

Mejora de la productividad a través de la reducción de la variabilidad de las entradas en procesos de montaje manual

Improving productivity through variability reduction of process inputs in manual assemblies

Carlos Real y Luis Onieva

Grupo de Ingeniería de Organización. Escuela Técnica Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla.

creal@escalasoluciones.com onieva@esi.us.es

Fecha de recepción: 22-04-2010

Fecha de aceptación: 19-10-2010

Resumen: El control de las entradas y del proceso para mejorar la productividad de los sistemas industriales de fabricación son conceptos ampliamente conocidos pero llevados a la práctica con poca efectividad. Dicha falta de efectividad es una fuente de variabilidad en el resultado. El caso de estudio, tomado de una fábrica de ensamble de automóviles, refleja como la identificación y control adecuado de las entradas del sistema tiene un impacto importante en la calidad del producto terminado y como se puede integrar este concepto al modelo de gestión de la fábrica.

Palabras clave: Variabilidad de los procesos de fabricación, indicadores de productividad, mejora de la productividad.

Abstract: Controlling inputs and process to improve a system result is a widely known concept but not taken into practice with effectiveness on assembly operations. This lack of effectiveness is a source of variation that affects the output. The study case, based on a vehicle assembly plant, shows, in practice, how identifying and controlling system inputs has a relevant impact on end product quality and how this concept can be integrated to the assembly plant management model.

Keywords: Variability in manufacturing processes, productivity measures, productivity improvement.

1. Introducción

La variabilidad de los procesos de fabricación es un problema tan ampliamente conocido como perturbador de los planes y programas de producción. La reducción de la variabilidad se refiere a la disminución de fallos normalmente relacionados con la calidad. Deming (1984) utilizó el término variabilidad del proceso, medida a través de la varianza, para ilustrar la falta de consistencia entre el resultado real y el planificado de un sistema productivo. Si una línea de producción no es capaz de producir con un nivel consistente de calidad diremos que existe variabilidad en su resultado.

Harry y Schroeder (2000) argumentan que el objetivo principal de la metodología *Seis Sigma* es la reducción de la variabilidad en los procesos y proponen toda una metodología compuesta por herramientas, en su mayoría estadísticas, para atacar la falta de consistencia en el comportamiento de va-

riables críticas que influyen en los resultados de la operación realizada.

Este trabajo trata sobre la mejora de la calidad y la productividad a través de reducción de la variabilidad en lo que llamaremos las entradas de un sistema industrial de montaje formado por procesos fundamentalmente manuales; es decir, donde un operario realiza una determinada operación, con o sin utilización de herramientas, teniendo la necesidad de tomar decisiones referentes al ensamble del producto. Es obvia la diferencia entre este tipo de procesos y aquellos en los que la transformación del producto se realiza en líneas automáticas, por ejemplo de robots o prensas de estampado (Cheldelin e Ishii (2004)).

Independientemente del grado de automatización, una típica manera de medir el nivel de calidad de un sistema productivo es a través de los defectos que genera. Llamaremos «indicador de salida» al conta-

dor de defectos generados por el sistema, referencia típica al tratar de mejorar la calidad de un proceso.

Un indicador formado por los defectos que genera el proceso representa una ayuda muy útil como medida del nivel de calidad. Sin embargo, tratar de controlar dicho nivel de calidad solamente a través de este indicador puede ser incluso contraproducente ya que el control de la salida de un proceso se encuentra precisamente en el control de lo que entra en el mismo.

Esta afirmación no es nueva, no son menos importantes los esfuerzos en el propio proceso y en lo que entra a dicho proceso, ya que es ahí donde se pueden conseguir mejoras [Imai (1999)]. De manera similar, Deming (1984) afirma que la medida y el control de las entradas del proceso son claves para el control del resultado del sistema. Velasques et al (2010) analizan los factores que afectan a la productividad.

El control de las entradas y del proceso para mejorar el resultado en un sistema es un concepto ampliamente conocido y difundido pero llevado a la práctica con muy poca efectividad. Es común observar la manera en la que los responsables de dirigir los procesos productivos enfocan a la organización a trabajar sólo sobre las salidas del sistema (Larrañeta, Onieva y Lozano (1988)).

2. Objetivo

Se pretende demostrar como el enfoque estructurado de la gestión de las entradas del sistema productivo tiene un impacto significativo y tangible en el resultado del sistema, específicamente en lo referente a la calidad del producto terminado. Para demostrar la hipótesis planteada, se han analizado varios procesos productivos que tienen que ver con el montaje de componentes. Las observaciones y experimentación se realizaron principalmente en una planta de ensamblaje de automóviles.

