

**SOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE BALANCEO DE LINEA CON ESTACIONES
DE TRABAJO EN PARALELO, UN CASO DE ESTUDIO EN EL SECTOR DE
LAS CONFECCIONES**

MARIELA TABARES TOBÓN

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PEREIRA, RISARALDA
JUNIO DE 2013**

**SOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE BALANCEO DE LINEA CON ESTACIONES
DE TRABAJO EN PARALELO, UN CASO DE ESTUDIO EN EL SECTOR DE
LAS CONFECCIONES**

**Proyecto de trabajo de grado para optar al título de
INGENIERA INDUSTRIAL**

**MARIELA TABARES TOBÓN
Cód.: 42015521**

**Director
JORGE HERNÁN RESTREPO CORREA
MSc. Investigación de Operaciones y Producción**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PEREIRA, RISARALDA
JUNIO DE 2013**

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante esta etapa de mi vida.

A mi hijo Cris mi mayor motivación, porque de muchas formas se ha sacrificado para que yo pueda cumplir mis sueños.

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer en forma especial y sincera a mi profesor y director de trabajo de grado MSc. Jorge Hernán Restrepo Correa por su paciencia y compromiso, por compartir su conocimiento y experiencia y por brindarme su amistad.

A todos los docentes de la facultad de Ingeniería industrial, que de una u otra forma contribuyeron en mi formación profesional.

A Diego por acompañarme durante este proceso, por siempre estar ahí presto a ayudarme, escucharme y motivarme.

RESUMEN

Este documento pretende mostrar el algoritmo particular de balanceo de línea con estaciones en paralelo, propuesto por los autores Robert Klein y Armin Schollen en su artículo Maximizing the production rate in simple assembly line balancing –A Branch and Bound procedure-.

Se hace un breve resumen sobre los métodos más usados para resolver el problema de balanceo, se describe con claridad los tipos de líneas, sus características, el método de búsqueda exhaustiva BRANCH AND BOUND.

Se realiza una reseña histórica sobre la empresa de confección C.i Nicole S.A.S ubicada en Dosquebradas Risaralda y se explica cómo es realizado su balanceo de línea de producción.

Finalmente el algoritmo es analizado y comparado con la actual metodología empleada para el balanceo de línea en la empresa C.i Nicole S.A.S.

ABSTRACT

This paper aims to show the particular algorithm of line balancing with parallel stations proposed by the authors Robert Klein and Armin Schollen Article, in their “Maximizing the production rate in single assembly line balancing-A Branch and Bound procedure”.

A brief summary of the methods used to solve the balancing problem is made, line types are clearly described, their characteristics, the exhaustive search method BRANCH AND BOUND.

A historical overview of the clothing firm Ci Nicole SAS is done, located in Dosquebradas, Risaralda and it explains how it made its production line balancing.

CONTENIDO

DEDICATORIA	3
ABSTRACT	6
1 TABLA DE FIGURAS	9
2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	10
2.1 Planteamiento del problema	10
2.2 Formulación del problema.....	11
2.3 Sistematización del problema.....	11
3 COBERTURA DEL ESTUDIO.....	12
3.1 Espacial.....	12
3.2 Temática.....	12
3.3 Temporal	12
4 OBJETIVOS	13
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
5 JUSTIFICACIÓN.....	14
6 DISEÑO METODOLÓGICO	15
7 MARCO REFERENCIAL.....	16
7.1 Marco teórico.....	18
7.2 Marco conceptual	27
8 DESARROLLO DEL TRABAJO	35
8.1 Aspectos generales	35
8.2 Caracterización del problema	38
8.3 Planteamiento del modelo matemático	39
8.4 Aplicación.....	49
8.5 RESULTADOS	50
9 CONCLUSIONES	51

10 RECOMENDACIONES	53
11 BIBLIOGRAFÍA	54

1 TABLA DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1 Línea serial	20
Fig. 2 Línea con estaciones en paralelo	21
Fig. 3 Líneas paralelas	21
Fig. 4 Líneas circulares cerradas	22
Fig. 5 Líneas en forma de U	23
Fig. 6 Diagrama de árbol de distribución de tareas	42
Fig. 7 Diagrama de árbol de distribución de tareas Iteración 1	44
Fig. 8 Diagrama de árbol de distribución de tareas Iteración 2	45
Fig. 9 Diagrama de árbol de distribución de tareas Iteración 3	46
Fig.10 Diagrama de árbol de distribución de tareas Iteración 4	47
Fig.11 Diagrama de flujo del procedimiento utilizado	49
Fig.12 Malla de distribución de tareas prenda Malibú Baby Duo 2-2012	50
Fig.13 Malla de distribución de tareas prenda Malibú Baby Duo 2-2012 para una eficiencia del 75%	51

2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Planteamiento del problema

La instalación de una línea de ensamblaje¹ es una decisión a largo plazo que usualmente requiere de una gran inversión de capital. Por lo tanto, es importante que tal sistema esté diseñado y balanceado lo más eficientemente posible. Además de balancear el nuevo sistema, mantenerlo funcionando en forma óptima, desde el punto de vista de labor y flujo de producto, requiere rebalancear periódicamente la línea para incorporar cambios en la demanda o en el proceso de producción.

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 mayoría de las investigaciones en la literatura ALB asumen un diseño de línea en la que cada etapa tiene una estación con una sola tarea. En la fabricación competitiva actual el aumento de la diversidad y volumen de los productos requieren líneas de montaje paralelas donde las estaciones de trabajo de la misma etapa produzcan diferentes unidades del mismo producto. Las estaciones de trabajo en paralelo podrían disminuir los requerimientos de mano de obra ya que las tareas se pueden asignar a una misma etapa debido a la capacidad de aumento del tiempo. Las estaciones de trabajo en paralelo también pueden ser usadas para solucionar el problema que se presenta cuando el tiempo de alguna

¹ <http://es.scribd.com/doc/96497888/Balanceo-de-Lineas>

tarea es mayor al tiempo de ciclo, ya que el valor promedio de la duración de la tarea se reduce proporcionalmente al número de estaciones. Este aumento de la capacidad interpuesta por estaciones en paralelo amplía el tiempo de trabajo máximo lo que aumenta la tasa de producción. Sin embargo, puede aumentar el costo de capital debido a la duplicación de herramientas / equipo.

2.2 Formulación del problema

¿Cómo solucionar el problema de balanceo de línea con estaciones de trabajo en paralelo en el sector de la confección?

2.3 Sistematización del problema

¿Qué método se puede utilizar para balancear una línea que utiliza estaciones en paralelo?

¿Cómo se puede caracterizar el problema de balanceo de línea con estaciones en paralelo?

¿Cómo es la formulación matemática del problema de balanceo de línea con estaciones en paralelo?

3 COBERTURA DEL ESTUDIO

3.1 Espacial

El trabajo se realizará en la empresa de confección C.i. Nicole S.A.S ubicada en Dosquebradas, departamento de Risaralda.

3.2 Temática

El proyecto se basa en el análisis de balanceo de línea en un módulo de producción de la empresa C.i Nicole, se realizará la comparación del balanceo de línea que ellos utilizan con el algoritmo Branch and Bound (B&B) propuesto por Robert Klein y Armin scholl con el fin de determinar la pertinencia del mismo.

3.3 Temporal

Se lleva a cabo durante un período de cuatro y medio (4 y 1/2) meses después de la aprobación del proyecto, durante los cuales se realizaron visitas a la empresa con el propósito de conocer cuál es la metodología de trabajo usada al momento de confeccionar una prenda y se hace el desarrollo del problema con B&B.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Solucionar el problema de balanceo de línea con estaciones de trabajo en paralelo utilizando un algoritmo de BRANCH AND BOUND propuesto por Robert Klein y Armin scholl en su artículo Maximizing the production rate in simple assembly line balancing – A Branch and Bound procedure-

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Encontrar una empresa del sector de la confección para desarrollar el problema de balanceo de línea con estaciones en paralelo.
- Caracterizar el problema.
- Plantear el modelo matemático del problema.
- Resolver el problema utilizando el algoritmo de BRANCH AND BOUND.
- Presentar los resultados obtenidos.

5 JUSTIFICACIÓN

El propósito de toda compañía es lograr maximizar la rentabilidad con un número mínimo de recursos. La adición de recursos representa una inversión que debe ser compensada con un aumento en beneficios. Desde el punto de vista del balanceo de línea, esto se logra cumpliendo con la capacidad de producción deseada, con un número mínimo de recursos.

El interés de este trabajo se centra en determinar aquel balanceo de línea con un costo total mínimo de operación e inversión de capital y con un número mínimo de estaciones de trabajo en paralelo.

La adición de estaciones de trabajo en paralelo permite reducir el desbalance entre estaciones y aumenta la utilización de los recursos en sistemas de producción donde es difícil encontrar el balanceo de la línea sin tiempo ocioso significativo.

Las estaciones de trabajo en paralelo proporcionan flexibilidad y capacidad a la línea de ensamble cuando es necesario. La indivisibilidad de tareas, especialmente de larga duración, dificulta el proceso de minimizar el tiempo de ciclo de la línea.

El uso de estaciones de trabajo idénticas trabajando en paralelo puede resolver esta divergencia. La duplicación de estaciones de trabajo (estaciones idénticas en paralelo) permite aumentar la carga de trabajo en las estaciones, resultando en un ciclo efectivo menor. Esto debido a que el ciclo efectivo de la estación se determina de la suma de los tiempos de las tareas asignadas a la estación entre el número de estaciones en paralelo.

A pesar de su importancia práctica, la investigación en las líneas de montaje paralelo es bastante limitada.

6 DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología utilizada en este trabajo será la siguiente:

Se realiza la revisión de la literatura.

Se identifica el problema de balanceo de línea con estaciones de trabajo en paralelo.

Se plantea el modelo matemático teniendo en cuenta la función objetivo y las restricciones. Se brinda una solución de este modelo por medio del algoritmo de Branch and Bound y por último se hará el análisis del método aplicado.

7 MARCO REFERENCIAL

Revisión de la literatura concerniente al balanceo de línea con estaciones de trabajo en paralelo

Pinto et al. Presenta un estudio con estaciones en paralelo cuyo objetivo es minimizar los costos de labor, los cuales consisten en los costos fijos por duplicar una estación, los costos de salario regulares y los costos de horas extras. Estos últimos se presentan si el tiempo de ciclo observado excede el tiempo de ciclo deseado. Un procedimiento de ramificar y acotar se desarrolla para asignar tareas a las estaciones y decidir si una estación debe ser duplicada.

