

ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DE LA CADENA DE VALOR DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LÁMINAS DE UNA EMPRESA DEL SECTOR METALMECÁNICO

MEDIANTE LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE MANUFACTURA LEAN

Analysis and improvement of the value chain of film production line of a company in the engineering sector by implementing Lean Manufacturing Tools

Fecha de recibo del artículo: Julio de 2011 - Fecha de aceptación: Septiembre de 2011

Juan Carlos Cabarcas Reyes

Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla, Colombia, jcabarcasr@uac.edu.co

María Jimena Wilches-Arango

Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla, Colombia, mwilches@uac.edu.co

Angélica Forero Chaves - Sammy Molina Sanmiguel

Universidad Autónoma del Caribe – Semilleros de investigación. angelica.forero@uac.edu.co, sammy.molina@uac.edu.co

RESUMEN

En este artículo, resultado de una investigación aplicada, se muestra el análisis y mejoramiento de la cadena de valor de la línea de producción de láminas de una empresa del sector metalmeccánico. Primero se presentan los desperdicios identificados en la cadena de valor, luego se determinan las herramientas Lean más apropiadas para su eliminación y finalmente se hace un análisis costo-beneficio para la implementación de las herramientas propuestas.

Palabras clave

Cadena de valor, manufactura Lean, productividad, flujo, desperdicio.

ABSTRACT

In this paper, which is an applied research result, it is shown the analysis and improvement of the value chain of the production line of sheet of a company. Firstly, waste are identified in the value chain, then is determining the most appropriate lean tools for removal and finally a cost-benefit analysis is made for implementing the proposed tools.

Keywords

Value chain, lean manufacturing, productivity, flow, waste.

INTRODUCCIÓN

A raíz de la globalización, la competitividad en el entorno empresarial se ha venido haciendo cada día más compleja y reñida, debido a que los procesos son cada vez más automatizados, por lo que se busca con frecuencia optimizarlos para lograr mejores resultados en lo concerniente a la calidad de los productos y a menores costos. Teniendo en cuenta la necesidad de mejorar y adecuarse a cambios que el futuro trae para los empresarios y el hecho de incorporarse de una mejor manera en el mercado, los japoneses Eiji Toyoda y Taichi Ohno, de la Toyota Motors Company, utilizaron el concepto de Lean Manufacturing, el cual no se basa en la producción en masa, sino en unas técnicas, las cuales sirven para mejorar, optimizar y maximizar las oportunidades de mejoras que se presenten dentro de los procesos. La idea de la manufactura Lean es crear un sistema de producción esbelto; es decir, libre de desperdicios, los cuales pueden ser clasificados como desperdicios de tiempo, de transporte, de material, de espacio y hasta de personas. Para minimizar dichos desperdicios o “mudas”, como se llama en japonés, esta teoría se ha apoyado en técnicas también japonesas muy conocidas por la ingeniería industrial en el mundo, como son Just In Time (JIT), 5S, Kanban, entre otras. El artículo presenta un estudio que se realizó a una línea de producción de láminas, desde el primer eslabón del proceso hasta el último. Teniendo en cuenta que esta línea es la más representativa para la compañía, el beneficio producido por la implementación de la manufactura Lean en ella será mucho más significativo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa en estudio es una marca líder en Colombia y con presencia internacional, que se encuentra ubicada en una zona industrial del departamento del Atlántico. Dicha compañía constituye la mejor opción en productos laminados, con el fin de brindarle la satisfacción a las necesidades de los clientes. Sus productos se emplean como materias primas de otras industrias (láminas cortadas), para usos como tejas o puertas, para pisos de vehículos de transporte (buses), entre otros.

Al realizar un análisis de la línea de producción de láminas, la cual es la más representativa de la empresa, se puede observar que se presentan toda una serie de retrasos, desplazamientos, colas, inventarios y procedimientos innecesarios que incrementan el tiempo de flujo del producto final, alargando el tiempo de entrega a los clientes finales, lo que le resta competitividad a la empresa y productividad a la línea. Cualquier mejoramiento que las herramientas de la ma-

nufactura Lean puedan producir en esta línea, tendrá un impacto significativo en la empresa en general.

ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO

Para llevar a cabo el proyecto se revisaron las investigaciones más recientes y relevantes acerca del tema, para determinar qué tan factible es lo que se propone en la investigación.

En México se han adelantado unos avances en cuanto a manufactura Lean, y estos se ven reflejados en diversos estudios realizados; uno de ellos es el publicado en la revista Contaduría y Administración, en junio de 2002, el cual tiene como título *Manufactura esbelta (Lean) y Seis sigma en empresas mexicanas: experiencias y reflexiones*, escrito por Primitivo Reyes, profesor de Administración en diferentes universidades, en el que se plasmó brevemente en qué consisten las metodologías de manufactura Lean y Seis sigma y, además, comparte la experiencia que él obtuvo durante el desarrollo de sus acti-

vidades de asesorías y capacitaciones en estos temas en algunas empresas de manufactura, cuyas reflexiones se plasman en este artículo [1].

Dentro de sus experiencias obtenidas en México, se analizaron los resultados del IV Censo Anual de Manufactureros en los países del TLC y Australia, desarrollado por la revista norteamericana *Industry Week*, en donde se observó que ya se han iniciado prácticas de manufactura esbelta, en donde se tuvo en cuenta que ya se han adoptado prácticas de manufactura esbelta; de un total de 108 encuestados se tienen 17 con manufactura celular, 14 con cambios rápidos y Kanban; y 21 con producción de flujo continuo [2].

