

Aplicación de técnicas de mejora en el diseño, fabricación y utilización de las máquinas-herramienta

Rosario Domingo Navas¹, Cristina González Gaya², Miguel Ángel Sebastián Pérez³, José A. Martínez Torres⁴
¹Dpto. de Ingeniería Mecánica. Universidad de La Rioja. C/ Luis de Ulloa, 20 (Edificio Departamental). 26004 Logroño. La Rioja. rosario.domingo@dim.unirioja.es

² Dpto. de Ingeniería de Construcción y Fabricación. ETSII. UNED. Apdo. 60149, 28080 Madrid. cggaya@ind.uned.es

³Dpto. de Ingeniería de Construcción y Fabricación. ETSII. UNED. Apdo. 60149, 28080 Madrid. msebastian@ind.uned.es

⁴Dpto. de Ingeniería de Construcción y Fabricación. ETSII. UNED. Apdo. 60149, 28080 Madrid. torres@ind.uned.es

Resumen

El presente artículo identifica las técnicas de mejora de la calidad del diseño, del proceso fabricación y de funcionamiento de aplicación en las máquinas-herramienta con relación a su aportación a la seguridad del trabajador. También se analiza su potencial utilidad en el entorno de las normas armonizadas europeas sobre seguridad en las máquinas y los condicionantes, fundamentalmente organizativos, que presentan.

1. Introducción.

La Directiva 98/37/CE [1] relativa a la aproximación de legislaciones de los Estados miembros sobre máquinas, que recopila las anteriores disposiciones europeas sobre seguridad en las máquinas (Directiva 89/392/CEE y Directiva 93/68/CEE) recoge los requisitos esenciales de seguridad que han de cumplir las mismas para la obtención del marcado "CE" y su posterior comercialización. En ella se refleja la necesaria identificación de los diferentes tipos de riesgos en el diseño y fabricación de las máquinas y la ausencia de los mismos durante su funcionamiento, así como diversas problemáticas tales como: a) el coste social derivado del número de accidentes provocados por el uso de las máquinas; b) las disposiciones de diseño y fabricación referentes a la reducción de riesgos han de estar acompañadas de otras dirigidas hacia la organización de la seguridad de los empleados en el lugar de trabajo; c) los requisitos de seguridad han de aplicarse considerando el nivel tecnológico y los imperativos técnicos y económicos y d) la conveniencia de disponer de normas armonizadas a nivel europeo relativas a la prevención de los riesgos derivados del diseño y fabricación de las máquinas.

En España el porcentaje de accidentes atribuidos a las máquinas en 1999 corresponde al 6,83% del total de los accidentes laborales y dentro de la industria manufacturera asciende al 11,81% [2]; además en función de los accidentes por aparato o agente material causante, durante el año 1999, en los procesos de fabricación con arranque de viruta el número de accidentes alcanza la cifra de 5079, mucho mayor que en otros procesos en los que no se emplean las máquinas-herramienta, como los de deformación con 2062 ó los de fundición con 1065. La figura 1 "Número de accidentes atribuidos a máquinas-herramienta" refleja la distribución por tipo de máquina. Asimismo en la figura 2 "Accidentes por la forma en que se producen" en la que se encuentran representados el porcentaje sobre el total [3] se advierte que aunque el porcentaje mayor corresponde a los sobreesfuerzos y en consecuencia presenta una clara relación con la ergonomía, en segundo lugar aparecen los golpes por objetos o herramientas con un 18,7%, a continuación el atrapamiento por/entre objetos con un 5,8% y

después la proyección de fragmentos o partículas con un 5,5%, lo que hace supone una implicación de las máquinas-herramienta ya que se caracterizan por la eliminación de material, el uso de múltiples herramientas y una alta velocidad de operación.

