

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
FACULTAD DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y DISEÑO  
INGENIERÍA INDUSTRIAL



**TESIS**

**“REDUCCIÓN DE SCRAP UTILIZANDO LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA”**

Que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de

**INGENIERO INDUSTRIAL**

Presenta:

**JOSÉ ROBERTO CANDELAS ACOSTA**

Director de tesis

**DR. JORGE LIMÓN ROMERO**

Ensenada, Baja California

Diciembre 2014

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

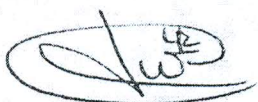
## “REDUCCIÓN DE SCRAP UTILIZANDO LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA”

### TESIS

Para obtener el grado de INGENIERO INDUSTRIAL que presenta:

**JOSÉ ROBERTO CANDELAS ACOSTA**

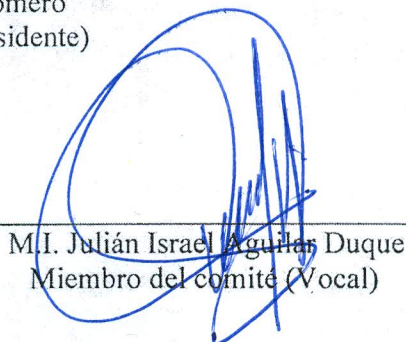
Aprobada por el siguiente comité:



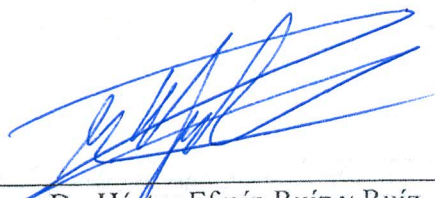
Dr. Jorge Limón Romero  
Director de tesis (Presidente)



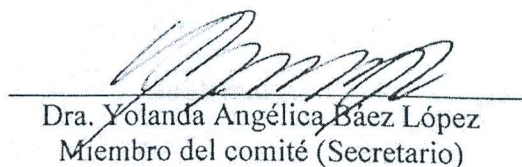
Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza  
Miembro del comité (Vocal)



M.I. Julián Israel Aguilar Duque  
Miembro del comité (Vocal)



Dr. Héctor Efraín Ruíz y Ruíz  
Miembro del comité (Vocal)



Dra. Yolanda Angélica Baez López  
Miembro del comité (Secretario)

Ensenada Baja California, México. Diciembre de 2014.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
OBJETIVOS.....	2
Objetivo general .....	2
Objetivos específicos .....	2
HIPOTESIS.....	2
DELIMITACIÓN.....	2
LIMITACIONES.....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
MATERIALES Y METODOS .....	7
Materiales: .....	7
Método: .....	7
1) Definir .....	7
2) Medir.....	9
3) Análisis: .....	10
4) Mejora.....	12
5) Controlar .....	14
RESULTADOS.....	14
DISCUSIÓN.....	17
CONCLUSIONES.....	18
REFERENCIAS.....	18
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	21

# 1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se realizó en una empresa del ramo automotriz, la cual se dedica a la elaboración de bolsas de aire, con el objetivo de contribuir a la mejora de su proceso de producción. Durante el desarrollo de este proyecto se analizó la situación actual de la empresa, con respecto al desperdicio que se genera en el proceso de corte de los componentes que integran la bolsa de aire. Este problema se abordó aplicando herramientas estadísticas y siguiendo la metodología de Seis Sigma llamada DMAIC (por sus siglas en inglés) cuyas etapas son Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Durante el desarrollo del proyecto se hizo un análisis entre la maquinaria disponible dentro del área láser de la compañía y se buscó la solución más óptima para el proceso de corte de los componentes por medio de un análisis Costo-Beneficio para tomar una decisión de si es redituable implementar la mejora a dicho proceso. Los resultados obtenidos después de la implementación, fueron mucho mejores que los planteados en el objetivo al inicio del proyecto ya que se alcanzó un ahorro del orden de los 16,000 dólares anuales, con lo que se pudo comprobar que el emplear la metodología DMAIC es muy útil para la solución de problemas en la industria, debido a que ésta hace que el desarrollo de un proyecto de mejora sea de manera estructurada.

El motivo de la realización del presente proyecto surgió debido a que la compañía está en trabajo constante para lograr la mejora continua. La empresa donde se realizó el estudio trabaja con Manufactura Esbelta (ME), la cual según Seth y Gupta (2005) es una estrategia que se basa en los objetivos fundamentales del Sistema de producción Toyota (TPS), cuyo objetivo es continuamente minimizar desperdicios para maximizar el flujo. ME tiene su enfoque en la reducción de costos, minimización de desperdicios y una mejor gestión de material. Detty y Yingling (2000) sostienen que se han propuesto varias herramientas y técnicas en el contexto de esta estrategia.

Actualmente en la empresa se detectó una oportunidad de mejora en el proceso de corte en el área láser, y se utilizará la metodología Seis Sigma (SS) para desarrollar el análisis e implementación del proyecto. Parker (2002) ha declarado que SS es una evaluación de la calidad científica y estadística para todos los procesos a través de la medición del nivel de calidad, que proporciona la oportunidad y la disciplina para eliminar errores, mejorar la moral y ahorrar dinero, donde se seguirá la metodología DMAIC.

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los resultados de los reportes de scrap de las dos áreas de producción arrojan números importantes de material desperdiciado ya sea por error operativo o por error de la misma máquina. Estos números han preocupado realmente al departamento de Calidad ya que mensualmente se reportan entre \$35,000 y \$40,000 dólares de scrap generado por los 90 modelos de producción. El área láser se encarga de transformar la materia prima (rollos de telas) en paneles y componentes que son enviados al área de costura para ser ensamblados. El departamento de Calidad está tomando acciones correctivas para analizar, encontrar la causa raíz e implementar mejoras para minimizar el scrap en las máquinas de corte laser.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo general**

Determinar la causa del problema en los defectos de los paneles a analizar, identificando las máquinas que generan más desperdicio y de igual manera determinar que defectos son los que más contribuyen al desperdicio de material para poder atacar el problema e implementar mejoras para reducir la cantidad de desperdicio.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Reducir un 10% del scrap mensual del modelo asignado
- Implementar la metodología DMAIC a otros modelos
- Disminuir un 30% en defectos de desfase, corte incompleto y fuera de tolerancia.