Otros resultados derivados de la misma encuesta y publicados en la revista *Manufactura*, en el 2001, muestran que el 40% de los participantes afirmaron conocer el concepto de manufactura esbelta y muchos de ellos ya habían iniciado la implantación de algunos métodos; 9,4% de los participantes ya aplicaban en su totalidad el TPM y otro 18% tiene un avance de 51% en promedio; 3,1% ya implantó el método de cambio rápido y otro 22% tiene un 55% en promedio de avance; 3,1% ya aplicaba el control de calidad cero y 25% informó que lo había implementado en un 51%; 3,1% operaba con Kanban y Justo a Tiempo en el 100% y en el 28% de los casos se ha avanzado en un 70%; 3,1% ya han implementado Kaizen para solución de problemas y el 15% reportó avances de un 74%; 16% de los participantes ya trabajaba con celdas de manufactura y otro 12% tenía un avance del 61% en promedio [3]. Los diversos métodos de la manufactura Lean requieren del liderazgo y compromiso de la alta dirección en las empresas y mucho énfasis en el desarrollo del trabajo en equipo, incluyendo el desarrollo personal. Esta metodología se puede aplicar a la micro y pequeña empresa, con cambios en la cultura y estilos de dirección. Por ende, el principal beneficio al utilizar los métodos de manufactura Lean es el "adelgazamiento" de la empresa haciéndola mucho más flexible y operando con recursos mínimos para la manufactura, con lo que se

logran ventajas competitivas en rapidez de respuesta, costos reducidos, con lo que se satisface al cliente y se puede reducir la tensión a la que están sometidos los gerentes y empleados [4].

En Colombia también se han adelantado estudios acerca de manufactura Lean y uno de ellos fue el que realizó la empresa Americana de Colchones, el cual consiste en un *Modelo de aplicación de herramientas de manufactura esbelta desde el desarrollo y mejoramiento de la calidad en el sistema de producción*, realizada por dos estudiantes de Ingeniería Industrial de la Universidad Javeriana de Bogotá, el cual tuvo como objetivo general: diseñar un modelo para la aplicación de herramientas de manufactura esbelta en el sistema de producción de Americana de Colchones. Entre los resultados que se lograron se tiene [5]:

- Las personas de la organización deben reconocer la implementación de herramientas de manufactura como un proceso de mejoramiento continuo, por lo cual debe haber un responsable en cada etapa y mecanismos de control.
- Todas las valoraciones y cálculos realizados en el proyecto deben revisarse de forma periódica y ajustarse de acuerdo con los cambios y modificaciones que se presenten de la realidad, de tal forma que el modelo pueda ser desarrollado en diferentes escenarios reales.

Otro de los avances en cuanto a este tema se encuentra plasmado en un artículo publicado por la Universidad Tecnológica de Pereira, el cual expone *Algunas reflexiones para aplicar la Manufactura Esbelta en empresas colombianas*. Dentro de las conclusiones y recomendaciones que da el autor, se encuentran [6]:

- El sistema de producción esbelta está asociado fuertemente con el sentido común y por eso su implementación exige una adecuada preparación en la cultura organizacional, donde todos, directivos y empleados, estén comprometidos a cambiar sus tradicionales formas de pensar y de trabajar.

- El enfoque del sistema es la eliminación de toda clase de desperdicios (o muda).
- Para implementar este sistema en las empresas colombianas es determinante el compromiso de la alta dirección o gerencia; con una buena dosis de sentido común y con suficientes recursos económicos para invertir en tecnología y capacitación, se puede respaldar esta clase de proyectos.

Entre otros estudios realizados en el país se encuentra uno desarrollado por la Universidad del Norte de Barranquilla, en el que se expone el *Desarrollo de un prototipo de línea de producción automatizada con el fin de probar las políticas de control esbelto Kanban, Conwip y BBC*, en el cual se obtuvieron varias conclusiones y recomendaciones, dentro de las que se encuentran las siguientes [7]:

- Las políticas de control esbelto son herramientas útiles para el rendimiento del sistema productivo. La mayor ventaja de implementar el sistema pull incluye la reducción del tiempo de ciclo, y la flexibilidad económica.
- Mientras que los sistemas Kanban mantienen un rígido control del WIP a través del uso de tarjetas individuales en cada estación de trabajo, los sistemas de CONWIP son más fáciles de ejecutar y de ajustar.

Toyota, con el apoyo de Taiichi Ohno y Shingo Shingeo, introdujo un sistema para reducir o eliminar los desperdicios y las actividades que no agregan valor al proceso [8]. Afirma que la fabricación esbelta ha sido descrita como una filosofía que busca eliminar procesos innecesarios para alinear los procesos en un flujo continuo, y utilizar los recursos con el fin de resolver problemas en un proceso continuo. La manufactura esbelta (Lean) abarca muchas estrategias y actividades que le son familiares a la mayoría de los ingenieros industriales. En su forma más simple, manufactura esbelta es: Hacer que el producto fluya a través del proceso, eliminar el desperdicio (no eliminar actividades que añaden valor),

reducir el tiempo de fabricación total (incluidos los procesos administrativos y físicos) para un producto y la mejora continua [9].

La citada filosofía se refiere a un conjunto de técnicas desarrolladas por la compañía Toyota que sirve para mejorar, optimizar y maximizar las oportunidades de mejoras que se presenten dentro de los procesos operativos de cualquier compañía industrial, sin importar el tamaño, ya que el objetivo es minimizar el desperdicio o "muda", el cual puede ser de tiempo, productos defectuosos, transporte, almacenajes, maquinaria y hasta personas [10]. Este conjunto de técnicas incluye el justo a tiempo (JIT), Jidoka (automatización con un toque humano), Kaizen (mejoramiento continuo), PokaYoke (a prueba de fallos), 5S, Heijunka (designación del alisamiento del programa de producción por el volumen y la mezcla de productos fabricados durante un tiempo dado), Takt time, Andon (sistema de señales para mostrar anomalías en el proceso), SMED (reducción de tiempos de preparación) y TPM (mantenimiento total productivo), entre otros. La manufactura esbelta (Lean) busca minimizar el uso de recursos a través de la empresa para lograr la satisfacción del cliente, reflejado en entregas oportunas de la variedad de productos solicitada y con tendencia a los cero defectos. Esta filosofía utiliza menos de cada cosa en la planta, menos esfuerzo humano, menos inversión en inventarios de materiales y herramientas, menos espacio y menos horas de ingeniería para desarrollar un nuevo producto [11].

