

UNA HEURÍSTICA DE BALANCEO DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN APLICADA A UNA MALLA CURRICULAR

RESUMEN

El principal objetivo de este trabajo es aplicar la heurística de optimización de Helgeson y Birnie para efectuar un balanceo de asignaturas por semestre dentro de una malla curricular. El modelo a utilizar supone semestres que agrupan a diferentes asignaturas, existiendo restricciones de precedencia para cada una de los semestres.

PALABRAS CLAVES: Balanceo, algoritmo de Helgeson, malla curricular

ABSTRACT

The main objective of this document is use Helgeson and Birnie's optimization heuristic to balance the credits load of each semester of an Industrial Engineer career. This model suppose semesters that groups different subjects, existing restrictions of precedence for each semester.

KEYWORDS: *Balancing, Helgeson algorithm, credits load*

JORGE HERNAN RESTREPO CORREA

Ingeniero Industrial, MSc
 Profesor Facultad de Ingeniería Industrial
 Universidad Tecnológica de Pereira
 jhrestrepo@utp.edu.co.

EDUARDO ARTURO CRUZ TREJOS

Ingeniero Industrial, MSc
 Profesor Facultad de Ingeniería Industrial
 Universidad Tecnológica de Pereira
 ecruz@utp.edu.co, Pereira

CARLOS SARACHO ALMADA

Estudiante Ingeniería Industrial y de Sistemas
 Instituto Tecnológico Superior de Monterrey (Tampico, México)
 jhrestrepo@utp.edu.co.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Definiciones Preliminares

El balanceo de línea esta caracterizado por un conjunto de n actividades distintas que se deben realizar en cada uno de los productos y el objetivo es organizar las actividades en grupos y que cada grupo de actividades se lleve a cabo en una sola estación de trabajo minimizando el tiempo ocioso [1].

La duración del tiempo de trabajo (o de operación), que cada componente de un centro de trabajo tiene disponible, es el ciclo de tiempo, C , el cual es definido en la ecuación (1).

$$C = (\text{Tiempo disponible} / \text{período}) / (\text{Unidades requeridas} / \text{período}) \quad (1)$$

El número teórico (ideal) de trabajadores que se requiere en la línea de montaje es el resultado de multiplicar el tiempo que necesita un trabajador para terminar una unidad por el número de unidades necesarias, dividido entre el tiempo disponible.

Por lo tanto,

$$\text{Número mínimo teórico de trabajadores} = \Sigma t / C \quad (2)$$

donde Σt es la suma del tiempo actual requerido por cada trabajador para terminar una unidad.

Un balanceo eficiente reducirá al mínimo posible la cantidad de tiempo ocioso

Existen varias clasificaciones de los problemas de equilibrado de líneas, las mas conocidas son las propuestas por Baybars en las que se distinguen dos tipos de problemas clásicos: el Simple (SALBP) y el General (GALBP); y la de Gosh y Gagnon en la que plantean cuatro categorías de modelos de equilibrado de líneas: modelo simple determinístico, modelo simple estocástico, modelo multi/mixto determinístico y modelo simple multi/mixto estocástico [2].

La figura 1 recopila las propuestas de Baybars, Gosh y Gagnon y también las de Graves, Scholl, Plans, Pinto, Rekiek, y Becker y Scholl

Equilibrado de Líneas – ALBP Assembly Line Balancing Problem							
SALBP				GALBP			
SAL BP-1	SAL BP-2	SAL BP-E	SAL BP-F	UAL BP	MAL BP	RAL BP	MOAL BP

Figura 1. Clasificación líneas de ensamble

Como se ha introducido, los problemas de equilibrado se dividen en dos grupos:

1. SALBP: Simple line balancing problem – Problema simple de equilibrado de líneas

Los SALBP engloban los problemas de equilibrado mas simples y están caracterizados de la siguiente manera: consideran líneas simples, solo se consideran restricciones de precedencia, se asume que las tareas son indivisibles, los tiempos de proceso de las tareas son considerados independientes de la estación y del orden de proceso, son determinísticos y conocidos a priori, así como todos los parámetros de entrada, la línea es sincrónica, se tiene un tiempo de ciclo o un numero de estaciones fijo, la arquitectura de la línea es serial con todas las estaciones igualmente equipadas para realizar cualquiera de las tareas y la tasa de entrada de las piezas a la línea es fija.

