



Diseño de propuestas de mejora para el cepillado de la madera en Aserradero El Colorado, mediante la metodología Seis Sigma

Andrés Silva Vargas - ansilvarg@gmail.com

Profesor guía: Carlos Torres - ctorres@ubiobio.cl

RESUMEN

El objetivo principal de este estudio fue diseñar propuestas de mejora de acuerdo a la metodología Seis Sigma para el proceso de cepillado de la madera en el Aserradero “El Colorado”.

La metodología utilizada consideró la revisión de la literatura especializada y el análisis de información ya existente, para posteriormente realizar la búsqueda de las causas que ocasionaban pérdidas de productividad. Para esto, se emplearon diversas herramientas y técnicas estadísticas como diagramas de Pareto, Análisis Causa Raíz, 5 por qué, Diagrama de Ishikawa, diseño de experimento, entre otras.

Los resultados presentados son propuestas de mejora que fueron diseñadas por efecto de las reuniones de Análisis Causa Raíz, generando estrategias enfocadas al cambio de maquinaria, desarrollo de personal y creación de planes preventivos y/o correctivos.

Las principales conclusiones estiman que los tiempos muertos disminuirán mensualmente en 16 horas aproximadamente, equivalentes a una producción mensual extra de 119.040 metros lineales, logrando un aumento de 4,1% en el F.O.

Palabras claves: Análisis Causa Raíz, Aserradero, Metodología Seis Sigma, Propuestas de mejora, Tiempos muertos.



1. INTRODUCCIÓN

El tema de investigación surgió a partir del encargado de seco cepillado, don Pablo Vega, quien da a conocer las diferentes problemáticas que se presentan en el área, con el fin de buscar y generar múltiples soluciones para mejorar el proceso de cepillado sin obtener mayores incidentes. Dentro de las principales preocupaciones de la gerencia del aserradero se encuentran el **índice de productividad y el índice de F.O.**, los cuales se ven afectados por las detenciones en la línea productiva y por procedimientos no estandarizados. Estas problemáticas se evidencian y respaldan claramente en las planillas de registro de producción diaria que se encuentran en el sistema SAP, en donde también se obtienen los indicadores claves de cada turno y se contrastan con los indicadores meta. Debido a lo anterior se genera una pérdida de productividad equivalente a 112 horas de trabajo mensuales con un impacto económico alrededor de los US\$23.744 por mes.

El área de cepillado necesita ser más competitiva y mejorar la rentabilidad del negocio, es por esto que la jefatura desea que se detecten y mejoren las problemáticas para que se obtenga: una fluidez en el proceso, se disminuyan tiempos muertos y por consiguiente se obtenga un aumento de productividad, para que sea factible el diseño de mejoras.

Dado que la empresa está inmersa en la mejora continua y la eliminación de actividades que no entregan valor, es importante como estrategia de mejora la aplicación de la metodología Seis sigma, ya que es una estrategia de mejora del negocio que busca mejorar el desempeño de los procesos de una organización y reducir su variación; con ello, es posible encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en el proceso del negocio (Gutiérrez & De la Vara, 2009).

Hoy en día Seis Sigma es una metodología madura y experta, que ya lleva tiempo empleándose y que posee una estructura universalmente conocida para su aplicación, además, es usada por muchas empresas alrededor

de todo el mundo, debido a la necesidad de contar con un sistema efectivo, que fomente la productividad y calidad de los procesos en una organización (Scheller & Cauchick, 2014).

Características de la metodología Seis Sigma

Seis Sigma a nivel de proceso es una estrategia de mejora continua del negocio que busca mejorar el desempeño de los procesos de una organización y reducir su variación; con ello es posible encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio (Gutiérrez & De la Vara, 2009).

Seis Sigma a nivel directivo es una iniciativa estratégica que busca alcanzar una mejora significativa en el crecimiento del negocio, su capacidad, en la satisfacción de los clientes y calidad de los proveedores. En cambio a nivel operacional, Seis Sigma tiene una naturaleza táctica que se enfoca a mejorar métricas de eficiencia operacional, como tiempos de entrega, costos de no calidad y defectos por unidad. (Salvador, 2014).

En definitiva Seis Sigma se fundamenta en la eliminación del desperdicio y la reducción de los costos de la falta de calidad, atacando directamente los problemas que los originan, para con esto, obtener un aumento de productividad. Seis Sigma es enfocada hacia la acción, no trata sólo se trata de análisis y estudio, sino que se orienta a la práctica a través de objetivos, seguimientos y acciones específicas con la mira puesta siempre en los resultados (Mendoza & Mendoza, 2011).

Un proyecto Seis Sigma es usualmente realizado por la secuencia de cinco etapas llamada DMAIC, que se ilustra en la figura 1.

Cada fase de la metodología debe ser seguida en secuencia de definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Sin embargo, una vez que los datos se han recogido y analizado el proyecto debe ser revisado, y si es necesario hay que redefinirlo, medirlo nuevamente y volver a analizarlo. Las tres primeras fases deben ser repetidas hasta que la definición del proyecto esté acorde con la información proveniente de los datos. La



metodología sólo se procede a realizar en las dos fases finales cuando la definición del proyecto sea estable.

El proyecto Seis Sigma debe controlarse regularmente con el fin de saber si su

funcionamiento programado y si otras medidas de viabilidad del proyecto son satisfactorias (ISO, 2012).

Figura 1: Ciclo DMAIC



Fuente: ISO, (2012)

Aplicaciones de la metodología

Pérez & García (2014) empleando la metodología DMAIC-Seis Sigma en una empresa de envasado de licores de Costa Rica lograron pasar de un OEE (eficiencia general de los equipos) de 47% al inicio, a uno de 80% al final de las mejoras implementadas, obteniendo una reducción de tiempos muertos, una mayor utilización del recurso humano involucrado y un máximo rendimiento de la línea productiva.

Sillero, Téllez, Aranda, & López (2014) haciendo uso de la metodología Seis Sigma DMAIC en una empresa Mexicana fabricante de válvulas, lograron incrementar en un 25% la productividad, diseñando e implementando tres propuestas de mejora las cuales fueron enfocadas a la reducción de tiempos muertos y estandarización de actividades.

Santos & Martins (2010), mencionan que la literatura sugiere que Seis Sigma ha hecho muchas contribuciones a la calidad y la gestión estratégica. Ellos resaltan como requisitos esenciales para una buena práctica Seis Sigma los siguientes puntos: el concepto de calidad, la

combinación de métodos estadísticos y estratégicos, la sistematización metodológica y la gestión de proyectos; tanto en los aspectos teóricos y prácticos

Delgado & Diaz (2010), mencionan en un estudio que la filosofía Seis Sigma requiere una alta colaboración de trabajo en equipo por los integrantes del desarrollo de cada proyecto.