La conexión entre las entradas y la salida de un sistema es lógica y ha sido planteada en repetidas ocasiones. Sin embargo, en la opinión de los autores, es común que los procesos de transformación no apliquen dichas consideraciones. El objetivo es compartir la aplicación en un caso práctico llevado en un ambiente de manufactura complejo. De igual manera se pretende mostrar como una organización

puede integrar de manera simple la gestión de las entradas del proceso y los resultados positivos que se obtienen en la salida.

3. Antecedentes

El estudio de la reducción de la variabilidad específicamente ligado a procesos donde el ser humano tiene fuerte influencia, se realiza a través del análisis de la fiabilidad humana o HRA (*Human Reliability Analysis*); Clarke (1997) y Bubb (2005). Sin embargo, según Gertman y Blackman (2001), una seria limitación es que la gran mayoría de la información disponible sobre HRA está basada en investigaciones realizadas en sectores de alto riesgo, donde el error humano puede tener consecuencias graves y costosas.

Varios investigadores, Whittingham (2004), Meister (2004), Pham (2003) y Fan-Jang et al (1999), coinciden en que entre los métodos para el análisis de la confiabilidad humana, el más utilizado y reconocido es la técnica para la predicción del error humano, THERP (*Technique for human error rate prediction*). Esta metodología y otras como CREAM (*Cognitive reliability and error analysis method*), que de acuerdo con He et al (2008) son de segunda generación, pero sin embargo tienden principalmente a estimar las probabilidades de error para una tarea determinada.

Otros planteamientos para la reducción de defectos en líneas de ensamble tienen que ver con el diseño del producto para prevenir defectos, Paz y Wilson (1999), tal es el caso del diseño para manufactura de calidad o DFQM (*Design for Quality Manufacturability*); Das, Datla y Gami (2000). Este tipo de enfoques deben afrontarse en etapas en las que el producto está en fase de diseño; Corominas y Pastor (2009).

El caso analizado trata la reducción de la variabilidad en el resultado global de un proceso realizado por operarios, mediante el control de lo que llamaremos las «entradas» al proceso de fabricación y no se enfoca a la reducción o estimación de la probabilidad de generar un defecto en lo particular.

4. Metodología

La investigación se ha desarrollado en un entorno formado principalmente por plantas de montaje de automóviles por lo que las conclusiones serán apli-

cables principalmente a líneas de producción en serie, donde existen operarios realizando labores de ensamble de componentes. El esquema de un sistema se divide en sus tres partes fundamentales: entrada, proceso y salida. Procederemos a analizar y proponer alternativas de gestión para el componente denominado «entrada». Cabe aclarar que el análisis de la parte central, «proceso», es de igual importancia, aunque no será abordado en el presente trabajo.

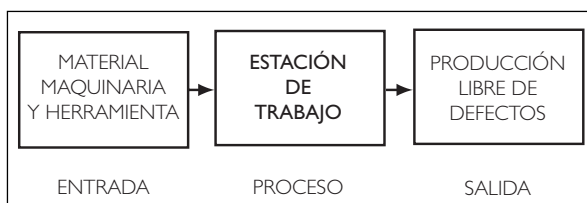
4.1. Alcance del sistema

Se definen, en primer lugar, los componentes del sistema y sus límites. El análisis está basado en una línea de ensamble de automóviles, que tiene como parte central o «proceso» la estación de trabajo, tal y como se muestra en la Figura 1.

Para el análisis, supondremos que la estación de trabajo está ocupada por un operario. La «entrada» del proceso está formada por todos los elementos que el operario utiliza para llevar a cabo su tarea: el material utilizado para realizar el ensamble y la maquinaria y las herramientas necesarias para llevar a cabo la operación. La Figura 1 muestra el sistema, considerando como entrada al material y la maquinaria o herramienta utilizadas en el montaje. La «salida» del sistema son las unidades libres de defectos, dato utilizado para generar indicadores de calidad.

Figura 1

Representación de los componentes del sistema



4.2. Normalidad y anormalidad en las entradas

Para definir los procesos de gestión hacemos referencia al estado ideal de cada uno de los componentes del sistema. El estado ideal del material se define de la siguiente manera:

- Material siempre accesible para el operario en su estación de trabajo: El operario nunca deja de realizar ensambles debido a que se le hayan terminado las partes que instala en el vehículo.

- Material correcto: No hay equivocaciones en cuanto al surtido del material a la estación de trabajo, es decir la entrega de material a ser instalado está libre de error.
- Material de acuerdo a especificación dimensional y funcional: El operario realiza el ensamble del componente sin problemas de tal manera que la instalación de los componentes está libre de esfuerzos, irregularidades y una vez concluido el ensamble el producto final de la estación funciona correctamente.

Diremos que si un ciclo en una estación de trabajo cumple con las características antes descritas en cuanto a material, dicho ciclo es «normal» o esperado, por ende cualquier desviación a estas características será una anormalidad.