Bard. Considera las tareas y estaciones paralelas así como el tiempo muerto necesario para transportar las piezas de trabajo de una estación a otra. En líneas en serie con correas de transporte de tiempo estacionario (paced-line) el tiempo al cual se balancea la línea de ensamble debe considerar el tiempo muerto requerido para mover las unidades de una estación a otra.

1 o SALBP-1. Buxey et al. Presenta un modelo que considera adicionar estaciones en paralelo con el fin de reducir el tiempo de ocio total. El objetivo del modelo es minimizar los costos fijos por equipo adicional.

Bukchin y Rubinovitz. Estudian el problema de balanceo de línea de ensamble, teniendo en cuenta las estaciones en paralelo y selección del equipo. Los autores proponen un modelo para minimizar el costo total. Los autores de la investigación utilizan diseño de experimento para demostrar la influencia de la combinación de los parámetros del sistema, tales como la flexibilidad de la secuencia de

ensamblaje y el tiempo de ciclo en el mejoramiento del balanceo, y la adición de estaciones en paralelo.

Scholl y Klein. Se concentran en el problema de balanceo para células de manufactura con despliegue en forma de “U”. El diseño de la celda tiene como objetivo maximizar la eficiencia de la línea. El arreglo de las estaciones en una línea-U tiene varias ventajas sobre la configuración tradicional especialmente en aquellos ambientes de manufacturas con poco volumen de producción de una diversidad de producto

Askin y Zhou. Proponen un modelo de programación entera no lineal para resolver el problema de balanceo de líneas de producción o “production line balancing problem” (PLBP). Este problema conlleva la asignación de tareas en una línea de producción en serie. El modelo permite trabajar con una mezcla de productos y el uso de estaciones de trabajo idénticas en paralelo. Esto para cada etapa del sistema de producción en serie. El objetivo es encontrar la asignación factible de tareas con el fin de minimizar el costo total.

Vilarinho y Simaria. Presentan un nuevo modelo de programación matemática para el problema de balanceo de línea de con mezcla de productos, estaciones de trabajo en paralelo y restricciones de zonificación. Las restricciones de zonificación establecen la necesidad de tener tareas cerca o distantes de otras tareas. El modelo permite que el usuario controle el proceso de crear estaciones de trabajo en paralelo.

Scholl y Becker. Estudian las metodologías aplicadas a cada tipo de problema de balanceo de línea. Para el caso del problema de balanceo de línea tipo-E (“Simple assembly line balancing problem–Efficiency”) SALBP-E, el cual es el problema más general, el objetivo es maximizar la eficiencia de la línea de ensamblaje

mientras simultáneamente minimiza el tiempo de ciclo y el número de estaciones y su interrelación. Una solución obvia para el SALBP-E consiste en definir los intervalos del tiempo de ciclo y/o del número de estaciones. Es decir se define el mínimo y el máximo de cada parámetro con el fin de encontrar una combinación factible entre ellos. Los autores después de una búsqueda intensa concluyeron que no encontraron metodologías disponibles que solucionen directamente SALBP-E.

7.1 Marco teórico

Estaciones y Tareas en Paralelo

La actividad del balanceo de línea conlleva la asignación de tareas a estaciones de forma tal que todas las estaciones en la línea tengan aproximadamente la misma carga de trabajo. Tareas indivisibles y de larga duración dificultan el proceso de balanceo. Cuando la duración de una tarea excede el tiempo de ciclo deseado, se utilizan estaciones en paralelo para resolver el conflicto. Paralelizar una estación significa el utilizar estaciones adicionales idénticas de forma tal que en conjunto puedan lograr la capacidad de producción o tiempo de ciclo deseado.

En ocasiones se llegan a duplicar estaciones generando líneas enteras corriendo en paralelo. Esto suele utilizarse cuando se pretende aumentar la flexibilidad del sistema. De esta forma se puede reaccionar mejor a cambios en la demanda y se disminuye el riesgo de parar la producción por averías en las máquinas. Por otra parte, se pueden conseguir mejores balanceos, porque se pueden dar más combinaciones de tareas. Sin embargo, el costo en que se incurre al paralelizar una línea de ensamble y las limitaciones de espacio son factores muy importantes que se deben tener en cuenta al momento de tomar la decisión. Las ventajas de colocar estaciones en paralelo son múltiples. En ocasiones el propósito es lograr

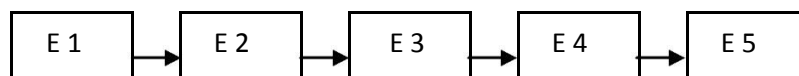
cumplir con el tiempo de ciclo de la línea. Por otra parte, también se utilizan con el propósito de disminuir el tiempo de ciclo global de la línea de ensamble. La instalación de estaciones en paralelo envuelve costos fijos adicionales que son necesarios evaluar durante el proceso de diseño y balanceo de la línea.

CARACTERIZACIÓN DE LAS LINEAS DE ENSAMBLE²

De acuerdo a la arquitectura de la línea

Línea serial: está conformada por estaciones simples donde el producto pasa de una estación realizándole los respectivos cambios, se puede usar una banda transportadora para el movimiento del producto.

Fig. 1 Línea serial³

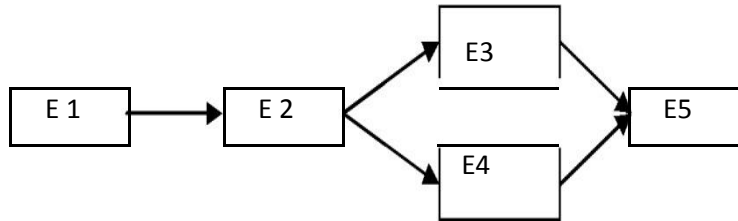


Línea con estaciones en paralelo: es una línea serial en la cual algunas estaciones tienen estaciones en paralelo con el fin de disminuir su carga de trabajo, evitar los cuellos de botella, y reducir el tiempo de una tarea cuando esta es mayor que el tiempo de ciclo. Las estaciones en paralelo poseen los mismos equipos y operarios que la estación original de la línea.

² CAPACHO L, MORENO R, generación de secuencias de montaje y equilibrado de líneas, Universidad Politécnica de Catalunya, abril de 2004.

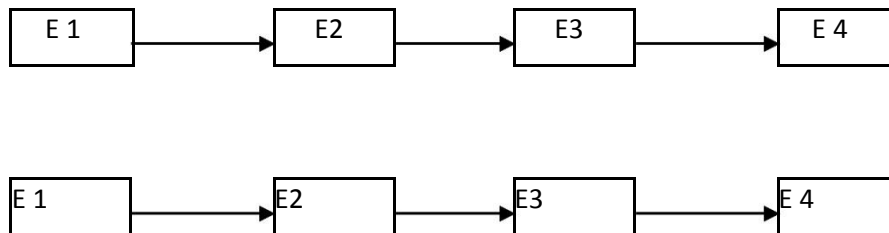
³ Figura tomada de Póveda Zapata Javier Andrés, Florez Hurtado Carlos Hernando, Aplicación de algunos métodos exactos y heurísticos para resolver el problema de balanceo de línea simple, Universidad Tecnológica de Pereira, 2009.

Fig. 2 Línea con estaciones en paralelo⁴



Líneas paralelas: son varias líneas colocadas en paralelo con el fin de procesar diferentes productos o familias de productos por cada línea, aquí se encuentra un nuevo problema y es decidir cuantas líneas y cómo distribuir los equipos y fuerza de trabajo.

Fig. 3 Líneas paralelas⁵



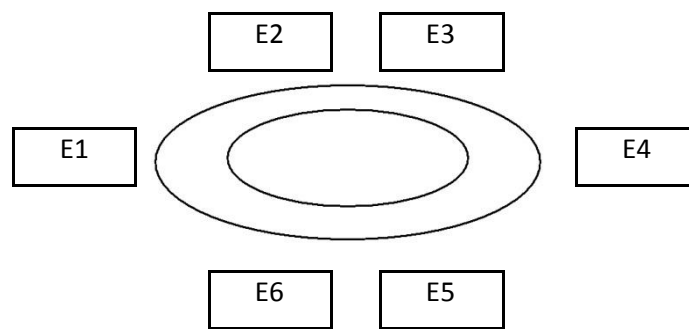
Línea de dos lados: son líneas seriales paralelas, las cuales operan al tiempo un mismo producto, las líneas están en capacidad de realizar la misma tarea u otra. Un ejemplo típico de estas líneas es la de automóviles donde se deben realizar las mismas tareas en ambos lados (puertas, espejos, vidrios, etc).

⁴ Grafico tomado de Póveda Zapata Javier Andrés, Florez Hurtado Carlos Hernando, Aplicación de algunos métodos exactos y heurísticos para resolver el problema de balanceo de línea simple, Universidad Tecnológica de Pereira, 2009.

⁵ Grafico tomado de Póveda Zapata Javier Andrés, Florez Hurtado Carlos Hernando, Aplicación de algunos métodos exactos y heurísticos para resolver el problema de balanceo de línea simple, Universidad Tecnológica de Pereira, 2009.

Líneas circulares /cerradas: en estas líneas las piezas van circulando, mientras los operarios o robots las van tomando y las procesan y vuelven a liberarlas en la línea.

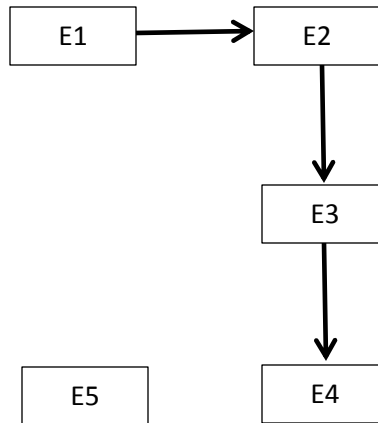
Fig. 4 Líneas circulares cerradas⁶.



Línea en forma de U: este tipo de líneas se crearon pensando en el justo a tiempo, aquí hay más flexibilidad debido a que los operarios pueden moverse de una estación a otra, además esta configuración puede resultar en un mejor balanceo en la carga de las estaciones, dado que el número de combinaciones tareas-estación es más grande.

⁶ Grafico tomado de Póveda Zapata Javier Andrés, Florez Hurtado Carlos Hernando, Aplicación de algunos métodos exactos y heurísticos para resolver el problema de balanceo de línea simple, Universidad Tecnológica de Pereira, 2009.

Fig. 5 Línea en forma de U⁷



De acuerdo al tipo de flujos de las piezas

Sincrónicas: todas las estaciones tienen un tiempo de ciclo común, por tal motivo los productos pasan de una estación a otra al mismo tiempo evitando los buffer de entrada.

Asincrónicas: aquí no se tiene un tiempo de ciclo común, por este motivo existe buffer entre las estaciones y se crea el problema de en cual estación colocar los almacenamientos de productos en proceso.

