

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INFORMÁTICA

**APLICACIÓN DEL PROBLEMA *FLOW-SHOP SCHEDULING*
A LA PROGRAMACIÓN DE REPARACIÓN DE EQUIPOS
MÉDICOS**

RAFAEL ALEJANDRO MELLADO SILVA

Profesor Guía: **Claudio Cubillos Figueroa**

Programa: **Magíster en Ingeniería Informática**

AGOSTO 2014

Resumen

La reparación de cualquier activo dentro de una empresa, ya sea maquinaria u otro tipo, requiere de una serie de recursos esenciales para ser desarrollada, dentro de los que se pueden destacar los humanos, técnicos y físicos. Cabe señalar que se requiere una planificación que organice las múltiples tareas para reparar los distintos equipos que se necesitan con tal finalidad.

Considerando lo anterior, en el presente documento, se muestra la formulación de la cadena de producción estructurada con la secuenciación de tareas, para la reparación de equipos médicos, denominada *Flow-Shop*. Es decir, presenta todos los elementos necesarios, para luego dar a conocer una propuesta de aplicación de esta problemática, en un caso de estudio real.

Es así, que como resultado de los estudios realizados, se mostrará la formulación de los casos de aplicación correspondientes para una unidad de equipos médicos, la cual se encarga del sector público, en nuestro país.

Palabras Claves: *Flow-Shop*, Planificación, *Scheduling*, Búsqueda *Tabú*, Equipos Médicos.

Abstract

The repair of the assets in a company, for example machinery or other, requires a number of essential resources to be developed, highlighting the human, technical and physical resources. It should be noted that planning is required to organize multiple tasks to repair the various equipment.

Considering this, in this document, is shown the formulation of the production chain structured, sequencing tasks of medical equipment repair, called *Flow-Shop*. That is, all the elements are shown, and then a proposal is offered for the application of this problem, in a real case study.

Thus, as a result of studies, the formulation of cases corresponding application in a unit of medical equipment, which is in charge of the public sector in our country will be displayed.

Keywords: *Flow-Shop*, Planning, *Scheduling*, Tabu Search, Medical Equipment.

Índice de contenido

1	Introducción	1
1.1	Motivación.....	1
1.2	Objetivos.....	6
1.2.1	Objetivo general	6
1.2.2	Objetivos específicos	7
1.3	Metodología.....	8
1.3.1	Metodología de investigación	8
1.4	Plan de trabajo	13
1.4.1	Estructura del documento.....	13
2	El proceso productivo.....	15
2.1	Introducción.....	15
2.1.1	Producción y fabricación	16
2.2	Tipos de procesos de producción o configuraciones productivas	17
2.2.1	Configuración productiva por proyectos.....	17
2.2.2	Configuración productiva por lotes.....	18
2.3	Planificación de la producción	19
2.4	Programa general de producción	20
2.4.1	Pronósticos de la demanda	20
2.4.2	Niveles de inventario	20
2.4.3	Capacidad de producción	20
2.5	Planificación de un sistema de producción tipo <i>Flow-Shop</i>	21
2.5.1	Características del sistema de producción.....	21
2.5.2	Contextualización a sistemas productivos reales	22
2.5.3	Ventajas y desventajas del sistema de producción <i>Flow-Shop</i>	23
2.5.4	Etapas de la programación de producción	23
3	El problema de <i>Flow-Shop Scheduling</i>	25
3.1	Introducción.....	25
3.2	Descripción del problema.....	26
3.3	Generalidades y tipos de <i>Flow-Shop</i>	26
3.4	Modelo matemático	28
3.5	Estado del arte	29
3.5.1	Funciones objetivo	29
3.5.2	Tipos de <i>Flow-Shop</i>	30
3.5.3	Métodos de optimización	30
3.5.4	Trabajos de la literatura.....	35
3.5.5	<i>Flow-Shop</i> y los procesos industriales	38

4	Solución propuesta	40
4.1	Consideraciones iniciales	40
4.1.1	Cálculo de <i>Makespan</i>	41
4.1.2	Elementos de problemas de <i>Scheduling</i>	41
4.2	Solución inicial	43
4.3	Búsqueda Tabú	45
4.3.1	Memoria a corto plazo y determinación de mejores movimientos	46
4.3.2	Operadores	49
4.3.3	Movimientos	49
4.3.4	Algoritmo de Búsqueda Tabú	50
5	Selección de caso de estudio	53
5.1	Selección del caso de estudio	53
5.1.1	Descripción	53
5.1.2	Equipos y flujos de trabajo.....	54
5.1.3	Inventario	61
5.2	Diseño del caso de estudio	61
5.2.1	Situación actual	62
5.2.2	Propuesta de aplicación.....	66
5.2.3	Resultados esperados	69
6	Implementación y pruebas de software	72
6.1	Acerca del software	72
6.1.1	Funcionalidad del software	72
6.1.2	Etapas y diseño.....	75
6.2	Metodología de desarrollo	76
6.2.1	Metodología de desarrollo de software	76
6.3	Los datos de estudio	80
7	Aplicación y resultados de caso de estudio	81
7.1	Caso de estudio.....	81
7.1.1	Descripción	81
7.1.2	Actores del problema	82
7.1.3	Parámetros del caso de estudio	82
7.2	Aplicación construida	83
7.3	Datos de prueba	85
7.3.1	Prueba 1 – Set de 5 equipos	86
7.3.2	Prueba 2 – Set de 5 equipos	86
7.3.3	Prueba 3 – Set de 10 equipos	87
7.3.4	Prueba 4 – Set de 10 equipos	87
7.3.5	Prueba 5 – Set de 15 equipos	88

7.3.6	Prueba 6 – Set de 15 equipos	89
7.4	Planificaciones obtenidas	90
7.4.1	Prueba 1 – Set de 5 equipos	90
7.4.2	Prueba 2 – Set de 5 equipos	91
7.4.3	Prueba 3 – Set de 10 equipos	92
	Prueba 4 – Set de 10 equipos	93
7.4.4	Prueba 5 – Set de 15 equipos	96
7.4.5	Prueba 6 – Set de 15 equipos	99
7.5	Aplicación de planificaciones.....	101
7.5.1	Prueba 1 – Set de 5 equipos	101
7.5.2	Prueba 2 – Set de 5 equipos	102
7.5.3	Prueba 3 – Set de 10 equipos	103
7.5.4	Prueba 4 – Set de 10 equipos	105
7.5.5	Prueba 5 – Set de 15 equipos	107
7.5.6	Prueba 6 – Set de 15 equipos	109
7.6	Análisis de resultados	112
7.6.1	Prueba 1 – Set de 5 equipos	112
7.6.2	Prueba 2 – Set de 5 equipos	113
7.6.3	Prueba 3 – Set de 10 equipos	114
7.6.4	Prueba 4 – Set de 10 equipos	115
7.6.5	Prueba 5 – Set de 15 equipos	116
7.6.6	Prueba 6 – Set de 15 equipos	117
8	Conclusiones	118
8.1	Sobre el fundamento de este proyecto.....	118
8.2	Sobre el trabajo realizado	118
8.3	Sobre los resultados obtenidos	119
8.4	Sobre el trabajo a futuro	119
	Referencias	120
	ANEXO 1: Universo de equipos a tomar en caso de estudio.....	125
	ANEXO 2: Set de equipos seleccionados para pruebas	136
	Prueba 1 – Set de 5 equipos	136
	Prueba 2 – Set de 5 equipos	136
	Prueba 3 – Set de 10 equipos	137
	Prueba 4 – Set de 10 equipos	138
	Prueba 5 – Set de 15 equipos	139
	Prueba 6 – Set de 15 equipos	140

Índice de figuras

Figura 1.1: Elementos del método científico en la investigación de operaciones.	1
Figura 1.2: Modelo de proceso de transformación de inputs en outputs.	2
Figura 1.3: Esquema simplificado de un sistema de planificación y control moderno [3].	4
Figura 1.4: Formalización de tecnologías de producción de Woodward [4].	5
Figura 1.5: Fases generales a considerar dentro de los objetivos.	7
Figura 1.6: Etapas propuestas para la investigación a realizar.	8
Figura 1.7 Elementos de inferencia estadística [14].	11
Figura 1.8 Pasos a seguir en el proceso de investigación [10].	12
Figura 2.1 Elementos a considerar para formalizar un proceso productivo [9].	16
Figura 2.2: Etapas para la construcción de un ala de un avión a medida [9].	19
Figura 2.3: Línea de construcción de ala para avión Airbus A380 [9].	19
Figura 2.4 Línea de construcción para el ala de un avión.	22
Figura 2.5 Recorrido por los centros de construcción en un sistema productivo [9].	22
Figura 2.6: Etapas de la programación de un pedido [21].	24
Figura 3.1 Flujos de trabajos en <i>Flow-Shop</i> [9].	25
Figura 3.2: Configuración <i>Flow-Shop</i> clásico	27
Figura 3.3: Configuración <i>Flow-Shop</i> flexible	27
Figura 3.4: Elementos de trabajos y tareas	28
Figura 4.1 Configuración <i>Flow-Shop</i>	43
Figura 4.2 Descripción de componente de memoria de corto plazo de la Búsqueda Tabú.	47
Figura 4.3 Selección del mejor movimiento posible.	48
Figura 4.4: Ejemplificación de movimientos a la izquierda y derecha.	49
Figura 5.1 Flujo de procedimiento almacenamiento OT.	56
Figura 5.2 Protocolo de mantenimiento preventivo definido por el Hospital Dr. Gustavo Fricke.	59
Figura 5.3 Tabla de existencia de datos.	61
Figura 5.4 Resultados a esperar.	62
Figura 5.5 Macro proceso de reparación de equipos médicos.	63
Figura 5.6 Ingreso de una orden de trabajo.	63
Figura 5.7 Proceso de reparación.	65
Figura 5.8 Cálculo de cumplimiento de MPO.	66
Figura 5.9 Representación general de pasos de metodología.	68
Figura 6.1 Pasos que contempla el software.	72
Figura 6.2 Etapas a cumplir con el desarrollo del software.	75
Figura 6.3 Etapas a cumplir con las pruebas y caso de estudio.	76
Figura 6.4 Factores y potencialidades de XP.	76
Figura 6.5 Etapas de XP [18].	79
Figura 7.1 Etapas de creación de aplicación de pruebas.	81

Figura 7.2 Etapas de aplicación de pruebas	82
Figura 7.3 Datos de entrada para una secuencia de prueba	83
Figura 7.4 Solución inicial para una secuencia de prueba.....	84
Figura 7.5 Solución final para una secuencia de prueba.....	84
Figura 7.6 Resultados obtenidos al aplicar la planificación de prueba 1.....	112
Figura 7.7 Resultados obtenidos al aplicar la planificación de prueba 2.....	113
Figura 7.8 Resultados obtenidos al aplicar la planificación de prueba 3.....	114
Figura 7.9 Resultados obtenidos al aplicar la planificación de prueba 4.....	115
Figura 7.10 Resultados obtenidos al aplicar la planificación de prueba 5.....	116
Figura 7.11 Resultados obtenidos al aplicar la planificación de prueba 6.....	117

Índice de tablas

Tabla 1.1 Alcances de los sistemas de planificación y control de la producción [3].	3
Tabla 1.2 Diferencias entre modelos de investigación [10].	10
Tabla 1.3 Diferencias entre modelos de investigación [10].	10
Tabla 2.1 Problemas de capacidad productiva y efectos.	16
Tabla 2.2 Ventajas y desventajas del sistema productivo tipo <i>Flow-Shop</i> .	23
Tabla 3.1 Meta heurísticas clásicas para <i>Flow-Shop</i> .	34
Tabla 4.1 Resumen para ejemplo de <i>Flow-Shop</i> Scheduling.	40
Tabla 4.2 Datos iniciales ejemplo solución inicial.	44
Tabla 4.3 Generación de listas iniciales.	44
Tabla 4.4 Resultado de n iteraciones para vaciar lista general.	45
Tabla 4.5 Datos iniciales para una planificación	49
Tabla 4.6 Algoritmo de Búsqueda Tabú	51
Tabla 4.7 Incorporación de movimientos a una lista <i>Tabú T</i> .	52
Tabla 5.1 Actividades a desarrollar dentro de la U.E.M.	64
Tabla 5.2 Tiempos estimados de demora de reparación	67
Tabla 5.3 Planilla de trabajo	68
Tabla 5.4 Registro de tiempos y roles	69
Tabla 5.5 Programación de trabajo	70
Tabla 5.6 Planificación individual	70
Tabla 6.1 Pseudocódigo de algoritmo de Johnson	73
Tabla 6.2 Pseudocódigo de algoritmo Búsqueda Tabú	74
Tabla 7.1 Método que implementa algoritmo de Johnson en Java	83
Tabla 7.2 Selección de equipos a probar en set de 5 equipos en prueba 1	86
Tabla 7.3 Selección de equipos a probar en set de 5 equipos en prueba 2	86
Tabla 7.4 Selección de equipos a probar en set de 10 equipos en prueba 3	87
Tabla 7.5 Selección de equipos a probar en set de 10 equipos en prueba 4	87
Tabla 7.6 Selección de equipos a probar en set de 15 equipos en prueba 5	88
Tabla 7.7 Selección de equipos a probar en set de 15 equipos en prueba 6	89
Tabla 7.8 Planificación propuesta para prueba 1 con set de 5 equipos	90
Tabla 7.9 Planificación propuesta para prueba 2 con set de 5 equipos	91
Tabla 7.10 Planificación propuesta para prueba 3 con set de 10 equipos	92
Tabla 7.11 Planificación propuesta para prueba 4 con set de 10 equipos	94
Tabla 7.12 Planificación propuesta para prueba 5 con set de 15 equipos	96
Tabla 7.13 Planificación propuesta para prueba 6 con set de 15 equipos	99
Tabla 7.14 Tiempos obtenidos para prueba 1	101
Tabla 7.15 Tiempos obtenidos para prueba 2	102

Tabla 7.16 Tiempos obtenidos para prueba 3103
Tabla 7.17 Tiempos obtenidos para prueba 4105
Tabla 7.18 Tiempos obtenidos para prueba 5107
Tabla 7.19 Tiempos obtenidos para prueba 6109

1 Introducción

En este capítulo, se presentará la fundamentación de este proyecto, dando a conocer todos los factores y conceptos que entregan razón de ser al problema y asimismo a la relevancia que adquiere dentro de la sociedad.

1.1 Motivación

La investigación de operaciones consiste básicamente en la aplicación del método científico (por equipos de trabajo de múltiples disciplinas) con la finalidad de dar respuesta a problemas que comprenden el control y la gestión de sistemas organizados. De esta forma, la investigación de operaciones buscará siempre encontrar soluciones que den la mejor respuesta a los propósitos del sistema (o de la organización en que se esté aplicando con miras a la toma de decisiones con enfoque a objetivos operacionales dentro de las empresas. Tal como se puede apreciar en la Figura 1.1, la investigación de operaciones al estar relacionada con el método científico, debe considerar y aplicar una serie de elementos.



Figura 1.1: Elementos del método científico en la investigación de operaciones.

Ahora bien, dentro del área de investigación de operaciones, se encuentran las planificaciones, estas refieren a los conjuntos de modelos y técnicas que permiten dar solución a numerosas problemáticas de diversas áreas de la industria [1], ya sea a nivel nacional como internacional. Cabe destacar que el contexto de este informe comprende la gestión de procesos en el sector público, específicamente en el área de la salud.

Así, los distintos sectores productivos [1] a pesar de ser clasificados en distintas áreas, tienen la particularidad de compartir problemáticas que los afectan de diferentes formas en sus procesos de producción, como por ejemplo, en todas aquellas tareas en que se hace necesario realizar la asignación de carga de trabajo o responsabilidades con un grado de temporalidad explícito, y estas tareas son a su vez asignadas a grupos de trabajo de distintos tamaños y conformados dinámicamente por personas y/o maquinarias que de forma separada o conjunta tienen la capacidad de realizar las mencionadas actividades.

En el contexto anterior, es necesario mencionar los talleres de trabajo, debido a que éstos se encuentran conformados por distintos centros de máquinas, donde se procesan una variedad amplia de diversas tareas que llegan de forma dinámica a los centros [2], es por ello, que la problemática se enfoca en esta área, propia de la planificación de la producción.

Es así, que se contextualizan los sistemas de producción y/o fabricación de esta forma, cuando se hace referencia a un sistema de fabricación y/o producción, se estima que éstos son sistemas que están organizados a través de una serie de acciones y procedimientos vinculados entre sí. Dichas programaciones son necesarias para generar bienes y/o servicios de un alto valor agregado para un cliente determinado, considerando además, el uso de los recursos apropiados y la posible utilización de metodologías eficientes que cumplan con los objetivos, para las cuales fueron planteadas. Debido a lo cual, se presentará, más adelante, cuando se desarrollen los sistemas de planificación y control de la producción.

Con ello, en la industria actual, ya sea del área manufactura (que se encarga de generar productos) o de servicios (tales como telefonía o reparaciones de equipos tecnológicos), los sistemas de producción establecen las estructuras productivas asociadas en referencia al proceso de transformación (conversión) de los inputs (materias primas, recursos humanos, recursos financieros, recursos informativos, recursos energéticos, entre otros.) en outputs (bienes y/o servicios) para satisfacer determinadas necesidades, requerimientos y expectativas de los consumidores, de la forma más lógica y competitiva posible dentro del mercado en que se esté desarrollando.

De esta forma, en la Figura 1.2 se puede apreciar un ejemplo real de un modelo, es decir, un proceso de producción de reparación, propios de equipos médicos, que refleja el tema central del caso de estudio de aplicación, que se detallará en el informe .La Figura que se presenta, muestra un contraste entre inputs, procesos u outputs.

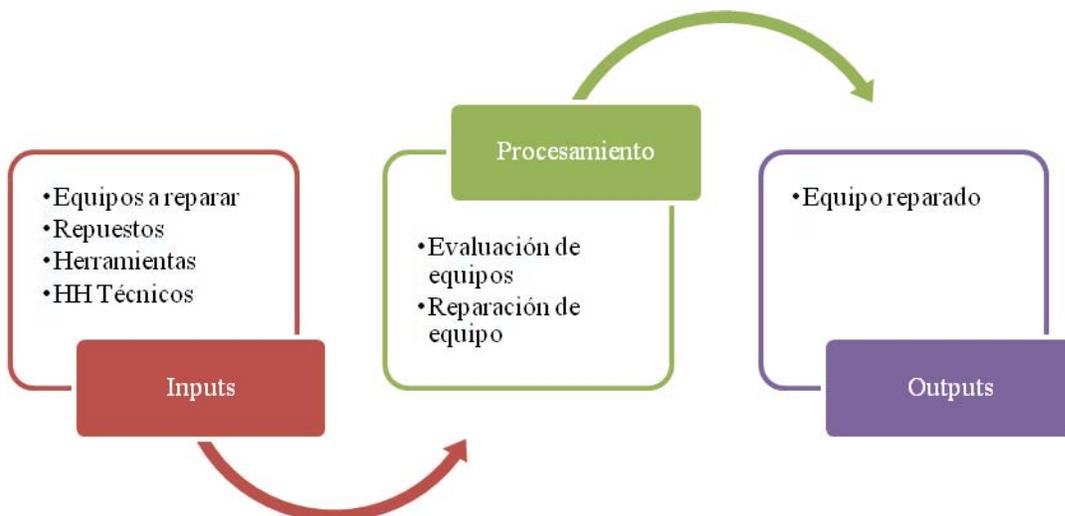


Figura 1.2: Modelo de proceso de transformación de inputs en outputs.

Además, cabe señalar que los sistemas de planificación y control de la producción tienen la capacidad de mostrar apropiadamente, las características de los sistemas productivos, dando la flexibilidad para contemplar dentro de la planificación y el control de forma integrada de los procesos de producción, considerando con ello la inclusión de materias primas, maquinarias, recursos humanos y en algunos determinados casos, los proveedores correspondientes. Así, los alcances de estos sistemas comprenden, por medio de las tareas administrativas básicas, que se mencionan en la Tabla 1.1 [3].

Tabla 1.1 Alcances de los sistemas de planificación y control de la producción [3].

Alcance	Definición/Explicación
Planificación de las necesidades	La planificación de las necesidades de capacidad y la correspondiente disponibilidad para cumplir con las necesidades establecidas por el mercado demandante.
Planificación del flujo	La planificación del flujo de materias primas, contemplando el cumplimiento en términos de fechas y cantidades establecidas para el funcionamiento de la producción.
Aseguramiento de la utilización de los equipos	Correspondiente aseguramiento de la utilización de los equipos e instalaciones, contemplando mantener los protocolos establecidos en razón a un uso apropiado.
Mantenimiento de inventarios	Correcto mantenimiento de inventarios de materias primas, de trabajos en proceso y productos finales en contexto de almacenamiento y lugares de producción.
Programación de las actividades	Se refiere al uso conjunto de recurso humano y tecnológico, para que estén asociados en una correcta forma de producción.
Seguimiento de las materias primas	Un constante seguimiento de las materias primas, recursos humanos, equipos y todos aquellos elementos de la planta productiva (comúnmente denominada fábrica).
Comunicación con proveedores	La comunicación con proveedores y asimismo con los clientes para construir las relaciones correspondientes a satisfacer el sistema productivo.
Proporcionar la información	Se entrega la información a distintas áreas acerca de las consecuencias físicas y financieras de las actividades de producción que se llevan a cabo.

En razón a lo expuesto, en la Figura 1.3 se muestra el esquema de un sistema de planificación y control de la producción, donde se da a conocer la estructura de soporte para todas las actividades que se requieren. Se debe hacer mención que el sistema de producción completo incluye otras entradas de datos, módulos del sistema y conexiones de retroalimentación que en este caso se dejan fuera de contexto por el alcance definido en el trabajo a realizar.

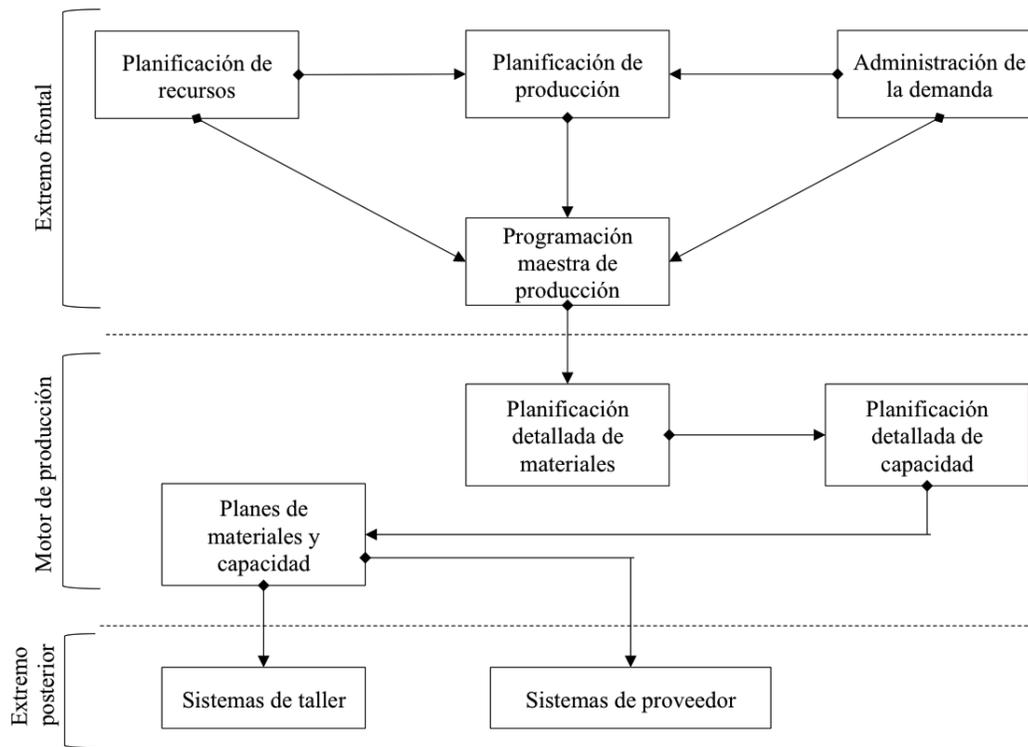


Figura 1.3: Esquema simplificado de un sistema de planificación y control moderno [3].

De esta forma, cuando se hace referencia al extremo frontal se establece el conjunto de actividades y sistemas para definir la dirección general del sistema productivo, donde esta fase establece los objetivos principales de la empresa para la correspondiente planificación y control de la producción. Con ello, la administración de la demanda considera el debido pronóstico de ventas, a recepción de órdenes de trabajo u órdenes de producción, la distribución de productos, las necesidades asociadas que nacen como consecuencia a la producción, entre otras. De esta forma, la planificación de producción entrega la entrada de producción al plan de acción de las empresas y señala el papel concerniente al plan estratégico de las compañías.

Es así, que el programa maestro de producción es la versión desglosada del plan de producción, esto quiere decir, que se establecen aquellos productos u opciones de productos que se producirán en el futuro producto del proceso señalado. El tercio central o motor, es el conjunto de sistemas que sirven para realizar la planificación detallada de materiales y capacidad. Por su parte, el programa maestro de producción alimenta directamente al módulo de planificación detallada de materiales. En tanto, las empresas con un número establecido y limitado de productos pueden especificar tasas de producción para desarrollar estos planes. No obstante, las empresas que producen una gran variedad de productos con muchas piezas cada uno, la planificación detallada de materiales puede representar el cálculo de los requerimientos de miles de piezas y componentes [3]. Se emplea para ello una lógica formal denominada Planificación de Requerimientos de Materiales (MRP, *Material Requirements Planning*).

Por último, el tercio inferior o extremo posterior representa los sistemas de ejecución. En este extremo, la configuración del sistema depende directamente de las necesidades del proceso. Por ejemplo, las empresas que

producen una gran variedad de productos con miles de piezas, generalmente agrupan todos los equipos de un tipo similar en un mismo centro de trabajo; sus sistemas de control de taller establecen prioridades para todas las órdenes de taller, en cada centro de trabajo de manera que las órdenes pueden programarse de forma apropiada.

En consecuencia, si se analiza el medio de las empresas, se podrá encontrar que existen distintos sistemas de producción en las compañías manufacturas y también en el ámbito de generación de servicios, respondiendo como es razonable, a características propias de sus procesos y capacidad de funcionamiento, considerando esto como consecuencia la existencia de una gran variedad de procesos existentes en relación a la producción.

La gran cantidad de procesos existentes y los latentes principios de clasificación pueden crear una dificultad para encontrar una clasificación absoluta que de manera única y certera, contemple cada uno de los casos posibles en concreto. Para ello, se hace necesario realizar una breve formalización de los sistemas productivos, los cuales formarán la base de lo contemplado a exponer en este documento. Así, uno de los primeros autores en desarrollar y establecer los tipos de sistemas fue Woodward [4], quien formalizó el hecho de que las tecnologías de fabricación se podían encuadrar en tres grandes categorías. Lo anterior, se detalla en la Figura 1.4.

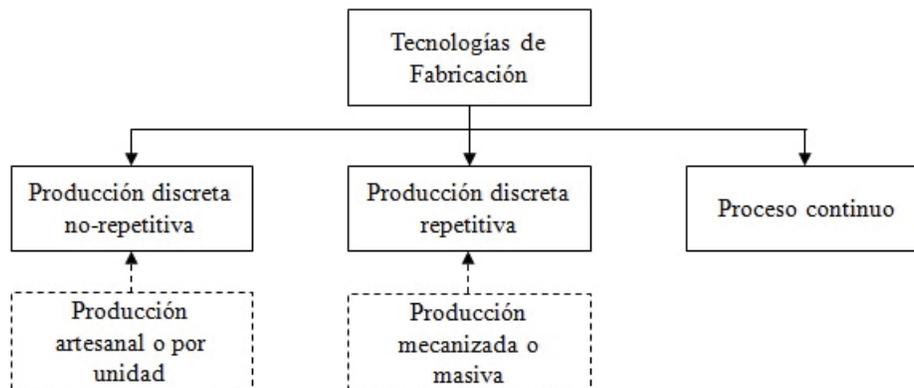


Figura 1.4: Formalización de tecnologías de producción de Woodward [4].

Es así que, de la Figura 1.4 se puede mencionar que cada categoría implica una metodología distinta para obtener los productos, las diferencias principales son:

- ❖ El grado de estandarización y automatización.
- ❖ Tipo de proceso y la repetitividad de la producción.

Con esto, la tipología propuesta por Woodward [4] distingue entre fabricación en unidades, de lotes pequeños, de grandes lotes, la tradicional producción en serie y aquellos procesos de transformación de flujo continuo. La propuesta del autor ha marcado indicios y estándares en la comunidad que trabaja en relación a los temas de producción.

Ahora bien, la problemática principal de los tipos de clasificación de sistemas de producción, reside en que aunque son útiles desde la perspectiva de contextualización y propiedades de las entidades de producción, no resultan muy provechosas para el desarrollo de análisis competitivos y estratégicos en el contexto de fabricación, debido a que entre otros elementos, al tener como características principales ser demasiado amplias y globales, no logran

identificar una cantidad finita y discreta de opciones efectivas de sistemas de producción que reflejen las distintas formas existentes de generar los bienes y/o servicios. De esta forma, no contemplan en sus procedimientos la interrelación fundamental entre el producto y el proceso, dejando fuera de esta forma las potenciales implicaciones que representa para las entidades empresariales la elección de uno u otro sistema para llevar a cabo su proceso de producción, expresadas en términos de las diferentes dimensiones técnicas y empresariales que componen un sistema de producción determinado.

Autores modernos [5] resaltan que cada sistema de producción, determinado esencialmente por su proceso productivo, implica un conjunto de elementos y características para las empresas, en cuanto al comportamiento apropiado de las diferentes dimensiones de fabricación y empresariales. Según este enfoque, y haciendo un análisis más detallado de los distintos trabajos y literatura consultada, se ha encontrado que los autores han aceptado por lo general, la existencia de ocho tipologías de sistemas o estructuras productivas bien definidas: proyecto, *Job-Shop*, lotes (*batch*), línea acompañada por equipo, línea acompañada por obrero, configuración continua, *just in time*, sistema flexible de fabricación, entre otras.

De acuerdo a ello, dentro del sistema de producción usado, para definir los casos de prueba que se realizarán como objetivo de la implementación de un sistema de planificación automático, esto contempla la utilización de la cadena de producción estructurada para la secuenciación de tareas denominada *Flow-Shop*, la cual requiere que cada una de las tareas a ejecutar pasen por todas las máquinas en el mismo orden [6].

Así, se destaca que el problema del *Flow-Shop* generalmente implica la minimización de un tiempo de ciclo, calculado, por ejemplo, como la duración de los trabajos en las diferentes máquinas, más lo que se tarda en adecuar la máquina para poder ejecutar la tarea que viene. Este procedimiento, en muchos casos, trata de prevenir la ocurrencia de cuellos de botella de manera que la línea de producción final no sufra paradas o acumulación excesiva de inventario.

Con ello, se debe mencionar la existencia de numerosos estudios [6] acerca de estos problemas en la línea de producción, los cuales pueden estar realizados en base a diferentes criterios, tales como la minimización de los costos o la maximización de utilidades como están descritos en la investigación de Noushabadia [7]. Así, en el estudio de Erel [8], se explican diferentes medidas para este problema considerando su complejidad. Cabe señalar que todos los factores considerados en el problema abordado y la contextualización de las variables que participan de la solución planteada a este problema se mencionarán en detalle.

1.2 Objetivos

Ahora, se presentará el objetivo general. Posteriormente, se señalarán los objetivos específicos que apoyan el objetivo principal.

1.2.1 Objetivo general

Aplicar un sistema de planificación de la producción de tipo *Flow-Shop* a la reparación de equipos médicos, en la Unidad de Equipos Médicos de un Hospital. Se debe señalar que se tomarán en cuenta algunos factores esenciales

para cumplir con este objetivo, los cuales se muestran en la Figura 1.5. Para ello, se debe contemplar que estos denominados hitos y elementos necesarios para el proceso de trabajo de implementación de la automatización de planificación, y más tarde definición de la adopción de la metodología, deben ser tratados por separado en cada uno de sus contextos.

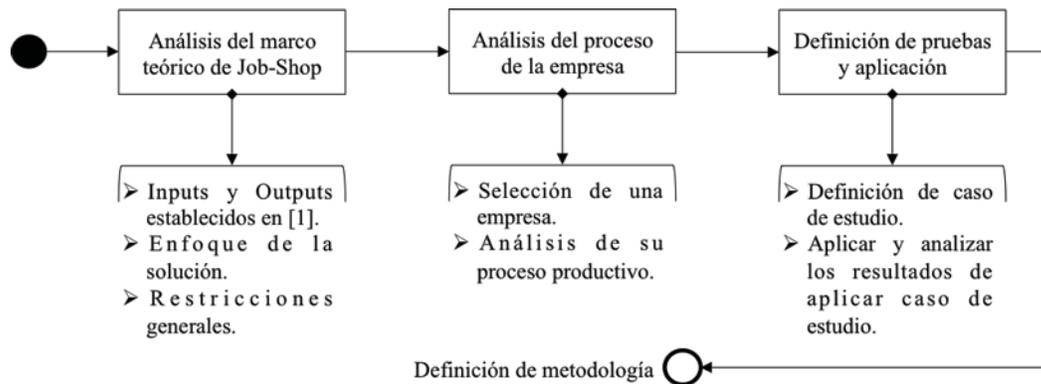


Figura 1.5: Fases generales a considerar dentro de los objetivos.

En consecuencia, se debe considerar al realizar las metas y/o actividades expuestas en la Figura 1.5, se debería cumplir con el objetivo general de evaluar la implantación de la planificación tipo *Flow-Shop*, en una empresa y definir los casos y pasos necesarios para su aplicación en cualquier otra empresa que cumpla con los requerimientos y restricciones que se definirán.

1.2.2 Objetivos específicos

Para el logro del objetivo general, se hace necesario realizar los objetivos específicos, que mediante su cumplimiento sistemático, darán forma al producto final. Estos son:

1. Estudiar e identificar todos aquellos elementos del problema de planificación tipo *Flow-Shop* que coinciden y configuran la producción de reparación de equipos médicos para el sector de salud pública, buscando minimizar su tiempo de producción.
2. Definir las características de la industria que se acomoda al problema de *Flow-Shop Scheduling* y seleccionar una empresa nacional que cumpla con aquello para formar parte del caso de estudio.
3. Definir el proceso productivo actual que se ha seleccionado para el caso de estudio.
4. Obtener y cuantificar los costos y capacidad de producción actual (entiéndase como actual el estado anterior a la prueba a realizar).
5. Desarrollar una aplicación de software y aplicar planificación tipo *Flow-Shop* a este proceso productivo.
6. Obtener los resultados de la aplicación de la planificación mediante el software y las pruebas en proceso productivo y la cuantificación de costos y capacidad de producciones posteriores.
7. Comparar los resultados de los costos y capacidad de producción que se tenía antes de la aplicación y posterior a la aplicación de la planificación tipo *Flow-Shop*.

Para ello se consideran cuatro etapas, donde se encuentran encapsuladas los siete objetivos específicos antes mencionados, para ello obsérvese la Figura 1.6 donde se muestra de forma gráfica la organización de dichas etapas.

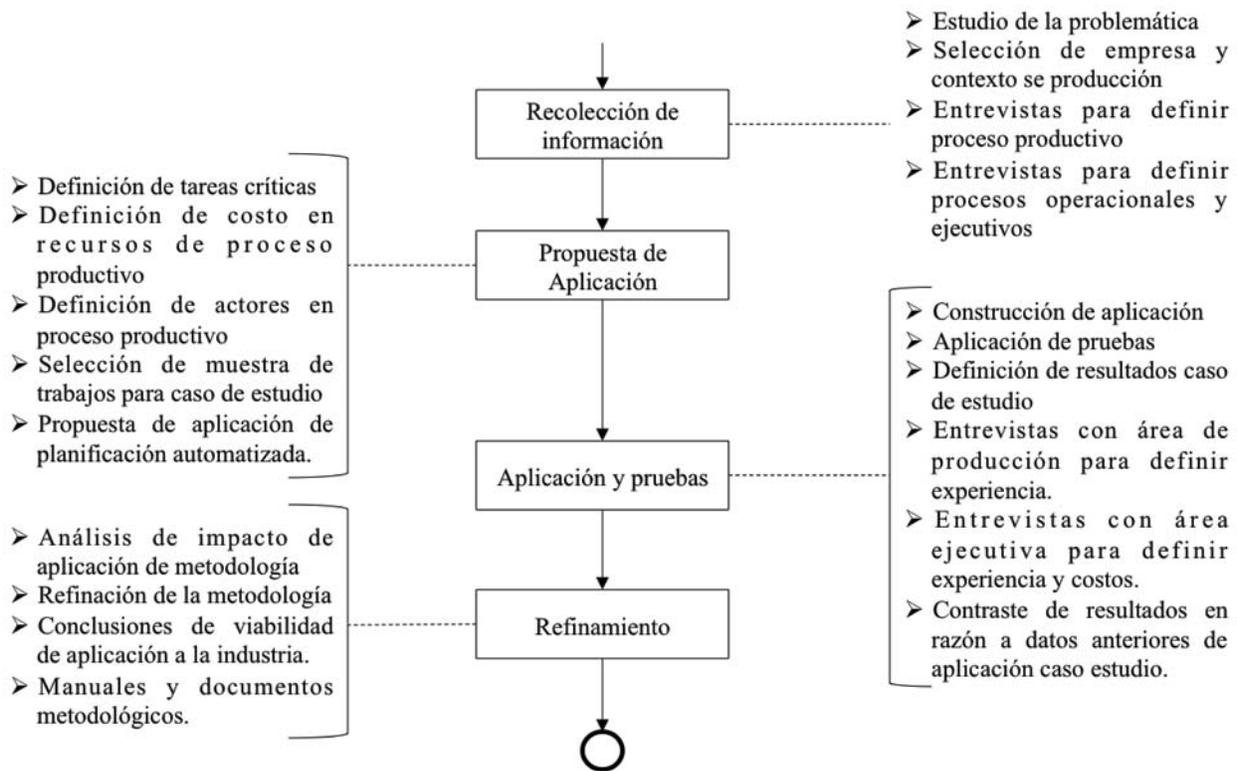


Figura 1.6: Etapas propuestas para la investigación a realizar.

Es así, como se busca establecer a través de todos los elementos definidos en la Figura anterior, y en razón al objetivo general desglosado en los correspondientes objetivos específicos, el caso de estudio correspondiente para definir la viabilidad y el comportamiento de la aplicación de planificación de producción automatizada haciendo uso de la reutilización de módulos del producto de software que da solución a la problemática de *Job-Shop* utilizada en [9] adaptándola para su funcionamiento en *Flow-Shop*; se analizarán todos aquellos elementos que interactúan en este problema logrando con ello establecer las razones para adoptar o no este tipo de soluciones en la industria nacional. Con ello, también se debe destacar que se realizará un estudio acabado del proceso productivo de la Unidad de Equipos Médicos del Hospital Gustavo Fricke, para el caso de estudio.

1.3 Metodología

En este apartado, se hará referencia a la metodología definida en las áreas de investigación y diseño de las pruebas necesarias para la aplicación de la planificación automática, asimismo el diseño y construcción del software correspondiente para la misma.

1.3.1 Metodología de investigación

Como metodología a aplicar, se presenta una adaptación de la metodología de adopción de comercio electrónico en las empresas chilenas definidas en Plana [10], que se basa en el contenido de la descripción y argumentación de

las principales decisiones metodológicas adoptadas, según el tema de investigación y las posibilidades de desarrollo. La claridad en el enfoque y estructura metodológica es una condición necesaria para asegurar la validez de la investigación desarrollada en este informe. Cabe señalar que se adopta este enfoque, debido a que existe una relación directa entre la aplicación de metodologías ligadas a nuevas tecnologías, donde se desconoce, en primera instancia, la reacción del proceso productivo, sin embargo, se conoce la forma en que se desea abordar el problema.

De esta manera, se sabe que el estudio que se presenta está basado en los conceptos de adopción, aplicación y difusión de un proceso de aplicación de planificación automatizada para el problema de *Flow-Shop* contextualizado en las empresas a nivel nacional. Asimismo, la metodología propuesta recae directamente en el contexto de la planificación estratégica como se aprecia en capítulos posteriores, y de cómo la adopción de nuevas tecnologías que busquen optimizar los procesos productivos, afectan directamente a los resultados finales obtenidos, en dicha planificación estratégica de las distintas empresas.

Debido a que este estudio se basa en la observación de las actitudes y resultados obtenidos de la aplicación de un modelo de sistema productivo se utilizará un enfoque híbrido con una mayor tendencia hacia el enfoque de estudio cualitativo, de esta forma, se definen a continuación cada uno de los dos enfoques y su relación con la temática que se está trabajando.

1.3.1.1 Enfoque cualitativo y cuantitativo

El objetivo fundamental de las investigaciones de carácter científico es adquirir cierto grado de conocimientos y la elección del método adecuado que permita conocer la realidad fundamental [11]. De esta forma, los métodos inductivos y deductivos tienen objetivos diferentes y podrían ser resumidos como desarrollo de la teoría y análisis de la teoría respectivamente. Los métodos inductivos están generalmente asociados con la investigación cualitativa, mientras que el método deductivo está asociado frecuentemente con la investigación cuantitativa.

Es así como la investigación cuantitativa es aquella en la que se recogen y analizan datos cuantitativos sobre variables. La investigación cualitativa difiere y disminuye la cuantificación de la información, pero aun así se complementan de forma de obtener resultados y conclusiones que den respuesta a distintas áreas de la sociedad. Para ello, los investigadores cualitativos hacen registros narrativos de los fenómenos que son estudiados mediante técnicas como la observación participante y las entrevistas no estructuradas [12].

Ahora bien, la diferencia fundamental entre ambas metodologías es que la cuantitativa estudia la asociación o relación entre variables cuantificadas y la cualitativa, lo hace en contextos estructurales y situacionales [13]. De esta forma, la investigación cualitativa trata de identificar la naturaleza profunda de las realidades, su sistema de relaciones y su estructura dinámica. Por su parte, la investigación cuantitativa trata de determinar la fuerza de asociación o correlación entre variables, la generalización y objetivación de los resultados, a través de una muestra para hacer inferencia a una población de la cual toda muestra procede.

Es así que el método científico, tras una observación, genera una hipótesis que contrasta y emite posteriormente las conclusiones derivadas de dicho contraste de hipótesis. El contrastar una hipótesis repetidamente verificada no da

absoluta garantía de su generalización, ya que como señala Karl Popper [14], no se dispone de ningún método capaz de garantizar que la generalización de una hipótesis sea válida [14].

En relación a lo expuesto, se puede apreciar la Tabla 1.2 donde se señalan las principales diferencias que existe entre los modelos de investigación cualitativo y cuantitativo.

Tabla 1.2 Diferencias entre modelos de investigación [10].

Investigación cualitativa	Investigación cuantitativa
Centrada en la fenomenología y comprensión	Basada en la inducción probabilística del positivismo lógico
Observación natural sin control	Medición penetrante y controlada
Subjetiva	Objetiva
Inferencias de sus datos	Inferencias más allá de los datos
Exploratoria, inductiva y descriptiva	Confirmatoria, inferencial y deductiva
Orientada al proceso	Orientada al resultado
Datos "ricos y profundos"	Datos "sólidos y repetibles"
No generalizable	Generalizable
Holista	Particularista
Realidad dinámica	Realidad estática

Asimismo, como se mencionó en esta investigación se adoptará un enfoque híbrido, el cual se ha tomado elementos de la investigación cualitativa y cuantitativa. Ventajas y desventajas de los enfoques

Las ventajas e inconvenientes de los métodos cuantitativos en comparación a los cualitativos, se muestran en la Tabla 1.3. De forma general los métodos cuantitativos son efectivos en términos de validez externa, debido a que con una muestra representativa de la población hacen inferencia a la misma, a partir de una muestra como se aprecia en la Figura 1.7, con una seguridad y precisión definida.

Ahora bien, una limitación de los métodos cualitativos es su dificultad para generalizar, es decir, tienen la desventaja de poder identificar y catalogar los resultados basados en métricas exactas. La investigación cuantitativa con los test de hipótesis no sólo permite eliminar el papel del azar para descartar o rechazar una hipótesis, sino que permite cuantificar la relevancia clínica de un fenómeno midiendo la reducción relativa del riesgo, la reducción absoluta del riesgo y el número necesario de pacientes a tratar para evitar un evento [15].

Tabla 1.3 Diferencias entre modelos de investigación [10].

Métodos cualitativos	Métodos cuantitativos
Capacidad de comunicarse con los sujetos del estudio [15].	Capacidad a servirse de los sujetos del estudio [15].
Se limita a preguntar [15].	Se limita a responder [15].
Comunicación más horizontal entre el investigador y los investigados, mayor	---

naturalidad y habilidad de estudiar los factores sociales en un escenario natural [16].	
Son fuertes en términos de validez interna, pero son débiles en validez externa, lo que encuentran no es generalizable a la población	Son débiles en términos de validez interna -casi nunca se sabe si miden lo que quieren medir-, pero son fuertes en validez externa, lo que encuentran es generalizable a la población [17].
Preguntan a los cuantitativos: ¿Cuán particulares son los hallazgos?	Preguntan a los cualitativos: ¿Son generalizables tus hallazgos?

El empleo de ambos procedimientos en una investigación, podría ayudar a corregir los sesgos propios de cada método, pero el hecho de que la metodología cuantitativa sea la más empleada no es producto del azar, sino de la evolución del método científico a lo largo de los años, como lo plantea Popper [14].

De esta forma, como se plantea el autor mencionado en [14] la cuantificación incrementa y facilita la comprensión de los elementos que dan respuesta al objetivo de estudio, dando razón a que se establece de forma directa el concepto que se mida lo que debe ser medido y a su vez se produzca la observación necesaria para determinar los efectos del estudio y las soluciones planteadas.

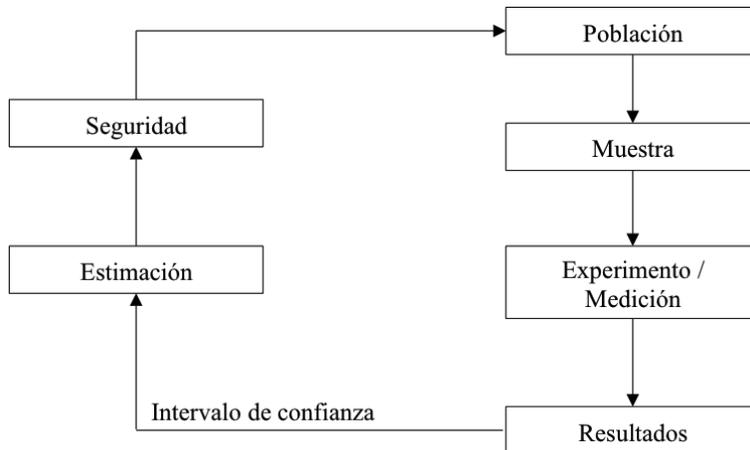


Figura 1.7 Elementos de inferencia estadística [14].

1.3.1.2 Metodología adaptada a la industria

Debido a que esta metodología busca ser implementada en un sector específico de la industria nacional, se reflejan en el estudio los factores que inhiben la adopción de *Flow- Shop*.

Este modelo es adoptado en razón a los objetivos buscados en el proyecto y las necesidades requeridas por la metodología. Complementariamente, se utilizó como base los resultados encontrados en una investigación sobre percepción y actitud respecto a las tecnologías en general a nivel nacional [17].

