



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO.**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN.**

**FACTORES A CONSIDERAR EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE
PRODUCCIÓN.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A:

ALFREDO VARGAS DÍAZ

DIRECTOR DE TESIS: ING. MARCOS BELISARIO GONZÁLEZ LORIA

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO. 2006



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS.

A LA UNIVERSIDAD.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y en especial a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, por haberme permitido ser alumno de esta noble institución y permitirme ahora, formar parte del grupo de profesionistas de este país.

A MIS PADRES.

Al Sr. Antonio Vargas Dávila y la Sra. Ma. Eduarda Díaz Martínez, Porque sólo la superación de mis ideales me han permitido comprender cada día más la difícil posición de ser padres mis conceptos mis valores morales y mi superación se las debo a ustedes, esto será la mejor de las herencias, lo reconozco y lo agradeceré eternamente. En adelante pondré en práctica mis conocimientos y el lugar que en mi mente ocuparon los libros, ahora será de ustedes, esto por todo el tiempo que les robe pensando en mí. Gracias.

A MI HERMANA Y MIS HERMANOS.

Ma. Mireya, Emanuel, Martín y Juan Miguel por estar siempre a mi lado en los buenos y malos momentos que hemos pasado mostrando siempre su afecto y cariño.

A MI ASESOR.

Ing. Marcos Belisario González Loria, por la confianza en mí y el tiempo dedicado a este trabajo, por todas las enseñanzas y consejos. Siempre le estaré agradecido.

No hay nada más gratificante
que la sensación de un trabajo
concluido y una meta más alcanzada.

ÍNDICE

Introducción	1
Problemática	2
Objetivo	3
Justificación	4

CAPÍTULO I. “ANTECEDENTES GENERALES DE BALANCEO DE LINEAS DE PRODUCCIÓN”.

1.1	Líneas de producción.	6
1.1.1	Balanceo de líneas de producción.	7
1.1.2	Información necesaria para el balanceo de líneas de ensamblaje.	8
1.1.2.1	Tasa o ritmo de la planta y el tiempo takt.	9
1.1.2.2	Cálculo del ritmo de la planta.	9
1.1.2.3	Tiempo estándar elemental.	11
1.1.2.4	Balanceo de líneas de producción considerando la demanda.	12
1.1.3	Objetivo del balanceo de líneas de producción.	13
1.2	Línea de ensamblaje.	15
1.2.1	Clasificación de las Líneas de Ensamblaje por el Tipo de Producto.	19
1.2.1.1	Líneas de ensamblaje para un producto.	19
1.2.1.2	Líneas de ensamblaje para la mezcla de productos.	20
1.2.1.3	Línea de ensamblaje para multi-producto.	20
1.2.2	Clasificación de las Líneas de Ensamblaje en Función del Flujo del Producto.	22
1.2.2.1	Línea de Ensamblaje con Despliegue Lineal.	23
1.2.2.2	Línea de Ensamblaje con Estaciones en Forma de “U”.	24
1.2.2.3	Línea de Ensamblaje con Estaciones en Paralelo.	25

1.2.3	Balanceo de líneas ensamblaje paralelas.	26
-------	--	----

CAPÍTULO II. “FACTORES MATERIALES EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN”.

2.1	Procesos productivos y como intervienen en el balanceo de líneas de producción.	29
2.1.1	Tipos de procesos productivos, sus ventajas y desventajas.	29
2.1.2	Proceso productivo en línea o por producto.	30
2.1.3	Proceso productivo intermitente. (job shop).	32
2.1.4	Procesos productivos multi-modelo (batch shop).	34
2.1.5	Procesos productivos de mezclar-modelo.	35
2.2	Las diferentes distribuciones de planta y como intervienen en el balanceo de líneas de producción.	36
2.2.2	Distribución por proceso (distribución job shop o distribución funcional).	37
2.2.3	Distribución por producto (distribución flow shop).	38
2.2.4	Distribución por posición fija.	41
2.2.5	Distribución celular (basada en la tecnología de grupo GT).	42
2.3	Restricciones.	44
2.3.2	Asignación de restricciones.	45

CAPÍTULO III. “EL FACTOR HUMANO EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN”.

3.1	Aspectos y factores humanos a considerar para el balanceo de líneas de producción.	49
3.1.1	El aspecto psicológico en el balanceo de línea.	50
3.1.1.1	Incremento de trabajo.	50
3.1.1.2	Desarrollando interacciones entre las tareas.	51
3.1.1.3	Participación del trabajador en el diseño del contenido del trabajo.	52
3.1.1.4	Enfrentando las necesidades sociales de los trabajadores.	52
3.1.1.5	Satisfacer las necesidades del ego de los* trabajadores.	53
3.2	El aspecto físico en el balanceo de línea.	54
3.2.1	Aspecto físico de las instalaciones.	54
3.2.1.1	La temperatura.	55
3.2.1.2	El ruido.	56
3.2.1.3	La iluminación.	56
3.2.1.4	El color.	57
3.3	El aspecto físico del trabajador	58
3.3.1	La fatiga del trabajador en el balanceo de la línea.	59
3.3.2	Merms en los trabajadores a causa de las medidas de seguridad.	60
3.4	El hombre y la máquina en el balanceo de la línea.	60
3.4.1	La adaptación de la máquina al hombre.	61
3.5	Curva de aprendizaje.	63
3.6	Tiempos de las tareas (task time) estocásticos.	65

CAPÍTULO IV. “MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN”.

4.1	Métodos para solución del problema de líneas de ensamblaje.	68
4.1.1	Método de helgeson & birnie.	69
4.1.1.1	Descripción y aplicación del método.	69
4.1.2	Método heurístico basado en reglas de asignación.	75
4.1.2.1	Descripción y aplicación del método.	75
4.1.2.2	Reglas de asignación	77
4.2.0	Software.	86
4.2.1	Flexible line Balancing V. 3	88
4.2.1.1	Descripción del software y aplicación.	89
	Resumen	97
	Conclusiones.	99
	Anexos.	101
	Anexo A. Modelo de programación lineal entera para el balanceo de una línea de ensamblaje.	101
	Anexo B. COMSOAL “Computer Method for Sequencing Operations for Assembly Lines”	115
	Glosario de Términos Técnicos.	117
	Bibliografía.	120

Resumen.

En la actualidad el tener balanceadas líneas de producción es muy importante ya que es ahí donde se va a definir si se es eficiente en la producción, ya que un mal balanceo de línea podría reflejarse en baja productividad, y que la empresa no este logrando sus objetivos, muchas veces tener balanceada la línea de producción no solo depende de aplicar la regla o el método clásico que se enseña en la escuela, depende de muchas variables, que están involucradas directa e indirectamente con el problema, variables como el tipo de proceso productivo que se tenga en la planta, la distribución de la planta, los medios de transporte, de la forma en que el trabajador se adapte a las condiciones de la planta, de la curva de aprendizaje del trabajador.

Debido a estas razones podemos encontrar que el balanceo de línea que se esta realizando no es eficiente. Porque de alguna forma no se conocen todas las variables que intervienen en el proceso productivo, o simplemente no se esta aplicando el método más conveniente, o si se usa algún software para realizar el balanceo de la línea, simplemente no se sabe como trabaja, es decir genera resultados, pero desconocemos el algoritmo base mediante el cual ese software llega a una solución.

El problema de balanceo de líneas de producción es conocido en una forma más académica como problema de balanceo de líneas de ensamble o "Assemble Line Balancing Problem" (ALBP). Puede ser enunciado como el típico sistema de producción de flujo en línea o "flow-line", diseñado para la industria de la producción de altas cantidades estandarizadas de artículos.

Consiste de un número de estaciones de trabajo, arregladas a lo largo de una banda transportadora, o cualquier otro dispositivo mecánico donde las piezas de trabajo son colocadas consecutivamente, estas a su vez son

transportadas por los dispositivos antes mencionados de una estación de trabajo a otra, donde se le van haciendo una o varias tareas, necesarias para la manufactura final del producto. El problema de asignar varias tareas entre las estaciones de trabajo con respecto a alguna función objetivo es llamado problema de balanceo de líneas de ensamblaje.

Con el fin de presentar el problema del balanceo de líneas se presentan los siguientes cuatro capítulos. En el capítulo I se realiza un análisis de los antecedentes del balanceo de líneas. En el capítulo II, se realiza un análisis de los factores materiales que intervienen en el balanceo de las líneas de producción. En el capítulo III, se realiza un análisis de los factores humanos que intervienen directa e indirectamente en el balanceo de líneas de producción. En el capítulo IV se presentan las técnicas y métodos usados usualmente en la literatura para el balanceo de líneas de producción, así mismo se realizan corridas en software actual que toma en cuenta estos factores y que usa el algoritmo matemático más eficiente para el tipo de problema en cuestión.

INTRODUCCIÓN.

En la actualidad el tener balanceadas las líneas de producción es muy importante ya que es ahí donde se va a definir si se es eficiente en la producción, un mal balanceo de línea podría reflejarse en baja productividad, y que la empresa no este logrando sus objetivos.

El ingeniero industrial tiene el problema de balancear las líneas de producción, con el fin de ser lo más productivo que se pueda. Con este fin se propone la siguiente tesis, donde se realiza un análisis de los factores que intervienen directa e indirectamente en el balanceo de líneas de producción, de la misma forma se hará un análisis de los métodos que generalmente es considerado en la literatura para el balanceo de líneas y el software que pueda ayudar a realizar esta tarea.

Primero que todo se realiza una investigación para definir ampliamente todos y cada uno de los conceptos que intervienen en el balanceo de líneas de producción, se da solución a ejemplos reales de la industria con los métodos mas utilizados, además de ejecutar corridas en los software mas recientes con el fin de averiguar cual es el mas conveniente para cada tipo de empresa tomando en cuenta los factores analizados en esta tesis.

Con el fin de lograr la mejor de las eficiencias en las plantas de producción, se propone realizar un análisis de los factores que intervienen directa o indirectamente en el balanceo de líneas de producción, con ayuda de conocimientos adquiridos recientemente con respecto al tema y considerando que no hay investigaciones similares.

PROBLEMÁTICA.

En el mundo actual en el que se vive es difícil imaginar la flexibilidad que tienen los sistemas productivos más eficientes, tanto que sería difícil entender como funcionan a simple vista, es decir, se ve como funciona, las piezas que produce, los problemas y restricciones que tiene, etc., pero en realidad un simple vistazo no revela nada, ni siquiera imaginamos todo el personal que está detrás para que una línea de producción funcione eficientemente, ni como fue posible lograr el balanceo adecuado, o peor aun si este balanceo es el más eficiente. Es decir, una de las misiones más importantes del ingeniero industrial es lograr la mejor de las eficiencias, pero en la mayoría de las empresas, ya sean maquiladoras, manufactureras, etc. Algunas veces al ingeniero industrial se le recomienda realizar el balanceo de línea mediante algún software que ya se tienen, o uno que les recomendaron anteriormente, o en el caso de pequeñas y medianas empresas, donde no es necesario el uso de algún software para balancear las líneas de producción, se hace manualmente. Esto implica que el ingeniero industrial aplique los métodos aprendidos durante su carrera, que son métodos generales, tales como el método de solución por numeración exhaustiva de J. R. Jackson, la técnica de ponderación por rango poblacional de W. B. Helgeson y D. P. Birnie, el método heurístico basado en reglas de asignación, método de Kibridge y Wester, en el mundo actual en cualquier situación es ambiguo aplicar este tipo de métodos sin hacer un estudio previo de los factores que están directa e indirectamente involucrados o solo meter los datos en algún software sin conocer la plataforma del algoritmo, es decir, como trabaja el software ya que actualmente existen métodos que toman en cuenta estos factores, así como software que nos brindan estas opciones.

Este trabajo se va a enfocar principalmente a los diversos factores que están involucrados en el balanceo de líneas de ensamblaje, con la finalidad de poder dar al lector, una idea de como estos factores afectan el balanceo de la línea. Si se quiere profundizar en los diversos tipos de problemas de balanceo de líneas de ensamblaje puede consultar la tesis de Análisis del problema de Balanceo de líneas de Ensamblaje, realizada por un servidor y con la Dirección de tesis de la Dra. Mayra Cortes Elizondo, para obtener el título de M en I.

OBJETIVO.

El objetivo principal de esta investigación es dar a conocer todos los factores que intervienen directa e indirectamente en el balanceo de líneas de producción, así como identificar como se afecta el rendimiento del balanceo sin realizar estas consideraciones. Ya que en las empresas generalmente se contratan consultores externos para que lleven a cabo este trabajo, les será de mucha utilidad tomar en cuenta estos factores ya que si solo aplican el mejor de los software, sin considerar estos factores, la eficiencia del balanceo de la línea no seria la mejor que pueda obtenerse.

El problema de balancear una línea de ensamblaje, ha atraído la atención de investigadores y practicantes de investigación de operaciones desde hace medio siglo, esto en países como Estados Unidos, Rusia, Francia, Australia. Donde se han desarrollado la mayoría de las investigaciones y publicaciones de este problema. Se hace mención de esto ya que en México no se tiene ninguna investigación, o una área de investigación como se tienen en otros países, lo cual abre un campo de estudio para que los egresados de ingeniería industrial los aborden en Maestrías afines, como la Maestría en Sistemas (Investigación de operaciones), la Maestría en

Ingeniería Industrial, donde actualmente no se tienen contemplados en los planes de estudio, pero dan al estudiante herramientas para poder abordar este tipo de problemas, tales como la Programación Lineal (Entera, Dinámica y Mixta) que son las bases para poder desarrollar modelos matemáticos que ayuden a balancear de forma mas eficiente este tipo de problemas.

También se tiene como objetivo dar a conocer el alcance de este tipo de problemas en las Facultades de Ingeniería, ya que es ahí donde se dan las bases de lo que es la programación lineal, con la finalidad de que el alumno conozca el campo de estudio de estos problemas, que aún en la actualidad son un campo de estudio relativamente nuevo.

JUSTIFICACIÓN.

El simple hecho de que no se conozca casi nada del problema de balanceo de líneas de producción a nivel científico en México, y menos de los factores que están directa o indirectamente relacionados a este problema impide por decirlo de alguna forma realizar un balanceo de línea eficiente, o simplemente darse cuenta de cómo se puede lograr una mejor eficiencia en la línea, y si se piensa en las repercusiones que traería tener una línea balanceada al 70%, pudiendo tenerla al 90% si se consideran algunos factores, que se mencionan en esta investigación.

Por lo que se supone un aporte a la investigación en el sentido de dar a conocer este tipo de problemas y sus factores a considerar, en instituciones que tienen una relación directa con el problema, por mencionar, ingeniería industrial, donde es importante que se tengan los cimientos, para una vez que concluya el alumno sus estudios tenga la visión de en que instituciones

podría seguir desarrollando este tipo de problemas con un nivel de complejidad superior, es decir a nivel posgrado, en maestrías como Ingeniería Industrial, o la maestría en el campo disciplinario de Investigación de Operaciones, con el fin de que se atraiga el interés de investigadores mexicanos en este campo. Ya que las investigaciones que se están realizando para este problema son relativamente nuevas, por lo que hay aún mucho que aportar para este problema.

CONCEPTOS GENERALES DE BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

1.1 Líneas de producción.

El trabajo que se realiza en planta, o piso como generalmente lo llaman los Ingenieros Industriales, particularmente en el departamento de producción, donde se lleva acabo la transformación de las materias primas en partes que conformaran el producto, esto mediante maquinaria, equipo, etc. Es decir, los equipos y maquinaria que participan en la transformación de la materia prima, forman parte de la línea de producción, o proceso productivo.

Se puede definir que la distinta maquinaria y equipo que toma parte dentro de un proceso productivo, integra lo que se conoce como línea de producción.

La instalación de una línea de producción 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, mantener el sistema funcionando en forma óptima, desde el punto de vista de laboral y flujo de producto, requiere rebalancear periódicamente la línea para incorporar cambios en la demanda o en el proceso de producción. Debido al efecto a largo plazo de las decisiones de balanceo, los objetivos usados deben ser cuidadosamente seleccionados considerando las metas estratégicas de la empresa.

CAPÍTULO I. CONCEPTOS GENERALES DE BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

Desde el punto de vista económico, los costos y beneficios relacionados con los objetivos deben ser considerados. El proceso de estimación y predicción de los costos de correr una línea en meses o años y las ganancias esperadas de la venta de los productos ensamblados es muy complicado y hay tendencia a cometer errores.¹

1.1.1 Balanceo de líneas de producción.

Uno de los problemas más importantes que se tiene dentro de la manufactura, es el de asegurar un flujo continuo y uniforme de los productos a través de los diferentes procesos dentro de la planta. Esto es debido a que los tiempos de operación por parte de las personas, es variable según un sin número de factores, como lo son el cansancio, la curva de rendimiento, el nivel de aprendizaje, dificultad de la operación, temperatura, etc. Además de la mano de obra, se cuenta con recursos que pueden limitar en un momento dado la producción como son; las máquinas, materiales, insumos, etc. Hallar la distribución de la capacidad de manera de minimizar este problema es lo que se conoce como Balanceo de Línea.

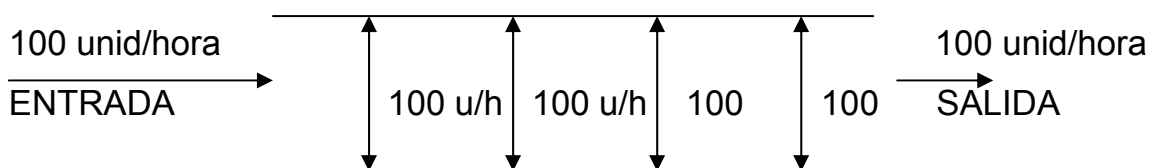


Figura 1: Esquema de balanceo de línea.

Como se puede apreciar en la figura 1, se tiene un esquema que se asemeja a una tubería con un caudal de entrada y uno igual de salida. En cada etapa (operación) del proceso debe existir la misma capacidad de procesamiento para lograr el balanceo.

¹ Becker, C., Scholl, A., A survey on problems and methods in generalizad assembly line balancing. Jenaer Schriften Zur Wirtschaftswissenschaft 21/03, FSU Jena. 2003. 1

CAPÍTULO I. CONCEPTOS GENERALES DE BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

Vamos a citar un ejemplo en el que un ingeniero industrial es el responsable del proceso productivo de una planta manufacturera, y en algunas partes los operarios se encuentran trabajando a todo vapor, mientras que algunos en operaciones subsecuentes se encuentran en tiempo ocioso o trabajando a mitad de marcha, aquí hay un problema; la planta está desbalanceada.

1.1.2 Información necesaria para el balanceo de líneas de ensamblaje.

Las técnicas de balanceo deben basarse en los hechos constatados:

1. Planos y material de ingeniería del producto, que indican que hay que hacer.
2. Los volúmenes requeridos (programas) por comercialización o control de la producción nos dan la cantidad. A partir de estos datos se establece el ritmo de la planta (valor R) y el tiempo takt de la planta.
3. Los estándares de tiempo elementales de ingeniería industrial señalan cuanto tarda cada tarea en ser desarrollada.

1.1.2.1 Tasa o ritmo de la planta y el tiempo takt.

La tasa o ritmo de la planta (valor R) y el tiempo takt le indican al ingeniero industrial a que velocidad debe operar la planta para satisfacer la demanda del cliente. Todas las máquinas y operaciones de la planta se sincronizan con este ritmo; asimismo, las piezas deben ser suministradas a la misma velocidad con que la línea de ensamblaje las utiliza. Takt es una expresión alemana que aquí designa el tiempo disponible de producción dividido entre

CAPÍTULO I. CONCEPTOS GENERALES DE BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

la demanda del cliente. Si los clientes demandan 120 unidades por día y trabajaremos 480 minutos diarios, el tiempo takt será de 4 minutos. Es necesario que produzcamos una pieza cada 4 minutos y cada estación de trabajo tiene que suministrar las piezas a ese ritmo. El valor R es similar, pero se factoriza para considerar estándares de tiempo, porcentajes de desempeño y tolerancias. Un R de 0.250 minutos del tiempo del ciclo significa que un producto terminado debe salir de la línea de ensamblaje cada 0.250 minutos o, de lo contrario la planta no fabricará las cantidades suficientes de cada producto. Todas las demás máquinas y la operación de la planta deben producir una pieza cada 0.250 minutos (cuatro piezas por minuto) para no atrasarse. Si para el ensamblaje necesitan 2 piezas (por ejemplo ruedas de bicicleta) el valor R de tales piezas deberá ser de 0.125 minutos.

Si se trata de una máquina de fabricación, sumariamos todas las fracciones de las estaciones de trabajo, redondearíamos al entero siguiente y compraríamos o fabricaríamos ese número de estaciones de trabajo. En cambio, en una línea de ensamblaje tendríamos que redondear de inmediato al entero superior y poner dos estaciones de trabajo.

1.1.2.2 Cálculo del ritmo de la planta.

El balanceo de las líneas de ensamblaje se inicia con el cálculo del ritmo de la planta. Antes de iniciar se requiere información de otras fuentes.

1. Los datos sobre el volumen de producción (por ejemplo 1500 por turno) provienen de comercialización o de la gerencia de mercadeo y determina cuantas unidades puede vender la empresa. El departamento de control de inventarios de la producción calcula la

CAPÍTULO I. CONCEPTOS GENERALES DE BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

velocidad de fabricación. Factores como temporada, costos de almacenamiento, costos de capacitación y de manufactura forman parte de la determinación del volumen de producción. El ingeniero industrial no puede hacer nada en cuanto a la disposición física de la planta o al balanceo sin una estimación del volumen de la producción; por lo demás, no es una buena fuente de información comercial.

2. Las tolerancias de la planta promedio son del 10%. Durante el día, la planta estará parada 48 minutos, es decir el 10%. No podemos creer que vamos a producir todos los minutos de todos los días. Cuando la línea de ensamblaje se detiene por algún operador, todos los operadores se paran.
3. Hay que prever el grado de eficiencia. La experiencia muestra cuanto promedia nuestra tasa de eficiencia generalmente el primer año, las plantas de producción operan al 70% del estándar, normalmente se esperaría 85% al continuar las operaciones. Si el ingeniero industrial diseña una planta para trabajar el 100%, las probabilidades de que se cumpla con esa meta son muy pocas. Así, el ingeniero que no haya preparado a la gerencia para que se forme expectativas razonables haría mejor en buscar otro empleo. Los estándares se establecen en el 100%, pero la producción en el primer año solamente promedia el 70% mientras que al continuar la producción en el segundo año se espera un desempeño del 85%. Si debemos entregar 2000 unidades al día y no el 85% de 2000. Los cálculos del ritmo de la planta son los siguientes:

CAPÍTULO I. CONCEPTOS GENERALES DE BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

480 min./turno (8 horas * 60 minutos por hora)

-48 minutos de tiempo perdido (10% de tolerancia la planta).

= 432 minutos disponibles.

* 75% (Desempeño previsto para el primer año)

=324 minutos efectivos/turno.

÷ 1500 Unidades/turno (producción necesaria)

= R valor = 0.216 minutos/unidad (ritmo de la planta, es decir tiempo takt)

4.63 Unidades/minuto (un minuto ÷ 0.216 minutos/unidad)

Para comprobar lo antes calculado, se hace:

4.63 unidades/minuto * 432 minutos/turno a 75% = 1500 unidades por turno.

1.1.2.3 Tiempo estándar elemental.

Los estándares de tiempo para cada parte o componente deber calcularse antes de combinar las partes (elementos) en trabajo. Al diseñar una nueva línea de producción, estos tiempos se pueden calcular con el PTSS o datos estándar. Con un valor R de 0.216, el ingeniero industrial combinara estos elementos en trabajos que tendrán tiempos tan cercanos como sea posible a múltiplos de 0.216 minutos (0.216, 0.432, 0.648y, el mas alto 0.864). Por lo común, debido a problemas de disposición física de la línea, cuatro operadores que hacen un mismo trabajo forman el grupo más grande. Más de cuatro operadores que tratan de recibir partes de una sola fuente y de enviar las piezas completas a otra fuente generan movimientos muy complicados para el inventario.

1.1.2.4 Balanceo de líneas de producción considerando la demanda.

En este trabajo, orientado a mostrar los factores que deben ser considerados al realizar el balanceo de líneas de producción, se parte del hecho de que la empresa contratante proporciona la demanda de los productos, es decir, la cantidad de productos que ellos requieren producir para satisfacer las necesidades del cliente. Con el fin de enriquecer el trabajo, haremos algunas suposiciones que continuación mencionamos.

- Si la empresa contratante dice que tiene un desbalanceo en sus líneas de producción, debido a que no satisface la demanda del cliente en cuanto al número de productos.
- Si la empresa contratante tiene una demanda igual al número de productos que produce.
- Si la empresa contratante tiene una demanda inferior al número de productos que produce.