## **1.3 HIPÓTESIS**

Para el desarrollo del proyecto se presentaron las siguientes hipótesis:

- Ho: La máquina afecta significativamente al corte de los paneles.
- H1: La máquina NO afecta al corte de los paneles.

## **1.4 DELIMITACIÓN**

El departamento de Calidad decidió analizar el modelo GMT 900 que pertenece a la familia SIDE IMPACT (Figura 1). La característica de esta familia es que produce dos tipos de bolsas debido a que los automóviles cuentan con

protección lateral para el conductor y el pasajero. Estos modelos llamados GMT 900 LH y GMT 900 RH no tienen diferencia alguna en dimensiones y especificaciones de calidad, solamente tienen la característica de ser simétricos. Dentro del proyecto se trabajará únicamente con GMT 900 LH, ya que los resultados obtenidos con este modelo se pueden replicar para GMT 900 RH.



Figura 1: GMT 900 SAB

La bolsa de aire GMT 900 LH está conformada por los siguientes componentes: Panel interior, Panel exterior, Baffle, Patch y Heat shield. Dentro del proyecto solamente se analizará el panel interior y panel exterior (ver Figura 2) ya que estos son los que generan la mayor cantidad de scrap.



Figura 2: Panel Interior y Panel exterior.

A continuación, en la tabla 1 se muestran la nomenclatura de los diferentes defectos que llegan a tener los paneles después de cortar, donde únicamente se estarán analizando los defectos de desfase (LD), fuera de tolerancia (LT) y corte incompleto (LC).

Tabla 1: Descripción de defectos que se detectan después del proceso de corte.

Código	Descripción	Código	Descripción
LA	Defecto identificado por proveedor	LM	Manchas de tráfico
LB	Corte pegado	LO	Material obsoleto
LC	Corte incompleto	LP	Panel plisado por corte
LD	Corte desfasado	LQ	Corte quemado
LF	Corte flameado	LR	Fallas mecánicas de equipo de corte
LG	Número de capas incorrecto	LS	Orillas sin sellar o capas no fusionadas
LH	Hoyos y ranuras	LT	Fuera de tolerancia
LI	Tela incorrecta	LU	Unión / terminación de rollo
LJ	Hilo jalado por el corte	LV	Defecto no identificado por proveedor
LL	Lado incorrecto de la tela		

En cuanto a la maquinaria del área láser, esta cuenta con 6 máquinas CNC:

- Lacent A, Lacent B. (Corte con rayo láser)

- Cincinnati 3, Cincinnati 4. (Corte con rayo láser)
- Vector 2500, Vector 7000. (Corte con navaja)

## **1.5 LIMITACIONES**

Las limitaciones que se tendrán que enfrentar para este proyecto son las siguientes:

- Tiempo de solamente 4 meses para desarrollarlo.
- Los cortes programados no se realizan diariamente.
- Cortes de los paneles en horarios no establecidos para practicantes.
- El ritmo de trabajo no permite elaborar un DOE en la máquina.
- La máquina LACENT A se comporta de diferentes maneras al cortar debido a que es una de las máquinas con más antigüedad en la compañía.

## **2. MARCO TEÓRICO**

El objetivo del proyecto es lograr identificar metodologías y herramientas de manufactura esbelta y seis sigma aplicables para la mejora continua de GST ASCI. A pesar de que se encuentran análisis de selección de herramientas esbeltas y seis sigma para el enfoque de manufactura como lo hicieron Herron y Braiden (2006) y Hoon, Wetter y Anbari (2006), no se ha encontrado una selección específica de herramientas de acuerdo a la etapa de mejoramiento logístico que esté en desarrollo y que atienda las limitaciones de los enfoques de manufactura esbelta y seis sigma. Melton (2005) presenta que sólo el 5% de las actividades de las empresas agregan valor y el 60% no agrega valor del todo; Taj y Berro (2006) afirman que las empresas de manufactura desperdician alrededor del 70% de sus recursos; Jones, Hines y Rich (1997) reclaman que para muchas organizaciones menos del 10% de las actividades agregan valor y casi un 60% no agregan ningún valor.

### **2.1 LA MANUFACTURA ESBELTA**

Para generar un producto cualquiera, en la actualidad se requiere de un proceso de producción, el cual puede ser definido como un conjunto de operaciones unitarias necesarias para modificar las características de las materias primas y agregarles un valor (Colledani et al. 2014; Dhoub, Gharbi, and Ben Aziza 2012). Después de esas operaciones se obtendrá un producto final, así dependiendo de la escala de observación, puede denominarse proceso tanto al conjunto de operaciones desde la extracción de los recursos, como a las realizadas en un puesto de trabajo (Afazov 2013).

Manufactura Esbelta son varias herramientas que ayudan a eliminar todas las operaciones que no le agregan valor al producto, servicio y procesos,

aumentando el valor de cada actividad realizada y eliminando lo que no se requiere; en otras palabras, se busca mejorar las operaciones productivas, basándose siempre en el uso adecuado del recurso humano (Hajmohammad et al. 2013)

La técnica ME nació en Japón con filosofías de William Edward Deming, Taiichi Ohno, Shigeo Shingo, Eijy Toyoda, entre otros y frecuentemente se le denomina manufactura flexible (Rahman, Sharif, and Esa 2013; Salleh, Kasolang, and Jaffar 2012). La SE ME enfoca en la eliminación planeada de todo tipo de desperdicio, el respeto por el trabajador: Kaizen, la mejora consistente de productividad y calidad (Abdulmalek and Rajgopal 2007; Wahab, Mukhtar, and Sulaiman 2013).

ME emplea varias técnicas y herramientas aplicadas a los sistemas y algunos de los beneficios reportados de su adecuada implementación son (Kreimeier et al. 2014): Reducción de 50% en costos de producción, reducción de inventarios, reducción del tiempo de entrega (lead time), mejor calidad, menos mano de obra, mayor eficiencia de equipo, disminución de los desperdicios tales como: sobreproducción, tiempo de espera (los retrasos), transporte, el proceso, inventarios, movimientos y mala calidad.

