

# APLICACIÓN DE MÉTODOS HEURÍSTICOS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE BALANCEO DE LÍNEAS CON ESTACIONES EN PARALELO

Autores

SEBASTIÁN PINZÓN SALAZAR

Cód. 1088284050

MARIO SANTA LUNA

Cód. 1088269923

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
PEREIRA  
2013

APLICACIÓN DE MÉTODOS HEURÍSTICOS EN LA RESOLUCIÓN DE  
PROBLEMAS DE BALANCEO DE LÍNEAS CON ESTACIONES EN PARALELO

Autores

SEBASTIÁN PINZÓN SALAZAR

Cód. 1088284050

MARIO SANTA LUNA

Cód. 1088269923

Trabajo de Grado para optar el título de ingeniero industrial

Asesor:

JORGE HERNAN RESTREPO CORREA

Mcs Investigación De Operaciones y Producción

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PEREIRA

2013

-----

Nota de aceptación

-----

Firma del presidente

-----

Firma del jurado

-----

Firma del jurado

Pereira 13 de Junio del 2013.

## DEDICATORIA DE MARIO SANTA LUNA

A Dios primeramente, fuente de mi inspiración y fortaleza diaria. A Él le debo la culminación de un sueño que en ocasiones se vio nublado e incierto, pero que gracias a su obra pude cumplirlo con satisfacción; a mi familia por su apoyo incondicional, ya que estuvieron en los momentos más difíciles, con sus palabras pudieron levantar a un alma caída y desanimada, enfocándome hacia lo que tenía adelante; y a toda la gente que de una u otra forma intervinieron, más que en la culminación de un proyecto académico, en la formación de mi vida, resaltando así que la mayor riqueza que pude encontrar en la academia no fueron las letras o formulas matemáticas, ni los conceptos teóricos que se citaron, si no las personas que conocí, su esencia y virtud; a todos ustedes dedico este paso en mi vida... gracias

## DEDICATORIA DE SEBASTIAN PINZON SALAZAR

Inicialmente a Dios por darme la fortaleza, sabiduría, y tranquilidad en momentos en los que lo requerí. A mis padres, por apoyarme incondicionalmente, por su entrega y sacrificio que me permitieron alcanzar éste escalón en mi vida, a mis hermanos por brindarme esa voz de aliento en momentos difíciles. Agradezco a todas esas personas que estuvieron presentes en ésta etapa, y que de una u otra forma ayudaron a mi formación personal y profesional, igualmente a todos los docentes que compartieron sus conocimientos y experiencias; por último y no menos importante agradezco a "GEIO", y a todas las personas con las que pude compartir en éste grupo de investigación, y que me permitieron adquirir muchas fortalezas que serán importantes en mi vida personal y profesional.

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo dar solución a un caso de balanceo de líneas con estaciones en paralelo en un módulo de producción de una empresa de confección del municipio de Dosquebradas. Además se desarrollará, analizándolo como un caso general de balanceo de líneas de ensamblaje, denominado GALBP (*General Assembly line Balancing problema*) y utilizando métodos aplicados a los casos simples como SALBP-1.

Ésta investigación está estructurada a través de dos procesos heurísticos denominados **KILBRIDGE AND WESTER** y **HELGESON AND BIRNIE**, aplicándolos de tal manera que se pueda encontrar una solución adecuada según el concepto de paralelismo, explicando de manera teórica cada uno de los componentes de una línea de ensamblaje y los puntos a tener en cuenta al momento de abordar el caso general. Finalmente una vez se haya evaluado el problema con ambos métodos, se concluirá acerca de diferencias y posibles ventajas de la utilización de uno u otro método para solucionar problemas de optimización de éste tipo.

## **ABSTRACT**

This project aims to solve a case of balancing parallel lines with stations in a module of a company making clothing Dosquebradas Township. Also be developed, analyzing it as a general case of assembly line balancing, called GALBP (General Assembly line Balancing problem) and using methods applied to simple cases as SALBP-1.

This research is structured through two heuristics called Kilbride AND WESTER and Helgeson AND BIRNIE, applying them so that they can find a suitable solution according to the concept of parallelism, in theory explaining each of the components of an assembly line and points to consider when addressing the general case. Finally, once the problem has been evaluated with both methods conclude about differences and possible advantages of using either method to solve optimization problems of this type.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCION .....	13
2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
2.1. Planteamiento del problema .....	14
2.1.1 Diagnóstico del problema .....	14
2.1.2. Formulación del problema .....	15
2.1.3. Sistematización del problema .....	15
3. JUSTIFICACION .....	16
4. DISEÑO METODOLÓGICO.....	17
8. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION .....	18
8.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
8.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
9. MARCO CONCEPTUAL .....	19
10. MARCO TEORICO .....	21
10.1. CARACTERÍSTICAS DE DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LAS INSTALACIONES.....	21
10.1.1. Distribución en planta por proceso.....	21
10.1.2. Distribución en planta por tecnología de grupo.....	22
10.1.3. Distribución en planta de posición fija.....	23
10.1.4. Distribución en planta por producto. ....	23
10.2. CARACTERÍSTICAS DE UNA LÍNEA DE ENSAMBLE.....	25
10.3. TIPOS DE LÍNEAS DE ENSAMBLAJE. ....	26
10.3.1. Línea de ensamblaje con despliegue lineal. ....	26
10.3.2. Línea de ensamblaje con estaciones en U. ....	26
10.3.3. Línea de ensamblaje con estaciones en paralelo. ....	27
10.4. TIPOS DE CATEGORÍAS DE LÍNEAS DE ENSAMBLE .....	27
10.4.1. SALBP (Simple Assembly Line Balancing Problem).....	28
10.4.2. GALBP (General Assembly Line Balancing Problem).....	28
10.5 MÉTODOS PARA SOLUCIONAR EQUILIBRADO DE LÍNEAS.....	29
10.5.1. MODELOS HEURÍSTICOS. ....	29
10.6. Método Heurístico Helgeson and Birnie: .....	29
11. DESARROLLO DE LA INVESTIGACION .....	31

11.1. APLICACIÓN DEL MÉTODO HEURÍSTICO .....	34
11.1.1 Método Heurístico Kilbridge and Wester.....	34
11.2. APLICACIÓN DEL MÉTODO HEURÍSTICO .....	37
11.2.1. Método Heurístico Helgeson and Birnie.....	37
12. CONCLUSIONES .....	52
13. BIBLIOGRAFIA .....	53
14. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA .....	54



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Distribucion en Planta por proceso.....	22
FIGURA 2. Distribucion en planta por tecnologia de grupo .....	22
FIGURA 3. Celda de producción.....	23
FIGURA 4. Distribucion en planta de posicion fija .....	23
FIGURA 5. Distribucion en planta por producto .....	24
FIGURA 6. Linea de ensablaje con despliegue lineal .....	26
FIGURA 7. Linea de ensablaje con despliegue en U.....	27
FIGURA 8. Linea de ensablaje con estaciones en paralelo .....	27
FIGURA 9. Diagrama de Precedencias .....	32
FIGURA 10. Diagrama de Precedencias Método Kilbridge and Wester. ....	35
FIGURA 11. Diagrama de asignación de tareas con el método Kilbridge and Wester .....	36
FIGURA 12. Diagrama de precedencia de tareas con el método Helgeson and Birnie.....	38

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Caracterización de las operaciones. ....	31
Tabla 2. Precedencias. ....	32
Tabla 3. Tareas acumuladas.....	34
Tabla 4. Precedencias y tiempo acumulado. ....	34
Tabla 5. Precedencias y tiempo acumulado metodo Kilbridge and Wester. ....	36
Tabla 6. Caracterización de tiempos de tareas método Helgeson and Birnie.....	38
Tabla 7. Caracterización de operaciones y tiempo acumulado método Helgeson and Birnie.....	39
Tabla 8. Estación de trabajo 1. ....	39
Tabla 9. Estación de trabajo 1. ....	39
Tabla 10. Estación de trabajo 1. ....	40
Tabla 11. Estación de trabajo 2. ....	40
Tabla 12. Estación de trabajo 2. ....	40
Tabla 13. Estación de trabajo 2. ....	41
Tabla 14. Estación de trabajo 2. ....	41
Tabla 15. Estación de trabajo 2. ....	41
Tabla 16. Estación de trabajo 3. ....	42
Tabla 17. Estación de trabajo 3. ....	42
Tabla 18. Estación de trabajo 3. ....	42
Tabla 19. Estación de trabajo 3. ....	43
Tabla 20. Estación de trabajo 4. ....	43
Tabla 21. Estación de trabajo 4. ....	43
Tabla 22. Estación de trabajo 4. ....	43
Tabla 23. Estación de trabajo 4. ....	44
Tabla 24. Estación de trabajo 5. ....	44
Tabla 25. Estación de trabajo 5. ....	44
Tabla 26. Estación de trabajo 5. ....	44
Tabla 27. Estación de trabajo 5. ....	45
Tabla 28. Estación de trabajo 6. ....	45
Tabla 29. Estación de trabajo 6. ....	46
Tabla 30. Estación de trabajo 6. ....	46
Tabla 31. Estación de trabajo 6. ....	46
Tabla 32. Estación de trabajo 7. ....	46
Tabla 33. Estación de trabajo 7. ....	47
Tabla 34. Estación de trabajo 7. ....	47
Tabla 35. Estación de trabajo 7. ....	47
Tabla 36. Estación de trabajo 7. ....	47
Tabla 37. Estación de trabajo 8. ....	48
Tabla 38. Estación de trabajo 8. ....	48
Tabla 39. Estación de trabajo 8. ....	48
Tabla 40. Estación de trabajo 8. ....	48

Tabla 41. Estación de trabajo 9. ....	48
Tabla 42. Estación de trabajo 9. ....	49
Tabla 43. Estación de trabajo 9. ....	50
Tabla 44. Estación de trabajo 1 final. ....	50
Tabla 45. Estación de trabajo 2 final. ....	50
Tabla 46. Estación de trabajo 3 final. ....	50
Tabla 47. Estación de trabajo 4 final. ....	50
Tabla 48. Estación de trabajo 5 final. ....	51
Tabla 49. Estación de trabajo 6 final. ....	51
Tabla 50. Estación de trabajo 7 final. ....	51
Tabla 51. Estación de trabajo 8 final. ....	51
Tabla 52. Estación de trabajo 9 final. ....	51

## GLOSARIO

**HEURÍSTICA:** Estrategia, método, criterio o truco usado para hacer más sencilla la solución de problemas difíciles. El conocimiento heurístico es un tipo especial de conocimiento usado por los humanos para resolver problemas complejos.

**ALGORITMO:** Conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema.

**EQUILIBRADO DE LÍNEAS:** Se trata de un mecanismo de planificación de la producción en pequeños lotes de muchos modelos en periodos cortos de tiempo, siempre de acuerdo a las ventas del producto. Supone mantener el volumen total de producción constante pero separando la planificación de cada producto, de forma que se programe en secuencia de pedidos según un ciclo repetitivo de forma que suavice las variaciones cotidianas para adaptarse a la demanda a largo plazo.

