

## Optimización en procesos y asignación de recursos en las empresas del sector confección a través del balanceo de líneas de producción

Optimization and resource allocation processes in the clothing sector companies through the production lines rolling

Gustavo Mesa<sup>1</sup>  
José Alberto Bedoya<sup>2</sup>

### Resumen

En este documento se muestran los resultados de la investigación realizada por docentes de la Universidad Cooperativa de Colombia en una empresa de confecciones de la ciudad (Nicole S. A.), en la cual se aplican técnicas de la investigación de operaciones para minimizar los tiempos de espera en líneas de producción de módulos de confección. Este proceso de optimización se fundamenta en la realización de balanceos de líneas asistidos por computador, reorganización de los módulos de trabajo, tipos de maquinaria, especialización de los operarios y flujos de operaciones.

**Palabras clave:** balanceo de línea, programación lineal, módulo de confección, flujo de operaciones.

### Abstract

This paper will show progress in the investigation conducted by teachers of the University Cooperative of Colombia, the company Nicole S. A. in which apply techniques of operations research on minimizing waiting times in production lines modules clothing. This optimization process is based on the realization of balancing lines assisted by computer, organization of work modules, types of machinery, expertise operations and flows of operations.

**Keywords:** balancing line, linear programming, drawing module, stream operations.

### Introducción

Uno de los problemas que generalmente se presentan dentro de un proceso manufacturero, como lo es el de la confección, es el de asegurar un flujo continuo y uniforme de los productos, en sus diferentes etapas de elaboración, a través de los diversos procesos dentro de la planta o módulo de confección. Lo anterior se ve afectado por muchas variables, como los tiempos de operación por parte de las personas, que, a su vez, dependen de otros factores, tales como el cansancio, la curva de rendimiento, el nivel de aprendizaje, la dificultad de la operación, la temperatura, etcétera. Además de la mano de obra, se cuenta con recursos que se pueden ver limitados en un momento dado: las máquinas, los materiales, los insumos, etcétera.

Hallar la mejor y más eficiente manera de conjugar estos factores, de tal forma que se minimicen tiempos improductivos y se alcance un equilibrio en la asignación de la carga de trabajo, es lo que se conoce como balanceo de línea.

### Fundamentos teóricos

Se denomina balanceo de línea, el proceso de diseñar esquemas de producción que permitan igualar los tiempos de trabajo en todas las estaciones.

Las condiciones a tener en cuenta en un balanceo de línea son:

- 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 del módulo en la planta.

<sup>1</sup> Docente de la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Pereira, Facultad de Ciencias Contables y Administrativas. Especialista en Docencia Universitaria. Correo electrónico: gustavomesavi@yahoo.es

<sup>2</sup> Docente de la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Pereira, Facultad de Ciencias Contables y Administrativas. Especialista en Docencia Universitaria. Correo electrónico: jbedoya3882@hotmail.com

**Recibido** 15 de mayo de 2009 **Aceptado** 18 de julio de 2009

- Equilibrio. Los tiempos necesarios para cada operación en línea deben ser aproximadamente iguales.
- Continuidad. Los bingos de producción que utiliza la empresa aseguran un aprovisionamiento continuo del material y las piezas de prendas por maquilar.

El tipo de balanceo de línea de producción por utilizar parte del conocimiento del número de estaciones de trabajo, de las operaciones estandarizadas para las prendas, de las eficiencias históricas y de los tiempos de las operaciones para asignar las cargas de trabajo.

Tal como lo plantea Pedro Palominos Belmar, del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad Santiago de Chile, en su artículo "El problema de equilibrado de líneas de ensambles tipo TSS: una aproximación heurística" (Abepro, Enegep, 1999), el balanceo se distingue por las siguientes características:

- A cada operario se le asigna un conjunto de operaciones respetando la precedencia de éstas
- Las operaciones no se pueden adelantar
- Los tiempos de operación se distribuyen normalmente
- Los operarios tienen la misma eficiencia en cada operación
- Cuando un operario traspasa un artículo al operario siguiente, se traspasa también el tiempo remanente de operación
- El tiempo de movimiento entre las distintas máquinas se asume como cero
- Las máquinas no tienen tiempo de inactividad
- El abastecimiento de materiales es continuo

Usualmente, el problema de balanceo de línea tiene como objetivo maximizar la utilización de la línea, la cual guarda correlación con la eficiencia del balanceo de la línea. 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. La eficiencia teórica o esperada de

un balanceo de línea se determina utilizando la ecuación:

