

Libro blanco

La ley del más fuerte: el control de procesos es imprescindible

En tiempos difíciles, los fabricantes intentan reducir sus costes operativos, pero es posible que no puedan afrontar el gasto necesario para su recuperación adquiriendo nueva maquinaria más productiva. Con esta vía cerrada ¿qué otras opciones quedan para recortar radicalmente los costes sin reemplazar las máquinas existentes? En este artículo se analizan cuatro áreas en las que es posible conseguir un ahorro considerable, siempre que las empresas estén dispuestas a modificar sus sistemas de control en los procesos de mecanizado.

¿Dónde se encuentran las oportunidades para reducir los costes?

Si está dispuesto a...

- reducir los procesos manuales atendidos
- reducir el tiempo improductivo, como el reglaje o las esperas de operarios
- reducir las piezas desechadas, la repetición de trabajos y las concesiones
- reducir los costes de inspección

... entonces debe concentrarse en eliminar los procesos manuales y buscar las causas en los fallos de estos procesos.

Estos dos objetivos están estrechamente relacionados, ya que gran parte de los errores de conformidad de muchos procesos se deben a la intervención humana. No obstante, eliminar los procesos manuales no es suficiente – también debemos prestar mucha atención al entorno operativo y a la propia máquina, definiendo los procesos antes de iniciar el mecanizado y los controles durante el proceso antes de iniciar la producción.

En este artículo se describe un modelo sencillo que explica el origen de los errores de conformidad de los procesos y los métodos de control para evitarlos.

Las medidas de mejora tienen un alcance limitado

Las técnicas de mejora de la producción permiten a los fabricantes agilizar el flujo de trabajo en sus factorías para reducir el número de piezas desechadas, los tiempos de reglaje y preparación, y los trabajos en curso. Estas mejoras suponen un ahorro considerable, pero sólo funcionan correctamente si los procesos de mecanizado son previsibles, repetibles y producen piezas conforme a la norma. Si esto no se cumple, es imposible eliminar los cuellos de botella, los retrasos y las piezas de baja calidad.

En consecuencia, la clave de la productividad previsible consiste en combatir las variaciones en el origen, aislando las causas desde la raíz para tratarlas individualmente. Puesto que se corrige cada origen subyacente de la variación, la tarea de control de salida de los procesos se realiza mucho más fácilmente.



La Productive Process Pyramid™ muestra cómo pueden utilizarse los niveles de control para eliminar sistemáticamente la variación de los procesos de mecanizado.

La pirámide del proceso productivo (Productive Process Pyramid™)

La Pirámide (arriba) se divide en cuatro niveles de control de procesos relacionados entre sí, que deberán considerarse para fabricar piezas que cumplan la norma. Empezando desde la base:

- En el nivel de **base de los procesos** se proporcionan las condiciones estables sobre las que la máquina puede realizar el trabajo. Estos controles preventivos reducen el número de orígenes de variación antes de iniciar el mecanizado.
- El siguiente nivel es la **preparación de procesos**, que trata de las fuentes previsibles de variación, como la ubicación de la pieza, el tamaño de las herramientas y las compensaciones de la Máquina-Herramienta que pueden provocar una falta de conformidad en la primera pieza.
- El tercer nivel es el **control durante el proceso**. Este nivel trata las fuentes de variación propias del mecanizado: desgaste de herramientas y variación de temperaturas – proporcionando información inteligente al proceso a medida que se realiza dicho mecanizado.
- Por último, llegamos al nivel de **supervisión de post-procesos**, donde se comprueban, primero el proceso y finalmente la pieza, según sus respectivas especificaciones. Algunos de estos aspectos pueden completarse en la máquina, pero la mayoría de las tareas se realizan por separado.