**<sup>1</sup>SIMULACIÓN:** Proceso de diseñar y desarrolla un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema.

1- SIMULACIÓN UN ENFOQUE CLÁSICO, RAUL COSS BU, EDITORIAL LIMUSA, PAG. 1

**LÍNEA DE PRODUCCIÓN:** Secuencia fija de diferentes etapas de producción. Cada etapa consta de una o más máquinas.

**BALANCEO DE LÍNEAS:** Equilibrado de la carga de trabajo entre las estaciones que componen una línea o módulo de producción.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las generalidades que se pueden encontrar en el ejercicio del balanceo de estaciones de trabajo en una línea de producción pueden ser diversas y naturalmente particulares, existiendo métodos de solución a través de modelos heurísticos que por su secuencialidad son prácticos y entendibles. Cuando se cita la referencia del paralelismo en un módulo de ensamblaje, se pueden encontrar casos teóricamente poco argumentados, ya que éste fenómeno se halla inmerso en pocos procesos estudiados. En éste trabajo de investigación se pretenderá estudiar a través de un análisis de un caso particular en una empresa de confección, las diferentes variables que se pueden hallar al momento de abordar el respectivo balanceo de las cargas de trabajo, teniendo en cuenta la secuencialidad del proceso y los tiempos estándar que caracterizan cada tarea. El problema de balanceo de línea se abordará empezando por los casos simples como lo son SALBP 1, los métodos heurísticos: *KILBRIDGE AND WESTER* Y *HELGESON AND BIRNIE*, llegando así, a la respectiva generalización del balanceo, encontrando la necesidad de paralelizar las estaciones de trabajo dentro de una tarea en particular y según la necesidad, con el fin de minimizar número de estaciones dado un tiempo ciclo característico del proceso.

Es de trascendental importancia estudiar la secuencialidad de las diferentes tareas que intervienen, analizando y distribuyendo de manera adecuada, su tiempo de realización a través del proceso, con el fin de poder identificar los cuellos de botella y en donde puede ser agilizada la producción, a través de la utilización del tiempo ocioso de la mano de obra en otra estación en donde su tiempo estándar supera el tiempo ciclo.

Dicho marco argumental se fundamentará en el estudio de un caso real, en donde se hallará un flujo organizado de materia prima a través de una secuencia fija de máquinas de confección, con tiempos estándar respectivos y la percepción de una estación de trabajo en la cual se halla la necesidad de abrir otra estación paralelizada junto con ésta, haciendo la producción más eficiente y balanceada.

## 2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.1. Planteamiento del problema

#### 2.1.1 Diagnóstico del problema

En la actualidad las organizaciones necesitan tener un sistema de producción óptimo y dinámico que responda a las exigencias del mercado y en donde se puedan minimizar los costos correspondientes a los procesos de manufactura cuando se trata de líneas de ensamblaje. El objetivo de cualquier organización es mantener un equilibrio óptimo de manufactura dentro de su secuencia operativa, con el propósito de minimizar los desperdicios y estructurar de manera eficiente la distribución de las tareas dentro del proceso, teniendo en cuenta el modelo de locación de la línea diseñado en la fábrica.

El impacto del área de producción sobre la empresa se puede entender como el motor principal en la obtención de los objetivos organizacionales, ya que es allí en donde se debe invertir los recursos técnicos necesarios para lograr una sinergia entre procesos y la búsqueda por encontrar la mejor disposición entre estaciones de trabajo y la secuencia lógica de las tareas, optimizando la inversión sobre la tecnología y los recursos administrativos y operativos a aplicar.

Existen un sin número de métodos exactos destinados a encontrar la solución factible para organizar las líneas de secuencia en las estaciones de trabajo, así como también métodos heurísticos prácticos que recogen una estructura lógica capaz de recopilar la información necesaria del proceso y organizarla de manera que las tareas se enfoquen hacia la optimización de los recursos de las líneas de ensamblaje y la vinculación de la tecnología.

El proyecto de investigación se centrará en el método heurístico *HELGESON AND BIRNIE* y *KILBRIDGE AND WESTER* en la resolución de los problemas de las líneas de ensamblaje simple, teniendo en su estructura de distribución locacional la aparición de estaciones de trabajo en paralelo como una variable adicional a investigar. A través del estudio de métodos heurísticos sobre las líneas de ensamblaje se abordará el proyecto de investigación aplicándolos de manera que su definición, comprensión, aplicación y finalidad sea sencilla y práctica al momento de obtener un esquema de solución del proceso de manufactura, llevando al departamento de producción a un ámbito de eficiencia y productividad en sus operación de manufactura.

### **2.1.2. Formulación del problema**

¿Qué métodos heurísticos se pueden aplicar sobre una línea de ensamblaje con estaciones en paralelo en un proceso de manufactura industrial para encontrar una solución factible?

### **2.1.3. Sistematización del problema**

¿Cómo se puede resolver el problema de balanceo de línea de ensamblaje por medio de métodos heurísticos?

¿Cuál sería la mejora en el proceso después de haber aplicado el método heurístico?

¿Qué método heurístico aporta una solución más óptima y práctica de los resultados?

¿Qué herramientas se podrían utilizar para mejorar la eficiencia de la línea de producción?

### 3. JUSTIFICACIÓN

El trabajo de investigación se hizo con el objetivo de encontrar una solución óptima aplicable al problema general de ensamblaje de línea bajo la iteración de métodos heurísticos en la cadena secuencial de los procesos de manufactura, recopilando así conceptos de eficiencia sobre la disposición de las tareas y analizando las diferentes variables a tener en cuenta en el planteamiento de la heurística.

Bajo ésta premisa se pretende enriquecer en la industrias fabriles los procesos técnicos encargados de encontrar la solución factible para la empresa en su afán por alcanzar los objetivos organizacionales desde el departamento de producción, generándoles herramientas acordes a las necesidades del medio, que exige dinamismo y practicidad a la hora de abastecer los requerimientos de los demandantes.

La aplicación de las heurísticas en un campo cotidiano como las industrias que necesitan de líneas de ensamblajes para fabricar sus productos, es necesaria al momento de brindarles un modelo teórico, metodológico y práctico de métodos poco explorados, que sirven para nuevas formas de aprendizaje y desarrollo dentro del área de producción en una organización industrial.



#### **4. DISEÑO METODOLÓGICO**

La investigación se basa en el método experimental, ya que se apoya en la determinación de los atributos del sistema a través de una explicación técnica que relaciona dos o más variables en la medición de los parámetros que determinan el comportamiento y predicción de las características de los modelos heurísticos en la línea de ensamblaje.

El trabajo de investigación se centrará en la siguiente secuencia de desarrollo:

1. Definición del problema a tratar.
2. Definición de las heurísticas a aplicar.
3. Iteración de las variables exigidas por la heurística en el modelo de aplicación lógica del algoritmo.
4. Análisis de la información obtenida.
5. Conclusiones sobre los resultados obtenidos.

## **8. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION**

### **8.1. OBJETIVO GENERAL**

Solucionar el problema general de balanceo de líneas de ensamblaje utilizando dos métodos heurísticos: *KILBRIDGE AND WESTER* Y *HELGESON AND BIRNIE*, permitiendo realizar una comparación entre ambos y establecer cual tiene la mejor solución para el módulo de confección sobre el cual se realizará el estudio.

### **8.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir y esquematizar el problema a resolver en el módulo de confección.
- Definir la metodología de los procesos heurísticos a aplicar en el módulo de confección.
- Aplicar la metodología sobre el problema de balanceo de línea.
- Concluir sobre el método de aplicación y sus ventajas frente a los resultados obtenidos.

## 9. MARCO CONCEPTUAL

**ÁREA DE PRODUCCIÓN:** El área de producción, también llamada área o departamento de operaciones, manufactura o de ingeniería, es el área o departamento de un negocio que tiene como función principal la transformación de insumos o recursos (energía, materia prima, mano de obra, capital, información) en productos finales (bienes o servicios).

**OPERACIONES:** Actividades cuyos procesos combinan, separan, reforman y transforman insumos o recursos en productos (bienes o servicios).

**PRODUCCIÓN:** Acto de producir los productos, o la suma de todos los productos (bienes o servicios) producidos en una empresa.

**PRODUCTIVIDAD:** Cociente resultante de dividir la producción (resultados obtenidos) entre los recursos (insumos utilizados). Mientras mayor sea la producción y menores los recursos (o costos) utilizados en ella, mayor será la productividad.

**RECURSOS:** Elementos que serán utilizados en la producción de bienes o servicios, o que serán transformados en éstos. Los recursos pueden ser:

- Financieros: dinero en efectivo.
- Información: necesidades, cambios en las actitudes del consumidor, tendencias del mercado.
- Materiales: insumos, materias primas, materiales indirectos, insumos.
- Servicios: energía, agua.
- Humanos: operarios, ejecutivos, directores.

**PRODUCTO:** Resultado de las actividades o procesos.

**LOTE:** Un conjunto de unidades o piezas, contadas pesadas o medidas, que integran la cantidad ordenada en un pedido de compra o en una orden de producción, se denomina lote.

**COSTO ESTÁNDAR:** Son aquellos costos que interviene en la fabricación de un producto y se relacionan en la orden de producción, dividiéndose en costos estándar de materia prima, mano de obra y costos indirectos de fabricación.

**TIEMPO ESTÁNDAR:** Es aquel periodo que conlleva la suma del tiempo de producción, tiempo ocioso, retrasos por fallas y demás, en el cual el producto es llevado hacia su fase final.

**BALANCEO DE LINEAS:** Es una distribución de actividades secuenciales de trabajo en los centros laborales para lograr el máximo aprovechamiento posible de la mano de obra, así como del equipo, y de esa manera reducir o eliminar el tiempo ocioso.

**CARGA DE TRABAJO:** Podemos definir la carga de trabajo como el conjunto de requerimientos mentales y físicos a que se ve sometido un trabajador o una trabajadora para la realización de su tarea.

**DIAGRAMAS DE PRECEDENCIA:** Se usa cuando se quieren mostrar las tareas en cascada, y enfatizar en aquellas que deben hacerse como prerrequisito de otras.

**EFICIENCIA:** Hace referencia a los recursos empleados y los resultados obtenidos.

**TAREA:** Significa trabajo u obra. Consiste en un hacer que demanda esfuerzo (por eso pasear o descansar no son tareas) y que generalmente tiene un tiempo límite para su realización.

## 10. MARCO TEÓRICO

El proyecto de investigación se regirá bajo la siguiente estructura conceptual, planteando una metodología práctica en el proceso de aplicación de los diferentes modelos de optimización heurística.

