

**APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS LEAN MANUFACTURING E  
INDUSTRIA 4.0 PARA LA MEJORA EN EL PROCESO DE PRODUCCION DE  
LA EMPRESA CILINDROS UCC**

**JESÚS AUGUSTO ANDRADE DUSSÁN  
JOSE DAVID QUINTERO TORRES  
JUAN MANUEL LEAL PEREZ**

**UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA INGENIERÍA INDUSTRIAL  
NEIVA  
2019**

**APLICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS LEAN MANUFACTURING E  
INDUSTRIA 4.0 PARA LA MEJORA EN EL PROCESO DE PRODUCCION DE  
LA EMPRESA CILINDROS UCC**



**JESÚS AUGUSTO ANDRADE DUSSÁN  
JOSE DAVID QUINTERO TORRES  
JUAN MANUEL LEAL PEREZ**

**Informe Final de práctica social, empresarial y solidaria presentado como  
requisito para optar al título de INGENIERO INDUSTRIAL**

**Asesor  
Ing. CARLOS WILMER OVIEDO CÓRDOBA**

**UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA INGENIERÍA INDUSTRIAL  
NEIVA  
2019**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Neiva, Noviembre de 2019

## **DEDICATORIA**

A Dios todopoderoso, por darnos la oportunidad de vivir y por permitirnos llegar a este punto y así lograr nuestros objetivos.

A nuestros padres y demás personas que siempre estuvieron ahí, dándonos su apoyo y confianza.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
2. JUSTIFICACIÓN	17
3. OBJETIVOS	18
3.1 OBJETIVO GENERAL	18
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4. MARCO TEÓRICO	19
4.1 MARCO CONCEPTUAL	19
4.1.1. Fases de Lean Sigma	20
4.1.2. Herramientas de Lean Sigma	21
4.1.3. Conceptos claves	23
4.2. MARCO REFERENCIAL	24
4.3 MARCO LEGAL	27
4.3.1 Normas en la neumática	27
5. METODOLOGÍA	28
5.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DATOS	28
5.2. TÉCNICAS DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	28

5.3. TÉCNICAS DE MEJORA Y CONTROL	28
6. RESULTADOS	29
6.1 CREACIÓN DE LA EMPRESA	29
6.2. PRODUCCION MANUAL DE CILINDROS NEUMATICOS CICLO 1	29
6.2.1. Distribución de la planta ciclo 1	31
6.2.2. Simulación proceso de producción de cilindros ciclo 1	32
6.2.3. Evaluación de los niveles de estrés ciclo 1	33
6.3. PRODUCCION MANUAL DE CILINDROS NEUMATICOS CICLO 2	34
6.3.1. Simulación proceso de producción de cilindros ciclo 2	36
6.3.2. Evaluación de los niveles de estrés ciclo 2	37
6.4. PRODUCCION DE CILINDROS NEUMATICOS CICLO 3	38
6.4.1. Evaluación de los niveles de estrés ciclo 3	39
6.4.2. Simulación proceso de producción de cilindros ciclo 3	39
6.5. PRODUCCIÓN AUTOMATIZADA DE CILINDROS	40
6.5.1. Estación de Distribución	41
6.5.2. Estación de ensamblaje	42
6.5.3. Estación de prensa con músculo neumático	43
6.6 APLICACIONES DE HERRAMIENTAS	47
6.6.1. Takt Time	47
6.6.2. 5S	48
7. CONCLUSIONES	49

8. RECOMENDACIONES

51

BIBLIOGRAFÍA

52

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Cargos y actividades necesarios en el proceso de producción ciclo 1	31
Tabla 2. Resumen del ciclo 1. Fuente: autores	33
Tabla 3. Cargos y actividades necesarios en el proceso de producción ciclo 2.	35
Tabla 4. Resumen del ciclo 2. Fuente: autores	36
Tabla 5. Cargos y actividades realizadas en el ciclo 3	39
Tabla 6. Resumen del ciclo 3	40
Tabla 7. Pronostico de producción planta didáctica FESTO	48
Tabla 8. Aplicación de 5S en la producción	48



## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Maquina troqueladora y de testeo Festo	30
Figura 2. Diagrama de flujo	30
Figura 3. Distribución de las áreas en la planta ciclo 1	31
Figura 4. Distribución de la planta ciclo 2	34
Figura 5. VSM (Flujo de valor) del ciclo 2	36
Figura 6. Distribución de la planta en el ciclo 3	38
Figura 7. Diagrama de flujo del proceso en la estación clasificadora	45
Figura 8. Clasificadora	46
Figura 9. Contador de piezas en la estación clasificadora	46
Figura 10. Distribución de la casa Lean Six Sigma	47

## LISTA DE GRAFICOS

	<b>Pág.</b>
Gráfico 1. Nivel de estrés ciclo 1	34
Gráfico 2. Nivel de estrés ciclo 2	37
Gráfico 3. Niveles de estrés en cada uno de los ciclos	40

## LISTA DE IMAGENES

	<b>Pág.</b>
Imagen 1. Maquina MPS sistema de producción modular	41
Imagen 2. Estación de distribución	41
Imagen 3. Estación de ensamble	42
Imagen 4. Estación de Prensa con Músculo Neumático: Gran fuerza	43
Imagen 5. Estación de clasificación	44

## INTRODUCCIÓN

Los avances que se vienen presentando en la Industria a nivel mundial, ha llevado a que las empresas tengan sistemas de producción digitalizados y avanzados, los cuales permiten brindar un producto de alta calidad y la búsqueda de altos niveles de competitividad. Dentro de estos avances, encontramos la aplicación de metodologías las cuales mejoran los procesos e incrementan la productividad de las empresas, por medio de la implementación de herramientas de mejora continua como Lean Manufacturing, se logra la optimización de cada uno de los recursos de la organización, brindando así un rendimiento productivo a partir de la eliminación de desperdicios y de las actividades que dentro del proceso no generan valor agregado.

Un ejemplo de cambio, encontramos la empresa Ford, dedicada al ensamble de vehículos, la cual desde hace más de 30 años empezó su desafío de aplicar herramientas las cuales permitiera reducir los desperdicios generados dentro de su producción en línea, lo que condujo a la implementación de herramientas como 5'S la cual origino un gran cambio dentro sus procesos, estableciendo estrategias de orden y limpieza en cada una de las zonas de trabajo lo cual llevo a que la organización sea competitiva y con un ritmo de trabajo eficiente.

De acuerdo a estos cambios que han venido teniendo las organizaciones, se ha comenzado un proceso de transformación dentro de las empresas, las cuales han comenzado con la mejora en procesos productivos, un mejor servicio al cliente, los cuales aplicando herramientas de mejora permiten brindar calidad y eficiencia en cada uno de los procesos productivos, lo cual se ve reflejado por medio un alto nivel de satisfacción en el cliente.

Para llevarse a cabo el presente trabajo, fue necesario la creación de una empresa denominada CILINDROS UCC, la cual está dedicada a la producción y comercialización de cilindros neumáticos de las siguientes referencias: 21 de color rojo, 22 de color plateado y 23 ,24 de color negro. Para realizar esta producción, la empresa cuenta con una planeación estrategia la cual está compuesta de misión, visión y valores institucionales, los cuales permiten guiar a la compañía hacia un futuro competitivo y de alto rendimiento.

Dicha producción referenciada, para su realización la empresa cuenta con una estructura organizacional conformada por: un gerente, un jefe de producción, 2 almacenistas, 2 operarios de troquelado, un operario de producción, 2 operarios de ensamble los cuales uno estaba en la zona de ensamble 1 y el otro en la zona de ensamble 2, un operario de testeo, un de control de calidad, uno de reproceso, 3 observadores de producción, 2 operarios de mantenimiento, un financiero. Para el cumplimiento del ensamble la empresa contaba con 2 proveedores y un asesor

comercial, los cuales hacen parte de personal externo y dos clientes los cuales han generado un pedido de 60 cilindros en un tiempo de 40 minutos.

Para llevar a cabo la producción manual pedida por los clientes de 60 cilindros en 40 minutos, fue necesario la realización de tres ciclos productivos. Los cuales generaron la identificación de fallas como: pérdidas de tiempo dado a la mala ubicación que tenía la zona de ensamble 1 con la zona de ensamble 2 , generando que el tiempo de desplazamiento de la pieza de una zona a la otra fuera mayor, desorden en cada uno de los puestos de trabajo lo que generaba la perdida de piezas en las áreas de trabajo; por otro lado, el área de almacén no contaba con un orden de inventario y despacho de piezas, lo que generaba piezas faltantes en las áreas de trabajo, fallas las cuales generaron que la producción del primer ciclo fuese del 4,5% equivalente a 2 cilindros.

Al evidenciar la producción de 2 cilindros de los 60 requeridos por el cliente, se propone la simulación de un segundo ciclo, el cual se logró mejorar los resultados llegando a producir 25 cilindros, teniendo el 41,7% de producción, el seguía incumpliendo la producción requerida, lo cual dejo pérdidas de \$ 214.000, dentro de este ciclo productivo, se presentaron fallas como: el bajo desempeño de cada uno de los empleados, generando que el tiempo de fabricación se excediera en cada una de las simulaciones anteriores, lo cual fue necesario la aplicación de herramientas de mejora como: Six Sigma, la cual permitió generar una tarjeta de colores en los que se caracterizaba cada tipo de cilindro, SMED, en donde se utiliza para la identificación de fallas que se presentan en cada una de las zonas de trabajo.

De acuerdo al incumplimiento del pedido establecido por el cliente de 60 cilindros en 40 minutos, fue necesario hacer la simulación de un tercer ciclo, donde se empleó las herramientas como: 5'S, aplicada con un sistema de orden y planificación de las actividades, de acuerdo al orden, limpieza, clasificación, estandarización y mantenimiento de la disciplina; CAUSA RAÍZ, establecida para la identificación de las causas de las fallas identificadas en los ciclos, el cual permite mejorar de manera sistemática; KAIZEN, la cual genera que el empleados desde el rango más alto al más inferior, genere un cambio de habito de trabajo, generando eficiencia y disciplina; KANBAN, donde por medio de una tarjeta de señal permite crear un orden a cada uno de los procesos generando la entrega justo a tiempo; POKA-YOKE el cual es utilizado para la disminución de los errores generados por los procesos productivos, TAKT TIME, usado para calcular el tiempo que cada cilindro deberá demorar en el ensamble para que de esta manera se pueda cumplir con el tiempo establecido de producción; TPM, el cual es un sistema creado para la eliminación de averíos en las maquinas, tiempos por daños en las maquinarias de la producción por medio de la creación de un mantenimiento total productivo; VSM, el cual es un mapa de flujo en el que se permite establecer las rutas y tiempos de cada uno de las zonas de trabajo.

Las anteriores herramientas empleadas en los ciclos, se aplicaron con el fin de identificar las fallas en la producción y proponer mejoras, una vez implementadas las acciones de mejora, se simuló el proceso, logrando llegar a un 91,7 %, equivalente a 55 cilindros del total de la producción requerida de 60 cilindros dejando en evidencia un mejor desempeño que en los ciclos anteriores, reflejados en \$ 890.000 los cuales son ganancias del proceso productivo.