Entre los objetivos que persigue la manufactura Lean está desarrollar una filosofía de mejora continua, la cual le permita a las compañías eliminar los desperdicios o mudas que se presentan durante toda la cadena de valor, en los diferentes departamentos de la misma, logrando obtener por consiguiente reducción de costos, optimización de procesos, mejoras en la calidad de productos y/o servicios, mejoras en la productividad, disminución de tiempos muertos, entre otros. De esa manera se llega a conseguir la satisfacción del cliente.

La manufactura Lean proporciona una serie de herramientas para subsistir en el mercado global y ser competitivos dentro del mismo [12].

Este sistema se distingue por los siguientes principios [12]:

- Define el valor e identifica la cadena de valor para su producto.
- Elimina todos los pasos innecesarios en toda cadena de valor.
- Crea flujo de valor: que todo el proceso fluya suave y directamente de un paso que agregue valor a otro, desde la materia prima hasta el consumidor.
- Toda actividad es halada por el cliente: una vez hecho el flujo, serán capaces de producir por órdenes de los clientes en vez de producir basados en pronósticos de ventas a largo plazo.
- Persigue la perfección continuamente.

Para el cliente las actividades que agregan valor al producto son aquellas por las que está dispuesto a pagar; se identifican porque generalmente son las operaciones que lo convierten en su forma física o integran el servicio; por ejemplo, las operaciones necesarias para modificar materias primas y materiales en un producto terminado. Dentro de las actividades que no agregan valor se tienen los re-procesos al producto, los tiempos de espera y las inspecciones, los almacenamientos, las demoras, entre otros [13].

Entonces, muda significa "pérdida o desperdicios, específicamente cualquier actividad humana que absorba recursos pero que no cree valor"; dentro de este marco el valor corresponde a lo que el cliente defina como tal. Así, pues, desperdicio en este contexto es toda mala utilización de los recursos y/o posibilidades de las empresas. Se desperdician tantas horas de trabajo por ineficacia en la programación y planificación de las tareas, como también se desperdician posibilidades de ganar nuevos mercados por carecer de productos de calidad o por exceso en sus costos de producción [14].

Las mudas clasifican en las siguientes categorías: sobreproducción, inventario, talento humano, productos defectuosos, movimientos, reprocesamiento, espera y transporte [15].

IDENTIFICACIÓN DE MUDAS

En esta etapa se realizó un análisis exhaustivo de las mudas con el fin de mejorar la cadena de valor de la línea de laminado de la compañía en estudio, eliminando o minimizando en su mayoría estos desperdicios, para permitir así una producción mucho más eficiente y productiva.

El proceso de laminado consiste en:

- **Fundición:** El área de fundición se compone de una serie de etapas dentro del proceso de fabricación del bloque, como son el previo almacenamiento y preparación de cargas para los hornos. Una vez el horno se carga, se empieza a fundir el bloque de metal. Luego, se realiza una comprobación de la calidad del producto. Al salir la placa del horno, se hace el proceso de aserrado para minimizar los bordes defectuosos o rugosos. Luego se traslada el material al área de laminado en caliente.
- **Laminado en caliente:** Este proceso consiste en reducir la placa de metal que ha sido homogeneizada, exponiéndola durante 18 horas, aproximadamente, a altas temperaturas, en un horno que oscila entre 900 y 980 °F, de un espesor de 200 mm a 500 mm mediante la aplicación de presión, transmitida por unos cilindros en rotación que se pasan repetitivamente hasta obtener el espesor deseado. Luego se continúa con el enrollamiento de bobinas para finalizar la laminación de la misma.
- **Laminado en frío:** Luego de esperar que la lámina enrollada baje su temperatura, se procede a la reducción del espesor de la lámina, la cual ha pasado anteriormente por el laminador en caliente, con el fin de minimizar su espesor aún más; este proceso se lleva a cabo mediante la aplicación

de presión de un par de cilindros al pasar el material a través de ellos. El proceso de laminado, como tal, tarda de 7 a 10 min, dependiendo del espesor y de la aleación de la lámina. Mientras se va laminando el rollo, este a su vez se embobina y para protección del material se adiciona al embobinado un papel especial para el mismo, en caso de ser esta la última pasada de la lámina.

- **Acabado:** Este proceso consiste en darle las características finales a las láminas terminadas; es decir, a las que se les realizó la laminación en frío, dependiendo de la solicitud del cliente; ya que en la planta de acabado se encuentran ubicadas una serie de máquinas o equipos encargados de realizar diferentes acabados a las láminas dentro de dicho proceso. En esta etapa las láminas pasan por una máquina reafiladora, la cual tiene como función realizar cortes a los lados de la lámina y al largo; esto quiere decir que esta máquina es la encargada de darle ancho y largo a las láminas cortadas, según lo estipulado en las órdenes de producción. Finalmente se obtienen las láminas cortadas, listas para empacar y enviar a logística para ser despachadas al cliente o almacenadas.

A través del estudio realizado en el proceso de laminado, se identificaron una cantidad considerable de mudas dentro del mismo, para las cuales se tendrían que realizar grandes esfuerzos a fin de encontrar posibles soluciones para todas ellas; por consiguiente, se decidió hacer una priorización de ellas, con ayuda del personal operativo y administrativo de la empresa, y así abordar las de mayor incidencia en la línea.

