



Calidad

y

Sistemas de Manufactura

Ingeniantes

Poka-Yoke en línea de producción de cubiertas para porta equipaje automotriz



Colaboración

Luis Armando Torres Pérez; María Guadalupe de Lourdes Acosta Castillo; Yasser Rafael García Rodríguez; Hugo Morales Acevedo; Andrea Abigail Hernández Torres, Instituto Tecnológico Superior de Guanajuato

RESUMEN: En el presente se propone el diseño e implementación de un Poka - Yoke con el fin de reducir los defectos por variación, generación de desperdicios (scrap) y pérdidas económicas en la línea de producción de cubiertas de lona retráctiles para porta equipaje (cubre cajuelas) en una empresa del sector automotriz. Como primera etapa, se describe el método y el principal factor de variación en el proceso de costura de las cubiertas, así como su impacto en el desempeño de la línea de producción.

En la segunda etapa se presenta el análisis que llevó al diseño del Poka - Yoke y finalmente, se muestran los beneficios obtenidos, comparando la cantidad de defectos antes y después de su implementación, reduciendo el desperdicio al 100% en la operación de costura e incluyendo a su vez, el impacto económico.

PALABRAS CLAVE: Diseño, Poka - Yoke, Producción, Scrap, Variación.

ABSTRACT: This paper presents the design and implementation of a Poka - Yoke to reduce the defects due to variation, scrap and economic losses in the retractable luggage space covers production line of an automotive company. At a first stage, the production method and the main factor of variation in the sewing process are described. The second stage presents the analysis for the design and application of the Poka - Yoke and finally, the benefits in the 100% reduction of defects, and the economic impact.

KEYWORDS: Design, Poka - Yoke, Production, Scrap, Variation.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la industria automotriz y de autopartes para vehículos en México ha sido abordado por diversas investigaciones, generalmente en relación con la evolución de la industria en el centro del país. Actualmente, la industria automotriz se encuentra en varios estados mexicanos, con grandes plantas de producción, como es el caso principalmente de Guanajuato, Puebla, Aguascalientes, Sonora y Chihuahua. El objetivo de estas plantas es abastecer principalmente el mercado de América del Norte [1].

De acuerdo a la Organización Internacional del Trabajo (OIT), los proveedores de componentes automotrices, representan dos tercios del valor añadido de cada automóvil, aumentando su participación en la industria, de tal forma que se espera lleguen a cubrir hasta tres cuartas partes en el futuro. A nivel mundial, la industria de componentes automotrices emplea alrededor del 46% de los trabajadores. De forma complementaria, las exportaciones de mercancías en la industria automotriz representan el 20% en países como Eslovaquia, Canadá, Chipre, Japón y México. Reflejando la forma en que las empresas buscan disminuir sus costos de trabajo por medio de externalizar sus actividades en otros países [2].

En décadas recientes, la industria automotriz ha sufrido grandes cambios en la forma de trabajar, incluyendo el incremento en la concentración industrial. Sin embargo, puede observarse que las ventas anuales de los mayores productores automotrices cayó de 54% a 46% en el periodo de 1998 – 2011, demostrando que la demanda en la diferenciación de productos y las diferencias entre las demandas nacionales de vehículos, presentan el reto de producir un vehículo que sea aceptado por el mercado a nivel internacional para cualquier industria automotriz [3].

Una de las respuestas a este reto (por parte de la industria automotriz a nivel mundial), consiste en la aplicación de los elementos de manufactura esbelta o de producción esbelta, cuyos principios se basan en la eliminación de desperdicios. La presente investigación se enfoca en el diseño e implementación de un Poka – Yoke , el cual representa una práctica de manufactura esbelta diseñada especialmente para eliminar la producción de partes defectuosas, complementándose con técnicas estadísticas para el control de los procesos. El diseño de un Poka – Yoke se mantiene como tema de interés debido a la simplicidad de su funcionamiento y sus características intuitivas [4].

El concepto Japonés de Poke – Yoke significa asegurarse de que el proceso se realiza de forma correcta, evitando que se cometa algún error [5].

Por otro lado, el Poka Yoke es una técnica que identifica los errores humanos y busca las formas de eliminarlos, pero depende del grado de ocurrencia de estos errores para evitar su presencia en el futuro [6].