Dado este análisis, el objetivo que busca esta investigación es proponer una metodología de adopción de las planificaciones automatizadas adaptada a una Unidad de Equipos Médicos de un Hospital, que cumple con los requisitos de la problemática de *Flow-Shop*. Para ello, se hace necesario identificar la percepción y actitud de la Unidad, respecto a la automatización de su planificación de producción, mediante un análisis en profundidad de la situación actual, que permita llegar al objetivo buscado.

Para ello, se propone un análisis a través de los resultados obtenidos, provenientes de la aplicación del plan de pruebas en razón a la aplicación de algún modelo de adopción de planificación automatizada, cuyo objetivo fue estudiarlos y analizarlos, seleccionando una muestra que permita hacer comparaciones entre ellos y la situación que se presenta en el país [10].

De esta forma, la obtención de información se realizará mediante una investigación consistente en set de datos proporcionados por los encargados de las áreas funcionales de la entidad escogida como caso de estudio. Cabe destacar, que para la realización de las entrevistas para dar conocimiento al proceso productivo, estas se realizaron en razón a la empresa de acuerdo a una serie de rasgos y características estándares, tratando de observar la menor variabilidad entre sus modos de comportamiento, sino que enfocados en las características esenciales de *Flow-Shop*. Por ello, este proceso exige que la empresa tenga las características en su proceso de producción que se dan a conocer en el capítulo que habla de *Flow-Shop*. Asimismo, a las entrevistas se hace necesario sumar la recopilación de los datos duros de costos de producción y planificaciones de la misma contemplando con ello el proceso productivo de la empresa denominada como caso de estudio.

Y de esta forma, en la Figura 1.8 se presentan los pasos a seguir, durante la investigación, así como la interacción que se da entre cada uno de los pasos, dando la flexibilidad con ello de poder ir a cualquiera de estos para refinar o mejorar alguno de sus aspectos.

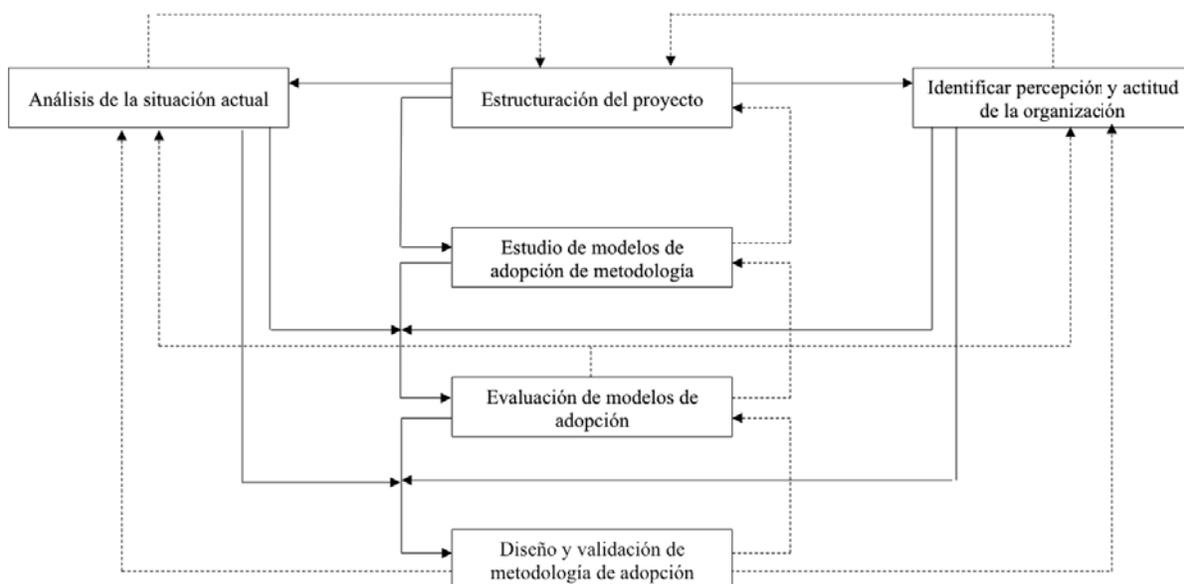


Figura 1.8 Pasos a seguir en el proceso de investigación [10].

1.4 Plan de trabajo

En consecuencia de los objetivos planteados en este capítulo, la realización del proyecto fue dividido en cuatro etapas que son detalladas a continuación:

1. **Recolección de información:** En esta etapa del plan de trabajo se desarrolla una investigación de las fuentes y las referencias localizadas durante el proceso de búsqueda de información (recolección de información). Es aquí donde se debería obtener los antecedentes necesarios del proceso de negocio de la empresa (caso de estudio), identificación de los actores y tareas principales del negocio, así como datos duros acerca del costo de producción.
2. **Propuesta de metodología:** Es aquí cuando producto del análisis de la información obtenida de la etapa anterior, se procede a configurar la propuesta de metodología de adopción e implantación del proceso productivo de *Flow-Shop* (automatización de planificaciones), para ello que se estipulan los documentos de prueba de caso de estudio correspondientes, los cuales deben ser llevados a cabo en la etapa siguiente. Con ello se establece un estudio de los procesos analizando el impacto o cambio que provoque la implementación de la automatización de la planificación de la producción.
3. **Aplicación de prueba caso de estudio:** El caso de estudio se lleva a cabo y se cuantifica el costo de aplicar la automatización del proceso productivo de la forma que establece la solución desarrollada. En esta etapa se contempla el caso proactivo y la evaluación directa de los efectos de aplicar esta temática en el proceso productivo de una empresa real.
4. **Conclusiones y refinamiento:** Dado a los resultados obtenidos de la aplicación de la prueba en el caso de estudio correspondiente se debe refinar el modelo de metodología propuesta, en razón a ello, se establece un modelo final que de viabilidad o asimismo se descarta aplicar este modelo de planificación automatizada justificando las razones.

1.4.1 Estructura del documento

El documento se encuentra estructurado a través de capítulos, que desarrollan temáticas en particular, pero con el cierto grado de cohesión en razón al problema que se está tratando, para ello se puede apreciar un resumen de cada capítulo:

Capítulo 1: Es un capítulo introductorio al tema, que presenta el marco teórico en referencia a la metodología a utilizar, la definición de los objetivos.

Capítulo 2: Este capítulo se centra en los procesos productivos, sus niveles, clasificaciones y elementos esenciales a tomar en cuenta en el conocimiento de los sistemas de producción que son necesarios para conocer el contexto de trabajo y desarrollo, así como elementos base que se utilizan en el trabajo de *Flow-Shop*.

Capítulo 3: En el tercer capítulo, llamado *Flow-Shop*, se presenta el problema, una definición formal del mismo, además se da a conocer el estado del arte de la problemática, que abarca temáticas como las teorías de aproximación y de optimización, asimismo, se presenta un tópico con el modelo matemático de *Flow-Shop*.

Capítulo 4: Contempla la solución propuesta a nivel de modelo matemático y optimización de los recursos, para ello se realiza una descripción de los procesos que componen la solución y todos aquellos factores heurísticos, meta heurísticos y algorítmicos que dan solución al problema planteado, buscando siempre como objetivo el llevar a cabo la implementación de lo expuesto.

Capítulo 5: Es aquí donde se da a conocer el caso de estudio, además, de todas las variables que participan del mismo. Se consideran todos los participantes para generar sus productos la excelencia y asimismo sucede con los procesos desarrollados, con el cumplimiento de los plazos pactados con los clientes, las responsabilidades, seriedad, centrado en la planificación de todos estos componentes.

Capítulo 6: Se muestran todos los elementos que corresponden al diseño del software, sus etapas correspondientes, la metodología de desarrollo y el inventario completo de selección de equipos que corresponden a las tareas planificadas en el caso de estudio.

Capítulo 7: En el penúltimo capítulo, se aprecian todos los elementos que consideran los resultados y las pruebas realizadas, tomando en cuenta todos los aspectos que corresponden a los set de datos, pruebas con la aplicación, generación de las correspondientes planificaciones, donde se indican las tareas a asignar por técnico y por último, los resultados y análisis de las mismas.

Capítulo 8: Por último, el capítulo de conclusiones entrega una visión general de las definiciones del problema, las tareas realizadas y el resultado obtenido.

2 El proceso productivo

El proceso productivo consiste en transformar entradas (insumos, conocidos a través del capítulo anterior como inputs) en salidas, (bienes o servicios, mencionado en el capítulo antecesor como outputs) por medio del uso de recursos físicos, tecnológicos, humanos, entre otros.

Un proceso productivo incluye acciones que ocurren de forma planificada y producen un cambio o transformación de materiales, objetos o sistemas, al final de los cuales se obtiene un producto. Un ejemplo de proceso productivo se puede ver en el capítulo anterior, donde se mostró de forma generalizada inputs requeridos para un proceso de producción, su transformación y por último, la salida de ese proceso de transformación de recursos.

De esta forma, que en este capítulo se abarcará la temática de la clasificación y características de las configuraciones productivas enfocados en las razones de optimización de tardanzas de producción para la industria.

2.1 Introducción

El proceso de planificación y diseño de los productos generalmente determinan el momento, las características y el conjunto de opciones que se ponen a disposición del mercado (oferta) para responder a los desafíos y oportunidades del medio en que se mueve la empresa, de esta forma contribuyen a determinar su posición competitiva en el mercado.

El procedimiento de diseño de procesos determina la forma en que se procederá al desarrollo de todas las actividades que la fábrica o proceso productivo se tiene que encargar de desarrollar, con ello guiando la elección y selección de las tecnologías de la organización, tomando en cuenta los momentos y las cantidades de recursos productivos a adquirir, así como la disponibilidad de estos mismos.

Al formalizar el contexto y/o mercado seleccionado de la línea de productos que se va a ofrecer, la estrategia de producto influye directamente sobre los tipos de capacidad productiva que serán necesarios para llevar a cabo estas tareas, influencia que se ejerce en sentido descendente. Inversamente, los tipos de capacidad existentes, determinados por la estrategia de proceso, pueden influir sobre los productos a fabricar, en cuyo caso la influencia se ejerce en sentido ascendente.

De esta forma, antes de que se pueda formalizar una decisión sobre el proceso productivo, debe existir noción del volumen de producción planificado, es decir, se deben tomar en cuenta todos los aspectos que interactúan en la toma de decisión, en referencia al proceso de producción. En la Figura 2.1, se muestran los elementos que tienen que ser tomados en consideración al momento de pensar la formalización de un proceso productivo, donde uno de los elementos con los que más se interactuará dentro de esta investigación es la configuración productiva y así como también con cierto grado la capacidad productiva con que se cuenta.

Así, el tipo de proceso productivo que se seleccione deberá seguir las pautas delimitadas por la estrategia de operaciones; con esto, si el posicionamiento para un determinado producto consiste en la elaboración de lotes pequeños de artículos a la medida, que se suministrarán inmediatamente después de su fabricación, el proceso productivo debe reunir la flexibilidad suficiente para elaborar económicamente los ítems y entregarlos en un tiempo competitivo. Y con ello, no se debe olvidar que todos los elementos mencionados anteriormente interactúan de forma compleja y en casos indirecta entre sí.

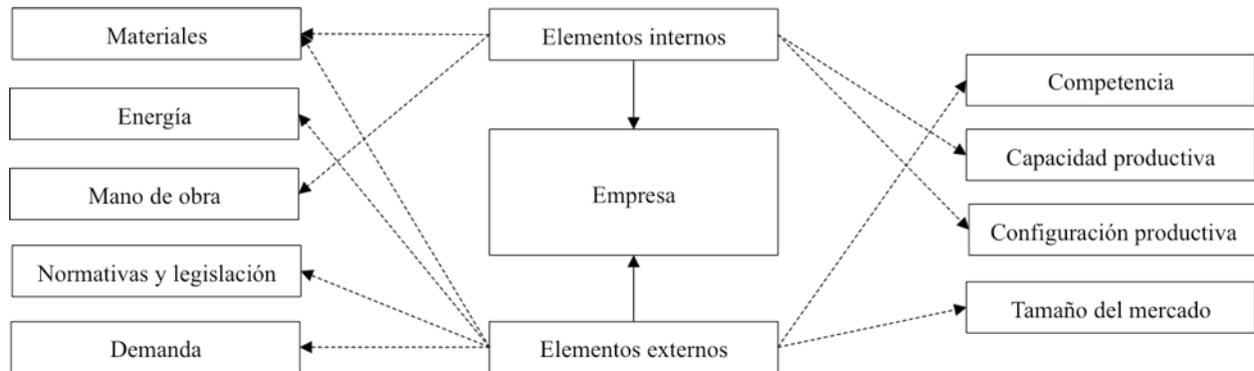


Figura 2.1 Elementos a considerar para formalizar un proceso productivo [9].

Todo esto puede influir directamente en la capacidad final de la empresa o proceso productivo en específico, donde la capacidad tiene carácter estratégico porque condiciona la competitividad de la empresa. En la Tabla 2.1 se muestra una comparación breve sobre algunos factores a considerar para la capacidad productiva.

Tabla 2.1 Problemas de capacidad productiva y efectos.

Falta de capacidad	Exceso de capacidad
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Problemas en el abastecimiento. ❖ Gestión deficiente en organización a través de planes de trabajo y/o producción. ❖ No existencia de planes de contingencia. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Costos de sub-actividad, lo cual estimula la demanda y genera problemas de capacidad productiva. ❖ Ocio en tiempos que no existe demanda de producción.

2.1.1 Producción y fabricación

Como se ha definido anteriormente, el concepto de producción va relacionado directamente con agregar valor a un bien o un servicio, esto va como resultado de una transformación de un cierto número de inputs. Entonces, se puede definir que producir es modificar los bienes o servicios de tal forma que se vuelvan aptos para satisfacer alguna necesidad.

De esta forma, el concepto de producción no está únicamente asociado con la fabricación, sino con muchas otras actividades. Por lo tanto, hay que distinguir entre producción de servicios y producción de bienes materiales. Dentro de las actividades que aparecen en la producción, se presenta: la fabricación, distribución, transporte, almacenamiento, logística, y la comercialización. Cuando se habla de agregar valor a un bien o servicio, por efecto

de una transformación, aparecen tres conceptos claramente definidos, estos son los inputs, los procesos de transformación y los outputs.

2.2 Tipos de procesos de producción o configuraciones productivas

Se pueden encontrar varias clasificaciones en referencia a las configuraciones de producción propuestas por diferentes autores. De esta forma, Woodward [19], fue quien propuso una primera clasificación sobre esta materia, que distingue entre fabricación por unidades, en cantidades pequeñas (lotes pequeños), de grandes lotes, producción en serie y procesos continuos; ahora, la desventaja principal de la clasificación de Woodward está en la dificultad de caracterizar sin ambigüedad la diferencia entre pequeños y grandes lotes. Para ello, se puede presentar una clasificación en función de la continuidad en la obtención del producto en:

- ❖ Por proyectos: cuando se obtiene uno o pocos productos con un largo período de fabricación.
- ❖ Por lotes: cuando se obtienen productos diferentes en las mismas instalaciones.
- ❖ Continua: cuando se obtiene siempre el mismo producto en la misma instalación.

En la clasificación por lotes, se puede destacar que aún existe una división mayor, ya que no es lo mismo que las distintas máquinas estén organizadas focalizadas en las operaciones que realizan (esto existe cuando los distintos lotes de fabricación son pequeños y diferentes, lo que se conoce como *Job-Shop*). En otro sentido, que las máquinas estén organizadas dependiendo del flujo de productos (ya que se da cuando los lotes tienen un mayor tamaño, y que se denomina *Flow-Shop* o taller de flujo).

Asimismo, existen más subdivisiones que se pueden analizar, donde, una de las más conocidas la de Hayes y Wheelwright [20] que en referencia a la clasificación por lotes, establece que se puede presentar en tres formas diferentes, lo que da origen a la clasificación propuesta por Hayes y Wheelwright, que distingue entre las categorías de proyecto, talleres o a medida, en *batch*, en línea y continua, que, es similar a la establecida por Woodward, hace desaparecer el problema de la dimensión de los lotes.

2.2.1 Configuración productiva por proyectos

La configuración de proyectos es la que se emplea para la elaboración de productos o generación de servicios que son únicos y de cierta complejidad (por ejemplo: barcos petroleros, aviones modernos, grandes e innovadoras autopistas, entre otras), que se obtienen a partir de la sincronización en el uso de los inputs que generalmente son de gran tamaño.

Es así, que se puede destacar que este tipo de configuración se utiliza para la obtención de productos únicos, como fue expuesto anteriormente, y de cierta complejidad, los cuales se obtienen a partir de una serie de recursos que suelen ser numerosos y de gran tamaño.

Ahora, la configuración por proyectos requiere la coordinación de un gran número de actividades y recursos interrelacionados, de tal forma que se satisfagan las necesidades de los clientes a la vez que se minimiza el costo de los recursos empleados. Para ello se emplean una serie de técnicas, denominadas genéricamente técnicas PERT. Así, el objetivo de los sistemas tipo PERT consiste en ayudar en la planificación y el control, por lo que no implica

mucha optimización directa. Algunas veces el objetivo primario es determinar la probabilidad de cumplir con fechas de entrega específicas. También identifica aquellas actividades que son más probables que se conviertan en cuellos de botella y señala, por ende, en qué puntos se debe realizar el mayor esfuerzo para no tener retrasos. También tiene como objetivo evaluar el efecto de los cambios del programa como sería el posible cambio en la asignación de recursos de las actividades menos críticas a aquellas que se identificaron con cuellos de botella.

2.2.2 Configuración productiva por lotes

Uno de los aspectos que marcan la diferencia de la configuración por lotes es que utiliza las mismas instalaciones para la obtención de múltiples productos. En función del tamaño de los lotes fabricados se produce la diferencia entre configuración *Job-shop* y configuración *Flow-Shop*.

2.2.2.1 Configuración *Job-Shop*

La principal característica de la configuración *Job-Shop* es que se producen lotes pequeños con productos muy variados con escasa estandarización (llamados productos a medida o con muchas opciones personalizadas), haciendo uso de equipos de baja especialización, los cuales generalmente se agrupan en Talleres o Centros de Trabajo, a partir de la función que desarrollan, de esta forma estos equipos suelen ser variados y dinámicos, asimismo, permiten ejecutar operaciones diversas, por lo que puede avanzarse en una amplia variedad de outputs. Así, dentro de este tipo de configuración se pueden distinguir dos situaciones:

- ❖ Configuración a Medida o de Talleres: En esta situación, el proceso de obtención de un producto requiere un número limitado (generalmente pequeño) de operaciones de poca especialización, las cuales son realizadas por el mismo trabajador o por un grupo de ellos, que se hacen cargo de todo el proceso de producción de un pedido determinado usando los centros de trabajo para el desarrollo de las distintas operaciones. Por ejemplo, se tiene una empresa que fabrica muebles a medida.
- ❖ Configuración en Batch: Aquí, el proceso de producción toma en cuenta más operaciones, asimismo estas operaciones son más especializadas que en el caso anterior, conllevando a que difícilmente un mismo operario podría dominarlas todas con una eficiencia aceptable. En este caso, los centros de trabajo están equipados de maquinarias más sofisticadas y enfocadas a ciertos tipos de operaciones, por lo que se requiere de una mayor inversión para su adquisición y mantenimiento posterior. Aquí la automatización de los procesos sigue siendo baja y se mantiene una buena flexibilidad, un ejemplo de esto, podría ser una fábrica normal de muebles, donde el cliente puede hacer la elección de la tapicería de un sofá y la forma que tendrá, pero solo puede hacer las elecciones dentro de un catálogo que la empresa le proporciona.

En la Figura 2.2 se muestran las etapas para la construcción de un producto a medida, donde se considera como factor principal la organización de las etapas en un eventual desglose.

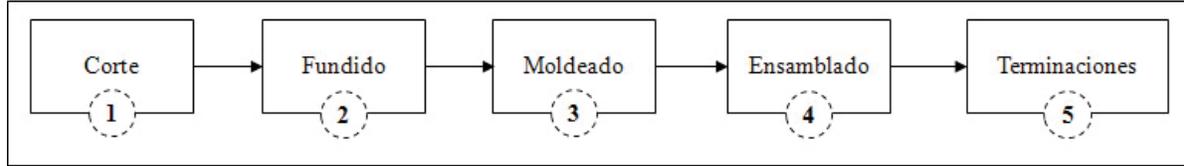


Figura 2.2: Etapas para la construcción de un ala de un avión a medida [9].

2.2.2.2 Configuración *Flow-Shop*

En particular, cuando se trabaja con niveles de fabricación de grandes lotes de pocos productos, con pocas variaciones, usando para su producción las mismas instalaciones, se está frente a lo que se conoce como configuración en línea, es decir, se trata de ítems con proceso de obtención en las centrales de trabajo que requieren una secuencia similar de operaciones, aunque algunos de ellos pueda saltar alguna que no le es necesaria, por lo que las máquinas se disponen en línea, una tras otra. Luego de fabricarse un lote de un ítem determinado, se procede con el ajuste de las máquinas para procesar la construcción de un lote distinto y esa operación se repite sucesivamente.

En este caso la máquina es mucho más especializada que en los anteriores, dándose una alta inversión en capital, así como una mayor automatización y homogeneidad de los procesos que en el *Job-Shop*.

Este tipo de configuración aprovecha las ventajas derivadas de la configuración continua y de *Job-Shop*. Así, normalmente implica un diseño de productos y procesos a largo plazo, con lo que pueden obtenerse economías de escala con el empleo de estos equipos.

A continuación, en la Figura 2.3 se puede apreciar lo anteriormente expuesto a través de un ejemplo, en el cual se aborda la construcción de una pieza metálica, donde se reciben los planos correspondientes, y se refleja como el proceso productivo sigue una línea más homogénea.

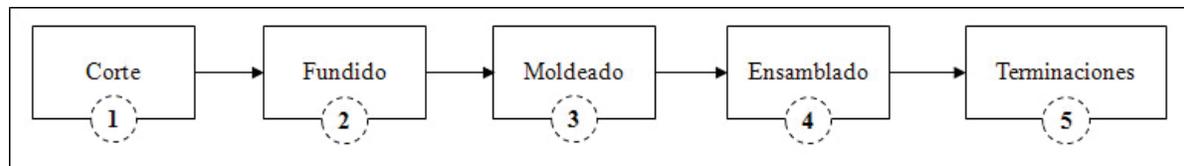


Figura 2.3: Línea de construcción de ala para avión Airbus A380 [9].

2.3 Planificación de la producción

La planificación es una etapa esencial que precede a los trabajos y engloba un objetivo determinado. Estos planes de acción se encuentran dentro de un contexto dinámico que lleva al administrador a ajustar sus planes al ritmo de los cambios. De esta forma, la planificación se debe hacer a largo plazo, como la necesaria para la construcción de una nueva planta industrial; a mediano plazo, como por ejemplo para la elaboración de los planes de producción y venta; y a corto plazo, como la que se realiza para los calendarios de producción [21]. Cada tipo de planificación responde a cierta necesidad de información y de control del administrador.

La planificación global define, para un período determinado, las orientaciones de la empresa en materia de producción de bienes y servicios. Su finalidad es evaluar el conjunto de recursos materiales, humanos y financieros

necesarios para las operaciones de producción de un período dado. El principal objetivo de la planificación global es satisfacer, al más bajo costo posible, los pronósticos de la demanda de un período en particular.

La realización de este objetivo está sujeta a restricciones internas y externas. La política de la empresa en materia de mano de obra, horas extraordinarias, almacenamiento y nivel de servicio a los clientes constituyen las restricciones internas. Las restricciones externas provienen de las condiciones tecnológicas y de la situación sociológica, económica del ambiente, y de la competencia, las cuales condicionan las variaciones de la demanda.

2.4 Programa general de producción

Se debe señalar que existe la necesidad de una serie de elementos de información para elaborar un programa general de producción. Para ello se hará necesario un conjunto de información que se debe destacar y tener en cuenta para poder realizar la planificación.

2.4.1 Pronósticos de la demanda

En una empresa que fabrica un sólo producto, el programa general de producción puede elaborarse a partir de los pronósticos de la demanda. Sin embargo, para una empresa que produce varios artículos, como es el caso del problema que se analiza. Primero, se debe encontrar una unidad de medida común. Así, para un taller mecánico, el número de horas/hombre o de horas/máquina por año; para una tienda, la cifra anual de ventas.

2.4.2 Niveles de inventario

Debe determinarse el nivel del inventario de productos terminados para el principio y para el final del período de planificación. Según los niveles fijados, la cantidad por producir será más o menos elevada, para ello la determinación de estos niveles dependen principalmente de la estabilidad de la demanda. Así, cuando la demanda del mes debe ser satisfecha al principio del mismo y la producción no está disponible sino hasta el final de dicho mes, es necesario prever un inventario final.

2.4.3 Capacidad de producción

En relación a la capacidad de producción, los informes relativos a la capacidad de producción pueden dividirse en tres categorías:

- ❖ Mano de obra en tiempo normal y suplementario
- ❖ Maquinaria
- ❖ A partir de esta información se evaluará la forma de responder a la demanda

2.4.3.1 Costos de producción

Se hace necesario destacar que los costos de producción, a veces denominados costos de operación, son los gastos necesarios para mantener un proyecto, es decir, para que funcione la línea de procesamiento o un equipo en funcionamiento [22]. Es por ello que en una compañía estándar, la diferencia entre el ingreso, ya sea por concepto de ventas u otras entradas, en este caso el costo de producción indica el beneficio bruto.

Esto significa que el destino económico de una empresa está asociado con el ingreso, como por ejemplo, los bienes vendidos en el mercado y el precio obtenido, además del costo de producción de los bienes vendidos. Mientras que el ingreso, particularmente el ingreso por ventas, está asociado al sector de comercialización de la empresa, el costo de producción está estrechamente relacionado con el sector tecnológico.

2.5 Planificación de un sistema de producción tipo *Flow-Shop*

Al trabajar con niveles de fabricación de grandes lotes de pocos productos y breves variaciones, usando para su producción las mismas instalaciones, se está frente a lo que se conoce como *configuración en línea*, que se trata de ítems con proceso de obtención en las centrales de trabajo que requieren una secuencia similar de operaciones, aunque algunos de ellos pueda saltar alguna que no le es necesaria, por lo que las maquinarias se disponen en línea, una tras otra. Luego de fabricarse un lote de un ítem determinado, se procede con el ajuste de las máquinas para procesar la construcción de un lote distinto, y esa operación se repite sucesivamente.

En este caso la maquinaria es mucho más especializada que en otras configuraciones productivas, por lo que se da una alta inversión en capital, así como una mayor automatización y homogeneidad, en comparación con *Job-Shop*. No obstante, debido a que han de ser ajustables para desarrollar operaciones muy similares, pero no exactamente iguales (con lo que hay ya una media o alta repetitividad) los equipos siguen siendo más versátiles que en la configuración continua (donde las instalaciones están diseñadas para la realización de una sola operación). Entonces, es necesario que su utilización sea alta para hacer frente a lotes de gran volumen; sólo así se podrá lograr un costo unitario bajo. Por ello, este tipo de empresas suelen fabricar para inventario.

Este tipo de configuración aprovecha en parte las ventajas derivadas de la configuración continua también conocida como en serie y de *Job-Shop*. Normalmente implica un diseño de productos y procesos a largo plazo y el esfuerzo merece la pena, dados los beneficios de la fabricación en serie (típica de las configuraciones continuas), con lo que pueden obtenerse economías de escala con el empleo de estos equipos. Por ejemplo, en la línea de montaje de un avión (Airbus A380) en el cual, aunque varíe el equipamiento, la motorización o el número de puertas, se trata siempre del mismo modelo.

2.5.1 Características del sistema de producción

Una de las posibles vías para llegar a una configuración en línea partiendo de un taller, consiste en el uso de la fabricación modular, que significa la especialización en la producción de ciertas piezas o actividades que pueden ser empleadas como componentes de diferentes bienes o servicios. Los antecedentes de esta práctica se pueden encontrar en las ampolletas tradicionales o en los tornillos.

Mediante la fabricación modular se incrementa la demanda de determinados componentes específicos, hasta que se logran niveles de ésta para los que sea factible la fabricación en serie y, a través del empleo de la tecnología de grupos, puedan asignarse estas familias agregadas a grupos de máquinas de forma que se logre el mejor aprovechamiento de las mismas.

Un tercer elemento de apoyo en la construcción de una línea son las piezas intercambiables. Se puede encontrar ante este tipo de componentes, cuando los *outputs* de un sistema productivo pueden mezclarse y expedirse en cualquier orden, para ser ensamblados con otras piezas producidas de forma similar. El concepto de piezas intercambiables puede ser descrito como todas las unidades fabricadas, conforme a las especificaciones de una clasificación de piezas de forma particular, que pueden ser tratadas como idénticas, con independencia del momento en que fueron elaboradas, así, cualquiera de ellas puede sustituir a otra de su fila, mientras que los módulos intercambiables de piezas se diseñan para que puedan ser transferidos entre productos.

2.5.2 Contextualización a sistemas productivos reales

A continuación, en la Figura 2.6 se puede apreciar lo anteriormente expuesto a través de un ejemplo, en el cual se aborda la construcción del ala de un avión, donde se reciben los planos correspondientes, y se refleja como el proceso productivo sigue una línea con mayor homogeneidad que otros sistemas productivos mencionados en este informe de tesis.

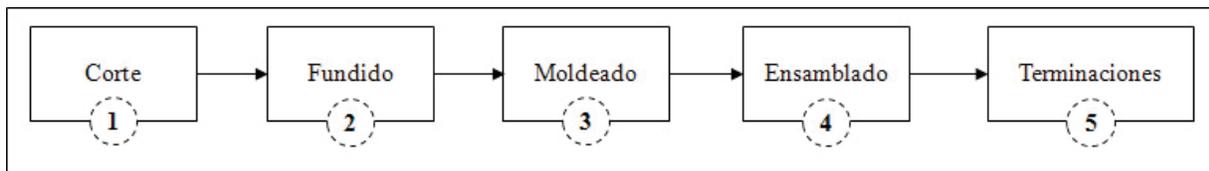


Figura 2.4 Línea de construcción para el ala de un avión.

De esta forma, en la Figura 2.6 se aprecia que la línea de construcción del ala sería la misma que la de ser procesada a través del uso de la configuración productiva tipo *Flow-Shop*, de esta forma, quizás, es necesario que se establezca una interrogante para mostrar las diferencias latentes que marcan la diferencia entre las dos configuraciones productivas, para ello, obsérvese la Figura 2.5 en donde se aprecia la organización de los centros de trabajo y asimismo los flujos de las correspondientes tareas.

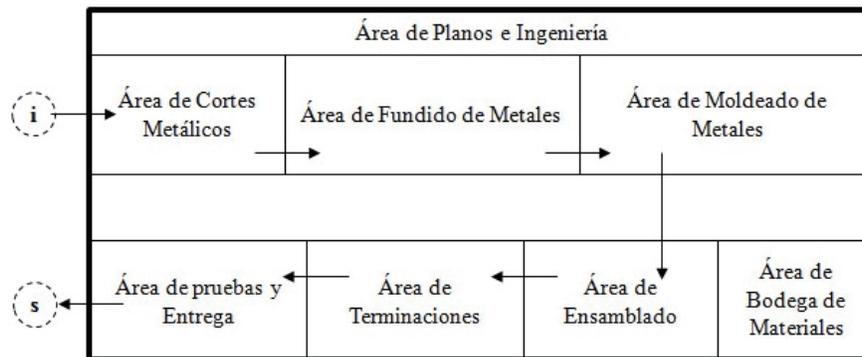


Figura 2.5 Recorrido por los centros de construcción en un sistema productivo [9].

De esta forma se aprecia que el recorrido por los centros de construcción o trabajo es más lineal que otras configuraciones productivas como por ejemplo *Job-Shop*, siendo parecido a las líneas de montajes tradicionales de la producción en serie ideada por Ford [4]. En este caso se podrían dar algunos cambios en el área de terminaciones, donde se puede producir un cambio en colores del producto, logos, entre otros.

2.5.3 Ventajas y desventajas del sistema de producción *Flow-Shop*

A continuación, en la Tabla 2.2 se aprecia un resumen con las respectivas ventajas y desventajas del uso del sistema de configuración tipo *Flow-Shop*.

Tabla 2.2 Ventajas y desventajas del sistema productivo tipo *Flow-Shop*.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Manejo de materiales reducido. ❖ Escasa existencia de trabajos en curso. ❖ Mínimos tiempos de fabricación. ❖ Simplificación de los sistemas de programación y control de la producción. ❖ Simplificación de tareas: el trabajo altamente especializado permite el aprendizaje rápido por parte de trabajadores poco cualificados. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Ausencia de flexibilidad en el proceso (un simple cambio en el producto puede requerir cambios importantes en las instalaciones). ❖ Escasa flexibilidad en los tiempos de fabricación (el flujo de fabricación no puede ser más rápido que la actividad más lenta). ❖ Inversión elevada (equipos específicos). ❖ El conjunto depende de cada una de las partes: la parada de alguna máquina o la falta de personal o piezas en alguna estación de trabajo puede parar la cadena completa. ❖ Trabajos muy monótonos (que pueden afectar a la moral del personal).

2.5.4 Etapas de la programación de producción

La programación de la producción, en general, contempla un número de actividades asociadas. Ahora bien, se debe, considerar que para efectos del caso de estudio que se presenta, todas las definiciones que refieren a la producción van relacionadas al área a definir posteriormente. Así, la programación de producción comprende el siguiente conjunto de actividades [23]:

- ❖ Distribución de los trabajos.
- ❖ Elaboración de los pedidos de material y de las órdenes de trabajo.
- ❖ Lanzamiento de los trabajos.
- ❖ Control y reactivación de los trabajos atrasados. Aunque estas etapas son las mismas en el momento de la programación de los pedidos, sus técnicas de optimización varían según el número de procedimientos de fabricación y los medios de producción por utilizar.

Así, una vez que se ha establecido la secuencia de realización, debe elaborarse el calendario en función de los recursos disponibles. Y como se muestra en Figura 2.6, las etapas de la programación de un pedido interactúan entre sí para cumplir con los objetivos antes mencionados.

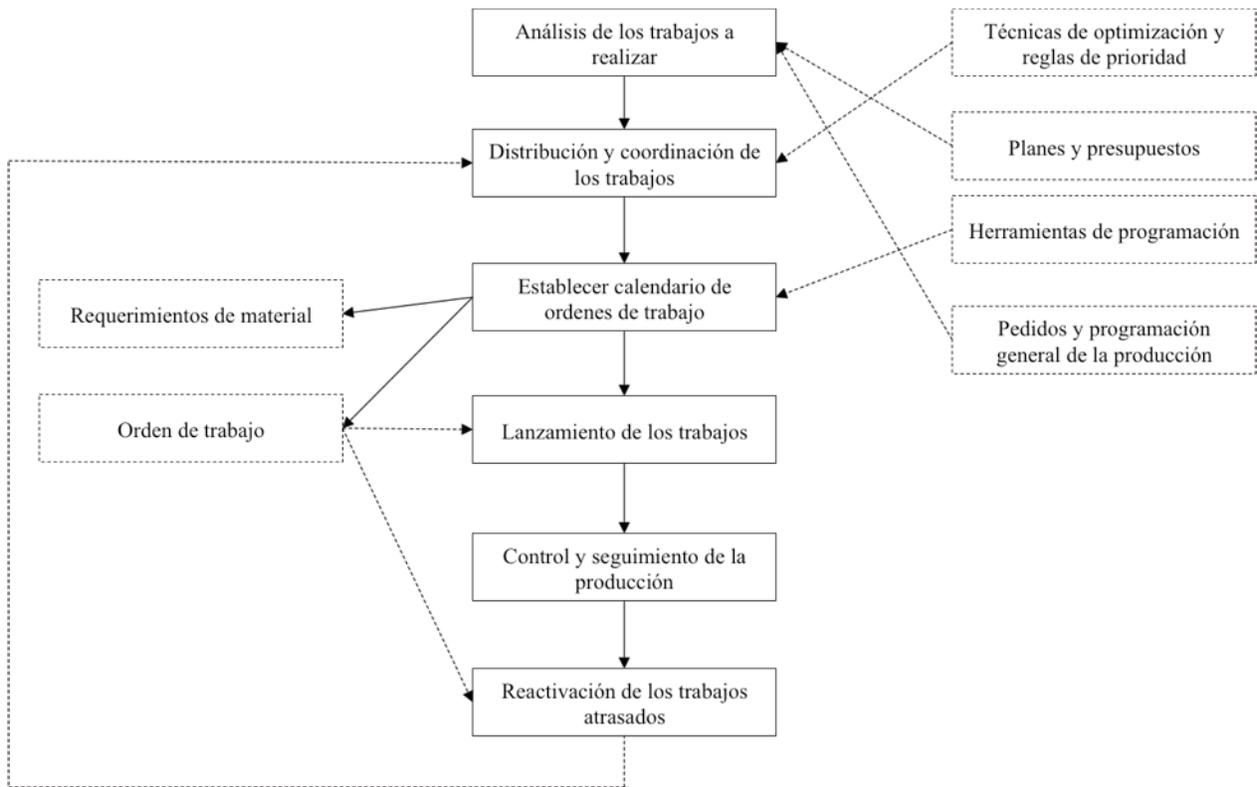


Figura 2.6: Etapas de la programación de un pedido [21].

3 El problema de *Flow-Shop Scheduling*

Los problemas clasificados como programación de trabajos, también denominados problemas tipo *Scheduling*, asumen que el número de trabajos y de máquinas son finitos, donde comúnmente el número de trabajos se denota por la letra n y el número total de máquinas por la letra m . Generalmente, se utiliza la letra j para referirse a un trabajo y la letra i para referirse a una máquina. Se supone que cada máquina es incapaz de procesar varios trabajos simultáneamente y que, en un instante dado, cada trabajo puede realizarse en a lo sumo una máquina. Estas hipótesis básicas se denominan hipótesis de no simultaneidad. De esta forma se puede denotar una operación para el trabajo j en la máquina i por el par (j, i) , como por ejemplo, el tiempo de proceso del trabajo j en la máquina i se asocia con el término P_{ij} .

3.1 Introducción

Cuando se habla de programación de tareas se comprenden automáticamente una gran variedad de problemas ligados a la optimización de procesos u optimización combinatorial, todos muy distintos entre sí en aspectos de complejidad y estructura.

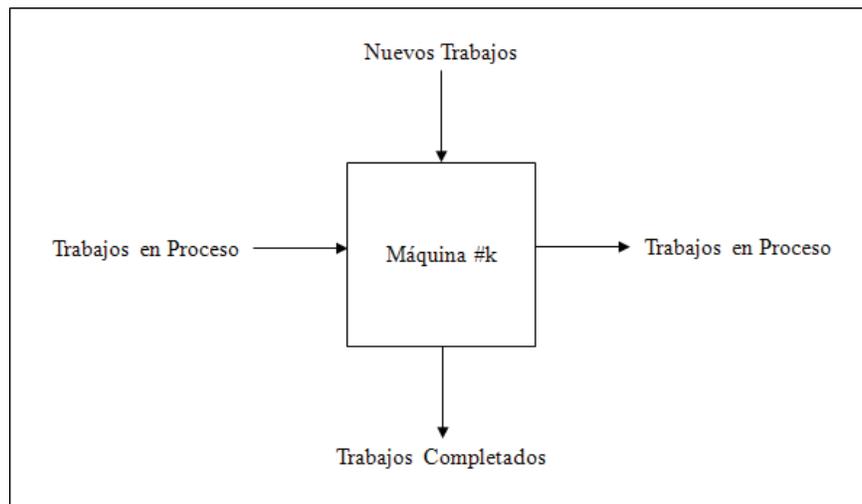


Figura 3.1 Flujos de trabajos en *Flow-Shop* [9]

Los autores han tratado de establecer una sistematización del tipo de problema y de soluciones que rondan este tipo de problemática. Aun así, en contraste con otras áreas de optimización (optimización combinatorial), en referencia a los problemas de programación más difíciles no es posible indicar un enfoque netamente preferible y con mayor grado de ventaja sobre otros. De esta forma, la función del *Scheduling* es la asignación de recursos limitados a tareas a lo largo del tiempo y tiene como finalidad la optimización de uno o más objetivos.

Así, el problema conocido en la literatura como *Flow-Shop Scheduling* consiste en encontrar la programación óptima de un conjunto de trabajos, que deben ser realizados en una línea de manufactura [24]. En este tipo de configuración, cada etapa está compuesta por un conjunto de máquinas en paralelo. Cada trabajo debe ser realizado siguiendo la secuencia de etapas que configuran la línea de manufactura. En cada etapa, una máquina ejecutará un

trabajo. Se considera el supuesto de que los trabajos deben ser realizados sin interrupción y que la matriz de tiempos de ejecución de cada trabajo sobre cada máquina en cada estación es conocida. Las máquinas no fallan y los trabajos están disponibles desde el tiempo inicial. La programación y asignación de tareas en las máquinas debe realizarse minimizando algún criterio que puede ser por ejemplo, el tiempo total de operación para los trabajos programados. Una variación de este problema consiste en considerar que las máquinas colocadas en paralelo no tienen la misma capacidad de procesamiento, lo cual puede deberse a diferencias en tecnología adquirida a través de los años, lo anterior significa que un trabajo puede ser procesado utilizando más o menos tiempo dependiendo de la máquina a la que sea asignado.

3.2 Descripción del problema

Como se ha mencionado en este documento, la configuración productiva *Flow-Shop* es un modelo de planificación de tareas, donde se tiene una serie de trabajos, y donde cada uno de ellos, consiste a su vez en una serie de tareas que son llevadas a cabo por un conjunto de máquinas que deben seguir las siguientes características básicas:

- ❖ Cada máquina realiza una sola tarea y para un trabajo a la vez.
- ❖ Las tareas requieren una sola visita (ejecución) para ser completadas (en caso de que este trabajo no utilice la correspondiente máquina se denomina que el tiempo es cero).
- ❖ Los trabajos pasan por cada máquina una sola vez.
- ❖ El orden de las máquinas es siempre el mismo.

Así, el objetivo es ordenar la secuencia de ingreso de los trabajos, de tal modo que se cumplan los tiempos requeridos dadas las restricciones para una serie en particular, las que pueden ser tan simples como minimizar el tiempo requerido para completar todos los trabajos, o tan complejas como terminar la serie, justo en la fecha de entrega, en el caso de que terminar antes o después lleve a pérdidas (por asunto de almacenamiento y mantención de los productos en bodega o multas por atraso en la entrega de ellos).

Debido a todas estas restricciones el problema de optimización de tiempos presenta una gran complejidad. Esto queda reflejado, aún más, cuando este procesamiento se realiza para una cantidad N de trabajos a realizar, en una cantidad M de máquinas.

El caso anterior, tiene una complejidad muy alta, llegando a clasificarse como NP-Hard [25], que en el área de optimización computacional es entendido como un problema polinómico no determinista. Además, como se señala en [26] la solución más común aplicada hasta hoy, es el algoritmo de Johnson, que generalmente entrega una solución inicial, la cual puede ser mejorada a través del uso de heurísticas y/o meta heurísticas según sea el caso que se esté abordando.

3.3 Generalidades y tipos de *Flow-Shop*

Se debe considerar que una configuración productiva tipo *Flow-Shop* que tiene m máquinas en serie, es decir, existe una máquina en cada etapa. En este caso todos los trabajos procesados deben seguir el mismo camino, es

decir, deben ser procesados primero en la máquina 1, luego en la máquina 2, hasta la máquina m . Después de terminar en una máquina, un trabajo se une a la cola en la máquina siguiente. Por lo general, todas las colas, operan bajo la organización de entrada y salida tipo FIFO, es por ello que un trabajo que no puede pasar a otro mientras espera en una cola. Si la regla FIFO opera correctamente, el *Flow-Shop* se conoce como un *Flow-Shop* de permutación.

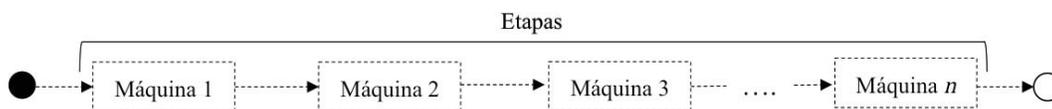


Figura 3.2: Configuración *Flow-Shop* clásico

De esta forma, en la Figura 3.2 se presenta una configuración *Flow-Shop* clásica, donde todos los trabajos procesados deben seguir el mismo flujo desde la máquina 1 a la máquina n .

Además, se debe considerar la existencia de la configuración *Flow-Shop* de tipo flexible, el cual es una generalización del problema clásico *Flow-Shop* y del ambiente de máquinas paralelas. En lugar de m máquinas, existen c etapas en serie, con una serie de máquinas idénticas en paralelo en cada etapa. Cada trabajo tiene que ser procesado primero en una máquina de la etapa 1, a continuación en una máquina de la etapa 2, y así sucesivamente. Existe un conjunto de máquinas paralelas en cada etapa, donde el trabajo j requiere ser procesado por una única máquina y cualquier máquina puede realizar el proceso. En cada etapa, puede o no puede operar una cola de acuerdo con la regla de orden de llegada FIFO.

Como se señaló anteriormente, el *Flow-Shop* flexible es una generalización del *Flow-Shop* clásico, donde basta que en cualquiera de las c etapas en serie exista más de una máquina, para que el problema del *Flow-Shop* se transforme en una *Flow-Shop* flexible, como se puede observar en la Figura 3.3.

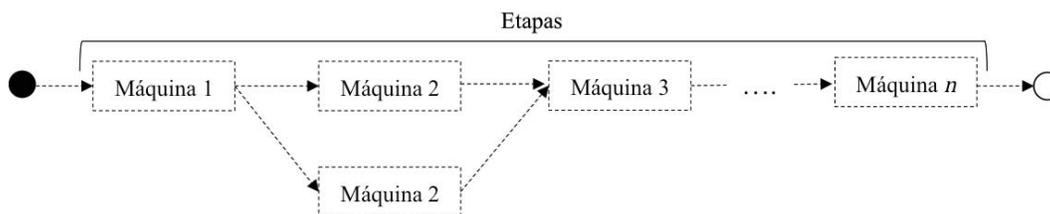


Figura 3.3: Configuración *Flow-Shop* flexible

Además, se hace necesario destacar que los trabajos o tareas, a los cuales se han hecho referencia tienen asociado características, que deben ser consideradas como factores participantes en el problema, ya que inciden de forma directa, sobre la programación obtenido y el algoritmo utilizado.

Como se aprecia, en la Figura 3.4 los trabajos son aquellos que componen una tarea, donde cada uno de estos son asignados a una máquina en particular por un tiempo determinado, denominados tiempo de inicio y de término. Se debe hacer referencia que el tiempo total de una tarea en ser procesada corresponde al tiempo que cada trabajo que componen dicha tarea demoran en ser procesados.

