

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS**

**UNIDAD DE TITULACIÓN**

**APLICACIÓN DE UNA HEURÍSTICA DE OPTIMIZACIÓN PARA EL  
BALANCEO DE MALLAS CURRICULARES DE TRES CARRERAS  
TÉCNICAS DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DEL  
GRADO DE MAGISTER EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS**

**MARÍA JOSÉ ZAMBRANO PÉREZ**  
**majos\_zambrano@hotmail.com**

**DIRECTOR: MsC. Pedro Enrique Buitrón Flores**  
**pedro.buitron@epn.edu.ec**

**2021**

## **APROBACIÓN DEL DIRECTOR**

Como director del trabajo de titulación APLICACIÓN DE UNA HEURÍSTICA DE OPTIMIZACIÓN PARA EL BALANCEO DE MALLAS CURRICULARES DE TRES CARRERAS TÉCNICAS DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL desarrollado por María José Zambrano Pérez, estudiante de la Maestría en Administración de Empresas con mención en Operaciones de Sectores Estratégicos, habiendo supervisado la realización de este trabajo y realizado las correcciones correspondientes, doy por aprobada la redacción final del documento escrito para que prosiga con los trámites correspondientes a la sustentación de la Defensa oral.

---

**Ing. Pedro Enrique Buitrón Flores MsC.**

**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

Yo, María José Zambrano Pérez declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**María José Zambrano Pérez**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a: Jorge y Rosarito mis queridos padres y mis hermanos:  
Miguel, Daniel y Fernanda

Los amo con todo mi corazón.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por bendecirme con una familia maravillosa ya que gracias a la unión y paciencia alcancé todo lo que tengo.

A papito Jorge por apoyarme en todo lo que me propongo. A mamita Liz por sus palabras de aliento, perseverancia y por enseñarme que nunca hay que darse por vencido. A mis hermanos Miguel, Daniel y Fernanda, por ser mi verdadero ejemplo a seguir.

Agradezco al Ingeniero Pedro Buitrón, por estar dispuesto a brindarme sus acertados consejos para la realización de este proyecto de investigación.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>PÁGINA</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 Pregunta de investigación	2
1.2 Objetivo general	4
1.3 Objetivos específicos	4
1.4 Hipótesis	4
1.5 Marco teórico	4
1.5.1 Sistema de servicios	5
1.5.2 Líneas de Producción	7
1.5.3 Balanceo de Líneas de Producción	14
1.5.4 El problema de balanceo de Líneas de Producción	15
1.5.5 Heurística	24
1.5.6 Algoritmos heurísticos en el problema de equilibrio de líneas de montaje	25
1.5.7 Mallas curriculares	27
<b>2 METODOLOGÍA</b>	<b>31</b>
2.1 Alcance del proyecto de investigación	31
2.2 Diseño de la investigación	31
2.3 Herramientas de análisis de datos	32
2.4 Características de los datos	33
2.4.1 Selección de las mallas curriculares	33
2.4.2 Caracterización de las mallas curriculares	33
2.4.3 Evaluación de la eficiencia de la malla curricular	33

2.4.4	Balanceo de la malla curricular	34
<b>3</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>36</b>
3.1	Análisis de datos	36
3.1.1	Selección de las mallas curriculares	36
3.2	Caracterización de las mallas curriculares de las carreras de Ingeniería de la producción, Ingeniería Mecánica e ingeniería electrónica y automatización	37
3.3	Evaluación de la eficiencia de las mallas curriculares de las carreras de Ingeniería de la producción, Ingeniería Mecánica e ingeniería electrónica y automatización	44
3.4	Balanceo de las mallas curriculares	51
3.4.1	Establecimiento del gráfico de precedencias de las carreras de Ingeniería de la producción, Ingeniería Mecánica e ingeniería electrónica y automatización	51
3.4.2	Asignación de elementos a las estaciones de trabajo	56
3.4.3	Evaluación del tiempo de inactividad en cada semestre	62
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>67</b>
4.1	Conclusiones	67
4.2	Recomendaciones	70
<b>5</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>72</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>78</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Figura 1.1</b> - Líneas de producción para productos únicos y múltiples	10
<b>Figura 1.2</b> - Línea de producción serial	11
<b>Figura 1.3</b> - Línea de producción con estaciones en paralelo	12
<b>Figura 1.4</b> - Línea de producción de los lados	12
<b>Figura 1.5</b> - Línea de producción circular	13
<b>Figura 1.6</b> - Línea de producción circular	13
<b>Figura 1.7</b> - El problema de balanceo de la línea de ensamble simple	18
<b>Figura 1.8</b> - Clasificación ALBP	22
<b>Figura 3.1</b> - Diagrama de precedencias de la Carrera de Ingeniería de la Producción	53
<b>Figura 3.2</b> - Diagrama de precedencias de la Carrera de Ingeniería Mecánica	54
<b>Figura 3.3</b> - Diagrama de precedencias de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Automatización	55
<b>Figura AI.1</b> - Malla curricular de la Carrera de Ingeniería de la Producción	82
<b>Figura AI.2</b> - Malla curricular de la Carrera de Ingeniería Mecánica	83
<b>Figura AI.3</b> - Malla curricular de la Carrera de Ingeniería Mecánica	84

## LISTA DE TABLAS

	PÁGINA
<b>Tabla 1.1</b> - Características de las técnicas de solución a problemas de programación estáticos y dinámicos	7
<b>Tabla 1.2</b> - Modelo de tabla con datos del problema	18
<b>Tabla 1.3</b> - <i>Notaciones para SALBP</i>	19
<b>Tabla 3.1</b> - Variables y atributos de caracterización de la malla de Ingeniería de la Producción	38
<b>Tabla 3.2</b> - Variables y atributos de caracterización de la malla de Ingeniería Mecánica	40
<b>Tabla 3.3</b> - Variables y atributos de caracterización de la malla de Ingeniería Electrónica y Automatización	42
<b>Tabla 3.4</b> - Eficiencia de la malla curricular de Ingeniería de la Producción	44
<b>Tabla 3.5</b> - Eficiencia de la malla curricular de Ingeniería Mecánica	47
<b>Tabla 3.6</b> - Eficiencia de la malla curricular de Ingeniería Electrónica y Automatización	49
<b>Tabla 3.7</b> - Distribución de las materias en los semestres en función su peso posicional	57
<b>Tabla 3.8</b> – Eficiencia de la malla curricular de la carrera de Ingeniería Mecánica luego del balance	59
<b>Tabla 3.9</b> - Número de asignaturas de la malla curricular de la carrera de Ingeniería Mecánica antes y después del balance	62
<b>Tabla 3.10</b> - Tiempo de inactividad de la malla curricular de la carrera de Ingeniería Mecánica antes y después del balanceo	63

## LISTA DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I	
<b>Entrevista 1</b>	<b>79</b>
<b>Entrevista 2</b>	<b>80</b>
ANEXO II	
<b>Mallas curriculares de las carreras técnicas de la escuela politécnica nacional</b>	<b>81</b>

## RESUMEN

El desarrollo de esta investigación está orientado en la caracterización y balanceo de mallas curriculares de tres carreras técnicas pertenecientes a la Escuela Politécnica Nacional (EPN), a través de las heurísticas utilizadas en el balanceo de líneas de producción. Para la investigación se utilizaron datos primarios y secundarios. La herramienta de recolección de datos primarios fue la entrevista no estructurada realizada al Subdecano de la Facultad de Ingeniería Mecánica y al director de Docencia de la EPN con respecto a la elaboración de mallas curriculares. Los datos secundarios se recolectaron a través del análisis documental de las mallas curriculares y del Reglamento de Régimen Académico, documentos disponibles en la página web de la EPN. Los datos secundarios fueron previamente seleccionados y organizados en un diagrama de precedencias para analizarlos mediante la heurística de los pesos posicionales denominada también método de Helgeson y Birnie, utilizado para resolver los problemas de balanceo de líneas de producción tipo 1 (por sus siglas en inglés SALBP-1), se determinó el tiempo de inactividad para cada semestre y el tiempo total, así como el porcentaje de eficiencia de cada malla curricular antes y después de realizar el balanceo. Se obtuvo como resultado una eficiencia total del 100 % y un tiempo de inactividad de cero horas en las mallas de las carreras de Ingeniería de la Producción e Ingeniería Electrónica y Automatización, por lo que no hubo la necesidad de realizar un balanceo. Sin embargo, la malla de la carrera de Ingeniería Mecánica presentó algunos tiempos de inactividad dentro de cada semestre y por lo tanto eficiencias menores al 100 %, a pesar de tener una eficiencia total del 100 %, después del balanceo se obtuvo una solución óptima con la que se disminuyó el tiempo de inactividad de 210 horas a 10 horas y se mantuvo la eficiencia total en 100 %.

## **ABSTRACT**

The development of this research is oriented to the characterization and balancing of curricula of three technical careers belonging to the Escuela Politécnica Nacional (EPN), through the heuristics used in the balancing of production lines. Primary and secondary data were used for the research. The primary data collection tool was the unstructured interview conducted with the Sub-Dean of the Faculty of Mechanical Engineering and the Director of Teaching of the EPN regarding the development of curricula. Secondary data were collected through documentary analysis of the curricular grids and the Academic Regulations, documents available on the EPN web page. The secondary data were previously selected and organized in a precedence diagram to analyze them by means of the heuristic of positional weights also known as Helgeson and Birnie's method, used to solve the balancing problems of type 1 production lines (SALBP-1), the idle time for each semester and the total time were determined, as well as the percentage of efficiency of each curriculum before and after balancing. As a result, a total efficiency of 100 % and an inactivity time of zero hours was obtained for the Production Engineering and Electronic and Automation Engineering curricula, so there was no need to perform a balancing. However, the Mechanical Engineering curriculum had some downtime within each semester and therefore efficiencies lower than 100 %, despite having a total efficiency of 100 %, after balancing, an optimal solution was obtained with which the downtime was reduced from 210 hours to 10 hours and the total efficiency was maintained at 100 %.

## 1 INTRODUCCIÓN

En el entorno empresarial, sin importar su actividad económica, el principal objetivo se basa en el aumento de la productividad, reducción de costos, aumento de la calidad, todo esto se engloba en: “mejorar la eficiencia, elevando la productividad” de acuerdo con (León, Neira, & Reynel, 2016). Por lo tanto, el balanceo de líneas de producción es un método usado en las empresas para alcanzar la mejora continua.

Para realizar el balanceo, se deben evaluar los tiempos que permiten determinar si en la empresa existe un exceso de trabajo o por el contrario si existen tiempos muertos con la finalidad de determinar la función objetivo del balanceo. De acuerdo con Escobar, Garcés, y Restrepo (2012) el balanceo de líneas de producción tiene como objetivo optimizar los recursos de la línea de ensamble ya sea minimizando las estaciones de trabajo o minimizando el tiempo de ciclo, esto se consigue asignando las tareas de forma ordenada en las estaciones de trabajo respetando las relaciones de precedencia.

Es de trascendental importancia estudiar la secuencialidad de las diferentes tareas que intervienen, analizando y distribuyendo de manera adecuada, su tiempo de realización a través del proceso, con el fin de poder identificar los cuellos de botella y en donde puede ser agilizada la producción, a través de la utilización del tiempo ocioso de la mano de obra en otra estación en donde su tiempo estándar supera el tiempo de ciclo (Castro & Manzano, 2001).

El problema del balanceo del plan de estudios (conocido por sus siglas en inglés BACP) es frecuente en las universidades. El objetivo es programar las materias que el estudiante debe seguir, siempre y cuando se respete las restricciones de prerrequisitos entre los cursos (semestres) y balancear, tanto como sea posible, la carga de trabajo de cada período (Lambert, Castro, Monfroy, & Saubion, 2006).

## 1.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Las carreras técnicas de la Escuela Politécnica Nacional, como todas las carreras de educación superior en el país; están regidas por el Sistema de Educación Superior con formado por: el Consejo de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior (CACES); el Consejo de Educación Superior (CES); la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT). De acuerdo con la ley orgánica de educación superior (LOES) Capítulo 2, Artículo 5 señala que los estudiantes tienen derecho a “Acceder a una educación superior de calidad y pertinente, que permita iniciar una carrera profesional en igualdad de oportunidades” (Asamblea Nacional, 2018), por tal motivo, es responsabilidad de la Institución la renovación permanente de estos programas, en la búsqueda de ofrecer profesionales altamente competitivos.

Una adecuada formación académica se obtiene mediante el seguimiento e involucración de los estudiantes en actividades y proyectos que contribuyan a su graduación en el tiempo previsto. El CACES establece que la eficiencia es un parámetro de la calidad de formación impartida en las Instituciones de Educación Superior (IES) y se espera que el 80 % de los estudiantes se hayan graduado en el tiempo establecido (Consejo de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior, 2018).

La Escuela Politécnica Nacional cuenta con 8 facultades de Ingeniería que son: Ciencias, Ciencias Administrativas, Geología y Petróleos, Civil, Sistemas, Eléctrica y Electrónica, Mecánica, Química y Agroindustria. Existen 17 carreras de Ingeniería, cada una cuenta con su propia malla curricular. A partir de datos estadísticos tomados de la Dirección de Gestión de la Información y Procesos (DIGIP), el número total de estudiantes matriculados en el período 2 018-A fue de 9 464. Para ese mismo período se graduaron 529 estudiantes y se determinó que la tasa de la titulación en carreras de Ingeniería fue de 40,98 % esto representa el número de estudiantes que se

graduaron de los que ingresaron hace 7 semestres sobre el número total de estudiantes que ingresaron hace 7 semestres (Dirección de Gestión de la Información y Procesos, 2018).

Al comparar el número de estudiantes graduados en la EPN con el valor esperado por el CACES, existe una diferencia del 39,02 % lo que indica que no se ha alcanzado ni el 80 % que corresponde al límite inferior de eficiencia en cuanto a la calidad de formación. De acuerdo con el Reglamento de Régimen Académico establecido por el Consejo de Educación Superior (CES), para garantizar una educación de calidad es necesario un diseño curricular estratégico, con la finalidad que se nivelen los conocimientos mínimos y así evitar la deserción estudiantil.

El balanceo de mallas curriculares, también conocido como planificación curricular, tiene como objetivo la utilización eficiente de los esfuerzos de los estudiantes al equilibrar la carga de trabajo total por semestre (Ünal & Uysal, 2014). Al comparar a las carreras técnicas de la EPN con una línea de producción, se considera que el problema de equilibrio tiene como objetivo minimizar el número de estaciones de trabajo para un tiempo de ciclo dado. Debido a la complejidad y a la necesidad de resolver el problema de balanceo se utilizan métodos heurísticos (Sivasankaran & Shahabudeen, 2014).

Lo antes expuesto pone de manifiesto que el problema de balanceo de líneas, además de ser un problema de optimización combinatoria, cuando se incluye el balanceo de cargas de trabajo, se torna además en un problema de optimización multiobjetivo que promueve la mejora continua de los indicadores de productividad, de calidad, por lo que hace necesario el desarrollo de una metodología de gestión de balanceo tanto de línea como de cargas de trabajo que tome en cuenta, además de los tiempos, las actividades y la eficiencia de las mismas.

Por lo expuesto, esta investigación se orienta a responder la siguiente pregunta ¿La aplicación de una heurística de optimización para el balanceo de mallas curriculares

de tres carreras técnicas de la Escuela Politécnica Nacional cuánta eficiencia y retraso genera?

## **1.2 OBJETIVO GENERAL**

- Aplicar una heurística de optimización para el balanceo de mallas curriculares de tres carreras técnicas de la Escuela Politécnica Nacional

## **1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar las mallas curriculares de las carreras técnicas: número de horas; semestres; materias.
- Aplicar la heurística de Helgeson y Birnie para balancear las mallas curriculares que no se encuentren balanceadas.
- Determinar la eficiencia y los tiempos de inactividad de las mallas curriculares después del balanceo y analizar los resultados de la investigación.

## **1.4 HIPÓTESIS**

Las hipótesis, en los estudios descriptivos, ayudan a intentar predecir un dato o valor en una o más variables que se puedan medir. No en todas las investigaciones descriptivas se formulan hipótesis que sean afirmaciones generales, puesto que no es sencillo realizar estimaciones precisas sobre el tamaño de ciclo que involucra el cumplimiento de la demanda o disminución del tiempo ociosos (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014). Por lo tanto, para el presente estudio no aplica hipótesis

## **1.5 MARCO TEÓRICO**

### 1.5.1 Sistema de servicios

En muchos sistemas del mundo real existe un proceso de toma de decisiones relacionado con la asignación de recursos para realizar un conjunto de tareas en un horizonte de planificación específico sujeto a varias limitaciones operativas tales como capacidad, disponibilidad de recursos, fechas de vencimiento, prioridades, cancelaciones, entre otras, para optimizar uno o más objetivos. Este proceso se denomina programación y tiene aplicaciones en informática, logística, distribución, producción, mano de obra, mantenimiento, salud, entre otras (López-Santana & Méndez-Giraldo, 2016).

Una clasificación típica de los problemas de programación son los campos de aplicación como los sistemas de fabricación y servicios. Un sistema de fabricación genérico consiste en un conjunto de máquinas y trabajos que interactúan para producir un bien en el que el material fluye a través de las máquinas que lo transforman en producto final. Los sistemas de servicio consisten en actividades que se ofrecen utilizando energía humana o mecánica para satisfacer las necesidades o deseos de las personas (López-Santana & Méndez-Giraldo, 2016).

Los problemas de programación son más difíciles de clasificar en los servicios. De acuerdo con López-Santana y Méndez-Giraldo (2016) se presentan diferentes aplicaciones de programación en servicios como problemas de reserva, asignación de horarios, problemas de enrutamiento, mantenimiento, problema de mano de obra, entre otros.

El servicio puede definirse como la aplicación de competencias en beneficio de otro y una solución y la experiencia de un cliente que satisfaga sus deseos. Los sistemas de servicio son un conjunto de actividades que realizan los recursos (máquinas y personas) para satisfacer las necesidades o deseos de las personas mediante la transformación del estado inicial de cualquiera de los recursos del cliente (López-Santana & Méndez-Giraldo, 2016).

Los sistemas de servicios se están convirtiendo en un área estratégica de investigación científica desde enfoques multidisciplinares. Ha surgido una comunidad académica como la ciencia del servicio o la gestión e ingeniería de la ciencia del servicio. Asimismo, los sistemas de servicio son en muchos aspectos diferentes de los sistemas de fabricación. Sin embargo, para ambos sistemas, la demanda es difícil de pronosticar, está sujeta a variabilidad y condiciones dinámicas que implican reprogramaciones, ajustes y sincronización de varios recursos que completan un servicio (López-Santana & Méndez-Giraldo, 2016).

Por lo general, en los sistemas de servicios es muy común depender de la experiencia y el conocimiento de las personas, por lo tanto, las empresas a menudo delegan la planificación y programación de actividades (toma de decisiones) para sistemas altamente complejos a personal experimentado; confiando en su intuición y conocimiento. Sin embargo, cuando hay demasiada información y relaciones que hacen que la comprensión del sistema sea una tarea compleja, se encuentran limitaciones (López-Santana & Méndez-Giraldo, 2016).

Además, a menudo se necesita mucho tiempo para generar (generalmente manualmente) un programa y un plan de trabajo factibles. Por tanto, es necesario que el sistema de servicios utilice, de forma ordenada y sistemática, el conocimiento individual del personal experimentado para resolver colectivamente el problema de programación (López-Santana & Méndez-Giraldo, 2016).

El problema general de la programación consiste en encontrar la mejor secuencia para realizar una serie de trabajos en varias máquinas (o recursos) con el fin de optimizar una o más funciones objetivo. Este problema es típicamente NP-hard y por lo tanto es difícil encontrar una solución óptima ya que el tiempo de cálculo aumenta exponencialmente con el tamaño del problema (López-Santana & Méndez-Giraldo, 2016).

Los problemas de programación se pueden clasificar en problemas deterministas y estocásticos. En el caso determinista la información sobre tiempos de procesamiento, fecha de lanzamiento, fechas de vencimiento, capacidad, entre otros tiene un valor constante mientras que en el caso estocástico la información tiene una variabilidad. Otra clasificación consiste en la programación estática y dinámica. Si los trabajos llegan simultáneamente y todos los recursos y toda la información están disponibles al comienzo del horizonte de planificación, se dice que el problema de programación es estático. Si los trabajos llegan de forma intermitente y los recursos están sujetos a varios tipos de perturbaciones, el problema es dinámico (López-Santana & Méndez-Giraldo, 2016).

La complejidad para resolver el problema de programación aumenta de determinista a estocástico y aumenta de entornos estáticos a dinámicos. En resumen, la Tabla 1.1 presenta algunas técnicas para resolver los problemas de programación estáticos y dinámicos (López-Santana & Méndez-Giraldo, 2016).