Se distinguen cuatro casos de SALBP:

- SALBP-1: consiste en asignar un conjunto de tareas a las estaciones de tal forma que se minimice el número de estaciones, dado un tiempo de ciclo.
- SALBP-2: busca minimizar el tiempo de ciclo, dado un número de estaciones fijo.
- SALBP-E: maximiza la eficiencia de la línea, esto es, minimiza el producto de m (numero de estaciones) por c (tiempo de ciclo).
- SALBP-F: consiste en determinar si existe alguna solución factible para la combinación de un número m de estaciones y un tiempo de ciclo c ; es decir, se quiere conocer si la línea puede operar con m estaciones y un tiempo de ciclo c dados.

2. GALBP: General assembly line balancing problem – problema general de equilibrado de líneas

Los GALBP engloban a todos los problemas de equilibrado de línea que no son SALBP, como por ejemplo estaciones en paralelo, modelos mixtos, tiempos de proceso variables, procesamientos alternativos, etc.; de esta manera se pueden formular y resolver problemas más reales.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El problema consiste en asignar proporcionalmente cada una de las asignaturas que forman el plan de estudios de la carrera de Ingeniería Industrial, a cada uno de los semestres, de modo que se distribuyan uniformemente el número de créditos por semestre.

Suponemos además que cada semestre tiene como requisito un semestre previo. No se incluyen asignaturas a un semestre antes que todos sus prerrequisitos (asignaturas predecesoras) hayan sido ya asignadas.

En la tabla 1 se listan todas las asignaturas además de sus créditos y requisitos.

Código	Asignatura	Créditos
1	Int. a la Ing. Industrial	3
2	Deportes I	1
3	Matemáticas I	5
4	Humanidades I	2
5	Comunicación Oral y Escrita	2
6	Hist. Económica de Colombia	3
7	Contabilidad de Empresas	3
8	Álgebra Lineal	3
9	Matemáticas II	5
10	Deportes II	1
11	Informática I	3
12	Administración General	3
13	Dibujo I	2
14	Psicología Organizacional	2
15	Economía General	3
16	Humanidades II	2
17	Matemáticas III	4
18	Física I	4
19	Informática II	3
20	Laboratorio Física I	2
21	Informática III	3
22	Física II	4
23	Matemáticas IV	3
24	Sistemas de Costeo	3
25	Téc. Admón. de Personal	3
26	Teoría de la Probabilidad	3
27	Física III	4
28	Legislación Laboral y	3
29	Inferencia Estadística	3
30	Modelos Cuantitativos I	4
31	Mecánica I	3
32	Laboratorio Física II	2
33	Modelos Cuantitativos II	4
34	Admón. de salarios	3
35	Resistencia de Materiales	3
36	Termodinámica I	3
37	Lab. Resistencia de	1
38	Laboratorio de Física III	2
39	Procesos Estocásticos	3
40	Electrotecnia	3
41	Constitución Política y Cívica	2
42	Análisis de Regresión	3
43	Análisis Financiero	3
44	Mercados I	3
45	Ingeniería de Métodos	3
46	Muestreo Estocástico	3
47	Sist. de Producción y de	4
48	Ingeniería Económica	4
49	Mercados II	4
50	Simulación	4
51	Salud Ocupacional	3
52	Cont. de Producción y de	4
53	Form. Y Eval. de Proyectos	3
54	Seminario de Investigación	3
55	Control Total de la Calidad	4

56	Sistemas de Manufactura	3
57	Diseño de Plantas	3
58	Seminario II	3
59	Seminario I	3
60	Seminario III	3
61	Trabajo de Grado	5
62	Gestión Tecnológica	3
63	Ética Profesional	3

Tabla 1. Asignaturas, créditos y precedencias

3. DESARROLLO DEL PROBLEMA

En este apartado se expone el algoritmo de Helgeson and Birnie [3] por medio de un ejemplo, y se da solución al problema del balanceo de la malla curricular.

3.1. Descripción del algoritmo de Helgeson [3]

Para mostrar la operatividad del método se presenta en la figura 1 el tiempo elemental de cada tarea, el tiempo posicional (sumando el tiempo de duración de este elemento y de todos los que le siguen) y las precedencias para cada una de ellas.

Pasos:

Paso 1. Determine el peso de posición de cada elemento, sumando el tiempo de duración (tj) de este elemento y de todos los que le siguen.