Finalmente, el objetivo principal de este estudio es diseñar propuestas de mejora a través de la metodología Seis Sigma para el proceso de cepillado de la madera en Aserradero “El Colorado”, con sus respectivos objetivos específicos:

- Identificar los aportes de la literatura especializada, relacionados con técnicas utilizadas en aplicaciones Seis Sigma.
- Identificar los principales problemas que ocasionan pérdidas de productividad en el proceso de cepillado.
- Analizar factores críticos y/o causas que generan las problemáticas.
- Generar propuestas de mejora en los ámbitos técnico, humano y administrativo.



2. MATERIALES Y MÉTODOS

Participantes y sujetos

El estudio involucró al personal del área de cepillado tales como Jefes, Supervisores, Expertos y Operadores con el fin de crear un equipo multidisciplinario al momento de realizar reuniones de 5 por qué y Análisis Causa Raíz.

Materiales

El estudio fue una investigación correlacional ya que analizó variables dependientes como el Factor operacional, productividad y tiempo; siendo el estudio de carácter cuantitativo y cualitativo por las variables que conllevó a estudiar.

La información requerida del estudio se obtuvo de tres fuentes:

- De los operadores, supervisores y jefes de área de cepillado quienes a partir del diálogo, proporcionaron información de los procesos involucrados, así como también de los procedimientos de trabajo y el funcionamiento de las máquinas.
- Del sistema de información (SAP), el cual proporcionó planillas con los registros de producción diaria de las diferentes jornadas de trabajo.
- De buscadores como Google académico, Directory of Open Access Journals (DOAJ), de

base de datos, tales como Scielo y Dialnet, Scopus y libros de literatura especializada que permitieron hacer una recopilación de estudios relacionados con la aplicación de la metodología Seis Sigma.

Procedimiento

Las principales actividades que se desarrollaron para poder llevar a cabo el estudio fueron:

1. Se detectó y definió categóricamente la problemática presentado en el área de Cepillado
2. Se documentó y analizó estudios enfocados en la metodología Seis Sigma de base de datos, tales como Scielo y Dialnet, Scopus y libros de literatura especializada.
3. Se dialogó con expertos, operarios y jefes de área del proceso de Cepillado para conocer las condiciones actuales del proceso.
4. Se identificaron principales procesos y subprocesos del área de Cepillado.
5. **Se explicó impacto de la situación problema.**

A pesar de que el área de Cepillado estuvo cerca de los niveles de F.O meta (75%), existió una gran cantidad de tiempo muerto en cada turno, lo que se vio reflejado en los indicadores de la tabla 3.3, acorde a los meses analizados. Esto impactó directamente los niveles de productividad, ya que al tener más tiempos muertos se tuvo menos F.O, y con esto menos trabajo efectivo.

Tabla 3.3: Indicadores cierre de mes

		Mayo	Junio	Julio
Metros Lineales	M	2.029.471	2.077.671	2.112.547
Tiempo Trabajo	Min	22.791	23.875	23.620
Tiempo Muerto	Min	4.320	4.744	4.683
Velocidad Base	m/min	124	124	124
FO	%	71,8%	70,2%	72,1%
TM Oculto	Min	2.104	2.376	1.901
% TM Oculto	%	9%	10%	8%

Fuente: Cepillado, El Colorado

Con lo anterior, se puede observar una cantidad promedio de 112 horas mensuales generando un impacto económico alrededor de los US\$23.744

por mes, ya que se considera que cada hora perdida en Cepillado se valora en US\$212 según IGP (Índice de Gestión de Procesos), que



corresponde la valorización de las oportunidades.

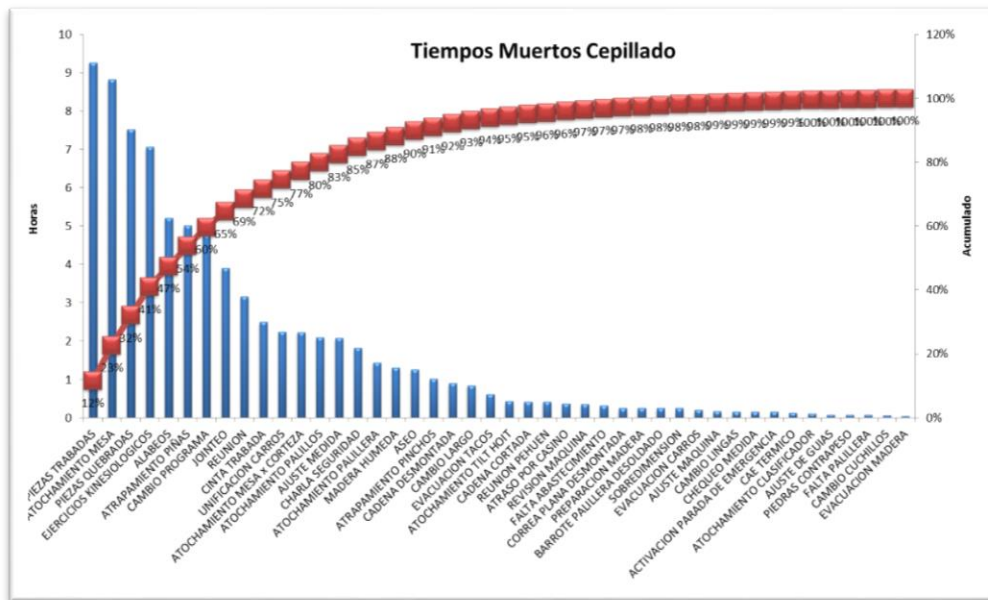
6. Se documentó y analizó del sistema de información (SAP) las planillas con los registros de producción diaria de las diferentes jornadas de trabajo. Se detectaron tiempos muertos con la ayuda de Diagrama de Pareto.

La situación problema se pudo desprender en dos categorías

- Tiempos muertos registrados (Figura 4.1)
- Tiempos muertos ocultos

En el Figura 4.1 se pudo observar que los tiempos muertos registrados con mayor relevancia se concentraban en el problema de piezas trabadas (12%) y en el atochamiento de mesa (11%). Se analizaron estos dos tiempos muertos ya que agrupan un 23% total de los tiempos muertos y son los problemas que la empresa deseaba resolver por disciplina propia de la mejora continua.