## **2.2 SEIS SIGMA**

Como metodología popular desde mediados de los 80's, seis sigma presenta una variada y enorme cantidad de información que prácticamente hace imposible a las personas que implementan la metodología, el poder revisar una cantidad considerable de la literatura. A través de seis sigma, muchas compañías han logrado ganancias económicas importantes y mejorado la relación e imagen con sus clientes. Sin embargo, no todas las organizaciones han experimentado el mismo éxito (Breyfogle, 2003), ya que según David Fitzpatrick (2002), el número de compañías que no tuvieron éxito es menor al 10% (Bañuelas & Antony, 2002). En un sentido similar, Kanani (2006) encontró que 144 de 181 proyectos SS implementados en una compañía fueron exitosos, esto sugiere una proporción de 20% de proyectos no exitosos. Por su parte, Gray y Anantatmula (2009), encontraron en su estudio que el 67% de los encuestados han experimentado fallas al implementar proyectos SS; ellos identificaron varias razones de falla como son: error para identificar y administrar a las partes interesadas y sus expectativas, procesos inadecuados de selección de proyectos, incapacidad para alinear proyectos con las prioridades críticas de la organización entre otras.

Para evitar fallas es importante conocer de experiencias pasadas. Cooke-Davis (2002) argumentan, que aprender de la experiencia, es en sí otro Factor Crítico de Éxito (FCE). En ese sentido, las organizaciones pueden tener diferentes referencias de éxito para sus proyectos seis sigma, esto como resultado de niveles divergentes de maduración en el despliegue de sus iniciativas (Shenhar

et al., 1997). Así, el término éxito es utilizado para definir el nivel en el cual los resultados planificados fueron alcanzados. Esta definición es aplicable a diferentes tipos de proyectos y cubre el dominio de proyectos exitosos para organizaciones con diferentes niveles de desarrollo de seis sigma (Anand et al., 2009). El FCE es indispensable para el éxito de cualquier organización en el sentido que, si los objetivos asociados con el factor no son alcanzados, la organización fallará (Rockart, 1979). En el mismo sentido, Antony y Bañuelas (2002) indican que en el contexto de implementación de SS, los FCE representan los ingredientes esenciales, que de no tenerse, habrá pocas posibilidades de éxito. Además Antony y Bañuelas (2002) presentan información que no coincide e incluso existen resultados contradictorios; esto es similar a metodologías como administración total de la calidad, ISO 9001 y manufactura esbelta. Al respecto, varios autores han realizado revisión de literatura sin llegar a unificar los criterios del tema. Antony y Bañuelas (2002), así como Bañuelas et al. (2002) presentan lo que a su vez son los factores que permiten una implementación exitosa de seis sigma:

- Compromiso e involucramiento de la dirección;
- Entendimiento de la metodología seis sigma, las herramientas y sus técnicas;
- Ligar seis sigma a la estrategia del negocio;
- Ligar seis sigma con los clientes;
- Selección, revisión y seguimiento de proyecto;
- Infraestructura organizacional;
- Cambio de cultura;
- Habilidad para administración de proyecto;
- Ligar seis sigma a proveedores;
- Entrenamiento.

(Pyzdek, 2003). Usando esta metodología la empresa comenzó a ser líder en calidad y en ganancias al grado de ser un ícono al haber ganado en 1988 el premio Malcom Baldrige de Estados Unidos; pronto el secreto de su éxito comenzó a ser público y más empresas siguieron su camino (Pyzdek, 2003). Empresas como Allied Signal tomaron la bandera seis sigma mejorando la efectividad y la eficiencia al concentrarse en medidas efectivas con los clientes y generando mayor eficiencia por medio de la administración de procesos empresariales y la formación de equipos seis sigma para mejorar su rendimiento (Eckes 2003). Después General Electric implementó también seis sigma a través de Jack Welch, quien en 1995 adoptó la metodología en toda la corporación con tanto éxito económico que para 1998 había generado 750 millones de dólares de ahorros. A pesar del éxito que tuvieron Motorola y Allied Signal, fue General Electric la que empleó esta metodología de una manera más impresionante para mejorar la eficacia y la eficiencia menciona (Eckes 2003).

Respecto a las fases que componen a seis sigma, Shanin (2008) sugiere que la empresa Motorola comenzó solo con Medir (M-Measure), Analizar (A-Analyze),

Mejorar (I-Improve), Controlar (C-Control). A estas cuatro fases Snee (2010), indica que la empresa General Electric le agregó Definir (D-Define) en la década de los 90's, quedando 5 fases DMAIC, lo que la gran mayoría de los autores mencionan (Tobias, 1991), (Harry & Schroeder, 1999), (Antony & Bañuelas, 2002), (Breyfogle, 2003), (Yam, 2006), (Brady & Allen, 2006), (Tang, et al., 2007), (McManus, 2008). Recientemente en el 2005 la manufactura esbelta fue añadida a *Lean seis sigma* para permitir que la metodología mejore el flujo del proceso de manera más efectiva (Snee & Hoerl, 2007).

En el Diseño para Seis Sigma (DFSS, por sus siglas en inglés), Shahin (2008) indica que Motorola también comenzó con las fases de medir, analizar, diseñar y verificar y después se agregó la fase de definir. Las fases que mencionan mayoritariamente los autores son: definir, medir, analizar, diseñar y verificar (DMADV), (Kwak & Anbari, 2006), (Johnson & Gitlow, 2006), (Wang H. , 2008). Hahn (2005) propone una variante que es: definir, medir, analizar, diseñar, optimizar y verificar.

### **3. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 MATERIALES**

Para el desarrollo del proyecto se utilizarán los siguientes materiales y equipo:

- Minitab
- Paquetería Office
- AutoCAD
- Sistema Cyberquery
- Tela 238 (420D 46x46 0.7 oz. Silicone @ 70")

#### **3.2 MÉTODO**

Como se mencionó anteriormente se utilizará la metodología DMAIC, según (Henderson, 2006) el aplicar esta herramienta puede dar como resultado una mayor penetración en el mercado, mayor productividad y costos totales más bajos de manufactura y servicios. El enfoque utilizado por este método es: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, la cual emplea cartas de control, análisis de capacidad de proceso y muchas otras herramientas estadísticas (Li et. al. 2008).

##### **3.2.1 Definir**

Primeramente lo que se hizo fue formar un equipo de trabajo entre el departamento de Producción y Calidad. Se les dio a conocer la situación del modelo GMT 900 por lo que se llegó un acuerdo entre el equipo para poner en marcha el proyecto. El primer paso fue hacer un diagrama Ishikawa (Figura 3)

para detectar las posibles causas que originaran el desperdicio de paneles, y se llegó a la conclusión que la causa principal es el “BITE” generado automáticamente por el funcionamiento de la máquina durante el proceso de corte (no se puede eliminar).



Figura 3: Posibles causas que provoquen los defectos significativos en los paneles principales.

