

CIATEQ, A. C. Centro de Tecnología Avanzada  
Gerencia de Posgrado



*Análisis cuantitativo con diagrama de precedencias de condiciones productivas actuales de 5 líneas de ensamble de amortiguadores mediante el método de balanceo peso posicional*

TESIS QUE PRESENTA

**Ing. José Humberto Vergara García**  
**Asesor: Dr. Carlos Agustín Poblano Salas**

Para obtener el grado de

**Maestro en**  
**Manufactura Avanzada**

Zapopan, Jalisco  
noviembre, 2023



## CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR



GOBIERNO DE  
MÉXICO



CONAHCYT  
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



CIATEQ

Santiago de Querétaro a 17 de octubre de 2023

Mtro. Geovany González Carlos  
Gerencia de Posgrado  
CIATEQ, A.C.

El abajo firmante, miembro del Comité Tutorial del Ing. José Humberto Vergara García, una vez revisado su Proyecto Terminal de tesis/tesina, titulado "Análisis cuantitativo con diagrama de precedencias de condiciones productivas actuales de 5 líneas de ensamble de amortiguadores mediante el método de balanceo peso posicional" **autorizo** que el citado trabajo sea presentado por el alumno para su revisión, con el fin de alcanzar el grado de **maestro en manufactura avanzada**.

Sin otro particular por el momento, agradezco la atención prestada.

Dr. Carlos Agustín Poblano Salas  
Asesor Académico

F31a Revisión: 01-Jun-2021



2023  
Francisco  
VILLA

## CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR



GOBIERNO DE  
MÉXICO



CONAHCYT  
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



Ciudad, Estado, 08 de Noviembre del 2023.

Mtro. Geovany González Carlos  
Gerencia de Posgrado  
CIATEQ, A.C.

Por medio de la presente me dirijo a usted en calidad de Revisor del proyecto terminal del (la) alumno **José Humberto Vergara García**, cuyo título es:

**"Análisis cuantitativo con diagrama de precedencias de condiciones productivas actuales de 5 líneas de ensamble de amortiguadores mediante el método de balanceo peso posicional"**

Después de haberlo leído, corregido e intercambiado información con el alumno, y realizado los cambios que le fueron sugeridos, puede ser autorizada su impresión, a fin de que se inicien los trámites correspondientes para su defensa.

Sin otro particular por el momento, y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta en beneficio del estudiante y la Institución, agradezco la atención prestada.

Atentamente,

Firma 

M. en C. Rodolfo Rivera Barbosa

F31b Revisión: 04-Feb-2022



## RESUMEN

En este trabajo de investigación se empleó el método de Helgeson & Birnie para realizar el balanceo por peso posicional de cinco líneas de ensamble modular de amortiguadores de la empresa ZF Suspension Technology Guadalajara S.A. de C.V. La metodología empleada permitió establecer las condiciones actuales de operación de las cinco líneas. Mediante el uso del método mencionado se encontró que en la mayoría de las líneas de ensamble analizadas sus tareas se encuentran correctamente balanceadas y ordenadas, corroborando así el buen trabajo realizado al momento de su instalación y puesta en marcha. Si bien en cualquier proceso de ensamble siempre hay oportunidades de mejora, contar con líneas de ensamble bien balanceadas permite a la empresa tener una base sólida para la producción de este tipo de componentes automotrices.

**Palabras clave:** Líneas de ensamble modular; Método de Helgeson & Birnie; Peso posicional.

## **ABSTRACT**

The Helgeson & Birnie method was employed in this research for balancing, by positional weight, five modular strut assembly production lines at ZF Suspension Technology Guadalajara S.A. De C.V. The proposed methodology allowed to know the current operating conditions of the production lines. It was found that most of the analyzed production lines are correctly balanced suggesting a correct commissioning and start up procedure performed when the lines were initially installed. Although every assembling line always can be improved, having well-balanced assembly lines provides a solid base line for any automotive manufacturing company.

**Keywords:** Final assembly lines, Helgeson & Birnie method, Positional weight.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	iii
ABSTRACT .....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ABREVIATURAS .....	x
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	2
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	6
1.3. OBJETIVOS.....	7
1.3.1. Objetivo general.....	7
1.3.2. Objetivos específicos .....	7
1.4. HIPÓTESIS.....	7
2. MARCO TEÓRICO .....	9
2.1. DISTRIBUCIÓN DE LAS INSTALACIONES: LÍNEAS DE ENSAMBLE .....	9
2.1.2. Distribución de las instalaciones: balanceo de la línea de ensamble .....	9
2.2. OPTIMIZACIÓN EN PROCESOS Y ASIGNACIÓN DE RECURSOS EN LAS EMPRESAS: FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	10
2.3. DIAGRAMA DE PRECEDENCIA .....	13
2.4. MÉTODOS PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS.....	15
2.5. SISTEMAS DE MEDICIÓN DE TIEMPOS .....	30
2.6. REQUERIMIENTOS PARA EL ESTUDIO DE TIEMPOS .....	30
2.7. ESTUDIO DE TIEMPOS .....	30
2.8. EQUIPOS PARA REALIZAR UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE TIEMPOS .....	32
2.9. EFECTIVIDAD TOTAL DE LOS EQUIPOS.....	32
3. DESARROLLO EXPERIMENTAL .....	34
4. RESULTADOS .....	36
4.1. LÍNEA DE ENSAMBLE MODULAR B2.....	36
4.2. LÍNEA DE ENSAMBLE MODULAR B4.....	43
4.3. LÍNEA DE ENSAMBLE MODULAR A9.1 .....	50
4.4. LÍNEA DE ENSAMBLE MODULAR A9.2 .....	58
4.5. LÍNEA DE ENSAMBLE MODULAR A9.3 .....	64

CONCLUSIONES .....	72
CONFIRMACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	74
RECOMENDACIONES .....	75
APORTACIÓN DE LA TESIS.....	76
APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESIS.....	77
REFERENCIAS.....	78



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación de nodos y flechas.....	13
Figura 2. Ejemplos de tipos de secuencias en un diagrama de precedencias.....	14
Figura 3. Diagrama de precedencia terminado en forma parcial .....	24
Figura 4. Diagrama de precedencia .....	25
Figura 5. Imagen de la línea de ensamble modular B2.....	36
Figura 6. Layout de línea de ensamble modular B2.....	37
Figura 7. Diagrama de precedencias línea de ensamble modular B2.....	39
Figura 8. Imagen de la línea de ensamble modular B2.....	44
Figura 9. Layout de línea de ensamble modular B4.....	45
Figura 10. Diagrama de precedencias línea de ensamble modular B4 .....	47
Figura 11. Imagen de la línea de ensamble modular A9.1 .....	51
Figura 12. Layout de línea de ensamble modular A9.1 .....	52
Figura 13. Diagrama de precedencias línea de ensamble modular A9.1 .....	54
Figura 14. Imagen de la línea de ensamble modular A9.2 .....	58
Figura 15. Layout de línea de ensamble modular A9.2 .....	59
Figura 16. Diagrama de precedencias línea de ensamble modular A9.2 .....	61
Figura 17. Imagen de la línea de ensamble modular A9.3 .....	65
Figura 18 Layout de línea de ensamble modular A9.3 .....	66
Figura 19. Diagrama de precedencias línea de ensamble modular A9.3 .....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de tareas específicas por operador .....	19
Tabla 2. Análisis minutos estándar y cantidad de operadores .....	22
Tabla 3. Análisis operaciones y minutos estándar asignados.....	22
Tabla 4. Matriz de precedencia utilizada en un problema de balanceo .....	26
Tabla 5. Ponderaciones posicionales en orden de magnitudes decrecientes.....	27
Tabla 6. Línea de ensamble balanceada .....	28
Tabla 7. Tabla de análisis de tiempo de ciclo .....	38
Tabla 8. Tabla para desarrollar el diagrama de precedencias.....	39
Tabla 9. Tabla de ponderación de la posición .....	40
Tabla 10. Tabla de reorden de tareas de acuerdo con el peso posicional.....	40
Tabla 11. Tabla de cálculo de tiempo no asignado por cada estación.....	41
Tabla 12. Tabla de análisis de tiempo de ciclo .....	46
Tabla 13. Tabla para desarrollar el diagrama de precedencias.....	47
Tabla 14. Tabla de ponderación de la posición .....	48
Tabla 15. Tabla de reorden de tareas de acuerdo con el peso posicional.....	48
Tabla 16. Tabla de cálculo de tiempo no asignado por cada estación.....	49
Tabla 17. Tabla de análisis de tiempo de ciclo .....	53
Tabla 18. Tabla para desarrollar el diagrama de precedencias.....	54
Tabla 19. Tabla de ponderación de la posición .....	55
Tabla 20. Tabla de reorden de tareas de acuerdo con el peso posicional.....	55
Tabla 21. Tabla de cálculo de tiempo no asignado por cada estación.....	56
Tabla 22. Tabla de análisis de tiempo de ciclo .....	60
Tabla 23. Tabla para desarrollar el diagrama de precedencias.....	61
Tabla 24. Tabla de ponderación de la posición .....	62
Tabla 25. Tabla de reorden de tareas de acuerdo con el peso posicional.....	62
Tabla 26. Tabla de cálculo de tiempo no asignado por cada estación.....	62
Tabla 27. Tabla de análisis de tiempo de ciclo .....	67
Tabla 28. Tabla para desarrollar el diagrama de precedencias.....	68
Tabla 29. Tabla de ponderación de la posición .....	69
Tabla 30. Tabla de reorden de tareas de acuerdo con el peso posicional.....	69

Tabla 31. Tabla de cálculo de tiempo no asignado por cada estación..... 70

## ABREVIATURAS

**%E.L:** porcentaje de eficiencia en la labor.

**AM:** minutos estándar permitidos por operación.

**CTi:** carga de trabajo de la estación.

**E:** eficiencia.

**M:** número total de tareas en la línea.

**N:** número de estaciones de trabajo.

**NEi:** número de empleados trabajando en paralelo en la operación.

**R:** velocidad de producción que se desea.

**SM:** minutos estándar por operación.

**TC:** tiempo de ciclo.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la industria automotriz, y en este caso para la producción de amortiguadores, se tiene la necesidad de implementar metodologías que aporten a la mejora continua de las condiciones actuales de los procesos de ensamble. En este caso para la empresa ZF Suspension Technology Guadalajara S.A. de C.V.

El interés surge después de conocer el alcance total de uno de los proyectos más importantes y ambiciosos que se están desarrollando actualmente al interior de la compañía ZF, este proyecto de redistribución de layout de la planta para procesos de ensamble busca lo siguiente:

- Mayor eficiencia.
- Aprovechamiento al máximo de la productividad.
- Reducción de la contaminación en la fabricación de amortiguadores.

Los beneficios para la compañía se verán reflejados si se realiza un análisis con diagramas de precedencias de la condición actual de los procesos para 5 líneas de ensamble, definiendo primeramente los siguientes datos del proceso:

- Número de tareas del proceso de ensamble de amortiguadores.
- Tiempo de ciclo para completar la tarea.
- Tareas que preceden a una actividad.

Una vez definidos los datos anteriormente mencionados, se establecerá la señalización de círculos y líneas que unan las tareas de precedencia y con este conjunto de tareas unidas se completará el diagrama de precedencias.

Aplicando la metodología de balanceo por peso posicional e identificando las posibles mejoras al proceso, es posible obtener la siguiente información:

- i) el tiempo de ciclo de cada estación para realizar las actividades o tareas asignadas,
- ii) el número óptimo de estaciones para realizar dichas actividades o tareas  
y
- iii) la eficiencia requerida para poder producir los amortiguadores.

Una vez que se tienen los datos del estado inicial y final de las líneas, mediante el empleo de la metodología de balanceo por peso posicional, se presenta un plan de implementación de mejoras para realizar cambios al proceso.

### **1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Para solucionar la problemática de ineficiencias en procesos productivos se hace uso de conceptos como balanceo de línea, productividad, eficiencia, ganancias, costo beneficio, ineficiencia, población y muestra significativa. A continuación, se describen algunos de esos conceptos.

En primer lugar, se debe de definir que es el balanceo de línea y cuál es su utilidad para la productividad.

Contreras (2020) menciona que de forma genérica se puede definir una línea de producción como un conjunto de procesos. Además, éstos se encuentran concatenados y tienen por objetivo la producción de un determinado producto.

En consecuencia, puede que la definición más clásica está asociada a una línea de ensamble. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el concepto es aplicable a un conjunto más amplio de opciones de procesos.

La tarea de balancear una línea se asocia directamente a la idea de lograr un aprovechamiento óptimo de los recursos. En definitiva, se trata de los activos involucrados en este conjunto de procesos, tomando como punto de referencia a las actividades cuello de botella y teniendo en cuenta al mismo tiempo el nivel de demanda esperado.

Surge la pregunta, entonces ¿Cómo balancear una línea?

En primer lugar, el objetivo es conocer el comportamiento esperado de cada uno de los procesos. De esta manera puede dedicarse a encontrar la mejor forma posible de agruparlos dentro de estaciones de trabajo. De esta forma se puede alcanzar la velocidad de producción (productividad) requerida para satisfacer la demanda. Así, se busca un uso equilibrado de la mano de obra para evitar sobrecargas y ociosidad dentro del equipo de trabajo.

Cumpliendo este objetivo, se logra mejorar el flujo de producción. Lo anterior mediante la eliminación de varios desperdicios tales como esperas y acumulación de producción en proceso. En consecuencia, esto generará un impacto positivo en las tareas de planificación de las operaciones (producción, compras y despacho), que además podrán alinear sus ritmos de operación para mantener un ritmo constante.

Así se aprovechan los beneficios de operar con una línea de producción que logre balancear la capacidad de los procesos y la demanda de los clientes.

El campo de la dirección de empresas nació alrededor del concepto de productividad; probablemente, el hito histórico lo constituyen los experimentos de Frederick Taylor en la Midvale Steel Company a partir de 1878. Taylor destacaba un estudio detallado del trabajo que facilitase la aplicación racional del esfuerzo humano, de forma que se consiguiese optimizar la relación de resultados – esfuerzo (Carro y Gómez, 2012).

Las ideas de Taylor junto a las de Frank y Lilian Gilbert, pioneros en el estudio de movimientos, dieron origen a una época de búsqueda científica de la productividad mediante el cronómetro (Carro y Gómez, 2012).

Según Niebel y Freivalds (2009), la única manera en que una empresa puede aumentar y hacer crecer sus ganancias es incrementando la productividad y menciona como la principal herramienta el estudio del trabajo.

De acuerdo con García Criollo (2005), la productividad es el “grado de rendimiento con que se emplean los recursos disponibles para alcanzar objetivos predeterminados”; es decir, la productividad aumentará si los recursos empleados reflejan un mayor rendimiento.

Prokopenko (1989) considera la productividad como una medición global del desempeño de las organizaciones. Por otra parte, Smith (1996) en su libro “La riqueza de las naciones”, plantea el “Principio de la División de la Labor” y propone que la producción de un bien se haga por pasos fragmentados (un trabajador hace una parte de la labor) y no por un artesano de principio a fin. Con la fragmentación del proceso, se aumenta la productividad y aumenta el beneficio.

Según con Vizcaíno Encarnación (2019), evaluar la eficiencia en cuanto al uso de los recursos materiales y de la mano de obra es necesario para realizar un análisis de costo beneficio.

Por lo tanto, se puede decir que un análisis costo beneficio es un conjunto de procedimientos analíticos que permiten evaluar y ofrecer alternativas para tomar la mejor decisión para tratar un problema, esto genera información importante para la toma de decisiones sobre un sistema de producción.

Alvarado (2021) coincide en que, en el ámbito industrial, la productividad es un elemento clave en la supervivencia de las empresas y organizaciones. Primero que nada, por su impacto directo en la rentabilidad, dado que el aumento de los márgenes de productividad suele traducirse en un aumento de la ganancia final; y, en segundo lugar, porque también tiene que ver con el manejo de los recursos de la organización, tales como insumos materiales, energía, capital humano y trabajo.

Algunos de los factores que pueden disparar la atención sobre deficiencias ocasionadas por una mala distribución son de naturaleza heterogénea, pero todos responden a la misma razón. Algunos de estos factores son, por ejemplo, tiempos muertos, deficiencias y quejas entre los empleados ocasionadas por incongruencias en la secuencia de sus labores (Reyes Flores, 2012).

La ineficiencia es la incapacidad de poder cumplir una tarea de una manera óptima, es decir, utilizando la menor cantidad de recursos posibles. En otras palabras, la ineficiencia es la imposibilidad de realizar una actividad o alcanzar una meta al menor coste y en el menor tiempo posible (Westreicher, 2022).

González Fidalgo (s/f), y Leibenstein (1966) [11], en lugar de utilizar la denominación tradicional de "ineficiencia técnica" o "ineficiencia productiva", introdujeron el término "ineficiencia X" para referirse a la pérdida de salida o el exceso de coste que se produce como consecuencia de las carencias de motivación existentes entre los individuos que configuran la organización.

González Fidalgo (s/f), y Stigler (1976), menciona que la motivación de todos los individuos siempre es la misma: maximizar la función de utilidad. Los individuos no



tienen ningún interés particular en maximizar la producción de salida sino en la utilidad. Cuando el incremento de salida se consigue a partir de un mayor esfuerzo, no se produce un aumento en la eficiencia sino un valor de salida diferente (lo que se trata es de obtener un valor de salida que maximice la utilidad). En este sentido, González Fidalgo (s/f), y Leibenstein (1966), manifiestan que "dado que nadie en la empresa tiene como objetivo maximizar el beneficio, nadie está motivado para tratar de obtener el máximo de salida de las entradas adquiridas y, por tanto, los costes no se minimizan. Dicho de otra manera, bajo este esquema la ineficiencia X existe".

Es de conocimiento general que cualquier proceso puede ser mejorado, las condiciones de este indicarán el porcentaje de mejora. Por ejemplo, si las condiciones productivas de las líneas de ensamble fueron definidas en cierto momento, más de alguna puede tener ciertas áreas de oportunidad comparando lo que se implementó en el pasado y lo que se puede llegar a alcanzar implementando metodologías de balanceo por peso posicional.

El resultado del trabajo cotidiano realizado con ineficiencias se observa en problemas que se ven más en unas líneas de ensamble que en otras, por lo que la productividad podrá variar de acuerdo con las condiciones de cada línea de producción, buscando el equilibrio entre la asignación de las tareas y la estación.

por otra parte, Zavaleta Medina (2015) menciona que la muestra es una representación significativa de las características de una población. Una muestra representativa contiene las características relevantes de la población en las mismas proporciones que están incluidas en tal población.