Para el ejemplo, son:

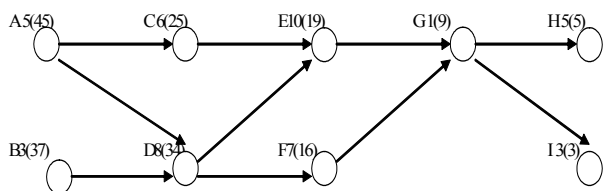


Figura 1. Malla con tareas, tiempos y precedencias

Elabore los cuadros siguientes:

La Tabla 2 presenta los pesos ponderados para cada tarea

Elemento (j)	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Duración (tj)	5	3	6	8	10	7	1	5	3
Peso de posición (wj)	45	37	25	34	19	16	9	5	3
Precedencia			A	A,B	C,D	D	E,F	G	G

Tabla 2. Pesos ponderados

Tabla 3 presenta el orden final descendente de los pesos de posición

Elemento (j)	A	B	D	C	E	F	G	H	I
Duración (tj)	5	3	8	6	10	7	1	5	3
Peso de posición (wj)	45	37	34	25	19	16	9	5	3
Precedencia			A	A,B	C,D	D	E,F	G	G

Tabla 3. Ordenamiento por pesos ponderados

Paso 2. Escoger un tamaño de ciclo(C). Puede ser para:

- a) Cumplir con una demanda esperada.
- b) Minimizar el tiempo ocioso en la línea.

Para nuestro ejemplo se tomará:

$$C = 16$$

Paso 3. Efectuar la asignación de elementos a las estaciones de trabajo.

Se asigna primero el elemento de mayor ponderación, verificando que cumpla con la precedencia y que haya tiempo de ciclo disponible. Sólo que no exista ya tiempo disponible que le alcance, se pasa al otro elemento con ponderación menor. Los resultados del balanceo se presentan en la tabla 4.

Estación	Elementos	Σt_j	Ocio	Eficiencia
1	A,B,D	5+3+8=16	0	100%
2	C,E	6+10=16	0	100%
3	F,G,H,I	7+1+5+3=16	0	100%

Tabla 4. Resultante de balanceo

3.2. Aplicación del algoritmo de Helgeson a la malla curricular

Paso 1. Determinación del peso de posición de cada elemento, sumando los créditos de esta asignatura y de todas las que le siguen.

En la tabla 5 se presenta la tabulación de los pesos ponderados resultantes de los cálculos de la suma de los créditos de cada asignatura con los créditos de las asignaturas que le siguen.

Asignatura (j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Créditos (tj)	3	1	5	2	2	3	3	3	5
Peso de Posición (wj)	3	2	291	4	2	3	50	6	285
Precedencia							7	7	
10	11	12	13	14					
1	3	3	2	2					
1	9	17	2	14					
				12					

Elemento (j)		15	16	17	18	19		
Créditos (tj)		3	2	4	4	3		
Peso de posición (wj)		22,7	21,9	21	19,7	18,5		
Precedencia		11	15	16	13,4	18		
20	21	22	23	24	25	26	27	28
2	3	4	3	3	3	3	4	3
20,5	18,9	18,2	12,2	17,4	17	15,7	15	13,8
	20	21		14	24	25	26	27

Elemento (j)		29	30	31	32	33	34
Créditos (tj)		3	4	3	2	4	3
Peso de posición (wj)		102	38	7	9	14	3
Precedencia		26	17	9,18	20,22	30	28,29
35	36	37	38	39	40	41	42
3	3	1	2	3	3	2	3
4	3	1	4	3	3	2	3
31	18,23	35	27,32	8,29	23,32	75C.A	29

Elemento (j)		43	44	45	46	47	48
Créditos (tj)		3	3	3	3	4	4
Peso de posición (wj)		24	44	23	46	20	21
Precedencia		24	15,29	24	29	30,44,45	43
49	50	51	52	53	54	55	56
4	4	3	4	3	3	4	3
21	10	3	4	17	8	4	6
44,46	33,46	25	47	48,49	46	46	47,50

Elemento (j)		57	58	59	60	61	62	63
Créditos (tj)		3	3	3	3	5	3	3
Peso de posición (wj)		3	3	3	3	5	3	3
Precedencia		47	53	53	53	53,54	56	160C.A

Tabla 5. Pesos ponderados

La tabla 6 presenta el ordenamiento descendente de los pesos posicionales de cada operación.

