

Mejora operativa de la línea Upper Pentastar de Chrysler

Juan Sillero Pérez

Universidad de Monterrey, Mexico, jsillero@udem.edu.mx

Carmen Alexandra Gutiérrez Barrera

Universidad de Monterrey, Mexico

Ana Cristina Leal Padilla

Universidad de Monterrey, Mexico

Luis Enrique Morales García

Universidad de Monterrey, Mexico

RESUMEN

Este proyecto se realizó en una empresa de manufactura de partes para la industria automotriz denominado "Mejora Operativa de la línea Upper Pentastar de Chrysler" el proyecto busca aumentar la productividad de la planta ya que actualmente está a niveles inferiores a los estándares internacionales. El métrico de productividad usado es el OEE (*overall equipment effectiveness*) y se desea aumentarlo de 68% a 78%. La línea bajo estudio elabora una familia llamados "filtros de aire y múltiples de admisión" que se usan las armadoras de autos en la parte superior del motor. La metodología empleada fue una variante de Manufactura Esbelta que consiste en 1) identificar el valor, 2) mapear el flujo de valor actual, 3) diseñar el flujo de valor futuro, 4) implementar mejoras y 5) buscar la mejora continua. El diagnóstico inicial reveló que la mayor oportunidad de mejora se encuentra en el componente "disponibilidad" del OEE, específicamente en la reducción de tiempos muertos. Una vez identificadas las causas raíz usando herramientas tales como *Value Stream Map*, Análisis de Varianza ANOVA y Análisis de Regresión Múltiple, se diseñaron e implementaron siete acciones de mejora. El resultado final del proyecto fue exitoso alcanzando un OEE del 78.20%.

Palabras claves: OEE, *availability*, tiempo muerto, mejora operativa, moldeo por inyección, soldadura por vibración.

ABSTRACT

The project is called "Operational improvement of the Chrysler Upper Pentastar line" and takes place in a manufacturing industry, which supply to the automotive industry. The project objective was to increase the productivity of the plant from 68% to 78% expressed by the metric OEE (overall equipment effectiveness). The main manufactured component is a family of "air filters and multiple admission" used in the upper part of the car engine. The methodology is a variant of lean manufacturing that consists of: 1) identifying the value, 2) mapping the flow of current value, 3) designing the flow of future value, 4) implement improvements, and 5) search for continuous improvement. A diagnosis revealed the greatest opportunity for improvement in the factor "availability" of the OEE structure, specifically in the reduction of downtime. Once the root causes were using tools such as Value Stream Map, 5W, and Analysis of Variance ANOVA, seven corrective actions were implemented for improvement. The project was successful, reaching an OEE of the 78.20%, also reported a

valuable educational experience for students and a profit for the company where this University outreach was carried out.

Keywords: OEE, *availability*, downtime, vibration welding, plastic injection

1. INTRODUCCIÓN

Sistemas de Filtración de México S. A., ubicada en el área metropolitana de Monterrey en México, es la empresa donde se realiza el proyecto, cuenta con 100 años de experiencia en la fabricación de filtros en unidades distribuidas por Europa, Corea, India, México, Estados Unidos y Japón. La empresa cuenta con la certificación del Sistema de Calidad ISO/TS 16.949-2.002, elabora modernos filtros de aire y múltiples de admisión entre otros productos para la industria automotriz. Los filtros fabricados se caracterizan por generar mayor economía en el motor, ya que mantienen su eficiencia inalterada durante toda la vida útil del componente, protegiendo el motor. La comercialización es hecha como Equipo Original y Aftermarket para motores Otto y Diesel.

La empresa bajo estudio requiere mejorar su desempeño productivo ya que compite en el ámbito de la industria manufacturera de automóviles a nivel mundial. Actualmente el OEE se encuentra en niveles de alrededor del 68% y a través de este proyecto se desea aumentarlo diez puntos para alcanzar un nivel del 78%. En este sector, las plantas proveedoras de auto-partes constantemente están estresando sus niveles de calidad y servicio en correspondencia a la alta competitividad del sector. La innovación y el desarrollo de productos, los sistemas de manufactura y manejo de operaciones, siguen el ritmo frenético impuesto en el sector de la manufactura de carros desde el emblemático Ford T hasta el revolucionario Sistema de Producción Toyota (TPS). En este ámbito se ha gestado y desarrollado la metodología de la Manufactura Esbelta cuya práctica ha sido la base para hacer frente a los retos de la competitividad.