Figura 4.1: Diagrama de Pareto “Tiempos muertos Cepillado Mes de julio”



Fuente: Cepillado, El Colorado

Mientras tanto, los tiempos muertos ocultos (8%) se tienen por falta de registro de detenciones o por variación de velocidades de cepillado, ya que al consumir ciertos tipos de productos los operadores disminuyen la velocidad de cepillado, perdiendo la oportunidad de sacar el máximo potencial de la máquina.

7. Se identificaron variables críticas de calidad de los procesos de Cepillado

8. Se realizaron reuniones de 5 por qué y Análisis Causa Raíz con apoyo de técnicas estadísticas, tales como Diagrama de Ishikawa 6M's y diseño de experimento, para la

búsqueda de causas que generaban pérdida de productividad.

Búsqueda y análisis de causas raíces para el atochamiento de mesa

Los procesos más relevantes en el problema del atochamiento de mesa se encontraron en la cepilladora y en la mesa de salida, los cuáles poseen variables críticas de calidad (VCC) como: Velocidad, Diseño, Personal, y Piezas a cepillar.



Se identificaron los procesos y variables críticas de calidad que generaban atochamiento de mesa en un diagrama de causa y efecto (Figura 4.2), con la finalidad de determinar cuáles de las nueve posibles causas presentadas, afectan en mayor medida. Para esto se evidenciaron las

causas (Tabla 4.1) y se contrastaron con información obtenida en las bases de datos y la vasta experiencia de los involucrados, para determinar las causas que inciden de manera directa al problema.

Figura 4.2: Diagrama causa-efecto para el atochamiento de mesa



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.1: Clasificación de las causas que afectan al atochamiento de mesa

Causa	¿Afecta?	¿Por qué? y/o ¿En qué consiste?
Velocidad de Cepillado/Clasificado	Si	Cuando se pasan dos programas rápidos (Generalmente SHOP y China), éstos se consumen a velocidad máxima generando un gran volumen de piezas a retirar en mesa de salida.
Diseño de líneas	Sí	La línea de cepillado y clasificado llegan a una sola línea de salida lo que disminuye el espacio de trabajo.
Móvil no disponible	No	No afecta el retiro de paquetes por parte del móvil, ya que la comunicación es efectiva con el supervisor de turno.
N° de enzunchadores	Si	La cantidad de enzunchadores son limitados ya que si se encuentran realizando labores externas, quedan paquetes sin enzunchar, retrasando el armado de paquetes.
Turno de noche	No	Se pensó que podría afectar al cansancio de los trabajadores al momento de retirar las piezas. Al comprobar en la base de datos, se obtuvo que los mayores tiempos de detención por atochamiento de mesa fueron en el turno de día. Lo anterior también se debe que en la noche se trabaja con una línea.
Piezas con corteza	Si	Generalmente cuando se consume SHOP contiene gran contenido de corteza (sobre el 10% del total de piezas) y como ésta no es vendida a exportación se procede al retiro de ésta, lo que involucra tiempo en el armado de paquetes.
Falta de carros	No	Existen carros suficientes para el armado (uno por tirador, uno por gama de producto).
Lingas con largo variable	Si	Existen lingas consumidas de hasta 7 largos distintos, provocando atochamiento por carros sin completar o por la unificación de carros en proceso.



Programas cortos	No	Se le llama programas cortos a 2 a 3 lingas del mismo producto. Se cree que produce atochamiento de mesa por carros sin completar o por la unificación de estos, pero el consumo de estos programas no es representativo y se trata de coordinar el consumo para no provocar el problema.
------------------	----	---

Fuente: Elaboración propia

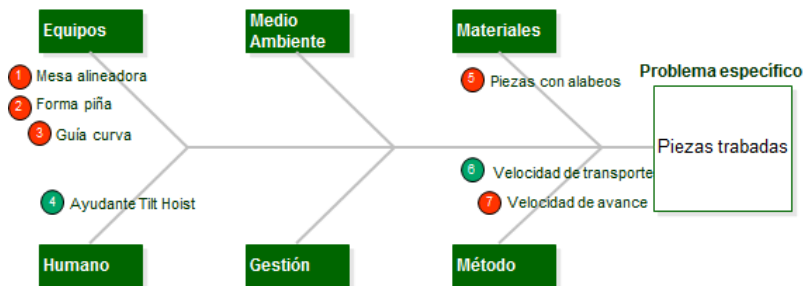
Búsqueda y análisis de causas raíces para las piezas trabadas

Los procesos más relevantes en el problema de piezas trabadas se encontraron en la cepilladora y en los rodillos alimentadores, los cuáles poseen variables críticas de calidad (VCC) como: Maquinaria, Personal, Piezas a cepillar y Velocidad.

Se identificaron los procesos y variables críticas de calidad que generaban piezas trabadas en un diagrama de causa y efecto (Figura 4.3), con la

finalidad de determinar cuáles de las siete posibles causas presentadas, afectan en mayor medida. Para esto se evidenciaron las causas (Tabla 4.3) y se contrastaron con información obtenida en las bases de datos y la vasta experiencia de los involucrados, para determinar las causas que inciden de manera directa al problema.

Figura 4.3: Diagrama causa-efecto para las piezas trabadas



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.3: Clasificación de las causas que afectan las piezas trabadas

Causa	¿Afecta?	¿Por qué? y/o ¿En qué consiste?
Mesa alineadora	Si	Piezas se montan y se traban en los rodillos de entrada, ya que mesa alineadora se encuentra en desnivel de la línea de los rodillos. Esto afecta mayoritariamente a las piezas con alabeos.
Forma piña	Sí	La piña ofrece impulso a las piezas para ingresarlas a la cepilladora. Generalmente las piezas con alabeos en los extremos quedan trabadas en la punta plana de la piña.
Guía curva	Sí	Guía curva se implementó en un momento para el mismo problema de alabeo. El Diseño curvo de la guía aún permite que piezas se traben en la punta de ésta.
Ayudante Nuevo Tilt Hoist	No	El ayudante Tilt Hoist es el encargado de alimentar el transporte de piezas hacia la cepilladora. Esta causa no afecta ya que se revisó en la base de datos los tiempos muertos, observando que se distribuyen de manera uniforme entre los dos turnos.



