



“2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata”.

---

---

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**OPCION I.- TESIS**

**TRABAJO PROFESIONAL**

**“APLICACIÓN DE LEAN THINKING Y SIMULACIÓN DE EVENTOS CON SIMIO  
PARA DISEÑAR Y VALIDAR ESTRATEGIAS DE INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD  
EN LA EMPRESA MANUFACTURERA CORONA CLIPPER S.A. DE C.V.”**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN  
INGENIERÍA ADMINISTRATIVA**

**PRESENTA:**

**NÉSTOR IVÁN ESCOBAR PANTOJA**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. GUILLERMO CORTÉS ROBLES**

**CODIRECTOR DE TESIS:**

**M.I.I. CONSTANTINO GERARDO MORAS SÁNCHEZ**

ORIZABA, VER. MÉXICO

MARZO 2019



## Dedicatoria

Desde que recuerdo, siempre tuve bien claro lo que quería ser cuando fuera adulto. De pequeño soñaba con convertirme en policía, borracho o ratero. Admito que actualmente me siento inexperto para desempeñar tan arduas labores. Durante mi infancia también anhelé estudiar para doctor con la intención de evitar que algún día mi madre se pudiera morir; quizá estudiar medicina hubiera sido una buena opción pero no suficiente para evadir la naturaleza de la vida.

Con mi insuficiente experiencia, me atrevería a decir que todo lo que existe tiene un principio y un final. Por lo regular, durante los acontecimientos de mayor impacto es cuando reflexionamos todo lo que el tiempo a su paso ha dejado atrás. Muchas cosas que alguna vez creímos que serían eternas resultó ser que no lo eran y como aquel niño que añora jugar por siempre a los carritos, llega el momento en que ese niño por sí solo descubre que ni su gusto por los carritos es eterno y mucho menos lo es su niñez.

La culminación de esta etapa como estudiante amerita una retrospectiva de todo lo acontecido. Desde siempre mi motor ha sido la familia. Junto a ella he compartido los días más felices y me ha arropado en los momentos más complicados. La mejor directriz para equilibrar la dualidad de la vida la encuentro en la escudería Escotoja. Dedico este instante de mi vida a la nobleza y reconciliación espiritual de mi padre Víctor Escobar Pérez, a la rectitud y perfeccionismo de mi madre Martina Pantoja Morales, a la inteligencia y congruencia de mi hermana Mayra Ivette y a la madurez y comprensión de mi cuñado Ariel Omar García Islas.

La impermanencia que a diario experimento en todo tipo de pensamientos, emociones, sensaciones y acciones han dictaminado el rumbo de mi existencia. No obstante, estos altibajos me han dado la oportunidad de anidar en mi corazón a un sinnúmero de personas que me otorgaron grandes lecciones de vida. Este momento lo dedico a todos ustedes, hermanos de senda, familiares y amigos con los que Dios me bendice.

“Gracias a esa fuerza que todo lo da y todo lo quita en un ritmo perfecto para que la vida continúe... a la causa infinita de todo lo existente... a la fuente de vida”. Gracias a Dios en todas y cada una de sus expresiones. “Gracias por todo lo que fue y gracias por todo lo que será”.

...en memoria de mis dos ángeles, Natalia Escobar Velasco y Josefina Morales Liñán.

