

# ***Diseño de Optimización y Balanceo en la Línea de Producción***

*Ashley M. de León Reyes*  
*Maestría en Ingeniería de Manufactura*  
*Carlos González, PhD*  
*Departamento de Ingeniería Industrial*  
*Universidad Politécnica de Puerto Rico*

---

**Resumen** – En la producción de dispositivos médicos, uno de los procesos utilizados es el moldeo por inyección, que consiste en calentar y fundir resinas sintéticas en un molde para luego enfriarlas. De esta forma se obtiene el producto diseñado. Una compañía está encargada de desarrollar e implementar todo el proceso de la línea de producción para un producto nuevo. Los problemas principales que enfrenta tal proyecto es la implementación de un nuevo equipo para el ensamblaje del algodón y empaque de los productos terminados X y Z, lo cual estaría modificando los tiempos estándares. Se desea actualizar los estudios de tiempo con los equipos actuales, identificar mejoras, obtener la cantidad óptima de empleados y calcular los costos por unidad. Para la realización de este proyecto se utilizó el método “Lean Manufacturing” y DMAIC, obteniendo como resultado una línea de producción óptima, cumpliendo con las demandas y trayendo el impacto económico más conveniente.

**Palabras Claves** – *Diseño físico del proceso, Dispositivo médico, Lean, Moldeo por inyección.*

## **INTRODUCCIÓN**

Una empresa dedicada a la manufactura de moldeo por inyección para dispositivos médicos y productos para la industria electrónica ha estado trabajando con la implementación de manufacturar, de principio a fin, el primer dispositivo médico en sus instalaciones. Este dispositivo médico es un producto único y nuevo en la empresa, cuya línea de producción aún no ha sido implementada.

Se tiene como objetivo el reevaluar la línea de producción propuesta para establecer estudios nuevos de tiempo determinando si es óptima para utilizar. Esto ayudará a distribuir mejor los

elementos de cada tarea en la operación y así buscar áreas de oportunidad para el mejoramiento del proceso, tomando en consideración todas las limitaciones (no tener una línea de producción presente; muchas de las máquinas están en mantenimiento, entre otras limitaciones).

La importancia de este proyecto para con la compañía es poder proveer cambios drásticos que mejoren en su mayoría todos los procesos en la línea de producción y su actividad con la meta de obtener un producto óptimo que cumpla con todas las especificaciones y funciones de una línea de producción con las menos áreas de oportunidad posibles, dando como resultado para la compañía la mayor cantidad de beneficios, tanto económicamente como de calidad.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La compañía está implementando nueva maquinaria para el proceso de producción y empaque de los productos X y Z, lo cual estaría cambiando o modificando completamente los tiempos estándares de cada una de las tareas. El enfoque principal a base de dicho proceso es poder acoplar a la línea de producción en desarrollo estos nuevos tiempos, a su vez cumpliendo con las demandas pautadas por mes, resultando en una mejora total, más eficiente y rápida que la línea de producción planteada antes de comenzar el proyecto.

En el desarrollo del proyecto a través de estos meses, se encontraron ciertos problemas y limitaciones que afectaron directamente la resolución del problema principal. Tales como:

- No tener una línea de producción “física”.
- El molde principal encargado de producir la pieza base (X) está siendo arreglado por profesionales en California, ya que estaba

ocasionando problemas a la hora de producir las piezas (se quedaban atoradas).

- Dado que la máquina de "fixture" depende directamente de la pieza X, ésta se encuentra en espera de que el molde sea arreglado, para entonces ser adaptada a las nuevas especificaciones del molde.
- Limitaciones de espacio para el despliegue de las estaciones de trabajo.

### **Objetivos**

1. Desarrollar un tiempo estándar óptimo para el cumplimiento de las metas estipuladas para la línea de producción.
2. Utilizar las proyecciones de demanda esperada por cada año para así tener un inventario y plan de trabajo eficiente para no menos de los próximos 12 meses.
3. Estimar cómo las mejoras y cambios propuestos pueden agilizar y optimizar la eficiencia y productividad.
4. Estimar la cantidad de empleados necesarios para el proceso, acorde con la cantidad de demanda.
5. Calcular el costo por unidad de cada producto por separado (X, Z) y proponer avances de cómo reducir el mismo sin afectar su rendimiento.

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

La compañía está implementando maquinaria nueva para el ensamblaje del algodón y empaque de los productos terminados X y Z, lo cual estaría modificando los tiempos estándares. El ensamblaje del algodón consiste en dos pasos: colocar el algodón en la pieza y ajustarlo hasta el primer fijador y aplicar mayor fuerza para que el algodón quede asegurado en el segundo fijador. Lo que va a estar haciendo la nueva máquina es ejercer la fuerza para asegurar el algodón en el segundo fijador. Al igual que el molde, esta máquina puede trabajar con dos piezas al mismo tiempo. En el caso del empaque, se adquirió una máquina de "pouching", que agiliza la tarea de empaquetar el producto final en

una bolsa plástica. Por estas razones, la compañía desea actualizar los estudios de tiempo con los equipos actuales. Estos estudios ayudarán a tomar decisiones como las cantidades de empleados necesarios, mejoras en el despliegue del área de trabajo y saber si la compañía va a ser capaz de cumplir con el incremento en demanda en años venideros.

En la línea de producción propuesta, la mayor parte del proceso de los productos es realizado en un cuarto limpio. En este cuarto, primero se fabrica la pieza base (SX) con la utilización de un molde con dos cavidades. Luego, se pasan a las dos mesas de ensamblajes donde solo se trabaja con un tipo de producto (X o Z). En estas mesas solo se aprieta el algodón hasta el primer fijador para que se mantenga en su lugar. En la tercera estación se utiliza la máquina de ensamblaje para ejercer la fuerza necesaria para ajustar el algodón en el segundo fijador. En la cuarta y última estación es donde se utiliza la máquina de "pouching" para empaquetar el producto en bolsas plásticas. Se utiliza un carrito de cargas para transportar los productos terminados al siguiente cuarto. En este cuarto se encuentran las estaciones de empaque, impreso de número de lote, fecha de vencimiento y almacenamiento. La estación de almacén se divide en dos, pero solo se puede almacenar un tipo de producto a la vez (X o Z).