El proyecto se llevó a cabo en una empresa del sector automotriz ubicada en Silao, Guanajuato, dedicada a la fabricación de cinturones de seguridad, bolsas de aire y otras partes de interiores para automóviles. La empresa forma parte de un corporativo que integra plantas manufactureras en países como Japón, Tailandia, India y China.

La mencionada planta cuenta con alrededor de 300 empleados y entre sus clientes principales se encuentran las compañías automotrices Susuki y Mazda.

La empresa se encuentra en un mercado de alta competitividad y paga un alto precio por los errores cometidos, los cuales pueden afectar financieramente y llegar a limitar las futuras oportunidades de negocios, provocando pérdida de competitividad frente a sus adversarios en el mercado. Es por ello que la prevención y atención a los errores se presenta como una estrategia permanente.

Para el desarrollo de este proyecto, la empresa mostró un especial interés en la operación de costura de su línea de producción de cubiertas retráctiles para el espacio del porta equipaje utilizadas en camionetas SUV (Sport

Utility Vehicle), debido a la alta cantidad de defectos por variación y desperdicios que generaba, alcanzando niveles de hasta un 40% en la producción diaria.

En este contexto, el objetivo del proyecto plantea el diseño e implementación de un Poka - Yoke para reducir la variación en la operación de costura de cubiertas retráctiles porta equipaje, disminuyendo la cantidad de defectos así como los desperdicios y su impacto financiero en la organización.

MATERIAL Y MÉTODOS

Descripción del problema.

Actualmente la empresa realiza una operación de costura en la línea donde se produce una cubierta retráctil para porta equipaje, dicha línea de producción contempla otras 9 operaciones de trabajo, donde se realiza desde el corte de material hasta la inspección final del producto terminado en un rango de producción desde 400 hasta 500 piezas por día.

La operación de costura consiste en pasar la pieza con una cintilla adherible a través de la máquina de coser y realizar una costura recta en ambos lados de la cintilla.

La operación dependía en su totalidad de la experiencia y habilidad que tiene el operador para mantener una costura recta, observándose una amplia variación en las costuras.

Dichas variaciones provocaban que las piezas fueran rechazadas y por lo tanto consideradas como scrap (desperdicio), generando pérdidas económicas desde \$21,000.00 hasta \$23,000.00 USD al mes.

Metodología.

Las cubiertas retráctiles portaequipaje se utilizan para cubrir el espacio de la cajuela de los vehículos SUV. Las cubiertas se sujetan a un mecanismo de plegado elaborado con aluminio, del cual se desprende un forro de lona negra. Además, el forro de lona tiene una abertura para sujetarse a la puerta trasera del vehículo (Figura 1).



Figura 1. Forro de lona para la cubierta retráctil portaequipaje.

Las dimensiones de las cubiertas varían de acuerdo al modelo de vehículo para el que sean utilizadas.

La Figura 2 presenta la metodología seguida para el diseño e implementación del Poka - Yoke en la operación de costura [7].

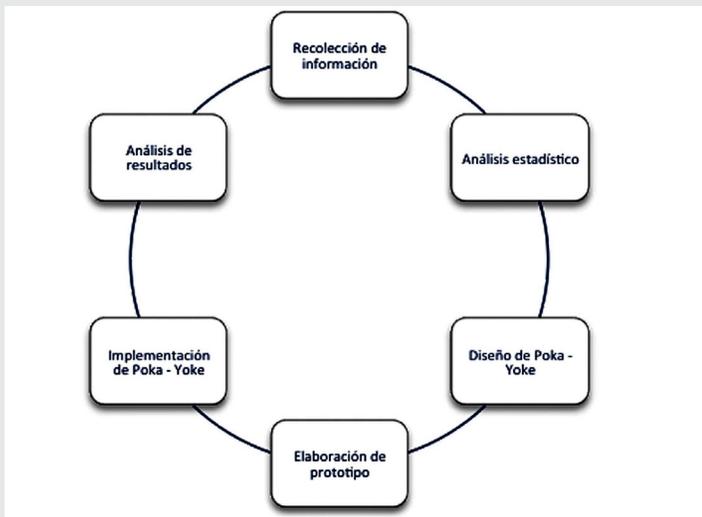


Figura 2. Metodología.