## Agradecimientos

- Al Instituto Tecnológico de Orizaba, por convertirse en mi hogar durante los siete años que cursé el nivel de licenciatura y maestría. Por resguardarme, fortalecerme y prepararme para afrontar los años venideros.
- A todo el cuerpo académico, administrativo y de servicios que constituyen a la División de Estudios de Posgrado e Investigación, por concentrar su esfuerzo y dedicación en el cumplimiento a su deber.
- Al Dr. Guillermo Cortés Robles, Mtro. Constantino Gerardo Moras Sánchez, Dr. Eduardo Roldán Reyes y Dr. Marcos Salazar Medina, por la confianza y oportunidad de ser su tesista y por orientar e ilustrar en todo momento el trabajo realizado.
- A la Mtra. Alma Gabriela Alcalde Pérez, por ser la gestora en mi formación de grado y a la Mtra. Maricela Gallardo Córdova, por impulsar y motivar la formación integral de un servidor. Gracias por todas y cada una de sus atenciones.
- A mi amigo y hermano Abraham Paredes Lino, por el espíritu de solidaridad y bienestar colectivo del que fui beneficiario. La transmisión de sus conocimientos se encuentra plasmada a lo largo y ancho de este trabajo de grado.
- A todos y cada uno de mis compañeros de generación y a los que conocí en el trayecto, por formar parte de la misma formación académica y compartir los mismos retos, experiencias, aventuras y triunfos. Mi amistad y apoyo incondicional los acompaña.
- Al ingeniero Francisco Javier Pinedo García quien preside a la empresa MCC, por la oportunidad, la confianza y el apoyo para realizar la tesis durante su gestión. Al valioso equipo que constituye MCC, con especial atención a Daniel Alcántara, por la amistad, el talento y la entrega que los caracteriza.
- Con afecto a la Dra. María José Oliveros Colay del Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación de la Universidad de Zaragoza, España, por ampliar nuestros horizontes de vuelo a partir del impulso y la motivación que nos otorgó. A Janeth Cecilia Marín Amador por compartir y enriquecer la aventura.
- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por ser el mediador para la construcción de una mejor sociedad y por brindar la posibilidad de concretar las metas, aspiraciones y sueños de sus educandos.

## Resumen

La tesis se centra en la integración de Simulación de Eventos Discretos (DES) y la filosofía *Lean Thinking*, a partir de la metodología para el desarrollo de la simulación (Law & Kelton, 1991) y la metodología para el proceso en la toma de decisiones a nivel organizacional basado en la evolución de indicadores clave de rendimiento -por sus siglas en inglés, *KPI's*- (Prieto Renda, 2015). La empresa en cuestión es una manufacturera líder a nivel mundial en la fabricación y exportación de tijeras de mano para jardinería, agricultura, paisajismo y poda de tipo profesional. En este trabajo de tesis se diseñaron y validaron alternativas de mejora que tienen un impacto positivo para la productividad de dicha empresa.

El análisis del sistema de producción y el diseño de propuestas de mejora se basan en los conceptos fundamentales de la manufactura esbelta (*Lean Thinking*), los cuales fueron empleados como filosofía para el diagnóstico y la evaluación de las operaciones de producción. Paralelamente, se emplea la simulación con *SIMIO* para determinar los efectos que generan las distintas alternativas de solución. Se determinó que la tijera de mayor factibilidad para incrementar la productividad es la referencia *SL 7180*. Así mismo, la simulación del estado inicial para la línea de producción de *Loppers* permitió detectar como principal área de oportunidad el proceso del *rectificado de ángulo y filo*. Para este proceso se consideran diecisiete indicadores de desempeño los cuales se ponderaron mediante el Proceso Analítico de Jerarquización (*AHP-Analytic Hierarchy Process*) para facilitar la toma de decisiones.

Se concluye que la mejor alternativa es la redistribución del *Micro Layout* combinada con una estandarización en la secuencia de trabajo. Esta estrategia produjo un incremento en la productividad del 29.37%. De este modo, se consolida la filosofía *Lean Thinking* en combinación con la simulación en *SIMIO* como una opción adecuada para crear una cultura de mejora basada en la comunicación y en el trabajo en equipo. Ambas herramientas tienen como finalidad realizar las actividades de un proceso productivo de manera más ágil, flexible y económico con la eliminación del desperdicio (*mudas*) y la creación de sistemas virtuales.

**Palabras clave:** Mejora productiva, Lean Thinking, Simulación DES, *SIMIO*.

## Abstract

This thesis is focused on the integration of Discrete Event Simulation and the Lean Thinking philosophy, based on the methodologies for the development of simulation (Law & Kelton, 1991) and for the decision-making process at the organizational level based on the evolution of Key Performance Indicators (KPIs) (Prieto Renda, 2015). The company at issue is a leading manufacturer worldwide in the production and export of hand scissors for gardening, agriculture, landscaping and professional pruning. In this thesis work, improvement alternatives were designed and validated, they proved to have a positive impact on the productivity of the company described above.