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

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

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

El porcentaje de ociosidad en la línea se determina utilizando la ecuación:

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

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:

$$\% \text{ EL} = \frac{\text{Horas Ganadas}}{\text{Horas Pagadas}} = \frac{\text{Unidades Producidas} * \text{Estandar de labor/unidad}}{\text{Horas pagadas}}$$

Donde:

% E.L= Porcentaje de eficiencia en la labor

Estándar de Labor/unidad =  
Σ= tiempo de la Tarea i

Una línea de ensamblaje 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 todos realizan las mismas tareas. La carga de trabajo de cada estación debe ser de forma tal que:

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

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 estación 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.

### Tipos de líneas de ensamblaje

Según la tesis de grado "Minimización de los costos totales en el problema de balanceo de línea con ciclo variable y estaciones en paralelo", presentada por Heidy Patricia Mejía Ávila de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez, en julio de 2005, las líneas de ensamblaje, en función del flujo del producto, se clasifican en:

#### Línea de ensamblaje con despliegue lineal

Estas son líneas en las cuales el flujo del producto es lineal, debido a que todas las estaciones de trabajo han sido colocadas en serie, según como se muestra en la figura 1. Con frecuencia las estaciones de trabajo son alineadas a lo largo de una correa transportadora, y cada estación de trabajo contiene el equipo y los trabajadores necesarios para el funcionamiento óptimo de la línea.



Figura 1. Línea de ensamblaje con despliegue lineal

Las líneas de ensamblaje con estaciones de trabajo en serie tienen la desventaja de ser inflexibles cuando se requiere aumentar o disminuir la capacidad de producción de la línea para ajustarse a cambios en demanda, y cuando se desea correr una variedad de productos. Las líneas de ensamblaje con estaciones en serie diseñadas para trabajar sincronizadamente y moviendo las unidades entre estaciones en lotes pequeños requieren un rígido plan de mantenimiento preventivo, pues cuando se presentan fallas en una estación se detiene toda la línea de producción. Esto trae como consecuencia una baja utilización de los recursos y altos costos de operación.

#### Línea de ensamblaje con estaciones en "u"

Este tipo de línea tiene la característica de que el comienzo y el final están cerca formando una "u", como se muestra en la figura 2. Este tipo de despliegue facilita la comunicación entre los empleados de la línea y la retroalimentación cuando ocurren problemas de calidad. Otra ventaja significativa es que permite rebalancear las cargas de trabajo sin requerir cambios en el despliegue de la planta física.

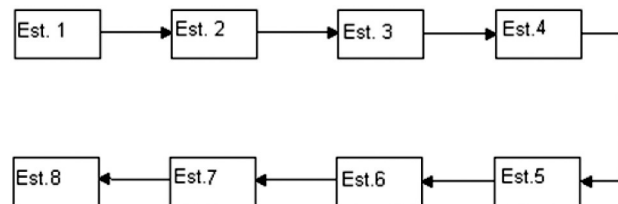


Figura 2. Línea de ensamblaje con estaciones en "u"

#### Línea de ensamblaje con estaciones en paralelo

Las líneas con estaciones en paralelo son requeridas en aquellos casos donde hay tareas indivisibles, cuya duración total excede el tiempo de ciclo deseado en la línea de ensamblaje.

Esto ocurre frecuentemente en operaciones que requieren maquinaria. El número requerido de estaciones de trabajo en paralelo se determina del siguiente modo:

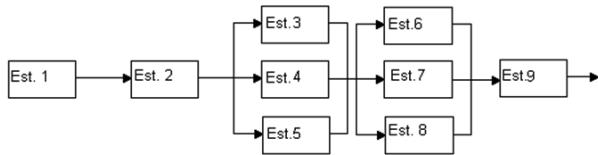
$$N_p = \text{Entero Mayor} \left\lceil \frac{DTI}{TC} \right\rceil$$

Donde:

$N_p$  = Número de estaciones en paralelo

$DTI$  = Duración de la tarea indivisible

Las estaciones en paralelo son necesarias cuando el tiempo de alguna tarea en la línea excede el ciclo de línea deseado, como se muestra en la figura 3.