Piezas con alabeos	Si	Es la principal causa de las piezas trabadas, ya que esta deformación no permite una fluidez en el proceso. Ésta se genera al secar lingas con largos variables, encontrándose varias piezas en voladizo.
Velocidad de transporte	No	A menor velocidad de transporte no existen piezas trabadas en mesa alimentación, y a mayor velocidad si se tiene atrapamiento entre piezas, sin embargo el rodillo cargador ayuda a desprender piezas.
Velocidad de avance	Si	A mayor velocidad de cepillado piezas cortas se traban en rodillos de entrada y rompe astilla

Fuente: Elaboración propia

Búsqueda y análisis de causas raíces para la variación de velocidades de cepillado

Los procesos más relevantes en la variación de velocidad se encontraron en la cepilladora y en los rodillos alimentadores, los cuáles poseen variables críticas de calidad (VCC) como: Maquinaria, Personal, Dimensiones de piezas y Velocidad

Se identificaron los procesos y variables críticas de calidad que generaban la variación en la velocidad, realizando un diagrama de causa y efecto (Figura 4.4), con la finalidad de determinar cuáles de las nueve posibles causas

presentadas, afectan en mayor medida. Para esto se evidenciaron las causas (Tabla 4.8) y se contrastaron con información obtenida en las bases de datos y la vasta experiencia de los involucrados, para determinar las causas que inciden de manera directa al problema.

Además, se llevó a cabo una recopilación de datos tomando en cuenta las dimensiones (espesor, ancho, largo) como VCC del proceso, que se analizó en el software estadístico Statgraphics, que dando respuesta a la variable velocidad.

Figura 4.4: Diagrama causa-efecto para las piezas trabadas



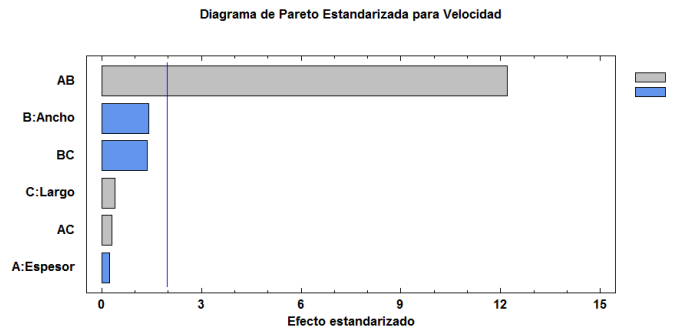
Fuente: Elaboración Propia

Se utilizó la técnica estadística de diseño de experimentos en el software Statgraphics (diseño

Cribado, especificado por el usuario) obteniendo los siguientes resultados:



Figura 4.5: Gráfico de Pareto estandarizado para la variación

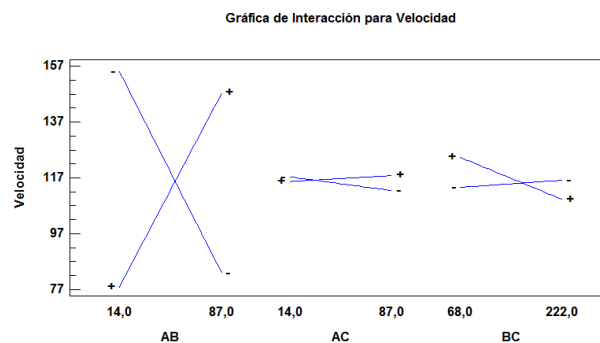


Fuente: Elaboración Propia

Del gráfico de Pareto estandarizado (Figura 4.5), se observó que el factor que más influye en la variación de velocidad de cepillado, es la interacción del espesor con el ancho. En el

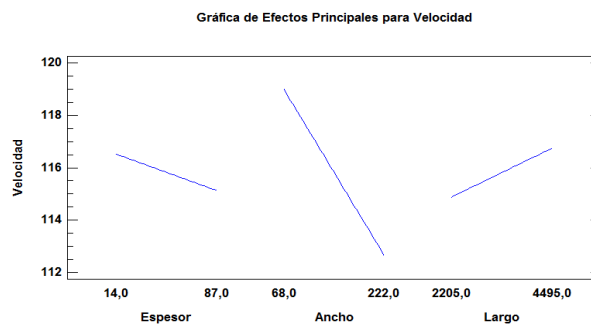
gráfico de interacción (Figura 4.6), se evidenció la existencia de una interacción evidente respecto de las otras dos.

Figura 4.6: Gráfico de la interacción para la variación



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.7: Gráfico de efectos principales para la variación



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico de efectos principales (Figura 4.7) se observó la pendiente de cada variable y el impacto que causa en la variable respuesta



Tabla 4.5: Análisis de la varianza para la variación de velocidades de cepillado

Análisis de Varianza para Velocidad					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Espesor	2,04662	1	2,04662	0,05	0,8169
B:Ancho	74,9526	1	74,9526	1,97	0,1628
C:Largo	6,21751	1	6,21751	0,16	0,6866
AB	5662,26	1	5662,26	148,92	0,0000
AC	3,68447	1	3,68447	0,10	0,7561
BC	70,8343	1	70,8343	1,86	0,1747
Error total	4752,9	125	38,0232		
Total (corr.)	28935,9	131			

R-cuadrada = 83,5744 por ciento
 R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 82,7859 por ciento
 Error estándar del est. = 6,1663
 Error absoluto medio = 4,86097
 Estadístico Durbin-Watson = 0,987789 (P=0,0000)
 Autocorrelación residual de Lag 1 = 0,496975

Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla 4.5 se observó que existe un factor con p-value menor a 0,05 significativo para la variación, siendo la interacción del espesor con el ancho. Además el estadístico R^2 ajustado indicó que el 82,7859% de la variabilidad total presente en la variación de la velocidad de

cepillado es explicada por los tres factores utilizados para el análisis.

En la Tabla 4.6 se mostraron los coeficientes de regresión y la ecuación de regresión del modelo ajustado.

Tabla 4.6: Coeficientes de regresión y ecuación del modelo ajustado

Coef. de regresión para Velocidad	
Coefficiente	Estimado
constante	195,11
A:Espesor	-1,99035
B:Ancho	-0,509593
C:Largo	0,00597242
AB	0,0126156
AC	0,0000423852
BC	-0,0000503261

El StatAdvisor
 Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Velocidad} = 195,11 - 1,99035 * \text{Espesor} - 0,509593 * \text{Ancho} + 0,00597242 * \text{Largo} + 0,0126156 * \text{Espesor} * \text{Ancho} + 0,0000423852 * \text{Espesor} * \text{Largo} - 0,0000503261 * \text{Ancho} * \text{Largo}$$

Fuente: Elaboración Propia

Se detectó claramente la importancia de las dimensiones de las piezas al momento de

cepillar, y el Ancho como efecto principal para la variación de la velocidad de cepillado.