The analysis of the production system and the design of improvement proposals are based on the fundamental concepts of Lean Thinking, which were used as a philosophy for the diagnostics and evaluation of production operations. Simultaneously, SIMIO simulation is used to determine the effects generated by the different solution alternatives. It was determined that the scissors of greater feasibility to increase productivity is the reference SL 7180. Likewise, the simulation of the initial state for the Loppers production line made it possible to detect the process of angle and edge grinding as the main area of opportunity. Seventeen performance indicators were considered for this process, which were weighted through the Analytical Hierarchy Process (AHP-Analytic Hierarchy Process) to facilitate decision-making.

It is concluded that the best alternative is the redistribution of the Micro Layout combined with a standardization in the work sequence. This strategy produced an increase in productivity of 29.37%. In this way, the Lean Thinking Philosophy is consolidated in combination with simulation in SIMIO as an appropriate option to create a culture of improvement based on communication and teamwork. Both tools are intended to perform the activities of a productive process in a more flexible and economical way from the elimination of wasting (mudas) and the creation of virtual systems.

**Key words:** Productive Improvement, Lean Thinking, DES simulation and SIMIO.

# Contenido

Índice de Tablas.....	VI
Índice de Gráficos .....	VII
Índice de Ecuaciones .....	VII
Índice de Figuras.....	VIII
Nomenclatura y abreviaturas.....	X
Capítulo 1. Generalidades.....	12
1.1 Generalidades de Manufacturera Corona Clipper S.A. de C.V. ....	12
1.1.1 Antecedentes históricos.....	12
1.1.2 Contexto actual.....	12
1.1.3 Ubicación de la empresa .....	14
1.1.4 Áreas de producción.....	15
1.2 Generalidades del proyecto.....	15
1.2.1 Planteamiento del problema .....	15
1.2.2 Objetivo general.....	16
1.2.3 Objetivos particulares .....	16
1.2.4 Justificación .....	17
1.2.5 Solución a priori.....	19
1.2.6 Metodología de trabajo .....	19
1.2.7 Posicionamiento de la tesis .....	30
Capítulo 2. Marco teórico .....	31
2.1 Productividad.....	32
2.2 Lean Thinking.....	33
2.2.1 Los 5 principios de Lean Thinking.....	34
2.2.2 Las 8 Mudas presentes en toda organización.....	35

2.2.3 Beneficios con la implantación de la filosofía Lean .....	35
2.2.4 Value Stream Mapping .....	36
2.3 <i>Key Performance Indicators (KPI)</i> .....	43
2.4 Simulación.....	46
2.4.1 Definición de simulación .....	46
2.4.2 Clasificación de los modelos de simulación .....	47
2.4.3 Uso y limitaciones de la simulación.....	47
2.4.4 Ventajas y desventajas de la simulación.....	48
2.4.5 Metodología de la simulación.....	50
2.5 Softwares de simulación .....	52
2.6 Simulation Modelling Based On Intelligent Objects ( <i>SIMIO</i> ) .....	52
2.6.1 Componentes de la ventana para el modelaje en <i>SIMIO</i> .....	53
2.6.2 Procesos .....	54
2.6.3 Objetos inteligentes .....	55
2.6.4 Principio de equivalencia de <i>SIMIO</i> .....	56
2.6.5 Google Symbol Warehouse .....	57
2.6.6 Ventana de escenarios de trabajo .....	57
2.6.7 Work Schedules.....	58
2.6.8 Estadísticos .....	59
2.7 Por qué <i>SIMIO</i> .....	60
Capítulo 3. Aplicación de la metodología .....	60
3.1 Fase I Análisis inicial .....	61
3.1.1 Componentes de la herramienta <i>SL 7180</i> .....	62
3.1.2 Formulación del problema .....	65
3.1.3 Determinación de objetivos.....	66
3.1.4 Establecimiento del área piloto (Línea de <i>Loppers</i> ) .....	69
3.1.5 Proceso de producción de la referencia <i>SL 7180</i> .....	70