De acuerdo al tipo de operador

Líneas manuales: pueden ser automatizados o no, y son operadas por humanos.

Líneas robotizadas: son totalmente automatizadas y los operadores son robots, en este tipo de líneas hay que planificar el procesamiento de las tareas en las

⁷ Grafico tomado de Póveda Zapata Javier Andrés, Florez Hurtado Carlos Hernando, Aplicación de algunos métodos exactos y heurísticos para resolver el problema de balanceo de línea simple, Universidad Tecnológica de Pereira, 2009.

estaciones y planificar las actividades de los robots.

De acuerdo a la disciplina de entrada de las piezas a la línea

Línea de entrada fija: las piezas entran a intervalos iguales de tiempo y si la línea es sincrónica corresponderá al tiempo de ciclo.

Línea de entrada variable: la tasa de entrada de las piezas a la línea es variable.

Línea de ensamble o montaje: las líneas de ensamble están constituidas por un número determinado de estaciones en las cuales se realizan una serie o conjunto de tareas finitas que pueden estar o no precedidas entre si las cuales son requeridas para la elaboración de un producto específico.

TIPOS DE PROBLEMAS DE BALANCEO DE LINEA

Teniendo en cuenta los tipos de líneas, existirá un problema para resolver en cada uno, así aparece dos tipos de problemas de balanceo de línea, enunciados por Baybars:

- Los SALBPS (Simple assembly line balancing problem) o problema simple de balanceo de línea.

Este es el tipo de problema de balanceo más simple y sencillo, aquí se tiene en cuenta que todas las maquinas son idénticas y pueden procesar cualquier tarea, pero las tareas no se pueden procesar en paralelo pues existen relaciones de precedencia que hacen que para que una tarea sea procesada es necesario que se procese primero otra, además los tiempos de procesamiento de las tareas son conocidos para cada máquina.

- Los GALBPS (General assembly line balancing problem) o problema general de equilibrados de línea.

Los GALBPS son aquellos problemas que no están dentro de la categoría de los SALBP, este tipo de problemas se diferencian de los SALBP porque son más reales.

Aquí se tiene en cuenta las estaciones en paralelo, los modelos mixtos, los tiempos de proceso variable, entre otros.

METODOS DE RESOLUCION DE EQUILIBRADOS DE LINEAS

En la literatura encontramos dos métodos de resolución de problemas de equilibrados los cuales son:

- Los métodos exactos.
- Los métodos heurísticos.

Métodos exactos

Los métodos exactos garantizan una solución óptima usando programación matemática y algoritmos exactos para la exploración de grafos.

Los métodos Heurísticos entregan una solución alejada del óptimo, pero en ocasiones se puede llegar al óptimo. Los métodos son los siguientes:

- heurísticas de una sola pasada.

- Reglas de Backtracking.
- Aproximación a partir de algoritmos exactos.
- Heurísticas de composición.

BRANCH AND BOUND METODO DE LA BUSQUEDA EXHAUSTIVA

Descripción general

Branch and Bound(B&B)⁸ es un método general de búsqueda que se aplica de la siguiente forma: Explora un árbol comenzando a partir de un problema raíz y su región factible (inicialmente, el problema original, con su espacio de soluciones completo). Aplica funciones de acotación al problema raíz, para el que establece cotas inferiores y/o superiores. Si las cotas cumplen las condiciones que se hayan establecido, habremos encontrado la solución óptima del problema y la búsqueda termina. Si se encuentra una solución óptima para un subproblema concreto, ésta será una solución factible para el problema completo, pero no necesariamente su óptimo global. Cuando en un nodo (subproblema), su cota local es peor que el mejor valor conocido en la región, no pueda existir un óptimo global en el subespacio de la región factible asociada a ese nodo y, por tanto, ese nodo puede ser eliminado (“podado”). En B&B, la búsqueda prosigue hasta que se examinan o “podan” todos los nodos, o bien se cumple algún criterio pre-establecido sobre el mejor valor encontrado y las cotas locales de los subproblemas aún no resueltos.

Estimadores y cotas en Branch & Bound:

Cota local

Nos permite asegurar que no se alcanzará nada mejor al expandir un nodo determinado.

⁸ <http://elvex.ugr.es/decsai/algorithms/slides/5%20Branch%20and%20Bound.pdf>

Se calcula localmente para cada nodo i .

Si Óptimo Local(i) es el coste/beneficio de la mejor solución que se podría alcanzar al expandir el nodo i , la cota local es una estimación de dicho valor que debe ser mejor o igual que el Óptimo Local(i).

Cuanto más cercana sea la cota a Óptimo Local(i), mejor será la cota y más se podará el árbol (si bien debemos mantener un equilibrio entre la eficiencia del cálculo de la cota y su calidad).

Cota global

La solución óptima nunca será peor que esta cota.

Es el valor de la mejor solución estudiada hasta el momento (o una estimación del óptimo global) y debe ser peor o igual al coste/beneficio de la solución óptima.

Inicialmente, se le puede asignar el valor obtenido por un algoritmo greedy o, en su defecto, el peor valor posible.

Se actualiza siempre que alcanzamos una solución que mejore su valor actual. Cuanto más cercana sea al coste/beneficio óptimo, más se podará el árbol, por lo que es importante encontrar buenas soluciones cuanto antes.

Estimador del coste/beneficio local óptimo

Se calcula para cada nodo i y sirve para determinar el siguiente nodo que se expandirá.

Es un estimador de Óptimo Local(i), como la cota local, (i), pero no tiene por qué ser mejor o igual que Óptimo Local(i).

Normalmente, se utiliza la cota local como estimador, pero, si se puede definir una medida más cercana a Óptimo Local(i) sin que importe si es mejor o peor que

el Óptimo Local(i), podría interesar el uso de esta medida para decidir el siguiente nodo que se expandirá.

Además de podar aquellos nodos que no cumplan las restricciones implícitas (soluciones parciales no factibles), se podrán podar aquellos nodos cuya cota local sea peor que la cota global. .

Si sé que lo mejor que se puede alcanzar al expandir un nodo no puede mejorar una solución que ya se ha obtenido (o se va a obtener al explorar otra rama del árbol), no es necesario expandir dicho nodo para decidir el siguiente nodo que se expandirá.

7.2 Marco conceptual

CARGA DE TRABAJO: es el conjunto de tareas asignadas a una estación.

DIAGRAMAS DE PRECEDENCIA: se usan para representar las relaciones de precedencia.

EFICIENCIA: Es la relación existente entre el vector insumos (cantidad, calidad, espacio y tiempo) y el vector productos, durante el subproceso estructurado, de conversión de insumos en productos.

EQUILIBRADO DE LÍNEAS: el equilibrado de líneas busca asignar mejor los recursos de que se dispone en un proceso de manufactura a través de una buena distribución de las tareas en un determinado número de estaciones, se pueden considerar diferentes circunstancias a la hora de solucionar un problema de este tipo como por ejemplo un número mínimo de estaciones o un mínimo tiempo de ciclo en el que se puede realizar una tarea o varias de ellas por supuesto teniendo

en cuenta las relaciones de precedencia entre estas, si es que existen.

ESTACIÓN: es la parte de la línea de montaje en donde se ejecutan las tareas; pueden estar compuestas por un operador (humano o robotizado), cierto tipo de maquinaria y equipos o mecanismos de proceso especializados.

RELACIONES DE PRECEDENCIA: están definidas por las restricciones sobre el orden en el cual las operaciones pueden ser ejecutadas en la línea de montaje. De esta forma, una tarea no se puede llevar a cabo hasta que no se hayan procesado todas las que le preceden de forma inmediata.

RESTRICCIONES: es cualquier elemento que evita que una organización genere ganancias, dentro de estas se encuentran dos tipos:

- Las restricciones físicas: son aquellas que tienen que ver con el mercado, las personas, materiales, piezas o maquinas.
- Las restricciones de política: son aquellas que tratan de reglas, procedimientos y sistemas de evaluación.

TAREA: es una unidad de trabajo indivisible que tiene asociado un tiempo de proceso.

TIEMPO DE CADA ESTACIÓN: es la suma de los tiempos de todas las tareas asignadas a una estación.

TIEMPO DE CICLO (C): es el tiempo disponible en cada estación para completar las tareas asignadas para una unidad de producto. Puede ser el tiempo máximo o

el tiempo promedio disponible para cada ciclo de trabajo.

TIEMPO DISPONIBLE EN LA ESTACIÓN: es el tiempo que queda en la estación, después de asignar una o varias tareas, sin exceder el tiempo de ciclo.

TIEMPO OCIOSO: es la diferencia entre el tiempo de ciclo y el tiempo de estación.

TIEMPO MUERTO TOTAL O DEMORA DEL BALANCE: es la cantidad total de tiempo ocioso en la línea, debido a una asignación desigual de las tareas en cada estación.

RAMIFICACION: consiste en dividir el problema inicial en dos o más problemas para hacer más fácil su tratamiento.

SONDEO O ACOTAMIENTO: es el acotamiento de la mejor solución en el subconjunto y después eliminando los subconjuntos cuya cota muestre que no es la indicada.

RELAJACION CONTINUA: consiste en encontrar una solución inicial que arroja valores continuos, para así tener un punto de partida y poder comenzar a tratar el problema, esta solución se convierte en una cota superior en el caso que se esté maximizando.

INCUMBENTE: solución de apoyo o temporal encontrada en el desarrollo de un problema.

HEURÍSTICA: la palabra heurística como tal se refiere específicamente al poder que tiene un sistema de adaptarse a las condiciones del entorno e innovar de manera eficiente para sus propósitos finales.

La heurística se basa fundamentalmente en métodos de carácter exploratorio para resolver un problema en particular en los cuales las soluciones se obtienen gracias al trabajo logrado para obtener un resultado final, no obstante la solución no es necesariamente la óptima como en los métodos exactos, sino que puede ser una solución aproximada.

ALGORITMO DE BRACH AND BOUND

El método de Branch and Bound (o Ramificación y Acotamiento) es un algoritmo diseñado para la resolución de modelos de programación entera. Su operatoria consiste en “linealizar” el modelo de programación entera, es decir, resolver éste como si fuese un modelo de programación lineal y luego generar cotas en caso que al menos una variable de decisión adopte un valor fraccionario⁹. El algoritmo genera en forma recursiva cotas (o restricciones adicionales) que favorecen la obtención de valores enteros para las variables de decisión. En este contexto resolver el modelo lineal asociado a un modelo de programación entera se conoce frecuentemente como resolver la *relajación continua* del modelo entero.

