohio-state.edu>), de la universidad de Ohio, dedicado a la deformación y nuevos procesos de estampado.
- Laser Zentrum de Hannover, líder mundial en desarrollos láser en todas las escalas. Incluye soldadura, mecanizado de materiales metálicos y no metálicos, femtolaser, sistemas de tratamiento térmico, láser para diagnóstico y cura de enfermedades, etc.
- ILT de Aachen, también sobre plasma y láser (www.ilt.fraunhofer.de).
- La Universidad del País Vasco, que es un líder de investigación en procesos (www.ehu.es/manufacturing).
- Y por último el famoso Massachusetts Institute of Technology, (<http://web.mit.edu/Imp/>), donde se pueden detectar algunas de las líneas de trabajo actuales en procesos: impresión 3D, fabricación ecológica, Uniform Droplet Spray (UDS) aportando material gota a gota, plásticos micro celulares, diseño de máquinas-herramienta de precisión, y micro fabricación.

La búsqueda de **patentes** puede ser otra buena fuente de información. En España la Oficina de patentes y marcas ofrece buscadores temáticos en (www.oepm.es) y da acceso a oficinas de otros países. En Argentina, su equivalente es el INPI, Instituto Nacional de Patentes Industriales (www.inpi.gov.ar). La búsqueda de patentes es muy complicada de no estar muy centrada en un objetivo concreto. Otras veces ocurre que el título de la patente es demasiado general y no se describe o es abarcado por las palabras clave de forma precisa. Pero cada empresa sabe a quién debe vigilar, y esto facilita las cosas actuando sobre el campo de búsqueda de las bases de datos referente al propietario de la patente.

Por otra parte, las **ferias** de muestras son el escaparate ideal para observar los avances en fabricación. Entre ellas destacan:

- EMO (*Exhibition Machine Outil*): feria organizada por la asociación de fabricantes de máquinas-herramienta europea (CECIMO), es la principal feria de este sector. Se celebra en forma bianual, en Hannover y en Milán. Es sin lugar a dudas, el escaparate de fabricación más importante del mundo.
- IMTS (*International Machine Tool Show*): feria organizada en Chicago cada dos años, la más importante en Norteamérica. La SME suele organizar sesiones técnicas en paralelo a la feria, de desigual calidad. La presencia hispana es muy importante.
- JIMTOFF (*Japan International Machine Tool Fair*) celebrada en Japón bianualmente.
- EuroBLECH, dedicada a la deformación de chapa, celebrada en Hannover con carácter bianual.
- Euromold, celebrada en Frankfurt cada año, donde se exponen sistemas CAD/CAM/CAE y los nuevos procesos de aporte de material.
- Hannover Messe, la gran feria industrial anual donde existen diversos certámenes simultáneos sobre productos y procesos industriales.
- Biental de Máquina herramienta, BieMH, celebrada en Bilbao cada dos años, en años pares. Para el mercado Argentino puede tener mucho interés debido a la cercanía cultural y al uso del idioma común.

Del análisis de las fuentes indicadas, se pueden definir algunos campos de la técnica de fabricación, que se encuentran en plena efervescencia, tal como se hará referencia en posteriores secciones.

CONCEPTOS MODERNOS

- **HSM, High Speed Machining**, o fresado a alta velocidad, aquel que busca multiplicar por 5-10 la velocidad de corte, respecto a lo que se estimaba como convencional hace 15 años. Es un término de uso general que en un resumen muy breve suele implicar más de 12.000 rpm en el cabezal de la máquina. El High Speed Milling, es decir, fresado a alta velocidad es el caso más habitual.
- **HPC, High Performance Cutting**, o literalmente "mecanizado de alto rendimiento", suele referirse a emplear alta velocidad junto a elevadas profundidades axial y radial. Sería un caso del fresado a alta velocidad cuando la máquina además posee potencia suficiente para eliminar una elevada sección de viruta, como sucede con el fresado de aluminio, que puede realizarse en las máquinas de alta velocidad empleando pasadas de más de 10 milímetros de profundidad axial y la mitad del diámetro de radial, a más de 15.000 rpm de giro del cabezal.
- **Fresado de alto avance, o High feed milling**, técnica de fresado que consiste en aplicar avances por diente muy grandes, incluso superiores al milímetro, pero profundidades axiales muy pequeñas. Deben emplearse plaquitas especiales para este fin. Es muy interesante porque elimina escalones en las piezas, y por tanto puede pasarse del desbaste al acabado sin usar el semiacabado.
- **Fresado plunge** o Desbaste en taladrado, que consiste en utilizar una fresa de gran diámetro y desbastar taladrando con la misma. Tiene como ventaja la elevada tasa de arranque de viruta, además de actuar sobre la dirección más rígida de la máquina, en el caso de las fresadoras es el eje Z.
- **Near to dry machining**, o mecanizado casi en seco, con eliminación de lubricantes, o con uso de la técnica de mínima lubricación que emplea aire a presión con aceite pulverizado. Suele conocerse como **MQL (Minimum Quantity of Lubricant)**.
- **Dry machining**, o mecanizado sin fluido de corte, mecanizado en seco. Es el óptimo desde el punto de vista ambiental, pero casi imposible por ahora de aplicar, en el caso de materiales de baja maquinabilidad.
- Por **Multiaxis machining**, suele referirse al fresado en cinco ejes, aunque también se refiere a tornos multihusillos. Es un término que implica dos aspectos, la necesidad de un control numérico potente, y de un sistema de programación avanzado, tipo CAM o sistema de asistencia a la programación.
- **Multitarea o Multitasking**, hace referencia a uso de máquinas que combinan cabezales de torno y de fresado.
- **Green Manufacturing** (o machining), dicese de aquel tipo de fabricación donde se pone el énfasis en reducir el impacto ambiental de la producción. Engloba a la eliminación o reducción de fluidos de corte, y la disminución del consumo eléctrico de las máquinas-herramienta. También puede denominarse "mecanizado ecoeficiente".
- **Lean Manufacturing**, o fabricación ajustada. Concepto de la producción donde se busca adaptar los medios a la necesidad de cada momento, realizando una producción ágil. Es un término de moda a la fecha de hoy, y posee una clara inspiración japonesa. Hace referencia más a temas organizativos que tecnológicos

5. TENDENCIAS TECNOLÓGICAS POR SECTORES CLIENTES

El mecanizado siempre será una operación clave para alcanzar los requisitos de los clientes en sus piezas y obtener componentes de mayor valor. Así, generalmente la empresa mecanizadora es la que obtiene la cota final del plano y alcanza la precisión del cliente. Por consiguiente estará sometida a exigencias, requisitos y demandas muy influidas por la evolución del producto final que el cliente produzca.

Por este motivo las jornadas de mecanizado o innovación que se celebran en todas partes del mundo se llenan de gerentes y técnicos de empresas de mecanizado, que buscan consultar a la "bola de cristal" del futuro, para poder anticiparse a las demandas cambiantes del mercado. Tener ideas de por dónde pueden ir las cosas es importante, y sin duda acertar y anticiparse es difícil, pero tan temerario es a) creerse cualquier indicio detectado como tendencia imparable del mercado, como b) cerrar los ojos a un progreso que avanza y cambia a velocidad exponencial.

Por este motivo incluimos algunas ideas de los cambios de varios sectores en este informe. Pero siempre existirán estudios mucho más profundos y especializados que se basan en horas y horas de estudio en cada campo en concreto. Algunos de ellos incluso pagados por bancos de inversión, por algo será.

5.1 AUTOMOTRIZ

Este sector es un verdadero tractor de la industria mundial y también de los países de América del sur. En cuanto a tecnología, al final del camino se vislumbra el posible cambio del motor de explosión actual y su sistema de tracción, al asociado al motor eléctrico alimentado desde una *pila de hidrógeno*. Ya existen prototipos funcionando, a tal punto que está claro que el mayor problema es el almacenamiento del combustible (hidrógeno líquido o sólido) y su obtención económica, no el de la construcción del vehículo eléctrico propiamente dicho.

Sin llegar a este destino, los cambios que se prevén en los próximos años en este sector son:

- Inclusión de embragues, frenos, cajas de cambio y otros componentes accionados por actuadores eléctricos, con mando eléctrico, en lo que se conoce como elementos "by-wire". Estos sistemas eliminan varillas, sensores, y otros elementos de transmisión mecánicos utilizados en la actualidad.
- Sustitución de las levas (Fig.12) que accionan las válvulas de admisión y escape por actuadores electromecánicos (Electromagnetic Valve Actuation, EVA), es decir apuntar al desarrollo de motores "camless" (sin levas). Estos motores presentan un 20% más de eficiencia y una menor emisión de contaminantes. Algunos modelos ya se están a punto de comercializarse en la gama alta, como es el caso de una versión del Mercedes Benz C-class.

- Generalización de motores híbridos, es decir que combinan combustión-electricidad. A la vista de los motores y automóviles ya existentes en el mercado, no parece que disminuyan en número sus componentes mecánicos, lo que no sería por tanto amenaza al sector del mecanizado. Ya en Europa BMW se ha unido al esfuerzo de General Motors y Daimler Chrysler para desarrollar una nueva tecnología híbrida, hasta la futura llegada de la pila de hidrógeno. Sin embargo, las marcas japonesas parecen llevar la delantera en este terreno.
- Uso de plásticos y composites en el vehículo, sustituyendo piezas metálicas. Ya es una realidad que en el 95% de los vehículos los tanques de combustible son de plástico. Otro dato más sobre el particular es que, el uso de plásticos en los modelos de una muy conocida marca alemana ha pasado del 18% en el año 1990 en peso, al 25% en el año 2004.
- Y finalmente el advenimiento del coche eléctrico, en donde la energía se obtiene usando como combustible el hidrógeno.

Es difícil imaginar la repercusión de la generalización de este tipo de vehículo que puede llegar a eliminar el bloque motor, bielas, cigüeñal, culatas, embrague, caja de cambios y hasta el diferencial. Estos automóviles utilizan el principio del "direct drive", es decir, el motor eléctrico va directamente unido a cada rueda. El control de la tracción es realizado por una combinación de hardware/software que puede mejorar el rendimiento y la seguridad. Luego de todo lo comentado, es fácil entender en qué lugar quedarían muchas de las empresas que hoy se centran en la fabricación de todos los componentes del sistema de transmisión.