Asignatura (j)		3	9	26	29	17	7
Créditos (tj)		5	5	3	3	4	3
Peso de posición (wj)		291	285	105	102	59	50
Precedencia			3	9	26	9	
15	24	18	46	44	30	43	45
3	3	4	3	3	4	3	3
47	47	46	46	44	38	24	23
14	7	9	29	15,29	17	24	24

Elemento (j)		22	48	49	47	12		
Créditos (tj)		4	4	4	4	3		
Peso de posición (wj)		21	21	21	20	17		
Precedencia		9,18	43	44,46	30,44,45			
53	14	33	25	20	50	11	32	27
3	2	4	3	2	4	3	2	4
17	14	14	12	11	10	9	9	8
48,49	12	30	14	11	33,46		20,22	17,22

Elemento (j)		54	31	8	19	23	28	56
Créditos (tj)		3	3	3	3	3	3	3
Peso de posición (wj)		8	7	6	6	6	6	6
Precedencia		46	9,18	3	11	17	25	47,50
61	4	35	38	52	55	1		
5	2	3	2	4	4	3		
5	4	4	4	4	4	3		
53,54		31	27,32	47	46			

Elemento (j)		6	21	34	36	39	40
Créditos (tj)		3	3	3	3	3	3
Peso de posición (wj)		3	3	3	3	3	3
Precedencia			19	28,29	18,23	8,29	23,32
42	51	57	58	59	60	62	63
3	3	3	3	3	3	3	3
3	3	3	3	3	3	3	3
29	25	47	53	53	53	56	160

Elemento (j)		2	5	13	16	41	10	37
Créditos (tj)		1	2	2	2	2	1	1
Peso de posición (wj)		2	2	2	2	2	1	1
Precedencia					4	75 C.A.	2	35

Tabla 6. Ordenamiento descendente de los pesos posicionales

Paso 2. Cálculo del tiempo de ciclo:

Total de créditos: 192
 Semestres o estaciones de trabajo: 10
 T.C. = 19.2 aprox. 20

Total de créditos: 192
 Semestres o estaciones de trabajo: 8
 T.C. = 24

Paso 3. Asignación de elementos a las estaciones de trabajo

En la tabla 7 se presenta el Balanceo con 10 semestres
 S=semestre, C=código, Cr=créditos, Ef=eficiencia

S	C	Asignatura	Cr	Ef
Primer	3	Matemáticas I	5	100%
	7	Contabilidad de empresas	3	
	12	Administración General	3	
	11	Informática I	3	
	4	Humanidades I	2	

	1	Int. a la Ingeniería Industrial	3	
	2	Deportes I	1	
			20	
Segundo	9	Matemáticas II	5	
	24	Sistemas de Costeo	3	
	14	Psicología Organizacional	2	
	19	Informática II	3	
	8	Algebra Lineal	3	
	6	Hist. Económica de Colombia	3	
	10	Deportes II	1	100%
			20	
Tercero	26	Teoría de la Probabilidad	3	
	17	Matemáticas III	4	
	21	Informática III	3	
	15	Economía General	3	
	18	Física I	4	
	25	Administración de Personal	3	100%
				20
Cuarto	29	Inferencia Estadística	3	
	30	Modelos Cuantitativos I	4	
	43	Análisis Financiero	3	
	45	Ingeniería de Métodos	3	
	22	Física II	4	
	20	Laboratorio de Física I	2	95%
			19	
Quinto	46	Muestreo Estadístico	3	
	44	Mercados I	3	
	33	Modelos Cuantitativos II	4	
	32	Laboratorio de Física II	2	
	27	Física III	4	
	31	Mecánica I	3	95%
				19
Sexto	48	Ingeniería Económica	4	
	49	Mercados II	4	
	47	Sist. de Prod. y Operaciones	4	
	50	Simulación	4	
	54	Seminario de Investigación	3	95%
			19	
Séptimo	53	Evaluación de Proyectos	3	
	23	Matemáticas IV	3	
	28	Legislación Laboral	3	
	56	Sistemas de Manufactura	3	
	35	Resistencia de Materiales	3	
	38	Laboratorio de Física III	2	100%
	39	Procesos Estocásticos	3	
			20	
Octavo	61	Trabajo de Grado	5	
	52	Cont. de Producción y de Inv.	4	
	55	Control Total de la Calidad	4	
	34	Administración de Salarios	3	
	36	Termodinámica I	3	
	37	Lab. Resistencia de Materiales	1	100%

			20	
Noveno	40	Electrotecnia	3	
	42	Análisis de Regresión	3	
	51	Salud Ocupacional	3	
	57	Diseño de Plantas	3	
	58	Seminario II	3	
	59	Seminario I	3	100%
	5	Comunicación Oral y Escrita	2	
			20	
Décimo	60	Seminario III	3	
	62	Gestión Tecnológica	3	
	63	Ética	3	
	16	Humanidades II	2	
	41	Constitución Política y Cívica	2	
	13	Dibujo	2	75%
			15	
				96%

Tabla 7. Balanceo con 10 semestres

En la tabla 8 se presenta el Balanceo con 8 semestres y tiene como propósito exponer una alternativa a futuro con el mismo número de créditos.