La metodología usada en este proyecto es una variante de la metodología de la Manufactura Esbelta, que se desprende del “Pensamiento Esbelto” propuesto por Womack (Womack, et al., 2003. Spear et al., 1999. Dennis, 2004. Burton, 2003). El concepto de valor y la eliminación sistemática de los siete desperdicios incorporan el concepto de sustentabilidad que constituye hoy día el corazón de la metodología (Rother, et al., 1999. Tapping, et al., 2002. Lean&Green Summit, 2008. Dennis, 2002. Kingery, 2002. GGEM, 1009). La técnica del Mapeo del Flujo de Valor VSM dentro de esta metodología es fundamental para identificar áreas de mejora y transformar los procesos de manufactura en esbeltos y sustentables (George, 2005. Feld, 2000, U.S. EPA, 2007). Las herramientas convencionales para transitar del VSM actual al VSM futuro se fortalecen con la incorporación de las nuevas tecnologías informáticas (Tapping, 2002. Chalica, 2007. Liker, et al., 2006). Por último, el desarrollo de la cultura Lean y la administración del propio proceso de transformación sigue siendo todo un reto vigente en la actualidad (Alukal, 2006, Jackson, 2006, Kaplan., 2006, Pojasec, 2008)

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

El producto ensamblado por la línea Upper Pentastar Chrysler es el componente llamado Intake Manifold, el cual es fabricado para las diferentes plantas armadoras de Chrysler que se localizan en Trenton, Canadá y Saltillo, México. El componente es utilizado en todos los motores Chrysler de 6 cilindros, por lo que es ensamblado en los vehículos 200M, Charger, Journey, Grand Cherokee, Minivan y el Jeep Wrangler. La demanda semanal del Intake Manifold es de 19,200 unidades. Un Intake Manifold (también puede ser llamado Inlet Manifold) consiste en una serie de tubos conectados a algunas partes del motor y al carburador si el sistema de inyección no es electrónico. Esta parte del auto no es sólo la que permite el paso de la mezcla de aire para la combustión sino que distribuye de una mejor manera el aire en los cilindros. El proceso de fabricación del producto se resume en el moldeo de las partes las cuales son tres: lower, middle y upper Shell. A lo largo del desarrollo de este escrito se podrán encontrar referenciadas estas partes moldeadas por sus nombres con la terminación Shell, o también es posible

que se les denomine cavidades, es importante mencionar que los dos conceptos se refieren a las mismas piezas moldeadas.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso principal base de la producción es la inyección de la resina del plástico, que consiste en el moldeo de componentes que pasa a un subproceso de soldadura, después a una línea de ensamble, de ahí a una prueba de calidad de sellado y inspeccionados visualmente antes y empaquetados. Durante el proceso, las cavidades o shells de *lower*, *middle* y *upper* se desplazan por la banda de enfriamiento la cual varía un poco en longitud dependiendo de la inyectora a la que pertenezca, ajustando la velocidad para que cada cavidad sea sometida al mismo tiempo de enfriamiento. Después de enfriarse el operario remueve el excedente de plástico en ciertas áreas de la pieza si esto es necesario y las coloca en la máquina de soldado por vibración, primero se suelda la cavidad *lower* y *middle* formando un sub-ensamble que se convierte en ensamble final cuando se suelda con la cavidad *upper*. Cuando el componente se convierte en ensamble final se procede a la colocación de tornillos, sensor MAP y garganta de control electrónico. En seguida del ensamble las piezas proceden a la prueba de fugas y para finalizar son inspeccionadas visualmente por un operador interno y un inspector externo, la última etapa del proceso es el emplayado y empaque bajo las especificaciones del cliente.