### **METODOLOGÍA**

En la definición de objetivos se utilizará la metodología SMART. Esta metodología se basa en explicar las características básicas de los objetivos en donde sean específicos (Specific), medibles (Measurable), alcanzables (Achievable), realistas (Realistic) y con un tiempo definido (Time-bound).

La segunda metodología utilizada a través de todo el proyecto es DMAIC. Esta metodología consiste en desarrollar cualquier proyecto utilizando 5 pasos: definir (Define), medir (Measure), analizar (Analyze), mejorar (Improve) y controlar (Control).



Figura 1

#### Metodología DMAIC

Se detalla cada objetivo y cómo es que cumple con cada uno de los términos dentro de la metodología SMART.

#### Primer Objetivo

**Específico:** Desarrollar un tiempo estándar óptimo para el cumplimiento de las metas estipuladas para la línea de producción.

**Medible:** Con la utilización intensiva de diferentes métodos de medición de tiempo, obtener detalladamente los tiempos de cada tarea, desarrollar un factor de nivelación y otorgar las compensaciones necesarias con la finalidad de comparar el tiempo estándar obtenido con el tiempo que originalmente tomaba el proceso, cumplir con los requerimientos y más aún cumplir la meta.

**Alcanzable:** Lo necesario para poder desarrollar un tiempo estándar, es el uso correcto de cada una de las herramientas necesarias para el mismo. La motivación para esta meta es la cantidad de beneficios tanto propia como para la compañía, ya que se logra mejorar y optimizar la línea de producción de dicho producto.

**Realista:** La meta para una línea de producción de cualquier producto debe ser mejorar la misma, para producir más en el menos tiempo posible, lo cual proporciona mayor ganancia.

**Tiempo Definido:** Basada en las proyecciones, se puede calcular este tiempo estándar óptimo que cumpla con las metas estipuladas, ya que es un dato importante para el resto de los objetivos; y esta meta se cumpliría en aproximadamente un mes.

#### Segundo Objetivo

**Específico:** Utilizar las proyecciones de demanda esperada por cada año, para así tener un inventario y plan de trabajo eficiente para no menos de los próximos 12 meses.

**Medible:** Comparando los estimados de demandas con los valores reales que dieron ese año.

**Alcanzable:** Lo necesario para tener un inventario y plan de trabajo que cumpla con la demanda es poder, con tiempo, producir más de la que se necesita en el momento. Para esto se utilizan las proyecciones en comparación con números reales a través del tiempo. La motivación para tal meta es no tener que preocuparse por cumplir con prisa con alguna fecha límite porque ya de antemano se tiene más de la cantidad que se necesita.

**Realista:** La importancia del cumplimiento de dicha meta es poder planificar de antemano un sistema ágil de producción donde las preocupaciones o complicaciones que no se pueden controlar se vean minimizadas y que no afecten directamente la trayectoria del proyecto.

**Tiempo Definido:** Con las proyecciones estimadas por año se puede calcular la demanda y así tener un estimado de inventario. De darse el caso de que la demanda aumente, se pueden realizar proyecciones nuevas. Esta meta puede cumplirse en un mes aproximadamente.

#### Tercer Objetivo

**Específico:** Estimar cómo las mejoras y cambios propuestos pueden agilizar y optimizar la eficiencia, productividad y ganancias de la compañía.

**Medible:** Comparar la eficiencia, productividad y ganancias de la compañía con los datos históricos antes de los cambios, luego de las mejoras.

**Alcanzable:** La motivación de esta meta se debe a que, si estos aumentan, se estará creando un producto costo efectivo de alta calidad.

**Realista:** La meta para una compañía debe ser generar la mayor ganancia posible, de la manera más efectiva posible, minimizando los costos, pero lo más importante es crear un producto de calidad (que esté sujeto a mejoras constantes).

**Tiempo Definido:** Una vez realizados los cambios se puede comparar la productividad y ganancias de la compañía con el diseño anterior y medir la efectividad de estos cambios; esta meta podría cumplirse en aproximadamente dos meses.

#### **Cuarto Objetivo**

**Específico:** Estimar la cantidad de empleados necesarios para el proceso, acorde con la cantidad de demanda.

**Medible:** Encontrar la cantidad ideal de empleados al usar los estudios de tiempo. Luego, se inspecciona el proceso para identificar si los empleados se están quedando ociosos o apurados. Esto indicará si la cantidad identificada fue la correcta.

**Alcanzable:** Estimar la cantidad necesaria de empleados usando los conocimientos de estudios de tiempo. La motivación de esta meta se debe a que no se quiere que ocurra tener una alta demanda y no lograr cumplir con ella por falta de empleados. Además, si se tiene más empleados de los necesarios se estaría incurriendo en gastos innecesarios, dado que muchos de ellos estarían ociosos.

**Realista:** Determinar ese número óptimo de empleados. No se debe tener menos de la cantidad necesaria de empleados, porque esto ocasiona más trabajo para menos trabajadores disponibles. Así mismo tampoco se debe tener más empleados de lo necesario porque esto resultaría en más trabajadores ociosos, lo cual no es costo efectivo.

**Tiempo Definido:** Determinar el tiempo donde se necesite contratar empleados. Para esta meta la fecha límite dependerá de la demanda estipulada para cada mes. Considerando que en un mes la demanda podría aumentar, es probable que se necesite contratar más personal. Las proyecciones a cinco años permiten estimar la cantidad de empleados necesarios cada año.

#### **Quinto Objetivo**

**Específico:** Calcular el costo por unidad de cada producto por separado (X y Z) y proponer avances

de cómo reducir el mismo sin afectar su rendimiento.

**Medible:** Comparar el costo de los productos y la calidad antes de los cambios con los costos y calidad después de implementarlos.