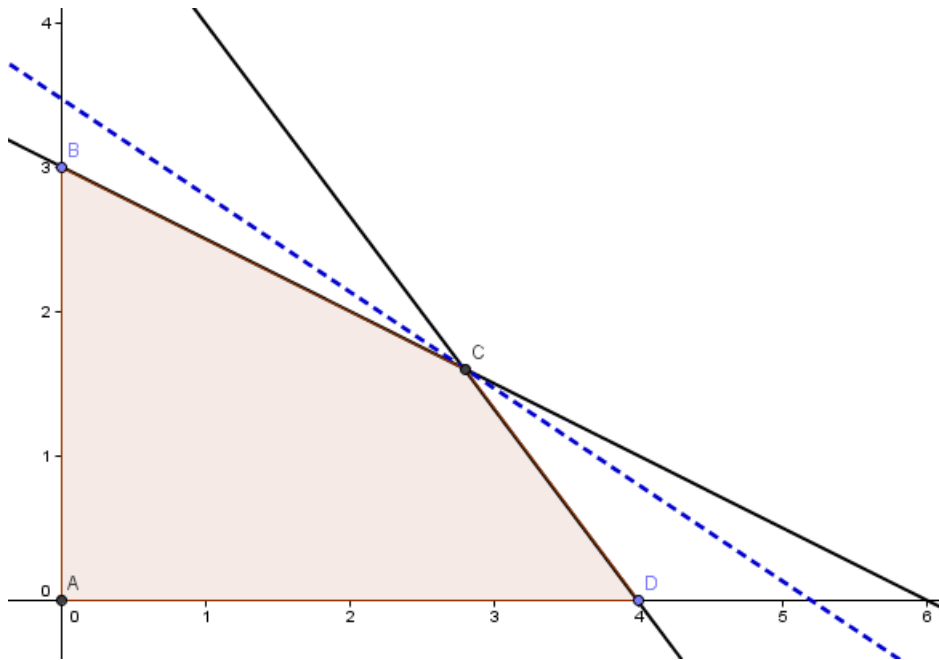
Consideremos el siguiente modelo de programación entera el cual resolveremos con el algoritmo de Branch and Bound:

$$\begin{array}{ll} \text{Max} & 4X_1 + 6X_2 \\ \text{s.a.} & 2X_1 + 4X_2 \leq 12 \\ & 4X_1 + 3X_2 \leq 16 \\ & X_1, X_2 \geq 0 \text{ Enteros} \end{array}$$

⁹<http://www.gestiondeoperaciones.net/programacion-entera/ejemplo-del-algoritmo-de-branch-and-bound-ramificacion-y-acotamiento/>

El paso inicial consiste en resolver este problema como si fuese un modelo de programación lineal (relajación continua). Si la solución de dicho problema llegara a respetar las condiciones de integridad para las variables de decisión, ésta ya sería la solución óptima del problema entero.

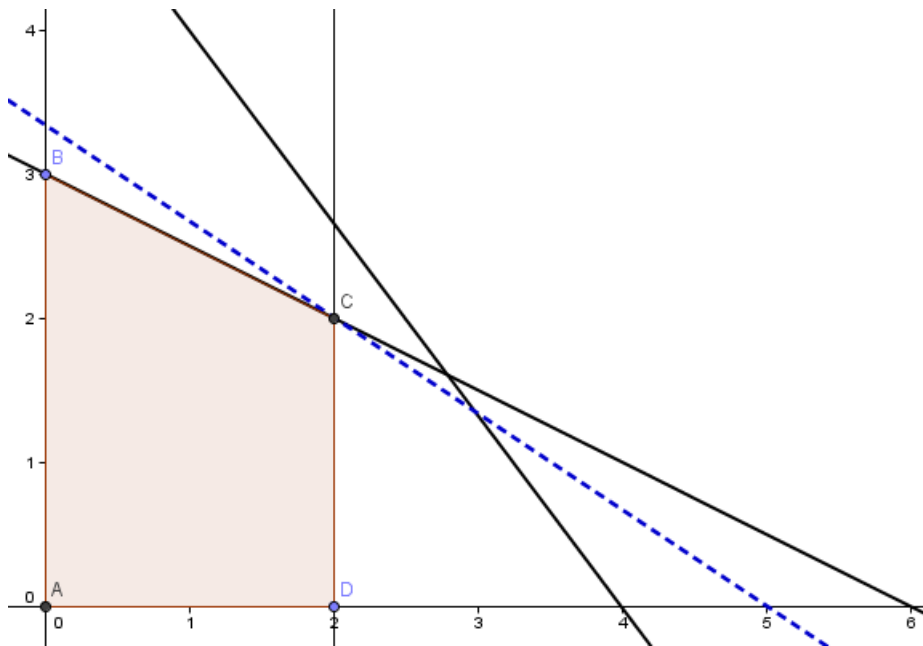
Si bien este procedimiento se puede extender a problemas de mayor dimensión, utilizamos un modelo en 2 variables para poder representar los pasos del algoritmo gráficamente. El gráfico a continuación muestra dicha resolución:



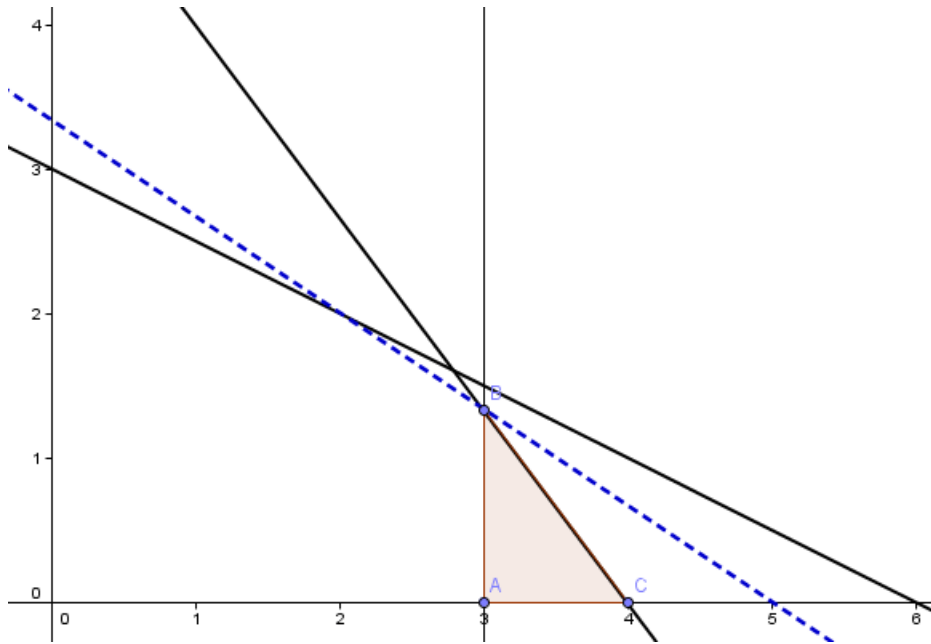
La solución óptima del problema lineal asociado (que llamaremos P_0) es $X_1=2,8$ y $X_2=1,6$ con valor óptimo $V(P_0)=20,8$. Claramente esta solución no cumple las condiciones de integridad para las variables de decisión por tanto es necesario generar cotas o restricciones adicionales de modo de poder obtener soluciones enteras. Para ello debemos seleccionar una de las 2 variables de decisión con

valores fraccionarios para poder generar cotas. En estricto rigor es indiferente cuál de ellas seleccionemos debido a que el método nos debe llevar a conclusiones similares (aun cuando la cantidad de pasos requeridos o rapidez de convergencia cambie). En nuestro ejemplo generaremos cotas adicionales para la variable X_1 aproximando su valor actual al entero inferior más cercano (P_1) y entero superior más cercano (P_2).

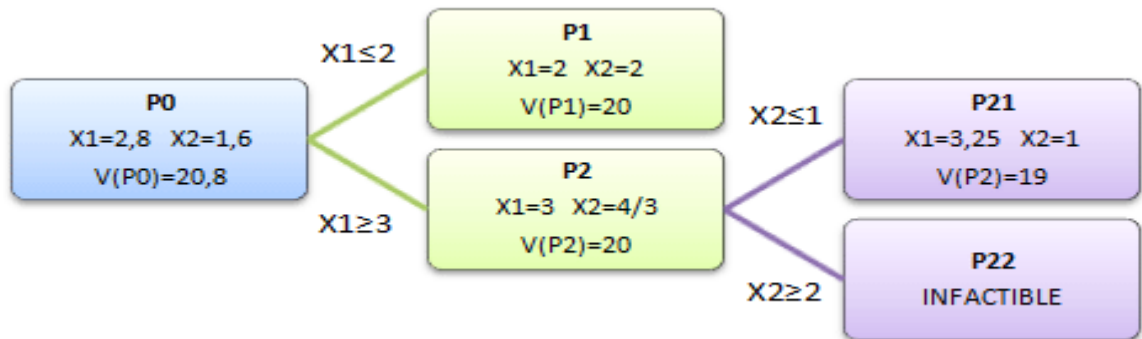
La resolución gráfica del problema 1 (P_1) nos da como solución óptima $X_1=2$ y $X_2=2$ que es una solución entera. El valor óptimo del problema 1 es $V(P_1)=20$. Notar que $V(P_1) < V(P_0)$ lo cual es natural dado que el dominio de soluciones factibles del P_1 es menor al P_0 .



Análogamente la resolución gráfica del problema 2 (P_2) determina que $X_1=3$ y $X_2 = 4/3$ con $V(P_2) = 20$ según se observa a continuación:



Luego no sería del todo necesario seguir desarrollando el algoritmo dado que si generamos cotas para la variable X_2 del P2 en ningún caso podríamos obtener una solución entera con valor óptimo superior a 20 (actual solución entera de P1) y por tanto podríamos concluir que $X_1 = 2$ y $X_2 = 2$ es la solución óptima del problema entero. No obstante el siguiente diagrama muestra los pasos adicionales en caso que quisiera agregar cotas adicionales a partir del P2.



Un argumento similar al expuesto previamente en este caso explicaría la no necesidad de seguir ramificando el P21.

8 DESARROLLO DEL TRABAJO

8.1 Aspectos generales

RESEÑA HISTÓRICA: C.I NICOLE S.A.S¹⁰.

C.I Nicole S.A.S es una reconocida y prominente compañía que se dedica a la producción de prendas de vestir de uso interior y exterior, con mucha trayectoria y tradición en el eje cafetero, la región y el país. Ofrecen productos que se adaptan a las diferentes edades, estilos, gustos y realidades de los consumidores, proporcionando calidad y moda a un precio razonable; las marcas que confecciona son Gef, Punto Blanco, Galax, Casino y Baby Fresh. C.I Nicole S.A.S es una empresa destacada por su innovación y competitividad.