Una vez se logró mejorar el proceso el proceso de producción semi- automatizado manual , se procedió llevarlo a un proceso automatizado usando la maquina 4 estaciones MPS Sistema de producción modular, las cuales son: **a)** Distribuidora, **b)** ensambladora, **c)** prensa con músculo neumático y **d)** clasificador; para lograr simular el proceso en la máquina, la cual para el movimiento continuo de cada una de sus estaciones, se creó una programación la cual fue realizada mediante el programador CODESYS, por medio de una programación escalera o lenguaje LADDER, las cuales fueron dirigidas al PLC, dicha programación, permitió el movimiento continuo, generando el ensamble de 2 cilindros con un tiempo de ensamble de 1.13 minutos, dejando como resultado la realización de 11 intentos, donde el ultimo tuvo un rendimiento del 71% el presente grupo de trabajo le fue asignada la programación de la estación clasificadora.

El objetivo del trabajo es aplicar las herramientas de Lean Manufacturing e industria 4.0 para lograr mejorar el proceso de producción de la empresa cilindros UCC, incrementando la calidad laboral, la optimización de la producción; teniendo en cuenta las fallas manifestadas a lo largo de las simulaciones de los 3 ciclos manuales y el automatizado.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para llevarse a cabo la producción de 60 cilindros en 40 minutos de manera semi-automatizada, fue necesario llevar a cabo 3 ciclos productivos, en los cuales, los dos primeros ciclos presentaron fallas como: inadecuada distribución de la planta debido a que la zona de ensamble 1 y 2 se encontraban muy distantes y dado el proceso productivo las dos debían estar cerca ya que una es antecesora de la otra, generando así un tiempo mayor por el desplazamiento que se debía realizar, causando estrés en los operarios, generado también por el desconocimiento del rol y la falta de planeación en cada una de las actividades que debía realizar, igualmente a la hora de realizar cada uno de los ciclos no se definió las referencias a procesar, lo cual hizo que se ensamblaran cilindros de referencias diferentes, no hubo control de inventario de piezas de stock, dejando el almacén sin stock de seguridad en caso de un sobre pedido, las áreas de almacenamiento y proveedores, no se encontraban en una ubicación ideal la cual permitiera la entrega de las piezas para el ensamble de los cilindros, de la misma manera, la zona de ensamble no contaban con el orden adecuado para poder almacenar las piezas de acuerdo a las referencias establecida. Por otro lado, en la producción se presentaron fallas como la mala realización de los orificios de las camisas de los cilindros, de acuerdo a las especificaciones de la orden de producción como: embolo, tapa, empaque y resorte, generando así el envío del cilindro a reproceso. El cambio de la broca para las referencias de cilindro 21,22,23 y 24, generaba demoras en la zona de ensamble 2.

Al evidenciar el incumplimiento de la productividad y a su vez los costos en pérdidas de mano de obra, por el tiempo empleado en la simulación la cual no cumplió con lo requerido por el cliente, materiales debido a las pérdidas de las camisas de los cilindros por la mala realización del orificio y así mismo el tiempo operacional, se da paso a la simulación un tercer ciclo de producción, en el que se implementaron herramientas de mejora como: SIX SIGMA el cual se implementó una tarjeta de colores, dando un orden a cada uno de los cilindros, TAKT TIME, implementada con el fin de calcular el tiempo en el que se debe producir cada cilindro, TPM, donde se implementó el sistema de mantenimiento necesario que debe tener cada maquina utilizada dentro de la producción, las cuales permitieron mejorar de manera efectiva la producción, generando un cumplimiento del 91,7% equivalente a 57 cilindros de los 60 requeridos por el cliente.

Por otro lado, en la producción automatizado, fue necesaria la utilización de la maquina FESTO 4 estaciones (distribuidora, ensambladora, musculo neumático y clasificadora) MPS sistema de producción modular. Dicho proceso automatizado, para que fuese puesto en marcha, fue necesario el diseño de una programación la cual permitiera un movimiento continuo en cada una de las estaciones nombradas anteriormente, cuyo sistema de programación es el lenguaje Ladder el cual va dirigido a un PLC que controla cada estación, lo cual dio como resultado la

realización de 11 simulaciones, presentando fallas como: demoras en el inicio de la producción automatizada debido a la realización de la programación inadecuada en la estación de distribución, la cual era la encargada de pasar las piezas de manera automatizada para los siguientes procesos, de la misma manera se presentaron daños en la válvula de una estación, generando la detención del proceso, de la misma manera se presentó fallas en el módulo pick&place, la cual fallo por un bloqueo interno. De las 11 simulación de los cuales 2 intentos fueron efectivos en un 71%.

Eliminar todo tipo de desperdicio debe ser de gran importancia en las empresas, en este caso cilindros UCC, la pregunta a dar solución es:

¿Cómo cumplir el requerimiento solicitado por el cliente de 60 cilindros en 45 minutos, por medio de los procesos semi-automatizado y automatizado en la empresa Cilindros UCC?



## 2. JUSTIFICACIÓN

La implementación de herramientas de mejora Lean Manufacturing y digitalización Industria 4.0 las cuales enfocan a los procesos productivos sean más eficientes y competitivos a nivel mundial, ha permitido mejorar el desempeño de las empresas, logrando el aprovechamiento de los recursos, generando así mayor efectividad y compromiso por la alta calidad y satisfacción del cliente.

Basados en el problema que se estaba presentando en dicha empresa, se optó por identificar y eliminar todo tipo de desperdicio que se presentaba mediante la aplicación de la filosofía **LEAN MANUFACTURING** que su principal objetivo es encontrar la forma de optimizar y mejorar la línea de producción, como por ejemplo reduciendo o eliminando procesos o actividades que no agreguen valor alguno al producto, que son los famosos “desperdicios”.

De esta manera la aplicación de las herramientas de mejora Lean Manufacturing y la digitalización de Industria 4.0, permite que las organizaciones tengan producciones más eficientes, limpias, organizadas, las cuales se basen en una planeación, generando cumplimiento a cada uno de los requerimientos que se establezcan, logrando así mantener una competitividad y una empresa basada en la alta calidad de sus productos, dando así mayor satisfacción del cliente.

Por lo anterior, en el presente trabajo aplicado, se buscó el aumento de la productividad de la empresa CILINDROS UCC, mejorando así efectividad en la entrega de requerimientos, por medio de la minimización de costos operacionales, tiempos de producción, mejoramiento del clima organizacional, por medio de la creación de una nueva cultura organizacional la cual permita llegar a convertirse en una empresa esbelta.

Finalmente se buscó que mediante esta filosofía **LEAN MANUFACTURING** la línea de producción de la empresa CILINDROS UCC pasara de ser manufactura esbelta a ser una industria 4.0, que esto llevaría a cabo a convertir dicha empresa como una fábrica inteligente

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Aplicar las herramientas de mejora al proceso de producción semi-automatizados y automatizados, teniendo en cuenta cada uno de las herramientas lean manufacturing y la digitalización Industria 4.0 para el aumento de la producción en la empresa CILINDROS UCC.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar cuáles son las herramientas de la casa lean que permitan optimizar la eficiencia y la eficacia de la productividad 5´S, VSM, SMED, POKA YOKE, TAKT TIME, KANBAN Y KAIZEN.
- Elaborar la programación para la maquina modular MPS, especialmente para la estación clasificadora, para que sus cuatro estaciones estuvieran coordinadas entre sí, con el fin de llevar a cabo un proceso continuo, por medio del programa CoDeSys, apoyada de la programación ladder o lenguaje de escalera.
- Identificar las fallas que se obtuvieron durante la programación que se elaboró para la cuarta estación de la maquina MPS y la simulación del proceso automatizado mediante la filosofía SMED, y a su vez mediante herramientas de la casa lean dar solución a la problemática identificada.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 MARCO CONCEPTUAL

El término Lean (esbelto) introducido por primera vez por dos importantes libros: *The machine that changed the world*, de James Womack, Daniel Jones y Daniel Roos; y *Lean Thinking*, de James Womack y Daniel Jones. Los cuales dieron el nombre de Lean Manufacturing al sistema, el cual es una filosofía de trabajo en las empresas, que define la forma de mejora y optimización de un sistema de producción focalizándose en identificar y eliminar todo tipo de “desperdicios”, haciendo más y más con menos (esfuerzo humano, menos equipamiento, menos tiempo y menos espacio) llevando a la perfección del sistema, de igual forma identifica varios tipos de “desperdicios” que se observan en la producción: sobreproducción, tiempo de espera, transporte, exceso de procesado, inventario, movimiento y defectos.

Indica que el Sistema de Lean Manufacturing (LM) está basado en los siguientes aspectos:

- Enfocarse en cada producto y su “flujo de valor” más que en la organización, activos y tecnologías
- Detectar qué actividades son “desperdicio” y cuáles realmente “crean valor” (para enfocarse en las actividades que generan valor y eliminar el desperdicio)
- El respeto por el trabajador
- La mejora consistente de productividad y calidad persiguiendo la perfección
- Flexibilidad necesaria para adaptarse a la demanda en todo momento.

El sistema LM busca disminuir los desperdicios de las empresas, establece que los desperdicios existentes en un proceso pueden ser siete: **a)** Sobreproducción: hacer el producto antes, más rápido o en cantidades mayores a las requeridas por el cliente, ya sea interno o externo; **b)** Demoras o tiempo de espera: operarios o clientes esperando por material o información; **c)** Inventario: almacenamiento excesivo de materia prima, en proceso o terminada el cual ocupan espacio y requieren de instalaciones adicionales de administración; **d)** Transporte: mover material en proceso o producto terminado de un lado a otro, no agrega valor al producto; **e)** Defectos: reparación de un material en proceso o repetición de un proceso; **f)** Desperdicios de procesos: esfuerzo que no agrega valor al producto o servicio desde el punto de vista del cliente; **g)** Movimiento: cualquier movimiento de personas o maquinas que no agreguen valor al producto o servicio. Un octavo desperdicio fue añadido por **h)** Subutilización del personal: cuando no se utilizan las habilidades y destrezas del personal (habilidad creativa, física y mental).

Así mismo indica que solo el 5% de las actividades de las empresas agregan valor y el 60% no agregan valor del todo; afirman que las empresas de

manufactura desperdician alrededor de 70% de sus recursos; es de ahí que parte la importancia de la implementación de este sistema o filosofía de trabajo el cual trae beneficios disminuyendo tiempos de trabajo, costos de producción y traer mayor rentabilidad, como lo hizo la industria farmacéutica Bayer y XH Pharma en un proyecto de OEM implementando el sistema LM con la cual ha obtenido buenos resultados durante todo el proceso, desde la producción hasta la comercialización reforzando el control interno de las existencias de materiales o productos, y solucionando problemas que podían aumentar los costes. Con el fin de implantarse JIT (Just In Time) en dicho proyecto, se han reducido todos los desperdicios posibles y existentes en todo el proceso, lo que ha ayudado a mejorar la productividad y aumentar el porcentaje de productos terminados de un 86% al 96% .

Las bases que fundamentan a Lean Manufacturing son Just-inTime (producir lo que se requiere y cuando se requiera) y Jidoka (calidad innata durante el proceso de producción). Asimismo, Lean Sigma y el modelo Six Sigma se lleva a cabo para mejoras continuas innovadoras y radicales, buscando soluciones a las causas del problema a afrontar; Lean tiene en cuenta el papel clave del humano, su formación, su liderazgo, trabajo en equipo, la motivación y los sistemas de recompensa.