### Descripción del problema

La empresa Nicole S.A. está ubicada en el municipio industrial de Dosquebradas. Es una empresa donde se maquilan diferentes prendas, que provienen de un centro de abastecimiento principal en el municipio de Marinilla (Antioquia). Desde ahí se surten los materiales y patrones necesarios para cada familia de prendas, en unos lotes llamados bongos. Estos son asignados a los diferentes módulos, conformados, a su vez, por 11 estaciones de trabajo, donde se distribuyen las operaciones y se determina el flujo por seguir, de tal forma que se alcance un nivel en la eficiencia que permita la competitividad de la empresa en el mercado. Actualmente, el balanceo de las líneas se realiza para cada demanda y de manera manual por un analista de producción, según criterios particulares, lo que genera diferencias importantes en las eficiencias reales programadas para cada lote.

La figura 4 muestra como ejemplo un módulo de producción con el flujo determinado para un tipo de prenda:



**Figura 4.** Módulo de producción aplicado en Nicole S.A.

**Fuente:** Elaboración propia

### Metodología

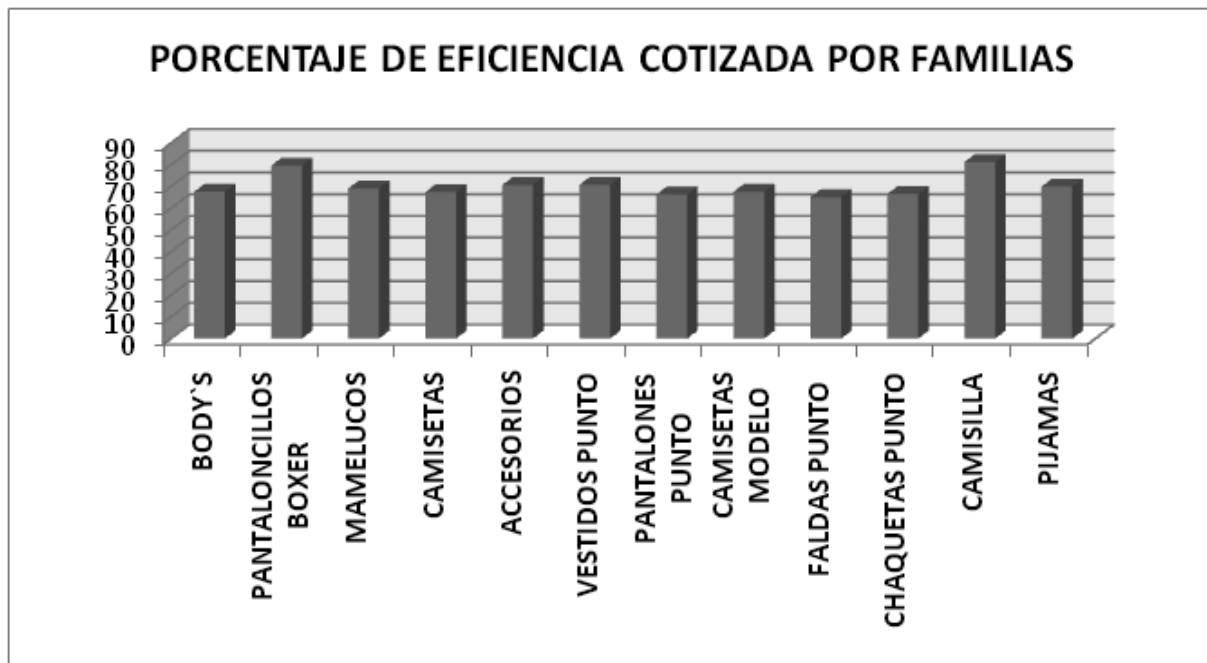
La metodología aplicada inicialmente fue de carácter exploratorio-descriptivo. Se recopiló toda la información acerca de la problemática de la empresa de confección en estudio, en cuanto a sus procesos de producción y de asignación de recursos. La información fue de carácter interno y se obtuvo a través de encuestas a analistas, registros metrológicos históricos sistematizados por la empresa y observación directa de los procesos de producción.

Posteriormente, de acuerdo con el problema planteado, se aplicó una metodología experimental, puesto que se definieron variables como el tipo de maquinaria, la operación en cada una, los tiempos estandarizados por operación, el número de operarios, los niveles de eficiencia teórica y real, entre otras, que son controladas y aleatorizadas, lo cual nos permitió establecer relaciones entre ellas, para posteriormente optimizarlas e implementar los resultados en la planta de producción.