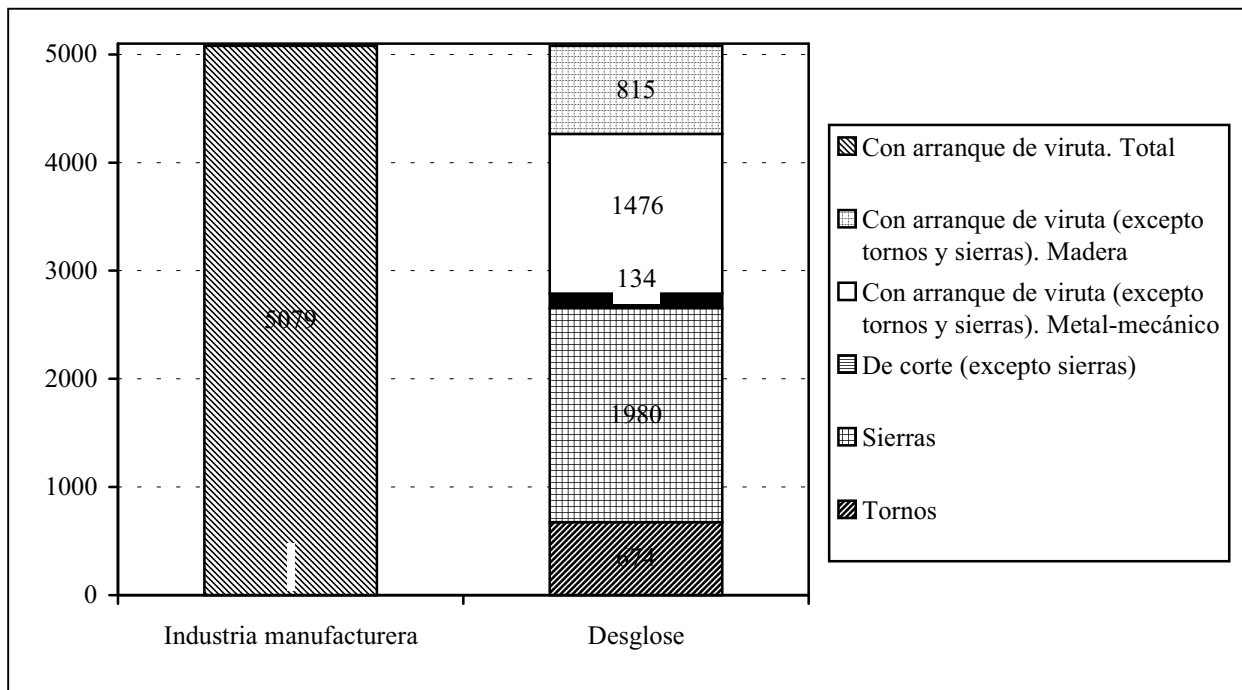


Figura 1: Número de accidentes atribuidos a máquinas-herramienta

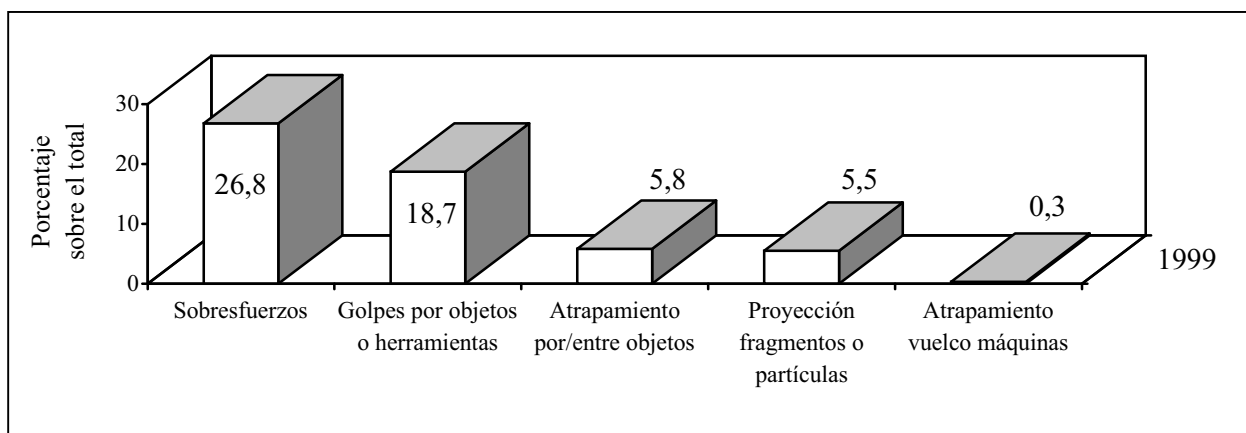


Figura 2: Accidentes por la forma en que se producen

La Directiva 98/37/CE [] de seguridad de las máquinas establece como procedimientos de evaluación de conformidad: la declaración "CE" de conformidad y el examen "CE" de tipo. De ambos, a las máquinas-herramienta les corresponde la declaración "CE", con la salvedad de sierras, cepilladoras y tupis que requieren el examen "CE" de tipo cuando están fabricadas sin considerar las normas armonizadas. En cualquier caso, estas últimas requieren de la intervención de un organismo de control pues cuando están fabricadas de acuerdo con normas armonizadas es quien verifica el expediente suministrado por el fabricante o el modelo de la máquina proporcionado. El examen "CE" de tipo afecta exclusivamente a la fase de diseño y requiere verificación por tercera parte; el fabricante debe presentar la documentación técnica de un producto tipo, representativo de la producción al organismo de control, quien levantará la declaración de conformidad, tras realizar las inspecciones y los ensayos oportunos.

La seguridad de una máquina es definida en la norma UNE-EN 292-1 [4], como "aptitud de una máquina para desempeñar su función, para ser transportada, instalada, ajustada, mantenida, desmantelada y retirada en las condiciones de uso previsto, especificadas en el manual de instrucciones sin causar lesiones o daños a la salud". En esta definición se encuentra un cierto paralelismo con la enunciada por Juran para la calidad de un producto, donde afirma que es "la adecuación al uso". De las definiciones de calidad recogidas por Reeves y Bednar [5], como valor -Feigenbaum-, conformidad con las especificaciones -Crosby-, pérdidas mínimas -Taguchi-, satisfacción de las expectativas del cliente o adecuación al uso- Juran- se ha optado por la de éste último debido a que abarca diversas connotaciones como son la planificación, el control y la mejora de la calidad, según describe en su trilogía de la calidad [6], que es compatible con las estrategias de seguridad recomendadas en la norma UNE-EN 291-1: prevención intrínseca, protección, información para la utilización y necesidad y utilidad de precauciones suplementarias [4].

Por cuanto antecede, y a pesar de la existencia de numerosas técnicas de prevención de la seguridad, como las enunciadas en la norma UNE-EN 1050 [7] o en la norma UNE 81905 [8] para el análisis de riesgos, se han considerado las relativas a la mejora de la calidad, para analizar la aportación de cada una de ellas a la seguridad y en concreto a su aplicación en las máquinas-herramienta debido a la gran flexibilidad que éstas presentan respecto las diferentes operaciones que pueden realizarse con ellas que hace que actualmente sean las de mayor difusión en la industria. Por tanto, los objetivos de este artículo, dentro de las directrices de la Directiva 98/37/CE y de la normativa armonizada europea, son los siguientes:

- i) Identificar las técnicas de mejora de la calidad del diseño y de la calidad del proceso que se adaptan mejor a las características intrínsecas de las máquinas-herramienta.
- ii) Determinar el efecto del empleo de las técnicas de mejora de la calidad en las fases de diseño y fabricación y utilización de las máquinas-herramienta.
- iii) Establecer los condicionantes externos que limitan la aplicación de las técnicas y los potenciales resultados a alcanzar.