En los tres casos anteriores se iniciaría calculando la tasa o ritmo de la planta (valor R) y el tiempo takt que indica al ingeniero industrial a que velocidad debe operar la planta para satisfacer la demanda del cliente, tomando en cuenta la cantidad de inventario conveniente para la empresa, con el fin de que no se tenga un caso como el segundo, donde se tiene una demanda igual al número de productos producidos. Por otra parte si se presenta la circunstancia del tercer caso, suponiendo que se tiene capacidad instalada superior a la demanda del cliente, podríamos incursionar en un nuevo producto, o dar al producto un valor agregado, que se refleje en ganancias para la empresa.

1.1.3 Objetivo del balanceo de líneas de producción.

El balanceo de líneas es la parte principal de la producción en masa. Ese tipo de sistemas a pesar de que son diferentes en detalles al inicio, son estaciones de trabajo en secuencia. El flujo de materiales es incluido en el comienzo de la línea, o en medio. Incluye partes en el sistema transferibles de una estación a través de otras y al final el sistema deja un producto terminado.

Los objetivos que deben ser alcanzados para balancear una línea de ensamblaje son los siguientes.

- Regular el flujo de materiales.
- Maximizar el uso de la mano de obra y la capacidad de las máquinas.
- Minimizar el tiempo del proceso.
- Minimizar los tiempos muertos.
- Minimizar las estaciones de trabajo.
- Distribuir el tiempo ocioso a las estaciones de trabajo.
- Reducir los costos 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.² Por ejemplo, la eficiencia de labor es la relación entre la sumatoria de los estándares de labor de todas las tareas en la línea y la multiplicación del número de

² Miralles, C., Capó, J., García J.P., Andrés, C., Equilibrado de líneas de montaje considerando variables los tiempos de operación y las habilidades de los operarios. Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa. 2003.

CAPÍTULO I. CONCEPTOS GENERALES DE BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

estaciones por el tiempo de ciclo. La eficiencia teórica o esperada de un balanceo de línea se determina utilizando la ecuación 1.1:

$$\text{Eficiencia del Balanceo (EB)} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Tiempo de la tarea } i}{m \times C} \quad (1.1)$$

Donde;

n = número total de tareas en la línea.

m = número de estaciones de trabajo, presumiendo un empleado por estación.

C = 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 solo 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 1.2

$$C = \frac{(\text{Minutos / Turno})(\text{Turnos / Día})}{\text{Demanda Esperada por Día}} \quad (1.2)$$

El porcentaje de ociosidad en la línea se determina utilizando la ecuación 1.3

$$\% \text{ Ociosidad} = 1 - \% \text{ EB} \quad (1.3)$$

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 (EL) se mide utilizando la ecuación 1.4

$$\% \text{ EL} = \frac{\text{Hrs Ganadas}}{\text{Hrs Pagadas}} = \frac{\text{Unidades Producidas}(\text{Estándar de Labor / Unidad})}{\text{Horas Pagadas}} \quad (1.4)$$

CAPÍTULO I. CONCEPTOS GENERALES DE BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

Donde;

%EL = Porcentaje de eficiencia en la labor.

Estándar de Labor/Unidad = $\sum_{i=1}^n$ Tiempo de la tarea i

El número mínimo de estaciones de trabajo requeridas para cumplir con una demanda en particular se determinan utilizando la ecuación 1.5.

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Tiempo de la tarea } i}{C} \quad (1.5)$$

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:

$$\frac{C_i}{NE_i} \leq C \quad (1.6)$$

Donde;

C_i = Carga de trabajo de la estación i.

C = Tiempo de ciclo de la línea de producción.

NE_i = Número de empleados trabajando en paralelo en la estación i.

1.2 Línea de ensamblaje.

Una línea de ensamblaje es el típico sistema de producción de flujo en línea, diseñado para la industria de la producción de altas cantidades estandarizadas de artículos, es el ejemplo de líneas de producción más complejo, en el que se basan la mayoría de las investigaciones hechas hasta hoy, esto debido a que si es eficiente para un sistema complejo lo

CAPÍTULO I. CONCEPTOS GENERALES DE BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

será para líneas de producción simples. Consiste de un número de estaciones de trabajo, arregladas a lo largo de una banda transportadora, o cualquier otro dispositivo mecánico donde las piezas de trabajo son colocadas consecutivamente, estas a su vez son transportadas por los dispositivos antes mencionados de una estación de trabajo a otra, donde se le van haciendo una o varias tareas, necesarias para la manufactura final del producto. Una tarea consiste en un conjunto de elementos básicos e indivisibles en forma lógica. El problema de asignar varias tareas entre las estaciones de trabajo con respecto a alguna función objetivo es llamado problema de balanceo de líneas de ensamble o “Assemble Line Balancing Problem” (ALBP). En la Figura 2 se describe la estructura de las operaciones en una línea de ensamble.

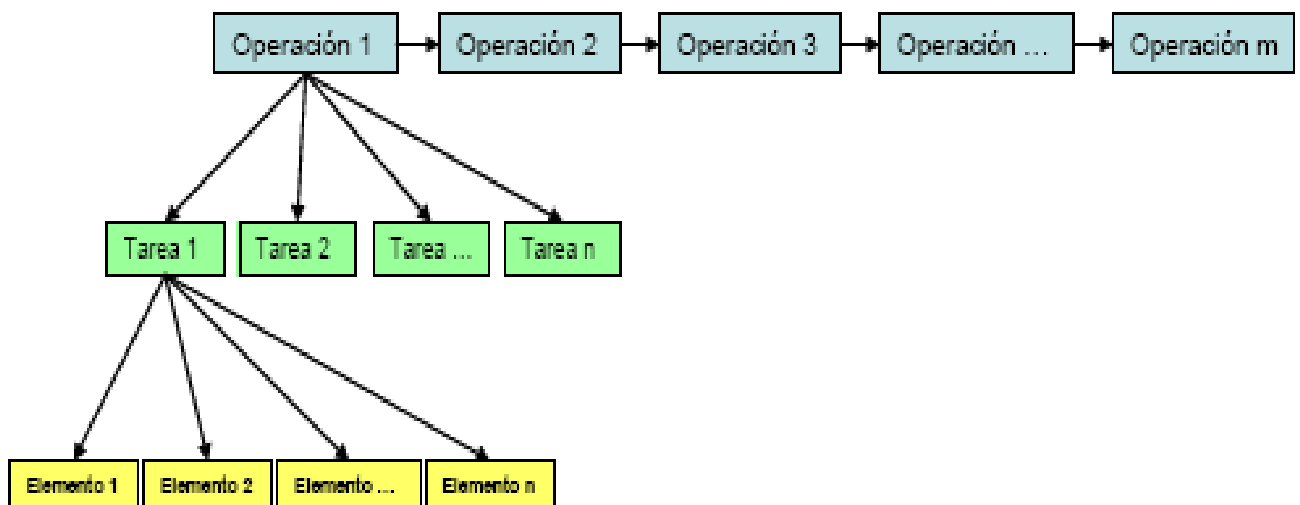


Figura 2. Estructura de las Operaciones en la Línea de Ensamblaje.

Por ejemplo, al trabajar con una máquina se consideran elementos de carga, tiempo de máquina y tiempo de descarga, como el conjunto indivisible que compone la tarea de procesar la pieza en la máquina. Otras tareas relacionadas con esta operación pueden ser la preparación de las piezas antes de colocarlas en la máquina y la inspección de las piezas luego de ser procesada.

CAPÍTULO I. CONCEPTOS GENERALES DE BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

El orden en el cual se llevan a cabo las diferentes tareas es en función de restricciones de precedencia debido a las características del producto. Uno de los retos en el proceso de balanceo de línea es la definición de las tareas y sus precedencias. Tareas con larga duración resultan con menor flexibilidad durante el proceso de balancear las cargas de trabajo y de reducir la ociosidad en las estaciones de trabajo.

El proceso de definir las precedencias de las tareas requiere del conocimiento vasto de las características de los procesos de manufactura y de las operaciones en la línea. Con frecuencia se establecen restricciones de precedencia impuestas solo por el modo acostumbrado de llevar a cabo las tareas. El resultado final es una reducción en la flexibilidad del proceso de balanceo de cargas de trabajo. El problema de balanceo de línea tradicional consiste en la asignación oportuna de las tareas a las estaciones de trabajo de manera que se optimicen los recursos disponibles. Cada tarea tiene una duración requerida para ser completada y asociada a ellas tienen unas restricciones de precedencia. Las restricciones de precedencia se refieren a que cada tarea puede ser asignada solo después de que todas sus tareas predecesoras han sido asignadas a estaciones previas. El conjunto de tareas asignadas a una estación constituye la carga de trabajo de la estación. El tiempo acumulado de las tareas es llamado tiempo de estación. Un balanceo de línea es factible solo si el tiempo de las estaciones no excede el tiempo de ciclo de la línea. En aquellos casos donde el tiempo de la estación resulte ser más pequeño que el tiempo de ciclo, la estación tiene un tiempo de ocio. Este es el resultado de la diferencia entre el tiempo de ciclo y el tiempo de la estación, como se puede observar en la siguiente ecuación.

$$TO_k = C - T(Sk), \quad \forall k \quad (1.7)$$

Donde;

K = Número de la estación.

CAPÍTULO I. CONCEPTOS GENERALES DE BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

TO_k = Tiempo de ocio de la estación k.

C = Tiempo de ciclo de la línea.

T (Sk)= Carga de trabajo (unidades de tiempo) asignada a la estación k.

Sk= Conjunto de tareas asignadas a la estación k.

$T(S_k) \leq C$ Restricción en la carga de trabajo.

Diversas versiones del problema han surgido de la variación de los objetivos como se muestra en la Tabla 1.

Versión	Tiempo de ciclo	Número de Estaciones
SALBP-F	Fijo	Fijo
SALBP-1	Fijo	Mínimo
SALBP-2	Mínimo	Fijo
SALBP-E	Mínimo	Mínimo

Tabla 1 Versiones de SALBP.³

- El problema de balanceo de línea simple tipo F (SALBP-F) tiene como objetivo obtener una solución factible para una combinación determinada de número de estaciones y tiempo de ciclo.
- Las versiones SALBP-1 y SALBP-2 tienen una interrelación dual debido a que la primera versión se esfuerza por minimizar el número de estaciones con el tiempo de ciclo fijo, mientras la segunda versión minimiza el tiempo de ciclo para un determinado número de estaciones de trabajo. Esta segunda versión busca maximizar el nivel de producción de la línea.

³ Extraído de: 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. 2003a.

- La versión SALBP-E es el problema más general donde se maximiza la eficiencia de la línea mientras que simultáneamente se minimizan el tiempo de ciclo y el número de estaciones de trabajo.

En las últimas tres décadas, nuevas metodologías han sido desarrolladas con el propósito de obtener mejores soluciones del problema de balanceo de línea. Las líneas de ensamblaje se pueden clasificar según el tipo de producto o el flujo del producto. A continuación se describen las principales características de cada una de ellas.

1.2.1 Clasificación de las Líneas de Ensamblaje por Tipo de Producto.

Las líneas de ensamblaje típicamente se clasifican de acuerdo a la variedad de productos que se fabrican en la línea. Los diferentes tipos de líneas se muestran a continuación.

1.2.1.1 Líneas de ensamblaje para un producto.

El caso 1 presentado en la Figura 3a, se caracteriza por la producción en masa de un solo producto o una familia de productos con diferencias mínimas entre los modelos de la familia. Los volúmenes de producción justifican la alta inversión en maquinaria y resultan en bajos costos de producción por unidad. Debido a que la línea es dedicada a un solo producto, los operadores desarrollan un alto grado de especialidad resultando en productos de calidad constante. Los tiempos de preparación para correr la línea son mínimos o insignificantes y la secuenciación de productos no es un aspecto relevante. El flujo del producto es lineal y el

CAPÍTULO I. CONCEPTOS GENERALES DE BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

balanceo de línea se altera solo para ajustarse a cambios en la demanda de los productos.



Figura 3a. Línea de ensamblaje para un producto.

1.2.1.2 Líneas de ensamblaje para la mezcla de productos.

El caso 2, figura 3b, nos representa aquella línea de producción utilizada para la manufactura o ensamblaje de una variedad de productos, generalmente procesados en lotes pequeños. Los tiempos de preparación pueden ser significativos y la secuenciación puede jugar un papel importante en la optimización del uso de recursos en la línea. Debido a la variedad de productos que se corren en la línea, la calidad de los productos puede ser variable y los operarios son multifuncionales. Es decir, deben estar capacitados para realizar diferentes tipos de tareas en la estación de acuerdo al tipo de producto. El despliegue de la línea debe poseer flexibilidad para acomodar la variedad de rutas que siguen los productos asignados a la línea o área de producción.

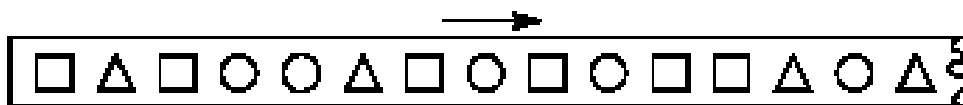


Figura 3b. Línea de ensamblaje para mezcla de productos.

1.2.1.3 Línea de ensamblaje para multi-producto.

El caso 3 representado en la figura 3c, nos describe las áreas de producción utilizadas para la manufactura de una serie de productos, los cuales son significativamente diferentes entre sí. Debido a las diferencias

CAPÍTULO I. CONCEPTOS GENERALES DE BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

entre productos, los tiempos de preparación y la secuenciación de productos juegan un papel de suma importancia en la optimización del uso de los recursos.

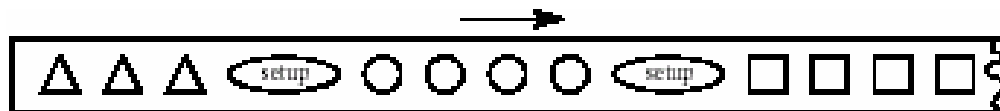


Figura 3c. Línea de ensamblaje para multi-producto.

Las características de cada uno de los escenarios descritos anteriormente se resumen en la Tabla 2.

CARACTERÍSTICAS	UN SOLO PRODUCTO	MEZCLA DE PRODUCTO	MULTI-PRODUCTO
Producción	En masa o continua	En lotes	Lotes pequeños de múltiples productos
Variedad de producto	Poca	Alta	Muy alta
Tipo de máquina	Específica	Uso general	Uso general
Tipo de tarea	Repetitiva	No rutinaria	No rutinaria
Mano de obra	Especializada	Multi-funcionales	Multi-funcionales
Inversión	Alta	Media	Baja
Calidad	Constante	Variable	Variable
Costo de operación ó por unidad producida	Bajo	Medio	Alto
Flexibilidad	Baja	Media	Alta

Tabla 2. Características de los Tipos de Ensamblaje Según el Tipo de Producto.

1.2.2 Clasificación de las Líneas de Ensamblaje en función del flujo del producto.

Los factores que tienen más influencia en la selección del diseño de la línea de producción son el flujo del producto y la efectividad o utilización de los recursos de labor y maquinaria. Ambos factores son impactados en forma significativa por el balanceo de línea y por el despliegue de la planta física, según se muestra en la Tabla 3.

	BALANCEO DE LÍNEA	DESPLIEGUE DE PLANTA FÍSICA
Flujo del producto	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad del trabajo • Continuidad del flujo en función de <ul style="list-style-type: none"> ○ Balance entre cargas de trabajo ○ Presencia de cuellos de botella 	<ul style="list-style-type: none"> • Continuidad del flujo en función de la distancia entre estaciones • Velocidad del flujo en función del tipo de acarreo de materiales
Utilización de los recursos	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempos de espera debido a desbalances en cargas de trabajo 	<ul style="list-style-type: none"> • Tareas que no añaden valor al producto: <ul style="list-style-type: none"> ○ Doble manejo del producto ○ Tiempo consumido al transportar las unidades • Tiempos de espera debidos a distancia entre estaciones

Tabla 3. Impacto del Balanceo y Despliegue en el Flujo y Utilización de los Recursos.

CAPÍTULO I. CONCEPTOS GENERALES DE BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

La agrupación óptima de las tareas en las estaciones y la selección apropiada del diseño de la planta física proporcionan un alto rendimiento en la utilización de la labor y equipo, como consecuencia la reducción en el tiempo de ocio.

El flujo del producto depende del despliegue de la planta física según se describe a continuación.

1.2.2.1 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 se muestra en la Figura 4. Se tienen siete estaciones de trabajo de la A-G y los tiempos necesarios para terminar las tareas el más pequeño de 22 y el mayor de 94. 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.

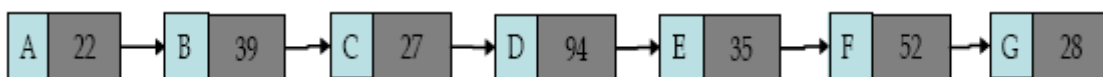


Figura 4. Línea de Ensamblaje con Estaciones en Serie

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. Líneas de ensamblaje con estaciones en serie diseñadas para trabajar sincronizadamente y moviendo las unidades entre estaciones en lotes pequeños, requieren de un rígido plan de mantenimiento preventivo debido a que cuando se

CAPÍTULO I. CONCEPTOS GENERALES DE BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

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.

1.2.2.2 Línea de Ensamblaje con Estaciones en Forma de “U”.

Este tipo de línea tiene la característica de que el comienzo y el final están cerca formando una “U” según se muestra en la Figura 5. 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.

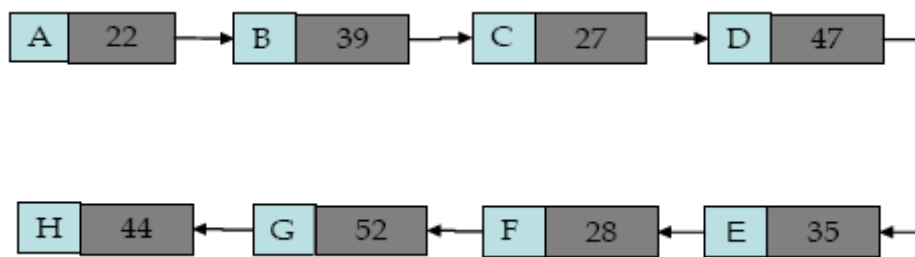


Figura 5. Línea de Ensamblaje con Estaciones en forma de “U”.

Un posible arreglo de balanceo para una línea de ensamble en “U” se muestra en la Figura 6. Los empleados pueden atender tareas que se encuentren localizadas a su izquierda o derecha, así como tareas que se encuentren localizadas a su espalda.

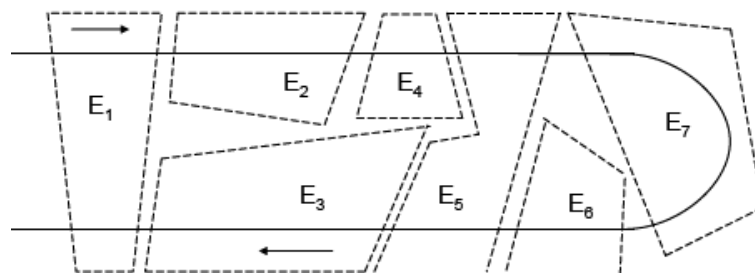


Figura 6. Ejemplo de Balanceo de línea en “U”

CAPÍTULO I. CONCEPTOS GENERALES DE BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

Las ventajas de la línea en forma de “U” se materializan mediante empleados multifuncionales. Este tipo de despliegue resulta muy eficiente en aquellos casos donde se requiere la producción de una mezcla de productos con demanda relativamente pequeña de cada uno de ellos.

1.2.2.3 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:

$$mp = \text{Entero Mayor} \left[\frac{DTI}{C} \right] \quad (1.8)$$

Donde;

mp = Número de estaciones en paralelo.

DTI= Duración de la tarea indivisible.

C = Tiempo de ciclo de la línea.

En la Figura 4 se presentó un ejemplo de una línea en serie. En ese caso el tiempo de una tarea indivisible es de 94 segundos. Si el tiempo de ciclo deseado es de 52, entonces es necesario colocar dos estaciones en paralelo según se muestra en la Figura 7.

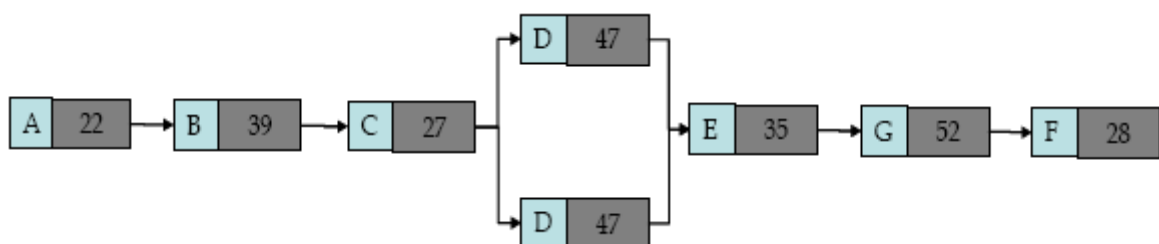


Figura 7. Línea de Ensamblaje con Estaciones en Paralelo.

CAPÍTULO I. CONCEPTOS GENERALES DE BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

De la ecuación 1.2 se deriva que el ciclo de trabajo resultante de las dos estaciones en paralelo es de 47 segundos. Las estaciones en paralelo son necesarias siempre que el tiempo de alguna tarea en la línea exceda el ciclo de línea deseado.

1.2.3 Balanceo de líneas de ensamblaje paralelas.

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. El tiempo de ciclo resultante del conjunto de paralelas se determina del siguiente modo:

$$C_p = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{m} \quad (1.9)$$

Donde;

C_p = Tiempo de ciclo resultante del conjunto de paralelas.

t_i = Tiempo de la tarea "i" asignada a la estación con paralelas.

n = Número total de tareas en la estación con paralelas.

m = Número total de estaciones incluyendo paralelas.

La carga máxima asignable a estaciones en paralelo debe cumplir con la siguiente restricción:

$$\sum_{i=1}^m t_i \leq C \times m \quad (1.10)$$

CAPÍTULO I. CONCEPTOS GENERALES DE BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

Donde;

C = Tiempo de ciclo de la línea

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 tareas⁴. Sin embargo, el costo en que se incurre al paralelizar una línea de ensamblaje 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 ensamblaje. La instalación de estaciones en paralelo envuelve costos fijos adicionales que son necesarios evaluar durante el proceso de diseño y balanceo de la línea.

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 significativo⁵. Las estaciones de trabajo en paralelo proporcionan flexibilidad y capacidad a la línea de ensamblaje, 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

⁴ Miralles, C., Capó, J., García J.P., Andrés, C., Equilibrado de líneas de montaje considerando variables los tiempos de operación y las habilidades de los operarios. Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa. 2003

⁵ 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.

CAPÍTULO I. CONCEPTOS GENERALES DE BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

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 menor⁶. 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.

⁶ Rosenberg, O., Ziegler, H., A comparison of heuristic algorithms for costoriented assembly line balancing. Zeitschrift Fur Operations Research. Vol 36. P. 477- 495. 1992.

CAPÍTULO II FACTORES MATERIALES EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

2.1 Procesos productivos y como intervienen en el balanceo de líneas de producción.

Un proceso productivo es una secuencia de actividades requeridas para elaborar un producto (bienes o servicios). Esta definición “sencilla” no lo es tanto, pues de ella depende en alto grado la productividad del proceso.

Generalmente existen varios caminos que se pueden tomar para producir un producto, ya sea este un bien o un servicio. Pero la selección cuidadosa de cada uno de sus pasos y la secuencia de ellos nos ayudarán a lograr los principales objetivos de producción.

1. Costos (eficiencia).
2. Calidad.
3. Confiabilidad.
4. Flexibilidad.

2.1.1 Tipos de procesos productivos, sus ventajas y desventajas.

La selección del tipo de proceso es estratégica para la empresa, pues unos elevan los costos, otros pueden mejorar la calidad, otros mejoran el servicio rápido al cliente y otros permiten atender cambios rápidos de productos.

Pero también es importante la selección del tipo de proceso en función al tipo de producto que se va a producir, ya que la selección del proceso, distribución de la planta, el flujo de materiales tienen directa intervención en el balanceo de línea de ensamblaje que presente la empresa. Por lo que es

CAPÍTULO II. FACTORES MATERIALES EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

importante mencionar todos y cada uno de estos factores, así como hacer ver su importancia.

2.1.2 Proceso productivo en línea o por producto.

Se caracteriza por que se diseña para producir un determinado bien o servicio, el tipo de maquinaria, así como la cantidad de la misma y su distribución se realiza en base a un producto definido.

Logrando altos niveles de producción debido a que se fabrica un solo producto, su maquinaria y aditamentos son los más adecuados, cada operación del proceso y el personal puede adquirir altos niveles de eficiencia, debido a que su trabajo es repetitivo.

Su administración se enfoca a mantener funcionando todas las operaciones de la línea, a través de un mantenimiento preventivo eficaz que disminuya los paros y un mantenimiento de emergencia que minimice el tiempo de reparación, debido a que el paro de una máquina ocasiona un cuello de botella que afecta a las operaciones posteriores y en algunos casos paraliza las siguientes operaciones.