Como primer paso del análisis, se determinaron los puntos críticos de la fabricación de las cubiertas y se recolectó la información acerca de las fallas de ensamble más comunes en la operación de costura, utilizando información proporcionada por el área de calidad responsable de la línea de producción.

Con los datos obtenidos se realizó un análisis estadístico para determinar las principales fuentes de variación en el proceso, dando como resultado una mayor incidencia del método y las herramientas de costura en la generación de defectos.

Después de analizar estos resultados, el diseño de un Poka - Yoke surgió como una opción viable para disminuir la variación en el proceso de costura, debido a que un Poka - Yoke representa una herramienta para alcanzar cero defectos en manufactura [8].

Una vez elaborado el diseño del Poka - Yoke, se procedió con la manufactura de un prototipo, el cual fue evaluado para su implementación en la línea de producción.

Análisis del método de costura.

La empresa proporcionó diez muestras para llevar a cabo el estudio en el proceso de costura, esto de acuerdo a sus políticas de confidencialidad. Inicialmente se realizó el análisis del método de costura en cinco muestras utilizando el análisis de varianza (ANOVA) de un factor, el cual se utilizó para medir las diferencias entre las varianzas [9].

Los resultados del análisis de varianza con cuatro grados de libertad (GL) presentaron una suma de cuadrados (SC) de 12.3, media cuadrática (CM) de 3.1 y un valor para el estadístico de f (F) de 0.27, con una probabilidad (P) de 0.894, esto se resume en la Tabla 1.

Tabla 1. ANOVA.

ANOVA					
ANOVA	Unidireccional				
Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	4	12.3	3.1	0.27	0.894
Error	20	228.1	11.4		
Total	24	240.5			

Lo anterior indicó una baja variación en las medidas de las muestras y un alto coeficiente de error, lo que llevó a la consideración de la existencia de otros factores en la variación de la costura.

La probabilidad normal generada con la información del análisis de varianza, se muestra en la Figura 3, la cual señala que la costura no fue constante con la media (recta), por que existen puntos fuera de ella (variación).

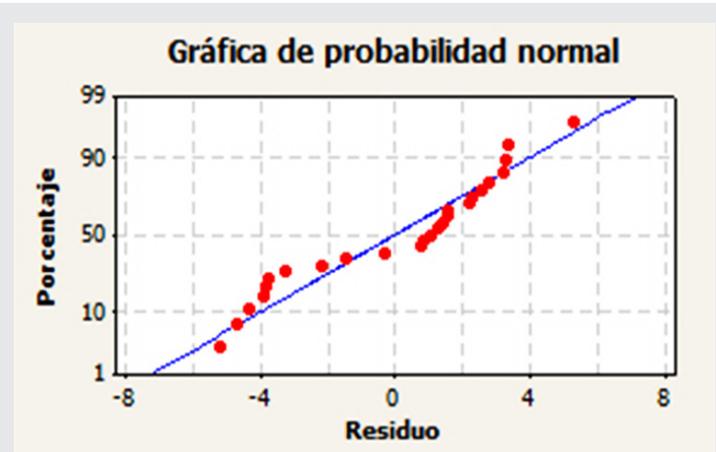


Figura 3. Probabilidad normal.

Por su parte, la Figura 4 muestra los ajustes generados con los valores de variación respecto a la media óptima de dos a cuatro milímetros y el histograma presenta valores de variación con respecto a la media óptima de dos a cuatro milímetros (Figura 5).

Debido a los resultados obtenidos con las cinco piezas iniciales, se decidió realizar un cuadrado grecolatino con las cinco piezas restantes. El cuadrado grecolatino se utiliza cuando se busca controlar tres fuentes de error o variabilidad [9], representados en este caso por las piezas, el método y la medición.

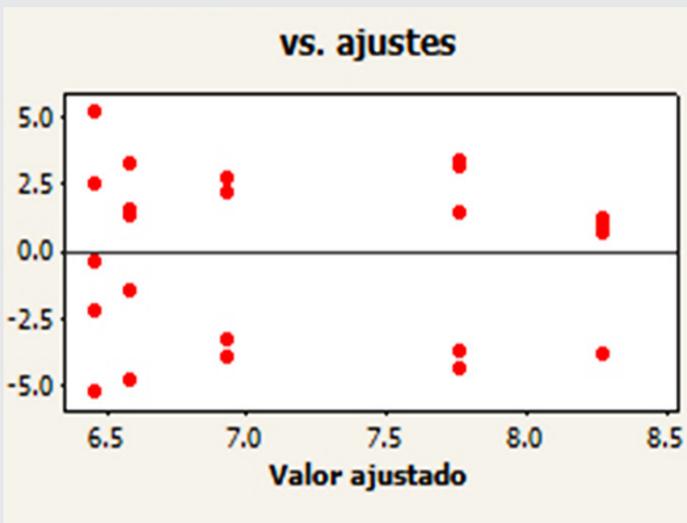


Figura 4. Valores de variación.