2. Identificación de las técnicas de mejora.

En consonancia con cuanto antecede, se extraen las siguientes consideraciones: 1) el fabricante es en la mayoría de las ocasiones quien ha de autodeclarar la ausencia de riesgos sin necesidad de verificaciones por parte de terceros y 2) las técnicas de mejora de diseño han de ir dirigidas hacia mayores índices de seguridad junto con una reducción de los costes. Por consiguiente, las técnicas de mejora en las que se centra este artículo son aquellas que facilitan una seguridad integrada, es decir la búsqueda de la seguridad desde el diseño, mantenida durante su fabricación desde la perspectiva del usuario.

El índice de incidencia que representa el número de accidentes por cada mil trabajadores mantiene una tendencia creciente desde 1993 en el sector industrial como queda reflejado en la figura 3 "Índices de incidencia", elaborada a partir de datos procedentes del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales [9]; en 1999 se alcanzó la mayor cifra desde 1993, solamente superado por el sector de la construcción. Dentro de la industria, y por rama de actividad, en la figura 3 se recogen los datos de los sectores donde el uso de la máquina-herramienta es habitual: industria de la madera, fabricación de productos metálicos, construcción de

maquinaria, fabricación de automóviles y fabricación de otro material de transporte. En ella se observa como únicamente en automoción la tendencia es decreciente en los últimos años y además presenta los menores índices que la media del sector.