Definimos ahora el estado ideal de la entrada maquinaria y herramienta:

- La maquinaria y las herramientas realizan su función en el tiempo establecido.
- La maquinaria y herramientas realizan su función en la forma especificada y el resultado es el esperado.

Es decir, el operario tiene a mano herramientas y dispositivos que funcionan correctamente. La anormalidad para esta entrada la componen los eventos en los que la maquinaria o las herramientas dejan de trabajar correctamente.

Para cualquiera de los casos en los que se presenten anormalidades, el operario de la estación debe tener una forma sencilla de solicitar ayuda de tal manera que alguien lo asista y se haga cargo de controlar la condición no deseada. Por ejemplo, en la planta de ensamble bajo análisis el requerimiento de ayuda consiste en un sistema de botones que al accionarlos encienden una luz y que permite al operario indicar que necesita ayuda en la estación de trabajo.

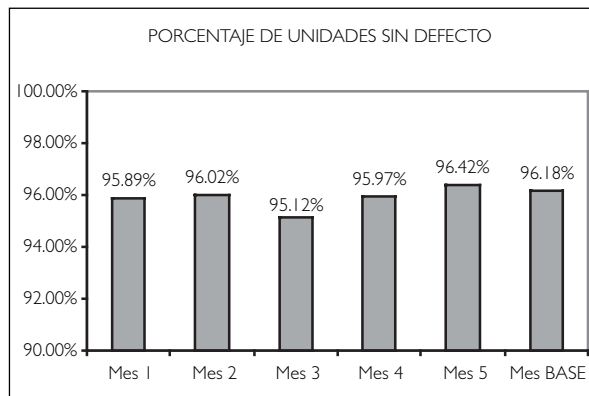
Adoptando la óptica del control de las entradas, la propuesta consiste en utilizar las luces de asistencia como desviaciones de las entradas del proceso que podrían generar problemas en las salidas. Hay que hacer constar que aunque la relación entre las entradas y salidas del sistema es lógica e importante, no siempre es fácil establecer la conexión entre ambas. Consideramos que una de las principales causas de la falta de atención que una organización pres-

ta a las entradas es precisamente la falta de relación aparente que existe con el resultado final. Esto provoca que se prefiera atacar los problemas que de manera obvia mejorarán el resultado; es decir, los defectos en la salida del sistema.

4.3. Análisis del impacto de las entradas en las salidas del sistema

La experimentación consistió en controlar las anomalías generadas por las estaciones de trabajo durante varios meses en una de las líneas de montaje. Para seleccionar la línea se partió del indicador de calidad que, de acuerdo con nuestro diagrama de sistema, es el indicador de salida. Dicho indicador se controla para cada línea de manera independiente y recoge el porcentaje de unidades libres de defecto. Se mide a través de una serie de inspecciones que son realizadas al final del proceso por el departamento de control de calidad. El nivel base en dicho indicador fue el 96,18% de unidades libres de defectos provenientes de la línea bajo estudio, siendo un resultado estable durante los últimos seis meses, como se observa en la Figura 2.

Figura 2
Indicador de calidad de la línea de ensamble bajo análisis

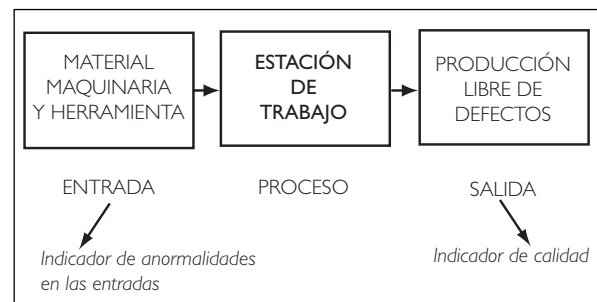


Hasta este instante, los esfuerzos para mejorar la productividad, medida a través de la calidad en todas las líneas de montaje, partían del indicador mostrado en la figura 2 y estaban focalizados en el análisis de los problemas encontrados por el área de control de calidad, intentando corregirlos para acercar el porcentaje cada vez más al 100%. Como se aprecia en el gráfico de la figura 2, este esfuerzo no había sido efectivo en los últimos meses ya que el nivel de producto libre de defectos tuvo cambios

mínimos. La dificultad de seguir mejorando la calidad de la línea de producción es común a cualquier otro sistema industrial cuanto más se acerca al cero defectos.

La experimentación se inició midiendo la cantidad de anomalías detectadas por el operario en la estación de trabajo que eran reflejadas como llamadas de asistencia. Con esta información se puede generar un indicador de anomalías y lo podemos considerar como un indicador del estado de las entradas, la Figura 3 muestra su ubicación con respecto al indicador de calidad o salida.