También es muy importante seleccionar y capacitar adecuadamente al personal, que debe poseer la habilidad y el potencial suficiente de acuerdo a la operación para la cual fue asignado.

Ventajas.

- Altos niveles de eficiencia.
- Necesidad de personal con menores destrezas, debido a que hace la misma operación.

CAPÍTULO II. FACTORES MATERIALES EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

Desventajas.

- Difícil adaptación de la línea para fabricar otros productos.
- Exige bastante cuidado para mantener balanceada la línea de producción.

Se recomienda su uso cuando se fabrica un solo producto o varios productos con cambios mínimos.

En la figura 8, se puede apreciar el inicio de las operaciones, y cuatro estaciones de trabajo en línea, se puede tener un flujo principal y flujos laterales que se integran al flujo principal, sin ser necesario que sea en la primera estación de trabajo.

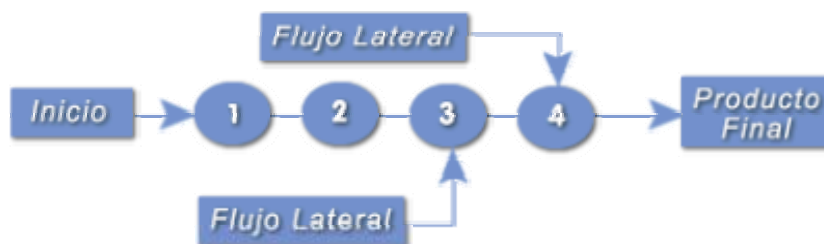


Figura 8. Proceso productivo en línea o por producto.

Como se puede apreciar, este proceso productivo cumple con las características necesarias para poder instalar nuestra línea de ensamblaje en serie como se ilustró en la figura 4.

A este tipo de proceso productivo se le recomienda tener una distribución por proceso, tema que se tratará mas adelante en la distribución de la planta.

Así como es recomendable en un proceso productivo en línea o por producto que el equipo de trayectoria para manejo de materiales sea fijo. De la misma forma en este tipo de proceso productivo es necesario cierto equipo y maquinaria para propósitos especiales.

2.1.3 Proceso productivo intermitente (job shop).

Se caracteriza por la producción por lotes a intervalos intermitentes y se organizan en centros de trabajo en los que se agrupan las máquinas similares. Un ejemplo podría ser un taller de herrería, como se ilustra en la figura 9.

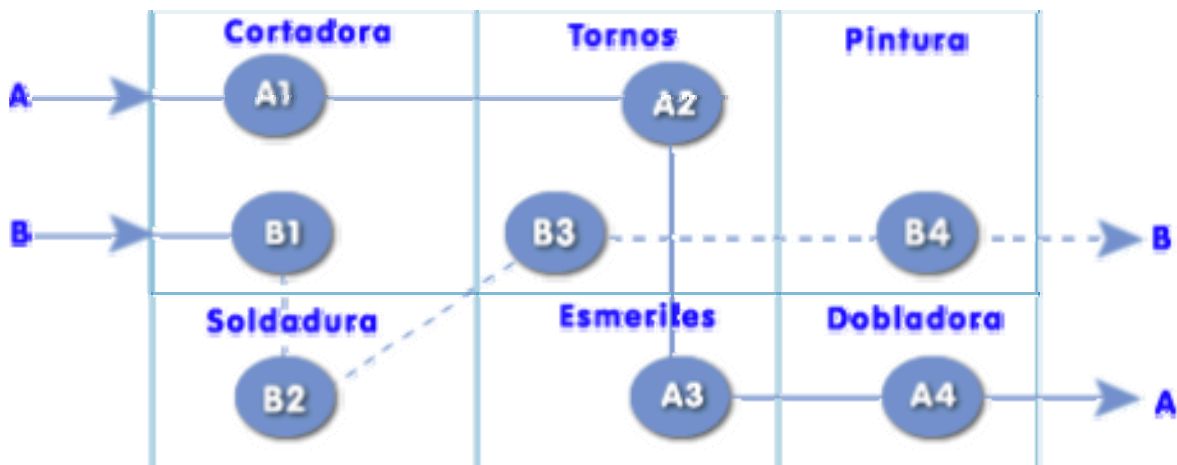


Figura 9. Ejemplo de un proceso productivo intermitente en un taller.

En este tipo de proceso, se pueden acentuar los siguientes puntos:

- Un producto fluirá hacia los departamentos o centros que necesite y no utilizará los otros.
- El producir no tiene un flujo regular y no necesariamente utiliza todos los departamentos.
- Puede realizar una gran variedad de productos con mínimas modificaciones.
- La carga de trabajo en cada departamento es muy variable, existiendo algunos con alta sobre carga y otros subutilizados.

Es necesario tener un control de trabajo asignado en cada departamento a través de una adecuada planificación y control de los trabajos aceptados. Se debe saber cuando debe iniciar y terminar cada orden de trabajo en cada departamento para poder aceptar nuevos pedidos y cuando se entregarán al cliente.

CAPÍTULO II. FACTORES MATERIALES EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

Es decir, exige una gran cantidad de trabajo en planificación, programación y control de la producción; para obtener un adecuado nivel de eficiencia en cada departamento y un buen nivel de atención al cliente.

El personal requiere un nivel de destreza mayor que en el tipo lineal, debido a que en la mayoría de los casos no se hacen operaciones estándar.

Su eficiencia puede calcularse de la siguiente manera:

$$Ep = (TTT / TTF) \times 100 \quad (2.1)$$

Ep = Eficiencia del proceso.

TTT = Tiempo Total del Trabajo.

TTF = Tiempo Total Final.

Tiempo Total del Trabajo. Es la suma de horas máquina o de hora hombre utilizada efectivamente en hacer el producto o los productos.

Tiempo Total Final. Es el tiempo que tardó en salir el producto terminado.

Este tipo de proceso intermitente se puede justificar cuando hay una gran variedad de productos y bajos volúmenes de producción por producto.

Ventajas.

- Se pueden trabajar gran variedad de productos.

Desventajas.

- Bajo nivel de eficiencia.
- Gran trabajo de planificación y control.

Sin entrar tanto en detalle, debido a que sería un subtema muy extenso el equipo que debe usarse para manejo de materiales también es importante

CAPÍTULO II. FACTORES MATERIALES EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

en el balanceo de línea, pero de alguna forma se encuentra incluido en la distribución que se eligió para el procesamiento de un producto, ya que en la producción intermitente se recomienda que el equipo de trayectoria para manejo de materiales sea variable. De la misma forma en los procesos productivos intermitentes, el uso de maquinaria es de uso general.

2.1.4 Procesos productivos multi-modelo (batch shop).

En este proceso productivo, esencialmente es una estandarización de job shop, aquí se va a tener un enfoque en el cual a la planta de producción, se le da un criterio flexible, como un recurso reconfigurable, la cual produce diversos productos en lotes de producción grandes y específicos. Por ejemplo en la planta de producción se producen cinco productos. Para el primero se requiere cierto número de personas, herramientas, materia prima, equipo, etc. Primero se va a instalar todo lo necesario para producir ese producto, una vez que se tiene todo lo necesario es posible producir ese producto, sin detenerse hasta que se tiene el lote especificado. Posteriormente se realizan todos los cambios necesarios para producir otro producto, diferente al primero, de igual forma se produce todo el lote, hasta que se termina y así sucesivamente.

Ventajas.

- La ventaja principal de una línea de producción multi-modelo es que instalado una vez para un modelo particular es tan eficiente como una línea convencional.

Desventajas.

- La desventaja es que el set-up⁷ toma el tiempo, que significa la producción y la ineficacia perdidas.

2.1.5 Procesos productivos de mezclar-modelo.

El proceso productivo de mezclar-modelo es más realista en el mundo moderno, dado el incremento de equipo de fabricación flexible y software configurable. La premisa básica es que los productos múltiples son manejados por cada estación de trabajo sin paradas para cambiar entre ellas. Las líneas de ensamblaje de mezclar modelos manufacturan varios modelos (versiones) de un artículo estandarizado en una secuencia de inter-mezclado. Los modelos pueden diferir el uno del otro con respecto al tamaño, color, material usado o el equipamiento, tan es así que su producción requiere diferentes tareas, task time y/o relaciones de precedencia. Como una consecuencia, encontrar un balance de línea en el que las cargas de las estaciones tengan el mismo tiempo de estación y los mismos requerimientos de equipo de tal forma que cualquier modelo sea producido es casi imposible. Por lo tanto, la línea debe ser lo suficientemente flexible con respecto al equipamiento y la capacitación de los operadores así como a las violaciones de los tiempos de ciclo locales.

Ventaja.

- Esto permite una secuencia al azar del lanzamiento para poder hacer productos en la orden y la mezcla que el mercado exige.

⁷ Definamos el set-up: Como el tiempo que tardamos en realizar el cambio de todo lo necesario para producir otro producto diferente.

Desventajas.

- Una dificultad es que el contenido de trabajo en cada estación de trabajo puede diferenciar de modelo a modelo.

Es que el tiempo ocioso en cada estación varía a partir del tiempo de producción de un producto a otro, debido a que son diferentes, dependiendo de la secuencia de modelos a lo largo de la línea.

2.2 Las diferentes distribuciones de planta y como intervienen en el balanceo de líneas de producción.

Los procesos productivos antes mencionados tienen una estrecha relación con las distribuciones de planta que a continuación se presentan, la distribución de planta debe ser lo más flexible que se pueda, ya que en la actualidad la demanda tan variable de los clientes en cuestión de modalidades de los productos que requieren hace imposible que los planes de producción se cumplan al pie de la letra por lo que el diseño de planta debe tener la flexibilidad necesaria para adaptarse a los constantes cambios. Por esta razón el diseño de planta ha sufrido mutaciones por decirlo de alguna forma, es decir, ha ido evolucionando, un ejemplo son las distribuciones de planta que no solo son por producto, o proceso, o fijo, sino que se han alterado de tal forma que hoy día podemos encontrar una gran variedad de estas.

Cada tipo de distribución tiene una estrecha relación con uno de los dos tipos básicos de procesos de producción. El sistema de producción intermitente por lo general se presta al uso de distribución por proceso.

2.2.1 Distribución por proceso (distribución job shop o distribución funcional).

Tanto la mano de obra, como los materiales y las máquinas, así como los servicios de apoyo están agrupados sobre la base de las funciones o procesos que se están ejecutando. Son notables por la flexibilidad que permiten en términos de productos que pueden hacerse y los trabajos que pueden ejecutarse. La distribución por proceso generalmente se presta a sistema de producción intermitente, debido a las características, ventajas y desventajas que presenta.

Es necesario utilizar este tipo de distribución por procesos en los siguientes casos:

- Cuando se fabrica una gran variedad de productos.
- Cuando se produce en lotes pequeños.
- Cuando la demanda es intermitente.

Ventajas.

- Flexibilidad de la producción.
- Menores inversiones en maquinaria.
- Mayor utilización del equipamiento.
- La producción no se interrumpe por rotura o reparación de una máquina.
- Alta especialización de los operarios en el manejo de las máquinas.
- Mejores posibilidades de aislar y controlar procesos contaminantes y molestos.

Desventajas.

- No existen rutas fijas ni directas.

CAPÍTULO II. FACTORES MATERIALES EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

- Mayor manipulación de materiales.
- Elevada producción en proceso.
- Mayor congestión de rutas y áreas de trabajo.
- Difícil de programar y reprogramar.
- Dificultad para controlar.

2.2.2 Distribución por producto (distribución flow shop).

Se encuentra típicamente en la producción en masa o en las operaciones de proceso continuo. Las máquinas, mano de obra y materiales se distribuyen de acuerdo a la secuencia de operaciones requeridas para producir un artículo específico.

La distribución por producto generalmente se usa en el proceso de producción continuo. Tal arreglo agrupa a la mano de obra, materiales, máquinas y servicios de apoyo sobre la base de la secuencia de operaciones que deban ejecutarse para un determinado producto o servicio.

Ventajas.

- El trabajo se mueve siguiendo rutas mecánicas directas, lo que hace que sean menores los retrasos en la fabricación.
- Menos manipulación de materiales debido a que el recorrido a la labor es más corto sobre una serie de máquinas sucesivas, contiguas ó puestos de trabajo adyacentes.
- Estrecha coordinación de la fabricación debido al orden definido de las operaciones sobre máquinas contiguas. Menos probabilidades de que se pierdan materiales o que se produzcan retrasos de fabricación.

CAPÍTULO II. FACTORES MATERIALES EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

- Tiempo total de producción menor. Se evitan las demoras entre máquinas.
- Menores cantidades de trabajo en curso, poca acumulación de materiales en las diferentes operaciones y en el tránsito entre éstas.
- Menor superficie de suelo ocupado por unidad de producto debido a la concentración de la fabricación.
- Cantidad limitada de inspección, quizá solamente una antes de que el producto entre en la línea, otra después que salga de ella y poca inspección entre ambos puntos.
- Control de producción muy simplificado. El control visual reemplaza a gran parte del trabajo de papeleo. Menos impresos y registros utilizados. La labor se comprueba a la entrada a la línea de producción y a su salida. Pocas órdenes de trabajo, pocos boletos de inspección, pocas órdenes de movimiento, etc. menos contabilidad y costos administrativos más bajos.
- Se obtiene una mejor utilización de la mano de obra debido a que existe mayor especialización del trabajo y en consecuencia es más fácil adiestrarlo. Y por otra parte se tiene mayor afluencia de mano de obra ya que se pueden emplear trabajadores especializados y no especializados.

Desventajas.

- Elevada inversión en máquinas debido a sus duplicidades en diversas líneas de producción.
- Menos flexibilidad en la ejecución del trabajo porque las tareas no pueden asignarse a otras máquinas similares, como en la distribución por proceso.
- Menos pericia en los operarios. Cada uno aprende un trabajo en una máquina determinada o en un puesto que a menudo consiste en máquinas automáticas que el operario sólo tiene que alimentar.

CAPÍTULO II. FACTORES MATERIALES EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

- La inspección no es muy eficiente. Los inspectores regulan el trabajo en una serie de máquinas diferentes y no se hacen muy expertos en la labor de ninguna clase de ellas; que implica conocer su preparación, las velocidades, las alimentaciones, los límites posibles de su trabajo, etc. Sin embargo, puesto que las máquinas son preparadas para trabajar con operarios expertos en ésta labor, la inspección, aunque abarca una serie de máquinas diferentes puede esperarse razonablemente que sea tan eficiente como si abarcara solo una clase.
- Los costos de fabricación pueden mostrar tendencia a ser más altos, aunque los de mano de obra por unidad, quizás sean más bajos debido a los gastos generales elevados en la línea de producción. Gastos especialmente altos por unidad cuando las líneas trabajan con poca carga ó están ocasionalmente ociosas.
- Peligro que se pare toda la línea de producción si una máquina sufre una avería. A menos de que haya varias máquinas de una misma clase: son necesarias reservas de máquina de reemplazo o que se hagan reparaciones urgentes inmediatas para que el trabajo no se interrumpa.

Cuando se recomienda.

- Cuando se fabrique una pequeña variedad de piezas o productos.
- Cuando difícilmente se varía el diseño del producto.
- Cuando la demanda es constante y se tienen altos volúmenes.
- Cuando es fácil balancear las operaciones.

2.2.3 Distribución por posición fija.

Este tipo de distribución es apropiada cuando no es posible mover el producto debido a su peso, tamaño, forma, volumen o alguna característica particular que lo impida. Esta situación ocasiona que el material base o principal componente del producto final permanezca inmóvil en una posición determinada, de forma que los elementos que sufren los desplazamientos son la mano de obra, la maquinaria, las herramientas y los diversos materiales que no son necesarios en la elaboración del producto, como lo son los clientes.

Todo lo anterior ocasiona que el resultado de la distribución se limite, en la mayoría de los casos, a la colocación de los diversos materiales y equipos alrededor de la ubicación del proyecto y a la programación de las actividades.

Características.

- El producto permanece estático durante todo el proceso de producción.
- La mano de obra, las máquinas, los materiales o cualquier otro recurso productivo son llevados hacia el lugar de producción.
- La intensidad de utilización de los equipos es baja, porque a menudo resulta menos gravoso abandonar el equipo en un lugar determinado, donde será necesario de nuevo en pocos días, que trasladarlo de un sitio a otro.
- Con frecuencia las máquinas, ya que solo se utilizan durante un período limitado de tiempo, se alquilan o se subcontratan.

CAPÍTULO II. FACTORES MATERIALES EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

- Los trabajadores están especialmente cualificados para desempeñar las tareas que de ellos se esperan, por este motivo cobran salarios elevados.

2.2.4 Distribución celular (basada en la tecnología de grupo GT).

Este tipo de distribución se usa cuando se fabrican diferentes familias de productos. Las células de producción se configuran disponiendo las máquinas necesarias para la elaboración del producto, deben estar juntas y en forma de U, ver figura 10, buscando que el operario las pueda atender simultáneamente, sin necesidad de desplazarse, y con todo al alcance de su mano. Como se mostró en la línea de ensamblaje con estaciones en forma de U, que es claro ejemplo de esta distribución.

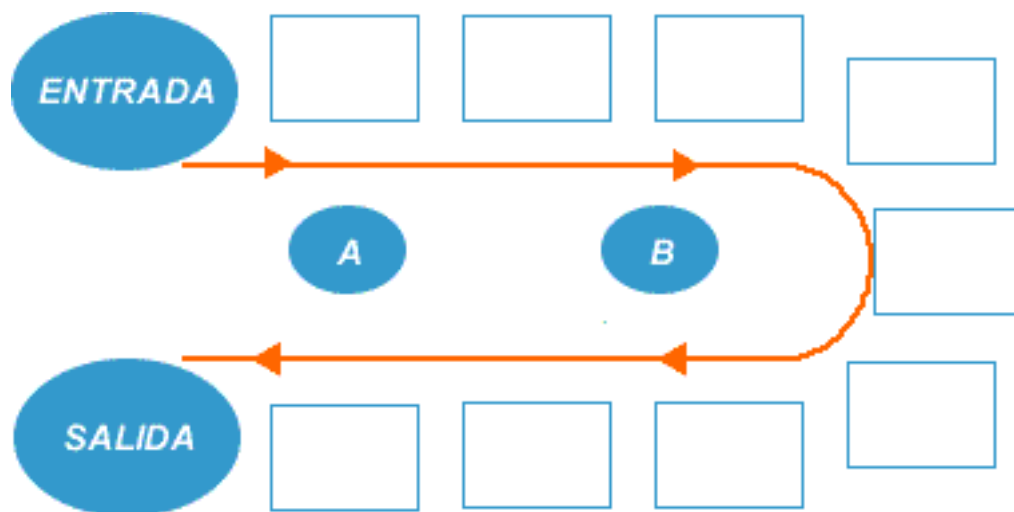


Figura 10. Ejemplo de distribución celular.

La denominación de distribución celular es un término relativamente nuevo, sin embargo, el fenómeno no lo es en absoluto. En esencia, la fabricación celular busca poder beneficiarse simultáneamente de las ventajas derivadas de las distribuciones por producto y de las distribuciones por proceso, particularmente de la eficiencia de las primeras y de la flexibilidad de las segundas.

CAPÍTULO II. FACTORES MATERIALES EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

Esta consiste en la aplicación de los principios de la tecnología de grupos a la producción, agrupando outputs con las mismas características en familias y asignando grupos de máquinas y trabajadores para la producción de cada familia.

En ocasiones, estos outputs serán productos o servicios finales, otras veces, serán componentes que habrán de integrarse a un producto final, en cuyo caso, las células que los fabrican deberán estar situadas junto a la línea principal de ensamblaje (para facilitar la inmediata incorporación del componente en el momento y lugar en que se necesita).

Ventajas.

Las ventajas se verán reflejadas en un menor costo de producción, en una mejora en los tiempos, en una mejora en los tiempos de suministro, en el servicio al cliente, incluso, podrían conseguirse mejoras en la calidad, aunque ello necesitará de otras actuaciones aparte del cambio en la distribución.

- Disminución del material en proceso (una misma célula engloba varias etapas del proceso de producción, por lo que el traslado y manejo de materiales a través de la planta se ve reducido).
- Disminución de los tiempos de preparación (hay que hacer menos cambios de herramientas puesto que el tipo de ítems a los que se dedican los equipos está ahora limitados).
- Disminución de los tiempos de fabricación.
- Simplificación de la planificación.
- Se facilita la supervisión y el control visual.

Desventajas.

- Incremento en el costo y desorganización por el cambio de una distribución por proceso a una distribución celular.

CAPÍTULO II. FACTORES MATERIALES EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

- Normalmente, reducción de la flexibilidad del proceso.
- Potencial incremento de los tiempos inactivos de las máquinas (éstas se encuentran ahora dedicadas a la célula y difícilmente podrán ser utilizadas todo el tiempo).
- Riesgo de que las células queden obsoletas a medida que cambian los productos y/o procesos.

Existen ciertos tipos de restricciones que deben ser consideradas en el balanceo de líneas de ensamblaje, las cuales se mencionan en seguida, existen algunas relacionadas con el trabajador, pero por ser mayoría relacionadas a la distribución de planta y proceso productivo, se tratarán todas en este capítulo, con el fin de mantener una mejor coherencia.

2.3 Restricciones.

En el orden a desarrollar una tarea asignada, la estación debe estar equipada con operadores y máquinas, que tengan las habilidades y capacidades tecnológicas requeridas.

En el caso de productos complejos, usualmente es imposible tener todas las estaciones equipadas igualmente, resultando así estaciones con restricciones de asignación. Adicionalmente a esto, la asignación de tareas puede estar restringida por restricciones de la tarea, como puede ser incompatibilidad entre tareas, un mínimo o un máximo de distancia (en términos de tiempo o espacio) entre las estaciones se desarrolla un par (o subset) de tareas. Más aún, restricciones relevantes para la pieza de trabajo, la cual es pesada, grande y difícil de manejar sobre una banda transportadora, tanto que no puede ser colocada de una forma correcta para poder desarrollar algún trabajo en ciertas estaciones de trabajo.

CAPÍTULO II. FACTORES MATERIALES EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

Otro tipo de restricción de asignación es el operador relacionado, debido a que los operadores tienen diferentes niveles de habilidad, tanto que sólo ciertas combinaciones de tareas son posibles cuando un operador es asignado a una estación de trabajo en particular.

2.3.1 Asignación de restricciones.

Como se discutió anteriormente varios tipos de restricciones podrían reducir la asignación de tareas a las estaciones.

Las restricciones relacionadas a la posición producen la necesidad de instalar estaciones a la derecha y a la izquierda. Especialmente piezas de trabajo grandes, como autobuses o camiones, adquieren estaciones que solo ejecutan tareas en uno de sus lados, porque moverse alrededor de la pieza de trabajo podría costar mucho tiempo. Esto da como resultado las restricciones relacionadas a las tareas porque el lado izquierdo de las tareas no debe ser combinado con el lado derecho de estas. En general, las tareas que no pueden ser asignadas a la misma estación son llamadas incompatibles.

Para combatir este problema existen líneas de ensamblaje de dos lados, donde pares de piezas de trabajo se localizan opuestamente una de la otra, una en el lado derecho y otra en el lado izquierdo de la línea. Cada par de estaciones esta trabajando en un ítem al mismo tiempo. Las tareas son agrupadas por el lado de los vehículos que pueden ser ejecutados. Así que hay tareas del lado derecho, por ejemplo montar la rueda derecha, tareas de lado izquierdo, tareas que pueden ser asignadas a cualquier lado de la línea, por ejemplo instalar el radio, al igual tareas que tienen que ser

CAPÍTULO II. FACTORES MATERIALES EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

ejecutadas por ambos pares de estaciones simultáneamente, por ejemplo instalar el asiento trasero.

Por supuesto, una línea de dos lados puede tener estaciones sin operador. En este caso algunas estaciones no tienen un compañero opuesto. Bartholdi nos muestra que para un C dado en algunos casos, dependiendo de las restricciones de precedencia, una línea de dos lados requiere menos estaciones que una línea de un solo lado tradicional, pero nunca requiere más estaciones⁸. Es importante remarcar que para un par de estaciones opuestas las restricciones de precedencia de asignación de tareas necesita ser respetada. Si se considera la tarea 3 con su predecesor 1 y 2, con un tiempo para desarrollar la tarea $t_1 < t_2$, con 1 y 3 siendo asignados a una estación y 2 asignado a la estación opuesta, entonces la tarea 3 no debe iniciar antes de que la última estación haya terminado la tarea 2. Así que los tiempos de holgura pueden ocurrir al inicio o a la mitad de un ciclo, cuando una estación tenga que esperar a iniciar una tarea hasta que la estación opuesta haya terminado sus predecesores.

Por otra parte se implementó una versión modificada de las reglas de prioridad basadas en heurísticas⁹ en un software de programación, el cual permite a los usuarios asignar algunas tareas a estaciones específicas. Esto es necesario por ejemplo cuando algunas tareas requieren equipo especial, el cual está disponible solo en estaciones específicas. Tales restricciones relacionadas a la estación pueden fácilmente ser incluidas dentro del modelo y los procedimientos para SALBP, porque ellos simplemente evitan asignar ciertas tareas a un subgrupo de las estaciones.