3.2 Fase II: Modelo de simulación .....	74
3.2.1 Extracción de datos reales.....	74
3.2.2 Modelo conceptual.....	76
3.2.3 Prueba de bondad de ajuste .....	77
3.3 Fase III: Test modelo de simulación .....	82
3.3.1 Validación del modelo.....	82
3.3.2 Establecimiento de los <i>KPI Lean</i> de diagnóstico.....	88
Capítulo 4. Generación de escenarios de trabajo.....	91
4.1 Fase IV: Diseño de escenarios de trabajo .....	96
4.1.1 Obtención de la alternativa número cuatro para el proceso de <i>RA &amp; F</i> .....	97
4.1.2 Simulación para la alternativa número cuatro en el <i>RA &amp; F</i> .....	103
Capítulo 5. Análisis de resultados .....	109
5.1 Fase V: Análisis e incorporación de los resultados .....	109
5.1.1 Mejores alternativas para cada <i>KPI</i> .....	110
5.1.2 Analytic Hierarchy Process .....	112
5.2 Fase VI: Documentación e informe.....	114
Conclusiones.....	118
Recomendaciones.....	121
Referencias Bibliográficas .....	123
Anexos .....	125



## Índice de Tablas

Tabla 1.1 Valores críticos para la prueba Kolmogorov-Smirnov .....	24
Tabla 2.1 Evolución del concepto de productividad en las empresas de manufactura .....	32
Tabla 2.2 Factores a considerar para aplicar VSM .....	37
Tabla 2.3 Elementos que conforman un VSM .....	37
Tabla 2.4 Softwares para la simulación .....	52
Tabla 2.5 Biblioteca estándar de módulos .....	54
Tabla 3.1 Análisis ABC de la línea de producción Loppers .....	61
Tabla 3.2 Valores del análisis ABC .....	62
Tabla 3.3 Componentes de la referencia SL 7180 .....	63
Tabla 3.4 Relación de las áreas de oportunidad con SIMIO .....	66
Tabla 3.5 Formato para la determinación del takt time .....	68
Tabla 3.6 Formato para el registro de actividades y tiempos de proceso .....	75
Tabla 3.7 Variables consideradas para las pruebas de bondad de ajuste .....	76
Tabla 3.8 Tiempo de procesamiento en la colocación del amortiguador .....	77
Tabla 3.9 Distribución empírica en el tiempo de ciclo de esmerilado y brochado. ....	77
Tabla 3.10 Distribuciones de probabilidad para la producción de la referencia SL 7180 ..	78
Tabla 3.11 Resultados obtenidos del sistema real para el No. de piezas procesadas .....	83
Tabla 3.12 Resultados de la simulación para el No. de piezas procesadas .....	84
Tabla 3.13 Cálculo prueba t-pareada en Pulido (B) para el No. de piezas procesadas ....	85
Tabla 3.14 Estadísticos de la prueba t-pareada para el No. de piezas procesadas .....	86
Tabla 3.15 Intervalos de confianza calculados con la prueba t-pareada .....	86
Tabla 3.16 Corridas piloto para la estimación del No. óptimo de corridas .....	87
Tabla 3.17 Número de corridas óptimo para la variable: piezas procesadas .....	88
Tabla 3.18 Determinación de los KPI's para el análisis de la eficiencia .....	88
Tabla 3.19 Determinación de KPI's para el análisis de despilfarros .....	89
Tabla 3.20 Resultados de los KPI de diagnóstico .....	90
Tabla 4.1 KPI's iniciales en el proceso del RA & F .....	94
Tabla 4.2 Alternativas de solución para el RA & F (Parte 1) .....	96
Tabla 4.3 Alternativas de solución para el RA & F (Parte 2) .....	97
Tabla 4.4 Habilitar del proceso en la media hora de comida (RA & F) .....	98
Tabla 4.5 Cambio en la secuencia de actividades (RA & F) .....	99
Tabla 4.6 Actividades manuales y automáticas para cada subprocesso del RA & F .....	106