Figura 3
Ubicación de los indicadores de anomalías y calidad en el sistema



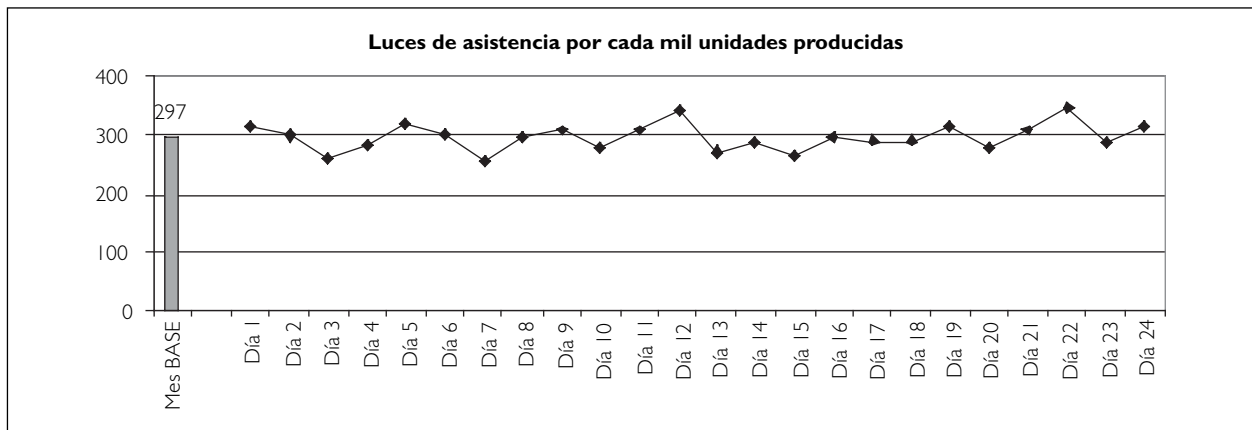
Con la información recabada se definió el indicador relativo a la cantidad de unidades construidas que indica la cantidad de luces de asistencia encendidas por cada 1000 vehículos producidos de acuerdo a la relación 1:

$$\text{Luces}/1000 = \frac{\text{Luces encendidas}}{\text{Vehículos producidos}} \times 1000 \quad (1)$$

Se decidió definir una primera fase de toma de medidas de un mes completo para partir de un nivel fiable de anomalías. La información recabada del indicador se muestra en la Figura 4, que muestra la cantidad de unidades fabricadas frente a la cantidad de luces de asistencia encendidas por cada 1000 vehículos producidos.

De esta manera, la medición inicial mostró que durante el primer mes se generaron 297 anomalías por cada mil vehículos que pasaban por la línea de montaje bajo estudio. Si consideramos que la producción de la planta de automóviles bajo análisis es de 1200 vehículos diarios, todos los cuales pasan necesariamente por la línea de producción estudiada,

Figura 4
Indicador de anomalías reportadas por cada mil vehículos en la línea bajo análisis

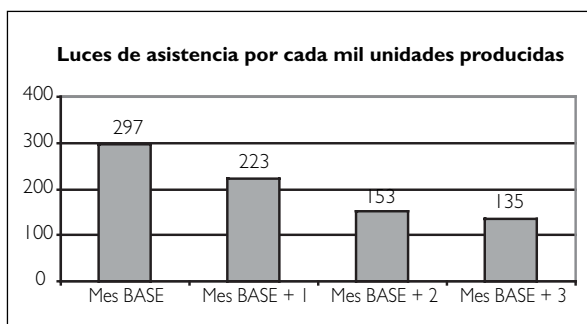


podemos afirmar que durante el mes inicial de producción los operarios detectaron, en promedio, 356 anomalías diarias, las mismas que fueron reportadas a través de luces de asistencia.

5. Resultados

En los tres meses siguientes se establecieron las medidas correctivas a los principales problemas generadores de luces de asistencia. Al comienzo, el trabajo fue relativamente fácil ya que, al contrario que ocurría con el indicador de defectos, para el cual se encontraban pocos problemas y en su mayoría como eventos únicos, el indicador de anomalías en la estación presentaba patrones claros de problemas repetitivos que ocurrían día a día, lo cual proporcionaba oportunidades para su análisis y solución. La Figura 5 muestra la reducción de la cantidad de anomalías en la línea analizada.

Figura 5
Indicador mensual de anomalías por cada mil vehículos en la línea de producción analizada



El resultado fue la eliminación del 54% de los problemas que afectan a las entradas del sistema. Cabe aclarar que la contundencia con la que los problemas fueron eliminados tiene que ver con la aplicación disciplinada de la metodología Seis Sigma. La fábrica en la que se realizó el estudio lleva varios años trabajando con esta metodología y el personal asignado a la disminución en el nivel de llamadas de asistencia era *Black Belts* o al menos *Green Belts*, certificados de acuerdo a la estructura que se adopta en la aplicación de *Seis Sigma*; Hutton (1994) y Johnson y Johnson (1999).