**Tabla 1.1** - Características de las técnicas de solución a problemas de programación estáticos y dinámicos

	<b>Estático</b>	<b>Dinámico</b>
<b>Determinístico</b>	Relativamente fácil de resolver con: - Programación matemática - Heurística	Dificultad media para resolver con: - Programación matemática - Heurística y metaheurística - Simulación - Sistemas híbridos
<b>Estocástico</b>	Dificultad media para resolver con: - Programación estocástica - Heurística y metaheurística - Simulación - Sistemas híbridos	Difícil de resolver con: - Heurística y metaheurística - Simulación - Inteligencia artificial - Sistemas híbridos

### 1.5.2 Líneas de Producción

Una línea de producción es una secuencia de puestos de trabajo que están conectados por un sistema de transporte que mueve el producto a fabricar a lo largo de la línea. El producto se fabrica al realizar un conjunto determinado de tareas que se expresan mediante la ecuación [1] (Dorigo et al., 2004).

$$T = \{1, \dots, n\} \quad [1]$$

Cada tarea  $j \in T$  tiene un tiempo de procesamiento  $t_j > 0$

De acuerdo con Gen, Cheng, y Lin (2008) las líneas de producción son el método más utilizado en la fabricación en masa puesto que, permiten el montaje de productos complejos por parte de trabajadores con formación limitada, por máquinas dedicadas y / o por robots. Una línea de producción se define como un sistema que se forma mediante la disposición de los puestos de trabajo a lo largo de una línea. El objetivo de estas líneas es fabricar productos a ritmos de producción en el menor tiempo, de la forma más productiva, económica y con la calidad requerida (Baybars, 1986a; Edokpia & Owu, 2013)

Los diseñadores de sistemas buscan diseñar líneas de producción eficientes con un mayor rendimiento y menores costos de insumos. Dado que la planificación e instalación de una línea de producción es un problema de decisión costoso a largo plazo, es esencial una evaluación previa cuidadosa del plan, ya que esto influirá directamente en la eficiencia y eficacia de la línea de montaje (Mutingi & Mbohwa, 2017).

Las líneas de producción son lugares donde las partes y componentes de los productos se ensamblan y se tratan de diferentes maneras. La especialidad básica de una línea de producción es transferir piezas de trabajo de una estación a otra (Kayar & Akyalçin, 2014). Una línea de producción consta de varias tareas en las que se agregan piezas intercambiables a un producto de manera secuencial en una estación para producir un producto terminado (Gen et al., 2008). La secuencia de ejecución de la tarea está influenciada por restricciones de precedencia que emanan de limitaciones y restricciones tecnológicas (Burduk, 2017; Mutingi & Mbohwa, 2017).

Una tarea es un elemento de trabajo indivisible más pequeño y una estación es una

ubicación a lo largo de la línea de flujo donde se procesan las tareas y consta de operadores humanos / robóticos y / o maquinaria / equipo. La serie de estaciones y el mecanismo de transporte, generalmente un transportador, se conoce como línea de montaje. Un artículo de fabricación se alimenta a la primera estación de la línea a una velocidad de alimentación constante predeterminada (Baybars, 1986a)

Una línea de producción puede constar de una o varias operaciones. El tiempo total de producción es igual a la suma de los tiempos de proceso de las operaciones por separado. El número de operaciones y el contenido de las mismas vienen determinados básicamente por la estructura del montaje y la complejidad del trabajo del mismo. Si el trabajo total de montaje es demasiado complejo, los ingenieros tienden a dividir todo el trabajo de montaje en una serie de operaciones, haciendo que cada operación sea responsable de uno o más subconjuntos. dependiendo de su complejidad, un subconjunto puede dividirse a su vez en componentes, y entonces se pueden definir operaciones para uno o más componentes. Lo principal es cómo determinar el nivel de complejidad de cada operación (Chow, 1990).

#### ***1.5.2.1 Tipos de líneas de producción***

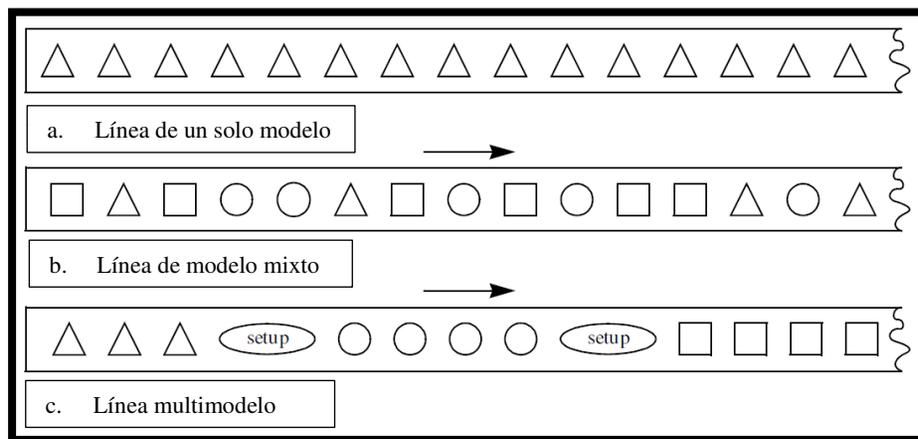
En la literatura existen diferentes formas de clasificar a las líneas de producción dependiendo de diferentes conceptos como, por ejemplo: tipo de producto, duración de la tarea, tipos de operadores, arquitectura de la línea, flujo de las piezas y método de entrada de la pieza. A continuación, se presenta la principal clasificación propuesta por (Battaia & Dolgui, 2013).

##### **a) Tipo de producto que se procesa**

- **Modelo simple:** línea en donde se procesa un producto homogéneo. Un objetivo de la administración es asignar los elementos de trabajo asociados con el modelo a los operadores de la estación de la manera más uniforme posible (Thomopoulos, 2014).

- **Modelos múltiples o por lotes:** varios productos son facturados, por lo tanto, se considera un tiempo de preparación entre diferentes productos puesto que la línea debe ser reequilibrada (Thomopoulos, 2014).
- **Modelos mixtos:** permite producir varios modelos de un producto de forma simultánea. Las tareas para la producción de cada modelo son similares (Thomopoulos, 2014).

Los tipos de líneas se presentan en la Figura 1.1, donde los diferentes modelos están simbolizados por formas geométricas. Dependiendo de estos tipos de línea, se deben considerar y resolver el problema de balanceo de líneas de ensamble de las versiones de modelo único, modelo mixto y modelo múltiple (Becker & Scholl, 2006)



**Figura 1.1** - Líneas de producción para productos únicos y múltiples  
Fuente: (Becker & Scholl, 2006)

### b) Duración de la tarea

- **Determinista:** se conoce con certeza todos los tiempos de proceso de las tareas.
- **Estocástica:** el tiempo de proceso de la tarea es aleatorio o probabilístico. Usualmente, el tiempo sigue una determinada ley estadística.

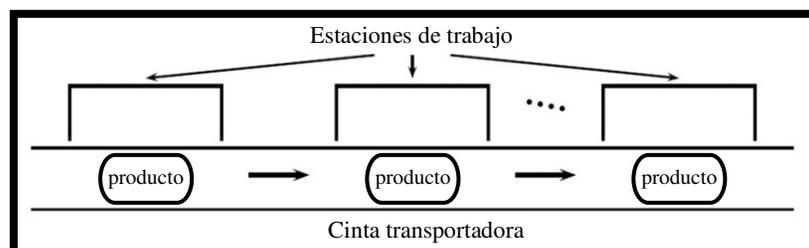
- **Dependiente:** el tiempo de procesamiento depende de alguna variable como, por ejemplo: la secuencia que sigue, el operador que realiza la tarea, estación en donde se procesa.

### c) Tipo de operadores

- **Manual:** los operadores son humanos sin embargo la línea puede estar automatizada o no.
- **Robotizada:** procesos automatizados por lo que los operadores son robots.

### d) Arquitectura de la línea

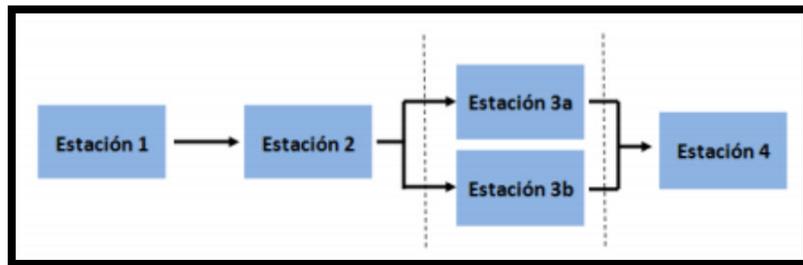
- **Serial:** está constituida por estaciones simples dispuestas en serie, el producto pasa consecutivamente de una estación a la próxima a través de una cinta transportadora. En la Figura 1.2 se presenta una ilustración de una línea serial.



**Figura 1.2** – Línea de producción serial

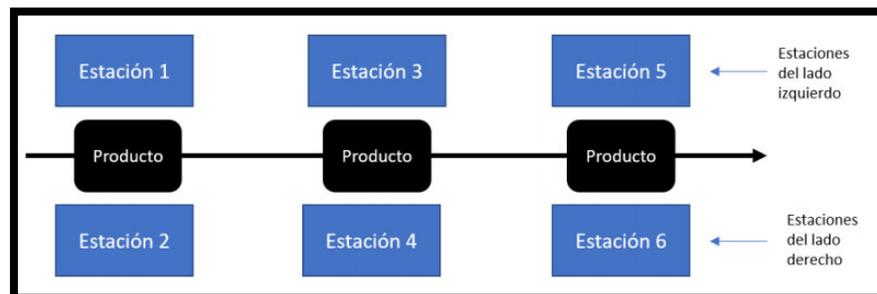
Fuente: (Battaña & Dolgui, 2013)

- **Estaciones en paralelo:** línea única que permite que dos o más estaciones idénticas realicen la misma tarea en paralelo. Se reduce el tiempo de duración de la tarea proporcionalmente al número de estaciones. En la Figura 1.3 se presenta una ilustración de una línea con estaciones en paralelo, las estaciones 3a y 3b se realizan la misma tarea.



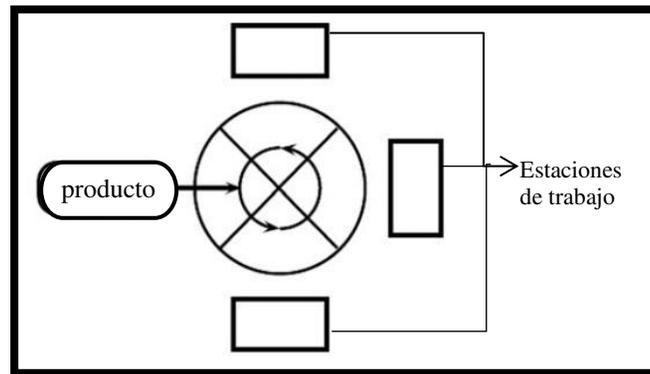
**Figura 1.3** – Línea de producción con estaciones en paralelo  
Fuente: (Elaboración propia)

- **Líneas paralelas:** permite la configuración de modelos múltiples en los que se asigna una línea a cada modelo o a cada familia de modelos.
- **Línea de los lados:** consiste en una línea serial en donde en cada lado de la línea se tiene una estación una en frente de la otra, se procesa de forma simultánea el producto. Es común este tipo de líneas para la fabricación de piezas o donde se requiera realizar tareas de ambos lados del producto por ejemplo la producción automotriz. En la figura 1.4 se presenta una ilustración de una línea de producción de los lados.



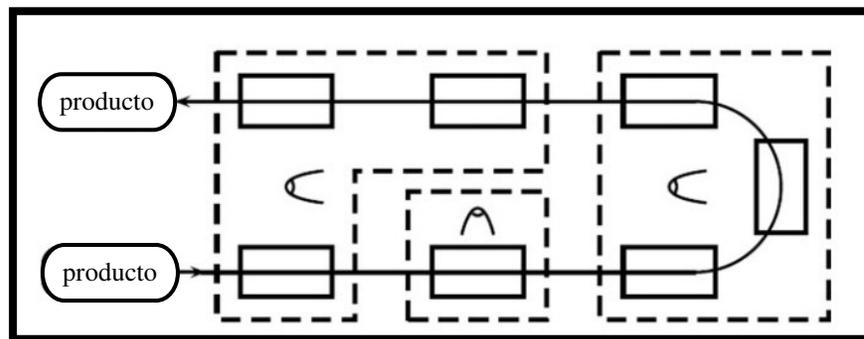
**Figura 1.4** – Línea de producción de los lados  
Fuente: (Elaboración propia)

- **Línea circular o cerrada:** consiste en una cinta transportadora circular o cerrada que distribuye a todas las estaciones. Los operadores toman la pieza que circula por la cinta y cuando terminan la tarea la depositan nuevamente en la cinta, la persona que realiza la última tarea coloca la pieza fuera de la cinta. En la Figura 1.5 se presenta una ilustración de la línea de producción circular.



**Figura 1.5** – Línea de producción circular  
Fuente: (Battaia & Dolgui, 2013)

- **Línea en forma de U:** las estaciones pueden trabajar en dos segmentos de la línea si estas se encuentran enfrentadas. Permite un mejor equilibrado de la carga en las estaciones de trabajo puesto que el número de combinaciones tarea/estación es mayor. En la figura 1.6 se presenta la ilustración de una línea de producción en forma de U.



**Figura 1.6** – Línea de producción circular  
Fuente: (Battaia & Dolgui, 2013)

#### e) Método de entrada de la pieza

- **Entrada fija:** llegada de las piezas es en intervalos regulares de tiempo el mismo que corresponde al tiempo de ciclo.
- **Entrada variable:** las piezas llegan en intervalos que normalmente siguen una determinada ley estadística

#### f) Flujo de las piezas

- **Síncrona:** el tiempo de ciclo en todas las estaciones es el mismo por lo tanto las piezas pasan de una estación a otra al mismo tiempo.
- **Asíncrona:** Las estaciones están relacionadas a través de buffers que se colocan entre ellas para almacenar las piezas que se han procesado en las estaciones precedentes. Es necesario determinar la colocación de los buffers y su tamaño.
- **Línea de alimentación:** existe una o más líneas de alimentación en los sistemas de montaje en los que se realiza subensambles (línea principal donde se montan las piezas y líneas suplementarias donde se procesan ciertas partes). Se debe sincronizar la tasa de producción de las líneas de alimentación.

#### 1.5.3 Balanceo de Líneas de Producción

El objetivo del balanceo de la línea de producción puede ser la minimización de la fuerza de trabajo (número de estaciones) o la maximización de la tasa de producción (minimización del tiempo de ciclo) (Larasari, Tanaya, & Indrayadi, 2020; Mahto & Anjani, 2012). De acuerdo con Bhattacharjee y Sahu (1988) las siguientes suposiciones generalmente se realizan en el balance de la línea de producción simple:

- Se conoce el tiempo de cada tarea
- Un diagrama de precedencia está disponible
- Todas las tareas deben procesarse
- Los costos fijos y variables de cada estación son los mismos
- No se permite la división de tareas entre dos o más estaciones de trabajo
- El tiempo de la estación es siempre menor que el tiempo de ciclo

En el balanceo de la línea de producción, los elementos de trabajo o las tareas individuales se asignan a las estaciones de trabajo de modo que el costo unitario de

montaje se minimice tanto como sea posible (Becker & Scholl, 2006; Scholl, 1999; Scholl & Becker, 2006). Las decisiones del balanceo de línea tienen un impacto directo en la rentabilidad a largo plazo. La línea de producción debe equilibrarse y optimizarse antes de la instalación. Como tal, es de suma importancia desarrollar procedimientos de solución computacional óptimos o casi óptimos que puedan ayudar en las decisiones de equilibrio de la línea de producción (Mutingi & Mbohwa, 2017).

De acuerdo con Gen et al. (2008) y Baybars (1986b) es importante que una línea de producción esté diseñada y balanceada con la finalidad de que funcione de la forma más eficiente posible. La mayor parte del trabajo relacionado con las líneas de producción se concentra en el balanceo de la misma. De tal forma que el modelo se ocupa de la asignación de las tareas entre estaciones para que no se violen las relaciones de precedencia y se optimice una función objetivo determinada.

Además de balancear una línea de producción de nuevo diseño, una línea de producción existente debe volver a balancearse periódicamente o después de ciertos cambios en el proceso de producción o el plan de producción. Debido al efecto a largo plazo de balancear las decisiones, las funciones objetivas deben elegirse cuidadosamente al considerar las metas estratégicas de la empresa. (Gen et al., 2008).

#### **1.5.4 El problema de balanceo de Líneas de Producción**

Debido a que la complejidad del problema significa que no se puede encontrar una solución exacta en un tiempo razonable, en la práctica se utilizan métodos heurísticos. Estos métodos utilizan reglas que permiten reducir la gran cantidad de soluciones potenciales, permitiendo encontrar una solución satisfactoria en un tiempo relativamente corto, por ejemplo. en cuanto al número mínimo de puestos de trabajo (Schlick, Frieling, & Wegge, 2013).

A pesar de la importancia del balanceo de la línea de montaje en la industria, vale la pena señalar que el problema de la decisión sigue siendo bastante complejo y

exigente. De acuerdo con Mutingi & Mbohwa (2017) algunas de las complejidades incluyen las siguientes:

- La presencia de una estructura de agrupamiento, que es altamente combinatoria y restringida.
- El desafío de la dependencia del orden de las tareas en cada estación de trabajo debido a restricciones de precedencia.
- El desafío de la dependencia del orden de los elementos entre grupos debido a las limitaciones de precedencia.

En la forma más simple de balanceo de la línea de producción, solo se consideran dos tipos de restricciones: restricción de tiempo de ciclo (la suma de los tiempos de proceso de las tareas individuales asignadas a cualquier estación no puede exceder el tiempo de ciclo dado) y restricciones de precedencia (relaciones de precedencia debidas a se deben respetar los requisitos tecnológicos o de diseño del producto) (Baybars, 1986b).

#### *1.5.4.1 Definiciones*

Se utilizan un conjunto de conceptos a lo largo del documento, para una mejor comprensión de los mismos se explican a continuación (Bhattacharjee & Sahu, 1988).

- **Tarea:** es una unidad de trabajo, indivisible, que tiene asignado un tiempo de proceso. El trabajo total requerido para fabricar un producto en una línea se divide en un conjunto de "n" tareas por realizar.
- **Estación:** la línea de producción se divide en estaciones y en cada uno de estas se realiza una tarea. En cada estación existe una cantidad necesaria de máquinas para realizar las tareas, así como un operador, humano o robot.

- **Relación de precedencia:** indican las tareas que deben ejecutarse antes de una tarea específica. Las relaciones entre las tareas se pueden mostrar de forma esquemática mediante un gráfico de precedencias.
- **Tiempo de ciclo:** la cantidad de tiempo necesario para que un operador monte una unidad de producto en una estación de trabajo. Es el tiempo que se dispone en cada estación para realizar las tareas asignadas.
- **Eficiencia:** es la relación entre el tiempo total de la estación y el producto del tiempo de ciclo y el número de estaciones.
- **Tiempo de trabajo para cada estación:** es la suma de los tiempos de las tareas que hay en la estación.
- **Tiempo muerto:** es la diferencia entre el tiempo de ciclo y el tiempo de trabajo en una estación.

#### *1.5.4.2 Representación del problema*

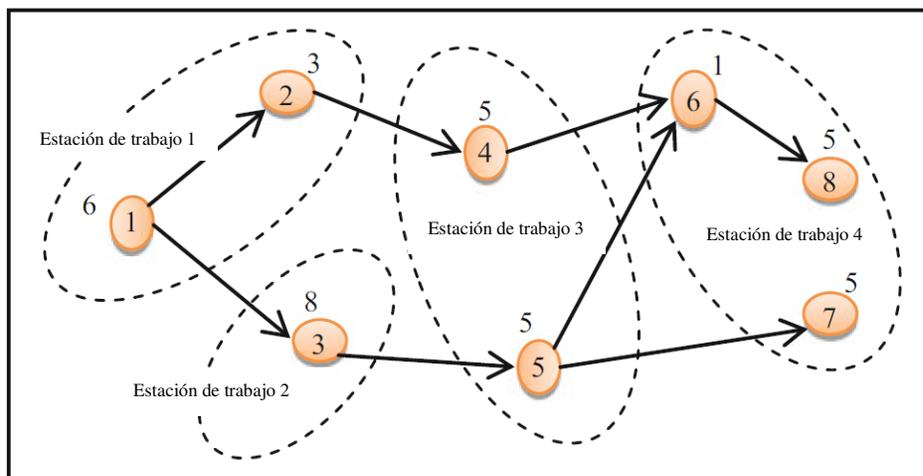
De acuerdo con Salvendy (2001), “el propósito de equilibrar una línea de producción es minimizar el tiempo total de inactividad que se produce debido a división imperfecta del trabajo entre las estaciones” (p. 1382), por lo tanto, los operadores que tengan asignaciones más cortas tendrán algún tiempo de inactividad, este tiempo es una medida del desequilibrio de la línea (Lewis & Slack, 2003). Existen tres datos necesarios para el equilibrado: (1) una tabla de elementos de trabajo con sus tiempos asociados, (2) un diagrama de precedencia que muestra las relaciones de precedencia de elementos y (3) unidades requeridas / minuto de la línea. Las tres incógnitas son (1) el número de estaciones, (2) el número de trabajadores en cada estación y (3) los elementos a realizar en cada estación.