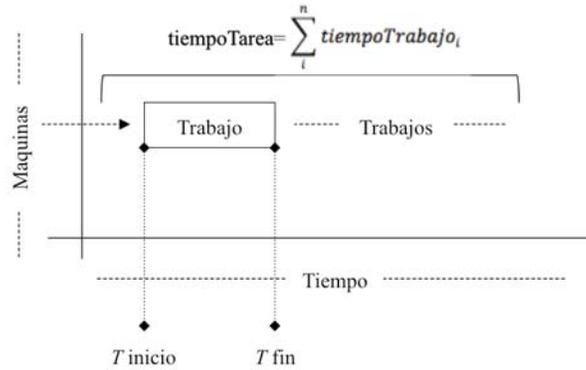


Figura 3.4: Elementos de trabajos y tareas

3.4 Modelo matemático

El modelo matemático a utilizar para este problema es el presentado en [24] y refiere a programación entera binaria, para la cual la función objetivo será minimizar el *Makespan* final, sabiéndose de [9] que el *Makespan* final es el tiempo total en procesar los trabajos. De esta forma, se puede pasar a definir la función objetivo que se encarga de minimizar el *Makespan* final:

$$\text{Función Objetivo} = \text{Min} (C_{max}) = \text{Min} \left(\sum_{n=1}^N T_{n,M} + \sum_{s=1}^{S_M} d_{n,M,s} R_{n,M,s} \right)$$

Donde:

- ❖ n: corresponde al número del trabajo a realizar, y el intervalo que comprende va desde 1 hasta N, siendo denominados los trabajos en ese rango.
- ❖ M: representa las etapas del proceso de los trabajos, el rango que se utiliza para ello es de 1 a M.
- ❖ s: representa el número de la máquina en la etapa j. El rango utilizado es desde 1 hasta S_m para cada etapa m.

Además, dentro de la definición de variables, se establecen:

- ❖ $R_{n,m,s}$: Toma valor 1 en el caso de que el trabajo n se realice en la máquina s de la etapa m, en caso contrario toma el valor cero.
- ❖ $T_{n,m}$: Corresponde al Tiempo de inicio de procesamiento del referenciado trabajo n, contextualizado en la etapa m.
- ❖ $Y_{n,n',m,s}$: Toma el valor 1 en el caso de que el trabajo n preceda al trabajo n', todo esto englobado en la máquina s de la etapa m, en caso contrario toma el valor cero. Se hace necesario destacar que esta variable se utiliza para determinar la secuencia en que se procesaran los trabajos que pasen por la máquina s.

Asimismo, para la definición del modelo matemático se hace necesario considerar un número finito de parámetros, los cuales para este modelo son:

- ❖ $d_{n,m,s}$: representa la duración del trabajo n en la máquina s de la etapa m . En casos particulares se considera que este valor está compuesto de dos componentes, uno que tiene que ver con el tiempo de proceso en sí (b_{nms}), y el otro, tiene que ver con los tiempos de preparación de las máquinas, es decir, cambios de herramientas, documentación, entre otros, éste último se compone de un tiempo de preparación de la máquina (a_{nms}) y un tiempo para retirar las herramientas de la máquina antes de colocar el siguiente (c_{nms}). De modo que se puede establecer:

$$d_{nms} = a_{nms} + b_{nms} + c_{nms}$$

- ❖ S_m : Este representa el número de máquinas de la etapa m .

Por medio del modelo anterior, se representa el tiempo total de permanencia de todos los trabajos en la línea, el que se calcula ,sumando los tiempos de terminación de cada trabajo en la última etapa. Además, se cuenta con un número determinado de restricciones que se deben considerar:

- ❖ Todos los tiempos de inicio y fin de los trabajos a procesar deben ser expresados en enteros mayores o iguales a cero.
- ❖ El tiempo de término tiene que ser siempre mayor al tiempo de inicio.
- ❖ Un trabajo sólo puede pasar por una máquina en su línea de vida.
- ❖ Un tarea debe pasar por todas las máquinas para considerar que se encuentra completa.

3.5 Estado del arte

En este apartado, se presenta una revisión bibliográfica de los principales trabajos relacionados con la programación de tareas, particularmente los trabajos que estudian el problema de *Flow-Shop* y *Flow-Shop* flexible.

3.5.1 Funciones objetivo

En el problema de la secuenciación del modelo mixto, se encuentran una gran variedad de funciones objetivo comunes, entre las cuales, las más destacadas suelen estar relacionadas con la minimización del tiempo y costo de ejecución. Como un principio básico de la optimización, las soluciones consideradas son parte de un conjunto de soluciones factibles, a partir de las cuales, mediante el uso de restricciones adicionales se llega a la solución óptima.

3.5.1.1 Objetivos orientados al tiempo

- ❖ Tiempo total de ejecución: Como se ha comentado, una de las funciones objetivo más comunes en secuenciación es la de minimizar el tiempo necesario para completar el proceso de una demanda completa, lo que se llama el tiempo de producción total. Esta minimización generalmente garantiza una alta utilización de los recursos de producción, una rápida satisfacción de la demanda de los clientes y la reducción de inventario en curso.
- ❖ Tiempo de montaje: En un modelo de producción mixto el tiempo de montaje se da cuando en una máquina se suceden dos trabajos diferentes de manera que hay que acondicionarla para poder desempeñar la tarea correctamente. El hecho de minimizar el tiempo total de montaje tiende a reducir el tiempo total del flujo. El

valor del tiempo de montaje medio conlleva a una distribución equilibrada de los tiempos de montaje para todas las tareas y resulta un flujo de trabajo más estable y uniforme.

3.5.2 Tipos de *Flow-Shop*

Del modelo básico de la línea de producción *Flow-Shop* surge una variedad de líneas de flujo que se corresponden con el amplio abanico de problemas que pueden ser encontrados en la vida real [6] de los sistemas de producción. En los procesos químicos, por ejemplo, es muy común que cuando se haya comenzado un proceso, ya no se puede interrumpir lo que nos lleva a un *Flow-Shop* sin espera. Así, las variaciones más comunes son las siguientes:

- ❖ *Flow-Shop* sin permutación: Uno de los pioneros que mencionó el problema del *Flow-Shop* fue Johnson [6] en el año 1954. En este tipo de *Flow-Shop* consideraba M estaciones están ordenadas en series acorde a una secuencia tecnológica de las operaciones. Un conjunto de n tareas ha de ser ejecutada en esas máquinas. Cada una de las n tareas tiene el mismo orden de máquinas para ser procesada. Cada trabajo puede ser ejecutado en una y sólo una estación al mismo tiempo y cada tarea es ejecutada sólo una vez en cada estación. El caso con $M=1$ se conoce como el caso de la estación individual.
- ❖ *Flow-Shop* permutaciones: En este caso las soluciones se ven limitadas por la secuencia de las tareas Π_1, \dots, Π_m con $\Pi_1 = \Pi_2 = \dots = \Pi_m$, es decir, la secuencia llevada a cabo en la primera estación se mantiene para el resto de estaciones en la línea de fabricación.
- ❖ *Flow-Shop* sin espera: Esta variación del *Flow-Shop* básico no permiten que las tareas formen colas entre las máquinas. En el primer caso, se suponen *buffers* de capacidad nula, lo que supone que si la tarea i se ha finalizado en la máquina h , ésta no puede avanzar hasta la siguiente estación si hay otra tarea que está siendo ejecutada, lo que bloquea la máquina h a los trabajos que viene detrás en la secuencia. El segundo caso, descrito por Aldowaisan y Allahverdi [27], es aún más restrictivo. Una vez se ha comenzado un trabajo en la estación 1, este trabajo debe continuar sin demora alguna por el resto de máquinas de la línea. En este caso sólo se consideran secuencias factibles aquellas que no bloquean ninguna estación.
- ❖ *Flow-Shop* con componente flexible/híbrido: Otra de las variaciones de *Flow-Shop* mencionadas en la literatura es aquella en la que existen estaciones o máquinas en paralelo. Este tipo de línea de flujo se suele llamar por la mayoría de los autores *Flow-Shop* flexible o híbrido. Las estaciones en paralelo reducen los tiempos de ciclos necesarios para una operación en una estación. De esta manera, puede darse el caso que una tarea pueda alcanzar a su predecesora. De este tipo, existen dos clases: estaciones paralelas idénticas y estaciones paralelas no idénticas.

3.5.3 Métodos de optimización

Existen varios intentos con diferentes aproximaciones para resolver los problemas que surgen del *Flow-Shop*. Estos pueden encontrarse en la literatura relacionadas. El método más común es el de evaluar todas las posibles soluciones factibles y seleccionar la más factible, pero en este caso se deberían tener en cuenta $(N!)^M$

soluciones, siendo N el número de tareas y M el número de máquinas. Esto resultaría en más de 24 mil millones de posibilidades para un problema con 5 tareas y 5 máquinas, lo que supondría un tiempo de ejecución elevado.

La separación de los numerosos métodos de optimización con todas sus modificaciones generalmente se hace en dos partes. Primeramente están los métodos exactos de optimización limitados por naturaleza por el tamaño del problema, y después encontramos los métodos no exactos llamados heurísticos y meta heurísticos [6]. Dentro de éstos métodos destacan algoritmos y heurísticos basados en normas de cómo proceder en la búsqueda de buenas soluciones. Obviamente éstos métodos tienen la ventaja de una notoria reducción en el tiempo de ejecución computacional con la contrapartida de una posible reducción de la calidad de los resultados.

3.5.3.1 Elementos de optimización

La optimización de la línea de fabricación consiste en varias partes que pueden ser tomadas por separado con el fin de establecer un modelo consistente y estructurado. Las partes principales son: la demanda, las variables de optimización, los parámetros de la línea, la eficiencia de la línea, el procedimiento de optimización y finalmente el resultado. No obstante, antes de empezar con la simulación y optimización, es necesario modelar la línea y definir todos los parámetros del entorno que concretan y limitan el problema en cuestión.

- ❖ **Demanda:** La demanda es sinónimo de pedidos del cliente. No importa si se estudia un caso de demanda estática o dinámica, la demanda describe la cantidad de productos que han de ser procesados. Los pedidos del cliente pueden ser acumulados en lotes y procesados de una sola vez, lo que resulta el método más estático. Métodos más dinámicos implican que los pedidos de los clientes se conocen cuando el proceso de fabricación ya ha comenzado. En el caso de estudio concreto, la demanda se considera estática, pues se conoce toda la información necesaria antes de que se lleve a cabo el comienzo del proceso productivo.
- ❖ **Parámetros de la línea:** Los parámetros de la línea definen el conjunto de parámetros constantes que son definidos de antemano y son fijados para el proceso de optimización completo. Por ejemplo, el problema de secuenciación en la optimización de un *Flow-Shop*, en general utiliza un intervalo de lanzamiento constante que se obtiene del diseño realizado de antemano. Otros parámetros de la línea pueden ser el tiempo de proceso, los costos y tiempo de montaje, la localización de los buffers en caso de existir, relaciones de precedencia, entre otros.
- ❖ **Variables de optimización:** Las variables de optimización definen el conjunto de parámetros variables que han de ser optimizados por el proceso de optimización. Es deseable mantener el número y rango de los parámetros de optimización relativamente pequeños con el fin de limitar el problema de estudio y que sea algo tratable. Muchas veces se encuentra un conjunto inicial de parámetros que definen una solución factible mediante un heurístico sencillo de manera tal que sirve como cota inicial. Dependiendo de los objetivos de optimización y de las posibilidades subyacentes del orden de la línea, los parámetros de optimización pueden ser varios, tales como la secuencia de tareas, la largura de las estaciones, entre otros.

- ❖ Medida de eficiencia: La eficiencia de la línea es una medida de rendimiento y se calcula evaluando la función objetivo. Esta medida de eficiencia, en el caso general, se basa en un sólo objetivo, pero también es posible la combinación de objetivos. Un ejemplo sería minimizar el tiempo total de ejecución de los trabajos.
- ❖ Procedimientos de optimización: Una vez se tiene definida la línea de producción con todos sus parámetros de entrada y salida, es necesario un proceso de optimización de dicha línea. Esta optimización puede realizarse, por ejemplo, variando los parámetros de la línea, considerando siempre que la demanda ha de ser satisfecha. Existen básicamente dos grupos de métodos: los métodos exactos que obtienen una solución exacta, y los métodos de aproximación que por mérito computacionales no necesariamente obtienen la solución mejor.
- ❖ Resultados: Los resultados de los procedimientos de optimización generalmente contienen los valores de las variables de optimización en conjunto con información adicional como por ejemplo la secuencia de tareas óptima.

3.5.3.2 Métodos exactos

Los métodos exactos buscan lograr la solución óptima, en el caso que exista. Claramente existe un límite en el tamaño del problema para los métodos exactos que es claramente inferior comparado con los métodos heurísticos. Con el propósito de reducir la complejidad de la computación necesaria es aconsejable aislar el problema tanto como sea posible [6]. En otras palabras, si se da el caso de que se pueden utilizar reglas dominantes tales como que las secuencias permutaciones son suficientes para el caso de las dos estaciones, no es necesario considerar todas la secuencias posibles en la totalidad de las estaciones.

Con el fin de encontrar el máximo o mínimo de una función objetivo, el acercamiento más obvio sería de naturaleza analítica, utilizando sus derivadas. Es importante que la función y su primera derivada sean continuas. Estos métodos pueden ser tan sólo utilizados para pequeños problemas que contengan numerosas variables continuas con funciones objetivo simple. Por este motivo, este método no es aplicable a los problemas de secuenciación *Flow-Shop*.

- ❖ Enumeración total: El método más sencillo para solucionar el problema del flujo de línea *Flow-Shop* es el de enumerar todas las posibles soluciones y evaluarlas. Este método no puede considerarse muy eficiente como se ha descrito anteriormente dado que su complejidad computacional asciende a $(N!)^M$ alternativas.
- ❖ Programación lineal: Con la ayuda de la programación lineal se puede llegar a una solución del problema planteado siempre que las variables sean continuas. Resulta posible dado que la función objetivo es lineal y las restricciones son ecuaciones e inecuaciones lineales. La solución al modelo más sencillo fue inicialmente publicado por Dantzig [28], Nicholson [29] y Luenberger [30] que introdujeron mejoras en la programación lineal.
- ❖ Programación entera y entera mixta: La programación entera y entera mixta encuentran su aplicación en problemas que consideran que todas o algunas de sus variables han de tomar obligatoriamente valores enteros. Los métodos más conocidos para resolver los problemas de programación entera.. Límites más bajos, en el caso de la minimización, se pueden conseguir mediante la relajación del problema de programación lineal.

- ❖ Branch and bound: La traducción al castellano sería ramificar y acotar, aunque se ha adoptado en toda la literatura el concepto anglosajón. Es una aproximación al problema bastante eficaz que sigue una estrategia muy razonable. Como explicó Bellman [31], se trata de una enumeración implícita o método de búsqueda en árbol que puede encontrar una solución óptima examinando sistemáticamente los subconjuntos de las soluciones factibles.
- ❖ Programación dinámica: Este método es original de Bellman [32], y puede ser usado en procesos de decisión multiestación. Análogamente al método *debranch and bound*, éste método está limitado a problemas relativamente pequeños. El proceso trata de reducir la dimensión del problema y uno de las complicaciones es convertir el problema actual, en un problema de decisión multiestación con el propósito de resolver su recursividad.

3.5.3.3 Métodos aproximados

Este tipo de métodos no garantizan encontrar una solución óptima. La idea consiste en encontrar una solución que considerando un ahorro computacional o de almacenamiento se aproxime lo más posible a la solución óptima. Con el fin de estudiar estos métodos exhaustivamente, es indispensable comparar los resultados obtenidos, con la solución hallada mediante un método exacto que se sabe a ciencia cierta que es óptima. Los verdaderos retos llegan cuando se presentan funciones objetivos no lineales. Nicholson [33] destacó que en estos casos el problema surge cuando la función objetivo tiene óptimos locales y el método toma este resultado como el mejor, cuando en realidad no es el óptimo.

- ❖ Heurísticos: Existe una gran variedad de métodos heurísticos y muchos de ellos están basados en métodos exactos. Uno de los más sencillos es la generación de soluciones aleatorias. Lee y Shaw [34], mencionaron que los métodos heurísticos o bien pertenecían a los heurísticos de mejora o bien a los heurísticos constructivos. Los primeros pretenden continuamente mejorar la solución obtenida modificando la secuencia, mientras que en los heurísticos constructivos, una vez se haya tomado una secuencia en concreto, ésta no podía ser modificada. Los heurísticos de mejora, generalmente, producen mejores soluciones con la contrapartida de consumir gran cantidad de recursos computacionales.

En cuanto a los heurísticos de mejora, la búsqueda comienza con una solución inicial factible que es usada como semilla inicial. En el siguiente paso se evalúan las soluciones que podrían considerarse adyacentes, es decir, concretando para una secuencia, se evaluarían secuencias alternativas en las que se cambiasen, por ejemplo, las tres últimas tareas. Si ninguna de las soluciones es mejor que la existente, se considera la semilla inicial como la solución óptima. En caso de que alguna de las alternativas mejore lo más mínimo el valor anterior, la semilla toma el valor de la nueva decencia y se vuelve a ejecutar el ciclo de nuevo. Evidentemente, en este caso sigue dándose el problema de poder caer en un óptimo local.

Un caso especial de las técnicas heurísticas son las reglas de expedición con prioridad las cuales son utilizadas para producción con uso de buffers entre las diferentes estaciones de trabajo lo que proporciona la posibilidad de seleccionar cualquier tarea de las que se tenga almacenada previamente. Es de esta forma que se puede determinar que las distintas reglas de expedición con prioridad permiten seleccionar una tarea en una cola con

la prioridad más alta. Esta prioridad puede ser calculada bajo diferentes criterios. Las reglas pueden ser tan simples como “el primero que llega es el primero que es atendido (FIFS)”, “el menor tiempo de proceso”, pero también puede ser una combinación de reglas sencillas.

- ❖ **Meta heurísticos:** El estudio de Silver [35], sobre los métodos heurísticos en la investigación operacional, describen los meta heurísticos como procedimientos heurísticos de nivel superior que son diseñados con el fin de lograr unas soluciones razonables. Dichos meta heurísticos tienen la particularidad de no quedarse colapsados en soluciones óptimas locales. Los meta heurísticos tienen uno o varios parámetros ajustables que le proporcionan flexibilidad, pero en cualquier caso es necesario una calibración ajustada para cualquier aplicación. De esta forma, en la Tabla 3.1 se presentan algunas meta heurísticas clásicas de la literatura enfocadas en la problemática del *Flow-Shop Scheduling*.

Tabla 3.1 Meta heurísticas clásicas para *Flow-Shop*.

Meta heurística	Descripción
Recocido simulado (<i>Simulated annealing</i>)	Este método genera y evalúa una serie de iteraciones comparando la mejor secuencia encontrada hasta el momento con su vecina. A cada una de estas iteraciones se le asigna una probabilidad que indica en qué medida se elige la siguiente secuencia. La mayor diferencia con respecto al método de los heurísticos de mejora es que en este caso se permite entrar en juego a las secuencias consideradas peores, porque se piensa que a través de ellas, también se puede llegar a la solución óptima.
Búsqueda Tabú	En este método existe una lista Tabú que evita que se regrese a un óptimo local. El procedimiento llega a su fin cuando el ciclo se ha llevado a cabo un número de veces predeterminado sin haber logrado mejorar la semilla. Un parámetro clave en este caso es el tamaño de la lista nombrada que puede ser representada como la memoria a corto plazo. En caso de elegir erróneamente este tamaño, la búsqueda puede entrar en un bucle sin fin.
Colonia de hormigas	Es un método que consiste en un conjunto de agentes concurrentes y asíncronos (hormigas) que se mueven en un espacio de estados correspondientes a soluciones parciales del problema a resolver. Se mueven aplicando políticas de decisión locales estocásticas basadas en un valor heurístico que depende del modelado del problemas y un valor que incorpora el conocimiento global del problema.
Algoritmo genético	Mejor que utilizar una única solución inicial, este método genera una población de soluciones iniciales. Dichas soluciones se llaman individuos de la población. Las generaciones posteriores surgen como cruces y mutaciones entre los individuos de las generaciones precedentes. A los individuos se les puede llamar también cromosomas y se caracterizan por el parámetro que se quiera optimizar en cada caso, lo que se mide

	mediante la función objetivo asociada. Se hace hincapié de dos de las características de los algoritmos genéticos que son la explotación y la exploración. Explotación es la habilidad de encontrar buenas soluciones mientras que la exploración describe el comportamiento de mantener un conjunto con diversos individuos.
Beam search	Este método puede considerarse una variación de <i>Branch and Bound</i> (ramificar y acotar), con la idea básica de eliminar las ramas del árbol que al parecer no incluyan la solución óptima [36]. El parámetro clave en este caso es la anchura del <i>Beam</i> que representa el número de nodos máximo que se van a retener en cada nivel de dicho árbol.
Método GRASP	El método GRASP (<i>Greedy Randomized Adaptive Search pProcedure</i>) es un proceso iterativo en el que cada iteración consiste en dos fases. Una fase de construcción en la que se elabora una solución factible, y una fase de búsqueda local, en la que se busca un óptimo local en las inmediaciones de la solución previamente elaborada. La mejor solución de todas es almacenada. Este heurístico es adaptable dado que los beneficios asociados con cada elemento se actualizan en cada iteración de la fase de construcción para reflejar los cambios aportados gracias a la selección del elemento previo. El componente probabilístico de este método se caracteriza por seleccionar aleatoriamente uno de los mejores candidatos de la lista, pero no necesariamente el mejor [37].

3.5.4 Trabajos de la literatura

A continuación, se presentan investigaciones relacionados con la configuración tipo *Flow-Shop*. De esta forma, se trata de presentar trabajos recientes en razón a los estudios y documentos localizados.

- ❖ Ríos and Bard [38], presentan dos heurísticas para resolver el problema de minimizar el tiempo máximo de procesamiento de tareas en un ambiente de manufactura *Flow-Shop* con tiempos de *setup*. En la primera, utilizan la heurística NEH-RB, siendo este procedimiento una extensión del algoritmo NEH que ha sido muy exitoso para el problema general de FS (sin tiempos de *setup*). En la otra, utilizan una heurística GRAPS (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*), que es un procedimiento de búsqueda ávida aleatoria adaptativa, la cual es una técnica que ha resuelto exitosamente varios tipos de problemas de optimización combinatoria. Estos procedimientos son evaluados y comparados computacionalmente con una heurística desarrollada para este tipo de problemas.
- ❖ Sawik [39] presenta, un modelo de programación lineal entera mixta para resolver el problema de *Flow-Shop* Flexible, con *buffers* intermedios de capacidad limitada, con una o más máquinas idénticas en paralelo en cada etapa, minimizando el *Makespan*.
- ❖ Lin and Liao [40], resuelven un problema real de una empresa que fabrica etiquetas tipo *stickers*. El problema se traduce en resolver un *Flow-Shop* Flexible de dos etapas, donde en la primera etapa existe una máquina y tiempos *setup* dependientes de la secuencia, mientras que en la segunda etapa existen dos tipos de máquinas

paralelas idénticas. El objetivo es minimizar la tardanza ponderada. Los autores, proponen una heurística para resolver el problema, para la primera etapa, utilizan el método TST (total *setup time*) y el método FIFO para la segunda etapa. Se compara la heurística con los resultados óptimos en instancias pequeñas.

- ❖ En D'Armas [41], se realiza un estado del arte relacionado con el secuenciamiento de tareas, con tiempos de *setup*, en ambientes de taller, con: una máquina, máquinas paralelas, *Flow-Shop* y *Job-Shop*.
- ❖ Oguz et al [42], trata el problema de *Flow-Shop* Flexible con la característica principal de que cada trabajo en cada etapa puede ser procesado por una o varias máquinas en forma simultánea, pero cada procesador puede procesar solo un trabajo a la vez, siempre considerando el objetivo de minimizar el *Makespan*. Este planteamiento permite relajar el problema clásico de *Flow-Shop* Flexible al admitir que un trabajo pueda ser procesado por más de una máquina a la vez. Se demostró por medio de pruebas computacionales que el problema relajado puede ser resuelto en tiempo polinomial, pero la introducción de restricciones de precedencia lo vuelve fuertemente *Np-hard*.
- ❖ Kis et al [43], presenta una visión global de los métodos de solución exacta para resolver el problema de *Flow-Shop* Flexible. Los métodos estudiados son: ramificación, delimitación y propagación de restricciones, y los objetivos: minimizar el *Makespan* y minimizar el tiempo medio de proceso. En este artículo se presenta un modelo de programación lineal entera mixta para resolver el problema. Las pruebas computacionales muestran resultados de instancias con 15 trabajos, 2 etapas y 4 máquinas como máximo en una de las etapas y 12 trabajos, 5 etapas y un máximo de 4 máquinas en una de las etapas.
- ❖ Guirchoun et al [44], resuelve el problema de un sistema informático con un servidor en la primera etapa y dos procesadores idénticos en la segunda, con una restricción de “*no wait*” entre ambas etapas, donde todos los trabajos que pasan por la primera etapa tienen el mismo tiempo de procesamiento. La función objetivo minimiza la suma de los tiempos de terminación de los trabajos. Para tiempos de procesamiento enteros, los autores proponen un algoritmo que resuelve el problema en tiempo polinomial, donde los trabajos son ordenados de acuerdo al SPT (tiempo más corto de procesamiento) y luego se asignan los trabajos de acuerdo al criterio FAM (primera máquina disponible). Además, en el documento se presenta el modelo de programación lineal entera mixta que resuelve el problema.
- ❖ Sawik [45], aborda el problema de la programación de la producción en un sistema de *Flow-Shop* Flexible de dos puntos de vista, en el primero los pedidos o lotes de piezas son divisibles, los cuales pueden ser divididos y fabricados en distintos instantes de tiempos y un segundo punto de vista donde los lotes no se pueden dividir y se deben fabricar en un mismo instante de tiempo. En el trabajo se plantean 4 formulaciones de modelación matemática con variables enteras que resuelva el problema con distintos objetivos: minimizar la tardanza total; minimizar el número de trabajos tardíos; minimizar el retraso máximo y la relación de trabajos tardíos. Se complementó el trabajo con pruebas computacionales.
- ❖ Ribas y Companys [46], estudiaron la programación de la producción en sistemas *Flow-Shop* Flexible con tiempos de preparación dependientes de la secuencia, donde las piezas se agrupan en familias y las máquinas requieren un tiempo de preparación cada vez que se deba cambiar de familia. El problema es resultado minimiza la suma de retrasos de las piezas y luego se extiende a un problema multi-objetivo, que minimiza la suma

ponderada del retraso medio y la suma de los tiempos medios de proceso. Para ambos casos se implementaron tres heurísticas: CR (Chandrasekharan Rajendran), GRASP y *Multistar*, obteniendo mejores resultados con GRASP.

- ❖ Tang et al [47], proponen una nueva heurística basada en relajación *Lagrangiana* para la programación de tareas en una configuración *Flow-Shop*, teniendo como objetivo minimizar la suma de los tiempos ponderados de terminación de los trabajos. En el artículo se presenta un modelo de programación lineal entera mixta que utilizan para resolver instancias con hasta 100 trabajos.
- ❖ Zandieh et al [48], resaltan que la gran mayoría de las investigaciones ignora los tiempos de *setup*, o asumen que estos tiempos son independientes de la secuencia y de la máquina. Modifican el tiempo de proceso sumándole el tiempo más pequeño de *setup* dependiente de la secuencia. Proponen un algoritmo inmunológico (IA) para resolver el problema del *Flow-Shop* Flexible, con tiempos de *setup* dependientes de la secuencia, el cual es comparado con la heurística RKGGA (Random Key Genetic Algorithm), propuesto en Kurz and Askin [49].
- ❖ Allaoui and Artiba [50], estudian un *Flow-Shop* Flexible de dos etapas, con una máquina en la primera y m máquinas en la segunda etapa. Si existe indisponibilidad de una máquina y el trabajo ya había comenzado a ser procesado, reanudar su procesamiento desde el principio cuando la máquina esté disponible, todo el procesamiento previo se pierde. Proponen un algoritmo *Branch and Bound*, para solucionar de manera óptima los problemas de tamaño pequeño y para instancias mayores prueban 3 heurísticas: un algoritmo LIST, un algoritmo LPT (Longest-Processing- Time-first) y la heurística H, propuestos en Lee and Vairaktarakis [51].
- ❖ Sawik [52], presenta dos formulaciones de programación entera que permiten resolver el problema de programar tareas en un *Flow-Shop* Flexible con un *buffer* de capacidad limitada en la salida de la última etapa, el cual representa la capacidad de almacenamiento de productos terminados de una empresa. El primero minimiza el número de trabajos tardíos, mientras que el segundo nivela la producción agregada en base a los resultados obtenidos del primer modelo. Por medio de pruebas computacionales realizadas en base a la industria de la electrónica, se concluye que el modelo es capaz de encontrar soluciones óptimas para problemas reales en un periodo de tiempo razonable.
- ❖ Tzung et al [53], proponen 3 algoritmos que permiten resolver el problema de *Flow-Shop* Flexible con más de dos máquinas por etapa. El primer algoritmo combina el método de LPT y la búsqueda y poda, mientras que el segundo, es un algoritmo óptimo que utiliza la técnica de búsqueda y poda. El tercero, es similar al primer algoritmo, pero utiliza el método (PT), propuesto por Petrov [54]. Los resultados experimentales muestran que los tiempos de resolución tienen la siguiente relación: Algoritmo 3 < algoritmo 1 < algoritmo 2, por otra parte los resultados experimentales muestran la siguiente relación para el *Makespan*: Algoritmo 3 > algoritmo 1 > algoritmo 2.
- ❖ Seda [55], propone dos modelos de programación lineal entera mixta para resolver problemas de procesos fabricación en la industria, con configuración de *Flow-Shop* y *Job-Shop*. Se realizan pruebas computacionales, donde se obtienen buenos resultados en instancias con hasta 20 trabajos y 10 máquinas.

- ❖ Haouari and Hidri [56], demuestran mediante un simple ejemplo, que el límite inferior propuesto en Jin et al [57] es incorrecto, debido a que en el ejemplo se obtiene un valor de 9 en el límite, mientras que el valor del *Makespan* es de 8. Los autores proponen un límite inferior válido.
- ❖ Jungwattanakit et al [58], resuelven el problema de *Flow-Shop* Flexible, planteando como objetivo, encontrar una secuencia que minimice la suma ponderada convexa para el *Makespan* y el número de trabajos tardíos. En este trabajo se utilizan máquinas paralelas no relacionadas y tiempos de *setup* dependientes de la secuencia. Los autores, utilizan primero la programación lineal entera mixta, obteniendo resultados en un tiempo aceptable con hasta 7 trabajos y 4 etapas. Posteriormente, resuelven comparando algoritmos iterativos como: recocido simulado (SA), Búsqueda Tabú (TS) y algoritmo genético (GA) [59].
- ❖ Ruiz and Vásquez [60], describen el problema *Flow-Shop* Flexible y la notación más actualizada. Además, realizan una revisión bibliográfica del problema desde el año 1970 hasta el año 2009 con más de 200 documentos, que incluyen los temas de: métodos exactos, heurísticas y meta heurísticas, para resolver este tipo de configuración. Los autores destacan que no es realista lograr siempre una optimización mediante la minimización del *Makespan*, sin embargo el 60% de las publicaciones se basan en éste.
- ❖ Choi y Lee [61], tratan el problema de programar trabajos en un ambiente de *Flow-Shop* Flexible de dos etapas, donde los tiempos de preparación de los trabajos son independientes de la secuencia, por lo que se incluyen en el tiempo de procesamiento. La capacidad del buffer entre las máquinas es infinita y el objetivo del trabajo es minimizar el número de trabajos tardíos. En el artículo, se compara el algoritmo B&B propuesto en Choi y Lee [62] y el algoritmo B&B mejorado. Se comparan, además, la heurística propuesta por ellos mismos, con la presentada en Gupta and Tunc [63].
- ❖ Ribas et al [64], revisa las investigaciones acerca de los problemas de *Flow-Shop* Flexible, con especial atención a los trabajos publicados desde 1995 en adelante. La clasificación se realiza en base a las características de la máquina, las restricciones, función objetivo y de acuerdo a los distintos métodos de resolución del problema.

3.5.5 *Flow-Shop* y los procesos industriales

Anteriormente se realizó con detalle un recorrido a algunas publicaciones y trabajos realizados por distintos autores en razón a la aplicación y/o investigaciones con referencia en la configuración de producción tipo *Flow-Shop*. Ahora, se presentan algunas aplicaciones en la industria que se han realizado usando este tipo de configuración productiva:

- ❖ Colorama [65]: En este caso se aprecia la aplicación de configuración *Flow-Shop* en una empresa de impresión de etiquetas, folletos, revistas, entre otras. Aquí, el material debe pasar por distintas etapas de procesamiento, tanto de impresión como de embalaje y donde las máquinas se utilizan en el proceso de impresión de distintos tipos de papeles, como se hizo en Colorama, una empresa del rubro antes mencionado.
- ❖ Laboratorios Bago [66]: En los Laboratorios Farmacéuticos, específicamente en los procesos de fabricación y embalaje de los medicamentos, se utiliza la optimización de los tiempos de fabricación de cada producto, todo esto dependiendo de la categoría del fármaco: jarabe, pastilla, entre otras.

- ❖ Ferrari [67]: Es también aplicado también en la fábrica de automóviles las cuales poseen distintos modelos pero que siguen la misma línea de ensamblado, lo que significa que cada modelo en particular va a necesitar un tiempo específico en una máquina determinada.
- ❖ OM Partners [68]: En general puede ser aplicado a cualquier problema donde se requiera optimizar los tiempos (y otros recursos, dependiendo de las restricciones) dentro de una línea de producción, donde se ejecuten varios trabajos diferentes, pero que sigan un patrón de producción similar como producción de cartón ondulado y rígido, vidrio, metal, papel, plástico, caucho, tejido, madera, etc. (OM *Partners*, una empresa española dedicada a entregar servicios de *Flow-Shop* a industrias).

4 Solución propuesta

En este capítulo se presentarán aquellos algoritmos que dan solución al problema de la planificación tipo *Flow-Shop*. Se debe considerar que para ello se definen los correspondientes operadores y generadores de soluciones iniciales.

4.1 Consideraciones iniciales

Como se ha mencionado anteriormente, el problema de *Flow-Shop* dispone de un número determinado de máquinas que se encargan de realizar diversas tareas y existe la latente necesidad de elaboración de un producto determinado a partir de un insumo o materia prima. Para esto, se debe seguir una serie correlativa de pasos, donde cada uno consiste en utilizar una máquina determinada durante un período de tiempo finito, siendo estándar y organizado el orden en que los distintos trabajos visitan las máquinas, no pudiendo en caso alguno romper esa organización previamente definida. De ahora en adelante, se llamará operación a cada uno de los pasos mencionados con anterioridad y trabajo a la secuencia de operaciones necesarias para llevar a cabo el término o generación del producto.

Como ejemplo, para acercar el problema a la realidad, se puede dar lo siguiente: se hará la suposición de que se tienen tres máquinas numeradas de la forma: 1, 2 y 3. Y que se desea elaborar un producto en el cual se necesita aplicar estas máquinas en un orden determinado: máquina 1 - máquina 2 - máquina 3 (volviendo a hacer referencia que un trabajo sólo visita una máquina a la vez). De esta forma, se establece que existen tres pasos (operaciones) a seguir. Donde, la primera operación consiste en la aplicación de la máquina 1, luego la máquina 2 y por último, la tercera en la aplicación de la máquina 3.

Si se toman todas estas operaciones en conjunto, forman un trabajo, esto quiere decir las tareas necesarias para lograr un producto. Ahora, si para efectos de ejemplificación se supone que se desea elaborar el producto anteriormente definido, se considerarán los tiempos expuestos en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Resumen para ejemplo de *Flow-Shop* Scheduling.

Operación	1	2	3
Trabajo	1	1	1
Máquina	1	2	3
Tiempo(Min)	10	20	50

A través del ejemplo anterior se ha contextualizado de forma tangible el problema de *Flow-Shop*, y asimismo se ha establecido una formalización de la nomenclatura utilizada. Es así como se puede establecer una definición al problema de *Flow-Shop*.

Ahora, se procederá a la individualización de todos los elementos participantes y necesarios para el entendimiento del funcionamiento de *Flow-Shop*:

- ❖ Máquina (*Machine*): Es cada uno de los entes que realizan alguna tarea. Se dispone de un grupo de ellas. Se supone que una máquina cualquiera no puede realizar más de una única operación a la vez.
- ❖ Operación (*Operation*): Es cada uno de los pasos necesarios para lograr un producto terminado. Una operación consiste en aplicar una máquina determinada, durante un período determinado de tiempo ininterrumpido.
- ❖ Trabajo (*Job*): Establece el objetivo de lograr un producto en particular. Y por comprensión, indica el conjunto de operaciones para lograr dicha meta.
- ❖ Programa (*Schedule*): Es una asignación que fija a cada operación un intervalo de tiempo para ser efectuada.
- ❖ Intervalo operativo (*Makespan*): Dado un programa, es el período o lapso que abarca la totalidad de la producción, es decir, la realización de todas las operaciones.
- ❖ Relación de precedencia H : Indica el orden en que deben ser efectuadas las operaciones correspondientes a un mismo trabajo. Este orden queda determinado por el problema.
- ❖ Relación de precedencia H_p : Indica el orden en que deben ser efectuadas las operaciones correspondientes a una misma máquina. Este orden puede ser elegido entre algunos admisibles.

El programa determina que algunas operaciones (que corresponden a distintas máquinas) se efectúen simultáneamente, por lo tanto, aprovecha mejor el tiempo disponible y permite reducir el tiempo necesario para completar la producción. De aquí, se deduce que en la medida en que mejor se explote este recurso tanto mejor será el programa, en particular, el programa óptimo tiende a efectuar la mayor cantidad posible de operaciones en simultáneo, minimizando así la demora.

4.1.1 Cálculo de *Makespan*

Dado un grafo G cualquiera con vértices s y t . Se puede denominar camino entre s y t al conjunto ordenado de vértices tales que $s \rightarrow u_1 \rightarrow \dots \rightarrow u_k \rightarrow t$. Además se le puede llamar costo o peso de ese camino al valor igual a la suma de los pesos de cada rama que lo conforma, es decir, $c_{su(1)} + \dots + c_{uk(t)}$. Además, dado un problema de tipo *Flow-Shop Scheduling*, una secuencia factible π y un grafo $G=(O, A \cup S(\pi))$ asociado. Se puede suponer que el peso de una rama (i,j) es p_i o el tiempo necesario para completar la operación i . Entonces, el *Makespan* es igual a la longitud del camino más largo entre s y t , el cual es el mismo camino para todos los trabajos asociados a la planificación en cuestión.

Para demostrar lo anterior, se puede apreciar lo siguiente: Sean $\{y_i\}$ un conjunto de valores tales que y_i es igual al costo de un camino óptimo entre s y el vértice i y sea $\{s_i\}$ un programa que respete la secuencia π . Se puede observar que el costo del camino más largo entre s y t es igual a $y_t - y_s = y_t$ y el *Makespan* es igual a $s_t + p_t = s_t$.

4.1.2 Elementos de problemas de *Scheduling*

A continuación, se describen algunos de los elementos que se reconocen más concurrentemente, donde los problemas de programación de tareas suelen clasificarse a grandes rasgos bajo el contexto de alguno de los siguientes tres tipos (los cuales ya fueron tratados anteriormente):

- ❖ Máquina única (*single machine*): Este es el caso más simple en el cual todos los trabajos requieren el mismo recurso para ser ejecutados. En general, cada trabajo consiste en una sola operación y entonces se puede hablar indistintamente de trabajo y operación.
- ❖ *Flow-Shop*: En este caso, el sistema consiste en m máquinas dispuestas en serie y cada trabajo debe ser ejecutado por cada una de las m máquinas sucesivamente, o sea, primero la máquina 1, luego la 2, ... y finalmente la m . A menudo se asume que cada máquina tiene un buffer de tipo FIFO. Por lo tanto, el orden en el cual los trabajos visitan cada máquina es siempre el mismo y en otras palabras, los trabajos no pueden pasarse. En este caso suele hablarse de permutación *Flow-Shop*.

En cuanto a las restricciones, en un problema de programación como los anteriores suelen aparecer diversos tipos de o especificaciones suplementarias que contribuyen a definir y complicar el problema. Estas pueden comprender:

- ❖ Fecha de disparo (*release date*) r_j : Indica el instante de tiempo (a partir de un instante inicial 0) antes del cual no es posible iniciar la ejecución del trabajo j . Por ejemplo, si la materia prima necesaria para efectuar el trabajo j arriba dentro de tres días, el trabajo j no puede comenzarse hasta entonces.
- ❖ Fecha consignada (*due date*) d_j : Indica el instante de tiempo (a partir de un instante inicial 0) antes del cual la ejecución del trabajo j debería estar terminada. En general, la violación de un tiempo de consignación conlleva algún costo (pérdida de confianza por parte del cliente, proveedores, entre otros).
- ❖ Peso (*weight*) w_j : Representa la importancia relativa del trabajo j respecto de los otros.
- ❖ Tiempo de configuración (*set-up*) s_{ij} : Esta característica está presente sobre todo en problemas de una única máquina e indica que se quiere seguir al trabajo i el trabajo j , entonces, entre estos dos trabajos, es necesario reconfigurar la máquina, lo cual requiere un tiempo s_{ij} .
- ❖ Preferencia (*preemption*): En ciertos casos, se consiente en interrumpir un trabajo para permitir la ejecución de uno más urgente. El problema en esos casos se llama *preemptive*.
- ❖ Vínculos de precedencia entre trabajos: Pueden existir relaciones de precedencia entre trabajos. Por ejemplo, un vínculo de este tipo entre los trabajos i y j marca que el trabajo i no puede comenzar hasta haber finalizado el trabajo j .
- ❖ Bloqueo (*blocking*): En un problema de *Flow-Shop*, los trabajos en espera para ser efectuados en una máquina, son hospedados en un buffer. Si en un instante dado el *buffer* de la máquina i está lleno, un trabajo terminado en la máquina $i-1$ no puede encontrar un puesto en el buffer de la máquina i y está por lo tanto condenada a permanecer bloqueando la máquina $i-1$, la cual no podrá iniciar una nueva tarea hasta tanto no se desembarace del trabajo. Este fenómeno se llama *blocking*.
- ❖ Opción sin espera (*no-wait*): Si un hubiese un buffer a la entrada de la máquina i , la máquina $i-1$ estaría ocupada hasta que se liberase la máquina i . Aún más restrictiva es la situación *no-wait* en la cual a los *Jobs* no se les permite siquiera esperar dentro de una máquina y en cambio, debe garantizarse que al instante de completar una operación en una máquina, la siguiente sucesiva ya está disponible para continuar el trabajo.

En cuanto a los objetivos, los problemas de programación pueden ser muy distintos. Para definirlos, se pueden introducir de forma preliminar algunos de ellos:

- ❖ Tiempo de completamiento C_j : Es el instante en el cual el último trabajo j (y por lo tanto el trabajo entero) termina. Si no se admiten interrupciones, C_j está dado por la suma del instante de inicio de la última operación del trabajo j y del tiempo de procesamiento de dicha operación.
- ❖ Tiempo de llegada (*lateness o arrival*) L_j : Es la diferencia entre el tiempo de completamiento y la fecha consignada para la entrega del trabajo j . Nótese que si es positiva indica un retraso y si es negativa un adelanto. Esto es, $L_j=C_j-d_j$.
- ❖ Tiempo de demora (*tardiness*) T_j : Coincide con el tiempo de llegada cuando éste es positivo, de otra manera vale 0. O sea, $T_j=\max\{L_j, 0\}$. Ahora bien, el objetivo es por lo general, optimizar alguno de los siguientes valores.
- ❖ Máximo tiempo de completamiento (*Makespan*) C_{\max} : Dado un programa S se define como $\max\{C_1, \dots, C_n\}$ y representa la medida (respecto del instante 0) del tiempo necesario para concluir toda la actividad.
- ❖ Máximo tiempo de llegada L_{\max} : Dado un programa S se define como $\max\{L_1, \dots, L_n\}$, o sea el retardo del trabajo que termina con mayor retardo respecto a su propia fecha consignada. (Nótese que puede ser negativo y en tal caso representa el anticipo del trabajo que termina con menor anticipo).
- ❖ Máximo tiempo de demora T_{\max} : Se define como $\max\{L_{\max}, 0\}$.
- ❖ Suma ponderada de los tiempos de completamiento T_{\max} : Dado un programa S se define como:

$$\sum_{j=1}^n w_j C_j$$

En el caso, en el cual los pesos son todos iguales, esta cantidad aparece como una medida del volumen total de tiempo que el sistema asigna a cada trabajo.

Finalmente, puede darse el caso de función multi-objetivo. Se deben distinguir dos enfoques diferentes para abordar estos problemas. A saber, si f_1 y f_2 son dos funciones objetivo.

4.2 Solución inicial

Para la generación de la solución inicial, a la cual más tarde se le aplicará Búsqueda Tabú se propone el uso del algoritmo de Johnson.

Para ello, contémplese en el taller de trabajo que las máquinas están dispuestas de manera que el flujo de todos los productos que se procesan en ellas es unidireccional. Existen m máquinas y puede haber trabajos que tengan menos operaciones que m , como se puede apreciar en la Figura 4.1.

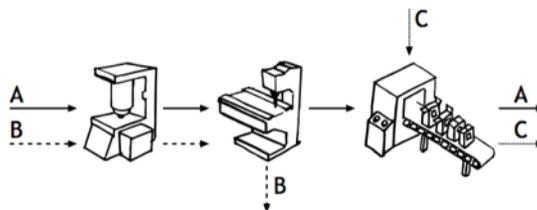


Figura 4.1 Configuración *Flow-Shop*

Si los n trabajos se procesan en las m máquinas existen $(n!)^m$ alternativas para la programación. Por ejemplo, si hay que planificar 5 trabajos en 3 máquinas se disponen de 1.728.000 alternativas diferentes. Hasta el momento sólo está resuelto de forma óptima el caso estático del *Flow-Shop* de dos máquinas. El algoritmo que minimiza el intervalo de fabricación es el Algoritmo de Johnson. Entonces, lo que se propone es usar este algoritmo no para encontrar la mejor solución si no que para generar una solución inicial. Así, los pasos a seguir en el algoritmo de Johnson son [69]:

- ❖ Paso 1: Formar una lista con todos los trabajos y dos listas más (una para cada máquina). La lista de la primera máquina se completa de izquierda a derecha; la de la segunda de derecha a izquierda.
- ❖ Paso 2: Encontrar el trabajo con menor tiempo de procesamiento (p_i). Los empates pueden romperse al azar.
- ❖ Paso 3: Si el tiempo corresponde a la primera máquina, poner el trabajo en la lista de la primera máquina. Si es de la segunda, poner el trabajo en la lista de la segunda máquina.
- ❖ Paso 4: Repetir hasta que se vacíe la lista de trabajos.

La secuencia óptima se consigue concatenando los trabajos de la lista de la primera máquina y los de la segunda.

El algoritmo busca que las máquinas estén el menor tiempo posible detenidas. La secuencia obtenida procesará primero en la máquina 1 aquellos trabajos que deben pasar por la máquina 2 y después los que sólo tienen operación en la máquina 1. Al mismo tiempo la máquina 2 procesará en primer lugar los trabajos que sólo tienen operación en la máquina 2 y después los que provienen de la máquina 1.

Por ejemplo, si se tiene una lista de trabajos y dos máquinas. Los trabajos tardan un tiempo de procesamiento en cada máquina según muestra la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Datos iniciales ejemplo solución inicial.

Trabajo	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Máquina 1 (M ₁)	2	6	7	5
Máquina 2 (M ₂)	4	3	1	8

Entonces, según lo especificado en el algoritmo, primeramente se debe construir las listas correspondientes a las dos máquinas y la lista general que en primera instancia almacenará todos los trabajos, tal como lo representa la Tabla 4.3

Tabla 4.3 Generación de listas iniciales.

Trabajo	Contenido Lista
Lista M ₁	---
Lista M ₂	---
Lista General	T ₁ , T ₂ , T ₃ , T ₄

Ahora, se debe buscar en la lista de trabajos (denominada lista general) el trabajo con el menor tiempo de procesamiento, donde en este caso, el trabajo que presenta el menor tiempo es T₃, que se ejecuta en la máquina M₂.