El diagnóstico obtenido del estudio inicial mostró como principal falencia del proceso de producción llevado en la empresa una deficiente planeación e implementación del balanceo de línea aplicado en la distribución modular, ya que se realiza diariamente y de manera manual y subjetiva por parte del analista de producción; además, con unidades modulares estáticas con tipos y número de máquinas constantes. Adicionalmente, este método de balanceo de la línea no permite hacer modificaciones de planeación y desarrollo durante el proceso, que bien podrían ser necesarias al presentarse situaciones anormales que afectasen de alguna manera el flujo continuo de las piezas de las prendas.

## Contenido

En la empresa se producen 12 tipos diferentes de prendas, llamadas familias, cada una de ellas con varias referencias (en total 82). La figura 5 muestra la eficiencia en cada una de las familias.



**Figura 5.** Porcentaje de eficiencia cotizada por familias  
**Fuente:** Registro histórico de Nicole S. A.

Se encuentra en todas las familias una eficiencia promedio del 70%, lo cual implica que la empresa está perdiendo casi una tercera parte de su potencial.

Se emplean los diversos tipos de máquinas:

1. Máquinas planas posicionadoras
2. Máquina de doble transporte
3. Máquinas fileteadoras
4. Dobladilladoras
5. Presilladora
6. Multiagujas
7. Fusionadoras
8. Troqueladoras
9. Resortadora
10. Fileteadora recogedora
11. Recubridora o collarín
12. Dobladilladora *Puller*
13. Ojal plano
14. Picueta
15. Máquina sesgadora
16. Utilización de agujas por máquina

De igual forma, cada referencia tiene programada su secuencia operacional, en la que se tienen en cuenta el tiempo estándar de cada operación, el número de operarios, el número de operaciones y el tiempo de trabajo horas/hombre, por ejemplo:

Tabla 1. Secuencia operacional

↓	↓	MAQ	Operaciones	
		Plana	Fijar marquilla código de barras	1
		Plana	Marquillar espalda	2
		Plana	Pegar aplique frente	3
		Sesgadora	Sesgar cuello frente	4
		Sesgadora	Sesgar cuello espalda	5
		Picueta	Hacer costura en cuello frente y espalda	6
		Plana	Fijar cuello en hombros	7
		Recubridora	Dobladillar mangas	8
		Picueta	Hacer costura en mangas	9
	X	Fileteadora	Montar mangas	10
	X	Fileteadora	Cerrar lados	11
		Fileteadora	Emparejar ruedo	12
		Recubridora	Dobladillar ruedo	13
		Plana	Rematar mangas	14
		Plana	Pegar moño en frente	15
		Botonadora	Pegar candado en aplique tela	16
		Manual	Pulir prenda	17
		Manual	Revisar prenda	18

**Fuente:** Elaboración propia

En cuanto a los tiempos muertos de producción, se encontró que el tiempo promedio empleado por montaje de estilo es de tres horas. Otro factor importante en la pérdida de tiempo de producción es la falla de maquinaria; sin embargo, la empresa cuenta con personal de mantenimiento de planta, quienes realizan la reparación en el momento que sea necesaria, y para lo cual se emplea, en promedio, una hora por caso.

Con estas condiciones tan heterogéneas era necesario seleccionar un solo tipo de referencia para realizar el modelado matemático y el proceso de optimización del balanceo de línea; para ello fue escogido un tipo de mameluco, referenciado como Solecito, con una eficiencia cotizada del 65%, 17 operaciones, 11 operarios en un módulo de 11 estaciones y un tiempo estandarizado total del proceso de 5,314 minutos. Estas características se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 2. Secuencia operacional de “Solecito” Desarrollo del problema**

Nº	Operación	Máquina	Tiempo estándar (t)
1	Marquillar espalda	Plana	0,132
2	Fijar marquilla lateral	Plana	0,149
3	Unir 1° hombro	Fileteadora	0,177
4	Sesgar cuello	Sesgadora	0,203
5	Unir 2° hombro	Fileteadora	0,205
6	Rematar 2° hombro	Fileteadora	0,149
7	Sesgar sisas	Sesgadora	0,256
8	Sesgar piernas	Sesgadora	0,244
9	Cerrar lados	Fileteadora	0,617
10	Pegar broches	Brochadora	0,442
11	Empacar prenda	Manual	0,72
12	Pulir y revisar	Manual	0,6
13	Fijar marquilla código de barras	Plana	0,197
14	Cerrar 1° lado	Fileteadora	0,35
15	Cerrar 2° lado	Fileteadora	0,35
16	Rematar 2° lado	Plana	0,14