En la Tabla 1.2 se presenta un modelo de una tabla que contiene los elementos del problema, en ella se indica el número total de tareas y respecto a cada tarea: la duración de cada tarea según el modelo, la inmediata predecesores y, a veces, los posibles puestos de trabajo en los que es posible incorporar esa tarea.

**Tabla 1.2** - Modelo de tabla con datos del problema

Tarea	Tiempo (tarea j / modelo m)				Predecesores	Possible estación de trabajo
	m1	m2	...	mk	Predecesor{j}	k
1	2	4		7	Predecesor {0}	{5,6}
2	3	4		9	Predecesor {1}	{1,2}
...	...	...	...	...	...	...
N	$t_{j1}$	$t_{j2}$		$T_{jK}$	...	{...,...}

La Figura 1.7 presenta la ilustración del problema de balanceo de la línea de producción en forma de diagrama de precedencia. Los nodos del gráfico de precedencia, numerados del 1 al 8, representan las tareas que se asignarán a 8 estaciones de trabajo. Por encima de los nodos de tarea están los tiempos de ejecución de la tarea  $t_j$  donde  $j = 1, \dots, n$ .



**Figura 1.7** - El problema de balanceo de la línea de ensamble simple  
Fuente: (Mutingi & Mbohwa, 2017, p.186)

### 1.5.4.3 Descripción del problema

Formulado por primera vez en la década de 1950, el Problema del balanceo de la línea de producción ha recibido considerable atención de varios investigadores a lo largo de los años (Baybars, 1986b). Se han sugerido muchos métodos de solución para resolver el problema (Mutingi & Mbohwa, 2017).

El problema de balanceo de la línea de producción simple (SALBP) es bastante estudiado en el diseño de líneas de producción (Scholl, 1999). Un conjunto de tareas, enlistadas  $j = 1, \dots, n$ , se definen mediante los tiempos de procesamiento  $t_j$  ( $j = 1, \dots, n$ ) y sus posiciones relativas en el gráfico de precedencia. El tiempo de la estación  $S_w$  es equivalente a la suma de los tiempos de todas las tareas incluidas en la estación  $k$ . El tiempo máximo de estación determina el tiempo de ciclo  $c$ , y cada estación  $w$  con menos tiempo de estación tiene un tiempo de inactividad definida en la ecuación [2]. La Tabla 1.3 enumera las notaciones utilizadas para SALBP (Mutingi & Mbohwa, 2017)

$$\textit{T tiempo de inactividad} = c - S_w \quad [2]$$

**Tabla 1.3 - Notaciones para SALBP**

Nombre	Simbología
Tiempo de ciclo	$c$
Índice de las tareas	$j$
Conjunto de todas las tareas con $a < pj \leq b$	$J[a, b]$
Índice de las estaciones	$w$
Número de estaciones de trabajo	$m$
Número de tareas	$n$
Carga de la estación $w$	$S_w$
Tiempo de la tarea $j$	$t_j$

El objetivo es encontrar un tiempo de ciclo  $c$  y un número  $m$  de estaciones y la asignación de tareas correspondiente que minimice la suma de los tiempos de inactividad en todas las estaciones. El número de estaciones se define por la ecuación [3] (Sivasankaran & Shahabudeen, 2014).

$$\mathbf{m} = \frac{\sum t_j}{c} \quad [3]$$

En la práctica, una solución al SALBP es factible si se cumplen todas las siguientes condiciones (Baybars, 1986b; Dorigo et al., 2004; Mutingi & Mbohwa, 2017).

- Requisitos de ocurrencia (cada tarea debe asignarse a alguna estación).
- Requisitos de no divisibilidad (ninguna tarea puede dividirse entre dos o más estaciones).

Además, como mostró por primera vez Salveson, el tiempo total de inactividad se minimiza cuando se minimiza el número de estaciones a lo largo de la línea, porque el tiempo total para procesar todas las tareas y el tiempo de ciclo son constantes (Baybars, 1986b).

La mayor parte de la investigación en el balanceo de la línea de producción se ha dedicado a modelar y resolver el problema de balanceo de la línea de producción simple (SALBP). Este problema clásico de un solo modelo contiene las siguientes características principales (Scholl & Becker, 2006).

- Producción en masa de un producto homogéneo
- Proceso de producción dado
- Línea marcada con tiempo de ciclo fijo  $c$ .
- Tiempos de operación deterministas (e integrales)  $t_j$
- Ninguna restricción de asignación además de las restricciones de precedencia
- Diseño de línea serial con  $m$  estaciones
- Todas las estaciones están igualmente equipadas con respecto a máquinas y trabajadores
- Maximizar la eficiencia de la línea

De acuerdo con Sivasankaran y Shahabudeen (2014) La eficiencia se define a través de la ecuación [4].

$$\text{Eficiencia} = \frac{\sum t_j}{c} \times 100\% \quad [4]$$

Es importante señalar que, dado que la función objetivo no depende linealmente de las variables  $m$  y  $c$ , esto conduce a dos variantes importantes del SALBP, definidas de la siguiente manera (Mutingi & Mbohwa, 2017).

- **SALBP-1:** Dado el tiempo de ciclo  $c$ , minimizar el número  $m$  de estaciones.
- **SALBP-2:** Dado el número  $m$  de estaciones, minimizar el tiempo de ciclo  $c$ .

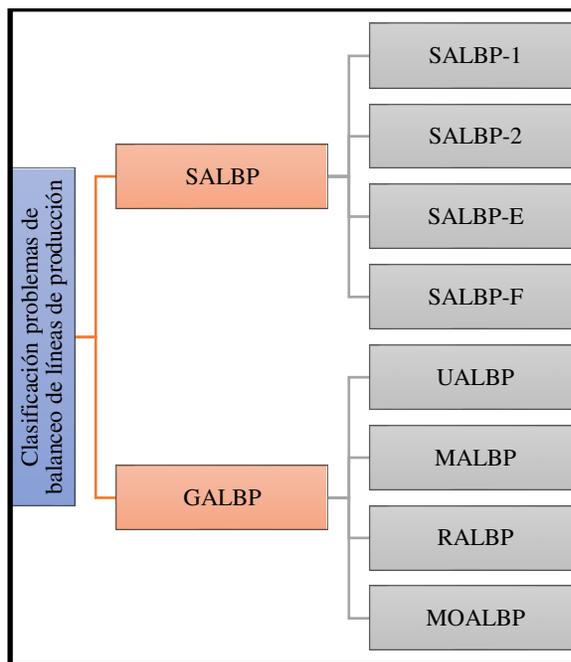
Por lo tanto, el problema de equilibrio de la línea de montaje busca determinar la asignación óptima de tareas a una secuencia ordenada de estaciones, de acuerdo con una medida de desempeño, como el número de estaciones de trabajo cargadas, la eficiencia de la línea y el tiempo de inactividad (Mutingi & Mbohwa, 2017).

Las relaciones de precedencia están representadas esquemáticamente por un diagrama de precedencia cuyos nodos corresponden a tareas y si la tarea  $i$  es un predecesor inmediato de la tarea  $j$  (es decir, si el procesamiento de la tarea  $j$  no puede comenzar hasta después de la finalización de la tarea  $i$ ), esta relación está representado por un arco dirigido  $(i, j)$  en el diagrama de precedencia, que une el nodo  $i$  al nodo  $j$ . El conjunto de relaciones de precedencia es simplemente un orden parcial de las tareas (Baybars, 1986a)

#### *1.5.4.4 Clasificación de los problemas de balanceo de la línea de producción*

Existen diversas clasificaciones de los problemas de balanceo de línea que permiten describir los aspectos particulares considerados en cada uno. En este sentido, Baybars (1986b) propone una clasificación en la que se distinguen dos tipos de problemas clásicos: el simple (SALBP) y el general (GALBP).

En la Figura 1.8 se presenta una clasificación en la que se recopilan las propuestas realizadas por (Baybars, 1986a; Becker & Scholl, 2006; Scholl, 1999) referidas también por (Peña Orozco & Jiménez Gómez, 2019).



**Figura 1.8** - Clasificación ALBP  
Fuente: (Peña Orozco & Jiménez Gómez, 2019)

El balanceo clásico de la línea de montaje se conoce como problema de balanceo de la línea de producción simple (SALBP). La clasificación del SALBP se realiza de acuerdo con su función objetivo, y algunas de las variantes del problema son:

- a) **SALBP-1**: consiste en asignar un conjunto de tareas a las estaciones de trabajo con lo que se busca minimizar el número de estaciones de trabajo para un tiempo de ciclo dado. Una línea con menos estaciones de trabajo tiene menores costos laborables y menores requisitos de espacio (Ponnambalam, Aravindan, & Mogileeswar Naidu, 1999). Este caso se presenta normalmente cuando se va a instalar un nuevo sistema de montaje y la demanda externa puede ser estimada (Becker & Scholl, 2006; Moreira, Ritt, Costa, & Chaves, 2012; Mutingi & Mbohwa, 2017; Peña Orozco & Jiménez Gómez, 2019; Scholl, 1999).

- b) SALBP-2:** intenta minimizar el tiempo de ciclo o equivalentemente, maximizar la tasa de producción, para un número dado de estaciones de trabajo. Se considera que la línea de ensamble ya existe. Generalmente ocurren cuando la organización desea producir la cantidad óptima de artículos utilizando el número fijo de estaciones de trabajo sin comprar nuevas máquinas o sin expansión (Baybars, 1986a; Becker & Scholl, 2006; Moreira et al., 2012; Mutingi & Mbohwa, 2017; Peña Orozco & Jiménez Gómez, 2019; Ponnambalam et al., 1999; Scholl, 1999).
- c) SALBP-F:** comprueba si existe una configuración de montaje viable para una combinación específica de tiempo de ciclo  $c$  y número de estaciones de trabajo  $m$ , es decir, se quiere conocer si la línea puede operar con  $m$  estaciones y un tiempo de ciclo  $c$  dados (Becker & Scholl, 2006; Moreira et al., 2012; Mutingi & Mbohwa, 2017; Peña Orozco & Jiménez Gómez, 2019; Scholl, 1999).
- d) SALBP-E:** busca maximizar la eficiencia  $E$  de la línea minimizando simultáneamente el número de estaciones de trabajo y el tiempo de ciclo (Becker & Scholl, 2006; Moreira et al., 2012; Mutingi & Mbohwa, 2017; Peña Orozco & Jiménez Gómez, 2019; Scholl, 1999).

Los problemas de balanceo de línea de producción generales (GALP) son los problemas que no están incluidos en el SALBP. Por ejemplo, cuando el tiempo del proceso es variable, si hay estaciones paralelas, modelos mixtos, procesamientos alternativos, etc., de esta forma se pueden formular y resolver problemas más reales (Restrepo Correa, Cruz Trejos, & Saracho Almada, 2006). Hay cuatro tipos diferentes de GALBP:

- a) UALBP:** Problema de balanceo de la línea de montaje de la línea U, la diferencia es que cuando tienes una línea serial solo puedes asignar aquellas tareas cuyos predecesores ya han sido asignados, mientras que en la UALBP es posible asignar tareas cuyos predecesores o sucesores ya han sido

asignado. Eso significa que las estaciones se pueden asignar de manera que durante el mismo tiempo de ciclo se puedan gestionar dos piezas en diferentes posiciones de la línea al mismo tiempo. Al igual que en SALB, aquí los problemas se distinguen en: UABLP-1, UABLP 2 y UABLP-E (Peña Orozco & Jiménez Gómez, 2019; Sabuncuoglu, Erel, & Alp, 2009).

- b) MALBP:** problema de equilibrio de la línea de montaje del modelo mixto. Ese problema aparece al considerar varios modelos del mismo producto y, por lo tanto, se tiene un conjunto de tareas básicas que se realizan en todos los modelos independientemente de los tiempos de configuración. Aquí los problemas se vuelven a distinguir en: MABLP-1, MABLP-2 y MABLP-E (Peña Orozco & Jiménez Gómez, 2019).
- c) RALBP:** problema de equilibrado de la línea de montaje robótica. En este tipo de problemas se considera la asignación de tareas y la asignación de un robot a cada puesto de trabajo, con el fin de optimizar el desempeño de las tareas en la línea (Peña Orozco & Jiménez Gómez, 2019).
- d) MOALBP:** problema de equilibrado de la línea de montaje multiobjetivo. En este tipo de problemas se consideran simultáneamente varios objetivos como minimizar el costo total o el número de estaciones, maximizar la eficiencia de la línea, etc. (Peña Orozco & Jiménez Gómez, 2019).

### 1.5.5 Heurística

**heuriskein** (griego antiguo) y **heurística** (latín): “averiguar, descubrir”. De acuerdo con Romanycia y Pelletier (1985) después de realizar un análisis a través de la historia sobre conceptos de algunos autores llegó a la conclusión de que una heurística es cualquier dispositivo, ya sea un programa, una regla, un conocimiento, etc., del que uno no está completamente seguro de que será útil para proporcionar una solución

práctica, pero que uno tiene razones para creer que será útil, y que se agrega a un sistema de resolución de problemas con la expectativa de que, en promedio, el rendimiento mejorará.

El método heurístico presenta aplicabilidad a las condiciones existentes en las plantas de producción donde las computadoras y los matemáticos no siempre están disponibles. Para la solución de problemas es deseable una solución algorítmica, pero, como sucede con frecuencia en los problemas de conveniencia, un algoritmo se vuelve intratable a medida que aumenta el tamaño del problema. Por lo tanto, se ideó un método heurístico de equilibrio de líneas que requiere un análisis lógico de los datos del problema (Lewis & Slack, 2003).

#### **1.5.6 Algoritmos heurísticos en el problema de equilibrio de líneas de montaje**

Los enfoques de solución basados en el método de balanceo de la línea de producción son tres: métodos heurísticos, métodos analíticos y técnicas de simulación (Kayar & Akyaçin, 2014). Los métodos heurísticos son muy útiles para encontrar soluciones aceptables. Algunas medidas de la calidad de la solución permiten evaluar y aceptar la solución resultante (Burduk, 2017).

Aunque existen varios métodos heurísticos, algunos básicos tomados de la literatura se pueden enumerar de la siguiente manera (Burduk, 2017; Kayar & Akyaçin, 2014).

- Método de ponderación posicional clasificado (RPW) propuesto por Helgeson-Birnie
- Método de enumeración de Jackson
- Método Hoffman
- Método Moddie-Young
- Método COMSOAL (Arcus)
- Método de programación dinámica de Karp Held-Shareshian

- Método Kilbridge-Wester (KWC)
- Método de matriz candidata (Salveson)
- Método probabilístico de equilibrado de la línea de montaje (Elsayed Boueher)
- Método de agrupación (Tonge)
- Método de la ruta más corta (Klein-Gutjahr)
- Método de Raouf-Tsui Elsayed
- Método de actividad relacionada (Agrawal)
- Método heurístico básico

El método LCR determina el número mínimo de estaciones necesarias para obtener el tiempo de ciclo deseado. El objetivo es dividir las tareas entre la estación de trabajo. El método de columna KWC es un procedimiento heurístico que asigna elementos de trabajo a las estaciones de acuerdo con sus posiciones en el diagrama de precedencia. En el método KWC, los elementos de trabajo se organizan en columnas. La mayor diferencia entre este método y LCR es que las tareas que están al final del gráfico de precedencia pueden asignarse primero a la estación con las razones del gran valor del tiempo de la tarea. RWP combina las estrategias del método LCR y KWC. En este método, las tareas se clasifican según su importancia en el gráfico de precedencia. Los pesos posicionales clasificados tienen en cuenta las posiciones en la tarea del gráfico de precedencia y el valor de tiempo (Burduk, 2017).

#### ***1.5.6.1 Método de peso posicional (RPW)***

Los pasos involucrados en el método de ponderación posicional de Helgeson-Birnie son los siguientes (Ponnambalam et al., 1999):

1. Determinar el peso posicional (PW) para cada tarea. (Tiempo de la ruta más larga desde el inicio de la operación hasta el resto de la red).
2. Clasificar los elementos de trabajo según el PW. El elemento de trabajo con el PW más alto ocupa el primer lugar.

3. Asignar elementos de trabajo (tareas) a las estaciones de trabajo, donde se asignan primero los elementos de mayor peso posicional y rango.
4. Si en cualquier estación de trabajo queda tiempo adicional después de la asignación de una operación, asigne la siguiente operación clasificada sucesiva a la estación de trabajo, siempre que la operación no viole las relaciones de precedencia y los tiempos de la estación no excedan el tiempo de ciclo.
5. Repita los pasos 3 y 4 hasta que todos los elementos estén asignados a las estaciones de trabajo.

#### ***1.5.6.2 Ventajas y Desventajas del método de peso posicional***

De acuerdo con (Fonseca et al., 2005) es posible aprovechar al máximo el tiempo de ciclo de cada estación encontrando las tareas adecuadas. Una ventaja importante de esta heurística es que es capaz de resolver problemas de equilibrio de línea independientemente de la duración de los tiempos de las tareas en relación con el tiempo del ciclo (Fazlollahtabar et al., 2011).

Las heurísticas han demostrado ser extremadamente útiles, pero dado que solo consideran una secuencia posible en cualquier tiempo de ciclo particular, son algo inflexibles y pueden encontrar dificultades a veces. El rendimiento del método heurístico no se ve afectado de forma significativa por la estructura de la red (diagrama de precedencias) pero el rendimiento varía con la magnitud del tiempo de ciclo y el procedimiento heurístico utilizado (Buxey, 1974).

#### **1.5.7 Mallas curriculares**

##### ***1.5.7.1 Reglamento de Régimen Académico Consejo de Educación Superior***

- a) Créditos y periodos académicos en los niveles de formación

A continuación, se citan algunos artículos que se encuentran en el Reglamento de Régimen Académico en el Título II, Capítulo I,

Artículo 8 establece que: la organización académico-curricular está basada en un sistema de horas y/o créditos que determina el volumen de trabajo del estudiante en cada uno de los niveles de la carrera en función del tiempo previsto, objetivos, perfiles de egreso, planes de estudio, períodos académicos, actividades de aprendizaje y modalidades de estudio (Consejo de Educación Superior, 2020)

En el Artículo 9 se indica que un crédito académico es la medida de tiempo y dedicación académica, este equivale a 48 horas de actividad del estudiante en las actividades prevista en el plan de estudios (Consejo de Educación Superior, 2020).

De la duración de los períodos académicos ordinarios (PAO) en el Artículo 10 se establece que tienen una duración de al menos 16 semanas. Un período académico ordinario equivale al menos 720 horas (Consejo de Educación Superior, 2020).

En el Título II, Capítulo III del Reglamento del Régimen Académico, Artículo 18 establece que la duración de las carreras de tercer nivel, para ingenierías se debe cumplir entre 5 760 y 7 200 horas y la asignación del número de asignaturas esta entre 40 y 60.

#### **b) Organización del aprendizaje**

A continuación, se citan algunos artículos que se encuentran en el Reglamento de Régimen Académico en el Título III, Capítulo II, referido a la Estructura Curricular en los que se indican las normativas para la elaboración de un plan de estudio.

Artículo 31 que trata sobre las unidades de organización curricular:

- Unidad básica: Es la unidad curricular que introduce al estudiante en el aprendizaje de las ciencias y disciplinas que sustentan la carrera, sus metodologías e instrumentos, así como en la contextualización de los estudios profesionales (Consejo de Educación Superior, 2020).
- Unidad profesional: Es la unidad en la que se desarrollan competencias específicas mediante el diseño, aplicación y evaluación de teorías, metodologías e instrumentos (Consejo de Educación Superior, 2020).
- Unidad de titulación: Es en unidad en la que se permite el abordaje de situaciones, problemas, necesidades y desafíos de la profesión y los contextos a través de un enfoque reflexivo, investigativo, experimental e innovador (Consejo de Educación Superior, 2020).

Se podrá hacer una redistribución de las horas asignadas a los componentes de aprendizaje en cada una de las asignaturas que forman parte de la malla curricular y siempre y cuando, esta actualización no afecte el número total de horas de la asignatura y el total de las horas de la carrera con las que fue aprobada (Consejo de Educación Superior, 2020).