**Alcanzable:** Tomando en cuenta las reducciones de tiempo, las horas hombre dedicadas a una unidad reducirán el costo manteniendo la calidad y rendimiento. El propósito de reducir el costo del producto es ofrecer al cliente un mejor servicio, además de que para la compañía representa más productividad y optimización de los recursos.

**Realista:** Reducir los costos es beneficioso para la compañía. Reducir el tiempo disminuye el costo por unidad e igualmente aumenta la producción y de esta manera, se aumenta la ganancia. Cabe mencionar que la calidad y rendimiento del producto no se verá afectado por la reducción del tiempo o por la automatización del proceso.

**Tiempo Definido:** Esta reducción de costos se espera implementarla antes de comenzar la producción del producto, y luego de hacer algunos estudios. Se estima unos dos meses para cumplir esta meta.

### **PROCEDIMIENTO**

El procedimiento utilizado será explicado para cada uno de los objetivos.

#### **Primer Objetivo**

Esta meta se cumplió utilizando el método de MOST, ya que no se tuvo el privilegio de trabajar con una línea de producción física. La alternativa del método MOST ayudó a sobrepasar dicha limitación, ya que esta toma en consideración el estudio de los movimientos de cada tarea. Estos pueden ser observados a través de videos, proveyendo tiempos normales, que, en conjunto con las compensaciones provistas por la compañía, calculan el tiempo estándar de la línea de producción.

#### **Segundo Objetivo**

A base de las proyecciones y tiempo disponible, se logró calcular un plan de trabajo, que

surge principalmente del *takt time*, donde se determinó por día la cantidad de empleados que se encargaría de cumplir con la producción, según demandada. Para esto se calculó la cantidad de turnos necesarios para cada empleado, principalmente para determinar la distribución óptima de trabajo.

### Tercer Objetivo

Las áreas de oportunidad identificadas y las mejoras sugeridas desarrolladas a través del cumplimiento de los otros objetivos, dio como resultado el cálculo óptimo de la eficiencia y productividad para diferentes meses en la trayectoria de años. Para la eficiencia se utilizó el programa “Flexible Line Balancing V3”, proveyendo la eficiencia para los diferentes meses donde se decidió balancear. La productividad, por su parte, se calculó con la división entre la producción y los recursos utilizados para obtener la misma, lo que dio un resultado positivo.

### Cuarto Objetivo

Para el cumplimiento de este objetivo, se utilizó los tiempos estándares calculados anteriormente para cada tarea: el supervisor (variación de cantidad de turnos) y las proyecciones de demanda se calculó el *takt time*. Con el *takt time*, la descripción detallada de las tareas, y con la identificación de las tareas de precedencia, se logró desarrollar un balanceo con el programa “Flexible Line Balancing V3”, obteniendo como resultado el número de estaciones óptimo para cumplir con la producción que se desea. Luego, se dividieron las tareas en dos fases: ensamblaje y empaque.

### Quinto Objetivo

Se cumplió con esta meta tomando los costos que proveyó la compañía (labor, *overhead*, materiales, etc.) y en conjunto con el balanceo de línea, se logró determinar el costo para producir una caja.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados utilizando la metodología DMAIC, en donde se desea implementar los conceptos de “Lean Manufacturing”, se muestran a continuación.

### Definir

Los objetivos principales que se estipularon para completar a través de este proyecto fueron: desarrollar tiempos estándares de la línea de producción, realizar un plan de trabajo para los primeros 12 meses, identificar mejoras y cambios en el proceso del proyecto, calcular cantidad óptima de empleados y calcular costos por unidad a través de cómo se optimiza la producción.

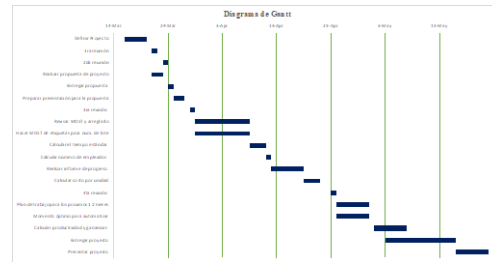


Figura 2

Diagrama de Gantt para la Asignación de Tareas y Tiempo

Los pasos para seguir en el proceso de manufactura que se desea implementar y mejorar para ambos productos están contemplados en la Figura 3.

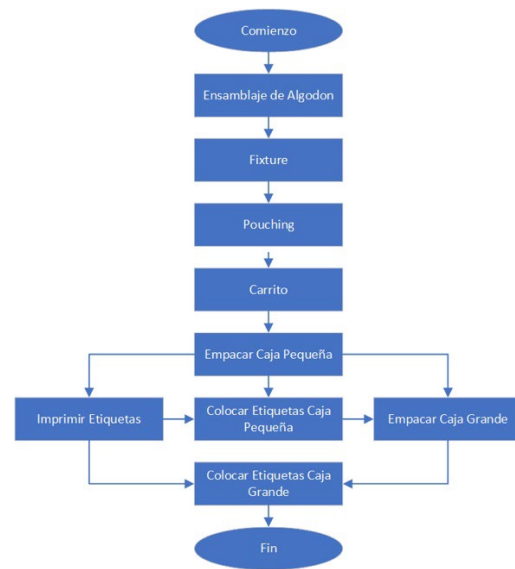
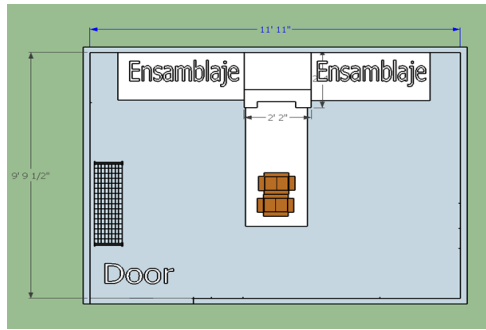


Figura 3

Diagrama del Flujo para el Proceso de Manufactura



**Figura 4**  
Diseño Original de la Línea de Ensamblaje

### Medir

Se utilizó la herramienta llamada MOST para considerar y calcular cada uno de los tiempos, ya que el proceso no está implementado físicamente. Al final de medir cada uno de los pasos con la herramienta, se calcularon los tiempos normales y estándares de cada tarea para continuar con los análisis.