HISTORIA

En el año de 1974 arribaron a la ciudad de Pereira los industriales Richard karron y Rafael Villegas quienes encontraron en la ciudad una gran oportunidad de hacer que su industria de la confección fuese valorada no solo a nivel nacional como ocurría en ese momento, sino también en el exterior.

Durante ese año se maquiló con empresas de la región para la firma Colleetown, beneficiándose de las ventajas que ofrecían el gobierno americano a través del programa 807 y el colombiano con el Plan Vallejo, los créditos subsidiados, una devaluación permanente y el estímulo tributario llamado C.A.T.

¹⁰VALENTINA RESTREPO D. 2012. manual de procesos y procedimientos de las actividades desarrolladas en auditoría y control interno de C.i Nicole S.A.S. Tesis, Administración de empresas, Pereira, UCPR, facultad de ciencias económicas y administrativas, 117 p.

Ante el éxito de esta experiencia, los empresarios consideraron oportuno crear su propia empresa y el 23 de septiembre de 1975 iniciaron labores con 35 empleados. Esta organización tuvo un crecimiento muy rápido y en el año 1977 ya eran más de 250 personas las que estaban laborando. Hoy es la mayor fuente de empleo en Risaralda con más de 1.500 empleados. En épocas de gran demanda varias empresas de la región confeccionan para el mercado externo por intermedio de Nicole, que además está inscrita como Comercializadora Internacional.

En su trayectoria de 36 años, Nicole se ha caracterizado por hacer las cosas bien, pensando más en la satisfacción de sus clientes, en la innovación y en la permanencia de la compañía en el tiempo.

La empresa exporta prendas de vestir a través del llamado Plan Vallejo y hasta 1998 pasa de maquiladora a vender a través de la modalidad de paquete completo (full Package).

El 5 de marzo de 1979 y ante las expectativas de éxito de la organización, se fundó en la ciudad de Manizales por el señor Mauricio Villegas INCOTEX S.A. (Industria Colombiana de textiles) y que a partir del año 2003 pasó a llamarse Nicole Manizales.

A finales del año 1998, vio la oportunidad de realizar una alianza estratégica y es así como en mayo 28 de 2001, inversionistas como el grupo Crystal - Vestimundo de Antioquia en cabeza del doctor Echevarría (Q.E.P.D) (Calcetines Crystal, Medias Crystal, Tintorería Crystal, Calcetines Nacionales, Printex, Bordados Crystal, Almatex, Infantiles, Sotinsa, Bosquema y Colhilados). Con esta alianza C.I Nicole S.A.S., creció en su infraestructura y procesos, modernizo áreas como lavandería donde además de adecuación del lugar, se instaló maquinaria

moderna adecuada a las necesidades del entorno competitivo del mercado. Se mejoraron las condiciones locativas de la empresa y de los empleados.

En este momento es una de las empresas más importantes en confección del país. Obtuvo en el año de 1999 la mayor calificación que la firma Liz Claiborne, que confecciona más de 160 millones de prendas, en 27 países del mundo y con más de 240 contratistas, otorga a sus proveedores. La calificación de Proveedores Certificado para Liz Claiborne, le permite abrir nuevas puertas en el competitivo mercado internacional y recibir un tratamiento especial por parte de esta importante institución. Para llegar a esa posición, Nicole ha desarrollado los siguientes programas:

En el área de Desarrollo de Producto ha realizado una significativa inversión en la capacitación del área y en la consecución de la tecnología más avanzada, dándoles garantía a los clientes de altísima precisión en las tallas y un consumo eficiente de sus materias primas.

En compañía del SENA y del C.D.P. de la confección y con la asesoría de la firma alemana Weiss Consulting logró implementar el más exitoso programa de capacitación de operarios que se recuerde en la región y en el país.

Es líder en el sistema de producción modular, implementado desde 1996 y que le ha permitido ofrecer a sus clientes unos ciclos de producción muy cortos, ayudándoles con una alta rotación de inventarios y con respuestas oportunas a las exigencias del mercado.

Para garantizar la calidad de los productos que se confeccionan, se ha implementado el Control Estadístico de Procesos, que permite mediante muestreos y la gráfica del comportamiento de los errores, tomar medidas correctivas en el momento oportuno, permitiendo confeccionar un producto de

excelente calidad, con unos costos reducidos y en un tiempo mínimo.

C.I Nicole exporto marcas como Liz, Jones, Polo, entre otras y en el año 2006 se hace un cambio en el sistema de producción, pasando en un 40% de la planta de tejido plano a tejido de punto, para confeccionar ropa de bebé, niños y mujer adulta. Dando una mayor dinámica al negocio de la confección en la región y permitiendo construir el futuro para la organización, la cual ha pasado por grandes crisis en toda su trayectoria. Sin embargo todo lo anterior y el empuje de fundadores, accionistas actuales y sobre todo los que laboran hoy, fortalecidos por todas las experiencias construyen puntada a puntada un organización emprendedora que seguirá dando de qué hablar en el ámbito nacional e internacional.

Además de generar empleo, Nicole contribuye a la economía regional y nacional con importantes compras de materias primas e insumos para su producción e irrigando anualmente a la economía más de 30.000 millones de pesos representados en salarios y prestaciones sociales.

La empresa continúa su labor en la parte social ratificando su firme compromiso con las universidades, brindando la oportunidad a sus estudiantes de realizar las prácticas y sus actividades académicas. En los años de trayectoria de la empresa se ha caracterizado por hacer las cosas bien, pensando más en la satisfacción de sus clientes, en la innovación y en la permanencia de la compañía en el tiempo.

8.2 Caracterización del problema

En la empresa C.i Nicole S.A.S. tienen implementado un sistema de línea de producción modular para las diferentes prendas que son fabricadas, estos módulos son un conjunto de máquinas organizadas para desarrollar una serie de

tareas, para cada máquina hay un operario asignado y tienen un estándar de doce operarios por módulo.

El balanceo de línea se realiza teniendo en cuenta unos formatos de distribución modular y análisis de balanceo estandarizados que se envían de la ciudad de Medellín, estos formatos vienen específicos para cada módulo y para cada prenda, allí se puede apreciar la referencia y estilo de la prenda, la cuota de producción, la fecha, la eficiencia, las unidades por hora a producir, la operaciones, las máquinas que serán utilizadas, el número de personas requeridas por operación, el tiempo de ciclo y un diagrama de distribución de tareas, en algunos formatos aparece la muestra del diseño de la prenda que se debe confeccionar. Ver anexo 1.

Paralelo a este formato existe otro llamado estudio de tiempos tipo donde se encuentra una tabla de reconocimientos de maquinaria, una tabla de suplementos que evalúa la demora y la fatiga de los operarios y una escala de valoración de tipos de esfuerzos. Ver anexo 2.

Teniendo en cuenta estos dos formatos el ingeniero analista de producción realiza un balanceo de línea en el que cuenta las habilidades y limitaciones de los operarios de cada módulo y en base a esto se realizan los ajustes respectivos dependiendo del tiempo de ciclo y los tiempos que tardan en terminarse las tareas. Ver anexo 3.

8.3 Planteamiento del modelo matemático

En este apartado se realiza el planteamiento del modelo matemático, el diagrama de flujo del procedimiento utilizado y se muestra con un ejemplo la metodología

propuesta por los autores Robert Klein y Armin scholl en su artículo Maximizing the production rate in simple assembly line balancing – A Branch and Bound procedure-

Se considera un montaje sencillo de la producción en masa de un solo producto, la fabricación de cada unidad de este requiere de n tareas con tiempos de operación fijos, las precedencias especifican el orden en que cada una de las tareas debe ser ejecutada.

Para continuar se hace necesario definir la siguiente simbología:

n = número de tareas

k = estaciones

m = número de estaciones

c = tiempo de ciclo

S_k = carga de la estación (conjunto de tareas consecutivas)

$t(S_k)$ = tiempo de estación (suma de tiempos de operación de las tareas contenidas en el conjunto S_k)

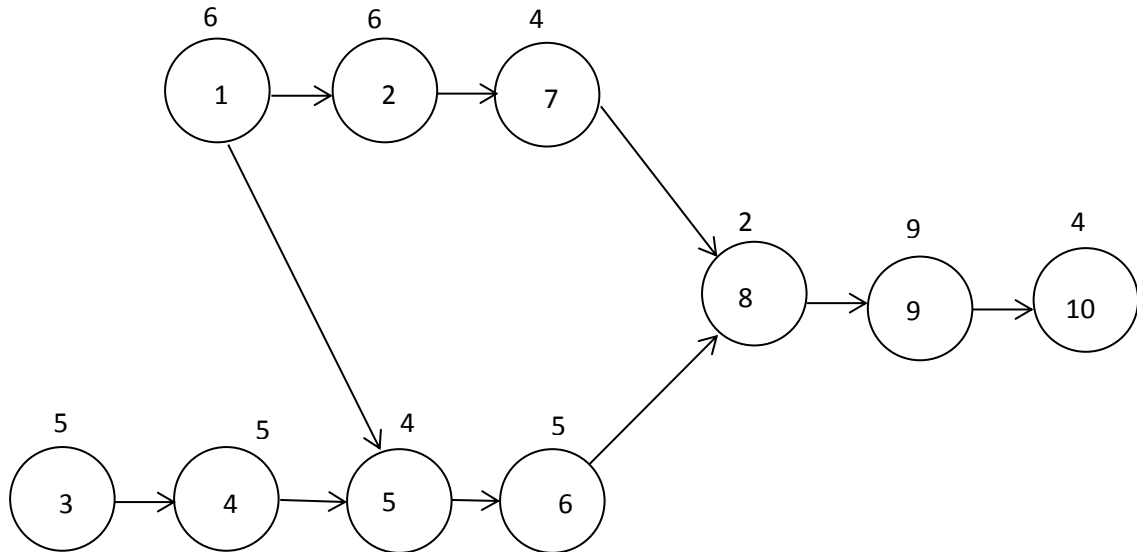
t_{sum} = suma de los tiempos de las tareas

t_{max} = tarea con máximo tiempo

LB= límite inferior del tiempo de ciclo

UB= límite superior del tiempo de ciclo

Fig. 6¹¹ Diagrama de árbol de distribución de tareas



El objetivo es maximizar el índice de producción lo que es equivalente a minimizar el tiempo de ciclo que está dado por el tiempo de estación máximo.

Consideremos el ejemplo con $n = 10$ tareas y $m = 5$ estaciones, los números sobre los nodos indican los tiempos de operación y los que están dentro las tareas.

Los conjuntos de tareas se agrupan de la siguiente manera $S_1 = \{3,4\}$; $S_2 = \{1,5\}$; $S_3 = \{2,7\}$; $S_4 = \{6,8\}$; $S_5 = \{9,10\}$.