### 10.1. CARACTERÍSTICAS DE DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LAS INSTALACIONES

Es importante conceptualizar las diferentes variables que intervienen en la distribución de un proceso productivo a través de la instalación de secuencias y procedimientos evidenciados en las estaciones de trabajo, con el fin de minimizar tiempos y procesos de manufactura que repercuten en los costos de fabricación. Toda organización industrial tiene como objetivo obtener la mayor rentabilidad posible en paralelo con los recursos invertidos, siendo el área de producción el ente encargado de vigilar las diferentes disposiciones locacionales que generen métodos y procesos óptimos en la fábrica.

De ésta forma se pueden mencionar diferentes tipos de distribuciones en planta que integran factores característicos de las mismas.

**10.1.1. Distribución en planta por proceso.** También denominado como distribución Job-shop o distribución por función. Esta distribución describe la disposición de los diferentes procesos integrados en departamentos o secciones de manufactura siendo el producto modificado de acuerdo a la distribución de estas secciones en las diferentes estaciones de trabajo. El producto sigue el flujo de las áreas de manufactura.

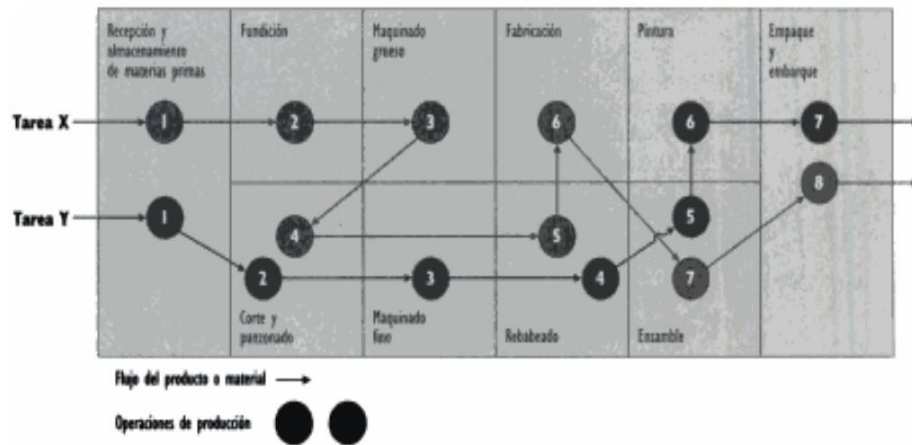


FIGURA 1. Distribución en Planta por proceso

**10.1.2. Distribución en planta por tecnología de grupo.** Esta distribución integra maquinaria particular, en un lugar de trabajo, de acuerdo a las especificaciones y requerimientos del producto. Se asemeja a la estructura de distribución en planta por proceso debido a que las células de trabajo son posicionadas de acuerdo a la estructura del proceso que interviene.

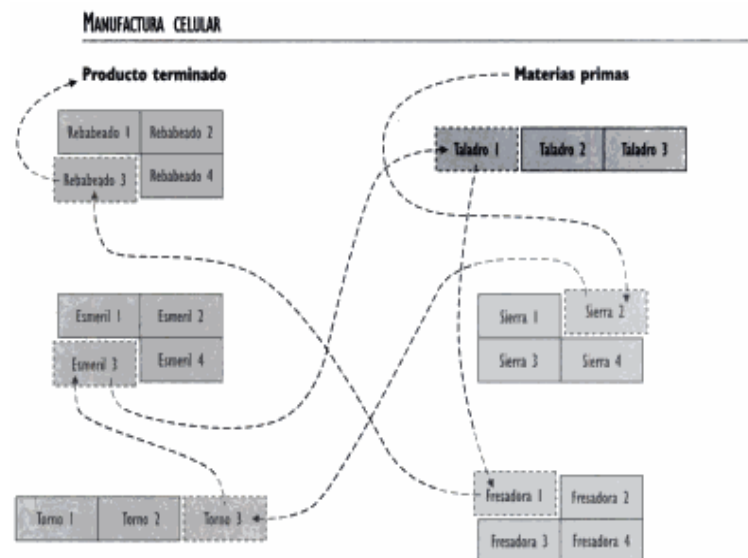


FIGURA 2. Distribución en planta por tecnología de grupo

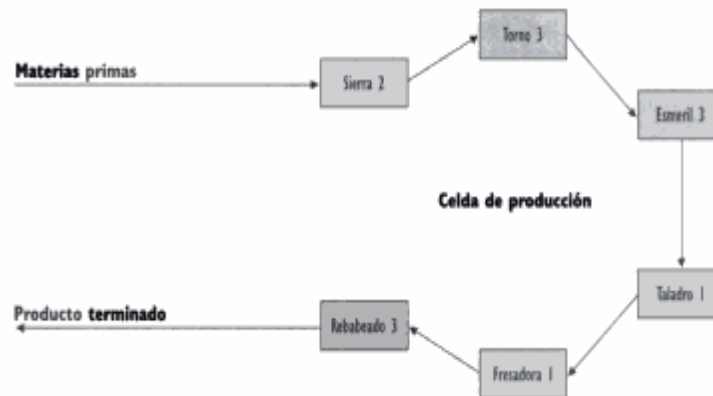


FIGURA 3. Celda de producción

**10.1.3. Distribución en planta de posición fija.** Este tipo de distribución direcciona a los procesos hacia el producto, estando este estático frente al dinamismo de las diferentes etapas de fabricación sobre la transformación de este mismo.

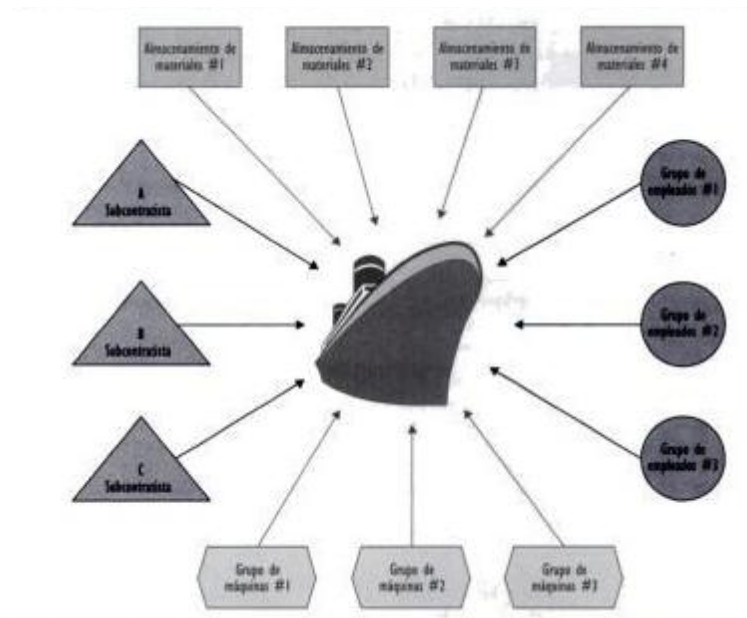
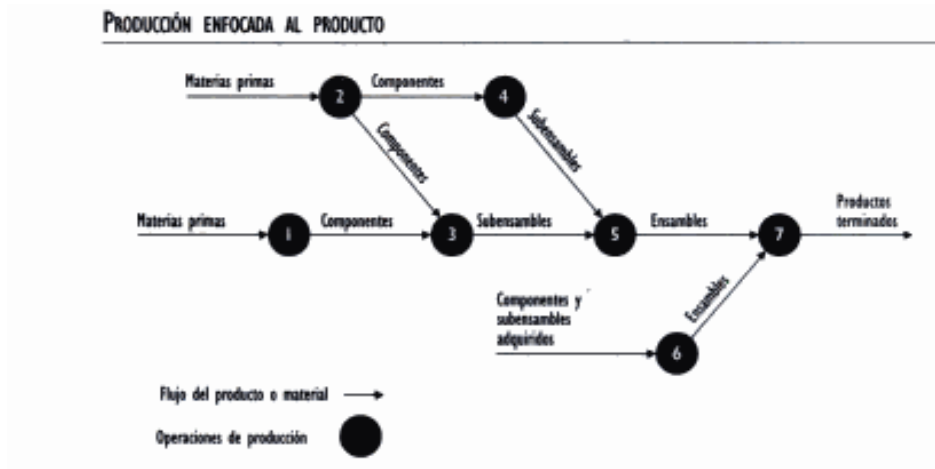


FIGURA 4. Distribución en planta de posición fija

**10.1.4. Distribución en planta por producto.** También denominado Flow-shop. Esta distribución integra los procesos de producción de acuerdo a la secuencia de manufactura del producto, haciendo flexible la manipulación de las estaciones de

trabajo a la exigencia secuencial de fabricación. Este tipo de disposición es lineal y constante de acuerdo al volumen de la demanda por tal razón también se le ha nombrado como línea de ensamble o de producción. Para la representación de esta distribución se puede traer a colación la fabricación de electrodomésticos y autos. En este aspecto de distribución se centrara el proyecto de investigación con el fin de estudiar las disposiciones de las estaciones de trabajo de acuerdo a las especificaciones de manufactura del producto.



**FIGURA 5. Distribucion en planta por producto**

Ventajas:

- Mínima manipulación de los materiales.
- Reducción en el tiempo entre el inicio del proceso y la obtención del producto final.
- Menos material en proceso.
- Mano de obra más fácil de entrenar y de sustituir.
- Programación y control sencillos.

Inconvenientes:

- Mayor inversión.
- Rigidez.
- Diseño y puesta a punto más complejo.
- El ritmo de producción lo marca la maquina más lenta.
- Una avería puede interrumpir todo el proceso.
- Tiempos muertos en algunos puestos de trabajo.
- El aumento del rendimiento individual no repercute en el rendimiento global.



## 10.2. CARACTERÍSTICAS DE UNA LÍNEA DE ENSAMBLE.

**Línea de ensamble:** Es un tipo de característica propia de la distribución en planta por producto y es allí en donde se encuentran las diferentes variables a analizar, como lo es el flujo continuo de materia prima a través de un sistema de transporte que sufre diferentes intervenciones fabriles hacia su transformación como producto final. Es aquí en donde se analizan los diferentes tiempos de fabricación dispuestos en cada estación de trabajo y la reunión de tareas dependiendo de variables como tiempo de ciclo del proceso, los insumos que intervienen y las características de transformación y maquinaria que se emplean en el proceso de fabricación.