#### **4.1.1. Fases de Lean Sigma**

Six Sigma presenta fases metodológicas las cuales se desarrollan a la hora de escoger el proyecto a estudiar dentro de una organización o empresa y dentro de cada fase se encuentran las herramientas a aplicar, las fases se describen a continuación:

##### **Fase de Identificación y Definición**

- Reconocer como afectan los procesos los resultados organizacionales.
- Reconocer como afectan los procesos a la rentabilidad.
- Definir cuáles son las características críticas del proceso de negocio.

##### **Fase de Medición y Análisis**

Para conocer en forma profunda los niveles actuales de desempeño

- Se selecciona una o más de las características clave y se crea una descripción detallada de cada paso del proceso.
- Se evalúa el proceso a través de mediciones y sirve de referencia para establecer los objetivos de la empresa.
- Se crea un plan de acción después de analizar la situación actual para lograr los objetivos establecidos
- Identificación y comparación competitiva (benchmark) de las características clave del producto. Análisis de brechas y factores de éxito.

## **Medición**

- Seleccionar las características clave del producto a mejorar
- Crear el diagrama sistemático de variabilidad del producto
- Definir las variables de desempeño
- Crear mapa de procesos
- Medir las Variables de desempeño
- Determinar la capacidad de desempeño y del proceso en término de niveles de sigma.

## **Análisis**

- Seleccionar las variables de desempeño
- Hacer un benchmarking de las métricas de desempeño
- Descubrir el desempeño mejor en su clase
- Realizar un análisis de brechas
- Identificar factores de éxito
- Definir objetivos de desempeño

## **Fases de mejora y control**

- Identificar qué pasos seguir para mejorar el proceso y reducir las fuentes de mayor variación que influyen negativamente en el proceso.
- Se identifican las variables clave o “pocas vitales” que impactan al proceso, a través del DOE y se ajustan para optimizar el proceso.
- Puede ser necesario modificar el proceso, cambiar los materiales, etc.

## **Mejora**

- Seleccionar variables de desempeño
- Diagnosticar desempeño de las variables
- Definir variables causales (DOE)
- Confirmar variables causales
- Establecer límites de operación
- Verificar mejoramiento del desempeño

## **Control**

- Seleccionar variables causales
- Definir el sistema de control estadístico
- Validar el sistema de control
- Implantar el sistema de control
- Auditar el sistema de control
- Monitorear las métricas de desempeño

### **4.1.2. Herramientas de Lean Sigma**

Asimismo, se utilizan herramientas estadísticas dentro de cada fase para mejorar la calidad incrementando el conocimiento necesario para lograr de una mejor

manera, más ágil y al más bajo costo, productos y servicios; asimismo, éstas permiten conocer los problemas en el área de producción y saber la raíz de los defectos en la hora de producir; las herramientas usadas se detallan a continuación.

**Mapeo de la cadena de valor.** Según (Womack & Jones; 1996), es un instrumento que ayuda a ver y entender el flujo de material e información de cómo un producto o servicio recorre su camino a través de la cadena de valor, es decir de principio a fin. La comprensión de cómo varias actividades están interconectadas y donde podrían estar fallando las conexiones o actividades, es decir reconocer el desperdicio y reconocer sus causas. Se realiza: siguiendo los elementos de producción de un producto desde proveedores hasta clientes finales, dibujando cuidadosamente una representación visual de cada proceso en el flujo de material e información esquema de estado actual, mediante la recolección de información en el área de trabajo. Después, se deben hacer una serie de preguntas y dibujar luego un mapa de “estado futuro” de cómo el valor debería fluir. El paso final es preparar y empezar activamente usando un plan de implementación que describe, en una página, como se planea lograr el estado futuro.

**Kaizen.** Es una palabra japonesa compuesta por dos palabras, una kai que significa cambio y la otra zen que significa bueno, mejor, lo que implica que kaizen signifique mejora continua, es una filosofía que en los procesos de calidad y racionalización del trabajo dándose a conocer como “administración Kaizen”.

Kaizen significa mejoramiento. Por otra parte, significa mejoramiento continuo en todos los campos (personal, familiar, social, y trabajo). Cuando se aplica al lugar de trabajo, Kaizen significa mejoramiento continuo que involucra a todos, gerentes y trabajadores por igual, buscando mejorar todos y cada uno de los puestos de trabajo.

**Just in Time.** Es una filosofía que define la forma en como optimizar un sistema de producción. Por ejemplo, tratando de entregar materias primas o los productos ya fabricados “justo a tiempo” a medida que son necesarios.

El JIT no busca que los proveedores hagan muchas entregas y con absoluta puntualidad para no tener que manejar grandes volúmenes de existencia o componentes comprados, sino que es una filosofía de producción que se orienta a la demanda. La ventaja competitiva ganada, deriva de la capacidad que adquiere la empresa para entregar el mercado el producto solicitado, en un tiempo breve, en la cantidad requerida. Evitando los costos que no producen valor añadido también se obtendrán precios competitivos.

**Poka Yoke.** Maldonado (2014) lo describe como una técnica de calidad que significa "a prueba de errores". La idea principal es la de crear un proceso donde los errores sean imposibles de realizar. La idea básica es frenar el proceso de producción cuando ocurre algún defecto, definir la causa y prevenir que el defecto vuelva a ocurrir.

Asimismo, si los errores no se permiten durante la línea de producción, entonces la calidad será alta y el retrabajo poco, aumentando la satisfacción del cliente y lo cual hace que disminuyan los costos al mismo tiempo.

**Kanban.** Acevedo et al. (2001) establece que Kanban es “una técnica de gestión de producción basada en un sistema pull (halar) que se fundamentan en la autogestión de los procesos, eliminando la programación centralizada. Se produce y transporta lo que se demanda en los procesos consumidores, manteniendo en rotación sólo aquellas cantidades que garantizan la continuidad del consumo. Cuando se interrumpe el consumo se detiene la producción. Es una herramienta para conseguir la producción Justo a tiempo”.

**5S.** Esta herramienta tiene como objetivo la limpieza y orden del puesto de trabajo para disminuir el desperdicio, estandarizando el área mediante la delimitación de zonas, el uso de tarjetas de uso, de aparatos, etc. Mejorando la productividad; la integración de las 5S se da en cualquier tipo de organización de distintos sectores como la industria, empresa de servicios, hospitales, centros educativos, etc. Ceprit (2016) explica que las “5 S”, son iniciales de cinco palabras japonesas cuya transcripción fonética empieza por la letra ese. Cada palabra contiene una recomendación muy concreta sobre la organización del trabajo y estas son: **a)** Seiri: Clasificar o seleccionar **b)** Seiton: Orden **c)** Seiso: Limpieza **d)** Seiketsu: Limpieza estandarizada **e)** Shitsuke: Disciplina y compromiso.

#### 4.1.3. Conceptos claves

**Desperdicio.** Se habla de desperdicio a todo aquello que no agrega valor a un producto o servicio para los clientes, los sinónimos de desperdicio pueden ser pérdida o despilfarro, en este contexto, es toda mal utilización de los recursos.

**Industria 4.0.** La industria 4.0 es la cuarta revolución industrial, con el fin de revolucionar la fabricación y producción a través de la unión de tecnología digital y el internet con la industria convencional en todos los sectores económicos, con el objeto de integrar diferentes procesos de ingeniería y negocio, lo cual permite optimizar los procesos de fabricación de una manera eficiente y flexible con bajos costos y alta calidad para responder de forma oportuna las necesidades del mercado.

**Manufacturing.** Lean manufacturing se puede definir como una filosofía enfocada a la reducción de desperdicios (MUDA) mediante una serie de herramientas (TPM, 5S, SMED, kanban, kaizen, heijunka, jidoka, etc.) con el fin de tener una mejora continua, el control total de la calidad, la eliminación del despilfarro, el aprovechamiento de todo el potencial a lo largo de la cadena de valor y la participación de los operarios.

**Six Sigma.** La filosofía o metodología Six Sigma usa herramientas estadísticas colocando en primer lugar al cliente y cuyo propósito es impulsar a dar soluciones enfocándose en la satisfacción del cliente mediante decisiones acertadas, midiendo y usando los equipos para reducir de manera continua los defectos presentados en tiempos de producción; y es así como Six sigma se enfoca a tres áreas principales: **a)** mejorar la satisfacción del cliente, **b)** reducir el tiempo de ciclo y **c)** reducir los defectos.

**Mejora continua.** La mejora continua también se basa en evaluación continua para llevar a una reducción de costos, mejora de la calidad, aumento continuo de la productividad.

**Calidad.** Es un proceso de mejora continua o cualidad inherente, en el cual todas las empresas u organizaciones buscan a la hora de satisfacer las necesidades del cliente o anticiparse a ellas, participando activamente en el desarrollo de los productos o en la prestación de los servicios.

**Eficiencia.** Término que mide la capacidad o cualidad de un sistema o sujeto económico para lograr la meta determinada, minimizando el empleo de recursos.

**Productividad.** Consiste en la relación recursos-trabajo en un período específico con el adecuado control de la calidad. la productividad puede ser elevada cuando se reducen los insumos y se mantienen los mismos productos. Se incrementan los productos y se reducen los insumos para elaborarlos. Se incrementan los productos con los mismos insumos.

## **4.2. MARCO REFERENCIAL**

**Artículo científico:** Implementación del Kaizen en México: un estudio exploratorio de una aproximación gerencial japonesa en el contexto latinoamericano

**Autores:** Manuel Suárez-Barraza & José Ángel Miguel-Dávila

**Año:** 2011



## Resumen

En los últimos años, los términos Lean Thinking y Kaizen han cobrado gran importancia en la gestión operacional y estratégica de las organizaciones de este nuevo siglo. dicha relevancia se ha centrado en la búsqueda constante por reducir los costos operativos mejorando con ello la productividad y la competitividad de las organizaciones multinacionales. Por ello, parte de la pregunta de investigación que rige este artículo es: ¿Cómo se presenta la implementación del Kaizen en un contexto organizacional como es una empresa multinacional en México? el propósito del estudio es, por tanto, explorar empíricamente la implementación del Kaizen en algunas organizaciones multinacionales de México, con el fin de analizarlas y compararlas con los esquemas teóricos del tema.

La investigación es de corte cualitativo siguiendo la estrategia de múltiples casos de estudio. Se seleccionaron dos empresas multinacionales ubicadas en la zona industrial de Toluca del estado de México, México. los resultados demuestran, con base en la evidencia empírica, que existe una brecha entre los esquemas teóricos del Kaizen y la realidad práctica estudiada en los dos casos de estudios seleccionados. Partiendo de estos resultados del estudio exploratorio fue posible proponer cuatro proposiciones teóricas que condensan el presente trabajo de investigación. este artículo, a pesar de ser de carácter exploratorio, busca generar un aporte teórico de lo que ocurre en las empresas multinacionales ubicadas en México en materia de la implementación de una técnica gerencial japonesa como el Kaizen en un contexto latinoamericano.

**Artículo científico:** Aplicación de la metodología Seis Sigma para reducir la pérdida de café al granel en una planta de envasado

**Autores:** Marcos Buestán

**Año:** 2013

## Resumen

Seis Sigma es una metodología rigurosa orientada a identificar y eliminar las fuentes de variación. A través de la aplicación de herramienta cualitativas y analíticas Seis Sigma logra además de ahorros, procesos más robustos, aunque sean altamente complejos. Este artículo presenta la aplicación de la metodología Seis Sigma teniendo en cuenta cada una de sus fases DMAIC en una fábrica que elabora y envasa café en Colombia, donde los costos de no calidad en el proceso de envasado de café se presentaban como excesivos.