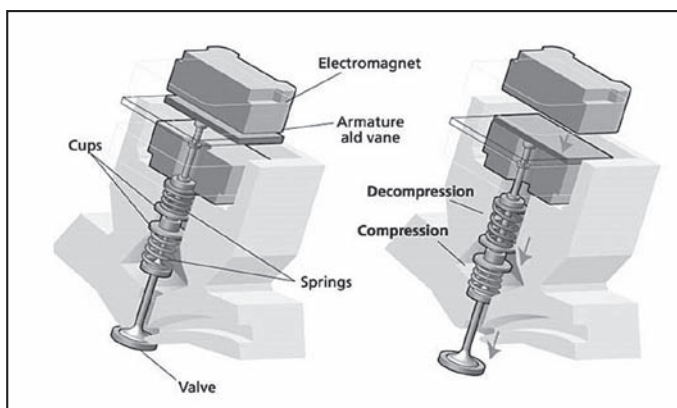


Figura 12: Sistema de accionamiento de válvulas de Valeo™

Sin embargo es difícil vaticinar la evolución industrial real que va a ocurrir, pues la divergencia entre lo real y lo que se predice siempre es evidente. Un ejemplo de esta diferencia es el uso del aluminio en carrocerías, que hace diez años parecía ser una tendencia imparable y hoy en día se ha estabilizado ante la reacción de los aceristas, que han ido creando nuevos tipos de aceros con mayores prestaciones mecánicas (esto es, mayor límite elástico y tensión de rotura), que permiten menores espesores de chapa, y correspondientemente menor peso.

Las nuevas calidades de aceros desarrolladas son: *High Strength Steels* (HSS) con límite elástico 210-550 MPa, *Ultra High Strength Steels* (UHSS) con tensión última mayor que 550 MPa, y los englobados en el grupo *Advanced High Strength Steels* (AHSS) que son aceros multifase; en este último grupo se encuadran los aceros *Transformation Induced Plasticity* (TRIP), *Dual Phase Steels* (DP) y los *Complex Phase steels* (CP).

Seguramente los lectores conocen otros casos de como la realidad ha sido diferente a los augurios. Antes los cambios presentes y futuros, ya desde hoy se deben tomar medidas para que el sector de componentes automotrices no pierda fuerza y presencia. Entre ellas:

- Integrar los proveedores, organismos de desarrollo y fabricantes finales en el eje de la cadena del valor, en lugar de actuar aisladamente.
- Generalizar la cultura del trabajo multidisciplinar en la industria automotriz, buscando generar componentes óptimos según su función, no según la naturaleza de la tecnología que se emplea.
- Tender al producto "excelente" de elevado valor, fiable y de alta precisión.
- Incorporar a los componentes nuevas funciones, como la sensorización de los elementos.
- Minimizar el impacto ambiental de la producción, y tender al reciclaje de componentes del vehículo (eco diseño).
- Periodos de lanzamiento de nuevos vehículos menores, con mayor adaptabilidad al mercado y sus necesidades cambiantes.

En la figura siguiente se observa el descenso esperado en volumen de material arrancado según los cambios esperados en automoción, que claramente indica un gran descenso del volumen de viruta, que conllevará un menor uso de máquinas-herramienta de baja precisión, y a un aumento de utilización de aquellas de precisión. Se mecanizará menos, pero de mayor valor añadido. Nótese que la predicción es de 2005, y ya se encuentra retrasada en su cumplimiento, por tanto también es un buen ejemplo de lo difícil que es acertar en la escala de tiempos de la evolución tecnológica.

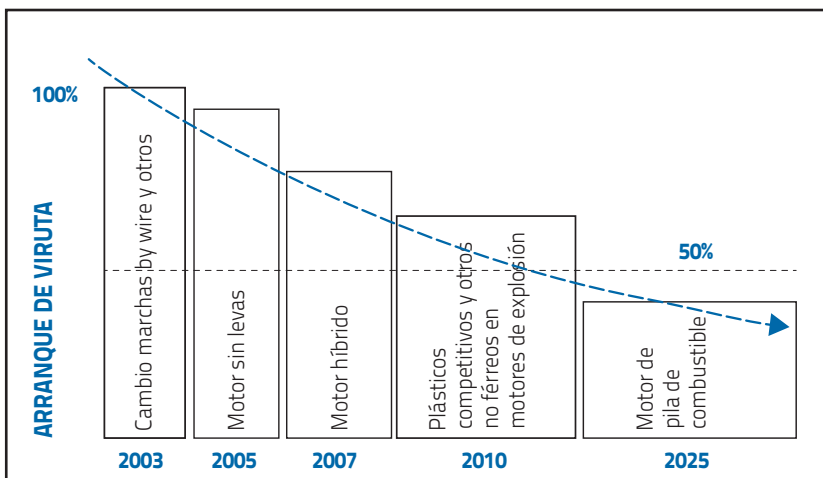


Figura 13: Evolución del arranque de viruta con la evolución del automóvil (Fuente red europea Mantys, 2005)

5.2 AERONÁUTICA

Este sector se encuentra con una buena salud a nivel internacional, salvo resfriados (incluso pulmonías) provenientes de los retrasos en el programas de Airbus, Boeing, y de los fabricantes de aviones regionales.

Las mejoras tecnológicas de los últimos quince años han permitido lograr niveles altos de automatización, garantizando siempre la calidad de los productos. Pero tras este logro la fabricación aeronáutica debe resolver su principal problema, esto es, garantizar una fiabilidad del 100% de todos los plazos de entrega en las series cortas. Para ello el esfuerzo de desarrollo se enfoca hacia la construcción de utillajes y sistemas de fabricación de tipo auto-adaptativo, para operaciones de encintado de fibras en composite, mecanizado, y ensamblado. Además, la integración en línea de operaciones de inspección debe permitir una fiabilidad casi total en los componentes fabricados, sin necesidad de esperar a complejas inspecciones pos proceso.

En el sector de fuselajes los componentes son fabricados en aleaciones de aluminio (como la AA2024 y AA7075), existiendo muchas empresas europeas trabajando en este tipo de piezas, donde se hace uso del parque de maquinaria existente. Otras empresas se han especializado en el fresado de grandes elementos estructurales, como son los de tipo pieza monolítica, que necesitan máquinas de alta velocidad muy especializadas (Fig. 14). Estas piezas son extraídas desde bloques prismáticos de aluminio, eliminando hasta el 95 % del material en forma de viruta. Su razón de ser es la gran homogeneidad de la pieza

final, mucho mayor que la conseguida en subestructuras formadas por piezas dobladas y remachadas. Como objeción, en las piezas monolíticas el ratio denominado *buy-to-fly* es muy bajo (ratio entre el peso de lo que vuela respecto a lo que se compra). Actualmente se trabaja con objeto de reducir este problema, por ejemplo partiendo de perfiles laminados.

La soldadura por fricción (FSW, *Friction Stir Welding*), es una soldadura fría sin aporte de material, que permite obtener uniones de buena calidad en una amplia gama de materiales. Además de las excelentes propiedades mecánicas de las uniones, el proceso es fácilmente automatizable y controlable, aspectos que han convertido a la soldadura por fricción, en un proceso de gran interés para muchos sectores como, la industria ferroviaria, la industria naval, la defensa y quizás, el sector aeronáutico.

La industria aeronáutica puede tener en la soldadura por fricción, la oportunidad de eliminar los remaches de algunas uniones, consiguiendo además de un incremento notorio mayor del 20% de la resistencia mecánica de la unión soldada frente a la unión remachada, reducir el peso debido a la eliminación tanto de los remaches, como de los solapes de material necesarios para alojarlos. Debe tenerse en cuenta que en los grandes aviones hay más de 1 millón de agujeros y de un 10% a un 20% de remaches en exceso para redundancia, por no confiar en la resistencia de los estrictamente necesarios por los cálculos.

De todas formas pensar en eliminar el remachado es hoy por hoy una herejía, y el futuro cercano del fuselaje es de remaches sin ninguna duda. La soldadura por fricción puede tener antes otras aplicaciones, como vagones de tren o carrocerías de autobuses u otras más. Especialmente para soldar paneles de aluminio.

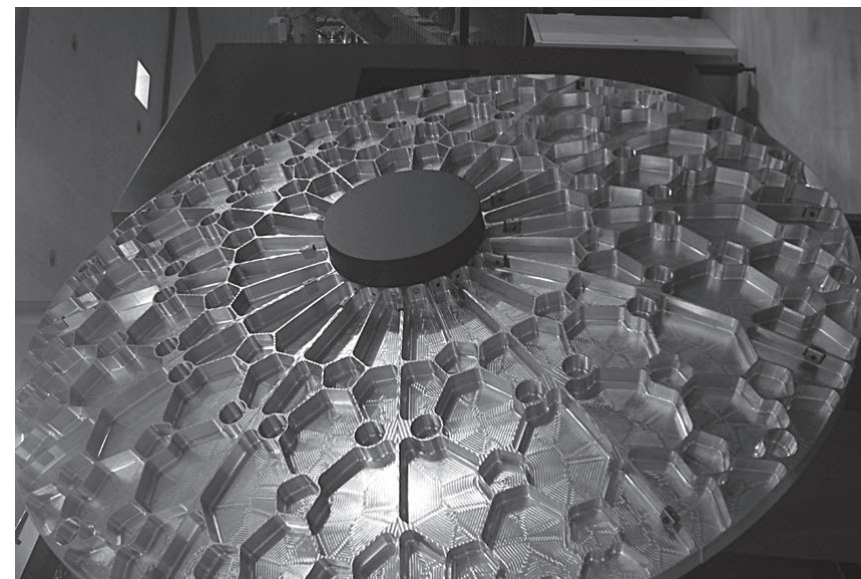


Figura 14: Pieza fresada totalmente para fuselaje, eliminación del 92% del material por fresado a alta velocidad

Por otro lado, el uso de composites sigue creciendo, y el Airbus 380 ya posee un 22% de su peso efectuado en estos materiales. El composite es un campo donde la evolución ha sido muy rápida, y va a seguir acelerándose. No es de extrañar, pues en el momento que se plantea en ingeniería hacer un material a encargo componiéndolo por capas y actuando sobre la direccionalidad de sus propiedades mecánicas, queda abierta todo un mundo de:

- Nuevas formas de diseño, y de un nuevo tipo de cálculo tanto resistencial como dinámico. Los composites presentan un comportamiento no isótropo, dependiente de la orientación de las fibras y las mallas.
- Nuevas formas de fabricación, que aseguren la repetibilidad y fiabilidad de los materiales. Se deben definir nuevos métodos de inspección *on line*, que detecten tempranamente los defectos, sin necesidad de ensayos destructivos.
- Posibilidad de incluir sensores embebidos, que le den el atributo de "material inteligente".

En Europa ha sido un hito el desarrollo de la familia Glare por la Universidad de Delft, utilizado por Airbus. El Glare está formado por delgadas capas de aluminio (de 0.2 a 0.5 mm) y de fibra de vidrio, existiendo seis familias según la orientación de las fibras.

