



Lean Manufacturing

la experiencia de Enusa

Introducción

Enusa Industrias Avanzadas es un grupo empresarial que presta sus servicios en distintos sectores, tales como energía nuclear, medicina nuclear, esterilización de productos, transporte de mercancías peligrosas, gestión de proyectos medioambientales y producción de cerámicas de altas prestaciones.

En este artículo describiremos nuestra experiencia en la fábrica de producción de combustible para centrales nucleares.

El mercado de combustible nuclear se caracteriza por ser un sector liberalizado, con una dinámica de concentración de clientes y productores y con un exceso de capacidad de fabricación. La fuerte competitividad hace que se persiga de manera simultánea la mejora de la calidad de nuestros productos junto con la reducción de costes de producción. Ambos objetivos, que parecen antagonistas, pueden lograrse eligiendo y aplicando de manera correcta distintas herramientas de mejora en la gestión de la producción.

Enusa ha encontrado en la aplicación simultánea de los métodos de Lean Manufacturing y Seis Sigma un sistema potente y práctico para hacer frente a los múltiples y diferentes problemas que se puedan presentar.

Partamos de una pequeña reseña histórica de cuándo y cómo iniciamos el camino que ahora viene a denominarse de la "excelencia". Enusa comenzaba con la experiencia que supone la aplicación de las normas de garantía de calidad obligatorias dentro del sector, estas normas suponían la estructuración de un sistema de calidad enfocado a garantizar la seguridad de la operación o del impacto del suministro en la seguridad. Evidentemente este enfoque, absolutamente necesario en nuestro sector, no era suficiente para competir en un mercado altamente tecnificado y competitivo. En 1995 logramos la certificación ISO-9001 e iniciamos el camino de la "Calidad Total" de la mano de consultores externos, esta etapa fue necesaria como fase de aprendizaje y

culminó con la decisión estratégica del lanzamiento del programa de mejora continua, basado en la metodología Seis Sigma, con la ayuda de nuestro socio General Electric. Esto nos supuso una fuerte transformación cultural que nos proporcionó una filosofía de actuación muy diferente. Seis Sigma es una herramienta muy potente pero nos faltaba cubrir algunas áreas de la gestión de la producción que Seis Sigma no cubría adecuadamente, desde el año 2001 empezamos a trabajar con los métodos "Lean" incorporados a nuestro programa Seis Sigma.

Metodologías de mejora:

¿qué es lo crítico?

Muchas veces surge la pregunta sobre el uso de Seis Sigma, de su diferencia con el TQM, si Lean Manufacturing es similar, etc., en fin, preguntas enfocadas al proceso y al método pero nunca a lo realmente crítico. Existen múltiples sistemas de gestión (EFQM, ISO 9001, etc.), existen diversas metodologías de mejora (Seis



y Seis Sigma, Industrias Avanzadas

Sigma, Lean Manufacturing, Gemba-Kaizen, etc.) y diferentes herramientas (5S, QFD, DOE, VSM, SMED, etc.). Para estructurar un programa de mejora es necesario tener en cuenta dos aspectos fundamentales; por un lado, el objetivo estratégico que queremos lograr y, por otro, los sistemas, metodologías y herramientas que conocemos o que tenemos accesibles. Esta fase es fundamental puesto que de una correcta visión y de una adecuada selección de la metodología dependerá en gran manera el éxito del programa, que no puede ser otro que el logro de resultados económicos.

Puesto que este artículo trata de Seis Sigma y Lean Manufacturing empezamos tratando de describir brevemente ambas metodologías:

- Seis Sigma es un marco estructurado que busca resultados económicos a través del control de la variabilidad de aquellas características de producto o servicio que son críticas para los clientes externos e internos. Requiere del método científico y

de expertos, ya que busca actuar sobre las causas raíz de la variabilidad.

- Lean Manufacturing es una técnica que busca como objetivo la eficiencia operativa en el sistema de producción eliminando todo aquello que no tiene valor. Básicamente tiene como finalidad maximizar la velocidad de producción (ciclo del tiempo) con un aprovechamiento óptimo de recursos. Normalmente opera sobre lo visible (síntomas).

Ambas comparten dos aspectos básicos: rentabilidad de la inversión y el soporte de la dirección de la empresa.