La priorización se realizó utilizando una evaluación en la que el personal involucrado calificó las mudas determinadas con una puntuación de 1 a 10, en donde 1 significaba poco impacto negativo y 10 gran impacto negativo sobre la línea de laminado. El resultado de dicha evaluación se presenta en la Tabla 1.

Analizados los resultados, se observa que en el área de acabado es donde se encuentra el ma-

yor número de mudas dentro de la cadena de valor de la línea de laminado. Le sigue a esta la de laminado en frío.

De acuerdo con lo obtenido en la Tabla 1, se decidió trabajar con las 13 primeras mudas que representan el 72% del impacto negativo de la línea que se va a estudiar; por lo cual, si se logra minimizar hasta su más mínima expresión o eliminar en un 100% este listado de desperdicios, sería significativo para la empresa, llegando así a reflejarse en su productividad y, por ende, en el mejoramiento de la cadena de valor, hasta llegar a lograr una mayor satisfacción de los clientes.

DETERMINACIÓN DE HERRAMIENTAS LEAN

Se realizó un análisis sistémico de las mudas identificadas en el proceso de laminado de placas y se determinaron las herramientas Lean que de acuerdo con sus objetivos serían apropiadas para dar solución a dichas problemáticas.

Teniendo en cuenta estos resultados se decidió, mediante una matriz de impacto de las mudas, identificar qué mudas impactan en las otras, lo cual quiere decir que con la solución de una muda se dará solución a la otra muda que esta impacta, ya que como es una producción en cadena, si hay una muda al inicio del proceso, puede ser que afecte de manera directa a otro eslabón de la cadena de valor. Esto quiere decir que mediante la implementación de dicha matriz se logró minimizar el número de mudas que se debían solucionar, quedando así reducido a 6 el número de mudas. En la Figura 1 se aprecia lo que expresan los resultados.

Se observa que el hecho de resolver la muda No. 1 (aleaciones indeseadas) le da solución a la muda 7 (productos defectuosos en fundición), a la No. 2 (bordes ondulados) y a la 13 (transporte por reprocesos debido a productos defectuosos). Del mismo modo, al solucionar con éxito la muda No. 8 (inventario de materia prima excesivo), se da solución a las mudas 6 (exceso de inventario láminas MQX1) y 10 (cuello de bo-

Tabla 1. Priorización de los desperdicios identificados

PRIORIZACIÓN DE LAS MUDAS IDENTIFICADAS				
Área	Muda	Puntos	% Obtenido	% Acumulado
Fundición	Aleaciones indeseadas-defectos	44	0,07	0,07
Acabado	Bordes ondulados	43	0,07	0,13
Laminado en frío	Espera debido al número de pasadas necesarias	39	0,06	0,19
Acabado	Tiempo de espera por la grúa	39	0,06	0,25
Laminado en frío	Productos defectuosos observados durante el procesamiento	38	0,06	0,31
Acabado	Exceso de inventario de láminas en MQX1	37	0,06	0,37
Fundición	Productos defectuosos en fundición	35	0,05	0,42
Laminado en frío	inventario de materia prima excesiva	35	0,05	0,47
Acabado	Muda de material (puntas y bordes) MQX1	35	0,05	0,53
Acabado	Cuello de botella MQX2	35	0,05	0,58
Laminado en caliente	Demoras debido al homogeneizado	32	0,05	0,63
Acabado	Muda de material (cintillo) MQX1	32	0,05	0,68
Laminado en caliente	Transporte por reprocesos debido a productos defectuosos	30	0,05	0,72
Laminado en caliente	Defectos de calidad debido a temperaturas inadecuadas	29	0,04	0,77
Laminado en frío	Exceso de láminas en espera	29	0,04	0,81
Acabado	Alistamiento de la máquina MQX2	29	0,04	0,86
Acabado	Demoras en la identificación de lámina MQX2	28	0,04	0,9
Laminado en caliente	Exceso de placas en espera	24	0,04	0,93
Fundición	Incongruencia entre áreas (despacho-recepción) de la placa	23	0,04	0,97
Fundición	Almacenamiento de placas terminadas en espacios inadecuados	20	0,03	1
TOTAL		656	1	

tella MQX2). Sin embargo, si se le da solución a la muda No. 3 (espera debido al número de pasadas) se soluciona por ende la No. 8. Cabe anotar que la muda No. 3 es la más complicada de disminuir, puesto que es parte del proceso ese tiempo que se debe esperar para la realización de las pasadas necesarias. Dándole solución a la muda No. 4 (tiempo en espera por la grúa) se disminuiría la muda No. 10 y, finalmente, si se

soluciona la muda No. 2 se minimizan las mudas 12 y 13.

De acuerdo con el mayor impacto de unas mudas en las otras, se tomó la decisión de dar solución a las mudas que impactan en otras, lo cual minimiza el número de alternativas de solución, haciendo más factible la aplicación de las mismas en la compañía.

