



ECUADOR – AGOSTO 2016 - ISSN: 1696-8352

## **OPTIMIZACION DE LA PRODUCTIVIDAD MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE RESTRICCIONES EN LA MANUFACTURA DE PUERTAS DE GARAJE FORJADAS, EN LA MICROEMPRESA INDUSTRIAS METÁLICAS VILEMA**

**\* Ana María Pilco Salazar**

any\_pilcosalazar@hotmail.com

**\*\*Carlos Oswaldo Álvarez Pacheco**

calvarez@esPOCH.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Facultad de Mecánica

Escuela de Ingeniería Industrial

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Ana María Pilco Salazar y Carlos Oswaldo Álvarez Pacheco (2016): "Optimización de la productividad mediante la aplicación de la teoría de restricciones en la manufactura de puertas de garaje forjadas, en la microempresa Industrias Metálicas Vilema", Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, Ecuador, (agosto 2016). En línea: <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ec/2016/restricciones.html>

### **RESUMEN:**

Este artículo muestra un modelo de mejora para la productividad de puertas de garaje forjadas en la microempresa IMEV de la ciudad de Riobamba, mediante la aplicación de las técnicas de la teoría de restricciones, que a través de un análisis de valor agregado permite explotar las restricciones del sistema, para considerar estas decisiones se ha utilizado técnicas del estudio del trabajo para posteriormente identificar las actividades que mayor tiempo de producción se presenta en la elaboración de las puertas. Mediante las estrategias de la teoría de restricciones se logra explotarlas, obteniendo una mejora esto se refleja en cifras de productividad. Además se consideró un análisis financiero puesto que se realizó una inversión con el propósito de mejorar los recursos y la utilización de la tecnología.

### **PALABRAS CLAVE:**

Productividad. Puertas Forjadas. Teoría de restricciones. Sistema. Inversión.

### **ABSTRACT:**

This article shows a model for improving the productivity of garage forged doors in micro-company IMEV from the Riobamba city, through the application of the techniques of the constraints theory that thought a value added analysis allows to exploit the constraints of the system to consider these decisions has been used techniques for the study of work to subsequently identify the activities that more time's production shows in the development of doors.

Through the strategies of theory of constraints is achieved to explain them having an improvement this is reflected in figures of productivity. Also considered a financial analysis since that was an investment for the purpose of improving resources and the use of technology.

### **KEYWORDS:**

Productivity. Doors Forged. Theory of constraints. System. Investment.

## **1.- INTRODUCCIÓN**

Hoy en día todas las empresas buscan implementar procesos de mejoramiento continuo basados en la utilización de técnicas y herramientas que les permitan generar ventajas competitivas; de otro modo, si las empresas no se ajustan a las tendencias actuales de los mercados, no podrán garantizar una permanencia sostenible. Para que un país sea competitivo es necesario aplicar las ideas innovadoras en hechos concretos que se traduzcan en beneficios tangibles, económicamente viables y sostenibles en el tiempo; es decir dar un salto de las ideas a la realidad, de pensar a hacer.

Industrias IMEV es una empresa ubicada en el cantón Guano, misma que tiene como actividad principal la fabricación de puertas forjadas de garaje, para lo cual cuenta con talento humano experimentado en toda la línea de producción y en procesos de apoyo, aunque con poco conocimiento técnico acerca de herramientas de gestión con las que se podría incrementar su productividad. Actualmente en IMEV debido a la carencia de herramientas y técnicas de gestión adecuadas, se da como resultado tiempos de producción altos, ya que en promedio, la línea de producción de puertas tarda al menos 5 días (40 horas) para la fabricación de una puerta forjada de garaje. Además se presenta un índice de productividad de 0,275 puertas por hora hombre, lo cual a su vez refleja que la producción tiene cuellos de botella, dados por la falta de planificación de la producción, afectando directamente a la calidad del producto y por ende a la satisfacción de los clientes.

## **2.- METODOLOGÍA**

### **Tipo de estudio**

Esta investigación es del tipo explicativa considerando que al transcurrir el tiempo este conduce a la interpretación del objeto en estudio, además la identificación y análisis de las causas del problema, y obtención de resultados verificables que expliquen el comportamiento de las variables consideradas: distancias y tiempos, es decir que con este tipo de investigación se llega más allá de lo analizado

Exploratorios: Este tipo de estudio se produce en la fase de recopilación de información para el diagnóstico del proceso de producción en IMEV.