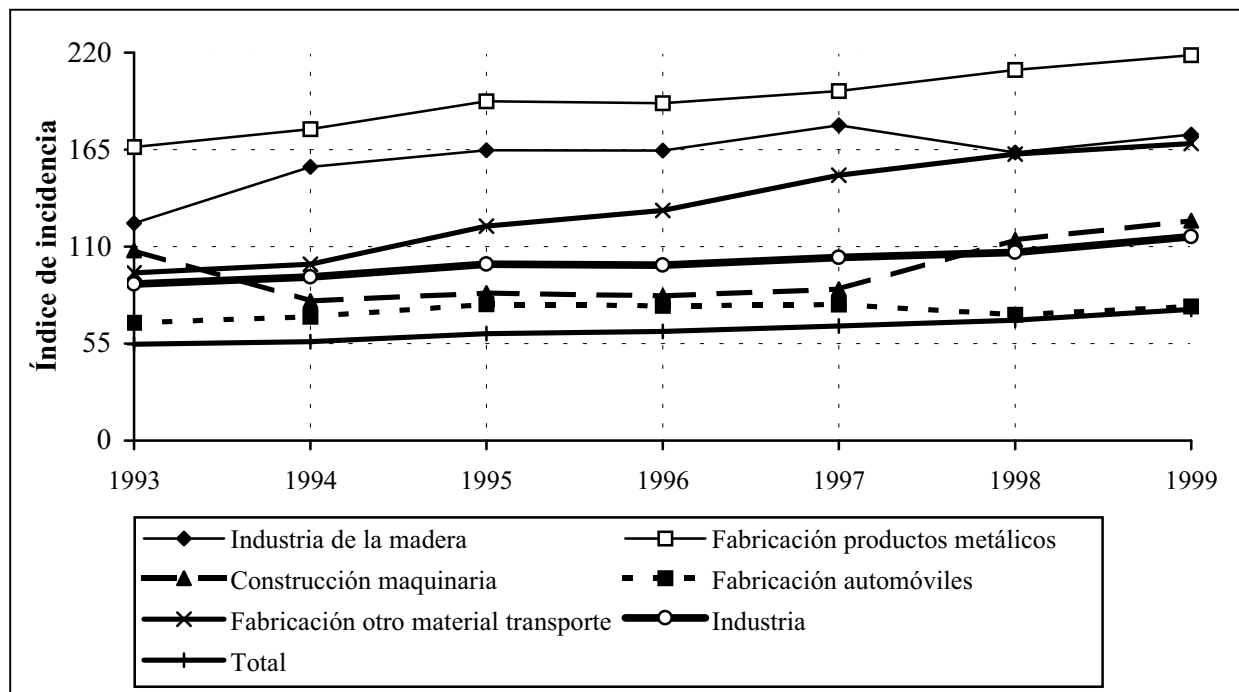


Figura 3: Índices de incidencia

La construcción de automóviles y su industria auxiliar se caracteriza por unas estrictas exigencias en términos de calidad. De hecho, en la especificación técnica ISO-TS 16949 [10] que unifica los referenciales de la calidad que los fabricantes norteamericanos, alemanes, franceses e italianos exigen a sus proveedores se recomiendan el empleo de una serie de técnicas de mejora. De todas ellas y teniendo en cuenta la prioridad de obtener un producto adecuado para su uso, se han identificado: el Análisis del Valor (AV), el QFD - Quality Function Deployment -, el DFM/A - Design for Manufacture / Assembly -, los sistemas antierrores y el Mantenimiento Productivo Total (TPM - Total Productive Maintenance -) como un paso adelante en el mantenimiento preventivo. Como se indica en los "Principios de integración de la seguridad" de la Directiva 98/37/CE y en la definición de seguridad de la máquinas de la norma UNE-EN 292-1, la máquina ha de ser apta para su función y para su regulación y mantenimiento, y la misma Directiva expone que es necesario lograr un ambiente de trabajo más seguro con disposiciones basadas en la organización de los trabajadores en el lugar de trabajo. Todo ello es posible con al combinación del conjunto de las técnicas mencionadas.

El AV es válido para el diseño y el rediseño y por tanto para la mejora con la finalidad de optimizar la relación función/coste y considerando el valor de uso del equipo. Está técnica se considera de especial interés para el diseño de aquellas máquinas intrínsecamente peligrosas, como las sierras que presentan una alto número de accidentes por la potencial reducción de costes y el aumento de la seguridad, sin alterar la función específica del equipo. En consecuencia es encuentra relacionada con la estrategia de prevención intrínseca en lo referente al diseño e incluso con las precauciones complementarias si fuera necesario un rediseño.

El QFD al traducir las necesidades del cliente en requisitos de diseño permite extrapolar la idea de cliente interno de la gestión de la calidad hacia la seguridad. Esto enlaza con los usos actuales de esta herramienta expuestos por Franceschini y Rupil [11] fundamentalmente en la definición de las prioridades técnicas de diseño para nuevos productos. Para garantizar la eficacia de estas medidas mediante el uso del QFD es vital definir la escala utilizada para determinar las relaciones y prioridades en términos de seguridad, pues los resultados pueden variar en función de la seleccionada, como han manifestado Franceschini y Rupil [11] y Park y Kim [12]. Proporciona una metodología que puede aplicarse en tres de en las estrategias de prevención intrínseca, protección y precauciones suplementarias.