Ya teniendo identificado que la máquina es la causa raíz del problema, se hizo un análisis para identificar los principales defectos que presentaban los paneles después del proceso de corte. Analizando los resultados de los reportes de scrap se utilizó un diagrama de Pareto para identificar los defectos más significativos. En la Figura 4 se puede observar que los tres principales defectos que presentan los paneles son Desfase (LD) con un 74.6%, Corte incompleto (LC) con 7.7% y Fuera de tolerancia (LT) 4.8% del desperdicio.

El desfase (LD) se refiere a la variación que existe entre los orificios de los paneles. Esta distancia entre orificios es una especificación crítica del cliente, tanto para el panel interior como para el panel exterior debe de tener una distancia de  $47 \pm 1$  mm. Si los paneles no llegaran a cumplir con la distancia especificada, al momento de enviar los paneles a la línea de producción se va a presentar un problema ya que en la primera operación del ensamble se introducen el panel interior, panel exterior y un parche de protección para hacer costura de refuerzo alrededor de los orificios.

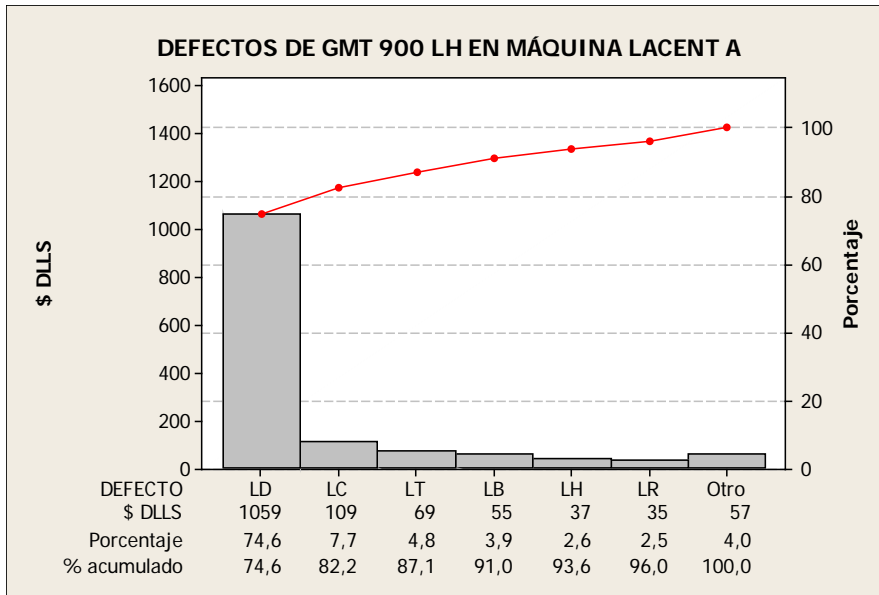


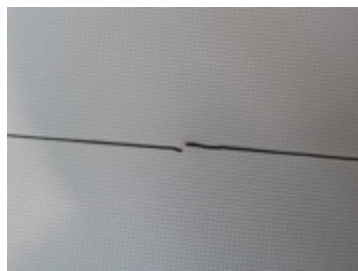
Figura 4: Diagrama de Pareto por defecto en paneles principales.

El corte incompleto (LC) se da por el mismo “bite” que genera la máquina Lacent A, debido a su funcionamiento natural. El operador al momento de desprender los paneles del esqueleto de la tela restante, tiene que utilizar navaja para concluir el corte de 1 o 2 mm que no hizo la máquina.

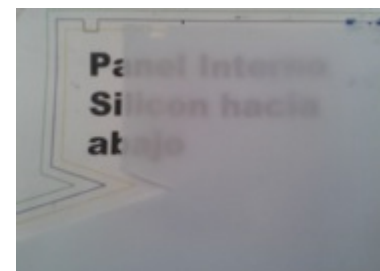
Con respecto a fuera de tolerancia (LT) se refiere a que el panel no cumple con la especificación perimetral del panel, esto afecta en la línea de producción al hacer el cierre perimetral de la bolsa de aire, ya que los paneles no van a ser compatibles con sus distancias y la bolsa de aire no cumplirá con las especificaciones de calidad. En la Figura 5 se muestran los tres defectos principales:



Desfase (LD)



Corte incompleto (LC)



Fuera de tolerancia (LT)

Figura 5: Principales defectos en panel interior y exterior

### 3.2.2 Medir

El procedimiento para medir las galletas de material que sale del proceso de corte es por medio de templetas. En estos templetas se encuentra impreso el panel y sus tolerancias máximas y mínimas. En base a este templete el operador sobrepone el panel, y si cumple con las especificaciones de calidad puede ser

utilizado en la línea de producción. En caso de que la galleta del panel no cumpla con las especificaciones de Calidad, el material es segregado y se identifica para enviar al departamento de Calidad para determinar si se hace sorteo de este material o se registra como material Scrap. Dentro del estudio no se llevó a cabo el estudio RyR debido a que el templete ya está validado por el departamento de metrología, verificando que cumpla 100% con las especificaciones que requiere el cliente. Debido al ritmo de trabajo, durante el proceso de inspección no existe un registro de mediciones que indiquen la variabilidad que existe entre los orificios de los paneles.

### 3.2.3 Análisis:

Se pretende que el proceso de corte de este modelo sea en otra máquina diferente por lo que se deberá cambiar el programa de corte GMT 900 LH de acuerdo a las características de la máquina propuesta. En la Figura 6 se muestra el resultado del análisis mensual que se hizo de la maquinaria del área láser para identificar la que menor desperdicio genera y seleccionarla para llevar a cabo el seguimiento del proyecto.