Las fases de LSS, DMAIC reveló que la mayoría de los costos de no calidad en envasado se encontraban concentrados en dos referencias. Para cada una de ellas se generó un problema enfocada, el cual se abordó de manera independiente

a lo largo de toda la metodología. La aplicación de pruebas de hipótesis mostro el peso específico del café y el nivel de vacío del equipo como factores significativos para la reducción de los costos por pérdida. Un Diseño de experimentos fue realizado para identificar los niveles de operación adecuados. Su aplicación junto con el desarrollo de otras iniciativas “just in time” proveyeron de una reducción significativa en la pérdida del producto.

**Estudio de caso:** Aplicación de la metodología Lean Six Sigma (LSS) en la mejora continua de procesos: un estudio de caso.

**Autores:** Sofía Presa García

**Año:** 2015

### **Resumen**

El estudio de caso se sitúa en una PYME (Pequeña y mediana empresa) que realiza servicios de consultoría e ingeniería específicamente en el área de ingeniería eléctrica, el estudio de caso se llevó a cabo mediante la metodología LSS. El reto del departamento de ingeniería eléctrica suponía mejorar los procesos durante el desarrollo de la ingeniería, a fin de reducir los tiempos de desarrollo de la misma, sin que esto afectara la calidad de la misma y, de esta manera, poder cumplir el calendario de descargos propuesto por el cliente.

Se realizó una reunión en que se evaluaron las diferentes opciones para abordar el problema. Una de ellas fue precisamente la aplicación de la metodología LSS. Para esto, se decidió aplicar las herramientas del DMAIC, considerando que su aplicación ayudaría a mejorar los tiempos de entrega de las ingenierías sin que ello afectara a la calidad de las mismas.

De acuerdo con los resultados, se considera importante tener en cuenta la experiencia de los trabajadores como profesionales activos capaces de descubrir las causas-raíz relacionadas con las problemáticas que enfrentan, asimismo que durante todo el proceso los profesionales involucrados formen parte de las actividades para descubrir las fallas.

También, la aplicación de la metodología LSS permitió identificar las áreas de mejora, así como señalar puntos críticos a trabajar, y establecer procedimientos más claros que permitieron disolver limitaciones a los objetivos del área. Así mismo, la “cultura de la mejora continua”, es otro de los efectos esperados en LSS. Esta mejora continua, pretende que se incluyan cambios en las organizaciones a fin de resolver progresivamente los problemas y defectos que impiden el desarrollo y las metas dentro de la organización, siendo quizá, uno de los mayores retos, sostener en el tiempo las mejoras realizadas dentro la aplicación.

Recomendando en futuros trabajos, compromiso y motivación en el ambiente de trabajo, junto con una buena metodología de mejora, son los tres elementos más importantes para generar buenos resultados dentro de la actividad laboral.

### **4.3 MARCO LEGAL**

Ley 590 de 2000: Se entiende como Microempresa, pequeña y mediana empresa a todo el capital capaz de generar una persona natural o jurídica, teniendo como base actividades industriales, comerciales agrícolas y empresariales, sea en terreno rural o urbano. Para este sector denominado PYME se deben cumplir las siguientes condiciones.

**Microempresas:** Activos inferiores a 500SMMV – Máximo 10 Empleados.

**Pequeña Empresa:** Activos entre 501 y 5.000 SMMV – Entre 11 y 50 Empleados.

**Mediana Empresa:** Activos Totales entre 5.001 y 15.000 SMMV – Entre 51 y 200 Empleados.

La ley 590 de 2000 instituye que se tendrán en cuenta dentro de la clasificación de los activos las combinaciones entre los criterios de la planta del personal y el valor total de activos para establecer la clasificación a la que pertenece la empresa. (Bogotá, 2010).

#### **4.3.1 Normas en la neumática**

Las normas también son importantes en la neumática las cuales deben cumplirse obligatoriamente para comercializar productos y servicios entre empresas, ya sea nacionalmente o internacionalmente. Las normas industriales crean una base uniforme para evaluar el funcionamiento técnico de los productos. En el caso de la neumática, las normas relevantes son determinadas dimensiones, la seguridad y la calidad. Festo colabora en las comisiones nacionales e internacionales de mayor relevancia, dedicado a la definición de normas.

## **5. METODOLOGÍA**

La investigación se realizó con los fundamentos en las fases de Lean Sigma DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar), buscando dar ideas que proporcionen una solución a los problemas presentados en la simulación del proceso de producción y fabricación de cilindros en la empresa cilindros UCC.

### **5.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DATOS**

La información recolectada se obtuvo de manera práctica describiendo el proceso de producción para identificar causas y fallas del proceso de manufactura durante las 3 simulaciones manuales experimentales ejecutadas por cada uno de los integrantes del grupo.

### **5.2. TÉCNICAS DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

La metodología de medición y análisis fue de carácter cuantitativo, recopilando y analizando datos mediante el uso de herramientas informáticas, software especializados, estadísticas, y matemáticas para obtener resultados.

### **5.3. TÉCNICAS DE MEJORA Y CONTROL**

Los procesos de mejora se llevaron a cabo mediante los resultados obtenidos tanto de la medición como el análisis los cuales se tuvieron en cuenta para lograr controlar y mantener la producción en su nivel óptimo durante los procesos de fabricación de cilindros evitando los errores obtenidos anteriormente para así llevar a cabo la simulación a la realidad.

## **6. RESULTADOS**

### **6.1 CREACIÓN DE LA EMPRESA**

Para llevar a cabo la primera simulación se utilizó el juego Synchro game con la tarea de establecer una línea de producción real en este caso creando una empresa llamada Cilindros UCC con su respectiva misión, visión, valores de la empresa (Cuadro 1) dedicándose a la fabricación y comercialización de cilindros neumáticos de diferentes referencias; así mismo cada uno de los participantes del grupo tomaba determinado rol (gerente, supervisor de calidad, testeo, troqueladora, clientes, proveedores, mantenimiento, ensambladores, inversionistas, contabilidad) definiendo tiempos de producción, metas de producción (60 cilindros en 40 minutos) y se ejecutaba el juego experimentando las decisiones tomadas sin la experiencia, luego de terminada la primera ronda se procedía a realizar la evaluación del rendimiento y desempeño en cada uno de los roles analizando los problemas obtenidos durante la producción

El equipo hacia lluvia de ideas para mejorar las problemáticas, de igual forma los capacitadores aprovechan la oportunidad para presentar métodos, herramientas y técnicas específicas a los participantes y animarlos a incorporarlos en el proceso de planificación. Antes de la ronda final, todas las técnicas y métodos aprendidos se unen y nosotros y nosotros usamos el mapeo de flujo de valor para diseñar el proceso ideal antes de ponerlo en práctica.

### **6.2. PRODUCCION MANUAL DE CILINDROS NEUMATICOS CICLO 1**

En los ciclos de producción manual (1 y 2) se utilizó la maquina troqueladora (Fig. 1.) la cual es encargaba de realizar los orificios a las tapas para luego ser entregadas al proceso de ensamble todo el proceso de fabricación va de acuerdo a la referencia que es solicitada por el cliente; y la máquina de testeo (Fig. 1.), que era la encargada de verificar el sellado de cada uno de los cilindros de acuerdo a su referencia.

El proceso de producción de los cilindros se describe en el diagrama de flujo en la Fig. 2. Este proceso da inicio desde que el asesor comercial recibe el pedido del cliente y lo pasa al jefe de producción, este pasa el pedido al almacén y almacén pasa materia prima a producción, desde que producción recibe la materia prima allí inicia el proceso de fabricación de los cilindros, verificado de orificios, ensamblado, etc.

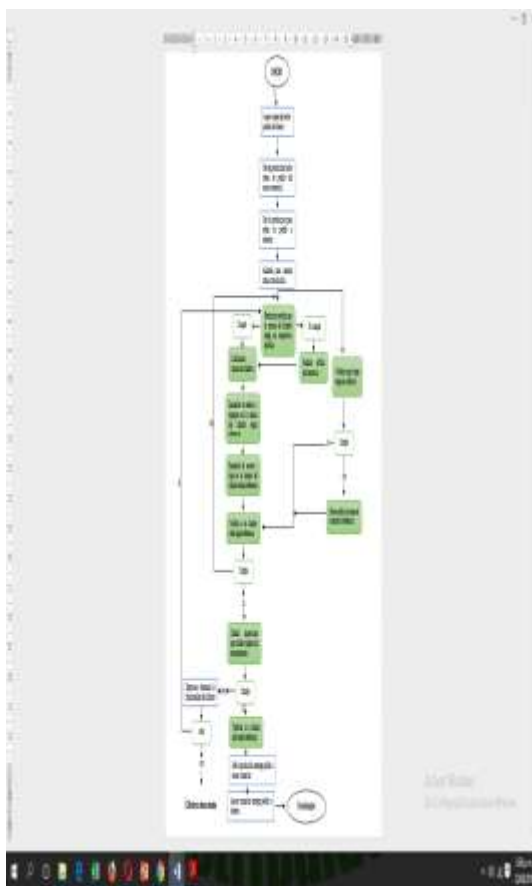
Figura 1. Maquina troqueladora y de testeo Festo



Fuente: autores

Figura 2. Diagrama de flujo

Proceso de fabricación de los cilindros neumáticos en la empresa cilindros UCC. en los ciclos 1 y 2

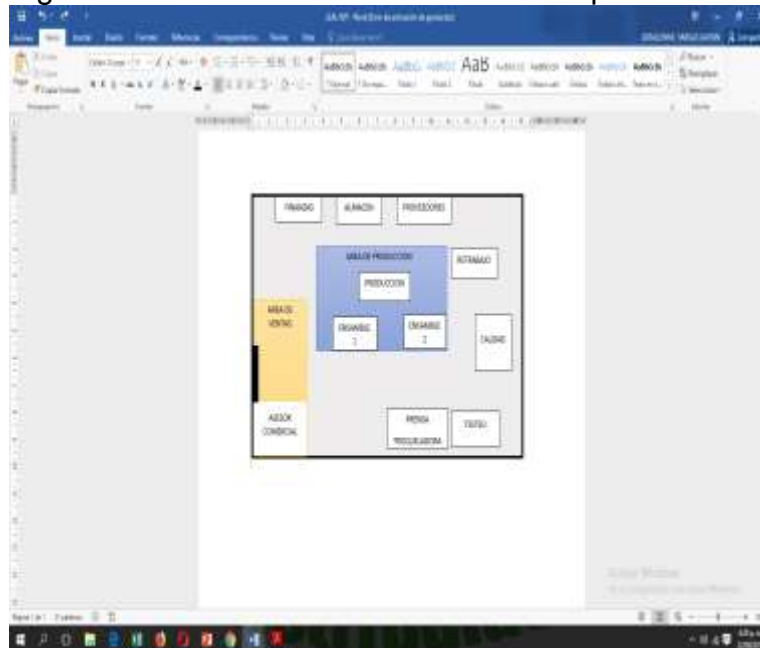


Fuente: autores

### 6.2.1. Distribución de la planta ciclo 1

En el ciclo 1 la distribución de la planta se realizó por parte de los operarios que se ubicaron libremente en el salón y cada uno tomo un cargo de las áreas que intervienen en el proceso de fabricación de cilindros neumáticos en la empresa cilindros UCC, todo esto sin tenerse una planeación anticipada; las áreas requeridas para efectuar el proceso son: Asesor Comercial, Producción, Almacén, Calidad, Proveedores, Ensamble 1, Ensamble 2, Troqueladora, Testeo, Retrabajo, y Finanzas (Fig. 3.).