#### **1.5.7.2 El problema del balance del plan de estudios académico (BACP)**

De acuerdo con Monette et al. (2007) es un problema recurrente en las universidades. El objetivo es programar los cursos que un estudiante debe seguir para respetar las restricciones de requisitos previos entre cursos y equilibrar tanto como sea posible la carga de trabajo de cada período. Este problema se introdujo primero en (Castro & Manzano, 2001), más recientemente, (Lambert et al., 2006) y (Mejía Ávila et al., 2014). (Sylejmani et al., 2017) propuso otro enfoque híbrido de Programación de Restricciones y Algoritmos Genéticos. (Restrepo Correa et al., 2006) utilizaron al algoritmo de Helgeson y Birnie para el balanceo de una malla curricular.

El objetivo del BACP es programar cursos en diferentes períodos. Cada curso tiene una carga de trabajo que se expresa en número de créditos y los prerrequisitos. Una solución es una asignación de cursos a períodos que satisfaga las restricciones de requisitos previos al tiempo que equilibra la carga de trabajo de los períodos. La carga de trabajo de un período es la suma de los créditos de los cursos impartidos durante este período. Precisamente, una instancia de BACP se caracteriza por (Monette et al., 2007).

- $n$  el número de cursos
- $m$  el número de períodos
- $w_i$  la carga del curso  $i$  para  $1 \leq i \leq n$
- Prerrequisitos =  $\{(i, j) \mid i \neq j, 1 \leq i, j \leq n\}$  un conjunto de parejas de cursos que indiquen que el curso  $i$  es un requisito previo, por supuesto,  $j$ .

## **2 METODOLOGÍA**

### **2.1 ALCANCE DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Esta investigación trata solucionar el problema de balanceo de mallas curriculares a través de la heurística de Helgeson y Birnie desde una perspectiva teórica del balanceo de líneas de producción. El objeto de estudio presentará las siguientes características:

- Las tareas (asignaturas) se considerarán como indivisibles y una vez iniciada su ejecución no se podrán interrumpir.
- El tiempo de proceso de cada tarea (asignatura) será conocido.
- Entre las tareas (asignaturas) existirá relaciones de precedencia y las cuales serán conocidas.
- La línea de producción será serial, producirá un único producto homogéneo y será sincrónica.
- La entrada a la línea de producción será fija.
- No se considerará ninguna incompatibilidad entre las tareas (asignaturas) a la hora de ser ejecutadas en la misma estación, excepto las relaciones de dependencia.
- Se balancearán únicamente las mallas que presenten una eficiencia menor al 100 %.

### **2.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

El enfoque de la investigación será cuantitativo de tipo descriptivo no experimental, puesto que se realizará una reseña de las características particulares de cada malla curricular a través de la revisión documental (Bernal, 2016), por medio de búsqueda de información, análisis y presentación de resultados (Tranfield, Denyer, & Smart, 2003). Este método tiene como objetivo “identificar las contribuciones científicas clave

dentro de un campo de investigación y sus resultados son presentados en forma descriptiva y discutidos” (Becheikh et al., 2005, p. 645)

De acuerdo con Bernal (2016) la investigación de tipo cuantitativa de forma general utiliza como instrumentos y técnica de recolección de información las entrevistas y el análisis documental entre otros (pág. 244).

El análisis documental consiste en el reconocimiento de fuentes de información provenientes de: documentos, registros públicos y archivos físicos o electrónicos (Hernández et al., 2014). Inicia con el inventario de documentos existentes y disponibles que contengan la información del sujeto de investigación. Luego se procede a clasificarlos en función de la relevancia de la información útil para la investigación, posteriormente se realiza una revisión detallada de su contenido y se registra la información relevante obtenida para proceder al análisis en función de los objetivos del estudio (Bernal, 2016, p.256).

Otra técnica de recolección de datos es la entrevista, este instrumento permite la recolección de información mediante la comunicación directa entre el entrevistador y el entrevistado. La entrevista no estructurada presenta un alto grado de flexibilidad puesto que el entrevistador define la profundidad del contenido y la cantidad y orden de las preguntas a tratar con la persona entrevistada (Bernal, 2016, p. 253).

### **2.3 HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS DE DATOS**

La herramienta utilizada en el análisis de los datos será la heurística de Helgeson y Birnie para dar solución al problema del balanceo de la malla curricular. Este método consistirá en establecer una prioridad para la asignación de tareas a partir de los pesos posicionales para esto se deberán conocer:

- El tiempo de operación de todas las tareas

- Las relaciones de precedencia entre tareas

## **2.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS DATOS**

### **2.4.1 Selección de las mallas curriculares**

A través de un análisis documental del Reglamento del Régimen Académico y de las mallas curriculares de las carreras de Ingeniería y Tecnología Superior, se levantará información de la página web de la EPN ([www.epn.edu.ec](http://www.epn.edu.ec)) con la cual se realizará la selección de las tres mallas curriculares que serán objeto de estudio de esta investigación. Adicionalmente se realizará entrevistas no estructuradas a las personas encargadas en la realización y aprobación de mallas curriculares.

### **2.4.2 Caracterización de las mallas curriculares**

Para caracterizar las mallas curriculares se identificarán las siguientes variables:

- Número de materias totales,
- Número de materias por semestre,
- Número de horas de cada materia,
- Número de semestres,
- Horas totales de toda la carrera.

Con la información de las mallas curriculares presentadas en el Anexo II se determinarán los atributos para cada variable.

### **2.4.3 Evaluación de la eficiencia de la malla curricular**

#### ***2.4.3.1 Cálculo del tamaño de ciclo***

Se caracterizarán las mallas curriculares y a través de ellas se obtendrá el tamaño del ciclo utilizando la ecuación [3], donde se considera la sumatoria de los tiempos de cada tarea con el número de estaciones de trabajo. Las estaciones de trabajo serán los semestres de cada carrera y las asignaturas serán las tareas.

#### ***2.4.3.2 Cálculo de la eficiencia de la malla curricular***

A partir de la ecuación [4], y utilizando el tiempo de duración de cada semestre (estación de trabajo) con relación al tiempo de ciclo se determinará la eficiencia por semestre y la eficiencia global de la malla.

#### **2.4.4 Balanceo de la malla curricular**

Para dar solución al problema de balanceo de la malla curricular se utilizará la heurística de Helgeson y Birnie conocida como método de los pesos posicionales; para lo cual se asumirá que en cada semestre se agrupan materias diferentes y existen restricciones de prioridad. Se desarrollaron los siguientes pasos:

##### ***2.4.4.1 Establecimiento del gráfico de precedencias***

Para establecer el gráfico de precedencias se identificará el número de semestres, posteriormente se asignarán las materias a cada semestre, para mayor facilidad de reconocimiento se colocará un código numérico a cada materia y semestre. Adicionalmente se ubicará en la parte superior el tiempo de duración de la materia. Mediante líneas se unirán los nodos, respetando la precedencia de las materias, definidas por requisitos y correquisitos. El gráfico de precedencias se dibujará utilizando el software Visio.

##### ***2.4.4.2 Cálculo del peso de posición de cada elemento***

El peso posicional de una tarea es igual al tiempo de duración ( $t_j$ ) de esta tarea adicionado el tiempo de las tareas que le siguen en el diagrama de precedencia. A continuación, se ordenan las tareas de forma descendente en función de sus pesos posicionales. Para la realización de estas actividades se utilizarán las hojas de cálculo de Excel.

#### ***2.4.4.3 Elección de un tamaño de ciclo***

El tamaño de ciclo depende de la relación entre el número total de horas de la carrera y el número de semestres, puesto que estos valores no se pueden modificar debido al Reglamento de Régimen Académico se trabajará con el tamaño de ciclo determinado anteriormente.

#### ***2.4.4.4 Asignación de elementos a las estaciones de trabajo***

Se asignarán los elementos de trabajo (asignaturas) a las estaciones de trabajo (semestres), donde se establecen primero los elementos de mayor peso posicional y rango. Si existiera en la estación de trabajo un tiempo adicional después de la asignación de una operación se asignará a la siguiente operación clasificada y sucesiva a esta estación siempre que la operación no viole las restricciones de precedencia y los tiempos de la estación no exceda el tiempo de ciclo. Se determinará nuevamente la eficiencia de la malla balanceada.

#### ***2.4.4.5 Tiempos de inactividad en cada semestre***

El tiempo de inactividad se determinará mediante la diferencia entre el tiempo de ciclo y la sumatoria del tiempo de procesamiento de las tareas (asignaturas) en las estaciones de trabajo (semestres) como lo establece la ecuación [2].

## **3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **3.1 ANÁLISIS DE DATOS**

#### **3.1.1 Selección de las mallas curriculares**

Del análisis documental de las mallas de las carreras de Ingeniería y Tecnología Superior, se determinó que las cuatro mallas de Tecnología no estaban actualizadas y pertenecían al pensum 2 010. A diferencia de las veinte mallas de Ingeniería de las cuales diecisiete estaban actualizadas y su pensum era 2 020, a excepción de la carrera de Ingeniería Mecánica que pertenecía al pensum 2 017 y fue una de las mallas actualizadas.

Adicionalmente se estableció la relación entre el número de semestre, el tiempo de duración de estos y el tiempo de duración de la carrera. Entre las 17 carreras de Ingeniería con mallas actualizadas el resultado fue que todas presentaron una distribución del tiempo de duración de cada semestre homogénea, a excepción de la carrera de Ingeniería Mecánica cuya distribución de tiempo por materia fue heterogénea.

Finalmente se analizó los datos estadísticos de cada carrera de Ingeniería disponibles en la página web de la EPN, se determinó que en Ingeniería Electrónica y Automatización se matricularon 196 estudiantes en el período 2 020-A por lo tanto fue la carrera con mayor demanda.

De las entrevistas no estructuradas realizadas a las personas encargadas en la elaboración y aprobación de las mallas curriculares se determinó que la aprobación de las mismas se realiza en función de lo establecido por el Reglamento del Régimen Académico vigente y para lo cual cada Unidad Académica con soporte de la Dirección de Docencia elaboran una matriz con los requerimientos de la normativa y se emite un

informe en el que se establece si cumplió o no para su posterior tratamiento en Consejo de Docencia de la EPN. No se realizan cálculos de eficiencias.

De forma particular, en la carrera de Ingeniería Mecánica, la elaboración de la malla curricular se realiza a través del método comparativo referencial tomando como parámetros estándares internacionales, la comisión que elabora la malla se encarga de la revisión, concatenación de asignaturas prerrequisitos y correquisitos, pisos y techos. El cálculo de eficiencia se determina en base a las horas en contacto con el docente, recibidas por el estudiante y las horas de aprendizaje autónomo, por lo tanto, se basa en la experiencia.

Después del análisis documental se escogieron las mallas de las tres siguientes carreras, la primera corresponde a la Facultad de Ciencias Administrativas y pertenece a la carrera de Ingeniería de la Producción. La segunda fue la malla de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Mecánica y la tercera fue la malla de la carrera de Ingeniería Electrónica y Automatización perteneciente a la Facultad de Eléctrica y Electrónica.

### **3.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS MALLAS CURRICULARES DE LAS CARRERAS DE INGENIERÍA DE LA PRODUCCIÓN, INGENIERÍA MECÁNICA E INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

En la Tabla 3.1 se presenta, de forma resumida, la información que se obtuvo de la malla curricular de la carrera de Ingeniería de la Producción. Se puede observar que esta carrera contó con 55 asignaturas (tareas) en total, las cuales estuvieron distribuidas en 9 semestres (estaciones de trabajo). El tiempo total de procesamiento de las tareas fue de 6 480 horas. En los semestres: primero, segundo, tercero, quinto, sexto y octavo existió un total de 6 materias en cada uno; en los semestres cuarto y quinto el número de materias en cada uno fue de 7 y en noveno semestre contó con 5

materias, el número total de horas por semestre fue de 720 horas. El tiempo máximo de procesamiento de una tarea (asignatura) fue de 240 horas y el mínimo de 48 horas.

**Tabla 3.1** – Variables y atributos de caracterización de la malla de Ingeniería de la Producción

Nº	Semestre	Tarea/Asignatura	Duración (horas)
1	Primero	Álgebra Lineal	144
2		Cálculo en una Variable	144
3		Mecánica Newtoniana	192
4		Química General	144
5		Herramientas Informáticas	48
6		Comunicación Oral y Escrita	48
			720
7	Segundo	Ecuaciones Diferenciales Ordinarias	144
8		Probabilidad y Estadística Básicas	144
9		Matemática Avanzada	144
10		Mecánica de Fluidos y Termodinámica	144
11		Programación	96
12		Análisis Socioeconómico y Político del Ecuador	48
			720
13	Tercero	Estadística Aplicada	96
14		Asignatura de Artes y Humanidades	48
15		Balance de Masa y Energía	144
16		Introducción a la Ingeniería de la Producción	144
17		Programación Avanzada	192
18		Microeconomía	96
			720
19	Cuarto	Ecología y Medio Ambiente	96
20		Contabilidad General y de la Producción	96
21		Logística y Distribución	96
22		Administración de Operaciones	144
23		Introducción a los Sistemas de Bases de Datos	144
24		Asignatura de Economía Y Sociedad	48
25		Estadística para la Mejora de la Calidad	96
			720
26	Quinto	Teorías Organizacionales	96
27		Ecología Política de la Producción	96
28		Cadena de Suministro	144
29		Métodos Determinísticos para la Producción	144
30		Gestión de Procesos y de Calidad	144
31		Ingeniería Financiera	96
			720

**Tabla 3.1** – Variables y atributos de caracterización de la malla de Ingeniería de la Producción (continuación...)

Nº	Semestre	Tarea/Asignatura	Duración (horas)
32	Sexto	Comportamiento Humano en las Organizaciones	96
33		Introducción a la Ecología Industrial	96
34		Optimización y Análisis Numérico	144
35		Simulación, Análisis y Diseño	144
36		Programación de la Producción	144
37		Evaluación del Impacto Ambiental	96
			720
38	Séptimo	Gestión Organizacional	96
39		Ciclo de Vida del Producto y Servicio	48
40		Optimización Avanzada	96
41		Procesos Industriales	192
42		Diseño de Sistemas de Producción	144
43		Pensamiento Estratégico e Innovación	48
44		Evaluación Integrada de la Producción	96
			720
45	Octavo	Itinerario Básico	48
46		Metodología de la Investigación	144
47		Diseño de Trabajo /Preparación Examen de Carácter	96
48		Sistemas CAD / CAM	48
49		Diseño del Trabajo y Layout	144
50		Análisis Financiero y Planeación Presupuestaria	96
			720
51	Noveno	Itinerario Avanzado	48
52		Prácticas Laborales	240
53		Prácticas de Servicio Comunitario	96
54		Gestión de Sistemas Productivos	96
55		Trabajo de Integración Curricular/Examen de complejión	240
			720
		Total	6 480

En la Tabla 3.2 se presenta, de forma resumida, la información que se obtuvo de la malla curricular de la carrera de Ingeniería de la Mecánica. Se observa que esta carrera tuvo 60 asignaturas (tareas) en total, distribuidas en 10 semestres (estaciones de trabajo). El tiempo total de procesamiento de las tareas fue de 8 000 horas.

En los semestres: primero, segundo, tercero, quinto y sexto existió un total de 6 materias en cada uno; en los semestres; séptimo, octavo y noveno hubo 7 materias en

cada uno; en cuarto fueron 5 materias y en décimo semestre contó con 4 materias. El tiempo máximo de procesamiento de una tarea (asignatura) fue de 400 horas y el mínimo de 40 horas. La sumatoria de los tiempos de procesamiento de las tareas (asignaturas) fueron diferentes para cada semestre siendo el máximo valor de 840 horas y el mínimo fue de 800 horas lo que indica que la distribución del tiempo en cada semestre no fue homogénea.

**Tabla 3.2** – Variables y atributos de caracterización de la malla de Ingeniería Mecánica

Nº	Semestre	Tarea/Asignatura	Duración (horas)
1	Primero	Álgebra Lineal	160
2		Cálculo en una Variable	160
3		Mecánica Newtoniana	160
4		Fundamentos de Ingeniería	80
5		Química General	160
6		Ofimática	40
			760
7	Segundo	Ecuaciones Diferenciales Ordinarias	160
8		Cálculo Vectorial	160
9		Electricidad y Magnetismo	160
10		Introducción a Procesos de Manufactura	200
11		Comunicación Oral y Escrita	80
12		Asignatura de Artes y Humanidades	80
			840
13	Tercero	Análisis de Fourier y Ecuaciones Diferenciales Parciales	160
14		Probabilidad y Estadística Básicas	160
15		Estática	160
16		Metrología	120
17		Introducción a las TICs	80
18		Actividad de Servicios a la comunidad	180
			860
19	Cuarto	Programación	160
20		Análisis de Circuitos Eléctricos y Electrónicos	120
21		Dinámica	160
22		Dibujo Mecánico y CAD	160
23		Termodinámica	160
24		Análisis Socioeconómico y Político de Mundo	80
			840
25	Quinto	Máquinas Eléctricas	120
26		Mecánica de Materiales	160
27		Vibraciones	120

**Tabla 3.2 – Variables y atributos de caracterización de la malla de Ingeniería Mecánica (continuación...)**

Nº	Semestre	Tarea/Asignatura	Duración (horas)
28	Quinto	Ciencias de Materiales Básica	120
29		Termodinámica Aplicada	120
30		Mecánica de Fluidos	160
			800
31	Sexto	Análisis Numérico	120
32		Elementos de Máquinas	160
33		Mecanismos	160
34		Ciencia de Materiales Avanzada	120
35		Transferencia de Calor	160
36		Análisis Socioeconómico y Político del Ecuador	80
			800
37	Séptimo	Dinámica de Sistemas	160
38		Ecología y Ambiente	80
39		Diseño de Máquinas	160
40		Desgaste y Falla	120
41		Transferencia de Calor Aplicada	120
42		Itinerario Inicial	120
43		Prácticas Preprofesionales	110
			870
44	Octavo	Control Industrial	160
45		Administración Financiera	80
46		Gestión Organizacional	80
47		Soldadura	160
48		Diseño de Sistemas Energéticos	120
49		Itinerario Básico	120
			720
50	Noveno	Proyecto de Diseño	120
51		Metodología de la Investigación	80
52		Pensamiento Creativo e Innovación	80
53		Asignatura de Economía y Sociedad	80
54		Tópicos de Ingeniería Mecánica	160
55		Itinerario Intermedio	120
56		Prácticas Preprofesionales	110
			750
57	Décimo	Formulación y Evaluación de Proyectos	80
58		Problemas en Ingeniería Mecánica	160
59		Itinerario Avanzado	120
60		Formulación Desarrollo y Sistematización del Trabajo de titulación	400
			760
		<b>Total</b>	<b>8 000</b>

En la Tabla 3.3 se presenta, de forma resumida, la información que se obtuvo de la malla curricular de la carrera de Ingeniería Electrónica y Automatización. Se determinó que esta carrera contaba con 55 asignaturas (tareas) en total, distribuidas en 9 semestres (estaciones de trabajo). El tiempo total de procesamiento de las tareas fue de 6 480 horas. En los semestres: primero, cuarto, quinto, sexto, séptimo y octavo existió un total de 6 materias en cada uno; en los semestres segundo y tercero hubo 7 materias en cada uno y en noveno semestre existieron 5 materias, en cada uno de los semestres se debían cubrir 720 horas. El tiempo máximo de procesamiento de una tarea (asignatura) fue de 240 horas y el mínimo de 48 horas.

**Tabla 3.3** – Variables y atributos de caracterización de la malla de Ingeniería Electrónica y Automatización

Nº	Semestre	Tarea/Asignatura	Duración (horas)
1	Primero	Álgebra Lineal	144
2		Cálculo en una Variable	144
3		Mecánica Newtoniana	192
4		Química General	144
5		Herramientas Informáticas	48
6		Comunicación Oral y Escrita	48
			720
7	Segundo	Ecuaciones Diferenciales Ordinarias	144
8		Probabilidad y Estadística Básicas	144
9		Cálculo Vectorial	96
10		Fundamentos de Electromagnetismo	96
11		Programación	96
12		Análisis Socioeconómico y Político del Ecuador	48
13		Electrotecnia	96
			720
14	Tercero	Matemática Avanzada	96
15		Sistemas Digitales	144
16		Dispositivos electrónicos	144
17		Teoría Electromagnética	96
18		Fundamentos de Circuitos Electrónicos	144
19		Asignatura de Artes y Humanidades	48
20		Matemática Discreta	48
			720
21	Cuarto	Instalaciones Eléctricas y Comunicaciones	144
22		Análisis de Señales y Sistemas	144
23		Circuitos Electrónicos	144

**Tabla 3.3** – Variables y atributos de caracterización de la malla de Ingeniería Electrónica y Automatización  
(continuación...)