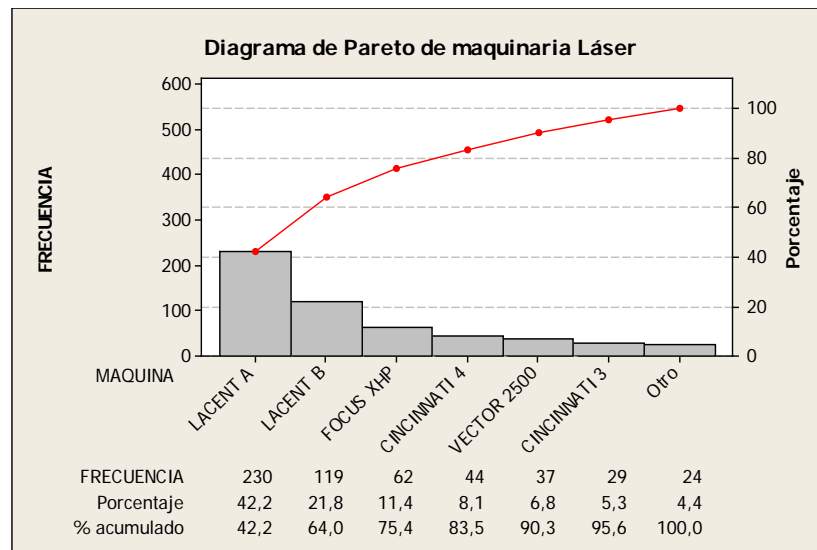


Figura 6: Diagrama de Pareto de maquinaria láser

Con los resultados del análisis se observó que la máquina Lacent A donde se estaba cortando el modelo genera el 42% del desperdicio por lo que si es recomendable cambiar el programa de corte a otra máquina. Se seleccionó la máquina Cincinnati 3 debido a que solamente contribuye con 5.3% de desperdicio mensual y durante el funcionamiento natural de la máquina esta no genera "bite", lo que se debe a que en Lacent A la banda transportadora y el cabezal se mueven sincronizadamente para realizar el corte, debido a esto el corte se hace por secciones y no pieza por pieza. En cambio la manera de operar de Cincinnati 3 es distinta ya que la cama de corte está fija y lo único que

se mueve es el cabezal y corta pieza por pieza. En la Tabla 2 se muestra una comparación de las características de cada máquina.

*Tabla 2: Tabla con especificaciones de la maquinaria a analizar*  
ESPECIFICACIONES DE LA MAQUINARA

Máquina	POTENCIA (W)	Vel (m/min)	Capas sencillas	Ancho de banda	Largo máximo de tendido
LACENT A	2500	10	20	2.50 m / 98.4"	10 m
CINCINNATI 3	2000	4	30	1.83 m / 72.0"	6 m

Conociendo las características de cada máquina se procede a la elaboración del Nesting (Programa de corte) para GMT 900 LH en máquina Cincinnati 3. Dentro de este programa se indica el tipo de tela a utilizar, largo del tendido de tela, cantidad de capas máxima que puede atravesar el rayo láser, número de galletas por componente, etc. En la Tabla 3 se muestra la comparación entre el nesting anterior con el nuevo programa en Cincinnati 3 respetando las características indicadas en la Tabla 2.

*Tabla 3: Comparación de nestings*  
Nesting Lacent A VS Nesting Cincinnati 3

Máquina	LARGO DEL TENDIDO (mm)	Componentes de Panel interno	Componentes de Panel externo	No. de capas
LACENT A	9590	28	28	20
CINCINNATI 3	5540	16	16	30

Un punto muy importante que es la base para la creación de cualquier nesting de producción es el consumo de tela por componente, debido a que el departamento de Finanzas tiene cotizado un valor de consumo limitado que es de 0.3760 yardas por lo que el programa de corte nuevo tiene que respetar este valor. Para calcular el consumo de tela para el nuevo programa se debe seguir la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo en yardas} = \frac{\text{Largo del tendido}}{\text{Número de paneles en el programa}} \cdot Y \quad (1)$$

Donde Y= 914.4 mm es para la conversión de milímetros a yardas.

Sustituyendo los valores mostrados en la tabla 3 se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4: Comparación de consumos de máquinas Lacent y Cincinnati.  
CONSUMOS

NESTING	MAQUINA	CONSUMO	LARGO (mm)	PANELES	TIEMPO (min)
LH	Lacent A	0.3745	9590	56	20
LH	Cincinnati 3	0.3786	5540	32	33

Se observa que el consumo de tela en el nuevo programa de corte sobrepasa el valor cotizado. Sin embargo, se continuó con el análisis con el objetivo de hacer la comparación de lo que se generaba de scrap en la máquina Lacent A y lo que se iba a gastar en ese excedente de consumo de tela. Para hacer el análisis se tomó como referencia una semana de producción, donde se determinará el costo de corte por programa con la siguiente fórmula. NOTA: el valor de la demanda es de 8,100 bolsas de aire que demanda el cliente semanalmente.

$$\text{Costo corte} = (\text{Consumo de nesting}) * (\text{Costo de tela}) * (\text{Demanda}) \quad (2)$$

A continuación se presenta la tabla con los resultados obtenidos para cada máquina.

Tabla 5: Diferencia de producción semanal entre Lacent A y Cincinnati

Descripción	LACENT A	CINCINNATI 3
Demanda del cliente=	8100	8100
Consumo Lacent=	0.3745	0.3786
Costo de la tela (Dólares)=	\$5.02	\$5.02
Costo total (Dólares) =	\$15,221.85	\$15,388.50
Diferencia (Dólares) =	\$	166.65

Estos resultados nos muestran que existe una diferencia de \$166.65 dólares. Esto es el reflejo de no respetar el valor límite de consumo que es asignado. Para hacer la comparación semanal con Lacent A, se tomó el valor de Scrap de una semana normal cortado en esta máquina contra el valor de costo fuera de lo cotizado de Cincinnati. A continuación se muestra esta comparación:

Tabla 6: Comparación Scrap VS Consumo nuevo

	Lacent A	Cincinnati
Desperdicio semanal (Dólares)	\$484.38	\$166.65

### 3.2.4 Mejora

En la Figura 7 se muestran el nesting anterior y el nuevo nesting de producción del modelo GMT 900 LH.