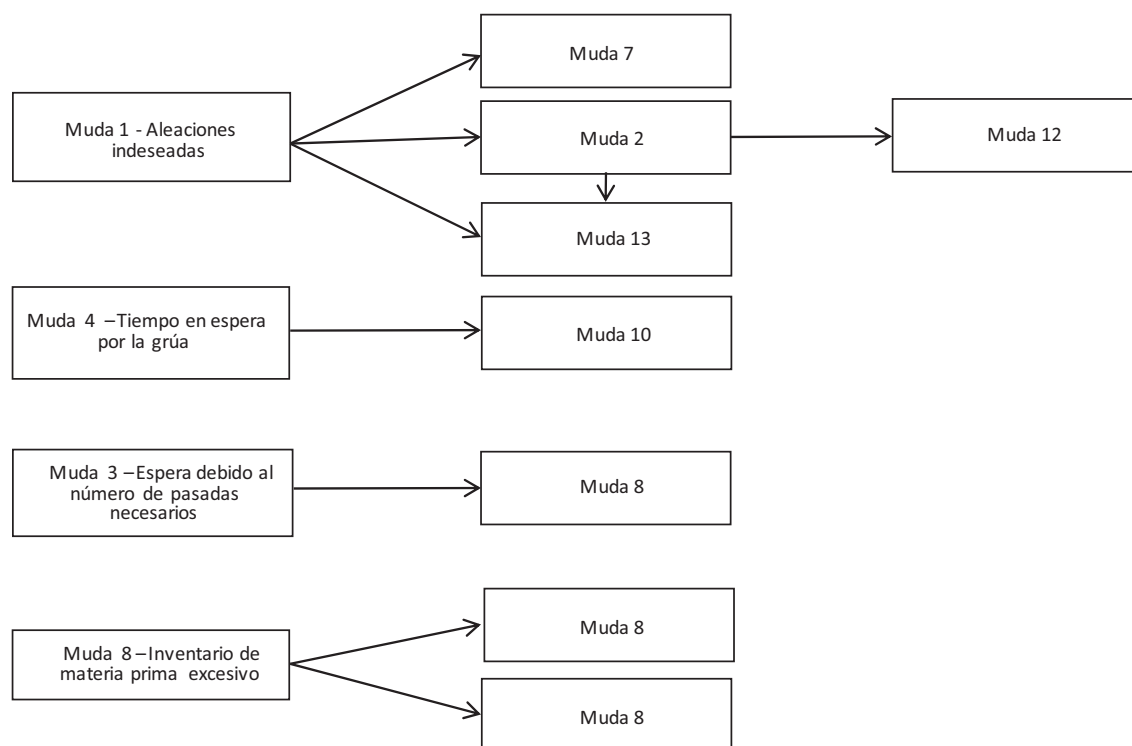


Figura 1. Impacto en la solución de mudas

ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Alternativa de solución para la muda No. 1: Aleaciones indeseadas- defectos

Para esta muda se decidió crear unas planillas de control de temperatura y una de control de aleaciones, como herramientas Pokayoke, con las cuales se pretende realizar revisiones en el transcurso del proceso de fundición. El proceso es sencillo: se toma la materia prima y dependiendo de la aleación que desee, según el pedido que se vaya a procesar, así serán las proporciones de las materias primas antes mencionadas que se depositen en el horno para su correcta fundición. Sin embargo, este proceso se ha venido realizando de manera empírica y sería interesante y productivo proponer un mayor control en el área del horno, para así minimizar errores futuros en el bloque que afectan la productividad del área de fundición y, por ende, la de laminado.

El propósito de la utilización de esta plantilla es controlar que no haya producción de blíster (burbujas de aire - defecto en los bloques) debido a fallas en la temperatura, ya que estos se reflejan en los defectos de calidad encontrados en laminado en frío, producto de un control poco exhaustivo en el área de fundición. La planilla podría hacerse, según se aprecia en la Figura 2.

Además se ha propuesto la utilización de una planilla que incluya las diferentes aleaciones que se realizan de manera cotidiana en la empresa, la cual será un complemento de la planilla de producción que tienen en la planta y que cuenta con las cantidades exactas de materia prima, pero no con una que incluya además los aleantes requeridos. Esta estandarización de los valores de las cantidades adecuadas minimizaría la cantidad de pruebas de laboratorio que se hacen para comprobar si la mezcla de aleantes realizada es la correcta.

Alternativa de solución para la muda No. 3: Espera debido al número de pasadas necesarias

Hay una alternativa bastante costosa, la cual sería adquirir una nueva laminadora, que en su interior refrigerara el rollo y lo laminara como en una segunda bobina, para ello se recomienda realizar un estudio financiero más a fondo y además un análisis técnico para definir la capacidad, los espesores y la velocidad requerida de la máquina.

Dado que la solución de la muda 3 impacta positivamente a la muda 8, se propone utilizar la herramienta de las 5S para despejar el área, haciendo que esta espera sea menor y además que esté todo más ordenado, llegando así a gastar menos tiempo en la ubicación de los rollos que deben ser procesados.

Además, se propone una planilla JIT que dará prioridad a la manufactura de las láminas para que requieran menos repeticiones en la laminadora y así lograr el espesor deseado, con el fin de cumplir con pedidos de clientes y enfocarse en los calibres deseados, además de la capacidad de la máquina respecto a los mismos. En esta planilla, además, se anotarán los tiempos necesarios en cada pasada con el fin de que este registro sirva para realizar una estandarización de tiempos de pasadas y montajes.

Alternativa de solución para la muda No. 4: Tiempo en espera por la grúa

Para darle solución a esta muda se decidió crear unas tarjetas Kanban, tanto para la grúa como

para la lámina, con el fin de evitar congestión en el área por el uso de la misma, todo ello por medio de esta herramienta Lean, la cual consiste en plasmar los horarios que tardará la lámina en refileado, en el Kanban rollo y así mismo establecer en el Kanban grúa, la hora en que se necesitará la misma para el montaje y desmontaje del rollo en la refileadora.

Para esta muda se realizará dicha tarjeta (Kanban rollo), la cual debe ser adherida en la parte exterior del rollo que va a salir, y crear una planilla para que los operarios en ella relacionen los respectivos turnos de la grúa según la hora en la que se terminó el proceso previo a la utilización de la grúa.