Las dos se complementan, Lean Manufacturing actúa sobre los síntomas de una variedad de parámetros (despilfarros: inventario, movimientos, esperas, etc.) de una manera rápida y Seis Sigma ayuda con el análisis de las causas evitando su repetición. Seis Sigma también pone a disposición una estructura de actuación mediante proyectos y expertos (que bien pueden serlo en ambas metodologías).

Seis Sigma y Lean Manufacturing en fabricación de combustible

Como ya hemos mencionado, los parámetros del mercado requieren de los suministradores la paulatina reducción de los plazos de fabricación debido a los costes financieros del uranio. Por ello, desde hace un tiempo existe una gran preocupación sobre tres aspectos fundamentales: la calidad del producto, el "ciclo del tiempo" (velocidad de producción y acortamiento de plazos a los suministradores) y el coste de producción. Buscábamos herramientas que nos permitiesen simultáneamente seguir incrementando calidad, disminuir costes y acortar plazos.

Tras el estudio de las metodologías disponibles, del análisis de nuestra cultura como fábrica y de los objetivos perseguidos, adoptamos el uso integrado de Seis Sigma y Lean Manufacturing. La metodología Seis Sigma es aplicada en toda su extensión, refiriéndose a los ciclos DMAIC (definir-medir-analizar-mejorar-controlar) y DFSS (diseño para



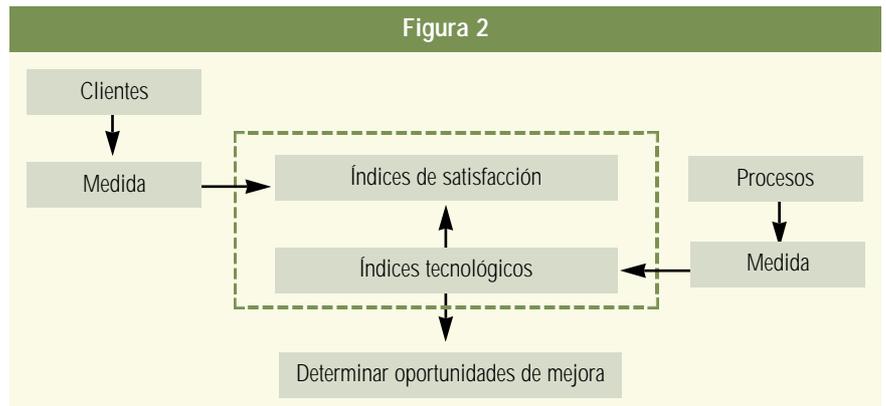
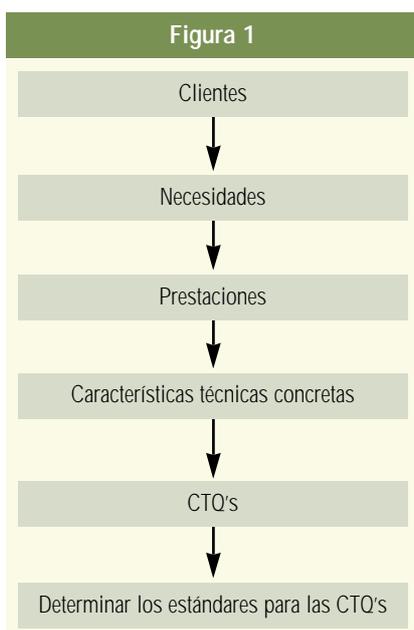
Seis Sigma). En lo relativo a Lean Manufacturing, adoptamos las herramientas de TPM, el método de producción CONWIP y con menos intensidad usamos esporádicamente otras herramientas (5S, VSM, etc.).

El objetivo que nos marcamos puede resumirse con la siguiente frase:

“Buscamos aumentar la satisfacción de nuestros clientes y por tanto nuestra competitividad, a través de un marco estructurado que nos permita mejorar, de manera simultánea, aquellos aspectos críticos para el cliente (CTQ: Critical to Quality) y aquellas áreas del proceso que son críticas para nuestros costes (CTC: Critical to Cost), todo ello sin merma ninguna de la seguridad de nuestra instalación y con el máximo respeto al medio ambiente.”

La estructura de mejora que seguimos es la creada por Seis Sigma, en la cual se ejecutan proyectos continuos de mejora con tres enfoques diferentes:

- Logro y mantenimiento de altos niveles de calidad.



- Reducir plazos de fabricación y disminuir costes operativos.
- Proyectos de mejora en seguridad y medio ambiente.