Cromero (2019) manifiesta que la población, es el conjunto total de individuos, objetos o medidas que poseen algunas características comunes observables en un lugar y en el momento determinado.

Para realizar un muestreo significativo, Cruz (2021) menciona que una muestra representativa hace referencia a que todos los miembros de un grupo tengan las mismas oportunidades de participar en la investigación.

Debido a esto, es necesario realizar un análisis completo de las condiciones actuales productivas mediante una muestra representativa de análisis de tiempos de ciclo de las líneas de ensamble, con el fin de aprovechar la reestructuración de los procesos para identificar, desde una etapa temprana, las áreas de oportunidad donde se pueda reorganizar una o varias estaciones del proceso. Lo anterior, con el fin de darle un mejor aprovechamiento al recurso humano que ya se tiene definido en cantidad de operadores por estación de trabajo.

Se plantea entonces en este trabajo la siguiente cuestión (que define explícitamente el problema que se pretende resolver): ¿será posible mejorar la productividad del proceso de ensamble de amortiguadores de la empresa ZF Suspension Technology Guadalajara S.A. de C.V. ya implementado sin invertir en un recurso adicional de personal para mano de obra?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

Este trabajo de investigación pretende, a través de un análisis de datos de condiciones actuales de producción, identificar áreas de oportunidad para hacer más eficiente los procesos de ensamble de amortiguadores que se tienen en la empresa ZF Suspension Technology Guadalajara S.A. de C.V.

La eficiencia productiva en la industria automotriz es esencial para poder percibir ganancias y también hacerlas crecer, esta es la razón principal por la cual se desarrollará un análisis de condiciones actuales productivas.

Estas condiciones deberán ser medidas inicialmente para identificar la condición actual del proceso, ya que al ser procesos de ensamble ya definidos y funcionales se tiene que buscar la manera de hacerlos más eficientes tratando de utilizar los mismos recursos.

A través del método de balanceo por peso posicional se deberá demostrar la condición verdadera de valores de eficiencia, tiempos de ciclo y cantidad de estaciones definidas en los procesos de ensamble de amortiguadores.

Una vez que se tengan estos resultados, de ser factible, se procederá a definir un nuevo flujo del proceso de acuerdo con el diagrama de precedencias y la tabla con las tareas y tiempos de ciclo requeridos para realizar cada tarea.

El nuevo flujo del proceso que se defina deberá tener la particularidad de al menos mantener los mismos recursos de mano de obra ya definidos para cada proceso en particular; definiendo esta limitante en el alcance, se podrá obtener un beneficio sin necesidad de invertir recursos adicionales generando ganancias para la empresa.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Analizar la condición actual del proceso de 5 líneas de ensamble de amortiguadores de la empresa ZF Suspension Technology Guadalajara S.A. de C.V. por el método de balanceo peso posicional.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- a. Analizar cada una de las líneas de ensamble a través del diagrama de precedencias y definir el tiempo de ciclo de cada tarea del proceso de ensamble de amortiguadores.
- b. Definir a través del diagrama de precedencias el número de estaciones adecuadas para el proceso de ensamble de amortiguadores.
- c. Definir el porcentaje de eficiencia alcanzable si se realizan modificaciones al proceso tomando como referencia los resultados del balanceo peso posicional.

### **1.4. HIPÓTESIS**

Hipótesis de investigación (Hi): Aplicando un estudio estadístico para encontrar posibles mejoras a procesos, a través de un análisis de balanceo de peso posicional de líneas de ensamble, se podrá efficientar al menos dos líneas de ensamble combinando al menos una de sus estaciones y que los recursos de la operación se

reduzcan en cantidad de operadores o se mantengan los mismos operando varias estaciones.

**Hipótesis Nula (Ho):** Aplicando un estudio estadístico para encontrar posibles mejoras a procesos, a través de un análisis de balanceo de peso posicional de líneas de ensamble, no se conseguirá eficientar ninguna línea de ensamble y tampoco combinar al menos una de sus estaciones, manteniendo la misma cantidad de operadores en sus estaciones.

**Hipótesis alternativa (Ha):** Aplicando un estudio estadístico para encontrar posibles mejoras a procesos, a través de un análisis de balanceo de peso posicional de líneas de ensamble, se podrá eficientar al menos una línea de ensamble combinando al menos una de sus estaciones, considerando que los recursos de la operación se reduzcan en cantidad de operadores o se mantengan los mismos operando varias estaciones.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. DISTRIBUCIÓN DE LAS INSTALACIONES: LÍNEAS DE ENSAMBLE**

El término de línea de ensamble se refiere a un ensamble progresivo que está ligado por algún tipo de aparato que maneja los materiales involucrados en la conformación del producto final deseado. El supuesto común es que los pasos siguen alguna forma de ritmo y que el tiempo permitido para el procesamiento es el mismo en todas las estaciones de trabajo.

Dentro de esta definición general, existen importantes diferencias entre tipos de líneas. Algunas de ellas son los aparatos que manejan materiales (bandas o rodillos transportadores, grúa aérea), la configuración de la línea (en forma de U, recta, con ramificaciones), pasos rítmicos (mecánico, humano), la mezcla de productos (un producto o muchos), las características de la estación de trabajo (los trabajadores pueden estar sentados, de pie, caminar con la línea o transportarse al mismo tiempo que la línea) y la extensión de la línea (pocos o muchos trabajadores) (Chase & Jacobs, 2009).

#### **2.1.2. Distribución de las instalaciones: balanceo de la línea de ensamble**

Equilibrar la línea de ensamble es primordialmente cuestión de su programación, pero muchas veces tiene implicaciones para la distribución. Tal sería el caso cuando, por cuestiones de balanceo, el tamaño o el número de estaciones utilizadas se tendría que modificar físicamente.

La línea de ensamble más común es una banda que se mueve y va pasando por una serie de estaciones de trabajo a intervalos uniformes de tiempo llamados tiempo de ciclo de la estación de trabajo (que también es el tiempo que transcurre entre las unidades sucesivas que salen por un extremo de la línea).

En cada estación de trabajo, se labora en un producto, sea añadiéndole partes o terminando operaciones de ensamble. El trabajo desempeñado en cada estación está compuesto por muchas fracciones del trabajo, llamadas tareas, elementos, y unidades de trabajo. Los análisis de tiempos y movimientos describen estas tareas.

Por lo general se trata de grupos que no se pueden subdividir en la línea de ensamble sin pagar una sanción con movimientos extra (Chase & Jacobs, 2009).

## **2.2. OPTIMIZACIÓN EN PROCESOS Y ASIGNACIÓN DE RECURSOS EN LAS EMPRESAS: FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

Mesa y Bedoya (2009) mencionan que los datos que es esencial conocer antes de que empiece la producción para conseguir un buen equilibrio son:

- i) el ritmo de producción deseado,
- ii) las operaciones necesarias y su secuencia, y
- iii) los tiempos elementales de cada operación.

Por otra parte, las características para tener en cuenta en un balanceo de línea son:

- a) Cantidad: El volumen o cantidad de producción debe ser suficiente para cubrir el costo de la preparación de la línea. Esto depende de la eficiencia en la producción.
- b) Equilibrio: Los tiempos necesarios para cada operación en línea deben ser aproximadamente iguales.
- c) Continuidad: Los lotes de producción que utiliza la empresa aseguran un aprovisionamiento continuo de material.
- d) A cada operario se le asigna un conjunto de operaciones respetando la precedencia de éstas.
- e) Las operaciones no se pueden adelantar.
- f) Los tiempos de operación se distribuyen normalmente.
- g) Los operarios tienen la misma eficiencia en cada operación.
- h) Cuando un operario traspasa un artículo al operario siguiente, se traspasa también tiempo remanente de operación.
- i) El tiempo de movimiento entre las distintas máquinas se asume como cero.
- j) Las máquinas no tienen tiempo de inactividad.
- k) El abastecimiento de materiales es continuo.

Usualmente, el balanceo de línea tiene como objetivo maximizar la utilización de la línea, la cual guarda correlación con la eficiencia del balanceo. La eficiencia se define como el uso racional de los recursos disponibles para la fabricación de los productos; es decir, obtener más productos con menos recursos.

Un balanceo de línea se determina utilizando la ecuación:

$$\text{Eficiencia del balanceo (EB)} = \frac{\sum_{i=1}^m \text{ tiempo de la tarea "i"}}{N \times \text{TC}}$$

Ecuación 1. Eficiencia del balanceo

donde:

m= número total de tareas en la línea

N= número de estaciones de trabajo, presumiendo un empleado por estación

TC= tiempo de ciclo

El tiempo de ciclo es la carga de trabajo máxima que debe ser asignada a una estación de trabajo de tal forma que la línea pueda cumplir con los requisitos de la demanda del producto.

Un balanceo de línea es factible sólo si el tiempo de cualquier estación no excede el tiempo de ciclo. El tiempo de ciclo de una línea de producción se determina utilizando la ecuación:

$$\text{TC} = \frac{\text{Minutos/turno} * \text{Turnos/día}}{\text{Demanda esperada por día}}$$

Ecuación 2. Tiempo de ciclo

Por otra parte, el porcentaje de ociosidad en la línea se determina utilizando la ecuación:

$$\% \text{Ociosidad} = 1 - \% \text{EB}$$

Ecuación 3. Porcentaje de ociosidad

Mientras mayor sea la eficiencia del balanceo, menor es el porcentaje de ociosidad y mayor, la utilización de los empleados y máquinas.

Una vez implantado el balanceo de la línea, la eficiencia de labor (E.L.) se mide utilizando la ecuación:

$$\%EL = \frac{\text{Horas ganadas}}{\text{Horas pagadas}} = \frac{\text{Unidades producidas} * \text{Estándar de labor/unidad}}{\text{Horas pagadas}}$$

Ecuación 4. Eficiencia de labor

donde:

%E.L.= Porcentaje de eficiencia en la labor

Estándar de labor/unidad=  $\sum$  tiempo de la tarea "i"

Una línea de ensamble o producción consiste en un grupo de estaciones de trabajo organizadas de forma tal que el producto se mueve de una estación a otra siguiendo una ruta usualmente lineal. Una estación de trabajo consiste en uno o más operadores o máquinas, donde se realizan tareas. La carga de trabajo de cada estación debe ser de tal forma que:

$$\frac{CT_i}{NE_i} \leq TC$$

Ecuación 5. Carga de trabajo de cada estación

donde:

CT<sub>i</sub>= carga de trabajo de la estación "i"

TC= Tiempo de ciclo de la línea de producción

NE<sub>i</sub>= Número de empleados trabajando en paralelo en la operación "i"

El método para el balanceo de línea consiste en aplicar la regla de la estación máximamente cargada. Esta regla dice que una estación tiene su carga máxima si no tiene más tareas asignables a ella. Una tarea es asignable a una estación si todas las tareas predecesoras han sido asignadas y cuando el tiempo de operación no excede al tiempo disponible de la estación que está en consideración.



### 2.3. DIAGRAMA DE PRECEDENCIA

Para un mejor entendimiento de este tema se definirán algunos términos que serán empleados cuando se describan los pasos para su elaboración.

**Tarea:** Labor u ocupación. El término puede hacer referencia a aquello que una persona, máquina, robot o proceso debe realizar.

**Actividad:** Es el conjunto de acciones que se llevan a cabo para cumplir las metas de un programa o subprograma de operación, que consiste en la ejecución de ciertos procesos o tareas (mediante la utilización de recursos humanos, materiales, técnicos y financieros asignados a la actividad con un costo determinado).

**Nodo:** Medio de conexión entre dos o más elementos, es la representación cronológica de un sistema de producción donde ciertas tareas o elementos de trabajo preceden a otras. Sirve para identificar las restricciones de precedencia en el evento de modificar una secuencia o cuando se trata de equilibrar las asignaciones de trabajo a lo largo de una línea de producción.

Un diagrama de precedencia define la secuencia en que se realizarán las actividades. Es una herramienta que permite acomodar las actividades específicas en el orden apropiado y establecer sus relaciones de dependencia.

El diagrama indica gráficamente la secuencia de actividades del proceso, éste consta de nodos y flechas (o arcos), los nodos pueden adoptar cualquier forma, y estos representan las actividades u operaciones que se realizan. Las flechas representan las dependencias entre las actividades (nodos) y las secuencias que se tienen entre ellas como se indica en la figura siguiente (Taha, 2012).



Figura 1: Representación de nodos y flechas.  
(Taha, 2012)

Según Gray y Larson (2009) existen 8 reglas que deben aplicarse cuando se desarrolla un diagrama de precedencias:

1. Por lo general, las redes fluyen de izquierda a derecha.
2. Una actividad no puede comenzar sino hasta que se hayan concluido todas las actividades precedentes conectadas.
3. Las flechas en las redes señalan precedencia y flujo. Asimismo, pueden atravesarse unas a otras.
4. Cada actividad debe contar con un número único de identificación.
5. El número de identificación de la actividad debe ser mayor que el de la actividad que le precede.
6. No se permiten circuitos cerrados (en otras palabras, no debe hacerse reciclado alguno a través de un conjunto de actividades).
7. No se permiten afirmaciones condicionantes (es decir, este tipo de aseveraciones no debe aparecer. Si tiene éxito, haga algo, si no, no lo haga).
8. La experiencia sugiere que cuando hay muchos comienzos puede utilizarse un nodo común de inicio para indicar con claridad de dónde partirá el proyecto en la red. Asimismo, es posible utilizar un solo final del proyecto para indicar un final con claridad.

En la siguiente figura se muestran algunos tipos de secuencias entre actividades.

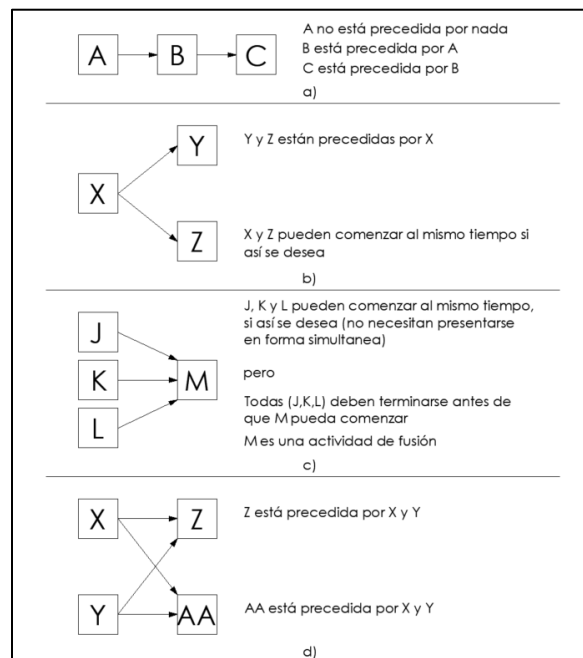


Figura 2: Ejemplos de tipos de secuencias que pueden darse en un diagrama de precedencias.  
(Gray y Larson, 2009)

Existen 3 relaciones básicas que deben establecerse para las actividades que se incluyen en un diagrama de precedencias.

Las relaciones pueden determinarse tras responder las siguientes preguntas:

1. ¿Qué actividades deben determinarse inmediatamente antes de que esta actividad se pueda iniciar?
2. ¿Qué actividades se pueden realizar simultáneamente con esta actividad?
3. ¿Qué actividades no se pueden iniciar inmediatamente después hasta que esta actividad se haya completado?

Al responder estas preguntas se podrá dibujar el diagrama de precedencias que represente la secuencia y las relaciones de dependencia de las actividades necesarias para lograr el proceso (Gido y Clements, 2012).

Al graficar el diagrama se ubica las actividades en la secuencia correcta para calcular los tiempos de inicio y terminación de las actividades. Los estimados de los tiempos de las actividades se toman de los tiempos de las tareas (Gray y Larson, 2009).

## **2.4. MÉTODOS PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS**

Se puede seguir una serie de pasos para conseguir un balanceo de línea de producción según dos corrientes de pensamiento distintas.

Según Saucedo (2021), este método consiste en asignar el peso posicional de cada una de las tareas, así como la suma de tiempo más aquellas que la siguen. Las tareas son asignadas de acuerdo con su peso posicional, cuidando no rebasar el tiempo ciclo ni violar las precedencias. Consiste en intentar que todas las estaciones de trabajo tengan aproximadamente la misma carga de trabajo con el objetivo de minimizar los tiempos inactivos.

El proceso de balanceo por peso posicional de líneas consiste en los siguientes pasos:

1. Descomposición de las tareas: Se descompone el trabajo en tareas independientes o elementos de trabajo y se determina para cada tarea o elemento el tiempo necesario para llevarla a cabo y las actividades que deben precederla, o sea, las que deben haberse realizado anteriormente. Todo se recoge en un grafo o diagrama de precedencias, en el que se representa mediante círculos cada tarea individual y se utilizan flechas para indicar el orden de ejecución.
2. Determinación de la capacidad de la línea y cálculo del tiempo de ciclo: La capacidad de la línea es la producción deseada por unidad de tiempo. El tiempo de ciclo de una línea es el tiempo máximo de permanencia del producto en cada estación de trabajo, y vendrá dado por la siguiente fórmula:

$$T_c \left( \frac{\text{min}}{\text{unidad}} \right) = \frac{60(\text{min/h})}{Q(\text{unidades/h})}$$

Ecuación 6. Tiempo de ciclo

3. Número mínimo teórico de estaciones de trabajo necesarias: Se calcula mediante la expresión:  $N = \text{sumatoria del tiempo de ejecución total requerido} / T_c$ . Donde N es el número mínimo de estaciones necesarias y la sumatoria de "ti" es el tiempo de ejecución total requerido para elaborar una unidad de producto. Si el resultado no da un número entero se ajustará por exceso.
4. Asignación de las tareas a las estaciones de trabajo: Se trata de agrupar las tareas a las diferentes estaciones de trabajo de forma que se minimice el tiempo improductivo. Para que cada tarea pueda ser asignada a una estación de trabajo, se deben cumplir las siguientes condiciones:
  - No debe haber estado asignada ninguna estación.
  - Todas las tareas precedentes deben haberse asignado a esta u otra estación previa.
  - La suma de los tiempos de ejecución de todas las tareas asignadas a la misma estación no puede superar el tiempo ciclo.
  - De todas las tareas que cumplan las restricciones anteriores, se selecciona la que se crea más conveniente.