| BasicMOST® Analysis   |   | Date  | Analyst | Page    |        |         |           |
|---|---|---|---------|---------|--------|---------|-----------|
| TASK DESCRIPTION: Ensamblaje de la Caja <td></td> <td>af</td> <td></td> |   |   | af      |         |        |         |           |
| STEP NO.  | METHOD STEP DESCRIPTION                             | SEQUENCE MODEL  | #F      | JR      | SIMOTO | TMU     | Sec.      |
| 1   | Agarrar el producto y lo inserta en la caja         | A 1 B 0 G 1 A 1 B 0 P 1 A 0<br>A B G M X I A<br>A B G A B P A | 1       | 1       | 20     | 800     | 28.8      |
| 2   | Agarrar el segundo producto y lo inserta en la caja | A 1 B 0 G 1 A 1 B 0 P 1 A 0<br>A B G M X I A<br>A B G A B P A | 1       | 1       | 20     | 800     | 28.8      |
| 3   | Poner caja a un lado                                | A 0 B 0 G 0 A 1 B 0 P 1 A 0<br>A B G M X I A<br>A B G A B P A | 1       | 1       | 20     | 400     | 14.4      |
| TOTAL TIME:   |   | 0.02 Hours  | 1.38    | Minutes | 72     | Seconds | TMU: 2000 |
| Standard time:  |   | 0.023000  |         |         |        |         | 82.80     |

**Figura 5**  
Ejemplo del Análisis MOST Utilizado en las Distintas Micro tareas Dentro de Cada Paso del Proceso

### Analizar

Una vez que se obtuvieron todos los tiempos normales de los pasos dentro del procedimiento, se procedió a calcular los tiempos estándares para cada paso o tarea de la línea de producción.

| Orden de tareas | Descripción                  | Tiempo estándar(seg) | Tiempo en minutos |
|-----------------|------------------------------|----------------------|-------------------|
| 1               | Ensamblaje de algodón        | 1250.48              | 20.84133333       |
| 2               | Fixture                      | 548.96               | 9.14933333        |
| 3               | Pouching                     | 534.21               | 8.9035            |
| 4               | Carrito                      | 87.48                | 1.458             |
| 5               | Caja Pequeña                 | 190.024              | 3.16706667        |
| 6               | Caja Grande                  | 30.22                | 0.50366667        |
| 7               | Imprimir etiqueta            | 9.11                 | 0.15183333        |
| 8               | colocar etiqueta caja peq    | 79.488               | 1.3248            |
| 9               | colocar etiqueta caja grande | 6.624                | 0.1104            |
|                 | Total                        | 2736.596             | 45.60933333       |

**Figura 6**  
Tiempos Estándares para la Producción De Producto X

| Descripción                     | Tiempo e standars (seg) | Tiempo en minutos |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------|
| 1 Ensamblaje de algodón         | 1162.48                 | 19.37466667       |
| 2 Fixture                       | 457.88                  | 7.63133333        |
| 3 Pouching                      | 446.21                  | 7.43683333        |
| 4 Carrito                       | 87.48                   | 1.458             |
| 5 empacar caja pequeña          | 248.4                   | 4.14              |
| 6 imprimir etiquetas            | 9.11                    | 0.15183333        |
| 7 colocar etiqueta caja pequeña | 132.48                  | 2.208             |
| 8 empacar caja grande           | 39.33                   | 0.6555            |
| 9 colocar etiqueta caja grande  | 6.63                    | 0.1105            |
| Tiempo total                    | 2590                    | 43.16666667       |

**Figura 7**  
Tiempos Estándares para la Producción del Producto Z

Dado a que el tiempo más largo lo obtuvo el producto X, este proceso será utilizado para inferir sobre el otro producto, ya que son los mismos pasos. En un principio se proyectó la proyección de las ventas por caja por mes para 5 años subsiguientes. Utilizando esas proyecciones y el tiempo estándar total del procedimiento calculado anteriormente, se procedió a calcular la cantidad de empleados, cantidad de turnos, la cantidad de empleados por turnos y la cantidad total de empleados. Este cálculo es esencial para conocer qué se debe implementar para mejorar el proceso y cuánto sería el costo total vs ganancia.

| AÑO 1  |        |          |             |        |                 |                    |
|--------|--------|----------|-------------|--------|-----------------|--------------------|
| Mes    | Piezas | Cajas    | Dias/Semana | Turnos | Empleados/turno | Total de Empleados |
| 1      | X y Z  | 40.00    | 1           | 1      | 1               | 1                  |
| 2      | X y Z  | 55.00    | 2           | 1      | 1               | 1                  |
| 3      | X y Z  | 70.00    | 2           | 1      | 1               | 1                  |
| 4      | X y Z  | 85.00    | 2           | 1      | 1               | 1                  |
| 5      | X y Z  | 100.00   | 3           | 1      | 1               | 1                  |
| 6      | X y Z  | 115.00   | 3           | 1      | 1               | 1                  |
| 7      | X y Z  | 145.00   | 5           | 3      | 2               | 6                  |
| 8      | X y Z  | 912.00   | 5           | 3      | 2               | 6                  |
| 9      | X y Z  | 1,079.00 | 5           | 3      | 2               | 6                  |
| 10     | X y Z  | 1,246.00 | 5           | 3      | 2               | 6                  |
| 11     | X y Z  | 1,413.00 | 5           | 3      | 2               | 6                  |
| 12     | X y Z  | 1,580.00 | 7           | 3      | 2               | 6                  |
| Total: |        | 7,440.00 |             |        |                 |                    |

| AÑO 2 |        |       |             |        |                 |                    |
|-------|--------|-------|-------------|--------|-----------------|--------------------|
| Mes   | Piezas | Cajas | Dias/Semana | Turnos | Empleados/turno | Total de Empleados |
| 1     | X y Z  | 39831 | 7           | 3      | 5               | 15                 |

| AÑO 3 |        |            |             |        |                 |                    |
|-------|--------|------------|-------------|--------|-----------------|--------------------|
| Mes   | Piezas | Cajas      | Dias/Semana | Turnos | Empleados/turno | Total de Empleados |
| 1     | X y Z  | 102,375.00 | 7           | 3      | 5               | 15                 |