1.2 DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA

El proceso de inyección moldea 3 diferentes tipos de componentes llamados: *lower Shell*, *middle Shell* y *upper Shell*. Este proceso ocurre en 5 diferentes inyectoras por 5 diferentes moldes. Posterior a la inyección del componente, un robot es el encargado de retirar las piezas de la máquina inyectora y colocarlas sobre una banda transportadora que cuenta con una banda de enfriamiento (mejor conocido en planta como cooling conveyor) donde la pieza es enfriada para que conserve sus propiedades físicas y se exponga menos a la humedad del ambiente, la cual puede afectar el siguiente proceso que es el soldado por vibración. El proceso de soldado de la línea a trabajar se divide en dos, llamados primera y segunda etapa. La primera etapa consiste en el soldado de los productos moldeados de las inyectoras número 18, 19 y 20 o bien los moldes 50591, 50592 y 70041. Es decir el soldado de los componentes *Lower* y *Middle Shell*. Este proceso es realizado por dos máquinas soldadoras empleando la técnica de vibración, las cuales son llamadas Welder 1 y Welder 2. Al finalizar el proceso de soldado de esta etapa el sub-ensamble es colocado en una banda que transporta el componente hacia el siguiente proceso.

El siguiente proceso consiste en la segunda etapa de soldado donde se suelda el sub-ensamble de *Lower/Middle Shell* con el componente *Upper Shell*. Es decir utilizar el sub-ensamble con los componentes moldeados en las inyectoras 15 y 17 o bien los moldes 50593 y 70040. Terminando el proceso de segunda etapa de soldado, los componentes son dirigidos a la etapa de ensamble. Dicha etapa está compuesta de tres estaciones: Primera estación: Estación 10; Tornillo doble Stud. En esta parte del proceso se le colocan 4 studs a la pieza. Segunda estación: Estación 15; Tornillos *Captive Fastener* y Sello ETC. De manera continua, las piezas pasan a esta estación donde son colocados 8 tornillos. Tercer Estación: Estación 20; ETC, Tornillos *Captive Fastener* y Sensor MAP. En dicha estación se le colocan a las piezas los componentes MAP Sensor y Electronic Throttle Control.

Posterior a la etapa de ensamble, las piezas deben inspeccionarse pasando por dos procesos. El primero es la prueba de fugas en la cual las máquinas *leak testers* comprueban que no se presenten fugas de aire, esto es determinado según la presión absoluta en el componente, el cual sería determinado en su auto por el sensor MAP. El segundo paso es la inspección visual realizada por operarios de la empresa, además de una persona subcontratada que brinda el servicio de segunda revisión visual del componente terminado. Una vez inspeccionadas, las piezas son colocadas en los contenedores de producto final con capacidad de almacenar 24 piezas. Una vez que los contenedores son llenados, se procede al emplayado. Es importante mencionar que se trabajan tres turnos que suman 22.5 horas diarias de operación

2. DIAGNOSTICO

El punto de partida es el diagnóstico donde se visualiza el estado actual y los históricos de desempeño. En este caso reflejados en los valores del métrico OEE (calculando al multiplicar tres componentes: disponibilidad, desempeño y calidad). Así mismo, una a una se estudian e identifican las áreas problemáticas a lo largo del proceso bajo la óptica de identificar los factores que al final de cuentas son responsables del bajo valor del OEE. Al respecto, se identificaron problemas en las siguientes áreas: moldes, soldadura, operación del robot y desperdicio, los cuales serán descritos a continuación.

2.1 HISTÓRICOS DEL OEE

Los datos históricos del OEE en el pesado reciente inmediato a la realización del proyecto se muestran en la Figura 1, ahí se muestran los tres factores con los que se calcula el del OEE, igualmente se muestra que el factor más bajo es el de availability. Esto es, el métrico de *availability* o disponibilidad es el de promedio más bajo y por lo tanto el causante de disminuir el nivel de OEE en la línea de producción. El cálculo de este indicador se hace de manera automática mediante un software haciéndolo disponible propiamente en cualquier momento.