Para llevar a cabo estos proyectos se formó el llamado Grupo de Mejora de Calidad de Fabricación, que está dirigido por el Jefe de Fabricación y al cual pertenecen los responsables de las Unidades de Producción, Ingeniería de Calidad, Laboratorio, Mantenimiento, Desarrollo de Proceso, Ingeniería de Producto y Gestión de la Producción. Este grupo permanente tiene asignado un Máster Black Belt que presta soporte a todos los proyectos con independencia de su enfoque, es decir, ya sea de Seis Sigma o de Lean Manufacturing.

Existen, asimismo, dos Grupos de Mejora de Calidad (GMC) para impulsar y coordinar los proyectos de mejora en seguridad y acopios.

Seis Sigma parte de las necesidades del cliente. Cuando hablamos de cliente, hemos de diferenciar de cuál de ellos hablamos. Si el objetivo de negocio está en aumentar la cuota de mercado y fidelizar al cliente estaremos hablando del cliente usuario del producto. Hay otro “cliente”, muy importante, como es el accionista que busca el logro de un umbral mínimo de rentabilidad a su inversión, aquí se encuadran los proyectos de reducción de coste. También nuestros empleados son clientes y hemos de desarrollar proyectos

enmarcados en el aumento de la seguridad (PRL, Nuclear y Protección Radiológica).

Cuando iniciamos un proyecto, ya sea Seis Sigma o Lean, partimos del esquema representado en la *figura 1*.

Una vez determinados los CTQ y los valores esperados, hemos de desplegar hasta el nivel proceso asegurando la correcta correlación entre los índices de satisfacción y los de proceso (*ver figura 2*).

Una vez determinadas las oportunidades de mejora, se lanzan los proyectos previa priorización y análisis coste-beneficio (*ver figura 3*).

Todo este esquema Seis Sigma es aplicable a cualquier tipo de proyecto, ya sea de mejora de calidad (producto o servicio), de eficiencia de producción o de reducción de costes.

Puesto que de lo que aquí se trata es de ver cómo conviven de manera integrada ambos sistemas, pasemos a describir algunos ejemplos ilustrativos.

Proyectos de mejora de calidad de producto

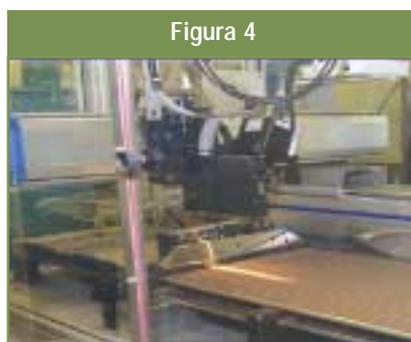
Como hemos mencionado, estos proyectos se enmarcan dentro del objetivo de aumentar la calidad de nuestros productos. Están fuertemente correlacionados con alguna de las CTQ (Critical To Quality) del cliente.

- *Objetivo de negocio:* Cuota de mercado y fidelización.



- *Necesidad del Cliente CTQ:* Operar el reactor sin problemas (Fiabilidad).
- *Despliegue de la necesidad a proceso de fabricación:* Cumplimiento a la primera de requisitos calidad en los procesos de soldadura.
- *Índices técnicos de proceso:*
 - Índice de fiabilidad de producto.
 - Índice de calidad de fabricación a la primera.
 - Medición de errores tipo II en la inspección.
- *Medida de Satisfacción del cliente y comparación con la competencia.*
- *Ejecución de Proyectos de mejora.* Ejemplos.

- *Pastillas.* Sistema de inspección de pastillas por visión artificial. Se buscaba mejorar el error beta de la inspección. El sistema entró en operación en mayo de 2002 (ver figura 4).
- *Barras.* En los procesos de soldadura de barras se han ido incorporado nuevas fuentes de potencia con sistemas de "soft start". Este sistema disminuye aún más la posibilidad de contaminar con W la soldadura en los inicios de arco, aspecto éste importante ya que es una posible causa de fallo en operación por potencial pérdida de resistencia a la corrosión.
- *Resultados.* Se observa una paulatina mejora en el transcurso de los años habiendo logrado el objetivo de poner el proceso por encima de las 5 sigmas de calidad (ver figura 5).



Proyectos de mejora operativa de producción: Lean Manufacturing y Seis Sigma

El objetivo de estos proyectos es reducir los tiempos de fabricación mejorando costes operativos.