Figura 3. Distribución de las áreas en la planta ciclo 1



Fuente: autores

De igual forma se definen a detalle las actividades que debía realizar cada uno de los cargos en el proceso productivo del ciclo 1 y el nivel de estrés del 1 al 10 siendo 10 el valor más alto (Tabla 1.).

Tabla 1. Cargos y actividades necesarios en el proceso de producción ciclo 1

CICLO 1			
Cargos	Cantidad Operarios	Actividades	Niveles De Estrés
<b>SOCIO MAYORITARIO</b>	2	INVERSIONISTAS	3
<b>GERENTE</b>	1	CONTROL DE LA EMPRESA	8
<b>JEFE DE PRODUCCIÓN</b>	1	ENCARGADO DE LA PRODUCCION	8

Continuación Tabla 1

<b>PROVEEDORES</b>	2	PROVEEDOR DE LA MATERIA PRIMA PEDIDA POR LA ORGANIZACIÓN	7
<b>ALMACEN</b>	2	PROVEER LOS PROCESOS Y DISTRIBUCION	8
<b>ASESOR COMERCIAL</b>	1	OFRECER Y VENDER	6
<b>PRENSA TROQUEL</b>	2	OPERAR LA MAQUINA PERFORADORA	7
<b>PRODUCCIÓN</b>	1	VERIFICAR O HACER ORIFICIOS EN CILINDROS PARA ENROSCAR	6
<b>ENSAMBLE 1</b>	1	ENGRASAR Y COLOCAR EMBOLO	6
<b>ENSAMBLE 2</b>	1	COLOCAR RESORTE Y TAPA	6
<b>TESTEO</b>	1	MAQUINA DE TESTEO	6
<b>CONTROL DE CALIDAD</b>	1	INSPECCIONAR LOS CILINDROS TERMINADOR	5
<b>REPROCESO</b>	1	LLENAR FORMATO Y REPARAR	7
<b>OBSERVADOR</b>	3	TOMAR TIEMPOS DE LA PRODUCCIÓN	4
<b>MANTENIMIENTO</b>	2	REPARAR LA MAQUINA PERFORADORA Y TESTEO BRINDAR APOYO EN LA PRODUCCION	4
<b>FINANZAS</b>	1	CONTABILIADE DE LA EMPRESA	4
<b>CLIENTES</b>	2	COMPRA DE CILINDROS	6

Fuente: autores

### 6.2.2. Simulación proceso de producción de cilindros ciclo 1

Al definirse la distribución en la planta y los cargos a operar por cada uno de los integrantes del grupo se procedieron a realizar la simulación del proceso de producción en el ciclo 1, el grupo de trabajo fue libre de crear las estrategias para cumplir con la meta propuestas de 60 cilindros en 40 minutos.

El ciclo 1 presento fallas, un factor que incidió en la demora de producción y no permitió cumplirse con la meta propuesta.

Las fallas presentadas en el proceso de producción simulado en el ciclo 1 son:

- Almacén: Inexperiencia a la hora de diligenciar formatos.
- Proveedor: Desconocimiento de las piezas del cilindro por cada referencia.
- Retrabajo: Desconocimiento de los formatos a diligenciar.



- Troqueladora: desconocimiento en el manejo de la troqueladora, demoras en los cambios de referencia para cada cilindro
- Todos los cargos: Se presentaron demoras en el proceso de producción, debido a que los operarios no contaban con el conocimiento y practica adecuada

Las fallas presentadas en el ciclo 1 ocasionaron desorden y confusión, por tanto, los primeros 20 minutos después de iniciado los procesos fueron desperdiciados y solo se logró la culminación de 3 cilindros de los 60 cilindros propuestos como meta, en la tabla 2 se resume el trabajo realizado.

Tabla 2. Resumen del ciclo 1. Fuente: autores



Fuente: autores

A: conteo de los cilindros entregados y completos; B: total de cilindros entregados a los clientes; C: total cilindros entregados a tiempo a los clientes; D: órdenes a tiempo/ total de órdenes; F: Resumen control de calidad; G: Partes con defectos/ total cilindros producidos; I: tiempo medido por el equipo; L: cilindros enviados al cliente x 16; K: Contar. Fuente: autores.

### 6.2.3. Evaluación de los niveles de estrés ciclo 1

El desconocimiento de las actividades, genero un ambiente de tensión, el cual fue medido de forma cuantitativa del 1 al 10 siendo 10 el nivel máximo de estrés, todo esto contribuyó a que los niveles de estrés manejados por los integrantes en cada uno de sus cargos, fueran mayores a los límites normales.

En la gráfica 1 se puede evidenciar que los niveles de estrés varían dependiendo el cargo de cada uno de los operarios ya que cada cargo tiene su nivel de compromiso con la empresa, siendo los cargos internos (gerente, jefe de producción, almacén, proveedores, prensa troquel y reproceso) que tienen mayor compromiso con la producción de los cilindros presentan niveles de estrés entre 7 y 8, mientras que los cargos externos como socios mayoritarios, mantenimiento y finanzas presentan niveles de estrés relativamente bajos.

Niveles de estrés en cada uno de los cargos. SM: socio mayoritario; GR: gerente; JP: jefe de producción; PV: proveedor; AL: almacén; AC: asesor comercial; PT: prensa troquel; PD: producción; E1: ensamble 1; E2: ensamble 2; TT: testeo; C:



Se realizó una nueva distribución, esta vez estratégica para que las áreas quedaran cerca dependiendo del orden de las funciones y así lograr un flujo continuo.

Para la mejora de la distribución en planta para en el ciclo 2 se empleó la técnica 5's, la cual se tiene como premisa, retirar los desperdicios del proceso de producción, minimizar las distancias entre las áreas de producción como el área de proveedores y almacén quienes dan inicio al proceso de fabricación, a fin de mantener un buen flujo de proceso.

De igual forma los cargos quedaron intactos al ciclo 1, sin embargo, con la implementación de la técnica 5's, se realizó una reestructuración de los mismos. Asimismo, el número de operarios en el área de proveedores se redujo a 1, para poder aumentar el número de operarios de área de almacén, pasando de 2 a 3 operarios.

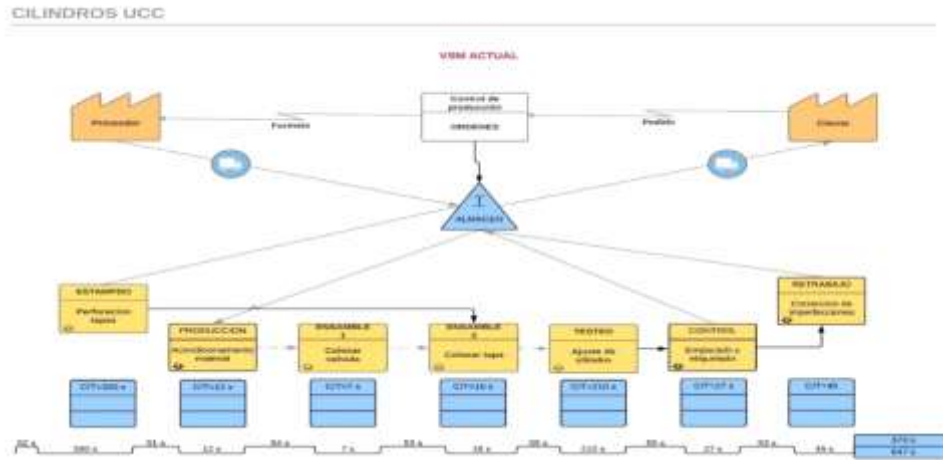
Tabla 3. Cargos y actividades necesarios en el proceso de producción ciclo 2.

<b>CICLO 2</b>			
<b>CARGOS</b>	<b>OPERARIOS</b>	<b>ACTIVIDADES</b>	<b>N ESTRÉS</b>
<b>Socio Mayoritario</b>	2	INVERSIONISTAS	3
<b>Gerente</b>	1	CONTROL DE LA EMPRESA	8
<b>Jefe De Producción</b>	1	ENCARGADO DE LA PRODUCCION	8
<b>Proveedores</b>	1	PROVEEDOR DE LA MATERIA PRIMA PEDIDA POR LA ORGANIZACIÓN	5
<b>Almacén</b>	3	PROVEER LOS PROCESOS Y DISTRIBUCION	6
<b>Asesor Comercial</b>	1	OFRECER Y VENDER	6
<b>Prensa Troquel</b>	2	OPERAR LA MAQUINA PERFORADORA	6
<b>Producción</b>	1	VERIFICAR O HACER ORIFICIOS EN CILINDROS PARA ENROSCAR	6
<b>Ensamble 1</b>	1	ENGRASAR Y COLOCAR EMBOLO	6
<b>Ensamble 2</b>	1	COLOCAR RESORTE Y TAPA	6
<b>Testeo</b>	1	MAQUINA DE TESTEO	5
<b>Control De Calidad</b>	1	INSPECCIONAR LOS CILINDROS TERMINADOR	7
<b>Reproceso</b>	1	LLENAR FORMATO Y REPARAR	8
<b>Observador</b>	3	TOMAR TIEMPOS DE LA PRODUCCIÓN	4
<b>Mantenimiento</b>	2	REPARAR LA MAQUINA PERFORADORA Y TESTEO Y BRINDAR APOYO EN LA PRODUCCION	6
<b>Finanzas</b>	1	CONTABILADA DE LA EMPRESA	5
<b>Clientes</b>	2	COMPRA DE CILINDROS	7

Fuente: autores.

En el ciclo 2 se realizó de flujo de valor o VSM (herramienta de Lean Manufacturing, Fig. 5.), el cual permitió identificar los puntos críticos del proceso y los tiempos empleados en cada uno de los cargos

Figura 5. VSM (Flujo de valor) del ciclo 2



Fuente: autores.

### 6.3.1. Simulación proceso de producción de cilindros ciclo 2

En el ciclo 2 ya se hizo uso adecuado de las herramientas de Lean six sigma, lográndose procesar un total de 37 cilindros en un tiempo total de 47,68 minutos, disminuyendo el número de partes con defectos, pero, sin embargo, no se logró llegar a la meta de 60 cilindros.

Tabla 4. Resumen del ciclo 2. Fuente: autores

Fuente: autores.

A: conteo de los cilindros entregados y completos; B: total de cilindros entregados a los clientes; C: total cilindros entregados a tiempo a los clientes; D: órdenes a tiempo/ total de órdenes; F: Resumen control de calidad; G: Partes con defectos/ total cilindros producidos; I: tiempo medido por el equipo; I: cilindros enviados al cliente x 16; K: Contar. Fuente: autores.

La tabla 4 muestra que 7 cilindros fueron rechazados por defectos (tamaño de orificio para enroscar) uno de los problemas presentados durante este ciclo (2), asimismo no se definieron la cantidad de cilindros por referencia a producir, como consecuencia de ello, se tenían que hacer cambios de referencia durante el proceso, generando retrasos en el proceso de producción (ver anexo1) lográndose ver aumentos de tiempos por cambios de referencia en los cilindros 5, 10, 22 y 28.