En cuanto al sector del motor aeronáutico, es quizás donde los retos son mayores para la tecnología de mecanizado, dado que se suman tres aspectos críticos en su fabricación: materiales de muy baja maquinabilidad (aleaciones de titanio y níquel), elevada precisión, y necesidad a ultranza de asegurar la integridad estructural y superficial de los materiales. Y a estas tres poderosas demandas se suma la necesidad imperiosa de mantener los costos de producción en unos niveles razonables.

A aquellos lectores que le pueda parecer un negocio lejano a su situación industrial, les decimos que así se pensaba hace 25 años en el País Vasco, y actualmente allí se ubica la sede central de ITP SA, que fabrica las turbinas de baja presión de los motores de Roll-Royce, entre otros componentes. Y que por otra parte, la Universidad del País Vasco alberga el Centro de investigación fabricación avanzada aeronáutica, uno de los pocos a nivel internacional.

Saber mecanizar abre nuevos horizontes y nichos de valor añadido muy elevado, pues es una tecnología facilitadora de otros sectores en desarrollo. Así en el programa Horizon 2020 de la UE se considera una *Key enable technology* (KET), esto es, aquella tecnología que es clave para desarrollar múltiples líneas de otros negocios.



Figura 15: Motor Trent 900 de Rolls-Royce®, para el A380.

5.3 ENERGÍAS ALTERNATIVAS

En este campo Europa lidera algunas líneas de trabajo, entre ellas la producción eólica y de fabricación de aerogeneradores. Dinamarca (esta nación disponía en 2003 de alrededor de 3.000 MW de energía eólica, suministrados aproximadamente por unos 5.500 aerogeneradores) y España (en este caso, el crecimiento anual ronda el 30%, llegando a 9.000 MW en el año 2010), poseen hoy día una línea de actuación muy definida para este sector, los primeros en cuanto a ingeniería de producto, y los segundos en fabricación de generadores. Aquí también se repite el crecimiento en uso de los composites en palas y elementos estructurales.

Aún queda por desarrollar la instalación en el mar en los próximos años, ya que el potencial eólico marino en la Península Ibérica es de unos 25.000 MW (Informe de Emilio Menéndez para Greenpeace). Ya existen parques de este tipo en Dinamarca, Holanda, y Gran Bretaña, aunque este autor desconoce la situación en Argentina.

Un componente importante de los aerogeneradores es la multiplicadora, parte fundamental de estos equipos, siendo sistemas de engranajes de dos etapas, una de ellas planetaria y la otra en paralelo. La fabricación de engranajes de gran módulo es una de las operaciones claves del sistema productivo, y además cada multiplicadora requiere constante labores de mantenimiento y reparación. Estos sistemas poseen grandes requisitos de calidad y precisión, dada su incidencia en el índice de disponibilidad y mantenibilidad del sistema.

Otro campo de interés es la fabricación de células solares, utilizando silicio. La producción de obleas de silicio es de gran importancia para la producción de células solares y otros dispositivos. El uso de estas parece que va a multiplicarse en el futuro. El proceso de producción se basa en los siguientes hitos:

- Producción del lingote mono cristal de silicio, lo que se realiza en un horno donde se ha fundido el silicio (1420°C) junto con otros aditivos, introduciendo también un cristal semilla que "tirará" del proceso de solidificación. Tras esta fase se rectifican los lingotes a los diámetros estándar (de 25mm a 300 mm).
- Los lingotes se seccionan en sierra de hilo con aportación de líquido abrasivo, cortando de una sola pasada todo el lingote, a obleas de 100µm a 600µm de espesor.
- Pulido de las caras activas, que es la operación crítica. Tras ello se realiza la inspección láser.

Actualmente se trabaja en aumentar la productividad de este proceso, lo que puede surgir de la mejora del proceso de corte, donde debe eliminarse en lo posible la pérdida de material por el espesor del surco debido a la sierra de hilo.

5.4 BIOMEDICINA

"Sin salud no hay nada", se suele afirmar frecuentemente. Dado el envejecimiento social y también la nueva filosofía vital, nadie se conforma con los males que depara la salud, motivo por el cual no es de extrañar que este sector pueda constituirse en uno de los más importantes del siglo XXI.

Analizando los informes que surgen regularmente en revistas técnicas en USA, Japón o Europa, suele observarse un creciente mercado orientado a la fabricación de prótesis, como sistemas de diagnóstico y análisis. Buen ejemplo de ello es lo que ha ocurrido en el medio-oeste de USA. Se trata de una región con gran tradición en industria manufacturera metal-mecánica, que en los últimos años se ha direccionado claramente hacia las industrias relacionadas con las *life-sciences*. Solo en Indiana se cuentan por docenas las empresas fabricantes de aparatos médicos, que han emergido en los últimos 15 años.

Evidentemente muchos de las aplicaciones biomédicas están fuera del ámbito de la industria metal/mecánica, pero no así el sector de fabricación de ortopedia y elementos accesorios para asistencia de personas. Un dato relevante, en la presentación de MoriSeiki con motivo del lanzamiento mundial de la serie de máquinas NT, de 60 periodistas invitados 3 fueron de revistas exclusivamente médicas, evidenciando el interés de la empresa en estos sectores.

Las tecnologías de fresado en 5 ejes, la aportación por láser, el corte y pulido, la electroerosión y el rectificado son técnicas empleadas para la elaboración de "recambios" para el cuerpo humano. Tampoco debemos olvidar la metrología, cuyo principal potencial de negocio se encuentra en el desarrollo de sistemas eficientes de medida en piezas que, en muchas ocasiones, son de serie o pieza única.

Para que este sector despegue se debe trabajar en coordinación, combinando grupos multidisciplinarios de médicos e ingenieros, de diferentes ramas. La investigación básica médica debe coordinarse con la acción de la ingeniería. Este es el reto, la multi-disciplinariedad de nuestros grupos de I+D. Colaborar es muy difícil si por ejemplo atendemos a la estructuración habitual de los centros y universidades europeos en departamentos

tecnológicos alineados con conceptos tradicionales de clasificación del saber: mecánica, electricidad, materiales. Quizá se debería pensar en estructurar los grupos por objetivos, lo que es un hecho en la industria dedicada a este sector.

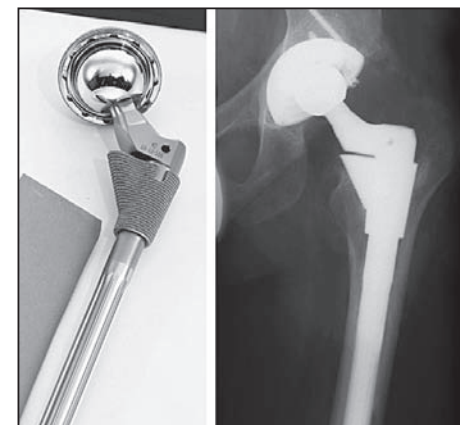


Figura 16: Prótesis de cadera antes y después de su "instalación" (Cortesía de Depuy Orthopaedics®)

En las figuras 16 y 17 se muestran algunos ejemplos, que muestran de forma evidente que las prótesis son elementos mecánicos realizados en aleaciones ligeras (de titanio) donde el mecanizado es la operación clave.

	<p>Proceso de una válvula de corazón artificial, en aleación de titanio</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Corte de precisión del cilindro. 2. Torneado, taladrado y roscado en un Haas GT-Minilathe. 3. Alesado. 4. Taladrado a 10° en el aro exterior. 5. Torneado, taladrado y roscado en un Haas GT-Minilathe. 6. Ajuste a presión del tubo en el aro exterior.
	<p>Proceso de un implante ortopédico, espesor 0,4mm por unos 5 mm de largo</p> <ol style="list-style-type: none"> 1- Corte por electroerosión. 2- Fresado.
	<p>Proceso de un tornillo de 5mm</p> <p>Torneado en un CNC Swissturn, Tsugami BS-18.</p>

Figura 17: Algunos ejemplos de piezas de ortopedia mecanizadas (Cortesía de Comaco, Cox Manufacturing Company®)

Un campo de gran importancia debido a las expectativas de consumo es el denominado "diente industrial". En este caso se está hablando que los implantes dentales serán producidos en largas series y en tallas específicas en tornos suizos, pero cada puente o conjunto de dientes será fresado *ad-hoc* para cada paciente, utilizando para ello una fresadora de cinco ejes, trabajando sobre una pletina de aleación de Ti6Al4V, Cr-Co o zirconio. Ya se encuentra disponible en el mercado todas las piezas necesarias para establecer este negocio, estas son: fresadora de cinco ejes, CAM específico para programarla, sistema de scanner digital de la boca, etc. En los últimos cinco años, han aparecido un gran número de empresas dedicadas a este nuevo nicho de mercado, muchas de ellas participadas por dentistas y trabajando en coordinación con varios de ellos.



Figura 18: Estructura dental, de la empresa vasca Createc Medical®

5.5 MOLDES Y MATRICES

Este sector está sufriendo la gran competencia internacional, dado que en los países asiáticos el costo de la mano de obra del ajustador y el pulidor son muy bajos en relación con el costo de otros países, por ejemplo del G9, o incluso de otros países emergentes.

En los últimos años, los matriceros han adoptado las nuevas tecnologías de simulación del estampado de acero o de la inyección, así como el uso de paquetes de CAM, para generar los programas de control numérico y de fresado a alta velocidad en tres y cinco ejes, lo que ha implicado que se haya pasado de una producción basada en la experiencia, a otra sustentada en la tecnología. Aun así, el trabajo manual requerido para el pulido o ajuste final es muy elevado, ocupando una gran proporción en el valor del producto.

No parece que exista una solución fácil para este sector en relación a la competencia, pues los precios ofrecidos por fabricantes de distintas partes del mundo se sitúan en la proporción de 1 a 3. Sí podría pensarse en actuar en tres sentidos:

- Atender al molde de elementos especiales de elevado valor añadido, y para series cortas.
- Reorganizar el ciclo de producto, para lanzar los moldes a producción aún antes de acabar su diseño final, en la idea de lo que se denomina "ingeniería concurrente".
- Buscar nuevas tecnologías que puedan suponer plazos de entrega muy cortos y reducciones de operaciones de acabado.

Una de estas técnicas es el Rapid Tooling, conjunto de técnicas que buscan construir los moldes por adición de partículas de material. En este sentido se sitúan las técnicas de sinterizado selectivo por láser, y otras similares que se explicarán más adelante. En ellas se parte de polvos metálicos depositados por capas, actuando sobre las mismas un láser de baja potencia para sinterizar la pieza, en este caso puede ser una matriz o macho. A esta etapa deben seguir otras de mejora de la estructura del material. A la fecha de hoy, la rugosidad obtenible de las superficies no es aún suficiente para un molde de inyección ($Ra > 7\mu m$), pero se trabaja en técnicas de mejora superficial (Fig.19) no manuales, como puede ser el pulido robotizado, pulido por láser, *ion beam*, y otras que se comentarán en la parte B del informe.