5. Cálculo de tiempo improductivo: Si se multiplica el número de estaciones de trabajo utilizadas por el tiempo de ciclo se encontrará el tiempo total realmente utilizado para obtener una unidad de producto, incluyendo tiempo productivo e improductivo. Si a este tiempo se le resta el tiempo teórico necesario para fabricar un producto ( $T_i$ ), se obtiene el tiempo ocioso o improductivo de cada ciclo.
6. Cálculo de la eficiencia: El balanceo perfecto se conseguirá si la suma del tiempo de ejecución de las tareas fuera igual al número de estaciones multiplicado por el tiempo de ciclo. En la práctica no se suele conseguir este ideal y existe un cierto tiempo improductivo que es el calculado en el apartado anterior. Esto haría que se consiga la eficiencia máxima.

Por otro lado, Huarcaya Alcedo (1970) desglosa en 6 pasos el método de balanceo de línea buscando el equilibrio en las operaciones de una línea de montaje.

1. Dividir las operaciones y repartir los elementos

Es el modo más común de equilibrar las operaciones de montaje. Si es posible dividir las fácilmente se podrá obtener el más alto grado de equilibrio con un mínimo de tiempo muerto.

2. Combinar las operaciones y repartir los elementos

Muchas veces no es práctico dividir excesivamente una operación, especialmente para los procesos cortos. En estos procesos un grupo de cinco trabajadores puede ser repartido en tres operaciones y alternado en las mismas. El tiempo muerto de una operación es equilibrado con el de otra, sin subdividir ninguna de las dos. Alguno de los trabajadores deberá cambiar puesto para atender dos operaciones.

3. Tener los operarios en movimiento

Cuando ciertas operaciones toman relativamente menos tiempo que el ciclo o tiempo de equilibrio, el operario puede moverse con el trabajo, realizando diversas operaciones. Algunas veces hasta puede trabajar en dos estaciones diferentes o puede ir a un puesto de trabajo muy cargado y ayudar a los operarios del mismo.

Los operarios destinados a las operaciones ligeras se encargan, en el caso de pequeños grupos, del manejo de material.

Para las operaciones que toman mayor tiempo que el ciclo (o tiempo de equilibrio), este equilibrio puede conseguirse haciendo que un trabajador se desplace con la pieza, por ejemplo, a lo largo de seis operaciones. Si luego, cuando regresa al extremo de la línea llega cuatro piezas más tarde, entonces se tendrá el caso de cuatro trabajadores equilibrados con seis operaciones.

En otros casos, los operarios pueden trasladarse al comienzo de la línea, al empezar cada turno. Así, tendrán suficientes piezas listas de las operaciones largas para su turno, luego volverán a su puesto regular en el proceso.

#### 4. Mejorar las operaciones

En los casos en que una operación es más larga que el tiempo de ciclo o factor de equilibrio, ésta puede ser equilibrada por medio de una mejora de método. Si la operación no puede ser dividida, se deberá hacer un estudio con vistas a reducir su tiempo. El ingeniero de distribución deberá, por lo general, invertir en tal estudio más tiempo y esfuerzo del que parezca justificado, si de este modo puede reducir un cuello de botella.

#### 5. Retener el material y realizar las operaciones más lentas en horas extras

Esto sacrifica espacio de planta, aumenta el material en proceso en las operaciones con cuello de botella, añade una manipulación suplementaria de material, requiere tiempo suplementario de supervisión y puede interferir el trabajo de mantenimiento. Esta solución no es posible si ya se aplica el trabajo a tres turnos, pero es simple y empleada a menudo.

#### 6. Mejorar el rendimiento del operario

Algunas veces es posible equilibrar una operación con sólo identificar el cuello de botella, tratando de que el supervisor obtenga un mayor rendimiento de ella. Puede escoger al operario más rápido o capaz para realizarla. Puede conceder una prima a cualquier operario que logre ir al paso de las otras operaciones. Puede

asignar una ayuda extra (un operario eventual durante el descanso o periodo de almuerzo, o uno que se dedique a colocar la pieza en la posición adecuada).

Niebel y Freivalds (2009), mencionan que el problema de determinar el número ideal de operadores que se deben asignar a una línea de producción es análogo al que se presenta cuando se desea calcular el número de operadores que se deben asignar a una estación de trabajo; el diagrama de procesos de grupo resuelve ambos problemas. Quizá la situación de balanceo de línea más elemental, que se encuentra muy a menudo, es aquella en que varios operadores, cada uno de los cuales lleva a cabo operaciones consecutivas, trabajan como si fueran uno solo. En dicha situación, la velocidad de producción depende del operador más lento.

Por ejemplo, se tiene una línea con cinco operadores que ensamblan montajes de hule enlazados antes de entrar al proceso de curado. Las tareas específicas del trabajo podrían ser las siguientes:

- operador 1: 0.52 minutos
- operador 2: 0.48 minutos
- operador 3: 0.65 minutos
- operador 4: 0.41 minutos
- operador 5: 0.55 minutos

El operador 3 establece el paso, como evidencia lo siguiente:

Tabla 1: Análisis de tareas específicas por operador.

<b>Operador</b>	<b>Minutos estándar para llevar a cabo la operación</b>	<b>Tiempo de espera con base en el operador más lento</b>	<b>Tiempo estándar (minutos)</b>
1	0.52	0.13	0.65
2	0.48	0.17	0.65
3	0.65	-	0.65
4	0.41	0.24	0.65
5	0.55	0.1	0.65
Totales	2.61		3.25

(Niebel y Freivalds, 2009)

La eficiencia de esta línea puede calcularse como la relación entre la cantidad de minutos estándar reales y el total de minutos estándar permitidos, es decir:

$$E = \frac{\sum_1^5 SM}{\sum_1^5 AM} \times 100 = \frac{2.61}{3.25} \times 100 = 80\%$$

Ecuación 7. Eficiencia

donde:

E= eficiencia

SM= minutos estándar por operación

AM= minutos estándar permitidos por operación

Algunos analistas prefieren considerar el tiempo ocioso en porcentaje (% ocioso):

$$\% \text{Ocioso} = 100 - E = 20\%$$

Ecuación 8. Porcentaje de ociosidad

El número de operadores necesarios para fijar la velocidad de producción requerida puede calcularse mediante:

$$N = R \times \sum AM = R \times \frac{\sum SM}{E}$$

Ecuación 9. Número de operadores necesarios

donde:

N= número de operadores necesarios en la línea

R= velocidad de producción que se desea

Por ejemplo, considerar que se tiene un nuevo diseño para el cual se desea establecer una línea de ensamble y están involucradas ocho operaciones distintas. La línea debe producir 700 unidades diarias (o  $700/480 = 1.458$  unidades/minuto), y debido a que se debe minimizar el almacenamiento, no se debe producir más de 700 unidades/día. Las ocho operaciones involucran los minutos estándar siguientes con base en datos estándares existentes:

- operación 1: 1.25 minutos
- operación 2: 1.38 minutos
- operación 3: 2.58 minutos



- operación 4: 3.84 minutos
- operación 5: 1.27 minutos
- operación 6: 1.29 minutos
- operación 7: 2.48 minutos
- operación 8: 1.28 minutos

Para planear esta línea de ensamble con el fin de lograr la configuración más económica, se calcula el número de operadores que se requieren para un nivel de eficiencia determinado (idealmente, 100%), de la manera siguiente:

$$N = 1.458 \times \frac{1.25 + 1.38 + 2.58 + 3.84 + 1.27 + 1.29 + 2.48 + 1.28}{1.00} = 22.4$$

Ecuación 10. Número de operadores ideal

Para obtener una eficiencia más realista de 95%, el número de operadores debe ser de  $22.4/0.95=23.6$ .

Puesto que es imposible tener seis décimas de operador, es necesario configurar la línea utilizando 24 operadores. Un método alternativo sería utilizar operadores a tiempo parcial que trabajen por hora.

A continuación, se calcula el número de operadores que se utilizarán en cada una de las ocho operaciones específicas. Puesto que se requieren 700 unidades de trabajo al día, será necesario producir 1 unidad en aproximadamente cada 0.685 minutos ( $480/700$ ). Se calcula también el número de operadores necesarios para cada operación dividiendo el número de minutos permitidos para producir una pieza entre los minutos estándar para cada operación, de la manera siguiente:

Tabla 2: Análisis minutos estándar y cantidad de operadores.

Operación	Minutos estándar	Minutos estándar Minutos/unidad	Número de operadores
Operación 1	1.25	1.83	2
Operación 2	1.38	2.02	2
Operación 3	2.58	3.77	4
Operación 4	3.84	5.62	6
Operación 5	1.27	1.86	2
Operación 6	1.29	1.88	2
Operación 7	2.48	3.62	4
Operación 8	1.28	1.87	2
Totales	15.37		24

(Niebel y Freivalds, 2009)

Para identificar la operación más lenta, se divide el número estimado de operadores entre los minutos estándar asignados a cada una de las ocho operaciones. Los resultados se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 3: Análisis operaciones y minutos estándar asignados.

Operación 1	$1.25 / 2 = 0.625$
Operación 2	$1.38 / 2 = 0.690$
Operación 3	$2.58 / 4 = 0.645$
Operación 4	$3.84 / 6 = 0.640$
Operación 5	$1.27 / 2 = 0.635$
Operación 6	$1.29 / 2 = 0.645$
Operación 7	$2.48 / 4 = 0.620$
Operación 8	$1.28 / 2 = 0.640$

(Niebel y Freivalds, 2009)

Por lo tanto, la operación 2 determina la salida de la línea. En este caso es la siguiente:

$$\frac{2 \text{ trabajadores} \times 60 \text{ minutos}}{1.38 \text{ minutos estándar}} = 87 \text{ piezas o } 696 \text{ piezas/día}$$

Ecuación 11. Cantidad de piezas por día

Si el ritmo de producción no es adecuado, es necesario incrementar el ritmo de producción del operador 2, objetivo que puede lograrse mediante:

- Que uno o ambos operarios trabajen en la segunda operación tiempo extra, lo que acumula un pequeño inventario en esta estación de trabajo.
- El empleo de los servicios de un tercer operador de tiempo parcial en la estación de trabajo de la operación 2.
- La reasignación de parte del trabajo de la operación 2 a la operación 1 o a la operación 3. (es factible asignar más trabajo a la operación 1).
- La mejora del método en la operación 2 para reducir el tiempo del ciclo de esta operación.

Una vez establecidos el tiempo de ciclo y los tiempos de las operaciones, el analista puede determinar el número de operadores necesarios para que cada operación cumpla con un horario de producción deseado. El problema de la asignación de trabajo en una línea de producción también puede tener por objetivo minimizar el número de estaciones de trabajo. Dado el tiempo deseado del ciclo o, el número de estaciones de trabajo, se asignan los elementos de trabajo a las estaciones, dentro de las restricciones establecidas, con el fin de minimizar el tiempo de ciclo.

El procedimiento siguiente para resolver un problema de balanceo de una línea de ensamble se basa en el método de Helgeson y Birnie según Niebel y Freivalds (2009). El método toma en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los operadores no pueden moverse de una estación de trabajo a otra para ayudar a conservar la carga de trabajo uniforme.
- Los elementos de trabajo que se han establecido son de tal magnitud que divisiones adicionales minimizarían de forma sustancial la eficiencia del desempeño del elemento de trabajo. (Una vez establecidos, los elementos de trabajo deben identificarse mediante un código).

El primer paso para solucionar el problema consiste en determinar la secuencia de los elementos de trabajo individuales. A medida que las restricciones sean menores respecto al orden en el que pueden realizarse los elementos de trabajo, mayor será la probabilidad de que se pueda lograr un balance favorable en las asignaciones laborales. Para determinar la secuencia de los elementos de trabajo, el analista contesta la pregunta siguiente: ¿Qué otros elementos de trabajo, si existen, deben

terminarse antes de que este elemento de trabajo pueda comenzar? Esta pregunta se aplica a cada elemento con el fin de establecer un diagrama de precedencia para la línea de producción que se estudia (consulte la figura 3). Un diseño funcional, la disponibilidad de métodos de producción, el espacio físico, etc., pueden presentar restricciones respecto a la secuencia de los elementos de trabajo.

Una segunda consideración en el problema de la asignación de trabajo en una línea de producción consiste en las restricciones zonales. Una zona representa una subdivisión que puede o no estar físicamente separada o diferenciada de las demás zonas del sistema. Confinar ciertos elementos de trabajo a una zona determinada puede justificarse, así como congregar tareas similares, condiciones de trabajo o pago de salarios. Las restricciones zonales pueden ayudar a identificar físicamente etapas específicas de un componente; por ejemplo, todos los elementos de trabajo relacionados con un lado de un componente deben actuar en cierta zona antes de que dicho componente sea terminado.

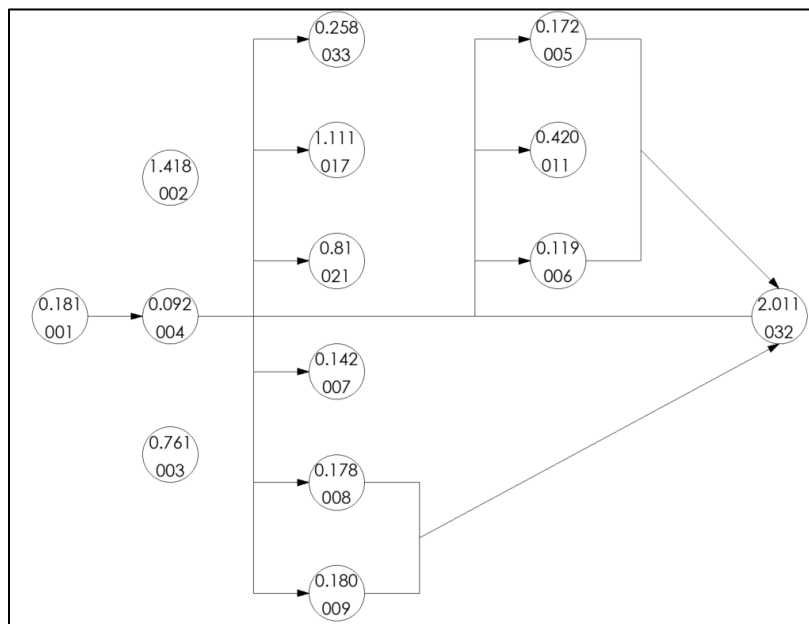


Figura 3: Diagrama de precedencia terminado en forma parcial.  
(Niebel y Freivalds, 2009)

En la Figura 3 se observa que los elementos de trabajo 002 y 003 se pueden realizar en cualquier secuencia respecto a cualquier otro elemento de trabajo, y que el 032 no puede comenzar hasta que se hayan terminado los elementos de trabajo 005 ,006 ,008 y 009. También se observa que inmediatamente después de que el elemento de trabajo 004 haya sido terminado, se puede arrancar con los elementos de trabajo 033, 017, 021, 005, 011, 006, 007, 008 o 009.

Como es evidente, a medida que hay mayor número de restricciones zonales en el sistema, serán menores las combinaciones posibles para una optimización. El analista comienza con la elaboración de un bosquejo del sistema y la codificación de las zonas aplicables. Dentro de cada zona se muestran los elementos de trabajo que pueden elaborarse en dicha área. El analista, posteriormente, calcula el ritmo de producción mediante el uso de la siguiente expresión:

$$\text{Producción diaria} = \frac{\text{minutos/días trabajados}}{\text{tiempo del ciclo del sistema (minutos/unidad)}}$$

Ecuación 12. Producción diaria

donde el tiempo del ciclo del sistema es el tiempo estándar de la zona o de la estación límite. Se considera otra línea de ensamblado con el diagrama de precedencia siguiente:

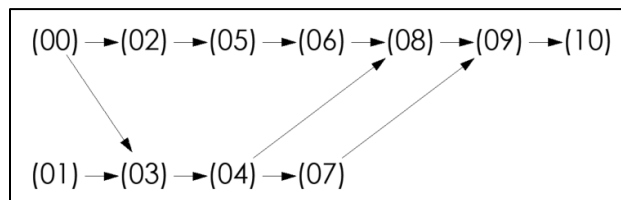


Figura 4: Diagrama de precedencia.

(Niebel y Freivalds, 2009)

Este diagrama de precedencia muestra que la unidad de trabajo (00) debe terminarse antes de (02), (03), (05), (06), (04), (07), (08), (09) y (10), y que la unidad (01) debe terminarse antes que (03), (04), (07), (08), (09) y (10). Tanto (00) como (01) pueden hacerse primero, o ambas se pueden llevar a cabo de manera simultánea. Asimismo, la unidad de trabajo (03) no puede comenzar hasta que las unidades de trabajo (00) y (01) hayan terminado, y así sucesivamente.

Para describir estas relaciones, se establece la matriz de relaciones que se muestra en la Tabla 4. El número 1 significa que una relación “debe preceder”. Por ejemplo, la unidad de trabajo (00) debe preceder a las unidades de trabajo (02), (03), (04), (05), (06), (07), (08), (09) y (10). También, la unidad de trabajo (09) debe preceder sólo a (10).

Se debe calcular una ponderación posicional por cada unidad de trabajo. Esta operación se lleva a cabo calculando la suma de la unidad de trabajo determinada y de todas las unidades de trabajo que le siguen. Por lo tanto, la ponderación posicional de la unidad de trabajo (00) sería:

$$\sum_{00,02,03,\dots,08,09,10} = 0.46 + 0.25 + 0.22 + 1.10 + \dots + 1.32 + 0.49 + 0.55 = 6.26$$

Ecuación 13. Ponderación posicional por unidad de trabajo

Tabla 4: Matriz de precedencia utilizada en un problema de balanceo de una línea.

Tiempo estimado por unidad de trabajo (minutos)	Unidad de trabajo	Unidad de trabajo										
		00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
0.46	00			1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.35	01				1	1			1	1	1	1
0.25	02						1	1		1	1	1
0.22	03								1	1	1	1
1.1	04								1	1	1	1
0.87	05							1		1	1	1
0.28	06									1	1	1
0.72	07										1	1
1.32	08										1	1
0.49	09											1
0.55	10											
6.61												

(Niebel y Freivalds, 2009)

Si se crea un listado de las ponderaciones posicionales en orden de magnitudes decrecientes se muestra lo siguiente:

Tabla 5: Ponderaciones posicionales en orden de magnitudes decrecientes.