De esta forma, si el menor tiempo corresponde a la primera máquina, se agrega a la lista de ella, y si corresponde a la segunda, se ingresa a la de la segunda máquina. Y se debe considerar que al ejecutar este paso el correspondiente trabajo se borra de la lista de trabajos generales. Donde según lo que estipula el algoritmo estas acciones se repiten hasta que la lista de trabajos general se encuentre vacía, generando con ello una distribución como muestra la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Resultado de n iteraciones para vaciar lista general.

Trabajo	Contenido Lista
Lista M ₁	T ₁ , T ₄
Lista M ₂	T ₂ , T ₃
Lista General	---

Así, como la lista de trabajos generales se encuentra vacía, es momento de concatenar la lista de la primera máquina con la de la segunda máquina. La lista resultante será la secuencia referenciada como solución inicial, quedando está distribuida como: T₁, T₄, T₂ y T₃.

4.3 Búsqueda Tabú

La Búsqueda Tabú es una técnica heurística que puede utilizarse en combinación con algún otro método de búsqueda, para resolver problemas de optimización combinatorial con un alto grado de dificultad. Este capítulo proporciona una visión general de la técnica, lo que abarcaría su uso y un breve recuento de algunas de sus aplicaciones registradas en la literatura. El algoritmo de Búsqueda Tabú (*Tabú Search*) es un procedimiento meta heurístico para hallar soluciones cuasi óptimas. Primeramente introducido por Glover [33] en el año 1985 y asimismo la versión que se presenta en este informe que pertenece a Nowicki y Smutnicki [34] propuesta en el año 1996.

Las técnicas heurísticas más conocidas hoy en día no hacen más que adaptar ideas conocidas desde hace mucho tiempo en otras disciplinas. Por ejemplo, los algoritmos genéticos emulan los mecanismos de la evolución; los métodos de flujo de redes se fundamentan en ideas de la electricidad y la hidráulica, y el "enfriamiento simulado" (*Simulated Annealing*) se basa en un proceso físico de la industria metalúrgica. De forma similar, la técnica conocida como Búsqueda Tabú se basa en ciertos conceptos tomados de la Inteligencia Artificial y se utiliza como una meta heurística (o una heurística de "alto nivel") para resolver problemas de optimización combinatorial.

Esto significa que la técnica que usa la Búsqueda Tabú tiene que combinarse con algún otro mecanismo de búsqueda, y lo que hace, básicamente, es evitar que dicho mecanismo quede atrapado en un óptimo local. Además, el concepto de la Búsqueda Tabú sigue evolucionando y todavía hay mucho lugar para mejoras y sugerencias que permitan incrementar su flexibilidad y eficiencia al aplicarse a espacios de búsqueda de gran tamaño.

La Búsqueda Tabú puede verse como una meta-heurística que se superpone a una técnica de búsqueda y que se encarga de evitar que dicha técnica caiga en óptimos locales prohibiendo ciertos movimientos. El propósito de clasificar ciertos movimientos como prohibidos o "Tabú" es para evitar que se caiga en ciclos durante la búsqueda.

Debido a esto, Glover [34] sugiere como nombre alternativo para su método, el de búsqueda con "inhibición débil", ya que los movimientos que se consideran prohibidos constituyen generalmente una pequeña fracción del total de movimientos disponibles, y un movimiento pierde su status de prohibido, después de un período de tiempo relativamente corto, volviéndose después nuevamente accesible.

Así, la Búsqueda Tabú mantiene información referente a los movimientos más recientes en una o más listas Tabú, a fin de evitar que una cierta trayectoria previamente recorrida se repita, aunque esta prohibición es generalmente condicional y no absoluta, como se verá más adelante. La Búsqueda Tabú se encuentra fundamentada en 3 elementos principales [34]:

- ❖ El uso de estructuras flexibles de memoria basadas en atributos, diseñadas para permitir una mejor explotación de los criterios de evaluación y la información histórica de la búsqueda que lo que se conseguiría con estructuras rígidas de memoria (como las que se usan en la búsqueda de ramificación y límites y el algoritmo A*) o con sistemas carentes de memoria (como la técnica de "enfriamiento simulado" (*simulated annealing*) y otras técnicas aleatorias similares).
- ❖ Un mecanismo asociado de control (para emplear las estructuras de memoria) basado en la interacción entre las condiciones que limitan y hacen más flexible el proceso de búsqueda. Este mecanismo se encuentra inmerso en la técnica en la forma de restricciones y criterios de aspiración (un criterio de aspiración es aquél que permite que un movimiento pierda su status de *Tabú* debido a que proporciona una mejor solución que la actual).
- ❖ La incorporación de memorias de diferente duración (de corto a largo plazo), para implementar estrategias que intensifiquen y diversifiquen la búsqueda. Las estrategias de intensificación refuerzan las propiedades de las combinaciones de movimientos que han demostrado (históricamente) ser buenas, mientras que las estrategias de diversificación dirigen la búsqueda hacia nuevas regiones del espacio de soluciones factibles. Note que estos dos mecanismos son muy similares a la cruce y la mutación en los algoritmos genéticos, ya que la primera nos permite delimitar una cierta región del espacio de búsqueda, mientras que la segunda nos permite saltar a nuevas regiones del mismo, evitando que quedemos atrapados en un óptimo local.

Es de esta forma, que en este trabajo se reutilizará parte de la implementación de Búsqueda *Tabú* generada para [9] en donde se referencia directamente la solución a problemas de tipo *Job-Shop* generando la correspondiente adaptación para cumplir con los requerimientos de *Flow-Shop* y del caso de estudio que se presenta posteriormente.

4.3.1 Memoria a corto plazo y determinación de mejores movimientos

La parte medular de la Búsqueda Tabú se localiza en el proceso de memoria de corto plazo, y muchas de las consideraciones estratégicas en que se fundamenta este proceso reaparecen, amplificadas pero sin mayores modificaciones, en los procesos de memoria de largo plazo.

La memoria de corto plazo de la Búsqueda Tabú constituye una forma de exploración agresiva que intenta realizar el mejor movimiento posible, sujeto a las restricciones impuestas por el problema. De esta forma, se puede

describir su funcionamiento básico a través de la ilustración que lo hace detalladamente, para ello se puede apreciar la Figura 4.2 [Glover, 1990] donde se muestran los componentes de la memoria de corto plazo de la Búsqueda Tabú.

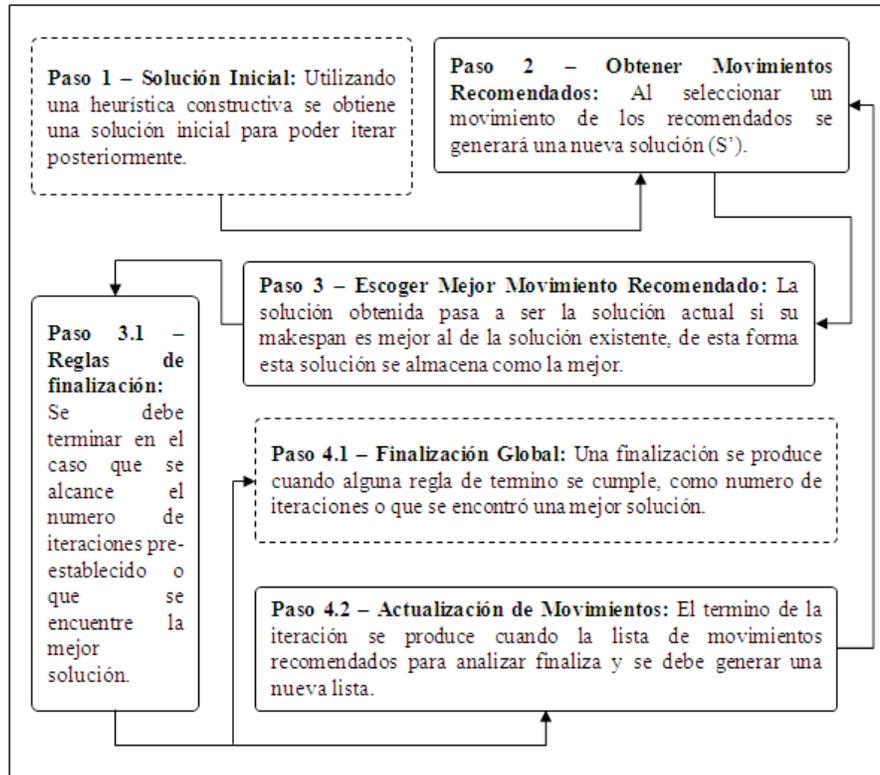


Figura 4.2 Descripción de componente de memoria de corto plazo de la Búsqueda Tabú.

Las restricciones impuestas por el problema se utilizan para evitar que se reviertan o repitan ciertos movimientos (se convierten en "prohibidos"). El objetivo primordial de los movimientos prohibidos es hacer que la técnica de búsqueda pueda ir más allá de los puntos óptimos locales, a la vez que se mantienen movimientos de alta calidad a cada paso. Sin estas restricciones, el método podría moverse hacia un punto fuera de un óptimo local, pero inmediatamente después caería en el mismo punto al determinarse que el mejor movimiento posible desde esa posición es precisamente el óptimo local antes mencionado. En general, las restricciones *Tabú* tienen como objetivo prevenir ciclos e inducir a la búsqueda a que siga una nueva trayectoria si ocurren ciclos en un sentido más limitado (es decir, si se revisita una solución encontrada previamente). Estas restricciones no operan de manera aislada, sino que se contrabalancean mediante la aplicación de ciertos criterios de aspiración derivados del planteamiento del problema.

Asimismo, la determinación de los mejores movimientos son un paso crítico involucrado en la orientación agresiva de la memoria de corto plazo es la selección de este mejor movimiento plausible desde un punto cualquiera. Primero, se evalúan cada uno de los movimientos de la lista de candidatos en turno. En algunos casos, la evaluación de un cierto movimiento puede basarse inicialmente en el cambio producido en el valor de la función objetivo; es decir, se calcula la diferencia entre los valores de la función objetivo antes y después de aplicar el movimiento para ver cuál proporciona un valor más favorable. En otros casos, en donde las ramificaciones de un movimiento son más

difíciles de determinar o donde no a todas las variables se les ha asignado un valor todavía, es más conveniente evaluar en base a soluciones relajadas o aproximadas, o utilizar simplemente una medida local de estimación de la cercanía de una cierta solución al óptimo. Sin embargo, conforme la búsqueda avanza, la forma de evaluación utilizada por la Búsqueda Tabú se vuelve más adaptativa, incorporando referencias a los parámetros de intensificación y diversificación. Los pasos para determinar el mejor movimiento posible se aprecia en la Figura 4.3.

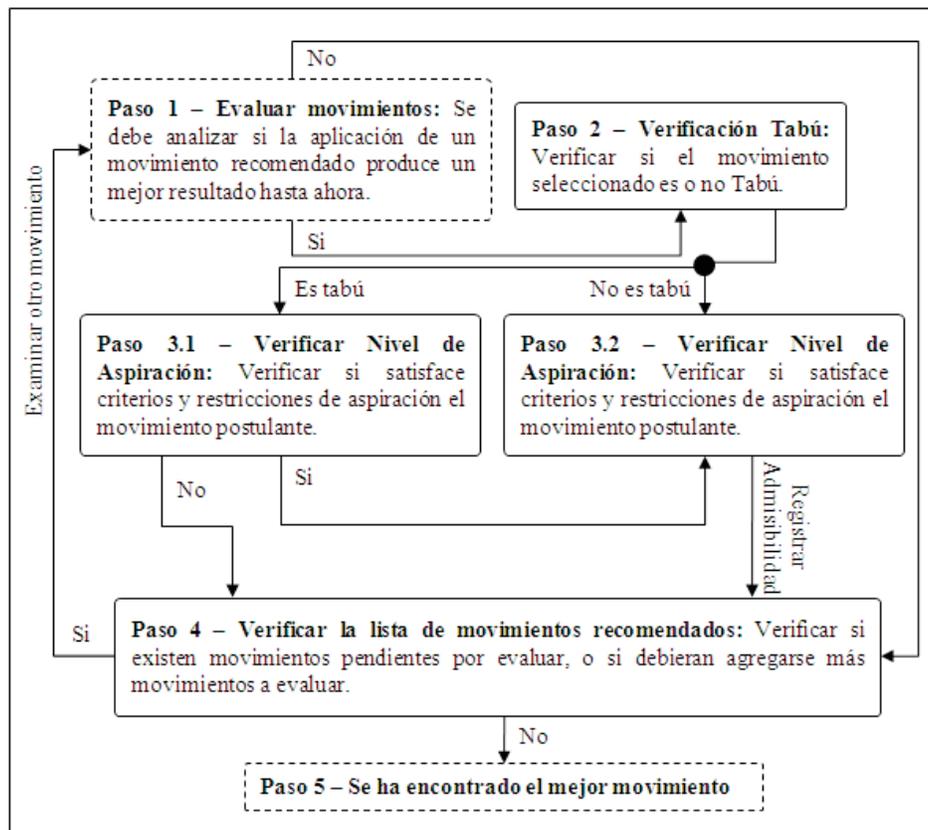


Figura 4.3 Selección del mejor movimiento posible.

Así, debido a que el número de movimientos clasificados como *Tabú* es generalmente pequeño con respecto al número total de movimientos válidos, y asumiendo que el costo de evaluación de un movimiento no es demasiado grande, normalmente se prefiere verificar primero si un cierto movimiento es mejor que sus predecesores admisibles antes de verificar si es un movimiento prohibido. Luego se chequea si el movimiento es o no "*Tabú*", y de no serlo se acepta inmediatamente como admisible. De lo contrario, se usan los criterios de aspiración predeterminados para darle a dicho movimiento la oportunidad de cambiar su *status* de "*Tabú*" (en otras palabras, se le da una segunda oportunidad para calificar como admisible).

De esta forma, el proceso de análisis del siguiente movimiento puede incluirse dentro de la estrategia de la lista de movimientos plausibles. En algunos casos, si las restricciones *Tabú* y los criterios de aspiración son suficientemente limitantes, ninguno de los movimientos posibles calificará como admisible. Para tales situaciones debe almacenarse un movimiento "menos inadmisibles", que se escogerá sólo si no hay ninguna alternativa admisible disponible.

4.3.2 Operadores

Los operadores refieren a los movimientos, o sub-algoritmos que hace uso Búsqueda *Tabú* (TS) para encontrar una solución que mejore el *Makespan* obtenido en esta solución inicial. Se debe considerar que para aplicar cualquier operador siempre se referenciará a una secuencia.

4.3.2.1 Secuencias

La secuencia es aquella sub-programación de trabajos que son asignados por máquina; por ejemplo, en la Tabla 4.5 se puede apreciar un resumen de los datos iniciales para construir una planificación.

Tabla 4.5 Datos iniciales para una planificación

Trabajo	Planificación
Máquina M_1	T_1, T_4
Máquina M_2	T_2, T_3

Luego, se debe considerar que los correspondientes trabajos tienen una asignación de tiempo, en donde se puede generar una planificación representativa para las correspondientes máquinas en el tiempo, siempre considerando que estas secuencias deben cumplir con las temporalidades y secuencialidad definida en las restricciones del problema.

4.3.3 Movimientos

Los movimientos son definidos como aquellos intercambios que se producen entre los trabajos pertenecientes a una misma máquina. Para ello se define dos tipos de movimientos $MI(a,b)$ que corresponde a los movimientos realizados donde se intercambia un trabajo m_a delante de un trabajo m_b , este movimiento es definido como movimiento a la izquierda. Asimismo, se define a $MD(a,b)$ aquel movimiento que lleva el trabajo m_a tras el trabajo m_b , este movimiento es denominado movimiento a la derecha. En la Figura 3 se representa gráficamente los movimientos que antes se mencionaron.

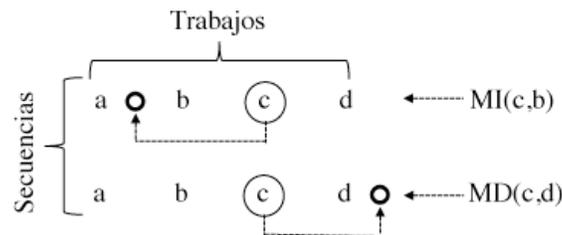


Figura 4.4: Ejemplificación de movimientos a la izquierda y derecha.

Además, cabe señalar que para efectuar los movimientos antes mencionados se debe antes verificar que sean movimientos factibles, esto quiere decir que no quiebren la secuencialidad definida de los trabajos en las distintas máquinas.

4.3.3.1 Factibilidad de una secuencia

Como se definió anteriormente, una secuencia corresponde a aquellos trabajos (pertenecientes a distintas tareas) que se deben operar en una misma máquina, asimismo se debe considerar que cada secuencia consta de un *Makespan* C , que corresponde a:

$$C = \sum_{j=1}^n t_{jm} + u_{jm}$$

Dónde:

- ❖ t_{jm} es el tiempo que el trabajo j ocupa la máquina m ,
- ❖ u_{jm} es el total de tiempos muertos entre los trabajos de la máquina m

De esta forma, la primera restricción que debe cumplir un movimiento candidato a ser utilizado como secuencia, es que su *Makespan* debe ser menor o igual al *Makespan* de la secuencia inicial. Así, cuando se simula todos los posibles movimientos relacionándolos directamente con su *Makespan*, presenta esa gama de resultados a los métodos correspondientes a su evaluación, que se encarga de verificar factibilidad y hacer la selección según la función objetivo definida.

Además, se debe considerar que las secuencias deben mantener siempre la precedencia entre los trabajos pertenecientes a una tarea, por ejemplo, si se tiene m_2, m_3, m_1 pertenecientes a la tarea n_1 , además m_5, m_4, m_6 pertenecientes a la tarea n_2 , ambos en el orden antes expuesto, siempre se deberá mantener ese orden, es decir, si en la máquina 1 se tiene a m_2 y m_5 y se quiere poner a m_2 delante de m_5 , este no debe nunca romper la secuencia definida anteriormente en n_1 y n_2 .

Así, cumpliendo con estas reglas es que se realiza la selección del mejor movimiento para ser aplicado a la secuencia seleccionada.

4.3.4 Algoritmo de Búsqueda Tabú

La Búsqueda Tabú es una técnica meta heurística que puede utilizarse en combinación con algún otro método de búsqueda para resolver problemas de optimización combinatorial [70] con un alto grado de dificultad.

En este artículo tan sólo se referenciará el uso de Búsqueda Tabú definida por [71] como meta heurística para mejorar el resultado (*Makespan* final) entregado por la planificación buscando acercarse lo más posible a la solución óptima.

Así, haciendo uso de los operadores antes definidos para promover mejores soluciones que cumplan con el objetivo de minimizar el *Makespan* C , además cumplan con las restricciones correspondientes, y una lista *Tabú* en general de tamaño 7 en la cual se guarden los movimientos utilizados con anterioridad, se busca mejorar la solución inicial entregada por el algoritmo de Johnson [69].

Así, en la Tabla 4.6 se presenta el algoritmo utilizado en Búsqueda Tabú para buscar la mejora de la solución inicial.

Tabla 4.6 Algoritmo de Búsqueda Tabú

```
Inicio
{n es numero de iteraciones
t tamaño lista Tabu
s numero de máquinas}
mientras i<=n entonces
  mientras j<=s entonces
    buscar_mejor_solucion(máquina_j)
  fin_mientras
  comparar_soluciones(listado_de_soluciones)
  si(solución_es_mejor) entonces
    si(solución_es_factible) entonces
      seleccionar_solucion(máquina_j)
    fin_si
    j=j+1
  fin_mientras
  aplicar_solucion(máquina_j)
  agregar_movimiento(lista_tabu)
  i=i+1
fin_mientras
fin
```

4.3.4.1 La lista Tabú

Con el objetivo de mejorar la eficiencia del proceso de búsqueda de Búsqueda Tabú utiliza, además de la información local proporcionada por el entorno, información obtenida anteriormente por el mismo proceso de búsqueda. Esto obedece a la intención de obtener una idea global del conjunto de soluciones, una visión panorámica del relieve en contraste a la visión precisa, pero estrecha que nos brinda el entorno. Este uso sistemático de información almacenada es una característica esencial del Búsqueda Tabú.

El algoritmo se fundamenta en esa percepción global para evitar caer en un ciclo y para orientar la búsqueda en nuevas direcciones y lo hace reduciendo el entorno de una solución mediante la remoción de elementos considerados indeseables o *Tabú*. Estas soluciones *Tabú* son almacenadas en una estructura de datos llamada lista *Tabú*.

La Búsqueda Tabú *T*, como lo muestra la Tabla 4.7, es una lista ordenada de un largo prefijado de movimientos prohibidos. Comenzando con una lista vacía, incorporamos nuevos elementos a *T* eliminando el elemento más antiguo de la lista toda vez que se supere el largo prescrito (esto se asimila al tamaño de la lista Tabú, por ende, aquel valor que se sobrepase del límite del tamaño de la lista Tabú considerando almacenamiento tipo FIFO, debe salir de la lista). Se puede establecer que el ingreso de un movimiento consiste en un *shift* a la izquierda sobre *T* seguido de la incorporación por derecha del nuevo movimiento. Cada vez que se efectúa un movimiento (x,y) se incorpora su inverso (y,x) a la lista Tabú.

En la Tabla 4.7 se muestra un proceso de incorporación de movimiento, por ejemplo se supone que se van a incorporar sucesivamente los movimientos u_1, u_2, u_3, u_4 a una lista T inicialmente vacía y con una longitud máxima fijada de tres elementos.

Tabla 4.7 Incorporación de movimientos a una lista *Tabú* T.

Incorporar	Lista T
u_1	$\{u_1\}$
u_2	$\{u_1, u_2\}$
u_3	$\{u_1, u_2, u_3\}$
u_4	$\{u_2, u_3, u_4\}$

5 Selección de caso de estudio

Es de vital importancia, en la actualidad, para las empresas contar con productos de excelencia y asimismo sucede con los procesos desarrollados, con el cumplimiento de los plazos pactados con los clientes, las responsabilidades, seriedad, entre otros aspectos esenciales para la imagen de la empresa. Lo anterior, se da para mantenerse competitivas en un mercado que cada vez exige mejoras de sus requerimientos y tiempos de entregas.

A raíz de estas necesidades, el minimizar tardanzas y aumentar calidad en la elaboración de los productos, se plantea la necesidad de programar las actividades de la forma con mayor grado de eficiencia, puesto que en la modernidad, incumplir plazos de entrega y merma de la calidad del producto entregado al cliente, no es una opción viable[72].

5.1 Selección del caso de estudio

El caso de estudio comprende aplicar la automatización de planificación de la producción a una empresa escogida que cumpla con las características del problema de *Flow-Shop*. De esta forma, la empresa escogida refiere a Biomédica Ingeniería Ltda., una empresa dedicada a la reparación de distintos equipos médicos, donde las características de estos equipos y procesos se detallarán más adelante.

En Viña del Mar, el actual Hospital Dr. Gustavo Fricke posee más de 1300 equipos electro médicos de alta, mediana y baja complejidad. Se proyecta en un plazo de 5 años más, la finalización de la construcción del nuevo Hospital que se edificará en los mismos terrenos del actual infraestructura y que contará aproximadamente con 4000 equipos.

Por la duración de las obras previas, se requerirá de un procedimiento ordenado para controlar la adquisición y reposición de equipamiento electro médico, trayecto en el cual equipos quedarán fuera de servicio, sin posibilidad de reparación (dados de baja), otros cumplirán y superarán su vida útil debiendo gestionarse posteriormente su baja, entre otros.

Durante el periodo de construcción del Hospital se generarán aumentos en la demanda atencional, que deberán ser compensados con proyectos de expansión en las actividades clínicas del recinto. Por otro lado, el avance tecnológico, la invención de nuevas técnicas asistenciales menos invasivas o revolucionarias, implicará dejar de lado y sin posibilidad de utilización equipamiento médico que esté con su vida útil al día, pero que presenta una caducidad tecnológica que impedirá su aplicación en pacientes.

5.1.1 Descripción

Ingeniería Biomédica es una empresa que licita los servicios al Hospital Dr. Gustavo Fricke de Viña del Mar, por el concepto de reparación y mantenimiento de los equipos médicos.

Las características de este flujo se describe más tarde, pero se hace necesario contar con los principales elementos que definen esta problemática:

- ❖ Se cuenta con un número finito de equipos (denominados trabajos).
- ❖ Se cuenta con un número finito de técnicos, los cuales serán el símil a las máquinas del problema de *Flow-Shop*.
- ❖ Cada equipo es distinto entre si, pero deben pasar por las mismas etapas y labores efectuadas por los técnicos para lograr su reparación.
- ❖ En la actualidad se efectúa una estimación de producción en razón a los equipos que llegan a reparación o mantención.

Ahora, la finalidad de esta empresa es contar con un plan de Mantenimiento Orientado al Riesgo, que consiste en la asignación de prioridad de reparación y mantención, a partir de una evaluación integral de cada equipo. Hay equipos que por su bajo nivel de riesgo no están incluidos en el plan de mantenimiento y son atendidos a solicitud del usuario o simplemente cuando fallan (mantenimiento correctivo).

La experiencia demuestra que si el mantenimiento se limita al equipamiento crítico, éste se hace inmanejable o ineficiente, por ello se recomienda utilizar criterios de inclusión de mantención preventiva, basándose en criterios orientados al riesgo, puntualmente utilizando el criterio de Fennigkoh y Smith. La realización de un plan de mantenimiento programado orientado al riesgo distribuye de mejor manera los recursos hacia los equipos, en los cuales un mal funcionamiento conlleva mayor peligro hacia el paciente u operador.

De esta forma, se busca establecer aquellos elementos que se hacen propios del problema, cumpliendo con aquellas características esenciales que debe contener para entregar una solución y ejercer una planificación tipo *Flow-Shop*.

5.1.2 Equipos y flujos de trabajo

El centro del trabajo de esta empresa está enfocado en la reparación de equipos, para ello existen ciertos flujos de trabajo que deben ser considerados. En esta sección lo que se establece son los principales procedimientos que se llevan a cabo para realizar ciertas actividades. Cabe señalar, que el evento que gatilla cada reparación o evaluación es una orden de trabajo (OT), la cual es enviada por la Unidad Clínica.

5.1.2.1 Procedimiento administrativo para la recepción de una orden de trabajo

El procedimiento comienza cuando se genera un requerimiento al interior de un servicio o unidad clínica, que es informando a la U.E.M (Unidad de Equipos Médicos), siempre y cuando este dentro de su Cartera de Servicios.

La Enfermera, Matrona, Tecnólogo u otro estamento que cumpla las funciones de supervisión de un servicio, unidad clínica o supervisión clínica), confeccionará la Orden de Trabajo (OT) que será enviada junto con el equipamiento con problemas a la U.E.M. Dependerá del tamaño del equipo si es que se envía el equipo junto con la OT, pudiera darse el caso que se trate de un requerimiento a un equipo electro médico empotrado al piso o al cielo de una sala. Si este es el caso, se deberá indicar en la OT, que el equipo no fue enviado y la solicitud de programar una visita al servicio o unidad clínica. El Paramédico o auxiliar de Servicio Transportará el equipo (dependiendo de su

tamaño) y la OT. La secretaria de la U.E.M decepcionará la OT más el equipo Electro médico (dependerá del tamaño). En la actividad de recepción, la secretaria de la U.E.M siempre considerará lo siguiente:

- a. El Técnico de la U.E.M siempre prestará colaboración Técnica y Administrativa a la Secretaria de la U.E.M.
- b. Podrá también entregar la OT a la secretaria de la U.E.M., en caso de haber atendido un llamado de emergencia, sin antes contar con una OT, que posteriormente el Técnico rescatará en persona en el Servicio o Unidad clínica que requirió la actividad.

La secretaria “Siempre” deberá efectuar la recepción de la Orden de Trabajo del Servicio o Unidad Clínica-Administrativa en cooperación del Técnico Electrónico de la U.E.M., verificando en forma obligatoria lo siguiente:

1. La OT venga completa; Nombre del Servicio Clínico, Marca, Modelo, Número de Serie, Número de Inventario del Equipo, descripción del problema y fecha de emisión de la Orden de Trabajo. Nótese que si la fecha no es la correcta, se deberá insertar un comentario en la descripción del problema del equipo, donde se indicará la fecha correcta de recepción de la Orden de Trabajo, solicitándole al funcionario que trae la Orden de Trabajo, que firme al lado del comentario efectuado por el personal de la U.E.M.
2. Se deberá verificar que el equipo venga con todos los accesorios que se lista en la OT. Si no coincide, se deberá escribir en el campo descripción del problema de la misma OT, la inexistencia del accesorio o el envío de un accesorio que no corresponde a la descripción original. Misma situación cuando la OT no incluya ninguna descripción de los accesorios enviados. Luego se le solicitará en forma obligatoria, que el funcionario que está entregando el equipo, firme al lado del comentario, validando la observación realizada por el personal de la U.E.M. Nótese que si el funcionario clínico se niega a firmar, no se recepcionará la OT. Posteriormente, el Técnico Electrónico o la Secretaria de la U.E.M., firmará “en forma obligatoria” la recepción de la OT, agregando además la fecha de la actividad.
3. Se deberá verificar en forma obligatoria lo siguiente: En caso que el equipo electro médico venga con daño físico en su estructura, con signos de evidente inmersión, rayado, entre otros, que el hallazgo este claramente identificado en la descripción del problema del equipo en la OT. Si no fuera así, se deberá escribir en la misma OT, en el área de la descripción del problema, que el equipo viene con un daño, solicitándole al funcionario clínico que transporta el equipo que firme el hallazgo, si se negará, no se recepcionará el equipo. Posteriormente el Técnico Electrónico o Secretaria de la U.E.M., firmará la OT, agregando la fecha de la actividad.
4. Se deberá verificar en forma obligatoria lo siguiente: si se trata de un equipo electro médico que requiera para su reparación, por ejemplo de “Sensores”, “Cables Troncales”, “Lead”, etc., y no vengan con el equipo a reparar, se deberá escribir en la misma OT, la inexistencia del accesorio requerido para proceder con la reparación. Se le solicitará al funcionario que trae el equipo, que firme conforme al lado del comentario efectuado por funcionarios de la U.E.M. Si el funcionario clínico se negara a firmar, no se recepcionará el equipo. Posteriormente el Técnico Electrónico o Secretaria de la U.E.M., firmará la OT, agregando la fecha de la actividad.

5. Finalmente, en caso de no existir conformidad con los aspectos listados u otros, la “Secretaria de la U.E.M.” o el “Técnico Electrónico de la U.E.M.” podrá negar la recepción de la “Orden de Trabajo del Servicio o Unidad Clínica-Administrativa Solicitante” y del “Equipo Electro médico a reparar o mantener” e informar de la situación al Jefe de la U.E.M. Nótese que para superar esta instancia administrativa, el Servicio Clínico solicitante, deberá enviar en completitud su OT.

Al momento que la secretaria o técnico electrónico de la U.E.M estén conformes con la formalidad de la OT, efectuará y creará en el acto los siguientes registros, ingresando la información primaria, en sus dos sistemas de información disponibles:

- a. La Secretaria o el Técnico deberá escribir en la Orden de Trabajo su nombre, apellido y fecha en la cual efectuó la recepción.
- b. Libro “Ingreso y asignación de Ordene de Trabajo de Servicios y Unidades Clínicas-Administrativas.”
- c. Planilla Electrónica EXCEL: Ingreso de OT de Servicios y Unidades Clínicas.

Así, la Secretaria de la U.E.M efectuará los siguientes Registros considerados en los flujos, considerando que este es el caso en que todo el flujo se produjo de la manera correcta sin contratiempos. El flujo del almacenamiento de las órdenes de trabajo son las que se detallan en la Figura 5.1.

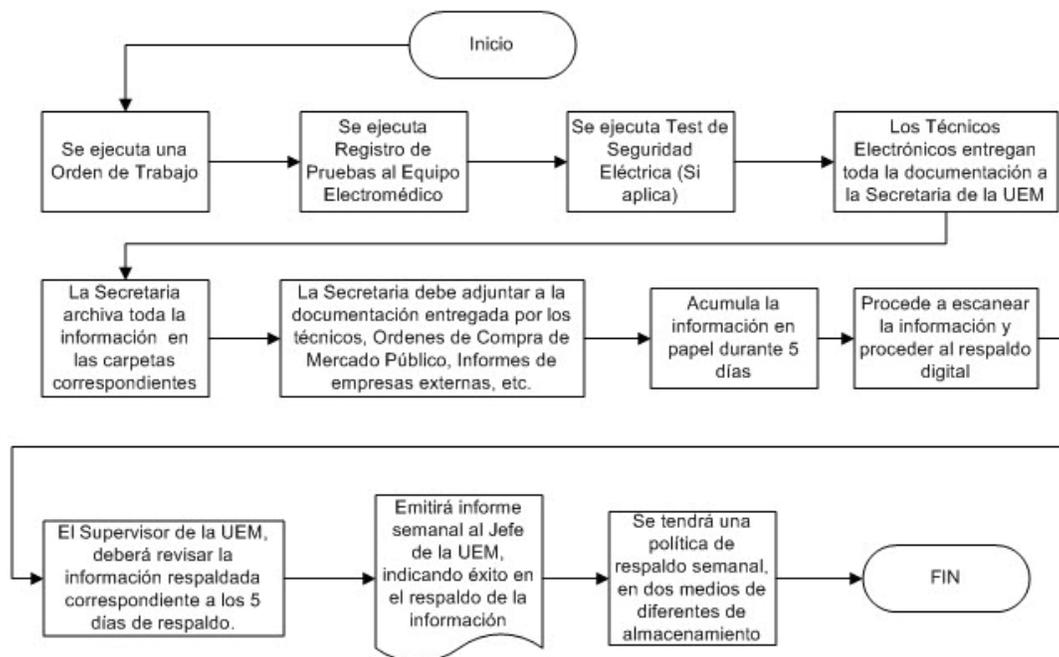


Figura 5.1 Flujo de procedimiento almacenamiento OT.

5.1.2.2 Procedimiento administrativo para la ejecución de una orden de trabajo

El procedimiento comienza cuando se genera un requerimiento al interior de un servicio o unidad clínica, que es informando a la U.E.M, siempre y cuando este dentro de su Cartera de Servicios.

La Enfermera, Matrona, Tecnólogo u otro estamento que cumpla las funciones de supervisión de un servicio o unidad clínica (de aquí en adelante se mencionará como Supervisión Clínica), confeccionará la Orden de Trabajo (de aquí en adelante se llamará OT) que será enviada junto con el equipamiento con problemas a la U.E.M. Dependerá del tamaño del equipo si es que se envía el equipo junto con la OT, pudiera darse el caso que se trate de un requerimiento a un equipo electro médico empotrado al piso o al cielo de una sala. Si este es el caso, se deberá indicar en la OT, que el equipo no fue enviado y la solicitud de programar una visita al servicio o unidad clínica. El Paramédico o auxiliar de Servicio Transportará el equipo (dependiendo de su tamaño) y la OT. La secretaria de la U.E.M recepcionará la OT más el equipo Electro médico (dependerá del tamaño). En la actividad de recepción, la secretaría de la U.E.M siempre considerará lo siguiente:

- a. El Técnico de la U.E.M “Siempre” prestará colaboración Técnica y Administrativa a la Secretaria de la U.E.M.
- b. Podrá también entregar la OT a la secretaria de la U.E.M., en caso de haber atendido un llamado de emergencia, sin antes contar con una OT, que posteriormente el Técnico rescatará en persona en el Servicio o Unidad clínica que requirió la actividad.

La secretaria “Siempre” deberá efectuar la recepción de la Orden de Trabajo del Servicio o Unidad Clínica-Administrativa en cooperación del Técnico Electrónico de la U.E.M., Verificando en forma obligatoria lo siguiente:

- a. La OT venga completa; Nombre del Servicio Clínico, Marca, Modelo, Número de Serie, Número de Inventario del Equipo, descripción del problema y fecha de emisión de la Orden de Trabajo.
Nótese que si La Fecha no es la correcta, se deberá insertar un comentario en la descripción del problema del equipo, donde se indicará la fecha correcta de recepción de la Orden de Trabajo, solicitándole al funcionario que trae la Orden de Trabajo, que firme al lado del comentario efectuado por el personal de la U.E.M.
- b. Se deberá verificar que el equipo venga con todos los accesorios que se lista en la OT. Si no coincide, se deberá escribir en el campo descripción del problema de la misma OT, la inexistencia del accesorio o el envío de un accesorio que no corresponde a la descripción original. Misma situación cuando la OT no incluya ninguna descripción de los accesorios enviados. Luego se le solicitará en forma obligatoria, que el funcionario que está entregando el equipo, firme al lado del comentario, validando la observación realizada por el personal de la U.E.M. Nótese que si el funcionario clínico se niega a firmar, no se recepcionará la OT. Posteriormente el Técnico Electrónico o la Secretaria de la U.E.M., firmará “en forma obligatoria” la recepción de la OT, agregando además la fecha de la actividad.
- c. Se deberá verificar en forma obligatoria lo siguiente: En caso que el equipo electro médico venga con daño físico en su estructura, con signos de evidente inmersión, rayado, entre otros, que el hallazgo este claramente identificado en la descripción del problema del equipo en la OT. Si no fuera así, se deberá escribir en la misma OT, en el área de la descripción del problema, que el equipo viene con un daño, solicitándole al funcionario clínico que transporta el equipo que firme el hallazgo, si se negará, no se

recepcionará el equipo. Posteriormente el Técnico Electrónico o Secretaria de la U.E.M., firmará la OT, agregando la fecha de la actividad.

- d. Se deberá verificar en forma obligatoria lo siguiente: si se trata de un equipo electro médico que requiera para su reparación, por ejemplo de “Sensores”, “Cables Troncales”, “Lead”, entre otros., y no vengan con el equipo a reparar, se deberá escribir en la misma OT, la inexistencia del accesorio requerido para proceder con la reparación. Se le solicitará al funcionario que trae el equipo, que firme conforme al lado del comentario efectuado por funcionarios de la U.E.M. Si el funcionario clínico se negara a firmar, no se recepcionará el equipo. Posteriormente el Técnico Electrónico o Secretaria de la U.E.M., firmará la OT, agregando la fecha de la actividad.
- e. Finalmente, en caso de no existir conformidad con los aspectos listados u otros, la “Secretaria de la U.E.M.” o el “Técnico Electrónico de la U.E.M.” podrá negar la recepción de la “Orden de Trabajo del Servicio o Unidad Clínica-Administrativa Solicitante” y del “Equipo Electro médico a reparar o mantener” e informar de la situación al Jefe de la U.E.M. Para superar esta instancia administrativa, el Servicio Clínico solicitante, deberá enviar en completitud su OT.

Al momento que la Secretaria o Técnico Electrónico de la U.E.M estén conformes con la formalidad de la OT, efectuará y creará en el acto los siguientes registros, ingresando la información primaria, en sus dos sistemas de información disponibles:

- a. La Secretaria o el Técnico deberá escribir en la Orden de Trabajo su nombre, apellido y fecha en la cual efectuó la recepción.
- b. Libro “Ingreso y asignación de Ordene de Trabajo de Servicios y Unidades Clínicas-Administrativas.”
- c. Planilla Electrónica EXCEL: Ingreso de OT de Servicios y Unidades Clínicas.

La Secretaria de la U.E.M efectuará los siguientes Registros:

- ❖ Físicos (Libro “Ingreso y Asignación de Ordenes de Trabajo de servicios y unidades clínicas-administrativas a Técnicos U.E.M).
- ❖ Registro virtual (planilla Excel).

El protocolo de una mantención de tipo preventiva es el definido por el Hospital Dr. Gustavo Fricke y se puede apreciar en la Figura 5.2, donde esta información se encuentra en la información oficial del Servicio de Salud Viña del Mar – Quillota.

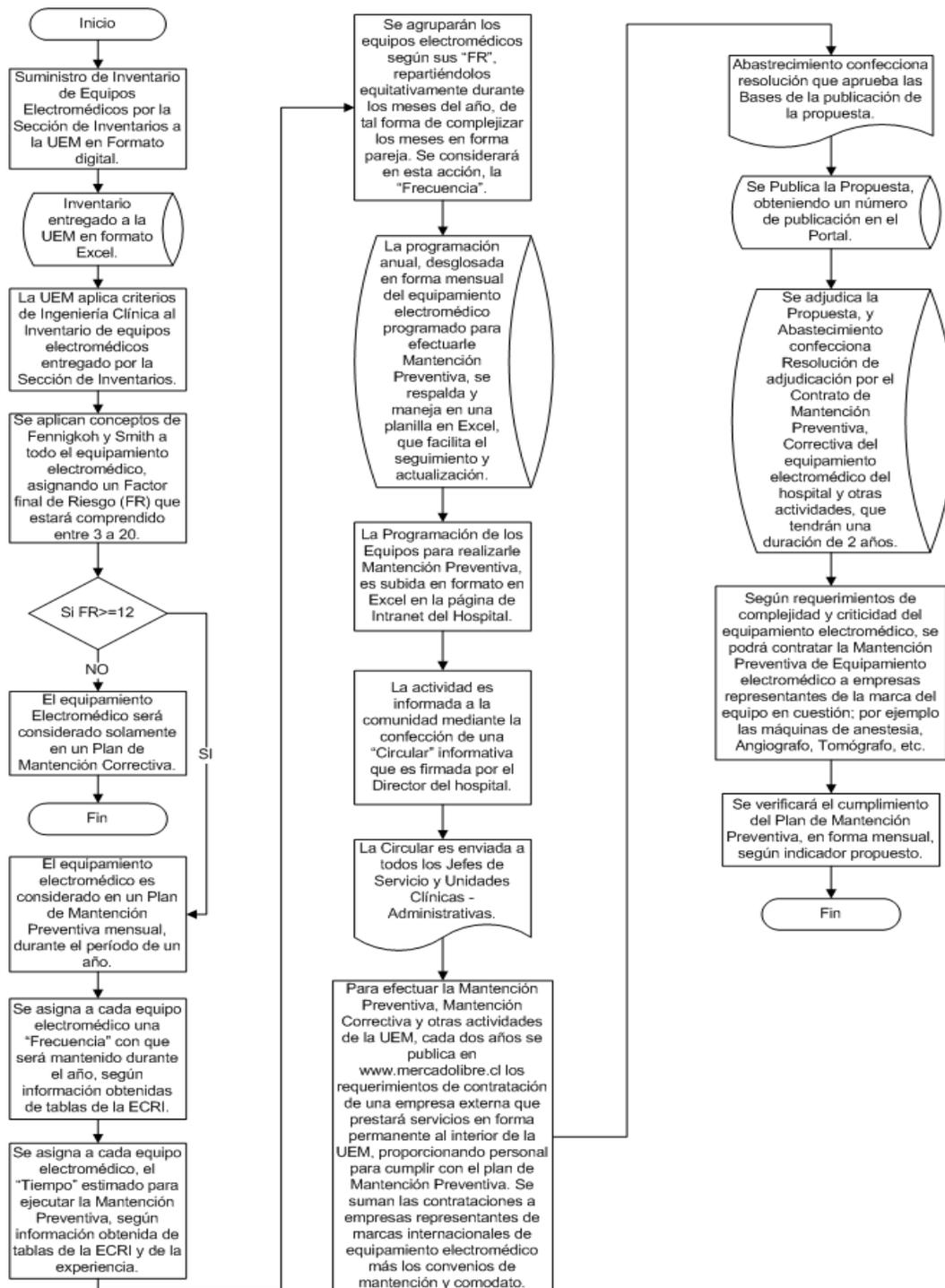


Figura 5.2 Protocolo de mantenimiento preventivo definido por el Hospital Dr. Gustavo Fricke.

5.1.2.3 Caso en que no puede mantener un equipo al interior de la U.E.M

Cuando los Técnicos de la U.E.M no puedan intervenir en un equipo electro médico asignado para su mantenimiento preventivo o correctiva, será por los siguientes motivos:

- a. No contar con un Equipo *Testing* de análisis o simulación que facilite la comprobación técnica de las actividades realizadas.
- b. No tener acceso a un menú de calibración protegido por contraseña.
- c. Repuestos no vendidos por el representante de una marca de equipamiento electro médico, en que se obligue a la contratación del suministro e instalación del repuesto.
- d. Por brecha de conocimiento tecnológico.
- e. Entre otros.

Cuando ocurra alguno o algunos de estos motivos, los Técnicos deberán cerrar su Guía de Servicio y la Orden de Trabajo. Para lo cual cobrará igualmente los repuestos, insumos y horas utilizadas en la evaluación e intento de mantención preventiva o correctiva.

La Orden de Trabajo del Servicio o Unidad Clínica-Administrativa deberá ser firmada por la Supervisión Clínica (se incluirá el Nombre, Apellido, RUT, firma y fecha) agregando el siguiente comentario: Se cierra orden por externalización de los Servicios de mantención.

La Supervisión Clínica, además deberá firmar la “Guía de Servicio de la U.E.M.” y registrar la siguiente información:

1. El Técnico de la U.E.M verificará que el Jefe de Servicio o la Enfermera, Matrona, Tecnólogo Supervisor firme la Guía de Servicio de la U.E.M, agregando la siguiente información obligatoria: Nombre, apellidos y Rut.
2. El usuario deberá ingresar el estado de conformidad con el trabajo, pudiendo ingresar las siguientes alternativas:
 - ❖ Trabajo Conforme, (mediante una cruz).
 - ❖ Trabajo NO Conforme, (mediante una cruz).

Nótese que si el Usuario deberá firmar en forma obligatoria la Guía de Servicio. Tendrá la posibilidad de manifestar su conformidad o NO conformidad con el trabajo. Las NO conformidades se utilizarán a posterior como indicadores de desempeño de la U.E.M.

Se deberá solicitar autorización al Jefe de Servicio, Unidad Clínica o Enfermera, Matrona, Tecnólogo Supervisor, para que autorice la externalización (Contratación de los Servicios de Mantención Preventiva, Correctiva con o sin repuestos en Servicio Técnico externo).

5.1.2.4 Evaluación en la aceptación de la externalización

Si el usuario no acepta la externalización, se dejará registro papel, “Guía de servicio de la U.E.M cerrada”, con la indicación de NO aceptación de externalización de las actividades. Esto significa que el equipo electro médico quedará fuera de servicio hasta nueva orden.

Se deberá entregar la siguiente documentación a la Secretaria de la U.E.M para que se archive en las “Carpetas de Ordenes de Trabajo Finalizadas de la U.E.M” :

- ❖ El Original de la Orden de Trabajo se le entregará a la Secretaria de la U.E.M para su archivo. Observación: El Usuario de quedará con una copia.
- ❖ El Original de la Guía de Servicio se le entregará a la Secretaria de la U.E.M para su archivo.

Si el usuario acepta la externalización, se registrará en la Guía de Servicio de la U.E.M, la indicación de aceptación de la externalización. La Guía de Servicio de la U.E.M quedará con el estado de Cerrada.

El Servicio o Unidad Clínica-Administrativa “Deberá” confeccionar una Nueva “Orden de Trabajo”, solicitando a la U.E.M, que externalice el trabajo.