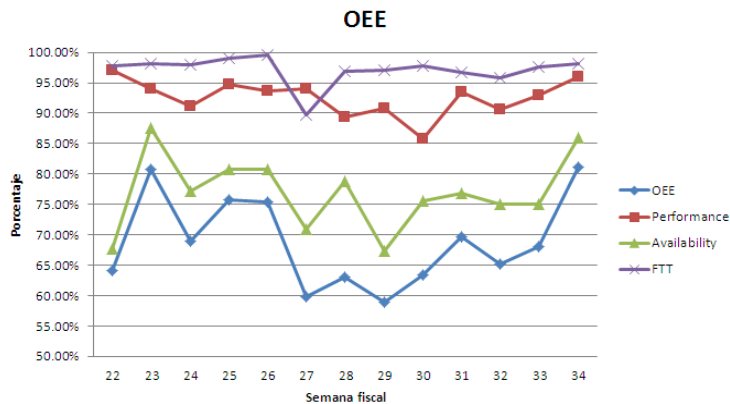
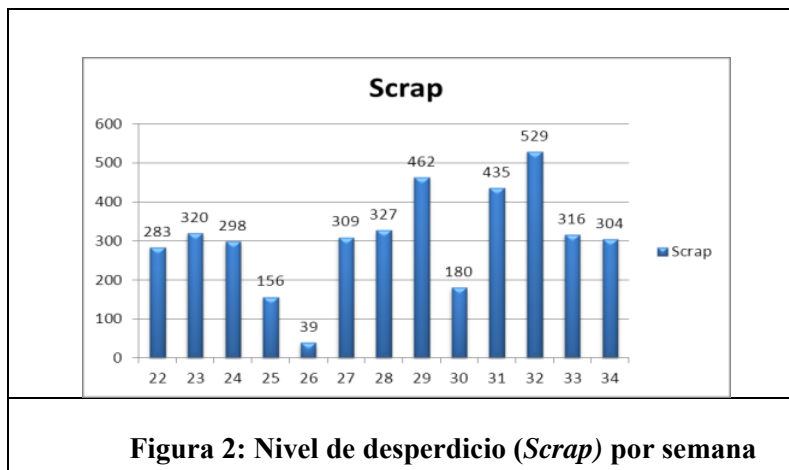


Figura 1. Comportamiento histórico del OEE

2.2 ANÁLISIS DE DESPERDICIO

El análisis del desperdicio (scrap) se hizo con información procedente de las últimas 13 semanas y se muestra en la Figura 2. Un análisis por separado arroja que el *scrap* es fundamentalmente provocado por tres factores que son: a) fallas en proceso de inyección, b) deficiencias en el soldado de la pieza y c) daño del sub-ensamble por golpes. Durante el periodo de estudio 3958 piezas de scrap fueron generadas de un total de 171,309. Esto es, se tiene un 2.31% en el periodo bajo estudio.



2.3 PROBLEMAS EN MOLDES

Los moldes son la base del proceso de inyección, cuando un molde no se encuentra en condiciones óptimas se logran buenos resultados en la producción, de lo contrario resultan deficiencias que van desde trabajar a un ritmo más lento, hasta llegar a parar la línea y con ello, correr el riesgo de no cumplir con la demanda del cliente cada vez que un molde se daña. El estudio denota las siguientes causadas por las que se puede dañar el molde: a) fisura de cavidades, b) problemas de sellado de moldes (rebaba en pieza), c) emplastamiento de *manifold* de calentamiento, d) *valve gates* dañadas, e) resistencias y termopares dañados, f) falta de lubricación y g) torpedos dañados.

2.4 PROBLEMAS EN INYECCIÓN

El área de inyección es propiamente el marca pasos o ritmo de la línea, ya que al no disponer de componentes para poder ensamblar, se provoca un paro por falta de componentes en la línea. El problema más frecuente en esta área es el elevado tiempo de ciclo provocado fundamentalmente por el tiempo de enfriamiento de la pieza en el molde. Este tiempo de enfriado de las piezas en los moldes es elevado debido a que en las líneas de enfriamiento el sarro ha invadido las paredes de los tubos; al obstaculizar el correcto flujo de agua dentro del molde, la transferencia de calor es baja y por ende con baja capacidad de enfriamiento de la pieza.