El primer paso fue evaluar y definir el método y las herramientas necesarias para el logro del objetivo. Decidimos como herramienta más adecuada la adopción de los conceptos de TPM:

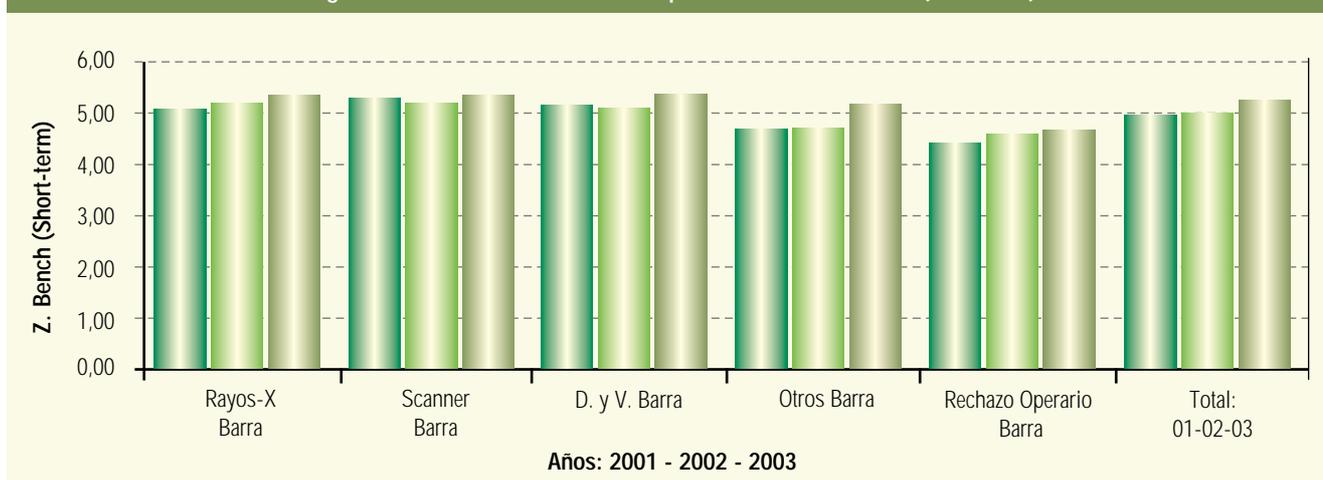
$$\text{Capacidad Real} = \text{Capacidad Técnica/turno} \times \text{Número turnos} \times \text{OEE}$$

$$\text{Eficiencia de línea (OEE)} = \% \text{Calidad} * \% \text{Disponibilidad} * \% \text{Uso}$$

Existen pues 5 parámetros que pueden ser trabajados de manera independiente, cuyo resultado es multiplicador:

- *Capacidad Técnica/turno:* Este parámetro está controlado por la Ingeniería de Proceso. El tiempo de fabricación se puede dividir tecnológicamente en dos conceptos:
 - Tiempo de transformación (añadiendo valor).
 - Tiempo de espera y movimiento entre equipos (coste).

Figura 5: Índices de calidad en inspección de barras PWR (evolución)





- **Calidad:** es un parámetro que sirve a dos fines, la calidad que requiere el cliente (CTQ: Critical To Quality) que tiene motivación externa y la calidad que requiere el proceso (CTC: Critical To Cost), cuya motivación es interna y ayuda a incrementar la eficiencia interna de la fábrica.
- **Disponibilidad:** Es el porcentaje (%) en tiempo que la línea está disponible para fabricar y, por tanto, para añadir valor. Es un parámetro gobernado por las organizaciones de Desarrollo de Proceso y Mantenimiento. Las dos formas de actuación que se están introduciendo aquí, son: el DFSS-DFR (Diseño para Seis Sigma-Diseño para Fiabilidad) y el RCM (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad).
- **Uso:** Este parámetro indica el porcentaje de tiempo que estando la línea disponible, realmente es utilizada para fabricar. Es un parámetro de Gestión de la Producción. De cara a aprovechar al máximo el uso, se ha adoptado una metodología de producción llamada CONWIP-HYBRID (Constant Work In Process-Kamban). Esta metodología básicamente implica que la explotación de una línea ha de hacerse a su máxima capacidad o en su defecto pararla. Se adopta el sistema híbrido que significa tener algún almacén intermedio, diseñado previamente, para equilibrar las líneas y adaptarlas al producto. El sistema nos ayuda a gestionar la subactividad reenfoicándola a tareas de automantenimiento o reforzamiento de los cuellos de botella.
- **Gestión de Turnos:** consiste en la generación de estándares de producción por producto para la minimización de tiempos.