**Fuente:** Elaboración propia

### **Desarrollo del problema**

Los modelos de optimización o *algoritmos* son un conjunto de operaciones lógicas y matemáticas ejecutadas en una secuencia específica. Los algoritmos tienen la característica de buscar minuciosamente una solución óptima, de forma tal que cada solución sucesiva tiene que ser mejor que la anterior. Debido a esto, los algoritmos se utilizan para solucionar problemas relativamente pequeños, cuyo tiempo computacional sea factible. Las técnicas más utilizadas para alcanzar una solución óptima son la programación lineal, y el de ramificar y acotar.

En esta investigación se utiliza el método de programación lineal para desarrollar el modelo de optimización.

### **Modelo de optimización**

La programación lineal es una técnica matemática cuyo objetivo es la determinación de

soluciones óptimas a los problemas en los que intervienen recursos limitados entre actividades competitivas (González, 2003, p. 12). Es un método matemático que permite asignar una cantidad fija de recursos con el fin de satisfacer las restricciones, de tal forma que mientras se optimiza algún objetivo se satisfacen otras condiciones definidas.

### **Presunciones**

La programación lineal tiene ciertas suposiciones y limitaciones implícitas, las cuales es importante tener en cuenta a la hora de desarrollar un modelo de programación lineal. Para el modelo que se va a desarrollar son las siguientes:

1. El tiempo total de trabajo por turno por operario es de 465 minutos.
2. Los módulos de trabajo están compuestos por 11 estaciones y 9 máquinas.

3. Los tiempos estándar de operación son determinados por un equipo de analistas de la empresa matriz.
4. Para la producción de un tipo de prenda, se reciben en un bongo, el cual contiene todas las piezas, hilos y accesorios por utilizarse.
5. Se conoce el número de prendas por producir.

D: Número de prendas demandadas, con  $D \leq D_{max}$  establecida por el modelo

N: Número de estaciones de trabajo, presumiendo un empleado por estación

n: Número de arcos entre estaciones o nodos

P: Número de paralelas

T: Tiempo total de trabajo/estación / turno

TC: Tiempo de Ciclo

TO: Tiempo Ocioso

t: Número de tareas

OPER: Número de Operaciones

MAQ: Número de Máquinas

MAQt: Número de Máquinas que realizan la tarea t

dt : Tiempo de la tarea t

dtE :Tiempo de la tarea t en la estación E

L:carga de trabajo

### Formulación del modelo matemático

Con el fin de entender mejor el modelo matemático, a continuación se definen las variables del problema.

### Definición de las variables

La definición de las variables consiste en representar simbólicamente todos los parámetros que forman parte del modelo de programación lineal. Las variables utilizadas en el modelo se describen a continuación.

$$y_{tE} = \begin{cases} 1 & \text{si la tarea } t \text{ es asignada a la estación } E \\ 0 & \text{si la tarea } t \text{ no es asignada a la estación } E \end{cases}$$

$$y_{tEP} = \begin{cases} 1 & \text{si la tarea } t \text{ es asignada a la estación } E \text{ con } P \text{ paralelas} \\ 0 & \text{si la tarea } t \text{ no es asignada a la estación } E \text{ con } P \text{ paralelas} \end{cases}$$

$$\varphi_{E|t-tc} = \begin{cases} 1 & \text{si en la estación } E \text{ es distribuida la tarea } t \text{ antecedente a } t \text{ consecuente} \\ 0 & \text{si en la estación } E \text{ no es distribuida la tarea } t \text{ antecedente a } t \text{ consecuente} \end{cases}$$

$$\delta_{tP} = \begin{cases} 1 & \text{si la tarea } t \text{ se realiza en } P \text{ paralelas} \\ 0 & \text{si la tarea } t \text{ no se realiza en } P \text{ paralelas} \end{cases}$$

### Modelo matemático

El objetivo que se desea es el de minimizar los tiempos muertos u ociosos. Desde el punto de vista del balanceo de línea, esto se logra cumpliendo con la capacidad de producción deseada,

variando el número y/o tipo de máquinas, sin tener en cuenta otros factores importantes, que también pueden influir, como el cansancio y la destreza de los operarios. La función objetivo del modelo matemático es:

Minimizar:

$$Z = \sum_{l=1}^N \sum_{k=1}^P \sum_{j=1}^t \sum_{i=1}^n \varphi_{E_l, t-tc} * \gamma_{tE_l} * \delta_{tP_k} * dt_j * Xi$$

Donde:

*i*: Arcos entre estaciones

*j*: Tareas por estación

*k*: Paralelas

*l*: Estaciones

Sujeta a:

$$1) \varphi_{E_l, ta-tc} * dt_E * X_i \leq T \quad i = 1, 2, 3, \dots, n; \quad l: 1, 2, 3, \dots, N$$

$$2) \sum_{i=1}^{MAQ_2} \varphi_{1,1-2} * d_{1,1} * X_i \geq D$$

$$3) \varphi_{E_k, ta-tEk} * d_{t, Ea-Ek} * X_{i, Ea-Ek} = \varphi_{E_k, tEk-tEc} * d_{t, Ek-Ec} * X_{i, Ek-Ec}$$

$$k = 1, 2, 3 \dots, N$$

$$4) \sum_{i=1}^{MAQ_2} \varphi_{1,1-2} * d_{1,1} * X_i = \sum_{l=1}^N \sum_{i=1}^{MAQ_9} \varphi_{E_l, 8-9} * d_{9, E_l} * X_i$$

$$5) \delta_{tp} * \gamma_{tEp} * d_{t, Ea-Ep} * X_{i, Ea-Ep} = \delta_{tp} * \gamma_{tEp} * d_{t, Ep-Ec} * X_{i, Ep-Ec}$$

$$p = 1, 2, 3 \dots, P$$

$$6) L_E = \sum_{p=1}^P L_{Ep}$$

$$7) L_E \leq TC$$

$$8) TO = TC - L_E$$

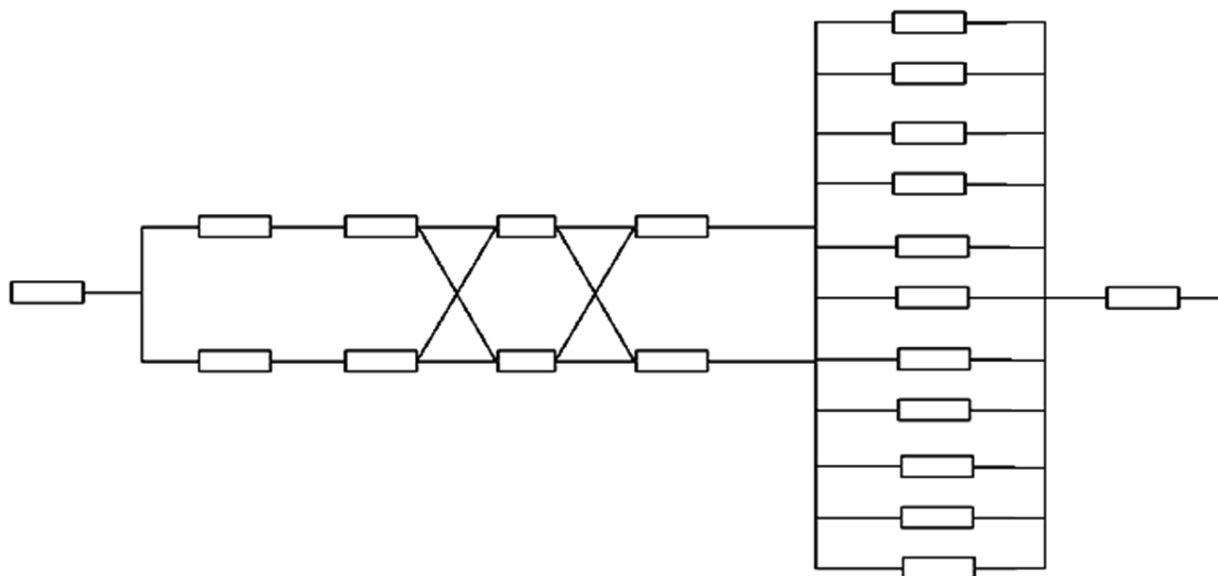
La función objetivo minimiza los tiempos de ocio en cada estación, con lo cual maximiza el número de prendas a producir por turno. Esta función tiene dos componentes fundamentales: el tiempo estándar por operación y la cantidad de piezas para procesar.