Los $t(S_k)$ están dados de la siguiente manera:

$$t(S_1) = 10$$

$$t(S_2) = 10$$

$$t(S_3) = 10$$

$$t(S_4) = 7$$

¹¹ Gráfico tomado de ROBERET KLEIN, ARMIN SCHOLL, maximizing the production rate in simple assembly line balancing – A Branch and Bound procedure - European Journal of Operational Research 91(1996) 367-385.

$$t(S_5) = 13$$

Con tiempo de ciclo $c = 13$ determinado por $t(S_5)$.

En la malla del ejemplo se puede observar que existen dos tareas principales que deben ser realizadas simultáneamente $n = 1$ y $n = 3$. Lo que hace necesario un cálculo de un tiempo de ciclo mínimo LB y tenemos un tiempo de ciclo máximo UB que es igual al tiempo de ciclo c anteriormente calculado, de acuerdo con lo anterior tenemos que:

LIMITE INFERIOR (LB)

$$LB = \max \{t_{\max}, [t_{\text{sum}} / m]\}$$

Para el ejemplo

$$LB = \max \{9, [50 / 5]\} = 10$$

Otra forma de calcular el LB es tener en cuenta el número de estaciones y ordenar los tiempos de las tareas en forma decreciente y consideramos las $t_m + t_{m+1}$ tareas con menor tiempo.

Ordenando los tiempos de las tareas tendríamos: 9, 6, 6, 5, 5, 5, 4, 4, 4, 2 como son cinco estaciones $m=5$ y $m+1=5$ al sumar estos dos valores obtendríamos

$$LB = 10$$

Esto se debe al hecho de que al menos una estación contiene dos tareas.

$$UB = c = 13$$

Para resolver el problema de asignación tendremos en cuenta lo siguiente:

Con respecto a la secuencia en qué tiempo de ciclo de la prueba del intervalo $[LB, UB]$ es considerado, los procedimientos de búsqueda generales siguientes están distinguidos (cf., p. ej., Mansoor, 1964, Wee y Revista, 1981, así como Hackman et al., 1989).

Método del Limite más bajo: Empezando con un límite inferior LB, el tiempo de ciclo es sucesivamente aumentado por uno hasta el respectivo SALBP-F es decir hasta que LB = UB el caso es factible.

También se debe definir un Criterio de Búsqueda (CB) y de asignación de las tareas.

$$CB = \begin{cases} \max^+ \{0, LB - load\} \text{ ó si } \max \leq 0 \text{ entonces } LB = LB + 1 / LB \leq UB \\ \text{De lo contrario explorar la rama con valor de tiempo libre TL max.} \end{cases}$$

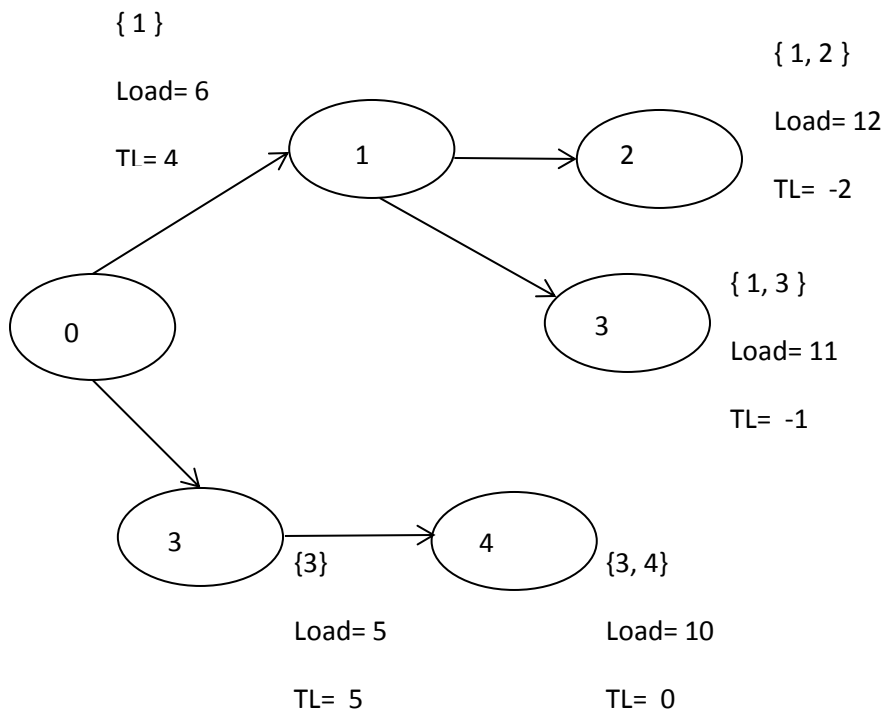
Load = tiempo que tarda en realizarse una tarea.

Cuando se hayan aplicado los anteriores criterios, las tareas asignadas serán las que menor tiempo libre tengan.

Aplicando el método B&B de la búsqueda exhaustiva tenemos:

LB = 10

Fig. 7 Diagrama de árbol de distribución de tareas iteración 1.



LB= 11

Fig. 8 Diagrama de árbol de distribución de tareas iteración 2.

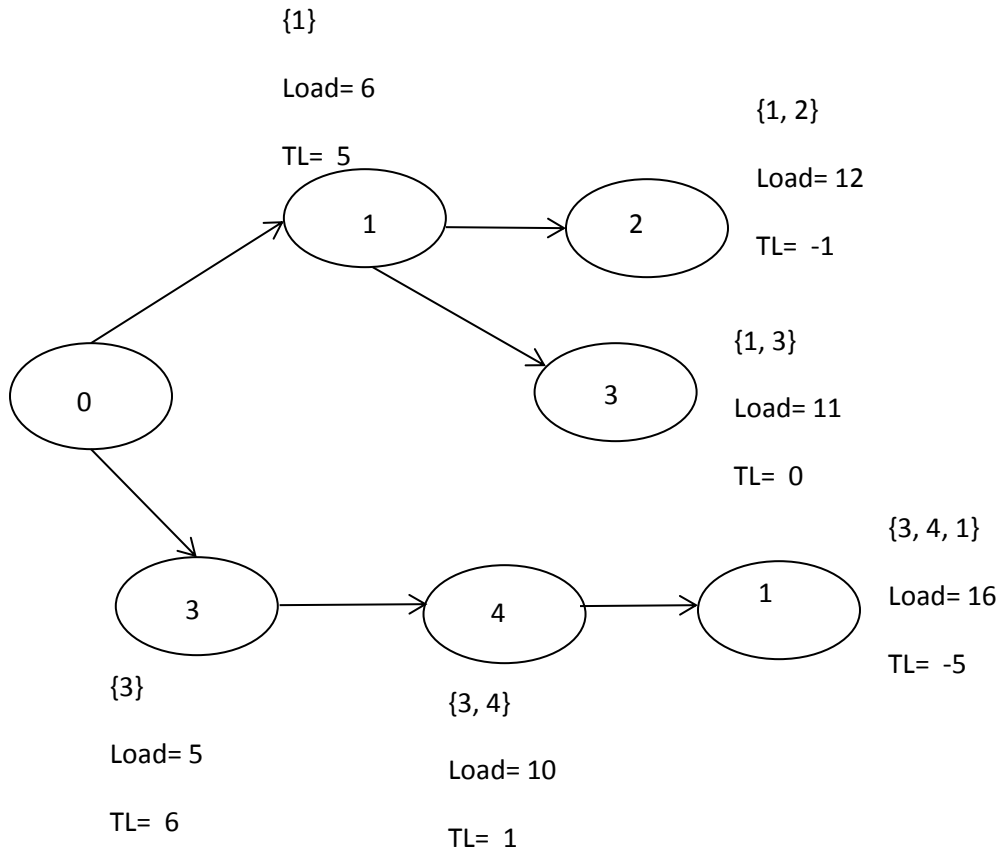


Fig. 9 Diagrama de árbol de distribución de tareas iteración 3.