Elementos de trabajo sin ordenar	Elementos de trabajo ordenados	Ponderación posicional	Predecesores inmediatos
00	00	6.26	-
01	01	4.75	-
02	03	4.4	(00),(01)
03	04	4.18	(03)
04	02	3.76	(00)
05	05	3.51	(02)
06	06	2.64	(05)
07	08	2.36	(04),(06)
08	07	1.76	(04)
09	09	1.04	(07),(08)
10	10	0.55	(09)

(Niebel y Freivalds, 2009)

Los elementos de trabajo deben asignarse a las diferentes estaciones. Este proceso está basado en las ponderaciones posicionales (es decir, aquellos elementos de trabajo con las ponderaciones posicionales más bajas se asignan primero) y en el tiempo de ciclo del sistema. El elemento de trabajo con el mayor peso posicional se asigna a la primera estación de trabajo. El tiempo no asignado para esta estación de trabajo se determina restando la suma de los tiempos asignados al elemento de trabajo del tiempo estimado del ciclo. Si existe tiempo no asignado, se asigna el elemento de trabajo con el siguiente peso posicional más alto, siempre y cuando los elementos de trabajo de la columna "predecesores inmediatos" ya hayan sido asignados. Una vez que se haya determinado el tiempo asignado a una estación de trabajo, el analista continúa con la estación de trabajo siguiente y el proceso también lo hace hasta que todos los elementos de trabajo hayan sido asignados.

Si, por ejemplo, la producción requerida por turno de 450 minutos es de 300 unidades, el tiempo del ciclo del sistema es  $450/300=1.50$  minutos. La línea balanceada final se muestra en la Tabla 6.

Con relación a la configuración que se ilustra, con seis estaciones de trabajo, se tiene un tiempo de ciclo de 1.32 minutos (estación de trabajo 4). Este arreglo produce  $450/1.32=341$  unidades, lo cual satisface el requerimiento diario de 300

unidades. Sin embargo, con seis estaciones de trabajo, tenemos también un tiempo ocioso considerable. El tiempo ocioso por ciclo es:

$$\sum_1^6 0.04+0.22+0.17+0+0.11+0.77=1.31 \text{ minutos}$$

Ecuación 14. Tiempo ocioso

Para lograr un balanceo más favorable, el problema puede resolverse en tiempos de ciclo menores a 1.50 minutos. Este nuevo enfoque puede traer como consecuencia la necesidad de contar con más operadores y una mayor producción diaria, la cual tendrá que ser almacenada. Otra posibilidad involucra operar la línea bajo un esquema más eficientemente balanceado durante un número limitado de horas por día.

Tabla 6: Línea de ensamble balanceada.

Trabajo		Ponderación posicional	Predecesores inmediatos	Tiempo de un elemento de trabajo	Tiempo de estación		Comentarios
Estación	Elemento				Acumulado	No asignado	
1	00	6.26	-	0.46	0.46	1.04	-
1	01	4.75	-	0.35	0.81	0.69	-
1	03	4.4	(00),(01)	0.22	1.03	0.47	-
1	<del>04</del>	<del>4.18</del>	<del>(03)</del>	<del>1.10</del>	2.13	-	N.A.
1	02	3.76	(00)	0.25	1.28	0.22	-
1	<del>05</del>	<del>3.56</del>	<del>(02)</del>	<del>0.87</del>	2.05	-	N.A.
2	04	4.18	(03)	1.10	1.1	0.40	-
2	<del>05</del>	<del>3.56</del>	<del>(02)</del>	<del>0.87</del>	1.97	-	N.A.
3	05	3.56	(02)	0.87	0.87	0.63	-
3	06	2.64	(05)	0.28	1.15	0.35	-
3	<del>08</del>	<del>2.36</del>	<del>(04),(06)</del>	<del>1.32</del>	2.47	-	N.A.
4	08	2.36	(04),(06)	1.32	1.32	0.18	-
4	<del>07</del>	<del>1.76</del>	<del>(04)</del>	<del>0.72</del>	2.04	-	N.A.
5	07	1.76	(04)	0.72	0.72	0.78	-
5	09	1.04	(07),(08)	0.49	1.21	0.29	-
5	<del>10</del>	<del>0.55</del>	<del>(09)</del>	<del>0.55</del>	1.76	-	N.A.
6	10	0.55	(09)	0.55	0.55	0.95	-

(Niebel y Freivalds, 2009)

Según Niebel y Freivalds (2009), algunos de los obstáculos al tratar de balancear una línea de producción son los siguientes:

- Líneas con diferentes tasas de producción.
- Inadecuada distribución de planta
- Variabilidad de los tiempos de operación



Para remediar esta situación se deben nivelar las cargas de trabajo, de tal manera que los operarios tengan una misma cantidad de trabajo en un tiempo determinado, de modo que se pueda reducir al máximo el tiempo ocioso de las estaciones de trabajo mediante una secuencia tecnológica predeterminada.

Para poder realizar un balanceo de línea es necesario contar con:

- Descripción de las actividades
- Determinación de la precedencia de cada operación o actividad
- Determinar el tiempo de cada actividad u operación
- Tener un diagrama de proceso
- Determinar el tiempo de ciclo
- Determinar el número de estaciones
- Determinar el tiempo de operación
- Determinar el tiempo muerto
- Determinar la eficiencia
- Determinar el retraso del balance
- Determinar que operaciones quedan en cada estación de trabajo
- Determinar el contenido de trabajo en cada estación
- Determinar el contenido total de trabajo

Los principios básicos de una línea son los siguientes:

- Principio de mínima distancia recorrida
- Principio de la división de trabajo
- Principio de la simultaneidad o de las operaciones simultáneas
- Principio de operación conjunta
- Principio de la trayectoria fija
- Principio del mínimo tiempo y de material en proceso
- Principio de la intercambiabilidad

Los elementos de trabajo establecidos de acuerdo con el principio de la división del trabajo se asignan a las estaciones de manera que todas ellas tengan aproximadamente la misma cantidad de trabajo. A cada trabajador, en su

estación, se le asignan determinados elementos y los lleva a cabo una y otra vez en cada unidad de producción mientras pasa frente a su estación.

Si los tiempos productivos que se requieren en todas las estaciones de trabajo fuesen iguales no existirían tiempos muertos, y la línea estaría perfectamente equilibrada. El problema de diseño para encontrar las formas de igualar los tiempos de trabajo en todas las estaciones se denomina problema de balanceo de línea.

## **2.5. SISTEMAS DE MEDICIÓN DE TIEMPOS**

Niebel y Freivalds (2009) mencionan que éstos pueden determinarse mediante el uso de estimaciones, registros históricos y procedimientos de medición del trabajo. En el pasado, los analistas confiaban más en las estimaciones como un medio de establecer estándares. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que ningún individuo puede establecer estándares consistentes y justos sólo con ver un trabajo y juzgar el tiempo requerido para determinarlo.

## **2.6. REQUERIMIENTOS PARA EL ESTUDIO DE TIEMPOS**

Niebel y Freivalds (2009) consideran que antes de realizar un estudio de tiempos, deben cumplirse ciertos requerimientos fundamentales. Por ejemplo, si se requiere un estándar de un nuevo trabajo, o de un trabajo antiguo en el que el método o parte de él se ha alterado, el operario debe estar completamente familiarizado con la nueva técnica antes de estudiar la operación. Además, el método debe estandarizarse en todos los puntos en que se use antes de iniciar el estudio.

## **2.7. ESTUDIO DE TIEMPOS**

Según Heizer (2009) el estudio clásico con cronómetro o estudio de tiempos, originalmente propuesto por Frederick W. Taylor en 1881, sigue siendo el método de estudio de tiempos más ampliamente usado. El procedimiento de un estudio de tiempo implica medir el tiempo de una muestra del desempeño de un trabajador

y usarlo para establecer un estándar. Una persona capacitada y experimentada puede establecer un estándar siguiendo estos ocho pasos:

1. Definir la tarea a estudiar (después de realizar un análisis de métodos).
2. Dividir la tarea en elementos precisos (partes de una tarea que con frecuencia no necesitan más de unos cuantos segundos).
3. Decidir cuántas veces se medirá la tarea (el número de ciclos de trabajo o muestras necesarias).
4. Medir el tiempo y registrar los tiempos elementales y las calificaciones del desempeño.
5. Calcular el tiempo observado (real) promedio. El tiempo observado promedio es la media aritmética de los tiempos para cada elemento medido, ajustada para la influencia inusual en cada elemento.

$$\text{Tiempo observado promedio} = \frac{\text{suma de los tiempos registrados para realizar cada elemento}}{\text{número de observaciones}}$$

Ecuación 15. Tiempo observado promedio

6. Determinar la calificación del desempeño (paso del trabajo) y después calcular el tiempo normal para cada elemento.}

$$\text{Tiempo normal} = (\text{tiempo observado promedio}) \times (\text{factor de calificación del desempeño})$$

Ecuación 16. Tiempo normal

7. Sumar los tiempos normales para cada elemento a fin de determinar el tiempo normal de una tarea.
8. Calcular el tiempo estándar. Este ajuste al tiempo normal total proporciona las holguras por necesidades personales, demoras inevitables del trabajo y fatiga del trabajador.

## **2.8. EQUIPOS PARA REALIZAR UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE TIEMPOS**

Morante (2015) menciona que el equipo mínimo requerido para realizar un programa de estudio de tiempos incluye:

- cronómetro
- tablero de apoyo con sujetador
- forma para el estudio de tiempos
- lápiz
- flexómetro

Estos equipos o materiales son los básicos para el comienzo en la realización de un estudio de tiempos, por lo cual el analista tendrá lo necesario e indispensable para la toma y registro del tiempo para los procesos productivos, además el analista debe estar bien capacitado.

## **2.9. EFECTIVIDAD TOTAL DE LOS EQUIPOS**

Muñoz (2019) define que el O.E.E. (por sus siglas en inglés "Overall Equipment Effectiveness") es la efectividad total de los equipos, la cual consiste en lo siguiente:

- i) Definir, calcular y controlar un indicador global de productividad (para toda la planta) que permita evaluar a una máquina (línea o área) en los ámbitos más relevantes de su funcionamiento.
- ii) Crear una buena herramienta que permita hacer gestión en todas las áreas involucradas en todo el proceso productivo.
- iii) Este indicador involucra el desempeño tanto de personal de operaciones y mantenimiento.
- iv) Se debe ajustar a requerimientos o aplicaciones de la empresa/línea o máquina.

Las categorías del OEE según Gallegos (2019) son las siguientes:

OEE < 65% Inaceptable: Se producen importantes pérdidas económicas. Muy baja competitividad.

65% < OEE < 75% Regular: Aceptable solo si se está en proceso de mejora. Pérdidas económicas. Baja competitividad.

75% < OEE < 85% Aceptable: Continuar la mejora para superar el 85% y avanzar hacia la clase mundial. Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja.

85% < OEE < 95% Buena: Entra en valores de clase mundial. Buena competitividad.

OEE > 95% Excelencia: Valores de clase mundial. Excelente competitividad.

### 3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para la obtención de resultados se realizaron los siguientes pasos y metodología.

Para la medición de tiempos de ciclo del proceso se utilizó la metodología mencionada en Niebel y Freivalds (2009), la cual describe que, para el estudio del trabajo, se debe contar con una plantilla de operadores ya capacitados en el proceso y proceso estandarizado, lo cual se cumplió cuando se realizó el análisis.

De acuerdo con Morante (2015), se utilizaron los siguientes elementos para realizar el estudio de tiempos de ciclo.

- cronómetro digital.
- tablero de apoyo con sujetador.
- formato para el estudio de tiempos.
- lápiz.

Se realizaron 32 mediciones de tiempos de ciclo con un cronómetro desde un dispositivo móvil digital, esto se realizó para cada estación en cada una de las líneas de ensamble modular, las mediciones se realizaron en el turno matutino en un lapso de 8 horas de producción de amortiguadores.

El registro de cada una de las mediciones se vació en un formato de tabla estándar para recopilación de datos de tiempo de ciclo, cada estación con sus 32 espacios separados en la tabla y el nombre de cada operación, al final se promediaron todos los datos para obtener el tiempo de ciclo observado de la muestra de cada estación.

A continuación, se mencionan los productos fabricados en cada línea de ensamble de amortiguadores de las que se obtuvieron resultados en este estudio.

- Línea de ensamble modular B2. Se fabrican amortiguadores frontales y traseros, los componentes que se ensamblan en esa línea para producir los amortiguadores son buje de hule y capuchón.
- Línea de ensamble modular B4. Se fabrican amortiguadores frontales y traseros, los componentes que se ensamblan en esa línea para producir los

amortiguadores son capuchón, tope rebote, tubo camisa, arandela y tuerca.

- Línea de ensamble modular A9.1. Se fabrican amortiguadores frontales y traseros, los componentes que se ensamblan en esa línea para producir los amortiguadores son seguro clip, tope rebote, resorte, camisa, aislador, montante superior y tuerca.
- Línea de ensamble modular A9.2. Se fabrican amortiguadores frontales, los componentes que se ensamblan en esa línea para producir los amortiguadores son perno, tope rebote, plato, camisa, resorte, montante superior y tuerca.
- Línea de ensamble modular A9.3. Se fabrican amortiguadores traseros, los componentes que se ensamblan en esa línea para producir los amortiguadores son buje, protector plástico, protector corrugado, tubo camisa, ojal, arandela, conector, carcasa para conexión.

## 4. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados del balanceo de las líneas de ensamble mediante el método de peso posicional.

### 4.1. LÍNEA DE ENSAMBLE MODULAR B2

En la Figura 5 se observa la vista frontal de la línea de ensamble modular B2 físicamente en piso de producción.



Figura 5: Imagen de la línea de ensamble modular B2.  
Elaboración propia



En la Figura 6 se observa un esquema con la vista superior de la línea de ensamblaje modular B2 y sus diferentes estaciones.

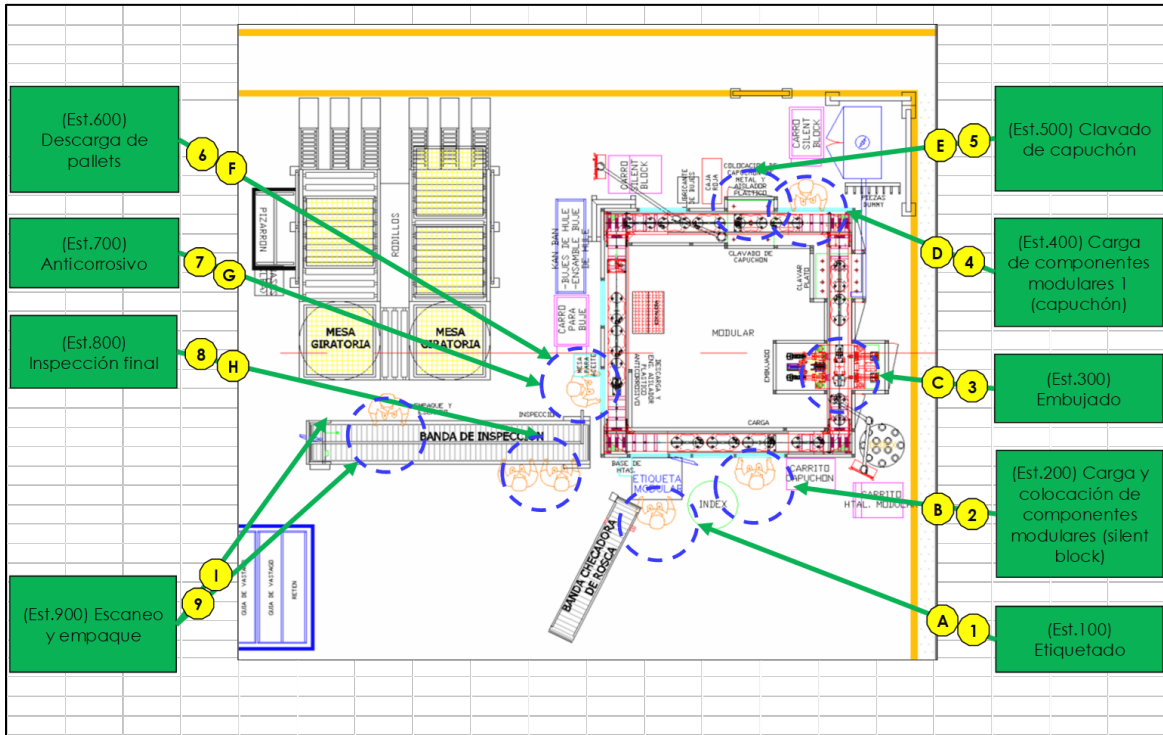


Figura 6: Layout de línea de ensamblaje modular B2 con descripción de estaciones.  
Elaboración propia

Tabla 7: Tabla de análisis de tiempo de ciclo de una muestra representativa de 32 mediciones con cronómetro de manera manual.

Amortiguador trasero línea de ensamble modular B2									
Número de pieza	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Etiquetado	Carga y colocación de componentes modulares (silent block)	Embujado	Carga de componentes modulares 1 (capuchón)	Clavado de capuchón	Descarga de pallets	Anticorrosivo	Inspección final	Escaneo y empaque
	Est. 100 (s)	Est. 200 (s)	Est. 300 (s)	Est. 400 (s)	Est. 500 (s)	Est. 600 (s)	Est. 700 (s)	Est. 800 (s)	Est. 900 (s)
1	6.50	11.70	8.80	10.00	8.70	11.00	6.80	4.60	5.19
2	5.50	7.70	9.10	10.80	10.30	12.00	6.09	3.64	4.47
3	6.10	7.20	8.80	7.80	8.60	10.40	8.17	4.09	4.40
4	6.40	6.90	8.80	8.40	12.90	10.50	5.98	4.02	4.53
5	5.90	8.10	8.20	8.20	8.70	10.70	7.69	5.12	4.48
6	5.40	7.10	7.90	7.90	8.70	10.40	5.02	4.14	4.33
7	6.40	9.90	8.30	7.90	8.10	10.90	5.08	5.98	5.05
8	5.60	12.80	7.90	8.10	8.80	11.40	7.25	5.66	4.40
9	6.70	11.20	8.10	8.00	8.40	12.20	5.50	4.52	4.60
10	4.80	14.00	8.90	8.20	12.20	11.70	5.03	3.67	4.12
11	5.80	10.80	7.70	10.50	8.10	10.60	7.14	4.35	4.49
12	5.50	11.70	8.50	8.00	8.80	9.90	7.79	5.88	4.08
13	6.90	11.00	8.30	7.90	8.30	9.10	5.43	5.65	4.44
14	6.80	14.80	8.50	8.20	8.20	9.30	6.02	4.46	6.45
15	5.90	9.20	8.90	9.30	9.40	12.20	5.47	8.84	4.41
16	5.70	12.40	8.90	9.20	10.40	11.00	5.61	4.91	4.93
17	6.20	7.90	8.70	12.60	8.10	11.00	5.83	4.83	4.54
18	6.90	8.70	8.40	10.90	8.30	11.30	6.97	4.10	4.99
19	6.10	9.10	7.80	9.50	7.60	10.30	8.56	6.25	4.74
20	5.80	8.30	8.10	9.60	7.60	11.70	4.90	4.76	4.21
21	5.60	6.50	8.70	10.10	8.60	9.11	6.12	3.88	4.27
22	5.20	6.60	7.50	9.50	8.80	10.50	4.86	3.52	4.75
23	5.60	10.00	8.60	8.90	8.20	12.40	6.22	3.06	5.82
24	5.60	10.30	8.80	8.60	7.70	12.90	6.10	3.92	4.91
25	6.00	9.50	8.80	8.50	8.00	12.20	5.17	4.25	5.33
26	6.20	9.30	9.40	8.50	10.20	12.50	5.90	4.27	5.39
27	6.00	8.20	8.30	8.90	7.90	12.70	5.32	6.27	6.10
28	6.70	7.80	8.10	8.30	8.30	13.50	5.82	3.41	4.71
29	6.10	10.10	8.00	8.40	7.90	13.10	5.30	3.16	5.11
30	6.80	8.40	8.10	7.80	7.80	14.00	6.22	4.26	4.07
31	5.10	9.90	7.90	8.10	7.70	13.60	5.94	6.30	6.42
32	6.10	8.30	8.30	8.70	8.50	13.90	7.03	6.60	5.63
<b>Total (s)</b>	<b>6.00</b>	<b>9.54</b>	<b>8.41</b>	<b>8.92</b>	<b>8.74</b>	<b>11.50</b>	<b>6.14</b>	<b>4.76</b>	<b>4.86</b>

Elaboración propia

En la Tabla 7 se observa que para poder producir un amortiguador trasero en la línea de ensamble modular B2 actualmente se requieren 9 estaciones. Se realizó un estudio en donde se obtuvieron 32 mediciones de tiempo de ciclo para cada una de las estaciones de la línea de ensamble. El tiempo de ciclo mayor comparado con todas las estaciones es el de la estación "(F) descarga de pallets", con un promedio total de 11.50 segundos, mientras que el tiempo de ciclo menor comparado con todas las estaciones es el de la estación "(H) inspección final", con un promedio total de 4.76 segundos.

