

# **Modelo de gestión en el proceso de montaje de las industrias de manufactura de calzado de cuero a través de la metodología de cambio rápido de herramientas (SMED)**

Autores: Ing. Mg. Darwin Santiago Aldás Salazar, Ing. Mg. John Paul Reyes Vásquez, Ing. Mg. Santiago Marcos Collantes Vaca, Ing. Willian Israel Vilema Endara

Institución: Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Contabilidad y Auditoría y Facultad de Sistemas Electrónica e Industrial

e-mail: darwinsaldas@uta.edu.ec; johnpreyes@uta.edu.ec; sm.collantes@uta.edu.ec; israv\_04@hotmail.com

## **RESUMEN:**

La presente investigación propone la optimización de un recurso fundamental como es el tiempo en las industrias de manufactura de calzado de cuero, el objetivo es obtener la disminución de tiempos de preparación o de cambio; para lo cual, se realiza la propuesta de aplicación de la metodología SMED del Lean Manufacturing. Los procesos industriales de calzado están compuestos por tres procesos que son el corte, armado y montaje en el que cada uno de ellos añade valor al producto. Este estudio se analiza el proceso de montaje porque es uno de los procesos en que el calzado requiere una mayor calidad y vigilancia para que el producto se adecue a los requerimientos del cliente; por tal motivo, se busca disminuir los tiempos de preparación en las operaciones con la metodología SMED. En la fase de diagnóstico se desarrolla el levantamiento de información de las líneas de producción de calzado casual, deportivo y de seguridad industrial de las cuales se determina el modelo más demandado por cada línea en base al análisis ABC. Además se desarrolla el estudio de métodos de trabajo y el estudio de tiempos con cronómetro para un trabajador a fin de establecer el tiempo tipo en el proceso de montaje; de igual manera, se determina los desperdicios existentes en las operaciones del montaje a nivel micro con los diagramas hombre – máquina y a un nivel macro con el Mapa de flujo de valor (VSM). Luego del desarrollo de la metodología SMED se obtiene una disminución de tiempo en el montaje del calzado casual de 0,41 min/par, en el deportivo de 0,49 min/par y en el de seguridad industrial de 0,53 min/par; además, a través de la evaluación de la eficiencia en las operaciones del montaje se halla un porcentaje mayor en la preparación de suelas que es de 12,99%.

**Palabras clave:** SMED, tiempo de preparación, Mapa de flujo de valor, montaje, calzado de cuero.

**Abstract:**

This research proposes the optimization of an essential resource such as time in the leather footwear manufacturing industries, in this case the search for shorter preparation or change times is sought; for which, the proposal of application of SMED methodology of Lean Manufacturing is realized. The industrial processes of footwear are composed of three processes that are cutting, trimming and assembly in which each of them adds value to the product. This study is performed in the assembly process because it is one of the processes where the footwear requires a higher quality and vigilance so that the product is adapted to the requirements of the client; for this reason, it is sought to reduce the preparation times in operations with the SMED methodology. In the diagnostic phase, the information about the production lines of casual, sports and industrial safety footwear is developed, which determines the most demanded model for each line based on the ABC analysis. In addition, the study of methods of work and the study of times with a stopwatch for a worker is developed in order to establish the standard time in the assembly process; In the same way, the existing wastes in the micro - level assembly operations are determined with the man - machine diagrams and at a macro level with the Value Stream Mapping (VSM). After the development of the SMED methodology, a decrease in the time of assembly of casual footwear of 0,41 min/pair, in the sport of 0,49 min/pair and in the industrial safety of 0,53 min/pair; in addition, through the evaluation of the efficiency in the operations of the assembly there is a greater percentage in the preparation of soles that is of 12,99%. In order to make the proposal feasible, it is managed through a manual of procedures for the preparation activities and the production process in order to optimize the time in production.

**Keywords:** SMED, preparation time, value stream mapping, assembly, leather shoes.

**1. INTRODUCCIÓN**

En un contexto de producción más limpia, las empresas deben tomar conciencia de los diferentes desperdicios que existen dentro de un proceso en especial el “tiempo”, a fin de disminuirlo y de esta manera mejorar la productividad y por lo tanto la competitividad.

Para reducir al máximo los desperdicios, muchas empresas en la actualidad optan por las herramientas del principio Lean Manufacturing que supone un enfoque de mejora continua para alcanzar una mayor productividad y éxito empresarial. [1].

Estos objetivos se logran cuando se habla de la manufactura ágil, que indica la implantación de los principios de la producción esbelta en una escala amplia, donde estos sistemas de fabricación lean deben tener la capacidad de lograr una producción de lotes pequeña y flexible para que puedan satisfacer las demandas del mercado que cambian rápidamente [2] [3]; sin un método para hacer estos cambios lo más rápido posible, el tiempo realmente disponible para la producción se reduciría mucho. Uno de los métodos existentes, utilizado para minimizar los tiempos de cambio entre modelos y para reducir el costo de configuración, es la metodología de cambio rápido de herramientas SMED, donde la idea básica es reducir el tiempo de preparación o de cambio [4]; además es fundamental para lograr la producción de just-in-time (JIT) y para abordar las cuestiones de calidad, flexibilidad y capacidad de respuesta [3].

Como se menciona anteriormente, el principio más importante del método Lean es la eliminación de desperdicios y la técnica SMED fue capaz de reducir los plazos de entrega que son efecto de una entrega más rápida y el coste de la mejora set-up son más bajos debido al menor tiempo empleado durante el cambio y menos residuos [5].

Una herramienta primordial para el desarrollo de esta metodología en su fase inicial es el estudio del trabajo, el cual permite determinar los tiempos estándar, capacidades de producción, etc. Los modelos de decisiones se utilizan como técnica y cuali-cuantitativa con la finalidad de establecer los puntos de falla, identificar los procesos y factores incidentes en la sección de montaje de calzado de manera porcentual [6].

Para realizar el SMED, se deben diferenciar las tareas o configuraciones requeridas durante la producción, o cuando hay paradas para realizar cambios. Estas son configuraciones internas o externas:

- Las configuraciones internas son configuraciones u operaciones realizadas cuando la máquina está parada, es decir, fuera del tiempo asignado para la producción
- Las configuraciones externas son configuraciones u operaciones realizadas cuando la máquina está en plena producción.

Al implementar este tipo de cambio, es importante transformar las configuraciones internas en configuraciones externas y así reducir el tiempo requerido para los cambios, en general, es una cuestión de diferenciar entre ambos tipos de ajustes, estudiarlas y encontrar cuellos de botella

[7], por último mejorar el proceso de cambio a través de diversas propuestas de solución donde se destaca la estandarización de las actividades.

Antes de implementar la metodología, se debe documentar el proceso de producción actual, para tener en cuenta todos los elementos del proceso. Por lo tanto, se debe considerar que los empleados se involucren y conozcan sus funciones dentro del proyecto de implementación, los medios y los recursos asignados [7].

Los resultados obtenidos a través de la metodología SMED en diversas industrias dan a entender que el porcentaje de eficiencia pueden ser favorables y en otras pueden obtenerse resultados no muy representativos; como ejemplo se toma una empresa productora en la cual el porcentaje de ahorro en el tiempo de configuración da un porcentaje aproximado del 38% [8].

Al hablar económicamente, es notorio que con la reducción de los tiempos de preparación en una empresa manufacturera permitió reducir el despilfarro en € 362.960, que representan alrededor del 2% del volumen de ventas, llegando a concluir que el SMED es una herramienta muy útil hacia el éxito empresarial [9].

Para que los resultados que se han obtenido con el desarrollo e implementación de SMED es necesario que exista la participación de toda la empresa de esencial para la consolidación de la política de producción. El compromiso de la dirección es esencial la búsqueda constante de la motivación del equipo [10].

Con la herramienta de manufactura esbelta Single Minute Exchange of Die (SMED), se ha podido determinar no solo mejoras en los tiempos, sino en métodos de trabajo, eficiencia de equipo y reducción de costos [11].

En la provincia de Tungurahua, la mayoría de medianas y grandes industrias de manufactura de calzado de cuero pertenecientes a la CALTU, evidencian una tendencia en términos de productividad que va en descenso, no sólo por el ingreso de producto internacional al mercado nacional o por el costo de materias primas, sino más bien por la manera como se produce.

Esto es notorio en una de las áreas más influyentes del proceso productivo que es el Montaje, donde se tiene como objetivo el premontar y montar el corte sobre la horma y plantilla, dejándolo bien centrado, ceñido y sin arrugas; en el cual, la reducida flexibilización que existe

en la producción, hace que aumenten los inventarios en proceso y en bodega; de igual manera, los tiempos de preparación para la variabilidad del producto se tornan altos y crean tiempos improductivos o muertos en la manufactura; por último, la inexistencia de una estandarización de procesos y de actividades de preparación origina que los trabajadores realicen movimientos innecesarios.

Todo esto conlleva a que en las empresas existan diversos desperdicios, los cuales repercutan en la productividad total debido a que están siendo eficaces pero no eficientes.

## 2. METODOLOGÍA

En esta sección se describen los criterios utilizados para la población y muestra, selección de los productos a estudio, los instrumentos y procedimientos empleados para la recolección de los datos.

### 2.1. Población y muestra

En el proyecto establecido se encontró que existe un total de 5000 productores de calzado a nivel nacional; donde aproximadamente 54 son empresas, entre medianas y grandes [12], que se dedican a la fabricación de calzado de cuero en la provincia de Tungurahua. Dado el tipo de estudio y la importancia de que las organizaciones a analizar cuenten con un proceso optimizado, organizado, estandarizado y con una producción constante, se procede a obtener una muestra enfocada en empresas medianas y grandes en función a la ecuación (1), en donde la desviación estándar ( $\sigma$ ) toma un valor de 0.1 en base a un análisis empírico, el nivel de confianza (Z) se establece con un valor del 88% que equivale a 1.56, y finalmente al error muestral se le asigna el valor de 9% equivalente a 0.09; obteniendo el siguiente resultado:

$$n = \frac{N\sigma^2 Z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2 Z^2} \quad (1)$$

$$n = \frac{(54)(0,1)^2(1,56)^2}{(54 - 1)0,09^2 + (0,1)^2(1,56)^2}$$

$$n = 2,896$$

$$\mathbf{n = 3}$$

A través del cálculo previo se establece que la muestra a considerar es de 3 industrias de manufactura de calzado de cuero entre medianas y grandes; donde se tomara una línea de producción por cada empresa para el estudio.

Es por ello las líneas seleccionadas para el estudio son:

- Calzado casual
- Calzado deportivo
- Calzado de seguridad industrial

## 2.2. Productos sujetos a estudio

La selección de los modelos o productos para el estudio se lo desarrolla en base al análisis ABC, para el cual se recabe información del inventario de ventas del año 2015 de las empresas participantes; donde se establece el modelo del calzado, la cantidad de producto vendido y el costo unitario de cada producto.

Los modelos seleccionados de cada línea de producción fueron elegidos en base al criterio 60 – 20 que se interpreta que el 60% de las ventas se dan por el 20% de productos vendidos. Luego de establecer el criterio se toma el producto estrella de cada una de ellas teniendo así que para el calzado casual el modelo seleccionado es el CS.H.00CA873; para el calzado deportivo es el DE.M.00SK568 y para el calzado de seguridad industrial es el modelo S-09.

## 2.3. Estudio del Trabajo

El estudio del trabajo se realiza en base a un enfoque cuali-cuantitativo para el proceso de montaje en la producción de calzado de cuero.

### Estudio de métodos de trabajo

El estudio de métodos de trabajo se realiza en base a los modelos seleccionados donde se aplica herramientas como el cursograma analítico o conocido también como de ensamble para determinar las principales operaciones e inspecciones del proceso; de igual manera se opta por aplicar el cursograma analítico donde se realiza un desglose de todas las actividades que conforman el montaje de calzado.

### Medición del trabajo

**Se elige el estudio de tiempos con cronómetro como la técnica para la medición del contenido del trabajo, con la finalidad de establecer el tiempo tipo o estándar que requiere un trabajador calificado para terminar una unidad en el proceso de montaje, una vez establecido concesiones de tiempo o suplementos. Los pasos realizados para la medición del trabajo es:**

- Descomponer en elementos las operaciones que conforman el montaje, para lo cual se toma como consideración que deben ser mayor a cuatro centésimas de minuto (0,04 min)
- **Muestreo para el estudio de tiempos, donde se aplica la ecuación estadística (2) para el cálculo de número de observaciones; a continuación se presenta un ejemplo para el cálculo.**

$$n = \left( \frac{40 \sqrt{n' \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right)^2 \quad (2)$$

- **Cronometraje de la operación, para lo cual se opta por el cronometraje con vuelta a cero y se lo anota en una hoja de trabajo.**

- Valoración del trabajador a través de los criterios de la Tabla Británica a fin de que este porcentaje sirva como un valor de corrección al tiempo observado y de esta manera se halla el tiempo normal o básico de la operación.
- Cálculo del tiempo normal o básico.
- Dónde: T.O es el tiempo observado; I.D es el índice de desempeño o la valoración del trabajador; en la Tabla 1 se presenta la hoja de trabajo con el respectivo tiempo normal calculado a través de la ecuación (3).

$$T.N. = T.O * I.D \tag{3}$$

$$T.N. = 0,103 * 100\%$$

$$T.N. = 0,103$$

Tabla 1. Hoja de trabajo para la preparación de suelas del calzado casual

HOJA DE TRABAJO											Estudio #: 001 - CCH			
											Hoja #: 01			
Proceso: Montaje						Realizado por: Israel Vilema								
Operación: Preparación de suelas						Revisado por: Ing. Santiago Aldás								
Elemento	CICLOS (min)										Total	Prom	V	T.N.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
A	0,56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,56	0,006	100%	0,006
B	0,11	0,10	0,10	0,11	0,09	0,12	0,09	0,10	0,11	0,10	1,03	0,103	100%	0,103
C	0,12	0,12	0,11	0,13	0,11	0,12	0,14	0,12	0,12	0,11	1,20	0,120	100%	0,120
D	0,22	0,23	0,22	0,23	0,22	0,23	0,20	0,22	0,21	0,20	2,18	0,218	100%	0,218
E	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,32	0,003	100%	0,003
											Tiempo Normal de operación:			0,45
											T.A.M (A+B+C+D+E)			0,45
											T.C.M (-)			0,00
Nota: Prom.=Promedio -- V=Valoración del trabajador -- T.N=Tiempo normal -- T.A.M=Tiempo manual -- T.C.M=Tiempo condicionado de máquina														

- Cálculo de suplementos por descanso; se lo realiza de forma elemental; es decir se calcula un porcentaje de tiempo adicional para cada elemento que compone la operación.
- Cálculo del tiempo estándar, se lo halla a través de la ecuación (4), los resultados obtenidos se lo muestra en la Tabla 2.

$$T.S. = \text{Tiempo Normal} * (1 + \text{Suplementos}) \tag{4}$$

$$T.S. = 0,103 * (1 + 16\%)$$

$$T.S. = 0,119$$

Tabla 2. Cálculo del tiempo estándar para la preparación de suelas del calzado casual

<b>CÁLCULO DE TIEMPO ESTÁNDAR</b>			Estudio #: 001 - CCH Hoja #: 01
<b>OPERACIÓN:</b> Preparación de suelas			
Elemento	Tiempo Normal	Suplementos	Tiempo estándar
A	0,006	12%	0,006
B	0,103	16%	0,119
C	0,120	16%	0,140
D	0,218	12%	0,244
E	0,003	12%	0,004
<b>Tiempo estándar de operación (min/zapato)</b>			<b>0,51</b>
<b>Tiempo estándar de operación (min/par)</b>			<b>1,02</b>
<b>1 minuto, 1 segundo</b>			

#### 2.4. Determinación de desperdicios

El montaje de calzado al ser un proceso en donde la mayoría de sus operaciones se desarrollan con máquina, se emplea el diagrama hombre – máquina a fin de obtener el tiempo improductivo o de ocio que se genera en un ciclo de trabajo para producir un zapato.

Con el desarrollo del mapa de flujo de valor (VSM) se detecta los desperdicios de tiempo de preparación en las operaciones del montaje, el mismo que se desarrolla a partir del estudio de tiempos realizado para las diferentes líneas, además se obtiene información como: tiempos de preparación, número de trabajadores y número de lote, así también la información de la planificación de manufactura y los inventarios en proceso.

#### 2.5. Metodología SMED

La metodología SMED consta de tres fases elementales para su desarrollo en la preparación de maquinaria, donde la primera trata de identificar las operaciones internas y externas en el proceso de preparación de maquinaria; donde las operaciones internas son aquellas que se desarrollan con la máquina parada mientras que las operaciones externas son aquellas actividades que se pueden realizar con la máquina en marcha. La segunda fase del SMED plantea que se debe convertir las actividades internas en externas y la tercera y última fase es la de mejorar tanto las operaciones internas como externas.

Pero en el montaje al no requerir la calibración o acople de troqueles o moldes para cada cambio de modelo, no se realiza las dos fases que plantea la metodología SMED ya que la mayoría de preparaciones es de manera manual; es por ello que se procede a aplicar la tercera etapa que es la mejora de las actividades, donde se plantea mejoras para cada una de las operaciones donde se hallaron preparaciones; para que esta metodología sea factible se crea un manual de

procedimientos, el cual consta de la manera adecuada de producir así como el proceso de preparación.

En la Tabla 3 se presenta el desglose de actividades previas a la preparación de suelas y la propuesta de mejora, donde las actividades tachadas son aquellas que se mejoran; en este caso se eliminan todas las actividades debido a que una persona auxiliar realizará todas las preparaciones de pegantes en este proceso y de esta manera generar mayor tiempo productivo en esta operación.

Para las actividades de preparación de los otros modelos se realiza el mismo análisis, pero en cada uno de ellos proponiendo diferentes mejoras.

Tabla 3. Desglose de actividades previas a la preparación de suelas en el calzado casual

TIEMPOS DE PREPARACIÓN							
Operación: Preparación de suelas							
Tarea	Nº	Actividades de preparación	Tipo	Nº de operarios	Dist (m)	Tiempo (seg)	Tiempo (min)
Pedido de suelas	1	Revisar orden de producción	□	1	-	20,1	0,34
	2	Desplazarse hasta la bodega de materiales	➡		40,33	36,42	0,61
	3	Entregar orden de producción al personal de la bodega	○		-	14,1	0,24
	4	Esperar hasta que le entreguen las suelas	⌋		-	116,32	1,94
	5	Verificar el pedido	□		-	34,4	0,57
	6	Desplazarse hasta zona de preparación	➡		40,33	36,42	0,61
Preparación de halogenante	7	Desplazarse hasta mesa de materiales	➡		1,00	6,50	0,11
	8	Abrir la tapa del frasco de halogenante	○		-	4,62	0,08
	9	Llenar el frasco	○		-	30,66	0,51
	10	Ajustar la tapa del frasco y dejar en la mesa	○		-	4,62	0,08
	11	Desplazarse hasta mesa de trabajo	➡		1,00	6,5	0,11
Preparación de primer	12	Desplazarse hasta mesa de materiales	➡		1,00	6,54	0,11
	13	Abrir la tapa del frasco de primer	○		1,00	4,26	0,07
	14	Llenar el frasco	○		-	28,64	0,48
	15	Ajustar la tapa del frasco y dejar en la mesa	○		-	4,16	0,07
	16	Desplazarse hasta mesa de trabajo	➡		1,00	6,54	0,11
Preparación de PU	17	Desplazarse hasta los depósitos de pegamento blanco	➡		32,65	46,42	0,77
	18	Quitar tapa del galón de pegamento	○		-	12,92	0,22
	19	Llenar frasco con pegamento	○		-	45,12	0,75
	20	Colecar tapa en el depósito	○		-	11,44	0,19
	21	Desplazarse al área de preparación de suelas	➡		32,65	46,42	0,77
<b>TIEMPO TOTAL:</b>					0,00	0,00	0,00

### 3. RESULTADOS

En esta etapa se presenta el resultado obtenido con cada una de las etapas de la investigación.

a) El resumen del estudio de tiempos de las tres líneas de producción se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Resumen del estudio de tiempos de las tres líneas de producción en estudio

MONTAJE DE CALZADO TRADICIONAL							
ACTIVIDADES		CASUAL PARA HOMBRE		DEPORTIVO PARA MUJER		SEGURIDAD PARA HOMBRE	
		T.N. (min/par)	T.S. (min/par)	T.N. (min/par)	T.S. (min/par)	T.N. (min/par)	T.S. (min/par)
1	Preparación de suelas	0,90	1,02	1,10	1,28	2,44	2,72
2	Preparación de hormas	0,80	0,90	0,92	1,04	0,54	0,60
3	Preparación de corte	0,58	0,66	0,56	0,64	2,66	3,06
4	Conformado de talón	1,26	1,40	1,28	1,42	1,26	1,40
5	Reformado de puntas	1,12	1,24	1,12	1,26	-	-
6	Colocar pega en laterales	0,66	0,74	0,78	0,90	-	-
7	Armado de puntas	1,40	1,56	1,42	1,58	3,14	3,48
8	Armado de laterales y talón	1,44	1,58	1,46	1,62	0,92	1,04
9	Rayado de corte	1,28	1,44	1,20	1,34	1,24	1,30
10	Cardado	1,28	1,42	1,60	1,78	1,30	1,44
11	Aplicar pegamento	1,30	1,46	1,38	1,56	2,20	2,52
12	Reactivado	0,52	0,52	0,52	0,52	0,57	0,63
13	Prensado	1,02	1,14	1,06	1,20	1,76	1,98
14	Enfriado	0,50	0,50	0,50	0,50	0,63	0,63
15	Deshormado	1,32	1,52	1,34	1,56	0,40	0,44
16	Acabados	2,68	3,14	3,18	3,74	2,88	3,36

Nota: T.N. = Tiempo Normal -- T.S. = Tiempo Estándar

b) Seguidamente se calcula la capacidad de producción para cada una de las líneas a través de la ecuación (5)

$$Capacidad\ de\ producción\ \left(\frac{par}{día}\right) = \frac{1}{T.S} * T.D.P \quad (5)$$

Donde:

T.S = Tiempo estándar y T.D.P = Tiempo disponible de producción

En la Tabla 5 se presenta el cálculo de la capacidad de producción.

Tabla 5. Cálculo de la capacidad de producción de las líneas de calzado en estudio

MONTAJE DE CALZADO TRADICIONAL							
ACTIVIDADES		CASUAL PARA HOMBRE		DEPORTIVO PARA MUJER		SEGURIDAD PARA HOMBRE	
		T.S. (min/par)	Cp (par/día)	T.S. (min/par)	Cp (par/día)	T.S. (min/par)	Cp (par/día)
1	Preparación de suelas	1,02	471	1,28	375	2,72	176
2	Preparación de hormas	0,90	533	1,04	462	0,60	800
3	Preparación de corte	0,66	727	0,64	750	3,06	157
4	Conformado de talón	1,40	343	1,42	338	1,40	343
5	Reformado de puntas	1,24	387	1,26	381	-	-
6	Colocar pega en laterales	0,74	649	0,90	533	-	-
7	Armado de puntas	1,56	308	1,58	304	3,48	138
8	Armado de laterales y talón	1,58	304	1,62	296	1,04	462
9	Rayado de corte	1,44	333	1,34	358	1,30	369
10	Cardado	1,42	338	1,78	270	1,44	333
11	Aplicar pegamento	1,46	329	1,56	308	2,52	190
12	Reactivado	0,52	923	0,52	923	0,63	762
13	Prensado	1,14	421	1,20	400	1,98	242
14	Enfriado	0,50	960	0,50	960	0,63	762
15	Deshormado	1,52	316	1,56	308	0,44	1091
16	Acabados	3,14	153	3,74	128	3,36	143

Nota: T.N. = T.S. = Tiempo Estándar -- Cp = Capacidad de producción

c) Los resultados obtenidos a través del diagrama hombre-máquina se los observa desde la Tabla 6 a la Tabla 8 donde se especifica el tiempo de ocio o improductivo que existe en cada modelo, esto debido a que el operario debe trabajar con diversas máquinas al realizar su operación en el proceso de montaje de calzado.

Tabla 6. Determinación de desperdicios en el calzado casual

CALZADO CASUAL									
Operación	Tiempo de ciclo (min)	Tiempo trabajo operario (min)	% improductivo operario	Tiempo trabajo M1 (min)	% improductivo M1	Tiempo trabajo M2 (min)	% improductivo M2	Tiempo trabajo M3 (min)	% improductivo M3
Reformado de puntas	0,56	0,56	0,00%	0,24	57%	0,34	39%	-	-
Armado de puntas	0,70	0,70	0,00%	0,62	11%	0,24	66%	-	-
Armado de laterales y talón	0,72	0,72	0,00%	0,62	14%	0,20	72%	0,12	83%

M1: máquina 1, M2: máquina 2, M3: máquina 3

Tabla 7. Determinación de desperdicios en el calzado deportivo

CALZADO DEPORTIVO									
Operación	Tiempo de ciclo (min)	Tiempo trabajo operario (min)	% improductivo operario	Tiempo trabajo M1 (min)	% improductivo M1	Tiempo trabajo M2 (min)	% improductivo M2	Tiempo trabajo M3 (min)	% improductivo M3
Reformado de puntas	0,56	0,56	0,00%	0,26	54%	0,34	39%	-	-
Armado de puntas	0,71	0,71	0,00%	0,59	17%	0,42	41%	-	-
Armado de laterales y talón	0,73	0,73	0,00%	0,67	8%	0,20	73%	0,12	84%

M1: máquina 1, M2: máquina 2, M3: máquina 3

Tabla 8. Determinación de desperdicios en el calzado de seguridad industrial

CALZADO SEGURIDAD INDUSTRIAL							
Operación	Tiempo de ciclo (min)	Tiempo trabajo operario (min)	% improductivo operario	Tiempo trabajo M1 (min)	% improductivo M1	Tiempo trabajo M2 (min)	% improductivo M2
Armado de puntas	1,57	1,57	0,00%	0,39	75%	0,46	71%
Armado de laterales y talón	0,92	0,92	0,00%	0,22	76%	0,12	87%

M1: máquina 1, M2: máquina 2

d) Con el mapa de flujo de valor desarrollado se observa que existen desperdicios de tiempo en la preparación de cada una de las actividades del montaje; es por ello que se propone la aplicación de la metodología SMED para disminuir estos tiempos.

e) Antes de la aplicación de la metodología SMED se realiza un análisis de los tiempos de preparación en los tiempos de ciclo hallados dependiendo del tamaño de lote que se produzca; en la Tabla 12 se muestra la variación de tiempo en las líneas de producción. El lote de producción con el que se trabajo es de 50 pares para el calzado casual, 40 pares para el calzado deportivo y 30 pares para el de seguridad industrial.

Los tiempos totales de las operaciones se las obtiene a raíz de la ecuación (6).

$$\mathbf{Tiem\ po\ total\ de\ operaci\ on} = \left( \frac{T.de\ preparaci\ on}{Tama\ no\ del\ lote} + T.ciclo \right) \quad (6)$$

$$\mathbf{Tiem\ po\ total\ de\ operaci\ on} = \left( \frac{8,63\ min}{50\ pares} + 1,02 \frac{min}{par} \right)$$

$$\mathbf{Tiem\ po\ total\ de\ operaci\ on} = 1,19 \frac{min}{par}$$

Tabla 9. Tiempo total de operación

Operación	Casual			Deportivo			Seguridad Industrial		
	Tiempo de preparación (min)	Ciclo de operación (min/par)	Tiempo total de operación (min/par)	Tiempo de preparación (min)	Ciclo de operación (min/par)	Tiempo total de operación (min/par)	Tiempo de preparación (min)	Ciclo de operación (min/par)	Tiempo total de operación (min/par)
Preparación de suelas	8,63	1,02	1,19	7,95	1,28	1,48	5,33	2,72	2,90
Preparación de hormas	1,33	0,90	0,93	0,90	1,04	1,06	1,88	0,60	0,66
Preparación de cortes	0,00	0,66	0,66	0,00	0,64	0,64	1,77	3,06	3,12
Conformado de talones	2,06	1,40	1,44	2,05	1,42	1,47	0,00	1,40	1,40
Reformado de puntas	0,72	1,24	1,25	0,72	1,26	1,28	-	-	-
Aplicación de pega en laterales	2,12	0,74	0,78	2,11	0,90	0,95	-	-	-
Armado de puntas	0,00	1,56	1,56	0,00	1,58	1,58	3,10	3,48	3,58
Armado de laterales y talón	0,00	1,58	1,58	0,00	1,62	1,62	0,00	1,04	1,04
Rayado	1,45	1,44	1,47	1,43	1,34	1,38	0,00	1,30	1,30
Cardado	0,00	1,42	1,42	0,00	1,78	1,78	0,00	1,44	1,44
Aplicación de pegamento	4,03	1,46	1,54	4,03	1,56	1,66	2,83	2,52	2,61
Reactivado	0,00	0,52	0,52	0,00	0,52	0,52	0,00	0,63	0,63
Prensado	0,00	1,14	1,14	0,00	1,20	1,20	0,00	1,98	1,98
Enfriado	0,00	0,50	0,50	0,00	0,50	0,50	0,00	0,63	0,63
Deshormado	0,00	1,52	1,52	0,00	1,56	1,56	0,00	0,44	0,44
Acabados	3,28	3,14	3,21	3,28	3,74	3,82	3,31	3,36	3,47

Luego del análisis de la influencia del tiempo de preparación en los tiempos de ciclo, se calcula la variación de la capacidad de producción en cada línea, ver Tabla 10 para el calzado casual y en la Tabla 11 la variación de las otras dos líneas, para el cálculo de la variación se lo realiza mediante la ecuación (7).

$$\Delta Cp = (Cp1' - Cp1)$$

$$\Delta Cp = (402 - 471) \frac{\text{par}}{\text{día}} \tag{7}$$

$$\Delta Cp = -68 \frac{\text{par}}{\text{día}}$$

Donde  $\Delta Cp$  es la variación de la capacidad,  $Cp1'$  es la capacidad de producción calculada con el tiempo de preparación y  $Cp1$  es la capacidad de producción calculada con el tiempo de ciclo de la operación; el signo (-) representa la disminución en la producción a causa de la intervención los tiempos de preparación.

Tabla 10. Variación de la capacidad de producción en el calzado casual

Operación	Tiempo total de operación (min/par)	Cp1 (Par/día)	Cp1' (Par/día)	ΔCp (Par/día)
Preparación de suelas	1,22	471	402	68
Preparación de hormas	0,94	529	518	11
Preparación de cortes	0,66	727	727	0
Conformado de talones	1,44	340	333	7
Reformado de puntas	1,25	383	383	0
Aplicación de pega en laterales	0,77	633	613	20
Armado de puntas	1,56	308	308	0
Armado de laterales y talón	1,58	304	304	0
Rayado	1,46	333	327	7
Cardado	1,42	338	338	0
Aplicación de pegamento	1,54	329	312	17
Reactivado	0,52	923	923	0
Prensado	1,14	421	421	0
Enfriado	0,50	960	960	0
Deshormado	1,52	316	316	0
Acabados	3,18	153	150	3

Cp1: Capacidad de producción sin tiempo de preparación – Cp1': Capacidad de producción con tiempo de preparación – ΔCp: Variación de la capacidad de producción.

Tabla 11. Variación de la capacidad de producción

Operación	Deportivo	Seguridad Industrial
	Δ Cp (Par/día)	Δ Cp (Par/día)
Preparación de suelas	50	11
Preparación de hormas	6	63
Preparación de cortes	0	2
Conformado de talones	8	0
Reformado de puntas	0	-
Aplicación de pega en laterales	17	-
Armado de puntas	0	3
Armado de laterales y talón	0	0
Rayado	9	0
Cardado	0	0
Aplicación de pegamento	19	7
Reactivado	0	0
Prensado	0	0
Enfriado	0	0
Deshormado	0	0
Acabados	2	3

ΔCp: Variación de la capacidad de producción

f) Luego de la aplicación de la metodología SMED se obtiene las siguientes mejoras en las operaciones del montaje, el tiempo reducido se lo expresa para un par de zapatos. En la Tabla 12 se muestra esta reducción de tiempo.

Para hallar este tiempo de reducción que se alcanza en las operaciones del montaje se emplea la ecuación (8); a continuación se presenta el ejemplo de tiempo reducido en la preparación de suelas.

$$\text{Tiempo reducido} = \text{Tiempo actual} - \text{Tiempo propuesto} \quad (8)$$

$$\text{Tiempo reducido} = (1,19 - 1,02) \text{min/par}$$

$$\text{Tiempo reducido} = 0,17 \text{ min/par}$$

Tabla 12. Reducción de tiempo a través de la metodología SMED

Operación	Casual			Deportivo			Seguridad Industrial		
	Tiempo actual (min/par)	Tiempo propuesto (min/par)	Tiempo reducido (min/par)	Tiempo actual (min/par)	Tiempo propuesto (min/par)	Tiempo reducido (min/par)	Tiempo actual (min/par)	Tiempo propuesto (min/par)	Tiempo reducido (min/par)
Preparación de suelas	1,19	1,02	0,17	1,48	1,28	0,20	2,90	2,72	0,18
Preparación de hormas	0,93	0,91	0,02	1,06	1,05	0,01	0,66	0,61	0,05
Preparación de cortes	0,66	0,66	0,00	0,64	0,64	0,00	3,12	3,08	0,03
Conformado de talones	1,44	1,41	0,03	1,47	1,43	0,04	1,40	1,40	0,00
Reformado de puntas	1,25	1,25	0,00	1,28	1,28	0,00	-	-	-
Aplicación de pega en laterales	0,78	0,76	0,02	0,95	0,92	0,03	-	-	-
Armado de puntas	1,56	1,56	0,00	1,58	1,58	0,00	3,58	3,50	0,09
Armado de laterales y talón	1,58	1,58	0,00	1,62	1,62	0,00	1,04	1,04	0,00
Rayado	1,47	1,44	0,03	1,38	1,34	0,04	1,30	1,30	0,00
Cardado	1,42	1,42	0,00	1,78	1,78	0,00	1,44	1,44	0,00
Aplicación de pegamento	1,54	1,46	0,08	1,66	1,56	0,10	2,61	2,52	0,09
Reactivado	0,52	0,52	0,00	0,52	0,52	0,00	0,63	0,63	0,00
Prensado	1,14	1,14	0,00	1,20	1,20	0,00	1,98	1,98	0,00
Enfriado	0,50	0,50	0,00	0,50	0,50	0,00	0,63	0,63	0,00
Deshormado	1,52	1,52	0,00	1,56	1,56	0,00	0,44	0,44	0,00
Acabados	3,21	3,15	0,06	3,82	3,75	0,07	3,47	3,39	0,08
<b>Total:</b>			0,41	<b>Total:</b>		0,49	<b>Total:</b>		0,53

g) Una vez culminado con la aplicación de la metodología SMED para reducir los tiempos de preparación en el proceso de montaje, se calcula la eficiencia obtenida a través de la ecuación (9), donde se muestra un ejemplo de la eficiencia obtenida en la preparación de suelas.

$$Eficiencia = \frac{Producción\ propuesta}{Producción\ real} * 100\%$$

$$Eficiencia = \frac{471\ pares/día}{402\ pares/día} * 100\%$$

$$Eficiencia = 116,92\%$$

La eficiencia que se obtiene en la preparación de suelas del calzado casual es de 116,92%, donde al restar del porcentaje total, se alcanza una eficiencia neta de 16,92%. En la Tabla 13 se presenta el porcentaje de eficiencia obtenido con la metodología SMED en las tres líneas de producción.

Tabla 13. Eficiencia obtenida en las líneas de producción del calzado casual

Operación	Casual		Deportivo		Seguridad Industrial		Prom.
	Variación (par/día)	% Eficiencia	Variación (par/día)	% Eficiencia	Variación (par/día)	% Eficiencia	
Preparación de suelas	69	16,92%	50	15,53%	11	6,53%	12,99%
Preparación de hormas	11	2,09%	6	1,24%	63	8,75%	4,03%
Preparación de cortes	0	0,00%	0	0,00%	2	1,11%	0,37%
Conformado de talones	7	2,12%	8	2,54%	0	0,00%	1,56%
Reformado de puntas	0	0,00%	0	0,00%	-	-	0,00%
Aplicación de pega en laterales	20	3,25%	17	3,28%	-	-	3,26%
Armado de puntas	0	0,00%	0	0,00%	3	2,50%	0,83%
Armado de laterales y talón	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
Rayado	7	2,01%	9	2,67%	0	0,00%	1,56%
Cardado	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
Aplicación de pegamento	17	5,52%	19	6,46%	7	3,74%	5,24%
Reactivado	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
Prensado	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
Enfriado	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
Deshormado	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
Acabados	3	1,86%	2	1,95%	3	2,31%	2,04%

h) Luego de reducir los tiempos y evaluar la eficiencia obtenida en el montaje; se gestiona a través de la creación de procedimientos para las preparaciones y para el proceso de producción con las propuestas de solución planteadas.

#### 4. DISCUSIÓN

Con la investigación se logra disminuir los tiempos de preparación en las operaciones que conforman el proceso de montaje a través de la propuesta de aplicación de la metodología SMED donde se realiza la estandarización de tareas de preparación a fin de permitir la flexibilización de las líneas de producción en la manufactura de calzado de cuero.

Al analizar los resultados obtenidos de este trabajo con la de otras investigaciones donde se desarrolla la metodología SMED, permite evidenciar que existen porcentajes de reducción de tiempos de preparación bajos; esto se debe principalmente a que las otras investigaciones se enfocaron en la preparación netamente de máquinas; mientras que en el montaje de calzado se redujo los tiempos en las actividades de preparación que se realizan de forma manual, esto al no requerir la preparación de maquinaria para cada cambio de producción.

## **5. CONCLUSIONES**

- El levantamiento de información de las tres líneas de producción en el proceso de montaje, se lo realiza de los modelos más comercializados a través de formatos previamente diseñados, los mismos que se obtienen en base al análisis ABC en el cual se determina los modelo CS.H.00CA873 para el calzado casual; DE.M.00SK568 para el calzado deportivo y S-09 para el calzado de seguridad industrial, de este último se desarrolla además el levantamiento de información para el montaje a inyección.

- Para el estudio de métodos de trabajo actual en el proceso de montaje se hace uso de los cursogramas sinóptico y analítico, donde a través del diagrama sinóptico se halla que para el calzado casual se realizan 43 operaciones principales, para el calzado deportivo 45 operaciones y para el calzado de seguridad industrial 42 operaciones; mientras que en el montaje de inyección para el calzado de seguridad existen 20 operaciones.

- Con la medición del trabajo a través del estudio de tiempos con cronómetro para un solo trabajador se llegó a determinar el tiempo estándar de cada una de las operaciones del proceso de montaje de las tres líneas de producción, luego de esto se obtiene la capacidad de producción de cada una de las líneas, además se halla que el cuello de botella en el calzado casual es la operación de acabados ya que posee un tiempo de ciclo de 3,14 min/par y su capacidad queda restringida a 153 pares/día; en el calzado deportivo la operación que restringe la producción es el acabado con un tiempo de 3,74 min/par y una capacidad de 128 pares/día; mientras que para el calzado de seguridad industrial la operación que restringe es el armado de puntas con un tiempo de 3,48 min/par y una capacidad de 138 pares/día, de igual manera para el montaje de inyección de este modelo, la restricción es el armado de puntas con un tiempo de 3,62 min/par con una capacidad de 133 pares/día.

- Para la determinación de desperdicios en el proceso de montaje de las tres líneas de producción se lo hace a través del diagrama hombre – máquina donde se llega a determinar que

existen tiempos improductivos que son imputables a la maquinaria debido a que no están trabajando a toda su capacidad, este estudio se realiza sólo en aquellas operaciones en la cual el trabajador manipula varias máquinas que son el reformado de puntas, armado de puntas y armado de laterales y talón. Por otro lado, con la ayuda del mapa de flujo de valor (VSM) se observa de manera macro el proceso productivo del montaje, su secuencia de operaciones y los desperdicios de tiempo de preparación en las operaciones del montaje.

- La influencia que tiene el tiempo de preparación o de cambio en el tiempo de ciclo estándar de la operación, aumenta en cada par que se realice, estos tiempos pueden variar dependiendo del tamaño de lote que se fabrique, de las distancias, del número de trabajadores que desarrollen las actividades de cambio y del tiempo que tome realizar los mismos; por otro lado, al estar relacionada la capacidad de producción con el tiempo estándar se ve afectada de igual modo ya que el tiempo es inversamente proporcional a la capacidad, a través del análisis se detecta que en aquellas operaciones donde se incrementa el tiempo de ciclo a causa de los tiempos de preparación existe un decrecimiento en la producción.

- Con la propuesta de aplicación de la metodología SMED en las operaciones del montaje de las tres líneas de producción se obtiene una reducción de tiempo en el calzado casual de 0,41 min/par; en el calzado deportivo de 0,49 min/par y en el calzado de seguridad de 0,53 min/par; estos tiempos se lo alcanza mediante la realización de las actividades de preparación por un trabajador auxiliar.

- La evaluación de la eficiencia en las operaciones del montaje es mayor en la preparación de suelas que es de 12,99%, esto debido a la propuesta de mejora planteada para esta operación.

## REFERENCIAS

- [1] E. A. Roqueme Salazar y L. Suarez Ballesteros, «Implementacion de la Metodologia Lean para el mejoramiento del proceso comercial de la pyme tres60 logistica,» Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá DC, 2015.
- [2] S. Kalpakjian y S. Schmid, *Manufactura, ingeniería y tecnología*, México: Pearson Education, 2008, pp. 37-38.
- [3] M. Cakmakci, «Process improvement: performance analysis of the setup time reduction-SMED in the automobile industry,» *The International Journal of Advanced Manufacturing*

*Technology*, vol. XLI, nº 1-2, pp. 168-179, 2009.

- [4] B. Kordoghli y A. Moussa, «Effect of wastes on changeover time in garment industry,» *International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization (ICMSAO)*, vol. V, pp. 1-3, 2013.
- [5] C. A. Mohd Norzaimi y S. S. Mohd Sollahuddin, «The Effectiveness of the Single Minute Exchange of Die (SMED) Technique for the Productivity Improvement,» *Applied mechanics and materials*, vol. V, nº 1, pp. 1144-1148, 2014.
- [6] J. P. Reyes Vasquez, D. S. Aldas Salazar, M. G. García Carrillo y L. A. Morales Perrazo, «Evaluación de la capacidad para montaje en la industria manufacturera de calzado,» *Ingeniería Industrial*, vol. XXXVII, nº 1, pp. 14-23, 2015.
- [7] J. Lozano, J. Saenz-Diéz, E. Martínez , E. Jiménez y J. Blanco, «Methodology to improve machine changeover performance on food industry based on SMED,» *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. VI, pp. 1-12, 2016.
- [8] D. Stadnicka, «Setup Analysis: Combining SMED with Other Tools,» *De Gruyter Open*, vol. XI, nº 1, pp. 36-50, 2015.
- [9] A. Carrizo Moreira y G. C. Silva Pais, «Single Minute Exchange of Die. A Case Study Implementation,» *Journal of Technology Management & Innovation*, vol. VI, nº 1, pp. 129-146, 2011.
- [10] S. Vieira Conceição, I. Araújo Rodrigues, A. Amaral Azevedo, J. Flavio Almeida, F. Ferreira y A. Moraes, «Desenvolvimento e implementação de uma metodologia para troca rápida de ferramentas em ambientes de manufatura contratada,» *Gestão & Produção*, vol. XI, nº 3, pp. 357-369, 2009.
- [11] P. A. Peñaherrera Wilches, «Aplicación de la Herramienta Single Minute Exchange Of Die (SMED) en el proceso de extrusión de la planta de preparación de la Empresa Continental Tire Andina S.A.,» Universidad de Cuenca, Cuenca, 2013.
- [12] L. Montero, Interviewee, *Ingeniero*. [Entrevista]. 01 Marzo 2016.