⁸ Bartholdi, J.J., 1993. Balancing two-sided assembly lines: A case study, International Journal of Production Research 31, 2447-2461.

⁹ Scholl y Becker en su libro publicado en el 2003 capítulo 5.1

CAPÍTULO II. FACTORES MATERIALES EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

Por otra parte se describen también línea de un solo lado del mundo real con un número de estaciones dado y diferentes tipos de restricciones de asignación¹⁰.

1. **Relacionadas a las tareas.** Algunas tareas son requeridas para ser asignadas a la misma estación y, de esta manera, puede ser combinada a una tarea simple.
2. **Relacionadas a la posición.** Algunas tareas solo pueden ser desarrolladas en el lado izquierdo o en el lado derecho de una pieza de trabajo grande no movable. Además, algunas tareas necesitan ser ejecutadas en lo alto o en la parte inferior de la pieza de trabajo. Tareas del lado izquierdo y del lado derecho al igual que las tareas que tienen que ser ejecutadas en la cima o en la parte inferior de la pieza de trabajo, no deben ser asignadas a la misma estación, respectivamente. Esto tiene que ser hecho sin utilizar ambos lados de la línea, por lo que algunas estaciones tienen que ser colocadas del lado izquierdo de la banda transportadora, y otras del lado derecho, además, algunas estaciones requieren que el trabajador opere en lo alto, así como otras permiten que el trabajador opere en la parte inferior¹¹.

Restricciones relacionadas al operador, en la que conciernen los niveles de facilidades de parte de los trabajadores para llevar a cabo una tarea¹². Y más recientemente la incorporación de la demanda física en el ALBP. Las tareas difieren en su demanda de fuerza controlada, mientras los

¹⁰ Pastor, R., Corominas, A., 2000. Assembly line balancing with incompatibilities and bounded Workstation loads, *Ricerca Operativa* 30, 23-45.

¹¹ Para resolver este gran problema del mundo real Pastor y Corominas presentan un programa lineal entero mixto y en la fase dos un procedimiento heurístico (fase 1: Un enfoque truncado de DP, en la fase 2: un mejoramiento mediante búsqueda local y búsqueda tabú) El objetivo es suavizar la carga de las estaciones de forma que todas los tiempos de las estaciones tengan un valor fuera de un intervalo objetivo dado.

¹² Jonson en 1983 Trato de combinar tareas con niveles similares de complejidad en una estación

CAPÍTULO II. FACTORES MATERIALES EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

trabajadores difieren en su capacidad de fuerza controlada. Además llevar a cabo una tarea fatiga al trabajador, causando la disminución de su capacidad. Los trabajadores no deben ser físicamente sobre cargados por las tareas que son asignadas a sus estaciones. El objetivo es minimizar un puntaje compuesto, que consta de un tiempo de ciclo ponderado y una medida de fatiga ponderada para un número dado de estaciones.

CAPÍTULO III EL FACTOR HUMANO EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

3.1 Aspectos y factores humanos a considerar para el balanceo de líneas de producción

La consideración de los requisitos de mano de obra y el diseño de un ambiente de trabajo efectivo es fundamental para el balanceo de las líneas de producción, aunque este tipo de factores tienen que ser considerados previamente en el diseño del sistema de producción, el consultor debe tomar en cuenta todos estos factores, ya que solo aplicar el software no lo conduciría a la mejor de las eficiencias.

Aunque muchas veces nos encontramos que las condiciones de trabajo, la distribución de la planta o los procesos productivos, no nos permite tener una mejor eficiencia, en consecuencia tenemos balanceos por debajo del 70% de la eficiencia de trabajo. Nos hemos venido percatando que estas consideraciones incluyen el ambiente de trabajo físico, aspectos psicológicos del diseño de la tarea y las reglamentaciones gubernamentales recientes que afectan la adquisición y ubicación de la mano de obra.

Exploramos los factores psicológicos que afectan el balanceo de línea, seguidos por los factores que afectan el ambiente de trabajo físico, incluyendo ruido, iluminación y color, así como los factores físicos propios del trabajador. La atención se desvía entonces a la relación entre el hombre y la máquina en el ambiente de trabajo. Se explora una técnica llamada curvas de aprendizaje, que nos ayuda a conocer la relación del aprendizaje del trabajador con respecto al tiempo.

3.1.1 El aspecto psicológico en el balanceo de línea.

En muchas organizaciones, especialmente aquellas asociadas con líneas de ensamblaje y trabajo rutinario y repetitivo, los trabajadores desarrollan un sentido de apatía, aburrición y frustración sobre su trabajo. A pesar de que algunos trabajadores parecen acomodarse a estas condiciones, otros, especialmente los trabajadores jóvenes pierden el interés por estos trabajos, haciendo la tarea del departamento de producción cada vez más difícil. Para contrarrestar esto, varias consideraciones psicológicas deben mantenerse en mente en el balanceo de líneas de producción, es decir, el trabajo desarrollado por el trabajador es suficiente sin llegar a ser demasiado, ya que demasiado trabajo para el trabajador, termina aburriéndolo o produciéndole accidentes, o lesiones. Debemos encontrar la forma en que se armonice el trabajador con sus labores diarias, para satisfacer las necesidades de los gerentes, así como las necesidades de los empleados.

3.1.1.1 Incremento de trabajo.

Los trabajos deben tener alguna variedad. El incremento en el trabajo enfatiza la expansión del contenido de la tarea para añadir reto y variedad. La percepción de lo que es interesante y el reto deben verse desde el punto de vista del trabajador, no del gerente.

Un ejemplo de un enfoque no apropiado se refiere a la tarea de unir las tuercas de las llantas y flecha a un auto mientras pasa por la línea de ensamblaje. En un punto, imagine a un trabajador que aprieta una tuerca mientras el auto pasa. Este es un trabajo bastante insípido. Dejando que el trabajador apretara las cinco tuercas podría experimentar el colocar

CAPÍTULO III. EL FACTOR HUMANO EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

completamente la llanta, y posiblemente disfrutar de un sentimiento de artesanía. ¿Tiene algún sentido este razonamiento? Escasamente. El incrementar un trabajo insípido por repetición sólo dará cinco trabajos insípidos... no un sentimiento artesanal.

Debe idearse variedad para que el trabajador encuentre la tarea interesante y retadora. Debe anotarse que hay límites para esta guía de acción: el trabajador puede creer que la tarea es muy compleja y muy exigente si se idea demasiada variedad en ella.

3.1.1.2 Desarrollando interacciones entre las tareas.

Es útil en el diseño de tareas el evaluar cómo la contribución de un trabajador cabe en la producción del servicio o producto completo. Muchos trabajadores se sienten como dientes en una rueda gigantesca y nebulosa. Hay varias formas de resolver esto. Pueden usarse programas educativos para mostrar al trabajador cómo su tarea entra en el “gran cuadro”. Las excursiones en la planta, para nuevos empleados, también revelan cómo todos los trabajos llevan a un producto terminado. La rotación de tareas entre los empleados es otra forma; cada trabajador puede aprender cómo el producto de un trabajador es el insumo de otro. Este sentido de interrelación de tareas es fundamental para el enfoque de sistemas en el diseño de tareas. De esta forma podríamos tener trabajadores multifuncionales, que nos arrojarán mejores rendimientos en tiempos para realizar sus tareas.

3.1.1.3 Participación del trabajador en el diseño del contenido del trabajo.

El trabajador debe ser capaz de participar en el desarrollo del contenido del trabajo y cómo será ejecutado; la exclusión puede llevar a la enajenación. Una solución es el uso de un sistema de sugerencias efectivo para premiar significativamente las sugerencias de los trabajadores por mejoras en productos y procesos. Un premio únicamente en dólares por lo general mata un sistema así o genera sugerencias tontas de unos cuantos trabajadores cada vez que necesitan dinero extra. Un premio significativo sería un porcentaje de los ahorros logrados. En muchas compañías, esto asciende a varios miles de dólares por sugerencias útiles.

Otra alternativa en esta área es dar oportunidad a los trabajadores de reunirse para planear su trabajo, discutir niveles de aceptación de ejecución y fijar normas entre ellos. Esto genera participación y establece presión de grupo para asegurar una actuación adecuada de cada miembro.

Por otra parte los encargados de la producción deben tener en mente que las personas que mejor comprenden y saben de las facilidades o dificultades para desarrollar las tareas son los empleados que las han venido haciendo desde siempre, así que estos datos sirven para poder obtener los tiempos estándar para el desarrollo de una tarea.

3.1.1.4 Enfrentando las necesidades sociales de los trabajadores.

La mayoría de las personas necesitan ser aceptadas por los grupos con los que están afiliados. Las estaciones de trabajo diseñadas para inhibir la interacción eliminan esta posibilidad. En ocasiones, las reglas de trabajo

CAPÍTULO III. EL FACTOR HUMANO EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

también prohíben o limitan la conversación y la interacción social. Generalmente esto ocasiona un efecto negativo.

Una mejor alternativa es el proporcionar lugares de trabajo donde las personas puedan comunicarse e interactuar socialmente mientras se ejecutan los trabajos. Si los trabajadores dependen uno de otro para completar la tarea, esta proximidad dará la oportunidad a cada uno para entender las relaciones de apoyo. También puede engendrar algunas actitudes positivas sobre el trabajo en grupo e iniciar una etapa de un sentido de unificación dentro del grupo.

3.1.1.5 Satisfacer las necesidades del ego de los trabajadores.

Las necesidades del ego son de dos tipos: la necesidad del respeto merecido de los demás, la necesidad de sentir estima y valor personal. La necesidad de respeto de los demás puede lograrse al dar oportunidades en el trabajo para que el individuo logre normas de calidad y normas de ejecución que sean juzgados favorables por compañeros, superiores y los receptores del producto o servicio. Esta retroalimentación debe ser frecuente y reflejar exactamente la actuación del individuo. La retroalimentación poco frecuente genera un sentimiento de “a nadie le interesa”. La retroalimentación poco exacta puede resultar en cargas en desigualdad, injusticias y favoritismos.

La satisfacción del ego individual es un poco más fugaz. Los gerentes pueden establecer la frecuencia y contenido de las retroalimentaciones para los subordinados con alguna certidumbre de las reacciones generales del grupo. En una base individual, sin embargo, hay una gran variedad de necesidades “diferentes tonos para diferentes individuos”.

CAPÍTULO III. EL FACTOR HUMANO EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

Las necesidades directas del ego del tipo personal incluyen la necesidad de sentir que el trabajo ejecutado es valioso e importante. Curiosamente, diferentes personas ejecutando el mismo trabajo tendrán puntos de vista muy diferentes sobre su valor e importancia. Además, el valor del trabajo no se juzga sólo en términos de las metas de la organización, sino también en los términos de las metas del individuo. A pesar de que las metas de la organización pueden establecerse clara y consistentemente, las metas individuales varían mucho y pueden no ser claras para el gerente, o tal vez, ni siquiera para el trabajador.

3.2 El aspecto físico en el balanceo de línea.

Aquí no sólo se va a considerar el aspecto físico de las instalaciones para el desarrollo del sistema, si no aunado a eso se considera el aspecto físico del trabajador, ya que es importante considerarlo para poder reducir el índice de accidentes producidos por fatiga en el trabajador, y enfermedades del tipo crónicas por estar desempeñando una actividad por mucho tiempo.

3.2.1 Aspecto físico de las instalaciones.

Este factor visto desde el punto de vista ergonómico, que tanto afecta el desempeño del trabajador en condiciones por decirlo de alguna forma inadecuadas, donde se tienen factores tales como temperatura, ruido, iluminación, color, entre otros. Ya que se han realizado investigaciones que nos revelan que el ambiente de trabajo es sumamente importante para el individuo, hace algunos años quien hubiera pensado que el color de las paredes, techos y máquinas tendría un efecto negativo en los trabajadores, hoy en día se sabe que la consideración de todos estos factores mejoran la

CAPÍTULO III. EL FACTOR HUMANO EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

productividad de los empleados y en consecuencia se tendrán mejores tiempos estándares para desarrollar las tareas asignadas a estos y también mejores balanceos de línea.

3.2.1.1 La temperatura.

El elemento humano en un sistema de producción está mucho más restringido que muchas máquinas en términos de las temperaturas a las cuales pueden trabajar con efectividad. Los empleados que ejecutan trabajos físicos que requieren el gasto de una gran cantidad de energía, tienden a ser menos productivos cuando la temperatura aumenta a más de 22.7 °C (80°F). Incluso los empleados que no ejecutan tareas físicas pesadas tienden a ser menos productivos a temperaturas por arriba de los 32.2 °C (90°F). En tanto los empleados que hacen trabajos físicos tienden a experimentar aumento de fatiga y son más lentos, los empleados dedicados a trabajos mentales tienden a cometer más errores en su trabajo.

El cuerpo humano tiene la notable facilidad de mantener una temperatura homeostática corporal de 37 °C (98.6 °F), pero se requiere de cambios fisiológicos. En ambientes fríos se gasta mucha energía para mantener el cuerpo caliente. En ambientes muy calientes, el sudor aparece para enfriar el cuerpo, y el individuo tiende a mantenerse inactivo. Estos cambios en la condición normal del ser humano que está a una temperatura “agradable”, le restan efectividad como componente de un sistema de producción. En consecuencia, los gerentes de producción encuentran conveniente desarrollar dispositivos adecuados para controlar la temperatura en el ambiente de trabajo.

CAPÍTULO III. EL FACTOR HUMANO EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

3.2.1.2 El ruido.

El ruido puede definirse como un sonido no deseado y puede crear problemas humanos en las operaciones de producción. Aún cuando distintas personas reaccionan en forma diferente a varios niveles de ruido, se han hecho muchos estudios que revelan los efectos generales del ruido sobre el desempeño de los trabajadores y la pérdida de la audición. En la tabla 4 se presentan algunos ejemplos de actividades y los decibeles producidos durante su ejecución

Decibeles	Actividad
130	Se aproximan al umbral del dolor
120	Aviones en propulsión de hélice
110	Cepillo, sierra circulares
100	Punzonadoras ¹³
80	Tornos, tráfico pesado
70	Departamento mecanográfico
60	Oficina típica, conversación
40	Oficina tranquila
20	Conversación en voz baja

Tabla 4. Diversas actividades y sus decibeles.

3.2.1.3 La iluminación.

Es difícil determinar la cantidad de luz que resulte adecuada, ya que distintas personas requieren diferentes cantidades de iluminación para desempeñar su trabajo eficazmente. Sin embargo, se han desarrollado

¹³ Herramienta utilizada para perforar el concreto mediante un golpeteo constante.

CAPÍTULO III. EL FACTOR HUMANO EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

muchas recomendaciones de intensidad de luz para varios tipos de trabajos. Estas intensidades están expresadas en una medida estándar llamada candela-pie, que representa la intensidad de luz proyectada sobre un tablero de un pie cuadrado a una distancia de un pie de una vela estándar.

Hoy en día con los increíbles avances tecnológicos, las naves industriales están construidas ergonómicamente, para que las actividades que van a ser desarrolladas en estas se ejecuten de la mejor de las formas. Por ejemplo: la intensidad luminosa (refiriéndonos al tipo y la calidad de la luz que desprenden los focos, lámparas etc.) que se requiere en una oficina es diferente a la intensidad luminosa que se requiere en un taller de mantenimiento.

3.2.1.4 El color.

Los colores usados en el ambiente de trabajo tienen efectos sobre el desempeño de los empleados. Son aconsejables los colores claros para paredes y techos ya que éstos reflejan mejor la luz y, por tanto, mejoran el nivel de iluminación. Algunas empresas usan colores pastel claro en varias combinaciones en sus plantas para agregar variedad a lo que en otra forma sería una gran área estéticamente aburrida.

Los colores han demostrado tener efectos notables sobre el comportamiento humano. Existen importantes diferencias entre la gente en relación con sus reacciones específicas, pero para la mayoría, los verdes y los azules los "colores frescos" y el beige, son colores sedantes y no enfadosos en tanto que el rojo y anaranjado los "colores cálidos" son

CAPÍTULO III. EL FACTOR HUMANO EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

colores que atraen la atención, excitan e inducen eventualmente la fatiga cuando se emplean en grandes superficies de edificios.

El no poner énfasis en los factores antes mencionados trae como consecuencia una baja productividad del trabajador en su desempeño diario, lo que impediría lograr los objetivos de producción, lo que afecta directamente en los tiempos asignados para desempeñar las tareas en una línea de ensamblaje y en consecuencia un desbalance parcial, ya que habría retrasos en ciertas estaciones de trabajo.

Por otra parte el hacer caso omiso de estos factores restringe las posibilidades de un balanceo de línea factible, ya que se pensará pensando tal vez en aumentar el número de empleados en ciertas estaciones de trabajo, instalar estaciones paralelas. Lo que incrementaría los costos de producción¹⁴.

3.3 El aspecto físico del trabajador.

La importancia de este aspecto en el balanceo de la línea de producción esta directamente relacionando con esta, ya que los tiempos estándares para desarrollar una tarea se hacen en base a los tiempos que tarda en desarrollar la actividad un empleado experimentado, que muchas veces ya tiene muchos años en el trabajo, lo que va a arrojar tiempos muy bajos, que van a ser difíciles de alcanzar por trabajadores con otras características, por lo que es importante tomar en cuenta este aspecto.

¹⁴ 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.

3.3.1 La fatiga del trabajador en el balanceo de la línea.

La incorporación del factor fatiga del trabajador en el problema de balanceo de línea y la carga física impuesta en el operador por la demanda del producto son factores importantes que se deben considerar al realizar el balanceo de línea. En la figura 11, se presenta un balanceo de línea, donde el flujo de materiales se dirige en una sola dirección. Las tareas están representadas por números. Estas pueden ser asignadas solo a una estación de trabajo. Las tareas predecesoras son asignadas a una estación o a las estaciones anteriores a esa.

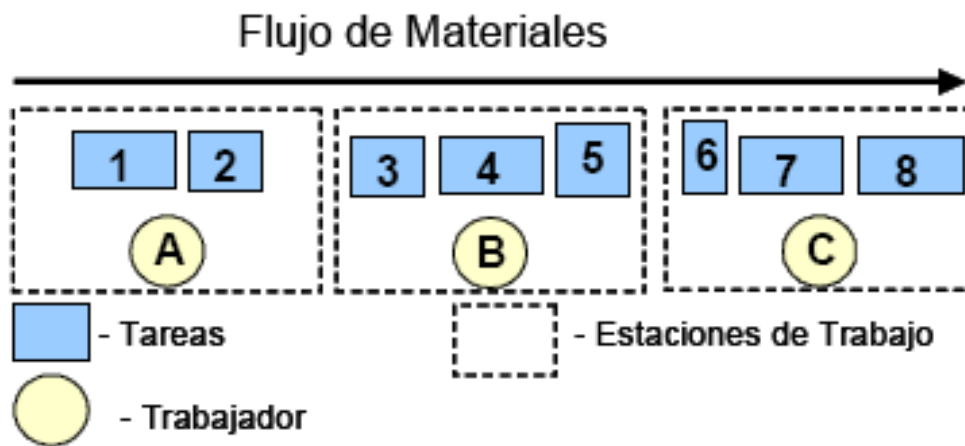


Figura 11. Configuración de una Línea de ensamblaje, extraído de.¹⁵

Una consecuencia importante de establecer el balanceo en una línea de ensamblaje basado solamente en el tiempo de operación de las tareas es que los trabajadores podrán estar sobrecargados físicamente lo cual puede conducir a desórdenes músculo-esqueléticos¹⁶. Este término es usado para describir enfermedades y desórdenes que afectan los músculos, tendones, ligamentos, cartílagos, nervios y vasos sanguíneos del cuello y extremidades superiores. Con respecto al balanceo de una línea, la

¹⁵ Carnahan, B., Norman, B., y Redfern, M., Incorporating physical demand criteria into assembly line balancing. IIE Transactions. Vol 33. P. 875-887. 2001.

¹⁶ Hagberg, M., Silverstein, B., Well, R., Smith, M. J., Hendrick, H., Carayon, P. y Perusse, M., Work related Musculoskeletal Disorders. Libro de Referencia para la prevención, Taylor and Francis, 1995.

asignación de las tareas en las estaciones de trabajo puede resultar en la presencia de riesgo al sistema músculo-esquelético.

Diversos enfoques sugieren que es posible crear líneas de ensamblaje que incorporen la producción y riesgos físicos impuestos por la demanda.¹⁷

3.3.2 Merms en los trabajadores a causa de las medidas de seguridad.

En muchas ocasiones los empleados se quejan de que el equipo de protección, seguridad que se usa para llevar a cabo una tarea muchas veces es innecesario, ya que el trabajo que está desempeñando realmente no requiere de estas medidas de seguridad. Así que será necesaria una correcta evaluación de este aspecto, ya que las consecuencias del uso de equipo de protección, seguridad innecesario trae como consecuencia una disminución de la productividad del empleado, dando como resultado que la eficiencia de la línea no se este cumpliendo.

3.4 El hombre y la máquina en el balanceo de la línea.

Para diseñar los puestos con eficacia es necesario estudiar el trabajo que el hombre debe ejecutar, el trabajo que las máquinas deben hacer y lo que debe hacerse conjuntamente por hombres y máquinas. Con demasiada frecuencia se utiliza al hombre para desempeñar funciones mecánicas. Este desperdicio de los recursos humanos es tan común en la industria que vale la pena dedicar algún tiempo para examinar la forma de evitarlo.

¹⁷ Un algoritmo genético para el problema del espacio que minimiza el tiempo de ciclo y carga física de trabajo asignada a los trabajadores.

CAPÍTULO III. EL FACTOR HUMANO EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

Los hombres y las máquinas son similares en algunos aspectos y distintos en otros. Tanto las máquinas como los hombres pueden ejercer fuerza. Sin embargo, el hombre no puede igualar la enorme o prolongada fuerza ejercida por las máquinas. En consecuencia, cuando se trata de fuerza, deben emplearse los métodos mecánicos con el hombre en el puesto de control. Si el trabajo es de rutina, suele ser posible programar la máquina para que funcione automáticamente, de manera que admita el trabajo, ejerza sobre él la fuerza prescrita y la despidan. En otros casos, cuando el trabajo es variable, el hombre puede ejercer fuerza indirectamente que haga que la máquina lo aumente; un simple ejemplo sería el "diablo" (carretilla levantadora). En la asignación de puestos en esta categoría, es importante diseñar las palancas y engranajes de manera que la mayoría de los trabajadores puedan operarlos con poca dificultad. En demasiados casos, las palancas de las máquinas requieren tanta fuerza humana, que muchos hombres y la mayoría de las mujeres, no pueden accionarlas. Esto quiere decir un mal diseño de maquinaria. Rediseñando la máquina con palancas que proporcionan más ventaja mecánica, el esfuerzo se transfiere del hombre a la máquina, a donde éste pertenece. De esta forma el trabajador no se fatiga fácilmente haciendo trabajos que pueden ser ejecutados por máquinas.

3.4.1 La adaptación de la máquina al hombre.

Durante la Revolución Industrial hubo muchos cambios en la industria respecto a la fabricación de máquinas que hicieran el trabajo anteriormente ejecutado por hombres. Con el tiempo, esto condujo al desarrollo de máquinas cada vez más grandes, las cuales fueron diseñadas sin tener mucho en cuenta a sus operadores humanos. A medida que las máquinas aumentaron en tamaño, potencia y velocidad, los trabajadores con

CAPÍTULO III. EL FACTOR HUMANO EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

frecuencia se veían expuestos a muchos peligros. También tenían que hurgar entre las máquinas para observar si estaban funcionando con propiedad. La lubricación de las máquinas tomaba muchas horas, ya que los ajustes estaban colocados en lugares difíciles de localizar y alcanzar.

En las últimas dos décadas se ha invertido esta tendencia. Ahora se diseñan las máquinas no sólo para que ejecuten los trabajos, sino también para que se ajusten a las necesidades de los operadores. Una de tales mejoras es que la lubricación corra desde los cojinetes hasta una posición central, en donde todos los ajustes están unidos para una lubricación rápida y fácil. Otra mejora se refiere al uso de calibradores de control, carátulas y luces ubicadas cerca de los trabajadores de manera que puede hacerse rápidamente la sobre vigilancia de la operación. Las palancas y volantes están diseñados para que los operadores puedan alcanzarlos con facilidad. La fuerza que se requiere para operarlas esta dentro de las capacidades humanas. Donde se exigía demasiada fuerza las máquinas ahora están equipadas con servomecanismos mecánicos, eléctricos, neumáticos o hidráulicos. Finalmente, los peligros y dificultades que presentan las máquinas se han minimizado por medio de aislamientos y guardas. Sin embargo, la práctica de diseñar las máquinas para que se ajusten a la capacidad humana no es de ninguna manera universal. Aún existen muchos tipos de máquinas que están construidas sobre normas mecánicas, no humanas.