Calibrado de una máquina con un interferómetro láser

Si se trata de conseguir una alta capacidad de proceso y una productividad previsible, el mejor enfoque sería completar estos niveles de abajo hacia arriba. En la base de la Pirámide las tareas son más genéricas, por tanto, pueden aplicarse extensamente con más facilidad. A medida que se van superando los niveles, los controles empiezan a depender más del proceso, en consecuencia, su alcance es más limitado. Por consiguiente, tiene sentido aplicar estos controles más estrechos sólo cuando se hayan solucionado las variaciones subyacentes, de lo contrario, se habrá diluido el retorno en esta inversión.

A continuación se explica más detalladamente cada nivel por orden.

Base de los procesos

Los controles del nivel base de la Pirámide están orientados a maximizar la estabilidad del entorno en el que se va a realizar el proceso. Estos controles preventivos impiden que las causas especiales de variación tengan un impacto en el proceso de mecanizado.

Los controles del nivel base del proceso incluyen:

- **Diseño para fabricación:** una aproximación al producto y al diseño del proceso basada en un conocimiento exhaustivo de la capacidad actual, tratando de lograr unas mejores prácticas en vez de 'reinventar la rueda'. Basado frecuentemente en un enfoque de 'características estándar', incluye la racionalización de las herramientas y la estandarización de los parámetros de mecanizado. Su efecto trata de reducir la variación entre procesos, permitiendo a los técnicos lograr mejoras de largo alcance después de identificar las nuevas mejores prácticas.
- El control de **entradas de procesos** incluye el uso de FMEA (análisis de fallos y efectos) y técnicas similares para comprender y controlar todos los factores previos que pueden alterar los resultados del proceso de mecanizado. Para ello, puede ser necesario garantizar una geometría de corte constante, controlar las fuerzas de fijación de componentes, bloquear programas automáticos y preparar el amarre. Si las condiciones son constantes al iniciar el proceso, es más probable que se mantengan así hasta el final.

- La **estabilidad del entorno** trata los orígenes externos de los errores de conformidad que no pueden eliminarse por adelantado, pero que forman parte del entorno de trabajo. Se toman en consideración las variaciones de temperatura ambiente, el calor generado durante la fabricación, la limpieza de la máquina y los utillajes, la gestión del uso de herramientas y los acontecimientos imprevistos, como la rotura de herramientas y los cortes de suministro eléctrico. La solución a muchos de estos problemas de variación está en las disciplinas de funcionamiento.
- La **optimización de la condición de la máquina** es un elemento esencial de la base del proceso, ya que una máquina sin precisión no puede producir piezas precisas constantes. Un riguroso proceso de evaluación del rendimiento, del calibrado y (donde proceda) el reajuste pueden adaptar el rendimiento de la máquina a los requisitos del proceso. Posteriormente, puede establecerse un régimen periódico de comprobaciones de supervisión de las condiciones, realizadas por el operario, para garantizar la condición correcta de la máquina para la producción o para señalar la necesidad de mantenimiento.

Las ventajas de la reducción de costes en el nivel base del proceso son:

- **Mayor disponibilidad de la máquina:** evite tiempos de inactividad imprevistos mediante un seguimiento de las tendencias de rendimiento de la máquina antes de que surjan problemas en el proceso.
- **Más capacidad de proceso:** una mayor precisión y repetibilidad de la máquina, con menos variaciones del entorno y de las entradas del proceso, permite producir piezas más constantes y reducir los errores de conformidad.
- **Garantía de calidad:** con menos variación y piezas desechadas, la repetición de trabajos y las concesiones se reducen por término medio en un 25%.
- **Dedique sus técnicos a tareas proactivas:** con menos 'incidencias' que resolver, los técnicos pueden dejar de apagar fuegos y dedicarse a crear mejoras de larga duración.
- **Bases para la automatización:** con todas las máquinas funcionando al máximo, puede empezar a dar los pasos para automatizar los procesos con toda confianza.



Establecimiento de un punto de pivotaje del husillo de fresado en una máquina de fresado y torneado

Preparación de procesos

El segundo nivel de la Pirámide incluye el primero de estos pasos para conseguir procesos 'pulsando el botón verde' y proyectos listos para mecanizar. Estos controles predictivos abordan los orígenes de errores en el reglaje de la máquina, la pieza, la herramienta y la sonda que están siempre sujetos a grados de variación, y que deben corregirse para mecanizar correctamente el primer componente. Al incluir la estabilidad obtenida en el nivel base del proceso, los controles de preparación del proceso permiten descartar el error humano mediante la automatización de los procesos manuales.