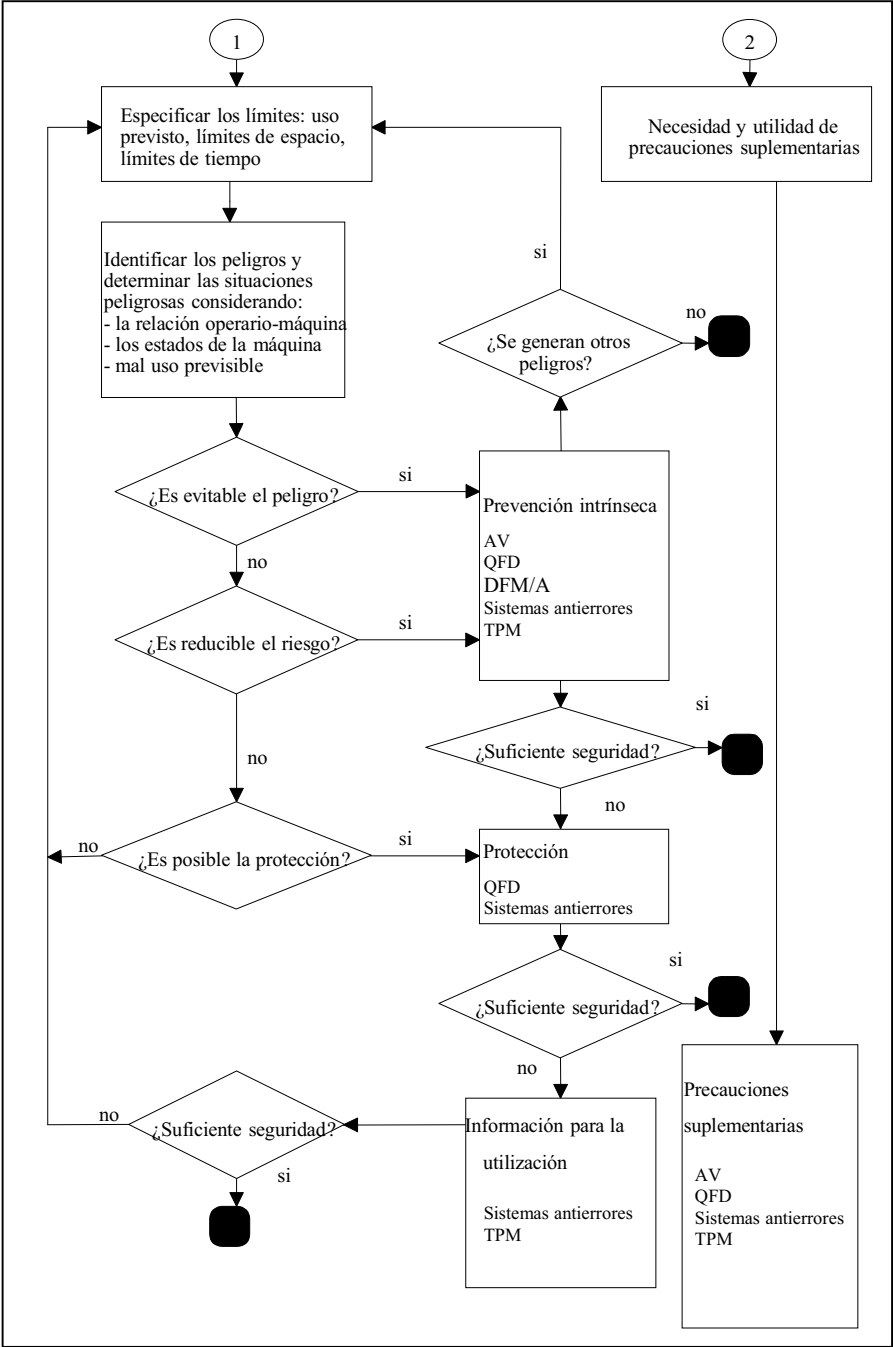


Figura 4: Medidas de seguridad y técnicas de mejora

El DFM/A facilita el análisis de un producto de forma que se determinen su coste y su tiempo de ensamble y así intentar simplificar las operaciones mediante la eliminación de piezas [13]. Para cada pieza se plantea si se mueve en relación a otras piezas, si es necesario que su material sea diferente y su podría combinarse con algún otro componente perdiendo funcionalidad; la respuesta negativa a cada una de estas cuestiones puede dar lugar a un componente único, con lo que se facilita la seguridad en el lugar de trabajo reduciendo los peligros de enganche, errores de montaje, la caída o proyección de objetos, entre otros, por tanto, su aplicación provoca beneficios tanto en el fabricante como en el usuario de la máquina-herramienta. Por tanto para realizar un DFMA se requiere la utilización de un número mínimo de piezas multifuncionales, pocas variaciones de las piezas, minimización de las direcciones de ensamble diferentes, reducción de las operaciones de manipulación y simplificación de los ajustes de las máquinas. Todo ello lleva a un incremento de la fiabilidad y la mantenibilidad y en consecuencia se encuentra vinculado con la prevención intrínseca.