Nº	Semestre	Tarea/Asignatura	Duración (horas)
24	Cuarto	Conversión Electromecánica de Energía	144
25		Análisis de Circuitos Electrónicos	96
26		Asignatura de Economía y Sociedad	48
			720
27	Quinto	Sensores y Transductores	144
28		Sistemas microprocesados	96
29		Electrónica de Potencia	144
30		Máquinas Eléctricas	144
31		Sistemas de Control Automático	144
32		Gestión Organizacional	48
			720
33	Sexto	Instrumentación Industrial	144
34		Control Embebido	144
35		Convertidores Estáticos	144
36		Control Industrial	96
37		Sistemas de Control Discreto	144
38		Gestión de Procesos y de Calidad	48
			720
39	Séptimo	Redes Industriales	144
40		Instalaciones Eléctricas Industriales	96
41		Accionamientos Electrónicos	144
42		Automatización usando PLCs	144
43		Control de Procesos Industriales	144
44		Ingeniería Financiera	48
			720
45	Octavo	Asignatura básica de Itinerario	144
46		Sistemas Scada	144
47		Mandos Neumáticos	144
48		Robótica	96
49		Introducción a Control Multivariable	144
50		Diseño de Trabajo de Titulación /Preparación Examen de carácter complejo	48
			720
51	Noveno	Asignatura avanzada de itinerario	96
52		Prácticas Laborables	240
53		Prácticas de Servicio Comunitario	96
54		Seguridad industrial y protección ambiental	48
55		Trabajo de integración Curricular/Examen de carácter complejo	240
			720
<b>Total</b>			<b>6 480</b>

### 3.3 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS MALLAS CURRICULARES DE LAS CARRERAS DE INGENIERÍA DE LA PRODUCCIÓN, INGENIERÍA MECÁNICA E INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

En la Tabla 3.4 se presentan los resultados del porcentaje de eficiencia de cada una de las estaciones de trabajo (semestres) así como la eficiencia del proceso en general. En el caso de la carrera de Ingeniería de la Producción se observa que cada una de las tareas (asignaturas) poseen diferentes valores de tiempo de procesamiento, sin embargo, la suma de las mismas dio como resultado un valor igual en cada semestre es decir 720 horas.

De acuerdo con Mutingi & Mbohwa (2017) el tiempo de inactividad esta dado por la diferencia entre el tiempo de ciclo y la sumatoria del tiempo de procesamiento de las tareas, dado que el tiempo de ciclo, para este caso en particular fue de 720 horas y este valor coincide con la sumatoria de tiempo de procesamiento de las tareas, se obtuvo como resultado una eficiencia del 100 %. Adicionalmente se determinó que no se generan tiempos de inactividad. Como lo indica Lewis & Slack (2003) la división homogénea del trabajo entre estaciones no produce tiempos de inactividad y esto indica que la línea de producción está equilibrada.

**Tabla 3.4** - Eficiencia de la malla curricular de Ingeniería de la Producción

Semestre	Tarea/Asignatura	Duración (horas)	Eficiencia (%)
Primero	Álgebra Lineal	144	100
	Cálculo en una Variable	144	
	Mecánica Newtoniana	192	
	Química General	144	
	Herramientas Informáticas	48	
	Comunicación Oral y Escrita	48	
		720	
Segundo	Ecuaciones Diferenciales Ordinarias	144	100
	Probabilidad y Estadística Básicas	144	
	Matemática Avanzada	144	

**Tabla 3.4 - Eficiencia de la malla curricular de Ingeniería de la Producción (continuación...)**

Semestre	Tarea/Asignatura	Duración (horas)	Eficiencia (%)
Segundo	Mecánica de Fluidos y Termodinámica	144	100
	Programación	96	
	Análisis Socioeconómico y Político del Ecuador	48	
		720	
Tercero	Estadística Aplicada	96	100
	Asignatura de Artes y Humanidades	48	
	Balance de Masa y Energía	144	
	Introducción a la Ingeniería de la Producción	144	
	Programación Avanzada	192	
	Microeconomía	96	
		720	
Cuarto	Ecología y Medio Ambiente	96	100
	Contabilidad General y de la Producción	96	
	Logística y Distribución	96	
	Administración de Operaciones	144	
	Introducción a los Sistemas de Bases de Datos	144	
	Asignatura de Economía Y Sociedad	48	
	Estadística para la Mejora de la Calidad	96	
		720	
Quinto	Teorías Organizacionales	96	100
	Ecología Política de la Producción	96	
	Cadena de Suministro	144	
	Métodos Determinísticos para la Producción	144	
	Gestión de Procesos y de Calidad	144	
	Ingeniería Financiera	96	
		720	
Sexto	Comportamiento Humano en las Organizaciones	96	100
	Introducción a la Ecología Industrial	96	
	Optimización y Análisis Numérico	144	
	Simulación, Análisis y Diseño	144	
	Programación de la Producción	144	
	Evaluación del Impacto Ambiental	96	
		720	
Séptimo	Gestión Organizacional	96	100
	Ciclo de Vida del Producto y Servicio	48	
	Optimización Avanzada	96	
	Procesos Industriales	192	
	Diseño de Sistemas de Producción	144	
	Pensamiento Estratégico e Innovación	48	
	Evaluación Integrada de la Producción	96	

**Tabla 3.4 - Eficiencia de la malla curricular de Ingeniería de la Producción (continuación...)**

Semestre	Tarea/Asignatura	Duración (horas)	Eficiencia (%)
Octavo	Itinerario Básico	48	100
	Metodología de la Investigación	144	
	Diseño de Trabajo /Preparación Examen de Carácter	96	
	Sistemas CAD / CAM	96	
	Diseño del Trabajo y Layout	144	
	Análisis Financiero y Planeación Presupuestaria	192	
		720	
Noveno	Itinerario Avanzado	48	100
	Prácticas Laborales	240	
	Prácticas de Servicio Comunitario	96	
	Gestión de Sistemas Productivos	96	
	Trabajo de Integración Curricular/Examen de	240	
		720	
Eficiencia total			100

En la Tabla 3.5 se presentan los resultados del porcentaje de eficiencia de cada una de las estaciones de trabajo (semestres) así como la eficiencia del proceso en general. Para la carrera de Ingeniería Mecánica se establece que cada una de las tareas (asignaturas) tienen diferentes valores de tiempo de procesamiento al igual que el tiempo de cada estación de trabajo (semestre).

En este caso el tiempo de ciclo fue de 800 horas la diferencia entre este tiempo y la sumatoria del tiempo de cada una de las tareas (asignatura) en las distintas estaciones de trabajo (semestres) da como resultado que se obtenga distintos valores de eficiencia. En el caso de los semestres: primero, octavo, noveno y décimo la eficiencia fue menor al 100 % lo que indica la existencia de un tiempo de inactividad puesto que el tiempo de ciclo es mayor a la sumatoria del tiempo de procesamiento de las tareas (asignaturas). De acuerdo con Baybars (1986b) el tiempo total de inactividad se minimiza cuando se minimiza el número de estaciones a lo largo de la línea, cuando el tiempo total para procesar todas las tareas y el tiempo de ciclo son constantes.

A diferencia de los semestres: segundo, tercero y séptimo en los que la sumatoria del tiempo de procesamiento de las tareas (asignaturas) en cada estación de trabajo

(semestre) supera el valor del tiempo de ciclo y por lo tanto no se genera tiempos de inactividad. Esto provoca que se tenga una eficiencia mayor del 100 % lo que indica que se debería aumentar una estación de trabajo.

Al determinar la eficiencia total de la malla el resultado fue del 100 % a pesar de tener tiempos de inactividad en algunos semestres y en otros se tiene una sobreproducción. Lewis & Slack (2003) establecen que esta diferencia se produce debido a división imperfecta del trabajo entre las estaciones, por lo tanto, las estaciones que tengan asignaciones más cortas tendrán algún tiempo de inactividad, este tiempo es una medida del desequilibrio de la línea.

**Tabla 3.5** - Eficiencia de la malla curricular de Ingeniería Mecánica

Semestre	Tarea/Asignatura	Duración (horas)	Eficiencia (%)
Primero	Álgebra Lineal	160	95
	Cálculo en una Variable	160	
	Mecánica Newtoniana	160	
	Fundamentos de Ingeniería	80	
	Química General	160	
	Ofimática	40	
		760	
Segundo	Ecuaciones Diferenciales Ordinarias	160	105
	Cálculo Vectorial	160	
	Electricidad y Magnetismo	160	
	Introducción a Procesos de Manufactura	200	
	Comunicación Oral y Escrita	80	
	Asignatura de Artes y Humanidades	80	
		840	
Tercero	Análisis de Fourier y Ecuaciones Diferenciales Parciales	160	108
	Probabilidad y Estadística Básicas	160	
	Estática	160	
	Metrología	120	
	Introducción a las TICs	80	
	Actividad de Servicios a la comunidad	180	
		860	
Cuarto	Programación	160	105
	Análisis de Circuitos Eléctricos y Electrónicos	120	
	Dinámica	160	

**Tabla 3.5 - Eficiencia de la malla curricular de la carrera de Ingeniería Mecánica (continuación...)**

<b>Semestre</b>	<b>Tarea/Asignatura</b>	<b>Duración (horas)</b>	<b>Eficiencia (%)</b>
Cuarto	Dibujo Mecánico y CAD	160	105
	Termodinámica	160	
	Análisis Socioeconómico y Político de Mundo Contemporáneo	80	
		840	
Quinto	Máquinas Eléctricas	120	100
	Mecánica de Materiales	160	
	Vibraciones	120	
	Ciencias de Materiales Básica	120	
	Termodinámica Aplicada	120	
	Mecánica de Fluidos	160	
		800	
Sexto	Análisis Numérico	120	100
	Elementos de Máquinas	160	
	Mecanismos	160	
	Ciencia de Materiales Avanzada	120	
	Transferencia de Calor	160	
	Análisis Socioeconómico y Político del Ecuador	80	
		800	
Séptimo	Dinámica de Sistemas	160	109
	Ecología y Ambiente	80	
	Diseño de Máquinas	160	
	Desgaste y Falla	120	
	Transferencia de Calor Aplicada	120	
	Itinerario Inicial	120	
	Prácticas Preprofesionales	110	
		870	
Octavo	Control Industrial	160	90
	Administración Financiera	80	
	Gestión Organizacional	80	
	Soldadura	160	
	Diseño de Sistemas Energéticos	120	
	Itinerario Básico	120	
		720	
Noveno	Proyecto de Diseño	120	94
	Metodología de la Investigación	80	
	Pensamiento Creativo e Innovación	80	
	Asignatura de Economía y Sociedad	80	
	Tópicos de Ingeniería Mecánica	160	
	Itinerario Intermedio	120	
	Prácticas Preprofesionales	110	
		750	

**Tabla 3.5** - Eficiencia de la malla curricular de la carrera de Ingeniería Mecánica (**continuación...**)

Semestre	Tarea/Asignatura	Duración (horas)	Eficiencia (%)
Décimo	Formulación y Evaluación de Proyectos	80	95
	Problemas en Ingeniería Mecánica	160	
	Itinerario Avanzado	120	
	Formulación Desarrollo y Sistematización del Trabajo de titulación	400	
		760	
Eficiencia total			100

En la Tabla 3.6 se presentan los resultados del porcentaje de eficiencia de cada una de las estaciones de trabajo (semestres) así como la eficiencia del proceso en general. En el caso de la carrera de Ingeniería Electrónica y Automatización se observa que cada una de las tareas (asignaturas) tienen diferentes valores de tiempo de procesamiento, sin embargo, la suma de las mismas dio como resultado un valor igual en cada semestre es decir 720 horas.

De acuerdo con Mutingi & Mbohwa (2017) el tiempo de inactividad esta dado por la diferencia entre el tiempo de ciclo y la sumatoria del tiempo de procesamiento de las tareas, dado que el tiempo de ciclo, para este caso en particular fue de 720 horas y este valor coincide con la sumatoria de tiempo de procesamiento de las tareas, se obtuvo como resultado una eficiencia del 100 % lo que indica que esta malla está totalmente balanceada y no generó desperdicios de tiempo.

**Tabla 3.6** - Eficiencia de la malla curricular de Ingeniería Electrónica y Automatización

Semestre	Tarea/Asignatura	Duración (horas)	Eficiencia (%)
Primero	Álgebra Lineal	144	100
	Cálculo en una Variable	144	
	Mecánica Newtoniana	192	
	Química General	144	
	Herramientas Informáticas	48	
	Comunicación Oral y Escrita	48	
		720	
Segundo	Ecuaciones Diferenciales Ordinarias	144	100
	Probabilidad y Estadística Básicas	144	

**Tabla 3.6** - Eficiencia de la malla curricular de Ingeniería Electrónica y Automatización (**continuación...**)

Semestre	Tarea/Asignatura	Duración (horas)	Eficiencia (%)
Segundo	Cálculo Vectorial	96	100
	Fundamentos de Electromagnetismo	96	
	Programación	96	
	Análisis Socioeconómico y Político del Ecuador	48	
	Electrotécnia	96	
		720	
Tercero	Matemática Avanzada	96	100
	Sistemas Digitales	144	
	Dispositivos electrónicos	144	
	Teoría Electromagnética	96	
	Fundamentos de Circuitos Electrónicos	144	
	Asignatura de Artes y Humanidades	48	
	Matemática Discreta	48	
		720	
Cuarto	Instalaciones Eléctricas y Comunicaciones	144	100
	Análisis de Señales y Sistemas	144	
	Circuitos Electrónicos	144	
	Conversión Electromecánica de Energía	144	
	Análisis de Circuitos Electrónicos	96	
	Asignatura de Economía y Sociedad	48	
		720	
Quinto	Sensores y Transductores	144	100
	Sistemas microprocesados	96	
	Electrónica de Potencia	144	
	Máquinas Eléctricas	144	
	Sistemas de Control Automático	144	
	Gestión Organizacional	48	
		720	
Sexto	Instrumentación Industrial	144	100
	Control Embebido	144	
	Convertidores Estáticos	144	
	Control Industrial	96	
	Sistemas de Control Discreto	144	
	Gestión de Procesos y de Calidad	48	
		720	
Séptimo	Redes Industriales	144	100
	Instalaciones Eléctricas Industriales	96	
	Accionamientos Electrónicos	144	
	Automatización usando PLCs	144	
	Control de Procesos Industriales	144	

**Tabla 3.6** - Eficiencia de la malla curricular de Ingeniería Electrónica y Automatización (**continuación...**)

Semestre	Tarea/Asignatura	Duración (horas)	Eficiencia (%)
Séptimo	Ingeniería Financiera	48	
		720	
Octavo	Asignatura básica de Itinerario	144	100
	Sistemas Scada	144	
	Mandos Neumáticos	144	
	Robótica	96	
	Introducción a Control Multivariable	144	
	Diseño de Trabajo de Titulación /Preparación Examen de carácter complejo	48	
		720	
Noveno	Asignatura avanzada de itinerario	96	100
	Prácticas Laborables	240	
	Prácticas de Servicio Comunitario	96	
	Seguridad industrial y protección ambiental	48	
	Trabajo de integración Curricular/Examen de carácter complejo	240	
		720	
Eficiencia total			100

### 3.4 BALANCEO DE LAS MALLAS CURRICULARES

#### 3.4.1 Establecimiento del gráfico de precedencias de las carreras de Ingeniería de la producción, Ingeniería Mecánica e ingeniería electrónica y automatización

En la Figura 3.1 se presenta el diagrama de precedencias de las tareas (asignaturas) pertenecientes a la malla curricular de la carrera de Ingeniería de la Producción. Existen 2 materias que no poseen relación alguna con las demás estas son: prácticas laborales y prácticas de servicio comunitario, las mismas que se toman en noveno semestre. Adicionalmente en esta malla en particular existen 13 materias que corresponden a la unidad básica, 41 materias que pertenecen a la unidad profesional y la unidad de integración curricular cuentan con 1 sola materia.

En la Figura 3.2 se presenta el diagrama de precedencias de las tareas (asignaturas) pertenecientes a la malla curricular de la carrera de Ingeniería Mecánica. Existen 18

materias que no poseen relación alguna con las demás, estas se encuentran distribuidas entre segundo y décimo semestre a excepción del quinto semestre. Adicionalmente en esta malla en particular existen 9 materias que corresponden a la unidad básica, 48 materias que pertenecen a la unidad profesional y la unidad de integración curricular con 3 materias. La mayoría de las asignaturas pertenecientes a la unidad profesional no poseen relaciones de precedencia.

En la Figura 3.3 se presenta el diagrama de precedencias de las tareas (asignaturas) pertenecientes a la malla curricular de la carrera de Ingeniería Electrónica y Automatización. Existen 8 materias que no poseen relación alguna con las demás estas son: materias sociales, prácticas laborales y prácticas de servicio comunitario, las mismas que se encuentran en primero, segundo, tercero, cuarto, octavo y noveno semestre. Adicionalmente en esta malla en particular existen 13 materias que corresponden a la unidad básica, 41 materias que pertenecen a la unidad profesional y la unidad de integración curricular cuentan con 1 sola materia. Todas las materias de la unidad profesional poseen al menos una relación de precedencia.

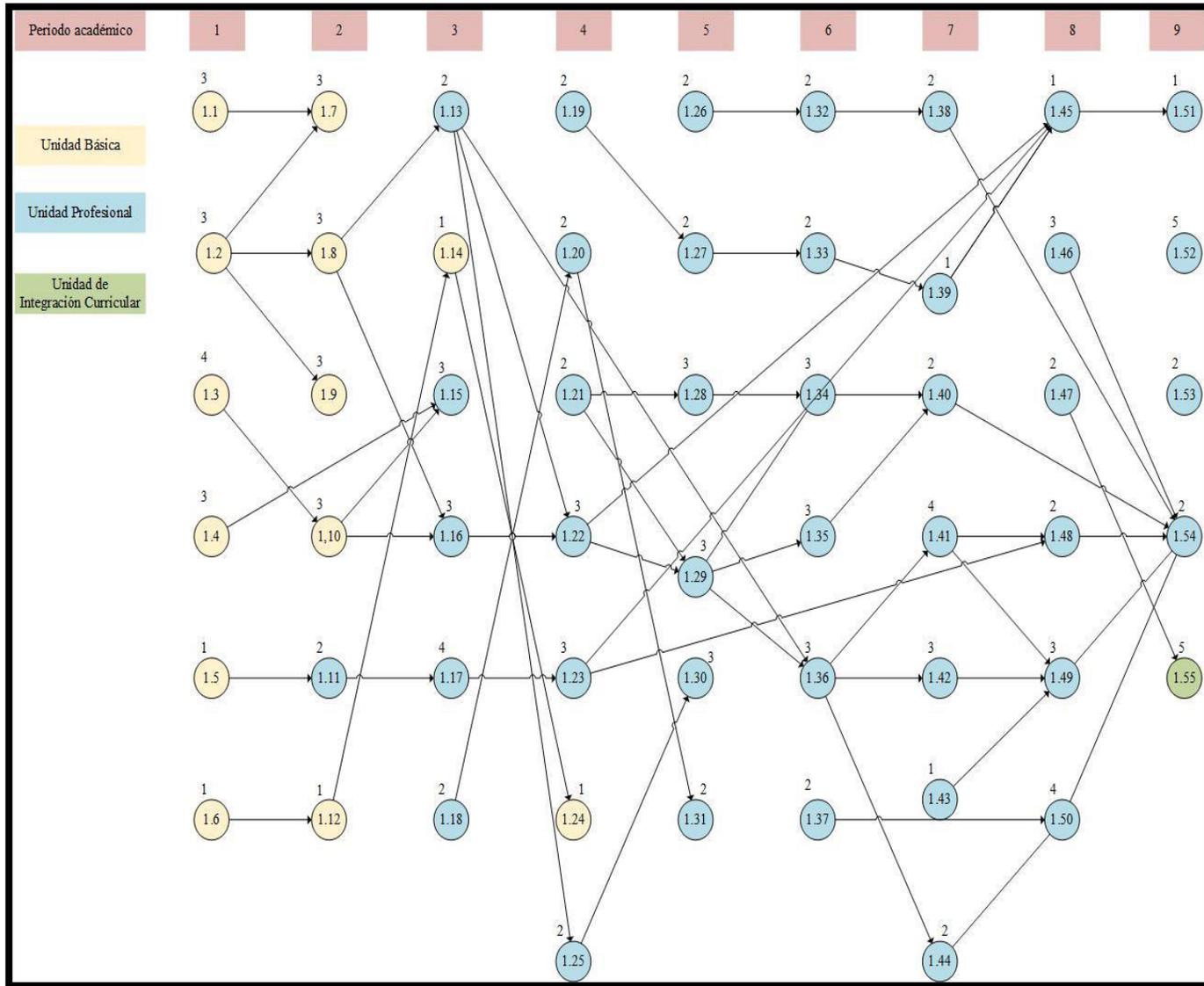


Figura 3.1 – Diagrama de precedencias de la Carrera de Ingeniería de la Producción