Tabla 5.1 KPI's Lean finales de las alternativas de solución para el RA & F .....	110
Tabla 5.2 Proceso Analítico de Jerarquización para las alternativas de solución .....	113
Tabla 5.3 Comparativa de KPI's Lean iniciales y finales .....	116

## Índice de Gráficos

Gráfico 1.1 Diagrama de flujo de la metodología de trabajo .....	20
Gráfico 2.1 Representación del OEE.....	45
Gráfico 3.1 Modelo conceptual (parte 1).....	80
Gráfico 3.2 Modelo conceptual (parte 2).....	81
Gráfico 4.1 Tiempos de operación Vs takt time para la producción de la SL 7180.....	91
Gráfico 4.2 Hoja Combinada de Trabajo Estándar en el arranque del RA & F.....	101
Gráfico 4.3 Hoja Combinada de Trabajo Estándar en la estabilización del RA & F.....	102
Gráfico 5.1 Importancia de cada KPI para MCC.....	112
Gráfico 5.2 Interrelación de conceptos para generar la alternativa de solución .....	115
Gráfico 5.3 Porcentajes de mejora al implementar la mejor alternativa de solución.....	117

## Índice de Ecuaciones

<b>Ecuación 1.1</b> .....	23
<b>Ecuación 1.2</b> .....	23
<b>Ecuación 1.3</b> .....	23
<b>Ecuación 1.4</b> .....	24
<b>Ecuación 1.5</b> .....	24
<b>Ecuación 1.6</b> .....	24
<b>Ecuación 1.7</b> .....	24
<b>Ecuación 1.8</b> .....	25
<b>Ecuación 1.9</b> .....	25
<b>Ecuación 1.10</b> .....	28
<b>Ecuación 1.11</b> .....	28
<b>Ecuación 1.12</b> .....	28
<b>Ecuación 1.13</b> .....	28
<b>Ecuación 1.14</b> .....	28
<b>Ecuación 2.1</b> .....	33

<b>Ecuación 2.2</b> .....	40
<b>Ecuación 2.3</b> .....	40
<b>Ecuación 2.4</b> .....	40
<b>Ecuación 2.5</b> .....	41
<b>Ecuación 2.6</b> .....	41
<b>Ecuación 2.7</b> .....	44
<b>Ecuación 2.8</b> .....	44
<b>Ecuación 2.9</b> .....	45
<b>Ecuación 2.10</b> .....	45
<b>Ecuación 2.11</b> .....	45
<b>Ecuación 2.12</b> .....	45
<b>Ecuación 3.1</b> .....	76
<b>Ecuación 3.2</b> .....	82
<b>Ecuación 3.3</b> .....	82

## Índice de Figuras

Figura 1.1 Organigrama General de MCC .....	14
Figura 1.2 Ubicación de Manufacturera Corona Clipper S.A. de C.V. ....	14
Figura 1.3 Distribución de probabilidad triangular .....	26
Figura 2.1 Beneficios de Lean Thinking .....	36
Figura 2.2 Ejemplo de Value Stream Mapping .....	42
Figura 2.3 Metodología para la Simulación .....	51
Figura 2.4 Ventana de trabajo en el software SIMIO .....	53
Figura 2.5 Procesos complementarios .....	55
Figura 2.6 Selección de objetos inteligentes .....	56
Figura 2.7 Modelado 2D en presentaciones 3D .....	57
Figura 2.8 Objeto importado de Google Symbol Warehouse .....	57
Figura 2.9 Diferentes escenarios de trabajo .....	58
Figura 2.10 Work Schedules .....	59
Figura 3.1 Visualización de los componentes de la referencia SL 7180 .....	64
Figura 3.2 Diagrama de "Causa-Efecto" para la referencia SL 7180 .....	65
Figura 3.3 VSM para la línea de producción Loppers de la tijera <i>SL 7180</i> .....	67
Figura 3.4 Flujo del proceso Loppers para la referencia SL 7180 .....	70