Para que se puedan hacer mejoras en estos aspectos, los diseñadores de maquinaria deben poseer información básica sobre el cuerpo humano y sobre la forma en que funciona. Se han llevado a cabo investigaciones y se sigue investigando para determinar el alcance de las dimensiones del tronco y de las extremidades en la población que van a manipular estas máquinas. Los estudios de la fuerza que puede ser ejercida en varias

CAPÍTULO III. EL FACTOR HUMANO EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

direcciones por los distintos miembros del cuerpo, proporcionan información relativa a los límites de fuerza con la que pueden diseñarse las máquinas. La velocidad con la que ocurren las reacciones y la precisión de ellas están siendo estudiadas ampliamente para proporcionar información para el diseño de sistemas de control. También se llevan a cabo investigaciones para determinar la forma en que deben diseñarse los medidores y carátulas para disminuir los errores humanos.

Aunque aunado a todos estos avances tecnológicos la industria en México tiene la desventaja de que todas las máquinas y equipo necesarios para producir ítems, son importados de otros países, en su mayoría de Estados Unidos, es decir, que las máquinas y el equipo si tienen todos estos avances tecnológicos, pero fueron hechos basados en las características físicas de los Americanos, esto traerá como consecuencia que muchas veces el operario no alcance las perillas de operación, los pedales, etc.

3.5 Curva de aprendizaje.

Es la representación gráfica del progreso en la efectividad de producción con el paso del tiempo.

Los ingenieros industriales, de recursos humanos y otros profesionales interesados en el estudio de la conducta personal, reconocen que el aprendizaje depende del tiempo. Se necesitan horas para dominar aún la más simple operación. Trabajos más complicados pueden tomar días y aún semanas, antes de que el operador pueda adquirir cualidades físicas y mentales coordinadas que le permitan pasar de un elemento a otro sin titubeo o retraso¹⁸.

¹⁸ Krajewski, Lee Ritzman, Larry - Administración de Operaciones - Prentice Hall - 2000

CAPÍTULO III. EL FACTOR HUMANO EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

La figura 12 ilustra una típica curva de aprendizaje, la H nos representa el tiempo unitario medio acumulado y P nos representa la producción acumulada.

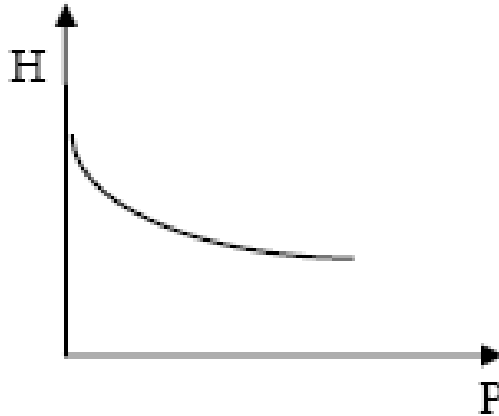


Figura 12. Curva de aprendizaje.

Mucho ayudará al analista tener a su disposición curvas de aprendizaje representativas para las varias clases de trabajo que se llevan a cabo en la compañía. Esta información puede ser útil no sólo para determinar en qué momento de la producción sería deseable establecer el estándar, sino que también lo guiará a encontrar el nivel esperado de productividad que el operario medio alcanzará teniendo un cierto grado de familiaridad con la operación, y después de haber producido un cierto número de piezas.

La teoría de la curva de aprendizaje expresa que cada vez que se duplica la cantidad de unidades producidas, el tiempo unitario decrece en un porcentaje constante. Por ejemplo, si se espera que se obtenga un 90 % de tasa de mejoramiento, el tiempo unitario medio bajará en 10 % al duplicarse la producción.

La teoría de curvas de aprendizaje se basa en tres suposiciones:

1. El tiempo necesario para completar una tarea o unidad de producto será menor cada vez que se realice la tarea.

CAPÍTULO III. EL FACTOR HUMANO EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

2. La tasa de disminución del tiempo por unidad será cada vez menor.
3. La reducción en tiempo seguirá un patrón previsible.

Las curvas de aprendizaje son útiles para una gran variedad de aplicaciones, entre las cuales cabe incluir:

1. Previsión de la mano de obra interna, programación de la producción, establecimiento de costos y presupuestos.
2. Compras externas y subcontratación de artículos.
3. Evaluación estratégica de la eficiencia de la empresa y de la industria.

3.6 Tiempos de las tareas (task time) estocásticos.

Este apartado del trabajo se enfocará ha hacer ver la importancia de la buenas condiciones de trabajo para que el trabajador pueda desarrollar mejor sus actividades, tomando en cuenta factores como la curva de aprendizaje antes mencionada.

En las secciones anteriores se asume que los tiempos de las tareas son deterministas¹⁹. Aunque este es el caso regularmente en las líneas

¹⁹ En matemáticas, un sistema determinista es un sistema en el cual el azar no está involucrado en los futuros estados del sistema. Es decir, si se conoce el estado actual del sistema, las variables del entorno y el comportamiento del sistema ante los cambios en el ambiente, entonces se puede predecir sin ningún riesgo de error el estado siguiente del sistema.

CAPÍTULO III. EL FACTOR HUMANO EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

altamente automatizadas. (Como las líneas de transferencia²⁰), usualmente los task time varían con respecto al tiempo de ciclo, especialmente cuando los operadores humanos están comprometidos. En general, la varianza de los tiempos de las tareas incrementa con su complejidad²¹.

En algunos casos es suficiente usar un task time t'_j el cual contiene un factor de seguridad, tanto que el task time estocástico de la tarea j no exceda este valor en cierta probabilidad. Entonces el problema estocástico puede ser (heurísticamente) transformado a uno determinista y resuelto modificando el procedimiento para SALBP.²²

Los objetivos específicos orientados a los tiempos de modelos estocásticos son la minimización de la probabilidad de exceder el tiempo de ciclo en cualquier estación o las variaciones estocásticas²³ de los tiempos de las estaciones. Usualmente, los objetivos orientados al tiempo no consideran las consecuencias de exceder el tiempo de ciclo. Debido a que generalmente es imposible usar un tiempo de ciclo lo suficientemente largo para obtener probabilidades excesivas lo suficientemente pequeñas, se tienen que considerar los efectos de las tareas incompletas explícitamente:

- La banda transportadora es detenida hasta que la última operación incompleta haya sido desarrollada en la línea. Así una estación puede bloquear el proceso de producción de todas las otras estaciones y disminuir el índice de producción.

²⁰ Las líneas de transferencia usan la fuerza humana muy poco a comparación de las líneas de ensamblado.

²¹ Moodie y young en 1965 suponen que los tasks time son variables normalmente independientes los cuales son considerados mas realistas en mas casos de trabajo humano.

²² Para una mas amplia explicación de este problema podemos consultar las siguientes referencias: Kottas y Lau en 1976 y 1981. Así mismo Sphicas y Silverman en 1976, Henil en 1986, Carraway en 1989.

²³ Se denomina estocástico a un sistema, a aquel que funciona, sobre todo, por el azar. Las leyes de causa-efecto no explican cómo actúa.

CAPÍTULO III. EL FACTOR HUMANO EN EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

- El proceso continua, mientras las tareas incompletas y todos sus sucesores en el diagrama de precedencia sean dejados. Estas tareas son desarrolladas en una estación especial fuera de la línea, después que las unidades incompletas dejan la línea, el proceso continua con una pieza de trabajo que ha sido terminada a tiempo y espera en el amortiguador (buffer²⁴).
- Las estaciones que cuidan sobrepasar el tiempo de ciclo obtienen una capacidad adicional dando trabajo a operadores adicionales que incrementan el paso de trabajo pero incrementan los costos por pieza.

Sin considerar como es que se las ha arreglado, causan un costo adicional. Esos gastos de piezas no terminadas son reducidos disminuyendo las estaciones utilizadas. Esto puede ser hecho incrementando el número de estaciones o el tiempo de ciclo. Sin embargo, esto eleva el costo de la mano de obra y el equipo. Además el orden de las tareas dentro de las estaciones influye en los costos de las tareas incompletas con respecto a su valor y probabilidad.²⁵ Los riesgos potenciales de los costos de no terminar una tarea son, tiene que ser introducido más tiempo muerto en una estación para evitar la actual tarea incompleta. Por lo tanto, los tiempos de holgura podrían ser concentrados en estaciones tempranas de la línea, porque los costos de tareas incompletas dependen del número de tareas sucesoras afectadas.²⁶

²⁴ Estas filas internas o "Buffer" son unidades de almacenamiento entre cada par de estaciones. Estas amortiguan el impacto de problemas en la línea y como consecuencia aumentan la capacidad de la línea de ensamblaje.

²⁵ Ver Kottas y Lau en su libro de la edición de 1976.

²⁶ Los problemas que surgen con la creación de estaciones especiales ajenas a la línea de trabajo principal, las cuales terminan los trabajos de las tareas incompletas son analizados por Kottas y Lau en (1973, 1976, 1981). Shtub en 1984 considera además la posibilidad de asignar dinámicamente operadores adicionales.

CAPÍTULO IV. “MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN”.

4.1 Métodos para solución del problema de líneas de ensamblaje.

En la actualidad existe una gran variedad de métodos para resolver el problema de balanceo de líneas de ensamblaje, los cuales se clasifican principalmente en dos, los métodos heurísticos y los métodos de algoritmos exactos, estos últimos pueden ser subdivididos principalmente en dos procedimientos: Procedimiento de Branch and Bound (B & B) y los métodos basados en programación dinámica (DP). Los métodos heurísticos se clasifican de la siguiente manera: Métodos de descomposición, inductivos, de reducción, constructivos, de búsqueda local²⁷.

Como se menciona anteriormente el objetivo de esta tesis es analizar los factores que están involucrados directa e indirectamente en el balanceo de líneas de ensamblaje y la revisión de los métodos que normalmente se encuentran en la literatura, tales como el método de Helgeson & Birnie, el método heurístico basado en reglas de asignación, con el fin de que los alumnos de licenciatura se vayan familiarizando con el problema, aunque no son lo mejores métodos, pero no se puede abordar problemas de programación lineal, ya sea entera, mixta o dinámica, ya que no se tienen las bases, aunque se hace mención de ellos y brindamos todas las referencias posibles para que el alumno interesado pueda acceder a ellos.

²⁷ Análisis del problema de balanceo de líneas de ensamblaje Autor: Alfredo Vargas Díaz. Tesis de Investigación de Operaciones.

4.1.1 Método de Helgeson & Birnie.

El método propuesto por Helgeson y Birnie en 1961, también llamado Técnica de Peso Posicional Clasificado, asigna un peso o factor de ponderación, a cada tarea, con base en el tiempo total requerido por todas las tareas posteriores. Las tareas se asignan en forma secuencial a las estaciones, con base en esos factores de ponderación.

4.1.1.1 Descripción y aplicación del método.

A continuación se hará la descripción del método paralelamente con la aplicación, para una mejor comprensión del método.

El ensamblaje final de las computadoras personales IBM, clones que se despachan por correo, requieren un total de 12 tareas. El armado se efectúa en la planta de Texas, con varios componentes importados de Lejano Oriente. Las tareas requeridas en las operaciones de ensamblaje son:

Tareas:

1. Taladrar agujeros en la caja metálica y montar los soportes de las unidades de disco.
2. Fijar la tarjeta madre a la caja.
3. Montar la fuente de poder y fijarla a la tarjeta madre.
4. Colocar los chips de procesador principal y de memoria en la tarjeta madre.
5. Conectar la tarjeta de gráficos,
6. Montar las unidades de disquete. Conectar el controlador de unidad de disquete y la fuente de poder a las unidades de disquete.

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

7. Montar la unidad de disco duro. Conectar el controlador de disco duro y la fuente de poder al disco duro.
8. Poner las posiciones de los interruptores en la tarjeta madre en la configuración específica para el sistema.
9. Conectar el monitor con la tarjeta de gráficas antes de correr el diagnóstico del sistema.
10. Correr el diagnóstico del sistema.
11. Sellar la caja.
12. Fijar el logotipo de la empresa y empacar el sistema para su transporte.

La empresa labora 8 horas al día, por lo que el tiempo de producción por día es de 480 minutos, en día normal de trabajo se produce 32 computadoras. La duración de las tareas esta dada en minutos.

Antes de cualquier otra operación deben perforarse los agujeros y fijar la tarjeta madre a la caja. Una vez montada la tarjeta madre, se pueden instalar la fuente de poder, los chips de la memoria y los del procesador, la tarjeta de gráficos y los controladores de disco. Las unidades de disco flexible se colocan en la unidad antes que la del disco duro, y requieren que primero esté en su lugar la fuente de poder y su controlador. Con base en la configuración de memoria y la elección del adaptador de gráficos se determina la posición de los interruptores en la tarjeta de gráficos para poder leer los resultados de las pruebas de diagnóstico. Por último después de haber terminado las demás tareas, se corre el diagnóstico y se empaca el sistema para su entrega. Los tiempos de trabajo y las relaciones de precedencia se resumen en la tabla 5.

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

Tarea	Predecesores inmediatos	Tiempo
1	-	12
2	1	6
3	2	6
4	2	2
5	2	2
6	2	12
7	3,4	7
8	7	5
9	5	1
10	9,6	4
11	8,10	6
12	11	7
		T = 70

Tabla 5. Tareas y Predecesores inmediatos.

Se hará el diagrama de precedencias correspondiente, ilustrado en la figura 13, donde están representadas las tareas por medio de los círculos con el número de tarea en su interior, y la duración de la tarea en el exterior de los círculos.

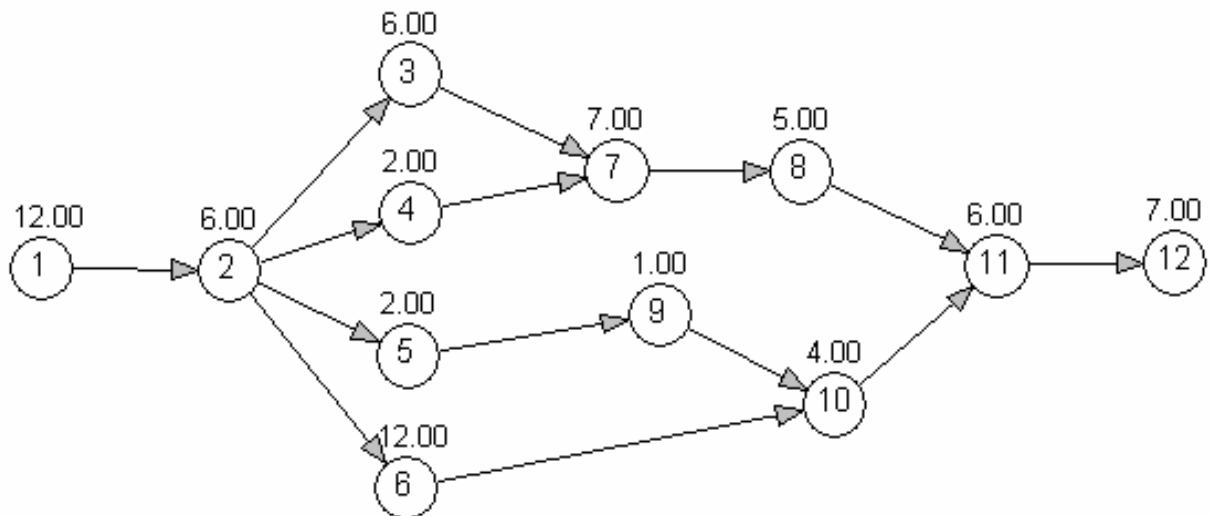


Figura 13. Diagrama de precedencia con 12 tareas.

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

1. Se va a determinar el tiempo de ciclo. De la ecuación 1.2 tenemos que el tiempo de ciclo esta dado por la siguiente relación, donde se tiene un C de:

$$C = \frac{(\text{Minutos / Turno})(\text{Turnos / Día})}{\text{Demanda Esperada por Día}} = \frac{(8)(60)}{32} = \frac{480}{32} = 15$$

2. Se determina el número mínimo de estaciones teóricas de trabajo requeridas para cumplir con la demanda con ayuda de la ecuación 1.5, se obtiene:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Tiempo de la tarea } i}{C} = \frac{70}{15} = 4.6$$

Nota: este número teórico de estaciones se redondea al inmediato superior, por lo que se tendrá: $4.6 \approx 5$

3. El procedimiento de solución requiere determinar el peso posicional de cada tarea. Se define el peso posicional de la tarea i como el tiempo requerido para llevar acabo la tarea i más los tiempos requeridos para realizar todas las tareas que tengan como predecesor a la tarea i. como la tarea i debe preceder a todas las demás, su peso posicional es tan solo la suma de los tiempos de las tarea, que es 70. La tarea 2 tiene como peso posicional 58. De acuerdo con la figura 13 se ve que la tarea 3 debe preceder a las tareas 7, 8, 11 y 12, así que el peso posicional de la tarea 3 es $t_3 + t_7 + t_8 + t_{11} + t_{12} = 31$. Los demás pesos posicionales se calcula en forma análoga y se muestran en la tabla 6.

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

Tarea	Predecesor inmediatos	Tiempo	Peso posicional
1	-	12	70
2	1	6	58
3	2	6	31
4	2	2	27
5	2	2	20
6	2	12	29
7	3,4	7	25
8	7	5	18
9	5	1	18
10	9,6	4	17
11	8,10	6	13
12	11	7	7

Tabla 6. Nos muestra los pesos posicionales.

4. El siguiente paso es clasificar las tareas en el orden de peso posicional decreciente. Para este caso la clasificación es 1, 2, 3, 6, 4, 7, 5, 8, 9, 10, 11, y 12. Las tareas se asignan en forma secuencial a las estaciones en el orden de su clasificación y solo se hacen asignaciones que no violen las restricciones de precedencia.
5. La tarea 1 se asigna a la estación 1, esto deja un tiempo de holgura de 3 minutos en esta estación. Sin embargo como debe asignarse la tarea 2 a continuación para no violar restricciones de precedencia, y como la suma de $t_1 + t_2$ es mayor que 15, se cierra la estación 1. A continuación se asignan las tareas 2, 3, y 4 a la estación 2, con lo que resulta un tiempo de inactividad de solo 1 minuto en esta estación. Al continuar de esta manera se obtiene el siguiente balanceo ilustrado en la tabla 7.

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

Estación	1	2	3	4	5	6
Tareas	1	2, 3, 4	5, 6, 9	7, 8	10, 11	12
Holguras	3	1	0	3	5	8

Tabla 7. Nos muestra las 6 estaciones resultantes, así como los tiempos de holgura.

Es más fácil visualizar las estaciones en el diagrama de precedencias, como lo se ilustra en la figura 14.

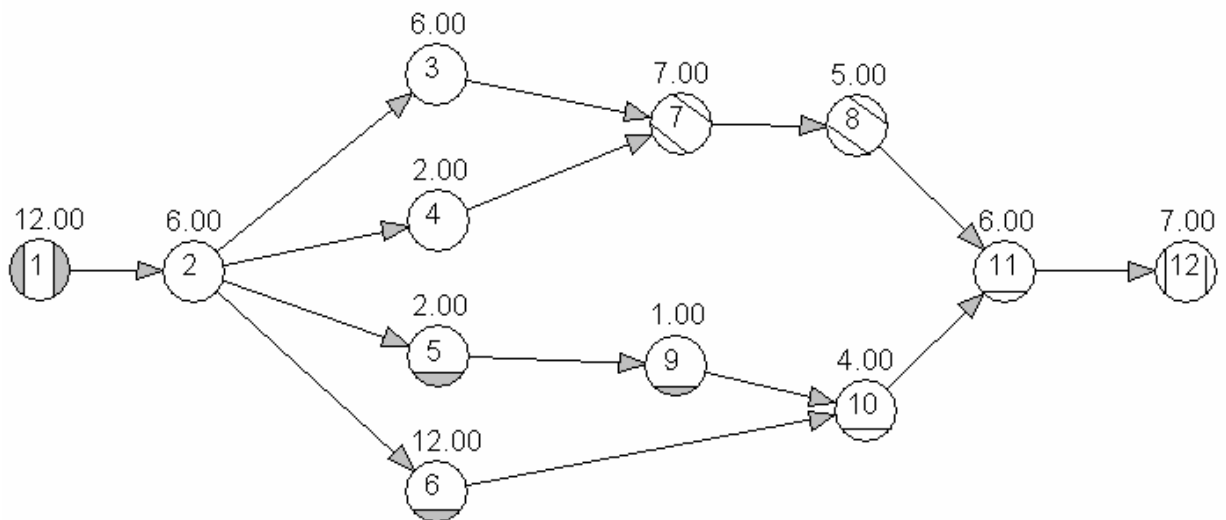


Figura 14. Diagrama de precedencias agrupando estaciones.

Observe que aunque la cantidad mínima de estaciones para este problema es 5, este método da como resultado un equilibrio con 6 estaciones. Como el método es heurístico es posible que haya una solución con 5 estaciones. Veamos la eficiencia del balanceo, con ayuda de la ecuación 1.1

$$\text{Eficiencia del Balanceo (EB)} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Tiempo de la tarea } i}{m \times C} = \frac{70}{(6)(15)} = 0.77 = 77\%$$

De la ecuación 1.3 se obtendrá que:

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

$$\% \text{ Ociosidad} = 1 - \% EB = 1 - 0.77 = 0.23 = 23\%$$

4.1.2 Método heurístico basado en reglas de asignación.

Otro método heurístico basado en reglas de asignación a las estaciones, similar al de Helgeson & Birnie, da otro enfoque de asignación al problema, se aplicará al ejemplo anterior con la finalidad de hacer posibles comparaciones y posibles mejoras.

4.1.2.1 Descripción y aplicación del método.

1. Especificar las relaciones de precedencia mediante la tabla 8 y mediante un diagrama de precedencia para su mejor apreciación en la figura 15.

Tarea	Predecesores inmediatos	Tiempo
1	-	12
2	1	6
3	2	6
4	2	2
5	2	2
6	2	12
7	3,4	7
8	7	5
9	5	1
10	9,6	4
11	8,10	6
12	11	7

Tabla 8. Predecesores inmediatos.

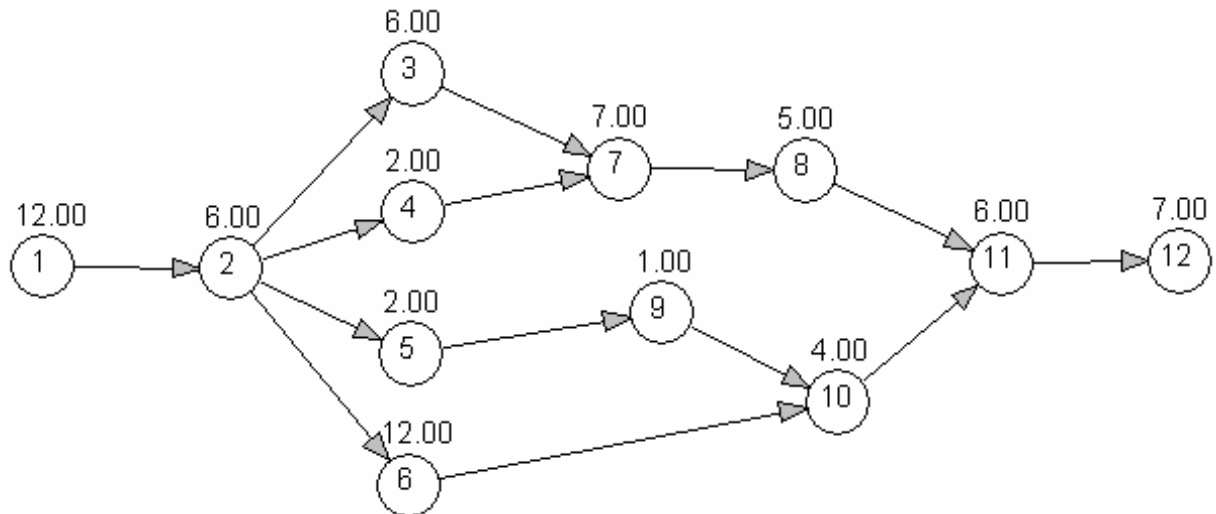


Figura 15. Diagrama de precedencias con 12 tareas.

- Para determinar el tiempo de ciclo. De la ecuación 1.2 se tiene que el tiempo de ciclo esta dado por la siguiente relación, donde tenemos un C es:

$$C = \frac{(\text{Minutos / Turno})(\text{Turnos / Día})}{\text{Demanda Esperada por Día}} = \frac{(8)(60)}{32} = \frac{480}{32} = 15$$

- Para determinar el número mínimo de estaciones teóricas de trabajo requeridas para cumplir con la demanda con ayuda de la ecuación 1.5, se tiene:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Tiempo de la tarea } i}{C} = \frac{70}{15} = 4.6$$

Nota: este número teórico de estaciones se redondea al inmediato superior, por lo que tenemos: $4.6 \approx 5$.