El impacto de este trabajo, reflejado en el indicador de las entradas del sistema, se observa en la Figura 6, el cual definimos como indicador de salida del sistema y que mide el porcentaje de producto libre de defectos.

Para aprovechar las ventajas de la investigación se decidió incorporar el registro de las llamadas de asistencia y trabajar en su reducción en el resto de las líneas de ensamble. También se decidió incluir la gestión de las entradas como parte integral del sistema operativo de producción de la fábrica, incluyendo, al igual que en los foros de revisión de calidad, revisiones diarias del estado de las entradas a través de los indicadores que se han instituido por cada línea de producción y que muestran las anomalías generadas por cada estación de trabajo.

Poder disponer de indicadores de anomalías para todas las líneas con información fiable y actualizada día a día fue un logro importante. Al comienzo se entrenó al personal encargado de atender las anomalías en la línea para que registrara dichas anomalías en una plantilla que permitiera ob-

Figura 6
Indicador de calidad de la línea de ensamble bajo análisis

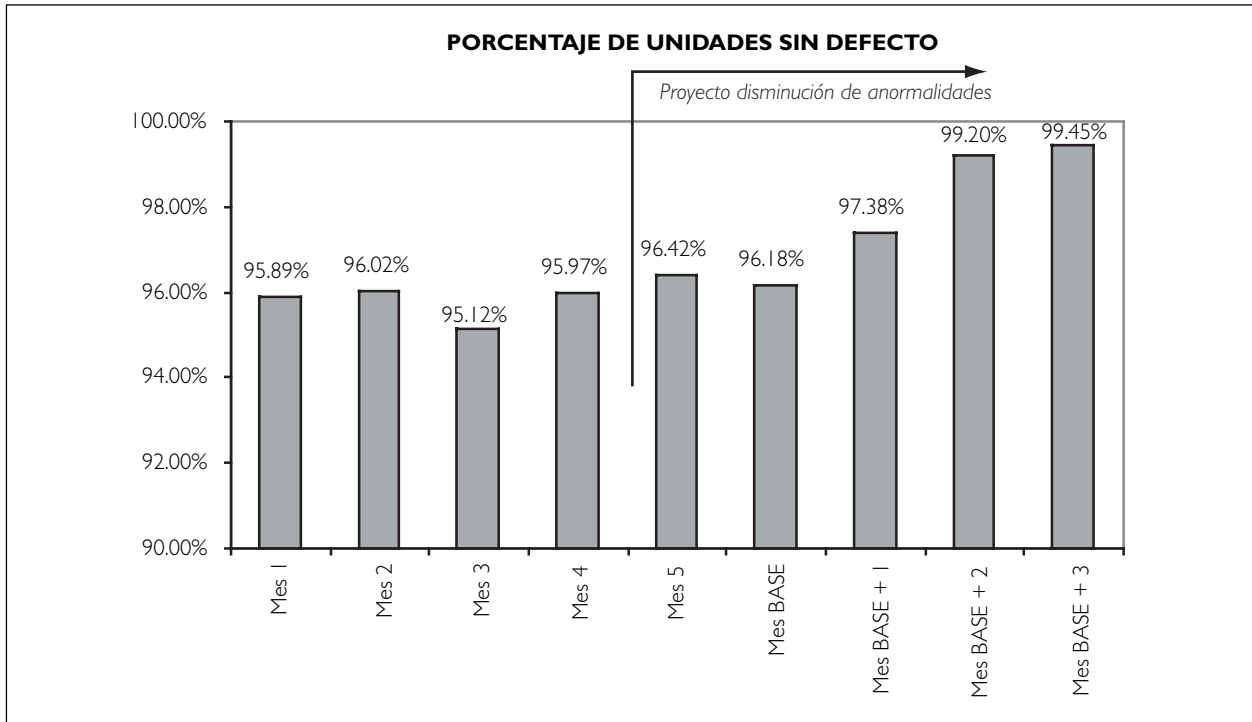
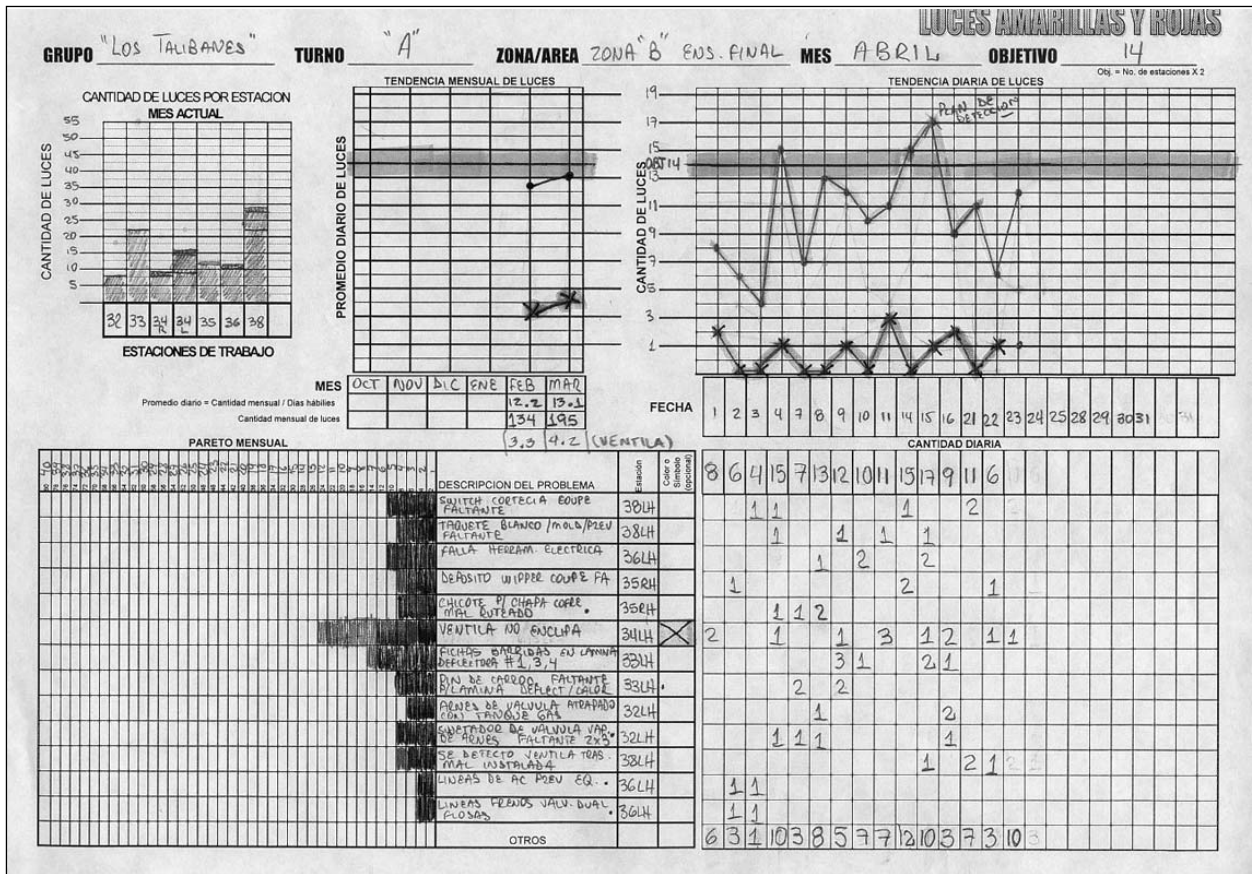