Los controles del nivel de reglaje de procesos incluyen:

- **El reglaje de máquina** a veces se pasa por alto, aunque es necesario para establecer la relación entre los elementos móviles fundamentales de la máquina (por ejemplo, el cabezal de fresado con respecto a la mesa de la máquina o el punto de pivotaje del cabezal de fresado en una máquina de fresado y torneado). Estas relaciones se ven afectadas por la desviación térmica, por lo que siempre se produce alguna variación, incluso en los entornos más estables. Los errores de máquina sin corregir pueden ser un factor determinante en los errores de conformidad del proceso y pueden aumentar los tiempos de reglaje, ya que sus efectos pueden ser fácilmente confundidos con otras causas de variación de procesos. La buena noticia es que estos errores pueden detectarse y eliminarse fácilmente mediante comprobaciones de inspección en la máquina.

- **Reglaje de sonda** es el proceso de obtención de datos de una sonda, de forma que pueda utilizarse para medir con precisión en la máquina. En las sondas de inspección, el proceso se realiza midiendo el tamaño y la posición del palpador, normalmente mediante una esfera de calibrado o un anillo patrón. En las sondas de reglaje de herramientas, se emplea una herramienta patrón para establecer la posición del palpador o el haz láser. El calibrado de sonda es un control periódico, generalmente semanal, que garantiza el funcionamiento fiable de las demás mediciones de la máquina.
- **Reglaje de piezas** es el proceso en el que se establece la ubicación y la orientación del componente para alinearlo con el mecanizado. Puede utilizarse una sonda de contacto para determinar las posiciones de obtención de datos y los ángulos, actualizando automáticamente las coordenadas de trabajo. En situaciones más complejas, una sonda puede medir las formas de una superficie local y registrar en un paquete CAM las trayectorias de herramienta para combinar las superficies. El reglaje de piezas reduce costes de utillaje, y elimina la intervención del operario y las consecuencias de un reglaje incorrecto del mecanizado.
- El elemento final es el **reglaje de herramienta**, mediante el que se establece la longitud y el diámetro de las herramientas para almacenarlos en el CNC. Esto significa que las herramientas pueden utilizarse en la pieza y realizar un mecanizado cercano al valor nominal, evitando las actividades de 'corte y medición' manual y el error humano, al tiempo que se registra la altura de compensación de herramienta – una de las principales causas de colisiones en muchos talleres.

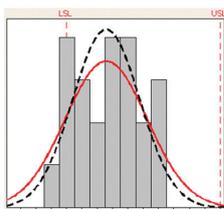
Las ventajas de la reducción de costes en el nivel de reglaje de procesos son:

- El reglaje de piezas y herramientas **reduce los tiempos de reglaje hasta en un 90%**
- La inspección es **automática y más repetible** que los métodos manuales
- Un proceso de reglaje más fiable supone **menos tiempo de inactividad** una vez iniciada la producción
- Al colocar herramientas nuevas, la **repetición del reglaje** es también más rápida y menos propensa a errores
- En consecuencia, dispone de **más tiempo para fabricar más piezas**

Control durante el proceso

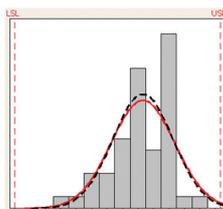
Este nivel es con frecuencia el peor aprovechado y el menos comprendido. Estos controles abordan los orígenes propios de las variaciones en todos los procesos de fabricación – ya sea el desgaste de herramientas, el impacto de la temperatura o los flujos de calor. La inspección en máquina es la única forma rentable de supervisar el estado del componente durante el proceso, y proporciona a la máquina la inteligencia necesaria para tomar sus propias decisiones, mediante un control permanente del proceso que elimina los efectos adversos de la desviación del proceso. El resultado es un proceso continuo 'pulsando el botón verde' que exige menos mano de obra y permite reducir las piezas desechadas y la repetición de trabajos.