Con esta aplicación se pretende organizar el uso de la grúa, además se disminuirá el tiempo de trabajo, debido a que así será más rápido el montaje de los rollos en las respectivas máquinas. Además, se espera que el proceso sea mucho más organizado y eficiente. Las tarjetas utilizadas podrían ser como se muestra en las Figuras 3 y 4.

Para fines más específicos, el operario toma la tarjeta de los rollos y anota, en la respectiva planilla, los horarios en que necesitará la grúa; así, cuando se termina el proceso se tendrá también un registro de las veces en que se utilizó la grúa y si con una sola es suficiente para suplir las necesidades de transporte en esta área; de no ser así, este método Kanban servirá para estudiar la posibilidad de adquirir una nueva grúa, ya que una sola no es suficiente para el procesamiento de las láminas.

Fundición 10/12/2011	Temperatura	Temperatura
Hora	Horno 1	Horno 2
07:00:00		
08:00:00		
10:00:00		
12:00:00		

Figura 2. Modelo de planilla de control de temperatura

Máquina	Hora de inicio	Hora de finalización
MQ	07:00:10	07:30:00
Operario: Juan Pérez		
Características rollo: XXXXX		

Figura 3. Kanban rollo

Disponibilidad grúa	Hora de inicio	Hora de terminación
Refladora No. 1	06:55	07:00
Recortadora de bordes	07:01	07:06
Refladora No. 2	07:30	07:35
Refladora No. 1		

Figura 4. Kanban grúa

Alternativa de solución para la muda No. 5: Productos defectuosos observados durante el procesamiento

Este es una muda que se produce básicamente por la fatiga y desconcentración de los operarios; lo que se ha planteado en el proyecto es crear auditorías por parte de los supervisores con las que se pueda evaluar por turnos a los operarios, con el fin de establecer las causas de tal muda.

La evaluación o inspección se plasmaría en una tabla, señalando las características que se están presentando en la lámina, y si están ligadas a la orden de producción; esto con el fin de realizar una evaluación mensual o trimestral de los operarios y observar de qué manera se están llevando a cabo los procesos y qué tan eficientes están resultando.

Alternativa de solución para la muda No. 8: Inventario de materia prima excesiva

Para darle solución a dicha muda se decidió crear unas clasificaciones dentro de la zona de almacenamiento de los rollos, utilizando la he-

rramienta de las 5S. En la planta involucrada se debe implementar Seiri, clasificación, de manera que se logre ubicar de modo más organizado los rollos de las láminas, clasificándolas en tres primeras secciones, las cuales pueden ser:

- **Rollo en proceso:** De esta primera clasificación harán parte los rollos que ya han sido procesados por primera vez, o más, y que están en enfriamiento para luego ser reprocesados, o como se conoce coloquialmente en la planta, que están esperando para realizárseles las repeticiones en la laminadora, hasta obtener el espesor deseado.
- **Rollo terminado:** De este grupo harán parte los rollos que ya han sido terminados, los cuales están esperando para ser procesados en acabado, en caso de ser necesario; o si no, son empacados con destino al comprador final.
- **Rollo inicial:** Este grupo estará conformado por los rollos que ya han sido terminados en el área de laminado en caliente, y están esperando el espacio para ser montados de nuevo en la laminadora donde serán laminados.

A su vez, la clasificación anterior puede subclasificarse teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Espesor deseado en el rollo.
- Acabado que se le va a hacer al rollo (MQX1 o MQX2).
- Número de pasadas que necesita el rollo.

Según las clasificaciones anteriormente explicadas, se puede establecer que en la clasificación rollo en proceso, se subclasifique a número de pasadas que necesita el rollo; es decir, que se debe organizar una zona establecida para ello y, por ende, debe dividirse la misma en tres zonas adicionales, para hacer de la misma un ambiente de más orden y así se ubiquen con mayor rapidez los rollos que se van a procesar.

De igual manera, la clasificación de los rollos terminados debe subclasificarse, o sea, dividirse en el acabado que se le va a realizar al rollo (MQX1 O MQX2); esta zona de pre-acabado debe clasificarse, ya que de aquí salen los rollos que se van a procesar en la refiladora, la cual está generando cuellos de botella por su capacidad. Para ello, hay que tener en cuenta que debe crearse un área ordenada de los rollos que van a ser procesados en esa máquina, por orden del pedido, para no incumplirle al cliente debido a problemas de eficiencia con la máquina. La otra zona sería estipulada para los rollos que van a procesarse en la máquina de recorte de bordes, así cada operario de las diferentes zonas de acabado tomará sus rollos de manera ágil y sin complicaciones. De este modo, se evitará la congestión en el área de acabado.

Finalmente, los rollos iniciales se van a clasificar según el espesor deseado en el rollo, debido a que esta subclasificación permitirá tomar de manera más rápida los rollos de menor número de pasadas, para así terminar antes de lo planeado el rollo laminado, siendo más productivos y eficaces; sin embargo, en caso de que en la orden de pedido haya láminas de menor espesor antes que las demás por cuestiones de responsabilidad y cumplimiento con el cliente,

estas deberán hacerse primero para seguir con el cronograma de trabajo; luego de hacerse a la disciplina de las 5S, será mucho más fácil su implementación y así se podrán tomar estas alternativas de manera más habitual y con más sencillez.

ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS

Finalmente, en esta sección se presentará la viabilidad económica de las propuestas que han sido sugeridas en la sección anterior. Para ello se utilizará el análisis costo/beneficio, con el cual se pretende encontrar la factibilidad técnica y económica de las alternativas. El análisis costo/beneficio es una herramienta que ayuda a estimar el impacto acumulado de lo que se propone, para mejorar la cadena de valor en este caso. Se utiliza para comparar el costo de diferentes soluciones entre las que se va a escoger, o, sencillamente, ver qué tan factible económicamente puede ser su implementación.