LB= 12

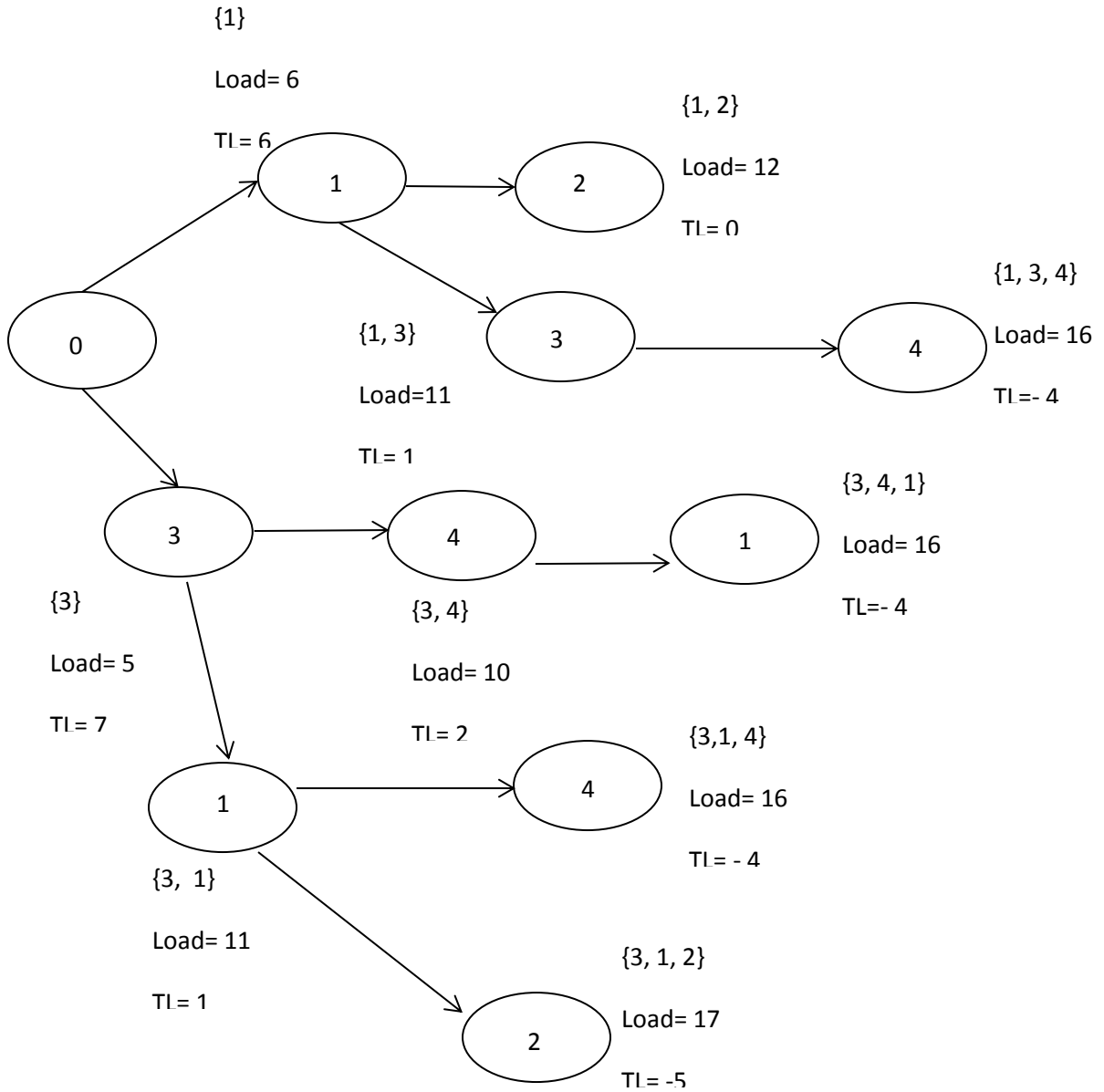
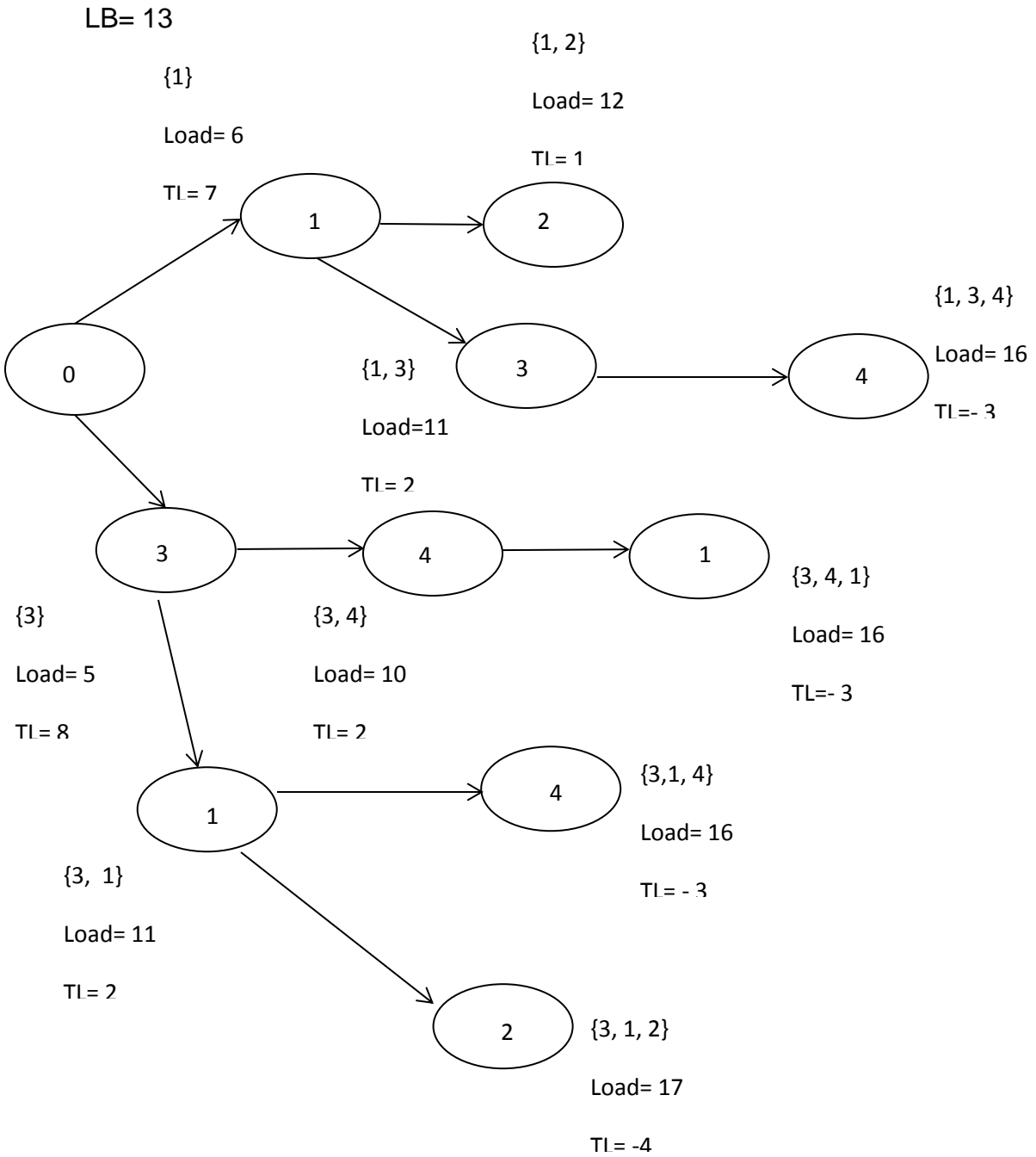


Fig. 10 Diagrama de árbol de distribución de tareas iteración 4.



De acuerdo con los resultados de la gráfica anterior y los criterios planteados en el inicio podemos observar que las tareas a asignar son la tarea 1 y la 2. Repitiendo las iteraciones con el método de búsqueda exhaustiva B&B la asignación de las tareas queda de la siguiente manera:

$$S_5 = \{10\}$$

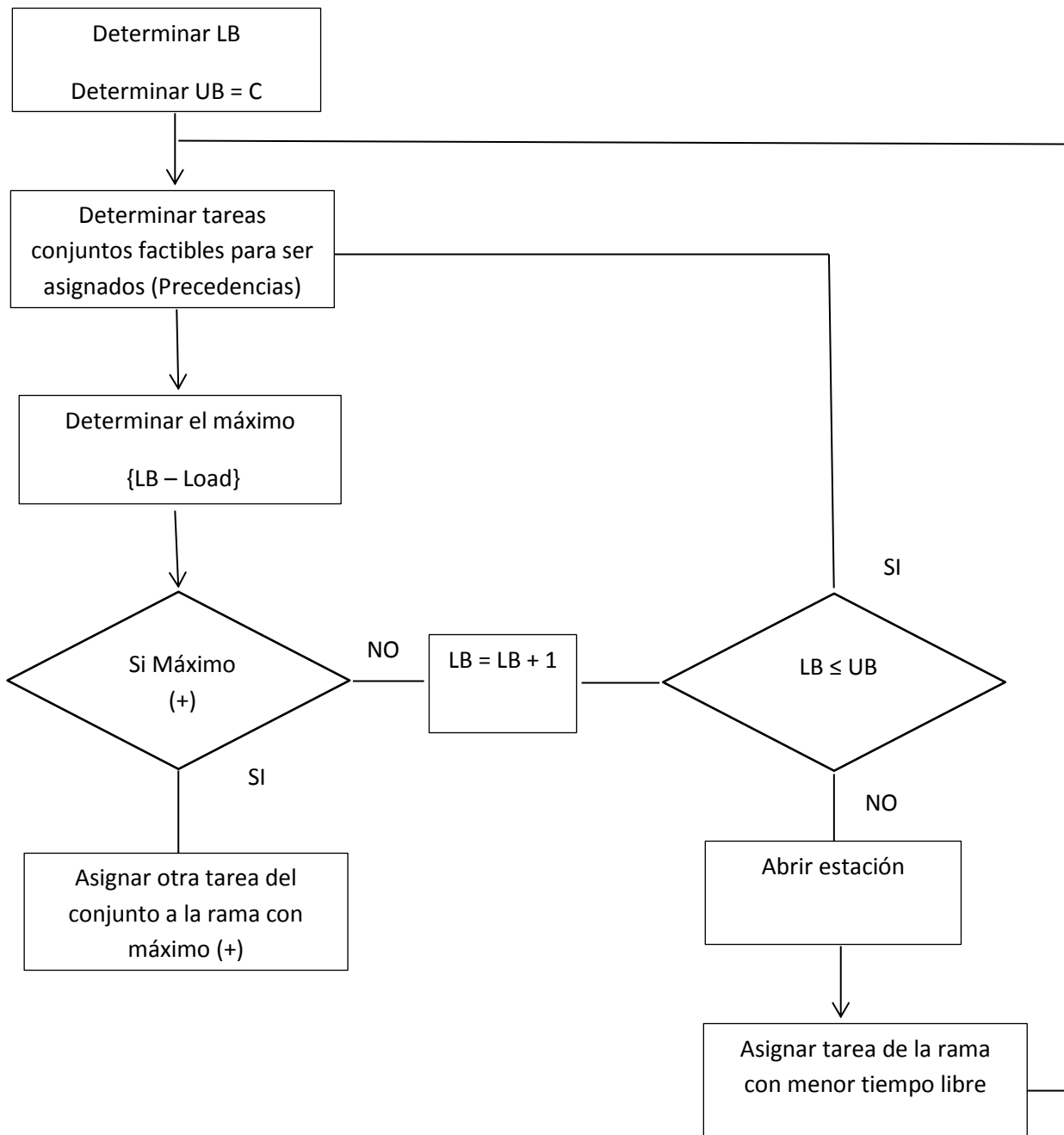
$$S_4 = \{9, 8\}$$

$$S_3 = \{7, 6, 5\}$$

$$S_2 = \{4, 3\}$$

$$S_1 = \{2, 1\}$$

Fig. 11 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCEDIMIENTO UTILIZADO



8.4 Aplicación

El siguiente es el diagrama de árbol o malla de distribución de tareas y tiempos para la prenda Malibu Baby fondo duo 2-2012(ver anexo 4)