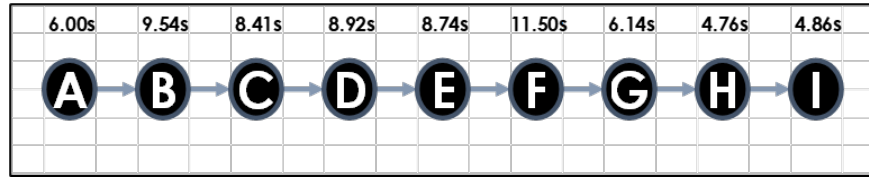


Figura 7: Diagrama de precedencias línea de ensamblaje modular B2.  
Elaboración propia

La Figura 7 muestra las nueve estaciones de la línea de ensamblaje modular B2 organizadas con letras e incluye el tiempo de ciclo de cada estación. Se observa que el flujo del proceso en este caso es lineal, es decir, no se realizan operaciones en estaciones en paralelo.

Tabla 8: Tabla para desarrollar el diagrama de precedencias.

Tareas que preceden	Tarea	Tiempo de ciclo (seg)
-	A	6.00
A	B	9.54
B	C	8.41
C	D	8.92
D	E	8.74
E	F	<b>11.50</b>
F	G	6.14
G	H	4.76
H	I	4.86
<b>Total</b>	-	<b>68.86</b>

Elaboración propia

En la Tabla 8 se observan las tareas o estaciones del proceso de ensamblaje ordenadas de acuerdo con el flujo del proceso y se colocan las tareas precedentes; es decir, las tareas anteriores a la tarea de estudio. También se observa el tiempo de ciclo promedio de la sumatoria total de todas las estaciones, en este caso el tiempo promedio es de 68.86 segundos.

Tabla 9: Tabla de ponderación de la posición.

<b>Tarea sucesora</b>	<b>Peso posicional / Tiempo acumulado</b>
B,C,D,E,F,G,H,I	68.86
C,D,E,F,G,H,I	62.86
D,E,F,G,H,I	53.32
E,F,G,H,I	44.91
F,G,H,I	36.00
G,H,I	27.25
H,I	15.75
I	9.62
-	4.86

Elaboración propia

En la Tabla 9 se observan las tareas sucesoras de acuerdo con el flujo ordenado de tareas de la línea de ensamble modular; es decir, se enlistan las tareas sucesoras de la tarea "A", que son "B, C, D, E, F, G, H, I" y así sucesivamente. Sumando los tiempos de ciclo de la tarea "A" y todas las tareas sucesoras se obtiene el tiempo acumulado para cada caso.

Tabla 10: Tabla de reorden de tareas de acuerdo con el peso posicional.

<b>Tarea (reorden)</b>	<b>Tiempos (segundos)</b>
A	6.00
B	9.54
C	8.41
D	8.92
E	8.74
F	11.50
G	6.14
H	4.76
I	4.86

Elaboración propia

En la Tabla 10 se observa el reorden de las tareas o estaciones de la línea de ensamble modular, esto consiste en ordenar las tareas de menor a mayor de acuerdo con los tiempos de ciclo iniciales, en este caso las tareas están ordenadas desde un inicio, es decir los tiempos de ciclo están ordenados.

Tabla 11: Tabla de cálculo de tiempo no asignado por cada estación de trabajo.

<b>Mínimo = 6 estaciones</b>				<b>TC=12s</b>
<b>Estación de trabajo</b>	<b>Tarea</b>	<b>Tiempo de ciclo</b>	<b>Tiempo de ciclo acumulado</b>	<b>Tiempo no asignado</b>
1	A	6.00	6.00	6.00
2	B	9.54	9.54	2.46
3	C	8.41	8.41	3.59
4	D	8.92	8.92	3.08
5	E	8.74	8.74	3.26
6	F	11.50	11.50	0.50
7	G	6.14	6.14	5.86
8	H	4.76	4.76	7.24
	I	4.86	9.62	2.38
<b>Tiempo inactivo (seg)</b>				<b>27.14</b>

Elaboración propia

En la Tabla 11 se observa el tiempo de ciclo de 12 segundos de acuerdo con el cuello de botella, el número mínimo de estaciones (6) de acuerdo con el cálculo, el tiempo de ciclo acumulado para cada tarea y por último también se observa un total de tiempo inactivo de 27.14 segundos con la sumatoria de todas las estaciones.

A continuación, se explica a detalle el cálculo de los datos mencionados en el párrafo anterior obtenidos de la Tabla 11.

El tiempo de ciclo acumulado se calcula de acuerdo con la regla del balanceo peso posicional, en donde se analiza la tarea en el orden de la estación de trabajo colocando su tiempo de ciclo, que es igual al tiempo de ciclo acumulado en caso de no existir una segunda tarea en la misma estación. El tiempo no asignado se calcula restando el tiempo de ciclo del cuello de botella, redondeado al máximo superior, con el resultado del tiempo de ciclo acumulado de la estación de trabajo.

Para el caso particular de la estación 8 en donde las tareas "H" e "I" se unen, el tiempo de ciclo acumulado de la tarea "I" es la suma del tiempo de ciclo de ambas tareas (9.62 segundos). El tiempo no asignado de la estación de trabajo 8 se obtiene restando el tiempo de ciclo del cuello de botella con el resultado del tiempo de ciclo acumulado de la estación de trabajo "I", obteniéndose 2.38 segundos como tiempo no asignado.

Todo lo anterior se realiza con base al diagrama de precedencias y los tiempos de ciclo de cada tarea. El proceso determina que la línea de ensamble modular B2 dispone de 480 minutos productivos por día, lo que es equivalente a un turno de producción de 8 horas.

$$\text{minutos productivos} = 8\text{h} * 60\text{min} = 480\text{minutos productivos}$$

Ecuación 17. Minutos productivos

El programa de producción requiere de 2400 amortiguadores por día en un turno de producción al 100% de utilización de la línea de ensamble modular.

$$\text{piezas por hora} = \frac{3600\text{s}}{12\text{s}} = 300\text{piezas por hora}$$

Ecuación 18. Piezas por hora

$$\text{piezas por turno} = 300\text{piezas por hora} * 8\text{h} = 2400\text{piezas por turno}$$

Ecuación 19. Piezas por turno

El número mínimo de estaciones se calcula dividiendo la suma de los tiempos de ciclo de todas las tareas entre el tiempo de ciclo.

$$\text{mínimo de estaciones de trabajo} = \frac{68.86\text{s}}{12\text{s}} = 5.73 \text{ estaciones como mínimo}$$

Ecuación 20. Mínimo de estaciones de trabajo

Como no se pueden considerar fracciones en el cálculo de estaciones mínimas, en este caso el resultado se redondea al número superior, teniendo 6 estaciones como mínimo.

El cálculo de la eficiencia es la sumatoria del tiempo de ciclo de todas las tareas entre el producto del número real de estaciones y el tiempo de ciclo por pieza.

$$\text{eficiencia} = \frac{68.86\text{s}}{6\text{estaciones} * 12\text{s por pieza}} = 0.956$$

Ecuación 21. Eficiencia

Es decir, una eficiencia del 95.6%.

**El proceso de la línea de ensamble modular B2** tiene una eficiencia **de excelencia** del 95% de acuerdo con lo reportado en la literatura Muñoz (2019) y Gallegos (2019). Teóricamente y de acuerdo con el cálculo, se debe tener un mínimo de 6 estaciones de trabajo; en la condición actual se tienen 9 estaciones de trabajo definidas con 7 operadores, pudiendo reducir dos operadores, (teniendo 5 operadores en total) de acuerdo con el balanceo de peso posicional realizado. Para este caso, de la línea de ensamble modular B2, si se encontraron posibles mejoras en alguna de sus estaciones y se reduce la cantidad de operadores. Esta línea de ensamble modular es un caso en donde se encuentran áreas de oportunidad en el proceso, con la posibilidad de mejora en una de sus estaciones, además no se tiene un tiempo de ciclo mayor a 7 segundos entre la estación cuello de botella (11.50s) y la estación de menor tiempo de ciclo (4.76s).

#### **4.2. LÍNEA DE ENSAMBLE MODULAR B4**

En la Figura 8 se observa la vista frontal de la línea de ensamble modular B4 físicamente en piso de producción.



Figura 8: Imagen de la línea de ensamble modular B2.  
Elaboración propia

En la Figura 9 se observa un esquema con la vista superior de la línea de ensamble modular B4 y sus diferentes estaciones.



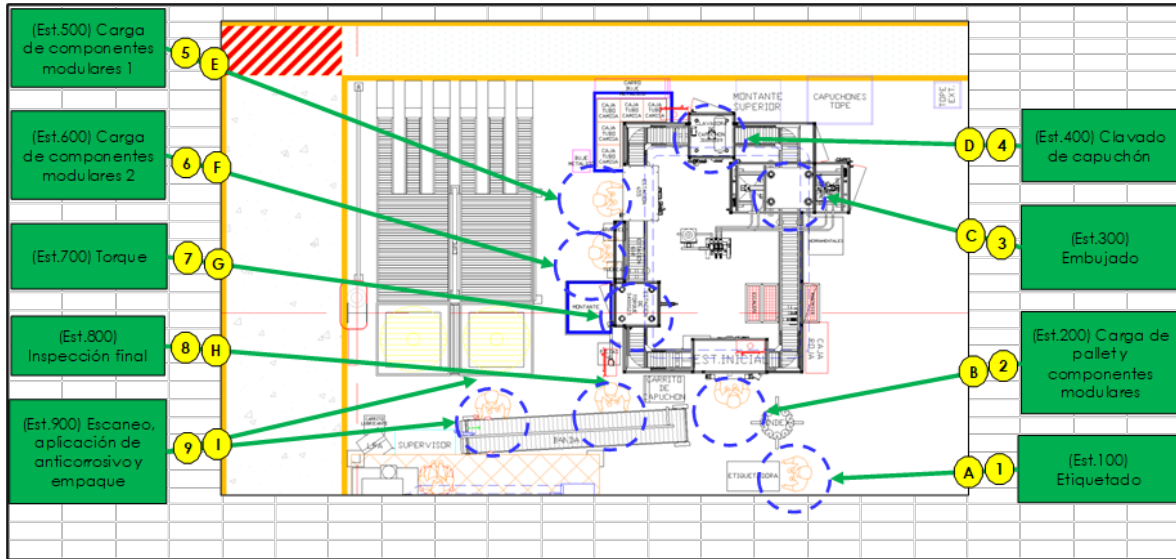


Figura 9: Layout de línea de ensamble modular B4 con descripción de estaciones.  
Elaboración propia

Tabla 12: Tabla de análisis de tiempo de ciclo de una muestra representativa de 32 mediciones con cronómetro de manera manual.

Número de pieza	Amortiguador frontal línea de ensamble modular B4								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Etiquetado	Carga de pallet y componentes modulares	Embujado	Clavado capuchón	Carga de componentes modulares 1	Carga de componentes modulares 2	Torque	Inspección final	Escaneo, aplicación de anticorrosivo y empaque
	Est. 100 (seg)	Est. 200 (seg)	Est. 300 (seg)	Est. 400 (seg)	Est. 500 (seg)	Est. 600 (seg)	Est. 700 (seg)	Est. 800 (seg)	Est. 900 (seg)
1	8.50	6.40	9.49	8.47	7.40	10.50	10.90	6.00	5.70
2	10.48	7.80	9.55	9.02	11.60	10.20	8.60	6.50	5.40
3	7.93	7.10	9.60	9.46	9.20	10.10	10.00	5.90	6.50
4	6.09	6.50	9.77	10.10	10.70	10.00	11.80	7.50	6.10
5	12.96	6.90	9.22	9.59	10.00	10.30	10.00	7.80	5.90
6	7.60	7.30	9.97	9.57	9.90	10.40	10.00	8.05	6.20
7	11.27	9.20	9.32	9.21	11.80	11.40	10.00	7.05	6.60
8	9.65	7.40	10.52	9.67	8.20	12.00	10.10	7.15	5.90
9	12.57	7.90	8.46	9.83	10.40	9.60	10.10	8.00	6.50
10	11.29	6.00	9.18	9.47	7.90	12.00	10.30	7.20	5.30
11	8.03	7.10	9.64	9.65	7.20	10.30	10.00	7.25	5.70
12	8.35	7.30	10.13	10.04	10.70	10.20	10.10	8.65	6.30
13	10.19	6.30	9.98	9.61	9.80	10.70	10.50	7.15	4.60
14	9.98	6.40	9.79	9.37	10.40	10.40	10.50	7.20	5.50
15	10.89	7.20	9.78	9.52	10.50	10.50	10.50	6.80	7.70
16	8.78	6.70	9.70	9.07	10.00	10.20	10.20	8.35	4.30
17	8.42	6.10	10.59	10.03	10.00	10.50	10.10	8.05	5.20
18	11.08	7.50	9.87	9.14	8.80	10.70	9.90	6.90	5.90
19	10.49	6.20	9.83	10.33	7.40	10.50	10.30	7.85	6.30
20	10.55	6.10	9.79	9.16	10.50	12.90	9.90	8.00	5.00
21	9.82	7.90	9.58	9.49	8.70	9.50	9.90	6.40	5.40
22	8.71	7.40	10.29	9.53	11.40	10.50	10.10	6.15	4.80
23	8.56	7.50	10.57	10.10	9.00	10.60	10.00	6.35	5.40
24	9.39	7.00	9.20	8.89	10.40	10.20	10.10	7.10	5.70
25	9.24	7.10	10.18	8.87	9.20	10.10	9.90	7.10	5.20
26	8.52	6.00	9.80	8.75	10.10	10.20	10.20	6.20	5.70
27	10.72	6.60	9.88	9.52	10.00	9.80	9.80	5.55	4.80
28	9.94	6.20	10.41	9.70	11.70	10.00	10.10	6.50	5.80
29	10.38	6.90	8.97	9.29	8.70	12.50	10.00	6.90	4.10
30	8.85	6.80	9.82	9.65	9.70	9.80	9.90	7.05	6.10
31	10.75	7.40	9.81	9.95	7.60	10.20	10.20	7.65	5.50
32	8.32	6.70	10.55	8.68	8.50	9.90	10.00	7.05	5.30
<b>Total (s)</b>	<b>9.63</b>	<b>6.97</b>	<b>9.79</b>	<b>9.46</b>	<b>9.61</b>	<b>10.52</b>	<b>10.13</b>	<b>7.10</b>	<b>5.64</b>

Elaboración propia

En la Tabla 12 se observa que para poder producir un amortiguador frontal en la línea de ensamble modular B4 actualmente se requieren 9 estaciones. Se realizó un estudio en donde se obtuvieron 32 mediciones de tiempo de ciclo para cada una de las estaciones de la línea de ensamble. El tiempo de ciclo mayor comparado con todas las estaciones es el de la estación "(F), carga de componentes modulares 2", con un promedio total de 10.52 segundos. El tiempo de ciclo menor comparado con todas las estaciones es el de la estación "(I) Escaneo, aplicación de anticorrosivo y empaque", con un promedio total de 5.64 segundos.

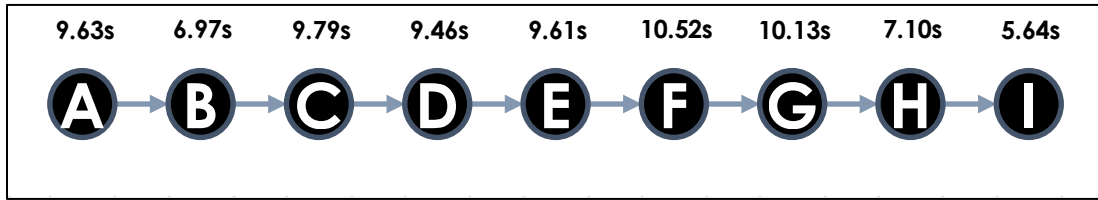


Figura 10: Diagrama de precedencias línea de ensamble modular B4.  
Elaboración propia

La Figura 10 muestra las nueve estaciones de la línea de ensamble modular B4 organizadas con letras y mostrando el tiempo de ciclo de cada estación. Se observa que el flujo del proceso en este caso es lineal; es decir, no se realizan operaciones en estaciones en paralelo.

Tabla 13: Tabla para desarrollar el diagrama de precedencias.

Tareas que preceden	Tarea	Tiempo de ciclo (seg)
-	A	9.63
A	B	6.97
B	C	9.79
C	D	9.46
D	E	9.61
E	F	<b>10.52</b>
F	G	10.13
G	H	7.10
H	I	5.64
<b>Total</b>	-	<b>78.84</b>

Elaboración propia

En la Tabla 13 se observan las tareas o estaciones del proceso de ensamble ordenadas de acuerdo con el flujo del proceso y se colocan las tareas precedentes; es decir, las tareas anteriores a la tarea de estudio. También se observa el tiempo de ciclo promedio de la sumatoria total de todas las estaciones, en este caso el tiempo promedio es de 78.84 segundos.