El sistema antierrores se dirige hacia el establecimiento de sistemas de autocontrol capaces de prevenir equivocaciones causadas por los operarios durante su trabajo. En este sentido facilita la prevención intrínseca, la protección, la información para la utilización así como las precauciones suplementarias.

El TPM persigue la mejora de los equipos por medio de la implicación de toda la organización desde operario hasta la dirección Aunque dentro de los objetivos del mantenimiento se encuentran la mejora de la calidad y de la seguridad, del TPM destaca la introducción de la tasa de calidad en la medida de la eficacia de los equipos junto con la eficiencia de funcionamiento y la disponibilidad de los mismos. Por consiguiente se encuentra relacionado con la prevención intrínseca respecto a la fiabilidad de los componentes y el autocontrol, también con la información para la utilización y con las precauciones suplementarias respecto a las disposiciones para la mantenibilidad de las máquinas y la disposición de sistemas de diagnóstico que faciliten la localización de averías y su reparación.

En la figura 4 "Medidas de seguridad y técnicas de mejora", adaptada de la norma UNE-EN 291-1 se resumen las relaciones mencionadas entre las diversas técnicas y las estrategias para seleccionar las medidas de seguridad.

3. Efecto de la aplicación de las técnicas de mejora.

Los efectos de la aplicación de las anteriores técnicas de mejora cuando el objetivo es el aumento de la seguridad son los siguientes:

- Una reducción del coste generada por la sustitución de algunos materiales como consecuencia de una AV, de la necesidad de un menor número de piezas como resultado de un DFM/A y de un menor número de averías debido a la aplicación del TPM.
- Una comunicación vertical fluida dentro de la organización al estar involucrados los trabajadores en tareas preventivas que redundan en una mayor satisfacción.
- Mayor velocidad de operación.

Aunque tal y como aparece en la figura 4, técnicas como los sistemas antierrores forman parte de las cuatro estrategias de seguridad, su uso extendido en la fase preventiva puede evitar la toma de precauciones suplementarias al quedar garantizada la seguridad previamente. No obstante, con esta técnica es más sencillo subsanar los errores de detección, localización y

corrección en los sistemas hombre-máquina, quedando los de prevención para las técnicas de diseño. Esos sistemas junto con la formación de los operarios constituyen los pilares fundamentales para eludir los accidentes durante los procesos [14].

4. Condicionantes externos en la aplicación de las técnicas de mejora.

Para llevar a la práctica técnicas como el TPM es necesaria la colaboración de los operarios, de forma que la formación de los trabajadores se convierte en un pilar esencial, así como la motivación y la participación de los empleados. Por ello, el diseño, la fabricación y la utilización de las máquinas-herramienta se ven directamente relacionados con aspectos propios del TQM inherentes a la propia gestión industrial; de hecho, algunos estudios empíricos como el llevado a cabo por McKone, Schroeder y Cua [15] sobre el TPM revelan que su implantación depende de factores relativos a la gestión de la empresa y requiere de cambios a nivel organizativo [16]. A su vez, la aplicación de técnicas como el DFMA o el AV requieren de la intervención de equipos multidisciplinares que aporten la experiencia y los conocimientos específicos; por todo ello la participación del personal procedente de los Servicios de Prevención puede ser esencial. En este sentido, la utilidad de estas técnicas se ve supeditada no tanto por los conocimientos técnicos sino también por la actitud de la Alta Dirección. El empleo del DFMA en el diseño y fabricación de las máquinas-herramienta se ve condicionado por la cantidad de unidades a fabricar para que compense el tiempo invertido en la fase de diseño.

En este sentido los sistemas integrados de gestión -calidad, medio ambiente y seguridad- pueden facilitar la incorporación de estas técnicas tanto por su carácter preventivo como de mejora [17]. Los organismos de control se limitan a verificar el estricto cumplimiento de la norma pero no constituyen un elemento dinamizador del proceso. Al igual que en algunos sectores se considera un factor positivo la implantación de ISO 9000 o ISO 14001 para la adjudicación de contratos, sería deseable que sucediera lo mismo con las técnicas de mejora.