Descriptiva: Este tipo de estudio se utiliza para el diseño del modelo basado en TOC, ya que se busca especificar las propiedades importantes del fenómeno estudiado.

Los métodos utilizados son:

Método de la observación.- considerando que la investigación parte de percepción del proceso inicial. Por medio de la observación directa y con la técnica del cronometraje se levanta información tanto de los procesos en situación actual como del método mejorado, con la finalidad de determinar la incidencia de la aplicación de estrategias de mejora.

Método hipotético – deductivo.- de acuerdo a lo observado se formula la hipótesis que deben ser comprobadas de acuerdo al estudio.

Método analítico.- se realiza un análisis de las actividades en cada área de trabajo para poder analizarlas.

Método de la síntesis.- ya que el análisis que se realizó por separado debe ser parte de un conjunto y poder comprender el proceso.

Métodos de Modelación.- Mediante diagramas de procesos se conocen los requerimientos necesarios para producción de puertas forjadas.

PROCESO	TIEMPO PROMEDIO
Selección de materiales	22,88
Verificar existencias en bodega	5,34
Seleccionar materiales en bodega	12,43
Transportar materiales a estación de corte	5,11
Corte de piezas	171,23
Medición de materiales	45,31
Ubicación de materiales en mesa de corte	11,23
Cortar piezas conforme diseño	106,37



La técnica utilizada la de campo considerando la toma de información fue observación directa.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

Consulta en base a documentos (Registros, Internet, bibliografía científica, investigaciones realizadas en el país y estadísticas oficiales).

Observación de campo: Realizar visitas periódicas a la empresa para la verificación del proceso de elaboración de puertas forjadas de garaje, para lo cual se tomará una muestra y se levantará información por medio de un check list y con la técnica de cronometraje.

El procesamiento de la información se realizará a través del programa estadístico Excel.

### Población y muestra

Población: Corresponde al número de puertas fabricadas mensualmente.

Muestra: Para el cálculo de la muestra se utilizará la siguiente fórmula, (MOORE, 2005, pp. 59):

$$n = \frac{Z^2 pqN}{Nk^2 + Z^2 pq}$$

Donde:

N: Tamaño de la Población (11).

Z: Nivel de confianza (0,95: 1,96)

K: Limite de aceptación de error muestral (5%: 0.05)

p: Nivel de aceptación (0,5)

q: Nivel de rechazo (1-p): 0,5

n: Tamaño de la muestra a determinar.

A continuación se calcula la muestra de puertas forjadas :

$$n = \frac{(11)(1,96)^2(0,5)(0,5)}{(11)(0,05)^2 + (1,96)^2(0,5)(0,5)}$$

n = 11 puertas

Se consideran 11 puertas para el análisis respectivo de los tiempos empleados en la elaboración de los mismos.

### Medición de trabajo

#### Aplicación técnica de cronometraje

Con la finalidad de determinar los tiempos incurridos en la producción de puertas forjadas de garaje, se ha tomado una muestra de 11 puertas, que representan la producción promedio, de tal manera, que se aplicó la técnica de cronometraje en cada actividad a lo largo de los procesos de producción de puertas, teniendo el siguiente tiempo promedio:

Transportar piezas cortadas a estación de formado	8,32
<b>Formado de piezas</b>	<b>439,11</b>
Colocación de piezas cortadas en varoladora	38,19
Dar forma a piezas conforme diseño requerido	391,80
Transportar piezas formadas a fragua	9,12
<b>Fraguado de piezas</b>	<b>86,07</b>
Sometimiento de piezas a altas temperaturas	25,56
Forjar piezas conforme diseño	42,11
Enfriamiento de piezas fojadas	11,03
Transportar piezas a estación de suelda	7,37
<b>Suelda de piezas</b>	<b>242,78</b>
Fijar marco	65,13
Fijar hoja	112,43
Fijar toldo o verja	65,22
<b>Pulimento de puerta</b>	<b>42,27</b>
Pulir imperfecciones de suelda	42,27
<b>Fondeo de puerta</b>	<b>163,12</b>
Aplicación de químico antioxidante	48,21
Secar puerta	30,00
Aplicación de químico adherente	42,56
Secar puerta	30,00
Transporte de puerta a pintura	12,35
<b>Pintura de puerta</b>	<b>745,52</b>
Aplicación de pintura según color elegido por cliente	257,40
Secar puerta	480,00

Tabla 1. Tiempo promedio inicial

Una vez tomado el tiempo promedio se aplicó el método de westinghouse para obtener el tiempo normal y considerando los suplementos que se presentan en la empresa se encontró el tiempo estándar

### Teoría de restricciones

Según lo manifiesta Goldratt (1993), es todo un proceso de mejoramiento continuo, basado en un pensamiento sistémico, que ayuda a las empresas a incrementar sus utilidades con un enfoque simple y práctico, identificando las restricciones para lograr sus objetivos, y permitiendo efectuar los cambios necesarios para eliminarlos. (Lapore & Cohen, 2002, pág. 11)

Para desarrollar el proceso de mejora continua propuesto por Goldratt, la Teoría de Restricciones se basa en el siguiente ciclo compuesto por cinco pasos: (Lapore & Cohen, 2002, pág. 11)

- Identificar la (s) restricción (es) del sistema.
- Decidir cómo explotar la (s) restricción (es) del sistema.
- Subordinar todo lo demás a la decisión anterior.
- Elevar la (s) restricción (es) del sistema.
- Si se ha roto la limitación, Identificar la (s) restricción (es) del sistema.

### Identificar las restricciones del sistema



Figura 1. AVA proceso actual

En el proceso actual se observó un 67,68% de valor agregado hacia el cliente, existiendo un 25,12% de actividades de espera, lo cual debe ser reducido.

Mediante el análisis del valor agregado identificamos que existe una restricción en el sistema por esperas en el proceso, el siguiente paso es detectar esa restricción

### Detección de la restricción

#	DESCRIPCIÓN	TIEMPO ESTÁNDAR
A1	Selección de materiales	30,49
A2	Corte de piezas	220,65

A3	Formado de piezas	555,35
A4	Fraguado de piezas	105,56
A5	Suelda de piezas	306,53
A6	Pulimento de puerta	55,37
A7	Fondeo de puerta	203,94
A8	Pintura de puerta	877,81
TIEMPO ESTÁNDAR TOTAL		
	Minutos	2355,69
	Horas	39,26
	Días	4,91

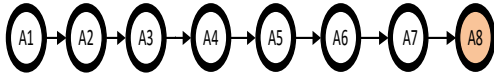


Tabla 2. Detección de la restricción

La restricción del sistema está dada por el proceso de pintura con un tiempo de 877,81 minutos, esto se lo corroboro mediante un diagrama de Pareto

### Capacidad máxima del sistema

Se obtuvo identificando el proceso cuello de botella, esto permite calcular la capacidad máxima del sistema.

Tabla 3. Capacidad máxima del sistema

ESTACIONES DE TRABAJO	TIEMPOS	CAPACIDAD MÁXIMA DEL SISTEMA SEMANAL	CAPACIDAD MÁXIMA DEL SISTEMA MENSUAL
Selección de materiales	30,49		
Corte de piezas	220,65		
Formado de piezas	555,35		
Fraguado de piezas	105,56		
Suelda de piezas	306,53		
Pulimento de puerta	55,37		
Fondeo de puerta	203,94		
Pintura de puerta	877,81	3,01	13,12

La capacidad del sistema muestra que solo puede producir 13 puertas al mes la empresa, mediante un análisis AVA se identificó cual es la causa de esta restricción



Figura 2. AVA proceso de pintura

Se observó que el proceso de pintura apenas tiene un 40,03 %; existiendo un 58,51% en actividades de espera, lo cual debe ser eliminado o disminuido al máximo por medio de estrategias.

## Resultados

### *Explotar la restricción.*

Explotar la restricción consiste en buscar la mejor estrategia de eliminar el porcentaje de espera, se analizó y observo que en el subproceso de secado es donde hay más espera para lo cual se propone lo siguiente.

RESTRICCIÓN	PROBLEMA	ESTRATEGIA	TÁCTICA	MONTO
PINTURA	Elevado tiempo en actividad de secado	Disminuir el tiempo de entrega de producto al cliente	Implementación de horno de secado	\$7.869,26

Tabla 4. Propuesta restricción

El horno de secado se tomo como referencia a un estudio de diseño y construcción cabina- horno de pintura con un sistema de alimentación GLP para la empresa AUTOMOTORES SANTAMARIA, de esta manera se puede considerar las características del cuarto de secado y adecuarle las medidas, pudiendo estimar precios.