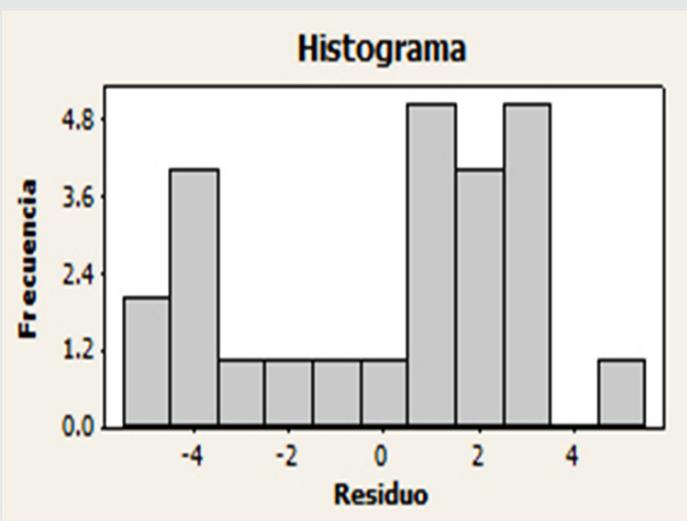


Figura 5. Histograma con valores de variación respecto a la media.

El cuadrado grecolatino en la Tabla 2, presentó una fuente de variación (VF) con mayor valor en el método de medición, así mismo en la suma de cuadrados (SS), los grados de libertad (GL), la media (MS) y el error (FO), lo cual indicó una oportunidad de mejora en el proceso.

Tabla2. Cuadrado grecolatino.

Cuadrado Grecolatino					
	FV	SS	GL	MS	F ₀
Pieza	Formulaciones	6.176984	4	1.544246	0.26750183
Método	Arreglos	152.728504	4	38.182126	6.61409434
Medición	Columnas	12.329544	4	3.082386	0.53394596
	Error	69.274112	12	5.77284267	
	Total	240.509144	24		

Los enfoques tradicionales en mejora de procesos, reducen la dependencia en las habilidades de los operadores por medio de un incremento en el nivel de tecnología en el ambiente de manufactura [10], por lo que la introducción de un Poka – Yoke resultó conveniente en la operación de costura para disminuir la variación.

Diseño de Poka – Yoke y método de costura propuesto. Para el diseño del Poka – Yoke se utilizó la metodología de rapid prototyping o prototipado rápido, consistente en una técnica de manufactura que se fundamenta en un modelado físico de los diseños, lo cual permite una mejor comprensión de las ideas en la etapa de desarrollo, ayudando a encontrar problemas potenciales. Además, con esta metodología, se utilizan modelos funcionales que pueden ser sometidos a pruebas en condiciones reales para estimar las características finales del modelo [12].

El proceso inicia con la simulación de experiencia del usuario por medio de un modelo manual creado con materiales sencillos y fáciles de obtener. Con ayuda de este primer modelo manual, se buscan los posibles errores del modelo para ser mejorados en el diseño.

Una vez realizadas las correcciones necesarias al diseño, se procede a la manufactura formal del prototipo y se pone a prueba.

Siguiendo esta metodología, se inició con el diseño y modelado (Figura 6), contemplando las siguientes características en el funcionamiento del Poka – Yoke:

- Fijación total del área de costura, con una cavidad paralela a la aguja de la máquina.
- Extensión del mecanismo para sostener el peso sobrante de la tela y este puede producir una variación que afecte la costura.
- Evitar la elevación de la tela con la distancia entre los rieles a la aguja de la máquina.
- Centrado del punto de apoyo para elevar la parte superior del mecanismo, distribuyendo el peso en la cuchilla con punta cuadrada que sostiene el peso al elevarse.