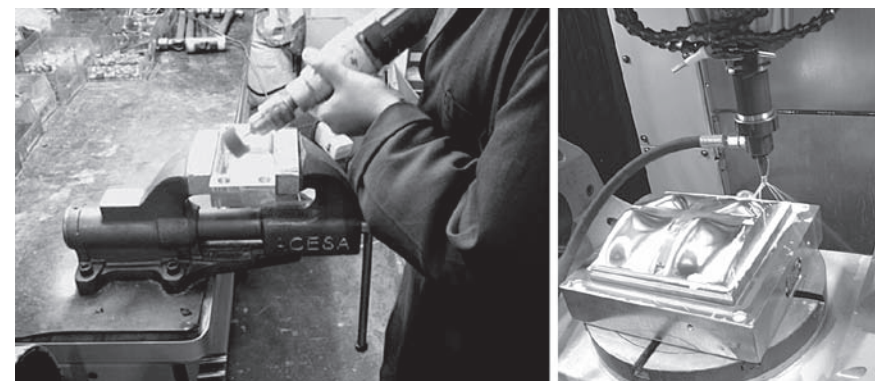


Figura 19: a) El pulido manual es una operación a evitar en la fabricación de moldes. b) Una alternativa, es el bruñido hidrostático (derecha)

También podrían explorarse técnicas de prolongación de la vida útil de los moldes, atendiendo a su mantenimiento y reparación sistemática por el propio fabricante del útil. Una pequeña encuesta local sobre este particular realizada en el País Vasco indica que podría actuarse en esta línea, aunque se requeriría redefinir la relación entre el usuario y quien construye el molde.

5.6 MÁQUINA - HERRAMIENTA Y MECANIZADO

La máquina-herramienta es el sector suministrador de las máquinas que ejecutan los procesos, pero es también un sector en sí mismo, dado que las máquinas se fabrican y se montan llegando a ser un producto, en este caso un bien de capital. Además, los clientes no solamente demandan máquinas sino de toda la solución de un proceso, es decir, máquina, dispositivos, ingeniería de proceso, herramientas, y accesorios. Para ello el sector debe colaborar con los fabricantes de herramientas y con sus clientes.

Además de los procesos de arranque de viruta, existen muchos otros que podrían incorporarse a las mismas máquinas hoy construidas, lo que en Europa y América debiera ir acompañado de un cambio de mentalidad, para pasar de la cultura de la 'mecánica' a la de la 'meca trónica', del acero a los nuevos materiales, de unas formas de hacer negocio a otras diferentes. Estos cambios implican modificaciones sustanciales, incluso en la formación de los nuevos técnicos e ingenieros.

También se habla de forma constante en Europa, sobre la posibilidad que las máquinas se alquilen a los usuarios, y que estos paguen por pieza producida, al estilo de los contratos con las máquinas fotocopiadoras. Este modelo podría ser de aplicación a grandes empresas mecanizadoras del sector automotriz, aunque parece de difícil empleo en las PyMEs. Aunque todo es redefinible, si la competencia apunta en esta dirección y se muestra un modelo económicamente eficiente.

Vamos a repasar algunos conceptos recientes emergentes en el sector de la máquina-herramienta, algunos de los cuales se desarrollarán en la parte B de este informe en forma más extensa.

Fresado en cinco ejes y Multi-tasking

En la segunda mitad de los años 90 surgió un nuevo concepto de trabajo que se conoce como multi-tasking (multitarea), con máquinas en donde se combina un torno y una fresadora. En ellas se pueden realizar casi todas las operaciones de mecanizado en una sola fijación, con el consiguiente aumento de precisión y productividad. Poseen una configuración multieje, estando el control numérico capacitado para el control simultáneo de todos ellos.

En cada exposición EMO hemos ido viendo la generalización y crecimiento de este concepto. En Europa posee bastante implantación, siendo el referente WFL Millturn, pero es de Japón de donde procede el mayor número de modelos de máquina, en algunos casos como DMG-Mori Seiki, Okuma o Mazak, con un elevado grado de especialización.

Además del mecanizado, otras funciones como el templado, inspección y medida, etc., pueden integrarse en estos sistemas en la idea que se conoce como "Factory in a machine", lo que consigue aunar productividad, automatización, y reducir el costo de mano de obra.



Figura 20: Fresado de un rotor integral (Blisk, blade-on-disk) en una fresadora de cinco ejes

Máquina y Proceso inteligente

Del 90% mecánico y 10% eléctrico en las máquinas-herramienta de los años 80, se ha pasado a un 35% mecánico, 30% eléctrico, y 35% de software en las actuales. El software incorporado al control numérico posee dos finalidades: hacer más cercano y sencillo el uso de la máquina al usuario, así como mejorar el control del proceso actuando sobre:

- Evitando colisiones por detección rápida de las mismas.
- Interviniendo sobre las fuentes de imprecisión, como son las deformaciones térmicas, o aquellas provocadas por las fuerzas de corte.
- Facilitando la programación de la máquina con sistemas gráficos y de simulación virtual.

Pese a que llevamos 30 años hablando de control adaptativo y sin ponerlo a funcionar en máquinas reales, quizás ahora se encuentra el hardware del CNC en disposición de comenzar a ser aplicado. El control adaptativo permitiría que la velocidad de corte o el avance se modificasen en tiempo real atendiendo a señales recogidas por monitorización del consumo de potencia de los motores, fuerza realizada en el proceso de arranque de viruta o temperatura en algunos puntos de la máquina.

SAT, Servicio de asistencia técnica

El concepto de asistencia al cliente va a ser decisivo en el sector de la máquina-herramienta y en su negocio. Así la evaluación del SAT constituye un elemento importante a la hora de tomar la decisión de compra.

Un primer aspecto es la propia organización del servicio, teniendo que dar la empresa respuesta en forma casi inmediata ante averías y problemas. Para ello, se debe disponer de una red de técnicos que puedan desplazarse a corta distancia, además de un servicio de atención telefónico eficiente.

Por otra parte, la conexión directa de las máquinas a la red de datos, para poder hacer la descarga de variables de estado desde la casa suministradora, es fundamental dado que muchos fallos son errores sencillos o fallos de sensores de la máquina que pueden ser muy fácilmente resueltos incluso por el propio técnico (operario de la máquina). A veces parece incomprensible que con los avances telemáticos que existen hoy día, se haya avanzado tan poco en este terreno, quizás también por la cultura imperante en el propio taller de producción, generalmente apartada del mundo de la computadora.

Procesos no convencionales

Algunos fabricantes están buscando lanzar nuevas máquinas en el ámbito no-conventional, entre ellas el mecanizado por ultrasonido rotatorio (de DMG-SAUER), encaminado al mecanizado de materiales frágiles, o el mecanizado por erosión láser, también liderado en Europa por DMG. Los ultrasonidos pueden ser una tecnología de asistencia interesante a procesos convencionales como el corte, taladrado, y torneado.

A pesar de los avances indicados en las escalas micro y nano, los procesos convencionales en la escala tradicional se encuentran actualmente también en pleno estado de mejora e investigación. Así, si se analizan los trabajos de los últimos años en las cuatro revistas más prestigiosas, que se muestran en la figura siguiente, se puede constatar su prevalencia en cuanto a contenidos. Sin embargo, no hay que olvidar que los sectores emergentes están creando sus propias asociaciones, revistas y foros distintos a estas revistas.

En este diagrama se analizan los trabajos publicados por tecnologías en la década del 2000, y en el caso concreto de mecanizado, los trabajos por temáticas concretas. Como se puede observar es el arranque de viruta la tecnología más estudiada, y el fresado, la operación en la que más esfuerzos se centran.

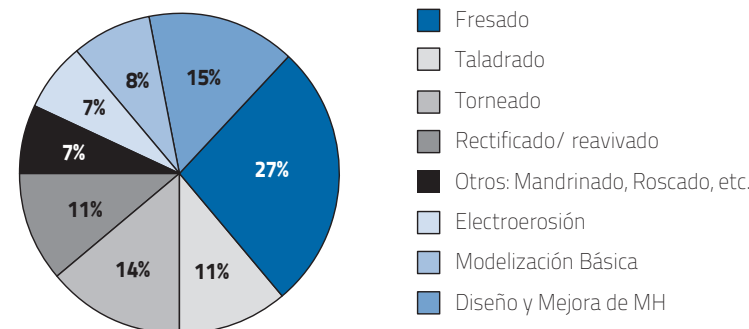


Figura 21: Trabajos de investigación sobre arranque de viruta por operaciones y temas

De los análisis de los contenidos de las revistas técnicas y de lo observado en varios proyectos, centros de referencia y ferias, algunas técnicas que están hoy día en plena investigación y desarrollo son:

- **Simulación de procesos de arranque**, deformación y fundición/inyección: Hoy día las vías exclusivamente experimentales de mejora de procesos no son válidas por ser caras y obtener de ellas información muy poco generalizable. A menudo ocurre que los factores que concurren en la fabricación son tantos y de tan variada naturaleza, que cada caso es irreplicable por otros investigadores. Por este motivo se está tratando de desarrollar un modelo del proceso de corte en dos líneas: simulación numérica (vía Elementos finitos), o simulación semiempírica, basada en modelos de coeficientes específicos de corte. En forja, fundición o estampación de chapa la simulación numérica está claramente en estado de madurez y muchas empresas la utilizan en su día a día. En el caso del conformado de chapa el reto es adecuar los modelos de comportamiento de los nuevos materiales (aceros de alta resistencia, aleaciones de aluminio, aleaciones de litio-aluminio), a la realidad. Para ello uno de los principales objetivos es disponer de una base de datos de las leyes constitutivas de los materiales en condiciones de elevada temperatura, deformación, y velocidad de deformación. Este es un reto a nivel mundial, donde los investigadores deben unir esfuerzos, y compartir datos de materiales siguiendo un modelo común.
- **Mecanizado por ultrasonidos**: es un procedimiento de arranque de material que se utiliza en la producción de cavidades en materiales duros. Hoy día se está investigando la posible utilización de ultrasonidos para soldar, ayudar a la extrusión, como a la relajación de tensiones, etc. Una variante es el RUM (Rotary Ultrasonic Machining). En esta técnica, se combina el movimiento ultrasónico con la rotación del sonotrodo, lo que unido a la alimentación de refrigerante por el interior de la herramienta, consigue la óptima evacuación del material arrancado.