Tabla 14: Tabla de ponderación de la posición.

<b>Tarea sucesora</b>	<b>Peso posicional / Tiempo acumulado</b>
B,C,D,E,F,G,H,I	78.84
C,D,E,F,G,H,I	69.21
D,E,F,G,H,I	62.24
E,F,G,H,I	52.46
F,G,H,I	43.00
G,H,I	33.39
H,I	22.87
I	12.74
-	5.64

Elaboración propia

En la Tabla 14 se observan las tareas sucesoras de acuerdo con el flujo ordenado de tareas de la línea de ensamble modular; es decir, se enlistan las tareas sucesoras de la tarea "A", que son "B, C, D, E, F, G, H, I". Sucesivamente, sumando los tiempos de ciclo de la tarea "A" y todas las tareas sucesoras se obtiene el tiempo acumulado para cada caso.

Tabla 15: Tabla de reorden de tareas de acuerdo con el peso posicional.

<b>Tarea (reorden)</b>	<b>Tiempos (segundos)</b>
A	9.63
B	6.97
C	9.79
D	9.46
E	9.61
F	10.52
G	10.13
H	7.10
I	5.64

Elaboración propia

En la Tabla 15 se observa el reorden de las tareas o estaciones de la línea de ensamble modular. Esto consiste en ordenar las tareas de menor a mayor de acuerdo con los tiempos de ciclo iniciales, en este caso las tareas están ordenadas desde un inicio, es decir los tiempos de ciclo están ordenados.

Tabla 16: Tabla de cálculo de tiempo no asignado por cada estación de trabajo.

Mínimo = 8 estaciones	IV.			TC=11s
Estación de trabajo	Tarea	Tiempo de ciclo	Tiempo de ciclo acumulado	Tiempo no asignado
1	A	9.63	9.63	1.37
2	B	6.97	6.97	4.03
3	C	9.79	9.79	1.21
4	D	9.46	9.46	1.54
5	E	9.61	9.61	1.39
6	F	10.52	10.52	0.48
7	G	10.13	10.13	0.88
8	H	7.10	7.10	3.90
9	I	5.64	5.64	5.36
			<b>Tiempo inactivo (seg)</b>	<b>20.16</b>

Elaboración propia

En la Tabla 16 se observa un tiempo de ciclo de 11 segundos de acuerdo con el cuello de botella, el número mínimo de estaciones (8) de acuerdo con el cálculo, el tiempo de ciclo acumulado para cada tarea y por último también se observa un total de tiempo inactivo de 20.16 segundos con la sumatoria de todas las estaciones.

Todo lo anterior considerando el diagrama de precedencias y los tiempos de ciclo de cada tarea. El proceso determina que la línea de ensamble modular B4 dispone de 480 minutos productivos por día, lo que es equivalente a un turno de producción de 8 horas.

$$\text{minutos productivos} = 8\text{h} * 60\text{min} = 480\text{minutos productivos}$$

Ecuación 22. Minutos productivos

El programa de producción requiere de 2616 amortiguadores por día en un turno de producción al 100% de utilización de la línea de ensamble modular.

$$\text{piezas por hora} = \frac{3600\text{s}}{11\text{s}} = 327\text{piezas por hora}$$

Ecuación 23. Piezas por hora

$$\text{piezas por turno} = 327\text{piezas por hora} * 8\text{h} = 2616\text{piezas por turno}$$

Ecuación 24. Piezas por turno

El número mínimo de estaciones se calcula dividiendo la suma de los tiempos de ciclo de todas las tareas entre el tiempo de ciclo.

$$\text{mínimo de estaciones de trabajo} = \frac{78.84s}{11s} = 7.16 \text{ estaciones como mínimo}$$

Ecuación 25. Mínimo de estaciones de trabajo

Como no se pueden considerar fracciones en el cálculo de estaciones mínimas en este caso el resultado se redondea al número superior, teniendo 8 estaciones como mínimo.

El cálculo de la eficiencia es la sumatoria del tiempo de ciclo de todas las tareas entre el producto del número real de estaciones y el tiempo de ciclo por pieza.

$$\text{eficiencia} = \frac{78.84s}{8 \text{ estaciones} * 11s \text{ por pieza}} = 0.895$$

Ecuación 26. Eficiencia

Es decir, una eficiencia del 89.5%.

**El proceso de la línea de ensamble modular B4** tiene una eficiencia **buena** del 89% de acuerdo con Muñoz (2019) y Gallegos (2019). Teóricamente, se tiene un mínimo de 8 estaciones de trabajo de acuerdo con el cálculo y en la operación 9 estaciones de trabajo definidas, con 6 operadores en la condición actual y definitiva.

Para el caso de la línea de ensamble modular B4, no se encuentran posibles mejoras en alguna de sus estaciones y se mantiene la misma cantidad de operadores. Esta línea de ensamble modular es un caso en donde se ha realizado un buen balanceo del proceso en cada una de sus estaciones, por dos razones i) no se tiene un tiempo de ciclo mayor a 5 segundos entre la estación cuello de botella (10.52s) y ii) la estación con menor tiempo de ciclo (5.64s).

### 4.3. LÍNEA DE ENSAMBLE MODULAR A9.1

En la Figura 11 se observa la vista frontal de la línea de ensamble modular A9.1 físicamente en piso de producción.



Figura 11: Imagen de la línea de ensamble modular A9.1.  
Elaboración propia

En la Figura 12 se observa un esquema con la vista superior de la línea de ensamble modular A9.1 y sus diferentes estaciones.

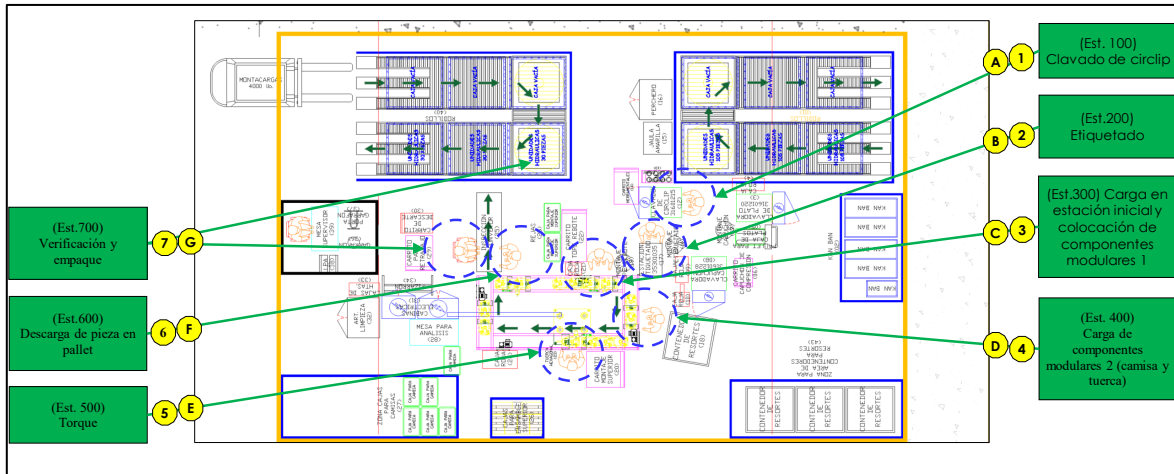


Figura 12: Layout de línea de ensamble modular A9.1 con descripción de estaciones.  
Elaboración propia



Tabla 17: Tabla de análisis de tiempo de ciclo de una muestra representativa de 32 mediciones con cronómetro de manera manual.

Número de pieza	Amortiguador trasero línea de ensamble modular A9.1						
	A	B	C	D	E	F	G
	Clavado de circlip	Etiquetadora	Carga en estación inicial y colocación de componentes modulares 1	Carga de componentes modulares 2 (camisa y tuerca)	Torque	Descarga de pieza en pallet	Verificación y empaque
	Est. 100 (seg)	Est. 200 (seg)	Est. 300 (seg)	Est. 400 (seg)	Est. 500 (seg)	Est. 600 (seg)	Est. 700 (seg)
1	9.93	9.10	8.90	7.70	11.70	5.5	6.5
2	10.22	9.00	8.40	8.00	12.30	4.2	7.3
3	8.75	9.70	9.10	7.70	11.50	5.3	6.7
4	9.97	8.60	7.10	7.70	11.90	4.8	6.4
5	10.24	9.00	8.20	8.80	11.90	4.8	4.5
6	10.04	9.50	7.70	10.30	11.90	7.6	4.8
7	10.99	10.00	7.10	8.00	12.00	6.5	4.5
8	9.91	8.60	7.00	6.90	12.30	8.3	4.8
9	8.87	8.90	8.80	8.20	11.90	5.5	4.6
10	10.58	8.30	9.70	8.50	11.80	5.1	6.9
11	9.65	9.20	7.60	9.80	12.20	4.7	3.7
12	10.45	8.20	7.00	9.40	12.00	6	4.4
13	10.50	8.80	9.00	8.40	11.60	7.1	6.4
14	9.30	8.60	8.20	7.60	11.90	5.3	4.7
15	10.77	7.80	9.50	8.80	11.40	4.9	4.6
16	10.08	8.00	8.60	8.00	12.10	4.3	4.8
17	9.12	7.60	9.70	8.90	12.00	4.1	5.2
18	9.93	8.90	8.60	9.50	11.80	3	5.2
19	10.07	8.10	7.80	7.70	11.70	3.5	5.1
20	10.53	8.60	8.10	8.00	11.80	4.6	5.1
21	9.80	7.40	9.30	9.90	12.00	5.3	5.9
22	10.84	8.40	9.10	9.40	12.00	7.1	4.5
23	10.62	8.80	9.70	8.90	11.70	4.4	4.8
24	9.96	7.40	8.50	7.60	11.60	7.4	5.2
25	10.11	8.10	7.90	10.20	11.90	3.9	5.5
26	9.74	8.90	9.00	9.70	11.80	4.1	5
27	10.23	9.40	7.50	9.80	12.00	5.4	5.6
28	9.51	8.10	7.60	9.90	11.50	5	5.2
29	9.70	8.70	8.20	9.60	12.20	4.3	5.4
30	10.66	9.30	8.00	9.10	11.80	4	5.7
31	10.68	8.10	8.20	8.20	11.80	3.8	5.6
32	10.64	7.40	8.50	10.30	11.90	4.3	5.5
<b>Total (s)</b>	<b>10.07</b>	<b>8.58</b>	<b>8.36</b>	<b>8.77</b>	<b>11.87</b>	<b>5.13</b>	<b>5.32</b>

Elaboración propia

En la Tabla 17 se observa que, actualmente, para poder producir un amortiguador trasero en la línea de ensamble modular A9.1 se requieren 7 estaciones. Se realizó un estudio en donde se obtuvieron 32 mediciones de tiempo de ciclo para cada una de las estaciones de la línea de ensamble. El tiempo de ciclo mayor comparado con todas las estaciones es el de la estación "(E) Torque", con un promedio total de 11.87 segundos, mientras que el tiempo de ciclo menor comparado con todas las estaciones es el de la estación "(F) Descarga de pieza en pallet", con un promedio total de 5.13 segundos.

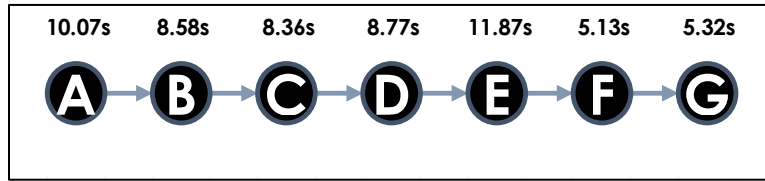


Figura 13: Diagrama de precedencias línea de ensamble modular A9.1.  
Elaboración propia

La Figura 13 muestra las 7 estaciones de la línea de ensamble modular A9.1 organizadas con letras y mostrando el tiempo de ciclo de cada estación. Como en el caso de las líneas estudiadas anteriormente, el flujo del proceso es lineal; es decir, no se realizan operaciones en estaciones en paralelo.

Tabla 18: Tabla para desarrollar el diagrama de precedencias.

Tareas que preceden	Tarea	Tiempo de ciclo (seg)
-	A	10.07
A	B	8.58
B	C	8.36
C	D	8.77
D	E	<b>11.87</b>
E	F	5.13
F	G	5.32
<b>Total</b>	-	<b>58.10</b>

Elaboración propia

En la Tabla 18 se observan las tareas o estaciones del proceso de ensamble ordenadas de acuerdo con el flujo del proceso y se colocan las tareas precedentes; es decir, las tareas anteriores a la tarea de estudio. También se observa el tiempo de ciclo promedio de la sumatoria total de todas las estaciones, en este caso es de 58.10 segundos.

Tabla 19: Tabla de ponderación de la posición.

<b>Tarea sucesora</b>	<b>Peso posicional / Tiempo acumulado</b>
B,C,D,E,F,G	58.10
C,D,E,F,G	48.02
D,E,F,G	39.44
E,F,G	31.08
F,G	22.32
G	10.44
-	5.32

Elaboración propia

En la Tabla 19 se observan las tareas sucesoras de acuerdo con el flujo ordenado de tareas de la línea de ensamble modular, es decir, se enlistan las tareas sucesoras de la tarea "A", que son "B, C, D, E, F, G". De esta forma sumando los tiempos de ciclo de la tarea "A" y todas las tareas sucesoras se obtiene el tiempo acumulado para cada caso.

Tabla 20: Tabla de reorden de tareas de acuerdo con el peso posicional.

<b>Tarea (reorden)</b>	<b>Tiempos (segundos)</b>
A	10.07
B	8.58
C	8.36
D	8.77
E	11.87
F	5.13
G	5.32

Elaboración propia

En la Tabla 20 se observa el reorden de las tareas o estaciones de la línea de ensamble modular, esto consiste en ordenar las tareas de menor a mayor de acuerdo con los tiempos de ciclo iniciales. En este caso las tareas están ordenadas desde un inicio, es decir los tiempos de ciclo están ordenados.

Tabla 21: Tabla de cálculo de tiempo no asignado por cada estación de trabajo.

Mínimo = 5 estaciones				TC=12s
Estación de trabajo	Tarea	Tiempo de ciclo	Tiempo de ciclo acumulado	Tiempo no asignado
1	A	10.07	10.07	1.93
2	B	8.58	8.58	3.42
3	C	8.36	8.36	3.64
4	D	8.77	8.77	3.23
5	E	11.87	11.87	0.13
6	F	5.13	5.13	6.87
	G	5.32	10.44	1.56
			<b>Tiempo inactivo (seg)</b>	<b>13.90</b>

Elaboración propia

Para esta estación (Tabla 21) se observa un tiempo de ciclo de 12 segundos de acuerdo con el cuello de botella. En la Tabla 30 también se muestra, el número mínimo de estaciones (5) de acuerdo con el cálculo, el tiempo de ciclo acumulado para cada tarea y por último un total de tiempo inactivo de 13.90 segundos, con la sumatoria de todas las estaciones.

Para el caso particular de la estación de trabajo 6, en donde las tareas "F" y "G" se unen, el tiempo de ciclo acumulado de la tarea "G" es la suma del tiempo de ciclo de ambas tareas, 10.44 segundos. El tiempo no asignado de la estación de trabajo 6 se obtiene restando el tiempo de ciclo del cuello de botella con el resultado del tiempo de ciclo acumulado de la estación de trabajo "G", obteniéndose 1.56 segundos como tiempo no asignado. Todo lo anterior, con base al diagrama de precedencias y los tiempos de ciclo de cada tarea.

El proceso determina que la línea de ensamble modular A9.1 dispone de 480 minutos productivos por día, lo que es equivalente a un turno de producción de 8 horas.

$$\text{minutos productivos} = 8\text{h} * 60\text{min} = 480\text{minutos productivos}$$

Ecuación 27. Minutos productivos

El programa de producción requiere de 2400 amortiguadores por día en un turno de producción al 100% de utilización de la línea de ensamble modular.

$$\text{piezas por hora} = \frac{3600\text{s}}{12\text{s}} = 300\text{piezas por hora}$$

Ecuación 28. Piezas por hora

$$\text{piezas por turno} = 300 \text{ piezas por hora} * 8 \text{ h} = 2400 \text{ piezas por turno}$$

Ecuación 29. Piezas por turno

El número mínimo de estaciones se calcula dividiendo la suma de los tiempos de ciclo de todas las tareas entre el tiempo de ciclo.

$$\text{mínimo de estaciones de trabajo} = \frac{58.10 \text{ s}}{12 \text{ s}} = 4.84 \text{ estaciones como mínimo}$$

Ecuación 30. Mínimo de estaciones de trabajo

Como no se pueden considerar fracciones en el cálculo de estaciones mínimas en este caso el resultado se redondea al número superior, teniendo 5 estaciones como mínimo.

El cálculo de la eficiencia es la sumatoria del tiempo de ciclo de todas las tareas entre el producto del número real de estaciones y el tiempo de ciclo por pieza.

$$\text{eficiencia} = \frac{58.10 \text{ s}}{5 \text{ estaciones} * 12 \text{ s por pieza}} = 0.968$$

Ecuación 31. Eficiencia

Es decir, una eficiencia del 96.8%.

**El proceso de la línea de ensamble modular A9.1** para amortiguadores traseros tiene una eficiencia **de excelencia** del 96% de acuerdo con Muñoz (2019) y Gallegos (2019). Teóricamente se tiene un mínimo de 5 estaciones de trabajo de acuerdo con el cálculo y en la operación 6 estaciones de trabajo definidas, con 7 operadores en la condición actual pudiendo reducir un operador. Es decir, se tendrá un total de 6 operadores de acuerdo con el balanceo de peso posicional realizado.

Para el caso de la línea de ensamble modular A9.1 para amortiguadores traseros, si se encuentran posibles mejoras en alguna de sus estaciones y se reduce la cantidad de operadores. Esta línea de ensamble modular es un caso en donde se ha realizado un muy buen balanceo del proceso en cada una de sus estaciones,

por dos razones, no se tiene un tiempo de ciclo mayor a 7 segundos entre la estación cuello de botella (11.87s) y la estación con menor tiempo de ciclo (5.13s).

#### 4.4. LÍNEA DE ENSAMBLE MODULAR A9.2

En la Figura 14 se observa la vista frontal de la línea de ensamble modular A9.2 físicamente en piso de producción.



Figura 14: Imagen de la línea de ensamble modular A9.2.  
Elaboración propia

En la Figura 15 se observa un esquema con la vista superior de la línea de ensamble modular A9.2 y sus diferentes estaciones.