Sería conveniente que la normativa referida a las máquinas-herramienta vinculara sus contenidos con los de las normas desarrolladas para las técnicas de mejora, en aras a facilitar su utilización, así como las normas vinculadas con la Directiva de Seguridad. La realización de todas ellas por distintos comités 66, 15, 144 y 203 -Calidad, Máquinas-herramienta, Gestión y Análisis del Valor y Seguridad de las Máquinas respectivamente- dificulta lo anteriormente expuesto, pues en cada norma se encuentra una relación de la normativa relacionada, pero de su propio comité, careciendo de vinculaciones transversales. Este aserto está en consonancia con la Directiva 98/37/CE, donde se indica la necesidad de mejorar el marco legal del proceso de normalización para facilitar las contribuciones de empresarios y operarios.

Referencias.

- [1] Directiva 98/37/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de junio de 1998 (1998) “Relativa a la aproximación de legislaciones de los Estados miembros sobre máquinas”, *DOCE*, L207 de 23 de Julio.
- [2] Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, (2001) “Accidentes en jornada de trabajo con baja según sección de actividad por aparato o agente material causante”, <http://www.mtas.es/Estadisticas/EAT/ACT/aii8.htm>

- [3] Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, (2001) “Accidentes en jornada de trabajo con baja según gravedad por forma en que se produjeron”,
<http://www.mtas.es/Estadisticas/EAT/ACT/aii3.htm>
- [4] UNE-EN 292-1, (1991) “Seguridad de las máquinas. Conceptos básicos, principios generales para el diseño. Parte 1: terminología básica, metodología”, AENOR, Madrid.
- [5] Juran J. M., 1989, *Juran on Leadership for Quality*, (Juran Institute, Inc).
- [6] Reeves, C. y Bednar, D.A., (1994) “Defining quality: alternatives and implications”, *Academy of Management Review*, 19, pp. 419-445.
- [7] UNE-EN 1050, (1997) “Seguridad de las máquinas. Principios para la evaluación del riesgo”, AENOR, Madrid.
- [8] UNE 81905 EX, (1997) “Prevención de riesgos laborales. Guía para la implantación de un sistema de gestión de la prevención de riesgos laborales (S.G.P.L.)”, AENOR, Madrid.
- [9] Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, (2001) “Índices de incidencia por sector o rama de actividad”,
<http://www.mtas.es/Estadisticas/EAT/IND/ii1.htm>
- [10] ISO-TS 16949, (2000) “Sistemas de la calidad. Suministradores del automóvil. Requisitos particulares para la aplicación de la norma UNE-EN ISO 9001:1994”, AENOR, Madrid.
- [11] Franceschini, F. y Rupil, A., (1999) “Rating scales and prioritization in QFD”, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 16, pp. 85-97.
- [12] Park, T. y Kim, K-J., (1998) “Determination of an optimal set of design requirements using house of quality”, *Journal of Operations Management*, 16, pp. 567-581.
- [13] Boothroyd, G. Dewhurst, P. y Knight, W., (1994) “Product Design for Manufacture and Assembly”, Marcel Dekker, Inc, New York.
- [14] Kontogiannis, T., (1999) “User strategies in recovering from errors in man-machine systems”, *Safety Science*, 3, pp. 49-58.
- [15] McKone, K.E., Schoroede, R.G. y Cua, K.O., (1999) “Total productive maintenance: a contextual view”, *Journal of Operations Management*, 17, pp. 123-144.
- [16] Lawrence, J.L., (1999) “Use mathematical modeling to give your TPM implementation effort an extra boost”, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 15, pp. 62-69.
- [17] Domingo, R. (1999). “Estudio de la integración de sistemas certificados de calidad, medio ambiente y seguridad”, *Tesis Doctoral*, Dpto. de Ingeniería de Construcción y Fabricación, UNED.