Figura 4.1 Proceso de rectificadado de ángulo y filo. ....	92
Figura 4.2 Diagrama del flujo de operaciones en el RA & F. ....	93
Figura 4.3 Ajustes en la <i>Work Schedule</i> para habilitar la media hora de comida.....	98
Figura 4.4 Trayectoria final de actividades en el proceso de RA & F.....	100
Figura 4.5 Tablas de secuencia de procesos y probabilidad de llegada de piezas.....	104
Figura 4.6 Secuencia de entidades y referenciación de secuencia de procesos.....	105
Figura 4.7 Secuencia de actividades en Afiladora_1 del RA & F.....	106
Figura 4.8 Actividad de retirar pieza y revisar filo en afilado y biselado.....	107
Figura 4.9 Animación de actividades en subproceso de afilado y biselado.....	108
Figura 4.10 Status lable para visualizar las actividades realizadas en cada subproceso	108

## Nomenclatura y abreviaturas

<b>Término</b>	<b>Definición</b>
Blade	Materia prima que es transformada en los procesos de producción para la fabricación de la tijera SL 7180.
Célula de manufactura	Agrupación de máquinas y equipos para facilitar la realización de operaciones secuenciales.
Cycle time	Representa el tiempo que pasa una pieza en un proceso y/o célula de manufactura, desde su recepción hasta su entrega al cliente interno.
FIFO	Forma de trabajo basada en primeras entradas y primeras salidas para priorizar el orden en que son procesadas las piezas.
Hook	Materia prima que es transformada en los procesos de producción para la fabricación de la tijera SL 7180.
Input	Entrada o llegada de materia prima entre cada uno de los procesos y/o células de manufactura.
KPI	Indicadores Claves de Rendimiento que son evaluados para conocer la situación productiva de un proceso o célula de manufactura.
Layout	Forma de distribuir y ubicar la maquinaria y equipos de una línea de producción.
Lead time	Métrica para determinar el tiempo transcurrido desde que se emite el pedido hasta que es entregado al cliente.
Lean thinking	Filosofía de trabajo que tiene como finalidad mejorar la productividad a partir de la creación de valor y la reducción de mudas.
Línea de producción	Conjunto de operaciones secuenciales en las que se procesan uno o más productos con características similares.
Loppers	Línea de producción simulada en la empresa MCC y que corresponde a la referencia SL 7180.
MCC	Manufacturera Corona Clipper.
Micro Layout	Fracción de esquema que presenta la forma en que se encuentran distribuidos los procesos y equipos dentro de un diseño. Para efectos de este trabajo el prefijo " <i>Micro</i> " hace alusión a la fracción del <i>Layout</i> correspondiente a la célula de trabajo del <i>RA &amp; F</i> .
Muda	Concepto de la mejora continua que hace alusión a los ocho despilfarros presentes en toda organización.

NVA	Actividades realizadas por la empresa que no agregan valor al producto.
OEE	Razón porcentual que sirve para medir la Eficiencia General de los Equipos.
One piece flow	Flujo de una sola pieza entre cada proceso de transformación.
Operario	Persona que realiza actividades manuales y colabora en las automáticas de una empresa.
Output	Salida de materia prima entre cada uno de los procesos y/o células de manufactura.
Pull	Sistema de producción basado en la demanda o requerimientos del cliente.
Push	Sistema de producción basado en una planeación anticipada.
RA & F	Célula de manufactura para el Rectificado de Ángulo y Filo en la <i>hoja</i> correspondiente al penúltimo proceso de transformación de la tijera SL 7180.
Referencia SL 7180	Modelo de tijera producida en la empresa MCC y para la cual se realiza el presente estudio.
Sim Bits	Casos de simulación disponibles por SIMIO para su consulta.
SIMIO	Software utilizado para realizar la simulación del presente trabajo.
State label	Etiqueta de estado para contabilizar un indicador de desempeño durante la corrida de simulación.
Takt time	Tiempo al que se debe producir para cumplir con la demanda del cliente.
VA	Actividades realizadas por la empresa que agregan valor al producto.
VSM	Herramienta de diagnóstico para identificar las actividades que no agregan valor en una línea de producción.
Work In Process (WIP)	Cantidad de material que se encuentra almacenado entre cada proceso de transformación.

Este documento no puede publicarse en su totalidad puesto que contiene información reservada y no se dispone de la autorización por parte de la empresa