- Seleccionar la regla primaria mediante la cual las tareas serán asignadas a las estaciones de trabajo y la segunda regla para romper empates. Investigaciones han demostrado que algunas reglas son mejores que otras para ciertas estructuras de problemas. En general,

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

la estrategia es usar la regla de asignación que nos de mejor eficiencia en el balanceo, para efectos de estudio se elige la regla 1 como regla primaria. Aunque será interesante ver en que varían, por lo que se aplican ambas.

4.1.2.2 Reglas de asignación.

A continuación se mencionan las reglas de asignación, las cuales son dos:

- ❖ La regla basada en asignar la tarea que tenga mayor número de tareas posteriores, es decir, subsecuentes. La segunda regla se utiliza para romper empates que puedan surgir en la asignación de las tareas. Como se ilustra en la tabla 9.

Tareas	Número de tareas subsecuentes
1	11
2	10
3, 4, 5	4
6, 7 ó 9	3
8 ó 10	2
11	1
12	0

Tabla 9. Número de tareas subsecuentes.

- ❖ La segunda regla esta basada en asignar la tarea que tenga el mayor tiempo de duración.
5. Asignar tareas, una a la vez, a la primera estación de trabajo hasta que la suma de los tiempos de las tareas sea igual al tiempo de ciclo

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

de la estación, o que no haya otras tareas factibles debido a que el tiempo se haya terminado o a las restricciones de secuencia. Repetir el proceso para la estación 2, las estación 3, y así hasta que todas las tareas hayan sido asignadas.

En la estación 1. Formada por la tarea 1 que tiene una duración de 12. Se tiene un tiempo de ciclo de 15 del cual se resta la duración de la tarea 1 que es de 12 y quedando un tiempo sin asignar de 3, al ver el diagrama de precedencia figura 15 la siguiente tarea factible es 2, pero el tiempo de la tarea es de 6 por lo cual se cierra la estación 1 con un tiempo de holgura de 3.

En la estación 2. Se inicia con la tarea 2 ya que es la única tarea factible que tiene una duración de 6, nuevamente al tiempo de ciclo de 15 se le restan los 6 y se tiene un tiempo sin asignar de 9, por lo que se observa el diagrama de precedencia y se observan las tareas factibles para la estación 2. Que serían las tareas 3, 4 y 5 (la tarea 6 no es factible, debido a que tiene una duración de 12 y el tiempo disponible es de 9). Ahora viendo que tareas tienen más tareas subsecuentes nos encontramos con que las tres, o sea 3, 4 y 5 (cada una tiene cuatro tareas subsecuentes) por lo que se hace uso de la segunda regla de asignación para romper el empate, la cual dice que escoger la tarea que tenga la mayor duración (task time), así que es la tarea 3 con una duración de 6. Nuevamente se le resta 6 al tiempo de ciclo que resta que es de 9 y nos queda un tiempo sin asignar de 3, viendo las tareas factibles que son 4 y 5 que tienen una duración de 2, los cuales se restan de 3 y se tiene un tiempo de holgura de 1 donde la tarea con más tareas subsecuentes son las dos, es decir, 4 y 5. Se recurre a la segunda regla para romper empates, la que tenga mayor duración y se tiene nuevamente un empate, ya que ambas tienen una duración de 2. Ahora se escoge arbitrariamente cualquiera de las dos tareas, en este caso se elige

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

la tarea 4 que tiene una duración de 2, con lo que se tiene un tiempo de holgura de 1. Y finalmente se cierra la estación 2 porque el tiempo restante no alcanza para tareas factibles.

En la estación 3. Las tareas factibles son 7, 5 y 6, se elige la tarea 5 que tiene mayor número de tareas subsecuentes, la tarea 5 tiene una duración de 2 que es restado del tiempo de ciclo, resultando un tiempo sin asignar de 13, se ven las tareas factibles que son 7, 9 y 6, donde se tiene un empate entre las tres por tener igual número de estaciones subsecuentes y aplicando la segunda regla se obtiene la tarea 6, que tiene una duración de 12 que se restan del tiempo sobrante que es de 13, sobrando solo 1. Se ven las tareas factibles y se tiene que solo la tarea 9 es factible porque tiene un tiempo de duración de 1, después se resta y se terminado el tiempo de ciclo, en este caso el tiempo de holgura es de 0, con lo que se cierra la estación 3.

Estación 4. Las tareas factibles son 7 o 10, por tener mayor número de tareas precedentes se elige la tarea 7 que tiene una duración de 7, así que se tiene un tiempo sin asignar de 8, se ven las tareas factibles y se tiene 8 y 10, las cuales tienen igual número de tareas precedentes, así que se aplica la segunda regla y se tiene la tarea 8 ya que tiene una duración de 5, finalmente se tiene un tiempo sin asignar de 3. Se cierra la estación 4, porque no se tienen tareas factibles.

Estación 5. La única tarea factible es la 10, que tiene un duración de 4, restando del tiempo de ciclo, se tiene un tiempo sin asignar de 11, la siguiente tarea factible es la tarea 11 con una duración de 6, restando el tiempo de ciclo restante se tiene un tiempo sin asignar de 5, al no tener tareas factibles se cierra la estación.

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

Estación 6. La última tarea es la 12 con una duración de 7, restando del tiempo de ciclo se tiene un tiempo de 8. Con lo que se termina de asignar las tareas.

En la tabla 10 se ilustran cada uno de los pasos mencionados anteriormente, con el fin de facilitar su comprensión.

Estaciones	Tareas	Duración de tareas	Tiempo sin asignar	Tareas factibles	Tareas con mas tareas subsecuentes	Tareas con mayor tiempo de duración
Estación 1	1	12	3			
Estación 2	2	6	9	3, 4, 5	3, 4, 5	3
	3	6	3	4, 5	4, 5	4
	4	2	1			
Estación 3	5	2	13	7, 9 6	7, 9, 6	6
	6	12	1	9		
	9	1	0			
Estación 4	7	7	8	8, 10	8, 10	
	8	5	3			
Estación 5	10	4	11	11		
	11	6	5			
Estación 6	12	7	8			

Tabla 10. Muestra cada uno de los pasos antes mencionados de forma gráfica.

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

Se ve más claro en el diagrama de precedencia de la figura 16.

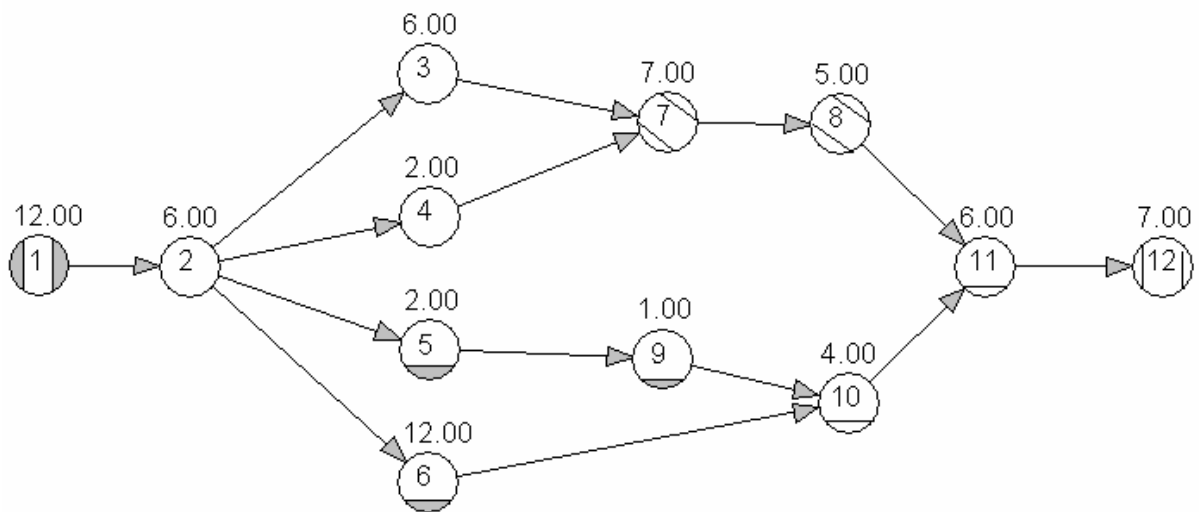


Figura 16. Diagrama de precedencias agrupando estaciones.

Como complemento de este método ahora veamos que hubiera pasado si en lugar de elegir la tarea 4 en el desempate arbitrario que se hizo, elegimos la tarea 5. Como se muestra en la tabla 11.

Estaciones	Tareas	Duración de tareas	Tiempo sin asignar	Tareas factibles	Tareas con mas tareas subsecuentes	Tareas con mayor tiempo de duración
Estación 1	1	12	3			
Estación 2	2	6	9	3, 4, 5	3, 4, 5	3
	3	6	3	4, 5	4, 5	5
	5	2	1	9		
	9	1	0			
Estación 3	4	2	13	7, 6	7, 6	6
	6	12	1			

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

Estación 4	7	7	8	8, 10	8	
	8	5	3			
Estación 5	10	4	11	11		
	11	6	5			
Estación 6	12	7	8			

Tabla 11. Resultado de la aplicación del método.

Se ve más claro en el diagrama de precedencias de la figura 17.

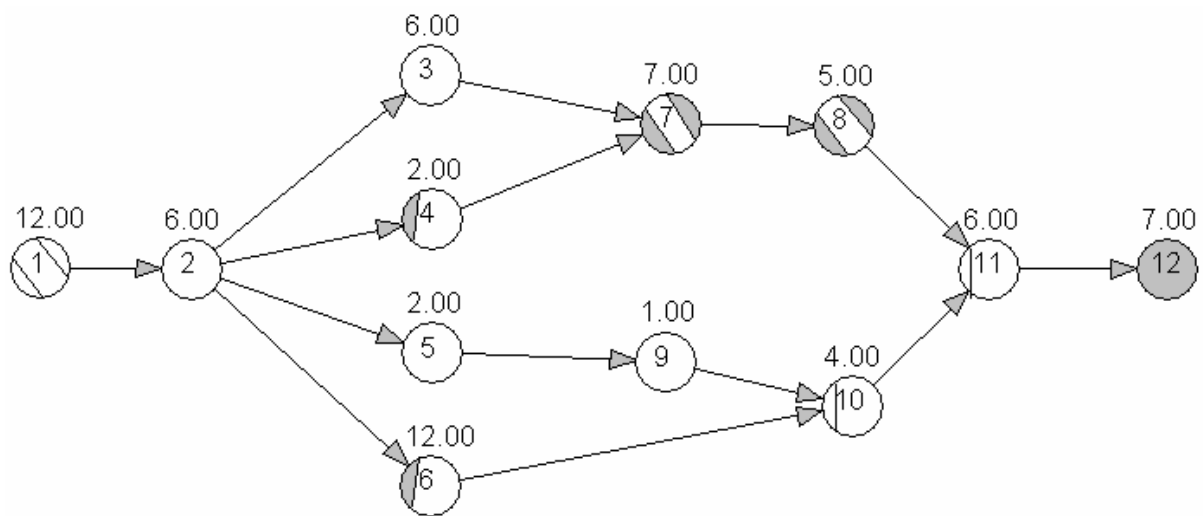


Figura 17. Diagrama de precedencias agrupando estaciones.

Nota. Como se menciona al iniciar el desarrollo del método, será muy didáctico ver que pasa si se aplica la regla 2 como primaria.

Estación 1. Tareas factibles, la tarea 1 con una duración de 12, tiempo sin asignar de 3. Y se cierra la estación.

Estación 2. Tareas factibles, la tarea 2, con una duración de 6, tiempo sin asignar 9, tareas factibles 3, 4 y 5, de las cuales la tarea 3 tiene mayor duración, de 6, tiempo sin asignar 3, tareas factibles 4 y 5, de las cuales ambas tienen la misma duración, así que se utiliza la regla 1 para romper el empate, pero ambas tienen las mismas tareas subsecuentes, así que se rompe el empate arbitrariamente eligiendo la tarea 4, con una duración de

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

2, tiempo sin asignar 1. No hay tareas factibles, así que se cierra la estación.

Estación 3. Tareas factibles, 7, 6 y 5, de las cuales la tarea 6 tiene la mayor duración de 12, tiempo sin asignar de 3, tarea factible 5, con una duración de 2, tiempo sin asignar de 1, tareas factibles 9, con una duración de 1, tiempo sin asignar de 0. Se cierra la estación.

Estación 4. Tareas factibles 7 y 10, de las cuales la tarea 7 tiene una mayor duración de 7, tiempo sin asignar de 8, tareas factibles 8 y 10, de las cuales la tarea 8 tiene la mayor duración de 5, tiempo sin asignar de 3. No hay tareas factibles, así que se cierra la estación.

Estación 5. Tarea factible 10, con una duración de 4, tiempo sin asignar de 11, tarea factible 11, con una duración de 6, tiempo sin asignar 5. No hay tareas factibles, se cierra la estación.

Estación 6. Tareas factibles 12, con una duración de 7, tiempo sin asignar de 8, No hay mas tareas, así que se cierra la estación.

En la tabla 12 se ilustran cada uno de los pasos mencionados anteriormente, con el fin de facilitar su comprensión.

Estaciones	Tareas	Duración de tareas	Tiempo sin asignar	Tareas factibles	Tareas con mayor tiempo de duración	Tareas con mas tareas subsecuentes
Estación 1	1	12	3			

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

	2	6	9	3, 4, 5	3	
Estación 2	3	6	3	4, 5	4, 5	4
	4	2	1			
Estación 3	6	12	3	5		
	5	2	1	9		
	9	1	0			
Estación 4	7	7	8	8, 10	8	
	8	5	3			
Estación 5	10	4	11	11		
	11	6	5			
Estación 6	12	7	8			

Tabla 12. Muestra cada uno de los pasos antes mencionados de forma gráfica

Se aprecia más claramente en el diagrama de precedencia de la figura 18.

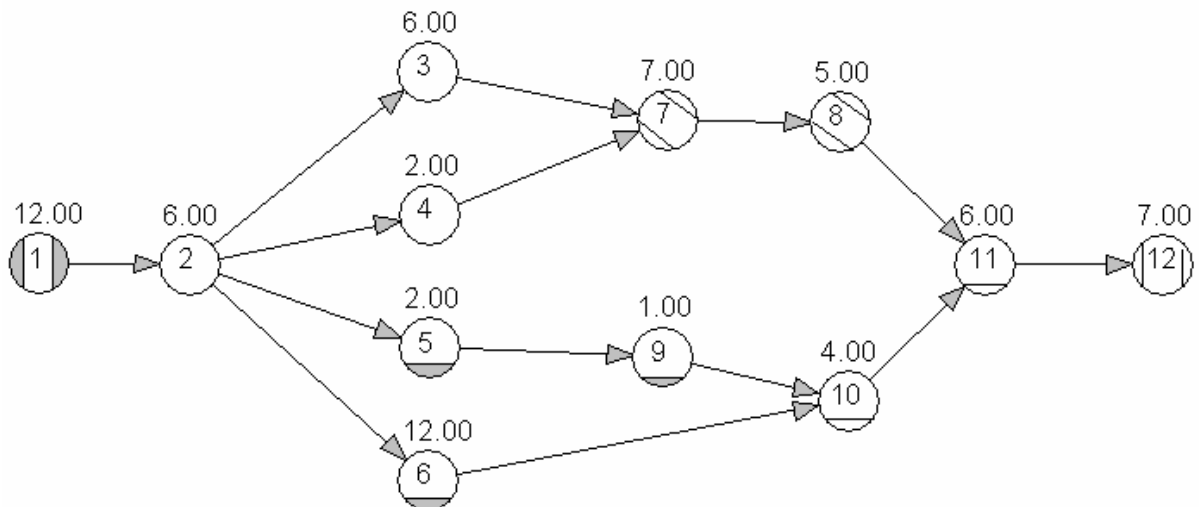


Figura 18. Diagrama de precedencias agrupando estaciones.

Como complemento de este método ahora vemos que hubiera pasado si en lugar de elegir la tarea 4 en el desempate arbitrario que se hizo, se elige la tarea 5. Como se muestra en la tabla 13.

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

Estaciones	Tareas	Duración de tareas	Tiempo sin asignar	Tareas factibles	Tareas con mayor tiempo de duración	Tareas con mas tareas subsecuentes
Estación 1	1	12	3			
Estación 2	2	6	9	3, 4, 5	3	5
	3	6	3	4, 5	4, 5	
	5	2	1			
Estación 3	6	12	3	4, 9		
	4	2	1			
Estación 4	7	7	8	8, 9	8	
	8	5	3	9		
	9	1	2			
Estación 5	10	4	11			
	11	6	5			
Estación 6	12	7	8			

Tabla 13. Resultado de la aplicación del método.

Se aprecia más claramente en el diagrama de precedencia de la figura 19.

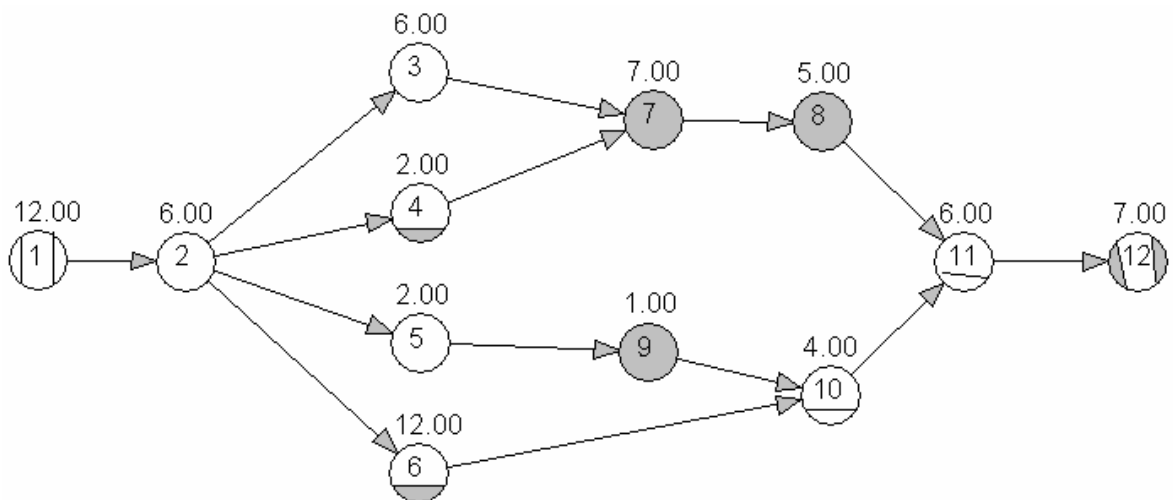


Figura 19. Diagrama de precedencias agrupando estaciones.

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

Como se puede apreciar en las diferentes aplicaciones de las reglas se obtuvieron 6 estaciones de trabajo, aunque en la figura 16 y 18 se obtuvo exactamente la misma asignación de las tareas a las estaciones de trabajo, existen problemas en los que no será así y se tendrá que buscar la variación de las reglas que brinden mejores resultados.

A continuación se sigue con los pasos del método.

6. Evaluar la eficiencia del balanceo usando la ecuación 1.1

$$\text{Eficiencia del Balanceo (EB)} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Tiempo de la tarea } i}{m \times C} = \frac{70}{(6)(15)} = 0.77 = 77\%$$

Aquí se finaliza con la aplicación del método.

4.1.0 Software.

El software para el balanceo de líneas de ensamblaje no es muy común, ya que es algo relativamente nuevo, existen algunos software disponibles, que a continuación se describen.

Existen software para realizar simulaciones de balanceo de líneas de ensamblaje, los cuales son muy difíciles de manejar por los ingenieros, o los jefes de producción, tales como:

- Arena: el cual no está dirigido a simular directamente problemas de balanceo de líneas pero se ha venido utilizando como una herramienta.

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

- SIMUL8: Software de simulación dirigido al balanceo de líneas de ensamblaje, complejo de manejar debido a la gran cantidad de ventanas que saturan la idea principal para la que fue creado. Principalmente estas dirigido para simular balanceos de líneas donde existe una mezcla de modelos. Como se vio en el tema 1.2.1.2, por lo que este software esta limitado solo a este tipo de líneas de ensamblaje.
- Proplanner: Software para el balanceo de líneas de ensamblaje, que considera ciertos factores como: Estaciones en paralelo, Precedencias, recursos disponibles, grupos de actividades, balanceos para líneas de ambos lados, considera estaciones ya existentes, es decir, considera características de forma independiente, lo que lo hace uno de los mejores software del mercado, aunque es costoso, por lo tanto difícil de adquirir en las empresas.
- Existe software especialmente diseñado para modelar problemas de programación lineal, que ha sido de gran ayuda para los analistas de la producción, ya que los problemas de balanceo de líneas de ensamblaje se pueden modelar como problemas de programación lineal. A continuación se mencionan algunos de estos software: Lingo, Lindo, Tora, QSB, entre otros. Se incluye un problema de programación lineal entera en el anexo A, así como la aplicación de uno de estos software antes mencionado.
- Flexible line Balancing V.3: Software para el balanceo de líneas de ensamblaje, que considera factores que a continuación se van a mencionar de forma mas amplia, ya que es el software que se recomienda a las empresas, por sus diversas características, costo

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

moderado en relación al beneficio obtenido y sobre todo accesible para su manejo.

4.2.1 Flexible line Balancing V. 3

Flexible Line Balancing V. 3 es un enfoque nuevo y versátil para la solución de un gran volumen de problemas de manufactura. Este programa fue diseñado para ser utilizado por ingenieros industriales, de manufactura, supervisores de producción, directores, para asignar el trabajo a una línea de ensamblaje con el fin de lograr la máxima productividad y el mejor beneficio costo-eficiencia.

A diferencia de algunos otros productos para el balanceo de líneas de ensamblaje, Flexible Line Balancing V. 3 es el único producto, al que no le tiene que agregar o comprar algún otro aditamento por separado.

Flexible Line Balancing V. 3 usa el procedimiento COMSOAL (Computer Method of Sequencing Operations para una línea de ensamblaje) para asignar elementos de trabajo a estaciones. En este método heurístico cientos o miles de cálculos son desarrollados rápidamente en la computadora, hasta que la mejor solución es encontrada. En pocos segundos, se puede resolver un problema complejo de asignación en una línea de ensamblaje de un número de estaciones de trabajo virtuales.

Flexible Line Balancing V. 3 es capaz de considerar cualquier condición o restricción para cualquier elemento de trabajo, incluyendo características de tareas como lo son:

- Independientes de todas las demás.

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

- Otras precedentes o subsecuentes o de otros grupos.
- Hacerlo fuera de la línea o en un área especial.
- Tareas largas, hacerlas como parte de alguna otra.
- Hacerlas en un grupo específico de trabajo.
- Contenerlas como parte de alguna otra tarea.
- Hacerlas por separado.
- Hacerlas en máquinas específicas

4.2.1.1 Descripción del software y aplicación.

A continuación se irá describiendo el funcionamiento del software, al aplicarlo al problema que fue resuelto anteriormente de forma manual, con fines de ver posibles mejoras en la eficiencia, así como la descripción del programa. Como los fines de esta investigación no son el mostrar ampliamente como trabaja el programa, sólo se enfoca a ir describiendo los pasos necesarios para resolver el problema.

Recordemos la tabla 5 del tema 4.1.1.1, que contiene las tareas del problema, así como las precedencias.

En la figura 19 se presenta la ventana principal que aparece al abrir el programa Flexible Line Balancing V. 3.

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

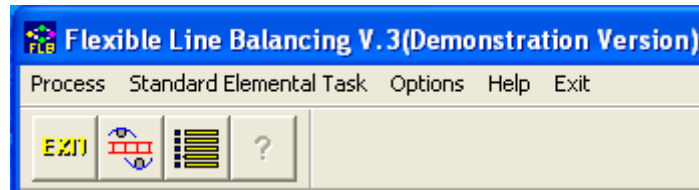


Figura 19. Ventana principal de Flexible Line Balancing V. 3.

El menú **process**, es el punto focal de Flexible Line Balancing V. 3. Donde se va a definir un escenario de trabajo directamente en la pantalla **process**. A continuación se da click en la pestaña y automáticamente aparece la ventana principal de trabajo figura 20.