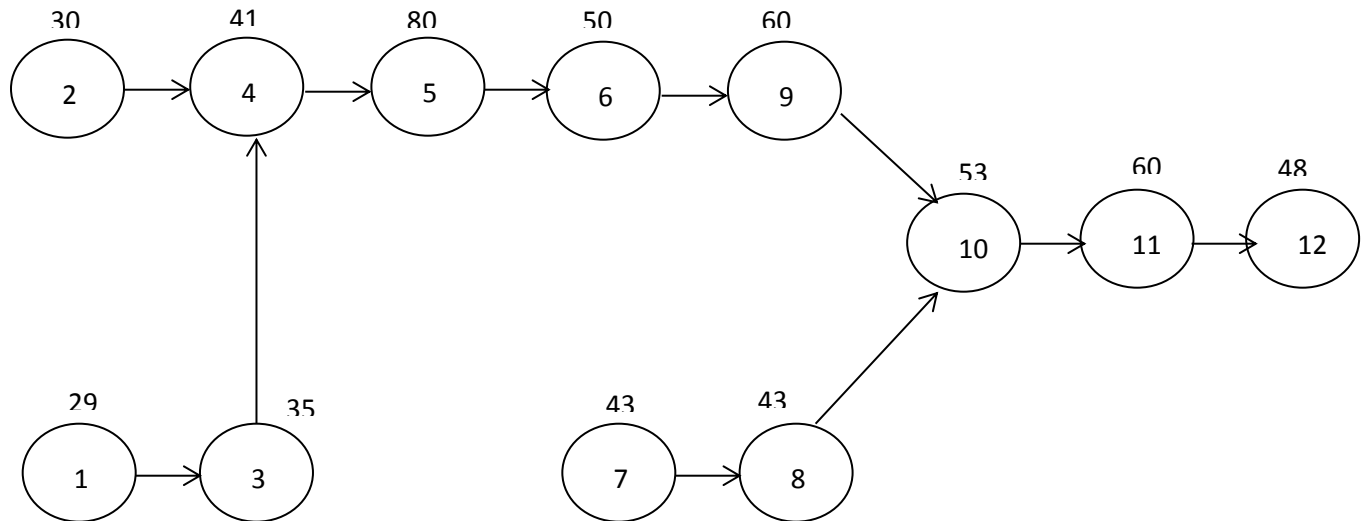


Fig. 12 Malla de distribución de tareas prenda Malibu Baby fondo duo 2-2012

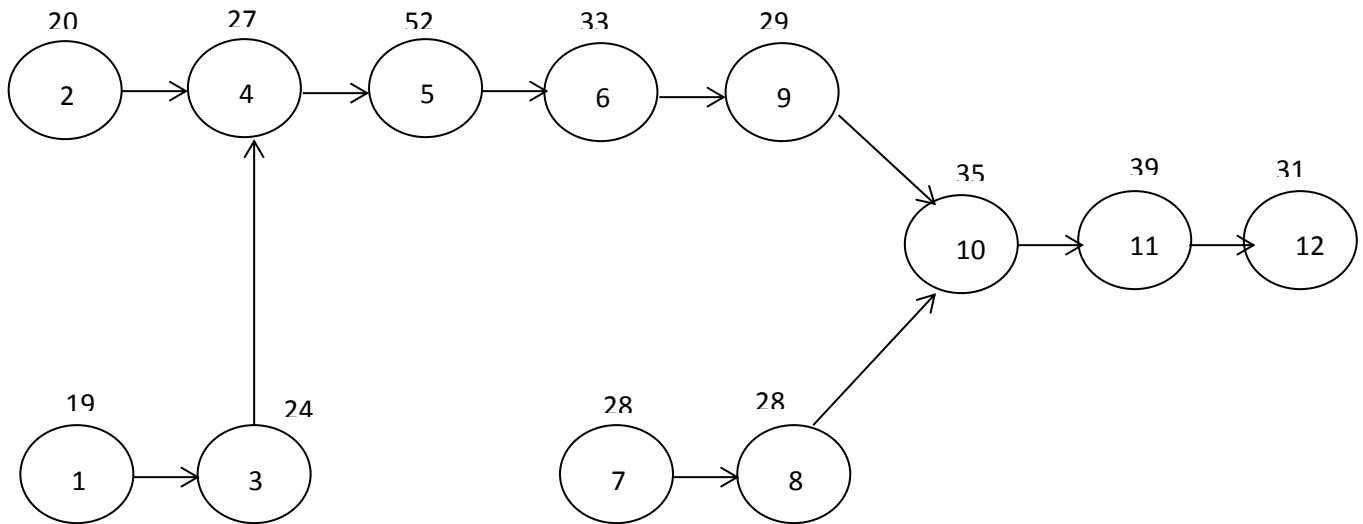
La suma de los tiempos para la realización de una prenda es de 5,9630 y se tienen estandarizados 12 operarios por módulo de producción, las unidades por hora a producir son 121 lo que nos da un tiempo de ciclo de 60 minutos con una eficiencia del 100%. En el grafico se puede observar que la tarea 5 tiene un tiempo superior al tiempo de ciclo, lo que haría necesario la implementación de una estación de producción en paralelo.

La suma de los tiempos de las tareas nos da un valor de 567 minutos que dividido el tiempo de ciclo utilizado que es 60 minutos nos da como resultado un mínimo de 10 estaciones. Ordenando el tiempo de las tareas en forma decreciente y realizando la suma de t_m+t_{m+1} para hallar el límite inferior (LB) se puede observar que este valor es igual a 65 minutos, valor mayor que el tiempo de ciclo. Motivo por el cual el algoritmo no puede ser aplicado.

8.5 RESULTADOS

La figura 13 corresponde a la misma referencia de la prenda de la figura 12, pero el tiempo de las tareas corresponde a una eficiencia del 75% que es el tiempo real que es exigido en C.i Nicole para la producción de la prenda. La suma de los tiempos de las tareas es de 365 minutos y dividiéndolo por el tiempo de ciclo que es de 60 minutos, obtenemos como resultado un mínimo de estaciones igual a 7, un LB = 56 y UB= 60.

Fig. 13 Malla de distribución de tareas prenda Malibu Baby duo 2-2012 para una eficiencia del 75%.



9 CONCLUSIONES

- En la empresa de confección C.i. Nicole S.A.S para balancear su línea de producción utilizan un estándar de 12 operarios por modulo este número de operarios es determinado por un estándar pre-establecido para cada una de la tareas para la fabricación de una prenda determinada como se puede observar en el anexo 1, en la tabla de costura, columna personas requeridas, allí la sumatoria de los tiempos es igual a 12.
- El trabajo abordo la metodología de un Branch and Bound(B&B) de búsqueda profunda soportado en la metodología propuesta en la programación de tareas. Este método permite encontrar la mejor solución óptima del problema, pero para situaciones donde se requiera el uso de muchas más estaciones y se deban tener en cuenta otras variables, se hace necesario el uso de programas computacionales para encontrar la solución.
- Al aplicar la técnica al problema real con los tiempos al 100%, se encontró que no se puede calcular un límite inferior LB porque el t máximo de las tareas es mayor que el tiempo de ciclo y los dos tiempos mínimos de los máximos al ser sumados determinan un límite inferior mayor al tiempo de ciclo. Por lo tanto no se puede aplicar el B&B. Adicionalmente se observa que los tiempos de las tareas están tan ajustados a los tiempos de ciclo que no permite generar una propuesta diferente a la de Nicole.
- En el trabajo se tomó la decisión de resolver el problema con una eficiencia del 75% tal como se lo exigen al personal de Nicole. Al reducir los tiempos de las tareas al 75% desaparece la necesidad de las estaciones en

paralelo, pero el problema en estas condiciones permite la aplicación de la metodología del B&B obteniendo los siguientes resultados en la agrupación de las tareas:

$S_1 = \{7, 2\}$, $S_2 = \{1, 3\}$, $S_3 = \{4, 8\}$, $S_4 = \{5\}$, $S_5 = \{6\}$, $S_6 = \{9\}$, $S_7 = \{10\}$, $S_8 = \{11\}$ y $S_9 = \{12\}$.

- Al realizar un balanceo de línea, además de tenerse en cuenta los resultados de los modelos matemáticos aplicados, se deben incorporar variables de tipo cualitativo tales como las habilidades y destrezas de los operarios para realizar ciertas tareas, el trabajo en equipo, el diseño del puesto del trabajo.

10 RECOMENDACIONES

Resolver el problema con otros modelos incluyendo en estos otras variables que afectan el balanceo de línea como la experiencia del operario, el diseño del puesto de trabajo, los costos entre otras.

11 BIBLIOGRAFÍA

<http://www.gestiondeoperaciones.net/programacion-entera/ejemplo-del-algoritmo-de-branch-and-bound-ramificacion-y-acotamiento/>

Yunus Ege, Meral Azizoglu, Nur E. Ozdemirel, Assembly line balancing with station paralleling. Computers and Industrial Engineering, Journal homepage:www.elsevier.com/locate/caie.

Capacho Betancour Liliana, Pastor Moreno Rafael Pastor, Generacion de secuencias de montajes y equilibrado de líneas, Universitat politécnica de Catalunya, abril de 2004.

Heidy Patricia Mejía Ávila Heidy Patricia, Minimización de los costos totales en el problema de balanceo de línea con ciclo variable y estaciones en paralelo, Universidad de Puerto Rico recinto de Mayagüez, Julio de 2005.

Póveda Zapata Javier Andrés, Florez Hurtado Carlos Hernando, Aplicación de algunos métodos exactos y heurísticos para resolver el problema de balanceo de línea simple, Universidad Tecnológica de Pereira, 2009.

Amen, M., An exact method for cost-oriented assembly line balancing. International Journal of Production Economics. Vol 64. P. 187-195. 2000.

Askin R., Zhou, M., A parallel station heuristic for the mixed-model production line balancing problem. International Journal of Production Research. Vol 35 (11). P. 3095-3105. 1997.

Bard, J. F., Assembly line balancing with parallel workstations and dead time. International Journal of Production Research. Vol 27. P. 1005-1018. 1989.

Bukchin, J., Rubinovitz, J., A weighted approach for assembly line desing with station paralleling and equipment selection. IIE Transactions. Vol 35. P. 01-13. 2002. [8] Buxey, G. M., Assembly line balancing with multiple stations. Management Science. Vol 20. P. 1010-1021. 1974

Scholl, A., Becker, C., State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing. Jenaer Schriften Zur Wirtschaftswissenschaft 20/03, FSU Jena. 2003.

Scholl, A., Klein R., ULINO: Optimally balancing U-shaped JIT assembly lines. International Journal of Production Research. Vol 37 (4). P. 721-736. 1998.

Pinto, P.A., Dannenbring, D.G., Khumawala, B.M., A branch and bound algorithm for assembly line balancing with paralleling. International Journal of Production Research. Vol 13. P. 183-196. 1975.

Vilarinho, P., Simaria, S., A two-stage heuristic method for balancing mixed-model assembly lines with parallel workstations. International Journal of Production Research. Vol 40 (6). P. 1405-1420. 2002.

<http://elvex.ugr.es/decsai/algorithms/slides/5%20Branch%20and%20Bound.pdf>

VALENTINA RESTREPO D. 2012. manual de procesos y procedimientos de las actividades desarrolladas en auditoría y control interno de C.i Nicole S.A.S. Tesis, Administración de empresas, Pereira, UCPR, facultad de ciencias económicas y administrativas, 117 p.

ROBERET KLEIN, ARMIN SCHOLL, maximizing the production rate in simple assembly line balancing – A Branch and Bound procedure - European Journal of Operational Research 91(1996) 367-385.

SIMON FRENCH, B.A, M.A.D. PHIL, sequencing and scheduling an introduction to the mathematics of the Job-Shop. Department of decision theory University of Manchester. 1982, pag