- La restricción 1 expresa el tiempo máximo de operación por estación por turno, que no debe ser mayor a T.
- La restricción 2 garantiza que la cantidad de piezas que ingresan al sistema satisface la demanda D, sin dejar de ser menor o igual a Dmax.
- La restricción 3 refleja el equilibrio de cada uno de los nodos o estaciones del modelo.
- La restricción 4 garantiza el equilibrio en la entrada y salida del sistema.
- La restricción 5 establece el equilibrio en las paralelas.
- La restricción 6 evalúa la carga de trabajo de cada estación teniendo en cuenta las paralelas añadidas a la estación.
- La restricción 7 verifica que la carga de cada estación sea menor que el tiempo de ciclo.
- La restricción 8 verifica la falta de balance entre cada estación.

## Resultados

El modelo fue programado y ejecutado inicialmente en el software QSB, y corroborado con GAMS. Los resultados obtenidos nos entregan una

ruta balanceada que optimiza la cantidad de prendas elaboradas por turno y minimiza los tiempos de ocio. El flujo óptimo encontrado se presenta en la figura 6.



**Figura 6.** Flujo óptimo

**Fuente:** Elaboración propia

Como se puede apreciar, se utilizó un diseño de flujo mixto, que combina estaciones en serie y en paralelo, lo que permitió un mejor aprovechamiento de los tipos de máquinas al realizar varias opera-

ciones y eliminar cuellos de botella generados por la diversidad en los tiempos de las tareas. La tabla 3 muestra la solución del modelo.

**Tabla 3. Resultados QSB**

<b>Variable</b>	<b>Solution value</b>	<b>Unit cost or profit</b>	<b>Total contribution</b>	<b>Reduced cost</b>	<b>Basis status</b>
X1	653	0,2180	183,493	0	<i>At bound</i>
X2	653	0,2180	183,493	0	<i>Basic</i>
X3	0	0,2180	0	0	<i>Basic</i>
X4	0	0,2180	0	7,382	<i>At bound</i>
X5	629	0,5310	333,999	0	<i>At bound</i>
X6	0	0,2030	0	0	<i>At bound</i>
X7	239	0,5310	126,909	0	<i>At bound</i>
X8	0	0,2030	0	0	<i>Basic</i>
X9	295	0,5310	156,645	0	<i>At bound</i>
X10	0	0,2030	0	0	<i>At bound</i>
X11	143	0,5000	75,933	0	<i>Basic</i>
X12	0	0,5000	0	0	<i>At bound</i>
X13	0	0,5000	0	0	<i>Basic</i>
X14	0	0,5000	0	0	<i>Basic</i>
X15	462	0,5000	231	0	<i>Basic</i>
X16	462	0,5000	231	0	<i>Basic</i>
X17	0	0,5000	0	0	<i>Basic</i>
X18	0	0,5000	0	0	<i>Basic</i>
X19	191	0,5000	95,5	0	<i>Basic</i>
X20	191	0,6170	95,5	0	<i>Basic</i>
X21	12	0,6170	7,404	0	<i>Basic</i>
X22	12	0,6170	7,404	0	<i>Basic</i>
X23	207	0,6170	127,719	0	<i>Basic</i>
X24	207	0,6170	127,719	0	<i>Basic</i>
X25	179	0,6170	110,443	0	<i>Basic</i>
X26	179	0,6170	110,443	0	<i>Basic</i>
X27	255	0,6170	157,335	0	<i>Basic</i>
X28	255	0,6170	157,335	0	<i>Basic</i>
X29	176	0,4420	77,792	5,5302	<i>At bound</i>
X30	176	0,4420	77,792	5,5302	<i>At bound</i>
X31	61	0,4420	26,962	1,4451	<i>At bound</i>
X32	44	0,4420	19,448	5,5302	<i>At bound</i>
X33	31	0,4420	13,702	5,5302	<i>At bound</i>