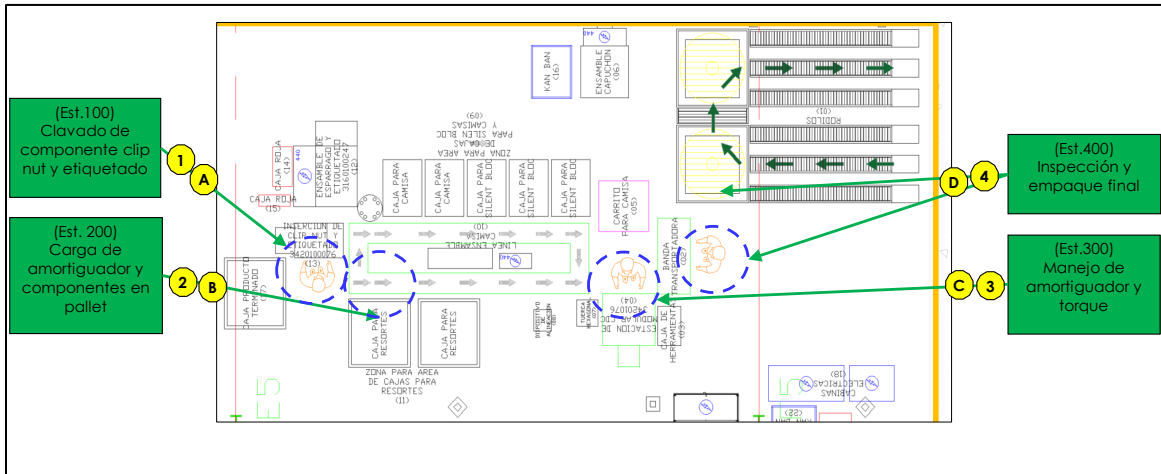


Figura 15: Layout de línea de ensamble modular A9.2 con descripción de estaciones.  
Elaboración propia

Tabla 22: Tabla de análisis de tiempo de ciclo de una muestra representativa de 32 mediciones con cronómetro de manera manual.

Número de pieza	Amortiguador frontal línea de ensamble modular A9.2			
	A	B	C	D
	Clavado de componente clip nut y etiquetado	Carga de amortiguador y componentes en pallet	Manejo de amortiguador y torque	Inspección y empaque final
	Est. 100 (seg)	Est. 200 (seg)	Est. 300 (seg)	Est. 400 (seg)
1	46.70	39.90	43.80	16.40
2	32.50	39.30	36.90	18.50
3	43.50	37.00	37.60	18.30
4	32.30	40.30	39.20	15.40
5	52.40	29.00	37.40	18.00
6	53.00	42.60	40.30	19.00
7	42.40	31.30	38.00	19.20
8	41.40	38.00	37.00	14.80
9	23.80	27.20	43.20	14.50
10	24.60	48.00	46.70	15.10
11	22.70	41.80	38.50	18.00
12	23.10	35.90	39.80	13.00
13	26.40	47.90	40.20	14.00
14	19.70	38.80	40.80	12.20
15	24.30	36.70	48.00	13.90
16	23.70	45.60	38.50	12.70
17	22.70	26.30	40.40	12.40
18	30.20	31.10	41.00	13.00
19	26.50	36.10	39.60	12.70
20	33.00	31.80	41.40	13.50
21	49.70	43.90	40.00	12.40
22	30.60	29.60	45.70	14.80
23	29.60	35.90	38.70	15.20
24	40.80	42.20	39.50	13.40
25	44.40	44.50	39.60	11.70
26	46.30	35.60	39.10	14.10
27	26.80	40.20	39.30	13.80
28	24.20	31.00	37.80	14.00
29	32.20	33.60	38.60	16.80
30	21.90	30.20	37.60	12.40
31	26.00	41.50	40.00	12.50
32	40.00	35.10	39.80	12.30
<b>Total (s)</b>	<b>33.04</b>	<b>37.12</b>	<b>40.13</b>	<b>14.63</b>

Elaboración propia

En la Tabla 22 se observa que para producir un amortiguador frontal en la línea de ensamble modular A9.2 actualmente se requieren 4 estaciones. Se realizó un estudio en donde se obtuvieron 32 mediciones de tiempo de ciclo para cada una de las estaciones de la línea de ensamble. El tiempo de ciclo mayor comparado con todas las estaciones es el de la estación "(C) Manejo de amortiguador y torque", con un promedio total de 40.13 segundos. El tiempo de ciclo menor



comparado con todas las estaciones es el de la estación "(D) Inspección y empaque final", con un promedio total de 14.63 segundos.

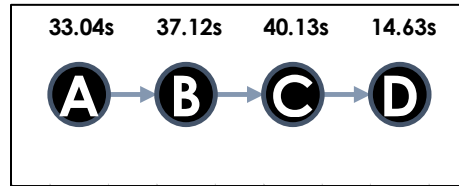


Figura 16: Diagrama de precedencias línea de ensamble modular A9.2.  
Elaboración propia

La Figura 16 muestra las 4 estaciones de la línea de ensamble modular A9.2 organizadas con letras y mostrando el tiempo de ciclo de cada estación. Como en el caso de las líneas estudiadas anteriormente, el flujo del proceso es lineal; es decir, no se realizan operaciones en estaciones en paralelo.

Tabla 23: Tabla para desarrollar el diagrama de precedencias.

Tareas que preceden	Tarea	Tiempo de ciclo (seg)
-	A	33.04
A	B	37.12
B	C	<b>40.13</b>
C	D	14.63
<b>Total</b>	-	<b>124.92</b>

Elaboración propia

En la Tabla 23 se observan las tareas o estaciones del proceso de ensamble ordenadas de acuerdo con el flujo del proceso y se colocan las tareas precedentes; es decir, las tareas anteriores a la tarea de estudio. También se observa el tiempo de ciclo promedio de la sumatoria total de todas las estaciones, en este caso el tiempo promedio es de 124.92 segundos.

Tabla 24: Tabla de ponderación de la posición.

Tarea sucesora	Peso posicional / Tiempo acumulado
B,C,D	124.92
C,D	91.87
D	54.75
-	14.63

Elaboración propia

En la Tabla 24 se observan las tareas sucesoras de acuerdo con el flujo ordenado de tareas de la línea de ensamble modular, es decir, se enlistan las tareas sucesoras de la tarea "A", que son "B, C, D". De esta forma sumando los tiempos de ciclo de la tarea "A" y todas las tareas sucesoras se obtiene el tiempo acumulado para cada caso.

Tabla 25: Tabla de reorden de tareas de acuerdo con el peso posicional.

Tarea (reorden)	Tiempos (segundos)
A	33.04
B	37.12
C	40.13
D	14.63

Elaboración propia

En la Tabla 25 se observa el reorden de las tareas o estaciones de la línea de ensamble modular, esto consiste en ordenar las tareas de menor a mayor de acuerdo con los tiempos de ciclo iniciales. En este caso las tareas están ordenadas desde un inicio, es decir los tiempos de ciclo están ordenados.

Tabla 26: Tabla de cálculo de tiempo no asignado por cada estación de trabajo.

Mínimo = 4 estaciones				TC=41s
Estación de trabajo	Tarea	Tiempo de ciclo	Tiempo de ciclo acumulado	Tiempo no asignado
1	A	33.04	33.04	7.96
2	B	37.12	37.12	3.88
3	C	40.13	40.13	0.88
4	D	14.63	14.63	26.38
			<b>Tiempo inactivo (seg)</b>	<b>39.08</b>

Elaboración propia

En la Tabla 26 se observa un tiempo de ciclo de 41 segundos de acuerdo con el cuello de botella. El número mínimo de estaciones es 4, de acuerdo con el cálculo; también se observa el tiempo de ciclo acumulado para cada tarea y un total de tiempo inactivo de 39.08 segundos, con la sumatoria de todas las estaciones.

Todo lo anterior, considerando el diagrama de precedencias y los tiempos de ciclo de cada tarea. El proceso determina que la línea de ensamble modular A9.2 dispone de 480 minutos productivos por día, lo que es equivalente a un turno de producción de 8 horas.

$$\text{minutos productivos} = 8\text{h} * 60\text{min} = 480\text{minutos productivos}$$

Ecuación 32. Minutos productivos

El programa de producción requiere de 696 amortiguadores por día en un turno de producción al 100% de utilización de la línea de ensamble modular.

$$\text{piezas por hora} = \frac{3600\text{s}}{41\text{s}} = 87\text{piezas por hora}$$

Ecuación 33. Piezas por hora

$$\text{piezas por turno} = 87\text{piezas por hora} * 8\text{h} = 696\text{piezas por turno}$$

Ecuación 34. Piezas por turno

El número mínimo de estaciones se calcula dividiendo la suma de los tiempos de ciclo de todas las tareas entre el tiempo de ciclo.

$$\text{mínimo de estaciones de trabajo} = \frac{124.92\text{s}}{41\text{s}} = 3.04 \text{ estaciones como mínimo}$$

Ecuación 35. Mínimo de estaciones de trabajo

Como no se pueden considerar fracciones en el cálculo de estaciones mínimas en este caso el resultado se redondea al número superior, teniendo 4 estaciones como mínimo.

El cálculo de la eficiencia es la sumatoria del tiempo de ciclo de todas las tareas entre el producto del número real de estaciones y el tiempo de ciclo por pieza.

$$\text{eficiencia} = \frac{124.92\text{s}}{4\text{estaciones} * 41\text{s por pieza}} = 0.761$$

Ecuación 36. Eficiencia

Es decir, una eficiencia del 76.1%.

**El proceso de la línea de ensamble modular A9.2** tiene una eficiencia **aceptable** del 76% de acuerdo con Muñoz (2019) y Gallegos (2019). Se tiene un mínimo de 4 estaciones de trabajo teóricamente de acuerdo con el cálculo, en la condición actual de operación se tienen 4 estaciones de trabajo con 3 operadores.

Para el caso de la línea de ensamble modular A9.2, no se encuentran posibles mejoras en alguna de sus estaciones y se mantiene la misma cantidad de operadores.

Esta línea de ensamble modular es un caso en donde se puede decir que la línea está balanceada en cada una de sus estaciones, por dos razones, no se tiene un tiempo de ciclo mayor a 25 segundos entre la estación cuello de botella (40.13s) y la estación con menor tiempo de ciclo (14.63s).

#### **4.5. LÍNEA DE ENSAMBLE MODULAR A9.3**

En la Figura 17 se observa la vista frontal de la línea de ensamble modular A9.3 físicamente en piso de producción.



Figura 17: Imagen de la línea de ensamble modular A9.3.  
Elaboración propia

En la Figura 18 se observa un esquema con la vista superior de la línea de ensamble modular A9.3 y sus diferentes estaciones.

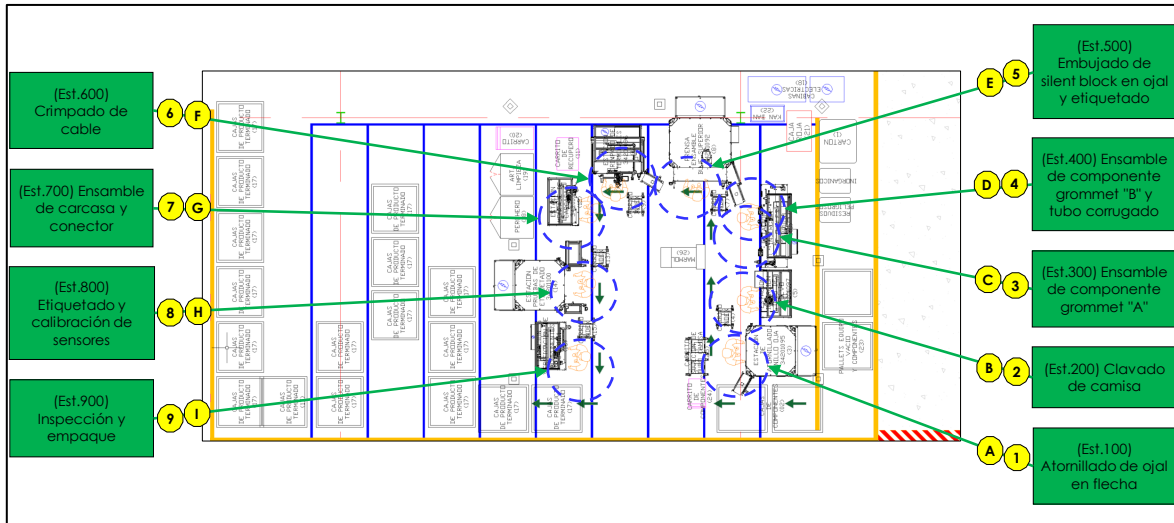


Figura 18: Layout de línea de ensamble modular A9.3 con descripción de estaciones.  
Elaboración propia

Tabla 27: Tabla de análisis de tiempo de ciclo de una muestra representativa de 32 mediciones con cronómetro de manera manual.

Número de pieza	Amortiguador trasero línea de ensamble modular A9.3								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Atomillado de ojal en flecha	Clavado de camisa	Ensamble de componente grommet "A"	Ensamble de componente grommet "B" y tubo corrugado	Embujado de silent block en ojal y etiquetado	Crímpado de cable	Clavado de carcasa y conector	Etiquetado y calibración de sensores	Inspección y empaque
	Est. 100 (seg)	Est. 200 (seg)	Est. 300 (seg)	Est. 400 (seg)	Est. 500 (seg)	Est. 600 (seg)	Est. 700 (seg)	Est. 800 (seg)	Est. 900 (seg)
1	45.02	12.10	16.60	18.10	25.60	22.50	31.20	24.70	22.60
2	48.00	14.20	10.80	20.30	25.00	21.60	35.70	40.50	32.20
3	38.50	18.40	10.40	26.20	31.20	26.50	34.50	28.60	25.50
4	29.70	10.10	10.50	20.60	31.00	26.50	39.00	22.00	27.90
5	30.60	11.40	14.00	19.10	27.90	22.40	44.30	27.40	28.10
6	27.80	20.90	10.80	19.70	22.10	29.70	58.00	26.00	27.40
7	28.10	11.00	13.20	17.00	23.80	32.00	30.90	29.60	23.60
8	31.50	12.60	10.30	27.80	24.00	22.90	30.10	26.90	23.20
9	29.60	10.90	11.30	19.70	24.40	33.50	43.20	26.70	30.90
10	27.60	12.60	10.30	20.40	23.90	22.80	32.80	34.80	26.50
11	33.30	10.30	11.10	18.20	25.10	26.90	33.30	24.70	32.00
12	28.90	11.90	10.30	19.80	24.80	26.60	44.70	26.10	29.00
13	32.60	12.90	12.40	21.70	25.00	30.40	42.70	29.20	29.90
14	28.80	18.90	12.00	18.60	23.10	27.10	27.50	31.00	24.00
15	28.30	11.30	12.70	18.90	24.50	25.70	36.80	25.30	23.80
16	29.70	13.00	12.70	18.30	23.70	25.00	27.60	27.90	28.60
17	30.50	13.90	15.70	18.70	24.80	24.80	34.20	28.20	24.00
18	34.40	13.40	12.30	17.80	22.40	32.80	32.10	28.80	26.80
19	30.40	13.00	12.60	18.20	23.00	39.00	25.60	25.90	33.50
20	30.50	19.40	13.10	18.10	27.60	24.60	29.10	27.10	33.60
21	28.30	11.30	14.40	18.70	30.90	23.40	30.00	29.70	30.80
22	28.80	10.20	13.00	19.30	23.20	26.00	36.90	30.60	33.90
23	28.70	9.30	12.60	20.90	23.60	25.00	27.50	28.10	39.80
24	28.30	10.10	15.00	18.90	23.80	30.70	39.40	25.50	40.20
25	34.20	12.50	12.20	21.50	25.00	23.40	20.80	29.30	26.40
26	28.70	12.20	12.00	18.80	25.40	23.40	50.00	27.00	26.00
27	30.10	9.90	12.40	22.30	23.50	32.50	28.10	29.50	26.10
28	32.40	9.10	11.80	20.80	24.60	22.40	31.70	27.00	20.40
29	32.50	8.30	12.50	22.70	27.60	26.70	41.10	25.70	24.20
30	32.70	9.10	12.40	17.80	23.20	24.00	39.00	31.40	23.40
31	28.30	8.80	13.50	19.50	25.40	24.30	23.50	27.10	24.80
32	38.30	9.90	15.20	20.10	22.90	25.30	37.00	26.70	24.80
<b>Total (s)</b>	<b>31.72</b>	<b>12.28</b>	<b>12.50</b>	<b>19.95</b>	<b>25.06</b>	<b>26.58</b>	<b>34.95</b>	<b>28.09</b>	<b>27.93</b>

Elaboración propia

En la Tabla 27 se observa que para poder producir un amortiguador trasero en la línea de ensamble modular A9.3 actualmente se requieren 9 estaciones. Se realizó un estudio en donde se obtuvieron 32 mediciones de tiempo de ciclo para cada una de las estaciones de la línea de ensamble. El tiempo de ciclo mayor comparado con todas las estaciones es el de la estación "(G) Clavado de carcasa y conector", con un promedio total de 34.95 segundos. El tiempo de ciclo menor comparado con todas las estaciones es el de la estación "(B) Clavado de camisa", con un promedio total de 12.28 segundos.

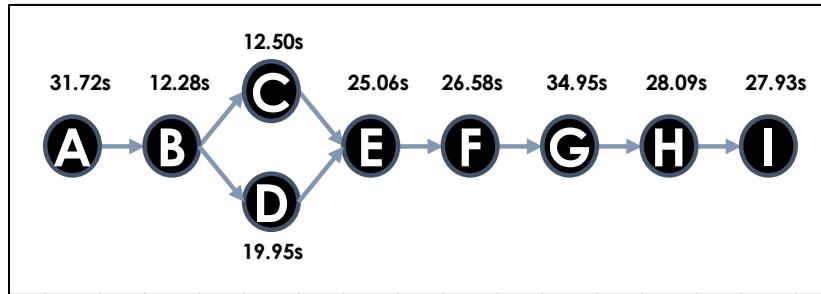


Figura 19: Diagrama de precedencias línea de ensamble modular A9.3.  
Elaboración propia

La Figura 19 muestra las 9 estaciones de la línea de ensamble modular A9.3 organizadas con letras y mostrando el tiempo de ciclo de cada estación. A diferencia de las líneas estudiadas anteriormente, el flujo del proceso no es lineal; es decir, se realizan operaciones en estaciones en paralelo o al mismo tiempo tal cual es el caso de las estaciones "C" y "D".

Tabla 28: Tabla para desarrollar el diagrama de precedencias.