Existen diferentes indicadores que evalúan el funcionamiento lógico y secuencial de la línea de ensamblaje y que son utilizados es los diferentes diagnósticos efectuados sobre el proceso, los cuales se indican a continuación:

**Tiempo ciclo:** Tiempo máximo permitido a una estación de trabajo para que se complete el conjunto de tareas asignadas.

$$C = \frac{\textit{Tiempo de produccion por dia}}{\textit{Output por dia (en unidades)}}$$

**Número mínimo de estaciones de trabajo en el proceso:**

$$N = \frac{\textit{Suma de tiempos de tareas (T)}}{\textit{Tiempo Ciclo (C)}}$$

**Eficiencia:**

$$\%Eficiencia = \frac{\textit{Suma de tiempos de tareas (T)}}{\textit{Numero real de estaciones de trabajo (N) x Tiempo de ciclo (C)}}$$

**Ociosidad:**

$$\%Ociosidad = 1 - \frac{\textit{Suma de tiempos de tareas (T)}}{\textit{Numero real de estaciones de trabajo (N) x Tiempo de ciclo (C)}}$$

**Tiempo de ciclo para estaciones en paralelo:**

$$\%Ociosidad = \frac{\textit{Suma de tiempos de tareas (T)}}{\textit{Numero real de estaciones de trabajo (N)}}$$

Para el correspondiente equilibrado de línea se tiene presente los siguientes pasos:

1. Especificar la relación secuencial entre tareas utilizando un diagrama de precedencia.
2. Determinar el tiempo ciclo.
3. Determinar el tiempo mínimo de estaciones de trabajo.
4. Seleccionar una regla principal de asignación de tareas a través de heurísticas.
5. Evaluar la eficiencia de la línea de ensamblaje.
6. Retroalimentar el proceso.

### 10.3. TIPOS DE LÍNEAS DE ENSAMBLAJE.

Existen diferentes tipos de líneas que se disponen de acuerdo a unas características de comunicación entre procesos definidos y que se adaptan a los requerimientos de fabricación de un producto. A continuación se nombran las más importantes:

#### 10.3.1. Línea de ensamblaje con despliegue lineal.

Se caracteriza por presentar una disposición lineal de sus estaciones de trabajo y su secuencia de fabricación. Es inflexible en cuanto a modificaciones en el proceso.



FIGURA 6. Línea de ensamblaje con despliegue lineal

#### 10.3.2. Línea de ensamblaje con estaciones en U.

Se caracteriza por poseer dentro de su disposición locacional, la capacidad de integrar al personal en un solo bloque de fabricación, debido a que acorta las distancias entre estaciones de trabajo y permite que estos respondan con una posible nivelación de cargas dentro del proceso.

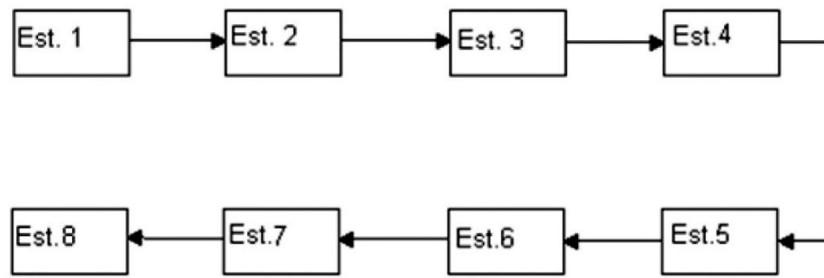


FIGURA 7. Línea de ensamblaje con despliegue en U

### 10.3.3. Línea de ensamblaje con estaciones en paralelo.

Este tipo de distribución se puede encontrar en el momento en el cual el tiempo de las tareas sobrepasa al tiempo ciclo respectivo del proceso en una estación, por lo cual la maquinaria se estructura de tal forma que este tiempo sea dividido entre n maquinas según sea el caso de liberación de carga, ya que las tareas son indivisibles.

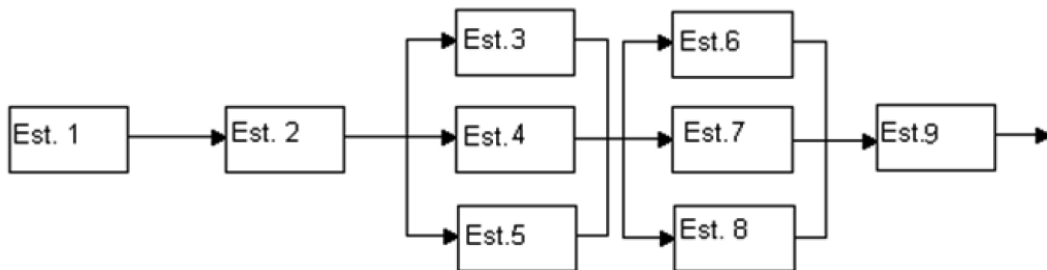


FIGURA 8. Línea de ensamblaje con estaciones en paralelo

## 10.4. TIPOS DE CATEGORÍAS DE LÍNEAS DE ENSAMBLE

En los métodos de ensamblaje de línea se encuentran diferentes tipos de categorías propuestos por Baybars, que identifican los tipos de problemas que se pueden presentar dentro de los objetivos a solucionar en la línea de producción. El problema de simple equilibrado de líneas (SALBP) y el problema general de equilibrado de líneas (GALBP).

#### **10.4.1. SALBP (*Simple Assembly Line Balancing Problem*).**

Los SALBP presentan las siguientes categorías:

- Su estructura es lineal simple.
- Restricciones de precedencia.
- Tareas indivisibles.
- Los tiempos de proceso de las tareas son considerados independientes de la estación y del orden del proceso.
- Son determinísticos.

Dentro de esta categoría se encuentran las siguientes características:

**10.4.1.1. SALBP-1.** Consiste en asignar un conjunto de tareas a las estaciones de tal forma que se minimice el número de estaciones, dado un tiempo de ciclo.

**10.4.1.2. SALBP-2.** Busca minimizar el tiempo de ciclo, dado un número de estaciones fijo.

**10.4.1.3. SALBP-E.** Maximiza la eficiencia de la línea, esto es, minimiza el producto del número de estaciones por tiempo de ciclo.

**10.4.1.4. SALBP-F.** Consiste en determinar si existe alguna solución factible para la combinación de un número de estaciones y un tiempo de ciclo; es decir, se quiere conocer si la línea puede operar con  $m$  estaciones y un tiempo de ciclo dados.

#### **10.4.2. GALBP (*General Assembly Line Balancing Problem*).**

Los GALBP integran todos los modelos de estaciones en paralelo, modelos mixtos, tiempos de procesos variables, y no se clasifican dentro de los SALBP. A continuación se destacan cuatro tipos de modelos que integran esta categoría:

**10.4.2.1. UALBP (*U line Assembly Line Balancing Problem*).** Ésta categoría trata una estructura en forma de U, en donde se conserva la linealidad en cuanto a la fabricación del producto, pero con una cercanía entre las estaciones de trabajo y fácil adaptación de las tareas entre las mismas. También se trata los problemas de tipo UALBP-1 (minimización del número de estaciones), UALBP-2 (minimización del tiempo ciclo) y el UALBP-E (maximización de la eficiencia).

**10.4.2.2. MALBP (*Mixed – Model Assembly Line Balancing Problem*).** Presenta la particularidad de presentar varios modelos dentro de la fabricación de un producto, teniendo tareas compartidas entre sí. También se presenta los tipos MALBP-1, MALBP-2 y MALBP-E.

**10.4.2.3. RALBP (*Robotic Assembly Line Balancing Problem*).** Éste tipo de disposición presenta la adecuación de robots en el módulo de operación, siendo esta aplicación una forma de maximizar la eficiencia.

## **10.5 MÉTODOS PARA SOLUCIONAR EQUILIBRADO DE LÍNEAS.**

### **10.5.1. MODELOS HEURÍSTICOS.**

Los métodos heurísticos se clasifican según su propósito y se describen a continuación.

**10.5.1.1. Heurísticas de una sola pasada.** Son las que usan reglas de decisión simples, entre las que destacan: *Moodie y Young* (1965, p.23-29), *Tongue* (1960, p.21-39) y *Helgeson y Birnie* (1961, p.394-398).

**10.5.1.2. Heurísticas de composición.** Se basan en la composición de reglas de decisión. Entre estas heurísticas destaca el algoritmo COMSOAL de *Arcus* (1966, p.259-278).

**10.5.1.3. Reglas de back tracking (retroceso).** Entre éstas destaca el algoritmo MALB de *Dar-El* (1973, p.343-356) y la heurística de *Hoffman* (1963, p.551-562). De lo anterior se puede extraer la aplicación de modelos heurísticos en la solución de problemas de balanceo de línea con estaciones en paralelo según sea el caso a aplicar, teniendo como referencia teórica ejemplos de algunos autores que estudiaron diferentes casos de aplicación.

**10.5.1.4. Aproximación partiendo de algoritmos exactos.** Éstas heurísticas parten de un procedimiento exacto al cual se le limita el tiempo de ejecución. En éste grupo destacan las de *Talbot y Patterson* (1984) y el algoritmo de *Held, Kart y Shareshian* (1963, p.442-459).

### **10.6. Método Heurístico Helgeson and Birnie:**

Método que utiliza la priorización de la asignación de tareas, según su peso de duración teniendo en cuenta las relaciones de precedencia establecidas por el proceso.

El método se efectúa según la siguiente estructura lógica a aplicar:

**Paso 1:** Calcular los pesos posicionales de cada tarea y organizarlos en forma descendente.

**Paso 2:** Asignar el elemento de mayor peso posicional a la primera estación a abrir.

**Paso 3:** Seguir asignando tareas de mayor peso posicional, si y solo si, su tiempo acumulado no supera el tiempo ciclo hallado y la tarea que la antecede ya ha sido asignada.

**Paso 4:** Si no se puede seguir asignando tareas a la estación actual, a razón de que el paso 3 no se cumple, se pueden encontrar dos particularidades:

a) La asignación de tareas ha sobrepasado el tiempo ciclo, por lo tanto se deberá abrir una nueva estación. Esto se da si el tiempo acumulado es mayor que el tiempo ciclo.

b) Cuando una tarea es mayor al tiempo ciclo, teniendo la característica de ser indivisible, se deberá abrir una estación de trabajo dentro de la misma operación, para que esta se pueda reproducir en un tiempo menor que al tiempo ciclo. A ésta particularidad se le denomina “estaciones en Paralelo” dentro de un módulo de producción y se utiliza para igualar el tiempo de duración de una tarea con el del tiempo ciclo.

El cálculo se efectúa con la siguiente formula:

Siendo  $T_{11}$ , el tiempo de la tarea 1 en la maquina 1, y  $T_{12}$  el tiempo de la tarea 1 en la maquina 2; da como resultado el tiempo total de la tarea hecha en dos estaciones compartidas.

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_{11}} + \frac{1}{T_{12}}$$

Si se supone que cada estación hace la tarea en el mismo valor de tiempo, se puede decir que  $T_{11} = T_{12}$ , por lo tanto el tiempo total de una operación, la cual superaba el tiempo ciclo, ahora es de la mitad, pero con la característica de que ahora no es una estación de trabajo la que la realiza si no dos.

$$T = \frac{T_{11}}{2}$$

**Paso 5:** Al abrirse una nueva estación se volverá a proceder desde el paso 2, hasta terminar con las tareas que interviene en la producción. Al terminar con ellas se finalizará el método.