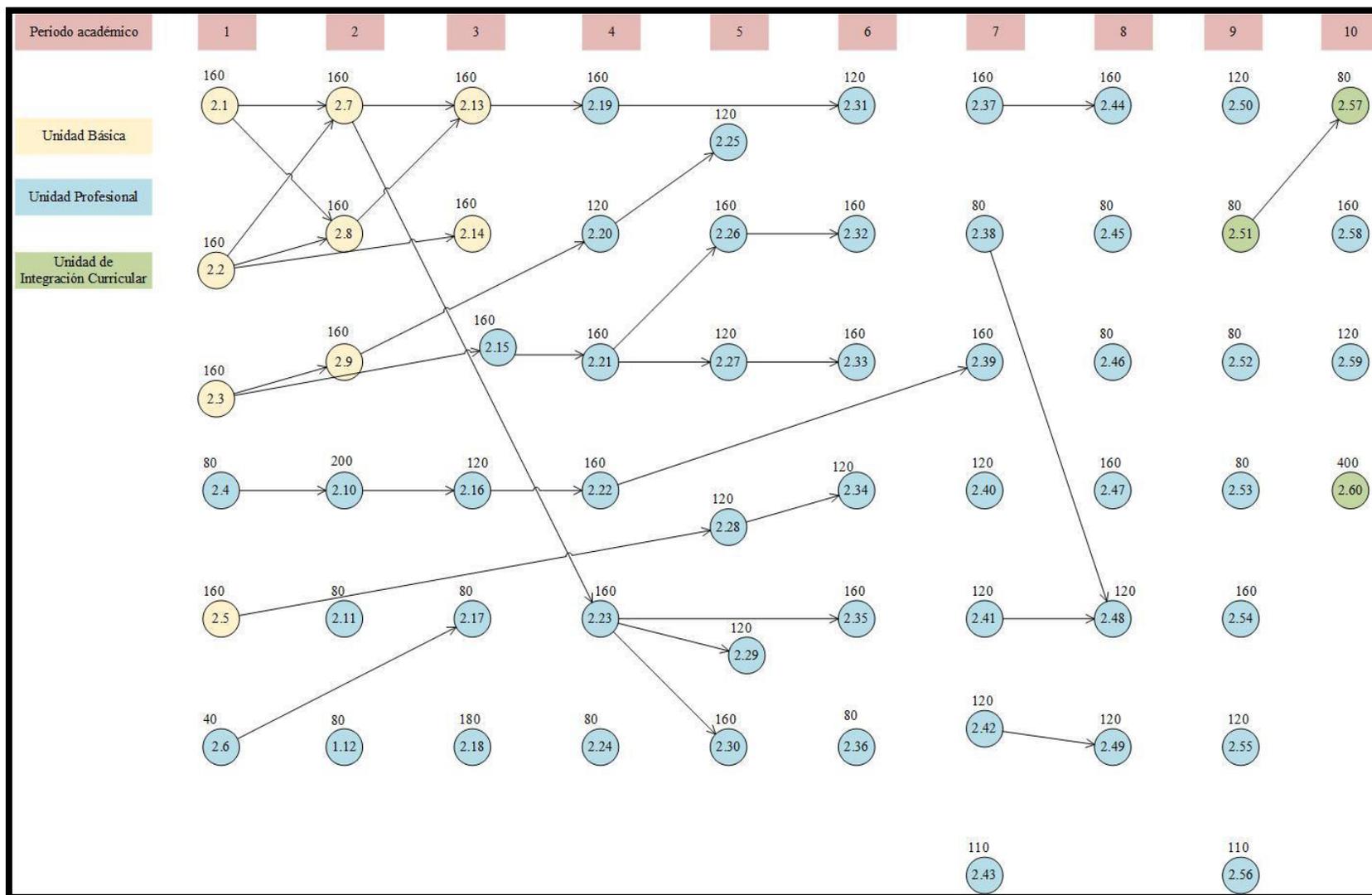


Figura 3.2 – Diagrama de precedencias de la Carrera de Ingeniería Mecánica

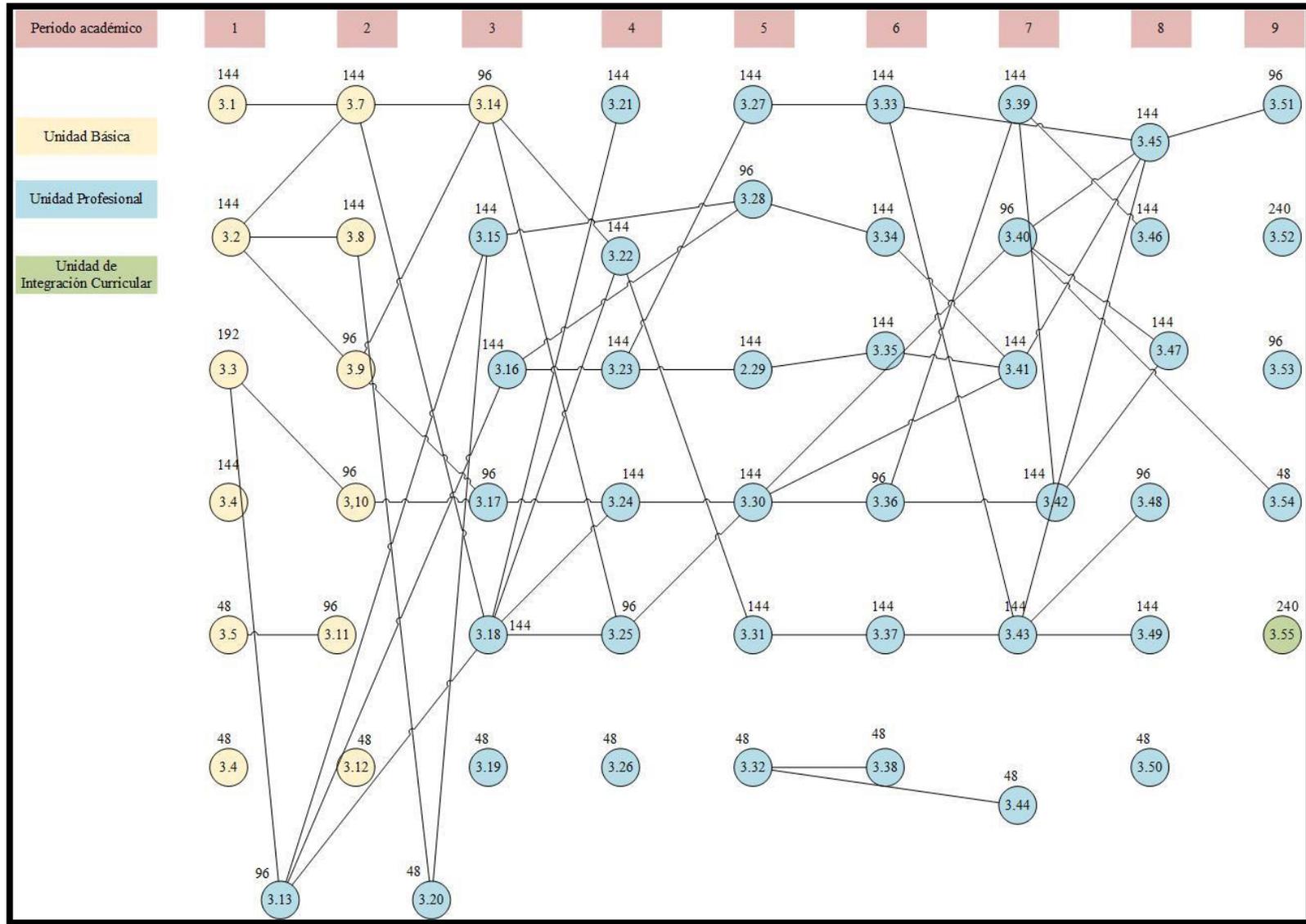


Figura 3.3 – Diagrama de precedencias de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Automatización

### 3.4.2 Asignación de elementos a las estaciones de trabajo

En la Tabla 3.7 se presenta la distribución de las asignaturas en cada semestre de tal forma que la sumatoria del tiempo de duración de las tareas en la estación de trabajo sea igual o menor al tiempo de ciclo. Cada color representa el grupo de asignaturas que pertenecen a la estación de trabajo, por ejemplo, las asignaturas de color amarillo pertenecen al primer semestre para mayor facilidad de identificación. Se asignó como primera tarea (asignatura) a la estación de trabajo (primer semestre) la materia de cálculo en una variable cuyo peso posicional fue de 2 000 horas. De igual forma, se observa que las materias de primer semestre no poseen ningún tipo de restricción de precedencia por lo que fueron las primeras en ser asignadas a esta estación de trabajo.

Adicionalmente el peso posicional va disminuyendo, pero existen casos como en la materia de ecuaciones diferenciales ordinarias que a pesar de tener un peso posicional de 1 200 horas en comparación con la materia de Fundamentos de Ingeniería cuyo peso posicional fue de 720 horas, la primera tiene restricción de precedencias y por lo tanto no se puede ejecutar esta actividad sin que se hayan asignado las materias de cálculo en una variable y algebra lineal.

De acuerdo con Mutingi & Mbohwa (2017) algunas de las complejidades que se presentan al momento de balancear las líneas de producción son: (1) la presencia de una estructura de agrupamiento que es altamente combinatoria y restringida, (2) el desafío de la dependencia del orden de las tareas en cada estación de trabajo debido a restricciones de precedencia y (3) el desafío de la dependencia del orden de los elementos entre grupos debido a las limitaciones de precedencia.

Por lo tanto, al momento de asignar las materias se debe tener en cuenta los conocimientos, destrezas y habilidades que el estudiante haya adquirido, puesto que en el caso de la materia de formulación, desarrollo y sistematización del trabajo de titulación que posee un peso posicional de 400 horas comparado con la materia de

ofimática que tiene 40 horas de peso posicional, al compararlas las dos no presentan restricciones de precedencias sin embargo la primera debe tomarse al final de la carrera puesto que corresponde a la unidad de titulación y la segunda corresponde a la unidad profesional como resalta el Artículo 21 del Reglamento del Régimen Académico en el tema de estructura curricular y unidades de organización del currículo.

**Tabla 3.7** – Distribución de las materias en los semestres en función su peso posicional

Código	Tarea/Asignatura	Duración (horas)	Peso posicional (horas)	Precedencia
2.2	Cálculo en una Variable	160	2000	
2.1	Álgebra Lineal	160	1680	
2.3	Mecánica Newtoniana	160	1480	
2.7	Ecuaciones Diferenciales Ordinarias	160	1200	2.1; 2.2
2.15	Estática	160	920	2.3
2.21	Dinámica	160	760	2.3; 2.15
2.4	Fundamentos de Ingeniería	80	720	
2.10	Introducción a Procesos de Manufactura	200	640	2.4
2.8	Cálculo Vectorial	160	600	2.1; 2.2
2.13	Análisis de Fourier y Ecuaciones Diferenciales Parciales	160	440	2.1; 2.2; 2.7; 2.8
2.16	Metrología	120	440	2.4; 2.10
2.23	Termodinámica	160	440	2.1; 2.2; 2.7
2.5	Química General	160	400	
2.9	Electricidad y Magnetismo	160	400	2.3
2.60	Formulación Desarrollo y Sistematización del Trabajo de titulación	400	400	
2.22	Dibujo Mecánico y CAD	160	320	2.4; 2.10; 2.16
2.26	Mecánica de Materiales	160	320	2.3; 2.15; 2.21
2.37	Dinámica de Sistemas	160	320	
2.19	Programación	160	280	2.1; 2.2; 2.7; 2.8; 2.13
2.27	Vibraciones	120	280	2.3; 2.15; 2.21
2.20	Análisis de Circuitos Eléctricos y Electrónicos	120	240	2.3; 2.9
2.28	Ciencias de Materiales Básica	120	240	2.5
2.41	Transferencia de Calor Aplicada	120	240	
2.42	Itinerario Inicial	120	240	
2.38	Ecología y Ambiente	80	200	
2.18	Actividad de Servicios a la comunidad	180	180	

**Tabla 3.7** – Distribución de las materias en los semestres en función su peso posicional (**continuación...**)

Código	Tarea/Asignatura	Duración (horas)	Peso posicional (horas)	Precedencia
2.14	Probabilidad y Estadística Básicas	160	160	2.2
2.30	Mecánica de Fluidos	160	160	2.1; 2.2; 2.7; 2.23
2.32	Elementos de Máquinas	160	160	2.3; 2.15; 2.21; 2.26
2.33	Mecanismos	160	160	2.3; 2.15; 2.21; 2.26
2.35	Transferencia de Calor	160	160	2.1; 2.2; 2.7; 2.23
2.39	Diseño de Máquinas	160	160	2.4; 2.10; 2.16; 2.22
2.44	Control Industrial	160	160	2.37
2.47	Soldadura	160	160	
2.51	Metodología de la Investigación	80	160	
2.54	Tópicos de Ingeniería Mecánica	160	160	
2.58	Problemas en Ingeniería Mecánica	160	160	
2.6	Ofimática	40	120	
2.25	Máquinas Eléctricas	120	120	2.3; 2.9; 2.20
2.29	Termodinámica Aplicada	120	120	2.1; 2.2; 2.7; 2.23
2.31	Análisis Numérico	120	120	2.1; 2.2; 2.7; 2.8; 2.13; 2.19
2.34	Ciencia de Materiales Avanzada	120	120	2.5; 2.28
2.40	Desgaste y Falla	120	120	
2.48	Diseño de Sistemas Energéticos	120	120	2.38; 2.41
2.49	Itinerario Básico	120	120	2.42
2.50	Proyecto de Diseño	120	120	
2.55	Itinerario Intermedio	120	120	
2.59	Itinerario Avanzado	120	120	
2.43	Prácticas Preprofesionales	110	110	
2.56	Prácticas Preprofesionales	110	110	
2.11	Comunicación Oral y Escrita	80	80	
2.12	Asignatura de Artes y Humanidades	80	80	
2.17	Introducción a las TICs	80	80	2.6
2.24	Análisis Socioeconómico y Político de Mundo Contemporáneo	80	80	
2.36	Análisis Socioeconómico y Político del Ecuador	80	80	
2.45	Administración Financiera	80	80	
2.46	Gestión Organizacional	80	80	
2.52	Pensamiento Creativo e Innovación	80	80	
2.53	Asignatura de Economía y Sociedad	80	80	

**Tabla 3.7** – Distribución de las materias en los semestres en función su peso posicional (**continuación...**)

<b>Código</b>	<b>Tarea/Asignatura</b>	<b>Duración (horas)</b>	<b>Peso posicional (horas)</b>	<b>Precedencia</b>
2.57	Formulación y Evaluación de Proyectos	80	80	2.51
	<b>Total</b>	<b>8000</b>		

En la Tabla 3.8 se presentan los resultados del porcentaje de eficiencia de cada uno de los semestres y la eficiencia global, luego de realizar el balanceo de la malla. Se observa que se alcanzó una eficiencia del 100 % en los semestres: primero, segundo, tercero, cuarto, quinto, sexto, séptimo y décimo. Sin embargo, en los semestres: octavo y noveno la eficiencia fue de 99 % y 101 % respectivamente. La eficiencia total de la malla fue del 100 %.

En los semestres primero y décimo se logró un aumento de la eficiencia del 95 % al 100 %. Mientras que en los semestres segundo, tercero, cuarto y séptimo que presentaron valores de eficiencias de: 105 %, 108 %, 105 % y 109 % respectivamente, se logró disminuir estos valores al 100 % en todos semestres mencionados. En los semestres octavo y noveno no se alcanzó la eficiencia del 100 % sin embargo se logró un aumento de sus valores iniciales que fueron de 90 % y 94 % respectivamente.

Un valor de eficiencia que supera al 100 % indica que la sumatoria del tiempo de ejecución de las tareas, que pertenecen a una determinada estación de trabajo, supera al tiempo de ciclo, el valor de la eficiencia no se puede disminuir puesto que se asumió que las tareas son indivisibles y las estaciones de trabajo ya estuvieron establecidas previamente y corresponde al número de semestres. Por lo que en noveno semestre se obtuvo una eficiencia mayor al 100 % con un tiempo de duración total de duración de 810 horas.

**Tabla 3.8** – Eficiencia de la malla curricular de la carrera de Ingeniería Mecánica luego del balance

<b>Semestre</b>	<b>Código</b>	<b>Tarea/Asignatura</b>	<b>Duración (horas)</b>	<b>Eficiencia (%)</b>
Primero	2.2	Cálculo en una Variable	160	100

**Tabla 3.8** - Eficiencia de la malla curricular de la carrera de Ingeniería Mecánica luego del balance  
(continuación...)

Semestre	Código	Tarea/Asignatura	Duración (horas)	Eficiencia (%)
Primero	2.1	Álgebra Lineal	160	100
	2.3	Mecánica Newtoniana	160	
	2.4	Fundamentos de Ingeniería	80	
	2.5	Química General	160	
	2.11	Comunicación Oral y Escrita	80	
			800	
Segundo	2.7	Ecuaciones Diferenciales Ordinarias	160	100
	2.15	Estática	160	
	2.10	Introducción a Procesos de Manufactura	200	
	2.8	Cálculo Vectorial	160	
	2.6	Ofimática	40	
	2.12	Asignatura de Artes y Humanidades	80	
			800	
Tercero	2.21	Dinámica	160	100
	2.16	Metrología	120	
	2.9	Electricidad y Magnetismo	160	
	2.28	Ciencias de Materiales Básica	120	
	2.14	Probabilidad y Estadística Básicas	160	
	2.53	Asignatura de Economía y Sociedad	80	
			800	
Cuarto	2.13	Análisis de Fourier y Ecuaciones Diferenciales Parciales	160	100
	2.23	Termodinámica	160	
	2.26	Mecánica de Materiales	160	
	2.27	Vibraciones	120	
	2.20	Análisis de Circuitos Eléctricos y Electrónicos	120	
	2.17	Introducción a las TICs	80	
			800	
Quinto	2.22	Dibujo Mecánico y CAD	160	100
	2.37	Dinámica de Sistemas	160	
	2.19	Programación	160	
	2.38	Ecología y Ambiente	80	
	2.30	Mecánica de Fluidos	160	
	2.24	Análisis Socioeconómico y Político de Mundo Contemporáneo	80	
			800	

**Tabla 3.8** – Eficiencia de la malla curricular de la carrera de Ingeniería Mecánica luego del balance  
(continuación...)

Semestre	Código	Tarea/Asignatura	Duración (horas)	Eficiencia (%)
Sexto	2.33	Mecanismos	160	100
	2.35	Transferencia de Calor	160	
	2.39	Diseño de Máquinas	160	
	2.44	Control Industrial	160	
	2.36	Análisis Socioeconómico y Político del Ecuador	80	
	2.45	Administración Financiera	80	
			800	
Séptimo	2.41	Transferencia de Calor Aplicada	120	100
	2.42	Itinerario Inicial	120	
	2.51	Metodología de la Investigación	80	
	2.25	Máquinas Eléctricas	120	
	2.29	Termodinámica Aplicada	120	
	2.31	Análisis Numérico	120	
	2.34	Ciencia de Materiales Avanzada	120	
			800	
Octavo	2.47	Soldadura	160	99
	2.40	Desgaste y Falla	120	
	2.48	Diseño de Sistemas Energéticos	120	
	2.49	Itinerario Básico	120	
	2.43	Prácticas Preprofesionales	110	
	2.46	Gestión Organizacional	80	
	2.52	Pensamiento Creativo e Innovación	80	
			790	
Noveno	2.18	Actividad de Servicios a la comunidad	180	101
	2.32	Elementos de Máquinas	160	
	2.54	Tópicos de Ingeniería Mecánica	160	
	2.55	Itinerario Intermedio	120	
	2.56	Prácticas Preprofesionales	110	
	2.57	Formulación y Evaluación de Proyectos	80	
			810	
Décimo	2.60	Formulación Desarrollo y Sistematización del Trabajo de titulación	400	100
	2.58	Problemas en Ingeniería Mecánica	160	
	2.50	Proyecto de Diseño	120	
	2.59	Itinerario Avanzado	120	
			800	

En la Tabla 3.9 se presenta el número de tareas (asignaturas) asignadas a cada estación de trabajo (semestre). Se observa que hubo un cambio en el número de tareas asignadas en los semestre octavo y noveno en los cuales se realizó una disminución y un aumento de una materia respectivamente.