Tabla 4.8: Clasificación de las causas que afectan en la variación de velocidad de cepillado

Causa	¿Afecta?	¿Por qué? y/o ¿En qué consiste?
Golpeteo rodillo entrada	Si	Cuando se produce GAP entre piezas, se golpea el rodillo de entrada lo que incide que el operador tenga que disminuir la velocidad para evitar una posible fractura o desgaste de pernos.
Diseño mesa	Sí	Los rodillos alimentadores son dependientes de la cepilladora, ya que están unidas mediante una correa de transmisión. Esto provoca que la



alimentación		velocidad de entrada sea directamente proporcional a la de la cepilladora, provocando que se genere GAP en la entrada de los rodillos al entrar las piezas horizontalmente a la mesa de alimentación.
Dimensiones de piezas (Espesor, Ancho, Largo)	Sí	A mayor ancho de pieza se tiene mayor GAP, lo que genera que el operador de turno disminuya la velocidad, el espesor también es determinante si las piezas vienen con alabeos.
Operador de Turno	Si	Por falta de trabajo estandarizado
Terminación programa	No	Las terminaciones (Cortes) S2S, S3S y S4S no son determinantes en la disminución de la velocidad.
Falta estandarizar método de trabajo	Si	No existe velocidad estándar para cada uno de los productos, lo que provoca que los operadores de turno trabajen a diferentes velocidades y no se le saque el máximo potencial a la máquina.

Fuente: Elaboración Propia

Se identificó la causa dimensiones de piezas, como la causa raíz de las demás causas, por lo observado en el día a día y ratificado en el diseño de experimento ya que se detectó claramente que esta variable explicaba la variación de velocidad en un 83%.

- Diseño de propuestas de mejora
- Evaluación económica de propuestas de mejora

Diseño de propuestas de mejora

Propuestas de mejora en el ámbito administrativo

Las propuestas de mejora en el ámbito administrativo fueron enfocadas en el desarrollo planes correctivos y preventivos que permitan un mejor control del proceso y eliminación de defectos en los productos. En la Tabla 5.1 se detallaron las actividades propuestas, como estandarizaciones, controles visuales, y disciplinas de mejora.

9. Se diseñaron estrategias de mejora en el ámbito técnico, humano y administrativo.

10. Se realizó una evaluación económica de las propuestas de mejora que requerían dinero para invertir.

11. Se validó con los Jefes y Encargados de Cepillado la factibilidad de los resultados.

3. RESULTADOS

Los resultados de esta investigación se organizaron de la siguiente forma:

Tabla 5.1: Propuestas de mejoras para el proceso de cepillado en el ámbito administrativo

Problema	Causa	Causa Raíz	Propuesta	Objetivo	Responsable
Atochamiento de mesa	Velocidad cepillado y clasificado	Exceso de piezas cepilladas a retirar	Validar velocidad máxima óptima en cepilladora y clasificadora	Generar un menor volumen de salida de SHOP Y CHINA	Jefe Seco Cepillado
	Lingas con largo variable	Falta de buzones en Aserradero	Coordinar consumo de lingas con LV con el coordinador de stock seco	Agilizar y optimizar el consumo de estos productos para no generar atochamiento	Jefe Seco Cepillado
			Disminuir lingas al menos a dos largos	Coordinar con el Aserradero	Jefe Seco Cepillado y



				manejo de buzones	Jefe Aserradero
Piezas Trabadas	Piezas con alabeo	Por la configuración de las lingas, gran parte de las piezas se encuentran en voladizos	Configurar piezas cortas manualmente en Stacker	Distribuir cargas uniformemente para el posterior secado	Jefe Seco Cepillado y Jefe Aserradero
			Disminuir lingas al menos a dos largos	Coordinar con el Aserradero el manejo de buzones	Jefe Seco Cepillado y Jefe Aserradero
	Velocidad de avance	Piezas se montan y por ende se traban a velocidad máxima	Reducir velocidad de cepillado para piezas cortas	Evitar que piezas se monten en rodillos de entrada y rompeastilla	Jefe Seco Cepillado
Variación de velocidad de cepillado	Operador de turno	Dimensiones de piezas a cepillar provocan GAP y golpeteo de rodillo	Crear tabla de velocidades móviles para las diferentes piezas a cepillar	Reducir la variación para conseguir desviaciones más pequeñas y tener un F.O más real	Jefe Seco Cepillado
	Falta de Estandarización de Trabajo				

Fuente: Elaboración Propia

Propuestas de mejora en el ámbito humano

Las propuestas de mejora en el ámbito humano fueron enfocadas en el desarrollo de las personas para cumplir sus labores y responsabilidades con

la empresa. En la Tabla 5.2 se detallaron las actividades propuestas, como entrenamientos, cursos de especialización o capacitaciones para el personal involucrado en el proceso.

Tabla 5.2: Propuestas de mejoras para el proceso de cepillado en el ámbito humano

Problema	Causa	Causa Raíz	Propuesta	Objetivo	Responsable
Atochamiento de Mesa	Enzunchadores	Escaso personal autorizado y capacitado para enzunchar	Capacitar tiradores para cumplir labor del enzunchador	Agilizar enzunchado de paquetes para armado del siguiente	Jefe Seco Cepillado
Variación de velocidad de cepillado	Golpeteo rodillo entrada	Incapacidad de operadores de manejar velocidades de acuerdo a los diferentes productos	Capacitar a los operadores en el manejo de un VDF independiente implementado	Reducir pérdidas de productividad por disminución de velocidad de consumo	Jefe Seco Cepillado

Fuente: Elaboración Propia

La empresa proveedora de las máquinas enzunchadoras se comprometió a realizar las

capacitaciones gratuitamente para el uso correcto por parte de los tiradores. Por otro lado, el área



de mantenimiento mecánica se comprometió a capacitar gratuitamente a los operadores de cepillado en el manejo de un variador de frecuencia, esto por políticas generales del aserradero.

de maquinarias o alta ingeniería involucrada para mejorar el rendimiento y calidad de los procesos. En la Tabla 5.3 se detallaron las propuestas de mejoras en el ámbito técnico que generan soluciones a alguna de las problemáticas.