## 11. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Partiendo de la información obtenida en la empresa Nicole S.A. en la cual se puede observar el tiempo de duración de un conjunto de tareas en un módulo de confección en el proceso de elaboración de un buzo manga larga a rayas, se generaran las diferentes iteraciones necesarias para encontrar el mínimo número de estaciones de trabajo, siendo estas representadas como personas:

Tabla de tiempos por tarea:

	<b>OPERACIONES</b>	<b>REFERENCIA OPERACIÓN</b>	<b>MÁQUINA</b>	<b>ESTÁNDAR</b>
A	MARQUILLAR ESPALDA	MAESOL	PLANA	0,206
B	UNIR 1 HOMBRO	UN1HFIL	FILETEADORA	0,18
C	SESGAR CUELLO	SECUSE	SESGADORA	0,337
D	UNIR 2 HOMBRO	UN2HFI	FILETEADORA	0,206
E	REMATAR 2DO HOMBRO	RE2HPL	FILETEADORA	0,149
F	DOBLADILLAR MANGAS	DOMA2A	RECUBRIDORA	0,474
G	MONTAR MANGAS	MOMAFI	FILETEADORA	0,612
H	CERRAR LADOS CASA RAYAS	CELACAFI	FILETEADORA	1,188
I	DOBLADILLAR RUEDO	DORU2A	RECUBRIDORA	0,493
J	REMATAR MANGAS	REMAPL	PLANA	0,215
K	PULIR	PUXMN	MANUAL	0,5
L	REVISAR PRENDA		MANUAL	0,3
M	EMPACAR PRENDA		MANUAL	0,733
	<b>TOTAL</b>			<b>5,593</b>

Tabla 1. Caracterización de las operaciones.

Tabla de precedencias:

	OPERACIONES	PRECEDENCIA	TIEMPO
A	MARQUILLAR ESPALDA	-	0,206
B	UNIR 1 HOMBRO	A	0,18
C	SESGAR CUELLO	B	0,337
D	UNIR 2 HOMBRO	C	0,206
E	REMATAR 2DO HOMBRO	D	0,149
F	DOBLADILLAR MANGAS	-	0,474
G	MONTAR MANGAS	E, F	0,612
H	CERRAR LADOS CASA RAYAS	G	1,188
I	DOBLADILLAR RUEDO	H	0,493
J	REMATAR MANGAS	-	0,215
K	PULIR	I, J	0,5
L	REVISAR PRENDA	K	0,3
M	EMPACAR PRENDA	L	0,733

Tabla 2. Precedencias.

Diagrama de precedencias:

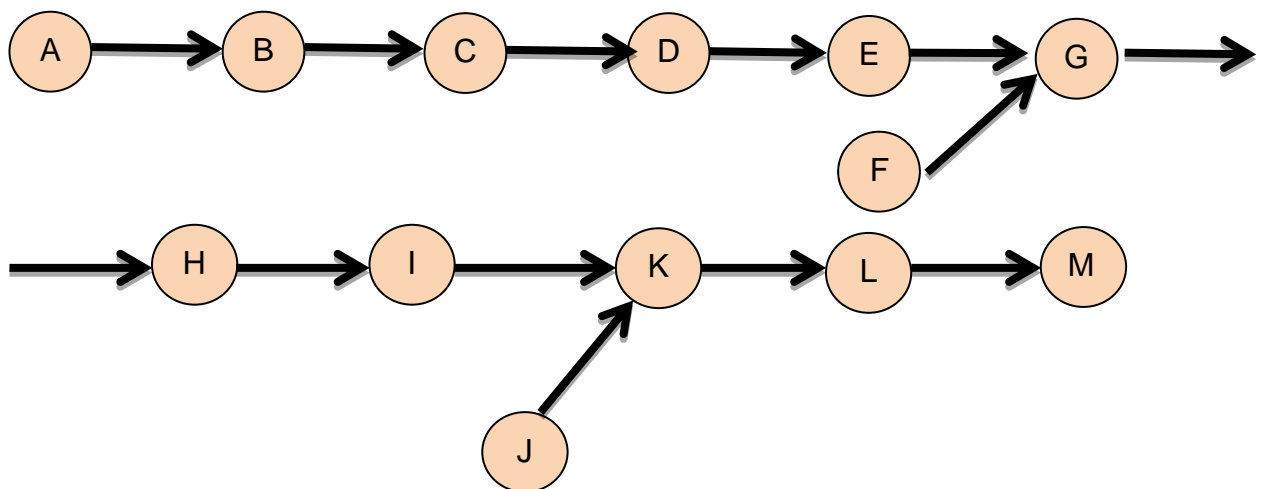


FIGURA 9. Diagrama de Precedencias



La producción esperada en un turno de 8 horas es de 813 unidades, por lo tanto el Tiempo Ciclo es calculado de la siguiente forma:

$$TC = \frac{\text{Tiempo de producción por día}}{\text{Output por día (en unidades)}}$$

$$TC = \frac{8 \frac{\text{hr}}{\text{día}} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hr}}}{813 \frac{\text{unid}}{\text{día}}}$$

$$TC = 0.59 \frac{\text{min}}{\text{unid}}$$

$$TC \approx 0.6 \frac{\text{min}}{\text{unid}}$$

Para el cálculo del número mínimo de estaciones a asignar al proceso de confección se utiliza el siguiente procedimiento:

$$NME = \frac{\text{Suma de tiempos de tareas (T)}}{\text{Tiempo Ciclo (C)}}$$

$$NME = \frac{5.593 \text{ min}}{0.59 \frac{\text{min}}{\text{unid}}}$$

$$NME = 9.47 \text{ unid}$$

$$NME \approx 10 \text{ unid}$$

Con la relación de precedencia establecida en la figura x, se realizara la respectiva aplicación del método *Helgeson and Birnie*, ya que se realizara los pesos posicionales de cada operación dentro del proceso.

## 11.1. APLICACIÓN DEL MÉTODO HEURÍSTICO.

### 11.1.1 Método Heurístico Kilbridge and Wester.

El método *Kilbridge and Wester* considera restricciones de precedencia entre las actividades, buscando minimizar el número de estaciones para un tiempo de ciclo dado.

	OPERACIONES	PRECEDENCIA	TIEMPO	TAREAS ACUMULADAS	TIEMPO ACUMULADO
A	MARQUILLAR ESPALDA	NA	0,206	A- B- C- D- E-G-H-I-K-L-M	4,904
B	UNIR 1 HOMBRO	A	0,18	B- C- D- E-G-H-I-K-L-M	4,698
C	SESGAR CUELLO	B	0,337	C- D- E-G-H-I-K-L-M	4,518
D	UNIR 2 HOMBRO	C	0,206	D- E-G-H-I-K-L-M	4,181
E	REMATAR 2DO HOMBRO	D	0,149	E-G-H-I-K-L-M	3,975
F	DOBLADILLAR MANGAS	NA	0,474	F-G-H-I-K-L-M	4,3
G	MONTAR MANGAS	E, F	0,612	G-H-I-K-L-M	3,826
H	CERRAR LADOS CASA RAYAS	G	1,188	H-I-K-L-M	3,214
I	DOBLADILLAR RUEDO	H	0,493	I-K-L-M	2,026
J	REMATAR MANGAS	NA	0,215	J-K-L-M	1,748
K	PULIR	I, J	0,5	K-L-M	1,533
L	REVISAR PRENDA	K	0,3	L-M	1,033
M	EMPACAR PRENDA	L	0,733	M	0,733

Tabla 3. Tareas acumuladas.

	OPERACIONES	PRECEDENCIA	TIEMPO	ACUMULADO
A	MARQUILLAR ESPALDA	NA	0,21	4,904
B	UNIR 1 HOMBRO	A	0,18	4,698
C	SESGAR CUELLO	B	0,34	4,518
F	DOBLADILLAR MANGAS	NA	0,47	4,300
D	UNIR 2 HOMBRO	C	0,21	4,181
E	REMATAR 2DO HOMBRO	D	0,15	3,975
G	MONTAR MANGAS	E, F	0,61	3,826
H	CERRAR LADOS CASA RAYAS	G	1,19	3,214
I	DOBLADILLAR RUEDO	H	0,49	2,026
J	REMATAR MANGAS	NA	0,22	1,748
K	PULIR	I, J	0,50	1,533
L	REVISAR PRENDA	K	0,30	1,033
M	EMPACAR PRENDA	L	0,73	0,733

Tabla 4. Precedencias y tiempo acumulado.

Teniendo en cuenta lo anterior, el método se efectúa bajo la siguiente estructura lógica:

**Paso 1:** Construya el diagrama de precedencia de tal manera que los nodos, representando los elementos de trabajo de idéntica precedencia, estén ordenados verticalmente en columnas.

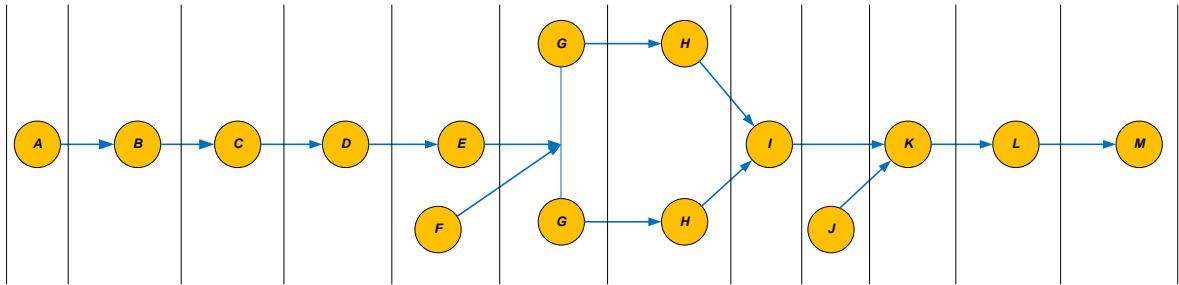


FIGURA 10. Diagrama de Precedencias Método Kilbridge and Wester.

**Paso 2:** Liste los elementos en el orden de la columna a que corresponden, columna 1 encabezando la lista. Si un elemento puede ubicarse en más de una columna, liste todas las columnas para tal elemento, indicando de éste modo la transferibilidad del mismo.

- Incluya también la tabla.
- El valor de tiempo para cada elemento.
- La suma de los valores de tiempo para cada columna.

**Paso 3:** para asignar los elementos a las estaciones de trabajo, comience con los elementos de la columna 1.

Se continúa la asignación en el orden del número de la columna, hasta que el tiempo de ciclo sea alcanzado o bien que el candidato correspondiente provoque que dicho tiempo se exceda.

El proceso de asignación continúa en ésta forma hasta terminar con todos los elementos.