**Figura 8**  
Etímados de empleados a trabajar por turno y por año

En cuanto a la demanda proyectada, se asume que para el segundo año se debe aumentar la cantidad de operadores y que haya dos personas ensamblando.

| Orden de tarea | Tareas                        | Tiempo estandar (seg) | Tiempo en minutos |
|----------------|-------------------------------|-----------------------|-------------------|
| 1              | Ensamblaje del algodón        | 581.24                | 9.68733333        |
| 2              | Ensamblaje del algodón        | 581.24                | 9.68733333        |
| 3              | Fixture                       | 457.88                | 7.63133333        |
| 4              | Pouching                      | 446.21                | 7.43683333        |
| 5              | Carrito                       | 87.48                 | 1.458             |
| 6              | Empacar caja pequeña          | 248.4                 | 4.14              |
| 7              | Imprimir etiquetas            | 9.11                  | 0.15183333        |
| 8              | Colocar etiqueta caja pequeña | 132.48                | 2.208             |
| 9              | Empacar caja grande           | 39.33                 | 0.6555            |
| 10             | Colocar etiqueta caja grande  | 6.63                  | 0.1105            |
|                | Tiempo total                  | 2590                  | 43.16666667       |

**Figura 9**  
Tiempos Estándares de Cada Tarea (2<sup>do</sup> año)

En el tercer año se espera que haya un incremento en la demanda, al punto de duplicar la línea de producción.

| Orden de tarea | Tareas                        | Tiempo estándar | Tiempo en minutos |
|----------------|-------------------------------|-----------------|-------------------|
| 1              | Ensamblaje del algodón        | 581.24          | 9.687333333       |
| 2              | Enmblaje del algodón          | 581.24          | 9.687333333       |
| 3              | Fixture                       | 457.88          | 3.815666667       |
| 4              | Fixture                       | 457.88          | 3.815666667       |
| 5              | Pouching                      | 446.21          | 3.718416667       |
| 6              | Pouching                      | 446.21          | 3.718416667       |
| 7              | Carrito                       | 87.48           | 0.729             |
| 8              | Carrito                       | 87.48           | 0.729             |
| 9              | Empacar caja pequeña          | 248.4           | 2.07              |
| 10             | Empacar caja pequeña          | 248.4           | 2.07              |
| 11             | Imprimir etiquetas            | 9.11            | 0.075916667       |
| 12             | Imprimir etiquetas            | 9.11            | 0.075916667       |
| 13             | Colocar etiqueta caja pequeña | 132.48          | 1.104             |
| 14             | Colocar etiqueta caja pequeña | 132.48          | 1.104             |
| 15             | Empacar caja grande           | 39.33           | 0.32775           |
| 16             | Empacar caja grande           | 39.33           | 0.32775           |
| 17             | Colocar etiqueta caja grande  | 6.63            | 0.05525           |
| 18             | Colocar etiqueta caja grande  | 6.63            | 0.05525           |
|                | Tiempo total                  | 4017.52         | 43.16666667       |

Figura 10

**Tiempos Estándares de Cada Tarea (3<sup>er</sup> año)**

A partir del cuarto año no será posible cumplir con las proyecciones estipuladas, ya que vendría siendo demasiada cantidad. Por lo tanto, se determinó que el momento óptimo para implementar nueva maquinaria o automatizar el proceso debería ser a partir del cuarto año con la alternativa de que en el tercer año se pueda duplicar la línea de producción.

**Mejorar**

Se implementó las máquinas de *Fixture* y *Pouching* teniendo una reducción en el tiempo, y con los balanceos de línea, se optimizó el tiempo de labor por las tareas a realizar.

Se hicieron modificaciones en el despliegue de trabajo y se contempló la utilización de dos cuartos por separado, ya que el cartón no puede estar en el cuarto limpio.

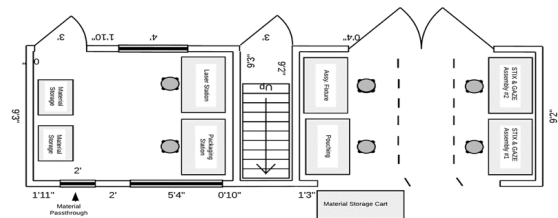


Figura 11

**Diseño Recomendado para Mejorar la Eficiencia del Proceso y Mantener la Calidad del Producto**

Luego de obtener los tiempos estándares, se procedió a balancear y a su vez conocer cuánto sería el *takt time* de la línea de producción.

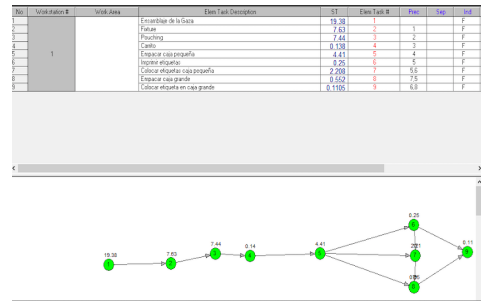


Figura 12

**Ejemplo del Análisis Realizado para el Balanceo de la Línea de Producción**

A continuación, cada análisis estará dividido por año:

**Primer Año**

Dada la demanda esperada para el sexto mes para el primer año, se logró realizar el balanceo de línea de producción, resultando este en sola una estación, donde solo trabajará un empleado por turno con una eficiencia de 100%.