Sólo ajuste de procesos



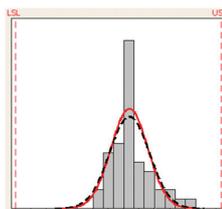
$C_{pk} = 0,32$
 $P_{pk} = 0,39$
Piezas desechadas /
repetición de trabajos = 12,1%

Ajuste de procesos y supervisión post-proceso



$C_{pk} = 0,83$
 $P_{pk} = 0,86$
Piezas desechadas /
repetición de trabajos = 0,5%

Ajuste de procesos y control durante el proceso



$C_{pk} = 1,64$
 $P_{pk} = 1,47$
Piezas desechadas /
repetición de trabajos = 0,0002%
60.000 veces menos piezas desechadas y repetición de trabajos

Resultado de un estudio de capacidad realizado por Renishaw en las mismas piezas utilizando distintas técnicas de control de procesos. Empleando sólo el reglaje de procesos, los niveles de piezas desechadas son inaceptables y el centrado de procesos es insuficiente.

La supervisión post-proceso mejora el centrado y reduce la variación entre piezas, pero produce resultados inferiores al nivel aceptable por la mayoría de las empresas.

Solo un control de procesos inteligente proporciona el nivel de resultados que Renishaw considera aceptable y permite amplios períodos de funcionamiento sin supervisión.

Antes de continuar, hay que resaltar que el control durante el proceso sólo puede implantarse correctamente si se han completado los niveles de la Pirámide. Si no se controlan los demás orígenes de variación, el control durante el proceso deberá luchar una ardua batalla contra fuerzas aleatorias para las que no está preparado. Intentar automatizar un proceso en un entorno caótico con procesos manuales sin reformar es una temeridad.

¿Qué tipos de controles se incluyen en este nivel?

- El enfoque adecuado sería dedicar el mínimo tiempo posible para comprobar una **característica fundamental para cada herramienta** mediante una sonda de contacto y actualizar las compensaciones de herramienta a partir de los errores medidos. Una sonda de inspección es la forma de controlar las herramientas una vez iniciado el proceso de corte, no un sistema de reglaje de herramientas, ya que mide directamente las salidas que desea controlar – el tamaño que la herramienta está mecanizando.
- **Controle las herramientas de desbaste**, no sólo las herramientas de acabado. Aunque no puede verse en la inspección post-proceso, las herramientas de desbaste realizan una tarea imprescindible: dejar la cantidad correcta del material que debe retirar la herramienta de acabado. Si la superficie en bruto es inconsistente, puede variar también la profundidad del corte de acabado, alterando la deformación de la herramienta y el acabado superficial.
- **Supervise la desviación térmica** repitiendo la obtención de datos de la posición del cabezal, las líneas centrales de la mesa giratoria o los puntos de pivotaje a intervalos periódicos, especialmente antes de las operaciones de acabado más importantes.
- **Compruebe las herramientas delicadas** para detectar roturas después de cada ciclo de mecanizado, ya que una sola herramienta rota puede provocar daños mayores en las demás herramientas y piezas. Esto proporciona una mayor confianza durante el mecanizado automático.
- **Incluya instrucciones lógicas en el programa** para reaccionar ante acontecimientos imprevistos. Si las piezas están fuera de tolerancia pero aún tienen material, realice una llamada a otra pasada de acabado.

Si se rompe una herramienta, realice una llamada a una herramienta gemela o avise al operario. No acepte un valor nominal incorrecto – limpie la pieza y vuelva a medirla para asegurarse de que la viruta no interfiera en la inspección.

- **Supervise el estado del proceso** y notifique al operario los posibles errores.
- Almacene las mediciones durante el proceso y las actualizaciones de compensación para una posterior **trazabilidad**.