Debido a que no se cuenta con el dato numérico del beneficio que representa la implementación de las alternativas que se han propuesto para solucionar la problemática estudiada en la empresa, se ha decidido realizar una estimación de lo que podría ser el beneficio respecto a la implementación de estas. Es decir, que este no se calculará sino que se expresarán sus ventajas para la cadena de valor frente a sus costos.

A continuación se presentan los costos de implementación de cada alternativa propuesta:

- Alternativa de solución para la muda No. 1: Aleaciones indeseadas- defectos (Tabla 2).
- Alternativa de solución para la muda No. 3: Espera debido al número de pasadas necesarias (Tabla 3).
- Alternativa de solución para la muda No. 4, Tiempo en espera por la grúa (Tabla 4).
- Alternativa de solución para la muda No. 5,

- productos defectuosos observados durante el procesamiento (Tabla 5).
- Alternativa de solución para la muda No. 8, Inventario de materia prima excesivo 5S (Tabla 6).
- Alternativa de solución para la muda No. 9, Muda de material (puntas y bordes) MQX1. Esta propuesta no tiene costo asociado.

Tabla 2. Costo alternativa de solución No. 1

COSTOS	
Alternativa No. 1 (Muda 1) planillas de aleaciones y de control de temperatura.	
Planillero	\$15.600 (4 unidades)
Tipografía (hoja con membrete)	\$130.000 (1.000 unidades)
Total:	\$145.600

Tabla 3. Costo alternativa de solución No. 4

COSTOS	
Alternativa No. 4 (Muda 3) Planilla JIT	
Planillero	\$7.800 (2 unidades)
Tipografía	\$130.000 (1000 unidades)
Total	\$ 137.800

Tabla 4. Costo alternativa de solución No. 5

COSTOS	
Alternativa No. 5 (Muda 4) Kanban Rollo-Grúa	
Planillero	\$7.800 (2 unidades)
Tipografía	\$130.000 (1.000 unidades)
Tarjetas adhesivas	\$45.600 (50 unidades)
Total	\$ 183.400

Tabla 5. Costo alternativa de solución No. 6

COSTOS	
Alternativa No. 6 (Muda 5) Control por supervisores de planta	
Planillero	\$7.800 (2 unidades)
Tipografía	\$130.000 (1.000 unidades)
Capacitación supervisores	\$450.000 (4 horas)
Total	\$ 587.800

Tabla 6. Costo alternativa de solución No. 7

COSTOS	
Alternativa No. 7 (Muda 8)	
SEIRI	
Esmalte interior Kolor	\$39.900 (1 galón)
Marcadores de colores	\$8.000 (4 unidades)
SEITON	
Planillero	\$7.800 (2 unidades)
Tipografía	\$130.000 (1.000 unidades)
SHITSUKE	
Capacitación en Lean Manufacturing	\$450.000 (4 horas)
Total	\$ 635.700

En la Tabla 7 se presenta el cuadro que relaciona el costo de cada alternativa con el beneficio ofrecido por esta.

Según el análisis observado anteriormente, se puede decir que las alternativas de solución a dichas mudas son muy sencillas, tanto en la aplicación como en su viabilidad técnica y económica, por lo que las mismas pueden implementarse sin mayores inconvenientes.

CONCLUSIONES

Dentro de las mudas que se identificaron en el análisis de la cadena de valor de la fabricación de láminas, las cuales afectan el flujo del proceso productivo, se encuentran: aleaciones indeseadas-defectos, productos defectuosos en fundición, incongruencia entre áreas (despacho-recepción de la placa). En el área de laminado en caliente se identificaron las siguientes: demoras debido al homogeneizado: transporte por reprocesos debido a productos defectuosos, defectos de calidad debido a temperaturas inadecuadas, exceso de placas en espera. En el área de laminado en frío se identificaron las siguientes mudas: espera debido al número de pasadas necesarias, productos defectuosos observados durante el procesamiento, inventario

de materia prima excesivo, exceso de láminas en espera. Para finalizar, en el área de acabado se encontraron: bordes ondulados, tiempo en espera por la grúa, exceso de inventario de láminas en la máquina de recorte de bordes, muda de material-puntas y bordes, cuello de botella Refiladora 2, muda de material-cintillo MQX1, alistamiento de la máquina Refiladora 2 y demoras en la identificación de láminas Refiladora 2.

Como resultado de la priorización de las mudas, se obtuvo que dentro de las mudas de mayor impacto negativo se identifican: aleaciones indeseadas-defectos, bordes ondulados, espera debido al número de pasadas necesarias, tiempo en espera por la grúa, productos defectuosos observados durante el procesamiento, exceso de inventario de láminas en la MQX1, productos defectuosos en fundición, inventario de materia prima excesivo, muda de material (puntas y bordes) MQX1, cuello de botella MQX2, demoras debido al homogeneizado, muda de material (cintillo) MQX1 y, finalmente, el transporte por reprocesos debido a productos defectuosos.