5.1.3 Inventario

Para dimensionar el número, cantidad y tipos de equipos que se manejan en esta U.E.M, el ejemplo de la Figura 5.3 refiere al inventario de equipos con los que cuenta el Hospital y que Biomédica Ingeniería debe contemplar para su reparación.

numero_serie	numero_inventario	nombre	marca	modelo
B36652	SN	PHMETRO	ORION	3 STAR
121590803	SN	TORRE HISTEROSCOPIO	-	-
AF11C014926	SN	MONITOR DESFIBRILADOR	ZOLL MEDICAL	SERIE R ALS
12-192235	SN	MONITOR	-	SC-WU24-A1511
AF12A020425	SN	MONITOR DESFIBRILADOR	ZOLL MEDICAL	SERIE R
NX13611-B	SN	INSUFLADOR LAPAROSCOPIA	KARL STORZ	THERMOFLAYOR
NX0677460	SN	FUENTE DE LUZ	KARL STORZ	XENON 300
AF12A020435	SN	MONITOR DESFIBRILADOR	ZOLL MEDICAL	SERIE R
11344158	SN	ELECTROBISTURI	ERGE	VIO300D
AF12A020426	SN	MONITOR DESFIBRILADOR	ZOLL MEDICAL	SERIE R
AF12A020428	SN	MONITOR DESFIBRILADOR	ZOLL MEDICAL	SERIE R
AF12A020437	SN	MONITOR DESFIBRILADOR	ZOLL MEDICAL	SERIE R
AF12A020432	SN	MONITOR DESFIBRILADOR	ZOLL MEDICAL	SERIE R
AF12A020436	SN	MONITOR DESFIBRILADOR	ZOLL MEDICAL	SERIE R
NX692210-F	SN	PROCESADOR DE CAMARA	KARL STORZ	HD IMAGE 1HUB
NX792330H	SN	CABEZAL DE CAMARA	KARL STORZ	H3-Z
AF12A020431	SN	MONITOR DESFIBRILADOR	ZOLL MEDICAL	SERIE R
AF12A020438	SN	MONITOR DESFIBRILADOR	ZOLL MEDICAL	SERIE R
B36652	SN	PHMETRO	ORION	3 STAR
6509	SN	CRIOSTATO DE PEDESTAL	LEICA	CM 1510 S
2951/08.2011	SN	EQUIPO DE TINCIÓN AUTOMATIZADO	LEICA	AUTOSTAINER XL
98030084	10-29541	BALANZA ELECTRONICA DE PRECISION	CAS	AD
T07194006	10-35245	MONITOR DESFIBRILADOR	ZOLL	SERIES M BIFASICO
SN	10-22630	BALANZA ELECTRONICA DE PRECISION	AND	ET-300B
D98B13896	10-29872	MONITOR DESFIBRILADOR	ZOLL	PD1400
01949	10-33086	MICROMOTOR DE CIRUGIA	M/W&H IMPLANT	SI 923
01950	10-33085	MICROMOTOR DE CIRUGIA	M/W&H IMPLANT	SI 923
T07E90136	10-35674	MONITOR DESFIBRILADOR	ZOLL	M SERIES

Figura 5.3 Tabla de existencia de datos.

5.2 Diseño del caso de estudio

En el caso de estudio que se presenta, se pretende lograr variados artefactos, los cuales se detallan a continuación y son representados en la Figura 5.4.

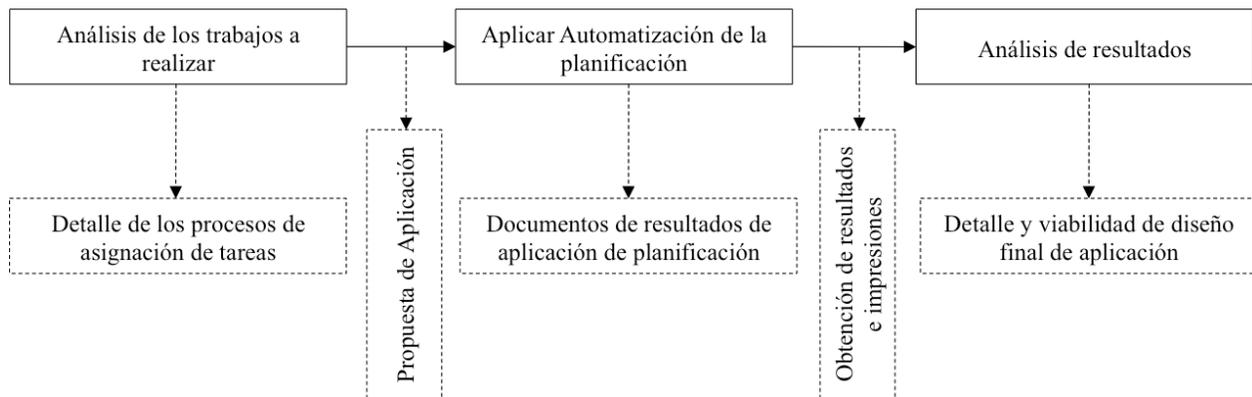


Figura 5.4 Resultados a esperar.

Dada toda la información antes expuesta, se considera el trabajo a realizar, donde hasta ahora se tiene la información a analizar en relación a los trabajos. Y como parte de esta etapa del proyecto, se espera llegar hasta el punto de aplicación y diseño de la propuesta de aplicación de automatización de planificación.

Además, se espera obtener la formalización de procesos que están directamente relacionados con la planificación de la producción, el cual está conformado por dos aspectos esenciales, estos son el modelado de la formalización y los procesos en el ámbito práctico. Usualmente, los sistemas, conjuntos de procesos y subprocesos integrados en una organización, son difíciles de comprender, amplios, complejos y confusos; con múltiples puntos de contacto entre sí y con un buen número de áreas funcionales, departamentos y puestos implicados.

De esta forma, un diseño de aplicación es una representación de una realidad compleja. Diseñar es desarrollar una descripción lo más exacto posible de un sistema (en este caso productivo) y de las actividades llevadas a cabo en él. Así, cuando un proceso es modelado, con ayuda de una representación gráfica (diagrama de proceso), pueden apreciarse con facilidad las interrelaciones existentes entre distintas actividades, analizar cada actividad, definir los puntos de contacto con otros procesos, así como identificar los subprocesos comprendidos. Al mismo tiempo, los problemas existentes pueden ponerse de manifiesto de forma clara, dando la oportunidad un inicio de acciones de mejora.

La representación gráfica facilita el análisis, uno de cuyos objetivos es la descomposición de los procesos de trabajo en actividades discretas. También, hace posible la distinción entre aquellas que aportan valor añadido de las que no lo hacen, es decir, que no proveen directamente nada al cliente del proceso o al resultado deseado. En este último punto, cabe hacer una precisión, ya que no todas las actividades que no proveen valor añadido han de ser innecesarias; éstas pueden ser actividades de apoyo y ser requeridas para hacer más eficaces las funciones de dirección y control, por razones de seguridad o por motivos normativos y de legislación.

5.2.1 Situación actual

La situación actual de la empresa Biomédica Ingeniería, es la elaboración de la correspondiente planificación de trabajo de forma semanal, esta planificación se realiza en razón a la demanda de servicios que se tenga en un determinado momento. Para definir algunos elementos participantes en este proceso de planificación, así como los

factores que se deben considerar al momento de seleccionar los recursos para asignar se presentan a través de la Figura 5.5.

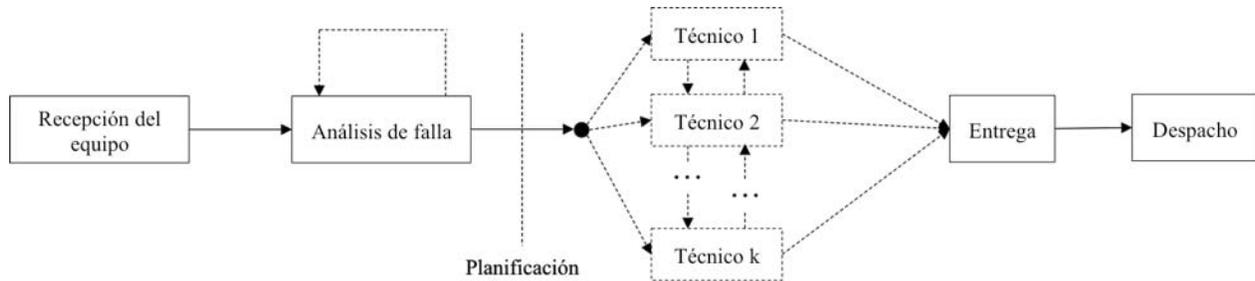


Figura 5.5 Macro proceso de reparación de equipos médicos.

De esta forma, el proceso comienza cuando se decepcionan los correspondientes equipos a ser reparados, se debe tomar en cuenta que la recepción y registro de un equipo que ingresa a la unidad de equipos médicos es un proceso que no se considerará, pero ha sido descrito en este documento; considerando que esto implican micro procesos que no son decisorios al momento de la planificación si no que solo componen el proceso anterior contemplando como flujo de datos los descritos anteriormente y el equipo mismo en cuestión para su reparación. Así, para resumir, algunos de los sub procesos que se consideran en esta etapa son:

- ❖ Recepción del equipo de forma física.
- ❖ Recepción/Llenado de una orden de trabajo, cabe señalar que la orden de trabajo que se señala indica el trabajo propuesto que se debe aplicar desde el centro de costos asociado. Para más detalle de la orden de trabajo véase la Figura 5.6.

Figura 5.6 Ingreso de una orden de trabajo.

- ❖ Elaboración y/o asignación de una(s) guía(s) de servicio, esto se debe a que una reparación puede estar compuesta por muchas sub reparaciones, las cuales pertenecen a fallas y/o componentes distintos y estas son consideradas con costos por separado y asignaciones de tiempos y técnicos distintos.

Entonces, se hace necesario establecer que el análisis de la falla para la previa asignación, se hace en referencia a la indicación de solicitud de trabajo a realizar que proviene de parte del centro de costos. Entiéndase como centro de costo, aquella unidad perteneciente al Hospital que tiene a su cargo el equipo médico.

Lo anterior se procede a realizar la planificación semanal de actividades a realizar dependiendo de las necesidades del equipo, considerando que las etapas a modo generalizado para un equipo son siempre las mismas, en el mismo orden y hay algunas que pueden tener duración cero, como por ejemplo la compra de repuestos.

Para ello, en la Tabla 5.1 se presentan todas las actividades que se tienen contempladas desarrollar, tanto dentro como fuera de la reparación de los equipos médicos, para ello, en esta tabla se presenta la etapa de clasificación que se le asignó a cada uno de ellas, entiéndase de esta forma que la etapa denominada Reparación corresponde a la que se está considerando en esta problemática.

Tabla 5.1 Actividades a desarrollar dentro de la U.E.M

N°	Actividad	Etapas
1	Mantenimiento preventivo	Reparación
2	Mantenimiento correctivo	Reparación
3	Inspección ingreso equipos nuevos	Evaluación
4	Inspección repuestos	Evaluación
5	Inspección de insumos médicos	Evaluación
6	Inspección programada a servicios clínicos	Evaluación
7	Gestión, inspección de equipos electro médicos en demo	Evaluación
8	Estudio de manuales técnicos	Otra
9	Reuniones U.E.M	Otra
10	Gestión, inspección de equipos en comodato	Otra
11	Gestión de reparación de equipos médicos en servicios técnicos externos	Otra
12	Labores de inventario	Otra
13	Sugerencias de baja	Otra
14	Traslado de equipos	Otra
15	Traslado de cilindros de aire, O ² u otros	Reparación
16	Retiro de equipos electro médicos desde servicios o unidades clínicas	Reparación
17	Entrega de equipos electro médicos a servicios o unidades clínicas	Otra
18	Atención de llamados telefónicos de emergencia	Otra
19	Error del operador	Reparación
20	Capacitación técnica entregada a servicios clínicos - administrativos	Otra
21	Compra de repuestos o insumos	Otra
22	Capacitación técnica recibida por la U.E.M	Otra
23	Contraparte técnica	Otra
24	Solicitud de cotizaciones telefónicas o por email, compra de repuestos o insumos	Otra
25	Viajes a Santiago o fuera de viña del mar	Otra
26	Gestión de garantías	Otra

27	Gestión de <i>software</i> MP System	Otra
28	Reunión bienestar	Otra
29	Cotizaciones, compra de servicios o repuestos por fondo fijo	Otra
30	Compra de servicios o repuestos	Otra
31	Gestión en el portal mercado público (Chile compra)	Otra
32	Gestión fondo fijo	Otra
33	Confección de informe técnico	Otra
34	Otros	Otra

De esta forma, se realiza la planificación correspondiente donde se señala a los técnicos por donde deberá pasar el equipo para lograr su reparación completamente, considerando con ello que todos los técnicos tienen las mismas capacidades, entonces estos pueden ser asignados dinámicamente a las distintas áreas contempladas para la reparación.

En la Figura 5.7 se presenta un breve ejemplo de las etapas de reparación de un equipo (no de una planificación de reparación), se asume que este ha sido evaluado anteriormente, por ende se está cumpliendo con la planificación correspondiente de tareas necesarias para tener todo el proceso de reparación completo.

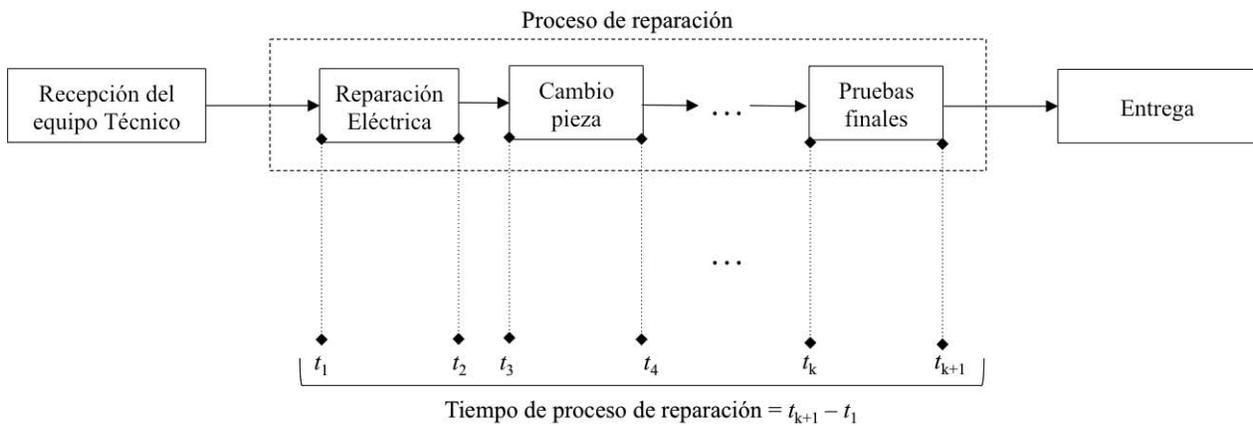


Figura 5.7 Proceso de reparación.

Por último, la etapa de entrega es aquella que define el término del proceso de reparación, asimismo se debe tomar en cuenta que el *Makespan* de un trabajo o sub tarea puede ser cero, pero se contempla que debe existir un paso por esa máquina en representación formal para definir que no pasa por esa etapa.

Asimismo, basado en todos los elementos antes mencionados y en los datos entregados por parte de Biomédica Ingeniería, se establece que el cálculo de carga de planificación se realiza de la forma:

$$t_{reparacion} = \sum_{p=1}^k \left(\sum_{j=1}^m t(f)_{pj} - t(i)_{pj} \right) + \Delta$$

Donde, lo que refiere anteriormente corresponde al sumar los tiempos finales menos los tiempos iniciales de cada uno de los trabajos (sub tareas) que componen una reparación, de esta forma, sumando todas las reparaciones y agregando el delta definido por cada actividad implícitamente a todas aquellas labores definidas a recursos humanos se establece el tiempo final de reparaciones para la planificación correspondiente. Así:

- ❖ $t(f)_{pj}$: Corresponde al tiempo final para una sub tarea de reparación de un equipo médico
- ❖ $t(i)_{pj}$: Corresponde al tiempo inicial para una sub tarea de reparación de un equipo médico
- ❖ Δ : Corresponde al tiempo no ocupado en reparaciones que en algunos casos es despreciable pero se debe calcular como refiere a continuación.

$$\Delta = \sum_{f=1}^n t_f$$

- ❖ t_f : Donde esto corresponde al tiempo que se ocupa en otras labores que no sean propias de reparación pero que deben estar contempladas dentro de la planificación, contextualizados en cada reparación.

De esta forma, con todos estos elementos es que se procede a calcular los tiempos correspondientes a la planificación de producción ejecutada por Biomédica. Para ello, estos cálculos se realizan de forma manual, y estimando los tiempos de reparación de cada equipo según los registros históricos que maneja la empresa, siendo el porcentaje de cumplimiento cerca de un 80% en referencia a los índices de productividad de los técnicos, de las planificaciones de mantenencias por oportunidad más las reparaciones contra demanda, donde este porcentaje de cumplimiento refiere al promedio de cumplimiento obtenido durante el año 2011, y en la Figura 5.8 se presenta como se calcula y representa el cumplimiento para las mantenencias por oportunidad para un mes determinado.

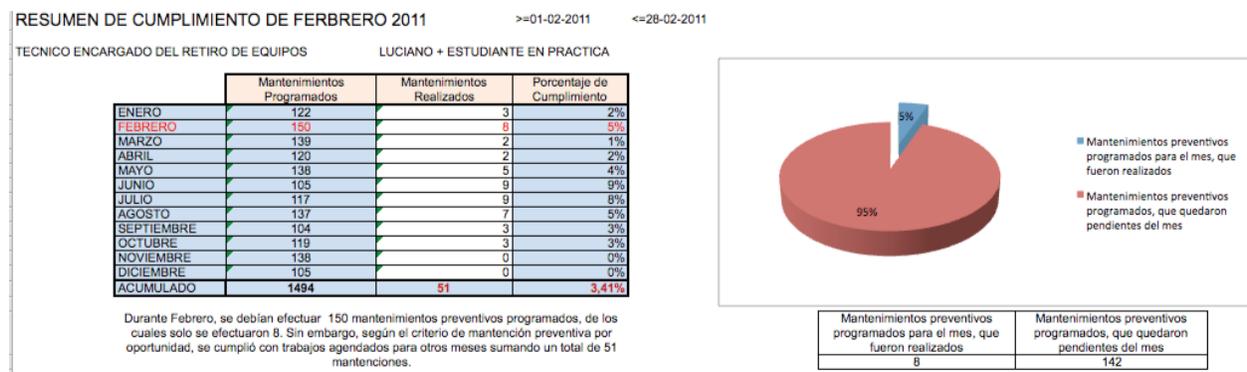


Figura 5.8 Cálculo de cumplimiento de MPO.

5.2.2 Propuesta de aplicación

En la propuesta de aplicación se presentan los pasos y todos aquellos elementos participantes en esta etapa, para ello se debe contemplar que la información utilizada es aquella proveniente de la U.E.M (Unidad de Equipos Médicos), ya que en razón a ello, se diseña el plan de pruebas de aplicación de la automatización de planificación de producción.

5.2.2.1 Datos de entrada

Para los datos de entrada se contempla que se considere una muestra representativa de trabajos realizados, durante un determinado periodo de tiempo, esto equivale a la planificación de un día, la cual se deberá realizar de forma manual a través del método tradicional que se usa actualmente en la empresa.

A razón de esa planificación manual que se desarrolla se deberán tomar esos datos que corresponderán a los datos de entrada de la aplicación que se encargará a través de lo mencionado en el capítulo de *Flow-Shop*, para generar la planificación automática buscando reducir los tiempos muertos, entregando una solución de planificación lo más cercano al óptimo.

Así, en consideración a lo anterior, se estipula que los datos mínimos que deben estar referenciados en la planificación son:

- ❖ Cantidad de equipos a reparar.
- ❖ Cantidad y detalle de cada paso que debe cumplir el equipo para lograr el estado de reparado (máquinas -técnicos que debe visitar).
- ❖ Orden en que cada equipo debe visitar el técnico.
- ❖ Tiempo que debe estar de forma estimada con cada técnico.
- ❖ Deltas de tiempo que corresponden a aquellos tiempos que los técnicos consumen en otras tareas que no son de reparación, pero deben ser contempladas por cada una de las tareas que realizan.

Asimismo, en razón a la estimación de los tiempos de reparación de los equipos médicos existe una estimación de este recurso invertido en cada una de las determinadas tareas de reparación que se tiene que llevar a cabo, por parte de los técnicos. Con ello, en la Tabla 5.6 se presenta una muestra de los datos existentes en referencia a costo de estimación de horas hombre utilizada en la reparación de equipos médicos.

Tabla 5.2 Tiempos estimados de demora de reparación

Equipo	Marca	Modelo	N° serie	N° inventario	Horas hombre
Electro estimulador	Cec	A3b	3851004	Sn	3
Equipo de electroterapia	Cec	M-8	71095	Sn	2
Equipo de electroterapia	Gymna	Thermo 500	550	Sn	5
Cama eléctrica	Linnet	Eleganza	20080095140	10-35950	1
Electro estimulador de nervios	Organon teknika	digistim 3 plus	U.E.M-0038	Sn	3
Torniquete portátil	Delfi	P.t.s.	2006-1224	10-36355	5
Monitor de apnea	Graseby	Mr-10	69779	10-29902	2
Electro bisturí baja potencia	Birtcher	733 asw	Ee95e22795	10-16959	10

5.2.2.2 Metodología

De esta forma, la manera de aplicar las pruebas se detallan a continuación, considerando algunas restricciones:

- ❖ Los equipos a planificar deben estar contemplados en otras planificaciones de forma de cuantificar los tiempos reales de demora en su reparación.
- ❖ Los equipos a planificar deben estar contemplados en otras planificaciones de forma de determinar los técnicos por los que debe pasar.
- ❖ Debe existir una planificación integra con y solo con los equipos considerados para generar la planificación automática.

Así, los principales antecedentes que se deben considerar es el tener una planificación anterior, considerando los mismos equipos y tiempos aplicados de forma manual, donde estos serán los datos de entrada de la aplicación que realizará la planificación buscando optimizarla.

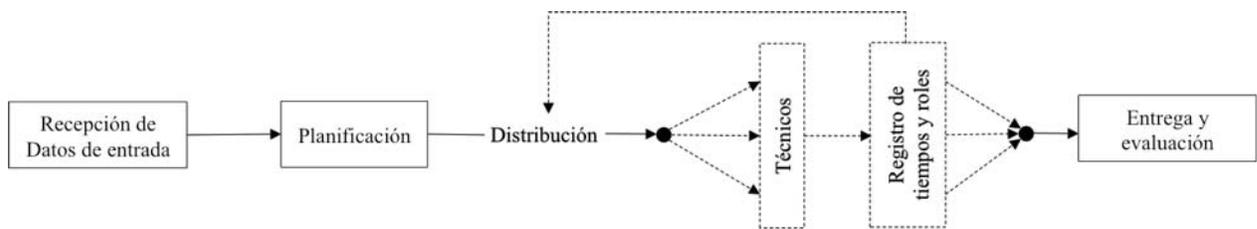


Figura 5.9 Representación general de pasos de metodología.

De esta forma, según lo acordado con Biomédica Ingeniería, tomando en la planificación obtenida no todos los técnicos existentes en la U.E.M, si no un porcentaje menor que corresponde entre 2 a 4 técnicos se procederá a aplicar la planificación *Flow-Shop*.

Con ello, se realizará la planificación que arrojará una planilla con la asignación y tiempos estimados para cada técnico, en razón a la reparación de los equipos, así el formato establecido a entregar al técnico será el expuesto en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3 Planilla de trabajo

N°	Equipo / Tarea	Falla/Solución	Tiempo estimado	Delta
Técnico:				
1				
2				
n				

Además, se contempla que por cada uno de estos trabajos, el técnico especifique algunos elementos a considerar, como por ejemplo, si no pudo completar la tarea en el tiempo estimado y la razón de ello, o la experiencia de la planificación presentada, aplicando el formulario que se presenta en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4 Registro de tiempos y roles

N°	Equipo / Tarea	Observación
Técnico:		
1		
2		
n		

De esta forma, luego de completar la planilla de registro de tiempos y roles por cada equipo, se vuelve a iterar en busca del siguiente equipo, según la planificación presentada. Con ello, terminando la planificación para cada técnico se procede a recolectar todas las planillas para realizar el análisis y evaluación de la experiencia de aplicación de esta planificación.

Entonces, de esta forma se establece que se busca cumplir con la función objetivo de:

- ❖ Minimizar los tiempos y cargas de generar las planificaciones
- ❖ Mejorar la distribución de carga laboral
- ❖ Realizar planificaciones cercanas al óptimo implicando la reducción de tiempos muertos
- ❖ El aumento de la productividad por parte de los técnicos

Todo lo anterior, se logra a través de la búsqueda de minimización del *Makespan* final a través de la minimización de los *Makespan* locales de cada equipo:

$$MIN (t_{reparacion}) = MIN \left[\sum_{p=1}^k \left(\sum_{j=1}^m t(f)_{pj} - t(i)_{pj} \right) + \sum_{f=1}^n t_f \right] = MIN [C_{max}]$$

Donde todos estos elementos son los que se mencionaron anteriormente en referencia a la función objetivo de aplicación presentada:

- ❖ $t(f)_{pj}$: Es el tiempo final para una sub tarea de reparación de un equipo médico
- ❖ $t(i)_{pj}$: Es el tiempo inicial para una sub tarea de reparación de un equipo médico
- ❖ t_f : Es el tiempo que se ocupa en otras labores que no sean propias de reparación pero que deben estar contempladas dentro de la planificación.
- ❖ k : Corresponde a todos los equipos programados.
- ❖ m : corresponde al total de tareas de un trabajo.
- ❖ n : corresponde a la cantidad total de labores distintas a las reparaciones.

5.2.3 Resultados esperados

Dentro de los resultados esperados se encuentran variados ítems, considerando los aspectos industriales como son la aplicación de esta planificación, obteniendo una baja en los tiempos utilizados para generar las mismas, y asimismo una optimización de los tiempos planificados. Además, en conjunto con lo anterior se espera en el área

académica, implementar haciendo uso de Búsqueda *Tabú* y el algoritmo de Johnson, para generar una planificación tipo *Flow-Shop* logrando, con ello identificar las restricciones y las reglas del negocio a través de la implementación de los algoritmos, conjuntamente con obtener resultados competitivos tanto para la industria como la academia.

5.2.3.1 Contraste de planificaciones

Como se mencionó en los apartados anteriores, se debe contemplar la existencia de una planificación previa efectuada, a través, del método tradicional que aplica Biomédica Ingeniería para su proceso de asignación y planificación de labores a los distintos técnicos, para ello entonces, es que se propone la obtención de dos planificaciones, la primera es la referenciada recientemente que refiere a aquella que se efectuó de forma manual, como se establece gráficamente en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5 Programación de trabajo

Nº	Equipo / Tarea	Técnico	Tiempo estimado	Trabajo a realizar
1				
2				
n				

Así, esta planificación generada de forma manual debería ser contrastable con la obtenida de forma automática, manteniendo el formato, pero realizando cambios en los tiempos.

5.2.3.2 Planificaciones locales

Asimismo, como se referenció, las planificaciones que se contrastarían, se espera obtener una planificación para cada uno de los técnicos, en los cuales se le asigne las tareas a realizar y los horarios estimados que debería cumplir cada una de estas tareas.

Entonces, en referencia a lo que se presenta en la Tabla 5.6, el técnico debería tener una planilla física con todas las actividades a realizar, ahora, se considera que el técnico se demore menos de lo estipulado en la planificación, o por el contrario, se demore más de lo estimado, en ambos casos se espera que el técnico lo indique en la hoja de registros y roles de la Tabla 5.4 en razón a corregir y mejorar las estimaciones realizadas para que los datos de entrada formen una planificación más certera.

Tabla 5.6 Planificación individual

Nº	Equipo / Tarea	Trabajo a realizar	Tiempo estimado
1			
2			
n			

5.2.3.3 Planificaciones globales

Asimismo, como se espera tener una planilla en la cual se le indique de forma local a cada técnico, cuales son las actividades a realizar, se espera obtener una planificación de todas las actividades de forma que los encargados de la gestión operacional de Biomédica Ingeniería logren visualizar las actividades y realizar el control apropiado. Así, se

busca obtener una planificación detallada en el marco de la globalidad de control y visualización de tareas como se presenta en [72].

5.2.3.4 Minimización de los tiempos y costos

Como se ha mencionado anteriormente, lo que se busca además de los contenidos académicos de implementación de la solución a la problemática, la finalidad es estudiar el impacto de realizar una planificación de forma automatizada como la que se propone, es en este contexto que se espera:

- ❖ Mejorar la planificación reduciendo los tiempos muertos
- ❖ Al reducir los tiempos muertos aumenta la productividad
- ❖ Al reducir los tiempos disminuyen los costos
- ❖ Al aumentar la productividad aumentan los ingresos

De esta forma, es que se espera cumplir de alguna forma con estos objetivos, ya sea directa o indirectamente, ya que dependiendo de las decisiones estratégicas que tome la dirección de la UE, puede ser que en vez de aumentar los niveles de producción que son variables según la época del año, decida tomar decisiones estratégicamente distintas a las planteadas anteriormente.

6 Implementación y pruebas de software

Tal como se ha mencionado durante el desarrollo de este documento, una de las finalidades de este trabajo es obtener un productos de software que tenga la principal funcionalidad realizar la planificación de la reparación de los equipos médicos contextualizado en el problema de *Flow-Shop Scheduling*, y en razón a ello, se hace necesario definir una serie de elementos a considerar, así como de pasos que deben ser llevados a cabo, para que el producto final tenga la capacidad principal de realizar una planificación que se acerque lo más posible al óptimo.

Es por ello, que en esta capítulo se apreciarán todos aquellos elementos que refieren al funcionamiento y pruebas a realizar haciendo uso del software y con ello dando cumplimiento a los objetivos planteados anteriormente en este documento.

6.1 Acerca del software

Se desarrollarán todos los elementos que lo constituyen, para ello se referirá a la funcionalidad principal. Además, se enunciarán los pasos principales a seguir, y las diversas etapas que se deben realizar para cumplir con los objetivos principales.

6.1.1 Funcionalidad del software

Este software, tiene la funcionalidad de recibir como datos de entrada los equipos que se desean reparar y entregar una planificación lo más cercano al óptimo que sea posible. En la Figura 6.1 se aprecia los pasos que contempla el software.

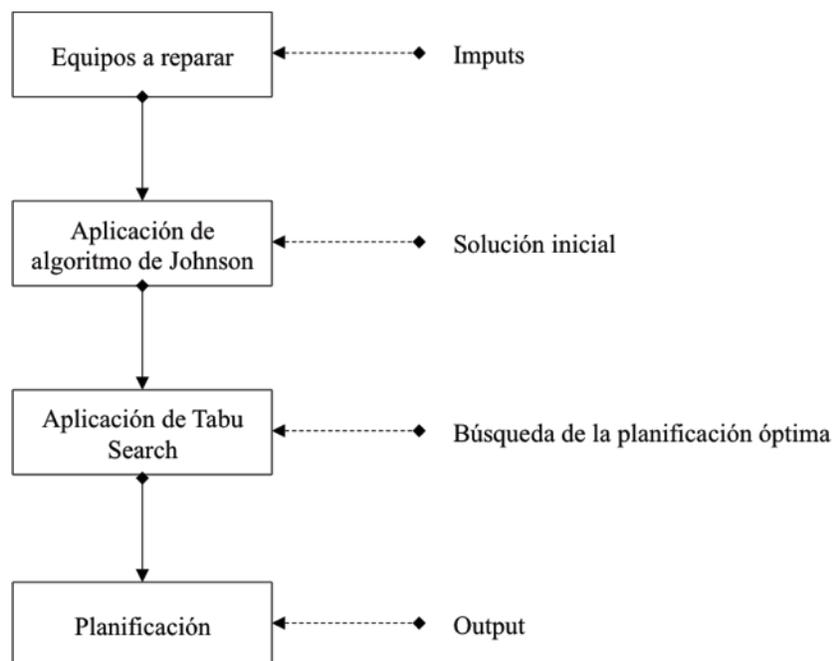


Figura 6.1 Pasos que contempla el software.

De esta forma, como se puede apreciar en la Figura 6.1, los elementos que considera el software dentro de los aspectos funcionales y de flujo son:

- ❖ *Inputs*: en la figura anterior se referencia como dato de entrada a los equipos que se deben reparar, pero no tan solo se debe contemplar aquello como dato de entrada; ya que como se ha mencionado, este problema considera los trabajos, que en este caso los trabajos pasan a ser el símil de un equipo que debe ser reparado, el cual contempla todas las características de un trabajo, con su tiempo asociado y actividades correspondientes a llevar a cabo; además, como se acaba de referenciar, el problema de *Flow-Shop* trata de planificar los trabajos antes mencionados en máquinas, a lo que las máquinas en esta instancia pasan a ser lo que se denomina dentro de la problemática como los técnicos que se encargan de llevar a cabo las tareas correspondientes con la finalidad de dar cumplimiento a los trabajos planteados. En el último caso, los trabajadores o técnicos también son en un número limitado.
- ❖ *Solución inicial*: Como se ha mencionado en este documento, la secuenciación de la producción a través del algoritmo de Johnson, para el caso de n trabajos y m máquinas representa el ordenamiento de producción de varios trabajos, pasando invariablemente en m máquinas, presentándose en el ambiente de manufactura de producción continua y producción intermitente. En el caso de producción continua, los trabajos se procesan primero en la primera máquina y después en la segunda, diferente caso en la producción intermitente en el que los trabajos pueden pasar primero en una primer máquina o en la segunda y después en la siguiente (no secuencialmente hablando). Es así, que en el contexto de este problema y la solución que se ha planteado, a este algoritmo se entregan los datos de entrada que son obtenidos de forma secuencial, a partir del archivo y organizados como una primera solución sin búsqueda de óptimo. Además, en la Tabla 6.1 se puede apreciar el algoritmo en pseudocódigo de este algoritmo.

Tabla 6.1 Pseudocódigo de algoritmo de Johnson

```

PROC Johnson (↓grafo: TGrafo; ↓ig: NATURAL; ↑ distancias: TMatriz ; ↑ previos:
TMatriz)
  VARIABLES
  i : NATURAL
  p : LAristas
  min_caminos : THv
  aux_dist, aux_prev : TVector
  INICIO
  grafo[ig] ← nueva_arista(ig,1,0,NULO)
  inc(ig)
  p ← grafo[ig]
  PARA i ← 2 HASTA ig-2 HACER
  p^.sig ← nueva_arista(ig,i,0,NULO)
  p ← p^.sig
  FIN
  BellmanFord(grafo,ig, min_caminos)
  PARA i ← 1 HASTA ig-1 HACER
  p ← grafo[i]
  MIENTRAS (p != NULO) HACER
  p^.peso ← p^.peso + min_caminos[p^.o] - min_caminos[p^.d]
  p ← p^.sig
  FIN

```

```

FIN
PARA i ← 1 HASTA ig-2 HACER
Dijkstra(grafo,i, aux_dist,aux_prev) // devuelve los caminos mínimos desde el
último nodo
// a todos los demás
previos[i] ← aux_prev;
CalcularDistancias(grafo, previos, aux_dist,distancias); // este algoritmo
realiza la transformación inversa a la
// que habíamos hecho antes sobre los pesos, para obtener
// las distancias reales
FIN
FIN

```

- ❖ **Búsqueda de la solución óptima:** Es aquí donde se hace uso de Búsqueda Tabú, y para ello se debe recordar que esta es una técnica de optimización iterativa global, que consiste en un procedimiento determinista que restringe la búsqueda y evita los mínimos locales, almacenando la historia de búsqueda en memoria. Se prohíben movimientos entre vecinos que cumplan ciertas propiedades, con objeto de guiar el proceso de búsqueda para no duplicar soluciones previamente obtenidas. Una función de memoria a corto plazo permite “olvidos estratégicos”, convirtiendo en “prohibido” los t movimientos más recientes. Sin embargo, el estado de un movimiento no es absoluto, ya que es posible seleccionar un movimiento *Tabú* si alcanza un determinado nivel de calidad. También se dispone de funciones de memoria a largo plazo que pueden aplicarse para proporcionar una exploración más amplia del espacio de búsqueda. Finalmente, existen estrategias a medio plazo o intermedias basadas en la modificación de las reglas de elección que favorecen la elección de movimientos y soluciones consideradas buenas históricamente, de forma que crean zonas de atracción del dominio de búsqueda e intensifican la búsqueda en dichas regiones. Los métodos a largo plazo diversifican la búsqueda en áreas no exploradas previamente. Es así, que se debe tomar en cuenta que este algoritmo lo que busca es a través de la solución inicial generada, en el paso anterior encontrar la mejor solución que sea posible para organizar la reparación de los equipos médicos y los técnicos que lleven a cargo dicha reparación. Asimismo, se presenta a través de la Tabla 6.2 el algoritmo de Búsqueda Tabú en pseudolenguaje.

Tabla 6.2 Pseudocódigo de algoritmo Búsqueda Tabú

```

Hacer Matriz_Tabu(i,j) = - Tabu_Tenure,  $i \in \{1,2,\dots,np\}$ ,  $j \in \{1,2,\dots,T_i\}$ ; Hacer
niter = 0, iter_mejor = 0,  $S^* = S$ , y  $R^* = R$  Repetir

niter = niter + 1 Determinar

 $g_{i^*j^*} = \max \{g_{ij} / i \in \{1,2,\dots,np\}, j \in \{1,2,\dots,T_i\}; j \neq j_i \text{ verificando que } [niter > \text{Matriz\_Tabu}(i,j) + \text{Tabu\_Tenure} \text{ o } f - g_{ij} < f^* \text{ ('criterio de aspiración')}] \}$ 

Hacer Matriz_Tabu( $i^*, j_i^*$ ) = niter y  $S(i^*) = j^*$  (o  $j_i^* = j^*$ ) Modificar y Mejorar
los elementos de R según se explicó en 5.4. Actualizar f Sif
 $< f^*$  entonces hacer:  $S^* = S, R^* = R, f^* = f$  iter_mejor = niter

```

```
hasta (niter - iter_mejor > max_iter) u otro criterio de parada
```

❖ *Output*: Es aquí donde se hace la entrega de la correspondiente planificación que se tiene que realizar, para poder llevar a cabo la etapa de prueba de dicha planificación cercana al óptimo, que ha sido propuesta por la aplicación. De esta forma, la etapa posterior referencia de forma esencial en llevar a cabo lo propuesto y verificar su factibilidad y observar los resultados al momento de que los técnicos quieran llevar a cabo estas tareas para finalizar los trabajos.

6.1.2 Etapas y diseño

En las etapas que se consideran dentro de la etapa de diseño y construcción de la aplicación se deben tomar todos aquellos que interfieran para obtener el resultado que se denomina dentro de este capítulo. De esta forma, es a través que de este apartado, además de representar todas aquellas etapas que existen para lograr los objetivos antes planteados, también se detallará el avance hasta la fecha sobre la construcción de la aplicación y asimismo, cumplimiento de los requerimientos establecidos a través de este documento.

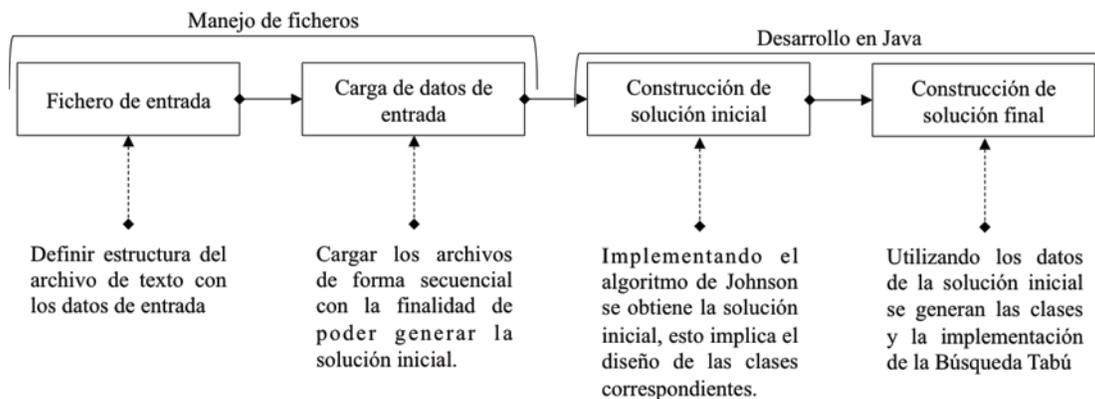


Figura 6.2 Etapas a cumplir con el desarrollo del software.

De esta forma, en la Figura 6.2 se puede apreciar lo que corresponde a las etapas de desarrollo de software, en la cual se abarca desde la construcción del fichero de entrada con sus respectivos parámetros a ser utilizados por el problema, como también la implementación como tal. Más adelante se establecerá el avance correspondiente a la fecha actual haciendo uso de esta misma figura.

Luego, en la Figura 6.3, la cual es la continuación de la Figura 6.2 se da a conocer las etapas que corresponden a las pruebas de software, donde estas pruebas son la corroboración de lo que se ha probado durante la etapa de desarrollo; ya que se debe mencionar, que como se apreciará más adelante, la metodología de desarrollo contempla que las correspondientes pruebas se lleven a cabo durante el proceso de desarrollo y construcción misma de la aplicación.

Por último, cabe destacar que en la Figura 6.3 también se considera el caso de estudio donde se generan las planificaciones correspondientes y con ello las pruebas de llevar a cabo estas planificaciones en el proceso productivo real.

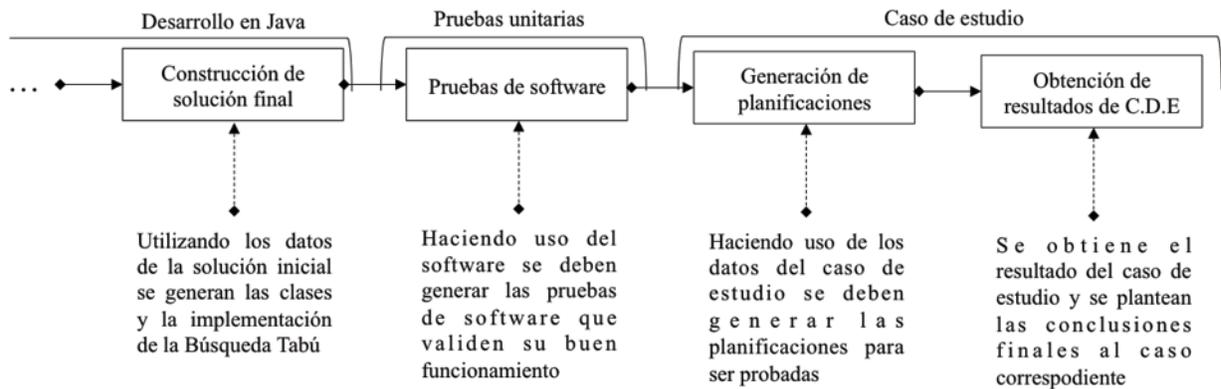


Figura 6.3 Etapas a cumplir con las pruebas y caso de estudio.

6.2 Metodología de desarrollo

A continuación, en este apartado se da a conocer la metodología utilizada para el desarrollo de la aplicación que implementa el software de planificación.

6.2.1 Metodología de desarrollo de software

La metodología que se propone para el desarrollo del proyecto en cuestión es *eXtreme Programming*. Así, existen ciertos factores que hacen que para proyectos en los que se necesite una férrea interacción con los usuarios, además de una adaptación continua a los requerimientos dejando fuera los altos niveles de documentación que implican otras metodologías, de esta forma, se convierte en una ventaja, en razón a la posibilidad de acoplar las etapas de desarrollo con la captura de los factores referenciados anteriormente se pueden apreciar en la Figura 6.4.

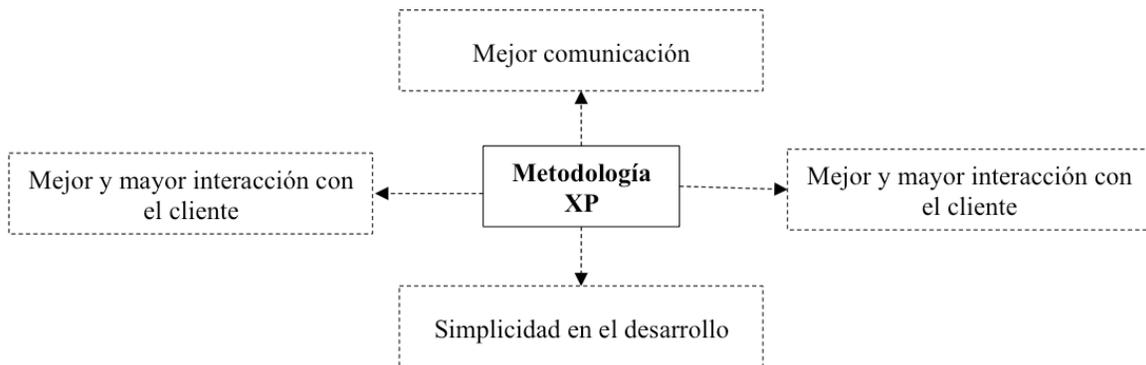


Figura 6.4 Factores y potencialidades de XP.

De esta forma, estos factores que se aprecian en la Figura 6.5 se definen en razón a sus ventajas asociadas a la implementación de la solución propuesta [18]:

- ❖ Mejor comunicación, *eXtreme Programming* tiene la capacidad de adquirir los beneficios de la comunicación que se puede generar, la cual está fundamentada en una comunicación directa para todas las etapas del desarrollo de software. Dentro de las ventajas que nacen de esta mejor comunicación, que refieren a que se complementa el proceso de desarrollo, captura de requerimientos y post desarrollo debido a la cercanía que se crea gracias a esta metodología.

- ❖ Mayor grado de toma de decisiones, a través de este factor es que los miembros del equipo de trabajo interactúa con los miembros de equipo sin necesidad de tener demoras de jerarquía para establecer dicha interacción. De esta forma, se genera el grado de confianza entre ambas instituciones para lograr de forma conjunta el cumplimiento de los objetivos planteados en todas las áreas definidas dentro del alcance de este sistema de software.
- ❖ Simplicidad en el desarrollo, debido a que es impredecible como el software evolucionará en el tiempo, el equipo de programación asignado para el proyecto intenta mantener el software lo más sencillo posible. De esta forma, se fundamenta el software de tal forma, que puede existir en el futuro escalabilidad en razón a los requerimientos que se vayan dando en el tiempo, sin necesidad de establecer grandes procesos de ingeniería para incorporar los cambios.
- ❖ Mejor y mayor interacción con el cliente, así, la agilidad se caracteriza por la capacidad de respuesta ante los cambios que se van haciendo necesarios a lo largo del camino. Por este motivo uno de los valores que nos hace más ágiles es el continuo *feedback* que recibido a la hora de desarrollar en un entorno ágil de desarrollo.