2.5 PROBLEMAS ROBOT Y COOLING CONVEYOR

Las máquinas de inyección de la línea Upper Pentastar trabajan a la par con un brazo robótico encargado de extraer las piezas inyectadas en el molde y colocarlas sobre una banda transportadora que tiene instalado un dispositivo para el enfriamiento de las piezas antes de entrar al soldado de las piezas. El brazo robótico es un dispositivo que también presenta problemas en el funcionamiento sobre todo en la fijación de ajustes (*fixtures*) lo que puede provocar en la mayoría de los casos errores humanos en la colocación de los moldes y el olvido del cambio de *fixture*, provocado en ocasiones el daño o rotura de estos complementos del brazo robótico. Otra situación que provoca fallas constantes en el robot es la falta de presión neumática en la planta, ocasionada por problemas eléctricos asociados a situaciones climatológicas diversas y en particular al funcionamiento de la subestación de la planta eléctrica en la empresa.

En lo que respecta al *cooling conveyor* el único problema es el control de la velocidad de la banda, debido a que el regulador de velocidad está al alcance de los operadores que esperan al final de la banda que las piezas terminen de ser enfriadas para poder guardarlas o utilizarlas en la siguiente etapa del proceso y a veces ellos modifican la velocidad de la banda (disminuyen velocidad), lo que provoca un retraso que posteriormente ocasiona que el robot no pueda colocar las piezas en la banda, y en consecuencia el flujo sea interrumpido y el molde no pueda seguir trabajando debido a que el robot no ha retirado las piezas recién inyectadas terminando por retrasar el tiempo de ciclo de la máquina inyectora.

2.6 PROBLEMAS EN LAS SOLDADORAS

Uno de los problemas principales de las soldadoras es un mal soldado. La técnica empleada es llamada “soldadura por vibración” la cual utilizando una resina que debe llenar el espacio entre las dos piezas a soldar y en ocasiones el espacio es muy grande. Lo delicado del problema es que la detección se realiza hasta la última etapa de la línea en una prueba de hermeticidad llamada *leak tester* cuyo resultado es “pasa o no pasa”. Existen varios motivos de esta falla, el primero debido a una desalineación del herramental de soldadura y el segundo debido a variaciones en las condiciones de operación de la máquina soldadora.

3. MAPA DE FLUJO DE VALOR INICIAL

Se llevó a cabo un mapeo del proceso usando la metodología correspondiente del VSM con un Tack time calculado de 24.66 segundos. El mapa incluye un total de seis subproceso, cinco proveedores, un *lead time* de 1.8 días y un tiempo de procesamiento de 115 segundos. Para cada subproceso se capturaron: el tiempo de ciclo, el cambio de herramental (*changeover*) el tiempo de operación disponible (*up time*) y el número de turnos de trabajo. Analizando el Mapa de flujo de Valor se identificaron las áreas de oportunidad que limitan el desempeño óptimo de la línea de producción las cuales fueron: a) tiempo de ciclo diferentes para cada una de las cuatro inyectoras, b) alto tiempo de operación del robot en dos inyectora, c) desapego a las rutinas de trabajo del operador, d) tecnología inadecuada del equipo *Dukane* para el proceso actual y, e) tiempo de ciclo de fabricación del componente *upper*, por encima del *takt time*.

4. MAPA DE FLUJO DE VALOR FUTURO

El VSM futuro esencialmente busca darle fluidez al flujo de material a lo largo de la línea, evitando los paros y con ello aumentando la disponibilidad del equipo el cual es el factor que estamos buscando mejorar para aumentar el OEE. Para llevar a cabo el diseño de las propuestas de solución se hizo un análisis como muestra en los siguientes apartados.

4.1 PARETO DE PRIMER Y SEGUNDO NIVEL

Se analizó la información dos Paretos, de primer y segundo nivel. En el Pareto de segundo nivel se analizó el 80% de la información del primer Pareto y se obtuvo el 80-20 de la información, convirtiéndose en el 64% de toda la información. El Pareto de segundo nivel nos indica que los problemas que causaron mayor tiempo muerto corresponden a los siguientes factores que se engloban en los primeros siete problemas de la figura 3: a) falta de componentes en la línea (esto se refiere principalmente al tiempo de no operación por la falta de contenedores para colocar el wip), b) ajuste de parámetros y proceso en la etapa de soldadura, c) molde dañado relacionado con los ajustes del proceso de inyección y d) ajuste de *fixture*.