De igual forma el tiempo total de producción fue mayor al de la meta (47.68sg) por la falta de distribución y control del tiempo, a pesar de que almacén y proveedores enviaron piezas a producción para empezar con su procesamiento antes de que llegaran las ordenes de pedido, a fin de optimizar los tiempos y cumplir con las metas, sin embargo, almacén y proveedores no registraron el stock de piezas que empezaron a procesarse.

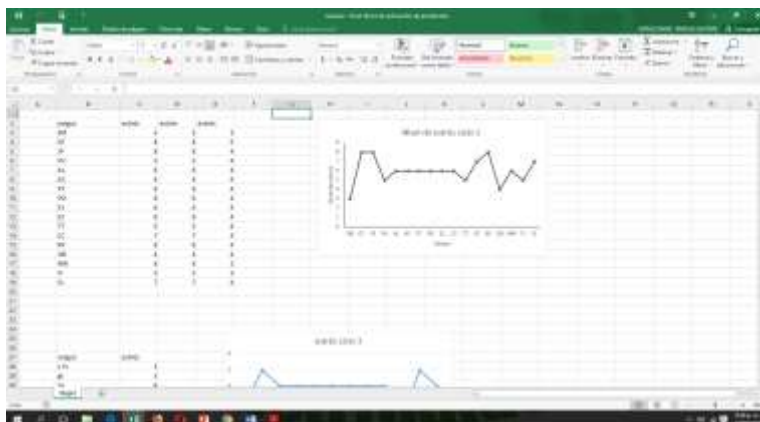
### 6.3.2. Evaluación de los niveles de estrés ciclo 2

En el ciclo 2 se realizó una reestructuración de operarios por cargo para disminuir los niveles de estrés de los operarios y así contribuir a la mejora en el transcurso del proceso de fabricación de cilindros.

Al finalizar la segunda simulación del proceso de producción de cilindros, se procedió a evaluar los niveles de estrés de cada uno de los cargos, con la misma escala de 1 a 10, siendo el 10 nivel máximo de estrés (Grafica 2).

Niveles de estrés en cada uno de los cargos. SM: socio mayoritario; GR: gerente; JP: jefe de producción; PV: proveedor; AL: almacén; AC: asesor comercial; PT: prensa troquel; PD: producción; E1: ensamble 1; E2: ensamble 2; TT: testeo; CC: control de calidad; RP: reproceso; OB: observador; MT: mantenimiento; FI: finanzas CL: clientes.

Gráfico 2. Nivel de estrés ciclo 2



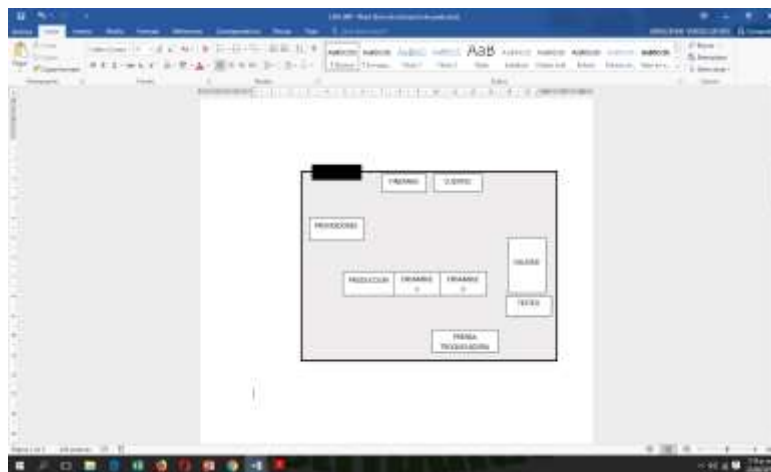
Fuente: autores.

Se puede evidenciar que los niveles de estrés disminuyeron en comparación con el ciclo 1 gracias a la nueva herramienta implementada (5S) el orden en el área de trabajo, los operarios con la experiencia adquirida con el ciclo 1 mejoraron el nivel de producción. En el ciclo 1 los niveles de estrés para los cargos de gerente, jefe de producción, almacén, proveedores, prensa troquel y reproceso eran los más altos con una puntuación de 7 a 8, mientras que en la ronda 2 se evidencia que los niveles de estrés se redujeron a una puntuación de 6.

#### 6.4. PRODUCCION DE CILINDROS NEUMATICOS CICLO 3

A fin de lograr cumplir con la meta de procesar 60 cilindros en un tiempo de 40 minutos, se decidió, realizar un tercer ciclo de simulación ya automatizado, teniendo en cuenta los errores presentados en los ciclos 1 y 2 modificando la estructura de la planta (Fig. 6).

Figura 6. Distribución de la planta en el ciclo 3



Fuente: autores.

Asimismo, se hace una planilla para distinguir la cantidad de cilindros por referencia y el tiempo que se debe demorar el proceso de fabricación por referencia (Tabla 5).

Tabla 5. Planilla de referencias de los cilindros

Tiempo para la orden total		
REFERENCIA	CANTIDAD(Unidad)	TIEMPO (Min)
21	15	10
22	15	10
23	15	10
24	15	10

Fuente: autores.

### 6.4.1. Evaluación de los niveles de estrés ciclo 3

En el ciclo 3 se hizo una nueva reestructuración de los cargos eliminando algunos cargos (Tabla 6) considerados innecesarios a fin de contribuir a la eficiencia de los procesos y así los niveles de estrés disminuyeron de forma considerable.

Tabla 5. Cargos y actividades realizadas en el ciclo 3

<b>CICLO 3</b>			
<b>CARGOS</b>	<b>OPERARIOS</b>	<b>ACTIVIDADES</b>	<b>NIVELES DE EXTRÉS</b>
<b>SOCIO MAYORITARIO</b>	2	INVERSIONISTAS	3
<b>GERENTE</b>	1	CONTROL DE LA EMPRESA	5
<b>PROVEEDORES</b>	2	PROVEEDOR DE LA MATERIA PRIMA PEDIDA POR LA ORGANIZACIÓN	4
<b>PRENSA TROQUEL</b>	2	OPERAR LA MAQUINA PERFORADORA	4
<b>PRODUCCIÓN</b>	1	VERIFICAR O HACER ORIFICIOS EN CILINDROS PARA ENROSCAR	4
<b>ENSAMBLE 1</b>	1	ENGRASAR Y COLOCAR EMBOLO	4
<b>ENSAMBLE 2</b>	1	COLOCAR RESORTE Y TAPA	4
<b>TESTEO</b>	1	MAQUINA DE TESTEO	4
<b>CONTROL DE CALIDAD</b>	1	INSPECCIONAR LOS CILINDROS TERMINADOR	4
<b>REPROCESO</b>	1	LLENAR FORMATO Y REPARAR	3
<b>OBSERVADOR</b>	2	TOMAR TIEMPOS DE LA PRODUCCIÓN	2
<b>FINANZAS</b>	1	CONTABILIADE DE LA EMPRESA	5
<b>CLIENTES</b>	2	COMPRA DE CILINDROS	4

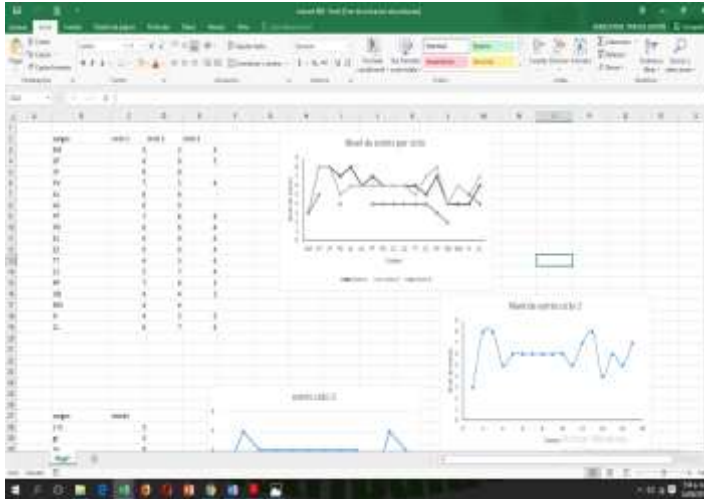
Fuente: autores.

De igual manera se compararon los niveles de estrés por cada ciclo (Fig. 6) y el ciclo con menores niveles de estrés fue el ciclo 3 ya que en este ciclo se tuvieron en cuenta las herramientas de Lean Six Sigma

### 6.4.2. Simulación proceso de producción de cilindros ciclo 3

En este ciclo la simulación del ciclo 3 logró producir un total de 58 cilindros, es decir, el 97% de la meta propuesta (60) de los cuales 55 fueron entregados a los clientes, 3 cilindros se terminaron completamente pero no fueron entregados a los clientes y 2 para completar los 60 de la meta quedaron en proceso (Tabla 7).

Gráfico 3. Niveles de estrés en cada uno de los ciclos



Fuente: autores.

Tabla 6. Resumen del ciclo 3

Fuente: autores.

A: conteo de los cilindros entregados y completos; B: total de cilindros entregados a los clientes; C: total cilindros entregados a tiempo a los clientes; D: órdenes a tiempo/ total de órdenes; E: Resumen control de calidad; F: Partes con defectos/ total cilindros producidos; G: tiempo medido por el equipo; H: cilindros enviados al cliente x 16; I: Contar. Fuente: autores.

## 6.5. PRODUCCIÓN AUTOMATIZADA DE CILINDROS

La producción automatizada se realizó con la maquina MPS sistema de producción modular (Fig. 7) la cual cuenta con un sistema de estaciones que representan los subprocesos más comunes de todo tipo de fabricación automatizada y asimismo trabaja con una programación por medio del programa CoDeSys, y herramientas de industria 4.0 tales como: SCADA, se emplea para realizar el software con el fin de controlar el proceso automatizado; gemelo digital, es la unión entre el hardware y el software y donde recibe información a través de sensores que se utilizan para evitar problemas antes de que se produzcan; la nube, es donde toda la información que recibe el gemelo digital se guarde; integración vertical, es la relación entre el proceso y la maquina; comunicación



M2M, permite la comunicación entre las 4 estaciones logrando así llevar a cabo la sincronización y programación.

Imagen 1. Maquina MPS sistema de producción modular



Fuente: autores.

La planta didáctica Mps cuenta con 4 estaciones **a)** Distribuidora, **b)** ensambladora, **c)** prensa con músculo neumático y **d)** clasificador y en cada una de esas estaciones se trabajó por equipos, sus resultados se disponen a continuación.

### 6.5.1. Estación de Distribución

Imagen 2. Estación de distribución



Fuente: (Festo, 2019)

La estación de distribución consiste en separar piezas. Hay hasta ocho piezas en el tubo del almacén de apilado. Un cilindro de doble efecto expulsa las piezas

individualmente. El módulo Cambiador sujeta la pieza separada por medio de una ventosa. El brazo del cambiador, que es accionado por un actuador giratorio, transporta la pieza al punto de transferencia de la estación posterior.

A la hora de realizar la simulación se presentaron problemas en el proceso de automatizado, no se tuvo en cuenta que la estación de distribución, no tenía sincronizado los tiempos del módulo cambiador con la siguiente estación, es decir, que faltaba un temporizador que evitara que el modulo estuviera en constante movimiento, lo cual generaba saturación de piezas en la siguiente estación, de igual forma esta estación no tenía implementado el sistema 513 Mw, el cual le permitía recibir información de la estación siguiente (ensambladora) para conocer su estado, y de este modo poder hacer entrega de las piezas en los momentos en los que se encontraba lista.