En muchas circunstancias, el control durante el proceso puede generar el mayor ahorro de costes en cualquiera de los niveles de la Pirámide, especialmente si el proceso incluye un alto nivel de desgaste de herramientas y duración larga del ciclo de mecanizado:

- **Costes de capital reducidos:** aumente la producción sin invertir en aumento de nueva capacidad
- **Más automatización:** reducción de costes de mano de obra directa y tiempos de inactividad improductivos de la máquina
- **Reducción del error humano:** medición repetible e información automatizada
- **Menos piezas desechadas, repetición de trabajos y concesiones:** menos variación, más capacidad de procesos y producción de piezas ‘desde el primer momento’



Software de verificación en máquina

Informes

Supervisión de post-procesos

El nivel superior de la Pirámide es muy utilizado por muchas empresas, ya que proporciona la evaluación final de los resultados del proceso de mecanizado. La verificación puede efectuarse en la propia máquina herramienta mediante una sonda, en la máquina utilizando galgas manuales o brazos articulados, o en un dispositivo CNC desconectado, como una MMC. Estos controles no son planificados, ya que las mediciones son demasiado tardías para efectuar el componente que se está midiendo, salvo que se invoque un proceso de repetición del trabajo.

Los controles del nivel de supervisión de post-procesos son:

- **Verificación de procesos en la máquina** utilizando una sonda para medir las características de la pieza mientras está colocada en el utillaje de mecanizado. La comprobación de la pieza antes de moverla, verificando principalmente que el proceso se ha realizado según lo previsto, aporta confianza sobre la conformidad de la pieza antes de realizar otras operaciones. Este enfoque tiene más sentido en piezas grandes de más valor. También es posible realizar comprobaciones ‘tipo MMC’, que incluyen medidas geométricas y tolerancias, no obstante, la precisión y la trazabilidad de las mediciones de la Máquina-Herramienta serán menores que las obtenidas en una MMC en condiciones de temperatura controlada. Además, la duración de los ciclos en una MMC equipada con las últimas tecnologías de medición es generalmente mucho más corta.
- **Verificación de piezas fuera de máquina**, realizando una inspección completa según la especificación, normalmente en una MMC. Comparado con las técnicas realizadas en la máquina mediante tecnologías de exploración de 3 y 5 ejes, la ventaja de este procedimiento es que permite realizar una medición más rápida y exhaustiva en formas complejas, además de permitir sofisticados análisis e informes. Las MMC se emplean frecuentemente en entornos con temperatura controlada para obtener mayor precisión, pero tienen el inconveniente de ralentizar la obtención de datos para el proceso. Los resultados de la medición y los datos de puntos pueden almacenarse para su trazabilidad a largo plazo.

Las nuevas soluciones, como la tecnología de exploración de 5 ejes REVO®, permiten reducir costes en relación a las técnicas de inspección post-proceso convencionales:

- Medición radicalmente más rápida, que permite una **producción** mayor sin alterar la precisión
- **Menos mano de obra** mediante la automatización total de las tareas de medición complejas
- **Plataforma multi-sensor**, que permite automatizar los demás procesos de verificación, como la medición de acabado de superficie
- **Medición flexible** de características en todas las orientaciones, con posicionamiento infinito
- **Menor gasto de inversión** gracias a una menor duración de los ciclos y un menor uso de mesas giratorias

Ejemplos de reducción de costes

A continuación se muestra un ejemplo del impacto de las mejoras en el control de procesos de un proceso de mecanizado. En este estudio, la pieza es un componente aerospacial con un valor relativamente alto:

DATOS DE FABRICACIÓN

Coste de inversión	650.000 €	por máquina (CM)
Coste de inversión en MMC	156.000 €	por MMC
Período de amortización	10	años
Tarifa horaria de CM	97,50 €	por hora
Tarifa horaria de MMC	97,50 €	por hora
Tiempo planificado	120	horas / semana
Nivel de dedicación manual de operario de CM	1,0	operario por turno por máquina
Nivel de dedicación manual de operario de MMC	1,5	operario por turno por MMC
Coste de operarios	45.500 €	por operario al año
Coste de materiales	6.500 €	por componente
Duración del ciclo de mecanizado	30,0	horas
Tiempo de repaso de piezas	2,0	horas
Duración del ciclo de MMC	7,0	horas
Tasa CM / CMM	2,0	Máquinas-Herramienta por MMC
Coste por concesión	650 €	coste ME