De la aplicación de estos conceptos podemos mencionar la línea de actuación seguida en estos proyectos:

- **Objetivo de negocio:** Crecimiento. Mantenimiento de márgenes.

- **Necesidad del Cliente (Accionista) CTC:** Rentabilidad.
- **Despliegue de la necesidad a proceso de fabricación por mapa de valor (Value Stream Map).**
- **Índices técnicos de proceso:**
 - Capacidad de fabricación en base y en pico.
 - Tiempos de fabricación.
 - Margen de la explotación.
- **Medida de satisfacción del cliente y comparación con la competencia:** umbral de rentabilidad.
- **Proyectos Seis Sigma-Lean Manufacturing:**
 - Proyecto estratégico: Nuevo establecimiento en planta (*Lay-Out*). Busca aumentar la capacidad técnica global (primer parámetro de la fórmula anterior). Este proyecto está en proceso de implantación.
 - Proyectos de Mejora: Identificación y actuación sobre los cuellos de botella, actuando sobre los 5 parámetros simultáneamente.

A modo de ejemplo, describimos brevemente a continuación el proyecto de aumento de capacidad en un cuello de botella:

1. Medida

- Determinación de cuello de botella en base a datos históricos.
- Determinación de la situación actual:

- Capacidad real: x Kg/turno.
- Capacidad Técnica: y Kg/turno.
- OEE: $x/y = 60\%$.

2. Análisis

- Toma de datos directa de OEE en diferentes términos de calidad, uso y disponibilidad. Distribución de la pérdidas, de rendimiento OEE (40%) en:
 - Calidad aguas abajo del cuello de botella.
 - Pérdida de uso.
 - Pérdida de disponibilidad.
- Determinación de causas en cada categoría. Mediante el análisis de Pareto y cálculo, de la función de transferencia entre los distintos componentes, podemos determinar las causas principales y las causas de la variabilidad:
 - Calidad aguas abajo: utillajes y velocidad de rectificado.
 - Pérdida de uso: gestión de micro y macro paradas.
 - Pérdida de disponibilidad: averías en sistema de transporte (por MTBF y MTO: tiempo medio entre fallos y tiempo medio a operación).

3. Mejora

- Determinación del objetivo de mejora: 10% de aumento de capacidad.
- Decisión de ataque global (lo importante es el resultado global y no los parciales).

Figura 6

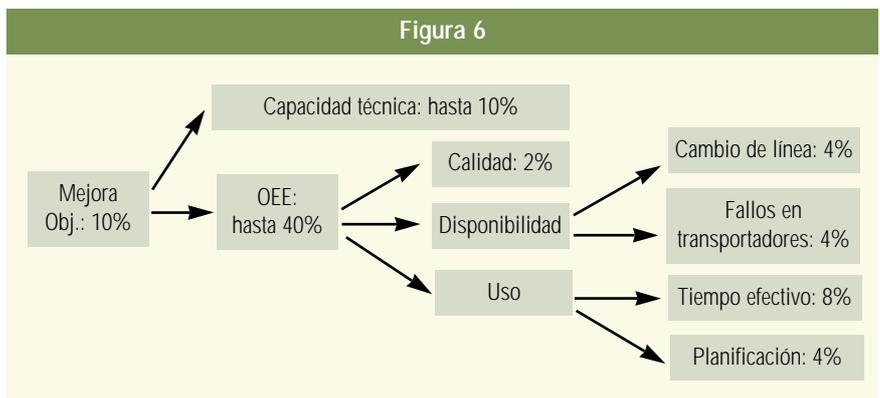
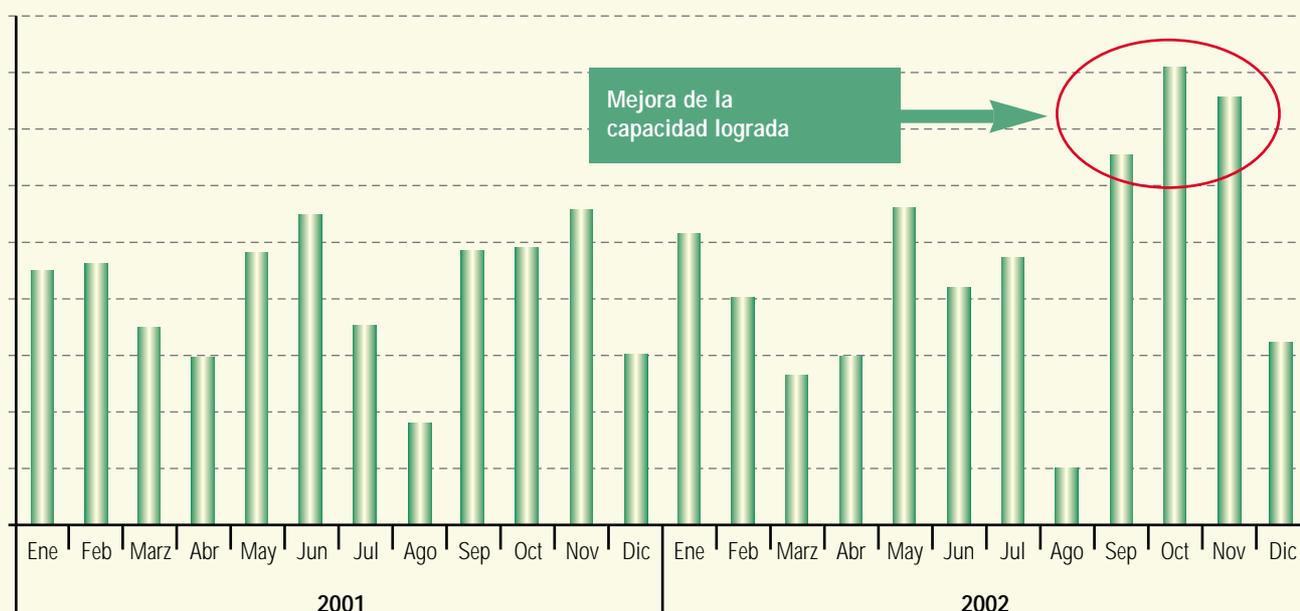