6.2.1.1 Prácticas que ofrece la metodología

Esta metodología se caracteriza por presentar una serie de prácticas destacables [18], las cuales hacen el contraste con los beneficios obtenidos al ser aplicados en la relación generada a través de este proyecto:

- ❖ Planificación incremental: Esta metodología es realista al asumir que las planificaciones realizadas en los inicios de los proyectos no son perfectas y que varían en el tiempo, en función de cómo van evolucionando las necesidades del cliente y asimismo como se relacionan dichas necesidades con los recursos disponibles. El objetivo de la metodología XP es generar versiones de los módulos tan pequeños como sea posible, pero que proporcionen un valor adicional claro, desde el punto de vista del cumplimiento de los objetivos.
- ❖ *Testing*: La ejecución automatizada de *tests* es un elemento clave que define la metodología XP. Existen tanto *tests* internos, para garantizar que el mismo es correcto, como *tests* de aceptación, para garantizar que el código hace lo que debe hacer.
- ❖ Programación en parejas: La metodología XP incluye, como una de sus prácticas estándar, la programación en parejas. De esta forma, siempre hay dos personas a cargo de llevar a cabo un módulo o parte de él (una funcionalidad).
- ❖ Refactorización: Uno de los objetivos de la metodología *eXtreme Programming* es mantener la curva de costos lo más constante y regular que sea posible en razón al mantenimiento y desarrollo de código, por lo que existen una serie de mecanismos destinados a mantener el código en buen estado, modificándolo activamente para que conserve claridad y sencillez. A este proceso básico para mantener el código en buena forma se le llama refactorización. De esta forma, la refactorización de código no sólo es necesario para mantener el código legible y sencillo sino que al mismo tiempo es utilizado cuando se hace conveniente modificar código ya existente para hacer más fácil implementar nueva funcionalidad.
- ❖ Diseño más simple: Otra práctica fundamental de *eXtreme Programming* es utilizar diseños tan simples como sea posible. El principio es el utilizar el diseño más sencillo que se conoce en razón al cumplimiento de los

requerimientos y del flujo de tareas que cumplan con el proceso establecido. De esta forma, se evita diseñar características extras. Es así, como la metodología XP nos refiere que no se estime que un diseño inicial puede resolver y cumplir con todos los requerimientos, si no que esto se dé como producto de la comunicación con el cliente y la evaluación e iteración de los diseños iniciales.

- ❖ Autoría grupal del desarrollo: La metodología XP enfoca que el trabajo desarrollado es esfuerzo del equipo de trabajo en su generalidad. En otras palabras, todo el mundo tiene autoridad para hacer cambios a cualquier código y es responsable de ellos.
- ❖ Integración continua: En muchos casos la integración de código produce efectos laterales imprevistos, y en ocasiones la integración puede llegar a ser realmente difícil, cuando dejan de funcionar los módulos por motivos desconocidos. La metodología XP hace que la integración sea permanente, con lo que todos los problemas se manifiestan de forma inmediata, en lugar de durante una fase de integración más o menos remota.
- ❖ Cliente junto al equipo de trabajo: Algunos de los problemas más graves en el desarrollo son los que se originan cuando el equipo de desarrollo toma decisiones de requerimientos críticas.
- ❖ Release pequeñas y continuas: Así, continuando con los elementos que define la metodología *eXtreme Programming*, se hace necesario considerar asignar un alto valor a cada momento del desarrollo, de esta forma, se intentará obtener nuevas versiones de las aplicaciones con frecuencia hacia la Escuela de Investigaciones.
- ❖ Estándares de programación: Para conseguir que el código se encuentre en buen estado y que cualquier persona del equipo pueda modificar cualquier parte del código es imprescindible que el estilo de codificación sea consistente. Un estándar de codificación es necesario para soportar otras prácticas de la XP. Sin embargo, la XP también es pragmática en esto, y apuesta por establecer un número mínimo de reglas: el resto se irán pactando en el momento correspondiente. Esto evita un ejercicio inicial más o menos difuso.
- ❖ Conocimiento de los objetivos del cliente: La comunicación fluida es uno de los valores más importantes de la metodología XP, la programación en parejas.

6.2.1.2 Etapas de la metodología

Se debe considerar que la metodología *eXtreme Programming* está basada directamente con la programación orientada a objetos. De esta forma, se referencia principalmente a la simplicidad, la comunicación e interacción permanente entre los participantes del proyecto y en la metodología de programación a través de pares, que es la técnica de programación por parejas donde uno de los programadores escribe código y el otro lo prueba y después se cambian los papeles. De esta forma ya desde el principio se van probando los programas en cuanto a cumplimiento de requisitos como a funcionalidad. La simplificación de los protocolos de comunicación entre las diferentes fases y la inmediatez del desarrollo lo convierten en una metodología muy rápida de desarrollo.

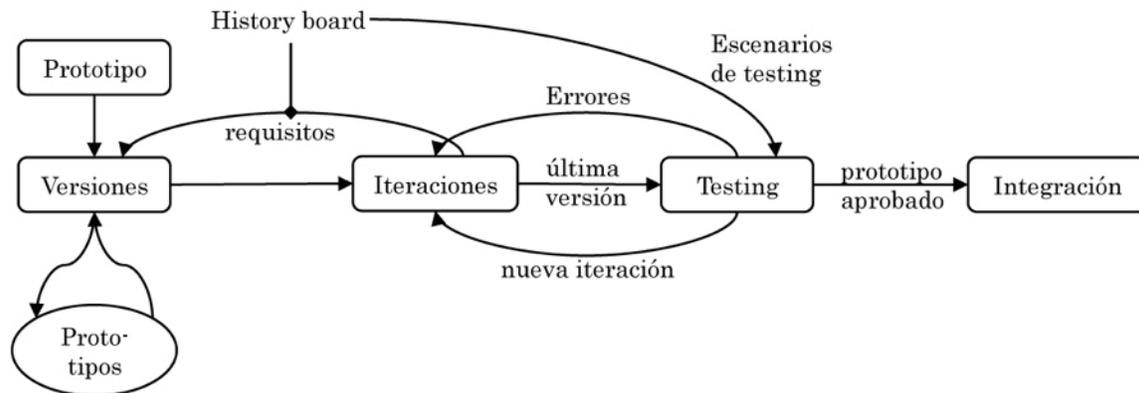


Figura 6.5 Etapas de XP [18].

En la Figura 6.6 se muestran las etapas que siguen los proyectos asociados a la metodología *eXtreme Programming*. Considerando que esta forma parte de las iteraciones correspondientes que considera esta metodología. Y se debe considerar que esta metodología caracteriza en sus etapas por:

- ❖ Permite introducir nuevos requisitos o cambiar los anteriores de un modo dinámico, siempre que no afecten el presupuesto o el desarrollo de los otros módulos.
- ❖ Publica pronto versiones que implementan parte de los requisitos.
- ❖ Es adecuado para proyectos pequeños y medianos.
- ❖ También es adecuado para proyectos con alto riesgo.
- ❖ Su ciclo de vida es iterativo e incremental. Cada iteración dura entre una y tres semanas.

6.2.1.3 Etapas y artefactos producto del desarrollo

La metodología propuesta considera elementos que componen la metodología se considera como máximo una serie de artefactos producto de la codificación, estos son:

- ❖ *Storyboard*: Estos corresponden a aquella etapa, en la cual los usuarios dan a conocer el flujo de trabajo de su proceso, asimismo que a la vez nacen los respectivos requerimientos siendo formalizados posteriormente en un documento (de la iteración) de requerimientos.
- ❖ Prototipo no funcional: Los prototipos no funcionales son aquellas maquetas, donde se muestra el diseño que tendrán las respectivas ventanas, siendo en esta etapa en la que se aprueba la distribución de los componentes de las ventanas.
- ❖ Prototipo navegacional: basado en los prototipos no funcionales se añade la navegabilidad (*links*) entre las pantallas de forma de mostrar/simular el flujo que las pantallas adquieren en razón a la interpretación de los requerimientos definidos en los *storyboard*.
- ❖ Prototipo funcional: este es el último artefacto, nace de la evolución y aprobación del prototipo navegacional. En este prototipo se tienen las funcionalidades implementadas y es serio candidato a ser integrado. Es a través de este prototipo que pasa a pruebas y control de errores para luego ser integrado al sistema general.

De esta forma, si se considera todos estos artefactos antes definidos, se encuentra que son marcados por los hitos que se nombran a continuación:

- ❖ Levantamiento inicial: Es cuando se toman los requerimientos y se construyen los primeros prototipos con las finalidades de ajustar dichos requerimientos. Esto se hace a través de los mismos prototipos, y en reuniones de plenario se busca observar estos prototipos para dar aceptación y discusión sobre su diseño. De esto se generan los respectivos documentos de requerimientos que son derivados al desarrollo.
- ❖ Pruebas e integración: Este ciclo corresponde al 80% de avance de la iteración, cuando los módulos desarrollados están en etapa de pruebas y pasando a la integración. Se considera la aplicación de los planes de prueba diseñados a través de los *storyboard* generados en un inicio.
- ❖ Cierre de iteración: Integración y pruebas finales de respuesta de los módulos desarrollados ya integrados.

6.3 Los datos de estudio

En el Anexo 1 a este documento se muestra el inventario de equipos existentes en lista para ser reparados, ya sea a través del procedimiento por oportunidad o correctiva, según sea el caso, para los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2012, de esta forma, en este universo de equipos es que se tomarán aquellos para generar las planificaciones correspondientes.

7 Aplicación y resultados de caso de estudio

El caso de estudio corresponde a la aplicación de planificación de producción para la reparación de equipos médicos; en razón a ello, en este capítulo se presentan todos aquellos elementos correspondientes a la aplicación del caso de estudio realizado, considerando las pruebas realizadas con los set de datos seleccionados para ello, y con esto, también se acompañan los respectivos resultados para poder obtener las conclusiones finales.

7.1 Caso de estudio

El caso de estudio comprende aplicar la automatización de planificación de la producción tipo *Flow-Shop* a una empresa escogida, que cumpla con las características para poder ser aplicado el problema antes descrito en este documento. De esta forma, la empresa escogida refiere a Biomédica Ingeniería, una empresa dedicada a la reparación de distintos equipos médicos (en donde en el capítulo anterior se puede apreciar la selección obtenida de su inventario general), donde las características de estos equipos y procesos escogidos se describen en los parámetros escogidos para la aplicación del caso de estudio, en este mismo capítulo.

7.1.1 Descripción

El caso de estudio comprende la recolección de datos por parte del inventario y la selección a medida de las máquinas inventariadas ,en razón a poder ejecutar el plan de pruebas (planificación generada a través de la aplicación descrita más adelante).

De esta forma, los elementos que se consideran en el problema son definidos a través de los actores en este mismo capítulo, pero se hace necesario mencionar que se hará la similitud entre los actores de un problema de planificación tipo *Flow-Shop* convencional con los que existen en la empresa a ejecutar las pruebas que se mencionan más adelante haciendo uso de los recursos metodológicos antes expuestos en este mismo documento.

Con lo anterior, se puede establecer que como se puede apreciar en la Figura 7.1, los pasos necesarios para construir la solución (planificación) a probar, se ejecuta partiendo por la selección de los datos de entrada, prosiguiendo por la aplicación de los correspondientes algoritmos para entregar la planificación final que se aplica en Biomédica Ingeniería y se contrastan los resultados obtenidos con los esperados a través de las distintas herramientas descritas en este documento.

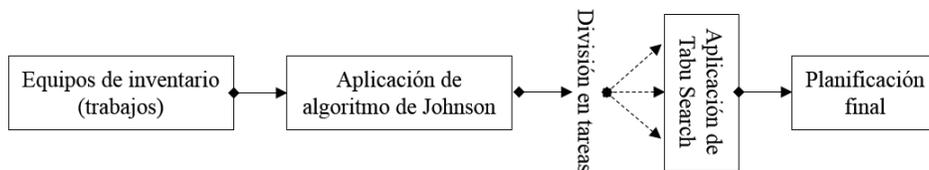


Figura 7.1 Etapas de creación de aplicación de pruebas

Además, en la Figura 7.2 se puede apreciar cuales son los pasos que se establecen al momento de generar y aplicar las pruebas necesarias comprendidas en el problema, de esta forma, se tiene como dato de entrada la planificación

final generada como se muestra en la Figura 7.1, siendo estos datos los utilizados para aplicar la planificación, el registro de los distintos resultados para posteriormente contrastar los resultados obtenidos con los esperados.

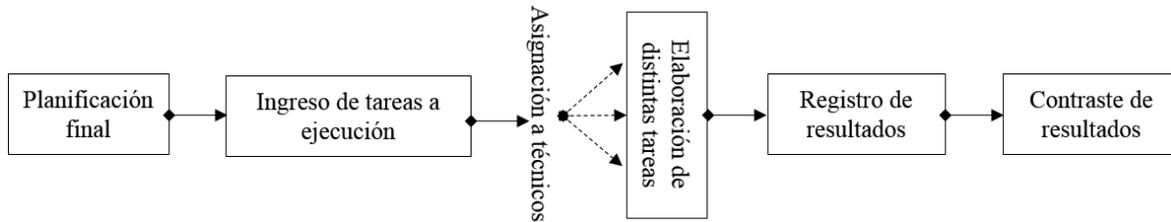


Figura 7.2 Etapas de aplicación de pruebas

Así, con esta información se puede definir los parámetros utilizados tanto en la planificación como en la generación de los resultados necesarios para definir las conclusiones del caso de estudio.

7.1.2 Actores del problema

Ahora, se procederá con la definición de los distintos elementos del problema de *Flow-Shop* y como se reflejaron en la aplicación. Así, se debe recordar que los elementos que se consideran en el problema de *Flow-Shop* son:

- ❖ Máquina: la máquina es la que se encarga de procesar una tarea en un tiempo determinado.
- ❖ Trabajo: es el que se encuentra compuesto por distintas tareas.
- ❖ Tarea: está compuesta por un tiempo y esta debe ser procesada por una máquina en el tiempo antes mencionado.
- ❖ Planificación: Es la asignación de recursos en donde se define que máquina debe procesar cual tarea en un determinado instante de tiempo.

De esta forma, la similitud que existe entre los elementos antes descritos y los de la empresa en la cual se aplicará el proceso de planificación será:

- ❖ Técnico: el técnico corresponde a la máquina que la que se encarga de procesar una tarea en un tiempo determinado.
- ❖ Trabajo: es el que se encuentra compuesto por distintas tareas, un trabajo corresponde a la reparación completa de un equipo médico.
- ❖ Tarea: está compuesta por un tiempo y esta debe ser procesada por un técnico en el tiempo antes mencionado, una tarea tiene un orden de precedencia definido y que debe ser respetado.
- ❖ Planificación: Es la asignación de recursos en donde se define que máquina debe procesar cual tarea en un determinado instante de tiempo.

7.1.3 Parámetros del caso de estudio

A continuación, se definen los parámetros utilizados, tanto de entrada, como de salida en el proceso de construcción de la aplicación, para posteriormente definir como se construyeron los resultados.

7.1.3.1 Parámetros de entrada en la aplicación

Los parámetros definidos dentro del contexto de la aplicación, los cuales se proporcionan en razón de generar la solución de planificación a ser probada considera:

- ❖ Número de trabajo al que pertenece la tarea
- ❖ Orden de procesamiento que debe tener la tarea
- ❖ Tiempo consumido (tiempo final menos el tiempo de inicio)

Además, para el uso general de la aplicación se contemplan los parámetros definidos en la parte inferior, considerando que estos se encuentran directamente relacionados con los anteriores:

- ❖ Número de iteraciones para el algoritmo de Búsqueda Tabú.
- ❖ Numero de Técnicos.
- ❖ Número de tareas por trabajo a realizar (estas deben coincidir con el total de órdenes de procesamiento).

7.1.3.2 Parámetros de entrada de las pruebas

Los parámetros de entrada para las pruebas corresponden básicamente a los resultados obtenidos por la aplicación, es decir, que los datos de salida de la aplicación son los datos de entrada para las pruebas, y esto es:

- ❖ Tareas con su tiempo.
- ❖ Orden de ejecución de las tareas.
- ❖ Asignación de tareas a técnicos en el tiempo.

7.2 Aplicación construida

La aplicación construida en *Java* se encarga de tomar los datos de entrada genera una solución inicial, como ejemplo de esto se pueden apreciar los datos de salida vistos en el procesamiento de la información ingresada para las pruebas de ruteo.

De esta forma, al leer los datos de entrada se muestra por pantalla como se lee secuencialmente y como queda dentro de la aplicación, por ejemplo en la Figura 7.3 se aprecia el resultado de la carga de un set de datos de 4 tareas en 3 técnicos.

```
run:
Datos de entrada con Makespan: 28
[T:1|E:1|O:1|ti:0|tf:2]-[T:2|E:1|O:2|ti:2|tf:4]-[T:3|E:1|O:3|ti:4|tf:7]-
[T:4|E:2|O:1|ti:7|tf:10]-[T:5|E:2|O:2|ti:10|tf:12]-[T:6|E:2|O:3|ti:12|tf:15]-
[T:7|E:3|O:1|ti:15|tf:16]-[T:8|E:3|O:2|ti:16|tf:24]-[T:9|E:3|O:3|ti:24|tf:25]-
[T:10|E:4|O:1|ti:25|tf:26]-[T:11|E:4|O:2|ti:26|tf:27]-[T:12|E:4|O:3|ti:27|tf:28]-
```

Figura 7.3 Datos de entrada para una secuencia de prueba

Posteriormente, a estos datos de entrada, se les aplica el algoritmo del Algoritmo de Johnson, el cual se puede apreciar a través del método de la Tabla 7.1.

Tabla 7.1 Método que implementa algoritmo de Johnson en Java

```

public class AlgoritmoJohnson
{
    public Trabajo generarSolucionInicial(Trabajo trabajos)
    {
        /*verificar que no sea null */
        if(trabajos!=null)
        {
            /*crear matriz de los tecnicos*/
            int cantidadTecnicos=trabajos.cantidadColumnas();
            int cantidadTareas=trabajos.cantidadFilas();

            Trabajo trabajosTecnico=new Trabajo(cantidadTecnicos,cantidadTareas);
            trabajosTecnico.asignarMatriz(trabajos.ordenarTareasPorOrden());

            trabajosTecnico.ordenarTareasPorTiempoAscendente();

            return trabajosTecnico;
        }
        return null;
    }
}

```

En razón a esto, se puede apreciar que se genera la denominada solución inicial, la cual será mejorada a través del algoritmo de Búsqueda Tabú, el cual es parametrizado y hace uso de una lista Tabú, tal como se aprecia en el capítulo donde se definen los algoritmos utilizados. Así en la Figura 7.4 se puede apreciar el resultado obtenido como solución inicial.

```

Solución inicial con Makespan: 28
[T:1|E:1|O:1|ti:0|tf:2]-[T:7|E:3|O:1|ti:15|tf:16]-[T:10|E:4|O:1|ti:25|tf:26]-[T:4|E:2|O:1|ti:7|tf:10]-
[T:2|E:1|O:2|ti:2|tf:4]-[T:5|E:2|O:2|ti:10|tf:12]-[T:11|E:4|O:2|ti:26|tf:27]-[T:8|E:3|O:2|ti:16|tf:24]-
[T:3|E:1|O:3|ti:4|tf:7]-[T:9|E:3|O:3|ti:24|tf:25]-[T:12|E:4|O:3|ti:27|tf:28]-[T:6|E:2|O:3|ti:12|tf:15]

```

Figura 7.4 Solución inicial para una secuencia de prueba

Finalmente, la generación de la solución final se aprecia en el mismo formato que las otras soluciones, las cuales para los efectos de pruebas se llevaron a cabo de forma visual para entregar una mejor forma de aplicarlas. De esta forma, véase la figura 7.5.

```

Solución final ordenada con Makespan: 20
[T:1|E:1|O:1|ti:0|tf:2]-[T:7|E:3|O:1|ti:2|tf:3]-[T:10|E:4|O:1|ti:3|tf:4]-[T:4|E:2|O:1|ti:4|tf:7]-
[T:2|E:1|O:2|ti:2|tf:4]-[T:5|E:2|O:2|ti:7|tf:9]-[T:11|E:4|O:2|ti:9|tf:10]-[T:8|E:3|O:2|ti:10|tf:18]-
[T:3|E:1|O:3|ti:4|tf:7]-[T:6|E:2|O:3|ti:12|tf:15]-[T:9|E:3|O:3|ti:18|tf:19]-[T:12|E:4|O:3|ti:19|tf:20]-
BUILD SUCCESSFUL (total time: 2 seconds)

```

Figura 7.5 Solución final para una secuencia de prueba

7.3 Datos de prueba

A continuación, se mostrarán las pruebas realizadas, para ello se comenzará con la definición de los datos de entrada a utilizar. Con ello, tal como se ha mencionado anteriormente, los datos a utilizar serán los escogidos de la Tabla 6.3 que corresponde a un extracto del inventario general que tiene la empresa sobre los equipos pertenecientes al Hospital Gustavo Fricke.

De esta forma, se presentará la selección realizada, considerando que todas estas variarán en su combinación y asimismo en la cantidad de equipos a analizar, de esta forma poder ver las variaciones en los resultados dependiendo de los elementos antes descritos.

Además, se hace necesario que las etapas o estados definidos originalmente a contemplar por cada uno de estos trabajos por parte de la empresa son los siguientes:

- ❖ Orden de trabajo con equipo recepcionado por la U.E.M en espera de asignación.
- ❖ Orden de trabajo recepcionada por la U.E.M en espera que el servicio clínico envíe el equipo.
- ❖ Equipo en análisis de falla.
- ❖ Equipo en proceso de mantención.
- ❖ Solicitud y espera de cotización de repuesto / servicio.
- ❖ Solicitud y espera de compra de repuesto / servicio por fondo fijo de la U.E.M.
- ❖ Solicitud y espera de autorización de orden de compra directa de repuesto / servicio efectuada a SDO.
- ❖ Solicitud y espera de autorización de orden de compra directa de repuesto / servicio efectuada de SDO a SDA.
- ❖ Espera de orden de ejecución de orden de compra directa de SDA a abastecimiento.
- ❖ Solicitud de compra de repuesto / servicio a través de publicación de mercado publico a abastecimiento.
- ❖ Requerimiento de adquisición de repuesto / servicio publicado en mercado publico.
- ❖ Con orden de compra directa de adquisición de repuesto / servicio.
- ❖ En espera de entrega de repuesto / servicio por parte del proveedor.
- ❖ En espera de instalación de repuesto por la U.E.M.
- ❖ Equipo mantenido a espera de ser recepcionado en el servicio clínico.
- ❖ Trabajo terminado.

Donde, de los estados o etapas anteriormente nombradas, se tomarán en cuenta aquellos que afectan directamente la planificación y que sus tiempos se pueden estimar para generar algún tipo de programación de producción. Siendo de esta forma, los estados a contemplar en los experimentos:

- ❖ Equipo en análisis de falla: Esta etapa corresponde a la estimada por la U.E.M para detectar la falla del equipo, donde este tiempo se encuentra estimado por cada equipo, debido a la complejidad de reparación de cada uno. Este tiempo ha sido definido por la empresa en razón a su experticia en la reparación de los distintos equipos médicos.
- ❖ Equipo en proceso de mantención: El proceso de mantención corresponde a la reparación del equipo mismo, considerando que este a pesar de ello, se puede distribuir en una reparación y una mantención. Es por ello,

que será dividido en dos actividades distintas, donde primero, se tendrá al proceso de reparación y luego el de mantenimiento (también denominada por la U.E.M como Mantenimiento Preventiva por Oportunidad - MPO).

- ❖ En espera de instalación de repuesto por la U.E.M: Este proceso es directamente relacionado con la reparación de un equipo o la mantenimiento del mismo.

7.3.1 Prueba 1 – Set de 5 equipos

A continuación, en la Tabla 7.2 se presenta la selección de equipos a utilizar para la primera prueba, en donde, en este caso se contempla los tiempos asociados a las actividades definidas anteriormente en este capítulo para la utilización de programación de las tareas en las planificaciones a realizar.

Tabla 7.2 Selección de equipos a probar en set de 5 equipos en prueba 1

EQUIPO	N° SERIE
LAMPARA FOTOCURADO	7004887
AGITADOR	504523
FACOEMULSIFICADOR	0502115002X
LASER OFTALMOLOGICO	1630
LAMPARA DE HENDIDURA	09060750X

Se debe considerar que estos tiempos fueron estimados a través del análisis de los equipos en espera de mantenimiento y con una descripción de la falla por parte de la unidad clínica responsable del equipo.

7.3.2 Prueba 2 – Set de 5 equipos

A continuación, en la Tabla 7.3 se presenta la selección de equipos a utilizar para la segunda prueba, en donde, en este caso se contempla los tiempos asociados a las actividades definidas anteriormente en este capítulo para la utilización de programación de las tareas en las planificaciones a realizar.

Tabla 7.3 Selección de equipos a probar en set de 5 equipos en prueba 2

EQUIPO	N° SERIE
VENTILADOR NO INVASIVO	4752287
ECOTOMOGRAFO MULTIPROPOSITO	02KJ26
LAMPARA DE PROCEDIMIENTOS	100510
MICROSCOPIO QUIRURGICO OFTALMOLOGICO	080109002
INCUBADORA TRANSPORTE	PD3707

Se debe considerar que estos tiempos fueron estimados a través del análisis de los equipos en espera de mantenimiento y con una descripción de la falla por parte de la unidad clínica responsable del equipo.

7.3.3 Prueba 3 – Set de 10 equipos

A continuación, en la Tabla 7.4 se presenta la selección de equipos a utilizar para la tercera prueba, en donde, en este caso se contempla los tiempos asociados a las actividades definidas anteriormente en este capítulo para la utilización de programación de las tareas en las planificaciones a realizar.

Tabla 7.4 Selección de equipos a probar en set de 10 equipos en prueba 3

EQUIPO	N° SERIE
GAMMA CAMARA	H3000ZL
SILLON DENTAL	SN01
COMPRESOR DENTAL PORTATIL	T09601-220-13
UNIDAD DENTAL PORTATIL	SN02
ANALIZADOR VHS	000155
DETECTOR DE PLACAS DE ELISA	3032500
TECNICA INMUNO FLUORECENCIA	UEM01
SELLADOR BOLSA DE SANGRE	325
REVELADORA AUTOMATICA DE ALTA CAPACIDAD	U.E.M-0056
REVELADORA AUTOMATICA DE SOBREMESA	U.E.M-0057

Se debe considerar que estos tiempos fueron estimados a través del análisis de los equipos en espera de mantención y con una descripción de la falla por parte de la unidad clínica responsable del equipo.

7.3.4 Prueba 4 – Set de 10 equipos

A continuación, en la Tabla 7.5 se presenta la selección de equipos a utilizar para la cuarta prueba, en donde, en este caso se contempla los tiempos asociados a las actividades definidas anteriormente en este capítulo para la utilización de programación de las tareas en las planificaciones a realizar.

Tabla 7.5 Selección de equipos a probar en set de 10 equipos en prueba 4

EQUIPO	N° SERIE
VENTILADOR VOLUMETRICO	ADT02391
MONITOR MULTIPARAMETROS DE MEDIANA COMPLEJIDAD	3300-001736
ESFIGNOMANOMETRO DIGITAL	33700243
ECOTOMOGRAFO MULTIPROPOSITO	4244V7

ECOGRAFO	97648SMQ
ECOTOMOGRAFO MULTIPROPOSITO	30057YU4
ELECTROCARDIOGRAFO	AFLA0197
OXIMETRO DE PULSO	77-18169CCSYVV
MONITOR DESFIBRILADOR	11565263
VENTILADOR VOLUMETRICO	10444

Se debe considerar que estos tiempos fueron estimados a través del análisis de los equipos en espera de mantención y con una descripción de la falla por parte de la unidad clínica responsable del equipo.

7.3.5 Prueba 5 – Set de 15 equipos

A continuación, en la Tabla 7.5 se presenta la selección de equipos a utilizar para la quinta prueba, en donde, en este caso se contemplan los tiempos asociados a las actividades definidas anteriormente en este capítulo para la utilización de programación de las tareas en las planificaciones a realizar.

Tabla 7.6 Selección de equipos a probar en set de 15 equipos en prueba 5

EQUIPO	N° SERIE
MICROSCOPIO QUIRURGICO OFTALMOLOGICO	080109002
MICROSCOPIO BINOCULAR	1L05659
CENTRIFUGA REFRIGERADA	29260100
FUENTE DE LUZ ENDOSCOPICA	UEM04
COLPOSCOPIO	211019
FIBROSCOPIO	2902238
ANALIZADOR DE ORINA	2010060556
AGITADOR DE TUBOS	541300
GABINETE DE BIOSEGURIDAD TIPO 2	UEM03
UNIDAD ESTERILIZADORA POR CALOR SECO	39901643
BALANZA ELECTRONICA DE PRESICION	5801868
BAÑO TERMORREGULADO HISTOLOGICO	1641060115898

MONITOR DE APNEA	69779
FUENTE DE LUZ ENDOSCOPICA	K61
ECOGRAFO OFTALMOLOGICO	10036

Se debe considerar que estos tiempos fueron estimados a través del análisis de los equipos en espera de mantenimiento y con una descripción de la falla por parte de la unidad clínica responsable del equipo.

7.3.6 Prueba 6 – Set de 15 equipos

A continuación, en la Tabla 7.7 se presenta la selección de equipos a utilizar para la sexta prueba, en donde, en este caso se contempla los tiempos asociados a las actividades definidas anteriormente en este capítulo para la utilización de programación de las tareas en las planificaciones a realizar.

Tabla 7.7 Selección de equipos a probar en set de 15 equipos en prueba 6

EQUIPO	N° SERIE
MAQUINA DE PERITONEODIALISIS	85371
ESFIGNOMANOMETRO DIGITAL	SN06
UNIDAD DE ULTRASONIDO	55684
EQUIPO DE ELECTROTERAPIA	00550
NEBULIZADOR	U.E.M-0012
ANALIZADOR PARA SEROLOGIA	IDXC-1125
ESTUFA DE HEMOCULTIVO	002CM6636
REFRIGERADOR INDUSTRIAL	03413
MOTOR QUIRURGICO	000440
BAÑO TERMORREGULADO	3292
CALENTADOR DE COMPRESAS	20
HOLTER	U.E.M-0045
PROYECTOR DE OPTOTIPOS	111205
BOMBA DE INFUSION JERINGA	65994
VENTILADOR NO INVASIVO	708281013

Se debe considerar que estos tiempos fueron estimados a través del análisis de los equipos en espera de mantención y con una descripción de la falla por parte de la unidad clínica responsable del equipo. Y el detalle de cada una de estas muestras se encuentra en el Anexo 2.

7.4 Planificaciones obtenidas

A continuación, a través del uso del software proporcionado para la construcción de las soluciones se presentan las soluciones finales obtenidas para cada una de las pruebas antes descritas.

Es así, que a través de la aplicación de estas pruebas es que se determinará el cumplimiento del tiempo que se estima para las distintas planificaciones y con ello la conformidad del *Makespan* señalado.

7.4.1 Prueba 1 – Set de 5 equipos

A continuación en la Tabla 7.8 se presenta la planificación obtenida a través de la aplicación para el set de trabajos descrito anteriormente según el orden establecido.

Tabla 7.8 Planificación propuesta para prueba 1 con set de 5 equipos

PLANIFICACION:	1					
MAKESPAN INICIAL:	15 horas					
MAKESPAN ESPERADO:	10,8 horas					
EQUIPOS:						
ID	NUM-IVENT					
1	7004887					
2	504523					
3	0502115002X					
4	1630					
5	09060750X					
ACTIVIDADES						
1:	ANALISIS DE FALLA					
2:	REPARACION					
3:	MANTENCION PREVENTIVA POR OPORTUNIDAD (MPO)					
4:	INSTALACION REPUESTO					
TECNICO	ID EQUIPO	H. INICIO	H. FIN	ACTIVIDAD	DURACION	
VICTOR CARRASCO	2	0	0,3	1	18 Minutos	
VICTOR CARRASCO	1	0,3	0,5	1	12 Minutos	
VICTOR CARRASCO	3	0,5	2,3	1	108 Minutos	
VICTOR CARRASCO	5	2,3	2,5	1	12 Minutos	
VICTOR CARRASCO	4	2,5	5	1	150 Minutos	
CARLOS LOBOS	1	0,5	1,3	2	48 Minutos	
CARLOS LOBOS	2	1,3	1,6	2	18 Minutos	
CARLOS LOBOS	3	2,3	3,5	2	72 Minutos	
CARLOS LOBOS	5	3,5	3,9	2	24 Minutos	

CARLOS LOBOS	4	5,9	7,9	2	120 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	1	1,3	1,8	3	30 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	2	2,9	3,7	3	48 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	3	3,8	4	3	12 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	4	8	8,7	3	42 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	5	8,7	8,9	3	12 Minutos
GUIDO VICENCIO	1	1,8	2	4	12 Minutos
GUIDO VICENCIO	2	3,7	4	4	18 Minutos
GUIDO VICENCIO	3	4	4,8	4	48 Minutos
GUIDO VICENCIO	5	9,8	10	4	12 Minutos
GUIDO VICENCIO	4	10	10,8	4	48 Minutos

7.4.2 Prueba 2 – Set de 5 equipos

A continuación, en la Tabla 7.9 se presenta la planificación obtenida a través de la aplicación para el set de trabajos descrito anteriormente según el orden establecido.

Tabla 7.9 Planificación propuesta para prueba 2 con set de 5 equipos

PLANIFICACION:	2					
MAKESPAN INICIAL:	23 horas					
MAKESPAN ESPERADO:	10,7 horas					
EQUIPOS:						
ID	NUM-IVENT					
1	4752287					
2	02KJ26					
3	100510					
4	80109002					
5	PD3707					
ACTIVIDADES						
1:	ANALISIS DE FALLA					
2:	REPARACION					
3:	MANTENCION PREVENTIVA POR OPORTUNIDAD (MPO)					
4:	INSTALACION REPUESTO					
TECNICO	ID EQUIPO	H. INICIO	H. FIN	ACTIVIDAD	DURACION	
JUAN CAMILO VARGAS	2	0	2,1	1	126 Minutos	
JUAN CAMILO VARGAS	1	2,1	3	1	54 Minutos	
JUAN CAMILO VARGAS	3	3	3,4	1	24 Minutos	
JUAN CAMILO VARGAS	4	3,4	3,9	1	30 Minutos	
JUAN CAMILO VARGAS	5	3,9	4,6	1	42 Minutos	
PABLO SILVA	2	3	4,9	2	114 Minutos	
PABLO SILVA	1	4,9	5,8	2	54 Minutos	
PABLO SILVA	3	5,8	6,5	2	42 Minutos	
PABLO SILVA	4	6,5	6,9	2	24 Minutos	

PABLO SILVA	5	6,9	7,9	2	60 Minutos
VICTOR CARRASCO	2	5	6,1	3	66 Minutos
VICTOR CARRASCO	1	6,1	7	3	54 Minutos
VICTOR CARRASCO	3	7	7,7	3	42 Minutos
VICTOR CARRASCO	4	7,7	7,9	3	12 Minutos
VICTOR CARRASCO	5	7,9	8,4	3	30 Minutos
CARLOS LOBOS	2	7	7,9	4	54 Minutos
CARLOS LOBOS	1	7,9	8,4	4	30 Minutos
CARLOS LOBOS	3	8,4	8,7	4	18 Minutos
CARLOS LOBOS	5	9	9,8	4	48 Minutos
CARLOS LOBOS	4	9,8	10,8	4	60 Minutos

7.4.3 Prueba 3 – Set de 10 equipos

A continuación, en la Tabla 7.10 se presenta la planificación obtenida a través de la aplicación para el set de trabajos descrito anteriormente según el orden establecido.

Tabla 7.10 Planificación propuesta para prueba 3 con set de 10 equipos

PLANIFICACION:	3
MAKESPAN INICIAL:	45 horas
MAKESPAN ESPERADO:	16 horas
EQUIPOS:	
ID	NUM- IVENT
1	H3000ZL
2	SN01
3	T09601-220-13
4	SN02
5	155
6	3032500
7	UEM01
8	325
9	U.E.M-0056
10	U.E.M-0057

ACTIVIDADES

- 1: ANALISIS DE FALLA
- 2: REPARACION
- 3: MANTENCION PREVENTIVA POR OPORTUNIDAD (MPO)
- 4: INSTALACION REPUESTO

TECNICO	ID EQUIPO	H. INICIO	H. FIN	ACTIVIDAD	DURACION
VICTOR CARRASCO	2	0	0,5	1	30 Minutos
VICTOR CARRASCO	1	0,5	2,5	1	120 Minutos
VICTOR CARRASCO	3	2,5	3	1	30 Minutos

VICTOR CARRASCO	4	3	4,5	1	90 Minutos
VICTOR CARRASCO	5	4,5	4,8	1	18 Minutos
VICTOR CARRASCO	6	4,8	6	1	72 Minutos
VICTOR CARRASCO	7	6	6,7	1	42 Minutos
VICTOR CARRASCO	8	6,7	7,2	1	30 Minutos
VICTOR CARRASCO	9	7,2	7,9	1	42 Minutos
VICTOR CARRASCO	10	7,9	8,4	1	30 Minutos
CARLOS LOBOS	2	0,5	2	2	90 Minutos
CARLOS LOBOS	3	2	2,8	2	48 Minutos
CARLOS LOBOS	1	2,8	3,3	2	30 Minutos
CARLOS LOBOS	4	3,3	4,6	2	78 Minutos
CARLOS LOBOS	5	5,6	6,8	2	72 Minutos
CARLOS LOBOS	6	6,8	8	2	72 Minutos
CARLOS LOBOS	7	8	8,5	2	30 Minutos
CARLOS LOBOS	8	8,5	9,3	2	48 Minutos
CARLOS LOBOS	9	9,3	10,6	2	78 Minutos
CARLOS LOBOS	10	10,6	12,1	2	90 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	2	3	3,5	3	30 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	3	3,5	3,8	3	18 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	4	4,8	5	3	12 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	5	7	7,2	3	12 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	6	8,2	8,8	3	36 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	7	8,8	9,3	3	30 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	1	9,8	12	3	132 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	8	9,3	9,8	3	30 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	9	12	12,4	3	24 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	10	12,4	13	3	36 Minutos
GUIDO VICENCIO	2	4	4,5	4	30 Minutos
GUIDO VICENCIO	3	4,5	5,4	4	54 Minutos
GUIDO VICENCIO	4	5,4	6,4	4	60 Minutos
GUIDO VICENCIO	5	7,4	8,2	4	48 Minutos
GUIDO VICENCIO	6	9,2	10,2	4	60 Minutos
GUIDO VICENCIO	7	10,2	10,5	4	18 Minutos
GUIDO VICENCIO	8	10,5	11,7	4	72 Minutos
GUIDO VICENCIO	9	11,7	12,1	4	24 Minutos
GUIDO VICENCIO	1	12,1	16	4	234 Minutos
GUIDO VICENCIO	10	16	16,6	4	36 Minutos

Prueba 4 – Set de 10 equipos

A continuación, en la Tabla 7.11 se presenta la planificación obtenida a través de la aplicación para el set de trabajos descrito anteriormente según el orden establecido.

Tabla 7.11 Planificación propuesta para prueba 4 con set de 10 equipos

PLANIFICACION:	4
MAKESPAN INICIAL:	47 horas
MAKESPAN ESPERADO:	21.2 horas
EQUIPOS:	
ID	NUM-IVENT
1	ADT02391
2	3300-001736
3	33700243
4	4244V7
5	97648SMQ
6	30057YU4
7	AFLA0197 77-
8	18169CCSYVW
9	11565263
10	10444

ACTIVIDADES

- 1: ANALISIS DE FALLA
- 2: REPARACION
- 3: MANTENCION PREVENTIVA POR OPORTUNIDAD (MPO)
- 4: INSTALACION REPUESTO

TECNICO	ID EQUIPO	H. INICIO	H. FIN	ACTIVIDAD	DURACION
JUAN CAMILO VARGAS	2	0	0,5	1	30 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	1	0,5	2,5	1	120 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	3	2,5	2,9	1	24 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	4	2,9	3,5	1	36 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	10	3,5	5	1	90 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	5	5	5,8	1	48 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	6	5,8	6,9	1	66 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	9	7,6	8	1	24 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	7	6,9	7,3	1	24 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	8	7,3	7,6	1	18 Minutos
PABLO SILVA	1	2,5	3,3	2	48 Minutos
PABLO SILVA	3	3,3	4	2	42 Minutos
PABLO SILVA	2	4	5,5	2	90 Minutos
PABLO SILVA	5	5,5	6,7	2	72 Minutos
PABLO SILVA	4	6,7	8,6	2	114 Minutos
PABLO SILVA	7	8,6	9,1	2	30 Minutos
PABLO SILVA	8	9,1	9,6	2	30 Minutos
PABLO SILVA	6	9,6	11,5	2	114 Minutos

PABLO SILVA	9	11,5	14,3	2	168 Minutos
PABLO SILVA	10	14,3	17,1	2	168 Minutos
CARLOS LOBOS	1	2,5	3,3	3	48 Minutos
CARLOS LOBOS	2	6	6,5	3	30 Minutos
CARLOS LOBOS	3	6,5	7,1	3	36 Minutos
CARLOS LOBOS	4	9,1	10,2	3	66 Minutos
CARLOS LOBOS	5	10,2	10,4	3	12 Minutos
CARLOS LOBOS	6	12,4	13,5	3	66 Minutos
CARLOS LOBOS	7	13,5	14,1	3	36 Minutos
CARLOS LOBOS	8	14,1	14,7	3	36 Minutos
CARLOS LOBOS	9	14,7	15,9	3	72 Minutos
CARLOS LOBOS	10	17,9	19,4	3	90 Minutos
VICTOR CARRASCO	1	4,8	6	4	72 Minutos
VICTOR CARRASCO	2	7	7,5	4	30 Minutos
VICTOR CARRASCO	3	7,5	7,8	4	18 Minutos
VICTOR CARRASCO	4	10,8	11,7	4	54 Minutos
VICTOR CARRASCO	5	11,7	12,5	4	48 Minutos
VICTOR CARRASCO	6	14,5	15,4	4	54 Minutos
VICTOR CARRASCO	7	15,4	15,9	4	30 Minutos
VICTOR CARRASCO	8	15,9	16,5	4	36 Minutos
VICTOR CARRASCO	9	16,5	17,5	4	60 Minutos
VICTOR CARRASCO	10	20	21,2	4	72 Minutos

7.4.4 Prueba 5 – Set de 15 equipos

A continuación, en la Tabla 7.12 se presenta la planificación obtenida a través de la aplicación para el set de trabajos descrito anteriormente según el orden establecido.

Tabla 7.12 Planificación propuesta para prueba 5 con set de 15 equipos

PLANIFICACION:	5
MAKESPAN INICIAL:	48 horas
MAKESPAN ESPERADO:	22,4 horas
EQUIPOS:	
ID	NUM-IVENT
1	80109002
2	1L05659
3	29260100
4	UEM04
5	211019
6	2902238
7	2010060556
8	541300
9	UEM03
10	39901643
11	5801868
12	1,64106E+12
13	69779
14	K61
15	10036

ACTIVIDADES

- 1: ANALISIS DE FALLA
- 2: REPARACION
- 3: MANTENCION PREVENTIVA POR OPORTUNIDAD (MPO)
- 4: INSTALACION REPUESTO

TECNICO	ID EQUIPO	H. INICIO	H. FIN	ACTIVIDAD	DURACION
GUIDO VICENCIO	2	0	1,3	1	78 Minutos
GUIDO VICENCIO	1	1,3	1,9	1	36 Minutos
GUIDO VICENCIO	3	1,9	2,4	1	30 Minutos
GUIDO VICENCIO	4	2,4	2,9	1	30 Minutos
GUIDO VICENCIO	5	2,9	4,4	1	90 Minutos
GUIDO VICENCIO	6	4,4	4,8	1	24 Minutos
GUIDO VICENCIO	7	4,8	6	1	72 Minutos
GUIDO VICENCIO	8	6	6,3	1	18 Minutos
GUIDO VICENCIO	9	6,3	6,8	1	30 Minutos

GUIDO VICENCIO	10	6,8	7,5	1	42 Minutos
GUIDO VICENCIO	11	7,5	8	1	30 Minutos
GUIDO VICENCIO	12	8	9	1	60 Minutos
GUIDO VICENCIO	13	9	9,5	1	30 Minutos
GUIDO VICENCIO	14	9,5	10	1	30 Minutos
GUIDO VICENCIO	15	10	12	1	120 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	2	2	2,7	2	42 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	1	2,5	38	2	2130 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	3	3,8	4,8	2	60 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	5	4,8	6,1	2	78 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	6	6,1	6,8	2	42 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	7	6,8	8	2	72 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	8	8	8,6	2	36 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	9	8,6	9,4	2	48 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	10	9,4	9,9	2	30 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	11	9,9	10,7	2	48 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	12	10,7	11,6	2	54 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	13	11,6	12,6	2	60 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	4	12,6	14	2	84 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	14	14	15,5	2	90 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	15	15,5	17,2	2	102 Minutos
VICTOR CARRASCO	1	3,8	4	3	12 Minutos
VICTOR CARRASCO	2	4	4,4	3	24 Minutos
VICTOR CARRASCO	3	10,4	11	3	36 Minutos
VICTOR CARRASCO	6	11	11,6	3	36 Minutos
VICTOR CARRASCO	7	11,6	12,2	3	36 Minutos
VICTOR CARRASCO	8	12,2	13	3	48 Minutos
VICTOR CARRASCO	10	13	13,5	3	30 Minutos
VICTOR CARRASCO	11	13,5	14	3	30 Minutos
VICTOR CARRASCO	4	14	14,2	3	12 Minutos
VICTOR CARRASCO	12	14,2	14,5	3	18 Minutos
VICTOR CARRASCO	5	14,5	14,7	3	12 Minutos
VICTOR CARRASCO	13	14,7	15	3	18 Minutos
VICTOR CARRASCO	14	15,8	16,3	3	30 Minutos
VICTOR CARRASCO	9	16,3	17,3	3	60 Minutos
VICTOR CARRASCO	15	17,3	18,3	3	60 Minutos
CARLOS LOBOS	1	4	5	4	60 Minutos
CARLOS LOBOS	2	5	5,6	4	36 Minutos
CARLOS LOBOS	3	11	12	4	60 Minutos
CARLOS LOBOS	6	12	12,3	4	18 Minutos
CARLOS LOBOS	4	14,5	15	4	30 Minutos

CARLOS LOBOS	5	15,3	16,3	4	60 Minutos
CARLOS LOBOS	8	16,3	16,6	4	18 Minutos
CARLOS LOBOS	9	17,6	18,3	4	42 Minutos
CARLOS LOBOS	10	18,3	18,6	4	18 Minutos
CARLOS LOBOS	11	18,6	18,8	4	12 Minutos
CARLOS LOBOS	12	18,8	19,4	4	36 Minutos
CARLOS LOBOS	13	19,4	19,6	4	12 Minutos
CARLOS LOBOS	14	19,6	20,1	4	30 Minutos
CARLOS LOBOS	7	20,1	21,1	4	60 Minutos
CARLOS LOBOS	15	21,1	22,4	4	78 Minutos

7.4.5 Prueba 6 – Set de 15 equipos

A continuación, en la Tabla 7.13 se presenta la planificación obtenida a través de la aplicación para el set de trabajos descrito anteriormente según el orden establecido.