Figura 13

**Balanceo de la Línea de Producción Junto con su Takt Time Primer Año**

Se repitió el proceso para conocer el *takt time* con las proyecciones dadas de la demanda de los productos.

| Número del mes    | Año 1 | cajas/día | Takt time |
|-------------------|-------|-----------|-----------|
| 1                 |       | 40.00     | 10.00     |
| 2                 |       | 55.00     | 6.88      |
| 3                 |       | 70.00     | 8.75      |
| 4                 |       | 85.00     | 10.63     |
| 5                 |       | 100.00    | 8.33      |
| 6                 |       | 115.00    | 9.58      |
| 7                 |       | 745.00    | 12.42     |
| 8                 |       | 912.00    | 15.20     |
| 9                 |       | 1,079.00  | 17.98     |
| 10                |       | 1,246.00  | 20.77     |
| 11                |       | 1,413.00  | 23.55     |
| 12                |       | 1,580.00  | 18.81     |
| Total de unidades |       | 7,440.00  |           |

Figura 14

**Demanda en Cajas para el Primer Año junto con su Takt Time**

### Segundo Año

Ya para el mes 12, el balanceo de línea de producción cambió, resultando este en la implementación de un segundo empleado por turno con una eficiencia de 90.6%.

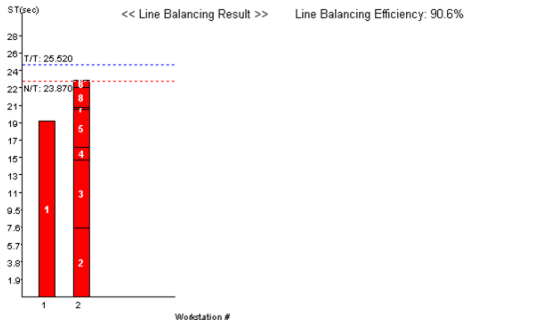


Figura 15

Balanceo de la Línea de Producción Junto con su Takt Time para el Segundo Año

| Mes                      | Año 2            | cajas/día     | takt time    |
|--------------------------|------------------|---------------|--------------|
| 1                        | 2,177.00         | 70.23         | 20.51        |
| 2                        | 2,369.00         | 84.61         | 17.02        |
| 3                        | 2,561.00         | 82.61         | 17.43        |
| 4                        | 2,753.00         | 91.77         | 15.69        |
| 5                        | 2,945.00         | 95.00         | 15.16        |
| 6                        | 3,137.00         | 104.57        | 13.77        |
| 7                        | 3,489.00         | 112.55        | 12.79        |
| 8                        | 3,686.00         | 118.90        | 12.11        |
| 9                        | 3,883.00         | 129.43        | 11.13        |
| 10                       | 4,080.00         | 131.61        | 10.94        |
| 11                       | 4,277.00         | 142.57        | 10.10        |
| 12                       | 4,474.00         | 144.32        | 9.98         |
| <b>Total de unidades</b> | <b>39,831.00</b> | <b>118.54</b> | <b>12.15</b> |

Figura 16

Demanda en Cajas para el Segundo Año Junto con su Takt Time

Para el sexto mes del segundo año, la línea ya consiste en 5 empleados, y en el balanceo de línea de producción se obtuvo una eficiencia de 89.1%.

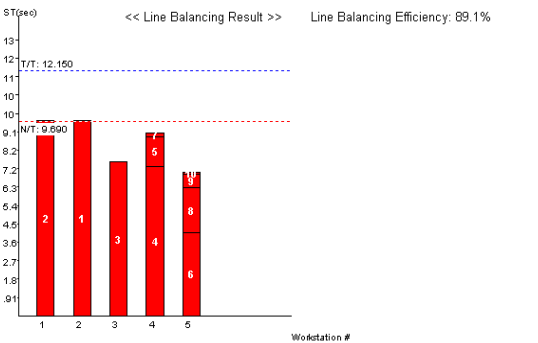


Figura 17

Balanceo de la Línea de Producción Junto con su Takt Time para el Mes 6 del Segundo Año.

### Tercer Año

En la alternativa para el tercer año, se propone duplicar la línea de balanceo en vez de

“automatizar” el proceso. Si decide \*NO AUTOMATIZAR\* la línea de producción para este tercer año consistiría en 5 empleados, con una eficiencia de 89.3%.

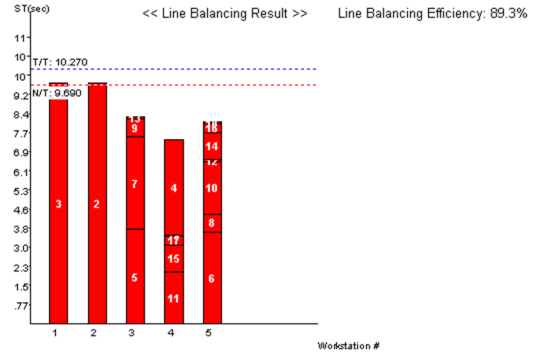


Figura 18

Balanceo de la Línea de Producción Junto con su Takt Time para el Tercer Año

| Mes                      | Año 3             | cajas/día     | takt time    |
|--------------------------|-------------------|---------------|--------------|
| 1                        | 7,162.00          | 115.52        | 12.47        |
| 2                        | 7,427.00          | 132.63        | 10.86        |
| 3                        | 7,692.00          | 124.06        | 11.61        |
| 4                        | 7,957.00          | 132.62        | 10.86        |
| 5                        | 8,222.00          | 132.61        | 10.86        |
| 6                        | 8,487.00          | 141.45        | 10.18        |
| 7                        | 8,788.00          | 141.74        | 10.16        |
| 8                        | 8,968.00          | 144.65        | 9.96         |
| 9                        | 9,148.00          | 152.47        | 9.44         |
| 10                       | 9,328.00          | 150.45        | 9.57         |
| 11                       | 9,508.00          | 158.47        | 9.09         |
| 12                       | 9,688.00          | 156.26        | 9.22         |
| <b>Total de unidades</b> | <b>102,375.00</b> | <b>140.24</b> | <b>10.27</b> |

Figura 19

Demanda en Cajas para el Tercer Año junto con su Takt Time

### Cuarto Año

Se requiere un cambio radical en el procedimiento, ya sea si se utiliza o se implementa la atomización.