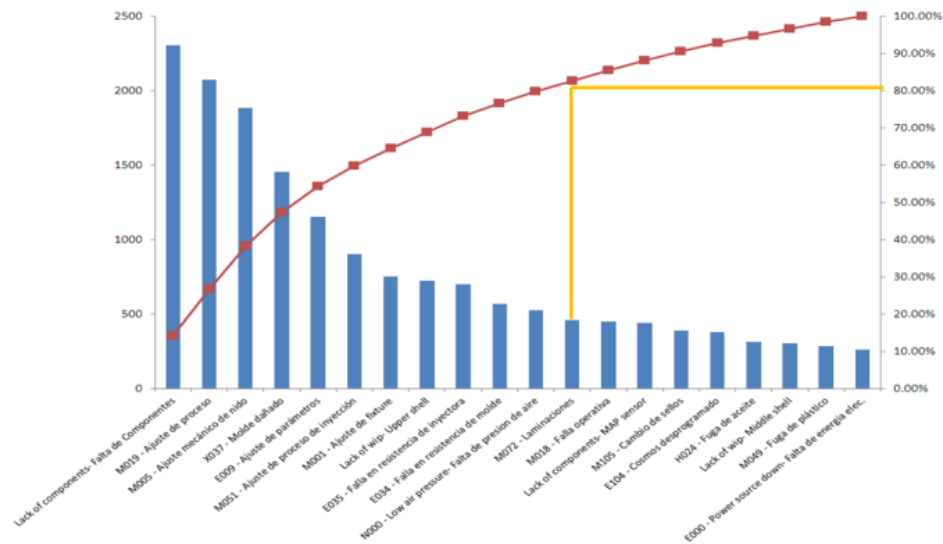


Figura 3. Pareto de segundo nivel

4.2 DIAGRAMA DE CAUSA EFECTO

Después de identificar los problemas que ocurren con más frecuencia en la línea, se realizó un diagrama de causa efecto (Figura 4) específicamente para el problema de Logística referido como falta de componentes, en el cual se identificaron dos problemas raíz señalados en el diagrama. Cabe mencionar que el problema de falta de componentes es muy amplio por lo que se decidió por esta forma de análisis. Los problemas raíz encontrados fueron: a) tiempo de ciclo de inyección elevado, b) falla en molde. El primero de ellos es una de las causas por la que la inyección representa el cuello de botella de la línea que rebasa el *Takt* time. Además es influido por el estado físico de la máquina de inyección y molde como la capacidad de enfriamiento repercutido por líneas tapadas o con sarro. EL segundo se debe principalmente a la falta de mantenimiento ya que con frecuencia se incumplen los programas por atender a urgencias de producción.