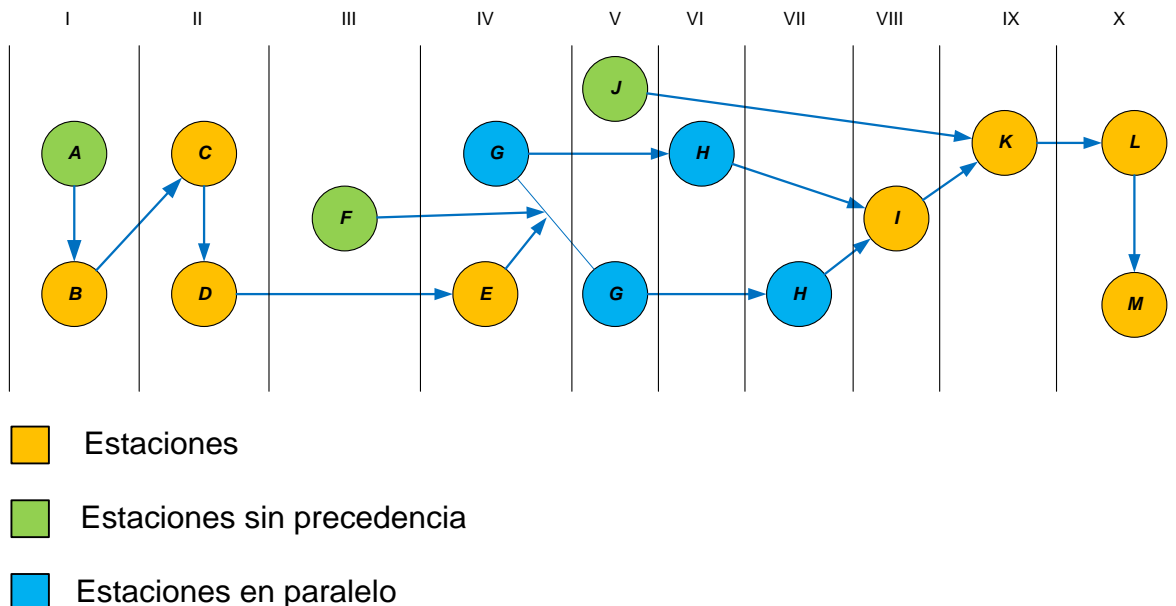


FIGURA 11. Diagrama de asignación de tareas con el método Kilbridge and Wester

ESTACIÓN	TAREAS	TIEMPOS	TIEMPO TOTAL	TIEMPO ACUMULADO
I	A,B	0,21; 0,18	0,39	0,39
II	C,D	0,34; 0,21	0,55	0,94
III	F	0,47	0,47	1,41
IV	E,G	0,15; 0,3	0,45	1,86
V	G,J	0,3; 0,22	0,52	2,38
VI	H	0,59	0,59	2,97
VII	H	0,59	0,59	3,56
VIII	I	0,49	0,49	4,05
IX	K	0,5	0,5	4,55
X	L,M	0,3	0,3	4,85

Tabla 5. Precedencias y tiempo acumulado metodo Kilbridge and Wester.

El Método Heurístico *Kilbridge and Wester* como se puede apreciar en el análisis anterior, puede ser muy útil cuando se necesite realizar un balance de línea de manera rápida; aunque cabe resaltar que éste modelo por ser de solución gráfica va a depender mucho de la apreciación que tenga el investigador o la persona encargada de realizar el estudio.

El cálculo de la eficiencia se efectúa según la siguiente fórmula:

$$\%Eficiencia = \frac{\text{Suma de tiempo acumulado en estaciones (T)}}{\text{Numero real de estaciones de trabajo (N) x Tiempo de ciclo (C)}}$$

$$\%Eficiencia = \frac{4,85 \text{ min}}{10 \text{ estaciones} \times 0,6 \text{ min/unid}}$$

$$\%Eficiencia = 0.808 \text{ unidades/estacion}$$

$$Eficiencia = 80.8 \%$$

## 11.2. APLICACIÓN DEL MÉTODO HEURÍSTICO

### 11.2.1. Método Heurístico Helgeson and Birnie.

El método se efectúa según la siguiente estructura lógica a aplicar:

**Paso 1:** Calcular los pesos posicionales de cada tarea y organizarlos en forma descendente.

Este punto se realizara partiendo de una tarea escogida dentro del proceso, analizando así las operaciones siguientes y sumando su tiempo a la inicial o escogida. Ejemplo:

Si partimos de la Tarea I, se puede observar a través del diagrama de precedencia, que las tareas subsiguientes son las operaciones K, L y M; la tarea J no entra ya que la operación I no depende de ésta.

Siendo  $W_{T_i}$  el tiempo acumulado desde la tarea i escogida, hasta la operación final que le siguen,  $t_i$  el tiempo de la tarea y  $\sum_i^n t_i = W_{t_i}$

Se debe de tener en cuenta las relaciones de precedencia entre las operaciones ya que si la tarea siguiente a asignar no se encuentra dentro de la secuencia de la tarea escogida no se asigna.

De lo siguiente se obtiene el peso posicional de cada tarea según la tabla de tiempos mostrada:

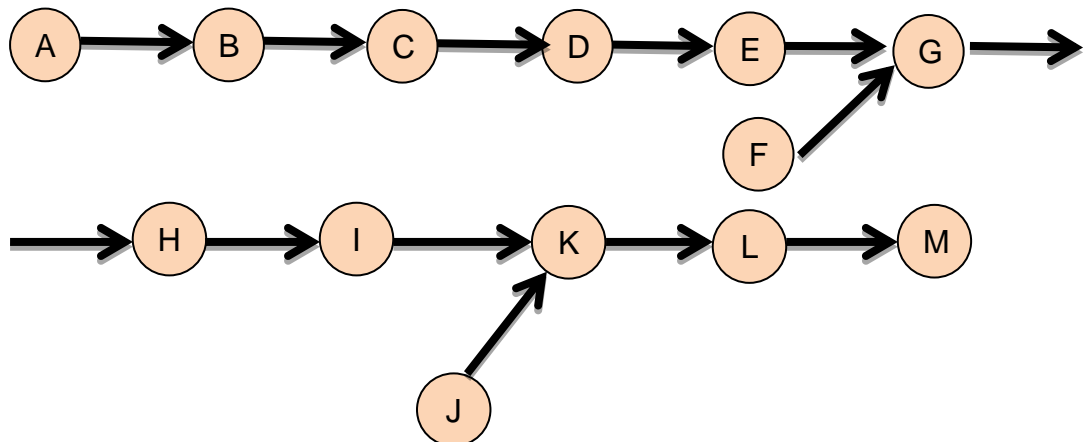


FIGURA 12. Diagrama de precedencia de tareas con el método Helgeson and Birnie.

	OPERACIONES	PRECEDENCIA	TIEMPO	TAREAS ACUMULADAS	TIEMPO ACUMULADO
A	MARQUILLAR ESPALDA	NA	0,206	A- B- C- D- E-G-H-I-K-L-M	4,904
B	UNIR 1 HOMBRO	A	0,18	B- C- D- E-G-H-I-K-L-M	4,698
C	SESGAR CUELLO	B	0,337	C- D- E-G-H-I-K-L-M	4,518
D	UNIR 2 HOMBRO	C	0,206	D- E-G-H-I-K-L-M	4,181
E	REMATAR 2DO HOMBRO	D	0,149	E-G-H-I-K-L-M	3,975
F	DOBLADILLAR MANGAS	NA	0,474	F-G-H-I-K-L-M	4,3
G	MONTAR MANGAS	E, F	0,612	G-H-I-K-L-M	3,826
H	CERRAR LADOS CASA RAYAS	G	1,188	H-I-K-L-M	3,214
I	DOBLADILLAR RUEDO	H	0,493	I-K-L-M	2,026
J	REMATAR MANGAS	NA	0,215	J-K-L-M	1,748
K	PULIR	I, J	0,5	K-L-M	1,533
L	REVISAR PRENDA	K	0,3	L-M	1,033
M	EMPACAR PRENDA	L	0,733	M	0,733

Tabla 6. Caracterización de tiempos de tareas método Helgeson and Birnie.

De ésta forma se procede a organizar las tareas de forma de que las tareas con mayor tiempo acumulado tenga la mayor prioridad a ser asignadas:

	OPERACIONES	PRECEDENCIA	TIEMPO	ACUMULADO
A	MARQUILLAR ESPALDA	NA	0,21	4,904
B	UNIR 1 HOMBRO	A	0,18	4,698
C	SESGAR CUELLO	B	0,34	4,518
F	DOBLADILLAR MANGAS	NA	0,47	4,300
D	UNIR 2 HOMBRO	C	0,21	4,181
E	REMATAR 2DO HOMBRO	D	0,15	3,975
G	MONTAR MANGAS	E, F	0,61	3,826
H	CERRAR LADOS CASA RAYAS	G	1,19	3,214
I	DOBLADILLAR RUEDO	H	0,49	2,026
J	REMATAR MANGAS	NA	0,22	1,748
K	PULIR	I, J	0,50	1,533
L	REVISAR PRENDA	K	0,30	1,033
M	EMPACAR PRENDA	L	0,73	0,733

Tabla 7. Caracterización de operaciones y tiempo acumulado método Helgeson and Birnie.

**Paso 2:** Asignar el elemento de mayor peso posicional a la primera estación a abrir.

ESTACION 1		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
A	0.21	0.21

Tabla 8. Estación de trabajo 1.

**Paso 3:** Seguir asignado tareas de mayor peso posicional, si y solo si, su tiempo acumulado no supera el tiempo ciclo hallado y la tarea que la antecede ya ha sido asignada.

ESTACIÓN 1		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
A	0,21	0,21
B	0,18	0,39
<b>C</b>	<b>0,34</b>	<b>0,73</b>

Tabla 9. Estación de trabajo 1.

**Paso 4:** Si no se puede seguir asignando tareas a la estación actual, a razón de que el paso 3 no se cumple, se pueden encontrar dos particularidades:

a) La asignación de tareas ha sobrepasado el tiempo ciclo, por lo tanto se deberá abrir una nueva estación. Esto se da si el tiempo acumulado es mayor que al tiempo ciclo.

Se puede ver que a partir de la tarea C el tiempo acumulado supera el tiempo ciclo estipulado que es de 0,6. Por lo tanto esta operación no se puede asignar. No obstante se sigue con el paso 4.

Por lo tanto a la estación 1 se asigna la tarea A y B.

ESTACIÓN 1		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
A	0,21	0,21
B	0,18	0,39

Tabla 10. Estación de trabajo 1.

**Paso 5:** Al abrirse una nueva estación se volverá a proceder desde el paso 2, hasta terminar con las tareas que interviene en la producción. Al terminar con ellas se finalizara el método.

ESTACIÓN 2		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO

Tabla 11. Estación de trabajo 2.

**Paso 2:** Asignar el elemento de mayor peso posicional a la primera estación a abrir.

ESTACIÓN 2		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
C	0,34	0,34

Tabla 12. Estación de trabajo 2.



**Paso 3:** Seguir asignado tareas de mayor peso posicional, si y solo si, su tiempo acumulado no supera el tiempo ciclo hallado y la tarea que la antecede ya ha sido asignada.

ESTACIÓN 2		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
C	0,34	0,34
<i>F</i>	<i>0,47</i>	<i>0,81</i>

Tabla 13. Estación de trabajo 2.