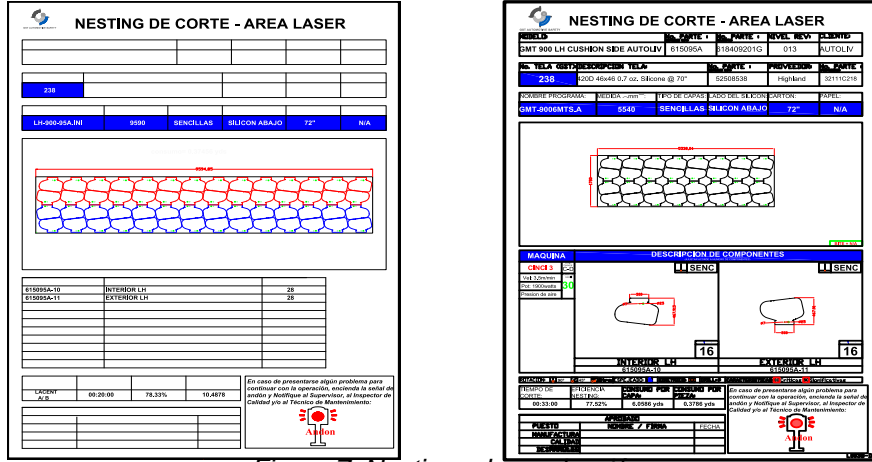


Figura 7: Nestings de producción

Con la aprobación del nuevo nesting al sistema, el operador de la máquina podrá cargar el programa cuando sea requerido por el área de producción. Por otra parte, en la máquina Cincinnati se estaba teniendo problemas de calidad con paneles flameados (LF) y componentes quemados (LQ), por lo que se analizó el problema y se detectó que en la base de la máquina donde se hace coloca ia tela para el corte existe una separación entre los “paneles” de la cama que el operador debe rellenar con sobrante de material de cortes y se le debe de colocar cinta adhesiva para que quede bien compacto. Sin embargo, esto no estaba estipulado en ninguna instrucción de trabajo por lo que se trabajó en conjunto con el departamento de Mantenimiento Láser y se elaboró un TPM (formato: ILM0048) donde se le indica al operador que debe hacer limpieza de cabezal de la máquina (limpieza de ópticos y plato) y relleno de paneles. En la Figura 8 se muestra cómo se debe de rellenar la separación de paneles para evitar este tipo de problemas.



Forma incorrecta



Forma correcta

Figura 8: Separación de paneles en máquina Cincinnati 3

De igual manera al implementar el TPM se implementó un check list (Formato L0005) que debe llenar el operador por turno donde indique que se cumplió con las actividades indicadas en la instrucción de mantenimiento. Con esto se reducirán los defectos en todos los modelos de producción que se cortan en esta máquina y de igual manera evitar que aparezcan estos defectos durante el proceso de corte de GMT 900 LH.

### 3.2.5 Controlar

El proceso debe ser controlado para asegurar que defectos no se repitan (Mathew et al., 2005). Esta es la etapa final de implementación de Six Sigma para mantener sostenido de las ganancias obtenidas de la etapa de mejorar. Por lo tanto, en esta etapa, las nuevas consideraciones de proceso son documentadas e implementadas en sistemas para que las ganancias son permanentes.

- El Auditor de proceso y el Ingeniero de Calidad llevarán el monitoreo durante el proceso para analizar las galletas 100% y verificar que los defectos hayan disminuido.
- Se elaborarán gráficos de control para la documentación y análisis de resultados.
- Se presentarán los resultados al equipo de trabajo como justificación.

## 4. RESULTADOS

Con los resultados del análisis generado dentro del desarrollo del proyecto se puede ver que hubo un ahorro de \$317.17 dólares en la semana. Sin embargo existen costos asociados como el consumo de energía de la maquinaria debido a que el tiempo de corte es mayor a comparación del proceso de corte anterior. En la tabla 7 se muestra el cálculo de costos por maquinaria con respecto al tiempo de corte.

*Tabla 7: Costo de corte por máquina*

	Lacent A (20 min)	Cincinnati 3 (33 minutos)
Costo por hora (Dólares)	\$ 10.70	\$ 8.50
Costo por tiempo de corte (Dólares)	\$ 3.57	\$ 4.68
Diferencia =	\$	1.11

La diferencia de costos mostrada en la Tabla 7 indica la cantidad de dólares que se va a pagar de más por cada corte que se realice. Como el análisis se hizo con datos de una semana, se tiene registro que durante una semana normal se llevan a cabo 11 cortes del modelo GMT 900 LH aproximadamente, por lo que el costo por cortar ahora en máquina Cincinnati será de \$12.21 dólares extras. Sin

embargo, sigue siendo un costo mínimo a comparación del desperdicio que se generaba al cortar en máquina Lacent A.

Un ahorro extra que no pertenece al área láser es el de las pruebas funcionales en la línea de producción ya que aproximadamente en cada proceso de corte se registraron que alrededor de 6 galletas registraban un desfase que podía ser tolerable por lo que se realizaban pruebas funcionales en la línea de producción. En esta prueba se ensambla el Panel interior y Panel exterior con un valor de \$0.951 dólares cada uno y un parche de refuerzo con valor de \$0.074 dólares, generando un total de \$1.976 dólares por prueba. Al hacer la prueba en las 6 galletas con posible tolerancia equivale a un costo de \$11.85 dólares. Siguiendo el análisis semanal, por los 11 cortes realizados en la semana se calculó que se ahorrarían \$130.35 dólares en pruebas funcionales por semana ya que se redujeron significativamente el defectos principales de desfase, fuera de tolerancia y corte incompleto. Teniendo los cálculos de los costos asociados con los costos de la maquinaria se generó la tabla de ahorro. En la Tabla 8 se muestran los ahorros calculados y su proyección.

*Tabla 8: Ahorros y proyección*

	Lacent A	Cincinnati 3		
Desperdicio semanal (dólares)	\$484.38	\$166.65	<b>Tiempo</b>	<b>Ahorro</b>
Costo de maquinaria semanal (dólares)		<u>\$12.21</u>	<b>Semanal</b>	\$ 305.52
TOTAL		\$178.86	<b>Mensual</b>	\$ 1,222.08
Ahorro semanal (Dólares)		\$305.52	<b>Anual</b>	\$ 14,664.96

Analizando el reporte de desperdicio del mes de Noviembre, en la Figura 9 se observa que el defecto de desfase (LD) sigue siendo el principal problema aportando 47.3% del desperdicio, le sigue el defecto de corte incompleto (LC) con un 17% de desperdicio generado, por último el defecto Fuera de tolerancia (LT) bajó una posición generando únicamente el 8.6% del desperdicio total.

Se cumplió con el objetivo de reducir 30% el defecto de desfase, corte incompleto y fuera de tolerancia. Con el defecto de desfase se logró reducir en un 90.36 ya que al realizar el análisis antes de la implementación de este proyecto arrojó un desperdicio de \$1,059 dólares y después implementar el cambio de programa se registró un desperdicio de \$102.8 dólares. Con el defecto Corte incompleto se redujo un 65.96% del desperdicio generado y por último el defecto fuera de tolerancia se logró reducir en un 87.53% del desperdicio.