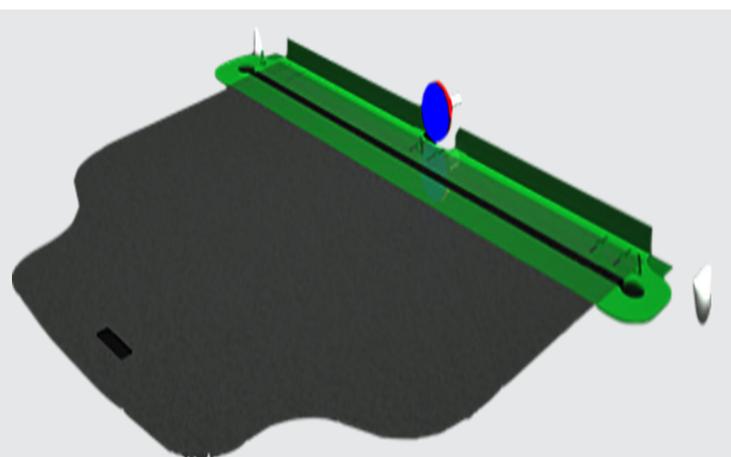


Figura 6. Diseño del Poka – Yoke.

RESULTADOS

Una vez realizado el diseño tridimensional del prototipo del Poka - Yoke, se procedió a realizar su manufactura, lo que se observa en la Figura 7, y a llevar a cabo las pruebas correspondientes a su funcionamiento en la línea de producción.



Figura 7. Colocación del Poka - Yoke.

Con la aplicación del Poka - Yoke se modificó el método de costura, introduciendo el material de forma horizontal, realizando un movimiento que permite presionar la tela para el cierre de la costura, la cual es liberada al terminar la operación para regresar al punto inicial y continuar con la siguiente pieza (Figura 8).

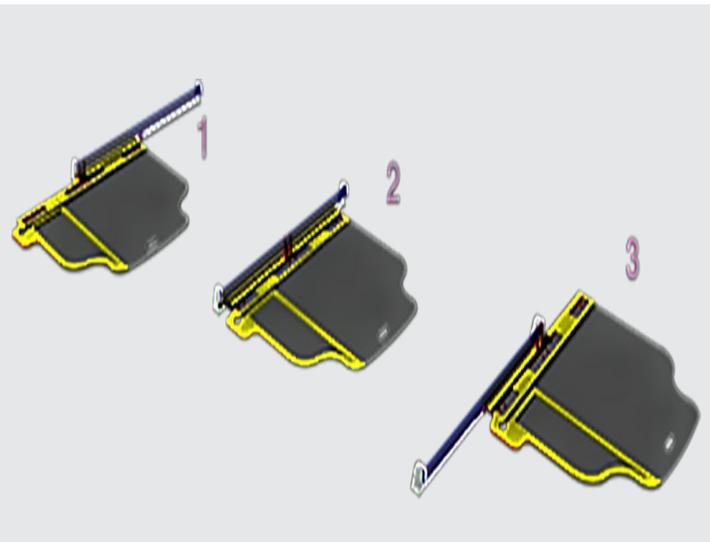


Figura 8. Funcionamiento del Poka - Yoke.

Además, el Poka - Yoke utilizó una guía para evitar el movimiento irregular producido por la fuerza del operador, respetando la velocidad de la máquina de coser.

El material seleccionado para elaborar el Poka - Yoke consistió principalmente en acrílico transparente, metal y un

tablero de fibra de densidad media (MDF). El acrílico fue seleccionado por su resistencia al impacto, peso ligero, transmisión de luz y estabilidad dimensional, mientras que el metal ofreció una mayor dureza para ser utilizado en la sección de costura. El MDF proporcionó una superficie de fácil manejo y de menor precio en comparación con el uso de madera tradicional.

Las partes de metal y acrílico fueron unidas por medio de calor, mientras que la parte de MDF fue unida utilizando tornillos y tuercas.

En forma complementaria se colocó una cubierta de goma antiderrapante en la parte inferior del Poka - Yoke, esto con el objetivo de aumentar la sujeción a la tela y evitar el movimiento durante la operación de costura. Además, se incluyeron rodamientos de aluminio para evitar la vibración en la guía de la tela.