Debido a que al asignar la tarea F se sobrepasa el tiempo ciclo, se procede a asignar la tarea D, si y solo si la tarea anterior, es decir, la operación C (su operación precedente) ya ha sido asignada. Por lo tanto la tarea F no se asigna

ESTACIÓN 2		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
C	0,34	0,34
D	0,21	0,55
<i>E</i>	<i>0,15</i>	<i>0,70</i>

Tabla 14. Estación de trabajo 2.

**Paso 4:** Si no se puede seguir asignando tareas a la estación actual, a razón de que el paso 3 no se cumple, se pueden encontrar dos particularidades:

a) La asignación de tareas ha sobrepasado el tiempo ciclo, por lo tanto se deberá abrir una nueva estación. Esto se da si el tiempo acumulado es mayor que al tiempo ciclo.

Se puede ver que a partir de la tarea E el tiempo acumulado supera el tiempo ciclo estipulado que es de 0,6. Por lo tanto esta operación no se puede asignar. No obstante se sigue con el paso 4.

Por lo tanto a la estación 2 se asigna la tarea C y D

ESTACIÓN 2		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
C	0,34	0,34
D	0,21	0,55

Tabla 15. Estación de trabajo 2.

**Paso 5:** Al abrirse una nueva estación se volverá a proceder desde el paso 2, hasta terminar con las tareas que interviene en la producción. Al terminar con ellas se finalizara el método.

ESTACIÓN 3		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO

Tabla 16. Estación de trabajo 3.

**Paso 2:** Asignar el elemento de mayor peso posicional a la primera estación a abrir.

ESTACIÓN 3		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
F	0,47	0,47

Tabla 17. Estación de trabajo 3.

**Paso 3:** Seguir asignado tareas de mayor peso posicional, si y solo si, su tiempo acumulado no supera el tiempo ciclo hallado y la tarea que la antecede ya ha sido asignada.

ESTACION 3		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
F	0,47	0,47
E	0,15	0,62
G	0,61	1,23

Tabla 18. Estación de trabajo 3.

Dentro de la asignación se puede ver que el tiempo acumulado hasta la tarea E no es tan superior como lo es hasta la tarea G, por lo tanto se tiene un nivel de aceptación con respecto al tiempo ciclo, ya que la diferencia con el tiempo acumulado es de 0,02 min.

**Paso 4:** Si no se puede seguir asignando tareas a la estación actual, a razón de que el paso 3 no se cumple, se pueden encontrar dos particularidades:

a) La asignación de tareas ha sobrepasado el tiempo ciclo, por lo tanto se deberá abrir una nueva estación. Esto se da si el tiempo acumulado es mayor que al tiempo ciclo.

Se puede ver que a partir de la tarea G, el tiempo acumulado supera el tiempo ciclo estipulado que es de 0,6. Por lo tanto esta operación no se puede asignar. No obstante se sigue con el paso 4.

Por lo tanto a la estación 3 se asigna la tarea F

ESTACIÓN 3		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
F	0,47	0,47
E	0,15	0,62

Tabla 19. Estación de trabajo 3.

**Paso 5:** Al abrirse una nueva estación se volverá a proceder desde el paso 2, hasta terminar con las tareas que interviene en la producción. Al terminar con ellas se finalizara el método.

ESTACIÓN 4		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO

Tabla 20. Estación de trabajo 4.

**Paso 2:** Asignar el elemento de mayor peso posicional a la primera estación a abrir.

ESTACIÓN 4		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
G	0,61	0,61

Tabla 21. Estación de trabajo 4.

**Paso 3:** Seguir asignando tareas de mayor peso posicional, si y solo si, su tiempo acumulado no supera el tiempo ciclo hallado y la tarea que la antecede ya ha sido asignada.

ESTACIÓN 4		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
G	0,61	0,61
<i>H</i>	<i>1,19</i>	<i>1,80</i>

Tabla 22. Estación de trabajo 4.

**Paso 4:** Si no se puede seguir asignando tareas a la estación actual, a razón de que el paso 3 no se cumple, se pueden encontrar dos particularidades:

a) La asignación de tareas ha sobrepasado el tiempo ciclo, por lo tanto se deberá abrir una nueva estación. Esto se da si el tiempo acumulado es mayor que al tiempo ciclo.

Se puede ver que a partir de la tarea H, el tiempo acumulado supera el tiempo ciclo estipulado que es de 0,6. Por lo tanto esta operación no se puede asignar. No obstante se sigue con el paso 4.

Por lo tanto a la estación 4 se asigna la tarea C.

ESTACIÓN 4		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
G	0,61	0,61

Tabla 23. Estación de trabajo 4.

**Paso 5:** Al abrirse una nueva estación se volverá a proceder desde el paso 2, hasta terminar con las tareas que interviene en la producción. Al terminar con ellas se finalizara el método.

ESTACIÓN 5		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO

Tabla 24. Estación de trabajo 5.

**Paso 2:** Asignar el elemento de mayor peso posicional a la primera estación a abrir.

ESTACIÓN 5		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
H	1,19	1,19

Tabla 25. Estación de trabajo 5.

**Paso 3:** Seguir asignando tareas de mayor peso posicional, si y solo si, su tiempo acumulado no supera el tiempo ciclo hallado y la tarea que la antecede ya ha sido asignada.

ESTACION 5		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
<i>H</i>	<i>1,19</i>	<i>1,19</i>

Tabla 26. Estación de trabajo 5.

**Paso 4:** Si no se puede seguir asignando tareas a la estación actual, a razón de que el paso 3 no se cumple, se pueden encontrar dos particularidades:

a) La asignación de tareas ha sobrepasado el tiempo ciclo, por lo tanto se deberá abrir una nueva estación. Esto se da si el tiempo acumulado es mayor que al tiempo ciclo.

Se puede ver que a partir de la tarea H, el tiempo acumulado supera el tiempo ciclo estipulado que es de 0,6. Cabe notar que la operación es indivisible por lo tanto debe realizarse cumpliéndose el siguiente numeral.

b) Cuando una tarea es mayor al tiempo ciclo, teniendo la característica de ser indivisible, se deberá abrir una estación de trabajo dentro de la misma operación, para que ésta se pueda reproducir en un tiempo menor que al tiempo ciclo. A ésta particularidad se le denomina “Estaciones en Paralelo” dentro de un módulo de producción y se utiliza para igualar el tiempo de duración de una tarea con el del tiempo ciclo.

El cálculo se efectúa con la siguiente fórmula:

Siendo  $T_{11}$ , el tiempo de la tarea 1 en la estación 5, y  $T_{12}$  el tiempo de la tarea 1 en la sub-estación 5; da como resultado el tiempo total de la tarea hecha en dos estaciones compartidas.

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_{11}} + \frac{1}{T_{12}}$$

Si se supone que cada estación hace la tarea en el mismo valor de tiempo, se puede decir que  $T_{11} = T_{12}$ , por lo tanto el tiempo total de una operación, la cual superaba el tiempo ciclo, ahora es de la mitad, pero con la característica de que ahora no es una estación de trabajo la que la realiza si no dos.

$$T = \frac{T_{11}}{2}$$

$$T = \frac{1,19 \text{ min}}{2}$$

$$T = 0,595 \text{ min}$$

Por lo tanto a la estación 4 se asigna la tarea H, con su respectiva paralización

ESTACIÓN 5 (Paralelismo)		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
H	0,595	0,595

Tabla 27. Estación de trabajo 5.

Con esto se puede cumplir la restricción de que el tiempo acumulado en la estación debe ser menor al tiempo ciclo.

**Paso 5:** Al abrirse una nueva estación se volverá a proceder desde el paso 2, hasta terminar con las tareas que interviene en la producción. Al terminar con ellas se finalizara el método.

ESTACIÓN 6		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO

Tabla 28. Estación de trabajo 6.

**Paso 2:** Asignar el elemento de mayor peso posicional a la primera estación a abrir.

ESTACIÓN 6		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
I	0,49	0,49

Tabla 29. Estación de trabajo 6.

**Paso 3:** Seguir asignando tareas de mayor peso posicional, si y solo si, su tiempo acumulado no supera el tiempo ciclo hallado y la tarea que la antecede ya ha sido asignada.

ESTACIÓN 6		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
I	0,49	0,49
J	0,22	0,71

Tabla 30. Estación de trabajo 6.

**Paso 4:** Si no se puede seguir asignando tareas a la estación actual, a razón de que el paso 3 no se cumple, se pueden encontrar dos particularidades:

a) La asignación de tareas ha sobrepasado el tiempo ciclo, por lo tanto se deberá abrir una nueva estación. Esto se da si el tiempo acumulado es mayor que al tiempo ciclo. Se puede ver que a partir de la tarea J, el tiempo acumulado supera el tiempo ciclo estipulado que es de 0,6. Por lo tanto esta operación no se puede asignar. No obstante se sigue con el paso 4.

Por lo tanto a la estación 6 se asigna la tarea I.

ESTACIÓN 6		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
I	0,49	0,49

Tabla 31. Estación de trabajo 6.

**Paso 5:** Al abrirse una nueva estación se volverá a proceder desde el paso 2, hasta terminar con las tareas que interviene en la producción. Al terminar con ellas se finalizará el método.

ESTACIÓN 7		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO

Tabla 32. Estación de trabajo 7.

**Paso 2:** Asignar el elemento de mayor peso posicional a la primera estación a abrir.

ESTACIÓN 7		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
J	0,22	0,22

Tabla 33. Estación de trabajo 7.

**Paso 3:** Seguir asignado tareas de mayor peso posicional, si y sólo si, su tiempo acumulado no supera el tiempo ciclo hallado y la tarea que la antecede ya ha sido asignada.

ESTACIÓN 7		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
J	0,22	0,22
L	0,30	0,52

Tabla 34. Estación de trabajo 7.

En esta parte de la asignación, aunque la tarea L se asigna no habiéndose asignado la operación anterior que es la tarea K, se realiza con el propósito de equilibrar las cargas en las estaciones o personas, de modo que la tarea K se suma a la siguiente estación.

ESTACIÓN 7		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
J	0,22	0,22
L	0,30	0,52
<i>K</i>	<i>0,50</i>	<i>1,02</i>

Tabla 35. Estación de trabajo 7.

**Paso 4:** Si no se puede seguir asignando tareas a la estación actual, a razón de que el paso 3 no se cumple, se pueden encontrar dos particularidades:

a) La asignación de tareas ha sobrepasado el tiempo ciclo, por lo tanto se deberá abrir una nueva estación. Esto se da si el tiempo acumulado es mayor que al tiempo ciclo.

Por lo tanto a la estación 7 se asigna la tarea J y L.

ESTACIÓN 7		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
J	0,22	0,22
L	0,30	0,52

Tabla 36. Estación de trabajo 7.