Figura 7
Indicador de luces de asistencia de una estación de la línea de montaje



servar tendencias gráficamente. El formato utilizado para los registros de una estación de una de las líneas de producción se muestra en la Figura 7.

Se diseñó un formato para ser gestionado en la línea de producción por cada grupo de trabajo, esto es por cada 8 – 10 estaciones, que fuera cumplimentado por el personal que atiende las luces de asistencia. La intención era contar con información actualizada de manera sencilla y que la misma hoja de registro funcionara como indicador de las prioridades del grupo de trabajo. A continuación se muestran algunas características.

Como se muestra en la gráfica «Pareto mensual» de la figura 7, la persona que registra las llamadas de asistencia va acumulando incidencias en la hoja llenando cuadros a la izquierda del formato por cada evento. Se puede observar como el problema «VENTILA NO ENCLIPA» es el más repetitivo, este problema tiene que ver con la instalación de un conducto plástico instalado en el guardabarros trasero que tiene la función de dejar salir el aire del vehículo cuando se cierran las puertas. En este caso el operario ha encendido la luz para pedir asistencia en 12 ocasiones, en lo que va del mes, ya que tiene dificultades para instalar la pieza. De esta manera los grupos de ingeniería y soporte tienen información de los principales problemas para poder eliminarlos.

El gráfico «Cantidad de luces por estación» de la Figura 7 representa el acumulado de problemas clasificado por estación de trabajo, de esta manera también se tiene información de las estaciones que más ayuda requieren. Se puede observar como la estación 38 ha requerido ayuda 29 veces en el mes, lo que permite establecer prioridades y las estrategias de mejora. Al igual que las otras secciones del formato, se actualiza de manera manual por parte del líder del grupo de trabajo, encargado de atender las llamadas de asistencia de sus estaciones.