| Mes                      | Año 4             | cajas/día | takt time |
|--------------------------|-------------------|-----------|-----------|
| 1                        | 10,243.00         | 365.82    | 3.94      |
| 2                        | 10,608.00         | 378.86    | 3.80      |
| 3                        | 10,873.00         | 388.32    | 3.71      |
| 4                        | 11,138.00         | 397.79    | 3.62      |
| 5                        | 11,403.00         | 407.25    | 3.54      |
| 6                        | 11,668.00         | 416.71    | 3.46      |
| 7                        | 12,046.00         | 430.21    | 3.35      |
| 8                        | 12,252.00         | 437.57    | 3.29      |
| 9                        | 12,458.00         | 444.93    | 3.24      |
| 10                       | 12,664.00         | 452.29    | 3.18      |
| 11                       | 12,870.00         | 459.64    | 3.13      |
| 12                       | 13,076.00         | 467.00    | 3.08      |
| <b>Total de unidades</b> | <b>141,299.00</b> |           |           |

Figura 20

Demanda en Cajas para el Cuarto Año Junto con su Takt Time

### Quinto Año

En el quinto año, de igual manera que en el cuarto, se requiere de una automatización del proceso o que el negocio crezca significativamente para tener mayor espacio físico y mayor capacidad de maquinarias y empleados.

| Mes                   | Año 5             | cajas/día | takt time |
|-----------------------|-------------------|-----------|-----------|
| 1                     | 13,379.00         | 477.82    | 3.01      |
| 2                     | 13,560.00         | 484.29    | 2.97      |
| 3                     | 13,741.00         | 490.75    | 2.93      |
| 4                     | 14,022.00         | 500.79    | 2.88      |
| 5                     | 14,203.00         | 507.25    | 2.84      |
| 6                     | 14,384.00         | 513.71    | 2.80      |
| 7                     | 15,408.00         | 550.29    | 2.62      |
| 8                     | 15,829.00         | 565.32    | 2.55      |
| 9                     | 16,250.00         | 580.36    | 2.48      |
| 10                    | 16,671.00         | 595.39    | 2.42      |
| 11                    | 17,092.00         | 610.43    | 2.36      |
| 12                    | 17,513.00         | 625.46    | 2.30      |
| <b>Total unidades</b> | <b>182,052.00</b> |           |           |

Figura 21

Demanda en Cajas para el Quinto Año Junto con su Takt Time

Los análisis de costos para cada uno de los escenarios contemplados se presentan a continuación:

Tabla 1

Análisis de Costos para cada uno de los Escenarios Contemplados

Primeros 6 Meses

| LABOR COST         |          | MATERIAL COST |           | OVERHEAD COST          |          |
|--------------------|----------|---------------|-----------|------------------------|----------|
| Cycle Time (secs)  | 2736     | Material Cost | \$10,2111 | Rate Cost per hour     | \$10.00  |
| Scrap (%)          | 5%       |               |           | Overhead Cost per unit | \$7.9800 |
| Labor Rate / hr    | \$8.65   |               |           | Total Operation Cost   | \$ 25.09 |
| Operators Required | 1.00     |               |           | Total Cost             | \$ 25.09 |
| Labor Cost         | \$6.9027 |               |           | Markup                 | 10%      |
|                    |          |               |           | Price/Unit             | \$ 27.60 |

| LABOR COST         |          | MATERIAL COST |          | OVERHEAD COST          |          |
|--------------------|----------|---------------|----------|------------------------|----------|
| Cycle Time (secs)  | 2594     | Material Cost | \$8,5092 | Rate Cost per hour     | \$10.00  |
| Scrap (%)          | 5%       |               |          | Overhead Cost per unit | \$7.5670 |
| Labor Rate / hr    | \$8.65   |               |          | Total Operation Cost   | \$ 22.62 |
| Operators Required | 1.00     |               |          | Total Cost             | \$ 22.62 |
| Labor Cost         | \$6.5455 |               |          | Markup                 | 10%      |
|                    |          |               |          | Price/Unit             | \$ 24.88 |

Primer Año

| LABOR COST         |          | MATERIAL COST |           | OVERHEAD COST          |          |
|--------------------|----------|---------------|-----------|------------------------|----------|
| Cycle Time (secs)  | 1486     | Material Cost | \$10,2111 | Rate Cost per hour     | \$10.00  |
| Scrap (%)          | 5%       |               |           | Overhead Cost per unit | \$4.3330 |
| Labor Rate / hr    | \$8.65   |               |           | Total Operation Cost   | \$ 22.04 |
| Operators Required | 2.00     |               |           | Total Cost             | \$ 22.04 |
| Labor Cost         | \$7.4961 |               |           | Markup                 | 10%      |
|                    |          |               |           | Price/Unit             | \$ 24.24 |

| LABOR COST         |          | MATERIAL COST |          | OVERHEAD COST          |          |
|--------------------|----------|---------------|----------|------------------------|----------|
| Cycle Time (secs)  | 1432     | Material Cost | \$8,5092 | Rate Cost per hour     | \$10.00  |
| Scrap (%)          | 5%       |               |          | Overhead Cost per unit | \$4.1773 |
| Labor Rate / hr    | \$8.65   |               |          | Total Operation Cost   | \$ 19.91 |
| Operators Required | 2.00     |               |          | Total Cost             | \$ 19.91 |
| Labor Cost         | \$7.2266 |               |          | Markup                 | 10%      |
|                    |          |               |          | Price/Unit             | \$ 21.90 |