S	C	Asignatura	Cr	Ef
Primero	3	Matemáticas I	5	
	7	Contabilidad de empresas	3	
	12	Administración General	3	
	11	Informática I	3	
	4	Humanidades I	2	
	1	Int. a la Ingeniería Industrial	3	
	6	Hist. Económica de Colombia	3	
	2	Deportes I	1	92%
				23
Segundo	9	Matemáticas II	5	
	13	Dibujo I	2	
	24	Sistemas de Costeo	3	
	14	Psicología Organizacional	2	
	19	Informática II	3	
	8	Algebra Lineal	3	
	10	Deportes II	1	
	16	Humanidades II	2	
	5	Comunicación Oral y Escrita	2	92%
			23	
Tercero	26	Teoría de la Probabilidad	3	
	17	Matemáticas III	4	
	21	Informática III	3	
	15	Economía General	3	
	18	Física I	4	
	25	Administración de Personal	3	
	43	Análisis Financiero	3	
	20	Laboratorio de Física I	2	100%
			25	

Cuarto	29	Inferencia Estadística	3	92%
	30	Modelos Cuantitativos I	4	
	45	Ingeniería de Métodos	3	
	22	Física II	4	
	48	Ingeniería Económica	4	
	32	Laboratorio Física II	2	
	31	Mecánica I	3	
			23	
Quinto	46	Muestreo Estadístico	3	100%
	44	Mercados I	3	
	33	Modelos Cuantitativos II	4	
	27	Física III	4	
	23	Matemáticas IV	3	
	28	Legislación Laboral y Comercial	3	
	35	Resistencia de Materiales	3	
41	Constitución Política y Cívica	2	25	
Sexto	49	Mercados II	4	100%
	47	Sist. de Prod. y Operaciones	4	
	50	Simulación	4	
	54	Seminario de Investigación	3	
	38	Laboratorio de Física III	2	
	55	Control Total de la Calidad	4	
	34	Administración de Salarios	3	
	37	Lab. de Resistencia de Materiales	1	
Séptimo	53	Evaluación de Proyectos	3	96%
	56	Sistemas de Manufactura	3	
	39	Procesos Estocásticos	3	
	61	Trabajo de Grado	5	
	52	Cont. de Prod y de Inventarios	4	
	36	Termodinámica I	3	
	40	Electrotecnia	3	
Octavo	42	Análisis de Regresión	3	96%
	51	Salud Ocupacional	3	
	57	Diseño de Plantas	3	
	58	Seminario II	3	
	59	Seminario I	3	
	60	Seminario III	3	
	62	Gestión Tecnológica	3	
	63	Ética Profesional	3	
				96%

Tabla 8. Balanceo con 8 semestres.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La heurística de balanceo de líneas de flujo constituye una valiosa herramienta para diseñar mallas curriculares, porque permite ordenar las asignaturas de manera equilibrada en cada uno de los semestres con criterio.

El resultado arrojado por el método de balanceo muestra las inconsistencias de la malla curricular desde el punto de vista de secuenciación y precedencia de materias. Por ejemplo para el caso de 10 semestres las materias comunicación oral y escrita y dibujo que son fundamentales para el desarrollo, ejecución e interpretación de temáticas de la carrera, son incluidas por la técnica en los semestres 9 y 10 cuando el estudiante prácticamente terminó su ingeniería.

Este resultado sugiere que al diseñar una malla curricular se deben colocar las restricciones adecuadas para cada materia y así evitar movimientos libres de éstas a cualquier otro semestre diferente al pensado inicialmente.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] NAHMIA S. Steven, Análisis de la producción y las operaciones, Ed. CECSA, primera edición, página 432.
- [2] CAPACHO B, Lina, MORENO, Rafael, Generación de secuencias de montaje y equilibrado de línea, Universidad Politécnica de Catalunya, <http://biblioteca.upc.es/reports/ioc/IOC-DT-P-2004-04.pdf>
- [3] Martín G. Solar Monsalves. Implementación de una Heurística de Optimización como Herramienta de apoyo en el Diseño de Competencias de una Malla curricular XVIII Congreso Chileno de Educación en Ingeniería. http://www.educacionporcompetencias.cl/xviii_cei/titulos.htm