Propuestas de mejora en el ámbito técnico

Las propuestas de mejora en el ámbito técnico fueron enfocadas a la reestructuración, cambio

Tabla 5.3: Propuestas de mejoras para el proceso de cepillado en el ámbito técnico

Problema	Causa	Causa Raíz	Propuesta	Responsable	Inversión
Atochamiento de mesa	Diseño de Mesa de Salida	Diseño Original robusto	Independizar líneas de salida de cepillado y clasificado	Proyecto ARAUCO	\$12.000.000
	Piezas con corteza	Descortezador no efectivo	Adquirir Descortezador nuevo	Proyecto ARAUCO	\$80.000.000
Piezas Trabadas	Mesa alineadora	Mesa apernada 2 cm bajo la línea de referencia de los rodillos	Alinear mesa al menos 0,5 cm bajo la línea de referencia	Jefe Seco Cepillado	Sin costo (Materiales básicos de taller)
	Forma Piña	Diseño de punta de piña es plana	Modificar diseño de piña y eje	Jefe Seco Cepillado	\$ 700.000
	Guía Curva	Retiene piezas con alabeo en su extremo	Modificar curvatura de guía	Jefe Seco Cepillado	\$ 100.000
Variación de velocidad de cepillado	Diseño de Mesa alimentación	Velocidad de rodillos de alimentación dependen de la cepilladora por una correa de transmisión.	Independizar sistema de piña de la cepilladora mediante un variador de frecuencia	Jefe Seco Cepillado	\$ 3.000.000
			Cambiar Sprocket de piña para obtener una mayor velocidad de alimentación	Jefe Seco Cepillado	\$ 200.000

Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente se presentaron los análisis económicos de las propuestas técnicas que requieren inversión en dinero e implican directamente a responsables del Aserradero El Colorado, es decir, las propuestas que estimaron mejorar el problema de piezas trabadas y de variación de velocidad de cepillado. Lo anterior se debe, a que el “El Colorado” necesitará permisos y evaluaciones externas por parte de ARAUCO, para desarrollar proyectos de gran envergadura y alta ingeniería.

Análisis económico de la implementación de un variador de frecuencia con motor independiente para reducir la variación de velocidad de cepillado (Alternativa 1)

Para el análisis se consideró una proyección de 5 años, una tasa de descuento del 9%. En la Tabla 5.4 se mostró el flujo de caja proyectado para la propuesta de implementación de un variador de frecuencia con motor independiente.



Tabla 5.4: Flujo de caja proyectado para propuesta de VDF (en dólares)

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión	4.412					
Ingresos		14220	14220	14220	14220	14220
Costos		221	221	221	221	221
Impuestos (22,5%)		3150	3150	3150	3150	3150
Flujo de Caja	-4.412	10850	10850	10850	10850	10850
					VAN	\$ 37.788,91
					TIR	245%
					Recuperación (años)	0,4067

Fuente: Elaboración Propia

Análisis económico de cambio de Sprocket de piña para reducir la variación de velocidad de cepillado. (Alternativa 2)

Para el análisis se consideró una proyección de 5 años, una tasa de descuento del 9%. En la Tabla 5.5 se mostró el flujo de caja proyectado para la propuesta del cambio de Sprocket de piña.

Tabla 5.5: Flujo de caja proyectado para propuesta de cambio de Sprocket (en dólares)

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión	294					
Ingresos		14220	14220	14220	14220	14220
Costos		15	15	15	15	15
Impuestos (22,5%)		3196	3196	3196	3196	3196
Flujo de Caja	-294	11009	11009	11009	11009	11009
					VAN	\$ 42.527,59
					TIR	3745%
					Recuperación (años)	0,0267

Fuente: Elaboración Propia

Esta alternativa es menos costosa que la alternativa 1, pero el VDF permite un mayor control en la velocidad de consumo de los productos y una adaptación rápida a las estandarizaciones, en cambio el Sprocket genera una solución rígida de trabajo y difícil adaptación a las estandarizaciones, ya que el Sprocket depende de la velocidad de cepillado a través de una correa de transmisión.

Análisis económico de modificación de guía curva y cambio de piña para reducir el tiempo muerto por piezas trabadas.

Para el análisis se consideró una proyección de 5 años, con una tasa de descuento del 9%. En la Tabla 5.6 se mostró el flujo de caja proyectado para la propuesta de modificación de guía curva y cambio de piña.



Tabla 5.6: Flujo de caja proyectado para propuesta de modificación de guía y cambio de piña (en dólares)

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión	1.176					
Ingresos		9156	9156	9156	9156	9156
Costos		59	59	59	59	59
Impuestos (22,5%)		2047	2047	2047	2047	2047
Flujo de Caja	-1.176	7050	7050	7050	7050	7050
					VAN	\$ 26.247,32
					TIR	599%
					Recuperación (años)	0,1668

Fuente: Elaboración Propia

Mecanismo de Control

Se deben acordar acciones de control en tres niveles: proceso, documentación y monitoreo:

1.- Estandarizar el proceso

Para asegurar las mejoras técnicas aplicadas en el proceso de cepillado es necesario:

- Los operadores manipulen el nuevo sistema independiente de alimentación a través de un variador de frecuencia y para esto es necesario estandarizar el nuevo proceso de alimentación en base a las dimensiones de las piezas a cepillar (Tabla de velocidades móviles).
- Implementar un sistema de poka-yoke de manera que se prevengan y detecten los errores del manejo del nuevo sistema de alimentación de cepillado.

2.- Documentar el plan de control:

Es importante desarrollar nuevos documentos que faciliten el apego a los procedimientos estándar de operación, para esto es necesario

- Hacer entrega de información escrita y visual como respaldo de las capacitaciones y cursos realizados en el área de cepillado.
- Crear SOP (estándar de operación) de las nuevas acciones administrativas que abordan el problema de atochamiento de mesa y piezas trabadas.

- Generar documento de “Tabla de velocidades móviles” y mantener cerca del personal o donde pueda ser visible fácilmente.

3.- Monitorear el proceso:

Se necesita evidencia de que el nivel de mejoras logrado se siga manteniendo, para esto el área de cepillado presenta indicadores que miden día a día el desempeño actual. Entonces se recomienda revisar de manera estricta y rigurosa los siguientes indicadores:

- Factor Operacional
- Producción
- Tiempos Muertos
- Velocidad de Cepillado

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Primero

El estudio se enfocó en la búsqueda y análisis de causas que generaban gran cantidad de tiempo muerto en el área de Cepillado del Aserradero “El Colorado”. Para realizarlo, se trabajó con la metodología DMAIC de Seis Sigma, siendo el objetivo principal del estudio el diseño de propuestas de mejora para el proceso de Cepillado de la madera. Esto se logró mediante una continua observación del proceso, seguido de reuniones de 5 por qué y ACR (Análisis Causa Raíz) con un equipo multidisciplinario,



para realizar en conjunto el diseño de las propuestas de mejora.