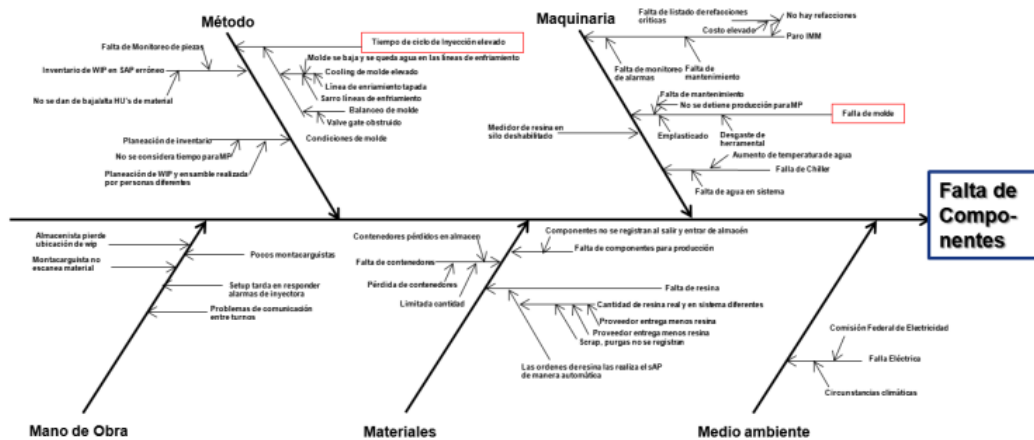


Figura 4. Diagrama de causa efecto

4.3 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Se llevó a cabo un diseño de experimentos para definir las variables (parámetros) que afectan a la inyección. El diseño de experimentos incluyó como variable de respuesta el peso de la pieza de inyección y como variables controlables los parámetros de operación y sus niveles: a) *Shot Size* (7.7 , 8, y 8.3 pulgadas) b) *Transfer Position* (1.35, 1.50, y 1.65 pulgadas) c) *Pack Pressure* (660, 720 y 780 psi), d) *Holding Time* (4, 6, y 8 segundos). Los resultados del experimento a través del análisis de Variabilidad ANOVA, arrojaron que todo las variables son significativas y algunas interacciones. Como resultado del análisis se desprenden las siguientes recomendaciones de operación de la máquina de inyección: a) *Hold time*: 8 segundos, b) *Pack pressure*: 780 psi , c) *Shot size*: 7.7 pulgadas y d) *Transfer position*: 1.65 pulgadas.

5. PROPUESTAS DE MEJORA

Las acciones de mejora propuestas para alcanzar los resultados propuestos se documentaron en formato A3 y se resumen a continuación:

1. Cambio de soldadora *Dukane* a *Branso* ya que la soldadora *Dukane* no repite resultados de fuerza, amplitud y problemas de soldadora, no es un equipo capaz de soldar una parte tan compleja.
2. Estandarizar estado de equipos y asegurar el mantenimiento preventivo ya que las condiciones de los equipos no son las mismas.
3. Capacitación a personal de soldadura ya que no se ha considerado como factor influyente en las fugas la capacitación de soldadura de vibración.
4. Diseño de herramientas que permitan el cumplimiento de mantenimiento preventivo de moldes e inyectoras; ya que no se incluye el mantenimiento en la planeación de la producción. No se detiene la producción para el mantenimiento preventivo (falla del molde).
5. Definir las variables (parámetros) que afectan a la inyección ya que el tiempo de ciclo es alto y la calidad de las piezas baja.
6. Implementación del sistema *Lock out /Tag out* (bloqueo de máquina para realizar mantenimiento diario); a fin de realizar el mantenimiento en condiciones optimas de seguridad.
7. Capacitación a los operadores en el tema de análisis y solución de problemas. Esto, para evitar la inadecuada modificación de los parámetros de operación de los equipos.

6. RESULTADOS

Una vez implementadas las soluciones anteriores paulatinamente en el transcurso de 8 semanas, se llevó a cabo una prueba piloto durante las siguientes tres semanas para monitorear el métrico OEE. Los resultados fueron un OEE promedio de 78.2% (desempeño del 88.3% , disponibilidad del 89.75 % y calidad del 97.53%) se monitorearon un total 133,945 partes. El desperdicio se redujo a 1.2%. El análisis comparativo nos indica que el nivel de disponibilidad rebasó su objetivo de 84.94% alcanzando un promedio de 89.75%. El nivel de calidad se mantuvo arriba de 97% y el desperdicio se redujo de un 2.31% a 1.2%, el cual también sobrepasó el objetivo de 1.5%. El objetivo general del proyecto fue alcanzado de una forma satisfactoria con el aumento del nivel OEE de un 68.81% a 78.20%, cumpliendo con el nivel propuesto al inicio del proyecto de 78.03%.

7. MEJORA CONTINUA

La última etapa de la metodología es la mejora continua en búsqueda de la excelencia. Esto se logra mediante la depuración de los procesos que den continuidad al desarrollo de nuevas o más altas metas. La idea es la fortalecer y cultura y competencia técnica de quienes trabajan directamente en los procesos, los coordinadores y directivos encargados de monitorear los resultados. Este último paso de la metodología de la manufactura esbelta propiamente es el inicio de un nuevo ciclo de mejora. A continuación se presentan las propuestas para mejorar la

operación de la línea y así aumentar el métrico aún más: a) dar seguimiento al desempeño de la línea, b) certificar a los operadores en la operación de la soldadora, c) rediseñar el curso de soldadura, d) analizar y rediseño de la distribución de planta, e) replicar el Diseño de Experimentos para otras inyectoras y moldes, f) diseño de experimentos para optimizar el inventario en proceso, g) verificar la eficacia del mantenimiento preventivo, y h) dar seguimiento al OEE por máquina.