**Fuente:** Elaboración propia

Tabla 3. Resultados QSB

<b>Variable</b>	<b>Solution value</b>	<b>Unit cost or profit</b>	<b>Total contribution</b>	<b>Reduced cost</b>	<b>Basis status</b>
X34	33	0,4420	14,586	5,5302	<i>At bound</i>
X35	28	0,4420	12,376	5,5302	<i>At bound</i>
X36	1	0,4420	0,442	0	<i>Basic</i>
X37	103	0,4420	45,526	0	<i>Basic</i>
X38	0	0,4420	0	0	<i>Basic</i>
X39	0	0,4420	0	0	<i>Basic</i>
X40	176	0,4420	77,792	0	<i>Basic</i>
X41	176	0,4420	77,792	0	<i>Basic</i>
X42	61	0,4420	26,962	0	<i>Basic</i>
X43	44	0,4420	19,448	0	<i>Basic</i>
X44	31	0,4420	13,702	0	<i>Basic</i>
X45	33	0,4420	14,586	0	<i>Basic</i>
X46	28	0,4420	12,376	0	<i>Basic</i>
X47	1	0,4420	0,442	0	<i>Basic</i>
X48	103	0,4420	45,526	0	<i>Basic</i>
X49	0	0,4420	0	0	<i>Basic</i>
X50	0	0,4420	0	0	<i>Basic</i>
X51	352	1,3200	464,64	0	<i>Basic</i>
X52	352	1,3200	464,64	0	<i>Basic</i>
X53	122	1,3200	161,04	0	<i>Basic</i>
X54	88	1,3200	116,16	0	<i>Basic</i>
X55	62	1,3200	81,84	0	<i>Basic</i>
X56	66	1,3200	87,12	0	<i>Basic</i>
X57	56	1,3200	73,92	0	<i>Basic</i>
X58	2	1,3200	2,64	0	<i>Basic</i>
X59	206	1,3200	271,92	0	<i>Basic</i>
X60	0	1,3200	0	0	<i>Basic</i>
X61	0	1,3200	0	0	<i>Basic</i>
Objetive	Function	(Min)=	4.820,45		

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el tiempo utilizado en el proceso de producción es de 4.820 minutos, de un total de 5.115, lo que implica un porcentaje de ociosidad

del 5,77%. La tabla 4 muestra los tiempos de ocio por estación y la totalidad de prendas elaboradas por turno.

**Tabla 4. Tiempos de ocio**

<i>Left hand side</i>	<i>Direction</i>	<i>Left hand side</i>	<i>Slack or surplus</i>
462,726	<=	465	2,274
464,967	<=	465	0,033
464,187	<=	465	0,813
464,651	<=	465	0,349
464,523	<=	465	0,477
464,64	<=	465	0,36
462,92	<=	465	2,08
288,626	<=	465	176,374
288,626	<=	465	176,374
464,64	<=	465	0,36
464,64	<=	465	0,36
1.306	>=	1.305	1

**Fuente:** Elaboración propia

Por lo tanto, se concluye que la carga de trabajo en 9 de las 11 estaciones ocupa casi la totalidad del tiempo disponible.

La cantidad de prendas elaboradas alcanzó la cifra de 1.306, que indican una eficiencia real del 143,7%, lo cual mejora la encontrada antes en la empresa, que era del 107%, en promedio.

## Conclusiones y recomendaciones

Los balanceos de línea de procesos de producción, deben ser permanentemente analizados y mejorados a la luz de factores que influyen poderosamente en la eficiencia de los resultados, como son, entre otros, la capacitación y especialización, el conocimiento de las operaciones de las prendas a confeccionar, aspectos ergonómicos, anímicos y emocionales de los operarios, que no hacen parte del modelo desarrollado en este trabajo.

Las líneas con estaciones en paralelo mejoran significativamente la eficiencia en procesos de confección, ya que en estos se presenta la utilización de maquinaria especializada y el manejo de tiempos estandarizados.

La investigación de operaciones es una herramienta que aún está por aprovecharse por las empresas en general, y especialmente por las de confección, ya que brinda soluciones óptimas en la implementación de procesos y facilita la toma de decisiones para los ingenieros de producción.

Se recomienda la generación de departamentos de investigación de operaciones en las empresas, que estén permanentemente buscando optimizar los procesos de toda índole fortaleciendo su capital intelectual y su gestión del conocimiento.

## Referencias Bibliográficas

- González, A. L. (2003). *Manual de investigación de operaciones I*, 3ª ed., Barranquilla, Ediciones Uninorte.
- Mejía Ávila, H. P. (2005). *Minimización de los costos totales en el problema del balanceo de línea con ciclo variable y estaciones en paralelo* [tesis de grado], Biblioteca de la Universidad de Puerto Rico Recinto de Mayagüez, Puerto Rico.
- Palominos Belmar, P. (1999). *El problema de equilibrio de líneas de ensambles tipo TSS: una aproximación heurística*, Brasil, Biblioteca Abepro, ENEGEP.
- Thierauf, R. J. (2000). *Toma de decisiones por medio de la investigación de operaciones*, México, Editorial Limusa.