**Paso 5:** Al abrirse una nueva estación se volverá a proceder desde el paso 2, hasta terminar con las tareas que interviene en la producción. Al terminar con ellas se finalizará el método.

ESTACIÓN 8		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO

Tabla 37. Estación de trabajo 8.

**Paso 2:** Asignar el elemento de mayor peso posicional a la primera estación a abrir.

ESTACION 8		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
K	0,50	0,50

Tabla 38. Estación de trabajo 8.

**Paso 3:** Seguir asignado tareas de mayor peso posicional, si y solo si, su tiempo acumulado no supera el tiempo ciclo hallado y la tarea que la antecede ya ha sido asignada.

ESTACIÓN 8		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
K	0,50	0,50
<i>M</i>	<i>0,73</i>	<i>1,13</i>

Tabla 39. Estación de trabajo 8.

**Paso 4:** Si no se puede seguir asignando tareas a la estación actual, a razón de que el paso 3 no se cumple, se pueden encontrar dos particularidades:

a) La asignación de tareas ha sobrepasado el tiempo ciclo, por lo tanto se deberá abrir una nueva estación. Esto se da si el tiempo acumulado es mayor que al tiempo ciclo.

Por lo tanto a la estación 8 se asigna la tarea K

ESTACIÓN 8		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
K	0,50	0,50

Tabla 40. Estación de trabajo 8.

**Paso 5:** Al abrirse una nueva estación se volverá a proceder desde el paso 2, hasta terminar con las tareas que interviene en la producción. Al terminar con ellas se finalizara el método.

ESTACIÓN 9		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO

Tabla 41. Estación de trabajo 9.



**Paso 2:** Asignar el elemento de mayor peso posicional a la primera estación a abrir.

ESTACIÓN 9		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
M	0,73	0,73

Tabla 42. Estación de trabajo 9.

**Paso 3:** Seguir asignando tareas de mayor peso posicional, si y solo si, su tiempo acumulado no supera el tiempo ciclo hallado y la tarea que la antecede ya ha sido asignada.

Como en este punto las tareas se han asignado a cabalidad se sigue con el siguiente punto

**Paso 4:** Si no se puede seguir asignando tareas a la estación actual, a razón de que el paso 3 no se cumple, se pueden encontrar dos particularidades:

a) La asignación de tareas ha sobrepasado el tiempo ciclo, por lo tanto se deberá abrir una nueva estación. Esto se da si el tiempo acumulado es mayor que al tiempo ciclo.

Se puede ver que a partir de la tarea M, el tiempo acumulado supera el tiempo ciclo estipulado que es de 0,6. Cabe notar que la operación es indivisible por lo tanto debe realizarse cumpliéndose el siguiente numeral.

b) Cuando una tarea es mayor al tiempo ciclo, teniendo la característica de ser indivisible, se deberá abrir una estación de trabajo dentro de la misma operación, para que esta se pueda reproducir en un tiempo menor que al tiempo ciclo. A ésta particularidad se le denomina “Estaciones en Paralelo” dentro de un módulo de producción y se utiliza para igualar el tiempo de duración de una tarea con el del tiempo ciclo.

El cálculo se efectúa con la siguiente fórmula:

Siendo  $T_{11}$ , el tiempo de la tarea 1 en la estación 9, y  $T_{12}$  el tiempo de la tarea 1 en la sub-estación 9; da como resultado el tiempo total de la tarea hecha en dos estaciones compartidas.

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_{11}} + \frac{1}{T_{12}}$$

Si se supone que cada estación hace la tarea en el mismo valor de tiempo, se puede decir que  $T_{11} = T_{12}$ , por lo tanto el tiempo total de una operación, la cual superaba el tiempo ciclo, ahora es de la mitad, pero con la característica de que ahora no es una estación de trabajo la que la realiza si no dos.

$$T = \frac{T_{11}}{2}$$

$$T = \frac{0,733 \text{ min}}{2}$$

$$T = 0,37 \text{ min}$$

Por lo tanto a la estación 9 se asigna la tarea H, con su respectiva paralelización.

ESTACIÓN 9 (Paralelismo)		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
M	0,37	0,37

Tabla 43. Estación de trabajo 9.

Con esto se puede cumplir la restricción de que el tiempo acumulado en la estación debe ser menor al tiempo ciclo.

El método termina y se tiene como finalidad las siguientes estaciones de trabajo, que en éste caso se cuenta como personas:

ESTACIÓN 1		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
A	0,21	0,21
B	0,18	0,39
<b>Tiempo ocioso</b>	0,21	

Tabla 44. Estación de trabajo 1 final.

ESTACIÓN 2		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
C	0,34	0,34
D	0,21	0,55
<b>Tiempo ocioso</b>	0,05	

Tabla 45. Estación de trabajo 2 final.

ESTACIÓN 3		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
F	0,47	0,47
E	0,15	0,62
<b>Tiempo ocioso</b>	0	

Tabla 46. Estación de trabajo 3 final.

ESTACIÓN 4		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
G	0,61	0,61
<b>Tiempo ocioso</b>	0	

Tabla 47. Estación de trabajo 4 final.

ESTACION 5 (Paralelismo)		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
H	0,595	0,595
<b>Tiempo ocioso</b>	0.005	

Tabla 48. Estación de trabajo 5 final.

ESTACION 6		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
I	0,49	0,49
<b>Tiempo ocioso</b>	0.11	

Tabla 49. Estación de trabajo 6 final.

ESTACION 7		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
J	0,22	0,22
L	0,30	0,52
<b>Tiempo ocioso</b>	0.08	

Tabla 50. Estación de trabajo 7 final.

ESTACION 8		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
K	0,50	0,50
<b>Tiempo ocioso</b>	0.10	

Tabla 51. Estación de trabajo 8 final.

ESTACION 9 (Paralelismo)		
TAREA	TIEMPO	TIEMPO ACUMULADO
M	0,37	0,37
<b>Tiempo ocioso</b>	0.23	

Tabla 52. Estación de trabajo 9 final.

El cálculo de la eficiencia se efectúa según la siguiente fórmula:

$$\%Eficiencia = \frac{\text{Suma de tiempo acumulado en estaciones (T)}}{\text{Numero real de estaciones de trabajo (N) x Tiempo de ciclo (C)}}$$

$$\%Eficiencia = \frac{4,645 \text{ min}}{11 \text{ estaciones} \times 0,6 \text{ min/unid}}$$

$$\%Eficiencia = 0.704 \text{ unidades/estacion}$$

$$Eficiencia = 70,4 \%$$

Estaciones en total: 11

## 12. CONCLUSIONES

Éste trabajo tuvo como objetivo principal, exponer algunas herramientas importantes dentro de la investigación de operaciones, para solucionar diferentes problemas de balanceo de línea que pueden presentarse en cualquier empresa dedicada a elaborar productos. Además de lo anterior, también evidenciar la posibilidad de disminuir o eliminar cuellos de botella por medio de estaciones en paralelo, optimizando su correcta ubicación. Cabe aclarar que dentro del trabajo se presentan sólo dos opciones de una gran variedad de herramientas para la solución de problemas de balanceo de líneas con estaciones en paralelo.

Dentro del desarrollo del trabajo, se utilizaron dos métodos heurísticos: *Kilbridge and Wester* y *Helgeson and Birnie*, el método nombrado en primera instancia, permite mediante un análisis gráfico optimizar la cantidad de estaciones que se utilicen para la producción de un producto, y el otro método heurístico utilizado, permite encontrar soluciones factibles optimizando la cantidad de estaciones utilizadas en el módulo de confección.

Es necesario aclarar que estos métodos heurísticos utilizados en el estudio, no son probabilísticos y tampoco utilizan algún software de optimización que realice una gran cantidad de iteraciones para encontrar una solución factible o la óptima.

Con el trabajo elaborado, también podemos concluir que la solución por medio de los métodos utilizados, puede depender mucho de las apreciaciones y las decisiones que tome la persona que realice el estudio.

Una vez dicho lo anterior, no podemos aseverar que éstos métodos no se puedan utilizar, o que no sean válidos, por el contrario, éstos métodos heurísticos permiten obtener soluciones que fácilmente se pueden aplicar, sin necesidad de recurrir a modelos muy complejos que pueden necesitar de mucho tiempo o inversiones de dinero para encontrar soluciones que permitan optimizar los recursos.

Se podría decir que estos métodos pueden ser de gran utilidad para empresas pequeñas o que estén implementando mejoras y no cuenten con gran cantidad de recursos como pueden ser disposición de tiempo y dinero.

Yéndonos al caso de estudio y realizando una comparación de los dos métodos utilizados, podríamos decir que para el módulo estudiado y su necesidad de tareas, el mejor fue el de *KILBRIGDE AND WESTER*, ya que generó una solución con una estación menos, caso contrario con el método de *HELGESON AND BIRNIE* que con la solución encontramos una solución con 11 estaciones.

### 13. BIBLIOGRAFÍA

(Romero Hernández, Muñoz Negrón, & Romero Hernández, 2006)

CENTRUM Católica, Centro de Negocios de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Jr. Daniel Alomía Robles 125-129, Urb. Los Álamos, Monterrico, Santiago de Surco, Lima, Perú. © 2011, Editorial Planeta Perú S. A.

*Competitividad y Desarrollo. Evolución y Perspectivas Recientes*

David F. Muñoz Negrón.

Administración de Operaciones Enfoque de administración de procesos de negocios 2009.

Joan Miquel Hernández Gascón, Alberto Pezzi, Antoni Soy i Casals, con la colaboración de Marco Bellandi i Annalisa Caloffi, Christian Ketels, Antoni Subirá. CLUSTERS Y COMPETITIVIDAD: EL CASO DE CATALUÑA (1993-2010).

#### INTERNET:

Two extensions for the ALWABP: Parallel stations and collaborative approach (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527312002770>)

A heuristic for solving mixed-model line balancing problems with stochastic task durations and parallel stations (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527397000480>)

Assembly line balancing with parallel work stations: Mower C H (1970) Assembly line balancing with parallel work stations. MSc Thesis, Lyon Playfair Library, Imperial College of Science and Technology, Exhibition Road, London SW7 2BX (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0305048373900145>)

Assembly line balancing with station paralleling (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835209001703>)

Balancing assembly lines with variable parallel workplaces: Problem definition and effective solution procedure (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221708010151>)

An algorithm to find the number of parallel stations for optimal cell scheduling (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/036083529290068U>)

An efficient branch and bound algorithm for assembly line balancing problems with parallel multi-manned workstations  
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054812000998>)

HEURÍSTICA PARA EL EQUILIBRADO DE LÍNEAS DE ENSAMBLES

DEL TIPO TSS (<http://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v18n3/art10.pdf>)

Generación de secuencias de montaje y equilibrado de líneas  
(<http://upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/509/1/IOC-DT-P-2004-04.pdf>)

#### **14. BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA**

F. Taylor, 1919: *Principles of Scientific Management*

A. Smith, 1776: “división del trabajo”

La cadena de montaje de Henry Ford (1913)