- **FSW (Friction Stir Welding):** es una soldadura fría, sin aporte de material, que permite obtener uniones de buena calidad, en una amplia gama de materiales. Su patente ya se ha extinguido y el proceso es muy conocido.
- **Mecanizado por chorro de agua con abrasivos (AWJC):** Se trata de una tecnología que emplea un sistema de chorro de agua convencional de alta presión y velocidad, en combinación con partículas abrasivas como sistema de corte.
- Mecanizado **multitarea y multiproceso** en una sola máquina, donde se busca realizar todas las operaciones necesarias en una sola fijación de la pieza. Requiere un diseño optimizado de mordazas y ubicación de los ejes de la máquina.
- Mecanizado **químico y electroquímico:** son procesos con cierta historia y muchos inconvenientes, pero los nuevos materiales, más duros y resistentes a los procesos de arranque de viruta, están provocando su mejora.
- Por supuesto todo lo referente a **nuevos materiales para herramientas de corte** (sustratos y recubrimientos), ocupa un gran número de trabajos en las revistas científicas de materiales, superficies y de fabricación, además de quedar patente los avances en las nuevas calidades y herramientas lanzadas al mercado.
- El **CAM y los métodos de representación virtual** de la producción son importantes, pues a medida que aumenta la complejidad del producto se hace vital su programación con paquetes potentes. Además debemos pensar que los temas de modelización geométrica espacial tienen sus propios foros en otras revistas, con lo que nosotros solo observamos la punta del iceberg en lo que a desarrollos se refiere.
- El crecimiento imparable de las **tecnologías de fabricación aditiva**, utilizando el láser como fuente de calor concentrado, que avanza en forma exponencial.

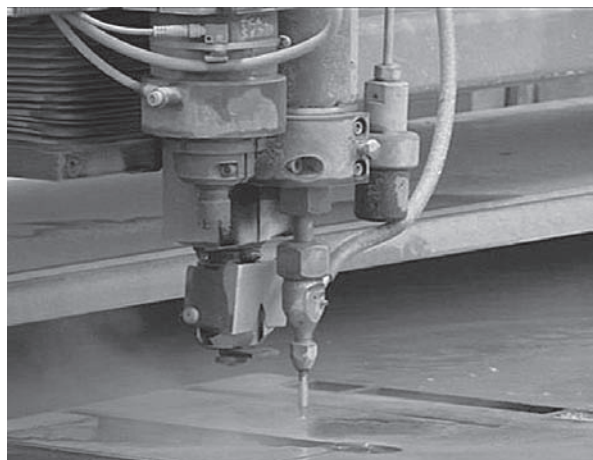


Figura 22: Corte por agua a presión con abrasivo, en el centro vasco Tecnalía

Una última referencia a la **metrología**, cada día más importante como medio de asegurar productos de gran calidad. En metrología destaca el informe de EUROMET (www.euromet.org), que analiza el estado del arte y las tendencias en investigación en Europa. Entre ellas destacan las líneas de:

- Nano metrología, incluyendo el desarrollo de procedimientos y dispositivos para la escala nano.
- Estructuras superficiales de agujas hipodérmicas y otros mini dispositivos médicos, así como el estudio de la tribología en el funcionamiento de los micro aparatos.
- Metrología en química, es decir, certificación de materiales puros y métodos calorimétricos.
- Software en la red y evaluación de incertidumbres.
- Sistema de medida sin contacto, por scanner óptico, en máquinas de medir por coordenadas.
- Digitalización óptica de piezas de gran tamaño, llegando a resolución metrológica.
- Incorporación de estaciones de medida durante etapas intermedias del proceso de fabricación.

6. PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE EN PROCESOS DE FABRICACIÓN

En Europa especialmente, pero también en numerosos países, es un hecho incontestable la creciente importancia dada a la fabricación de mínima repercusión ambiental (que ya tiene incluso acrónimo, EBM, o sea Environmentally Benign Manufacturing). Este esfuerzo viene motivado por múltiples factores, pero existen dos de gran importancia.

Por un lado la presión social, que en Europa es intensa en la línea de actuar en el desarrollo sostenible y en conseguir entornos de gran habitabilidad y nivel de vida. La repercusión directa ha sido el endurecimiento constante de las legislaciones, actuando contra aquel que contamina o derrocha, y la creciente existencia de tasas para las actividades contaminantes. En segundo lugar, el ahorro y la eco eficiencia pueden resultar económicamente rentables para la actividad y la producción, y ser de interés en productos de medio y alto valor añadido.

Argentina está retrasada en este campo, pero no cabe duda que va seguir este camino, si es que pretende estar entre las naciones de elevado índice de desarrollo, donde sin duda va a encontrarse a futuro.

En la tabla mostrada a continuación se observan los factores relacionados con el respeto al medio ambiente y a la competitividad entre los tres polos Japón, USA, y Europa, elaborada por un comité de expertos de más de 35 instituciones de esos tres lugares. Se puede observar que en la Unión Europea, posee un fuerte peso las políticas gubernamentales y de educación. Como contrapartida, Japón se ha centrado en los factores industriales, hallándose a la cabeza de la investigación en este terreno, seguida por Europa, que ha centrado esfuerzos y énfasis en la industria automotriz. Estados Unidos presenta el liderazgo en investigación de polímeros y de electrónica avanzada. Además posee un sistema de mitigación de los riesgos legales avanzado. Sin embargo, Estados Unidos falla en las políticas de minimización de residuos, pues la sensibilización social es poca.

Tabla 3: Factores para la competitividad en la fabricación de mínimo impacto ambiental (Fuente Informe EBM-2000, Journal of Cleaner Production, 2005)

ACTIVIDAD	Japón	USA	Europa
A- ACTIVIDADES DEL GOBIERNO			
Impuestos	**	-	****
Prohibición de emisión de residuos	**	*	***
Prohibición de materiales	*	**	**
Base de datos de ciclo de vida (LCA)	***	**	****
Infraestructura de reciclaje	**	*	***
Incentivos económicos	**	*	***
Esfuerzos cooperativos con la industria	**	*	****
Responsabilidad financiera y legal	*	****	*
B- ACTIVIDADES INDUSTRIALES			
Certificación ISO14000	****	*	***
Conservación del agua	**	***	*
Conservación de la energía/emisiones CO ₂	****	**	**
Disminución de emisiones al aire y agua	*	***	**
Disminución de residuos sólidos	****	**	***
Reciclado post-consumo	***	*	****
Desarrollo de materiales alternativos	**	*	***
Integración de la cadena de suministros	**	*	**
Fabricación respetuosa con el medio ambiente como línea de negocio	****	**	***
Actividades de ciclo de vida	**	**	**
C- ACTIVIDADES DE I+D+I			
Investigación básica (>5 años)			
Polímeros	**	***	**
Electrónica	**	***	*
Metales	***	*	**
Automotriz / transporte	**	*	***
Sistemas	**	*	***
I+D (<5 años)			
Polímeros	*	***	**
Electrónica	***	**	**
Metales	***	*	**
Automotriz / transporte	***	*	***
Sistemas	**	*	***
D- ACTIVIDADES EDUCACIONALES			
Cursos	**	**	***
Tutelaje de las empresas	*	**	***
Tutelaje del gobierno	*	*	**

En Europa son de uso común y sistemático varias utilidades y software para realizar los denominados LCA (Life-Cycle Analysis). La evaluación del ciclo de vida (LCA) es una

herramienta para analizar el impacto potencial sobre el medioambiente de un proceso, actividad, o producto, a lo largo de todo su ciclo de vida, mediante la cuantificación del uso de recursos como son la energía, materias primas, agua y las emisiones medioambientales efectuadas, es decir, el impacto sobre suelos, aire o aguas. La LCA es una herramienta de gran importancia para la implementación de la ISO 14000 de gestión ambiental, que comenzó en 1996 (ISO 14001:2004 Sistemas de gestión ambiental (SGA): especificaciones y directrices para su utilización). El objetivo de estas normas es facilitar a las empresas metodologías adecuadas para la implantación de un sistema de gestión ambiental, similares a las propuestas por la serie ISO 9000 para la gestión de la calidad.

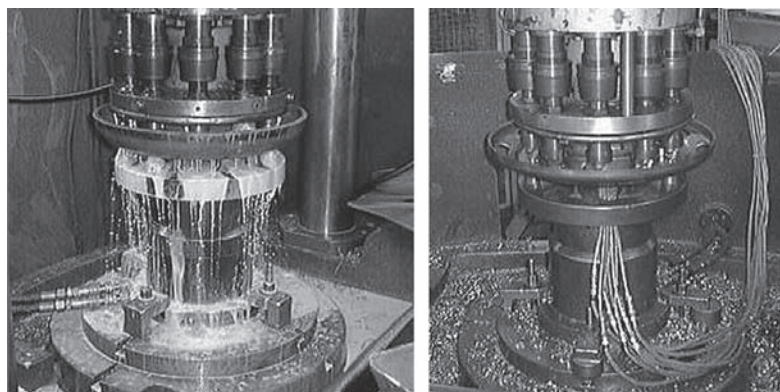


Figura 23: Taladrado múltiple con emulsión, y con mínima cantidad de lubricante micro pulverizado (MQL)

Un aspecto a destacar es el interés en disminuir los líquidos y aceites de corte en el mecanizado, en la línea de lo que se conoce como mecanizado en seco. La eliminación de líquidos refrigerantes o lubricantes puede suponer ahorros de hasta el 10% -15% de los costos totales de producción, información obtenida de distintas fuentes. Sin embargo, mecanizar en seco es una posibilidad que depende de la viabilidad del proceso en relación al material a mecanizar:

- En aceros templados y fundiciones, el fresado a alta velocidad es totalmente factible en seco, sin más que utilizar un flujo de aire que elimine las virutas de la zona de corte.
- Si el proceso es muy sensible a los parámetros de corte y el mecanizado totalmente en seco es poco fiable, podría utilizarse en su lugar la técnica denominada MQL. El sistema MQL, también denominado de micro pulverización de lubricante (o MMKS en alemán), funciona con aire a presión, inyectando la mezcla de aire y aceite pulverizado en la zona de corte. En el caso de las aleaciones de aluminio, con un consumo de aceite de 0,04 cc/min y unas condiciones de corte que producen un caudal de viruta de 45000 mm³/min, con un litro se puede mecanizar durante 420 horas, lo que equivale a eliminar 1.2 m³ de material, es decir casi 3 toneladas de aluminio.

7. FABRICACIÓN RÁPIDA Y ADITIVA

A lo largo de los últimos quince años, se ha desarrollado un grupo de procesos cuya base es la de consolidar material adicionado capa por capa, para ir fabricando un componente sin necesidad de emplear ningún utillaje, molde, ni herramienta. Estas técnicas, denominadas métodos de Fabricación Aditiva o Additive Manufacturing, son las herederas de las técnicas de Rapid Prototyping y se han ido consolidando durante los últimos años, en diferentes sectores y aplicaciones. La fabricación aditiva es conceptualmente opuesta a la sustractiva, que es el mecanizado.