La operación de costura tiene una especificación de cero defectos. Sin embargo, antes de la implementación del Poka - Yoke, los defectos generados particularmente en la operación de costura ascendían a más del 50%. Con la utilización del Poka - Yoke se eliminaron al 100% los defectos, cumpliendo así con la especificación de la operación.

CONCLUSIONES

Con la implementación del Poka - Yoke en la línea de producción se eliminaron al 100% los defectos en la operación de costura, los que anteriormente representaban el rechazo de un 40% de la producción total de cubiertas en las auditorías de calidad realizadas al proceso, generando pérdidas económicas de hasta \$276,000.00 USD anuales relacionadas únicamente con la operación de costura (Figura 9).

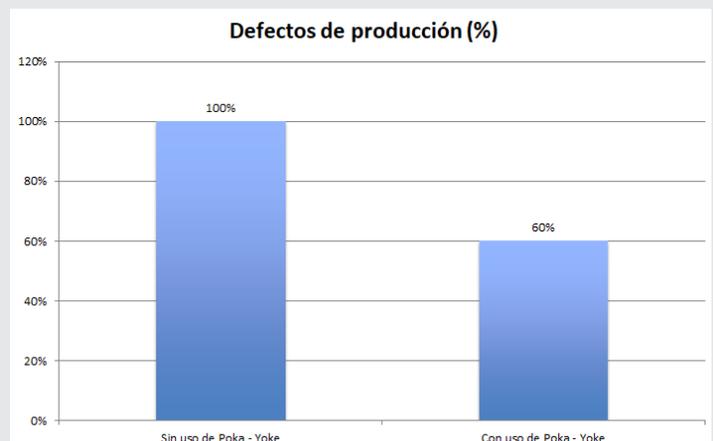


Figura 9. Reducción de defectos en la producción total.

Adicionalmente, los beneficios obtenidos en la línea de producción incluyeron la disminución en un 50% al tiempo en la curva de aprendizaje con personal de nuevo ingreso.

Con el ahorro generado por la utilización del Poka - Yoke en el área de costura, la empresa aumentó sus ganancias.

cias en un 20% para el siguiente año, permitiéndole invertir en el crecimiento de su capacidad instalada y abriendo la oportunidad para la implementación de proyectos de mejora en otras áreas críticas del proceso.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Padilla, R. (2008). *Evolución reciente y retos de la industria manufacturera de exportación en Centroamérica, México y República Dominicana*. México, D.F.: CEPAL.

[2] OIT (2005). *LIBROS. Revista Internacional del Trabajo*. 124, 127-148.

[3] Nieuwenhuis, P., Wells, P. (2015). *The global automotive industry*. Chichester, UK: Wiley.

[4] Abreu, T., Duarte, J.L., Vidor, G., (2012). A framework for assessing poka-yoke devices. *Journal of Manufacturing Systems*. 31(3), 358 - 366.

[5] AL-Tahaat, M.D. Jalham, I.S.(2015). A structural equation model and a statistical investigation of lean-based quality and productivity improvement. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 26(3), 571 - 583.

[6] Lopes, M. E. R. F., Forster, C. H. Q. (2013). Application of human error theories for the process improvement of Requirements. *Engineering, Information Sciences*. 250, 142-161.

[7] Vinod, M., Devadasan, S.R., Sunil, D.T. et al. *Int J Adv Manuf Technol* (2015) Six Sigma through Poka-Yoke: a navigation through literature arena. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 81: 315-327.

[8] Díaz M., A. (2013). *Estadística aplicada a la administración y la economía*. México, D.F., McGraw-Hill Interamericana.

[9] Spiegel, M. R., Stephens, L. J. (2009). *Estadística* (4a. ed.). México, D.F., MX: McGraw-Hill Interamericana.

[10] Hong, K., Nagarajah, R., Iovenitti, P., & Dunn, M. (2007). A Sociotechnical Approach to Achieve Zero Defect Manufacturing of Complex Manual Assemblies. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 17 (2), 137-148.

[11] Vargas H, L, Córdoba N. E. (2004). Calidad superficial en el prototipado rápido, proceso FDM. *Ingeniería e Investigación*. 56, 28 - 32.

[12] Vargas H, L, Córdoba N. E. (2004). Calidad superficial en el prototipado rápido, proceso FDM. *Ingeniería e Investigación*. 56, 28 - 32.