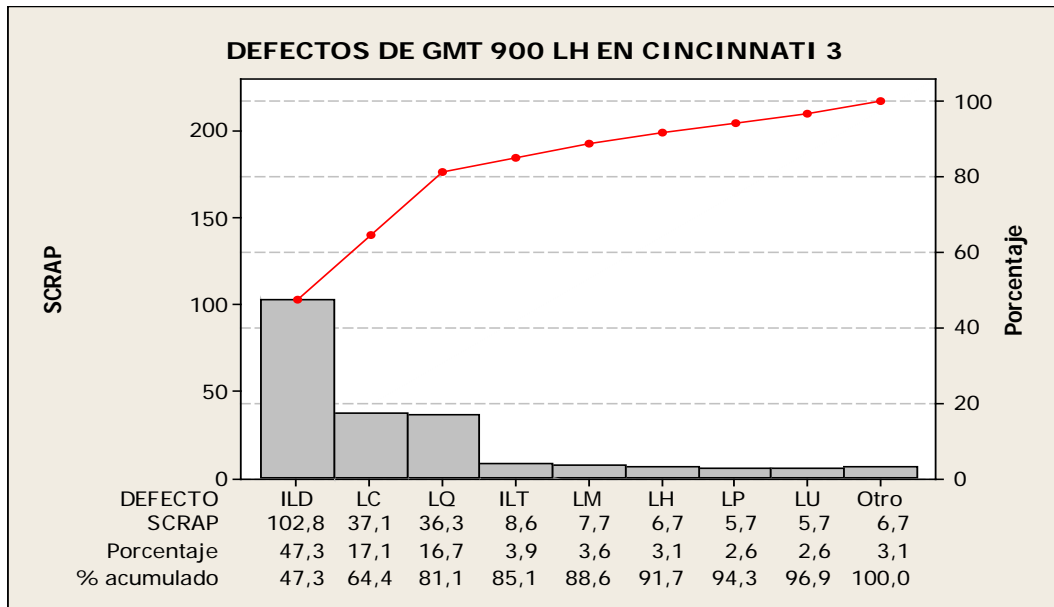


Figura 9: Defectos principales en el mes de Noviembre GMT 900 LH

Tabla 9: Reducción de defectos

Defecto	Reducción (%)
LD	90.36%
LC	65.96%
LT	87.53%

Debido a este ahorro tan significativo, se analizó el reporte de desperdicio del mes de Noviembre de todos los modelos observando que de generar \$1,420 dólares de desperdicio ahora sólo genera \$425.7 dólares mensuales equivalente al 70.02% del desperdicio mensual, de esta manera se cumple con el objetivo inicial del proyecto de reducir únicamente 10% del desperdicio mensual. Analizando la tabla 8 se observa que los resultados reales son muy cercanos al valor estimado de ahorro que se había pronosticado por lo que se comprueba que el análisis sí funcionó como se calculó.

## 5. DISCUSIÓN

En la Tabla 10 se muestran los Pros y Contras de haber implementado el nuevo nesting de producción.

*Tabla 10: Pros y contras del nuevo nesting de producción.*

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Se redujo significativamente los defectos LD, LC y LT	El tiempo de corte es mayor al del corte anterior
Se reduce significativamente el scrap semanal	El consumo del programa sobrepasa el valor límite asignado por el departamento de finanzas.
Aplica de la misma manera para el modelo GMT 900 RH	Menor cantidad de piezas por corte.

Si bien es cierto que el tiempo de corte es mayor al del nesting anterior debido a que los parámetros de velocidad son menores al de la máquina anterior, Cincinnati 3 hace el corte de manera más precisa disminuyendo la variabilidad de distancias y perímetro de los paneles. En dado caso que al cotizar el costo de utilización de la máquina Cincinnati 3 con respecto al tiempo de corte arrojara una cifra superior al del desperdicio generado en Lacent A, aún así sería viable hacer el cambio de programa a Cincinnati ya que se estaría entregando material de mucho mejor calidad a la línea de producción y de esta manera evitar re trabajos de paneles, hacer pruebas funcionales, etc. De esta manera la bolsa de aire GMT 900 LH estaría mejorando sus estándares de calidad cumpliendo con el objetivo principal de la empresa que es el salvar vidas en accidentes automovilísticos.

Al realizar el presente trabajo se pudieron constatar las ventajas de resolver los problemas siguiendo una metodología estructurada, con pasos bien definidos, así como las herramientas que han de aplicarse en cada uno de ellos. En este caso se optó por la metodología DMAIC, ya que es ampliamente reportada en proyectos exitosos a nivel mundial y como comenta Montgomery (2001), aunque SS tenga a sus críticos no hay mucha duda de que esta puede ser una estructura muy útil para conducir la mejora operacional, reducir la variabilidad y mejorar la calidad y confiabilidad de los productos, de la misma manera Kuo-Liang y Chun-Chin (2009) mencionan que SS es una metodología bien estructurada que se centra en la reducción de la variación, la medición de los defectos y en mejorar la calidad de los productos, procesos y servicios. Además según menciona Sanders (2010), SS puede ser aplicado a un proceso que involucra pasos repetitivos, que tiene un problema a ser resuelto y que tiene una o más mediciones para cuantificar la brecha entre el estado actual y el deseado, sin embargo como menciona Minter (2009) que de alguna manera la metodología SS no es universal y que debe tenerse cuidado sobre su

implementación en ciertos procesos, por ejemplo, según menciona, SS debería permanecer fuera de los hospitales y de cualquier negocio donde se tenga interacción persona a persona (un hospital por ejemplo), ya que estas no son programables; no son máquinas.

## **6. CONCLUSIONES**

Con la elaboración de este proyecto se pudo comprobar la hipótesis inicial de que la máquina influía en el proceso de corte provocando los defectos de los paneles. Se pudieron cumplir los objetivos fijados al inicio del proyecto ya que se lograron identificar los principales defectos que afectaban a los paneles de este modelo y la cantidad de desperdicio en que contribuían. También se pudo cuantificar cuánto desperdicio se generaba semanal y mensualmente el modelo GMT 900 LH. Al aplicar las herramientas de estadísticas reforzaron los conocimientos que se adquirieron durante la carrera, y al aplicarlos dentro de la organización se aprende de una mejor manera ya que el problema es real y es necesario solucionarlo.

Es importante dejar claro que lo que se implementó en la organización no fue una mejora, ya que el consumo de tela del nesting de máquina Cincinnati 3 sobrepasó el límite cotizado, si hubiera sido menor o igual se considera como una mejora. El aplicar el análisis en todos los modelos de producción sería de gran ayuda, sin embargo, el ritmo de trabajo en el área láser no permite que el departamento de ingeniería dedique mucho tiempo para este análisis.