8. CONCLUSIONES

Este proyecto de mejoramiento de la productividad se realizó en una industria proveedora de autopartes por estudiantes de último semestre de una carrera de Ingeniería Industrial. El proyecto utilizó una adaptación de la metodología de Manufactura Esbelta estableciendo como meta mejorar el métrico OEE de 68% a 78%. El diagnóstico inicial permitió focalizar el proyecto para mejorar el factor “disponibilidad” del OEE. Así mismo, permitió descubrir oportunidades de mejora en las áreas de moldes, soldadura, operación del robot y generación de desperdicio. En la fase de análisis se desprendieron siete alternativas de solución las cuales fueron implementadas en un periodo de ocho semanas y posteriormente monitoreadas por tres semanas más para asegurar la consistencia de sus resultados. Al final del proyecto la meta establecida se alcanzó llevando el métrico OEE a un 78.20%, además se propusieron acciones para continuar con el proceso de mejora en una segunda fase. Por último, es importante mencionar que la realización del proyecto reportó una valiosa experiencia profesional formativa para los estudiantes involucrados amén de los beneficios económicos para la empresa donde se llevó a cabo este proyecto de vinculación universitaria.

REFERENCIAS

- Alukal, G., and Manos, A. (2006). “Lean Keizen: A simplified Approach to Process Improvements”. ASQ Quality Press.
- Burton T., Boeder S. (2003). “The Lean Extended Enterprise: Moving Beyond the four Walls to Value Stream Excellence”. J. Ross Publishing.
- Carreira, B. (2005). “Lean Manufacturing that Works: Powerful tools for dramatically reducing waste and Maximizing Profits”, AMACOM.
- Chalica, R. (2007). “Improving Healthcare Using Toyota Lean Production Methods” 2nd edition. AQS Quality Press.
- Dennis P. (2004). “Lean manufacturing Implementation: A complete Execution Manual for Any Size Manufacturer”. Boca Ratón FL., J.Ross Publishing.
- Dennis, P. (2002). “Lean Production Simplified: A Plain-Language Guide to the World's Most Powerful Production System”. New York: Productivity Press.
- Feld, W. (2000). “Lean Manufacturing: Tools, techniques, and how to use them”. APICS Press. USA.
- Michael G., John L., and Rowland D. (2005), “The Lean Six Sigma Pocket Toolbook: A Quick Reference Guide to 100 Tools for Improving Quality and Speed”. McGraw Hill.
- GGEM, Green Enterprise Movement. (1009). “Glosary of terms”, en: <http://www.greenenterprise.ca/glossary.html> (consultado en enero del 2012)
- Jackson, T. (2006). “Hishin Kanri for the lean enterprise”. Productivity Press.
- Kaplan, R. (2006). “Using the balanced scorecard to create corporate synergies”, Harvard Business School Press.
- Kingery, C. editor. (2002). “The lean Enterprise Memory Jogger”, GOAL/QPC, USA.
- Lean&Green Summit. (2008). “Lean and Green Glossary” en: <http://www.leanandgreensummit.com/> (consultado en diciembre del 2011)
- Liker J. and Meier D. (2006). “The Toyota Way Fieldbook”. McGraw-Hill
- Pojasec, R. (2008). “Framing Your Lean-to-Green Effort”. Environmental Quality Management / Autumn 2008 , pp 85-93.

- Rother, M., and Shook, J. (1999). "Observar para Crear Valor: Cartografía de la Cadena de Valor para Agregar Valor y Eliminar Muda". The Lean Enterprise Institute.
- Spear, S., and Kent B. (1999). "Decoding the DNA of the Toyota Production System", Harvard Business Review, (September-October).
- Tapping, D. Luyster, T., and Shuker, T. (2002). "Value Stream Management". Productivity Press. New York.
- Tapping, D. (2003). "The Lean Pocket Guide: tools for the elimination of waste". Running Lean.
- U.S. Environmental Protection Agency EPA. (2007). "The Lean and Energy Toolkit: achieving process excellence using less energy" en: <http://www.epa.gov/lean/> (consultado en diciembre 2011)
- Womack, J., and Jones D. (2003), "Lean Thinking: Banish waste and create wealth in your corporation" Free Press, New York.

Autorización y Renuncia

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en las memorias de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito