

# Implementación de la metodología Lean Sigma en un proceso de ensamble de engranes y cadenas: Caso de estudio

## *Lean Sigma approach methodology applied in a gear & chains assembly process: Study case*

Omar Celis Gracia<sup>1</sup>✉, Juan Alfonso Toscano Moctezuma<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias Sociales y Administración | Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

### RESUMEN

La metodología orientada a solución de problemas propuesta en este artículo de investigación tiene como objetivo actuar a la velocidad de Lean brindando resultados en al menos cuatro semanas. Las cinco fases de esta metodología son: identificar y medir el problema; encontrar las posibles causas que están generándolo; desarrollar una solución empleando herramientas de Lean o de Seis Sigma; una vez implementada la solución, verificarla con una corrida de comprobación y, finalmente, desarrollar un plan de control para asegurar que el estado alcanzado se mantenga en el mediano y largo plazos. Para comprobar la efectividad de la metodología Lean Sigma, se presenta un caso de aplicación en un proceso que no cumple con los requerimientos de entrega a tiempo. Por medio de herramientas Lean, como rebalanceo de la línea, *takt time* y *just in time*, se logró incrementar el porcentaje de entregas a tiempo de un 66 % a un 100 % y, a su vez, la productividad aumentó de 1.8 a 2.5 piezas/min\*hombre y el *lead time* disminuyó de 26.07 a 17 segundos, equivalente a una mejora del 35 %. El problema fue resuelto en 24 días y la capacidad del proceso fue de un 2.6 a 3.4 sigma.

**PALABRAS CLAVE:** Lean Sigma; solución de problemas; balanceo de líneas; Lean; *takt time*.

### ABSTRACT

The problem-solving-oriented methodology proposed in this research article aims to act at the speed of Lean, providing results in at least four weeks. The five phases of this methodology are: identify and measure the problem; find the possible causes that are generating it; develop a solution using Lean or Six Sigma tools; once the solution has been implemented, verify it with a check run and, finally, develop a control plan to ensure that the state achieved is maintained in the medium and long term. To verify the effectiveness of the Lean Sigma methodology, an application case is presented in a process that does not meet the requirements of delivery on time. Through Lean tools, such as rebalancing of the line, *takt time* and *just in time*, it was possible to increase the percentage of deliveries on time from 66% to 100% and, in turn, productivity increased from 1.8 to 2.5 pieces./min\*man and the lead time decreased from 26.07 to 17 seconds, equivalent to a 35% improvement. The problem was solved in 24 days and the process capability was 2.6 to 3.4 sigma.

**KEYWORDS:** Lean Sigma; problem solution; line balancing; Lean; *takt time*.

#### Correspondencia:

**DESTINATARIO:** Omar Celis Gracia

**INSTITUCIÓN:** Universidad Autónoma de Ciudad Juárez,  
Instituto de Ciencias Sociales y Administración

**DIRECCIÓN:** Av. Universidad y Heroico Colegio Militar s/n  
C. P. 32300, Ciudad Juárez, Chihuahua, México

**CORREO ELECTRÓNICO:** al198993@alumnos.uacj.mx

**Fecha de recepción:** 22 de febrero de 2022. **Fecha de aceptación:** 17 de octubre de 2022. **Fecha de publicación:** 28 de octubre de 2022.



## I. INTRODUCCIÓN

### LEAN

La metodología de mejora continua Lean busca reducir y eliminar los ocho desperdicios y a su vez trabajar con base en la demanda a través del *takt time* y el *pull system*, herramientas que permiten reducir las actividades que no agregan valor, obteniendo procesos capaces de adaptarse a los cambios en la demanda [1]. El objetivo de Lean se enfoca primordialmente en identificar, reducir y/o eliminar los desperdicios, los cuales generalmente están clasificados como *Muda*, *Mura* y *Mudi* [2].

Dentro de *Muda* se tienen aquellos que se conocen como los 8 desperdicios: defectos, sobreproceso, inventarios, esperas, movimientos, transportes, sobreproducción y el talento humano. Por otro lado, *Mura* son todos aquellos cambios en la planeación de producción y, por último, *Muri* es considerada como todos los malos diseños de manufactura que principalmente no cumplen con cuestiones ergonómicas, repercutiendo en el desempeño de los trabajadores [3].

La metodología Lean brinda resultados de una forma rápida que se ven reflejados principalmente en la productividad y, a fin de lograrlo, hace uso de diversas herramientas para eliminar desperdicios, en las cuales se encuentran *value stream map*, *takt time*, trabajo estandarizado y el análisis de *lead time* [4].

### SEIS SIGMA

Seis Sigma es una metodología cuyo enfoque de mejoramiento está centrado en la reducción de la variación en los procesos de producción y servicios. El objetivo es lograr como máximo 3.4 defectos o errores por cada millón de oportunidades. Los resultados son a largo plazo, visualizados a través de ahorros anualizados [5].

Esta estrategia de trabajo se caracteriza por seguir una metodología bien estructurada, tal y como se muestra en la Figura 1, realizando un análisis profundo y a detalle y con el fin de tomar decisiones, donde por último se establece un plan de control concreto para asegurar el control de calidad del proceso [6].

Esta metodología de mejoramiento continuo utiliza el enfoque de Lean, en conjunto con el de Seis Sigma, buscando un propósito en común: mejorar la calidad a

través de la reducción de la variación y eliminación de los desperdicios [7].

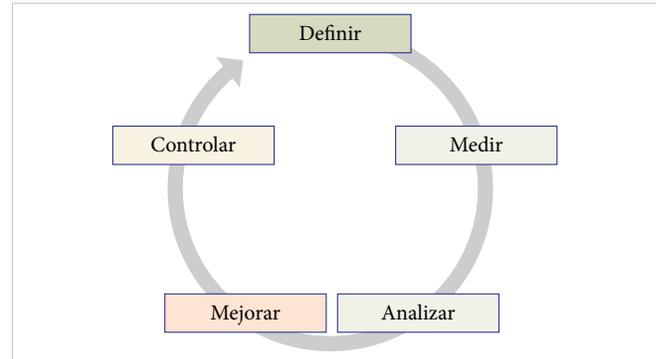


Figura 1. Metodología DMAIC. Adaptada de [6].

### LEAN SEIS SIGMA

Lean Seis Sigma utiliza el ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), en el que se hace uso de herramientas de Lean tales como manufactura celular, Just in Time (JIT), Kanban y Heijunka, entre otros, como mecanismos de mejora reducir desperdicios y, en consecuencia, mejorar la calidad de los procesos [8], [9].

### LEAN-SIGMA

La metodología Lean-Sigma comprende principios básicos de la solución de problemas a corto plazo en lugar de ahorros anualizados para la compañía y se enfoca en el principio de Lean “Just Do It”, el cual implica reaccionar de inmediato ante cualquier obstáculo en el flujo continuo de la producción. Esta metodología tiene como propósito solucionar problemas en el menor tiempo posible, combinando las herramientas de manufactura esbelta y el análisis estadístico de Seis Sigma. Lean-Sigma es una metodología orientada al corto plazo en la solución de problemas, a diferencia de Lean y Seis Sigma cuyo enfoque es a mediano y largo plazo orientadas a proyectos de ahorros [10], [11].

Además de ofrecer resultados en el corto plazo, Lean-Sigma ha sido utilizada en diferentes procesos, desde el de *rump up* hasta el de fin de vida de producto, y también permite mantener y mejorar la calidad y productividad de los procesos de producción durante las diversas etapas del producto [12].

Las empresas en la actualidad requieren soluciones rápidas y efectivas. Por medio de la metodología Lean-Sigma se puede lograr incrementar el nivel sigma del

proceso desde 1.1 hasta un valor de 5.5 sigmas en un periodo de tres días [12], [13].

La metodología de Lean-Sigma consta de cinco pasos, como se aprecia en la Figura 2.



Figura 2. Metodología Lean-Sigma adaptada de [10].

### CASO DE ESTUDIO

Esta aplicación se llevó a cabo en una línea en donde se producen engranes y cadenas, en una empresa ubicada en Ciudad Juárez, Chihuahua, México, del 4 de octubre al 17 de diciembre de 2021. Antes de la presente investigación, se estuvieron presentando cambios en la demanda. Al principio, se hacían embarques semanales y luego el cliente pidió tres diarios, lo cual originó problemas de cumplimiento en tiempo y forma. Además, otra dificultad fue que se agregaron tres nuevos modelos, teniendo un total de cuatro. La planta cuenta con cuatro estaciones de trabajo, un área de inspección, dos materialistas y un área de embarque.

### DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La cantidad de partes entregadas al cliente ha sido insuficiente, resultando en entregas con retardo y paros continuos en las líneas de producción. En los últimos cuatro meses de 2021, la meta de 90 % de entregas a tiempo (On-Time Delivery [OTD]) no se ha cumplido. Adicionalmente, una tendencia en el métrico OTD se ha observado desde el 94 % en agosto hasta llegar al 66 % en diciembre. Antes de la presente investigación, no se cumplía con los tres embarques diarios requeridos por el cliente, lo que originaba un alto número de quejas.

## II. METODOLOGÍA

La metodología propuesta (Lean-Sigma, adaptada de [10]) consta de cinco fases que se enlistan a continuación y para cada una se mencionan las herramientas utilizadas.

1. Identificar y medir el problema. Herramientas: prueba *one-sample t*, productividad, nivel Sigma, *lead time*.

2. Análisis y causa raíz. Herramientas: lluvia de ideas, técnica de los 5 porqués.
3. Desarrollar una solución. Herramientas: balanceo de líneas, *takt time*, JIT.
4. Verificar la solución. Herramienta: corrida de comprobación.
5. Plan de control. Herramienta: estandarización.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### IDENTIFICAR Y MEDIR EL PROBLEMA

Como parte del primer paso de la metodología, se llevó a cabo un muestreo del proceso al inicio de la presente investigación (los datos se registran en la Tabla 1).

A través de los datos obtenidos en este paso, se obtuvo lo siguiente:

- Con 130 piezas defectuosas de un total de producción de 1130, usando la Ecuación (1) se obtuvo  $DPPM = 115\,044$ . Mediante tablas, se identificó un nivel sigma inicial de 2.6 [14].

$$DPPM = \frac{\text{total defectos}}{\text{total producidas}} * 10^6 \quad (1)$$

donde  $DPPM$  es piezas defectuosas por millón (del inglés Defect Parts Per Million).

- La productividad en promedio fue de 1.8 piezas/min\*hombre.
- El *lead time* promedio fue de 26.07 segundos.
- La eficiencia del cumplimiento de embarques fue de 2 de 3.
- La producción promedio por turno fue de 38 piezas.

Este primer paso permite ver qué tan grande ha sido el problema, puesto que solo el 66 % de los embarques llegaba a tiempo al cliente y además el nivel sigma del proceso estaba muy bajo. Al finalizar la aplicación de la metodología Lean Sigma, se espera una disminución considerable en cuanto al *lead time* y un aumento en la productividad, el nivel sigma y el cumplimiento de embarques.

### ANÁLISIS Y CAUSA RAÍZ

Una vez analizada la información, como segundo paso se llevó a cabo una sesión de lluvia de ideas con el objetivo de determinar cuáles causas potenciales están originando el incumplimiento en las entregas a tiempo. Con la finalidad de hacer más efectiva la reunión,

TABLA 1  
DATOS EN CONDICIONES INICIALES. SEMANA 1, DE UN TOTAL DE 5 SEMANAS

TURNOS	EMBARQUE	PRODUCCIÓN POR EMBARQUE	PRODUCCIÓN	LEAD TIME	PRODUCTIVIDAD	NIVEL SIGMA	CUMPLIMIENTO
1	1	25	38	29.98	1.88	2.90	66 %
	2	10			2.40	2.30	
	3	3			1.18	6.00	
2	1	12	35	27.21	1.69	2.90	66 %
	2	20			1.89	3.10	
	3	3			1.32	6.00	
3	1	15	36	23.09	1.76	3.00	66 %
	2	21			1.98	2.80	
	3	0			0.00	N/A	
4	1	15	35	26.97	1.66	3.00	66 %
	2	17			1.89	2.70	
	3	3			1.50	1.90	
5	1	19	35	25.09	1.71	2.50	66 %
	2	16			1.92	2.40	
	3	0				N/A	

se involucraron jugadores clave del área de producción: supervisor producción, operadores, ingenieros de manufactura y de calidad. Durante la sesión se consideró una lista considerable de ideas y una vez aplicada la técnica de grupo nominal se acortó la lista y, finalmente, la técnica de 5 porqués permitió determinar los principales factores: un aparente desbalanceo de las cargas de trabajo, desgaste de fixturas y la falta de *poka-yokes* para evitar problemas de calidad. Posteriormente, se realizaron corridas bajo control con las principales causas, con el propósito de ver cuál tiene mayor impacto en la solución. Para este propósito, se utilizó el *lead time* como variable de respuesta y se hizo uso de pruebas estadísticas 2-sample-t, las cuales se muestran a continuación.

TABLA 3  
PRUEBA 2T PARA LEAD TIME INICIAL VS. POKA-YOKES

Two-Sample T-Test and CI: Lead Time Inicial, Lead Time Pokayokes				
Two-sample T for Lead Time Inicial vs Lead Time Pokayokes				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Lead Time Inicial	25	26.07	1.89	0.38
Lead Time Pokayokes	25	23.873	0.920	0.18
Difference = $\mu$ (Lead Time Inicial) - $\mu$ (Lead Time Pokayokes)				
Estimate for difference: 2.201				
95% lower bound for difference: 1.490				
T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 5.24				
P-Value = 0.000 DF = 34				

TABLA 2  
PRUEBA 2T PARA LEAD TIME INICIAL VS. BALANCEO

Two-Sample T-Test and CI: Lead Time Inicial, Lead Time Balanceo				
Two-sample T for Lead Time Inicial vs Lead Time Balanceo				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Lead Time Inicial	25	26.07	1.89	0.38
Lead Time Balanceo	25	20.73	1.02	0.20
Difference = $\mu$ (Lead Time Inicial) - $\mu$ (Lead Time Balanceo)				
Estimate for difference: 5.342				
95% lower bound for difference: 4.616				
T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 12.43				
P-Value = 0.000 DF = 36				

TABLA 4  
PRUEBA 2T PARA LEAD TIME INICIAL VS. FIXTURAS

Two-Sample T-Test and CI: Lead Time Inicial, Lead Time Fixturas				
Two-sample T for Lead Time Inicial vs Lead Time Fixturas				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Lead Time Inicial	25	26.07	1.89	0.38
Lead Time Fixturas	25	25.64	1.39	0.28
Difference = $\mu$ (Lead Time Inicial) - $\mu$ (Lead Time Fixturas)				
Estimate for difference: 0.433				
95% lower bound for difference: -0.355				
T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 0.92				
P-Value = 0.180 DF = 44				

Como se puede apreciar en la **Tabla 2**, la causa con un balanceo diferente proporciona el mayor efecto, brindando una diferencia de 5.34 segundos en el *lead time*, el cual permite como consecuencia cumplir con el programa de producción. Las otras dos causas se descartan debido a que los efectos que brindan están muy por debajo de lo que ofrece el balanceo de la operación.

Con base en la información obtenida en el paso anterior se llevó a cabo, como parte de la solución, un rebalanceo de la línea de producción.

### BALANCEO DE LÍNEAS

Como primer paso en búsqueda de la solución se realizó un estudio de tiempo debido a que la causa raíz tiene que ver con el desbalance que se presentó en las estaciones de la línea de producción. Inicialmente se tenían cuatro estaciones. En la **Tabla 2** se muestran los tiempos de cada una de las estaciones. En total se tomaron 30 mediciones de tiempo en cada una de las estaciones. Con el propósito de asegurar que la diferencia entre los datos observados y esperados sea mínima, se procedió a realizar una prueba de normalidad con un nivel de significancia del 5 %. Se probó la hipótesis nula, la cual afirma que los datos son normales, contra la hipótesis alterna, que establece que no son normales. De acuerdo con la **Figura 3**, se obtuvo un valor p de 0.203, el cual es mayor al nivel de significancia, por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los datos son normales.

Tabla 5 ESTUDIO DE TIEMPOS (CON 15 DE 30 DATOS)

LECTURA	ESTACIÓN				SUMA
	10	20	30	40	
1	8.02	7.43	5.60	3.77	24.82
2	6.50	6.18	4.54	5.20	22.42
3	6.60	8.85	4.49	4.10	24.05
4	6.81	8.86	4.93	4.58	25.17
5	6.33	7.79	4.70	3.57	22.39
6	8.03	6.68	4.50	4.14	23.35
7	8.14	7.14	4.82	4.16	24.26
8	6.62	7.25	4.85	4.66	23.38
9	7.92	6.74	4.19	4.01	22.85
10	6.92	7.34	4.33	4.67	23.26
11	6.97	8.37	4.92	3.73	23.99
12	7.15	9.57	4.71	4.64	26.07
13	7.57	9.64	5.55	4.16	26.92
14	9.42	7.64	5.62	4.70	27.38
15	9.54	7.67	4.87	4.96	27.04
Promedio	7.50	7.81	4.84	4.34	24.49

Con base en los tiempos obtenidos, se puede apreciar que las estaciones 10 y 20 están por arriba de 7 segundos y las 30 y 40 por debajo de los 5 segundos.

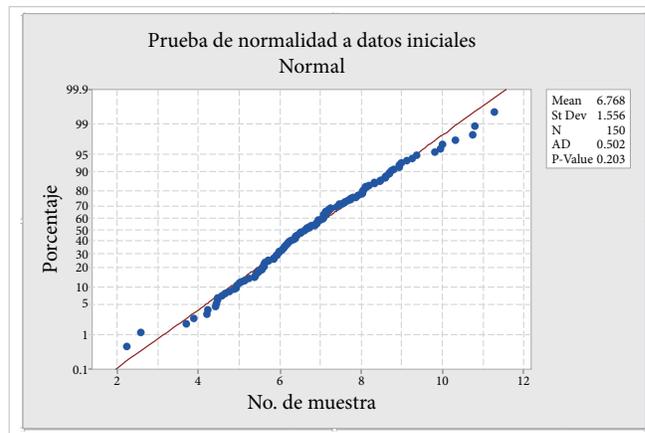


Figura 3. Prueba de normalidad para validar datos de primer muestreo.

Con la Ecuación (2) se calculó el *takt time*, el cual dio un valor de 6 segundos. En la **Figura 4** se muestran los tiempos por estación (barras) y el *takt time* (línea roja), donde se puede apreciar que los tiempos de la estación 10 y 20 están muy por encima del *takt time*, lo que contribuye al incumplimiento de los embarques. Por tanto, es necesario descomponer las estaciones y realizar un rebalanceo para que las operaciones queden por debajo del *takt time* y con la misma carga de trabajo.

$$takt\ time = \frac{tiempo\ disponible}{demanda} \tag{2}$$

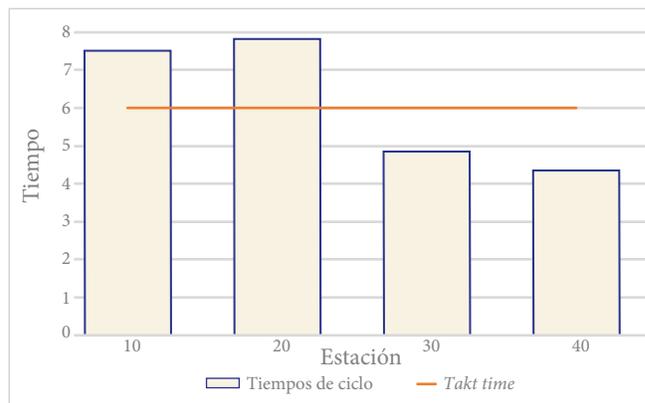


Figura 4. Tiempos de ciclo por estación vs. *takt time*.

A continuación, se calculó el número de estaciones y de operadores que necesita la estación con las Ecuaciones (3) y (4), respectivamente.

$$\text{núm. de estaciones} = \frac{\text{tiempo estándar} * \text{demanda}}{\text{tiempo disponible}} \quad (3)$$

$$\text{núm. de operadores} = \frac{\text{tiempo estándar}}{\text{takt time}} \quad (4)$$

TABLA 6

OBTENCIÓN DE NÚMERO DE OPERADORES Y DE ESTACIONES

	TIEMPO	UNIDADES
Tiempo básico	30.17	Segundos
Tiempo estándar	34.69	Segundos
Tiempo disponible	300	Segundos
Takt time	6	s/piezas
Núm. de estaciones	5.78	Cantidad
Núm. de operadores	5.78	Cantidad

Con base en los cálculos previos, se observó que son necesarios seis operadores y seis estaciones, sin embargo, el agregar trabajadores y estaciones no es una solución factible y se procedió a analizar los tiempos de cada estación por componente para balancear los tiempos.

En la *Tabla 4* se presentan las estaciones con la cantidad de componentes que se ensamblan en cada una. Se puede apreciar que la estación 10 y 20 ensamblan 5 componentes, mientras que la estación 30 y 40 ensambla únicamente 2, por lo que se requiere distribuir los componentes entre estaciones para tener flujo continuo.

TABLA 7

OBTENCIÓN DE NÚMERO DE OPERADORES Y DE ESTACIONES

CÓDIGO DEL COMPONENTE*	ESTACIÓN											
	10		20		30				40			
			A	B	C	D	A	B	C	D		
CB8*	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CB4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CB2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CR1	0	0	0	0	0	0	1	0	2	2		
CR2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1		
CA1	0	0	1	0	2	2	0	0	0	0		
CA2	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0		
Total	5	5	2				2					

\*En las tablas de la 7 a la 15, son códigos de la empresa que identifican a cada componente para armas las cadenas.

En las Tablas 5-8 se muestra un análisis de las operaciones por estación con su respectivo tiempo, lo cual permite ver cuáles son los componentes con los mayores tiempos de ensamble.

TABLA 8

DESGLASE DE LA ESTACIÓN 10 POR COMPONENTE

NÚM.	OPERACIÓN	TIEMPO
1	Ensamblar CB4 en CB8	1.66
2	Ensamblar CB2 en CB8	2.03
3	Ensamblar CB8 en CB2 y CB4	1.75
4	Ensamblar CB8 en CB4 (superior)	2.07
Tiempo promedio		7.51

TABLA 9

DESGLASE DE LA ESTACIÓN 20 POR COMPONENTE

NÚM.	OPERACIÓN	TIEMPO
1	Ensamblar CB4 en CB8	2.01
2	Ensamblar CB2 en CB8	1.93
3	Ensamblar CB8 en CB2 y CB4	1.83
4	Ensamblar CB8 en CB4 (inferior)	2.01
Tiempo promedio		7.78

TABLA 10

DESGLASE DE LA ESTACIÓN 30 POR COMPONENTE

MODELO	NÚM.	OPERACIÓN	TIEMPO	TIEMPO TOTAL
A	1	Unir Sub1 con Sub2	1.82	2.81
	2	Ensamblar Ca2	0.99	
B	1	Unir Sub1 con Sub2	1.82	3.55
	3	Ensamblar Ca1	1.73	
C	1	Unir Sub1 con Sub2	1.82	4.67
	2	Ensamblar Cr1	1.12	
	3	Ensamblar Ca1	1.73	
D	1	Unir Sub1 con Sub2	1.82	5.66
	2	Ensamblar Ca2	0.99	
	3	Ensamblar Cr1	1.12	
	4	Ensamblar Ca1	1.73	
Tiempo promedio				4.17

TABLA 11

DESGLASE DE LA ESTACIÓN 40 POR COMPONENTE

MODELO	NÚM.	OPERACIÓN	TIEMPO	TIEMPO TOTAL
A	1	Unir Sub1 con Sub2	0.99	0.99
B	1	Unir Sub1 con Sub2	1.12	1.12
C	1	Unir Sub1 con Sub2	1.12	2.85
	2	Ensamblar Cr1	1.73	
D	1	Unir Sub1 con Sub2	0.99	3.84
	2	Ensamblar Ca2	1.12	
	3	Ensamblar Cr1	1.73	
Tiempo promedio				3.76

Con base en el análisis de operaciones por estación, se decidió trabajar con cuatro estaciones y cuatro opera-

dores, realizando únicamente cambios en las operaciones por estación para balancear los tiempos. Se quitó una operación a cada una de las estaciones 10 y 20 y se reasignaron a las estaciones 30 y 40, obteniendo los siguientes resultados mostrados en las Tablas 9-12.

TABLA 12

DESGLASE DE LA ESTACIÓN 10 POR COMPONENTE BALANCEADO

NÚM.	OPERACIÓN	TIEMPO
1	Ensamblar CB4 en CB8	1.66
2	Ensamblar CB2 en CB8	2.03
3	Ensamblar CB8 en CB2 y CB4	1.75
Tiempo promedio		5.44

TABLA 13

DESGLASE DE LA ESTACIÓN 20 POR COMPONENTE BALANCEADO

NÚM.	OPERACIÓN	TIEMPO
1	Ensamblar CB4 en CB8	2.01
2	Ensamblar CB2 en CB8	1.93
3	Ensamblar CB8 en CB2 y CB4	1.83
Tiempo promedio		5.77

TABLA 14

DESGLASE DE LA ESTACIÓN 30 POR COMPONENTE BALANCEADO

MODELO	NÚM.	OPERACIÓN	TIEMPO	TIEMPO TOTAL
A	1	Unir Sub1 y Sub2 con CB8	2.99	3.98
	2	Ensamblar Ca2	0.99	
B	1	Unir Sub1 y Sub2 con CB8	2.99	4.72
	3	Ensamblar Ca1	1.73	
C	1	Unir Sub1 y Sub2 con CB8	2.99	5.84
	2	Ensamblar Cr1	1.12	
	3	Ensamblar Ca1	1.73	
D	1	Unir Sub1 y Sub2 con CB8	2.99	6.83
	2	Ensamblar Ca2	0.99	
	3	Ensamblar Cr1	1.12	
	4	Ensamblar Ca1	1.73	
Tiempo promedio				5.34

TABLA 15

DESGLASE DE LA ESTACIÓN 40 POR COMPONENTE BALANCEADO

MODELO	NÚM.	OPERACIÓN	TIEMPO	TIEMPO TOTAL
A	1	Unir Sub1 y Sub2 con CB8	2.99	3.98
	2	Ensamblar Ca2	0.99	
B	1	Unir Sub1 y Sub2 con CB8	2.99	4.72
	3	Ensamblar Ca1	1.73	
C	1	Unir Sub1 y Sub2 con CB8	2.99	5.84
	2	Ensamblar Cr1	1.12	
	3	Ensamblar Ca1	1.73	

TABLA 15 (CONT.)

DESGLASE DE LA ESTACIÓN 40 POR COMPONENTE BALANCEADO

MODELO	NÚM.	OPERACIÓN	TIEMPO	TIEMPO TOTAL
D	1	Unir Sub1 y Sub2 con CB8	2.99	6.83
	2	Ensamblar Ca2	0.99	
	3	Ensamblar Cr1	1.12	
	4	Ensamblar Ca1	1.73	
Tiempo promedio				5.34

Con la información obtenida, se llevó a cabo un análisis de las operaciones y se decidió trabajar con cuatro estaciones y cuatro operadores. Además, se hicieron los cambios siguientes en la producción:

1. La producción deja de ser en lotes. Ahora se produce conforme la siguiente estación lo demande (*pull system*).
1. La estación anterior únicamente produce una vez que la estación sucesora así se lo demande.
2. Solamente se produce la cantidad requerida por día. Está prohibido producir de más.

El reacomodo de las estaciones y el flujo de producción quedó como se muestra en la Figura 5.

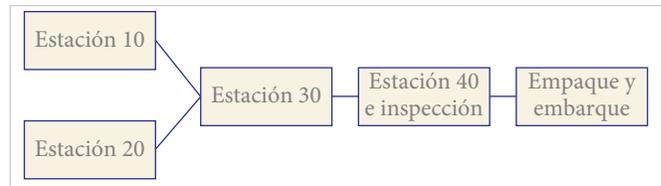


Figura 5. Nueva distribución de estaciones con base en el balanceo de líneas.

En la Figura 6 se muestran graficados los tiempos de cada una de las cuatro estaciones y el *takt time*, donde se tiene que ellas están por debajo del *takt time*, además de que los tiempos son muy similares en cada una de las estaciones.

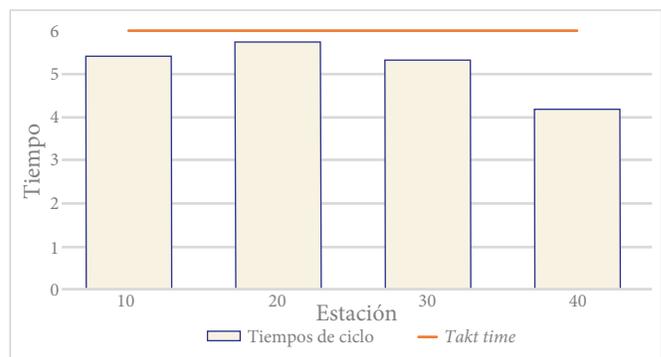


Figura 6. Tiempos de ciclo por estación balanceados vs. *takt time*.

VERIFICAR LA SOLUCIÓN

Para verificar que la solución propuesta resuelve el problema, se procedió a recolectar datos durante 5 se-

manas, en las que se evaluaron las variables analizadas en este caso de estudio: *lead time*, *productividad*, *nivel Sigma* y *eficiencia de cumplimiento*. En la [Tabla 16](#) se muestran los datos de la semana 1.

TABLA 16  
CORRIDA DE COMPROBACIÓN PARA VERIFICAR LA SOLUCIÓN (SEMANA 1)

TURNOS	EMBARQUE	PRODUCCIÓN POR EMBARQUE	PRODUCCIÓN	LEAD TIME	PRODUCTIVIDAD	NIVEL SIGMA	EFICIENCIA DE CUMPLIMIENTO
1	1	25	50	19.49	2.49	3.30	100 %
	2	10			2.70	6.00	
	3	15			2.40	3.00	
2	1	12	50	12.71	2.27	2.90	100 %
	2	20			2.66	3.10	
	3	18			2.50	6.00	
3	1	15	50	11.52	2.33	3.00	100 %
	2	21			2.55	6.00	
	3	14			2.63	6.00	
4	1	15	50	17.42	2.31	3.00	100 %
	2	17			2.63	6.00	
	3	18			2.56	6.00	
5	1	19	50	12.30	2.60	6.00	100 %
	2	16			2.57	6.00	
	3	15			2.32	6.00	

Con base en la corrida de comprobación, se obtuvo que los tres embarques diarios se cumplen, así como un incremento en productividad y una disminución significativa en el *lead time*, por lo que se concluye que la solución propuesta resuelve el problema.

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas 2T para la productividad y el *lead time* que permiten analizar estadísticamente, comparando el antes contra el después. En las [Tablas 14](#) y [15](#) se puede apreciar que para ambas pruebas se rechaza la hipótesis nula en favor de la alternativa, por lo que se puede concluir que el *lead time* es menor con la metodología propuesta. Por otra parte, la productividad es mayor al aplicar Lean Sigma.

PLAN DE CONTROL

Como último paso de la metodología, se llevó a cabo una reunión con el equipo para explicar los cambios en cada una de las estaciones.

El proceso se estandarizó y se actualizaron las ayudas visuales y las instrucciones de trabajo, actividades en las cuales participó y cooperó personal del área de producción.

TABLA 17  
PRUEBA 2T PARA LEAD TIME ANTES VS. DESPUÉS

**Two-Sample T-Test and CI: Lead time Antes, Lead time Después**

Two-sample T for Lead time Antes vs Lead time Después

	N	Mean	StDev	SE Mean
Lead time Antes	25	26.07	1.89	0.38
Lead time Después	25	17.09	3.24	0.65

Difference =  $\mu$  (Lead time Antes) -  $\mu$  (Lead time Después)  
 Estimate for difference: 8.982  
 95% lower bound for difference: 7.722  
 T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 11.96  
 P-Value = 0.000 DF = 48  
 Both use Pooled StDev = 2.6547

TABLA 18  
PRUEBA 2T PARA PRODUCTIVIDAD ANTES VS. DESPUÉS

**Two-Sample T-Test and CI: Productividad Antes, Productividad Después**

Two-sample T for Productividad Antes vs Productividad Después

	N	Mean	StDev	SE Mean
Productividad Antes	75	1.868	0.765	0.088
Productividad Después	75	2.503	0.185	0.021

Difference =  $\mu$  (Productividad Antes) -  $\mu$  (Productividad Después)  
 Estimate for difference: -0.6353  
 95% upper bound for difference: -0.4849  
 T-Test of difference = 0 (vs <): T-Value = -6.99  
 P-Value = 0.000 DF = 148  
 Both use Pooled StDev = 0.5567

## IV. CONCLUSIONES

Con la información obtenida en el primer paso de la metodología, se observa que el proceso tenía un bajo desempeño, equivalente a un nivel sigma de 2.6, y en cuanto a la productividad, se tenía inicialmente 9.54 piezas/turno\*hombre y un *lead time* alto de 26.07 segundos.

Al aplicar la metodología Lean Sigma orientada a la solución de problemas, además de resolver el problema de incumplimiento de embarques requeridos por el cliente, se obtuvieron las siguientes mejoras en el desempeño del proceso:

- Reducción en las piezas defectuosas: 33 de 1250. Con la Ecuación (1) se obtuvo  $DPPM = 26\ 400$ . Mediante tablas, se identificó un nivel sigma de 3.4, lo que implica una mejora de 2.6 a 3.4 sigma (incremento del 30 %).
- Incremento en la productividad de 1.8 a 2.5 piezas/min\*hombre (28 %).
- Disminución en el *lead time* de 26.07 a 17 segundos (35 %).
- Solución del problema en 24 días (3.5 semanas).

## REFERENCIAS

- [1] C. Perera y D. M. A. Kulasoorya, "Lean manufacturing: A case study of a Sri Lankan manufacturing organization", *SAJM*, vol. 18, no. 1, pp. 149-158, 2011.
- [2] M. M. Ravikumar, K. Marimuthu y D. Chandramohan, "Implementation of lean manufacturing in automotive manufacturing plant [TEL]", *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 4, no. 10, pp. 2041-2050, 2009.
- [3] R. Shaha y P. T. Ward, "Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance", *J. Oper. Manag.*, vol. 21, no. 2, pp. 129-149, 2003, doi: [10.1016/S0272-6963\(02\)00108-0](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00108-0).
- [4] J. G. Arrieta, V. E. Botero, y M. J. Romano, "Benchmarking sobre manufactura esbelta (lean manufacturing) en el sector de la confección en la ciudad de Medellín, Colombia", *J. Econ. Finance Adm. Sci.*, vol. 15, no. 28, pp. 141-171, 2010.
- [5] C. Hardeman y P. Goethals, "A case study: applying Lean Six Sigma concepts to design a more efficient airfoil extrusion shimming process", *Int. J. Six Sigma Competitive Advant.*, vol. 6, no. 3, pp. 174-150, 2011, doi: [10.1504/IJSSCA.2011.039717](https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2011.039717).
- [6] E. Drohomerski, S. E., Gouvea da Costa, E. Pinheiro de Lima y P. A. da Rosa Garbui, "Lean, Six Sigma and Lean Six Sigma: an analysis based on operations strategy", *Int. J. Prod. Res.*, vol. 52, no. 3, pp. 804-824, 2014, doi: [10.1080/00207543.2013.842015](https://doi.org/10.1080/00207543.2013.842015).
- [7] K. L. Lee y C. C. Wei, "Reducing mold changing time by implementing lean six sigma", *Qual. Reliab. Eng. Int.*, vol. 26, no. 4, pp. 387-395, 2010, doi: [10.1002/qre.1069](https://doi.org/10.1002/qre.1069).
- [8] J. E. Brady y T. T. Allen, "Six Sigma Literature: A Review and Agenda for Future Research", *Qual. Reliab. Eng. Int.*, vol. 22, no. 3, pp. 335-367, 2006, doi: [10.1002/qre.769](https://doi.org/10.1002/qre.769).
- [9] I. Abdullah, Ghani J. A., M. N. Ab Rahman, B. M. Deros y C. H. Che Haron, "Application of Lean Six Sigma Tools for Cycle Time Reduction in Manufacturing: Case Study in Biopharmaceutical Industry", *Arab J Sci Eng*, vol. 39, no. 2, pp. 1449-1463, 2014, doi: [10.1007/s13369-013-0678-y](https://doi.org/10.1007/s13369-013-0678-y).
- [10] F. J. Estrada-Orantes y N. G. Alba-Baena, "Creating the Lean-Sigma Synergy", en *Lean Manufacturing in the Developing World*, J. L. García-Alcaraz, A. A. Maldonado-Macías y G. Cortes-Robles, eds. México: Springer, 2014, pp. 117-134, doi: [10.1007/978-3-319-04951-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-04951-9_6).
- [11] N. Alba-Baena, F. J. Estrada y O. O. S. Torres, "Using lean-sigma for the integration of two products during a ramp-up event", en *Sustainable Business: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications*, M. Khosrow-Pour, ed. Estados Unidos: IGI Global, 2020, cap. 43, pp. 954-976.
- [12] F. J. Estrada-Orantes, A. H. García-Pérez y N. G. Alba-Baena, "The E-Strategy for Lean-Sigma Solutions, Latin American Case Study in a New Product Validation Process", en *Best Practices in Manufacturing Processes*, J. L. García, L. Rivera, R. G. González-Ramírez, G. Lealy M. G. Chong, eds. Springer, 2018, pp. 297-322, doi: [10.1007/978-3-319-99190-0\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-99190-0_14).
- [13] N. G. Alba-Baena y A. Salcido-Delgado, "Adaptability of the Lean-Sigma Methodology for Operations in a Multicultural Workplace", en *Trends in Industrial*

*Engineering Applications to Manufacturing Process*, J. L. García-Alcaraz, A. Realyvázquez-Vargas y E. Z-Flores, eds. Springer, 2021, pp. 365-387.

<sup>[14]</sup> T. McCarty, L. Daniels, M. Bremer y P. Gupta, *The Six Sigma Black Belt Handbook (Six SIGMA Operational Methods)*. Nueva York: McGraw-Hill Education, 2005.