Para poder verificar el tiempo y temperatura de secado completo se realizó en una muestra de 10 puertas que fue la producción total ese mes, en todos los casos se observó el secado en 45 y 60 min, de tal forma se verifico que a 60min. de exposición al horno la puerta tenía un secado adecuado.

Por medio de la implementación del horno de secado en la planta de la empresa, el tiempo total de producción se redujo considerablemente ya que el tiempo de secado de una puerta en el horno era de una hora, reduciendo el tiempo de secado de 513 a 60 minutos; y reduciendo el tiempo de producción total de 4,91 días a 3,93, lo que representa en minutos una disminución de 453,6

### *Identificar nuevas restricciones*

Habiendo disminuido la restricción o el cuello de botella representado por el proceso de pintura, específicamente la actividad de secado, se procede hacer un nuevo análisis para detectar las nuevas restricciones, para lo cual se realiza el siguiente diagrama:

### **Identificación nueva restricción**

#	DESCRIPCIÓN	TIEMPO ESTÁNDAR
A1	Selección de materiales	30,49

A2	Corte de piezas	220,65
A3	Formado de piezas	555,35
A4	Fraguado de piezas	105,56
A5	Suelda de piezas	306,53
A6	Pulimento de puerta	55,37
A7	Fondeo de puerta	203,94
A8	Pintura de puerta	424,22
TIEMPO ESTÁNDAR TOTAL		
	Minutos	1902,09
	Horas	31,70
	Días	3,96



Tabla 5. Restricción formado de piezas

Con la nueva restricción se calculó una capacidad máxima del sistema de 20,74 y mediante el AVA verificamos la restricción

### Analisis de valor agregado (formado de piezas)



Figura 3. AVA proceso formado de piezas

El nuevo análisis de valor agregado del proceso de formado de piezas que representa la nueva restricción, refleja que existe un 89,29% de valor agregado hacia el cliente, dejando un 10,71% de movimientos; sin embargo los movimientos realizados en este proceso no son innecesarios ya que se deben realizar obligatoriamente.

Como se ha determinado que no se puede mejorar el proceso ya que sus actividades tienen un alto índice de valor agregado hacia el cliente, se realizará el análisis de otra herramienta para poder explotar la restricción.

Se realizará un análisis de Layout y diagrama de recorrido, para lo cual se presenta el diseño de planta y diagrama de recorrido a continuación:

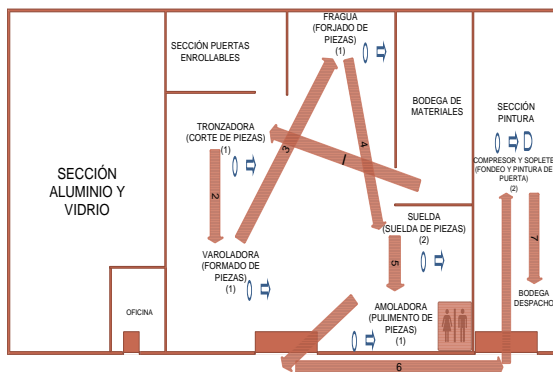


Figura 4. Diagrama de recorrido

En base al layout se analizará el inventario de máquinas existentes.

DESCRIPCIÓN	#
Tronzadora	1
Varoladora	1
Fragua	1
Suelda	2
Amoladora	1
Compresor	2

Tabla 6. Inventario de máquinas

Como se observa, el proceso de formado de piezas cuenta con una sola varoladora, de tal manera que la restricción puede explotarse al incrementar una varoladora.

RESTRICCIÓN	PROBLEMA	ESTRATEGIA	TÁCTICA	MONTO
FORMADO	Elevado tiempo en actividad de formado	Disminuir el tiempo de entrega de producto al cliente	Implementar una varolaroda adicional	\$4000

Tabla 7. Propuesta segunda restricción

Posterior a la implementación de la varoladora adicional por parte de la empresa, se ha determinado el tiempo de formado como se observa en el siguiente diagrama, especificando que la cantidad de piezas se han dividido equitativamente para las dos varoladoras.

Es importante mencionar que la propuesta ha requerido la contratación de un nuevo operario.

A continuación se muestra un análisis Pert con la situación actual y las propuestas:

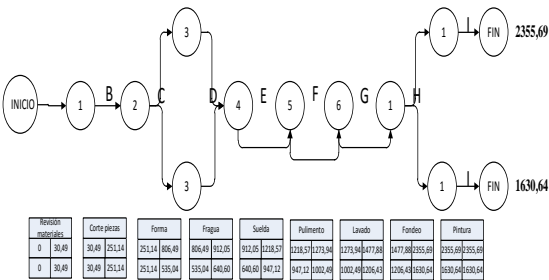


Figura 4. Diagrama Pert

Con la contratación del nuevo operario y la implementación de una nueva varoladora se redujo los movimientos en este proceso por ende disminuían tiempos es el proceso

#### Identificar nuevas restricciones

#	DESCRIPCIÓN	TIEMPO ESTÁNDAR
A1	Selección de materiales	30,49
A2	Corte de piezas	220,65
A3	Formado de piezas	283,90
A4	Fraguado de piezas	105,56
A5	Suelda de piezas	306,53
A6	Pulimento de puerta	55,37
A7	Fondeo de puerta	203,94
A8	Pintura de puerta	424,22

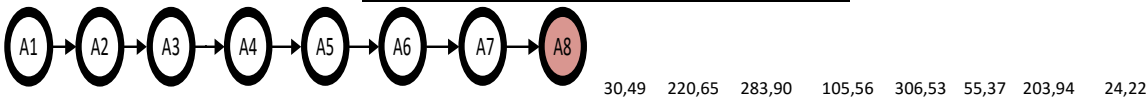




Tabla 8. Identificación de restricciones

Con la nueva restricción se encontró una capacidad máxima del sistema de 27,16.

Considerando que ya se había explotado la restricción, se considera analizado las tres restricciones del sistema, como resultado se muestra un AVA propuesto

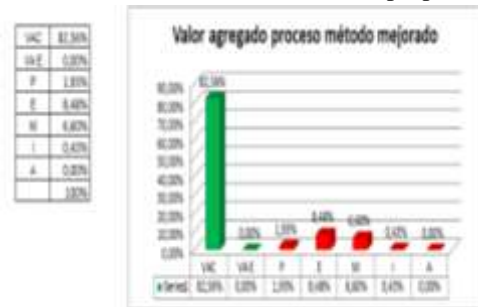


Figura 5. AVA Método Mejorado

Analizando el valor agregado integrando la propuesta, se puede determinar que se tiene un valor agregado hacia el cliente de 82,56%, actividades de espera de 8,48%, actividades de movimiento de 6,60%, actividades de preparación de 1,93% y finalmente actividades de inspección de 0,43%; reflejando una mejora sustancial.

### Evaluación Financiera

La evaluación financiera tiene como finalidad determinar el impacto económico que tiene la propuesta realizada sobre los ingresos de Industrias Metálicas Vilema; de tal manera que se presentará un balance de resultados del año 2015, sobre el cual se realizará una proyección, estimando los ingresos que tendrá la empresa, debido a su nueva capacidad de producción.

#### Valor Actual Neto (VAN)

Tasa descuento	13,15%
<b>Años</b>	<b>Flujos</b>
Inversión	11.869,26
Año 1	32.189,42
Año 2	33.277,42
Año 3	34.402,19
Año 4	35.564,99
Año 5	36.767,08
<b>VAN</b>	<b>116.286,80</b>

Tabla 9 . VAN

#### Tasa Interna de Retorno (TIR)

<b>Años</b>	<b>Flujos</b>
Inversión	-11.869,26
Año 1	32.189,42
Año 2	33.277,42
Año 3	34.402,19
Año 4	35.564,99
Año 5	36.767,08
<b>TIR</b>	<b>272,98%</b>

Tabla 10. TIR

Tras la aplicación de la fórmula correspondiente y mediante la información tomada del estado de flujo efectivo, se obtuvo una TIR de 272,98%, que es la tasa que hace que el VAN sea cero, además si se compara este valor con la TMAR 13,15%, se ve que es mayor, cumpliendo con esta condición.

### Resumen de resultados

DESCRIPCIÓN	SITUACIÓN INICIAL	SITUACIÓN METODO MEJORADO
TIEMPO TOTAL PROCESO	4,91 (días)	3,39 (días)
UTILIDAD NETA	55.761,49 (USD)	87.950,90 (USD)
ÍNDICE DE VALOR AGREGADO	67,68%	82,56%
CAPACIDAD MÁXIMA	13 (Puertas al mes)	27 (Puertas al mes)
TROUGHPUT	234,11	2916,56

Tabla 11. Resumen de resultados

### Índices de Productividad

A continuación se calculó los índices de productividad para la situación inicial y para el modelo mejorado, de tal manera que se podrá realizar el análisis comparativo entre los dos estados.