Existen diferentes factores que han permitido la proliferación de estos procesos en los últimos años (liberalización de patentes, mayor fiabilidad, oferta de componentes mecánicos, desarrollo de software libre, y otros), pero fundamentalmente la demanda de las técnicas de Fabricación Aditiva se basa en una doble tendencia del mercado: la reducción de tiempos de entrega y la necesidad de adaptación del producto al cliente final:

- En primer lugar, la reducción de tiempos de entrega exige optimizar al máximo los tiempos de diseño, fabricación y puesta a punto, hecho que hace que con frecuencia se solapen las fases de diseño y fabricación. La posibilidad de fabricar una pieza o una maqueta directamente desde el CAD, abre una nueva puerta hacia la presentación casi inmediata de las ideas al cliente.
- Por otro lado, hay una tendencia hacia la fabricación de piezas "exclusivas" para cada usuario, alejándose de la tendencia de la fabricación masiva de piezas en lotes de gran tamaño. Así, la Fabricación Aditiva permite abordar de forma efectiva ambos retos.

La ASTM (*American Society of Testing Materials*) definió en 2012 la Fabricación Aditiva como "los procesos de unión de materiales para realizar objetos a partir de datos del modelo 3D, por lo general capa sobre capa, a diferencia de metodologías de fabricación sustractivas, tales como el mecanizado tradicional." De esta forma, se trata de un grupo de procesos que se diferencian entre ellos según el material de partida y método de unión del material empleado. Una posible clasificación de los mismos es en función del material de partida empleado, como se observa en la figura siguiente (fig. 24):

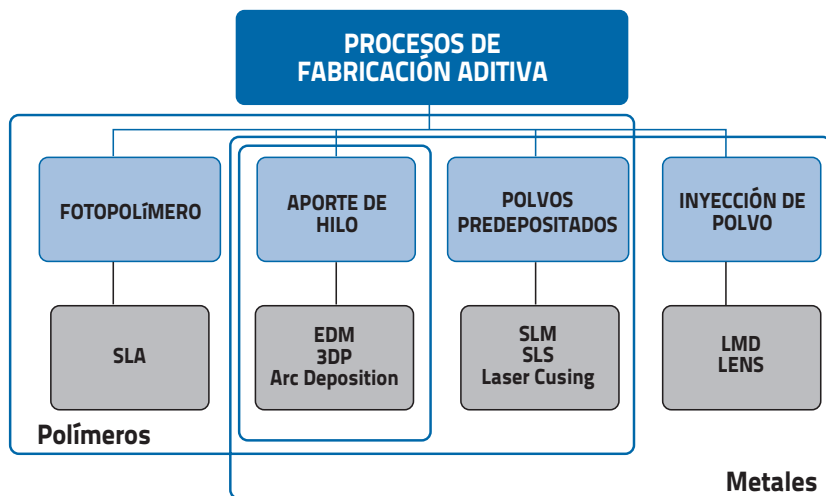


Figura 24: Familias de procesos de fabricación aditiva

Se puede observar que independientemente de la clasificación empleada, los procesos se dividen en dos grandes grupos, 1) aplicación en piezas poliméricas, o 2) utilización en piezas metálicas. Así, el grado de madurez y la popularidad de los procesos de Fabricación Aditiva son muy diferentes para cada uno de estos grupos.

7.1 FABRICACIÓN ADITIVA APLICADA A PIEZAS DE MATERIAL POLIMÉRICO

Dentro de este grupo se reúnen diferentes técnicas de Fabricación Aditiva, pero la mayor parte de la cuota de mercado se reparte en dos. Por un lado, la técnica conocida como Fused Deposition Modelling (FDM) que se basa en fundir un hilo de plástico con un cabezal fusor, y que es la empleada por las denominadas impresoras 3D. Su proliferación se debe a la reciente apertura de la patente, y a la posibilidad de fabricar una máquina de muy bajo costo debido a la simplicidad de las piezas, y estructura de la máquina.

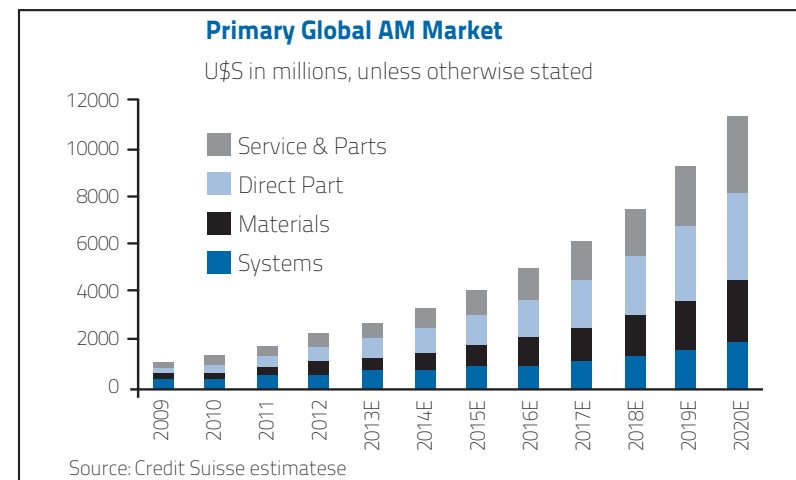


Figura 25: Expectativas de crecimiento de ventas de sistemas de Fabricación Aditiva. Estudio prospectivo de un banco de inversión (CreditSuisse)

Por otro lado, la tecnología SLA o de *estereolitografía*, está sufriendo una evolución similar a la FDM, ya que la patente se liberalizará en 2015, y están apareciendo desarrollos de sistemas *low-cost* basados en esta técnica.

Así, la aplicación de las impresoras 3D para piezas plásticas es una realidad en sectores industriales como el automotriz, la arquitectura, la aeronáutica y en general siempre que se requiera el uso de modelos o maquetas.

Tanto se ha popularizado estos sistemas, que en la actualidad, se está comenzando a utilizar las impresoras 3D en el ámbito doméstico, hecho que supone una auténtica revolución. Se habla incluso de una "democratización de la tecnología", dada la cantidad de aplicaciones que pueden surgir desde mini Pymes utilizando este tipo de tecnologías, en sectores como ocio, joyería, decoración, fiestas y eventos, reparaciones, etc. Internet cuenta con numerosas páginas que explican cómo y con qué construirse impresoras 3D, en donde el negocio puede ser a futuro los consumibles (hilo plástico, etc.) y no la propia impresora 3D.

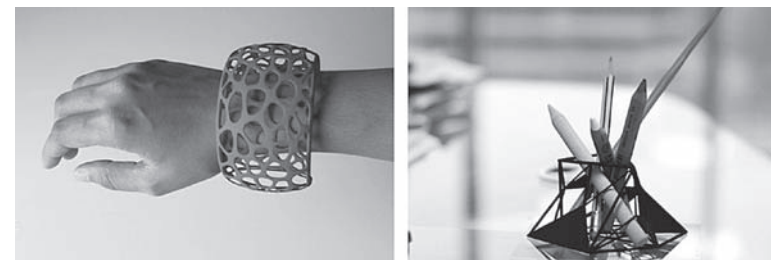


Figura 26: Componentes realizados con impresoras 3D (de Shapeways®)

7.2 FABRICACIÓN ADITIVA APLICADA A PIEZAS METÁLICAS

El grado de implantación de la Fabricación Aditiva para piezas metálicas es muy inferior debido fundamentalmente a que el costo del equipo es mucho más elevado. Los mejores resultados en Fabricación Aditiva de componentes metálicos se obtienen fundiendo polvo o hilo metálico, y depositándolo capa a capa. Para ello es imprescindible contar con un fuente lo suficientemente potente para fundir metal, y con una posibilidad de concentrar el calor muy alta, para conseguir la precisión adecuada. Así, los sistemas de Fabricación Aditiva para piezas metálicas se suelen basar en una fuente de energía láser o en menor medida de Electron Beam (Haz de electrones), lo que encarece su costo hasta varios órdenes de magnitud por encima de las impresoras 3D.

Este grupo de técnicas, se pueden subdividir en dos tipos:

- Procesos basados en la fabricación directa de componentes, similares a una impresora 3D, pero con piezas resultantes metálicas. Se trata de técnicas que parten principalmente de polvo metálico, y obtienen una pieza directamente desde el CAD, fundiendo el polvo capa a capa. Su aplicación en la actualidad es en componentes únicos fabricados a medida y muy complejos, como pueden ser las prótesis o insertos de moldes de inyección de plástico.

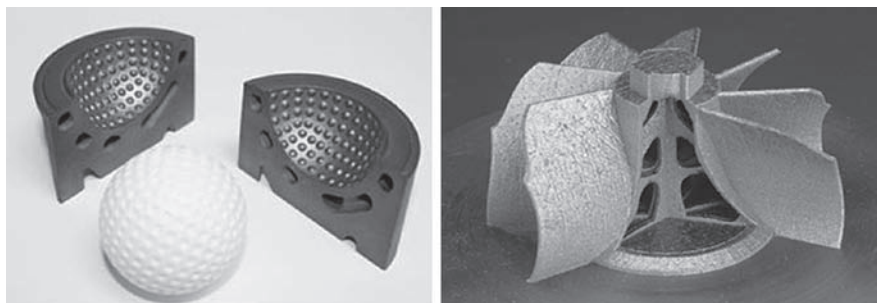


Figura 27: Componentes metálicos realizados por Fabricación Aditiva

- Procesos de aporte directo de material, donde se inyecta un material sobre una superficie, generándose una capa de material que puede tener un espesor de entre 0.05mm y 2mm. En este caso, se trata de aportar material sobre piezas que previamente se han fabricado por forja y fundición, y el aporte de material permite la fabricación de estructuras más complejas, o la reparación de estos componentes en el caso de que sean de alto valor añadido.

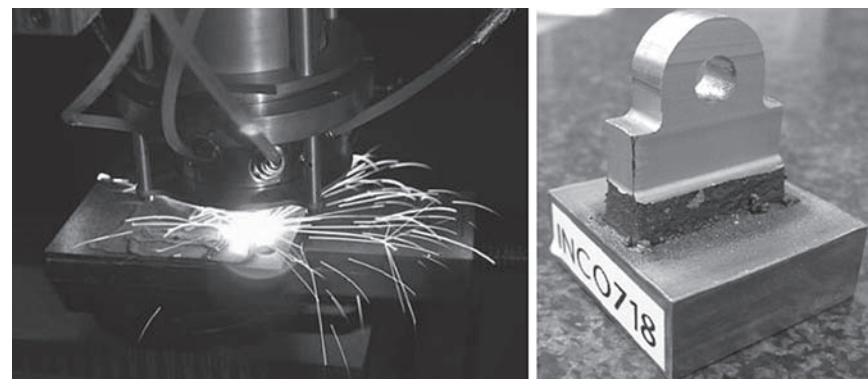


Figura 28: Ejemplo de fabricación de una oreja de apoyo en Inconel 718 (realizado en la Universidad del País Vasco)

Las expectativas de crecimiento de las técnicas de fabricación rápida de pieza metálica no ofrecen ninguna duda en ningún informe o plan de desarrollo propuesto de los últimos cinco años. Esto es, fabricación aditiva y sustractiva van a convivir en muchas de las empresas y sectores en los próximos 30 años.