En la Figura 7, el gráfico «Tendencia diaria de luces» muestra la tendencia diaria de la cantidad de llamadas de asistencia. El operario, para requerir ayuda, tiene la opción de accionar dos tipos de luces, una luz que detiene la línea de producción (línea de color verde) o una luz que solo indica visualmente que necesita ayuda pero que no detiene el proceso (línea de color amarillo).

Dados los buenos resultados obtenidos, el sistema evolucionó y actualmente consiste en un enlace que tienen todas las estaciones de trabajo, a través de

los botones de ayuda y paro, de tal manera que cada vez que algún operario de la línea presiona un botón para requerir ayuda, queda registrado automáticamente en el sistema informático. Se han instalado, a lo largo de la línea de ensamble, varios ordenadores de manera que la persona que atiende al operario en la estación, una vez restablecido el proceso de producción, documenta directamente en el ordenador el problema que originó que el operario requiriera asistencia. El registro de la anomalía en el ordenador es tan sencillo que puede hacerse en cuestión de segundos, la Figura 8 muestra una sección de la pantalla de registro.

Figura 8
Pantalla de registro de anomalías

Workcell	Downtime Category	Start Time	End Time	Fault Description
		10/22/2007 7:44:56 AM	10/22/2007 7:45:10 AM	ST04-Right-T1A103R-Pulverci Pulver

Level 2	Level 3	Level 4	Level 5
T1A103R T1A104L T1A104R T1A105L T1A105R T1A106L T1A107L T1A107R T1A108L T1A108R T1A109C	Antes De Piso Mesa De Levante Pila De Scanner REALIZA OPERACIÓN FUERA Otra Causa No Identificada	Defome DESALINEADO DESCONECTADO DOBADO ENSAMBLE INADECUADO EQUIVOCADO Falta FALTANTE FLOJO / SUELTO FUGA	Ensamble de partes Herramienta / Equipo Sutido de material Técnico producción

El sistema informático almacena todos los componentes de las estaciones de trabajo, generando de manera fiable indicadores e informes que permiten conocer con precisión el estado de las entradas con datos como cantidad y descripción de anomalías, tendencias en el tiempo, prioridades en base a ocurrencia, etc. En la Figura 9 se muestra el gráfico de tendencia de las luces de asistencia por cada mil vehículos que de forma automática es actualizado en base a los problemas que se registran en las entradas. El gráfico incluye los niveles de luces encendidas en los últimos años, meses, semanas e incluye el total de todas líneas de ensamble de la fábrica, siendo una ayuda visual muy importante.

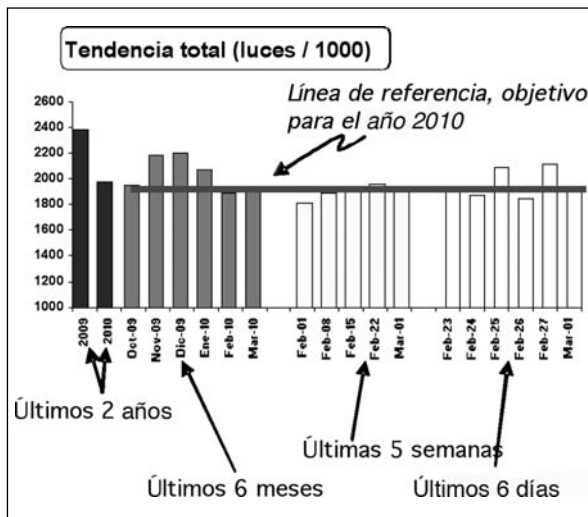
Adicionalmente, el sistema genera informes clasificados por líneas e incluso estaciones de trabajo, teniendo la posibilidad de mostrar el comportamiento de problemas específicos, obtener descripciones y cantidades de problemas que se tuvieron en el pasado, etc., lo cual es una ayuda muy valiosa para el personal que trabaja en la mejora del nivel de anomalías en la estaciones de trabajo.

La revisión del nivel de llamadas de asistencia en las estaciones de trabajo forma parte actualmente de

las rutinas utilizadas para la gestión del proceso productivo. Todos los días existe una reunión formal en la que se describen los principales problemas y avances en la disminución la cantidad de luces encendidas por los operarios. El resultado de este enfoque ha dado muy buenos resultados, tal y como se observa en la Figura 9. Además, dado que las anomalías han disminuido en los últimos años, el flujo en la línea de montaje es significativamente mejor, los planes de producción se cumplen normalmente y la estabilidad en el proceso se percibe con solo observar la línea de producción.