**Tabla 3.9** – Número de asignaturas de la malla curricular de la carrera de Ingeniería Mecánica antes y después del balance

Semestre	Número de tareas (asignaturas)	
	Malla inicial	Malla balanceada
Primero	6	6
Segundo	6	6
Tercero	6	6
Cuarto	6	6
Quinto	6	6
Sexto	6	6
Séptimo	7	7
Octavo	6	7
Noveno	7	6
Décimo	4	4
Total	60	60

### 3.4.3 Evaluación del tiempo de inactividad en cada semestre

Los resultados de la Tabla 3.10 indican que el tiempo de inactividad disminuyó de 210 horas a 10 horas. De acuerdo con Peña Orozco & Jiménez Gómez (2019) una línea de montaje está equilibrada si la holgura total, es decir la suma de los tiempos de inactividad de todas las estaciones de trabajo a lo largo de la línea de producción es lo más bajo posible. Esto se puede lograr minimizando el número de estaciones durante un tiempo de ciclo fijo. Adicionalmente se dice que una línea de producción está en equilibrio cuando se logran agrupar las tareas y los tiempos de procesamiento en cada estación son exactamente iguales. En la mayoría de situaciones prácticas, es muy difícil lograr un equilibrio perfecto.

Sin embargo, de acuerdo con el Artículo 17 del Reglamento de Régimen Académico establece que para formarse como ingeniero se debe culminar 8 000 horas con una

duración de 10 períodos académicos. Adicionalmente el Artículo 21 del mismo reglamento destaca que se podrá hacer una redistribución de las asignaturas que formen parte de la malla curricular siempre que no se afecte el número total de horas de las carreras aprobadas (Consejo de Educación Superior, 2020).

**Tabla 3.10** – Tiempo de inactividad de la malla curricular de la carrera de Ingeniería Mecánica antes y después del balanceo

Semestre	Tiempo de procesamiento de la tarea (horas)		Tiempo de ciclo (horas)	Tiempo de inactividad (horas)	
	Malla inicial	Malla balanceada		Malla inicial	Malla balanceada
Primero	760	800	800	40	0
Segundo	840	800		-	-
Tercero	860	800		-	0
Cuarto	840	800		-	0
Quinto	800	800		0	0
Sexto	800	800		0	0
Séptimo	870	800		-	0
Octavo	720	790		80	10
Noveno	750	810		50	-
Décimo	760	800		40	0
Total				210	10

De acuerdo con Boctor (1995) para evaluar el rendimiento relativo de un método de equilibrio, se puede utilizar la disminución en el tiempo de inactividad o el porcentaje medio de aumento por encima del número mínimo (u óptimo) de estaciones de trabajo. Sin embargo, estos criterios de evaluación tienen algunos inconvenientes importantes. Específicamente, si el número mínimo (u óptimo) de estaciones de trabajo es relativamente pequeño y si el método evaluado no encuentra una solución con este número de estaciones de trabajo, estos criterios serán relativamente altos; en consecuencia, estos criterios pueden dar alguna ventaja a los métodos que funcionan mejor con problemas pequeños y subestiman los métodos capaces de obtener mejores resultados con problemas a gran escala. Por esta razón, y como el número mínimo de estaciones de trabajo para este estudio se mantuvo constante, se utilizó como criterio de evaluación, la disminución en el tiempo de inactividad por lo tanto con la heurística propuesta se alcanzó buenos resultados.

Boctor (1995) establece que el equilibrado de líneas de producción en un problema *NP-hard* lo que implica que el tiempo de cálculo para obtener una solución óptima, puede aumentar exponencialmente a medida que aumenta el tamaño del problema, por lo tanto, para problemas a gran escala, los métodos heurísticos pueden ser los únicos métodos prácticos de solución. Además se prefiere la aplicación de métodos heurísticos simples puesto que son más fáciles de entender y de implementar y se pueden manejar características especiales como restringir el número de subconjuntos a tratar en cada estación de trabajo, operaciones mutuamente excluyentes, múltiples objetivos o tiempos variables de elementos de trabajo.

Por lo general, en los sistemas de servicios es muy común depender de la experiencia y el conocimiento de las personas, por lo tanto, las empresas a menudo delegan la planificación y programación de actividades (toma de decisiones) para sistemas altamente complejos a personal experimentado; confiando en su intuición y conocimiento. Sin embargo, cuando hay demasiada información y relaciones que hacen que la comprensión del sistema sea una tarea compleja, lo que genera problemas en la programación. Consecuentemente, una forma fácil de resolver los problemas de programación determinísticos y estáticos en los sistemas de servicios es la aplicación de técnicas heurísticas como se sugiere en (López-Santana & Méndez-Giraldo, 2016).

Se han establecido varios esquemas para equilibrar las líneas de producción, estos métodos aplican una estrategia general, enumerando elementos en un orden lógico y asignándolos a la secuencia de fabricación en consecuencia, excepto cuando el tiempo de un elemento no se ajusta al tiempo restante de la estación. Ejemplos notables son la técnica del peso posicional y el orden basado en el número de elementos sucesivos. Las heurísticas han demostrado ser extremadamente útiles, pero dado que solo consideran una secuencia posible en cualquier tiempo de ciclo particular, son algo inflexibles y pueden encontrar dificultades a veces el rendimiento del método heurístico no se ve afectado de forma significativa por la estructura de la

red (diagrama de precedencias) pero el rendimiento varía con la magnitud del tiempo de ciclo y el procedimiento heurístico utilizado. Sin embargo, en este estudio ha sido posible, sin un cálculo extenso, mantener sus ventajas esenciales al tiempo que se amplía la búsqueda de una solución eficiente (Buxey, 1974).

De acuerdo con (Fonseca et al., 2005), la idea detrás de la heurística es que cuanto mayor sea el número de tareas disponibles para su asignación, mayor será la probabilidad de que al menos una tarea quepa en una estación de trabajo en particular. Siguiendo esta lógica, es posible aprovechar al máximo el tiempo de ciclo de cada estación encontrando las tareas adecuadas. Esto debería resultar en menos estaciones requeridas con tiempos de inactividad asociados minimizados. Una ventaja importante de esta heurística es que es capaz de resolver problemas de equilibrio de línea independientemente de la duración de los tiempos de las tareas en relación con el tiempo del ciclo (Fazlollahtabar et al., 2011).

Ahmed et al (2020) menciona en su investigación que el método Helgeson y Birnie da el mejor resultado porque el peso posicional tiene en cuenta tanto el valor temporal de los elementos de trabajo como su posición en el diagrama de precedencia. Entonces, los elementos se compilan en una lista de acuerdo con su valor de peso posicional. Por esa razón, el método siempre tiene la mejor eficiencia, menor número de estaciones de trabajo y menos mano de obra como lo mencionan diversa publicaciones como: (Manoria et al., 2012; Sahu & Pradhan, 2018; Trung & Tai, 2019).

Se han mencionado muchos tipos de literatura, incluidos trabajos de investigación pasados y recientes, sobre los numerosos métodos de equilibrio de la línea de montaje. El método exacto, el método heurístico y el método metaheurístico son algunos ejemplos. Estos métodos se utilizan para obtener una solución óptima y mejorar la línea de montaje. Sin embargo, todavía hay algunas lagunas en la investigación que se pueden considerar y explorar. Al hacerlo, proporcionará algo de ayuda a otros

investigadores para desarrollar una nueva idea y contribuir al conocimiento existente (Kharuddin & Ramli, 2020).

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

- Este trabajo presenta una solución algorítmica al problema del balanceo de mallas curriculares (por sus siglas en inglés BACP) basada en el paradigma del método heurístico de los posesos posicionales con la finalidad demostrar la viabilidad teórica y práctica de este enfoque, así como su fácil aplicación en la solución a problemas de programación determinísticos y estáticos en los sistemas de servicios. Adicionalmente, el mayor aporte de este trabajo es presentar la posibilidad de proponer soluciones funcionales para problemas de optimización con restricciones como la generación de una carga académica equilibrada para los planes de estudios en las instituciones de educación superior. Al final de este trabajo se han introducido los conceptos más importantes con respecto a los problemas de satisfacción de restricciones, y el problema de diseñar un plan de estudios académico equilibrado que conduzca al desarrollo de este trabajo, y técnicas de mejora.
- Del análisis de las mallas curriculares de las carreras de ingeniería de la producción, mecánica y electrónica se obtienen los siguientes resultados: en Ingeniería de la Producción el número de materias es 55, con un tiempo de duración de la carrera de 6 480 horas que son cumplidas en 9 semestres. Para la carrera de Ingeniería Mecánica el tiempo de duración de la carrera es 8 000 horas las que se distribuyen en 10 semestres y el número de materias es 60. Y para la carrera de Ingeniería Electrónica y Automatización el número de semestres es 9 los cuales tienen una duración total de 6 480 horas y el número de materias es 55.
- El porcentaje de eficiencia y los tiempos de inactividad de cada semestre son: la eficiencia de la malla de Ingeniería de la Producción es 100 % con tiempos

de inactividad de cero horas. De igual forma, la malla de Ingeniería Electrónica y Automatización cero horas de tiempo de inactividad y por lo tanto su eficiencia es del 100 %. A diferencia de los casos anteriores, los resultados que se obtuvieron de la malla de Ingeniería Mecánica fueron un tiempo de inactividad de 210 horas, pero la eficiencia en algunos semestres fue menor al 100 % mientras que en otros este valor fue superado.

- Del balanceo de la malla curricular de la carrera objeto de la investigación se obtuvieron los siguientes resultados: en Ingeniería Mecánica la eficiencia fue del 100 %, con estaciones de trabajo que tienen eficiencias del 100 % en los semestres: primero, segundo, tercero, cuarto, quinto, sexto, séptimo y décimo, en octavo semestre fue de 99 % y en noveno semestre este valor fue de 101 %.
- El diagrama de precedencias de la carrera de Ingeniería Mecánica presentó un conjunto de tareas (asignaturas) que están restringidas por precedencias, dando la posibilidad que estas se agrupen de varias formas dentro de un proceso de producción y por lo tanto no existe una sola solución óptima. La determinación de la configuración óptima que minimizó el tiempo de inactividad fue una tarea difícil e implicó el uso de técnicas que permitió reducir este valor a 10 horas.
- El método heurístico de Helgeson y Birnie permitió obtener soluciones óptimas en cuanto a la eficiencia y tiempos de inactividad ocasionados por una distribución no homogénea de las tareas en las estaciones de trabajo. Los resultados obtenidos en el balanceo, eficiencia y tiempo de inactividad, se podrán utilizar para la toma de decisiones en la carrera de Ingeniería Mecánica, sin la necesidad de recurrir a modelos muy complejos en los que se necesiten tiempo o inversión de dinero para encontrar soluciones que permitan optimizar los recursos.

- El resultado arrojado por el método de balanceo de Helgeson y Birnie muestra que estas técnicas pueden ser extremadamente útiles, pero dado que solo consideran una secuencia posible en cualquier tiempo de ciclo particular, son algo inflexibles y pueden encontrar dificultades a veces el rendimiento del método heurístico no se ve afectado de forma significativa por la estructura de la red (diagrama de precedencias) pero el rendimiento varía con la magnitud del tiempo de ciclo y el procedimiento heurístico utilizado. Por ejemplo, para el caso de la materia de formulación y desarrollo del proyecto de titulación es incluida a través de la técnica de balanceo en segundo semestre es decir cuando el estudiante no ha adquirido los suficientes conocimientos habilidades y destrezas, por tal motivo en los sistemas de servicios por lo general la planificación y programación de las actividades se delega al personal altamente experimentado confiando en su intuición y conocimiento. Sin embargo, la mayor ventaja de este método heurístico es que permite aprovechar al máximo el tiempo del ciclo de cada estación encontrando las tareas adecuadas lo que significa mantener las estaciones de trabajo requeridas con tiempos de inactividad minimizados.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Debido a la inflexibilidad de este método en cuanto a la asignación de las tareas en función de los pesos posicionales se recomienda realizar un estudio comparativo de optimización de mallas curriculares en las carreras objeto de estudio, en el que se utilicen otros métodos heurísticos y metaheurísticos con la finalidad de confrontar los resultados que mejoren la eficiencia con el objetivo de desarrollar una nueva idea y contribuir al conocimiento existente.
- En investigaciones similares se ha determinado que el rendimiento del método heurístico no se ve afectado de forma significativa por la estructura de la red (diagrama de precedencias) pero el rendimiento varía con la magnitud del tiempo de ciclo y el procedimiento heurístico utilizado. Ampliar el estudio de los métodos heurísticos de optimización con la finalidad de mejorar la eficiencia de las mallas curriculares, en las que las autoridades encargadas en el desarrollo de las mismas deberían considerar la disminución de las estaciones de trabajo (semestres); sin embargo, este aspecto debería confrontarse o apegarse a la normativa vigente para no violentarla.
- Podría utilizarse otras heurísticas para balancear la malla tomada como referencia, que generarían mejores eficiencias y poder recomendar a las autoridades la aplicación de tal heurística. Este trabajo podría ser ejecutado por un estudio de investigación similar en otras tesis.
- La aplicación de métodos heurísticos en el balanceo de líneas de producción pueden ser mejores para encontrar soluciones óptimas o casi óptimas se podría profundizar en el trabajo de investigación utilizando métodos de optimización matemática, como por ejemplo programación lineal que, de lo analizado en los documentos investigados, por ejemplo, otros trabajos de tesis similares generan mejores resultados en cuanto a eficiencia.

- Los sistemas de servicios se están convirtiendo en un área estratégica de investigación científica desde enfoques multidisciplinares. Ha surgido una comunidad académica como la ciencia del servicio o la gestión e ingeniería de la ciencia del servicio. Asimismo, los sistemas de servicio son en muchos aspectos diferentes de los sistemas de fabricación por lo que se sugiere ampliar los conocimientos sobre la programación de la producción de estos sistemas puesto que esta se limita a la experiencia y conocimiento del personal experimentado.

## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ahmed, T., Sakib, N., Hridoy, R. M., & Shams, A. T. (2020). *Application of Line Balancing Heuristics for Achieving an Effective Layout: A Case Study*. 9(2), 114–129. <https://doi.org/10.22105/riej.2020.234612.1134>
2. Asamblea Nacional. (2018). *Ley Orgánica de Educación Superior (LOES). Sistemas de Información de Tendencias Educativas en América Latina (SITEAL)*.
3. Battaïa, O., & Dolgui, A. (2013). A taxonomy of line balancing problems and their solution approaches. *International Journal of Production Economics*, 142(2), 259–277. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.10.020>
4. Baybars, I. (1986a). A Survey of Exact Algorithms for the Simple Assembly Line Balancing Problem. *Management Science*, 32(8), 909–932. <https://doi.org/10.1287/mnsc.32.8.909>
5. Baybars, I. (1986b). An efficient heuristic method for the simple assembly line balancing problem. *International Journal of Production Research*, 24(1), 151–158. <https://doi.org/10.1080/00207548608919719>
6. Becheikh, N., Landry, R., & Amara, N. (2005). Lessons from innovation empirical studies in the manufacturing sector: A systematic review of the literature from 1993-2003. *Technovation*, 644–664. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2005.06.016>
7. Becker, C., & Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 694–715. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.023>
8. Bernal, C. (2016). *Metodología de la Investigación*. PEARSON.
9. Bhattacharjee, T. K., & Sahu, S. (1988). A Heuristic Approach to General Assembly Line Balancing. *International Journal of Operations & Production Management*, 8(6), 67–77. <https://doi.org/10.1108/eb054843>
10. Boctor, F. F. (1995). A multiple-rule heuristic for assembly line balancing. *Journal of the Operational Research Society*, 46(1), 62–69.

<https://doi.org/10.1057/jors.1995.7>

11. Burduk, A. (2017). *Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance*. Springer.
12. Buxey, G. M. (1974). Assembly Line Balancing With Multiple Stations. *Management Science*, 20(6), 1010–1021. <https://doi.org/10.1287/mnsc.20.6.1010>
13. Castro, C., & Manzano, S. (2001). Variable and Value Ordering When Solving Balanced Academic Curriculum Problems. *Departamento de Informática, Universidad Técnica Federico Santa María, 1010121*, 1–13. <http://arxiv.org/abs/cs/0110007>
14. Chow, W. M. (1990). *Assembly Line Desing: Methodology and Applications*. [https://books.google.com.ec/books?id=zQX3kfw\\_6AQC&printsec=frontcover&dq=Balancing+assembly+lines&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiM\\_vPDvs7uAhUJr1kKHcNRCJMQ6AEwBHoECAAAQAg#v=onepage&q=Balancing+assembly+lines&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=zQX3kfw_6AQC&printsec=frontcover&dq=Balancing+assembly+lines&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiM_vPDvs7uAhUJr1kKHcNRCJMQ6AEwBHoECAAAQAg#v=onepage&q=Balancing+assembly+lines&f=false)
15. Consejo de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior. (2018). *Modelo de Evaluación Institucional de Universidades y Escuelas Politécnicas*.
16. Consejo de Educación Superior. (2020). *Ley Orgánica de Educación Superior: Reglamento del Régimen Académico*. [https://procuraduria.utpl.edu.ec/sitios/documentos/NormativasPublicas/Reglamento de Régimen Académico 2020.pdf](https://procuraduria.utpl.edu.ec/sitios/documentos/NormativasPublicas/Reglamento+de+Régimen+Academico+2020.pdf)
17. Dirección de Gestión de la Información y Procesos. (2018). *Estadísticas Semestre 2018-A. Smart Data EPN*.
18. Dorigo, M., Birattari, M., Blum, C., Gambardella, L. M., Mondada, F., & Stützle, T. (2004). Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence: Preface. In *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics): Vol. 3172 LNCS*. Springer.
19. Edokpia, R. O., & Owu, F. U. (2013). Assembly line re-balancing using ranked positional weight technique and longest operating time technique: A comparative analysis. *Advanced Materials Research*, 824, 568–578. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.824.568>

20. Escobar Alvarán, D. F., Garcés Hincapié, J. A., & Restrepo Correa, J. H. (2012). Aplicación de la programación entera binaria para resolver el problema simple de balanceo de línea de ensamble: un caso de estudio. *Scientia Et Technica*, XVII(50), 85–90. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84923878013>
21. Facultad de Ciencias Administrativas. (24 de Octubre de 2020). *Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de Escuela Politécnica Nacional web site: <https://fca.epn.edu.ec/index.php/oferta-academica/pregrado/ingenieria-de-la-produccion>
22. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. (24 de Octubre de 2020). *Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de Escuela Politécnica Nacional web site: <https://fiec.epn.edu.ec/index.php/oferta-academica/pregrado/171-ingenieria-en-electronica-y-automatizacion>
23. Facultad de Ingeniería Mecánica. (24 de Octubre de 2020). *Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de Escuela Politécnica Nacional web site: <https://fim.epn.edu.ec/index.php/es/carreras-y-programas/grado/ingenieria-mecanica>
24. Fazlollahtabar, H., Hajmohammadi, H., & Es'Haghzadeh, A. (2011). A heuristic methodology for assembly line balancing considering stochastic time and validity testing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 52(1–4), 311–320. <https://doi.org/10.1007/s00170-010-2708-1>
25. Fonseca, D. J., Guest, C. L., Elam, M., & Karr, C. L. (2005). A Fuzzy Logic Approach to Assembly Line Balancing. *Mathware & Soft Computing Soft Computing*, 12, 57–74.
26. Gen, M., Cheng, R., & Lin, L. (2008). *Network Models and Optimization: Multiobjective Genetic Algorithm Approach*. Springer.
27. Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mc Graw-Hill.
28. Kayar, M., & Akyalçin, Ö. C. (2014). Applying different heuristic assembly line balancing methods in the apparel industry and their comparison. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 22(6), 8–19.
29. Kharuddin, M. H., & Ramli, M. F. (2020). A Review on Methods to Improve and Balance the Assembly Line. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 767(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/767/1/012022>