Figura 7: Plan de Acción. Presas de UO₂

Acción de Mejora	¿Quién?	¿Cuándo?	Tipo Acción
1ª Aumentar la longitud de la pastilla	P/IC	Implantado	CT
2ª Velocidad de prensas un 10% superior	P	Implantado	CT y Q
3ª Cambiar la prensa por otra velocidad 25% superior	Dirección	POA-2003	CT
4ª Eliminar la marca de Enriquecimiento de punzones de prensado	P/DEI	Implantado	CT
5ª Cambio del diseño del sistema de transporte (Cinta del Robot de Poliéster y/o nuevo diseño)	DEI	Implantado	Disp
6ª Ascensor exterior de "X" Bidones	Dirección	POA 2004	Uso
7ª Renovar utillaje de hornos 40%	Dirección/P	Implantado	Q
8ª Rectificar a menos velocidad	P	Implantado	Q
9ª Programar a máxima capacidad (CONWIP)	GP	Implantado	Uso
10ª Mejora de tiempo de trabajo efectivo	P	Implantado	Uso
11ª Implantar RCM	MAN	2003	Disp

Figura 8: Producción de Enusa 2001-2002



- Tormenta de ideas de mejora.
- Análisis de ideas: coste frente a beneficio (en logro de los objetivos: 10%).
- Potencial de mejora en base a las ideas y distribución: 10% frente a 32 %. Garantía de éxito (ver figura 6).
- Plan de Acción (ver figura 7).
- Resultados obtenidos (ver figura 8).

Conclusiones

La experiencia de Enusa Industrias Avanzadas en la aplicación de un sistema integrado de mejora usando Seis Sigma y Lean

Manufacturing es altamente positiva. Ambas metodologías se complementan de tal manera que su uso permite acometer cualquier tipo de necesidad de mejora en cualquier área. El uso de una estructura de mejora permanente, disponer de unos expertos en los métodos y herramientas, el uso del método científico, el ataque simultáneo de síntomas y causas raíz, el control de variabilidad y, sobre todo, el cambio cultural que todo esto supone hace que la empresa progrese con una gran dinámica hacia el logro de los resultados empresariales marcados.

Para terminar, me gustaría señalar que este programa de eficiencia operativa que brevemente he descrito en este artículo lo he circunscrito al entorno de fabricación ya que es más cercano y entendible. No debemos olvidar que este programa puede ser aplicado a nivel global en la empresa usando la filosofía de trabajo Seis Sigma y Lean Enterprise.

JAVIER MONTES / Jefe de Fabricación de Enusa Industrias Avanzadas y Presidente del Comité de Seis Sigma de la AEC