### Segundo Año

| LABOR COST         |          | MATERIAL COST |           | OVERHEAD COST          |          |
|--------------------|----------|---------------|-----------|------------------------|----------|
| Cycle Time (secs)  | 631      | Material Cost | \$10,2111 | Rate Cost per hour     | \$10.00  |
| Scrap (%)          | 5%       |               |           | Overhead Cost per unit | \$1.8396 |
| Labor Rate / hr    | \$8.65   |               |           | Total Operation Cost   | \$ 20.01 |
| Operators Required | 5.00     |               |           | Total Cost             | \$ 20.01 |
| Labor Cost         | \$7.9563 |               |           | Markup                 | 10%      |
|                    |          |               |           | Price/Unit             | \$ 22.01 |

| LABOR COST         |          | MATERIAL COST |          | OVERHEAD COST          |          |
|--------------------|----------|---------------|----------|------------------------|----------|
| Cycle Time (secs)  | 581      | Material Cost | \$8,5092 | Rate Cost per hour     | \$10.00  |
| Scrap (%)          | 5%       |               |          | Overhead Cost per unit | \$1.6958 |
| Labor Rate / hr    | \$8.65   |               |          | Total Operation Cost   | \$ 17.54 |
| Operators Required | 5.00     |               |          | Total Cost             | \$ 17.54 |
| Labor Cost         | \$7.3341 |               |          | Markup                 | 10%      |
|                    |          |               |          | Price/Unit             | \$ 19.29 |

Tercer Año

| LABOR COST         |          | MATERIAL COST |           | OVERHEAD COST          |          |
|--------------------|----------|---------------|-----------|------------------------|----------|
| Cycle Time (secs)  | 587      | Material Cost | \$10,2111 | Rate Cost per hour     | \$10.00  |
| Scrap (%)          | 5%       |               |           | Overhead Cost per unit | \$1.7133 |
| Labor Rate / hr    | \$8.65   |               |           | Total Operation Cost   | \$ 20.82 |
| Operators Required | 6.00     |               |           | Total Cost             | \$ 20.82 |
| Labor Cost         | \$8.8918 |               |           | Markup                 | 10%      |
|                    |          |               |           | Price/Unit             | \$ 22.90 |

| LABOR COST         |          | MATERIAL COST |          | OVERHEAD COST          |          |
|--------------------|----------|---------------|----------|------------------------|----------|
| Cycle Time (secs)  | 581      | Material Cost | \$8,5092 | Rate Cost per hour     | \$10.00  |
| Scrap (%)          | 5%       |               |          | Overhead Cost per unit | \$1.6958 |
| Labor Rate / hr    | \$8.65   |               |          | Total Operation Cost   | \$ 17.54 |
| Operators Required | 5.00     |               |          | Total Cost             | \$ 17.54 |
| Labor Cost         | \$7.3341 |               |          | Markup                 | 10%      |
|                    |          |               |          | Price/Unit             | \$ 19.29 |

### Controlar

En la fase de controlar se crearán documentos oficiales en donde se detallará todos los pasos del procedimiento. A sí mismo, se crearán videos para cuando toque realizar los adiestramientos. Cuando los productos salgan al mercado, se tendrá que validar mes por mes y ajustar todos los escenarios antes propuestos para no errar y ser certeros en la toma de decisiones cuando se tenga que invertir. Al mismo tiempo, las estaciones de trabajo contarán con elementos de la metodología 5S para rotular en donde estarán los materiales, tendrán una imagen de cómo se debe ensamblar los productos y un documento en donde al final del turno se cercioren que todo está en su lugar.

### CONCLUSIÓN

A través de este proyecto se pudieron aplicar varias metodologías como DMAIC y SMART, con el fin de identificar los problemas dentro del proceso de la línea de producción para los productos X y Z y obtener soluciones para

mejorarlo. Hubo varios retos en el proceso como, por ejemplo, que la línea de producción no estaba implementada físicamente. Una de las alternativas aplicadas para la resolución de este problema fue el uso de una tabla llamada MOST, que se basa en un sistema de tiempos predeterminados para operaciones manuales y algunas máquinas en cuanto a la combinación de movimientos. Al utilizar esta herramienta, se pudo obtener los tiempos normales para el ensamblaje del algodón tanto para el producto X y Z. Se le asignaron compensaciones estipuladas por la compañía para obtener los tiempos estándares de cada tarea. Además, se obtuvieron tiempos estándares de las maquinarias a utilizarse y con la sumatoria de todos estos tiempos, se determinó el tiempo total del proceso. El producto X obtuvo un tiempo de 45 minutos versus el Z que obtuvo un total de 43 minutos. Al ser el mismo proceso para ambos, los análisis subsiguientes se basaron en el producto X, ya que fue mayor. Se obtuvo la cantidad de empleados utilizando proyecciones de ventas (demanda) por mes y año y los tiempos que iban a tomar por caja. Como resultado se obtuvo que para segundo año se tiene que aumentar a dos empleados en el proceso de ensamblaje y para el tercer año duplicar la línea de producción. Es en el tercer año el momento óptimo para comenzar a implementar la automatización en la línea de operación, ya que para el cuarto y quinto año el proceso no será capaz de cumplir con la demanda.

## REFERENCIAS

- [1] W. M. Feld, "Lean manufacturing—tools, techniques, and how to use them", *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 20, no. 1, p. 69, Jan. 2001 [Online]. Available: [https://doi.org/10.1016/s0278-6125\(01\)80022-4](https://doi.org/10.1016/s0278-6125(01)80022-4). [Accessed: May 21, 2024].
- [2] G. Alukal & A. Manos, *Lean Kaizen: A Simplified Approach to Process Improvements*. ASQ Qual. Press, 2006.
- [3] T. Devane, *Integrating Lean Six Sigma and High-Performance Organizations: Leading the charge toward dramatic, rapid and sustainable improvement*. Wiley Imprint, 2004.
- [4] *Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo* - 11. ed. McGraw-Hill, 2009.
- [5] F. E. Meyers & M. P. Stephens, *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. Naucalpan de Juárez, Estado de México: Pearson Educación, 2006.
- [6] M. R. Lehto, S. J. Landry, & J. Buck, *Introduction to Human Factors and Ergonomics for Engineers*, 1<sup>st</sup>. ed. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor Francis Group, 2007.
- [7] "Objetivos SMART: qué son y cómo crearlos con ejemplos y plantilla [2024] • Asana," *Asana*. [En línea]. Disponible: <https://asana.com/es/resources/smart-goals>. [Accedido: 2 de mayo de 2024].