		INICIAL		MEJORADO	
Productividad total=	INGRESOS	17.545,44	1,36	23.495,44	1,45
	EGRESOS	12.898,65		16.166,20	

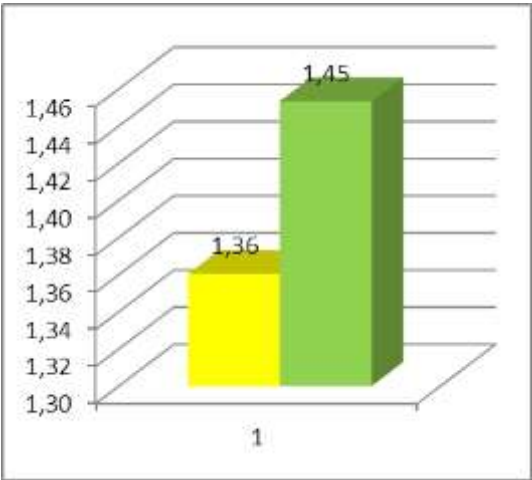


Figura 6. Productividad

#### 4. CONCLUSIONES

- Por medio de la aplicación de la teoría de restricciones, se detectaron 2 restricciones específicas que limitaban de gran manera al sistema productivo de IMEV, las restricciones radicaban en los procesos de pintura y formado de piezas.
- Con la finalidad de mejorar los tiempos de entrega al cliente y en general la productividad de la empresa, se explotaron las dos restricciones existentes, ello por medio de la implementación de un horno de secado que disminuye el tiempo de dicho proceso a una hora, y también con la implementación de una nueva varoladora con su respectivo operario, lo cual disminuye el tiempo de formado a casi la mitad del tiempo que se utilizaba inicialmente.
- Los resultados de la aplicación de las propuestas realizadas, incrementaron considerablemente la producción de IMEV, ello se refleja en una proyección de ingresos que tienen una TIR de 272,98% y un costo beneficio de 14,51.

#### 5.- DATOS DE LOS AUTORES

\* Ingeniera Industrial, labora en la Escuela de Ingeniería Industrial de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador.

\*\* Ingeniero Industrial, Magister en Docencia Universitaria e Investigación Educativa, Magister en Seguridad e Higiene Industrial y Ambiental. Labora en la Escuela de Ingeniería Industrial de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

#### 6. BIBLIOGRAFÍA

Berrío, D. (2008). *Costos para administrar empresas manufactureras, comerciales y de servicios*.

Barranquilla: Uninorte.

Dettmer, W. (1997). *Goldratts theory of contrains*. Milwaukee: ASQ.

Groover, M. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna*. México: Prentice Hall.

Hay, E. (2002). *Justo a tiempo*. Barcelona: Norma.

Heizer, J., & Barry, R. (2005). *Operations Management*. Florida: Prentice.

Horne, V., James, C., & Wachowicz, J. (2002). *Fundamentos de Administración Financiera*. México: Pearson Education.

- INEC. (2014). *Ecuador en cifras*. Recuperado el 02 de 11 de 2014, de Ecuador en cifras:  
<http://www.ecuadorencifras.gob.ec/directoriodeempresas/>
- Kofman, F. (2006). *Metamanagment*. Buenos Aires: Granica.
- Krajewski, Ritzman, & Malhotra. (2000). *Administración de operaciones*. Boston: Pearson.
- Lapore, D., & Cohen, O. (2002). *Deming Y Goldratt la Teoría de Restricciones Y El Sistema de Conocimiento Profundo. El Decálogo*. Barcelona: MacGraw .
- Meyers, F. (2000). *Estudio de tiempos y movimientos*. México: Pearson.
- Minati, M. (2012). *Tiempos y Métodos*. Milano: IPSOA.
- Ochoa, C., & Arana, P. (1997). *Gestión de la Producción*. España: Donostiarra.
- Santamaría, D. (2012). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CABINA-HORNO DE PINTURA CON UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE GLP PARA LA EMPRESA AUTOMOTORES SANTAMARIA*. Latacunga: ESPE.
- Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). *Plan Nacional Buen Vivir 2013-2017*. Quito: Senplades.
- Thrumman, J., & Louzinek, K. (1998). *Ingeniería de métodos, Mayor productividad y un mejor lugar de trabajo*. México: Alfaomega.