30. Lambert, T., Castro, C., Monfroy, E., & Saubion, F. (2006). Solving the balanced academic curriculum problem with an hybridization of genetic algorithm and constraint propagation. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 4029 LNAI, 410–419. [https://doi.org/10.1007/11785231\\_44](https://doi.org/10.1007/11785231_44)
31. Larasari, P. A., Tanaya, P. I., & Indrayadi, Y. (2020). Analysis and Improvement of Assembly Line: A Case Study at Automobile Rear-Axle Assembly Line-A PT. ZYX. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 19(1), 95–107. <https://doi.org/10.23917/jiti.v19i1.8866>
32. León, D., Neira, A., & Reynel, A. (2016). Application of line balancing techniques to balance workloads in the storage area of a warehouse storage. *Scientia et Technica*, 21(3), 239–247. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84950585006>
33. Lewis, M., & Slack, N. (2003). *Operations Management: Critical Perspectives on Business and Management*. Londres. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=cGzxcgjWUkaYC&oi=fnd&pg=PA22&dq=heuristic+method+assembly+line+balancing&ots=1YfKdd\\_nzJ&sig=OB17Ah4L7k5tB-lybfGHS3KqSbo#v=onepage&q=heuristic method assembly line balancing&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=cGzxcgjWUkaYC&oi=fnd&pg=PA22&dq=heuristic+method+assembly+line+balancing&ots=1YfKdd_nzJ&sig=OB17Ah4L7k5tB-lybfGHS3KqSbo#v=onepage&q=heuristic%20method%20assembly%20line%20balancing&f=false)
34. López-Santana, E. R., & Méndez-Giraldo, G. A. (2016). *Applied Computer Sciences in Engineering*. 657, 212–224. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-50880-1>
35. Mahto, D., & Anjani, K. (2012). An Empirical Investigation of Assembly Line Balancing Techniques and Optimized Implementation Approach for Efficiency Improvements. *Global Journal of Researches in Engineering Mechanical and Mechanics Engineering*, 1(3), 1–15.
36. Manoria, A., Kumar Mishra, S., & Maheshwar, S. (2012). Expert System based on RPW Technique to Evaluating Multi Product Assembly Line Balancing Solution. *International Journal of Computer Applications*, 40(4), 27–32. <https://doi.org/10.5120/5034-7185>
37. Mejía Ávila, H., Galofre Vásquez, M., & Acuña Molina, N. (2014). Balanceo de un plan de estudios mediante la aplicación del algoritmo COMSOAL. *Escenarios*, 10(2), 38. <https://doi.org/10.15665/esc.v10i2.217>

38. Monette, J.-N., Schaus, P., Zampelli, S., Deville, Y., & Dupont, P. (2007). A CP Approach to the Balanced Academic Curriculum Problem. *Proceedings of the Seventh International Workshop on Symmetry and Constraint Satisfaction Problems*, 1–8.
39. Moreira, M. C. O., Ritt, M., Costa, A. M., & Chaves, A. A. (2012). Simple heuristics for the assembly line worker assignment and balancing problem. *Journal of Heuristics*, 18(3), 505–524. <https://doi.org/10.1007/s10732-012-9195-5>
40. Mutingi, M., & Mbohwa, C. (2017). Fuzzy Grouping Genetic Algorithm. In *Healthcare Staff Scheduling*. Springer. <https://doi.org/10.1201/b18889-7>
41. Peña Orozco, D. L., & Jiménez Gómez, J. L. (2019). Problema de balanceo de una línea del tipo SALBP: caso de una línea de confección de prendas. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 12(1), 176–196. <https://doi.org/10.22335/rlct.v11i2.866>
42. Ponnambalam, S. G., Aravindan, P., & Mogileeswar Naidu, G. (1999). A Comparative evaluation of assembly line balancing heuristics. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15(8), 577–586. <https://doi.org/10.1007/s001700050105>
43. Restrepo Correa, J., Cruz Trejos, E., & Saracho Almada, C. (2006). Una heurística de balanceo de línea de producción aplicada a una malla curricular. *Scientia et Technica*, 1(30), 267–272. <https://doi.org/10.22517/23447214.6533>
44. Romanycia, M. H. J., & Pelletier, F. J. (1985). What is a heuristic? *Computational Intelligence*, 1(1), 47–58. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8640.1985.tb00058.x>
45. Sabuncuoglu, I., Erel, E., & Alp, A. (2009). Ant colony optimization for the single model U-type assembly line balancing problem. *International Journal of Production Economics*, 120(2), 287–300. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.11.017>
46. Sahu, A., & Pradhan, S. K. (2018). Comparative analysis and optimization of Mixed Model assembly line using Genetic Algorithm. *Materials Today: Proceedings*, 5(11), 25075–25084. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.10.308>
47. Salvendy, G. (2001). Handbook of industrial engineering. In *Choice Reviews*

*Online* (Vol. 29, Issue 11). John Wiley & Sons, Inc.  
<https://doi.org/10.5860/choice.29-6026>

48. Schlick, C. M., Frieling, E., & Wegge, J. (2013). *Age-Differentiated Work Systems*. Springer.
49. Scholl, A. (1999). *Balancing and Sequencing of Assembly Lines* (Second). Physica-Verlag.
50. Scholl, A., & Becker, C. (2006). State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 666–693. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.07.022>
51. Sivasankaran, P., & Shahabudeen, P. (2014). Literature review of assembly line balancing problems. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 73(9–12), 1665–1694. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-5944-y>
52. Sylejmani, K., Halili, A., & Rexhepi, A. (2017). Balancing academic curricula by using a mutation-only genetic algorithm. *2017 40th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2017 - Proceedings*, 1189–1194. <https://doi.org/10.23919/MIPRO.2017.7973604>
53. Thomopoulos, N. T. (2014). Planning and control. In *Assembly Line Planning and Control*. Springer. <https://doi.org/10.4324/9781351034982-3>
54. Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review\*. *British Journal of Management*, 14(2), 207–222. <https://doi.org/10.1080/16258312.2014.11517339>
55. Trung, N. P., & Tai, L. M. (2019). Researching and Applying the Line Balancing Methods in Optimizing Automobile Assembly Lines. *Applied Mechanics and Materials*, 889, 574–579. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.889.574>
56. Ünal, Y. Z., & Uysal, Ö. (2014). A new mixed integer programming model for curriculum balancing: Application to a Turkish university. *European Journal of Operational Research*, 238(1), 339–347. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.03.015>

## **ANEXOS**

## ANEXO I

ENTREVISTA 1		
<b>Entrevistado</b>	Dr. Willan Leopoldo Monar Monar	
<b>Cargo</b>	Subdecano de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional	
Ítem	Pregunta	Respuesta
1	¿Cuál es el método para determinar si la malla curricular cumple con los requisitos del sistema nacional de educación?	El método utilizado en la FIM es el método comparativo referencial que consiste en realizar una evaluación que permita revisar que la malla curricular cumpla con los lineamientos del Régimen de Reglamento Académico establecidos por el CES. La Malla se la realiza en función del perfil de egreso: competencias específicas y actitudinales mensurables a través de los resultados de aprendizaje, de destrezas y actitudinales o habilidades blandas, en base a parámetros internacionales dados por ABET en USA por ejemplo y además tomando como referencia las mallas curriculares de la carrera de las principales universidades del Mundo (EJ. MIT, en USA Tech. Monterey en Mx. y un largo etc.).
2	¿Quiénes son los encargados de la elaboración de las mallas curriculares?	Las unidades académicas (Facultades) designan una Comisión que se encarga de la elaboración de las mallas curriculares. Las mismas que son revisadas por los Departamentos afines, las autoridades, los profesores de las asignaturas comprometidas revisan concatenación, asignaturas prerequisites y correquisitos, pisos y techos; y, elaboran los PEAS de las asignaturas.
3	¿Para la aprobación de las mallas curriculares se determina o realiza algún cálculo de eficiencia?	El cálculo de eficiencia se determina en base a las horas en contacto con el docente, recibidas por el estudiante y las horas de aprendizaje autónomo.
4	¿Existe algún método para determinar si las asignaturas están distribuidas de manera uniforme en cada uno de los semestres?	En base de la experiencia vivida en los 60 años de existencia de la FIM se ha ido optimizando recursos y talentos y siempre estamos en un proceso de mejora continua, una de las actividades específicas fue la revisión, en este último caso de la malla 2020 que entrará en vigencia para el periodo académico ordinario PAO 2021B, que cada nivel cumpla con un límite máximo de 15 créditos en el ámbito profesional (que tiene control la FIM) pues es política de toda la universidad que además existen materias de aprobación obligatoria como inglés, Comunicación, Sociales, clubes, y educación física como lo predetermina el RRA CES de abril 2021.

<b>ENTREVISTA 2</b>		
<b>Entrevistado</b>	Ingeniero Raúl David Mejía Navarrete	
<b>Cargo</b>	Director de Docencia de la Escuela Politécnica Nacional	
<b>Ítem</b>	<b>Pregunta</b>	<b>Respuesta</b>
<b>1</b>	¿Cuál es el método para determinar si la malla curricular cumple con los requisitos del sistema nacional de educación?	Lo que nosotros hacemos es generar una matriz que las unidades académicas deben llenar cumpliendo los requerimientos del reglamento, una vez hecho esto se revisa la matriz para determinar que se cumple con la normativa y ahí se genera el informe respectivo para su tratamiento en Consejo de Docencia.
<b>2</b>	¿Quiénes son los encargados de la elaboración de las mallas curriculares?	Las Unidades Académicas de la Institución con el soporte de la Dirección de Docencia.
<b>3</b>	¿Para la aprobación de las mallas curriculares se determina o realiza algún cálculo de eficiencia?	¿A qué se refiere con eficiencia?
<b>4</b>	Con esto me refiero a que si existe algún método que permita determinar si las horas de cada materia están asignadas en los semestres de tal forma que no se generen tiempos de inactividad	El Reglamento de Régimen Académico establece de forma clara criterios como número de asignaturas, créditos.

## **ANEXO II**

### **MALLAS CURRICULARES DE LAS CARRERAS TÉCNICAS DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

En las Figuras AI.1 y AI.2 se presentan las mallas curriculares pertenecientes a las carreras de Ingeniería de la Producción e Ingeniería Mecánica Respectivamente.

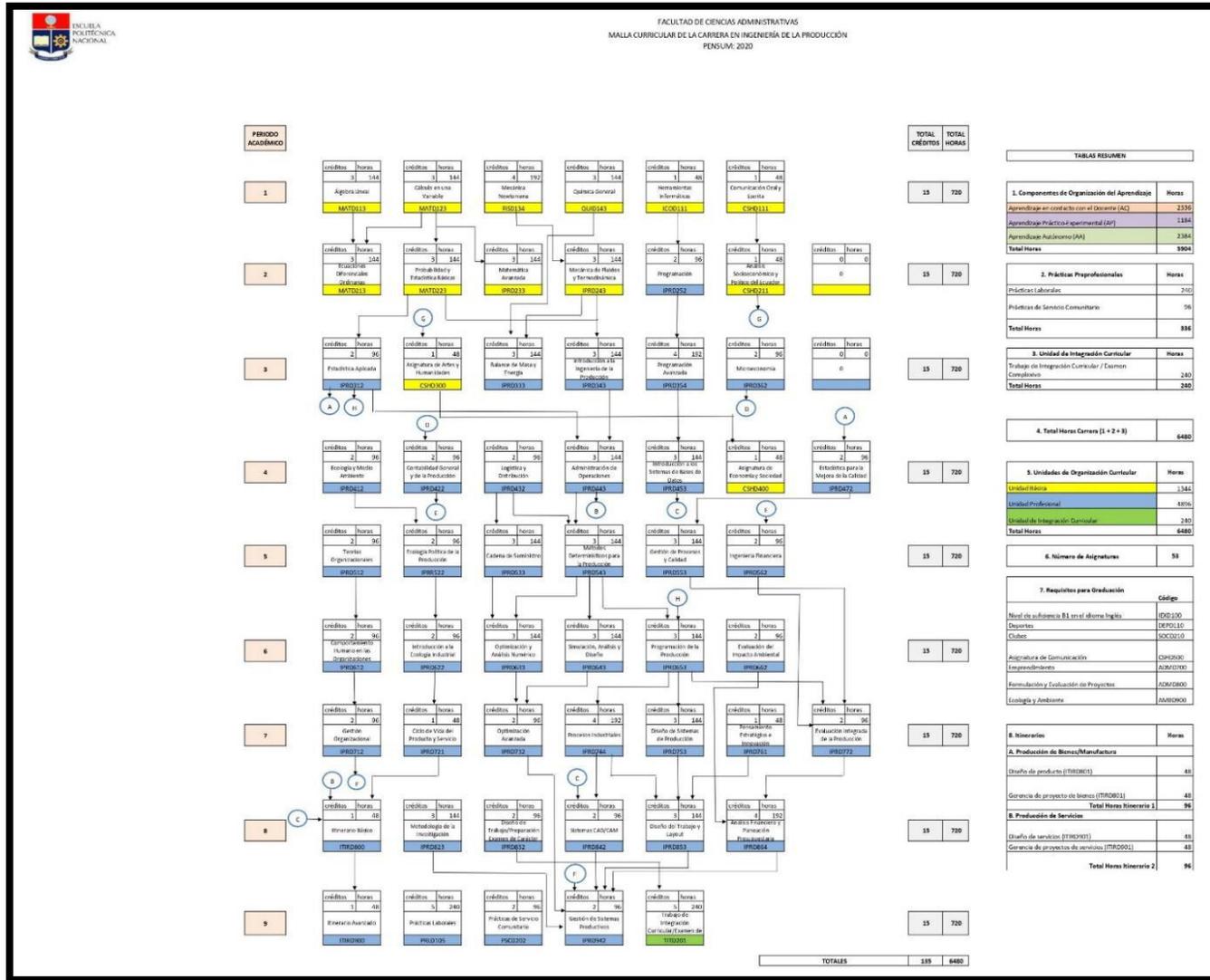
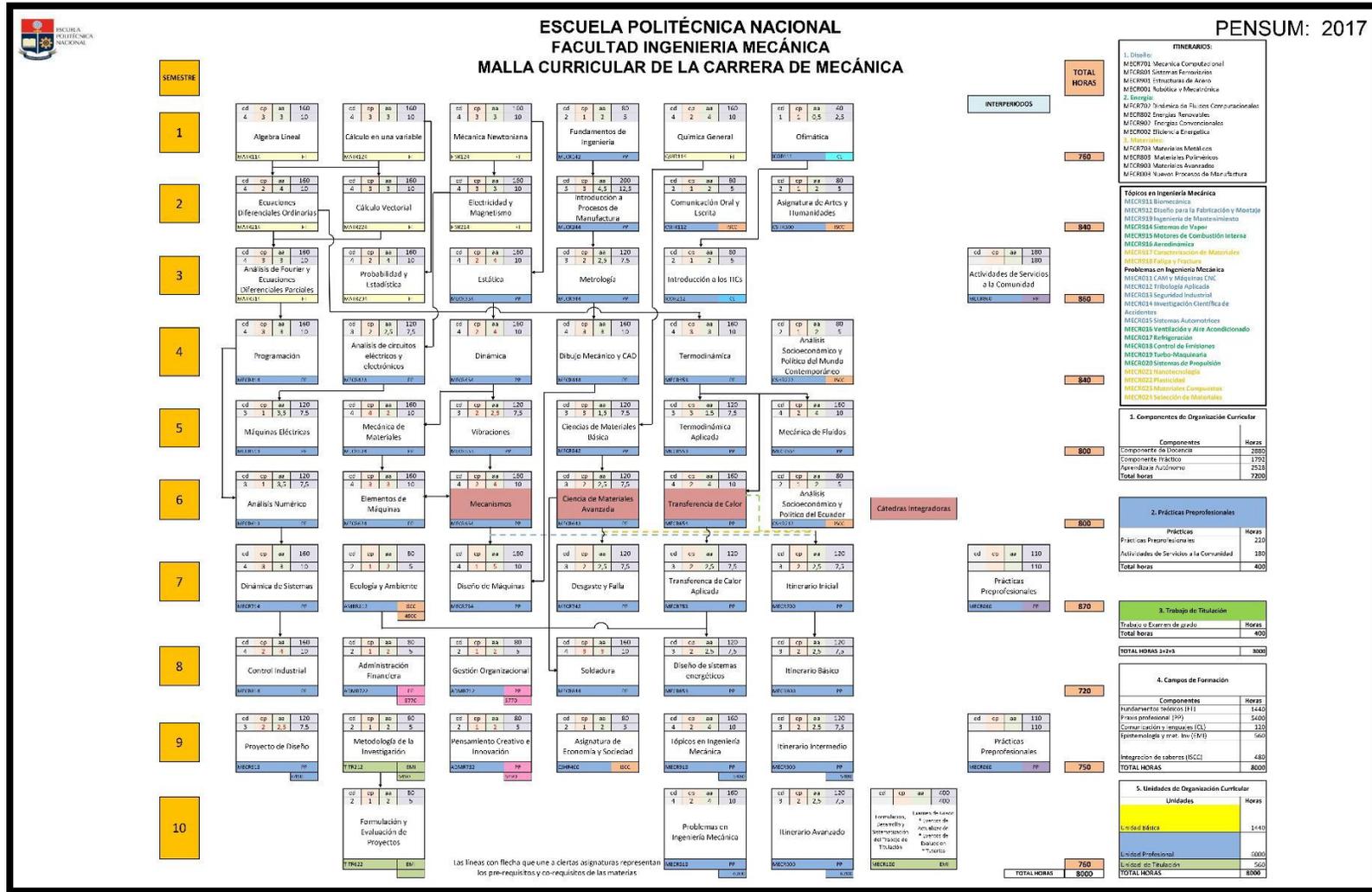
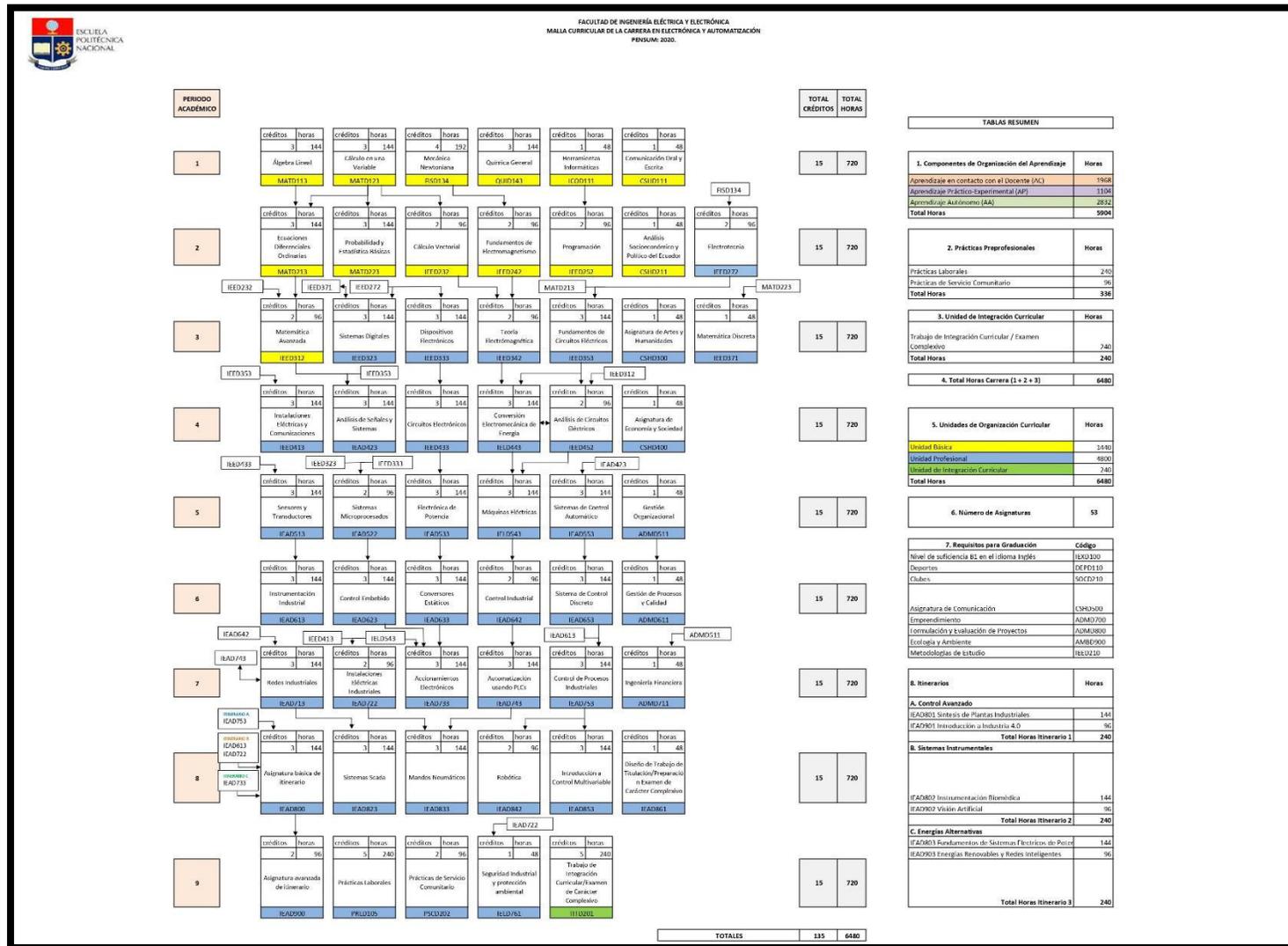


Figura AI.1 - Malla curricular de la Carrera de Ingeniería de la Producción  
Fuente: (FCA, 2020)



**Figura AI.2 – Malla curricular de la Carrera de Ingeniería Mecánica**  
Fuente: (FIM, 2020)



**Figura AI.3 – Malla curricular de la Carrera de Ingeniería Mecánica**  
 Fuente: (FIEE, 2020)