Los resultados del proceso actual, medido utilizando la OEE (Efectividad del equipamiento total), donde la medición de calidad evalúa la tasa de la primera pasada, son:

Productividad		
OEE actual	53,0%	
Disponibilidad	85,0%	
Rendimiento	80,0%	
Calidad	78,0%	tasa de la primera pasada
Ratio de repetición de trabajos	10,0%	
Ratio de piezas desechadas	2,0%	incluidas las piezas repetidas
Ratio de concesión	10,0%	incluidas las piezas repetidas

A partir de estos datos, se puede calcular el número de piezas fabricadas al año, la cantidad de piezas desechadas, las piezas repetidas y las concesiones.

Producción por máquina	
Piezas procesadas	141
Piezas repetidas	14
Piezas desechadas	3
Concesiones	14
Piezas conformes	124
Piezas suministradas	138

El valor añadido se calcula multiplicando el número de piezas suministradas (incluidas las concesiones) por las horas estándar y la tarifa horaria. De estos datos se sustrae el coste de mano de obra, la depreciación y los costes de calidad para calcular el 'margen' que produce la máquina (observe que en estos datos no se incluyen consumibles ni otros costes variables):

Análisis del margen por máquina y año	
Valor añadido	402.753 €
Costes de operario de CM	136.500 €
Costes de operario de MMC	102.375 €
Costes de amortización	72.800 €
Costes de piezas desechadas	18.265 €
Costes de concesión	9.132,50 €
Depreciación sobre capital prorrateado	0 €
Margen anual	63.679,20 €

¿Qué ocurre con los resultados del proceso y el margen al implantar cada nivel de la pirámide? En todos los ejemplos siguientes, se presupone que se utiliza capacidad adicional para fabricar más piezas y se prorratea el capital invertido.

Base de los procesos

- La disponibilidad aumenta hasta un 90% debido a una mayor fiabilidad de la máquina
- El rendimiento crece un 5% debido a la reducción de paradas imprevistas provocadas por los procesos de entrada o las variaciones ambientales
- La calidad aumenta un 25% debido a una mayor precisión de la máquina
- Las capas de procesos manuales atendidos no varían

Preparación de procesos

- La disponibilidad se mantiene en el 90%
- El rendimiento aumenta hasta un 90%, ya que se reducen los tiempos de reglaje y son más previsibles
- Los errores de calidad se reducen a la mitad comparados con la capa anterior, al aumentar las piezas correctas desde el primer momento debido a un reglaje automático repetible
- Los procesos manuales en la máquina se reducen al disminuir el tiempo de preparación

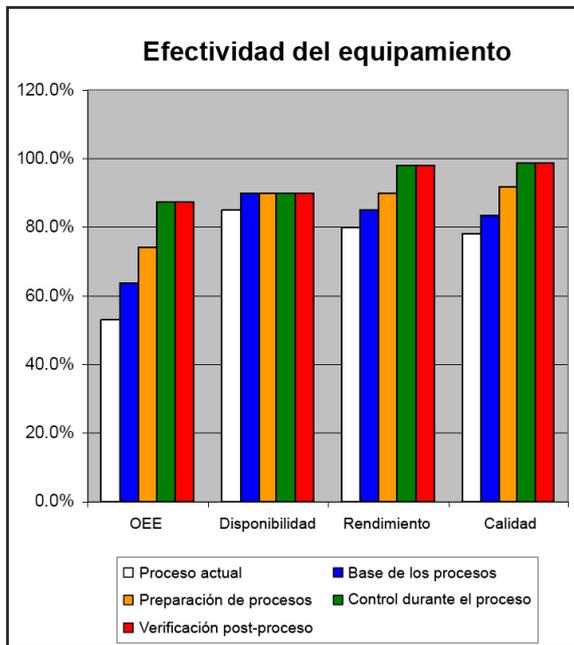
Control durante el proceso

- La disponibilidad se mantiene en el 90%
- El rendimiento aumenta hasta un 98% al disminuir las paradas imprevistas y los tiempos de espera de los operarios, automatizando la obtención de datos durante el ciclo
- La calidad aumenta un 99% o más al controlar las variaciones intrínsecas en su origen
- Los procesos manuales se reducen al eliminar la intervención del operario mediante procesos 'pulsando el botón verde'