8. PROCESADO DE NUEVOS MATERIALES

En relación a otros materiales distintos al mundo del acero, el procesado (mecanizado y conformado) de las superaleaciones y los composites han sido estudiados en el nivel académico y científico, con numerosos trabajos de resultados ya publicados. En este caso lo que queda es difundir lo conocido, integrarlo en los libros y canales educativos, y disponer un espíritu abierto para querer aprender lo que ya está descubierto, siendo conscientes que existe un gran mundo más allá del mecanizado y conformado del acero y del aluminio.

Para un técnico del siglo XXI las aleaciones de titanio o níquel y los composites debieran tener la misma importancia, y ser igual de familiares que el acero o la fundición. Por ello, el tipo de proyectos a llevar adelante deben ser de desarrollo industrial, y orientados a la mejora continua de los procesos. Este es un reto muy importante, pues este tipo de proyectos son la forma de retornar el esfuerzo de investigación previamente realizado, y de aprovechar el conocimiento general. De otra forma, no solamente se perderán oportunidades sino que los avances serán utilizados por la competencia.

El mecanizado de materiales superduros generalmente obtenidos por sinterización, tipo cerámicas, vidrio, CBN, diamante, o materiales sinterizados, es también parte fundamental de la investigación con procesos no convencionales. En este sentido, se está aplicando la electroerosión sobre los materiales conductores (generalmente el sustrato del sinterizado es metálico), y el rectificado.

Una alternativa que podría tener viabilidad es utilizar sistemas de calentamiento que asisten al mecanizado por arranque de viruta, cuya misión es conseguir calentar el material localmente, por delante del filo de corte, hasta que sea dúctil (LAM, Laser Assisted Machining), y por último los procesos basados en ultrasonidos y pasta abrasiva.

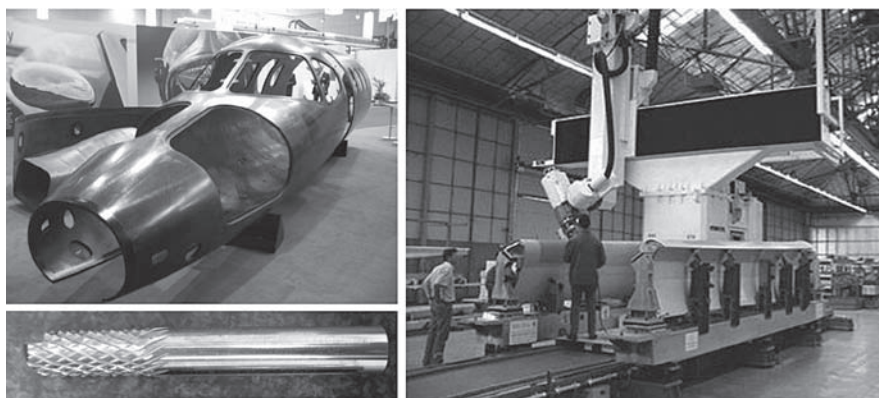


Figura 29: Recateado de composites de fibra de carbono: avión prototipo, fresadora de M.Torres (España) para esta operación, y fresa de la empresa vasca Kendu

9. MICROFABRICACIÓN Y NANOFABRICACIÓN

La micro fabricación es definida como la tecnología para crear formas 3D de alta precisión, usando diversos materiales, y con formas desde las décimas de micrómetros a unos pocos milímetros, y tolerancias en el orden de los nanómetros.

Según el instituto World Technology Evaluation Center, en los países industrializados existe y es patente una política decisivamente orientada al desarrollo de la micro y nano fabricación, estando Europa y Japón más centrados en la escala micro, y los estados Unidos en la escala nano. La razón no puede ser otra que la siguiente: en la escala micro estamos hablando de procesos fundamentados en los conocimientos tradicionales de fabricación (mecanizado, deformación, fundición, ataque químico), que ya se conocen y para los que dispone de instalaciones para su uso y mejora. Así, en cierto sentido el mundo micro se yuxtapone a la fabricación de muy alta precisión. Sin embargo en la escala nano, se está aludiendo a investigaciones referentes a la física del estado sólido apoyadas en los últimos descubrimientos de materiales. Quizás en este campo, el poder de USA es mayor, con varios proyectos asociados a la industria espacial y militar.

Tabla IV: Estado de las tecnologías de micro y nano fabricación (Fuente: World Technology Evaluation Center)

	Japón	Taiwan	Corea	Europa	USA
Fondos gubernamentales en micro fabricación	****	****	***	*****	•
Estado de la tecnología de micro fabricación	*****	****	***	*****	**
Consortios empresa/universidad /gobierno	***	***	****	*****	•
Nanotecnología	****	**	•	***	*****

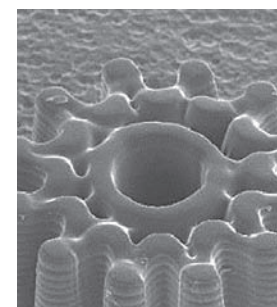


Figura 30: Micropiñón desarrollado en el Laser Zentrum de Hannover

La escala "micro"

Las líneas de desarrollo a nivel micro se reflejan a continuación. Las que poseen nombre convencional suelen indicarse con una μ añadida al nombre de la técnica:

- Técnicas convencionales: Microfresado, microtorneado, pulido. En este caso los avances se encuadran dentro de la tecnología de precisión. La división por 100 de la escala de tamaño, no altera la naturaleza física de los procesos, solamente los modifica ligeramente.
- Técnicas de ataque por haz de electrones y láser: corte por láser, fresado por chorro de iones, ataque químico, ablación láser, taladrado láser, Fast Atomic Beam Machining (FAB).
- Electroerosión: por hilo y penetración, rectificado, electro-dressing, micro-spark coating.
- Deformación: micro conformado, micro estampado, micro extrusión, embossing.
- Adición: microestereliotografía, micro sinterizado láser.
- Micro inyección.

En la Fig.31 se muestra una micro fresadora de precisión realizada por el centro tecnológico vasco Ideko. En la Fig. 32 se puede observar la mini-fábrica portátil (500x700mm) realizada por la agencia japonesa "Agency of Industrial Science and Technology (AIST)", dedicada a la producción de rodamientos y rotores menores a 1 milímetro de diámetro. El mini-torno realiza trabajos en el eje desde 100 a 500 μ m. La carcasa se fresa a 900 μ m, la mini-prensa estampa la tapa de 120 μ m. Todas las piezas se transfieren internamente por un mini-manipulador.



Figura 31: Fresadora de ultraprecisión para piezas micro, del centro vasco IDEKO

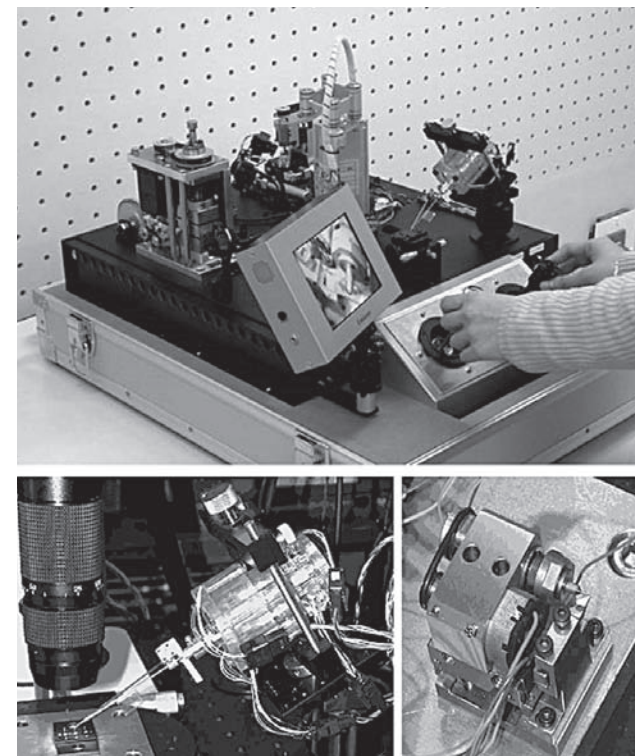


Figura 32: La micro fábrica portátil desarrollada por el Mechanical Engineering Laboratory (MEL) de la Agency of Industrial Science and Technology (AIST): aspecto general, brazo manipulador, micro torno, micro prensa, y micro fresadora.

La escala nano

La nanotecnología se refiere al desarrollo de sistemas y dispositivos en el rango de 1-100 nanómetros. Hay que pensar que en el rango de 10-20 nanómetros los materiales presentan un comportamiento diferente a la escala convencional. En el área de nanofabricación se integran métodos basados en nano litografías (litografía por haces de electrones, basada en microscopios de campo cercano, por nano impresión, FIB, etc.), generación de cristales por solidificación dirigida, y otros procesos (grabados, deposición, etc.) y métodos de auto ensamblaje.

Dentro de este campo, uno de los mayores avances de los últimos años han sido la producción y aplicación de los nanotubos de carbono. Estos se sintetizaron tras la des-

cripción de un producto derivado del fullerene, que es una nueva forma cristalográfica del carbono. Los primeros nanotubos fueron desarrollados en 1991 por los premios Nobel Robert Curl, Harold Kroto, y Richard Smalley, al descubrir el C60. Esta es una nano-estructura compuesta por 60 átomos de carbono, estructurados en un espacio cerrado y perfectamente simétrico. El grafito está formado por átomos de carbono estructurados en forma hexagonal, dispuestos en capas una encima de otra. Por otra parte, en las fibras de carbono, las capas de grafito forman una estructura larga tipo-espiral. Pero existe otra forma de estructurar las capas, que resulta de enrollar la estructura tipo-panel, para que forme un tubo de grafito. Este es el nanotubo de carbono. Los nanotubos de carbono se componen de una o varias láminas de grafito enrolladas sobre sí mismas. Algunos nanotubos están cerrados por media esfera de "fullereno". Además existen nanotubos mono capa (un sólo tubo), y multicapa (varios tubos coaxiales). Los nanotubos tienen un diámetro de nanómetros pero su longitud puede ser de hasta un milímetro, lo que les confiere una gran relación longitud / anchura. Un nanotubo puede ser hasta 100 veces más resistente que el acero del mismo peso, y cien veces más conductor que el cobre o la plata.