Tareas que preceden	Tarea	Tiempo de ciclo (seg)
-	A	31.72
A	B	12.28
B	C	12.50
B	D	19.95
C,D	E	25.06
E	F	26.58
F	G	<b>34.95</b>
G	H	28.09
H	I	27.93
<b>Total</b>	-	<b>219.07</b>

Elaboración propia

En la Tabla 28 se observan las tareas o estaciones del proceso de ensamble ordenadas de acuerdo con el flujo del proceso y se colocan las tareas precedentes; es decir, las tareas anteriores a la tarea de estudio. También se observa el tiempo de ciclo promedio de la sumatoria total de todas las estaciones, en este caso el tiempo promedio es de 219.07 segundos.



Tabla 29: Tabla de ponderación de la posición.

<b>Tarea sucesora</b>	<b>Peso posicional / Tiempo acumulado</b>
B,C,D,E,F,G,H,I	219.07
C,D,E,F,G,H,I	187.35
D,E,F,G,H,I	175.07
E,F,G,H,I	162.57
F,G,H,I	142.61
G,H,I	117.55
H,I	90.98
I	56.03
-	27.93

Elaboración propia

En la Tabla 29 se observan las tareas sucesoras de acuerdo con el flujo ordenado de tareas de la línea de ensamble modular, es decir, se enlistan las tareas sucesoras de la tarea "A", que son "B, C, D, E, F, G, H, I". De esta forma, sumando los tiempos de ciclo de la tarea "A" y todas las tareas sucesoras se obtiene el tiempo acumulado para cada caso.

Tabla 30: Tabla de reorden de tareas de acuerdo con el peso posicional.

<b>Tarea (reorden)</b>	<b>Tiempos (segundos)</b>
A	31.72
B	12.28
C	12.50
D	19.95
E	25.06
F	26.58
G	34.95
H	28.09
I	27.93

Elaboración propia

En la Tabla 30 se observa el reorden de las tareas o estaciones de la línea de ensamble modular, esto consiste en ordenar las tareas de menor a mayor de acuerdo con los tiempos de ciclo iniciales. En este caso las tareas están ordenadas desde un inicio, es decir los tiempos de ciclo están ordenados.

Tabla 31: Tabla de cálculo de tiempo no asignado por cada estación de trabajo.

Mínimo = 7 estaciones				TC=35s
Estación de trabajo	Tarea	Tiempo de ciclo	Tiempo de ciclo acumulado	Tiempo no asignado
1	A	31.72	31.72	3.28
2	B	12.28	12.28	22.72
	C	12.50	24.78	10.22
3	D	19.95	19.95	15.05
4	E	25.06	25.06	9.94
5	F	26.58	26.58	8.43
6	G	34.95	34.95	0.05
7	H	28.09	28.09	6.91
8	I	27.93	27.93	7.07
<b>Tiempo inactivo (seg)</b>				<b>60.93</b>

Elaboración propia

En la Tabla 31 se observa un tiempo de ciclo de 35 segundos de acuerdo con el cuello de botella, el número mínimo de estaciones (7) de acuerdo con el cálculo, el tiempo de ciclo acumulado para cada tarea y por último se observa un total de tiempo inactivo de 60.93 segundos, con la sumatoria de todas las estaciones.

Para el caso particular de la estación de trabajo 2, en donde las tareas "B" y "C" se unen, el tiempo de ciclo acumulado de la tarea "C" es la suma del tiempo de ciclo de ambas tareas, 24.78 segundos. El tiempo no asignado de la estación de trabajo 2 se obtiene restando el tiempo de ciclo del cuello de botella con el resultado del tiempo de ciclo acumulado de la estación de trabajo "C", obteniendo 10.22 segundos como tiempo no asignado.

Todo lo anterior con base al diagrama de precedencias y los tiempos de ciclo de cada tarea. El proceso determina que la línea de ensamble modular A9.3 dispone de 480 minutos productivos por día, lo que es equivalente a un turno de producción de 8 horas.

$$\text{minutos productivos} = 8\text{h} * 60\text{min} = 480\text{minutos productivos}$$

Ecuación 37. Minutos productivos

El programa de producción requiere de 2400 amortiguadores por día en un turno de producción al 100% de utilización de la línea de ensamble modular.

$$\text{piezas por hora} = \frac{3600\text{s}}{35\text{s}} = 102\text{piezas por hora}$$

Ecuación 38. Piezas por hora

$$\text{piezas por turno} = 102 \text{ piezas por hora} * 8 \text{ h} = 816 \text{ piezas por turno}$$

Ecuación 39. Minutos productivos

El número mínimo de estaciones se calcula dividiendo la suma de los tiempos de ciclo de todas las tareas entre el tiempo de ciclo.

$$\text{mínimo de estaciones de trabajo} = \frac{219.07 \text{ s}}{35 \text{ s}} = 6.25 \text{ estaciones como mínimo}$$

Ecuación 40. Mínimo de estaciones de trabajo

Como no se pueden considerar fracciones en el cálculo de estaciones mínimas en este caso el resultado se redondea al número superior, teniendo 7 estaciones como mínimo.

El cálculo de la eficiencia es la sumatoria del tiempo de ciclo de todas las tareas entre el producto del número real de estaciones y el tiempo de ciclo por pieza.

$$\text{eficiencia} = \frac{219.07 \text{ s}}{7 \text{ estaciones} * 35 \text{ s por pieza}} = 0.894$$

Ecuación 41. Eficiencia

Es decir, una eficiencia del 89.4%.

**El proceso de la línea de ensamble modular A9.3** tiene una eficiencia **buena** del 89% de acuerdo con Muñoz (2019) y Gallegos (2019). Se tiene un mínimo de 7 estaciones de trabajo teóricamente de acuerdo con el cálculo y en la operación 9 estaciones de trabajo definidas con 8 operadores.

Para el caso de la línea de ensamble modular A9.3, si se encuentran posibles mejoras en alguna de sus estaciones, pero con la particularidad de que se mantiene la misma cantidad de operadores. Esta línea de ensamble modular es un caso en donde se puede decir que la línea está balanceada en cada una de sus estaciones, por dos razones, no se tiene un tiempo de ciclo mayor a 23 segundos entre la estación cuello de botella (34.95s) y la estación con menor tiempo de ciclo (12.28s).

## CONCLUSIONES

En este estudio realizado a 5 líneas de ensamble modular, se puede concluir que al aplicar la metodología de balanceo de peso posicional se confirma la hipótesis de investigación, porque si es factible efficientar al menos dos líneas de ensamble combinando al menos una de sus estaciones y que los recursos de la operación se reduzcan en cantidad de operadores o se mantengan los mismos operando varias estaciones, ya sea en la misma área o en distintas áreas de ensamble.

A continuación, se presentan las conclusiones obtenidas a partir de los análisis realizados en líneas de ensamble modular aplicando el método de balanceo por peso posicional a su condición actual productiva.

Para el caso particular del análisis obtenido para cada línea de ensamble analizada se tendrían los siguientes ahorros debido a la reducción de personal:

- Línea de ensamble modular B2, se refleja un ahorro anual de \$20,000 dólares reduciendo dos operadores.
- Línea de ensamble modular B4, no refleja ahorro, se mantiene la misma cantidad de operadores.
- Línea de ensamble modular A9.1, se refleja un ahorro anual de \$10,000 dólares reduciendo un operador.
- Línea de ensamble modular A9.2, no refleja ahorro, se mantiene la misma cantidad de operadores.
- Línea de ensamble modular A9.3, no refleja ahorro, se mantiene la misma cantidad de operadores.

Esta metodología de balanceo por peso posicional se implementará en las demás líneas de ensamble de la planta para obtener la condición actual del proceso, según lo sugerido por Carranza (2012). Lo anterior, con la finalidad de definir qué líneas de ensamble se podrán efficientar con el balanceo del proceso correcto, pudiendo colocar la cantidad de operadores adecuada para cada estación una vez que la línea de ensamble sea balanceada.

Al implementar estas mejoras en los procesos se podrá reducir el gasto en ciertos casos debido a la reducción de la cantidad de operadores lo cual coincide con Jaime Arroyo et al. (2021). En este caso, cada operador que se reduzca en la operación tiene un costo aproximado de \$10,000 dólares anuales que serán un ahorro para la empresa.

Se puede presentar también un plan para que, a través de cursos motivacionales dirigidos hacia el personal operativo, se mantenga un buen nivel de eficiencia en el proceso.

## **CONFIRMACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

A continuación, se muestra el resumen de la condición de cada línea de ensamble posterior a la aplicación del método balanceo peso posicional.

Línea de ensamble modular B2, si se encuentran posibles mejoras en alguna de sus estaciones y reduce la cantidad de operadores.

Línea de ensamble modular B4, no se encuentran posibles mejoras en la eficiencia en alguna de sus estaciones y se mantiene la misma cantidad de operadores.

Línea de ensamble modular A9.1, si se encuentran posibles mejoras en alguna de sus estaciones y se reduce la cantidad de operadores.

Línea de ensamble modular A9.2, no se encuentran posibles mejoras en la eficiencia en alguna de sus estaciones y se mantiene la misma cantidad de operadores.

Línea de ensamble modular A9.3, si se encuentran posibles mejoras en alguna de sus estaciones y se mantiene la misma cantidad de operadores.

## RECOMENDACIONES

Basado en los resultados obtenidos, se recomienda implementar esta metodología como estándar para otras líneas de ensamble en la empresa ZF Suspension Technology Guadalajara, tal cual se recomienda en Restrepo, (Medina & Cruz, 2006).

Se recomienda crear un plan de producción basado en este análisis para tener procesos eficientes y aprovechando al máximo los recursos de operadores que con un proceso balanceado puedan operar varias estaciones del proceso.

Este punto anterior coincide con el trabajo y recomendaciones de (Rueda, 2017).

## **APORTACIÓN DE LA TESIS**

El aporte de esta tesis con la aplicación de la metodología de balanceo por peso posicional se traduce en términos de reducción de costos para la empresa. Al hacer más eficientes los procesos, mantener las estaciones balanceadas y la cantidad de operadores correcta, se redujo la cantidad de operadores en la línea de ensamble modular B2 y en la línea de ensamble modular A9.1, lo cual refleja un ahorro para la empresa de \$30,000 dólares, ya que cada operador tiene un costo anualizado de \$10,000 dólares por costos de contratación de mano de obra. Estos cambios mantienen produciendo la cantidad de piezas diarias requeridas de acuerdo con la demanda en el menor tiempo posible.



## **APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESIS**

El aporte de esta tesis en términos de enfoque social es que al mantener cierto nivel de eficiencia en la revisión de estos procesos se pueden realizar actividades para la reducción de uso de energías cuando no es necesario su utilización. Por ejemplo, la producción de cierta cantidad de piezas manteniendo la eficiencia del proceso, con estaciones balanceadas y la cantidad correcta de operadores por operación da como resultado el terminar la producción de piezas en menos tiempo, lo cual beneficia socialmente en el ahorro de energías, reduce la cantidad de horas laborables de un operador y las emisiones de máquinas o estaciones se ven reducidas al no mantener encendidas las líneas de producción las 24 horas del día. También, los recursos de la operación se reducen en cantidad de operadores en algunas de las líneas de ensamble ya balanceadas, para este caso se pueden mantener los mismos operadores trabajando varias estaciones ya sea en la misma área o en distintas áreas de ensamble.

## REFERENCIAS

Carro, R., & González Gómez, D. A. (2012). Productividad y competitividad. Recuperado de <http://nulan.mdp.edu.ar/1607/>

Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2009). Ingeniería industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo. Recuperado de [https://www.academia.edu/36652836/Ingenier%C3%ADa\\_Industrial\\_M%C3%A9todos\\_Est%C3%A1ndares\\_y\\_Dise%C3%B1o\\_del\\_Trabajo\\_Benjamin\\_W\\_Niebel\\_12\\_Edici%C3%B3n](https://www.academia.edu/36652836/Ingenier%C3%ADa_Industrial_M%C3%A9todos_Est%C3%A1ndares_y_Dise%C3%B1o_del_Trabajo_Benjamin_W_Niebel_12_Edici%C3%B3n)

García Criollo, R. (2005). Estudio del trabajo. Ingeniería de métodos y medición del trabajo. Recuperado de [https://faabenavides.files.wordpress.com/2011/03/estudio-del-trabajo\\_ingenierc3ada-de-mc3a9todos-roberto-garcc3ada-criollo-mcgraw\\_hill.pdf](https://faabenavides.files.wordpress.com/2011/03/estudio-del-trabajo_ingenierc3ada-de-mc3a9todos-roberto-garcc3ada-criollo-mcgraw_hill.pdf)

Prokopenko, J. (1989). La gestión de la productividad (1a ed). Ginebra: Oficina Internacional del Trabajo. Recuperado de [https://www.academia.edu/20397123/Libro\\_Productividad\\_Prokopenko](https://www.academia.edu/20397123/Libro_Productividad_Prokopenko)

Smith, A. (1996). La riqueza de las naciones. Recuperado de [http://www.iunma.edu.ar/doc/MB/lic\\_historia\\_mat\\_bibliografico/Fundamentos%20de%20Econom%C3%ADa%20Pol%C3%ADtica/194-Smith,%20Adam%20-%20La%20riqueza%20de%20las%20naciones%20\(Alianza\).pdf](http://www.iunma.edu.ar/doc/MB/lic_historia_mat_bibliografico/Fundamentos%20de%20Econom%C3%ADa%20Pol%C3%ADtica/194-Smith,%20Adam%20-%20La%20riqueza%20de%20las%20naciones%20(Alianza).pdf)

Reyes Flores, G. N. (2012). Un estudio sistémico de distribución de planta en una empresa textil. Recuperado de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/17621/Un%20estudio%20sist%C3%A9mico%20de%20distribuci%C3%B3n%20de%20planta%20en%20una%20empresa%20de%20textil.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vizcaíno Encarnación J. (2019). Análisis de costo beneficio. Recuperado de <https://www.scribd.com/document/401474826/Introduccion-Costo-Beneficio>

Alvarado M. (2021). La productividad. Recuperado de <https://www.scribd.com/document/540437062/La-productividad>

Westreicher, G. (2022). Ineficiencia. Recuperado de <https://economipedia.com/definiciones/ineficiencia.html>

Fidalgo, E. G. (s/f). RECURSOS, CAPACIDADES, TECNOLOGÍA Y EFICIENCIA. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=565262>

Leibenstein, H. (1966). Allocative efficiency vs "X-efficiency". Recuperado de <https://msuweb.montclair.edu/~lebelp/LeibensteinXEffAER1966.pdf>

Stigler, G. J. (1976). The Xistence of X-Efficiency. The American Economic Review. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/1804963>

Zavaleta Medina A. (2015). Población muestra o universo. Recuperado de <https://www.scribd.com/document/293569626/Poblacion-Muestra-o-Universo>

Cromero D. (2019). Población y muestra. Recuperado de <https://www.scribd.com/document/422596809/Poblacion-y-muestra>

Cruz D. (2021). Tamaño de la muestra. Recuperado de <https://www.scribd.com/document/527341999/tamano-de-la-muestra>

Chase R., Jacobs F., Aquilano N. (2009). Administración de operaciones, producción y cadena de suministros, duodécima edición. Recuperado de <https://valparaiso.redfuturotecnico.cl/wp-content/uploads/2020/08/Administracion-de-operaciones-Produccion.pdf>

Mesa, G., & Bedoya, J. A. (2009). Optimización en procesos y asignación de recursos en las empresas del sector confección a través del balanceo de líneas de producción. Recuperado de [https://www.academia.edu/32549059/Optimizaci%C3%B3n\\_en\\_procesos\\_y](https://www.academia.edu/32549059/Optimizaci%C3%B3n_en_procesos_y)

\_asignaci%C3%B3n\_de\_recursos\_en\_las\_empresas\_del\_sector\_confecci%C3%B3n\_a\_trav%C3%A9s\_del\_balanceo\_de\_l%C3%ADneas\_de\_producci%C3%B3n

Taha. H. (2012). Investigación de operaciones novena edición. México: Pearson Educación.

Gray C., & Larson E. (2009). Administración de proyectos 4 edición. Monterrey: Mc Graw Hill. Recuperado de [Administración de proyectos, 4ta Ed <https://juanantonioleonlopez.files.wordpress.com/2017/05/administracion-de-proyectos-4edi-gray.pdf>

Gido J., & Clements J. (2012). Administración exitosa de proyectos 5ta edición México D.F. cengage learning Editores, S.A. Recuperado de <https://salazarvirtual.sistemaeducativosalazar.mx/assets/biblioteca/f2e5b6a31265231f91e70d5ca1526e1e-Ensayo%20%20Administraci%C3%B3n%20Exitosa%20de%20Proyectos%205a%20ed%202012%20Parte%20%20-%20Gido%20y%20Clements.pdf>

Alcedo, L. H. (1970). Distribución de Planta Richard Muther. Recuperado de [https://www.academia.edu/49232937/Distribucion\\_de\\_Planta\\_Richard\\_Muther](https://www.academia.edu/49232937/Distribucion_de_Planta_Richard_Muther)

Heizer R. (2009). Principios de administración de operaciones. Séptima edición. México. Pearson educación.

Morante E. (2015). Análisis de la funcionalidad e interfaz gráfica para el módulo sistema de incentivos y balanceo de líneas de producción en un simulador de procesos. Recuperado de <https://www.scribd.com/document/473901171/63411-1-1-pdf>

Muñoz J. (2019). OEE: Efectividad Total de los Equipos. Recuperado de <https://www.scribd.com/document/439044127/oeo>

Gallegos J. (2019). Cálculo de O.E.E. Recuperado de <https://www.scribd.com/document/407333322/Calculos-de-OEE>

Carranza E. (2012). Distribución de las instalaciones. Recuperado de <https://www.scribd.com/document/577350273/DISTRIBUCION-DE-LAS-INSTALACIONES>

Arroyo J., González I., Martínez E., Téllez A., Vera K., Vásquez L. (2021). Administración de operaciones. Recuperado de <https://www.scribd.com/presentation/511566754/AO2>

Contreras, J. I. (2020). Productividad: ¿Cómo aprovechar la capacidad? Recuperado de <https://www.atlasconsultora.com/balance-de-capacidad-y-productividad/>

Restrepo C., J. H., Medina V., P. D., & Cruz T., E. A. (2006). Balanceo de un módulo de confección utilizando el algoritmo de Hegelson & Birnie: Un caso de estudio. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84911652057.pdf>

Rueda J. (2017). Distribución de instalaciones en la planta de producción de la empresa muebles Gallardo. Recuperado de <https://www.scribd.com/document/359761012/Tesis-t1207id>