Tabla 7.13 Planificación propuesta para prueba 6 con set de 15 equipos

PLANIFICACION:		6
MAKESPAN INICIAL:	55 horas	
MAKESPAN ESPERADO:	19,3 horas	
EQUIPOS:		
ID	NUM-IVENT	
1	85371	
2	SN06	
3	55684	
4	550	
5	U.E.M-0012	
6	IDXC-1125	
7	002CM6636	
8	3413	
9	440	
10	3292	
11	20	
12	U.E.M-0045	
13	111205	
14	65994	
15	708281013	

ACTIVIDADES

- 1: ANALISIS DE FALLA
- 2: REPARACION
- 3: MANTENCION PREVENTIVA POR OPORTUNIDAD (MPO)
- 4: INSTALACION REPUESTO

TECNICO	ID EQUIPO	H. INICIO	H. FIN	ACTIVIDAD	DURACION
JUAN CAMILO VARGAS	2	0	0,4	1	24 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	1	0,4	0,8	1	24 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	3	0,8	1	1	12 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	4	1	1,2	1	12 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	5	1,2	1,6	1	24 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	6	1,6	3,1	1	90 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	15	3,1	3,8	1	42 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	7	3,8	4,1	1	18 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	8	4,1	4,3	1	12 Minutos

JUAN CAMILO VARGAS	9	4,3	4,8	1	30 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	10	4,8	5,5	1	42 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	11	5,5	6,8	1	78 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	12	5,8	6,8	1	60 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	13	6,8	7,3	1	30 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	14	7,3	7,8	1	30 Minutos
PABLO SILVA	2	1	1,7	2	42 Minutos
PABLO SILVA	3	1,7	2,2	2	30 Minutos
PABLO SILVA	4	2,2	2,5	2	18 Minutos
PABLO SILVA	1	2,5	3	2	30 Minutos
PABLO SILVA	5	3	3,7	2	42 Minutos
PABLO SILVA	6	3,7	5	2	78 Minutos
PABLO SILVA	7	5	6,3	2	78 Minutos
PABLO SILVA	8	6,3	7,4	2	66 Minutos
PABLO SILVA	9	7,4	8,9	2	90 Minutos
PABLO SILVA	10	8,9	9,4	2	30 Minutos
PABLO SILVA	11	9,4	10,4	2	60 Minutos
PABLO SILVA	12	10,4	11,9	2	90 Minutos
PABLO SILVA	13	11,9	12,5	2	36 Minutos
PABLO SILVA	14	12,5	13,5	2	60 Minutos
PABLO SILVA	15	13,5	16,3	2	168 Minutos
GUIDO VICENCIO	2	2	2,6	3	36 Minutos
GUIDO VICENCIO	3	2,6	3,2	3	36 Minutos
GUIDO VICENCIO	4	3,2	3,7	3	30 Minutos
GUIDO VICENCIO	5	4,7	5,3	3	36 Minutos
GUIDO VICENCIO	6	5,3	5,5	3	12 Minutos
GUIDO VICENCIO	7	6,5	7,1	3	36 Minutos
GUIDO VICENCIO	1	7,1	8,1	3	60 Minutos
GUIDO VICENCIO	8	8,1	8,7	3	36 Minutos
GUIDO VICENCIO	9	9,7	10,2	3	30 Minutos
GUIDO VICENCIO	10	10,2	10,7	3	30 Minutos
GUIDO VICENCIO	11	10,7	11,7	3	60 Minutos
GUIDO VICENCIO	12	12,7	13,4	3	42 Minutos
GUIDO VICENCIO	13	13,4	13,8	3	24 Minutos
GUIDO VICENCIO	14	13,8	14,4	3	36 Minutos
GUIDO VICENCIO	15	16,4	17,6	3	72 Minutos
CARLOS LOBOS	2	3	3,3	4	18 Minutos
CARLOS LOBOS	3	3,3	3,9	4	36 Minutos
CARLOS LOBOS	4	3,9	4,1	4	12 Minutos
CARLOS LOBOS	5	6,1	6,4	4	18 Minutos
CARLOS LOBOS	6	6,4	7,4	4	60 Minutos
CARLOS LOBOS	7	7,4	7,8	4	24 Minutos

CARLOS LOBOS	8	8,8	9,6	4	48 Minutos
CARLOS LOBOS	1	9,6	10,6	4	60 Minutos
CARLOS LOBOS	9	10,6	11,1	4	30 Minutos
CARLOS LOBOS	10	11,1	11,4	4	18 Minutos
CARLOS LOBOS	11	12,4	13,1	4	42 Minutos
CARLOS LOBOS	12	14,1	14,9	4	48 Minutos
CARLOS LOBOS	13	14,9	15,4	4	30 Minutos
CARLOS LOBOS	14	15,4	16,3	4	54 Minutos
CARLOS LOBOS	15	18,3	19,3	4	60 Minutos

7.5 Aplicación de planificaciones

A continuación, se muestra el resultado de la aplicación de la planificación en un entorno real. Para esto, se hizo uso de un registro que los técnicos debieron llenar en razón de registrar el tiempo ocupado en las distintas actividades.

Es así, que a través de la aplicación de estas pruebas es que se determinará el cumplimiento del tiempo que se estima para las distintas planificaciones y con ello la exactitud del *Makespan* señalado, y de esta forma evaluar los resultados del trabajo realizado.

Además, se presentará una tabla resumen de cada uno de los experimentos realizados según la distribución de muestras utilizadas durante este capítulo.

7.5.1 Prueba 1 – Set de 5 equipos

A continuación, en la Tabla 7.14 se presentan los resultados obtenidos a través de la aplicación para el set de trabajos descritos anteriormente según el orden ya establecido.

Tabla 7.14 Tiempos obtenidos para prueba 1

PLANIFICACION:		1		
MAKESPAN INICIAL:		15 horas		
MAKESPAN ESPERADO:		10,8 horas		
EQUIPOS:				
ID	NUM- IVENT			
1	7004887			
2	504523			
3	0502115002X			
4	1630			
5	09060750X			
			DURACION ESTIMADA	DURACION REAL
TECNICO	EQUIPO	ACTIVIDAD		
VICTOR CARRASCO	2	ANALISIS DE FALLA	18 Minutos	25 Minutos
VICTOR CARRASCO	1	ANALISIS DE FALLA	12 Minutos	10 Minutos

VICTOR CARRASCO	3	ANALISIS DE FALLA	108 Minutos	30 Minutos
VICTOR CARRASCO	5	ANALISIS DE FALLA	12 Minutos	25 Minutos
VICTOR CARRASCO	4	ANALISIS DE FALLA	150 Minutos	80 Minutos
CARLOS LOBOS	1	REPARACION	48 Minutos	50 Minutos
CARLOS LOBOS	2	REPARACION	18 Minutos	35 Minutos
CARLOS LOBOS	3	REPARACION	72 Minutos	60 Minutos
CARLOS LOBOS	5	REPARACION	24 Minutos	30 Minutos
CARLOS LOBOS	4	REPARACION	120 Minutos	60 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	1	MPO	30 Minutos	20 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	2	MPO	48 Minutos	30 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	3	MPO	12 Minutos	20 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	4	MPO	42 Minutos	30 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	5	MPO	12 Minutos	20 Minutos
GUIDO VICENCIO	1	INST. REPUEST	12 Minutos	10 Minutos
GUIDO VICENCIO	2	INST. REPUEST	18 Minutos	10 Minutos
GUIDO VICENCIO	3	INST. REPUEST	48 Minutos	10 Minutos
GUIDO VICENCIO	5	INST. REPUEST	12 Minutos	20 Minutos
GUIDO VICENCIO	4	INST. REPUEST	48 Minutos	30 Minutos

7.5.2 Prueba 2 – Set de 5 equipos

A continuación, en la Tabla 7.14 se presenta los resultados obtenidos a través de la aplicación para el set de trabajos descrito anteriormente según el orden previamente establecido.

Tabla 7.15 Tiempos obtenidos para prueba 2

PLANIFICACION:		1		
MAKESPAN INICIAL:		15 horas		
MAKESPAN ESPERADO:		10,8 horas		
EQUIPOS:				
ID		NUM-IVENT		
1		7004887		
2		504523		
3		0502115002X		
4		1630		
5		09060750X		
			DURACION ESTIMADA	DURACION REAL
TECNICO	EQUIPO	ACTIVIDAD		
JUAN CAMILO VARGAS	2	ANALISIS DE FALLA	126 Minutos	70 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	1	ANALISIS DE FALLA	54 Minutos	60 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	3	ANALISIS DE FALLA	24 Minutos	35 Minutos

JUAN CAMILO VARGAS	4	ANALISIS DE FALLA	30 Minutos	50 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	5	ANALISIS DE FALLA	42 Minutos	70 Minutos
PABLO SILVA	2	REPARACION	114 Minutos	200 Minutos
PABLO SILVA	1	REPARACION	54 Minutos	30 Minutos
PABLO SILVA	3	REPARACION	42 Minutos	30 Minutos
PABLO SILVA	4	REPARACION	24 Minutos	30 Minutos
PABLO SILVA	5	REPARACION	60 Minutos	60 Minutos
VICTOR CARRASCO	2	MPO	66 Minutos	30 Minutos
VICTOR CARRASCO	1	MPO	54 Minutos	30 Minutos
VICTOR CARRASCO	3	MPO	42 Minutos	30 Minutos
VICTOR CARRASCO	4	MPO	12 Minutos	30 Minutos
VICTOR CARRASCO	5	MPO	30 Minutos	30 Minutos
CARLOS LOBOS	2	INST. REPUEST	54 Minutos	45 Minutos
CARLOS LOBOS	1	INST. REPUEST	30 Minutos	20 Minutos
CARLOS LOBOS	3	INST. REPUEST	18 Minutos	30 Minutos
CARLOS LOBOS	5	INST. REPUEST	48 Minutos	30 Minutos
CARLOS LOBOS	4	INST. REPUEST	60 Minutos	45 Minutos

7.5.3 Prueba 3 – Set de 10 equipos

A continuación, en la Tabla 7.14 se presenta los resultados obtenidos a través de la aplicación para el set de trabajos descritos anteriormente según el orden ya establecido.

Tabla 7.16 Tiempos obtenidos para prueba 3

PLANIFICACION:		3		
MAKESPAN INICIAL:	45 horas			
MAKESPAN ESPERADO:	16 horas			
EQUIPOS:				
ID	NUM-IVENT			
1	H3000ZL			
2	SN01			
3	T09601-220-13			
4	SN02			
5	155			
6	3032500			
7	UEM01			
8	325			
9	U.E.M-0056			
10	U.E.M-0057			
TECNICO	EQUIPO	ACTIVIDAD	DURACION ESTIMADA	DURACION REAL
VICTOR CARRASCO	1	ANALISIS DE FALLA	120 Minutos	70

					Minutos
					30
VICTOR CARRASCO	3	ANALISIS DE FALLA	30 Minutos	Minutos	60
VICTOR CARRASCO	4	ANALISIS DE FALLA	90 Minutos	Minutos	30
VICTOR CARRASCO	5	ANALISIS DE FALLA	18 Minutos	Minutos	60
VICTOR CARRASCO	6	ANALISIS DE FALLA	72 Minutos	Minutos	60
VICTOR CARRASCO	7	ANALISIS DE FALLA	42 Minutos	Minutos	30
VICTOR CARRASCO	8	ANALISIS DE FALLA	30 Minutos	Minutos	45
VICTOR CARRASCO	9	ANALISIS DE FALLA	42 Minutos	Minutos	30
VICTOR CARRASCO	10	ANALISIS DE FALLA	30 Minutos	Minutos	60
CARLOS LOBOS	2	REPARACION	90 Minutos	Minutos	60
CARLOS LOBOS	3	REPARACION	48 Minutos	Minutos	45
CARLOS LOBOS	1	REPARACION	30 Minutos	Minutos	60
CARLOS LOBOS	4	REPARACION	78 Minutos	Minutos	60
CARLOS LOBOS	5	REPARACION	72 Minutos	Minutos	60
CARLOS LOBOS	6	REPARACION	72 Minutos	Minutos	40
CARLOS LOBOS	7	REPARACION	30 Minutos	Minutos	45
CARLOS LOBOS	8	REPARACION	48 Minutos	Minutos	60
CARLOS LOBOS	9	REPARACION	78 Minutos	Minutos	60
CARLOS LOBOS	10	REPARACION	90 Minutos	Minutos	30
JUAN CAMILO VARGAS	2	MPO	30 Minutos	Minutos	30
JUAN CAMILO VARGAS	3	MPO	18 Minutos	Minutos	30
JUAN CAMILO VARGAS	4	MPO	12 Minutos	Minutos	30
JUAN CAMILO VARGAS	5	MPO	12 Minutos	Minutos	60
JUAN CAMILO VARGAS	6	MPO	36 Minutos	Minutos	30
JUAN CAMILO VARGAS	7	MPO	30 Minutos	Minutos	150
JUAN CAMILO VARGAS	1	MPO	132 Minutos	Minutos	50
JUAN CAMILO VARGAS	8	MPO	30 Minutos	Minutos	30
JUAN CAMILO VARGAS	9	MPO	24 Minutos	Minutos	

JUAN CAMILO VARGAS	10	MPO	36 Minutos	30 Minutos
GUIDO VICENCIO	2	INST. REPUEST	30 Minutos	20 Minutos
GUIDO VICENCIO	3	INST. REPUEST	54 Minutos	30 Minutos
GUIDO VICENCIO	4	INST. REPUEST	60 Minutos	30 Minutos
GUIDO VICENCIO	5	INST. REPUEST	48 Minutos	20 Minutos
GUIDO VICENCIO	6	INST. REPUEST	60 Minutos	20 Minutos
GUIDO VICENCIO	7	INST. REPUEST	18 Minutos	10 Minutos
GUIDO VICENCIO	8	INST. REPUEST	72 Minutos	50 Minutos
GUIDO VICENCIO	9	INST. REPUEST	24 Minutos	40 Minutos
GUIDO VICENCIO	1	INST. REPUEST	234 Minutos	90 Minutos
GUIDO VICENCIO	10	INST. REPUEST	36 Minutos	50 Minutos

7.5.4 Prueba 4 – Set de 10 equipos

A continuación, en la Tabla 7.14 se presenta los resultados obtenidos a través de la aplicación para el set de trabajos descritos según el orden establecido anteriormente.

Tabla 7.17 Tiempos obtenidos para prueba 4

PLANIFICACION:	3			
MAKESPAN INICIAL:	45 horas			
MAKESPAN ESPERADO:	16 horas			
EQUIPOS:				
ID	NUM- IVENT			
1	H3000ZL			
2	SN01			
3	T09601-220-13			
4	SN02			
5	155			
6	3032500			
7	UEM01			
8	325			
9	U.E.M-0056			
10	U.E.M-0057			

TECNICO	EQUIPO	ACTIVIDAD	DURACION ESTIMADA	DURACION REAL
JUAN CAMILO VARGAS	2	ANALISIS DE FALLA	30 Minutos	30 Minutos

JUAN CAMILO VARGAS	1	ANALISIS DE FALLA	120 Minutos	90 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	3	ANALISIS DE FALLA	24 Minutos	30 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	4	ANALISIS DE FALLA	36 Minutos	60 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	10	ANALISIS DE FALLA	90 Minutos	60 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	5	ANALISIS DE FALLA	48 Minutos	90 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	6	ANALISIS DE FALLA	66 Minutos	30 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	9	ANALISIS DE FALLA	24 Minutos	30 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	7	ANALISIS DE FALLA	24 Minutos	30 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	8	REPARACION	18 Minutos	60 Minutos
PABLO SILVA	1	REPARACION	48 Minutos	60 Minutos
PABLO SILVA	3	REPARACION	42 Minutos	60 Minutos
PABLO SILVA	2	REPARACION	90 Minutos	60 Minutos
PABLO SILVA	5	REPARACION	72 Minutos	95 Minutos
PABLO SILVA	4	REPARACION	114 Minutos	30 Minutos
PABLO SILVA	7	REPARACION	30 Minutos	30 Minutos
PABLO SILVA	8	REPARACION	30 Minutos	60 Minutos
PABLO SILVA	6	REPARACION	114 Minutos	60 Minutos
PABLO SILVA	9	REPARACION	168 Minutos	60 Minutos
PABLO SILVA	10	MPO	168 Minutos	70 Minutos
CARLOS LOBOS	1	MPO	48 Minutos	60 Minutos
CARLOS LOBOS	2	MPO	30 Minutos	60 Minutos
CARLOS LOBOS	3	MPO	36 Minutos	60 Minutos
CARLOS LOBOS	4	MPO	66 Minutos	30 Minutos
CARLOS LOBOS	5	MPO	12 Minutos	60 Minutos
CARLOS LOBOS	6	MPO	66 Minutos	30 Minutos
CARLOS LOBOS	7	MPO	36 Minutos	30 Minutos
CARLOS LOBOS	8	MPO	36 Minutos	60 Minutos
CARLOS LOBOS	9	MPO	72 Minutos	Minutos

CARLOS LOBOS	10	INST. REPUEST	90 Minutos	80 Minutos
VICTOR CARRASCO	1	INST. REPUEST	72 Minutos	60 Minutos
VICTOR CARRASCO	2	INST. REPUEST	30 Minutos	30 Minutos
VICTOR CARRASCO	3	INST. REPUEST	18 Minutos	20 Minutos
VICTOR CARRASCO	4	INST. REPUEST	54 Minutos	30 Minutos
VICTOR CARRASCO	5	INST. REPUEST	48 Minutos	60 Minutos
VICTOR CARRASCO	6	INST. REPUEST	54 Minutos	30 Minutos
VICTOR CARRASCO	7	INST. REPUEST	30 Minutos	30 Minutos
VICTOR CARRASCO	8	INST. REPUEST	36 Minutos	60 Minutos
VICTOR CARRASCO	9	INST. REPUEST	60 Minutos	60 Minutos
VICTOR CARRASCO	10	INST. REPUEST	72 Minutos	Minutos

7.5.5 Prueba 5 – Set de 15 equipos

A continuación, en la Tabla 7.14 se presentan los resultados obtenidos a través de la aplicación para el set de trabajos descritos según el orden establecido anteriormente.

Tabla 7.18 Tiempos obtenidos para prueba 5

PLANIFICACION:	3
MAKESPAN INICIAL:	45 horas
MAKESPAN ESPERADO:	16 horas
EQUIPOS:	
ID	NUM- IVENT
1	H3000ZL
2	SN01
3	T09601-220-13
4	SN02
5	155
6	3032500
7	UEM01
8	325
9	U.E.M-0056
10	U.E.M-0057

TECNICO	EQUIPO	ACTIVIDAD	DURACION ESTIMADA	DURACION REAL
GUIDO VICENCIO	2	ANALISIS DE FALLA	78 Minutos	60 Minutos
GUIDO VICENCIO	1	ANALISIS DE FALLA	36 Minutos	40 Minutos

GUIDO VICENCIO	3	ANALISIS DE FALLA	30 Minutos	40 Minutos
GUIDO VICENCIO	4	ANALISIS DE FALLA	30 Minutos	45 Minutos
GUIDO VICENCIO	5	ANALISIS DE FALLA	90 Minutos	60 Minutos
GUIDO VICENCIO	6	ANALISIS DE FALLA	24 Minutos	30 Minutos
GUIDO VICENCIO	7	ANALISIS DE FALLA	72 Minutos	60 Minutos
GUIDO VICENCIO	8	ANALISIS DE FALLA	18 Minutos	25 Minutos
GUIDO VICENCIO	9	ANALISIS DE FALLA	30 Minutos	60 Minutos
GUIDO VICENCIO	10	ANALISIS DE FALLA	42 Minutos	45 Minutos
GUIDO VICENCIO	11	ANALISIS DE FALLA	30 Minutos	30 Minutos
GUIDO VICENCIO	12	ANALISIS DE FALLA	60 Minutos	60 Minutos
GUIDO VICENCIO	13	ANALISIS DE FALLA	30 Minutos	30 Minutos
GUIDO VICENCIO	14	ANALISIS DE FALLA	30 Minutos	30 Minutos
GUIDO VICENCIO	15	ANALISIS DE FALLA	120 Minutos	80 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	2	REPARACION	42 Minutos	45 Minutos
			2130	
JUAN CAMILO VARGAS	1	REPARACION	Minutos	120 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	3	REPARACION	60 Minutos	60 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	5	REPARACION	78 Minutos	90 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	6	REPARACION	42 Minutos	60 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	7	REPARACION	72 Minutos	90 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	8	REPARACION	36 Minutos	60 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	9	REPARACION	48 Minutos	60 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	10	REPARACION	30 Minutos	60 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	11	REPARACION	48 Minutos	60 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	12	REPARACION	54 Minutos	60 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	13	REPARACION	60 Minutos	60 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	4	REPARACION	84 Minutos	90 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	14	REPARACION	90 Minutos	90 Minutos
JUAN CAMILO VARGAS	15	REPARACION	102 Minutos	120 Minutos
VICTOR CARRASCO	1	MPO	12 Minutos	15 Minutos
VICTOR CARRASCO	2	MPO	24 Minutos	30 Minutos
VICTOR CARRASCO	3	MPO	36 Minutos	60 Minutos
VICTOR CARRASCO	6	MPO	36 Minutos	60 Minutos
VICTOR CARRASCO	7	MPO	36 Minutos	60 Minutos
VICTOR CARRASCO	8	MPO	48 Minutos	60 Minutos
VICTOR CARRASCO	10	MPO	30 Minutos	30 Minutos
VICTOR CARRASCO	11	MPO	30 Minutos	30 Minutos
VICTOR CARRASCO	4	MPO	12 Minutos	20 Minutos
VICTOR CARRASCO	12	MPO	18 Minutos	20 Minutos
VICTOR CARRASCO	5	MPO	12 Minutos	20 Minutos
VICTOR CARRASCO	13	MPO	18 Minutos	20 Minutos
VICTOR CARRASCO	14	MPO	30 Minutos	30 Minutos

VICTOR CARRASCO	9	MPO	60 Minutos	60 Minutos
VICTOR CARRASCO	15	MPO	60 Minutos	60 Minutos
CARLOS LOBOS	1	INST. REPUEST	60 Minutos	60 Minutos
CARLOS LOBOS	2	INST. REPUEST	36 Minutos	45 Minutos
CARLOS LOBOS	3	INST. REPUEST	60 Minutos	60 Minutos
CARLOS LOBOS	6	INST. REPUEST	18 Minutos	20 Minutos
CARLOS LOBOS	4	INST. REPUEST	30 Minutos	30 Minutos
CARLOS LOBOS	5	INST. REPUEST	60 Minutos	60 Minutos
CARLOS LOBOS	8	INST. REPUEST	18 Minutos	20 Minutos
CARLOS LOBOS	9	INST. REPUEST	42 Minutos	60 Minutos
CARLOS LOBOS	10	INST. REPUEST	18 Minutos	20 Minutos
CARLOS LOBOS	11	INST. REPUEST	12 Minutos	20 Minutos
CARLOS LOBOS	12	INST. REPUEST	36 Minutos	20 Minutos
CARLOS LOBOS	13	INST. REPUEST	12 Minutos	20 Minutos
CARLOS LOBOS	14	INST. REPUEST	30 Minutos	30 Minutos
CARLOS LOBOS	7	INST. REPUEST	60 Minutos	60 Minutos
CARLOS LOBOS	15	INST. REPUEST	78 Minutos	90 Minutos

7.5.6 Prueba 6 – Set de 15 equipos

A continuación, en la Tabla 7.14 se presentan los resultados obtenidos a través de la aplicación para el set de trabajos descritos anteriormente según el orden establecido.

Tabla 7.19 Tiempos obtenidos para prueba 6

PLANIFICACION:		6		
MAKESPAN INICIAL:	45 horas			
MAKESPAN ESPERADO:	16 horas			
EQUIPOS:				
ID	NUM-IVENT			
1	H3000ZL			
2	SN01			
3	T09601-220-13			
4	SN02			
5	155			
6	3032500			
7	UEM01			
8	325			
9	U.E.M-0056			
10	U.E.M-0057			
TECNICO	EQUIPO	ACTIVIDAD	DURACION ESTIMADA	DURACION REAL
JUAN CAMILO	2	ANALISIS DE FALLA	24 Minutos	30 Minutos

VARGAS					
JUAN CAMILO					
VARGAS	1	ANALISIS DE FALLA	24 Minutos	30 Minutos	
JUAN CAMILO					
VARGAS	3	ANALISIS DE FALLA	12 Minutos	20 Minutos	
JUAN CAMILO					
VARGAS	4	ANALISIS DE FALLA	12 Minutos	20 Minutos	
JUAN CAMILO					
VARGAS	5	ANALISIS DE FALLA	24 Minutos	30 Minutos	
JUAN CAMILO					
VARGAS	6	ANALISIS DE FALLA	90 Minutos	90 Minutos	
JUAN CAMILO					
VARGAS	15	ANALISIS DE FALLA	42 Minutos	60 Minutos	
JUAN CAMILO					
VARGAS	7	ANALISIS DE FALLA	18 Minutos	20 Minutos	
JUAN CAMILO					
VARGAS	8	ANALISIS DE FALLA	12 Minutos	20 Minutos	
JUAN CAMILO					
VARGAS	9	ANALISIS DE FALLA	30 Minutos	30 Minutos	
JUAN CAMILO					
VARGAS	10	ANALISIS DE FALLA	42 Minutos	60 Minutos	
JUAN CAMILO					
VARGAS	11	ANALISIS DE FALLA	78 Minutos	90 Minutos	
JUAN CAMILO					
VARGAS	12	ANALISIS DE FALLA	60 Minutos	60 Minutos	
JUAN CAMILO					
VARGAS	13	ANALISIS DE FALLA	30 Minutos	30 Minutos	
JUAN CAMILO					
VARGAS	14	ANALISIS DE FALLA	30 Minutos	30 Minutos	
PABLO SILVA	2	REPARACION	42 Minutos	60 Minutos	
PABLO SILVA	3	REPARACION	30 Minutos	30 Minutos	
PABLO SILVA	4	REPARACION	18 Minutos	20 Minutos	
PABLO SILVA	1	REPARACION	30 Minutos	30 Minutos	
PABLO SILVA	5	REPARACION	42 Minutos	60 Minutos	
PABLO SILVA	6	REPARACION	78 Minutos	90 Minutos	
PABLO SILVA	7	REPARACION	78 Minutos	90 Minutos	
PABLO SILVA	8	REPARACION	66 Minutos	60 Minutos	
PABLO SILVA	9	REPARACION	90 Minutos	90 Minutos	
PABLO SILVA	10	REPARACION	30 Minutos	30 Minutos	
PABLO SILVA	11	REPARACION	60 Minutos	60 Minutos	
PABLO SILVA	12	REPARACION	90 Minutos	80 Minutos	
PABLO SILVA	13	REPARACION	36 Minutos	30 Minutos	
PABLO SILVA	14	REPARACION	60 Minutos	50 Minutos	
PABLO SILVA	15	REPARACION	168 Minutos	100 Minutos	
GUIDO VICENCIO	2	MPO	36 Minutos	30 Minutos	
GUIDO VICENCIO	3	MPO	36 Minutos	30 Minutos	
GUIDO VICENCIO	4	MPO	30 Minutos	30 Minutos	
GUIDO VICENCIO	5	MPO	36 Minutos	30 Minutos	

GUIDO VICENCIO	6	MPO	12 Minutos	20 Minutos
GUIDO VICENCIO	7	MPO	36 Minutos	30 Minutos
GUIDO VICENCIO	1	MPO	60 Minutos	50 Minutos
GUIDO VICENCIO	8	MPO	36 Minutos	30 Minutos
GUIDO VICENCIO	9	MPO	30 Minutos	30 Minutos
GUIDO VICENCIO	10	MPO	30 Minutos	30 Minutos
GUIDO VICENCIO	11	MPO	60 Minutos	60 Minutos
GUIDO VICENCIO	12	MPO	42 Minutos	30 Minutos
GUIDO VICENCIO	13	MPO	24 Minutos	20 Minutos
GUIDO VICENCIO	14	MPO	36 Minutos	30 Minutos
GUIDO VICENCIO	15	MPO	72 Minutos	60 Minutos
CARLOS LOBOS	2	INST. REPUEST	18 Minutos	20 Minutos
CARLOS LOBOS	3	INST. REPUEST	36 Minutos	30 Minutos
CARLOS LOBOS	4	INST. REPUEST	12 Minutos	20 Minutos
CARLOS LOBOS	5	INST. REPUEST	18 Minutos	20 Minutos
CARLOS LOBOS	6	INST. REPUEST	60 Minutos	60 Minutos
CARLOS LOBOS	7	INST. REPUEST	24 Minutos	20 Minutos
CARLOS LOBOS	8	INST. REPUEST	48 Minutos	30 Minutos
CARLOS LOBOS	1	INST. REPUEST	60 Minutos	60 Minutos
CARLOS LOBOS	9	INST. REPUEST	30 Minutos	30 Minutos
CARLOS LOBOS	10	INST. REPUEST	18 Minutos	20 Minutos
CARLOS LOBOS	11	INST. REPUEST	42 Minutos	45 Minutos
CARLOS LOBOS	12	INST. REPUEST	48 Minutos	45 Minutos
CARLOS LOBOS	13	INST. REPUEST	30 Minutos	20 Minutos
CARLOS LOBOS	14	INST. REPUEST	54 Minutos	60 Minutos
CARLOS LOBOS	15	INST. REPUEST	60 Minutos	60 Minutos

7.6 Análisis de resultados

A continuación, haciendo uso de los resultados obtenidos a través de la aplicación de las pruebas antes mencionadas en este capítulo, se realizará la comparación de lo que se estimaba y lo que realmente resultó al momento de aplicar las planificaciones propuestas.

7.6.1 Prueba 1 – Set de 5 equipos

En las pruebas realizadas con un set de 5 equipos a reparar, se pudo notar que existió un uso de recursos menor al planificado, siendo tal como se puede apreciar en la Figura 7.6, en donde el tiempo estimado solo es consumido en un 70,02%.

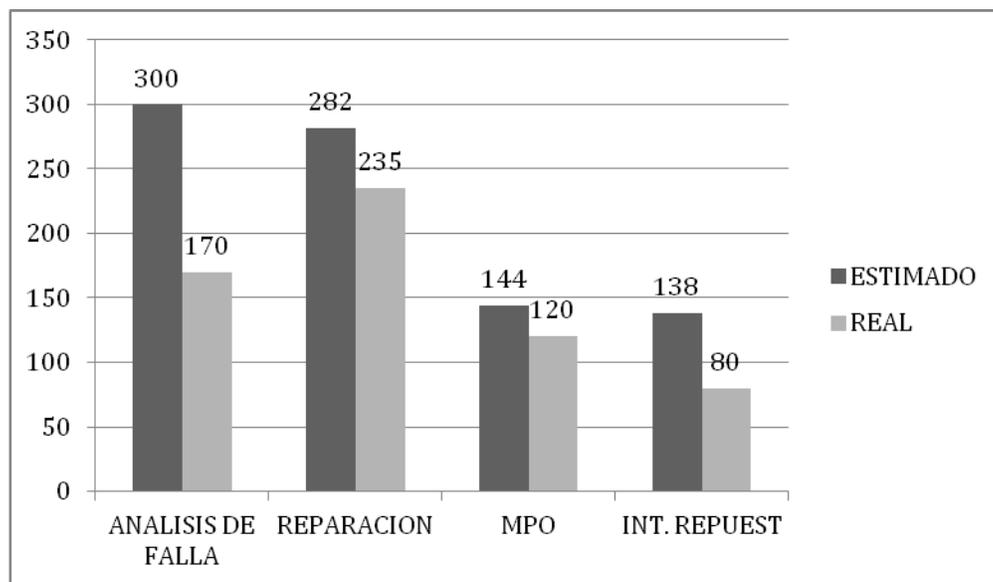


Figura 7.6 Resultados obtenidos al aplicar la planificación de prueba 1

Con ello, se puede establecer que los tiempos estimados para estas reparaciones son pesimistas, ya que además se puede apreciar en la gráfica que en todas las áreas medidas resultó un uso menor de recursos.

7.6.2 Prueba 2 – Set de 5 equipos

En las pruebas realizadas con un set de 5 equipos a reparar, se pudo notar que existió un uso de recursos menor al planificado, como se puede apreciar en la Figura 7.7, en donde el tiempo estimado sólo es consumido en un 97,05%. A pesar de ello, existen algunas variaciones que denotan que hay actividades que tienen una duración mayor a la estimada.

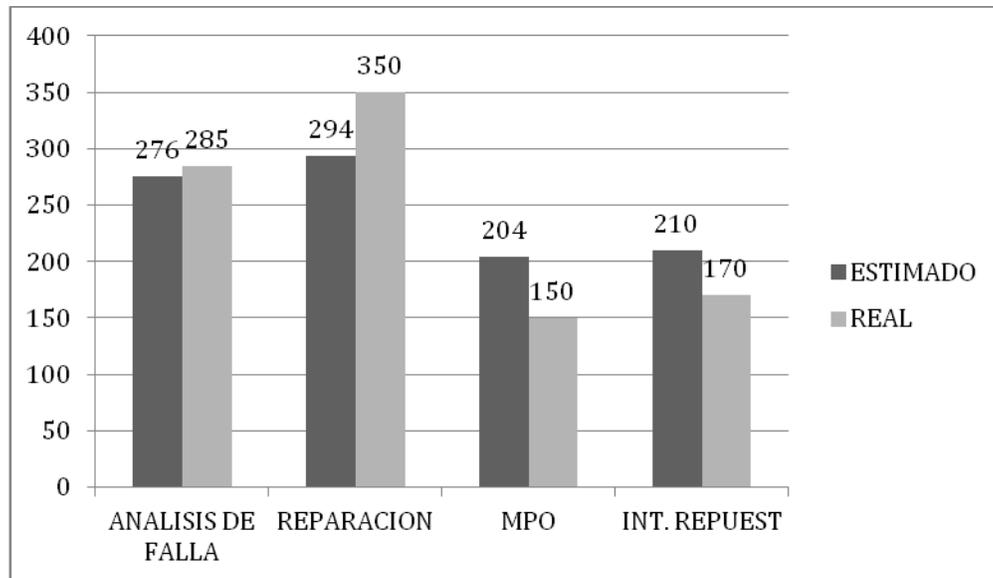


Figura 7.7 Resultados obtenidos al aplicar la planificación de prueba 2

Con ello, se puede establecer que los tiempos estimados para estas reparaciones son menos acertadas a la anterior, ya que hay una diferencia cercana al 20% al estimado, pero de todas formas superan al primer caso, ya que como se puede apreciar en la gráfica anterior, en las actividades de falla el tiempo consumido realmente es mayor al estimado en la planificación; por lo que, el proceso de reparación se dispara fuertemente de lo realmente consumido a lo realmente estimado, es de esta forma, que se debe tener cuidado con esta estimación, a pesar de que sea amortizada por la establecida en MPO e instalación de repuestos.

Un caso especial es el análisis de falla, donde la variación es menor, siendo en este caso que el tiempo ocupado realmente en estas tareas superan en un 3,26% a lo estimado, considerando esto casi un valor despreciable, pero en su todo, podría generar un grave incumplimiento y atraso de la planificación total.

7.6.3 Prueba 3 – Set de 10 equipos

En las pruebas realizadas con un set de 10 equipos a reparar, se pudo notar que existió un uso de recursos menor al planificado, siendo tal como se puede apreciar en la Figura 7.8, en donde el tiempo estimado sólo es consumido en un 85,23%. A pesar de ello, existen algunas variaciones que denotan que hay actividades que tienen una duración mayor a la estimada, como es el caso de MPO donde se supera en un 30.5% lo planificado, siendo este un factor de riesgo para la planificación.

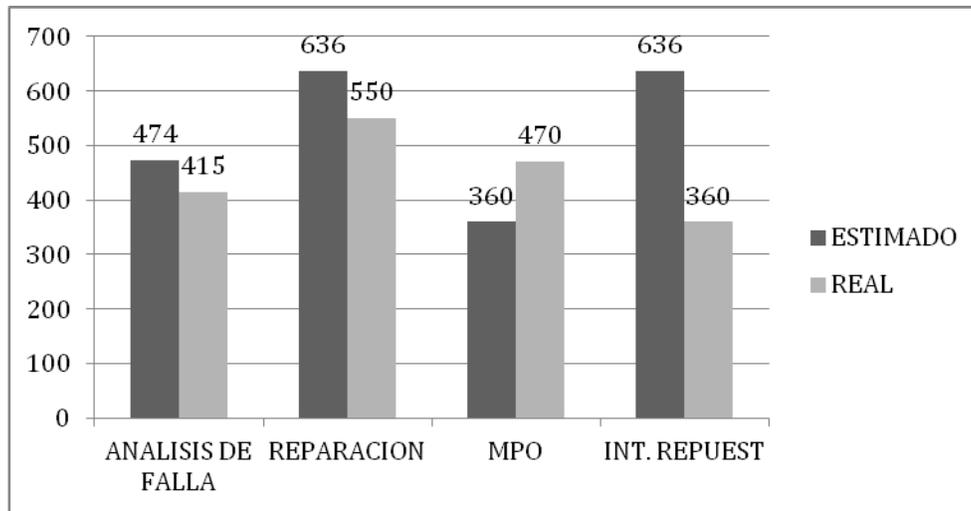


Figura 7.8 Resultados obtenidos al aplicar la planificación de prueba 3

Con ello, se puede establecer que los tiempos estimados para estas reparaciones son ciertamente más acertados respecto a los anteriores, pero de todas formas no son correctos en su totalidad, ya que como se puede apreciar en la gráfica anterior, en las actividades de falla e tiempo consumido realmente es mayor al estimado en la planificación; y en el caso de las reparaciones de los equipos sucede lo mismo, que en el caso ya mencionado. Ahora bien, el proceso de mantenimiento preventiva por oportunidad utilizado es menor al estimado, al igual que la instalación de repuestos, haciendo estas dos últimas actividades que el *Makespan* estimado no sea superado y por ende poder cumplir antes del tiempo estimado con la planificación.

7.6.4 Prueba 4 – Set de 10 equipos

En las pruebas realizadas con un set de 10 equipos a reparar, se pudo notar que existió un uso de recursos menor al planificado, siendo tal como se puede apreciar en la Figura 7.9, en donde el tiempo estimado sólo es consumido en un 87,55%. Se debe destacar que de esta forma existe un alto tiempo de ocio dentro de los técnicos al no ser certero con la estimación.

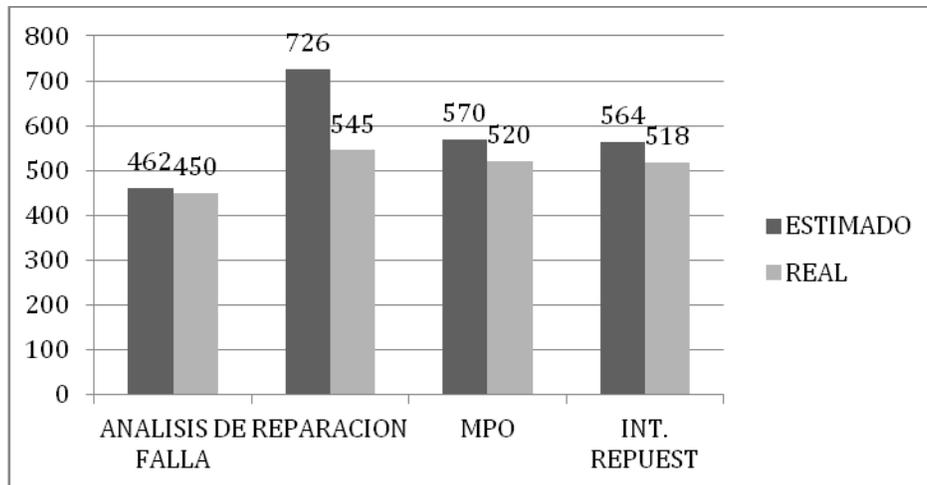


Figura 7.9 Resultados obtenidos al aplicar la planificación de prueba 4

Además, al igual que en el primer caso, se puede establecer que los tiempos estimados para estas reparaciones son pesimistas, ya que además se puede apreciar en la gráfica que en todas las áreas medidas resultó un uso menor de recursos.

7.6.5 Prueba 5 – Set de 15 equipos

Tal como se puede apreciar en la Figura 7.10, al realizar la prueba sobre 15 equipos se obtuvo un resultado de cumplimiento a lo estimado cercano al 72,31% pero en este caso, se tiene la diferencia que en todas las tareas exceptuando la reparación se obtuvo un tiempo real mayor al estimado. De esta forma, se puede señalar que si no fuera por la diferencia que se puede apreciar en lo estimado y lo realmente consumido en el proceso de reparación, esta planificación podría haber caído en una mala estimación de los tiempos y asignación de tareas.

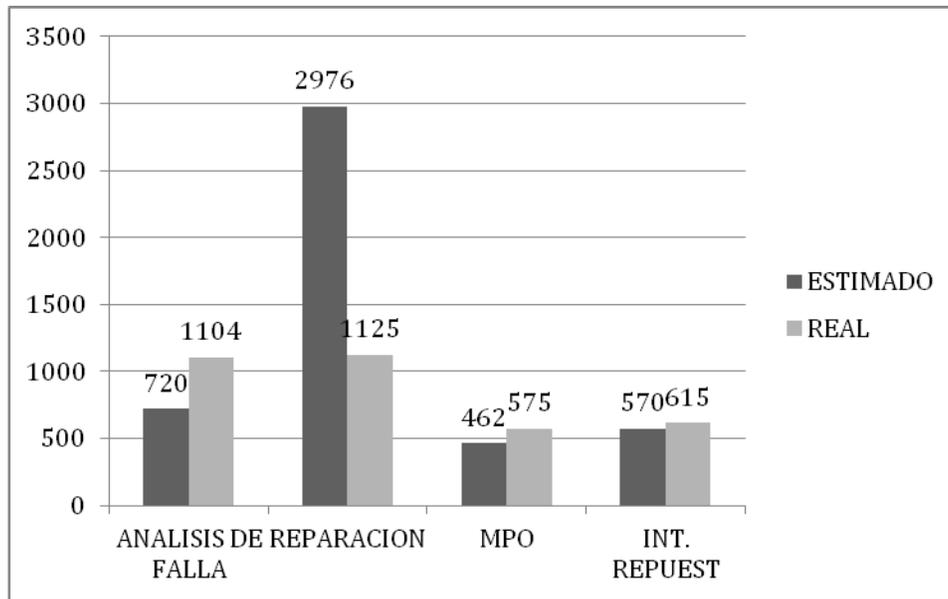


Figura 7.10 Resultados obtenidos al aplicar la planificación de prueba 5

Con esto, el total del tiempo consumido realmente en las tareas que son distintas a la reparación superan en un 30,93% a lo estimado, siendo esto un porcentaje muy elevado en tiempo. Lo anterior se ve amortizado por la razón de que en la actividad de reparación sólo se ocupa un 37,8% de lo estimado para esta actividad.

7.6.6 Prueba 6 – Set de 15 equipos

Como se puede apreciar en la Figura 7.11 en este caso se puede notar otro comportamiento en el cumplimiento de la planificación. Aquí, se consideran 15 equipos nuevamente, llegando a un 98,93% de cumplimiento de los tiempos estimados. Pero a pesar de ello, esta no es la planificación más certera, ya que como se puede notar, en todas las actividades, menos en el proceso de reparación se ha estimado mal el tiempo obteniendo como resultado que todas las que no sean reparación superen el tiempo estimado.

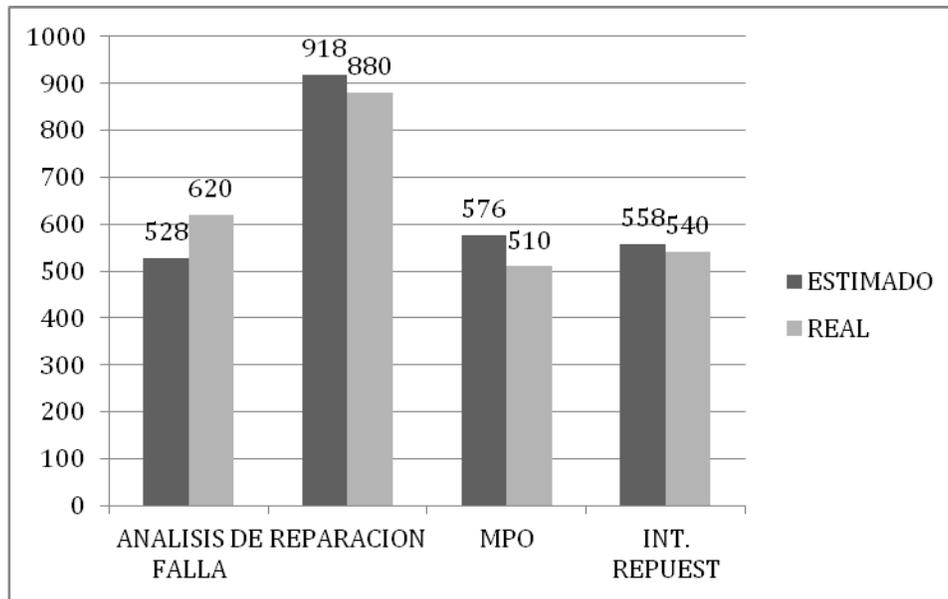


Figura 7.11 Resultados obtenidos al aplicar la planificación de prueba 6

El gráfico anterior muestra que a pesar de que esta planificación en su totalidad muestre el porcentaje más certero de todas las pruebas realizadas, se puede notar que en el proceso de reparación de equipos existe una diferencia de 4,14% entre los recursos asignados y los realmente consumidos, y las demás actividades quedan ocupando más tiempo de lo planificado, llegando en su totalidad a un 0,4% de lo estimado.

8 Conclusiones

8.1 Sobre el fundamento de este proyecto

Dentro del transcurso y fundamentos del problema de la planificación y control de la producción, se reconoció como un problema complejo dentro de las organizaciones, dado que involucra la asignación de recursos escasos, para lograr la satisfacción del cliente. Por tanto, es importante desarrollar metodologías que permitan alcanzar estos objetivos [9].

Asimismo, en relación a los sistemas de producción que se abordaron, se destacó *Flow-Shop* como tema principal. Dentro de las características esenciales de este sistema de producción se destacó que *Flow-Shop* logra mantener aquellos elementos de la producción en serie que son esenciales para los problemas, en los cuales los productos son distintos, pero las estaciones por las cuales debe pasar ese producto, para finalizar su proceso productivo se encuentran definidas con anterioridad. Este sistema de producción que consiste en una fabricación que no contempla la producción en serie, sino la producción de lotes pequeños, para pedidos únicos o de pequeñas cantidades. Por lo general contempla productos adaptados a requerimientos específicos, diseñados y elaborados a la medida del cliente y de tendencia muy poco repetitiva, pero que siguen un patrón en común entre toda la gama de productos ofrecida por el productor, en este caso el servicio prestado que es la reparación de equipos médicos.

Para ello se requieren operaciones con escasa especialización, las cuales son realizadas por un sólo técnico o por un grupo pequeño de ellos y, tienen la responsabilidad de terminar todo o casi todo el producto. Como se tratan productos diferentes, los recursos son flexibles y variables. Los flujos de material son regulares, definidos y varían considerablemente en cantidad de una reparación de equipo a otro equipo. Es de esta forma, que en la producción *Flow-Shop* se trata de obtener un producto a la medida de los requerimientos determinados del cliente, sabiendo que este mismo cumple con características que cumplen con cierto grado de secuencialidad al momento de ser producido.

8.2 Sobre el trabajo realizado

En este informe se mencionaron los elementos principales de información recolectada y conocimiento del flujo de trabajo de la fábrica de reparación de equipos médicos, así como también, se mostraron los resúmenes de las principales fuentes de información, debido a la complejidad y lo extensa de esta información, lo cual da a conocer la metodología y la forma en que se aplicarán las correspondientes pruebas de automatización y búsqueda de optimización de la planificación de producción, para los técnicos en referencia a la reparación de equipos médicos de la empresa Biomédica Ingeniería.

Es así, se entregaron los fundamentos del problema, el análisis a los sistemas productivos y sus principales características, como además aquellos factores claves para el éxito del caso de estudio que se implementó, los resultados esperados y todas aquellas aristas a considerar dentro de la aplicación, ya sea como posibles elementos que puedan entorpecer la aplicación del problema y/o resultados de las pruebas como aquellos que ayuden a obtener cierto grado de ventaja

8.3 Sobre los resultados obtenidos

En primer lugar, se hace necesario destacar la experiencia obtenida de la aplicación de un sistema de planificación de producción a la reparación de equipos médicos. En este sentido, primero es fundamental establecer que bajo el contexto de trabajo, en donde se utilizó la estimación de los tiempos como lo indicó el documento, se produjo una diferencia notable entre lo estimado por la empresa que entregaba los datos fuentes y lo que realmente se registró por parte de los técnicos al momento de ejecutar dichos planes.