### 6.5.2. Estación de ensamblaje

Imagen 3. Estación de ensamble



Fuente (Festo, 2019)

La estación equipada con un módulo Pick and Place de dos ejes. Los cuerpos colocados en el transportador son detectados por un sensor de reflexión directa. La pieza es transportada al separador neumático en la cinta transportadora y detectada por un segundo sensor de reflexión directa. El módulo Pick and Place toma una pieza a insertar de la rampa y la coloca en el cuerpo. La pieza completa (cuerpo y pieza insertada) es liberada por un separador y transportada al final de la cinta transportadora. Una barrera de luz detecta la pieza al final de la cinta transportadora.

Esta estación también puede utilizarse para realizar las siguientes tareas:

- Rechazo de piezas (carcasa o cuerpo básico) en la rampa
- Alimentación alternativa de piezas (alojamientos o cuerpos) desde la rampa

Las deficiencias en la programación de la estación inicial, en el módulo cambiador, se tuvo que realizar el abastecimiento de las camisas de cilindro de forma manual para no afectar el flujo del proceso, puesto que el enviar varias piezas por el modulo cambiador generaba cuellos de botella ya que está no se encontraba sincronizada con la estación de ensamblaje.

### 6.5.3. Estación de prensa con músculo neumático

Imagen 4. Estación de Prensa con Músculo Neumático: Gran fuerza



Fuente (Festo, 2019)

La estación de Prensa con Músculo Neumático, inserta piezas en cuerpos. El actuador giratorio/lineal (dispositivo de transferencia) mueve la carcasa con el inserto bajo la prensa. El músculo neumático realiza la operación de prensado. La pieza acabada es a continuación transportada a la posición de transferencia utilizando el actuador giratorio/lineal. Un sensor de reflexión directa se fija al brazo del actuador para detectar la pieza. La presión de prensado es supervisada y visualizada por un sensor analógico de presión. La velocidad de prensado y la profundidad pueden ajustarse tanto manualmente – a través del regulador de flujo y el regulador de presión – o electrónicamente con el regulador de presión proporcional

#### 6.5.4. Estación de clasificación

Imagen 5. Estación de clasificación



Fuente: Festo 2019

La estación de Clasificación tiene el papel de clasificar las piezas en tres rampas. Las piezas situadas al principio del transportador son detectadas por un sensor de reflexión directa. Los sensores antes del tope detectan las características de la pieza (negra, roja, metálica). Los desviadores clasificadores, accionados por cilindros de carrera corta, permiten dirigir las piezas a las rampas adecuadas. Un sensor de retroreflexión detecta el nivel de llenado de las rampas.

Se realizó observación compuertas (EQ, NOT, AND, OR):

EQ:

I	Q
O	O
I	I

NOT:

lo	Q
O	I
I	0

AND:

lo	I1	Q
O	O	O
O	I	O
I	O	O
I	I	I

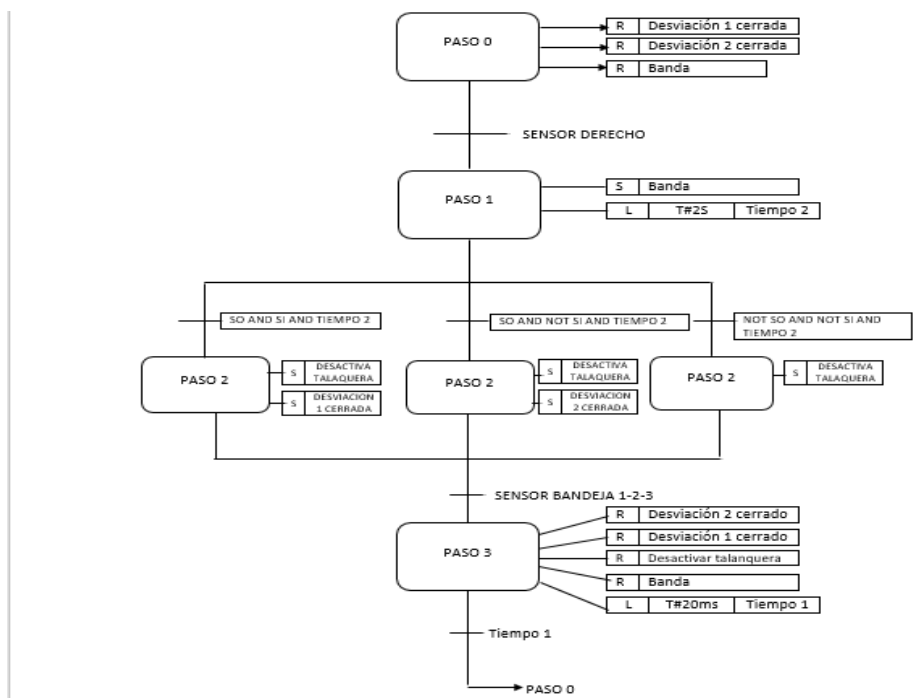
OR:

lo	I1	Q
O	O	O
O	I	I
I	O	I
I	I	I

Luego nos correspondió identificar todos los sensores que conformaban dicha estación (la clasificadora), para luego nombrarlos con sus correspondientes nombres, para así mismo irlos introduciendo al momento de programar.

Se hizo un diagrama de flujo (Fig. 12) para identificar todo el proceso y así facilitar la programación de la estación en CODESYS y así se inició la programación de la estación correspondiente mediante unas entradas y salidas; las principales salidas eran el START que tenía que estar abierta y el STOP que tenía que estar cerrado, y la salida ya era el cilindro finalizado.

Figura 7. Diagrama de flujo del proceso en la estación clasificadora

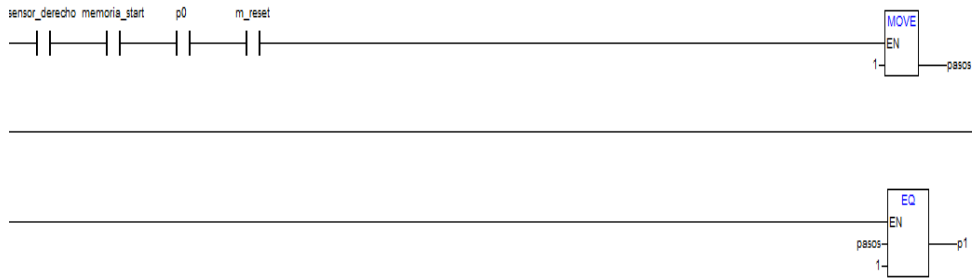


Fuente: autores.

Seguidamente trabajamos los temporizadores TON y TOF, que se utilizaron para tener en cuenta el tiempo que se debía esperar dependiendo lo que tardara la pieza en llegar de la estación anterior y así todo estuviera totalmente coordinado, de igual forma se manejó el TP para llevar un control de cuantos ciclos de realizaban en la producción.

Luego se agregó un MOVE para tener en cuenta el orden que llevaba el paso a paso y así no se fuera a confundir en el momento de clasificar el color de cada cilindro, cada vez que se terminaba un paso se debía agregar un EQ para delimitar que hay terminaba y debía seguir con el siguiente paso hasta terminar el proceso de la estación.

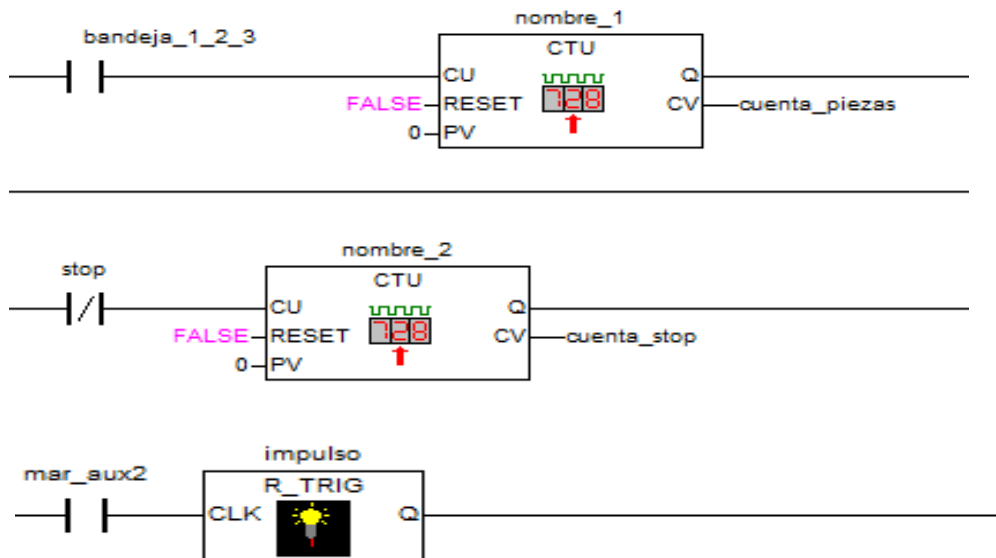
Figura 8. Clasificadora



Fuente: autores.

Se le agregó el CTU, que se utilizó para contar cuantas piezas entraban en la estación en el momento de la producción de cilindros neumáticos y cuantos stop hacia la estación durante el proceso. Adicional a este proceso se agregó un R\_TRIG con el fin de registrar el tiempo de cada ciclo realizado

Figura 9. Contador de piezas en la estación clasificadora



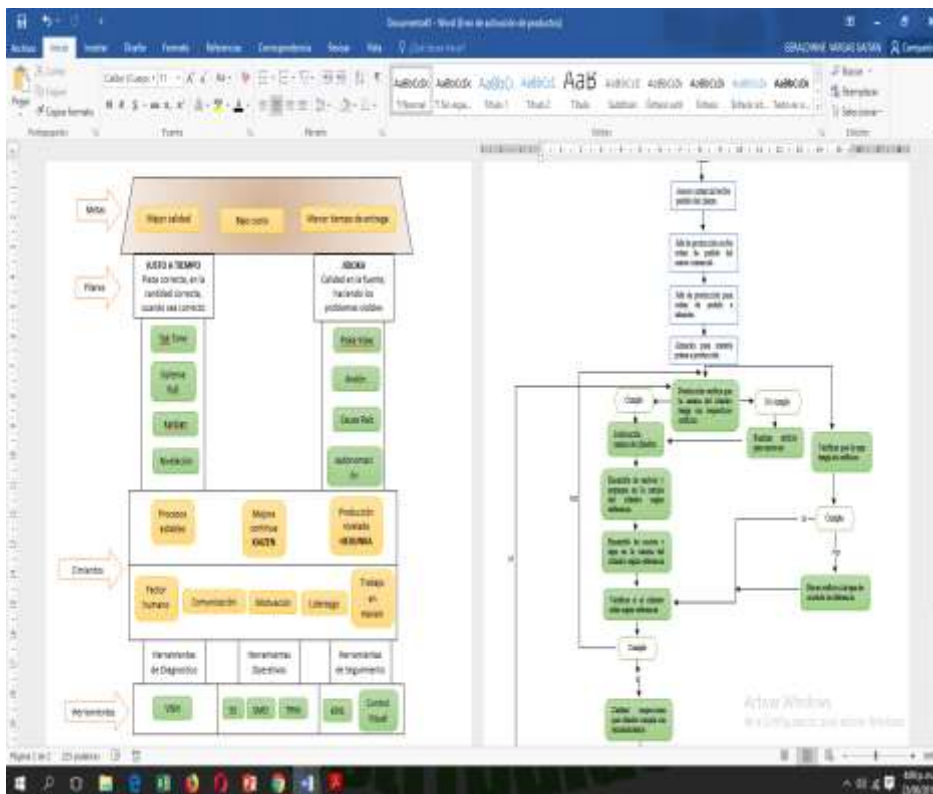
Fuente: autores.