El análisis sistémico realizado mostró que dentro del grupo de herramientas de manufactura Lean pertinentes para la solución de las situaciones mencionadas se encuentran:

Tabla 9. Análisis Costo / beneficio de las alternativas a implementar

Mudas	Alternativas	Costo	Beneficios
Aleaciones indeseadas - Defectos	Planilla de control temperatura (papelaría con logo de la empresa y carpetas) Planilla de aleaciones (papelaría con logo de la empresa y carpetas)	\$ 145,60	Se logrará un mejor control por parte de los supervisores al momento de inspeccionar las aleaciones, minimizando las imperfecciones en las mismas. Con esto, se minimizan defectos en las láminas y por ende los costos de reprocesos.
Espera debido al número de pasadas necesarias	Planilla JIT y 5S	\$ 0,00	Con la Planilla JIT se podrá dar prioridad a los pedidos que se soliciten con urgencia. Con las 5s se mantendrá un orden respecto a las pasadas y esto servirá para terminar en un menor tiempo los pedidos, es decir que se reducirá el tiempo de trabajo y por ende se incrementa la productividad de la planta.
Tiempo en espera por la grúa.	Kanban Rollo-Grúa	\$ 183,40	Se organiza la programación de la utilización de la grúa, lo que disminuye el tiempo de espera por la misma.
Productos defectuosos observados durante el procesamiento	Control por parte de los supervisores	\$ 587,80	Minimiza errores por parte de los operarios, mejora la calidad de los productos y evita pérdida de tiempo productivo.
Inventario de materia prima excesivo	5S	\$ 635,70	Mantener en orden el área de laminado en frío. Además se logra encontrar más rápido los rollos a procesar lo que agilizaría la salida de los mismo disminuyendo la cantidad de rollos almacenados.
Pérdida de material (puntas y bordes)	Control corte de puntas	\$ 0,00	Se estandariza la medida de corte de las puntas y de los bordes de las láminas, disminuyendo así el desperdicio de material.

- Aleaciones indeseadas-defectos PokaYoke-Jidoka.
- Bordes ondulados → PokaYoke-Jidoka.
- Espera debido al número de pasadas necesarios → JIT.
- Tiempo en espera por la grúa → Kanban-JIT.
- Productos defectuosos observados durante el procesamiento → PokaYoke-Jidoka.
- Exceso de inventario de láminas en la MQX1 → Kanban.
- Productos defectuosos en fundición → PokaYoke-Jidoka.
- Inventario de materia prima excesivo → 5S.
- Muda de material (puntas y bordes) → PokaYoke-Jidoka.
- Cuello de botella MQX2 → JIT.
- Demoras debido al homogeneizado → JIT.
- Muda de material (cintillo) MQX1 → PokaYoke.
- Transporte por reprocesos debido a productos defectuosos → PokaYoke.

El resultado de la matriz de impacto realizada muestra que dándole solución a la muda No. 1 se solucionan las mudas No. 7, No. 2, No. 13, No. 12; dándole solución a la muda No. 3 se soluciona la muda No. 8; solucionando la muda No. 4 se soluciona la muda No. 10; y, finalmente, solucionando la muda No. 8 se da solución a la muda No. 6.

El análisis de las propuestas a nivel financiero muestra claramente la factibilidad del proyecto, demostrando así que este puede resultar atractivo para la empresa. Mediante el análisis costo/beneficio se logra identificar el impacto de dichas propuestas o alternativas de solución, ya que con ello se logra minimizar defectos en las láminas, evitar tiempos muertos dentro de los procesos, estandarizar procesos e incrementar por lo tanto la productividad de la empresa.

REFERENCIAS

- [1] P. Reyes Aguilar, *Manufactura Delgada (Lean) y Seis Sigma en empresas mexicanas: experiencias y reflexiones*. Revista Contaduría y Administración, No. 205 (5), 59-69, 2002.
- [2] J. Perea, "IV Censo de Manufactureros: ¿A tono con sus prácticas de producción?", *Manufactura*, Grupo Editorial Expansión, año 7, No. 70, abril 2001. México, pp. 76-84. La encuesta fue realizada por las empresas norteamericanas PriceWaterhouse Coopers para la revista IndustryWeek.
- [3] E. Mora y A. Castillo, *Manufactura Esbelta: "La experiencia mexicana"*, *Manufactura*, Grupo Editorial Expansión, año 1, No. 72, 2001, México, pp. 90-104.
- [4] P. Reyes Aguilar, Op. cit., p. 60.
- [5] A. Niño y C. Olave, Proyecto de grado, Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniería Industrial. Modelo de aplicación de herramientas de manufactura esbelta desde el desarrollo y mejoramiento de la calidad en el sistema de producción de Americana de Colchones, Bogotá, 2004, p. 17.
- [6] P. Ballesteros Silva, *Algunas reflexiones para aplicar la Manufactura Esbelta en empresas colombianas*. Universidad Tecnológica de Pereira, Revista Scientia et Technica, Año XVI, No. 38, 2008, pp. 223-228.
- [7] G. A. Angulo Hernández y P. M. García Henríquez, "Desarrollo de prototipo de línea de producción automatizada con manipuladores neumáticos para probar políticas de control esbelto". Proyecto de grado, Facultad de Ingenierías, programa de Ingeniería Industrial, Universidad del Norte, 2007.
- [8] G. Alukal, 'Create a lean, mean machine', *Quality Progress*, Vol. 36, No. 4, 2003, pp. 29-34.
- [9] W. M. Hancock and J. Z. Matthew, *Lean Production: Implementation Problems*, IIE Solutions, 1998.
- [10] L. Padilla, *Lean Manufacturing—manufactura es-*

- belta/ágil. Revista Electrónica Ingeniería Primero, Universidad Rafael Landívar, No. 15. 2010, pp. 64-69.
- [11] J. Womack and Roos, *The Machine That Changed the World*, Macmillan, Nueva York, 1990, pp. 90-104.
- [12] A. Niño y C. Olave, *Op. cit.*, p. 22.
- [13] M. Wish and J. Wish, *Accelerating Business: Finding Time, using Time*, Loose thread Publishing, Hudson, Massachusetts, EUA, 2001, pp. 10-18.
- [14] J. Womack and D. Jones, *Lean Thinking*. Simon & Shuster, 1996.
- [15] M. Barrios y S. Sira, El kaizen en los procesos académicos. "Ingeniería y Sociedad UC", Universidad de Carabobo, No. 2, 2006, pp. 83-93.