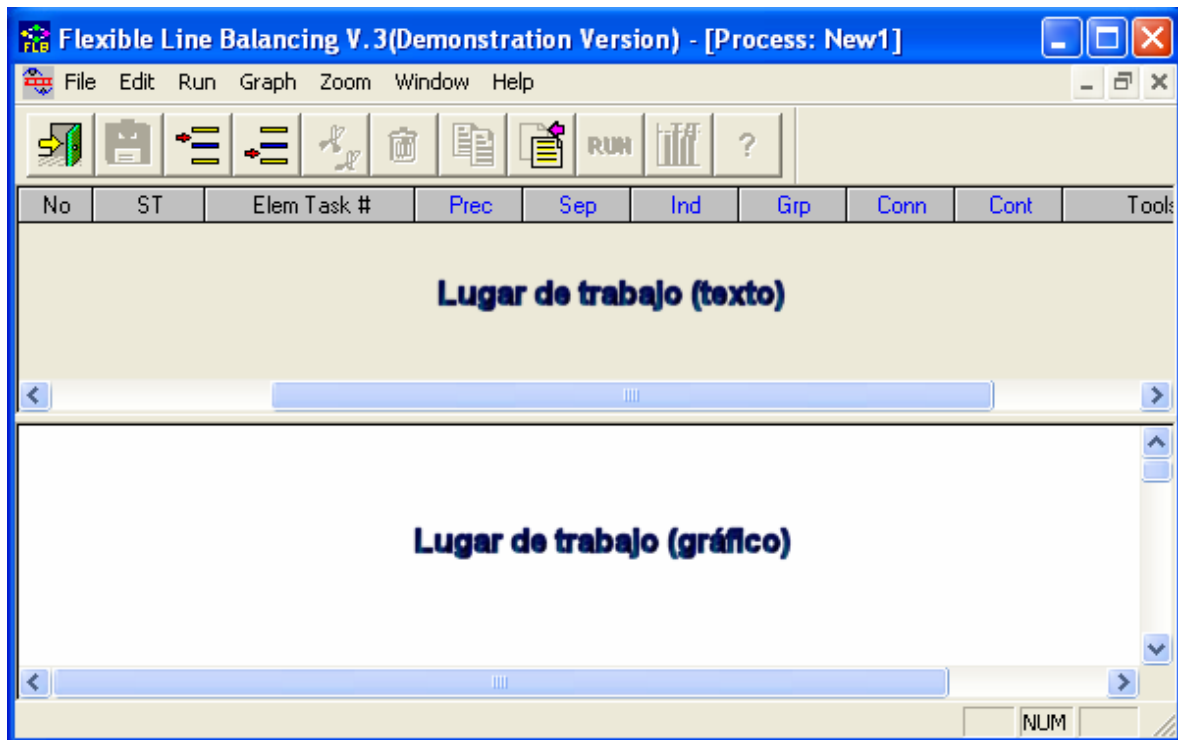


Figura 20. Ventana principal de trabajo.

Para vaciar los datos que se tienen en la tabla 5, se da click en el icono donde aparece el texto **Append task** las veces que sea necesario, hasta que salgan los 12 renglones necesarios, para las 12 tareas que integran el problema. Como lo ilustra la figura 21.

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

No	Workstation #	Append Task	Elem Task Description	ST	Elem Task #	Prec	Sep	Ind	Grp	Conn	Cont	Tools	Note
1				1	1			F					
2				1	2			F					
3				1	3			F					
4				1	4			F					
5				1	5			F					
6				1	6			F					
7				1	7			F					
8				1	8			F					
9				1	9			F					
10				1	10			F					
11				1	11			F					
12				1	12			F					

Figura 21. Muestra localización del icono Append task.

Una vez que se tienen los 12 renglones, se llena la parte que dice **Element Task Description** asignada para la descripción de las tareas que se tienen en el tema 4.1.1.1, al terminar se llena el espacio asignado para la duración de las tareas (tiempo estándar), el cual aparece con las iniciales ST (standard time), posteriormente se localiza la parte asignada para establecer las restricciones, las cual aparece con letras azules, el problema a tratar sólo tiene restricciones de precedencia, así que solo llenamos esa parte y dejamos las demás como están. La figura 22 muestra como quedan los espacios que fueron llenados.

No	Workstation #	Work Area	Elem Task Description	ST	Elem Task #	Prec	Sep	Ind	Grp	Conn	Cont	Tools	Note
1			Taladrar agujeros	12	1			F					
2			Fijar la tarjeta madre a la caja.	6	2	1		F					
3			Montar la fuente de poder.	6	3	2		F					
4			Colocar chips y memoria.	2	4	2		F					
5			Conectar tarjeta.	2	5	2		F					
6			Montar las unidades de disquete.	12	6	2		F					
7			Montar la unidad de disco duro.	7	7	3,4		F					
8			Interruptores en posición.	5	8	7		F					
9			Conectar monitor.	1	9	5		F					
10			Dianóstico del sistema.	4	10	9,6		F					
11			Sellar la caja.	6	11	8,10		F					
12			Colocar logotipo.	7	12	11		F					

Figura 22. Llenado de la información.

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

Simultáneamente en la parte inferior de la pantalla figura 20, donde dice, espacio de trabajo para gráficos, se fue creando el diagrama de precedencias, el cual solo se tiene que acomodar posicionado el mouse sobre el circulo y dando clic, para arrastrarlo hasta donde sea conveniente y darle la forma que mas convenga al diagrama de precedencias. La figura 23 nuestra como queda el diagrama de precedencias.

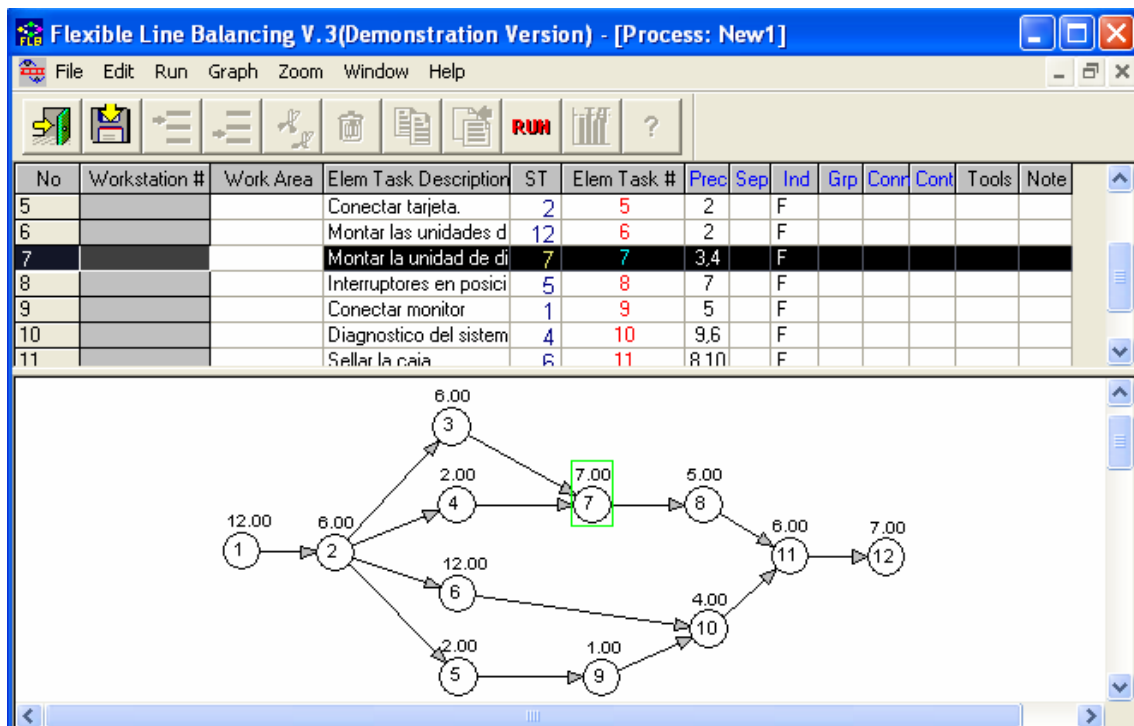


Figura 23. Diagrama de precedencias.

Observando la tarea 7 aparece con un recuadro de color verde, el cual fue dejado concientemente para ilustrar que el programa muestra la descripción de la tarea en la que el mouse sea posicionado con ayuda de un sombreado de color negro que se puede ver en la parte superior de la pantalla, esto con el fin de identificar que tarea es y su descripción, cuando se trata de problemas demasiado grandes.

Ahora el siguiente paso es ejecutar la corrida del programa mediante el icono que se encuentra en la parte superior de la pantalla con letras rojas

dice ***Run***, ver la figura 23. Se da un clic y presenta la siguiente pantalla, ver figura 24.

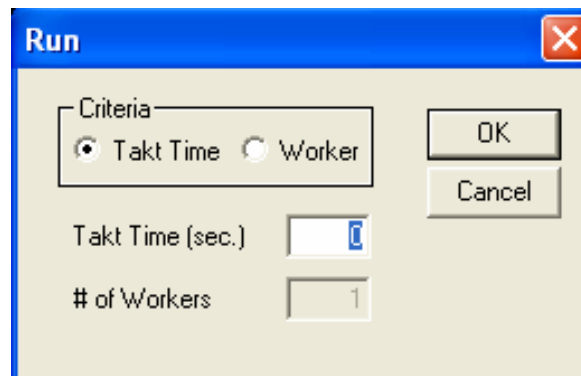


Figura 24. Muestra la pantalla que se ejecuta al dar clic sobre el icono Run.

En esta pantalla se ven los criterios mediante los cuales se puede realizar el balanceo de línea tales como: El tiempo de ciclo, (task time), que para el problema es de 15, o por medio del número de empleados deseados en la línea. A continuación se selecciona la opción que dice ***Task Time*** y se introduce en tiempo de 15²⁸. A continuación presenta una nueva ventana que se aprecia en la figura 25.

²⁸ Podemos ver que nos pide el task time en segundos, como nuestra aplicación maneja el task time en minutos no será necesario realizar la conversión en segundos, así que usamos el tiempo de 15 minutos. Cabe mencionar que la mayoría de los problemas manejan la cuestión de los task time en segundos.

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

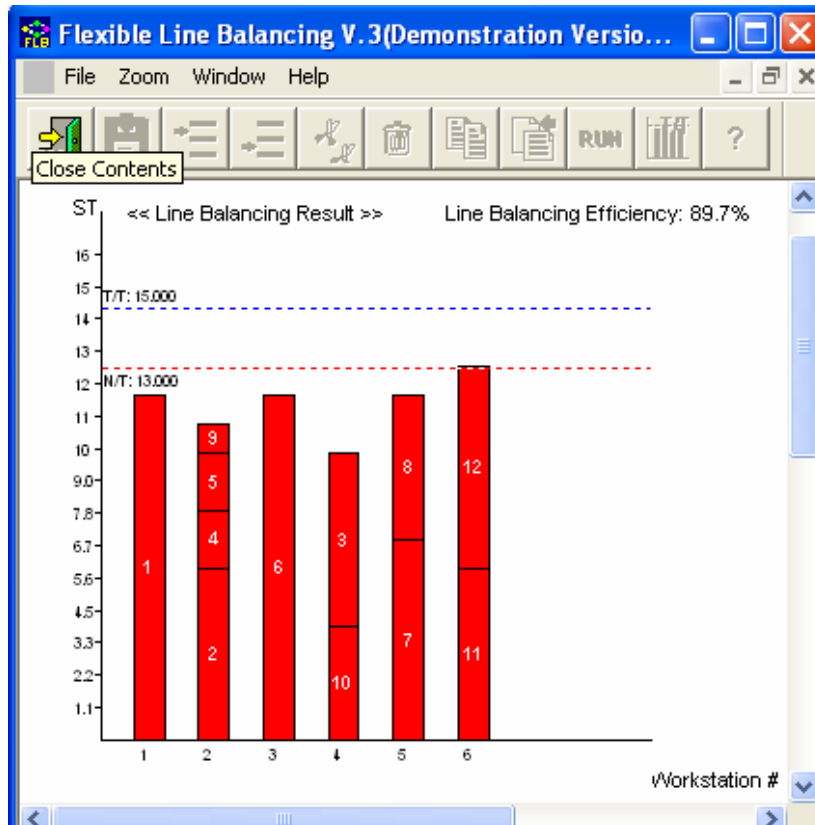


Figura 25. Muestra de forma gráfica el resultado del balance de la línea.

En esta pantalla se pueden ver los resultados del balanceo de la línea, se puede notar que al igual que los métodos ejecutados anteriormente de forma manual, el programa arroja un balanceo con 6 estaciones de trabajo y una eficiencia de línea del 89.7%, representado por la línea roja, la línea azul muestra el tiempo de ciclo dado de 15. Lo que representa una mejor eficiencia comparada con la de los métodos manuales que fue de 77%. Esto debido a que como se puede ver en el balanceo se tiene una holgura de 2 minutos, por lo que se puede bajar el tiempo de ciclo de 15 a 13 minutos. A continuación se sale de esta ventana para ver como quedo la asignación de las tareas en el diagrama de precedencia, que esta en la ventana principal. Para salir de la ventana solo da clic en el icono de la parte superior izquierda donde aparezca la leyenda **close contents**. El diagrama de precedencia se aprecia en la figura 26.

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

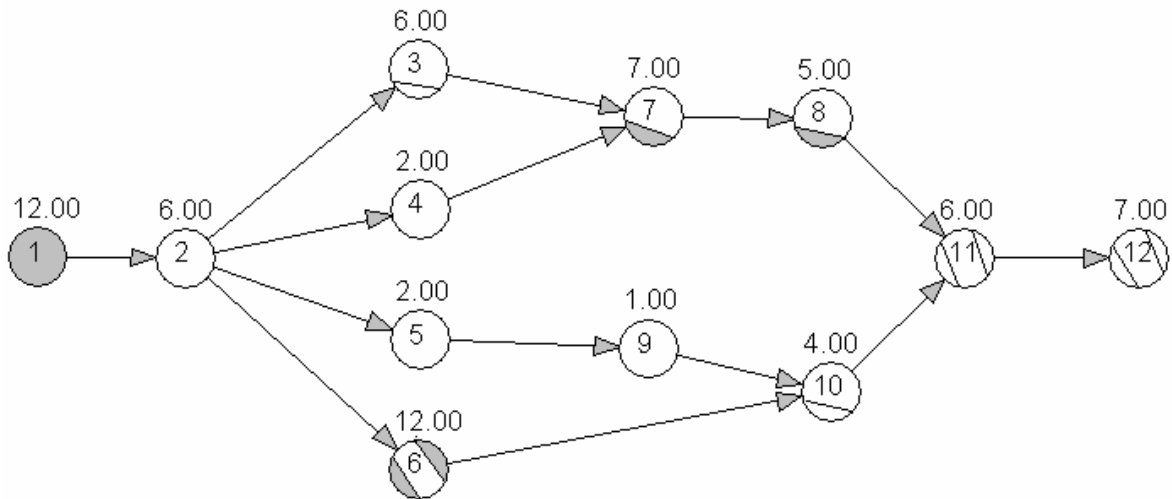


Figura 26. Diagrama de precedencia.

Ahora se disminuye el tiempo de ciclo de 15 a 13 minutos, la eficiencia no puede variar, tal vez la asignación de las tareas a las estaciones. Regresando a la ventana principal y volviendo a correr el programa, pero ahora con un ***task time*** de 13. Los resultados de la forma gráfica están en la figura 27.

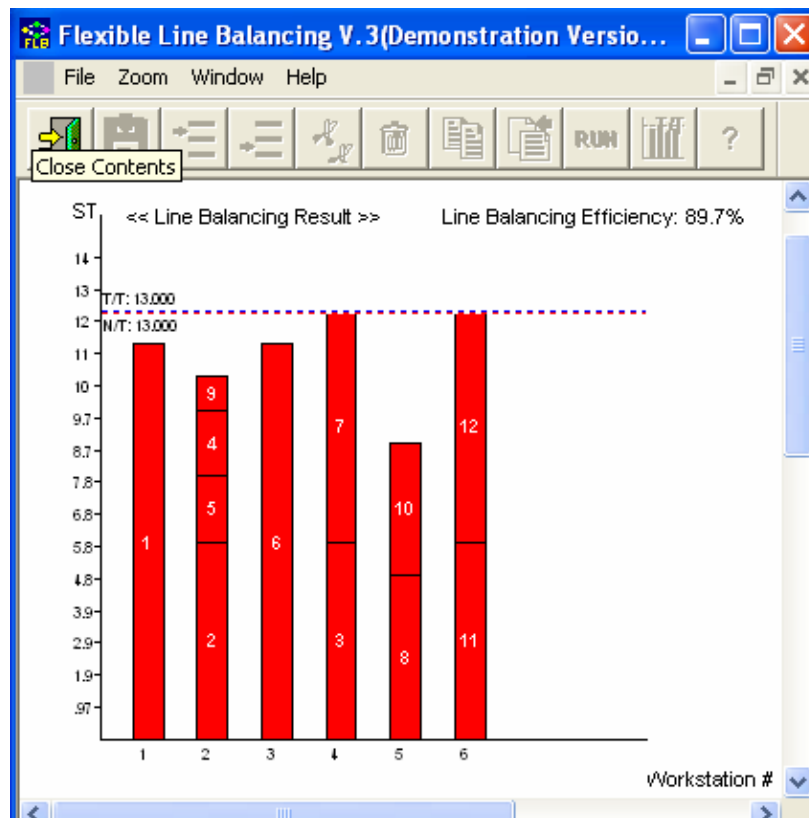


Figura 27. Muestra de forma gráfica el resultado del balanceo de la línea.

CAPÍTULO IV. MÉTODOS Y SOFTWARE PARA EL BALANCEO DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.

Como se puede apreciar, ahora la línea de eficiencia se encuentra sobre la línea del tiempo de ciclo, la eficiencia sigue siendo la misma 89.7%, pero la asignación de las tareas a las estaciones ha cambiado. Ahora se dirige nuevamente a la ventana principal para visualizar el diagrama de precedencias, el cual se aprecia en la figura 28.

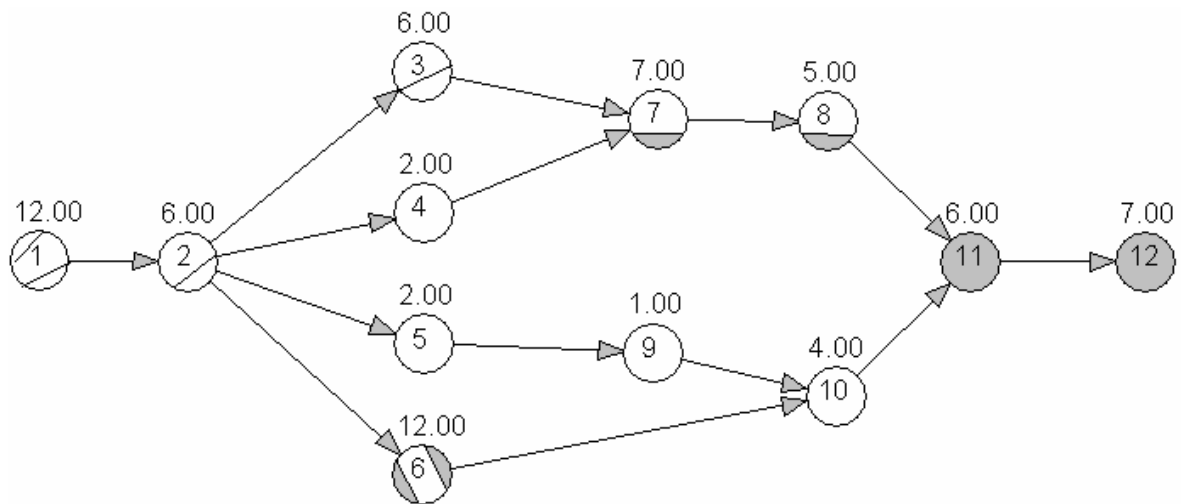


Figura 28. Diagrama de precedencia.

En este diagrama de precedencia se observa la asignación de las tareas a las estaciones que da la mejor eficiencia de línea con un tiempo de ciclo de 13, con lo que será necesario evaluar la producción total de la empresa.

Ahora como un tiempo de ciclo de 13 minutos y recordando que la empresa labora 8 horas diarias, lo que significa que la empresa ensambla 36.9 computadoras en un día.

Con esta aplicación se aprecia la forma de trabajar del software, pero hubiera sido mejor, trabajar con un problema de mayor número de tareas, pero en ese aspecto se está limitado, ya que sólo se cuenta con una versión estudiantil, la cual se restringe a 15 tareas.

Conclusiones.

Se considera que el objetivo de la tesis cumplió con las expectativas, ya que se realiza un análisis de los factores a considerar para el balanceo de líneas de producción, los cuales serán muy útiles a consultores que generalmente son a quienes contratan las empresas para balancear las líneas de producción, ahora cuando sean contratados para solucionar problemas de balanceo de líneas en las empresas no solo aplicarán el mejor software, si no que podrán hacer una evaluación de todos los factores aquí mencionados, con el fin de obtener el mejor balanceo de línea, ya que sería una pérdida de recursos realizar el balanceo sólo aplicando el software y los datos que la empresa nos brinde.

Por otro lado se hace visible lo ambiguo de los métodos que generalmente son considerados en la literatura para este problema, exponiendo que son útiles para generar los cimientos de los estudiantes, pero no pueden ser considerados para resolver problemas del mundo real, donde los problemas tienen un sin fin de variables y restricciones que serían imposibles de ser modelados con estos métodos.

En cuanto al software que actualmente se usa para dar solución a este tipo de problemas, algunos no cumplen con los requerimientos mínimos en cuanto a características de modelado y otros son demasiado complejos para su manejo, se deja en claro que el software llamado Flexible Line Balancing V. 3 es el mejor para este problema y su precio de adquisición es accesible, pero hubiera sido mejor, trabajar con un problema de mayor número de tareas, pero en ese aspecto se está limitado, ya que sólo se cuenta con una versión estudiantil, la cual se restringe a 15 tareas.

Además del análisis del problema estudiado se anexa un balanceo de línea enfocado a la asignación de trabajadores a estaciones de trabajo mediante

programación lineal entera, se pone como anexo ya que hablar de programación lineal implica un sin fin de factores y conocimientos que no son el objetivo de tesis, pero que vale la pena hacer mención con el fin de complementar esta investigación.

Recomendaciones.

Se recomienda al analista de balanceo de líneas de producción tomar en cuenta estos factores al obtener los datos de las tareas que conforman las líneas, con el fin de obtener el mejor balanceo de línea, ya que es ahí donde en cierta forma se puede mejorar el porcentaje de eficiencia que se obtendrá, ya que una vez introduciendo los datos en el software, este solo efectuar los cálculos pertinentes y obtendrá una solución, la más óptima a partir de los datos que el analista le proporcione, pero serán estos datos los mejores para balancear esta línea.

Se recomienda al analista considerar una holgura en el porcentaje de la eficiencia, ya que muchas veces, aunque todo esté calculado al pie de la letra y se consideren todos los factores, siempre existe la posibilidad de que aparezcan problemas. Por ejemplo, el daño de una máquina, el fallo en el fluido eléctrico, etc. A estas posibilidades se le llaman fluctuaciones aleatorias, término que puso de moda Eliyahu Goldratt en su libro “La meta”

Otra recomendación sería aplicar el software Flexible Line Balancing V. 3, obviamente la versión comercial la cual no se encuentra restringida en cuanto a un mínimo de tareas a un problema de mayor número de tareas.

Anexos.

Anexo A.

En el anexo A. Se presenta un modelo de programación lineal entera para el balanceo de una línea de ensamblaje.

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. 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 definidas¹.

Presunciones y Limitaciones.

La programación lineal tiene ciertas suposiciones y limitaciones implícitas las cuales son importantes tener en cuenta a la hora de desarrollar un modelo de programación lineal. Una descripción breve de las presunciones y limitaciones más importantes se presenta a continuación.

¹ León, A., Manual Práctico de Investigación de Operaciones. Ediciones Uninorte, 1998.

Presunciones.

- Proporcionalidad: La proporcionalidad implica que si el valor de una variable se duplica, también se duplicarán en la misma proporción sus contribuciones, tanto en la función objetivo como en las restricciones.

- Aditividad: Esta presunción garantiza que la contribución total, tanto en la función objetivo como en las restricciones, es igual a la suma de las contribuciones individuales.

- Divisibilidad: La presunción de divisibilidad indica que las variables de decisión pueden ser divididas a cualquier nivel fraccionario, de tal manera que puedan tomar valores no-enteros. Cuando las presunciones de proporcionalidad y aditividad son combinadas se alcanza la linealidad.

Por lo tanto, puede decirse que la linealidad y la divisibilidad son las presunciones más importantes en el desarrollo de un modelo de programación lineal.

Limitaciones

- Modelo Determinístico. El modelo de programación lineal involucra el uso de parámetros. Sin embargo, el valor de dichos parámetros debe ser conocido y constante.

- Modelo que no Suboptimiza. Debido a la formulación del modelo de programación lineal, la solución obtenida es óptima. De lo contrario, se declara que el problema no tiene una solución factible.

Tipos de Modelos de Programación Lineal

Los modelos de programación lineal se clasifican en tres grupos de acuerdo al tipo de variables que utiliza:

- Programación Lineal Entera.
- Programación Lineal Entera Mixta.
- Programación Lineal Dinámica.

En esta investigación se utiliza la técnica de programación lineal entera, es decir, todas las variables tienen que ser enteras.

Modelo de Programación lineal entera.

Se va a construir un modelo matemático de Optimización Lineal para el Balance de Línea, que tenga en cuenta lo siguiente:

- ❖ Los diferentes tiempos de operación en los procesos, por los operarios que pueden llevarlos a cabo. Requerimiento: Matriz de tiempos por operación y por operario.

- ❖ El inventario en proceso que ya se tenga. Para que nos sirva para analizar una línea que ya está cargada, parcialmente cargada, o vacía.
- ❖ Restricción de Máquinas, esto me dice cuantos operarios máximos puedo tener por operación.