Lo que parece quedar claro es que, el avance e investigación en este sector se encuentra inserto en el campo de los materiales y la física, no en el de la construcción de los bienes de capital. Por tanto, los lectores de este cuadernillo podrán reflexionar tras lo leído sobre lo rápido del avance humano, pero también el poco negocio que parece deducirse a corto espacio de tiempo.



Figura 33: Fabricando Nanotubos de carbono en la empresa CEVP

Existen múltiples aplicaciones y posibilidades por la variedad de sus propiedades electrónicas, termales y estructurales, y gran resistencia a la corrosión para estos nanotubos. Puede jugarse con el diámetro, la longitud, la forma de enrollar, etc. Hasta ahora, su ele-

vado precio (de hasta 1.000 euros por kilogramo), y la fluctuante calidad de producción, habían impedido que se extendiera su uso. Sin embargo, Bayer Material Science AG planea comercializar sus nano materiales en todo el mundo bajo la marca Baytubes, a unos costos mucho más reducidos. Con ello se esperan aplicaciones importantes en los campos de automoción, ferrocarril, aeronáutica, blindajes, turbinas, células de hidrógeno, sensórica, electrónica, y temas relativos al cuerpo humano.

Por otro lado el grafeno ha sido objeto de investigación en los últimos 10 años. El grafeno es una sustancia formada de carbono puro, con átomos dispuestos en un patrón regular hexagonal, similar al grafito, pero en una hoja de un átomo de espesor. Es muy ligero, dado que una lámina de 1 metro cuadrado pesa tan sólo 0,77 miligramos. Se considera 200 veces más fuerte que el acero, y 200 veces menos pesado. La empresa vasca Graphenea lo produce en serie, buscando desarrollar nuevas aplicaciones a futuro. Uno de sus productos se muestra en la Fig.34.



Figura 34: Lámina de grafeno sobre oblea de cobre por la empresa vasca Graphenea (San Sebastián)

10. PASOS A SEGUIR PARA LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA DE LAS REGIONES DE MENOR DESARROLLO DE ARGENTINA

Previo a comenzar a desarrollar este apartado, recordaremos qué entendemos por innovación tecnológica: “La Innovación significa incorporar a los sistemas actuales los avances logrados, teniendo una política de mejora continua. En este caso es muy importante la formación de personal en las nuevas técnicas, lo que puede realizarse en universidades, o centros de Formación Profesional”. Este es un aspecto principal, pues significa imbuir a todo el personal de la cadena productiva, en el hecho de la mejora e innovación.

En general, de las visitas realizadas a las empresas de las provincias del Norte de Argentina surge la idea de que si bien la mayoría de ellas no se dedican a actividades de diseño, en muchas ocasiones para poder reparar o rehacer una pieza solicitada por un usuario, el primer paso que llevan adelante es “diseñar el plano de fabricación”. Como consecuencia directa, la empresa debe cumplimentar tres fases, con el objeto de producir una pieza reparada o una nueva de repuesto con una calidad suficiente. Estas son:

1. Diseño del plano de fabricación de la pieza, a partir de una muestra, y de la toma de conocimiento sobre cuál es su función en el equipo en que va montada, y de las condiciones operativas de la misma.
2. Construcción de la pieza en cuestión, a partir del plano de fabricación. El uso de máquinas de control numérico favorece este paso.
3. Control geométrico – dimensional de la pieza, tanto durante el proceso de manufactura, como también una vez completado el ciclo de fabricación, y a modo de control contra plano, previo a la entrega al cliente.

Resulta evidente entonces que, para obtener piezas de calidad, las tres fases de la secuencia arriba descrita tienen que ser efectuadas utilizando buenas prácticas de manufactura y control. Es aquí, donde hemos encontrado varios aspectos que pueden ser optimizados, en pos de llevar a cabo tareas de mejora continua. Esas situaciones serán comentadas en el orden indicado más arriba.

En relación a los procesos de diseño de los planos de fabricación, se ha observado que muy pocas empresas utilizan sistemas CAD, situación que no sólo no permite ir ajustando el proceso de “diseño”, sino que tampoco posibilita conservar de manera informática el trabajo realizado. Esta situación se traduce en que, regresada la pieza al taller de reparación luego de un período de tiempo de uso y desgaste, el proceso debe iniciarse nuevamente desde cero.

- El INTI puede apoyar la capacitación de técnicos en CAD, empleando software que tenga implantación en Argentina, como Solidworks, u otros.

A esta carencia podemos también sumar, la falta de instrumentos de control adecuados, así como también la utilización de una técnica de acotado incompleta, dado que adolece de las tolerancias. Este hecho indica que el concepto de ajuste no se lo tiene en

cuenta, no se lo conoce, o incluso que no hay ningún grado de relacionamiento técnico con el “dueño” de la pieza. Esta falta puede provocar problemas durante el montaje de la pieza reparada, sobre el equipo del cual forma parte.

Desde el punto de vista del lector, la pregunta a responder es, ¿cómo se puede mejorar en relación a estos aspectos?. La respuesta es incorporando sistemas CAD, con su correspondiente capacitación de personal. En el mismo sentido debiera promoverse la incorporación de instrumental digital de medida, así como también que las empresas dispongan de zonas especialmente adaptadas para realizar las actividades de control, tanto del instrumental (verificación), como de la pieza terminada.

Esta nueva modalidad de trabajo, permitirá mejorar la calidad de las piezas recuperadas o las de nueva fabricación.

- Otro aspecto principal, en el cual el INTI puede colaborar, es capacitando a los actores involucrados, en relación a las tolerancias de fabricación. El experto de 2013 J.L. Cortizo ahondó en este aspecto durante su visita a las zonas del norte.

Y la otra pregunta es, ¿qué sucede con los procesos de fabricación por mecanizado? Básicamente son notorias dos cuestiones: la falta de aplicación y conocimiento de herramienta moderna (herramienta de metal duro), como de la utilización de máquinas-herramienta dotadas de reglas en el caso general y pasando luego al uso de máquinas de control numérico.

Por un lado, el empleo de herramientas de metal duro permite disminuir los tiempos de fabricación, homogeneizar la terminación y precisión de los mecanizados, evita depender de la calidad y destreza del operario en los procesos de afilado. Si a esto se suma la incorporación de máquinas de CNC, será posible una mejora sustancial en la calidad del trabajo, como de su repetibilidad, viabilizando incluso la fabricación de piezas que por su forma o precisión no pueden hacerse con máquinas convencionales.

Habiendo observado que las máquinas mayoritarias en los talleres son tornos, aquellas nuevas de CNC debieran ser de este tipo. Dado que se trata de la máquina más sencilla de programar y operar, provocará con el paso del tiempo la incorporación de máquinas más sofisticadas, como pueden ser los centros de mecanizado.

- El INTI puede colaborar en la capacitación de los técnicos, tanto en la programación CNC, como en la correcta selección de las herramientas y condiciones de corte.

Durante la estancia se ha observado que las empresas compran piezas cortadas por oxicorte, para luego completar el mecanizado en sus talleres. Este proceso genera al menos dos dificultades. Por un lado, modifica la estructura del material, dado que se trata de un corte térmico muy agresivo, y por otra endurece la superficie cortada, al punto que cuando esta debe ser mecanizada, deteriora rápidamente los filos de las herramientas, afectando los costos de forma significativa.

Por otro lado, hay plantas de fundición que recurren a terceros (modelistas) para realizar los modelos de madera. Los modelistas trabajan de forma artesanal (manual).

Ambas situaciones podrían ser resueltas, si se creara un centro de servicios que tu-

viera una máquina de corte por chorro de agua con abrasivos, para reemplazar en parte al oxicorte y los problemas que acarrea, y un router CNC para fresar los modelos de madera, a partir de los diseños hechos en CAD.

¿Y en relación a los procesos de control? Evidentemente la calidad de las mediciones depende del instrumental y la capacidad del técnico. El instrumental debe ser verificado con cierta frecuencia, para asegurarse que los valores indicados por los instrumentos son correctos.

Se recomienda incorporar instrumental digital, sistemas que favorecen la técnica y calidad de las mediciones, con un costo muchas veces similar al de un instrumento mecánico. Por otra parte, las empresas podrían adquirir bloques calibrados, con el objeto que puedan auto verificar su instrumental, dado que no existen laboratorios que realicen esta actividad tanto en Chaco como en Jujuy. De este modo, los costos asociados se pueden reducir significativamente.

En vista de todo lo expresado, en todas y cada una de las capacitaciones que se dicten (CAD; Metrología; Auto calibraciones; Tolerancias de fabricación; Selección de herramientas de corte; Programación CNC), es vital la participación de los docentes específicos de todas las escuelas técnicas. Estos son el enlace por el cual sus alumnos adquieren estos conocimientos, circunstancia que ayudará tanto a su inserción laboral, como también a su integración a los procesos de mejora e innovación que se espera vayan produciéndose en las empresas.

Para finalizar, las empresas podrán alcanzar la rutina de la mejora continua si están informadas de la evolución tecnológica a nivel internacional, si consiguen pasar del conocimiento del especialista de la empresa al que se denomina "inteligencia corporativa", y si localmente se propicia la división de tareas (tercerización) entre mini Pymes.

A modo de conclusión de este apartado, planos en CAD con tolerancias, manejo de instrumentos de medida calibrados, extensión de uso de máquinas de control numérico y utilización de herramientas de metal duro son los cuatro puntos principales a desarrollar a futuro en las regiones del norte. **Y el INTI puede ser un agente en la innovación del sector apoyando con servicios a las empresas en estos aspectos** y en la formación del personal de empresas y escuelas técnicas. Así se ha hecho durante la misión del experto en la zona norte. En la parte B de este informe se exponen algunos planteamientos de la tecnología de mecanizado que puede tener especial relevancia para el tipo de empresas de las zonas del NOA y NEA.



Unión Europea

PROYECTO **MEJORA DE LAS ECONOMÍAS
REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL**

UNA GUÍA
**PARA LA MEJORA
DE PROCESOS EN LAS
PROVINCIAS DE MENOR
DESARROLLO EN LA
REPÚBLICA ARGENTINA**

Innovación en Tecnologías
de Mecanizado



INTI



Unión Europea

Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Gerencia de Cooperación Económica e Institucional
Avenida General Paz 5445 - Edificio 2 oficina 212
Teléfono (54 11) 4724 6253 | 6490
Fax (54 11) 4752 5919
www.ue-inti.gob.ar



Presidencia de la Nación

INDUSTRIA