## **7. REFERENCIAS**

Abdulmalek, F. A., y Rajagopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *Review of International Journal of Production Economics*, 223-236.

Afazov, S. M. (2013). Modelling and simulation of manufacturing process chains. *Review of CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 70-77.

Antony, J., y Bañuelas, R. (2002). Key Ingredients for the Effective Implementation of Six Sigma Program. *Measuring Business Excellence*, 20-27.

Bañuelas, R., y Antony, J. (2002). Critical Success Factors for the Successful Implementation of Six Sigma Projects in Organization. *The TQM Magazine*, 92-99.

Brady, J. E., y Allen, T. T. (2006). Six Sigma Literature: A Review and Agenda for future research. *Quality and Reliability Engineering International*, 335-367.

Breyfogle, F. (2003). *Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods*. New York: Wiley.

Colledani, M., Tolio, J., Fischer A., lung B., Lanza G., Schmitt R. y Váncza J. (2014). Design and management of manufacturing systems for production quality. *Review of. CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 773-796.

Detty, R.B. and Yingling, J.C., (2000). Quantifying benefits of conversion to lean manufacturing with discrete event simulation: a case study. *International Journal of Production Research*, 429–445.

Dhouib, K., Gharbi A., y Aziza M. N. (2012). Joint optimal production control/preventive maintenance policy for imperfect process manufacturing cell. *Review of. International Journal of Production Economics* 126-136.

Dieter, K., Morlock F., Prinz C., Krückhans B., Bakir D. C. y Meier H. (2014). *Holistic Learning Factories – A Concept to Train Lean Management, Resource Efficiency as Well as Management and Organization Improvement Skills*. *Review of. Procedia CIRP* 17 (0):184-188.

Hajmohammad, S., Vachon, S., Klassen, R, ay Gavronski, I. (2013). "Lean management and supply management: their role in green practices and performance." *Review of. Journal of Cleaner Production*, 312-320.

Harry, M., y Schroeder, R. (1999). *Six sigma: The breakthrough management strategy revolutionizing the world´s top corporations*. Reed Business Information.

Henderson, G.R. (2006). *Six sigma: Quality Improvement with MINITAB*, 1a edición, Wiley, England.

Herron, C., Braiden, P. (2006). A methodology for developing sustainable quantifiable productivity improvement in manufacturing companies. *International Journal Production Economics*, 143–153.

Hoon, Y., Wetter, J. y Anabari, F. (2006). *Business process best practices: Project Management or Six Sigma?* Documento presentado en PMI Research Conference, Pennsylvania, Estados Unidos.

Johnson, J., y Gitlow, H. (2006). Design New Housing at the University of Miami: A Six Sigma DMADV-DFSS Case Study. *Quality Engineering*, 299-323.

Jones, D., Hines, P., Rich, N., (1997). Lean logistics. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 153–173.

Kuo-Liang, L. y Chun-Chin W. (2009). Reducing Mold Changing Time by Implementing Lean Six Sigma, *Quality and reliability engineering international*, 387-395.

Kwak, Y., y Anbari, F. (2006). Benefits, Obstacles, and Future of Six Sigma Approach. *Technovation*, 708-715.

Li, M.C., Al-Refaie A. y Yang C. (2008). DMAIC Approach to Improve the Capability of SMT Solder Printing Process, *IEEE on Electronics Packaging Manufacturing*: 31(2).

McManus. (2008). So long Six Sigma? *Industrial Engineer*, 18.

Melton, T. (2005). The benefits of lean manufacturing: What lean thinking has to offer the process industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 662–673.

Minter, S. (2009). Six Sigma's growing pains the popular quality methodology pays a price for not being a panacea, *Industry Week*, 34-36.

Montgomery, D. (2001). Beyond Six Sigma, *Quality and reliability engineering international*, iii-iv.

Park, S.H. (2002). Six Sigma for productivity improvement: Korean business corporations. *Productivity Journal*, 173–183.

Pyzdek, T. (2003). *Six Sigma Handbook Revised and Expanded*. New York: Mc Graw Hill.

Rahman, Abdul, N. A., Sharif, S. M. y Esa, M. M. (2013). Lean Manufacturing Case Study with Kanban System Implementation. *Economics and Finance* 7 (0):174-180.

Rockart, J. (1979). Chief executives define their own data needs. *Harvard Business Review*, 238-241.

Salleh, Mohd, N. A. M., Kasolang, S., y Jaffar A. (2012). Simulation of Integrated Total Quality Management (TQM) with Lean Manufacturing (LM) Practices in Forming Process Using Delmia Quest. *Engineering*, 1702-1707.

Sanders J. H. (2010). Six Sigma myths busted, *Industrial Engineer*, 41-46.

Seth, D. and Gupta, V., (2005). Application of value stream mapping for lean operations and cycle time reduction: an Indian case study. *Production Planning and Control*, 44–59.

Snee, R., y Hoerl, R. (2007). Integrating lean and Six Sigma a holistic approach. Six sigma forum magazine, 15-21.

Taj, S. y Berro, L. (2006). Application of constrained management and lean manufacturing in developing best practices for productivity improvement in auto-assembly plant.

Tobias, P. (1991). A Six Sigma Program Implementation. IEEE 1991 Custom Integrated Circuits Conference (pp. 2911-2914). IEEE.

Wahab, Abdul A.N., Mukhtar, M. y Sulaiman, R. (2013). A Conceptual Model of Lean Manufacturing Dimensions. Technology 11 (0):1292-1298.

Wang, H. (2008). A Review of Six Sigma Approach: Methodology, Implementation and Future Research. (pp. 1-4). IEEE.

Yam, H. Y. (2006). Six Sigma: Past, Present and Future. In H. Yam, & T. Yoap, Six Sigma: Advanced Tools for Black Belt and Master Black Belt (pp. 2-17). John Wiley and Sons.

## **8. GLOSARIO DE TÉRMINOS**

Nesting: Programa de corte generado por el departamento de Desarrollo para cortar en la maquinaria CNC.

Galleta: Una galleta está compuesta por 20 paneles debido a que es la cantidad de capas.

Bite: Es la distancia en la que el rayo láser no completa el proceso de corte el panel.

Panales: Base de máquina Cincinnati en donde se coloca la tela para el proceso de corte.