Desarrollo:

Modelo Matemático.

Variables e Información Necesaria:

X_{ij} = Número de unidades producidas por el operario i en la operación j
(Variable de Decisión).

I_j = Numero de Unidades de Inventario Inicial antes de la operación j
(Constante).

N = Número de Operarios (Constante).

M = Número de Procesos (Constante).

T = Tiempo disponible por Operario y por turno (Constante).

t_{ij} = Tiempo requerido para que el operario i realice el proceso j sobre una unidad (Constante).

Función Objetivo.

Es maximizar la producción de la línea, esto es maximizar el número de unidades producidas en la última operación, y esto implica que haya pasado por cada una de las operaciones anteriores. El número de unidades producidas en la última operación son las que saquen entre cada uno de operarios, como no todos van a trabajar en la última operación, el modelo matemático incluye por lo tanto un modelo de asignación de tareas.

$$\text{Max } Z = X_{1M} + X_{2M} + X_{3M} + \dots + X_{NM}$$

Restricciones.

Que el tiempo utilizado por el operario no supere el tiempo disponible para el turno.

$$\sum t_{ij} \cdot X_{ij} = T$$

Es decir:

$$\begin{aligned} t_{11}X_{11} + t_{12}X_{12} + t_{13}X_{13} + \dots + t_{1M}X_{1m} &\leq T \\ t_{21}X_{21} + t_{22}X_{22} + t_{23}X_{23} + \dots + t_{2M}X_{2m} &\leq T \\ t_{31}X_{31} + t_{32}X_{32} + t_{33}X_{33} + \dots + t_{3M}X_{3m} &\leq T \\ \cdot & \\ \cdot & \\ \cdot & \\ t_{N1}X_{N1} + t_{N2}X_{N2} + t_{N3}X_{N3} + \dots + t_{NM}X_{Nm} &\leq T \end{aligned}$$

Cada operación sólo puede sacar las unidades que le pase la operación anterior (excepto la primera) es decir:

- ✓ Producción de la Operación j ≤ Inventario Final Operación j-1.
- ✓ Inventario Final Operación j -1 ≤ Inventario Inicial Operación j-1 + Producción Operación j-1.

$$X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} + X_{52} + X_{62} + X_{72} + X_{82} + X_{92} + X_{102} \leq X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} + X_{61} + X_{71} + X_{81} + X_{91} + X_{101}$$

$$X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} + X_{53} + X_{63} + X_{73} + X_{83} + X_{93} + X_{103} \leq X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} + X_{52} + X_{62} + X_{72} + X_{82} + X_{92} + X_{102}$$

Restricción de Máquinas: Si el proceso se lleva a cabo en una máquina, y cada máquina requiere un operario, la restricción de máquinas, la podemos plantear como:

Cantidad Máxima de Tiempo Permitido en el Proceso j ≤ Número de Máquinas para el Proceso j * Tiempo por Turno

Ejemplo: El proceso 2 se realiza en una máquina, y sólo hay disponible 3 máquinas.

$$t_{12}X_{12} + t_{22}X_{22} + t_{32}X_{32} + \dots + t_{N2}X_{N2} \leq 3 \otimes 480$$

Condición de No Negatividad: $X_{ij} \geq 0$ y Entero.

Aplicación.

Se tiene un departamento de producción con la siguiente información:

Numero de Operarios = 10.

Numero de Procesos = 3.

Tiempo por Turno = 480 minutos.

El departamento de Ingeniería de Tiempos y Movimientos ha proveído de la siguiente matriz de tiempos por operario y por operación, donde se ven las diferentes eficiencias por operación de cada operario:

El objetivo del siguiente balanceo es encontrar la asignación de los operadores a los procesos, de forma que se maximicen las unidades producidas. La tabla 1 resume los tiempos que tarda cada trabajador en ejecutar el proceso correspondiente.

Matriz de Tiempos (en minutos).

Operarios	Proceso 1	Proceso 2	Proceso 3
Operario 1	5.68	9.09	12.15
Operario 2	4.74	8.95	11.57
Operario 3	4.43	8.48	11.39
Operario 4	5.47	8.4	12.43
Operario 5	5.5	8.37	11.65
Operario 6	5.8	7.78	12.17
Operario 7	5.3	8.83	12.22
Operario 8	5.1	9.17	12.01
Operario 9	5.17	8.47	11.73
Operario 10	4.18	5.59	11.18

Tabla 1. Matriz de tiempos por operario.

Variabes: X_{ij} = Número de unidades que debe producir el operario i en la operación j .

Función Objetivo:

Maximizar el número de unidades que saca la sección, es decir las que salen del tercer proceso.

$$\begin{aligned} \text{Max } Z = & 12.15X_{13} + 11.57X_{23} + 11.39X_{33} + 12.43X_{43} + 11.65X_{53} \\ & + 12.17X_{63} + 12.22X_{73} + 12.01X_{83} + 11.73X_{93} + 11.18X_{103} \end{aligned}$$

Sujeto a:

Que el tiempo utilizado por el operario no supere el tiempo disponible para el turno.

$$\begin{aligned} 5.68 X_{11} + 9.09 X_{12} + 12.15 X_{13} &\leq 480 \\ 4.74 X_{21} + 8.95 X_{22} + 11.57 X_{23} &\leq 480 \\ 4.43 X_{31} + 8.48 X_{32} + 11.39 X_{33} &\leq 480 \\ 5.47 X_{41} + 8.4 X_{42} + 12.43 X_{43} &\leq 480 \\ 5.5 X_{51} + 8.37 X_{52} + 11.65 X_{53} &\leq 480 \\ 5.8 X_{61} + 7.78 X_{62} + 12.17 X_{63} &\leq 480 \\ 5.3 X_{71} + 8.83 X_{72} + 12.22 X_{73} &\leq 480 \\ 5.1 X_{81} + 9.17 X_{82} + 12.01 X_{83} &\leq 480 \\ 5.17 X_{91} + 8.47 X_{92} + 11.73 X_{93} &\leq 480 \\ 4.18 X_{101} + 5.59 X_{102} + 11.18 X_{103} &\leq 480 \end{aligned}$$

Cada operación sólo puede sacar las unidades que le pase la operación anterior (excepto la primera) es decir:

- ❖ Producción de la Operación j ≤ Inventario Final Operación j-1
- ❖ Inventario Final Operación j -1 ≤ Inventario Inicial Operación j-1 + Producción Operación j-1.

$$\begin{aligned}
& X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} + X_{52} + X_{62} + X_{72} + X_{82} + X_{92} + X_{102} \leq \\
& X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} + X_{61} + X_{71} + X_{81} + X_{91} + X_{101} \\
& X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} + X_{53} + X_{63} + X_{73} + X_{83} + X_{93} + X_{103} \leq \\
& X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} + X_{52} + X_{62} + X_{72} + X_{82} + X_{92} + X_{102}
\end{aligned}$$

Condición de No Negatividad: $X_{ij} \geq 0$ y Entero.

Lingo.

A continuación se hace uso de un software llamado Lingo, especial para programación lineal, donde se vacían los siguientes datos.

Nota: Algunos símbolos son modificados, ya que es la forma en que deben ser introducidos en el paquete de programación.

$$\begin{aligned}
\text{Max} = & 12.15 * X_{13} + 11.57 * X_{23} + 11.39 * X_{33} + 12.43 * X_{43} + 11.65 * X_{53} \\
& + 12.17 * X_{63} + 12.22 * X_{73} + 12.01 * X_{83} + 11.73 * X_{93} + 11.18 * X_{103};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 5.68 * X_{11} + 9.09 * X_{12} + 12.15 * X_{13} \leq 480; \\
& 4.74 * X_{21} + 8.95 * X_{22} + 11.57 * X_{23} \leq 480; \\
& 4.43 * X_{31} + 8.48 * X_{32} + 11.39 * X_{33} \leq 480; \\
& 5.47 * X_{41} + 8.4 * X_{42} + 12.43 * X_{43} \leq 480; \\
& 5.5 * X_{51} + 8.37 * X_{52} + 11.65 * X_{53} \leq 480; \\
& 5.8 * X_{61} + 7.78 * X_{62} + 12.17 * X_{63} \leq 480; \\
& 5.3 * X_{71} + 8.83 * X_{72} + 12.22 * X_{73} \leq 480; \\
& 5.1 * X_{81} + 9.17 * X_{82} + 12.01 * X_{83} \leq 480; \\
& 5.17 * X_{91} + 8.47 * X_{92} + 11.73 * X_{93} \leq 480; \\
& 4.18 * X_{101} + 5.59 * X_{102} + 11.18 * X_{103} \leq 480;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} + X_{52} + X_{62} + X_{72} + X_{82} + X_{92} + X_{102} \leq X_{11} \\
& + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} + X_{61} + X_{71} + X_{81} + X_{91} + X_{101};
\end{aligned}$$

@GIN(X₁₁);
@GIN(X₁₂);
@GIN(X₁₃);
@GIN(X₂₁);
@GIN(X₂₂);
@GIN(X₂₃);
@GIN(X₃₁);
@GIN(X₃₂);
@GIN(X₃₃);
@GIN(X₄₁);
@GIN(X₄₂);
@GIN(X₄₃);
@GIN(X₅₁);
@GIN(X₅₂);
@GIN(X₅₃);
@GIN(X₆₁);
@GIN(X₆₂);
@GIN(X₆₃);
@GIN(X₇₁);
@GIN(X₇₂);
@GIN(X₇₃);
@GIN(X₈₁);
@GIN(X₈₂);
@GIN(X₈₃);
@GIN(X₉₁);
@GIN(X₉₂);
@GIN(X₉₃);
@GIN(X₁₀₁);
@GIN(X₁₀₂);
@*GIN(X₁₀₃);

Corrida aplicando soltura (quitando la restricción de entero).

En esta corrida se ejecuta el programa como si fuera solo un algoritmo de programación lineal, es decir, eliminamos las restricciones de entero. A continuación presentamos los resultados de la corrida.

Global optimal solution found at step: 25
 Objective value: 2451.225

Variable	Value	Reduced Cost
X13	39.50617	0.0000000
X23	2.831643	0.0000000
X33	0.0000000	0.4685051
X43	38.61625	0.0000000
X53	1.584782	0.0000000
X63	0.0000000	0.1599274
X73	39.27987	0.0000000
X83	39.96669	0.0000000
X93	40.92072	0.0000000
X103	0.0000000	2.868494
X11	0.0000000	0.5838748
X12	0.0000000	0.5370801
X21	94.35398	0.0000000
X22	0.0000000	0.2405825
X31	108.3521	0.0000000
X32	0.0000000	0.2982834
X41	0.0000000	0.5428237
X42	0.0000000	0.2928640
X51	0.0000000	0.3754555
X52	55.14185	0.0000000
X61	0.0000000	0.7240833
X62	61.69666	0.0000000
X71	0.0000000	0.4119366
X72	0.0000000	0.4345517
X81	0.0000000	0.2678051
X82	0.0000000	0.5223206
X91	0.0000000	0.2385987
X92	0.0000000	0.7766747E-01
X101	0.0000000	0.7330071
X102	85.86762	0.0000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	2451.225	1.000000
2	0.0000000	0.4929775
3	0.0000000	0.4675607
4	0.0000000	0.5002794
5	0.0000000	0.5043988
6	0.0000000	0.4712169
7	0.0000000	0.5069519
8	0.0000000	0.4958819
9	0.0000000	0.4870672
10	0.0000000	0.4748233
11	0.0000000	0.7055609
12	0.0000000	2.216238
13	0.0000000	6.160323

Interpretación de los datos.

- ❖ Operario 1: Como se puede apreciar en la tabla 2, el operario 1 trabaja 39.50617 veces en el proceso 3 con lo que cumple con su jornada de trabajo, debido a que tarda 12.15 minutos cada vez que ejecuta el proceso 3, por lo que: $(12.15)(39.50617) = 479.9999655$ minutos y el turno esta formado por 480minutos.
- ❖ Operario 2: trabaja 94.35398 veces en el proceso 1 y 2.831643 veces en el proceso 3.

El proceso 1 le toma $(4.74)(94.35398)=447.2378$ y el proceso 3)

El proceso 3 le toma $(11.18)(2.831643)=31.65776874$

Total = $447.2378+31.657768=478.8955$ minutos laborables. Y así sucesivamente para los demás operarios.

Operario	Proceso 1	Proceso 2	Proceso 3
1	0.0000000	0.0000000	39.50617
2	94.35398	0.0000000	2.831643
3	39.50617	0.0000000	0.0000000
4	0.0000000	0.0000000	38.61625
5	0.0000000	55.14185	1.584782
6	0.0000000	61.69666	0.0000000
7	0.0000000	0.0000000	39.27987
8	0.0000000	0.0000000	39.96669
9	0.0000000	0.0000000	40.92072
10	0.0000000	85.86762	0.0000000

Tabla 2. Interpretación de datos.

Por otra parte la función objetivo representa la maximización del tiempo utilizado y las unidades que se producen en una jornada de trabajo de 480 minutos con 10 operadores que es de 2451.225 minutos. Por otra parte para obtener el número de productos que se producen solo hay que sumar las veces que los operadores laboran en el proceso 3, para este caso $39.50617 + 2.831643 + 38.61625 + 1.584782 + 39.27987 + 39.96669 + 40.92072 = 203.8344$.

Como se puede apreciar los datos obtenidos, son difíciles de lograr en la realidad, ya que no son enteros, por lo que ejecutaremos el programa, ahora introduciendo la restricción de que los resultados obtenidos sean enteros.

Corrida con las restricciones de (entero)

No muestra el resultado, ya que el número de iteraciones que hay que hacer son muchas, hasta el momento 195201, figura 1 y la memoria de la máquina es insuficiente, por lo que no se puede dar solución, al menos con la máquina en la que fue ejecutado, así que se limita al resultado obtenido en la primera ejecución.

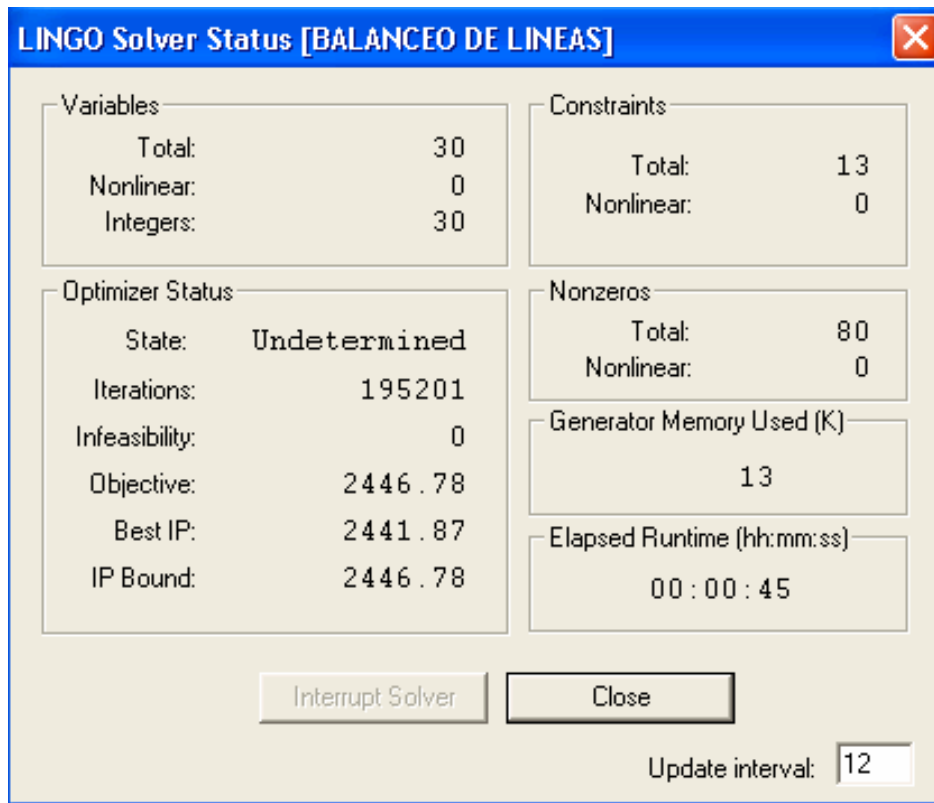


Figura 1. Ventana del programa Lingo, no tenemos la memoria suficiente.

Anexo B.

COMSOAL “Computer Method for Sequencing Operations for Assembly Lines” desarrollado por IBM, este software ha sido la base de muchos estudios realizados desde mediados de siglo, ya que las mayoría de las investigaciones se han basado en este.

COMSOAL fue construido basado en cinco heurísticas, tales como:

- Peso posicional clasificado.
- Tiempos de operación mas largos o Longest operation time (LOT).
- Tiempos de operación mas cortos o Shortest operation time (SHOT).
- El mayor número de tareas subsecuentes.
- El menor número de tareas subsecuentes.

El proceso del programa COMSOAL se puede enunciar en seis pasos de la manera siguiente:

- ❖ Paso 1: Identificar las tareas inmediatas en el diagrama de precedencia para cada tarea.
- ❖ Paso 2: Hacer una lista A de todas las tareas en el ensamblaje, que fueron identificadas en el paso 1.
- ❖ Paso 3: De la lista A, crea una lista B compuesta de las tareas que tienen cero predecesores.

- ❖ Paso 4: De la lista B, crea una lista C compuestas de las tareas que su tiempo de ejecución no es mas grande que el tiempo disponible para la estación. Si la lista C esta vacía, abrir una nueva estación con el tiempo de ciclo disponible e ir al paso 4 otra vez.

- ❖ Paso 5: Seleccionar aleatoriamente de la lista C una tarea para asignarla a la estación.

- ❖ Actualiza el tiempo disponible para la estación y la lista B reflejará el tiempo consumido y el predecesor en esa etapa. Si la lista B está vacía, actualiza la lista A y regresa al paso 3, en otro caso regresa al paso 4.

Glosario de Términos Técnicos.

ALBP: Siglas en ingles que significan Assemble Line Balancing Problem, que en español significa Problema de balanceo de Líneas de Ensamblaje.

Batch shop: Término utilizado en ingles, para referirnos al proceso productivo multi-modelo, el cual produce diversos productos en lotes de producción grandes y específicos.

Buffer: Son unidades de almacenamiento entre cada par de estaciones. Estas amortiguan el impacto de problemas en la línea y como consecuencia aumentan la capacidad de la línea de ensamblaje.

Heurístico: Método de ensayo y error para acercarse a la solución de un problema. No garantiza llegar a la solución pero puede acelerar el proceso de hallarla. La etimología de heurística es la misma que la de la palabra ¡eureka!, cuya exclamación se atribuye a Arquímedes en un episodio tan famoso como apócrifo.

Branch and Bound (B & B): Término para el método heurístico llamado Branch and Bound, que en español es método de ramificación y acotamiento.

COMSOAL: Siglas en ingles que significan Computer Method of Sequencing Operations for Assemble Line y que en español significa Método Computarizado de Secuenciación de Operaciones para una línea de ensamblaje.

Desbalance: Término utilizado para referirse a una línea de ensamblaje que no alcanza una eficiencia aceptable.

Determinista: En matemáticas, un sistema determinista es un sistema en el cual el azar no está involucrado en los futuros estados del sistema. Es decir, si se conoce el estado actual del sistema, las variables del entorno y el comportamiento del sistema ante los cambios en el ambiente, entonces se puede predecir sin ningún riesgo de error el estado siguiente del sistema.

Estocástico: Se denomina estocástico a un sistema, a aquel que funciona, sobre todo, por el azar. Las leyes de causa-efecto no explican cómo actúa.

Flow-line: Términos en inglés asignados para referirse a un sistema de producción de flujo en línea.

Flow shop: Este término hace referencia a la distribución por producto.

GT: Siglas en inglés que significan Group of technology, que en español significa tecnología de grupos, a la que hace referencia la distribución celular.

Ítems: Se define como artículo o producto en proceso.

Job shop: Término utilizado en inglés, para referirnos al proceso productivo intermitente.

Líneas de transferencia: Las líneas de transferencia usan la fuerza humana muy poco a comparación de las líneas de ensamblado.

Output: Término que se les asigna a los ítems que son procesados por grupos tecnológicos en una distribución celular, unas veces serán

productos o servicios finales, otras veces, serán componentes que habrán de integrarse a un producto final.

Paralelizar: Término utilizado para referirnos a la acción de hacer paralelas un número definido de estaciones de trabajo.

Punzonadora: Herramienta utilizada para perforar el concreto mediante un golpeteo constante.

Rebalanceo: Término utilizado para referirnos a una línea que ya ha sido balanceada, pero con el paso del tiempo necesita ser nuevamente balanceada.

SALBP: Singlas en ingles que significan Simple Assemble Line Balancing Problem, que en español significa Problema de balanceo de Línea de Ensamblaje Simple.

Set-up: Se define como el tiempo que tardamos en realizar el cambio de todo lo necesario para producir otro producto diferente.

Taks time: Este término hace referencia al tiempo que tarda una tarea en ser ejecutada, también nos referimos a este término como “duración de la tarea”.

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.

Bibliografía.

Amen, M., 2000b. Heuristic methods for cost-oriented assembly line balancing: A survey, *International Journal of Production Economics* 68, 1-14

Amen, M., 2001. Heuristic methods for cost-oriented assembly line balancing: A comparison on solution quality and computing time. *International Journal of Production Economics*. Vol 69. P. 255-264. 2001.

Arcus, A.L., 1966. COMSOAL: A computer method of sequencing operations for assembly lines, *Internacional Journal of Production Research* 4, 259-277.

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

Bartholdi, J.J., 1993. Balancing two-sided assembly lines: A case study, *Internacional Journal of Production Research* 31, 2447-2461.

Baybars, I., 1986b. An efficient heuristic method for the simple assembly line balancing problem, *Internacional Journal of Production Research* 24, 149-166.

Becker, C., 2003. Scholl, A., A survey on problems and methods in generalizad assembly line balancing. *Jenaer Schriften Zur Wirtschaftswissenschaft* 21/03, FSU Jena.

Buxey, G.M., 1974. Assembly line balancing with multiple Stations, *Management Science* 20, 1010-1021

Carnahan, B., Norman, B., y Redfern, M., 2001. Incorporating physical demand criteria into assembly line balancing. IIE Transactions. Vol 33. P. 875-887.

Hagberg, M., Silverstein, B., Well, R., Smith, M. J., Hendrick, H., Carayon, P. y Perusse, M., Work related Musculoskeletal Disorders. 1995, Libro de Referencia para la prevención, Taylor and Francis

Krajewski, Lee Ritzman, Larry, 2000. Administración de Operaciones, Prentice Hall.

León, A., 1998. Manual Práctico de Investigación de Operaciones. Ediciones Uninorte.

Mejía Ávila Heidy Patricia 2005. Tesis, Minimización de los Costos Totales en el Problema de Balanceo de Línea con Ciclo Variable y Estaciones en Paralelo.

Miralles, C., Capó, J., García J.P., Andrés, C., 2003. Equilibrado de líneas de montaje considerando variables los tiempos de operación y las habilidades de los operarios. Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa.

Moodie, C.L., Young, H.H., 1965. A heuristic method of assembly line balancing for assumptions of constant or variable work element times, Journal of Industrial Engineering 16, 23-29

Pinto, P.A., Dannenbring, D.G., Khumawala, B.M., 1981. Branch and bound and heuristic procedures for assembly line balancing with paralleling of stations, International Journal of Production Research 19, 565-576.

Jack R. Meredith 2002. Administración de operaciones Segunda edición
Editorial LIMUSA Wiley

Klein, R., Scholl, A., 1996. Maximizing the production rate in simple assembly line balancing - A branch and bound procedure, European Journal of Operational Research 91, 367-385.

Pastor, R., Corominas, A., 2000. Assembly line balancing with incompatibilities and bounded Workstation loads, Ricerca Operativa 30, 23-45.

Steven Nahmias, 1999. Santa Clara University, Análisis de la producción y las operaciones Editorial CECSA. Tercera edición 1999

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

Scholl, A., Klein, R., Domschke, W., 1998. Pattern based vocabulary building for effectively sequencing mixed model assembly lines, Journal of Heuristics 4, 359-381.

Scholl, A., 1999. Balancing and sequencing assembly lines, 2nd edition, Physica, Heidelberg.

Richard B. Chase, F. Robert Jacob y Nicholas J. Aquilano. 2003 Operations Management for Competitive Advantage. Editorial Mc Graw Hill, décima edición.

Richard J. Hopeman, Villanova University. Administración de la producción y Operaciones Editorial CECSA

Rosenberg, O., Ziegler, H., A comparison of heuristic algorithms for costoriented assembly line balancing. Zeitschrift Fur Operations Research. Vol 36. P. 477- 495. 1992.

Russell, Roberta S. and Bernard W. Taylor III. Operations Management. 4th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2003

Vargas Díaz Alfredo 2006. Tesis, Análisis del problema de balanceo de líneas de ensamblaje