Se realizó una revisión bibliográfica en buscadores como Google académico, Directory of Open Access Journals (DOAJ), de base de datos, tales como Scielo y Dialnet, Scopus y libros de literatura especializada con el fin de encontrar publicaciones cuyos estudios hayan sido enfocados en la metodología Seis Sigma y su impacto en la mejora de los procesos, así como también se revisaron estudios relacionados con el área de aserrío y como han trabajado para gestionar cada uno de sus procesos. Se destaca el diagrama de Ishikawa para encontrar las principales causas de las paradas y el indicador OEE (eficiencia general de los equipos) para medir la eficiencia de las máquinas, utilizados en el estudio de Pérez & García (2014) con el fin de controlar y automatizar el proceso de envasado de licores; la presentación de propuestas de mejora del estudio de Sillero, Téllez, Aranda, & López (2014) para la reducción de tiempos muertos y estandarización de actividades, logrando un aumento en la producción de una empresa de fabricación de válvulas. Además, se destaca el uso del software estadístico Minitab en el estudio de Pérez & García (2014) como apoyo para la recolección y el posterior análisis en el procesamiento de los datos. Por otro lado, el presente estudio utilizó el software estadístico statgraphics como herramienta para realizar un diseño de experimentos, donde la interpretación de gráficas y tablas fue apoyada por Gutiérrez & De La Vara (2008).

Los resultados se obtuvieron a partir de registros históricos, kpi actualizados y observaciones en terreno, por ende los resultados son confiables para ser tomados en cuenta por el área de Cepillado. Además el desarrollo de esta metodología cumple con las políticas de la empresa para ser presentada como proyecto.

Durante el transcurso del proyecto se presentaron algunos problemas y limitaciones relacionados principalmente con la observación del funcionamiento de los procesos y la toma de datos, ya que el área de Cepillado posee una gran gama de productos a consumir en el proceso

mismo de cepillado y los operadores trabajan de distinta forma dependiendo de éstos. Esto se podría mejorar en un futuro estandarizando las actividades del proceso de Cepillado, con el fin de reducir esas pequeñas desviaciones de los datos que hacen más engorroso el manejo de la información.

La metodología se puede mejorar con la participación más continua en reuniones de ACR (Análisis Causa Raíz) y 5por qué de parte de todos los involucrados en el proyecto, esto es administrativos y operadores del área de Cepillado y de alguna otra área del aserradero relacionada al problema.

Segundo

Los resultados son válidos y se puede confiar en ellos ya que sus datos han sido obtenidos bajo la supervisión de terreno de los encargados del área de Cepillado y han sido previamente debatidos mediante grupos multidisciplinarios con el área de aserradero, con el fin de cruzar información y discutir resultados.

El método empleado para llevar a cabo el análisis y búsquedas de causas que generaban tiempo muerto fue adecuado, ya que sigue claramente las etapas de un proyecto Seis Sigma que sugiere Gutiérrez & De La Vara (2009), definiendo claramente el problema, su alcance, su estado actual y sus causas raíces, para finalmente presentar mejoras y mantenerlas en el tiempo. El método no fue novedoso para los involucrados, ya que ellos ya estaban familiarizados con otras herramientas Lean y 5S, lo que les facilitó el método de trabajo y búsqueda de soluciones.

Los análisis son totalmente completos, debido a que la base de datos SAP de la empresa que mantiene el registro de los productos que se cepillan históricamente, además de la elaboración de informes de indicadores diarios que se generan a partir de la observación diaria en terreno de los operadores. Otra forma de obtener los datos fue a través de los diálogos de desempeños o reuniones de ACR y/o 5por qué, donde se entregaban datos complementarios para el desarrollo del proyecto. Con esto ya se pudo



presentar categóricamente propuestas de mejora en el ámbito administrativo, técnico y humano logrando atacar de raíz las problemáticas presentadas. Debido a lo anterior, se infiere que la muestra fue representativa y suficiente para el estudio, ya que se trabajó con toda la información existente y en conjunto con un equipo multidisciplinario.

Tercero

La metodología utilizada puede ser abordada por cualquier empresa que tenga deficiencia en sus procesos, ya sea en sus tiempos de producción, en sus indicadores o en su metodología de trabajo. Además como menciona Scheller & Cauchick (2014), Seis Sigma es una metodología madura y experta, usada por muchas empresas alrededor de todo el mundo, debido a que cuenta con un sistema efectivo, que fomenta la productividad y calidad de los procesos en una organización.

Los resultados del estudio impactan fuertemente en los indicadores de F.O y productividad.

- Las propuestas que contemplan el problema de atochamiento de mesa se estima que reducirán los tiempos muertos en un 75% equivalente a 6 horas de producción con un ahorro aproximado de US\$1.272 mensual.
- Las propuestas que contemplan el problema de piezas trabadas se estima que reducirán los tiempos muertos en más de 4 horas de producción ya que las propuestas de carácter técnico mejoran en 3,6 horas de productividad aproximada, con un ahorro por sobre los US\$800 mensual. Lo anterior se considera adicional al ahorro mencionado anteriormente.
- Las propuestas que contemplan el problema de variación de velocidades de cepillado se estima que reducirán los tiempos muertos en más de 6 horas de producción ya que las propuestas de carácter técnico mejoran en 5,5 horas de productividad aproximada, con un ahorro por sobre los US\$1.238 mensual. Todo esto, adicional a los dos ahorros mencionados anteriormente.

Se estima que estas propuestas de mejora impacten en una recuperación de 16 horas de

tiempo muerto equivalentes a 960 minutos mensuales. Considerando un promedio mensual de 23.429 minutos de trabajo, una producción promedio de 2.073.230 metros lineales y una resultante promedio de 71,4% de F.O se estima como impacto un aumento de 4,1%, logrando un 75,5% de F.O equivalente a una producción mensual extra de 119.040 metros lineales.

Cuarto

Al comparar resultados obtenidos con trabajos ya publicados, se encuentran semejanzas en los estudios de Pérez & García (2014) y Sillero, Téllez, Aranda, & López (2014) ya que su problemática es similar, donde con el apoyo de herramientas estadísticas y softwares, se logra una reducción de tiempos muertos, una mayor utilización de los recursos disponibles, estandarización en las actividades y un aumento en la productividad. Las diferencias las encontramos en los estudios de Puerto, Suárez, Dubé, Hevia, & Lima (2014), Tolamatl, Gallardo, Varela, & Flores (2011) y Fontalvo (2011), donde se utilizó el indicador de nivel Seis Sigma como apoyo para medir la variación de defectos y su posterior mejora. En los estudios de Fontalvo (2011) y Tolamatl et al. (2011) se hace uso de DPMO como otra métrica de Seis Sigma. Otras herramientas estadísticas utilizadas de la revisión bibliográfica, destacan: gráficas de control, diagrama de relación XY, capacidad de proceso, pruebas de hipótesis, entre otras (Varela Loyola, J. A., Flores Ávila, E., & Tolamatl Michcol, J, 2010).; Buestán, 2013; Tolamatl et al., 2011)

Las semejanzas o diferencias se deben particularmente a la naturaleza de los objetivos presentados al inicio del estudio, y al posterior cambio de las condiciones de trabajo y del manejo de los datos, para finalmente trabajar con las herramientas estadísticas adecuadas o pertinentes a la problemática definida.