En segundo lugar, haciendo la comparación de los resultados obtenidos, se puede apreciar que en todo momento siempre se obtuvo un tiempo total de trabajo inferior al esperado, con esto minimizando los costos de producción y en un futuro asignar nuevas tareas y distribuir de mejor forma la carga laboral estimada para los distintos técnicos utilizados en el caso de estudio.

Por último, como se puede apreciar en el análisis de los resultados, se hace indispensable equiparar la estimación entre lo que es la reparación con las otras actividades, asimismo como verificar realmente la cuantificación de los tiempos asignados a las reparaciones, en donde se vieron grandes diferencias.

8.4 Sobre el trabajo a futuro

Como se mencionó, se dieron a conocer todas aquellas pautas, formas y elementos participantes tanto en el planteamiento del problema, de los objetivos y del plan de aplicación de pruebas en el correspondiente caso de estudio. Asimismo, se dio a conocer todos aquellos componentes pertenecientes al marco teórico y el estado del arte, que definieron los trabajos realizados y la aplicación final de todos los elementos anteriores a un caso de estudio.

Es así que se define como trabajo futuro generar un estudio para determinar la razón cualitativa de la diferencia entre los resultados obtenidos, a través de la aplicación de la programación obtenida versus la planificación estimada que manejaba la U.E.M del Hospital.

También, se puede generar variaciones al problema, donde se considere la criticidad de los equipos, por ende, interrupciones a la ejecución de la planificación. Esto implicaría generar reglas de decisión sobre reparación de equipos médicos, los cuales en la actualidad quedan a criterio en primera instancia de los médicos jefes de cada Unidad Clínica.

Por último, señalar que es evidente la necesidad de desarrollar una estandarización de los procesos en el área de reparación de equipos médicos, ya que los protocolos son definidos según cambian las direcciones del Hospital y no siguiendo una norma general.

Referencias

- ❖ [1] Alcaide D. (2008): “On Scheduling Models”. Boletín de Estadística e Investigación Operativa. Vol. 24, pp. 11-21.
- ❖ [2] Chase R., Aquilano N., Jacobs F. (2001): “Administración de Producción y Operaciones. Manufactura y Servicios.” Octava Ed. MC Graw Hill.
- ❖ [3] Sistema de Planificación y Control de la Producción (MPC), Francisco Cofre G, Ingeniería en transporte y tránsito, Universidad tecnológica del estado de Chile, Agosto 2004
- ❖ [4] Woodward, J. (1965). Industrial Organization. Theory y Practice. Oxford: Oxford University Press.
- ❖ [5] Hill, T. (1997). La esencia de la administración de operaciones. México: Prentice-Hall.
- ❖ [6] Javier Matía Deprit, Ángel Sarabia Viejo. Optimización de la secuenciación de tareas en taller mediante algoritmos genéticos.
- ❖ [7] Simple assembly line balancing problem under task deterioration M. Emrani Noushabadia, U. Bahalkea, K. Dolatkahia, S. Dolatkahib, and A. Makuia, 2010
- ❖ [8] EREL, E., SARIN, S.C. A survey of the assembly line balancing procedures. Production Planning & Control. Vol. 9, 1998, p.414-434.
- ❖ [9] Resolución del problema de Job-Shop Scheduling Utilizando Heurísticas Constructivas. Rafael Mellado Silva. Proyecto de Título Ingeniería de ejecución en informática, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, 2010.
- ❖ [10] An electronic commerce adoption methodology for the Chilean SME Cristian Planal Narciso Cerpa2 Per B. Bro3 Recibido el 24 de marzo de 2005, aceptado el 31 de agosto de 2005 Received: March 24, 2005 Accepted: August 31, 2005
- ❖ [11] Álvarez Cáceres R. El método científico en las ciencias de la salud. Las bases de la investigación Biomédica. Madrid: Díaz de Santos, 1996.
- ❖ [12] Abdellah FG, Levine E. Preparing Nursing Research for the 21 st Century. Evolution. Methodologies, Chalges. Springer: New York; 1994.
- ❖ [13] Strauss AL. Qualitative analysis for social scientific. New York: Cambridge University Press, 1987.
- ❖ [14] Popper Karl R. La lógica de la investigación científica. Barcelona: Círculo de Lectores; 1995.
- ❖ [15] Ibañez J. El regreso del sujeto. La investigación social de segundo orden. Madrid: Siglo XXI; 1994. p.77-84.
- ❖ [16] Deegan MJ, Hill M. Women and symbolic interaction. Boston: Allen and Unwin; 1987. p. 84-85.
- ❖ [17] Subsecretaría de Economía. Encuesta “Acceso y uso de Tecnologías de la Información en las empresas chilenas”. Santiago, Chile. 2002.
- ❖ [18] ONess: un proyecto open source para el negocio textil mayorista desarrollado con tecnologías open source innovadoras. Proyecto de fin de carrera de ingeniería informática Carlos Sánchez González
- ❖ [19] Woodward, J. (1965). Industrial Organization. Theory y Practice. Oxford: Oxford University Press.

- ❖ [20] Hayes, R.H. & Wheelwright, S.C. (1984). *Restoring Our Competitive Edge: Competing Through Manufacturing*. Nueva York: John Wiley & Sons
- ❖ [21] *Administración de Procesos Productivos*, Gaspar Bernal, I.S.B.N. 956-7533-87-3
- ❖ [22] *Ingeniería económica aplicada a la industria pesquera*, FAO, 1999
- ❖ [23] J. Blazewicz, K. H. Ecker, G. Schmidt, and J. Weglarz. *Scheduling in Computer and Manufacturing System*. Springer, 1994.
- ❖ [24] Aplicación de una heurística de Búsqueda Tabú en un problema de programación de tareas en línea flexible de manufactura. R.B Acero & J.F Torres. Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia
- ❖ [25] Tapan P. Bagchi. *MultiObjective Scheduling by Genetic Algorithms*. Kluwer Academic Publishers, New York, September 1999. ISBN 0-7923-8561-6.
- ❖ [26] http://www.algovidea.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=61&Itemid=73, última revisión junio 2012
- ❖ [27] Aldowiasan, T., Allahverdi, A.: Total flowtime in no wait flos-shop whit separated setup times. *Computers and operations research*, 28, 563-584 (1998)
- ❖ [28] Dantzig, G. (1948). *Linear Programming and Extensions*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- ❖ [29] Nicholson, T. (1971). *Optimization in industry, optimization techniques, volume 1*. Longman Group Limited.
- ❖ [30] Luenberger, D. (1984). *Linear and Nonlinear Programming*. Addison- Wesley.
- ❖ [31] Bellman, R., Esogbue, A., and Nabeshima, I. (1982). Mathematical aspects of scheduling and applications. *International Series in Modern Applied Mathematics and Computer Science*, 33(5):769–772. Pergamon Press, Volume 4.
- ❖ [32] Bellman, R. (1957). *Dynamic Programming*. Princeton University Press.
- ❖ [33] Nicholson, T. (1971). *Optimization in industry, optimization techniques, volume 1*. Longman Group Limited.
- ❖ [34] Lee, I. and Shaw, M. (2000). A neural-net approach to real time flow-shop sequencing. *Computers & Industrial Engineering*, 38(1):125–147.
- ❖ [35] Silver, E. (2004). An overview of heuristic solution methods. *Journal of the operational research society*, 55(9):936–956.
- ❖ [36] Morton, T. and Pentico, D. (1993). *Heuristic scheduling systems: with applications to production systems and project management*. Wiley, New York.
- ❖ [37] Festa, P. and Resede, M. (2004). An annotated bibliography of grasp. Technical Report TD-5WYSEW., AT and T Labs Research.
- ❖ [38] Ríos R. and Bard J. (2000): “Heurísticas para Secuenciamiento de Tareas en Líneas de Flujo“. [en línea] <<http://yalma.fime.uanl.mx/~roger/work/Papers/article/article-ciencia-2000.pdf>> [consulta: 2 de Junio 2012]
- ❖ [39] Sawik T. (2002): “An Exact Approach for Batch Scheduling in Flexible Flow Lines with Limited Intermediate Buffers”. *Mathematical and Computer Modelling*. Vol. 36, pp. 461- 471.

- ❖ [40] Lin H. and Liao C. (2003): “A case study in a two-stage hybrid *Flow-Shop* with setup time and dedicated machines”. *International Journal of Production Economics*. Vol. 86, pp. 133–143.
- ❖ [41] D’Armas M. (2004): “Programación de Operaciones con tiempos de preparación dependientes de la secuencia Aplicación a la Industria Metalmecánica”. [en línea] <<https://www.doe.upc.edu/docencia/doctorat/tesi-doctoral/tesis/MayradArmas1.pdf>> [consulta: 15 de Abril 2010]
- ❖ [42] Oguz C., Zinder Y., Van Ha Do, Janiak A., Lichtenstein M. (2004): “Hybrid flow-shop scheduling problems with multiprocessor task systems”. *European Journal of Operational Research*. Vol. 152, pp. 115–131.
- ❖ [43] Kis T. and Pesch E. (2005): “A review of exact solution methods for the non-preemptive multiprocessor flowshop problem”. *European Journal of Operational Research*. Vol. 164, pp. 592–608.
- ❖ [44] Guirchoun S., Martineau P., Billaut J. (2005): “Total completion time minimization in a computer system with a server and two parallel processors”. *Computers & Operations Research*. Vol. 32, pp. 599–611.
- ❖ [45] Sawik T. (2002): “An Exact Approach for Batch Scheduling in Flexible Flow Lines with Limited Intermediate Buffers”. *Mathematical and Computer Modelling*. Vol. 36, pp. 461- 471.
- ❖ [46] Ribas I., Companys R. (2006): “Programación de la Producción en un sistema flow shop híbrido sin esperas y tiempos de preparación dependientes de la secuencia”.
- ❖ [47] Tang L., Xuan H., Liu J. (2006): “A new Lagrangian relaxation algorithm for hybrid flow shop scheduling to minimize total weighted completion time”. *Computers & Operations Research*. Vol. 33, pp. 3344–3359.
- ❖ [48] Zandieh M., Fatemi S., Moattar S. (2006): “An immune algorithm approach to hybrid *Flow-Shops* scheduling with sequence-dependent setup times”. *Applied Mathematics and Computation*. Vol. 180, pp. 111–127.
- ❖ [49] Kurz M and Askin R. (2004): “Scheduling flexible flow lines with sequence-dependent setup times”. *European Journal of Operational Research*. Vol. 159, pp. 66–82.
- ❖ [50] Allaoui H. and Artiba A. (2006): “Scheduling two-stage hybrid *Flow-Shop* with availability constraints”. *Computers & Operations Research*. Vol. 33, pp. 1399–1419.
- ❖ [51] Lee C and Vairaktarakis G. (1994): “Minimizing Makespan in hybrid flowshops. *Operational Research*. Vol. 16, pp. 149–58.
- ❖ [52] Sawik T. (2007): “A lexicographic approach to bi-objective scheduling of single-period orders in make-to-order manufacturing”. *European Journal of Operational Research*. Vol. 180, pp. 1060–1075.
- ❖ [53] Tzung P., Pei Y., Gwoboa H. and Chan L. (2007): “Three Algorithms for Flexible Flow- shop Scheduling”. *American Journal of Applied Sciences*. Vol. 4, pp. 889-896.
- ❖ [54] Petrov, V. A. (1966): “Flow Line Group Production Planning”. Business Publications, London.
- ❖ [55] Seda M. (2007): “Mathematical Models of Flow Shop and Job Shop Scheduling Problems”. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. Vol. 31, pp.122- 127.

- ❖ [56] Haouari M. and Hidri L. (2008): “On the hybrid flowshop scheduling problem”. International Journal of Production Economics. Vol. 113, pp.495–497.
- ❖ [57] Jin Z., Yang Z., Ito T. (2006): “Metaheuristic algorithms for the multistage hybrid flowshop scheduling problem”. International Journal of Production Economics. Vol. 100, pp. 322–334.
- ❖ [58] Jungwattanakit J., Reodecha M., Chaovaitwongse P., Werner F. (2008): “Algorithms for flexible *Flow-Shop* problems with unrelated parallel machines, setup times, and dual criteria”.
- ❖ [59] Jungwattanakit J., Reodecha M., Chaovaitwongse P., Werner F. (2009): “A comparison of scheduling algorithms for flexible *Flow-Shop* problems with unrelated parallel machines, setup times, and dual criteria”. Computers & Operations Research. Vol. 36, pp. 358–378.
- ❖ [60] Ruiz R. and Vázquez J. (2009): “The Hybrid Flow Shop Scheduling Problem”. <<http://www.upv.es/deioac/Investigacion/revision.pdf>>
- ❖ [61] Choi, H. and Lee D. (2009): “Scheduling algorithms to minimize the number of tardy jobs in two-stage hybrid flow shops”. Computers & Industrial Engineering. Vol. 56, pp. 113–120.
- ❖ [62] Choi, H. and Lee D. (2007): “A branch and bound algorithm for two-stage hybrid *Flow-Shops*: Minimizing the number of tardy jobs”. Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers. Vol. 33, pp. 213–220.
- ❖ [63] Gupta J., and Tunc E. (1998): “Minimizing tardy jobs in a two-stage hybrid flowshop”. International Journal of Production Research. Vol. 36, pp. 2397–2417.
- ❖ [64] Ribas I., Leisten R., Framiñan J. (2010): “Review and classification of hybrid flow shop scheduling problems from a production system and a solutions procedure perspective”. Computers & Operations Research. Vol. 37, pp. 1439–1454
- ❖ [65] Colorama, Colorama.cl Los Alerces 2096 Ñuñoa, Santiago, Chile Fono 562 411 4700 fax 562 238 2424 info@colorama.cl
- ❖ [66] Laboratorios Bago, <http://www.bago.com/Chile/index.htm> Oficinas y Planta en Santiago: Vicuña Mackenna 1835 - Fono: 368 27 00
- ❖ [67] Ferrari <http://www.ferrari.com/Pages/Gateway.aspx?CountryId=131&CountryTitle=Chile>
- ❖ [68] OM Partners : OM Partners n.v., Koralenhoeve 232160 Wommelgem (Antwerpen) Bélgica VAT BE 0428.328.442<http://www.ompartners.es/>,
- ❖ [69] Organización de la Producción II. Planificación de procesos productivos Pag 77-84, www.unav.es/ocw/orgproduccionII/material/teoriaPL.pdf
- ❖ [70] Glover, Fred, "Tabu Search : A Tutorial", Interfaces, Vol 20, No. 4, pp. 74-94, July-August 1990.
- ❖ [71] A Fasttaboosearchalgorithmforthe Job-Shop problem, Eugenius Nowicki, Czeslae Smutnicki, TechnicalUniversiti of Wroclaw, Institute of EngineeringCybertetics, ul.Haniszewskiego 11/17, Wroctae, Poland, 1996
- ❖ [72] Programación JobShop, Octubre 2011, <http://www.buenastareas.com/ensayos/Programacion-Job-Shop/2886983.html>

- ❖ [73] El problema *Flow-Shop* flexible de dos etapas: programación de las intervenciones quirúrgicas en un Hospital autor: guillermo latorre núñez Fecha: 29 de junio del 2011

ANEXO 1: Universo de equipos a tomar en caso de estudio

CENTRO DE COSTO	EQUIPO	MARCA	MODELO	N° SERIE	TOTAL HORAS REQUERIDAS ANUALES PARA MANTENCION(ESTIMADAS)	TIEMPO POTENCIAL DE USO DIARIO	TIEMPO POTENCIAL DE USO ANUAL (HORAS)
ODONTOLOGIA	LAMPARA FOTOCURADO	3M	CURING LIGHT 2500	7004887	2	24	8736
UCI-A/UPC	BOMBA DE INFUSION JERINGA	3M	600	600000467	3	24	8736
ESTERILIZACION	INCUBADORA DE LECTURA	3M	ATTEST	799995	3	24	8736
LABORATORIO CLINICO	AGITADOR	VORTEX MIXER	VM-300	504523	2	24	8736
PABELLONES (UAPQ)	FACOEMULSIFICADOR	ALCON	LEGACY EVEREST 2000	050211500 2X	4	24	8736
OFTALMOLOGIA	LASER OFTALMOLOGICO	ALCON	3000 LE	1630	6	24	8736
OFTALMOLOGIA	GENERADOR DE LASER	ALCON	OPHTHALAS 532 EYELITE	050249920 1X	0	24	8736
OFTALMOLOGIA	LAMPARA DE HENDIDURA	ALCON	SL 1000	09060750 X	1	24	8736
KINESIOLOGIA	ULTRATERMIA POR ONDA CORTA	ENRAF NONIUS	CURAPULS 419	20-023	2	24	8736
CIRUGIA ADULTO	VENTILADOR NO INVASIVO	RESPIRONICS	SN	4752287	8	24	8736
RADIOLOGIA	ECOTOMOGRAFO MULTIPROPOSITO	PHILLIPS	HDI 5000	02KJ26	6	24	8736
RADIOLOGIA	COMPUTADOR DE ALMACENAMIENTO Y TRATAMIENTO DE	PHILLIPS	451220104833	158945017	0	24	8736

	IMÁGENES						
MEDICINA	LAMPARA DE PROCEDIMIENTOS	WELCH ALLYN	GS 600	100510	2	24	8736
PABELLONES (UAPQ)	MICROSCOPIO QUIRURGICO OFTALMOLOGICO	LEICA	LEICA F19	080109002	4	24	8736
ANATOMIA PATOLOGICA	CAMARA FOTOGRAFICA DE MICROSCOPIO	OLYMPUS	VANOX	001249	0	24	8736
ANATOMIA PATOLOGICA	FUENTE DE LUZ DE MICROSCOPIO	OLYMPUS	VANOX	SN	0	24	8736
ANATOMIA PATOLOGICA	MICROSCOPIO BINOCULAR	OLYMPUS	CX31RBSF	1L05659	3	24	8736
BANCO DE SANGRE	CENTRIFUGA REFRIGERADA	JOUAN	GR-412	29260100	4	24	8736
ENDOSCOPIA	FUENTE DE LUZ ENDOSCOPIA	OLYMPUS	CLE 3	SN	3	24	8736
GINECOLOGIA Y OBSTETRICIA	MICROSCOPIO BINOCULAR	OLYMPUS	CHA	444911	3	24	8736
GINECOLOGIA Y OBSTETRICIA	COLOSCOPIO	OLYMPUS	OCS-500	211019	4	24	8736
ENDOSCOPIA	FIBROSCOPIO	OLYMPUS	BF-TE2	2902238	2	24	8736
LABORATORIO CLINICO	ANALIZADOR DE ORINA	URISED		2010060556	4	24	8736
LABORATORIO CLINICO	AGITADOR DE TUBOS	HEIDOLPH	DSG302	541300	2	24	8736
LABORATORIO CLINICO	AGITADOR VDRL	LAB ROTATOR	LW SCIENTIFIC	U.E.M-0023	2	24	8736
LABORATORIO CLINICO	GABINETE DE BIOSEGURI	ESCO	NO DETERMINADO		3	24	8736

	DAD TIPO 2						
LABORATORIO CLINICO	UNIDAD ESTERILIZADORA POR CALOR SECO	JOUAN	EU115EL	39901643	3	24	8736
POLIRESPIRATORIO INFANTIL	BRONCOFIBROSCOPIO	OLYMPUS	3C20	SN	2	24	8736
BANCO DE SANGRE	ESTUFA DE SECADO	SELECTA	NO DETERMINADO	0384658	3	24	8736
LABORATORIO CLINICO	MICROSCOPIO CON CAMARA FOTOGRAFICA	DIGI3	3000	U.E.M-0025	3	24	8736
ANATOMIA PATOLOGICA	BALANZA ELECTRONICA DE PRECISION	AND	ET-300B	5801868	2	24	8736
ANATOMIA PATOLOGICA	BAÑO TERMORREGULADO HISTOLOGICO	BARNSTEAD	26104	1641060115898	3	24	8736
UCI-PEDIATRICA	BALANZA ELECTRONICA DE PRECISION	MEDITEC	ACS-20A-YE	SN	2	24	8736
CIRUGIA INFANTIL (SQP)	MONITOR DE APNEA	GRASEBY	MR-10	69779	2	24	8736
ENDOSCOPIA	FUENTE DE LUZ ENDOSCOPICA	RICHARD WOLF	4200	K61	3	24	8736
OFTALMOLOGIA	ECOGRAFO OFTALMOLOGICO	NIDEK	ECHOSCAN US-2500	10036	6	24	8736
OFTALMOLOGIA	MODULO AMPLIFICADOR	NIDEK	ECHOSCAN US-2520	SN	0	24	8736
FONOAUDILOGIA	AUDIOMETRO	MADSEN	MIDIMATE 622	173871	3	24	8736
FONOAUDILOGIA	DENSITOMETRO	MADSEN	SODIAC 901	173870	3	24	8736
ODONTOLOGIA	AMALGAMADOR	DENTOMAT	600 BR	3462949	2	24	8736
NEONATOLOGIA	BILIRRUBINOMETRO	BAUSCH LOMB	BIL-100	1404	2	24	8736

DIALISIS	MAQUINA DE HEMODIALISIS	BAXTER	TINA	26623	12	24	8736
UTI-CV	CALENTADOR DE SANGRE	BAXTER	FENWAL	27971	4	24	8736
UCI-PEDIATRICA	MAQUINA DE PERITONEO DIALISIS	BAXTER	HOME CHIOSE	85371	12	24	8736
CLINICA DEL FUNCIONARIO	ESFIGNOMANOMETRO DIGITAL	BECTON DICKINSON	BD-A10	SN	2	24	8736
KINESIOLOGIA	UNIDAD DE ULTRASONIDO	UNIPHY	PHYACTION	55684	2	24	8736
KINESIOLOGIA	EQUIPO DE ELECTROTERRAPIA	GYMNA	THERMO 500	00550	2	24	8736
HEMATOLOGIA ONCOLOGIA	NEBULIZADOR	NC	C16/ENICX3	U.E.M-0012	2	24	8736
BANCO DE SANGRE	ANALIZADOR PARA SEROLOGIA	DA VINCI	QUATTRO	IDXC-1125	4	24	8736
LABORATORIO CLINICO	ESTUFA DE HEMOCULTIVO	BACT ALERT	3D	002CM6636	3	24	8736
GINECOLOGIA Y OBSTETRICIA	DETECTOR LATIDO CARDIOFETAL	SONICAID	D 206	A2671	0	24	8736
MORGUE	REFRIGERADOR INDUSTRIAL	BOZZO	NO DETERMINADO	03413	3	24	8736
PABELLONES (UAPQ)	ELECTROESTIMULADOR DE NERVIOS	BRAUN	NO DETERMINADO	7481	1	24	8736
PABELLONES (UAPQ)	MONITOR DE VIDEO	AESCULAP	V3C-5X19-A171	05-50336	0	24	8736
PABELLONES (UAPQ)	MOTOR QUIRURGICO	AESCULAP	ACCULAN GA636	000440	3	24	8736
LABORATORIO CLINICO	BAÑO TERMORREGULADO	BRAUN	THERMOMIX 1420	3292	3	24	8736
PABELLONES (UAPQ)	ELECTROESTIMULADOR DE NERVIOS	BRAUN	STIMUFLEX HNS 12	MD0602	0	24	8736

KINESIOLOGIA	CALENTADOR DE COMPRESAS	MASTER MEDIC	6000	20	3	24	8736
POLICARDIOLOGIA	HOLTER	CARDIOLINE	NO DETERMINADO	U.E.M-0045	4	24	8736
OFTALMOLOGIA	PROYECTOR DE OPTOTIPOS	MAGNON	CP-600	111205	2	24	8736
ODONTOLOGIA	UNIDAD DENTAL	CILA	ART 0811	0543	4	24	8736
ODONTOLOGIA	LAMPARA DENTAL	CILA	NO DETERMINADO	24241	1	24	8736
SAMU	OXIMETRO DE PULSO	BCI	3303	702450056	2	24	8736
UCI-PEDIATRICA	BOMBA DE INFUSION JERINGA	MEDEX	MEDFUSION 2001	65994	3	24	8736
PEDIATRIA	MONITOR SIGNOS VITALES BASICO	BCI	MINITORR PLUS	SN	2	24	8736
MORGUE	BALANZA ELECTRONICA	CAS	AD	98030084	2	24	8736
GINECOLOGIA Y OBSTETRICIA	ELECTROBISTURIA ALTA POTENCIA	COOPER SURGICAL	KEPSYSTEM 6000	I2434B	2	24	8736
NEONATOLOGIA	OXIMETRO DE PULSO	NELLCOR	N-600X	G09834293	2	24	8736
UCI-A/UPC	VENTILADOR NO INVASIVO	NELLCOR PURITAN BENETT	KNIGHT STAR 335	708281013	8	24	8736
MEDICINA	MONITOR SIGNOS VITALES BASICO	NELLCOR PURITAN BENETT	NPB-4000	96A06349	2	24	8736
GINECOLOGIA Y OBSTETRICIA	DETECTOR LATIDO CARDIOFETAL	GE	171	SAS08111629PA	2	24	8736
BANCO DE SANGRE	ESFIGNOMANOMETRO DIGITAL	SHANGHAI LITTLE DOCTOR ELECTRONIC CO.	LD-578	857810862	3	24	8736
CCV	BOMBA DE INFUSION	NIKKISO	PSK-01	61005-19	0	24	8736

	JERINGA						
CCV	MONITOR DE VIDEO	SAMSUNG	SYNC MASTER 540 N	U.E.M-0007	0	24	8736
HEMODINAMIA	PROYECTOR DE PELICULAS DE CINE	TAGARNO	35 XR	2782 D 804	3	24	8736
LABORATORIO CLINICO	BAÑO TERMORREGULADO	MEMMERT	EDELSTZH	SN	0	24	8736
LABORATORIO CLINICO	CENTRIFUGA SOBREMESA	PRESVAC	DCS-16RTV	9902	0	24	8736
MEDICINA	BOMBA DE INFUSION JERINGA	NIKKISO	PSK-01	SN	0	24	8736
MEDICINA	MONITOR MULTIPAR AMETROS DE MEDIANA COMPLEJIDAD	CRITICARE	507E SCHOLLAR II	496244507	0	24	8736
MEDICINA	VENTILADOR NO INVASIVO	NELLCOR PURITAN BENETT	KNIGHT STAR 335	SN	0	24	8736
MEDICINA NUCLEAR	CONTADOR GEIGER	GAMASCOUT	FCC-15	017657	0	24	8736
NEONATOLOGIA	BOMBA DE INFUSION VOLUMETRICA	NIKKISO	PFA-05	N3B01-12	0	24	8736
NEONATOLOGIA	FOTOTERAPIA	AIR SHIELDS	PT-53	HZ039	0	24	8736
PABELLONES (UAPQ)	LAMPARA QUIRURGICA SIN SATELITE	MARTIN	C450D	71577	0	24	8736
PABELLONES (UAPQ)	MAQUINA DE ANESTESIA	DRAGER	SULLA 808V	ARDM 0050	0	24	8736
PABELLONES (UAPQ)	PROCESADOR DE VIDEO	KARL STORZ	ICF34324	20210120	0	24	8736
PEDIATRIA	MONITOR DE APNEA	GRASEBY	MR-10	64712	0	24	8736
PENSIONADO	BOMBA DE INFUSION JERINGA	3M	600	600001463	0	24	8736

POLICARDIOLOGIA	TEST DE ESFUERZO	MORTAR A	Z-200	10-26563	0	24	8736
RADIOLOGIA	REVELADORA AUTOMATICA DE ALTA CAPACIDAD	KODAK	DRY VIEW 8100	K2-02248	0	24	8736
RECUPERACION	MONITOR MULTIPARAMETROS DE ALTA COMPLEJIDAD	DATEX	CARDIOCAP II	320172	0	24	8736
TRAUMATOLOGIA ADULTO	ESFIGNOMANOMETRO DIGITAL	SHANGAI LITTLE	LD-578	200502413	0	24	8736
TRAUMATOLOGIA ADULTO	MONITOR SIGNOS VITALES BASICO	BCI	BP3AA1-1	33700241	0	24	8736
UCI-PEDIATRICA	VENTILADOR NO INVASIVO	RESPIRONICS	DUET LX	1437542	0	24	8736
UEI	LAMPARA QUIRURGICA SIN SATELITE	MARTIN	C-450	74349	0	24	8736
UEI	MONITOR MULTIPARAMETROS DE MEDIANA COMPLEJIDAD	CRITICARE	508	SN	0	24	8736
ODONTOLOGIA	ESCALADOR DENTAL ULTRASONICO	DENTSPLY	CAVITRON	110B-06811	2	24	8736
ODONTOLOGIA	UNIDAD DE ULTRASONIDO DENTAL	DENTSPLY	CAVITRON	105A-01875	2	24	8736
NEONATOLOGIA	FOTOTERAPIA	TRIDENT	P222 MP	H007-C1-002	2	24	8736
UEI	OFTALMOSCOPIO DIRECTO	RIESTER	PER-SCOPE	U.E.M-0072	3	24	8736
PABELLONES (UAPQ)	LAMPARA QUIRURGICA CON SATELITE	DRAGER	SOLA 700	SN	4	24	8736

PABELLONES (UAPQ)	SATELITE	DRAGER	STELLA	ASAN-0045	0	24	8736
PABELLONES (UAPQ)	CUNA RADIANTE	AIR SHIELDS	PM78-1E	XH02246	3	24	8736
NEONATOLOGIA	CALEFACTO R RADIANTE	AIR SHIELDS	MIW78	HZ 01485	3	24	8736
NEONATOLOGIA	FOTOTERAPIA	AIR SHIELDS	PT-53	AZ04064	2	24	8736
NEONATOLOGIA	VENTILADOR NEONATAL	DRAGER	BABYLOG 8000	ARSN-0067	8	24	8736
PABELLONES (UAPQ)	MONITOR MULTIPAR AMETROS DE ALTA COMPLEJIDAD	DRAGER	INFINITY DELTA	5398018357	0	24	8736
PABELLONES (UAPQ)	REGULADOR DE VACIO	DRAGER	SCIO FOUR OXI PLUS	ARXN-0044	0	24	8736
NEONATOLOGIA	INCUBADORA ESTANDAR	AIR SHIELDS	C 100/200 2E	YG 22671	3	24	8736
NEONATOLOGIA	INCUBADORA TRANSPORTE	AIR SHIELDS	TI 500	PD3707	3	24	8736
UCI-A/UPC	VENTILADOR DE TRANSPORTE	DRAGER	OXYLOG 3000	ASBH-0007	4	24	8736
UCI-PEDIATRICA	MONITOR MULTIPAR AMETROS DE ALTA COMPLEJIDAD	DRAGER	INFINITY DELTA XL	6000409776	4	24	8736
NEONATOLOGIA	BALANZA ELECTRONICA DE PRESION	HILL ROM	I20-60	SJ97720	2	24	8736
UCI-A/UPC	MAQUINA DE HEMODIALISIS	GAMBRO	PRISMAFLEX	3081	12	24	8736
PABELLONES (UAPQ)	RX ARCO C	GE	EVER VIEW 7500	F2S07184	12	24	8736
CLINICA DEL FUNCIONARIO	ELECTROCARDIOGRAFICO	MORTARA	ELI 100	1022739219	2	24	8736
LABORATORIO CLINICO	ESTUFA DE CULTIVO	MEMMERT	B10	820697	3	24	8736

BANCO DE SANGRE	BAÑO TERMORREGULADO	NO DETERMINADA	NO DETERMINADO	SN	3	24	8736
ANATOMIA PATOLOGICA	MICROTOMO ROTATORIO	LEICA	RM 2125 RT	045737989	2	24	8736
LABORATORIO CLINICO	AGITADOR DE TUBOS	VORTEX MIXER	VM-1000	1008698	2	24	8736
NEONATOLOGIA	BOMBA DE INFUSION JERINGA	FRESENIUS VIAL	PILOT A2	18816268	3	24	8736
ESTERILIZACION	UNIDAD ESTERILIZADORA DE OXIDO DE ETILENO	3M	STERI-VAC 5XL	720685	8	24	8736
POLICARDIOLOGIA	MODULO HOLTER	CARDIOLINE	CLICKHOLTER	AILA0025	0	24	8736
LABORATORIO CLINICO	CONTADOR HEMATOLOGICO	BECKMAN COULTER	LH750	RAT07010	3	24	8736
LABORATORIO CLINICO	NEFELOMETRO	BECKMAN COULTER	IMAGE IMMUNOCHEMISTRY SYSTEM	1951	4	24	8736
MEDICINA NUCLEAR	CAMILLA PACIENTE MECANICA	GE	UGP 001283	03-04-066	0	24	8736
MEDICINA NUCLEAR	GAMMA CAMARA	GE	MILLENIUM MG 50877	H3000ZL	16	24	8736
MEDICINA NUCLEAR	MONITOR DE ALTA RESOLUCION	GE	GENIE ACQ	SN	0	24	8736
RADIOLOGIA	BIOMBO DE VIDRIO MAMOGRAFICO	GE	MGF-110	12150	0	24	8736
RADIOLOGIA	DISPARADOR	GE	MGF-110	12150	0	24	8736
RADIOLOGIA	ESTATIVO	GE	MGF-110	12150	0	24	8736
RADIOLOGIA	MAMOGRAFICO	GE	MGF-110	12150	16	24	8736
RADIOLOGIA	MARCADOR DE PLACAS	GE	MGF-110	12150	0	24	8736
ODONTOLOGIA	SILLON DENTAL	DAVIATLANTE	DAVI FLEX AIRS	SN	3	24	8736

ODONTOLOGIA	COMPRESOR DENTAL PORTATIL	ASEPTICO	SPRAYIT	T09601-220-13	3	24	8736
ODONTOLOGIA	UNIDAD DENTAL PORTATIL	ASEPTICO	NO DETERMINADO	SN	4	24	8736
LABORATORIO CLINICO	ANALIZADOR VHS	LINEAR	THERMA	000155	4	24	8736
LABORATORIO CLINICO	DETECTOR DE PLACAS DE ELISA	STATFAX	303 PLUS	3032500	4	24	8736
LABORATORIO CLINICO	TECNICA INMUNOFLUORESCENCIA	HELMED			3	24	8736
BANCO DE SANGRE	SELLADOR BOLSA DE SANGRE	HEMOPHARM	BT 200	325	2	24	8736
RADIOLOGIA	REVELADORA AUTOMATICA DE ALTA CAPACIDAD	AGFA	CLASSIC E.O.S	U.E.M-0056	3	24	8736
RADIOLOGIA	REVELADORA AUTOMATICA DE SOBREMESA	AGFA	DRYSTAR 5203	U.E.M-0057	3	24	8736
PABELLONES (UAPQ)	LAMPARA QUIRURGICA CON SATELITE	MEDICAL SYSTEM ONE	SS2S1230	SN	4	24	8736
UCI-A/UPC	MONITOR DE GASTO CARDIACO	ABBOT	OXIMETRIX 3	11206	2	24	8736
NEONATOLOGIA	VENTILADOR NEONATAL	BEAR CUB	BP 2001	17211	8	24	8736
NEONATOLOGIA	VENTILADOR NEONATAL	BEAR CUB	BP 2001	17207	8	24	8736
PABELLONES (UAPQ)	CAPNOGRAFIA	SPACE LABS	ULTRAVIEW MODEL 91518	1518-000176	0	24	8736
PABELLONES (UAPQ)	MAQUINA DE ANESTESIA	SPACE LABS	BLEASE	1291106	12	24	8736
PABELLONES (UAPQ)	MONITOR MULTIPARAMETROS DE ALTA	SPACE LABS	ULTRAVIEW SL	1369-005167	0	24	8736

	COMPLEJID AD						
UCI-A/UPC	VENTILAD OR VOLUMETR ICO	VIASYS	VELA	ADT02391	8	24	8736
UCI-A/UPC	MONITOR MULTIPAR AMETROS DE MEDIANA COMPLEJID AD	SPACE LABS	ELANCE 93300	3300- 001736	3	24	8736
TRAUMATOL OGIA ADULTO	ESFIGNOM ANOMETRO DIGITAL	MICROLI FE	BP3AA1-1	33700243	2	24	8736
MEDICINA NUCLEAR	IMPRESOR A DE REVELADO	CODONIC S	NO DETERMINA DO	SOC01191 C	0	24	8736
CCV	ECOTOMOG RAFO MULTIPROP OSITO	GE	VIVID7	4244V7	6	24	8736
GINECOLOGI A Y OBSTETRICIA	ECOGRAFO	GE	LOGIC 200 PRO	97648SM Q	4	24	8736
RADIOLOGIA	ECOTOMOG RAFO MULTIPROP OSITO	GE	LOGIC S6	30057YU4	6	24	8736
SAMU	ELECTROC ARDIOGRA FO	CARDIET TE	AR 600	AFLA019 7	2	24	8736
UCI- PEDIATRICA	OXIMETRO DE PULSO	NOVAME TRIX	OXIPLETH	77- 18169CCS YYVV	2	24	8736
UEA	MONITOR DESFIBRIL ADOR	PHYSIO CONTRO L	LIFE PACK 9B	11565263	8	24	8736
UTI-CV	VENTILAD OR VOLUMETR ICO	HAMILT ON	RAPHAEL XTC	10444	8	24	8736
CCV	MONITOR DE VIDEO	SAMSUN G	SYNC MASTER 540 N	MJ17HME Y118504D CL	0	24	8736
LABORATORI O CLINICO	REFRIGERA DOR	WIRPOOL			3	24	8736
LABORATORI O CLINICO	UNIDAD ESTERILIZA DORA POR CALOR SECO	JOUAN			3	24	8736

ANEXO 2: Set de equipos seleccionados para pruebas

Prueba 1 – Set de 5 equipos

EQUIPO	MARCA	MODELO	N° SERIE	TOTAL HORAS REQUERIDAS ANUALES PARA MANTENCION(ESTI MADAS)	ANALISIS DE FALLA	REPARACION	MANTENCION	INSTALACION RESPUESTO
LAMPARA FOTOCURADO	3M	CURING LIGHT 2500	7004887	2	0,5	0,8	0,5	0,2
AGITADOR	VORTEX MIXER	VM-300	504523	2	0,3	0,6	0,8	0,3
FACOEMULSIF ICADOR	ALCON	LEGACY EVEREST 2000	050211500 2X	4	1,8	1,2	0,2	0,8
LASER OFTALMOLOG ICO	ALCON	3000 LE	1630	6	2,5	2	0,7	0,8
LAMPARA DE HENDIDURA	ALCON	SL 1000	09060750 X	1	0,2	0,4	0,2	0,2

Prueba 2 – Set de 5 equipos

EQUIPO	MARCA	MODELO	N° SERIE	TOTAL HORAS REQUERIDAS ANUALES PARA MANTENCION(ESTI MADAS)	ANALISIS DE FALLA	REPARACION	MANTENCION	INSTALACION RESPUESTO
VENTILADOR NO INVASIVO	RESPIRO NICS	SN	4752287	8	3	2,8	1,2	1
ECOTOMOGR AFO MULTIPROPOS ITO	PHILLIPS	HDI 5000	02KJ26	6	2,1	1,9	1,1	0,9
LAMPARA DE PROCEDIMIEN TOS	WELCH ALLYN	GS 600	100510	2	0,4	0,7	0,6	0,3
MICROSCOPIO QUIRURGICO OFTALMOLOG ICO	LEICA	LEICA F19	080109002	4	1,5	1,3	0,2	1

INCUBADORA TRANSPORTE	AIR SHIELDS	TI 500	PD3707	3	0,7	1	0,5	0,8
--------------------------	----------------	--------	--------	---	-----	---	-----	-----

Prueba 3 – Set de 10 equipos

EQUIPO	MARCA	MODELO	N° SERIE	TOTAL HORAS REQUERIDAS ANUALES PARA MANTENCION(ESTI MADAS)	ANALISIS DE FALLA	REPARACION	MANTENCION	INSTALACION RESPUESTO
GAMMA CAMARA	GE	MILLENIUM MG 50877	H3000ZL	16	3	6	3	4
SILLON DENTAL	DAVI ATLANT E	DAVI FLEX AIR S	SN01	3	0,5	1,5	0,5	0,5
COMPRESOR DENTAL PORTATIL	ASEPTIC O	SPRAYIT	T09601- 220-13	3	1	0,8	0,3	0,9
UNIDAD DENTAL PORTATIL	ASEPTIC O	NO DETERMINA DO	SN02	4	1,5	1,3	0,2	1
ANALIZADOR VHS	LINEAR	THERMA	000155	4	1,8	1,2	0,2	0,8
DETECTOR DE PLACAS DE ELISA	STATFAX	303 PLUS	3032500	4	1,2	1,2	0,6	1
TECNICA INMUNO FLUORECENC IA	HELMED	G1	UEM01	3	0,7	0,5	0,5	0,3
SELLADOR BOLSA DE SANGRE	HEMOPH ARM	BT 200	325	2	0,5	0,8	0,5	0,2
REVELADOR A AUTOMATIC A DE ALTA CAPACIDAD	AGFA	CLASSIC E.O.S	U.E.M- 0056	3	0,7	1,3	0,6	0,4
REVELADOR A AUTOMATIC A DE SOBREMESA	AGFA	DRYSTAR 5203	U.E.M- 0057	3	0,5	1,5	0,6	0,4

Prueba 4 – Set de 10 equipos

EQUIPO	MARCA	MODELO	N° SERIE	TOTAL HORAS REQUERIDAS ANUALES PARA MANTENCION(ESTI MADAS)	ANALISIS DE FALLA	REPARACION	MANTENCION	INSTALACION RESPUESTO
VENTILADOR VOLUMETRIC O	VIASYS	VELA	ADT02391	8	2,5	2,8	1,5	1,2
MONITOR MULTIPARAM ETROS DE MEDIANA COMPLEJIDAD	SPACE LABS	ELANCE 93300	3300- 001736	3	0,5	1,5	0,5	0,5
ESFIGNOMAN OMETRO DIGITAL	MICROLI FE	BP3AA1-1	33700243	2	0,4	0,7	0,6	0,3
ECOTOMOGRAFO MULTIPROPOS ITO	GE	VIVID7	4244V7	6	2,1	1,9	1,1	0,9
ECOGRAFO	GE	LOGIC 200 PRO	97648SM Q	4	1,8	1,2	0,2	0,8
ECOTOMOGRAFO MULTIPROPOS ITO	GE	LOGIC S6	30057YU4	6	2,1	1,9	1,1	0,9
ELECTROCARDIOGRAFO	CARDIET TE	AR 600	AFLA019 7	2	0,4	0,5	0,6	0,5
OXIMETRO DE PULSO	NOVAME TRIX	OXIPLETH	77- 18169CCS YYVV	2	0,3	0,5	0,6	0,6
MONITOR DESFIBRILAD OR	PHYSIO CONTRO L	LIFE PACK 9B	11565263	8	3	2,8	1,2	1
VENTILADOR VOLUMETRIC O	HAMILT ON	RAPHAEL XTC	10444	8	2,5	2,8	1,5	1,2

Prueba 5 – Set de 15 equipos

EQUIPO	MARCA	MODELO	N° SERIE	TOTAL HORAS REQUERIDAS ANUALES PARA MANTENCION(ESTI MADAS)	ANALISIS DE FALLA	REPARACION	MANTENCION	INSTALACION RESPUESTO
MICROSCOPIO QUIRURGICO OFTALMOLOG ICO	LEICA	LEICA F19	080109002	4	1,5	1,3	0,2	1
MICROSCOPIO BINOCULAR	OLYMPU S	CX31RBSF	1L05659	3	1,3	0,7	0,4	0,6
CENTRIFUGA REFRIGERAD A	JOUAN	GR-412	29260100	4	1,1	1,3	0,6	1
FUENTE DE LUZ ENDOSCOPIC A	OLYMPU S	CLE 3	UEM04	3	0,5	1,5	0,5	0,5
COLPOSCOPIO	OLYMPU S	OCS-500	211019	4	1,5	1,3	0,2	1
FIBROSCOPIO	OLYMPU S	BF-TE2	2902238	2	0,4	0,7	0,6	0,3
ANALIZADOR DE ORINA	URISED		201006055 6	4	1,2	1,2	0,6	1
AGITADOR DE TUBOS	HEIDOLP H	DSG302	541300	2	0,3	0,6	0,8	0,3
GABINETE DE BIOSEGURIDA D TIPO 2	ESCO	NO DETERMINA DO	UEM03	3	0,5	0,8	1	0,7
UNIDAD ESTERILIZAD ORA POR CALOR SECO	JOUAN	EU115EL	39901643	3	0,7	0,5	0,5	0,3
BALANZA ELECTRONICA DE PRESICION	AND	ET-300B	5801868	2	0,5	0,8	0,5	0,2
BAÑO TERMORREGU LADO HISTOLOGICO	BARNSTE AD	26104	164106011 5898	3	1	0,9	0,5	0,6
MONITOR DE APNEA	GRASEB Y	MR-10	69779	2	0,5	1	0,3	0,2
FUENTE DE LUZ ENDOSCOPIC	RICHARD WOLF	4200	K61	3	0,5	1,5	0,5	0,5

A								
ECOGRAFO OFTALMOLOGICO	NIDEK	ECHOSCAN US-2500	10036	6	2	1,7	1	1,3

Prueba 6 – Set de 15 equipos

EQUIPO	MARCA	MODELO	N° SERIE	TOTAL HORAS REQUERIDAS ANUALES PARA MANTENCION(ESTIMADAS)	ANALISIS DE FALLA	REPARACION	MANTENCION	INSTALACION RESPUESTO
MAQUINA DE PERITONEODIALISIS	BAXTER	HOME CHIOSE	85371	12	2,5	4,2	2,2	3,1
ESFIGNOMANOMETRO DIGITAL	BECTON DICKINSON	BD-A10	SN06	2	0,4	0,7	0,6	0,3
UNIDAD DE ULTRASONIDO	UNIPHY	PHYACTION	55684	2	0,3	0,5	0,6	0,6
EQUIPO DE ELECTROTERAPIA	GYMNA	THERMO 500	00550	2	0,5	0,8	0,5	0,2
NEBULIZADOR	NC	C16/ENI CX3	U.E.M-0012	2	0,4	0,7	0,6	0,3
ANALIZADOR PARA SEROLOGIA	DA VINCI	QUATTRO	IDXC-1125	4	1,5	1,3	0,2	1
ESTUFA DE HEMOCULTIVO	BACT ALERT	3D	002CM6636	3	0,7	1,3	0,6	0,4
REFRIGERADOR INDUSTRIAL	BOZZO	NO DETERMINADO	03413	3	0,5	1,1	0,6	0,8
MOTOR QUIRURGICO	AESCLAP	ACCULAN GA636	000440	3	0,5	1,5	0,5	0,5
BAÑO TERMORREGULADO	BRAUN	THERMOMIX 1420	3292	3	0,7	0,5	0,5	0,3
CALENTADOR DE COMPRESAS	MASTER MEDIC	6000	20	3	0,3	1	1	0,7
HOLTER	CARDIOLINE	NO DETERMINADO	U.E.M-0045	4	1	1,5	0,7	0,8

PROYECTOR DE OPTOTIPOS	MAGNON	CP-600	111205	2	0,5	0,6	0,4	0,5
BOMBA DE INFUSION JERINGA	MEDEX	MEDFUSION 2001	65994	3	0,5	1	0,6	0,9
VENTILADOR NO INVASIVO	NELCO R PURITAN BENETT	KNIGHT STAR 335	708281013	8	3	2,8	1,2	1