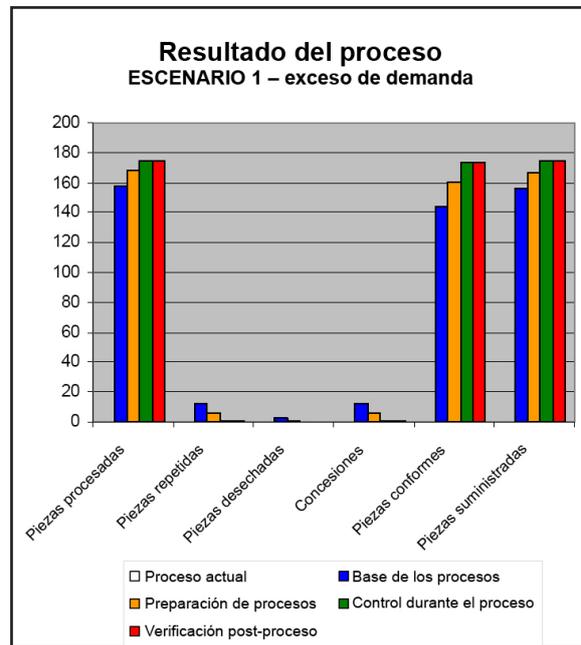
Supervisión de post-procesos

- La disponibilidad, el rendimiento y la calidad no se modifican
- El ratio de máquina a MMC aumenta, ya que la MMC es más productiva mediante la tecnología de nuevos sensores
- Los procesos manuales en la MMC se reducen debido a una mayor automatización
- El gráfico muestra las tendencias en los elementos de OEE resultantes de la aplicación de los cuatro niveles de control:

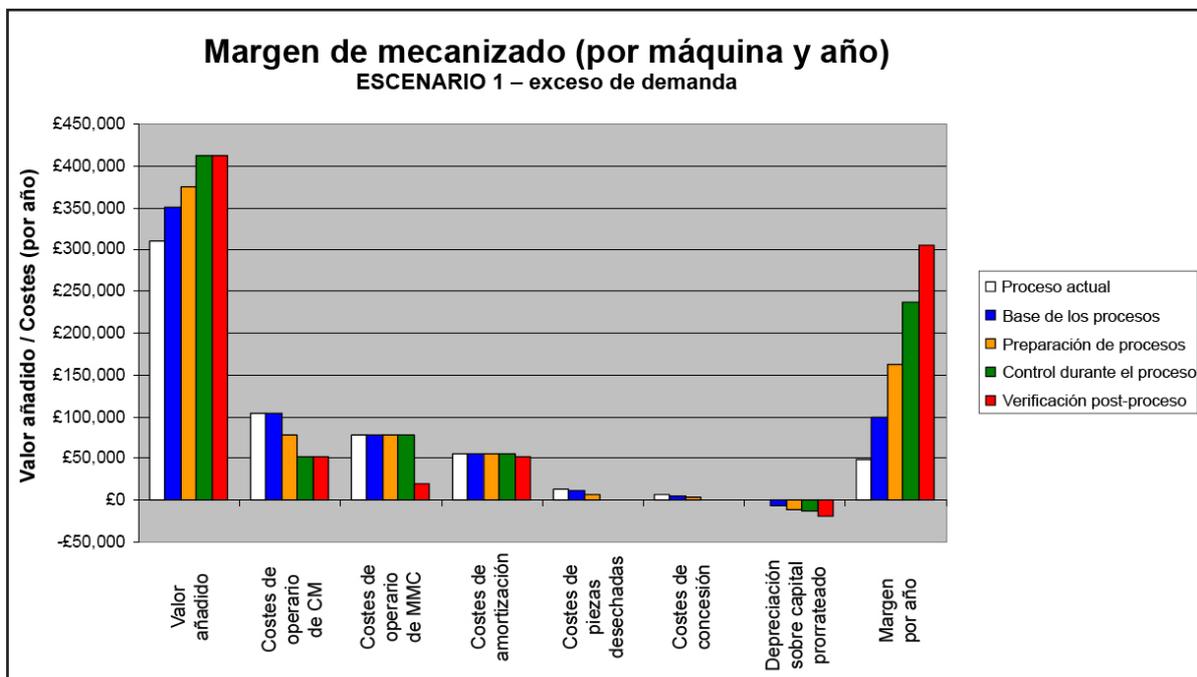
El gráfico muestra las tendencias en los elementos de OEE resultantes de la aplicación de los cuatros niveles de control:



El gráfico siguiente muestra el número de piezas procesadas, además del nivel de piezas repetidas, piezas desechadas y concesiones:



En el gráfico se resume el valor añadido, el coste y el margen que genera la máquina en un año en distintos niveles de control del proceso. La mejora incremental a partir de la implantación completa de los cuatro niveles de la Pirámide es de aproximadamente 325.000 € al año: el equivalente a la mitad del capital invertido en la Máquina-Herramienta cada año.



Conclusión y recomendaciones

La pirámide del proceso productivo (Productive Process Pyramid™) facilita un enfoque sistemático que permite eliminar las variaciones en los procesos de mecanizado. Sin realizar ningún cambio fundamental en el proceso de mecanizado, la mejora del control de procesos puede generar un ahorro de costes recurrentes considerable, mediante una mayor automatización y una reducción de los costes de calidad. El nivel de inversión necesario para implantar estos controles es relativamente bajo y se amortiza en pocos meses. Al eliminar la variación de los procesos, se aumenta también la amortización de las próximas inversiones realizadas en capital.

Los controles de la Pirámide deben implantarse de abajo arriba, ya que cada nivel se basa en el anterior para reducir la variación progresivamente. Una extensa implantación del nivel base del proceso es un excelente comienzo, seguido de la implantación de un sistema de inspección para automatizar los procesos de reglaje. El control durante el proceso está más orientado a cada proceso, por lo que resulta más útil en instalaciones con varias máquinas similares y procesos entre los que compartir las mejoras.

Si las máquinas de la instalación son distintas, la instalación de este nivel puede ralentizar los procesos. En este caso, la estrategia adecuada sería racionalizar las plataformas de mecanizado e implementar los controles de las capas superiores en nuevos procesos, de forma que las mejoras obtenidas puedan replicarse a otras piezas más nuevas.

Generalmente, sustituir la medición post-proceso de una MMC por una medición en la máquina no es la estrategia más adecuada. La principal finalidad de la máquina es fabricar piezas correctas, por tanto, las verificaciones realizadas en la máquina deben dirigirse al proceso completado, en vez de comprobar cada característica de la pieza. La verificación en máquina es más apropiada para piezas muy grandes y complejas, donde no es posible un proceso de inspección fuera de máquina adecuado, o donde el tiempo de preparación y el coste de mover las piezas es elevado. Deberá prestarse atención a la precisión de la medición en la máquina, especialmente a los efectos de la temperatura. En muchos casos, una MMC con tecnología de exploración de alta velocidad es, generalmente, la forma más rentable de verificar la geometría de los componentes y la conformidad de la superficie.

La situación económica adversa actual está forzando a las empresas a tomar medidas drásticas de reducción de costes y mejoras de la productividad. La aplicación de los controles resaltados en la Productive Process Pyramid™ es la respuesta rentable que colocará su negocio en una posición fuerte preparada para emerger cuando las condiciones mejoren.



La tecnología de 5 ejes está revolucionando la inspección en MMC