Figura 9

Gráfico del nivel de llamadas de asistencia generado por el sistema informático



La reducción de las llamadas de asistencia, la disminución de defectos y la estabilidad del proceso de producción reflejan de manera clara que el objetivo de disminuir la variabilidad en la salida del sistema a través del control de las entradas se ha cumplido.

6. Conclusiones

La mejora de la productividad a través del indicador de calidad derivada del control de lo que hemos definido como entradas al sistema ha sido significativa. El personal responsable de la mejora del proceso y que ahora está dedicado de igual manera al control de las entradas, encuentra una herramienta muy útil en los indicadores que reflejan las prioridades en cuanto a las anomalías reportadas por las estaciones de trabajo.

Evidentemente la generación de informes que arrojan información fiable en tiempo y forma es importante para la gestión de la línea. Sin embargo, el objetivo es la mejora continua a través del cambio en el enfoque de los responsables de la gestión del proceso de manufactura. Esto es lo que ha marcado una diferencia sustancial en los indicadores de salida que, a la fecha, sitúan a la planta de montaje en estudio en una posición muy competitiva. Las aportaciones mostradas en el presente trabajo han sido tomadas como una oportunidad práctica para llevar a cabo lo que en teoría hemos llamado «enfoque en las entradas del sistema», lo que ha generado resultados muy favorables.

Es importante recalcar que no se ha abordado el problema de los componentes, la participación y el enfoque práctico que se podría dar a la gestión de la parte central del sistema: el proceso. Es un problema de igual o mayor magnitud que el abordado en el presente trabajo por lo que no se ha abundado en él y que formará parte de posteriores investigaciones.

Agradecimientos. Este trabajo ha sido financiado por la Consejería de Innovación, Ciencias y Empresa de la Junta de Andalucía a través del Proyecto de Excelencia de referencia P08-TEP-03637.

7. Referencias bibliográficas

- BUBB H. (2005). Human Reliability: A key to improved quality in manufacturing. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, Vol. 15 (4), 353-368.
- CHELDELIN B. E ISHII K. (2004). Mixed model assembly quality: An approach to prevent human errors. *Proceedings of the American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division*, Vol. 17, 109-119.
- CLARKE D. (1997). Human reliability methods for total quality management. *Nuclear Engineering*, Vol. 38 (5), 152-155.
- COROMINAS A.Y PASTOR R. (2009). Aproximación a un procedimiento general para el diseño y la asignación de tareas en líneas de producción y montaje. *Dirección y Organización*, Vol. 38, 36-46.
- DAS S.K., DATLA V.Y GAMI S. (2000). DFQM - An approach for improving quality of assembled products. *International Journal of Production Research*, Vol. 38 (2), 457-477.
- DEMING W.E. (1984). *Out of the crisis*. MIT Press.
- FAN-JANGY., SHEUE-LING H.YYU-HAO H. (1999). Task analysis for industrial work process from aspects of hu-

- man reliability and system safety. *Risk Analysis*, Vol. 19 (3), 401-415.
- GERTMAN D.L.Y BLACKMAN H.S. (2001). *Human reliability and safety analysis data handbook*. Wiley.
- HARRY M.Y SCHROEDER R. (2000). *Six sigma: the breakthrough management strategy revolutionizing the world top corporations*. Double Day.
- HE X., WANG Y., SHEN Z.Y HUANG X. (2008). A simplified CREAM prospective quantification process and its application. *Reliability Engineering and System Safety*, Vol 93, 298-303.
- HUTTON D.W. (1994). *The Change Agent's Handbook: A Survival Guide for Quality Improvement Champions*. ASQ Quality Press.
- IMAI M. (1999). *Kaizen, la clave de la ventaja competitiva japonesa*. CECSA.
- JOHNSON D.W.Y JOHNSON F.P. (1999). *Joining Together: Group Theory and Group Skills*, Prentice-Hall.
- LARRAÑETA J.C., ONIEVA L.Y LOZANO L. (1988). *Métodos modernos de gestión de la producción*. Alianza Universidad Textos.
- MEISTER D. (2004). *Conceptual Foundations of Human Factors Measurement*. Erlbaum Associates.
- PAZ M.Y WILSON J.R. (1999). HEDOMS - Human error and disturbance occurrence in manufacturing systems: Toward the development of an analytical framework. *Human factors and ergonomics in manufacturing*, Vol 9, 87-104.
- PHAM H. (2003). *Handbook of Reliability Engineering*. Springer-Verlag, New York.
- VELASQUEZ Y.N., NÚÑEZ M.Y RODRÍGUEZ-MONROY C. (2010). Aplicación de la técnica AHP para evaluar el efecto de los valores organizacionales en la productividad. *Dirección y Organización*, Vol. 41, 58-67.
- WHITTINGHAM R.B. (2004). *The blame machine, why human error causes accidents*. Elsevier Butterworth-Heinemann.