Finalmente se logró obtener lo que se había propuesto, que era controlar la estación mediante el computador que enviaba las señales al PLC sin necesidad de que la persona estuviera manipulando la máquina; conllevando a obtener una fábrica de cilindros neumáticos con el sistema Lean Manufacturing 4.0.

## 6.6 APLICACIONES DE HERRAMIENTAS

Para llevar a cabalidad el ciclo 3 fue necesario implementar las herramientas de la casa Lean, de las cuales se destacan Justo a tiempo con la implementación de y Takt Time, 5'S, SMED Y JIDOKA, en la figura 4 se muestra como está distribuida Lean Six Sigma con sus bases, metas, herramientas.

Figura 10. Distribución de la casa Lean Six Sigma



Fuente: autores.

### 6.6.1. Takt Time

En el ciclo 3 se hizo un estudio del tiempo requerido para producir cada cilindro con la técnica Takt Time la cual se encuentra en el pilar de Justo a tiempo, todo esto buscando evitar el desperdicio de recursos, manteniendo un flujo de producción constante.

$$\text{TAKT TIME} = \frac{\text{Tiempo de producción}}{\text{Cantidad total requerida}}$$

$$\text{TAKT TIME} = \frac{(40 \text{ min} \times 60\text{s})}{60 \text{ cilindros}}$$

40 sg es el tiempo requerido para producir un cilindro

Teniendo en cuenta el tiempo registrado que toma producir un cilindro, se realizó un pronóstico de la capacidad de producción de la planta didáctica FESTO por hora, día y mes.

Tabla 7. Pronostico de producción planta didáctica FESTO

<b>Producción cilindro / hora</b>	<b>Producción cilindros/ día</b>	<b>Producción cilindros /mes</b>
105.88	2541.12	76233.6

Fuente: autores.

Según los datos registrados, se puede concluir que la maquina podría realizar los 60 cilindros que son la meta en las simulaciones manuales perfectamente, aplicando uno de los pilares más influyentes de la Casa Lean, Justo a tiempo; pieza correcta, cantidad correcta y tiempo correcto.

### 6.6.2. 5S

La aplicación de la herramienta 5's, buscaba optimizar los procesos por medio de la eliminación de todo desperdicio y/o procesos que no generara valor agregado al producto final, en la tabla 9 se expone lo que se realizó en cada etapa de la herramienta 5S.

Tabla 8. Aplicación de 5S en la producción

<b>SEIRI</b>	<b>SEITON</b>	<b>SEISO</b>	<b>SEIKETSU</b>	<b>SHITSUKE</b>
Establecer cantidad de cargos necesarios	Distribución de plata	Limpiar áreas de trabajo	Establecer cargos	Seguimiento y control de formatos
Fijar la cantidad de cilindros por referencia	Ordenar tiempo para producir cada cilindro	Quitar piezas u objetos innecesarias	Establecer cantidad de piezas necesarias por cada referencia	Seguimiento y control de cargos

Fuente: autores.



## 7. CONCLUSIONES

- Se aplicaron las herramientas de la casa lean para mejorar la eficacia del proceso productivo tales como: **5'S** que aplico una metodología de orden y planificación de las actividades, que ayudo a establecer una limpieza, clasificación, orden y estandarización, **SMED** en su caso se utilizó para la identificación de fallas que se presentaban en cada una de las zonas de trabajo, **TAKT TIME** fue empleado para calcular el tiempo que cada cilindro debería demorar en el ensamble para que de esta manera se pudiera cumplir con el tiempo establecido de producción, y **KANBAN** en donde se permitió crear un orden a cada uno de los procesos y generando la entrega justo a tiempo. Por otro lado, para mejorar la eficiencia del proceso productivo se emplearon herramientas como **VSM** el cual fue un mapa de flujo en el que se permitió establecer las rutas y tiempos de cada uno de las zonas de trabajo, **POKA YOKE** se utilizó para la disminución de los errores generados por los procesos productivos, y por ultimo **KAIZEN** generó que el empleado desde el rango más alto al más inferior, efectuará un cambio de hábitos de trabajo, generando eficiencia y disciplina.
- La programación se elaboró mediante el programa CODESYS V2.3 con un lenguaje ladder o de escalera, inicialmente se registró un sensor al que se le llamo banda con una variable de salida BOOL, que era el encargado de iniciar el transporte hasta los tres sensores de reconocimiento (rojo, negro y plata), cuyos sensores también se registraron como una variable de salida BOOL, seguidamente se instaló un temporizador de tipo TON que tardara 5 segundos que era el tiempo necesario para que el sensor registrara el tipo de color. Al momento que se activara el sensor correspondiente al color, se configuro una variable de salida BOOL para que desactivara la talanquera y automáticamente se tenía que activar la desviación respectiva al color necesario para que dejara seguir el cilindro a la bandeja correspondiente. En la mitad de la bandeja se registró otro sensor con variable de salida BOOL y se le instalo un temporizador de variable TON de 20 milisegundos, que a su vez este sensor se coordinó para que este proceso volviera a su punto inicial para esperar nuevamente un cilindro. Se le agrego un START para poder dar inicio al proceso de producción, un STOP para poder detenerlo en el momento necesario y un RESET para que todo volviera a su paso inicial. el START y el RESET fueron una variable de entrada abierta BOOL y el STOP fue una variable de entrada cerrada BOOL. Adicional a este proceso se agregó un R\_TRIG con el fin de registrar cada ciclo realizado, como también se agregó un CTU para llevar un control de cada pieza que entraba, y otro CTU para llevar un conteo de cada stop que se oprimiera.

- En el proceso de la programación automatizada se evidenciaron varias fallas en el módulo 4 con el start y el stop ya que son los que encendía y detenía el proceso este tenía un error de programación el modulo, sensor no identificaba los colores de cada pieza, la banda trasportadora no se detenía, el sensor no identificaba el tiempo de espera los cuales eran de 5 segundos y los ganchos no se activaban cuando las piezas de distintos colores pasaban. Y en la simulación el error que se tuvo fue que el PLC se desconectaba y no llevaba la señal de inicio y de pare, darle solución a la problemática se realizó más de 10 veces el ensayo y error hasta que se consiguió que todo funcionara correctamente.

## **8. RECOMENDACIONES**

- Es de gran importancia que antes de implementar el sistema de Lean manufacturing en las empresas se capacite el personal que va a trabajar en la planta
- Se debe implementar las herramientas de Lean para lograr establecer los errores que tiene la empresa o el área de trabajo que se va a diagnosticar para así ver los avances en cada ciclo
- Se recomienda realizar análisis constantes de los datos de los informes de control para enfocarse en los nuevos desperdicios de las áreas.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACEVEDO J; URQUIAGA, A. & Gómez, M. 2001. "Gestión de la Cadena de suministro. Centro de estudio de Tecnología de Avanzada (CETA) y Laboratorio de Logística y Gestión de la Producción (Logespro)". Ciudad Habana.
- BAHENA, M. & REYEZ, P. 2006. Curso de Seis Sigma. Recuperado el 16 de agosto del 2019. Disponible en: <https://www.icicm.com/files/CursoSeisSigma.pdf>
- BOGOTÁ, A. D. .2010. LEY 590 DEL 2000. Recuperado el 21 de agosto del 2019. Disponible en:  
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=12672>
- BUESTÁN, M. 2013. Aplicación de la metodología Seis Sigma para reducir la pérdida de café al granel en una planta de envasado. LACCEI. August 14-16. Cancún - México.
- CEPRIT. 2016. Control de Riesgos: Programa "5 S" de Orden y Limpieza. Recuperado el: 18 de agosto del 2019. Disponible en:  
[http://www.essalud.gob.pe/downloads/ceprit/SETIEMBRE\\_2016\\_CEPRIT.pdf](http://www.essalud.gob.pe/downloads/ceprit/SETIEMBRE_2016_CEPRIT.pdf)
- FERNÁNDEZ-RÍOS, M. Y SÁNCHEZ, J., (1997) Eficacia Organizacional. Madrid.
- FESTO. 2019. <https://www.festo-didactic.com/es-es/productos/mps-sistema-de-produccion-modular/estaciones/estacion-de-clasificacion-final.htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjE4LjYwNi4zOTQ4>
- GONZALEZ, J. 2002. Justo a Tiempo (JIT). Recuperado el 18 de agosto del 2019. Disponible en: [http://www.ub.edu/gidea/recursos/casseat/JIT\\_concepte\\_carac.pdf](http://www.ub.edu/gidea/recursos/casseat/JIT_concepte_carac.pdf)
- HERNÁNDEZ, M. & RODRÍGUEZ, R. 2001. Eficiencia, eficacia y productividad. Recuperado el 20 de agosto del 2019. Disponible en:  
<http://www.aulafacil.com/cursos/l19655/empresa/administracion/administracion-deempresas/eficiencia-eficacia-y-productividad>
- HERNÁNDEZ, J & VIZÁN, A. 2013. Lean manufacturing, conceptos, técnicas e implantación. Recuperado el: 15 de agosto del 2019. disponible en:  
<http://www.eoi.es/savia/documento/eoi80094/lean-manufacturing-conceptotecnicas-e-implantacion>
- INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial). 2012. Desperdicios en la producción. Recuperado el 20 de agosto del 2019. Disponible en:  
<http://www.uic.org.ar/Archivos/Revista/File/Desperdicios%20de%20la%20produccion%20C3%B3n-%20Ef.%20Em..pdf>

MALDONADO, G. 2014. "Herramientas y Técnicas Lean Manufacturing en sistemas de producción y calidad". Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Recuperado el 17 de agosto del 2019. Disponible en: [http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria\\_industrial/manufacturaesbelta/default.asp](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/manufacturaesbelta/default.asp)

PRESA, S. 2015. Aplicación de la metodología Lean Six Sigma en la mejora continua de procesos: Un estudio de caso. Recuperado el 18 de agosto del 2019. Disponible en: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/leansixsigma%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/leansixsigma%20(1).pdf)

RAJADELL, M & SÁNCHEZ, JL. 2010. LEAN MANUFACTURING La evidencia de una necesidad. Recuperado el 20 de agosto del 2019. Disponible en: <https://www.editdiazdesantos.com/wwwdat/pdf/9788479789671.pdf>

SANABRIA, P; ROMERO, V. & FLÓREZ, C. 2014. El concepto de calidad en las organizaciones: una aproximación desde la complejidad. Universidad & Empresa, 16(26), 157-205pp

SUÁREZ-BARRAZA, m. & miguel-DÁVILA, J. 2011. implementación del Kaizen en México: un estudio exploratorio de una aproximación gerencial japonesa en el contexto latinoamericano. INNOVAR, 21(41), 19-37.

WOMACK, J.P. & JONES, D.T. 1996. Lean Thinking. Banish waste and create wealth in your corporation, London, UK, Touchstone book.

YNZUNZA-CORTÉS, C; Izar-Landeta, J; Bocarando-Chacón, J; Aguilar-Pereyra, F., & Larios-Osorio, M. 2017. El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras. Conciencia Tecnológica, (54)