Los resultados aportan conocimiento y orientación en la metodología Seis Sigma, entregando una mejora en la toma de decisiones de los procesos de cepillado de madera, que es un tipo de proceso que está presente en todo tipo



de empresas del área de aserrío que procesan tales productos para abastecer mercados muy competitivos.

Quinto

Existe conocimiento por parte del área de cepillado que estos resultados son una gran oportunidad de mejora para reducir considerablemente los tiempos muertos registrados hasta la actualidad, dado que los requerimientos de inversión y el VAN y TIR obtenidos de los flujos de caja proyectados hacen altamente recomendable la implementación de las mejoras.

Se han encontrado nuevas oportunidades de investigación y estarían enfocadas a la eficacia de la implementación de las mejoras presentadas, donde es conveniente realizar mecanismos de control, creación de políticas de apoyo, planes preventivos y correctivos, para mantener en el tiempo los resultados favorables y observar de manera eficiente cualquier desviación presentada en el proceso.

5. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones de esta investigación, de esta investigación, son:

- El ámbito de las propuestas de mejora se pudo organizar en función de aspectos técnicos, humanos y administrativos.
- Los principales problemas de pérdida de productividad estaban asociados con: Atochamiento de mesa, Piezas Trabadas y Variación de velocidad de cepillado.
- La revisión bibliográfica permitió verificar la validez de uso de las siguientes técnicas durante el proceso de análisis de datos en un aserradero: de Diagramas de Pareto, cinco por qué y Análisis de causa raíz, las que permitieron identificar las principales pérdidas de productividad, además permitieron disminuir los tiempos muertos mensuales en 16 horas aproximadamente, equivalentes a una producción mensual extra de 119.040 metros lineales logrando un aumento de 4,1% en el F.O.

- Las propuestas de mejora diseñadas requieren una alta inversión en dinero ya que involucra cambios en maquinaria y modificaciones estructurales, sin embargo son abordables por la empresa ya que son altamente recomendables según el VAN y TIR arrojados por los flujos de cajas proyectados.

REFERENCIAS

- Arauco S.A., (2015). Reporte de sustentabilidad 2015. Recuperado de http://www.arauco.cl/_file/file_50_16491-reporte-2015.pdf
- Aserradero El Colorado, (2016). Informe de indicadores diarios 2016. Obtenido de Cepillado.
- Aserradero El Colorado, (2016). Informe de indicadores por turno 2016. Obtenido de Cepillado.
- Aserradero El Colorado, (2016). Gestión de Procesos General AASA.
- Buestán, M. (2013). Aplicación de la metodología Seis Sigma para reducir la pérdida de café al granel en una planta de envasado. Obtenido de LACCEI: <http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP135.pdf>
- Delgado M, F. N., & Diaz Ortiz, J. (2010). Estado actual de la filosofía “Seis Sigma” como herramienta de disminución de defectos en los procesos de producción de las empresas en Bucaramanga. Obtenido de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4991528>
- Fontalvo Herrera, T. (2011). Aplicación de Seis Sigma en una empresa productora de Cemento. Obtenido de Dialnet: <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3874538.pdf>
- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2008). Análisis y Diseño de Experimento. México: McGraw Hill.



- Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2009). *Control estadístico de Calidad y Seis Sigma*. México: McGraw Hill.
- ISO 13053-1. (2012). *Quantitative methods in process improvement-Six Sigma. Parte 1: DMAIC methodology*. Associazione Italiana Cultura Qualità. Centronord.
- ISO 13053-2. (2011). *Quantitative methods in process improvement-Six Sigma. Parte 2: Tools and techniques*.
- Mendoza, J. M., & Mendoza, J. J. (2011). *Seis Sigmas: Hacia la cumbre de la calidad*. Obtenido de *Revista Científica Pensamiento y Gestión*, (19): <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/pensamiento/article/viewFile/3585/2308>
- Pérez López, E., & García Cerdas, M. (2014). *Implementación de la metodología DMAIC-Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal*. Obtenido de Scielo: <http://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v27n3/a10v27n3.pdf>
- Puerto Díaz, O., Suárez Ordaz, D. I., Dubé Santana, M., Hevia Lanier, F., & Lima López, A. (2014). *Procedimiento para mejorar la cadena inversa con la metodología Seis Sigma*. Obtenido de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5350862>
- Salvador Pachas, M. R. (2014). *Aplicación de la metodología DMAIC al proceso de elaboración de harina residual de pescado*. Obtenido de LACCEI: <http://www.laccei.org/LACCEI2014-Guayaquil/StudentPapers/SP031.pdf>
- Santos, A., & Martins, M. (2010). *Contributions from six sigma: Case studies in multinationals*. Obtenido de Scopus: <https://www.scopus.com/record/display.uri?view=basic&eid=2-s2.0-77955444350&origin=resultslst>
- Scheller, A., & Cauchick, P. (2014). *SIX SIGMA AND LEAN PRODUCTION ADOPTION IN A MANUFACTURING*. Obtenido de *Revista Científica Electrónica de Ingeniería de Producción*: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/1652/1218>
- Sillero Pérez, J., Téllez Morales, J. R., Aranda Sandoval, E., & López García, A. (2014). *Aumento de producción de cabezales de válvulas para pozos petroleros*. Obtenido de LACCEI: <http://www.laccei.org/LACCEI2014-Guayaquil/RefereedPapers/RP096.pdf>
- Tolamatl Michcol, J., Gallardo García, D., Varela Loyola, J. A., & Flores Ávila, E. (2011). *Aplicación de Seis Sigma en una microempresa del ramo automotriz*. Obtenido de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3829811>
- Varela Loyola, J. A., Flores Ávila, E., & Tolamatl Michcol, J. (2010). *Disminución de la variación de un procesos de producción de muebles con Seis Sigma*. Obtenido de Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94415759008>